

הלכה ומעשה בגידול בעלי חיים במשק החקלאי

עורך: אלישע גוטויין

כרך ב':

גידול בקר לחלב

© כל הזכויות שמורות (2004) לאלישע גוטוין ולמשרד החינוך התרבות והספורט, המנהל לחינוך התיישבותי ועליית הנוער.

אין להעתיק, לשכפל, לצלם, להקליט, לאכסן במאגר מידע או להפיץ ספר זה או קטעים ממנו בשום צורה ובשום אמצעי, אלקטרוני, אופטי, או מכני (לרבות צילום, הקלטה, אינטרנט ודואר אלקטרוני) ללא אישור בכתב מאלישע גוטוין או ממשרד החינוך התרבות והספורט, המנהל לחינוך התיישבותי ועליית הנוער.

הספר יצא לאור בסיוע קרן בונה-טרה

מסת"ב: 3-057-518-965 ISBN:

עריכה לשונית: נחום סיון
עימוד ועיצוב: יערה מיטל-הררי
עיצוב העטיפה: דוד מאיר

הוצאת 'מערכת'  קיבוץ דליה

נדפס בישראל, תשס"ו 2006
לוחות והדפסה: סדר-צלם תל-אביב

תוכן העניינים

רשימת המחברים	5	מבנה מערכת המין הזכרית	79
מפתח לקיצורי מידות	6	תפקוד מערכת המין הנקבית	85
הקדמת העורך	7	התפתחות העובר מההפריה ועד להמלטה	94
גידול בקר לחלב / אלישע גוטויין,	9	ממשק רבייה של מעלי גירה /	100
דניאל הוכמן, יואל זירון, עוזי מועלם,		דוד וולפנזון	
רון מלצר, גבי עדין, עופר קרול, יעקב קרייצר, דן קלי, עזרא שושני		השפעת עקת חום על	101
גידול בקר לחלב בעולם ובישראל	9	תהליכי רבייה בבקר לחלב	
מחזור הגידול בעדרי הבקר	15	השפעת אורך היום	107
לחלב בישראל		על ביצועי מערכת הרבייה	
ממשק בעדר הבקר לחלב	16	זיהוי ייחומים	109
גידול השגר מהמלטה ועד לגמילה	28	השפעת המצב הגופני	112
גידול עגלות לתחלופה	35	על פוריות בקר	
פיטום עגלים	38	סִכְרוֹן (האחדת מועד)	114
טיפול בקר לחלב בישראל	43	ייחומים בבקר	
הזרעה מלאכותית	47	שיטות לזיהוי היריון בבקר ובצאן	116
היבט כלכלי על ענף הבקר לחלב	51	הפקת זרמה, הקפאת זרמה	119
מחלות שכיחות בעדר הבקר לחלב	53	והזרעה מלאכותית	
יסודות רבייה של מעלי גירה /	70	טכניקות מתקדמות	121
דוד וולפנזון		בממשק הרבייה	
הקדמה	70	הרכב כימי של מזונות מעלי גירה /	127
הבקרה ההורמונלית	72	חיים תגרי	
של מערכת הרבייה		פחמימות	128
מבנה מערכת המין הנקבית	74	חלבונים	133

138	שומנים (ליפידים)	249	ייצור חלב וחליבה / עזרא שושני
145	מינרלים	249	הקדמה
157	ויטמינים	250	אנטומיה ופיזיולוגיה של העטין
163	שיטות לקביעת איכות מזונות	255	מערכות הדם
	כספקי אנרגיה וכספקי חלבון		ומערכת הלימפה בעטין
169	הערכת תכולת האנרגיה במזון	257	מערכת העצבים בעטין
	וזמינותה לבעל החיים	258	אנטומיה משווה של בלוטות החלב
175	הערכה של תרומת החלבון	260	הרכב החלב
	להזנת מעלי גירה	261	גדילה והתפתחות של בלוטת החלב
181	הערכת תרומת שומן	263	הבקרה ההורמונלית
	להזנת מעלי גירה		על ייצור חלב
		266	ייצור והפרשה של
183	הזנת מעלי גירה / חיים תגרי		מרכיבי החלב העיקריים
183	ייחודם של מעלי גירה וסוסיים	267	רפלקס הורדת החלב
184	מבנה מערכת העיכול	270	שגרת חליבה
	של מעלי גירה	273	דלקות העטין בבקר
192	מבנה מערכת העיכול בסוסיים		(Bovine Mastitis)
194	תפקוד מערכת העיכול	285	חליבה מכנית / עזרא שושני
209	הערכת תרומתם של המזונות	285	עקרונות החליבה
	ותוצרי פירוקם להזנת מעלי גירה	288	תת־לחץ וחליבה
213	תיאור המזונות המקובלים	291	מרכיבי מערכת החליבה
	בהזנת מעלי גירה	301	מכשור נוסף במערכת החליבה
226	חומרים מזיקים, רעלים ורעלנים		
	במזונות	303	מבנים ברפת החלב / עזרא שושני
229	חומרים משפרי ביצועים	304	תכנון מבנים לבקר לחלב
229	עיבוד מזונות	306	טיפול בזבל
233	עקרונות הרכבת מנה למעלי גירה	307	סוגי מבנים
242	מחלות הקשורות בהזנת	311	מרכז החלב
	חיות משק – "מחלות מטבוליות"		

רשימת המחברים

ד"ר יואב אהרונים	מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי, משרד החקלאות.
מר חיים אפרת	שירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות.
ד"ר אמיר בור	מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי, משרד החקלאות.
ד"ר אורי בנדהיים	וטרינר, מומחה לגידול ציפורי שיר.
ד"ר אורי בר-גיא	בית הספר לרפואה וטרינרית ע"ש קורט.
ד"ר אלישע גוטויין	מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי, משרד החקלאות.
ד"ר ארנון דג	מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי, משרד החקלאות.
מר דניאל הוכמן	שירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות.
פרופ' שמואל הורוביץ	מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי, משרד החקלאות.
ד"ר שנאן הרפז	מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי, משרד החקלאות.
פרופ' דוד וולפנזון	הפקולטה לחקלאות, המזון ואיכות הסביבה, האוניברסיטה העברית.
הרב זאב ויטמן	רבה הראשי של חברת "תנובה".
מר דניאל ורנר	שירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות.
פרופ' גדעון חולתא	מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי, משרד החקלאות.
ד"ר שלמה יהב	מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי, משרד החקלאות.
ד"ר חיים לייבוביץ'	שירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות.
ד"ר רונן מלצר	שירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות.
ד"ר ברטה סיון	הפקולטה לחקלאות, המזון ואיכות הסביבה, האוניברסיטה העברית.
מר יוסף סלבצקי	שירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות.
מר גבי עדין	שירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות.
ד"ר פנחס פיין	מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי, משרד החקלאות.
מר דניאל פלודה	יועץ סביבתי.
ד"ר בנימין פרלמן	וטרינר, מומחה למחלות עופות.
ד"ר עמוס קול	וטרינר, מומחה למחלות סוסים.
ד"ר תמר קצב	הפקולטה למדעי החיים, אוניברסיטת תל-אביב.
ד"ר עופר קרול	"החקלאית".
ד"ר ישראל רזנבוים	הפקולטה לחקלאות, המזון ואיכות הסביבה, האוניברסיטה העברית.
מר שי רייכר	הפקולטה לחקלאות, המזון ואיכות הסביבה, האוניברסיטה העברית.
ד"ר עזרא שושני	שירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות.
מר יעקב שרף	משרד החינוך, האגף לחינוך התיישבותי ועליית הנוער.
פרופ' חיים תגרי	הפקולטה לחקלאות, המזון ואיכות הסביבה, האוניברסיטה העברית.
מר דן קלי	מנהל לשעבר של השירות להזרעה מלאכותית.
מר דניאל הוכמן	שירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות.
ד"ר יואל זירון	"שיאון" – אגודה להזרעה מלאכותית.

ד"ר עוזי מועלם	מרכז וולקני, מנהל המחקר החקלאי, משרד החקלאות.
ד"ר רונן מלצר	שירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות.
מר גבי עדין	שירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות.
ד"ר עופר קרול	שירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות.
מר יעקב קרייצר	שירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות.

מפתח לקיצורי מידות

מ"ג	- מיליגרם
ג'	- גרם
ק"ג	- קילוגרם
מ"ל	- מיליליטר
סמ"ק	- סנטימטר קובי
ל'	- ליטר
מ"ק	- מטר קובי
מ"מ	- מילימטר
ס"מ	- סנטימטר
מ'	- מטר
מ"ר	- מטר רבוע
מק"ל	- מגה-קלוריה
מ"צ	- מעלות צלזיוס
קמ"ש	- קילומטר לשעה

הקדמת העורך

"וַרְדּוּ בְּדָגַת הַיָּם וּבְעוֹף הַשָּׁמַיִם
וּבְכָל חַיָּה הָרֹמֶשֶׁת עַל הָאָרֶץ"
(בראשית א' 28)

גידול בעלי חיים מלווה את האדם משחר ההיסטוריה תוך שעיסוק זה מספק לו מזון, סיבים ומוצרים אחרים למיניהם. כמו לענפים אחרים בחקלאות, גם לגידול בעלי חיים נודעת השפעה על התרבות החומרית והרוחנית של האדם. יעידו על כך חפצי האמנות הרבים המתארים חיות משק, וכן משלים, סיפורים וכתבי דת העוסקים בחיי המגדלים על רגעי השמחה והצער שבהם.

כיום, הצלחה בגידול בעלי חיים דורשת לבד מניסיון מעשי רב, גם ידע מעמיק בתחומים התומכים בעשייה בענף זה וביניהם: הזנה, רבייה, השבחה, בריאות וכלכלה. הצרכן של המוצרים מן החי ער כיום יותר מתמיד לאיכות המוצר אותו הוא רוכש, להשפעת גידול בעלי חיים על הסביבה ולרווחת חיות המשק. כדי לעמוד בדרישות הצרכן ולהצליח בתחרות מול מגדלים אחרים חייב כיום המגדל לגלות בקיאות בכל אותם תחומי ידע שהוזכרו.

"הלכה ומעשה בגידול בעלי חיים במשק החקלאי" הנה סדרת ספרי לימוד אשר נכתבה ונערכה עבור תלמידי בתי הספר החקלאיים בישראל, תוך שהיא באה לענות על דרישות תכנית הלימודים לבתי ספר אלה. לכתיבת סדרת ספרים זו קובצו מיטב המומחים בתחומים השונים אשר כיוונו את כתיבתם לא רק לתלמידי בתי הספר אלא גם לסטודנטים במכללות ובאוניברסיטאות, לאנשי מקצוע ולחקלאים מתקדמים. הרצאת הנושאים בפרקי הספר השונים מתבססת על ידע כללי הקיים בעולם בתחום חקלאות בעלי חיים תוך שילוב "הניסיון הישראלי" בנושאים אלה. נוכח המגבלה באספקת מזונות לבעלי חיים מייצור ישראלי מקומי והכורח לייבא חלק גדול מהם, הלכה והתפתחה בארץ חקלאות בעלי חיים אינטנסיבית, בה הגורם המגביל לייצור אינם תנאי הסביבה ומצאי המזון, אלא היכולת הביולוגית של חיית המשק לייצר.

בצד משקים העוסקים בגידול חיות משק שעיקר התוצרת מהן מיועדת למאכל, קרי בקר, עופות, צאן ודגים, הולכים וקמים בארץ משקים העוסקים בגידול בעלי חיים למטרות תחביב. כך הדבר בגידול סוסים, גידול ציפורי נוי וגידול דגי נוי. סדרת ספרי הלימוד הנוכחית עוסקת גם באלה.

היזמה להוצאת "הלכה ומעשה בגידול בעלי חיים במשק החקלאי" היא של מר ישראל ויסנשטרן ושל מר יוסף אלימלך, אנשי המנהל לחינוך התיישבותי ועליית הנוער במשרד החינוך, התרבות והספורט, אשר ללא עידודם ותמיכתם לא הייתה סדרת ספרים זו יוצאת לאור, ועל כך שלוחה להם תודה. הוצאת הסדרה נתמכה על ידי קרן בונה־טרה.

תודה מיוחדת ניתנת למר שי רייכר, על הערותיו המועילות ועל עזרתו בעריכת הסדרה.

גידול בקר לחלב

אלישע גוטויין, דניאל הוכמן,
יואל זירון, עוזי מועלם, רונן
מלצר, גבי עדין, עופר קרול,
יעקב קרייצר, דן קלי, עזרא שושני.



גידול בקר לחלב בעולם ובישראל

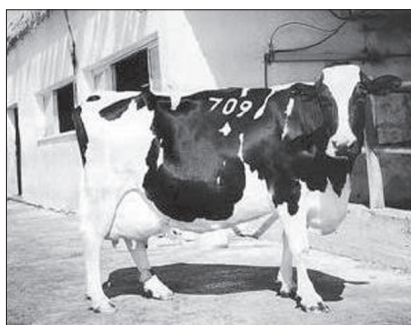


הסוג בקר (*Bos*) נכלל יחד עם סוגים קרובים לו התאו, הביזון והיאק במשפחת הפריים (*Bovidae*). בסוג בקר מבחינים בשני מינים עיקריים: בקר הבית (*B. taurus*), עמו נמנים גזעי הבקר האירופאיים וביניהם גם גזעי הבקר לחלב המגודלים כיום בישראל, והזֶבּוּ (*B. indicus*), עמו נמנים גזעי בקר הנפוצים באפריקה ובאסיה. מאפיין את הזֶבּוּ הוא הגִבּוֹן שעל גבו. גבנון זה משמש למעשה כמאגר של שומן. בניגוד לגזעים האירופאיים, הזבו עמיד למחלות טרופיות.

גזעי בקר לחלב

כיום מוכרים בעולם מספר גזעי בקר לחלב להם תפוצה נרחבת. חלק מהם טופח בעיקר לתנובת חלב גבוהה ולאיכות חלב כמו ההולשטיין־פריזי, הֶגֶרֶסִי, הגזע קצר־הקרן, הֶדְנִי־אדום, האירשייר, הגזע השווייצרי החום והֶגֶרֶסִי. גזעים אחרים כדוגמת הסימנטל מוגדרים כגזעים דו־תכליתיים, אלה טופחו לייצור חלב ולתפוקת בשר גם יחד. להלן תיאור קצר של מספר גזעים. תמונות הבקר נלקחו מאתר האינטרנט www.ansi.okstate.edu/breeds.

הולשטיין פריזי (Holshstien Friesian) ישראלי: עד תחילת המאה העשרים הבקר שגודל בארץ היה מהגזע המקומי – ה"בלאדי". פרת הבלאדי היא פרה קטנה אשר משקל גופה כ-300 ק"ג. גידול מודרני של בקר לחלב בישראל החל בסוף שנות ה-20 של המאה העשרים, עם הכלאת הבקר המקומי וכן בקר מהגזע הדמשקאי (גזע מזרח תיכוני אשר משקל הפרות הממוצע הוא כ-400 ק"ג) עם פרים מיובאים מהגזעים הולשטיין ופריזי. פרים מגזעים אלה יובאו בתחילה מהולנד ומגרמניה. בשנת 1947 הובאו פרים מגזעים אלה גם מקנדה, ומשנת 1950 ועד שנת 1962 הובאו גם מארצות-הברית. משנת 1963 רוב הפרות בארץ כבר הוזרעו בזרמה של פרים אשר נולדו בארץ. תהליך טיפוח זה של דחיקת ה"דם" הבלאדי והדמשקאי על ידי "דם" הולשטיין ו"דם" פריזי בדרך של הכלאות (ראה/י פרק "טיפוח חיות משק" בחלק המבואות בספרים האחרים של הסדרה), וסלקציה בתוך אוכלוסיית המכלואים הביא ליצירת הגזע ההולשטיין-פריזי הישראלי. הפרה הישראלית היא בעלת תנובת חלב שנתית ממוצעת של למעלה מ-10,000 ל' חלב שתכולתו הממוצעת היא 3.6% שומן ו-3.2% חלבון. משקלה הממוצע של פרת ההולשטיין-פריזי הישראלית הוא כ-650 ק"ג.



תמונה מס' 2: פרת הולשטיין-פריזי ישראלית



תמונה מס' 1: פרת בלאדי

ג'רסי (Jersey): מקור הגזע ג'רסי הוא מאי בריטי קטן בשם זה הנמנה עם איי התעלה. הג'רסי הוא כנראה גזע הבקר לחלב הוותיק ביותר בעולם. קיים תיעוד בן כשש-מאות שנה על היותו גזע טהור. באנגליה קיים תיעוד מפורט (ספר עדר) על תכונות הגזע החל משנת 1771. הג'רסי מצטיין בהרכב חלב עתיר מוצקים: כ-5.0% עד 5.6% שומן וכ-3.8% עד 4.0% חלבון. תנובת החלב השנתית הממוצעת של גזע פרות זה היא מעל 5,500 ל', כאשר שגרת החליבה היא של שתי חליבות ביום. משקל ממוצע של פרה הוא כ-400 ק"ג.

קצר-קרן (Shorthorn): מקור הגזע בצפון אנגליה בעמק פורה בשם ריס. הגזע פותח למעשה כגזע דו-תכליתי לחלב ולבשר.



תמונה מס' 4: פרה מהגזע "קצר קרן"



תמונה מס' 3: פרת ג'רסי

דני אדום (Danish Red): גזע אשר פותח בדנמרק והיה נפוץ בארצות הבלטיות. בשנות ה-90 של המאה העשרים הוחדר אליו גם "דם" מהגזע שווייצרי חום (ראה/י בהמשך).

אֵירֶשִׁיר (Ayrshire): גזע האיירשייר פותח במחוז אֵיר בסקוטלנד. הגזע ידוע עוד משנת 1800. הגזע המקומי העיקרי אשר שימש בסיס לפיתוח האיירשייר היה Teeswater stok, אשר שימש גם כגזע בסיס לפיתוח גזעים אחרים שטופחו באיי התעלה. האיירשייר מצטיין כגזע חלב במרעה. משקל פרה בוגרת כ-550 ק"ג.



תמונה מס' 6: פרת איירשייר



תמונה מס' 5: פרה מהגזע "דני אדום"

שווייצרי חום (Brown Swiss): מקור הגזע בשווייץ, שהיא ארץ הררית, בה רוב שטחי המרעה מצויים בהרי האלפים. באזורים מסוימים בשווייץ הבקר עולה לרעות בקיץ בהרים ויורד בחזרה למישורים בסתיו. בקיץ ניזונות הפרות בעיקר על ירק. החלב הנחלב משמש להכנת גבינות ייחודיות בטעמן. הגזע נחשב חזק ועמיד לתנאי שטח קשים כמו אלה השוררים בהרי האלפים.

סימנטל (Simmental): מוצא הסימנטל בעמק Simme שבשווייץ (Tal בגרמנית: עמק). בארצות שונות הגזע נקרא בשמות אחרים כגון פֶּלְקֵבִי בבווריה ובאוסטריה, פֶּיֶא־רוֹז', מוֹנְבֵּילֶאָרְד וְאַבּוֹנְדֶנְס בצרפת ופֶּזְטֶה־רוֹזָה באיטליה. גזע הסימנטל פותח למעשה כגזע תלת־תכליתי: לחלב, לבשר ולעבודה. עם תחילת תהליך המיכון במשק החקלאי והירידה בצורך להשתמש בבקר כבהמות עבודה הפך הגזע לדו־תכליתי: לחלב ולבשר. ספר־העדר הראשון של גזע זה נוסד בשנת 1806 בשווייץ. בקר הסימנטל התפשט לכל חמש היבשות, תוך שהוא משמש בנוסף לייצור חלב גם כגזע משיביו של עדרי הבקר לבשר. תנובת החלב הממוצעת של פרת סימנטל היא כ־6,200 ל', עם 4.2% שומן ו־3.45% חלבון, בממוצע. משקל פרה בוגרת כ־800 עד 1,000 ק"ג. עגלים במפטמה (מגיל 6 חודשים ועד גיל 16 חודשים) מוסיפים בממוצע 1.45 ק"ג ליום. משקל השחיטה של עגלי סימנטל בארץ הוא כ־650 ק"ג.



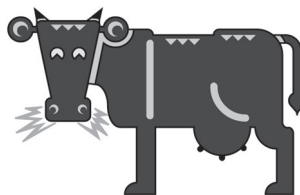
תמונה מס' 8: פרת סימנטל



תמונה מס' 7: פרה מהגזע שווייצרי חום

גידול בקר לחלב באזורים שונים של העולם

על פי נתוני ארגון המזון והחקלאות של האו"ם לשנת 2002 מנתה אוכלוסיית הבקר (לחלב ולבשר גם יחד) בעולם כ־1.3 מיליארד ראש (טבלה מס' 1). מעניין לציין כי למרות העובדה שלמעלה מ־50% מראשי הבקר נמצאו באותה שנה בארצות אסיה ואפריקה, הרי ייצור החלב בארצות אלו תרם רק כ־24% מכמות החלב העולמית. לעומת זאת, ארצות האיחוד האירופי וארצות צפון אמריקה אשר להן ביחד רק כ־18% מכלל ראשי הבקר לחלב בעולם, ייצרו 44% מכלל הכמות העולמית של חלב באותה שנה.



טבלה מס' 1: תפוצת הבקר והיקף ייצור חלב בקר בעולם בשנת 2002

מרחב גאוגרפי	תפוצת הבקר		ייצור חלב	
	ראשים (מיליון ראש)	% מהאוכלוסייה בעולם	חלב (מיליון טון)	% מהכמות המיוצרת בעולם
אפריקה	237.4	17	20.7	4
אסיה	474.7	35	98.7	20
צפון אמריקה	161.6	12	98.7	20
דרום אמריקה	310.6	23	45.9	9
אירופה*	60.5	4	90.6	18
האיחוד הארופי	80.8	6	121.8	24
אוקיאניה	40.9	3	25.9	5
סה"כ בעולם	1,366.6	100	502.3	100

* (ללא ארצות האיחוד האירופי)

בחלק ממדינות העולם, כמו לדוגמה באוסטרליה ובניו־זילנד, לענף הבקר לחלב תרומה ניכרת לכלכלת המדינה, וייצוא מוצרי חלב מהווה מרכיב חשוב בסחר החוץ שלהן.

החלב המיוצר בארצות השונות משמש לצורכי האוכלוסייה המקומית וכן לייצוא. קיים הבדל ניכר בין הארצות השונות ביעד אליו מופנה ייצור החלב שלהן. בארצות־הברית כמו בישראל רוב החלב המיוצר מופנה לצריכה מקומית. לעומת זאת, בניו־זילנד לדוגמה, 96% מסך החלב המיוצר משמש לייצור מוצרים המיועדים לייצוא. גם ארצות האיחוד האירופי ואוסטרליה נחשבות כיצואניות גדולות של תוצרת חלב, כאשר המוצרים המיוצאים הם בעיקר גבינות, אבקת חלב מלא, אבקת חלב כחוש וחמאה.

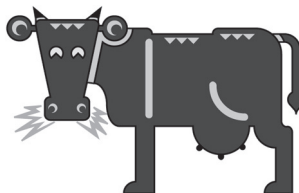
ארצות העולם שונות זו מזו גם מבחינת ארגון ייצור החלב. בארצות השוק האירופי למשל, ובכלל זה גם בישראל, קיימות מכסות ייצור חלב. מכסות אלה מחולקות בין היצרנים, כאשר במסגרת כל מדינה ומדינה ניתן לסחור במכסות. בארצות אלו רוב הרפתות הן רפתות משפחתיות קטנות וניתנת עדיפות ליצרנים חדשים המבקשים להיכנס לענף. בארצות־הברית לעומת זאת, שוק החלב הינו חופשי והוא ללא מכסות. משק החלב בארצות־הברית מאופיין ברפתות גדולות וביעילות גבוהה כאשר בכ־28% מהרפתות מעל 1,000 חולבות.

גם מבחינת ההזנה של הבקר לחלב קיים שוני בין מדינות שונות. הזנת הבקר לחלב יכולה להיות מבוססת על מזון הניתן ברפת וכן על מרעה. בישראל למשל, הזנת הבקר היא ברפת בלבד, ובשל כך עלות ההזנה יקרה יחסית, בעוד שבאוסטרליה כמו גם בניו־זילנד, כ־80% מהפרות ניזונות על מרעה טבעי ולכן עלות אחזקתן נמוכה יחסית.

גידול בקר לחלב בישראל

אוכלוסיית הבקר לחלב בישראל מנתה בשנת 2004 כ-110,000 פרות, אשר גודלו ב-188 משקים שיתופיים, ב-880 משקים משפחתיים, ב-15 רפתות של בתי ספר חקלאיים וברפת המחקר במרכז וולקני. חלק מהעדרים, בעיקר אלה שהוחזקו בקיבוצים, גדולים ומונים 300 עד 900 פרות כל אחד. העדרים הקטנים יותר מוחזקים במושבים וכוללים כ-35 עד כ-100 פרות לעדר. בנוסף, מוחזקים בתחנות הזרעה כ-250 פרים ועגלים. ענף הבקר לחלב ייצר בשנת 2004 כ-1,250,000 טון חלב. כמות זו סיפקה את מלוא התצרוכת המקומית בחלב ניגר ומוצרים. כמו כן ייצר הענף כ-55,000 עגלים, אשר לאחר פיטום נמכרו לשוק הבשר הטרי בארץ.

בשנת 1988 הוחלט לבצע רפורמה בענף הבקר לחלב. מטרת הרפורמה היו: שיפור תנאי הממשק ברפתות והתאמת תנאי הממשק לדרישות המשרד לאיכות הסביבה. הרפורמה הובילה להתייעלות הייצור תוך שינוי מבני, הכולל מעבר ליחידות ייצור גדולות יותר. במטרה לשפר את התשתית ברפתות, ניתנו למגדלים מענקים לשיפור הסככות ולשדרוג המערכות לטיפול בזבל. כדי לעודד יצירת יחידות רפת גדולות ויעילות, אפשרו לרפתנים לרכוש מכסות חלב מרפתנים אחרים שהחליטו לפרוש מהענף. רפתות החלב פזורות בכל רחבי הארץ. כדי לשמור על פריסה זו, וכן כדי לשמור כי הבעלות על העדרים תישאר בידי החקלאים, הוטלה הגבלה על נידוד המכסות. בתכנון "הרפת משפחתית" הונח כי היא יכולה לייצר בשנה מכסה של עד 800,000 ל' חלב. כמות זו אמורה לפרנס שתי משפחות: את משפחת ההורים ואת משפחת הבן הממשיך. במגזר השיתופי לא היה נידוד של מכסות. דרך נוספת לעידוד המעבר ליחידות ייצור גדולות הייתה על ידי מתן מענקים ליצירת שותפויות בענף. במגזר המושבי נוצרו מספר רפתות משותפות המייצרות מעל 1,000,000 ל' חלב לשנה, ובמגזר השיתופי רפתות המייצרות מעל 9,000,000 ל' חלב לשנה. במקביל הוחלט על שחיקה במחיר החלב המשולם לחקלאי. זאת במטרה להוזיל את עלות מוצרי החלב לצרכן. מענקי המדינה לביצוע הרפורמה הסתכמו בכ-500 מיליון ש"ח שהם כ-114 מיליון דולר במחירי חודש אפריל של שנת 2005.



מחזור הגידול בעדרי הבקר לחלב בישראל



בממשק הגידול של בקר לחלב הנהוג בישראל מופרדים העגלים והעגלות לאחר ההמלטה מהאם ומגודלים בנפרד תוך הנקה/הגמעה בחלב מבקבוקים ומדליים. כדי להרגיל את העגל לינוק מבקבוק או מדלי נהוג להכניס לפי העגל שאך נולד אצבע אשר מדמה את פטמת האם. העגל יתחיל בפעולת מציצה-יניקה, וכאשר יגישו לו את הבקבוק או הדלי הוא ימשיך וישתה את החלב מהם. תקופת היניקה נמשכת חודשיים עד 2.5 חודשים עד לגמילה. לאחר הגמילה עוברים העגלים והעגלות לשלב הפיטום. שלב זה נמשך אצל הזכרים כ-10 עד 12 חודשים, כאשר בסיומו מרביתם נשחטים. מספר קטן של עגלים, צאצאי אמהות ואבות מובחרים אינו משווק לבשר. עגלים אלה מועברים לתחנת ההזרעה לבחינת התאמתם לשמש כפרים משביחים.

העגלות מגיעות לבגרות מינית בגיל ממוצע של כ-10 חודשים ולאחר שהן דורשות, הן מוזרעות בצורה מלאכותית כאשר הן במשקל ממוצע של כ-330 ק"ג ובגיל של 13 עד 14 חודשים. שיעור ההתעברות של עגלות בהזרעה ראשונה הוא כ-64%. עגלות אשר לא התעברו מהזרעה ראשונה מוזרעות שוב ושוב, עד כניסתן להיריון. היריון אצל פרות נמשך כתשעה חודשים, כאשר ידוע כי אורך ההיריון אצל גזעי בקר לבשר ארוך בכ-14 ימים בממוצע ביחס לזה של גזעי בקר לחלב. לאחר ההמלטה הופכת העגלה ל"מבכירה". זו נכנסת לשגרת החליבה הראשונה כאשר העגל או העגלה שאך נולדו מופרדים מהאם ומועברים לגידול במדור יונקים. התנובה היומית בתחילת התחלובה גבוהה יחסית והיא הולכת ויורדת בהדרגה במהלך התחלובה.

תחלובה ראשונה נמשכת בממוצע כ-347 ימים. במהלך התחלובה ולאחר הופעת דרישה, כ-90 יום לאחר ההמלטה, הפרה מוזרעת כאשר שיעור ההתעברות של מבכירות בהזרעה ראשונה הוא בממוצע 39.5%. החליבה נמשכת גם כאשר הפרה בהיריון, תוך שתנובת החלב הולכת ופוחתת. במידה ותנובת החלב של הפרה אינה יורדת לקראת ההמלטה היא עוברת תהליך "ייבוש" (ראה/י פירוט בהמשך). לאחר ההמלטה השנייה נכנסת הפרה לתחלובה שנייה, וחוזר חלילה. משך תחלובה של פרות בוגרות הוא כ-350 ימים. בממוצע, כמות החלב בתחלובה ראשונה ושנייה נמוכה יחסית לכמות החלב בתחלובות של פרות בוגרות, והיא כ-80% ו-96%, בהתאמה. רוב ההמלטות של הבקר לחלב בארץ הן המלטות של יחידים, ורק בכ-4% מההמלטות נולדים תאומים. מקרי המלטת שלישיות נדירים מאוד.

בממוצע, שוהות הפרות בעדרי הבקר לחלב עד לגיל חמש או שש שנים (סוף תחלובה שלישית), כך שבממוצע מוצאות בכל שנה כ-35% מהפרות בעדר (תחלופה). הסיבות העיקריות להוצאת פרות מהעדר הן בעיות פוריות, תנובת חלב נמוכה ודלקות עטין.

ממשק בעדר הבקר לחלב



הזנה

חלוקת העדר לקבוצות הזנה

את הפרות בעדר מקבצים למספר קבוצות לפי מצבן הפיזיולוגי כאשר החלוקה המקובלת היא:

- ❖ יבשות – פרות שאינן נחלבות;
- ❖ גבוהות תנובה – פרות בוגרות לאחר ההמלטה ועד כחודשיים-שלושה לפני תום התחלובה;
- ❖ נמוכות תנובה – פרות בסוף התחלובה ולקראת ייבוש;
- ❖ מבכירות – המבכירות מוחזקות כקבוצה נפרדת מתחילת התחלובה ועד הייבוש. המבכירה קטנה יותר מפרה בוגרת ונמצאת עדיין בשלב הגדילה. במקרה ומבכירות ישוכנו יחד עם פרות בוגרות הן תתקשנה להתחרות אתן בגישה לאבוס ועלולות לפתח דיכאון. לכן, מומלץ להחזיק את המבכירות בקבוצה נפרדת.

העדר הנחלב מחולק לקבוצות כאשר גודלן נקבע לפי הספק החליבה. כאשר חולבים למשל 120 פרות בשעה הקבוצה תמנה 120 פרות. רצוי כי פרה לא תשהה יותר משעה בחצר ההמתנה של מכון החליבה.

כל העדר מקבל מנה כולית – מנה בה מזון מרוכז ומזון גס מחולקים יחד. מנה זו כוללת בלילים אשר הרכבם התזונתי נקבע בהתאם לרמת ייצור החלב. עבור עגלות הרכב הבליל נקבע בהתאם לקצב הגדילה. קיימת הקפדה על חלוקת המזון בשעות קבועות. לדוגמה, שעות האבסה הנהוגות באחת הרפתות הן כדלהלן: 04:30 – עם יציאת הפרות מחליבת הבוקר, 09:00 ו-17:30.

נהוג לקרב את המזון שבאבוס אל הפרות חמש פעמים ביום, בשעות: 10:00, 12:00, 14:30 ו-20:00 ו-22:00. כל פעולה של חלוקת מזון או קירוב המזון מעודדת את הפרות לגשת לאבוס ולאכול.

מרכז המזון

מרכז המזון הוא "המטבח" של הרפת. מכינים בו מנות לפרות נחלבות, לפרות יבשות, לעגלות, לעגלי פיטום ובליל לוולדות יונקים. מרכז המזון של רפת בת 300 חולבות אמור להכיל כ-10 תאים לאחסון גרעינים, כ-5 מכלים לתרכיזים ולתערובות, שני בורות תחמיק, עגלה מערבלת



תמונה מספר 9: מרכז מזון



תמונה מספר 10: הכנת מנה כולית בעזרת עגלה מערבלת

ומתבנים לאיחסון שחת וקש. המזון הגס מיוצר בדרך כלל במשק בעוד הגרעינים והתרכיזים נקנים.

הזנת פרות יבשות

תקופת היובש המומלצת הנה כ־60 יום, כאשר מומלץ להאריך אותה עד כ־75 יום עבור פרות רזות. מאחר ובממוצע אורך ההיריון של הפרה הישראלית הנו כ־277 יום, יש לייבש את הפרות בממוצע ביום ה־217 להריון. ההחלטה על מועד הייבוש של פרה הרה לקראת ההמלטה נעשית על פי מצבה הגופני (Body score) של הפרה. המצב הגופני נקבע לפי סולם של ציונים מ־1, שהוא מצב גופני ירוד ביותר, ועד ציון 5 הניתן לפרה שמנה מאוד. ככל שדירוג המצב הגופני של הפרה נמוך יותר, כן יוקדם מועד הייבוש (טבלה מס' 2).

טבלה מס' 2: מועד ייבוש הפרות בעדר החלב כתלות במצבן הגופני

דירוג המצב הגופני	היום בהיריון בו מתחיל הייבוש
2.5	205
2.75 עד 3.25	210
3.5 ומעלה	215

תקופת היובש הנה תקופה בה יש להקפיד במיוחד על הזנת הפרה. שלושת השבועות האחרונים של ההיריון יחד עם שלושת השבועות הראשונים של התחלובה נקראים "תקופת המעבר". בתקופה זו הדרישה התזונתית של הפרה עוברת שינוי מהיר מדרישה נמוכה יחסית בסוף ההיריון לדרישה גבוהה יחסית בתחילת התחלובה. זו נובעת מתהליכי התפתחות העטין ומייצור החלב. שינויים אלה בכמות ובאיכות המזון הנצרך על ידי הפרה מחייבים הסתגלות של מערכת העיכול, כאשר האבר העובר שינויים רבים בפעילותו במהלך תקופה הנו הכבד. ממשק הזנה נכון בתקופת היובש ובתקופה שלאחר ההמלטה יתרום לבריאות הפרה וישפיע על רמת ייצור החלב בתחלובה העוקבת.

בתקופת ה"יובש" (פרק הזמן מהייבוש ועד להמלטה הבאה) הפרות מוחזקות בשתי קבוצות: קבוצה של פרות במצב גופני טוב אשר מקבלות מנת הזנה ברמת אנרגיה נמוכה, וקבוצה במצב גופני ירוד יחסית המקבלת מנה משולבת של מנת יבשות ומנת נחלבות.

ייבוש הפרות נעשה תוך הפסקת החליבה. בחלק מהרפתות מקובל להחדיר ביום הייבוש לכל אחד מרבעי העטין שפופרת המשחררת אנטיביוטיקה בשחרור איטי. אנטיביוטיקה זו מיועדת לשמור על בריאות העטין במשך כל תקופת היובש, וכן לסייע בטיפול בדלקות עטין שהיו במהלך התחלובה. יעילותו של טיפול זה באנטיביוטיקה לטיפול בדלקות כרוניות בתקופת היובש מוטלת בספק. אצל מרבית הפרות תהליך ייצור החלב נפסק מספר ימים לאחר מועד הייבוש. רקמת העטין מתנוונת בהדרגה והיא חוזרת לתפקד ולהפריש חלב רק

לקראת ההמלטה. רוב הפרות עוברות בשלום את תקופת היובש מבחינת בריאות העטין. חלק קטן מהן לוקות בדלקת עטין, כאשר במקרים מסוימים הדלקת הפורצת עלולה להיות חריפה מאוד.

בניגוד לחולבות, המגיעות למכון החליבה שלוש פעמים ביממה, קבוצת היבשות משוכנת לעתים קרובות בסכנה הרחוקה ממרכז הפעילות של הרפת. עובדה זו עלולה להוביל להזנחה בניטור ובבקרה של בריאות הפרות היבשות. מאחר ובתקופה זו הפרות עלולות ללקות בדלקות עטין, בצליעות, בהפלות ובבעיות בריאותיות אחרות, יש לבצע מעקב שגרתי ומסודר בקבוצת היבשות על מנת לאתר תקלות אלה ולטפל בהן במועד.

קיימים שני ממשקי הזנה מקובלים לפרות היבשות, כאשר הנפוץ מביניהם הוא הכנת בליל ייחודי לקבוצת זו, שיכלול את מרכיבי המנה על פי ההמלצות. ממשק הזנה נוסף שהיה מקובל יותר בעבר, ועדיין נהוג במספר משקים, הוא מתן של שחת דגן באיכות טובה ללא הגבלה ותוספת מבליל הפרות החולבות. לכל אחד משני סוגי ממשק אלה יתרונות וחסרונות. מקובל לחלק את תקופת היובש לשתי תקופות: הראשונה נמשכת ממועד הייבוש ועד כ־21 יום לפני ההמלטה. השנייה, הנקראת "תקופת ההכנה", נמשכת מכ־21 יום לפני מועד ההמלטה הצפוי ועד מועד ההמלטה. תקופת ההכנה נקראת כך כי בתקופה זו מכינים את הפרה לקראת התחלובה.

בתקופת היובש הראשונה תכיל מנת היבשות כ־12% עד 12.5% חלבון וכ־1.4 מגה קלוריות אנרגיה־נטו־לחלב לק"ג חומר יבש. כמו כן יש להקפיד על תכולה של 70% עד 80% מזון גס במנה. מומלץ להשתמש בשחת שיבולת שועל או בשחת דגן אחר כמרכיב הגס במנת היבשות, ולא בשחת קטניות.

רצוי להאריך את תקופת ההכנה עבור פרות רזות ולקצר אותה עבור פרות שמנות (טבלה מס' 3). חשוב להקפיד כי תקופת ההכנה של פרות שמנות לא תהיה קצרה מ־10 ימים. זאת, כדי להבטיח הסתגלות של מערכת העיכול והמערכת המטבולית של פרות אלו להזנה בתקופה שלאחר ההמלטה.

טבלה מס' 3: מועד העברת פרות בהיריון להזנה על מנה משולבת כתלות במצבן הגופני

דירוג המצב הגופני	ימים בהיריון
2.5	242
3.0	245
4.0	266
5.0	269

באופן טבעי קיימת אצל הפרה במהלך תקופת היובש ועד למועד ההמלטה, ירידה הדרגתית בצריכת המזון. הרפתן לעומת זאת יעודד את הפרה לצרוך מזון רב ככל האפשר בתקופת

היובש, תוך שהוא מקפיד על מתן שיעור גבוה של מזון גס במנה. זאת, בגלל חשיבותו של המזון הגס לתנועתיות של מערכת העיכול.

הריכוז המומלץ של החלבון במנת קבוצת ההכנה הוא 14% עד 14.5%, וריכוז האנרגיה המומלץ הוא כ-1.5 מגה קלוריות אנרגיה-נטו-לחלב לק"ג חומר יבש. שיעור המזון הגס במנה במהלך תקופת ההכנה ירד לעומת התקופה הקודמת לכ-60%. בתקופה ההכנה רצוי לכלול במנה את מרב הרכיבים שיוגשו לפרה במנת החולבות לאחר ההמלטה. זאת, על מנת להשרות בפרות לפני ההמלטה התפתחות מתאימה של אוכלוסיית המק"א בכרס.

הזנת פרות חולבות

קיימים שני ממשקי הזנה מקובלים בשלוחת הפרות החולבות:

❖ ממשק של מנה אחידה: בממשק הזנה זה, המקובל במספר משקים, המנה הנה אחידה לכל שלוחת החולבות ומוגשת ללא שינוי לאורך כל תקופת התחלובה. הרכב המנה הוא כ-16.5% עד 17% חלבון ו-1.7 מגה קלוריות אנרגיה-נטו-לחלב לק"ג חומר יבש. היתרון בשיטת הזנה זו הוא מניעת משבר בעת מעבר של פרות מקבוצת הזנה אחת לשנייה. החיסרון הבולט של שיטה זו הוא היעדר קבוצת ממליטות, אשר דורשת התייחסות מיוחדת מבחינה תזונתית. חיסרון נוסף הוא השמנה של פרות נמוכות תנובה, הצורכות מנה שהיא עשירה בהשוואה למנה הדרושה להן.

❖ ממשק של מנה מדורגת: ממשק ההזנה הנפוץ יותר הוא זה של המנה המדורגת. בממשק זה כל קבוצת חולבות מוזנת במנה המתאימה לצרכיה. החסרונות העיקריים של שיטה זו היא בקושי שבהכנת מספר רב של מנות, וכן בצורך לנייד במהלך התחלובה פרות מקבוצת הזנה אחת לאחרת בהתאם לתנובת החלב שלהן. יתרונה העיקרי של שיטה זו הוא במתן מנות ייחודיות לקבוצות השונות ובעיקר לממליטות ולנמוכות התנובה.

בשיטת המנה המדורגת החולבות מחולקות לקבוצות הזנה. ברוב המקרים מבחינים בשלוש קבוצות:

- א. קבוצת ממליטות;
- ב. קבוצת חולבות גבוהות תנובה;
- ג. קבוצת חולבות נמוכות תנובה.

חשוב לציין כי המשקים שונים זה מזה בדרך חלוקת הפרות לקבוצות ההזנה. שיקולי המשק בדבר מספר קבוצות ההזנה כוללים בין השאר את מצאי המבנים ברפת ואת כושר ההכנה של מספר מנות שונות במרכז המזון. יש המקבצים את הממליטות לקבוצת הזנה אחת, בעוד שאר העדר החולב מקובץ לקבוצה אחרת ומקבל מנה אחידה. יש משקים בהם קבוצת הממליטות מחולקת לקבוצת מבכירות ולקבוצת ממליטות בוגרות. בכך ניתן לתת מענה לצורך של המבכירות במהלך התחלובה הראשונה למזון נוסף הדרוש לבניית שלד גופן. יש משקים בהם תהיה בנוסף לקבוצת גבוהות התנובה וקבוצת נמוכות התנובה גם קבוצת בינוניות תנובה.

א. **הזנת קבוצת ממליטות:** כפי שהוזכר, צריכת המזון של הפרה הולכת ויורדת עד לשפל החל ביום ההמלטה. עקת ההמלטה יחד עם גורמים מטבוליים והורמונליים שונים מעורבים בדיכוי צריכת המזון סביב ההמלטה. לאחר ההמלטה, צריכת המזון של הפרה הולכת ועולה עד שהיא מגיעה לשיאה, כ־10 עד 12 שבועות לאחר ההמלטה. בשבועות הראשונים לאחר ההמלטה צריכת המזון של הפרה אינה מספקת את צרכיה, והפרה מפרקת רקמות גוף על מנת להשלים את המחסור. פירוק מוגבר של רקמות גוף עלול לגרום להתפתחותן של הפרעות מטבוליות שונות.

קבוצת הממליטות תכלול פרות שאך המליטו ופרות שהן בשלב של עד כשלושה שבועות לאחר ההמלטה. בדרך כלל, קבוצה זו קטנה והיא תשוכן קרוב למרכז הפעילות של הרפת, על מנת לאפשר מעקב צמוד ככל שניתן אחר הפרות בתקופה הרגישה ביותר שלהן במחזור התחלובה. מטרתה העיקרית של תכנית ההזנה של קבוצת הממליטות היא להגביר את יכולתה של הפרה לספוג חומרי מזון ממערכת העיכול ולצמצם את הצורך בפירוק רקמות גוף. מטרה זו יכולה להיות מושגת בין היתר על ידי הגברה של צריכת המזון. במנת הממליטות קיימת העדפה להעלות את ריכוזי האנרגיה והחלבון, מבלי לפגוע בשיעור המזון הגס שבמנה. המזון הגס חשוב מאוד לפעילות תקינה של מערכת העיכול, במיוחד סמוך למועד ההמלטה.



ריכוז החלבון במנה של קבוצת הממליטות יהיה 18% עד 18.5% וריכוז האנרגיה יהיה 1.75 עד 1.8 מגה קלוריות אנרגיה-נטו-לחלב לק"ג חומר יבש. כדי לעודד את צריכת המזון רצוי להשתמש בעת הכנת מנת ממליטות ברכיבי מזון איכותיים ביותר. לאחרונה גוברת הנטייה להשתמש במנת הממליטות בתוספים תזונתיים שונים על מנת להגביר את הספיגה של מקורות אנרגטיים זמינים כגון פֶּרֹפִּילִין גֶּלִיקוֹל. כדי להגביר את זמינות מקורות האנרגיה ניתן להשתמש גם ברכיבי מנה שגורתיים כגון שעורה, הידועה כבעלת פריקות גבוהה מאוד בכרס. ניתן ליישם שיטות ממשק שונות להגברה של צריכת המזון בקבוצת הממליטות וביניהן הגברה של תדירות החלוקה וקירוב המזון באבוס.

ב. **הזנת קבוצת גבוהות תנובה:** כאמור, לאחר כ־3 שבועות בקבוצת הממליטות עוברות הפרות לקבוצת גבוהות התנובה. במועד העברתן לקבוצה החדשה רוב הפרות כבר מגיעות לתנובות גבוהות מאוד, כאשר השיא בתנובת החלב מתקבל כ־50 עד 60 יום לאחר ההמלטה. צריכת המזון בקבוצה זו תהיה גבוהה יחסית לקבוצת הממליטות, אבל עדיין רחוקה משיא צריכת המזון המתקבל כ־80 עד 90 יום לאחר ההמלטה. ריכוז החלבון במנת גבוהות תנובה יהיה כ־16.5% עד 17% וריכוזי האנרגיה יהיו כ־1.7 עד 1.75 מגה קלוריות אנרגיה-נטו-לחלב לק"ג חומר יבש.

ג. **הזנת קבוצת בינוניות תנובה ונמוכות תנובה:** כפי שצוין לעיל, קיימת שונות רבה בין המשקים בחלוקת העדר לקבוצות הזנה. בשיטת ממשק זו ייעשה מעקב יומי, או אחת לשבוע אחר תנובת החלב וכן אחר המצב הגופני של הפרות. בהתאם לנתונים ייקבע מועד העברתן לקבוצת בינוניות או נמוכות תנובה. בקבוצות הזנה אלה ריכוז החלבון במנה יורד לכדי 15% עד 15.5% וריכוז האנרגיה ל-1.55 עד 1.6 מגה קלוריות אנרגיה-נטו-לחלב לק"ג חומר יבש. השונות בתנובות החלב בין המשקים, וכן שיטות הממשק השונות, גורמות למגוון הרכבים של מנות עבור פרות בינוניות ונמוכות תנובה. לכן, לא ניתן לקבוע הרכבים מומלצים לקבוצות הזנה אלה.

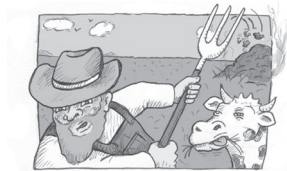
צינון הפרות

כדי להקל את עומס החום על הפרות בחודשי הקיץ והסתיו המוקדם, מיושם בארץ ממשק צינון על ידי מקלחות ואוורור בעזרת מאווררים. המקלחות ניתנות מספר פעמים ביום בסככות ובחצר ההמתנה של מכון החליבה.



טיפול בזבל

שיכון הפרות ברפת החלב הוא בשתי צורות שכיחות של סככות: סככת "קוראל" וסככת "לכיש". נהוג לנקות את פס ההאבסה (המִדְרֶךְ הצמוד לאבוס) כל יום, כאשר שאריות האוכל מגורפות לאזור הנקרא "לגונה" הנמצא בקצה החצר. בקוראל אין מנקים את החצר כל הקיץ. הזבל המתייבש בשמש נאסף לערמה בסוף הקיץ ומשמש כריפוד בסככות במשך החורף. בסככות לכיש מוציאים את הזבל פעמיים בשנה. ערכו של הזבל נמוך. נהוג כי הקבלן אשר מוציא את הזבל מקבל אותו כתשלום עבור הפינוי.



כוח אדם

הצוות ברפת גדולה כולל מנהל או מִרְכָּז האחראי לניהול העבודה מִדֵּי יום, לקניית מזונות, לשיווק הבקר ולקשר עם גורמים מקצועיים. לעובדים הוותיקים בצוות יש אחריות על שלוחה או

על נושא מסוים, לדוגמה: אחראי על בריאות ופוריות הבקר אשר תפקידו לאתר בהמות חולות ולדאוג לטיפול בהן, וכן לדאוג להזרעת הפרות והעגלות בייחום. עובד אחר יהיה אחראי על היונקייה ועל טיפול בולדות עד גמילה. עובד נוסף יהיה אחראי על שלוחת העגלות והטיפול בהן מגיל גמילה (כחודשיים) ועד להמלטה. כמו כן, יהיו עובדים האחראים על המפטמה בה מגודלים העגלים מגיל חודשיים ועד שיווק, על תחזוקת מכון החליבה, על מרכז המזון ועל הפעלת העגלה המערבלת וחלוקת המזון. החליבות מבוצעות על ידי חברי הצוות הקבועים ובנוסף על ידי עובדים זמניים. מקובל כי דרושים כ-7 עד 8 ימי עבודה לשנה לאחזקת פרה וצאצאיה.



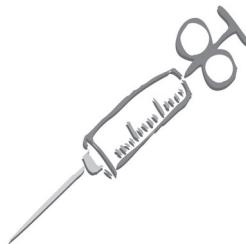
תוכנות ניהול

ניהול הרפתות כיום ממוחשב. תוכנת הניהול מרכזת את המידע על ביצועי כל פרה ופרה, כולל נתונים על ייצור חלב, הזרעות, המלטות ואירועים בריאותיים. מידע זה מועבר מהמשק למרכז ספר-העדר הארצי. זה מעביר חזרה למשק דוחות ובהם ניתוח נתוני ייצור, רבייה, ערך הייצור בחלב מושווה מחיר (חמ"מ) וערכים בדבר הדירוג הגנטי של הפרות והעגלות. הכנת המנות מתבצעת תוך שימוש בתוכנה, בעזרתה ניתן להרכיב את המנות הדרושות בדרך הזולה ביותר.



חיסונים

השירותים הווטרינריים מחסנים כל שנה עגלות עד גיל 8 חודשים כנגד זן מס' 19 של מחלת הפה והטלפיים וכנגד קדחות. כמו כן מחסנים על פי בקשת המשק כנגד בוטוליזם.

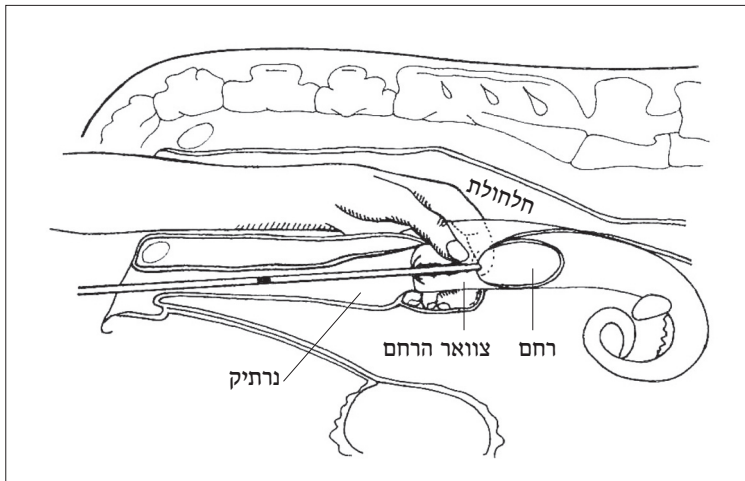


ממשק רבייה

הזרעה: פרות מזריעים כ-90 יום לאחר ההמלטה (90 ימי מנוחה). עגלות מזריעים לראשונה בגיל של כ-13.5 חודשים. הגשת הפרות להזרעה נעשית על סמך המידע המתקבל מִפְדוֹמְטְרִים – התקנים המונים את מספר הצעדים שהפרה צעדה במהלך היממה. בעת הייחום הפרה צועדת יותר מהרגיל. הגשת עגלות להזרעה נעשית על סמך תצפית על התנהגותן. בכל מקרה, נהוג להזריע את הפרות או את העגלות רק לאחר שמוודאים אצלן ייחום עמידה. קיימות שלוש שיטות לביצוע הזרעה מלאכותית:

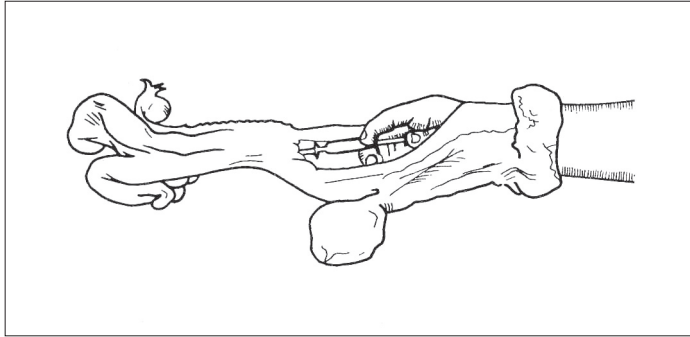
❖ **הזרעה בסֶפְקוּלוּם:** מכשיר זה הוא צינור העשוי זכוכית או מתכת. הספקולום מוחדר לנרתיק הפרה ומאפשר הסתכלות והחדרת קפילרה (צינורית זכוכית דקה) המכילה זרמה לצוואר הרחם. הזרמה מוזרקת ומשוחררת על פתח צוואר הרחם. שיטה זו הייתה נהוגה בישראל בעבר.

❖ **הזרעה רֶקְטו־וַאֲגִינָלִית:** בשיטה זו מכניס המזריע את ידו לתוך המעי הגס של הפרה ולופת את צוואר הרחם הנמצא מתחת למעי הגס. בידו השנייה הוא מחדיר קפילרה המכילה זרמה לתוך הנרתיק, ועל ידי מישוש הוא מוליך את הקפילרה לצוואר הרחם שם מוזרקת הזרמה. שיטה זו מקובלת בעולם והיא השיטה הנהוגה כיום גם בישראל. בשיטה זו כל כמות הזרמה מוחדרת ישירות לרחם (ראה/י תמונה מס' 11).



תמונה מס' 11: הזרעה רקטו־ואגינלית (מתוך האנציקלופדיה לחקלאות)

❖ הזרעה צְרוּיקָאֵלִית (בנרתיק): בשיטה זו המזריע מכניס את ידו לתוך הנרתיק, לופת את צוואר הרחם ומחדיר קפילרה המכילה זרמה לתוך גוף הרחם. שיטה זו מקובלת בהזרעת סוסות וכן בהזרעת פרות בחלק ממדינות מזרח אירופה. חסרונה של שיטה זו הוא החשש מפני זיהום מערכת המין של הנקבה כתוצאה מהחדרת יד המזריע לנרתיק הפרה (ראה/י תמונה מס' 12).



תמונה מס' 12: הזרעה צְרוּיקָאֵלִית (מתוך האנציקלופדיה לחקלאות)

בדיקת היריון: רק חלק מהפרות מתעברות בעקבות ההזרעה. פרות שלא התעברו ומערכת המין שלהן תקינה יחזרו ויידרשו לאחר 21 יום. אצל חלק מהפרות שהתעברו, העובר מסיבות שונות מפסיק בשלב מוקדם להתפתח, ומופל. תופעה זו מכונה "ספיגת עובר". פרות בריאות ש"ספגו" את עוברן חוזרות לדרוש. במקרה זה, הדרישה תופיע מספר ימים רב יותר מ־21 יום ממועד ההזרעה.

בדיקת היריון לפרות שלא נראו בייחום נערכת כ־45 יום לאחר מועד ההזרעה האחרון. הבדיקה מתבצעת על ידי רופא העדר. במהלך הבדיקה המכונה "בדיקה רקטלית", הרופא מחדיר את ידו למעי הפרה דרך פי הטבעת (רקטום) וממשש את הרחם מבעד לדופן המעי. מצב של היריון נקבע על פי מספר מדדים: גודל הרחם, הבדל בגודל קרני הרחם, התפתחות שליה בקרן הקרובה לשחלה בה התרחש ביוץ והתפתחות כלי דם.

פרה אשר אובחנה כהרה ממשיכה את התחלובה כרגיל. כאשר הרופא אינו קובע מצב היריון, הפרה תיבדק שנית לאחר כשבוע כדי לוודא כי היא אכן אינה בהיריון. אם גם בבדיקה שנייה נמצא כי הפרה אינה בהיריון, יבחון הרופא על ידי מישוש את מצב השחלות שלה. במקרה של בעיה כגון הופעת גוף צהוב קבוע יינתן טיפול הורמונלי. פרה שאינה בהיריון תיכנס מחדש למעקב ייחומים עד לגילוי דרישה והזרעה נוספת.

טיפול בפרה בתקופת היובש: פרות לפני ההמלטה נמצאות בתקופת היובש. בתקופה זו מנת המזון של הפרות כוללת רמה נמוכה של אנרגיה. זאת, כדי למנוע השמנת יתר של הפרות. יש לדאוג כי פרות לפני ההמלטה תקבלנה במנת המזון או בזריקות מינרלים וויטמינים החשובים להתפתחות הוולד, כגון: ויטמין A, ויטמין E, סלניום ויוד.

המלטה: את הפרה העומדת להמליט מאתרים על פי רישומי ההזרעות ועל פי סימני התנהגות המעידים על תחילת תהליך ההמלטה. לפני ההמלטה יש לבדוד את הפרה בתא נפרד. רצוי, שתא ההמלטה יהיה מרווח דיו כדי לאפשר לממליטה לרבוץ וכן, כדי שלרפתן יהיה נוח להיכנס ולעזור בהמלטה במקרה הצורך. על תא ההמלטה להיות נקי ומחוטא. יש לנקות בין המלטה להמלטה כדי למנוע ככל האפשר הדבקה של הוולד בגורמי מחלה שונים. מומלץ שיהיו בתא ההמלטה אבוסים להזנה ומים לשתייה. כמו כן, רצוי שיהיה עול לצורך קשירת הממליטה, במידה ותזדקק לטיפולים. בנוסף לזאת, יש לסדר תאורה מספקת לשם בקרה על הממליטה בשעות החשכה.

סכנת הממליטות חייבת להיות ממוקמת במקום בו נוח לעקוב אחר הפרות ולזהות בקלות מצב של המלטה קשה. אין להשתמש בסכנת הממליטות כסכנת טיפולים בה משוכנות פרות חולות. כל זאת במטרה למנוע מעבר מחלות. סכנת היבשות גם אינה מתאימה כמקום להמלטות. שימוש בסככה שאינה מתאימה להמלטות, עלול להוביל לתמותה גבוהה יותר של בני-בקר ממספר סיבות: רמיסת הוולד על ידי פרות אחרות, טביעת הוולד בבוץ בחורף, זיהומי טבור ונגיעות גבוהה יותר של בני-הבקר בגורמי מחלה. בעדרים גדולים, בהם יכולות להתרחש מספר המלטות במהלך אותו לילה, עלולה להיווצר בעיה בזיהוי אם הוולד במידה והפרות אינן משוכנות בתאי המלטה נפרדים.



ההמלטה היא תהליך טבעי, ובמרבית המקרים אין צורך בעזרת הרפתן. רצוי שלא להטריד את הממליטה, אלא אם התעוררו בעיות במהלך ההמלטה. כאשר הרפתן נוכח במהלך ההמלטה, רצוי כי ידאג להסיר את קרומי השליה והריר מדרכי הנשימה של הוולד כדי למנוע שאיפה של נוזלים לדרכי הנשימה שלו. העגל צריך להתחיל לנשום מיד עם ניתוק חבל הטבור. עגל שאינו נושם – יש לגרות את נשימתו באמצעות הכנסת אצבע לנחיריים בתנועת סיבוב. פעולה זו מגרה את העצבים בנחיר ומזרזת את תחילת תהליך הנשימה. רוב ההמלטות מתבצעות ללא עזרה מהרפתן. מבכירה תקבל עזרה אם אינה ממליטה תוך שעתיים מרגע שאובחן תחילתו של תהליך ההמלטה. לפרה מגישים עזרה במידה והעגל לא יצא תוך כארבע שעות מתחילת ההמלטה.

כאמור, כ-4% מההמלטות הן המלטות תאומים. קיימת אפשרות בהמלטת תאומים למספר סיבוכים. בחלק גדול מן המקרים העובר הראשון מגיע לתעלת הלידה בתנוחה רגילה, אך העובר השני מגיע בתנוחת עכוז. הסיכון הנפוץ בלידת עכוז הוא קטיעת חבל הטבור של הוולד כאשר ראשו עדיין בתעלת הלידה. השתהות ארוכה מדי עד ליציאת הוולד השני לאוויר העולם ותחילת נשימתו באופן עצמאי גורמת לעיתים קרובות למוות של הוולד עקב חוסר חמצן. כמו כן, בתנוחת עכוז הריאות אינן מתרוקנות מנוזלים כמו בתנוחה רגילה דבר המגביר את קשיי הנשימה אצל הוולד. יש לציין כי קל יחסית לטפל בסיבוכים בהמלטה הכרוכים בתנוחות לא רגילות של תאומים הודות לגודלם הקטן יחסית. האפשרות לשינוי תנוחת התאומים ברחם קלה יחסית לעומת הקושי בשינוי תנוחתו של ולד יחיד וגדול. משקל הלידה של תאומים נמוך יותר ממשקל הלידה של עגלים הנולדים כיחידים. עגלים הנולדים כתאומים חלשים יחסית ומחייבים תשומת לב רבה בימים הראשונים לחייהם.

בלמעלה מ-90% מהמקרים בהם נולדים תאומים אשר אחד מהם זכר והשני נקבה, מערכת המין של הנקבה תהיה מנוונת. הנקבה תהיה לכן עקרה ותיקרא פְּרִימָרְטִין (Freemartin). ההסבר לתופעה הוא מעבר של הורמונים זכריים ונוגדנים מהעובר הזכר לעובר הנקבה דרך השליה המשותפת, דבר המביא לניוון השחלות של עובר הנקבה. מעבר דומה של הורמונים מתרחש גם בכיוון הפוך – מהעובר ממין נקבה לעובר ממין זכר, אך הפגיעה בתפקוד מערכת המין של הזכר אינה גורמת לעקרות.

טיפול בפרה לאחר ההמלטה: לאחר ההמלטה יש לאפשר לפרה הממליטה לנקות את הוולד. לחלופין, אפשר לנקות את הוולד באמצעות קש או סמרטוטים. מיד בתום ההמלטה, יש לחטא את חבל הטבור בריסוס או באמצעות טבילה בתמיסת יוד או בחומר חיטוי אחר. חבל הטבור הוא מקור סיכון לחדירת זיהום, ומכאן החשיבות הרבה שיש לפעולת החיטוי. רצוי לחזור על פעולת חיטוי הטבור גם ביום שלאחר ההמלטה, ואם יש צורך גם במהלך מספר ימים עוקבים נוספים. כאשר חבל הטבור ארוך, יש לקשור עליו במרחק של כ-15 ס"מ מהגוף חוט מחוטא, ולחתוך את יתרת חבל הטבור אשר מעבר לקשר. פעולה זו רצוי כי תתבצע רק על ידי מגדל מנוסה או וטרינר. לאחר החיתוך יש לחטא את החלק שנשאר צמוד לגוף.



גידול השגר מהמלטה ועד לגמילה



שיכון יונקים

רצוי להפריד את העגל או את העגלה מן האם מיד לאחר ההמלטה על מנת למנוע הדבקה במחלות העוברות דרך הצואה כגון בת שחפת. מומלץ לגדל את העגלים בשבועות הראשונים לחייהם בנפרד אחד מהשני, במלונות או על גבי תאים מוגבהים מן הקרקע. באופן זה נמנעת הדבקה של העגלים בחיידקים פתוגניים הגורמים לשלשולים ולמחלות אחרות. הגידול באופן נפרד מאפשר גם מעקב צמוד יותר אחר התפתחות העגלים.

שיטת הגידול במלונות של יונקים הינה השיטה המקובלת היום. בעבר גידלו יונקים בקבוצות קטנות או בתאים קטנים מאוד מוגבהים מהקרקע, אשר היו מונחים על גבי משטחי בטון באזור מקורה. שיטת הגידול בקבוצות קטנות יוצרת אפשרות של הדבקה במחלות שגר ובעיקר של אלו הגורמות לשלשולים. כמו כן, בשיטה זו אין מעקב אחר כל עגל ועגל. שיטת התאים המוגבהים מצמצמת את האפשרות להדבקה הדדית, אבל חסרונותיה העיקריים הם בכך שהתאים חייבים להיות באזור מקורה. בנוסף, הם אינם מאפשרים תנועה של היונק ולכן לא ניתן להחזיק את העגלים בתאים אלה למשך תקופה ממושכת יותר משבועיים או שלושה שבועות.

בשיטת הגידול במלונות, היונקים נמצאים בשטח פתוח וכל עגל משוכן במלונה מקורה. בדרך זו היונקים אינם חשופים להדבקה כמו בגידול בקבוצה, וכמו כן קיים מעקב אחר בריאות כל עגל ועגל. שיטה זו גם מאפשרת מעקב אחר צריכת המזון של העגל ואחר התפתחותו, ומאפשרת גידול נינוח ורגוע יותר של היונקים, דבר המתבטא במזג נוח יותר שלהם בהמשך הגידול. החיסרון של הגידול במלונות הוא בתוספת עבודה הנדרשת לתחזוקה שוטפת. מומלץ להשאיר את העגלים במלונות עד לגמילה. אולם ניתן גם להוציאם לאחר כ-3 עד 4 שבועות ולגדלם בקבוצות קטנות. בדרך כלל מועד הוצאת העגלים מהמלונות נקבע על פי מצאי המלונות ברפת ותדירות ההמלטות.

הגמעה בקולוסטריום

הרכב הקולוסטריום

הקולוסטריום הוא החלב המופרש מעטין הפרה בזמן ההמלטה ובמהלך תקופה קצרה לאחריה. חלב זה שונה בתכלית מחלב המיוצר במהלך התחלובה הן בהרכבו והן ברמת הנוגדנים שבו כמפורט בטבלה מס' 4.

טבלה מס' 4: השוואת הרכב חלב להרכב קולוסטרום

מדד	קולוסטרום	חלב
צפיפות (גרם/סמ"ק)	1.056	1.032
שומן (%)	6.7	4.0
חלבון כללי (%)	14.0	3.1
קזאין (%)	4.8	2.5
סה"כ Ig (% נוגדנים)	6.0	0.09
IgG ₁ (מ"ג/מ"ל)	46.4	0.58
IgG ₂ (מ"ג/מ"ל)	2.87	0.06
IgM (מ"ג/מ"ל)	6.77	0.09
IgA (מ"ג/מ"ל)	5.36	0.08
לקטוז (%)	2.7	5.0
אפר (%)	1.11	0.74
Ca (%)	0.26	0.13
Mg (%)	0.04	0.01
K (%)	0.14	0.15
Na (%)	0.07	0.04
ויטמין A (mg/100ml)	295	34
ויטמין D (IU/g fat)	1.5	0.4
ויטמין E (mg/100ml)	84	15
תיאמין (mg/ml)	0.53	0.38
ריבופלבין (mg/ml)	4.83	47.1
ויטמין B12 (mg/100ml)	4.9	0.6
חומצה פולית (mg/100ml)	0.8	0.2

הקולוסטרום הוא מקור הנוגדנים הבלעדי לעגל וחשיבותו בראש ובראשונה ביכולתו לספק לעגל חיסון פסיבי. מאחר והעגל נולד ללא כל נוגדנים, ספיגה של נוגדנים מהקולוסטרום מגינה עליו מפני גורמי מחלה, והכרחית לבריאותו בחודשים הראשונים לחייו. קולוסטרום מהחליבה הראשונה לאחר ההמלטה מכיל הרבה יותר חלבון, שומן, מינרלים, ויטמינים ונוגדנים מאשר קולוסטרום שנחלב בחליבה שנייה או שלישית. רמות הנוגדנים בקולוסטרום יורדות באופן משמעותי מהחליבה השנייה ואילך: ריכוז הנוגדנים בחליבה השנייה יורד למחצית מרמתו בחליבה הראשונה, ובחליבה החמישית ריכוז הנוגדנים מגיע לרמה הנמצאת בחלב רגיל במשך

כל תקופת התחלובה. קיים הבדל בין פרות ברמות הנוגדנים בקולוסטרום הראשון. לשונות זו יש חשיבות בקביעת סוג וכמות הקולוסטרום שיש לתת לבן הבקר במהלך ההגמעה.

הנוגדן העיקרי בקולוסטרום הוא מסוג IgG_1 . זאת, בשל העברתו באופן בררני מדם הפרה לבלוטת העטין. המעבר של IgG_1 לעטין מתחיל 4 עד 6 שבועות לפני ההמלטה. ריכוזו בקולוסטרום מגיע לרמות הגבוהות פי 2 עד פי 10 מריכוזו בדם.

קבוצות הנוגדנים האחרות (IgA , IgM , IgG_2) נמצאות גם הן בקולוסטרום, אולם בריכוזים נמוכים יותר ביחס לרמתו של IgG_1 , ומנגנון העברתם מדם הפרה לקולוסטרום שונה גם הוא מזה של IgG_1 .



תמונה מס' 13: מלונה לשיכון עגלים

חלק גדול מהנוגדנים שבקולוסטרום המוגמם לבן הבקר בשעות הראשונות שלאחר ההמלטה עובר דרך דופן מערכת העיכול אל מערכת הלימפה ואל מערכת הדם, ומשם לכל חלקי הגוף. שם הם ממלאים את תפקידם בהגנה מפני גורמי מחלה חיידקיים או ויראליים. נוגדני הקולוסטרום עוזרים גם במניעת מחלות מעיים בהם נמצאים הן נוגדנים שלא נספגו במערכת העיכול והן נוגדנים שנספגו והופרשו בחזרה למערכת העיכול.

בני־בקר שלא ספגו כמות מספקת של נוגדנים, נמצאים ברמת סיכון גבוהה ועלולים לחלות בשלב הינקות. ריכוז הנוגדנים הנחוש בסרום בן הבקר כדי למנוע את תחלואתו תלוי בתנאי הסביבה ובחומרת החשיפה שלו לגורמי מחלה. עגל הגדל במרעה או זה שגדל במלונה מבודדת בשבועיים הראשונים לחייו נתקל בפחות גורמי סיכון, ולכן הוא זקוק לרמת נוגדנים נמוכה

יחסית. כיוון ש-IgG₁ הוא, כאמור, סוג הנוגדן השכיח בקולוסטרון, משתמשים בריכוזו בסרום בן הבקר כמדד לרמת ספיגה פסיבית של הנוגדנים. מחקרים הראו שבמרביית התנאים רמות IgG₁ בסרום עגלים, הגבוהות מ-10 ג' לל' מספיקות לצמצום תחלואת בני-הבקר. המטרה בהגמעת הקולוסטרון היא להגיע לפחות לרמה של 10 ג' לל' (1,000 מ"ג לדצילטר IgG₁ בסרום).

שני הגורמים העיקריים הקובעים את המידה של קליטת הנוגדנים שבקולוסטרון על ידי העגל הם פרק הזמן שחלף מההמלטה ועד לתחילת ההגמעה וכמות הנוגדנים בקולוסטרון. יש לדעת, כי יכולת ספיגת הנוגדנים על ידי מערכת העיכול של העגל יורדת באופן ניכר בתקופת הזמן שבין 6 השעות ל-12 השעות הראשונות שלאחר ההמלטה. כעבור 24 שעות מההמלטה יכולת ספיגה זו נעלמת כמעט לחלוטין. לכן, יש חשיבות רבה להגמעת כמות מספקת של קולוסטרון עשיר בנוגדנים מיד לאחר ההמלטה. ידוע, כי קיים הבדל בין בני-הבקר ביעילות הספיגה של הנוגדנים. במטרה לקבל רמות מתאימות של נוגדנים בסרום גם בבני-בקר בעלי ספיגה נמוכה, נמצא כי יש צורך להגמיע בהגמעה ראשונה כמות של לפחות 100 ג' נוגדני קולוסטרון, ורצוי אף מעל 150 ג'. מסיבה זו רצוי להגמיע כמות גדולה ככל האפשר של קולוסטרון בהגמעה ראשונה ושנייה, כך שסך כל הכמות שתוגמעה בהגמעות אלו תהיה של 7% עד 10% ממשקל גוף העגל.

גורמים המשפיעים על טיב הקולוסטרון:

- ❖ מספר המלטה – רצוי לאסוף קולוסטרון מפרות בהמלטה שנייה ואילך כאשר הקולוסטרון הטוב ביותר מתקבל מפרות בהמלטה שלישית.
- ❖ אורך תקופת יובש – רצוי כי משך תקופת יובש לפני ההמלטה יהיה למעלה מ-60 יום.
- ❖ כמות קולוסטרון נחלב – כמות רבה מאוד של קולוסטרון בחליבה ראשונה תלווה בריכוז נמוך יחסית של נוגדנים.
- ❖ הזנת הפרה – חסר תזונתי במהלך ההיריון יפגע באיכות הקולוסטרון (הדבר נוגע בעיקר לעדרים שבמרעה).
- ❖ המצב גופני של הפרה – איכות הקולוסטרון של פרות להן שיפוט גופני מתחת ל-3 ירודה.

מאחר והפרות נבדלות מאוד באיכות הקולוסטרון שלהן, גם אם נלקחים בחשבון המדדים שצוינו, הרי רצוי לערוך קביעה ישירה של טיב הקולוסטרון המוגש לעגל. המדד הטוב ביותר לקביעת איכות הקולוסטרון הוא משקלו הסגולי, אשר ניתן למדידה באמצעות קולוסטרִימֶטֶר. משקל סגולי של 1.050 או יותר מצביע על קולוסטרון באיכות גבוהה. יש להמתין כשעה מהחליבה לפני ביצוע המדידה, מאחר ואת בדיקת איכות הקולוסטרון יש לבצע כאשר הוא נמצא בטמפרטורה של 24 מ"צ.

דרכים להגמעת העגל בקולוסטרון:

א. יניקה טבעית: שיטה זו נהוגה בבקר לבשר. בני-הבקר נמצאים עם הפרה בשטח פתוח

שבו רמת גורמי התחלואה נמוכה, ולכן גם רמת נוגדנים נמוכה מספיקה להם. בבקר לחלב שיטה זו אינה מומלצת, כיוון שאין למגדל שליטה על הכמות ועל האיכות של הקולוסטרום שגמיע בן הבקר. גורמים כדוגמת חולשה של העגל או עטין נמוך של הפרה עלולים למנוע או לעכב יניקה של קולוסטרום.

ב. הגמעה ידנית: בשיטה זו יש למגדל אפשרות לקבוע את זמן ההגמעה וכן את הכמות ואת האיכות של הקולוסטרום הניתן לבן הבקר. ב-6 השעות הראשונות שלאחר ההמלטה מוגמיע בן הבקר בכמות של 3 עד 4 ל' (7% עד 10% ממשקל גוף) קולוסטרום בהגמעה אחת או בשתי הגמעות, כאשר ההגמעה ראשונה ניתנת תוך שעותיים מההמלטה בכמות של 1.5 עד 2 ל', והגמעה שנייה של כמות דומה ניתנת תוך שעותיים נוספות.

ג. החדרת הקולוסטרום לקיבה באמצעות צינור: שיטה זו אינה מומלצת. יש להשתמש בה רק במקרים חריגים שבהם בן הבקר חלש ואינו מראה נכונות או יכולת לגמוע קולוסטרום לבד.

שימור קולוסטרום:

ניתן לשמור קולוסטרום במקרר בטמפרטורה של 4 מ"צ למשך 7 ימים מבלי שאיכותו תיפגע באופן משמעותי. שימור הקולוסטרום לאורך זמן (חודשים ואף שנים) ייעשה במקפיא בטמפרטורה של 18 מ"צ מתחת לאפס. הפשרת הקולוסטרום צריכה להיעשות במים חמימים בטמפרטורה של עד 55 מ"צ, כדי למנוע את הרס הנוגדנים. הפשרה במים החמים מ-55 מ"צ תגרום להרס של חלק מהנוגדנים ותפגע באיכות הקולוסטרום. ניתן להפשיר קולוסטרום במיקרוגל, אך יש לשים לב שלא להביאו לטמפרטורות גבוהות מדי.

הזנת בני־בקר עד הגמילה

בריאותו ודרך התפתחותו של העגל תלויים באופן הזנתו. קיימת חשיבות רבה לכמות המזון ולאיכותו וכן לדרך בה הוא ניתן. מזינים עגלים בחלב או בתחליפי חלב ובמזון מרוכז. העיקרון המנחה בהזנה יעילה של בני־בקר הוא מעבר מהיר ככל האפשר מהזנה על חלב או על תחליפי חלב להזנה על מזון מוצק, כל זאת מבלי לפגוע בהתפתחות העגל. לאחר ההגמעה בקולוסטרום, מקובלים בבקר לחלב שני ממשקי הזנה עיקריים בתקופת הינקות: ממשק גידול המבוסס על הגמעה בחלב וזה המבוסס על הגמעה בתחליף חלב.

הגמעה בחלב:

החלב המלא הוא מוצר המזון הטוב ביותר ליונק. כאמור, החלב מכיל כ-4% שומן, כ-3% חלבון, כ-4% עד 5% לקטוז, ובסך הכול כ-12% חומר יבש. ריכוז האנרגיה הכללית בחלב הוא כ-5.6 מק"ל לק"ג חומר יבש או 0.7 מק"ל לל' בנעכלות של 95%. כלומר אנרגיה נעכלת (DE) של 0.67 מק"ל לל'. הקזאין מהווה 80% מחלבוני החלב.

בני-הבקר זקוקים ל-50 ק"ל אנרגיה נעכלת (DE) לק"ג משקל גוף ליום לקיום, ו-3 קק"ל אנרגיה נעכלת לכל גרם גדילה. לדוגמה: עגל שמשקלו 45 ק"ג, זקוק ל-2,250 קק"ל אנרגיה נעכלת או ל-3.6 ל' חלב ליום (7.6% ממשקל הגוף). בפועל, היונקים מקבלים כ-8% עד 10% ממשקל גופם ליום. הגמעה של חלב בכמות השווה ל-10% ממשקל הגוף תומכת בקצב גדילה של כ-0.25 ק"ג/ליום. צריכה במקביל של מזון מוצק מאפשרת גדילה מהירה יותר. בעבר נהגו להגמיע פעמיים ביום. נמצא כי מגיל 10 ימים ואילך ניתן להגמיע פעם אחת ביום בלבד ללא פגיעה משמעותית בקצב הגדילה או בבריאות העגלים.

קולוסטרום הנחלב מפרה או ממבכירה עד כ-6 חליבות לאחר הקולוסטרום הראשון מכונה קולוסטרום שני. זה עשוי לשמש כמזון ליונקים. חלב זה עשיר מאוד בנוגדנים, וכן בחלבון, בשומן, במינרלים ובוויטמינים. כך, שלבד מהיתרון של הקולוסטרום הודות לנוגדנים שבו, הוא נחשב למזון משובח. עד כ-7 ימים לאחר ההמלטה אין כל בעיה בהגמעת הקולוסטרום השני. מעבר לתקופה זו יש חשש לשלשולים בשל הריכוז הגבוה של חלב זה. לפיכך, במקרה של הופעת שלשולים – יש למהול את הקולוסטרום השני ביחס של 1:1 במים.



שימוש בתחליפי חלב:

תחליפי החלב זולים יותר מחלב, ובשל כך השימוש בהם נרחב. אבקת חלב ואבקת מי-גבינה מתוקים הם המרכיב העיקרי בתחליפי חלב. לשם איזון יחס האנרגיה והחלבון – מוסיפים לאבקת החלב שומן ותרכיז חלבוני מהחי או מהצומח. כמו כן, מוסיפים ביחס מתאים מינרלים, ויטמינים, חומרים מתחלבים, תרכובות מונעות חמצון, מזרזי גדילה וקוקסידיוסטטים (חומרים המעכבים גדילת חיידקים). תחליפי החלב משווקים כאבקה ומומסים במים לפני הגמעתם לבני-הבקר.

מומלץ להגמיע לכל הפחות 500 ג' אבקת חלב ליום המומסת בתמיסה מימית בריכוז של 125 ג' אבקה לל', בכמות נוזלים של כ-10% ממשקל גוף בן הבקר. ניתן לסטות מהמלצה זאת בהתאם לצורכי הגדילה של העגל.

בני-הבקר מוגמעים לרוב במשך 45 עד 60 יום ולאחר מכן הם נגמלים לאחר שהחלו לצרוך מזון יבש. טבלה מס' 5 מציגה מרשם מקובל לגידול עגלים בתקופת היניקה תוך שימוש בקולוסטרום, בחלב ובתחליפי חלב.

טבלה מס' 5: תכנית הזנת עגלים בתקופת היניקה

גיל בימים	סה"כ ימים	ליטרים ביום	גרם תחליף לעגל ליום	ליטרים בתקופה	הערות
0 עד 3	3	4	–	12	קולוסטרום
4 עד 7	4	4	–	16	קולוסטרום או חלב
8 עד 12	14	4	500	56	תחליף חלב
22 עד 50	29	5	625	145	תחליף חלב
51 עד 55	5	3	325	15	תחליף חלב פעם ביום

מזון מרוכז ומזון גס בהזנת עגלים:

אם כי נהוג להגיש לעגלים מזון מרוכז ומזון גס כבר בגיל 7 ימים, הרי חולפים מספר שבועות עד שהעגל מתחיל לצרוך מזונות אלה בכמות משמעותית. בנוסף לחלב או לאבקת חלב מקבלים העגלים מים באופן חופשי, וכן גישה למקור של מזון יבש. המזון היבש יכול להיות מסוג תערובת "סְטֶרְטֶר" המכילה כ-18% חלבון, או בליל יונקים המבוסס על גרעינים גרוסים או שלמים, ורכיב של מזון גס בתוך המנה. ככל שצריכת המזון היבש לקראת גמילה תהיה גבוהה יותר, עצמת משבר הגמילה תקטן.

גמילה:

גמילת היונק תיעשה כאשר מערכת העיכול והמערכת האנזימטית בה יהיו מפותחות דיין לצורך עיכול מזון מוצק בכמות של לפחות 1 ק"ג ליום. דרישה זו מתמלאת בדרך כלל בין גיל 45 יום ועד גיל 60 יום לחיי העגל. ברוב המשקים הגמילה נעשית בגיל 50 יום. גמילה בגיל מאוחר מ-50 יום אינה גורמת נזק, מאחר והאנזימים ההכרחיים לעיכול חלב ממשיכים להיות מופרשים כל עוד העגל ניזון על חלב. בני־בקר הנגמלים בגיל מאוחר, גדלים מהר יותר בתקופת חייהם הראשונה, והדבר מהווה יתרון במשקים שבהם חשובה בגרות מוקדמת. כ-10 ימים לפני מועד הגמילה יש לבצע ירידה הדרגתית בכמויות המוגמעות, עד מועד הגמילה. שיטת הגמעה זו נועדה לצמצם את משבר הגמילה.



גידול עגלות לתחלופה



כ־35% מהפרות הבוגרות מוצאות מהעדר מדי שנה. את מקומן תופסות עגלות הנולדות במשק ומושאות לגידול או עגלות או מבכירות הנקנות ממשקים אחרים. טיפול נכון בעגלות לתחלופה מבטיח קבלת פרות בריאות ועתירות תנובה. המטרה בגידול עגלות לתחלופה היא לגדל את העגלה עד להמלטה ראשונה, כך שנתונה הגופניים יאפשרו מימוש של מלוא הפוטנציאל הגנטי שלה בייצור חלב. זאת, בהוצאות גידול נמוכות ככל שניתן. רצוי כי עגלה פריזית ישראלית תמליט לראשונה כשגילה הוא כ־24 חודשים, כשמשקלה כ־615 ק"ג, וכאשר גובה השכמות שלה כ־140 ס"מ. המלטה בגודל ובמשקל שאינם מתאימים עלולה לגרום לפגיעה בייצור החלב במהלך התחלובות הראשונה והשנייה. התפתחות תקינה כפי שמוזכר לעיל, מותנית באספקה מאוזנת של אנרגיה וחלבון. אסור שההזנה במהלך תקופת הגידול תביא להשמנת יתר, מאחר וזו עלולה לפגוע בייצור החלב ולגרום לקשיים בהמלטה. עלות ההזנה בשלוחת העגלות מהווה כ־50% מכלל הוצאות הגידול. כתוצאה מכך, קביעת הרכב המנה וקצב צריכת המזון בכל קבוצת גיל הנם גורמים מרכזיים בהצלחה הכלכלית של השלוחה. קיימות שתי גישות עיקריות לגידול עגלות. גישות אלה נבדלות בעיקר בריכוז החלבון הכללי במנה ובשיעור החלבון השרירי מכלל החלבון.

גישה אחת גורסת שקצב הגדילה הרצוי בין גיל של 10 שבועות לגיל של 67 שבועות הוא כ־700 עד 800 ג'/יום. זאת, כאשר ריכוז חלבון הכללי הרצוי במנה הוא 16% בשלבים המוקדמים של גדילת העגלה, והוא יורד ל־12% בגיל ההזרעה. קצבי גדילה אלו מבטיחים כי בזמן ההמלטה הראשונה העגלה תשקול כ־550 ק"ג.

גישה אחרת טוענת כי בשלבים המוקדמים של הגדילה, בתחום של משקל גוף שבין 90 ל־180 ק"ג, יש להגדיל את ריכוז החלבון במנה ל־19% כאשר כ־40% מחלבון הוא חלבון שרידי. לקראת ההמלטה, בגיל 24 חודשים, ריכוז החלבון הכללי אמור לרדת ל־12% עד 14% כאשר כ־15% מהחלבון הוא חלבון שרידי. גם כאן היעד הוא משקל גוף של 550 ק"ג בהמלטה ראשונה.

בטבלה מס' 6 מוצגות את הדרישות התזונתיות של עגלות לתחלופה בתקופת גידולן, ודרך אפשרית לענות על דרישות אלו ברפת הבקר לחלב בישראל, תוך שימוש במזונות המקובלים במשק. מובן כי בנוסף להזנה יש להבטיח לעגלות גישה חופשית למי שתייה.



טבלה מס' 6: הרכב מנות של עגלות לתחלופה

גיל (חודשים)	משקל גוף ממוצע (ק"ג)	צריכת מזון כ- % משקל גוף	צריכת מזון (ק"ג/ יום)	חלבון כללי (%)	א. מטבולית א. נטו)	מזון גס (%)	דרך ההזנה (תחשיב לעגלה)
0 עד 2	50	2.8 עד 3.0	1.0	18.0	3.0 (1.8)	0 עד 13.0	חלב או תחליף חלב ותוספת של תערובת סטרטר או בליל יונקים
2 עד 3	80	2.8	2.25	18.0	3.0 (1.8)	0 עד 13.0	בליל יונקים חופשי
3 עד 6	140	2.7	3.0 עד 4.0	16.5	2.60 (1.65)	40.0	בליל חולבות חופשי + 1 עד 1.5 ק"ג/ראש שחת קטנית מדי יום
7 עד 12	250	2.5	5.0 עד 7.0	14.0	2.30 (1.40)	40.0 עד 50.0	בליל 14% חלבון כללי או בליל 13% חלבון כללי + 2 ק"ג בליל חולבות ליום
13 עד 18 (עד זיהוי היריון)	360	2.3	8.0 עד 9.0	13.0	2.25 (1.35)	50.0	בליל 13% חלבון כללי חופשי
19 עד 23 (עגלות הרות)	500	2.0	10.0 עד 11.0	12.5 עד 13.0	2.20 (1.30)	50.0	בליל 12.5% - 13.0% חלבון כללי מוגבל (10) עד 11 ק"ג/ ראש/ליום)
24 (הכנה להמלטה)	580 עד 600	1.7	10.0	14.5	2.55 (1.55)	55.0	בליל הכנה להמלטה ללא הגבלה

פירוט:

תערובת סטרטר - תערובת המכילה 20% חלבון על בסיס חומר יבש.
בליל יונקים - בליל המכיל 18% חלבון על בסיס חומר יבש. ניתן להכין בליל יונקים תוך שימוש בתערובת סטרטר ובתוספת גרעיני כותנה ו/או שחת קטנית משובחת.
בליל עגלות - בליל המכיל כ-70% מזון גס אשר כשליש ממנו קטנית. תכולת הבליל כ-13% חלבון על בסיס חומר יבש ו-1.3 קק"ל/ק"ג אנרגיה נטו.

במהלך תקופת גידולן מוחזקות העגלות בקבוצות הזנה אחידות ככל האפשר מבחינת גילן וגודלן. בפועל, נקבע מספר העגלות בכל קבוצה לפי מספר העגלות בעדר, פיזור ההמלטות במהלך השנה והתשתית הקיימת ברפת. פער גדול מדי בגיל או במשקל הגוף בין העגלות בקבוצה המוזנת במנה אחידה – משמעותו פערים חברתיים בקבוצה, דומיננטיות יתר של העגלות הגדולות ודיכוי העגלות הקטנות, תוך פגיעה בצריכת המזון של האחרונות. בצד הרצון להרבות בקבוצות ולקבץ לכל קבוצה עגלות בעלות נתונים דומים ככל האפשר יש לזכור, כי צמצום מספר הקבוצות מביא לחיסכון בהוצאות. מקובל להתאים את קבוצות ההזנה לשלבים השונים של התפתחות העגלה, כמו: גמילה, הזרעה והכנה להמלטה.

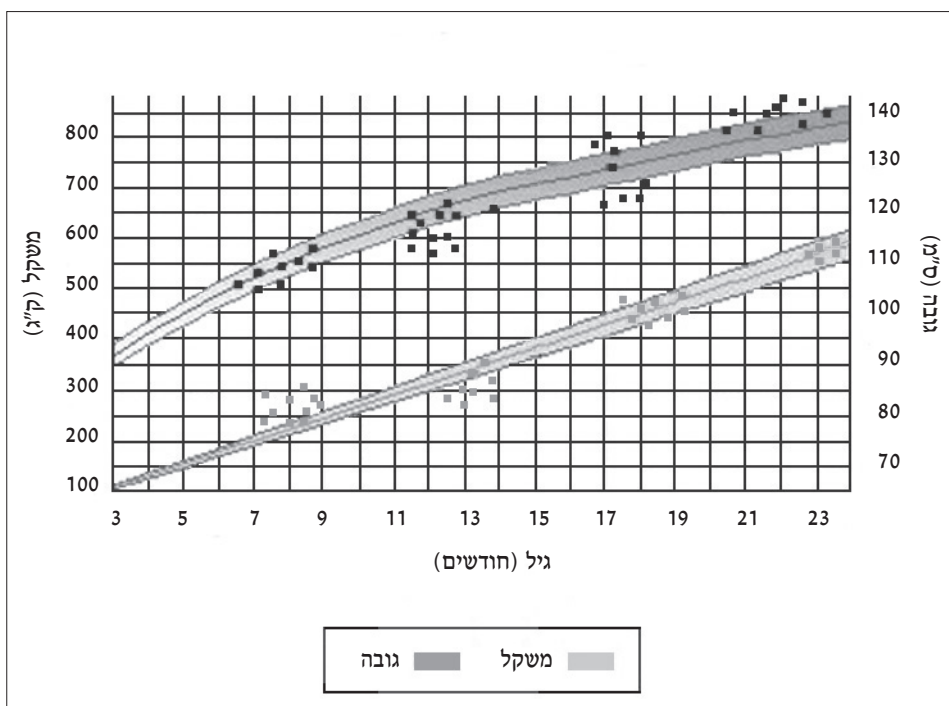


מעקב אחר ביצועי הגדילה של "עגלות תחלופה":

גורמים רבים כמו עודף או חוסר אנרגיה במנות גידול, יחס בלתי תקין של אנרגיה-חלבון במנה, שינויים בתכניות ההזנה, שינוי במספר העגלות ליחידת שטח או שינוי בהרכב הגיל בכל קבוצה עלולים להשפיע על התפתחות העגלה. מדידות גובה העגלה ומשקלה, יחד עם הערכת מצבה הגופני אחת לתקופה, מאפשרים לרפתן לעקוב אחר התפתחותה. הערכת המצב הגופני של העגלה מבוססת על הערכת כמות השומן התת-עורי. זאת, באמצעות מישוש אזור שורש הזנב והמותן, ומתן דירוג לפי סולם מ' 1 (עגלה רזה) ועד 5 (עגלה שמנה). בזמן ההתבגרות המינית יש להימנע ממצב בו חלה הצטברות רקמות שומן במערכת הרבייה וברקמות העטין. לעומת זאת, ראוי שלעגלות לקראת המלטה תהיה כמות מספקת של מאגרי שומן אותם תוכלנה לנצל לייצור חלב בשלבים הראשונים של התחלובה. משקל הגוף אינו מהווה מדד מהימן להתפתחות השלד. מעקב אחר תכונה זו נעשה תוך מדידת גובה הגוף באזור השכמות.

המדידות שהוזכרו הן כלי ממשקי חשוב, בעיקר בקביעת מועד ההזרעה הראשונה. ידוע, כי קיים קשר חיובי בין משקל העגלה בזמן ההמלטה לבין ביצועיה בתחלובה ראשונה: עגלות אשר ביום המלטתן היו באופן יחסי כבדות יותר וגבוהות יותר, הניבו גם יותר חלב. פירוט הגובה והמשקל הרצויים של עגלות במהלך גדילתן מובא בתמונה מס' 14.





תמונה מס' 14: הקשר בין משקל וגובה לבין הגיל במהלך גדילת עגלות לתחלופה בעדר הבקר לחלב בישראל

פיטום עגלים



תהליך הפיטום

פיטום (Fattening) מוגדר כתהליך אשר בו מנסים לזרז את קצב הגדילה ואת קצב הבנייה של רקמות הגוף (שריר, שומן ועצם), תוך חתירה ליעילות מרבית בתהליך ההזנה, והשגת יחס מיטבי בין הרקמות. את המושג "פיטום" מייחדים בעולם בעיקר להזנה האינטנסיבית והגדושה שמישימים לבעל החיים בתקופה האחרונה שלפני השיווק. כאמור, מטרת הפיטום היא הבאת בעל החיים למצב גופני טוב יותר ולתפוקת בשר מרובה יותר מאלו המושגים תוך הזנה על מרעה או על הזנה המבוססת על מזונות זולים שאיכותם נמוכה.

הפיטום מלווה בתוספת משקל. כאשר בעל החיים צעיר תוספת במשקל נובעת מגדילה של כלל רקמות הגוף. כאשר בעל החיים בוגר יחסית, עיקר תוספת המשקל בא מתוספת רקמת שומן. משך זמן הפיטום נקבע על פי הזמן הנדרש כדי להגיע ליחס הרצוי למגדל בין הרקמות השונות בגוף.

בחלקים נרחבים של העולם נעשה רוב פיטום הבקר במרעה. לפי שיטה זו העגל מוחזק במרעה שנתיים עד שלוש שנים, עד שמסתיימים תהליכי בניית השלד וגדילת מערכת השרירים. בעונת המרעה האחרונה מעלה בעל החיים שומן בגופו. תוצאה של פיטום במרעה היא עגלים בעלי תפוקת בשר נמוכה ובשר "זקן", קשה, כהה ובעל שומן צהבהב. פועל יוצא מכך הוא התמורה הנמוכה יחסית המתקבלת עבור הבשר של עגלים אלה.

פיטום אינטנסיבי במפטמה נועד לקצר את זמן הגידול, ולהביא את העגל בגיל צעיר ככל האפשר למשקל מתאים לשחיטה. ברוב ארצות העולם בא הפיטום לאחר שלב של גידול במרעה, או גידול תוך הזנה במזון גס וזול. בארץ, מרבית פיטום העגלים נעשה מגיל צעיר במפטמות באמצעות מזון מוגש.



הגדלת הרווחיות של תהליך הפיטום יכולה להיות מושגת על ידי הקטנת ההוצאות, הגדלת ההכנסות וכמובן שילוב של השניים. בעוד שגורמים המשפיעים על הקטנת ההוצאות הם: בחירה נכונה של בעלי חיים המתאימים לפיטום, תכנון מנת מזון מיטבית וזולה והקפדה על רפואה מונעת ואספקת תנאי סביבה נוחים, הרי הגורם העיקרי המשפיע על הגדלת ההכנסות הוא שיווק בעיתוי נכון ובמשקל מיטבי.

בדיון בנושא פיטום נהוג להבחין בין פיטום לתקופה קצרה לבין פיטום לתקופה ארוכה:

תקופת פיטום קצרה: כאן המטרה היא בעיקר לשפר את המצב הגופני של בעל החיים. שיטה זו מיושמת בבקר בוגר או קרוב לבגרות. בשיטה זו מושגת, תוך תקופה קצרה באופן יחסי, תוספת משקל רבה מאוד.

תקופת פיטום ארוכה: כאן המטרה היא להביא הן לגדילת גוף, ומכאן לעלייה במשקל בעל החיים, והן לשיפור המצב הגופני שלו. שיטה זו מיושמת בבקר צעיר כמו עגלים שנגמלו במרעה בגיל 7 עד 8 חודשים ועברו לגידול אקסטנסיבי הנמשך כמה חודשים או אפילו עד שנה שלמה.

פיטום עגלים בארץ

דרך פיטום עגלים בישראל שונה במידת מה מהמקובל בעולם עקב התנאים המקומיים המיוחדים. כאן, יחס המחירים בין מזון מרוכז לבין מזון גס שונה מאשר ברוב ארצות העולם כאשר המזון הגס יקר יחסית. בנוסף, אין בישראל כל דרישה לשומן. להפך, השוק דורש עגלים אשר כמות רקמת השומן בגופם קטנה ככל האפשר.

מקורם של רוב העגלים המפוטמים בישראל הוא ברפת החלב והם נמנים עם הגזע הולשטיין פריזי-ישראלי. לרוב מזינים עגלים אלה ביונקות בתחליפי חלב ובמזון מרוכז. פיטום האינטנסיבי של עגלים אלה נמשך מיום הולדתם ועד לשחיטתם בגיל 12 עד 14 חודשים ובמשקל שבין 420 ל-470 ק"ג.

מיעוט של העגלים והעגלות המפוטמים בארץ בא מעדרי הבקר לבשר או מייבוא. עגלים אלה נגמלים במרעה בגיל 7 עד 8 חודשים, ולאחר מכן הם מפוטמים בצורה אינטנסיבית עד לשחיטה המתבצעת בגיל שבין 14 ל-16 חודשים, כאשר העגלים מגיעים למשקל של כ-500 עד 550 ק"ג והעגלות למשקל של 350 עד 400 ק"ג.



מספר גורמים משפיעים על קצב הגדילה ועל איכות הטבחה של עגלים:

זוויג: ברוב חיות המשק הזכר כבד בממוצע מהנקבה עוד ביום היוולדו. הזכר גדל במהירות רבה יותר מהנקבה, ומגיע בבגרותו למשקל רב יותר. בבקר ובצאן ההפרש במשקל בין זוויגים בולט מאוד.

הנקבה מגיעה לבגרות מינית בגיל צעיר יותר יחסית לזכר. לאחר הגעה לבגרות מינית, המשך הגדילה מלווה בהשמנה מרובה, יחסית לתקופה שלפני בגרות מינית. בשלב זה נצילות המזון של העגלה יורדת. מקובל לכן להוציא את הנקבות לשחיטה כשמשקל גופן נמוך ממשקל גוף הזכרים. זאת, כדי להימנע ממכירת נקבות שמנות.

לזכר גם יתרון על הנקבה במבנה הגוף, בעיקר ברוחב החזה ובעומקו, וכן גם ברוחב אגן הירכיים. יחסית לאורכן, עצמות הפר עבות מעצמות הפרה.

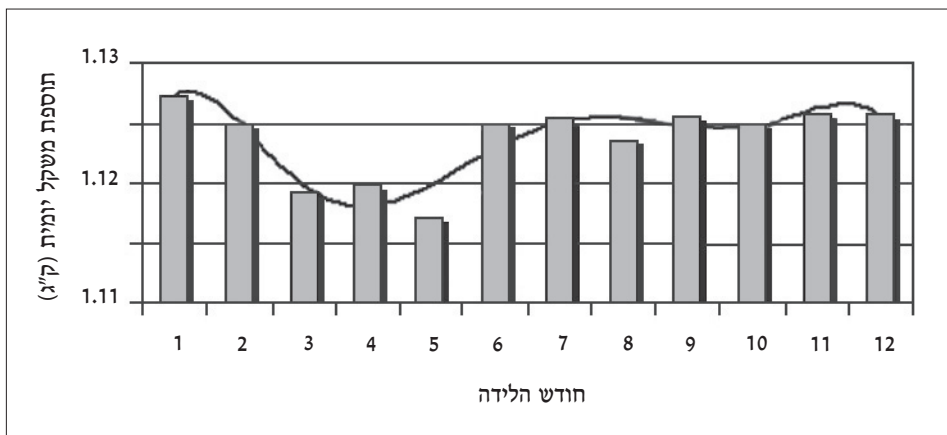
מבחינת יעילות תהליך הפיטום, זכר מסורס נמצא במצב ביניים בין זכר שלא סורס לבין נקבה, כאשר ביצועיו קרובים יותר לאלו של הנקבה. בארצות העולם נהוג לסרס עגלים צעירים המיועדים לפיטום כדי לדכא את תוקפנותם. תהליך זה אסור על פי חוקי הכשרות. אין מחלוקת בספרות על כך שבטבחות עגלים תמימים (עגלים שאינם מסורסים) יש אחוז גבוה יותר של בשר ואחוז נמוך יותר של שומן יחסית לטבחות של עגלים מסורסים או לטבחות של עגלות. לאור דרישת הצרכנים לבשר רזה, הולכת וגוברת בעולם הנטייה להימנע מסירוס הזכרים.

גודל שלד: עגלים אשר צפויים להיות בעלי שלד גדול יחסית בבגרותם גדלים בקצב גדילה גבוה יותר מאלה שבבגרותם יהיו בעלי שלד קטן.

משקל הלידה: מקובל כי בממוצע, יכולת הגדילה במהלך תקופת הפיטום (תוספת משקל ליום) קטנה יותר אצל עגלים שמשקל הלידה שלהם היה נמוך מ-38 ק"ג.

עונת השנה: קצב הגדילה הגבוה ביותר מושג בישראל באופן ממוצע בחודשי האביב. קצב הגדילה הנמוך ביותר מושג בחודשי הקיץ.

חודש הלידה: ניתן לראות בתמונה מס' 13 כי קצב הגדילה במהלך כל תקופת הפיטום של עגלים הנולדים בארץ בתקופת האביב – בחודשים מרץ עד מאי, נמוך יותר מאלה הנולדים בשאר החודשים. הדבר נובע מכך שסיום הפיטום של עגלים אלה נעשה בתקופת החורף בה הגדילה איטית יחסית.



תמונה מס' 15: תוספת משקל ממוצעת בתקופת הפיטום של עגלים שנולדו בישראל בחודשי השנה השונים

טיב המזון: נמצא, כי ארבעת הגורמים העיקריים המשפיעים על קצב הגדילה הם: ריכוזיות האנרגיה במנה, רמת החלבון במנה, צריכה יומית של חומר יבש והיחס בין מזון מרוכז לבין מזון גס (מ"מ/מ"ג).

- ❖ ריכוזיות האנרגיה: השפעת ריכוזיות האנרגיה המטבולית היא של כ-40 ג' תוספת משקל יומית לכל תוספת של 0.1 יחידות של אנרגיה בטווח ריכוזיות של 2.5 עד 2.8 מק"ל/ק"ג חומר יבש במנה.
- ❖ רמת החלבון: השפעת אחוז החלבון היא כ-58.3 ג' תוספת משקל יומית לכל תוספת של 0.5% חלבון בטווח שבין 12.5% ל-14% חלבון במנה.
- ❖ אחוז המזון המרוכז במנה: השפעת אחוז המזון המרוכז במנה היא כ-105.3 ג' תוספת משקל יומית לכל תוספת של 10% מזון מרוכז בטווח שבין 50% ל-90% מזון מרוכז במנה.
- ❖ צריכת חומר יבש: השפעת כמות החומר היבש הנאכלת היא כ-197.3 ג' תוספת משקל יומית לכל תוספת של חצי ק"ג מזון נאכל, בטווח שבין 6.5 ל-10.5 ק"ג חומר יבש נאכל ליום.

קצב הגדילה ונצילות המזון

"נצילות מזון" בפיטום בעלי חיים פירושה כמות המזון (בדרך כלל ביחידות אנרגיה) הנדרשת לייצור ק"ג משקל גוף. נצילות זו הולכת ופוחתת עם הזמן במהלך התפתחות העגלים. "נצילות ברוטו" לוקחת בחשבון את המזון הדרוש לקיום ולגדילה. "נצילות נטו" היא תצרוכת האנרגיה הדרושה לגדילת הגוף בלבד.

קצב גדילתו של בעל חיים תלוי בגילו, בזוויגו (זכר או נקבה), בכמות המזון הנאכל ובטיבו וכן בתכונותיו הגנטיות, הקובעות את הגודל המרבי אליו הוא מסוגל להגיע. עגל הניזון בשפע יגדל בקצב של כ-2 ק"ג ביום. אותו עגל כשהוא ניזון בכמות מזון בלתי מספיקה, עלול להגיע לתוספת משקל יומית של 0.2 ק"ג בלבד.

בפיטום אינטנסיבי במפטמה, נעשה מאמץ לסלק כל גורם המגביל את קצב הגדילה כדי לאפשר לבהמה לבטא את מלוא הכושר הגנטי שלה בתכונה זו. ככל שקצב הגדילה מהיר יותר – הזמן שיידרש לבהמה להגיע למשקל ולמצב גופני נאותים יהיה קצר יותר. במצב זה, כמות המזון הנצרך לקיום הגוף במהלך תקופת הפיטום תהיה קטנה יותר ו"נצילות ברוטו" של המזון תהיה גבוהה יחסית.

כדי להבטיח ניצול יעיל של המזון הנועד לגדילת בעל-חיים צעיר, יש לוודא כי היחס בין ריכוז החלבון לבין ריכוז האנרגיה במזון יהיה בתחום הרצוי. הגשת עודפי חלבון כרוכה בהפסד, מאחר והם משמשים להפקת אנרגיה או לבניית רקמות שומן, שני תהליכים שאינם רצויים ואינם יעילים מבחינה אנרגטית.

שיווק עגלים

כאמור, עגלים מפותמים מוצאים לשחיטה במשקל של 500 עד 550 ק"ג, ועגלות במשקל של 400 עד 450 ק"ג. מספר ראשי הבקר שנשחטו בארץ בשנת 2004 והתפוקה של כל סוג בקר מפורטים בטבלה מס' 7.

טבלה מס' 7: מספר ראשי הבקר שנשחטו בישראל בשנת 2004 ותפוקת הבשר הממוצעת מהם

סוג הבקר	מספר הראשים שנשחטו בארץ בשנת 2004	תפוקה בשר* ממוצעת (%)
פרות מעדר החלב	34,300	45
עגלים/הולשטיין פריזי ישראלי מעדר החלב	53,300	55
עגלות/הולשטיין פריזי ישראלי מעדר החלב	13,300	50
פרות מעדר הבשר	9,000	45
עגלים מעדר הבשר	19,800	57
עגלות מעדר הבשר	8,000	50
עגלים מיובאים	70,000	55
סה"כ ראשים	207,700	

* תפוקת הבשר מוגדרת כמשקל הטבחה כאחוז מהמשקל החי של הבהמה.
טבחה כוללת את כל חלקי הגופה למעט העור, הראש והחלקים פנימיים.

טיפול בקר לחלב בישראל

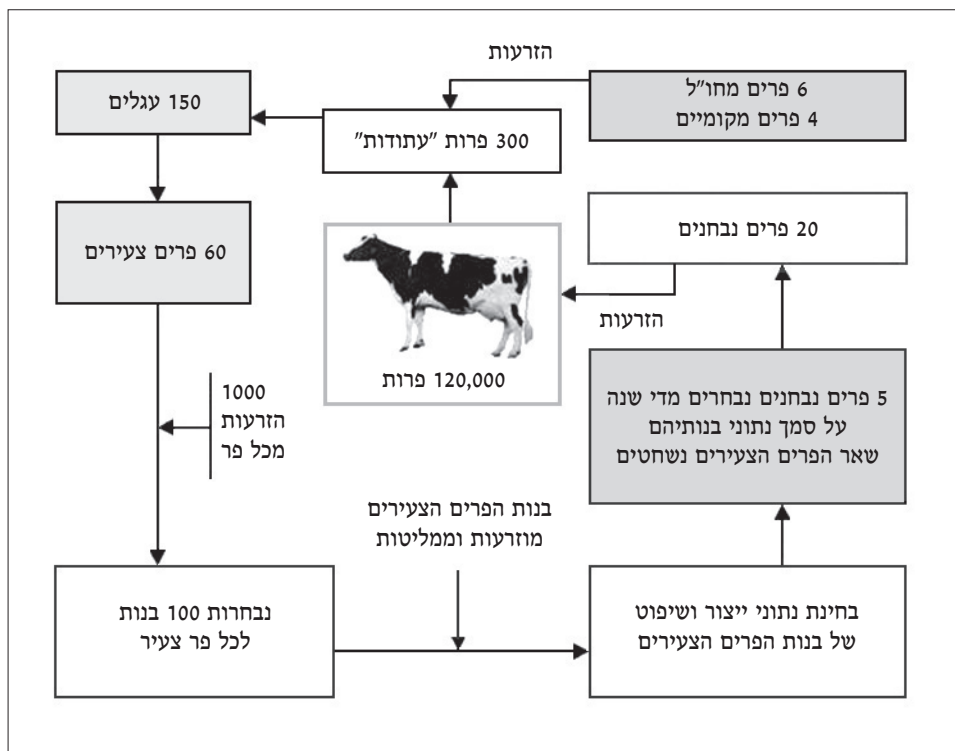


תנובת החלב וריכוז החלבון בו הן התכונות העיקריות אותן מטפחים בעדר הבקר לחלב בישראל. אולם, גם תכונות נוספות נלקחות בחשבון בעת בחירת עגלים ועגלות לגידול וביניהן: מבנה גוף, צורת עטין, היעדר מחלות גנטיות והיעדר מומים ידועים אחרים. טיפוח בעלי חיים יכול להיעשות תוך בחירה לגידול של נקבות, של זכרים או של שניהם גם יחד (ראה/י פרק "טיפול בעלי חיים" במבואות ספרים אחרים בסדרה זו). פעולת הטיפול של הבקר בישראל מתבצעת בעיקר דרך הנתיב הזכרי: בחירת עגלים בעלי ערך טיפוחי גבוה (על בסיס נתוני ההורים), עריכת מבחני צאצאים והזרעות בהיקף נרחב בזרמה קפואה הנלקחת

מפרים אשר הצטיינו במבחן הצאצאים. בזכות טכניקת ההזרעה המלאכותית ניתן לבצע אלפי הזרעות מפר מצטיין. מהזרעות אלו יוולדו אלפי צאצאים בעלי תכונות משופרות. מבין כ-110,000 פרות החלב בישראל כ-95,000 נמצאות תחת משטר של ביקורת חלב. "ביקורת חלב" הוא מושג הבא לתאר "כלי עבודה", בו בתדירות מסוימת וקבועה (פעם בחודש למשל) נרשמים נתוני הייצור של הפרות. הנתונים הנאספים כיום הם: כמות חלב, שיעור חלבון, אחוז שומן, רמת לקטוז בחלב וספירת תאים סומטיים בחלב. נתונים אלו מועברים למחשב מרכזי הנמצא "במערכת ספר-העדר". נתוני ביקורת החלב משמשים בראש ובראשונה כלי להערכת מצבה של הפרה לצורך התאמת ההזנה או לכל צורך אחר. בנוסף, משמשת ביקורת החלב לאומדן הערך הגנטי של הפרה וחשוב מכך, אומדן הערך הגנטי של אביה.

מערך הטיפוח

מערך הטיפוח של הבקר לחלב בישראל מפורט בתמונה מס' 16.



תמונה מס' 16: מערך הטיפוח לבקר לחלב בישראל
[התמונה נלקחה מאתר חברת "שיאון" www.sion-israel.com]

מעריך ההשבחה של הבקר לחלב בארץ, המבוסס על הזרעה מלאכותית, פועל בשיטת "תכנית ההמתנה". מדי שנה נרכשים עבור מערך ההזרעה כ-60 עגלים צעירים. אלה נבחרים בקפידה רבה מבין בנים של פרות עתודות (כ-1% מכלל כ-95,000 הפרות שבביקורת חלב) אשר הוזרעו במכוון בזרמת פרים מצטיינים מישראל (כשליש מהפרים הנבחרים) ובזרמת פרים מצטיינים שיובאה מחו"ל.

מתחילים להפיק זרמה מפר צעיר בגיל 12 עד 14 חודשים ובוחנים האם היא ראויה להקפאה (ראה/י פירוט בהמשך). כ-85% מהפרים עוברים מבחן זה. לאחר שהזרמה נמצאה ראויה לשימוש, מזריעים מכל פר צעיר 800 עד 1,300 פרות במשקי ביקורת חלב במטרה לקבל מכל אחד מהם כ-100 בנות שייכנסו כמבכירות לעדרים. בגמר שלב זה ממתין הפר למבחן הראשון המתקבל רק כעבור ארבע שנים. בפרק זמן זה נולדים צאצאי הפר הצעיר. את בני-הפר מפטמים לבשר והם נשלחים לשחיטה. לפי נתוני קצב הגדילה שלהם ותפוקת הבשר שלהם עורכים לפר הצעיר "מבחן מהירות גדילה".

בנות הפר גדלות ובגיל של כ-15 חודשים הן מוזרעות. בגיל ממוצע של 24 חודשים הן ממליטות ומתחילות להניב חלב. לאחר שנחלבו במשך 122 ימים, ונערכו להן ארבע ביקורות חודשיות נערך מבחן הצאצאים הראשון של הפר לתגובת חלב, ריכוז שומן בחלב, ריכוז חלבון בחלב ואחוז תאים סומטיים בחלב. כן נבחנת פוריות הבנות, תמותת ולדות טרם ההמלטה ומבנה הגוף. מבחן זה אשר נערך לראשונה כאשר הפרים קרובים לגיל 5 שנים ממשיך ונערך אחת לחצי שנה כאשר מספר הימים בתחלובה של בנות הפרים, פוריותן והישרדותן בעדר נבחנים גם הם.



השוואה בין ממוצע הביצועים של בנות פר בתכונה מסוימת לממוצע הביצועים של בנות פר אחר מלמדת מי מהפרים נושא תכונות משופרות יותר. רק 4 עד 6 פרים, אלה המצטיינים ביותר (יחס הברירה הוא 10:1 או 12:1) נשארים במכון ההזרעה ואלה נקראים "פרים נבחרים". שאר הפרים שדורגו נמוך יותר נשחטים. במכון ההזרעה נמצאים כ-20 "פרים נבחרים" בגילאים שונים. מבין "הפרים הנבחרים" נבחרים מדי שנה, על סמך ביצועי הבנות, הטובים ביותר וזרמה מהם יחד עם זרמה של פרים מצטיינים מחו"ל משמשת להזרעת הפרות העתודות, וחוזר חלילה. כניסת פרים חדשים לקבוצת הפרים הנבחרים מלאה ביציאת פרים אשר נדחקו לתחתית הדירוג.

כ-70% עד 80% מההזרעות בארץ נעשות בזרמת פרים נבחרים. סיכום הנתונים מלמד כי בין הפרים יש כאלה שבמהלך חייהם נערכו מהם בארץ עד 85,000 הזרעות. כשליש מהפרים הנבחרים משמשים גם כאבות לדור הבא.

אינדקס הטיפוח

הערך הגנטי של כל פר נקבע עבור כל אחת מהתכונות המטופחות. מטבע הדברים פר המדורג ראשון בתכונה מסוימת לא בהכרח יצטיין בתכונה אחרת. לכל תכונה משקל כלכלי משלה. כדי לדרג את הערך הגנטי של הפרים על פי כל התכונות יחד, ובהתחשב בערך הכלכלי של התכונות השונות נהוג לחשב בעזרת נוסחא מדד כללי הנקרא "אינדקס הטיפוח". בשנת 2004 חושב אינדקס הטיפוח של פרי הבקר לחלב בישראל על פי אומדני ההורשה (א"ה) בתכונות השונות כדלקמן:

$$\text{אינדקס הטיפוח} = 6.3A + 25.4B - 300C + 26D + 0.6E$$

A - א"ה של שומן בחלב (ק"ג)

B - א"ה של חלבון בחלב (ק"ג)

C - א"ה של ריכוז תאים סומטיים (תאים/סמ"ק)

D - א"ה של התעברות (%) (התעברות)

E - א"ה של אריכות ימים (שנים)

החשיבות היחסית של התכונות הנכללות באינדקס הטיפוח משתנה מעת לעת בהתאם להחלטות ועדת ספרי העדר. כך למשל, בשנת 2004 לא נכלל בחישוב אינדקס הטיפוח אומדן ההורשה של כמות החלב בתחלובה.



הזרעה מלאכותית



הזרעה מלאכותית היא הליך של נטילת זרמה מהזכר והחדרתה למערכת המין של הנקבה. הזרעה מלאכותית מקובלת מאוד בבקר לחלב. מעל ל-90% מהפרות מופרות בהזרעה מלאכותית בארצות אשר אימצו טכנולוגיה זו ככלי עזר בטיפוח.

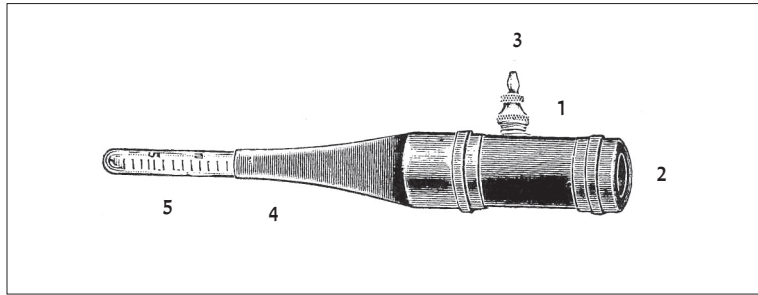
הזרעה מלאכותית של בקר החלה בארץ בשנות ה-30 של המאה העשרים. בתקופה זו ניסו רופאים וטרינרים ובוקרים ליישם שיטה זו, כל אחד בעדרו. בשנות ה-50 של המאה העשרים הוקמו אגודות הזרעה רבות, כאשר כל אגודה שירתה מספר מצומצם של משקים. אגודות אלו התאחדו ובמשך כ-40 שנה פעלו בארץ שתי אגודות הזרעה: "און" בצפון ו"השירות" בדרום. בשנת 2001 התמזגו שתי האגודות לחברה אחת בשם "שיאון". לשיאון כ-250 פרים ועגלים המרוכזים בשלושה אתרים: האחד בדרום הארץ ליד קיבוץ חפץ-חיים, שם מוחזקים הפרים הבוגרים. שם גם מאוכסנת בהקפאה הזרמה הנלקחת מהפרים מדי יום. בצפון קיימים שני מרכזים קטנים בהם מוחזקים עגלים צעירים מינקות ועד לגיל שנה. בשנת 2005 הוזרעו בארץ כ-105,000 פרות ועגלות על ידי כ-35 טכנאים המיומנים בפעולה זו.

שתי הסיבות העיקריות שהביאו לפיתוח הזרעה מלאכותית בבקר ואשר עודדו את השימוש בה בארצות השונות הן:

א. מניעת העברת מחלות מין: בממשק רבייה בעדר בקר המתבסס על הרבעה טבעית יש להחזיק פר אחד להפריית כ-50 פרות בעדר בקר לחלב, או פר אחד להפריה של כ-30 פרות בעדר הבקר לבשר היוצא למרעה. המגע הישיר בין הפר למספר רב של נקבות מאפשר העברת מחלות מין. מחלות אלו כִּלְפִּטוֹסְפִּירוֹזִיס, טְרִיכוֹמוֹנִיאִזִיס, בְּרֻצֶּלוֹזִיס, וִיבְרִיּוֹזִיס והפלה גניפית גורמות להפלות ומסבות נזק רב. מצב זה נמנע בהזרעה מלאכותית. בישראל, הפרים המשרתים במערך ההזרעה המלאכותית נמצאים תחת ביקורת וטרינרית קפדנית. מאחר וכ-99% מהפרות מוזרעות בצורה מלאכותית כמעט ואין מקרים של מחלות מין בעדר.

ב. השבחה: הזרעה מלאכותית מאפשרת להפרות מספר רב של נקבות בזרמת פר יחיד. כאשר לפר זה יתרון גנטי על פני פרים אחרים, ביצועי העדר בדור הבא יהיו משופרים באופן יחסי.

מקובל לקחת זרמה מפר מסוים פעמיים עד שלוש פעמים בשבוע. לקיחה בתכיפות רבה יותר תגרום לירידה באיכות הזרמה. לקיחת הזרמה מהפר (פעולה המכונה "מירוק") נעשית באמצעות בושט מלאכותית (ראה/י תמונה מס' 17).



תמונה מס' 17: בושת מלאכותית

1. צינור גומי חיצוני; 2. בטנת גומי פנימית;
3. פתח להחדרת מים חמים ואוויר בין הדפנות,
- במטרה לדמות סביבת בושת של פרה;
4. קונוס גומי; 5. מבחנה לאיסוף זרמה.

הזרמה מכילה שני רכיבים: תאי זרע ופלסמת (נוזל) הזרמה. הזרמה עוברת לאחר מירוק מספר בדיקות:

1. נפח הזרמה – נפח המירוק תלוי בכושרו של הפר, בגילו ובמשקל גופו. נפח המירוק יכול לנוע בין 2 ל-8 סמ"ק. ברוב המקרים הנפח ינוע בין 4 ל-6 סמ"ק.
2. צבע הזרמה – זה אמור להיות לבן-אפור ולעתים צהבהב. צבע שונה כגון אדמדם או ירקרק, מלמד כי הפר לקה במחלה.
3. חיות הזרמה – אחוז התאים החיים במירוק, זה נבדק במיקרוסקופ או במכשיר מיוחד למטרה זו.
4. טיב תנועת תא הזרע – תא זרע תקין נע בתנועת בורג קדימה כשזנבו עובר מצד לצד. תנועה מסוג אחר כגון תנועה מעגלית או תנועה לאחור נחשבת כתנועה פגומה. בבדיקה זו נבחנת גם מהירות תנועת תאי הזרע ואחוז תאי הזרע המתים – אלה שאינם נעים.
5. ריכוז תאי הזרע – מדד זה נבדק בקולורימטר מכויל או בתא לספירת תאי דם. ריכוז תאי הזרע של פרים נע בדרך כלל בין 900 ל-1,400 מיליון תאי זרע בסמ"ק.
6. צורת תאי הזרע – בבדיקה זו נעשית בדרך כלל לפרים שזוהו כבעלי זרמה בעלת חיוניות נמוכה. בבדיקה הנעשית במיקרוסקופ נבחנת צורת תאי הזרע, ונבדקת שכיחות מקרים של ניתוק הזנב מראש תא הזרע, הופעת תאי זרע דמויי אגס, הופעת קיפולים שונים בזנב ופגמים נוספים במבנה תאי הזרע.

ניתן להשתמש בזרמה טרייה לצורך הזרעות. טווח הזמן לשימוש בזרמה כזו יהיה כ-12 שעות בלבד מרגע איסופה. ניתן לצנן את הזרמה ל-4 מ"צ או לחלופין להקפיא את הזרמה, ולהשתמש בה לאחר הפשרה.

כדי לקבל אחוז גבוה של התעברות לאחר הזרעה יש להחדיר לרחם הפרה כ-12 מיליון תאי זרע. מאחר ומירוק מכיל כאמור כמיליארד תאי זרע, ניתן למהול את הזרמה ביחס של 20:1 עד 40:1 ולהכין מכל מירוק מספר רב של מנות. חומרי המיהול הנהוגים הם חלב, חלמון ביצה, סודיום ציטרט או תמיסות פיזיולוגיות למיניהן. התכונות הנדרשות מהתמיסות הן שמירה על pH פיזיולוגי של 5.8 עד 6.8 ולחץ אוסמוטי המתאים לצורכי תאי הזרע.

ניתן להשתמש בזרמה המדוללת במספר אופנים:

עד שנת 1965 נהוג היה בישראל להשתמש לצורך ההזרעות בזרמה טרייה. בזרמה מסוג זה נהוג להשתמש עד כ-12 שעות מזמן לקיחתה. מעבר לזמן זה חיוניות הזרמה יורדת, ובהתאם לכך גם יכולת ההפריה שלה. נמצא, כי ניתן לשמר איכות טובה של הזרמה עד שבוע ימים גם בטמפרטורת חדר של 25 מ"צ. לשם כך יש למהול את הזרמה בחלב אגוזי קוקוס ("שיטת נורמן").

זרמה טרייה

צינון הזרמה ל-4 מ"צ תוך הוספת הגז CO_2 מאפשר לשמר אותה באיכות טובה עד כשבוע לאחר הלקיחה מהפר. דרך נוספת לשימור זרמה ב-4 מ"צ נעשית תוך הוספת חומרי מיהול, המאפשרים להשתמש בזרמה עד כ-4 ימים. שיטה זו נהוגה בניו-זילנד, שם ממירוק אחד מבצעים אלפי הזרעות לאחר מיהול הזרמה לריכוז של עד כ-5 מיליון תאים לסמ"ק.

זרמה מצוננת

מקובלות מספר תמיסות המשמשות בתהליך ההקפאה. אחת מתמיסות המיהול מכילה למשל לקטוז, חלמון ביצה, אנטיבייטיקה וגליצרול. תפקידו של האחרון למנוע נזק לתאי הזרע במהלך ההקפאה וההפשרה. את שימור הזרמה בהקפאה ניתן לעשות בשלוש שיטות:

זרמה קפואה

❖ **שיטת הכמוסות (אמפולות).** כמוסות הם בקבוקי זכוכית קטנים. בכל כמוסה מאחסנים מנת זרמה בנפח של 1 עד 1.5 סמ"ק. תהליך ההקפאה של הכמוסות כולל שלושה שלבים: הקפאה איטית תוך הורדת הטמפרטורה ב-4 מ"צ לדקה עד לטמפרטורה של מינוס 40 מ"צ, לאחר מכן הקפאה מואצת יותר עד לטמפרטורה של מינוס 79 מ"צ ואחסון של הכמוסות בחנקן נוזלי אשר הטמפרטורה שלו היא מינוס 196 מ"צ. שיטה זו הייתה מקובלת בשנות ה-60 וה-70 של המאה העשרים בארצות-הברית ובחלק ממדינות אירופה.

❖ **שיטת הכופתיות.** בשיטה זו מוקפאות טיפות זרמה מהולה ללא כל אריזה. לאחר מיהול הזרמה היא מובאת בקירור איטי לטמפרטורה של 4 מ"צ ושוהה בטמפרטורה זו כ-3 עד 4 שעות. זמן ההמתנה דרוש כדי שתאי הזרע "יסתגלו" לגליצרול הנמצא בתמיסת המיהול. הקפאת הזרמה נעשית תוך טפטוף הזרמה על משטח של קרח יבש אשר הטמפרטורה

שלו היא מינוס 79 מעלות. במשטח הקרח מנוקבים חורים בנפח של 0.125 סמ"ק, כאשר בתחתיתם מונחת פתקית עגולה ועליה שם הפר ומספרו. הטיפה הקפואה שהופכת לכופתית שווה על גבי הקרח היבש כ־5 דקות ולאחר מכן היא מועברת כשהפתקית צמודה אליה לאכסון בחנקן נוזלי.

הפשרת הכופתית נעשית במבחנה המכילה סמ"ק של תמיסת סודיום ציטרט 3% ב־pH 7.0 ובטמפרטורה של 40 מ"צ.

הקפאת הזרמה בשיטת הכופתיות מהירה יותר יחסית לשיטת הכמוסות. הודות לשיטת הכופתיות הוסבה בשנים 1965 עד 1968 כל מערכת הזרעת הבקר בישראל משימוש בזרמה טרייה לשימוש בזרמה קפואה. שיטה זו הייתה בשימוש במכוני ההזרעה בישראל עד שנות ה־90 של המאה העשרים, עת החל השימוש בשיטת שימור זרמה מוקפאת בקשיות.

❖ **שיטת הקשיות.** בשיטה זו נשאבת זרמה מהולה לקשיות פלסטיק להן נפח של 0.25 או 0.5 סמ"ק. מילוי הקשיות נעשה במכוני ההזרעה בעזרת מכונות אוטומטיות הממלאות, אוטמות ומסמנות את הקשיות במספר הפר ממנו נלקחה הזרמה. הקשיות הממולאות עוברות תהליך הדרגתי של הקפאה באדי חנקן נוזלי, ולאחר שקפאו הן עוברות קירור מהיר עד לטמפרטורה של מינוס 196 מ"צ על ידי הכנסתן לחנקן נוזלי. הפשרת הקשית נעשית באמבט מים בטמפרטורה של 37 מ"צ. לאחר ההפשרה חותכים קצה הקשית, טוענים אותה על גבי אקדח הזרעה ומחדירים את הזרמה לרחם הפרה. שיטת הקשיות היא השיטה המקובלת כיום בעולם. אכסון קשית במקלי החנקן הנוזלי דורש נפח הגדול עד פי שלושה מהנפח הדרוש לאכסון כופתית. אולם, הודות לאיכות הגבוהה של הזרמה המתקבלת והדיוק בהזרעה נבחרה שיטת הקשיות על פני שיטת הכופתיות.

לשימוש בזרמה קפואה במערך ההזרעה המלאכותית מספר יתרונות: ניתן לאגור מנות זרמה המופקות בעונות החורף והאביב ולהשתמש בהן גם בקיץ, עת איכות הזרמה המתקבלת מהפרים ירודה. השימוש בזרמה קפואה מאפשר למזריע להצטייד במנות זרמה רק אחת לתקופה כך שאינו צריך להגיע מדי יום למכון ההזרעה. הדבר מאפשר לכן, הזרעה גם במשקים הנמצאים באזורים נידחים וכן העברת זרמה מארץ לארץ לצורכי טיפוח העדר.

אפשר להפיק מפר כ־20,000 עד 30,000 מנות זרמה בשנה. כזכור, לאחר שהוזרעו מכל פר צעיר כ־800 עד 1,300 בנות נכנסים הפרים במערך ההזרעה להמתנה עד שמבחן הצאצאים ילמד מי הם אכן הפרים המשביחים. בתקופת ההמתנה ניתן להפיק ולשמר מכל פר עשרות אלפי מנות. מנות אלו נשמרת ב"בנק זרע". במידה ומבחן הפר יצא "חיובי" – דורג גבוה במבחן הצאצאים הראשון, ניתן יהיה להשתמש בזרמה שנאגרה ממנו להזרעת הפרות ולהשבחת העדר. כאשר המבחן "שלילי" תושמד הזרמה שנאספה.

היבט כלכלי על ענף הבקר לחלב



ענף הבקר לחלב הוא ענף אשר הייצור בו מתוכנן. ההכנסות מחלב ותוצרת לוואי (עגלים בני שבוע ופרות המוצאות לשחיטה) מהוות 40% מסך כל הכנסות ענפי החי ו-17% מסך הכנסות החקלאות בישראל.

מכסת החלב בישראל בשנת 2002 נקבעה ל-1,170 מיליוני ל', כאשר הצריכה השנתית לנפש של חלב ומוצריו עומדת על 180 ל'. ערך הייצור של ענף רפת החלב "בשער המחלבה" הוערך ב-1,765 מיליוני ש"ח בשנה. לסכום זה יש להוסיף את ערך תוצרת הלוואי (עגלים בני שבוע ופרות בירור) בסך 156 מיליון ש"ח בשנה. מספר העוסקים באופן ישיר בייצור חלב מוערך ב-3,600 איש (שכירים, בעלי משק וחברי קיבוצים). נכון לשנת 2002 ייצור החלב התבצע ב-1,025 רפתות משפחתיות, 209 רפתות במגזר השיטופי (קיבוצים ומושבים שיתופיים) הכולל 16 רפתות בבתי ספר חקלאיים ורפת במנהל המחקר החקלאי. סך כל אתרי הרפת הפעילים עד 2002 עמד על 1,250. 59.2% מאספקת החלב בארץ בשנה זו באו מהמגזר השיטופי ומבתי ספר חקלאיים, ו-40.8% מהמגזר המשפחתי. מכסת החלב הממוצעת השנתית במגזר השיטופי הייתה כ-3,270,000 ל' לעומת 490,000 ל' חלב במגזר המושבי. ההיקף השנתי של שוק החלב במונחים כספיים עמד בשנת 2002 על כ-7.35 מיליארד ש"ח כולל מע"מ ורווח קמעוני. סל תוצרת החלב כלל 40% חלב לשתייה, משקאות ותוצרת ניגרת ו-60% מעדנים, גבינות רכות, גבינות קשות וחמאה.

בין השנים 1999 עד 2004 חלה רפורמה בענף החלב, אשר מטרתה הייתה לעודד את יצרני החלב להפנים את יתרונות הגודל בענף הרפת, לעודד את ההתייעלות ולשמור על איכות הסביבה ברפתות (שמירה על הקרקע ומקורות המים). הדבר נעשה על ידי הפחתת מחיר המטרה מחד, ועידוד השקעות להגדלת הרפתות מאידך. הסיבות להפעלת הרפורמה היו חשיפת משק החלב בישראל לייבוא והפחתה במחיר החלב הגולמי. הונח כי בייצור חלב קיים יתרון לגודל בגין שימוש יעיל יותר בתשומות העבודה וההון, וכך ניתן למצוא ביתר קלות פתרונות ממשקיים להוזלת עלויות הייצור. במסגרת הרפורמה התקיים תהליך של צמצום מספר הרפתות אשר במסגרתו ניתנו מענקי מדינה לאיחוד רפתות ולפרישה של מגדלים מהענף.

מחיר המטרה של ליטר חלב כולל את העלות בשער המשק (העלות הממוצעת לייצור ליטר חלב לפי סל תשומות המתעדכן בסקר שנערך מדי פעם) בתוספת עלות ההובלה ודמי שירות. מחיר זה הוא בסיס לחישוב תשלום המחלבות ליצרני החלב עבור ליטר חלב תקני. התשלום המתקבל עבור 1 ל' חלב בפועל משתנה בהתאם למספר מדדים אשר ביניהם: תכולת הרכיבים המוצקים (שיעור השומן והחלבון) בחלב, איכות החלב המוגדרת על פי ספירת תאים סומטיים, ספירת

חיידקים, נוכחות חומרים מעכבים (אנטיביוטיקה), טעם, ריח, מראה, חמיצות, טמפרטורה, מים מוספים, ניקיון כללי, תנאי אחסון במשק ומועדי אספקה. כמו כן, גובה התשלום מותנה בחודש בו שווק החלב, וקיים קנס על חלב עודף שיוצר מעבר למכסה.

מדי שנה מתבצע במשק ניתוח כלכלי של ענף הבקר לחלב. הניתוח הכלכלי לוקח בחשבון את הכנסות הענף במהלך השנה ובמקביל את ההוצאות השונות. בעזרת הניתוח ניתן לעקוב אחר התוצאות במשק במהלך השנים, וכן להשוות את הביצועים המקצועיים והכלכליים של המשק לאלו של משקים אחרים. מתוך השוואה זו ניתן ללמוד היכן וכיצד ניתן לשפר את ביצועי העדר ולהעלות את רווחיותו.

הכנסות: בצד ההכנסות לוקחים בחשבון הכנסות ממכירת חלב למחלבות וכן זיכוי עבור חלב שנלקח להגמעה בשלוחת העגלים, למחלבה מקומית במשק או חלב שנפסל לשימוש. הכנסות נוספות מקורן במכירת בעלי חיים הכוללת מכירת פרות ועגלות לבשר, מכירת עגלים צעירים ועגלים מפוטמים. הכנסה נוספת היא הכנסה ממכירת זבל. בחישוב ההכנסות לוקחים בחשבון שינוי בערך מלאי בעלי החיים תוך שמשווים את מצבת העדר בתחילת השנה ובסופה.



הוצאות: בצד ההוצאות כוללים הוצאות עבור מזון, חומרים ושירותים וכן הוצאות על עבודה. חישוב ההוצאות למזון נעשה לפי דו"ח צריכת מזון בשלוחות השונות (פרות, עגלות, ועגלים). כמו כן, נלקח בחשבון שינוי במלאי המזון במשק בין תחילת השנה לסופה. ההוצאות לחומרים ושירותים כוללות הוצאות על הזרעה מלאכותית, עזרה וטרינרית ותרופות, אחזקה, מים ואנרגיה, טרקטורים וכלים, מכונות שכורות, הובלות, ריפוד והוצאת זבל, ביטוח, מחשב, תקורה (מחושבת כ-3% מההכנסה הכוללת של הרפת) ושונות. הוצאות עבודה נעשות לפי חישוב כמות ימי עבודה, כולל שבתות וחגים, לפי פירוט עלות יום עבודה של מנהל, של עובד קבוע, של עובדים זמניים, לילדים ולשכירים. בצד ההוצאות מחושב גם הפחת על מבנים וציוד.

מתוך הניתוח הכלכלי ניתן ללמוד על מדדים מקצועיים כמו: ייצור חלב ושיעור המוצקים הממוצע לפרה במשק, יעילות ייצור של ל' חלב אחד (כמה ק"ג חומר יבש מזון דרושים לצורך ייצור ל' חלב אחד), עלות המזון, עלות העבודה ועלות החומרים והשירותים לייצור ל' חלב אחד, שיעור הוצאת הפרות מהעדר, שיעור תמותת העגלות והפרות. כמו גם צריכת מזון לראש ליום בשלוחות השונות, עלות "יום כלכלה" לראש, עלות ק"ג חומר יבש, פחת במזונות השונים, ועוד. נמצא, כי במהלך שנת 2001 ההכנסות מחלב במשק שיתופי ממוצע היוו 93% מסך ההכנסות. יתר ההכנסות (7%) היו מבשר ושונות. מסך כל ההוצאות, המזון היווה 55%, העבודה 23% וחומרים ושירותים 22%.

מכיוון שמכסת החלב הנה מְגִבֶּלֶת הייצור העיקרית, מדד הרווח הנכון בענף הבקר לחלב הוא התרומה לליטר חלב במסגרת המכסה. הערכים הממוצעים של ההוצאות, ההכנסות והרווח בשנת 2001 לליטר חלב-משווק מפורטים בטבלה מס' 8.

**טבלה מס' 8: חישוב ההוצאות, ההכנסות והרווח לליטר חלב משווק
ברפת החלב בישראל על פי נתוני שנת 2001**

סעיף	הכנסות (אג')	הוצאות (אג')
ליטר חלב משווק	149	
מכירת בשר ושונות	12	
מזון		67
חומרים ושירותים		29
עבודה		26
פחת		20
רווח (אג' לליטר משווק)		19

קיימים פערים גדולים בין המשקים השונים ברווחיות לליטר. הדבר נובע מצד אחד מהבדלים בתמורה המתקבלת לליטר, זו התלויה באיכות החלב המשווק ובתכנון הייצור במהלך השנה, ומצד שני בהבדלים בהוצאות הייצור לליטר (מזון, חומרים ושירותים ועבודה).

מחלות שכיחות בעדר הבקר לחלב



דלקת עטין (ראה/י פרק "ייצור חלב וחליבה")



קדחת חלב (Parturient Hypocalcemia)

"קדחת חלב" (Milk fever) הוא שם שניתן בתחילת המאה העשרים לאירוע של שיתוק הפרה המופיע בסמיכות להמלטה. ידוע היום שהתופעה קשורה בירידת רמת יוני הסידן בדם (היפוקלצמיה). השם המדעי הנכון למחלה זו הוא אפוא Post Parturient Hypocalcemia. הסידן בדם הוא גורם הכרחי המשתתף בהעברת הגירוי החשמלי בין העצב לבין השריר

בנקודת החיבור שלהם הנקראת סינפסה. חוסר סידן מביא להפסקת מעבר הגירוי החשמלי מהעצב לשריר. תפקודם של השרירים במצב זה הולך ויורד עד שהפרה רובצת משותקת. קדחת חלב היא תסמונת אשר פועלים בה גורמים שונים ועדיין אין הסבר מדעי מספק המבאר את כל התופעות הקשורות במחלה.

התמונה הקלינית של הפרה החולה בשיתוק לאחר המלטה יכולה להתפתח לאט או במהירות רבה מאוד. במצב זה לא נראים הסימנים הראשונים של המחלה, אלא סימנים הקשורים לשלב המתקדם בלבד. הסימנים הקשורים למחלה מופיעים לרוב ביום ההמלטה או ביום שלפניה, אך עלולים להופיע גם עד 72 שעות לאחר ההמלטה. הסימנים הקליניים הראשונים הם קשיי התרוממות של הפרה. משהתרוממה, הולכת הפרה הליכה כושלת (אֶטְקְסִיָה), תוך שהיא עלולה להתמוטט לפתע, לרוב באמצע החליבה. משרבצה הפרה – היא מניחה לרוב את ראשה על רגליה האחוריות ומסוגלת לרבוץ זמן מה בצורה זו. משהחמירה המחלה, עוברת הפרה לשכיבה על צדה כשהראש שטוח על האדמה. עם החמרה נוספת במחלה שוקעת הפרה בתרדמת (Coma), נשימתה נעשית חלשה והיא עלולה למות אם לא תקבל את הטיפול הדרוש.

הנזק הכלכלי מהמחלה תלוי בזמן בו היא מתפתחת. אם המחלה מתפתחת בעת אירוע ההמלטה או סמוך מאוד לפניה, ההמלטה נעצרת והדבר עלול להסתיים במות הוולד ובמות הפרה עצמה. כאשר מתפתחת המחלה בצורתה החרפה, המלווה בתרדמת, עשויה הפרה למות בטרם הבחין הרפתן במחלה. במקרים בהם מופיעה המחלה לאחר ההמלטה, מתבטא הנזק הכלכלי באיבוד כמות חלב מסוימת עד התאוששות הפרה לאחר הטיפול. פרות המועדות לקדחת חלב מוצאות מהעדר, במספר גדול יותר ביחס לפרות אחרות בעדר.



האטיולוגיה (גורמי היווצרות) של המחלה: בדם הפרה ובנוזלים המצויים ברקמות שמחוץ לתאים קיימת סך הכל כמות של 9 עד 12 ג' סידן. כמות זו מכונה "ברכת הסידן בגוף". בדרך כלל קיים שיווי משקל בין כניסת הסידן לברכת הסידן כתוצאה מספיגה של סידן מהמזון במעי, וכן מספיגה ממאגר הסידן שבעצמות, לבין יציאתו ממנה דרך הפרשת הצואה והשקעת סידן בעצמות. שיווי משקל זה מווסת על ידי הורמונים המופרשים על ידי בלוטת המגן ויתרת בלוטת המגן (תירואיד ופאראתירואיד). בעת הנבה רגילה של הפרה מתרחש מעבר סידן מהדם לחלב בעטין. ההשלמה לברכת הסידן נעשית על ידי הגדלת הספיגה מהמזון בהשפעת הורמון הנקרא קלציטונין ומספיגה מהעצמות בהשפעת ההורמון המופרש מבלוטת הפרתירואיד.

בשלבים מאוחרים של ההיריון קיים גם ניקוז סידן אל הוולד ברחם, אך הוא נמוך יחסית לניקוז הקיים בעת תחלובה רגילה. ב"תקופת היובש" של הפרה לא קיים כלל ניקוז של סידן לעטין, ובהתאם לכך יורדת רמת הפרשת הפאראתירואיד.

בסמוך למועד המלטה, מתחיל תהליך יצירת הקולוסטרום העשיר מאוד בסידן. מעבר הסידן לקולוסטרום נעשה בקצב של 1 ג' לשעה, והוא גורם לגריעה של סידן בקצב מהיר מברכת הסידן, תהליך הנקרא היפוקלצמיה. אצל מרבית הפרות מצב ההיפוקלצמיה הוא זמני ומסתיים תוך שעות אחדות עם חזרה של רמת הסידן בגוף לרמתו הרגילה. לא כך המצב בפרות הלוקות בקדחת חלב. מספר גורמים נמצאו קשורים לקושי בהגברת ספיגת הסידן במשבר זה:

- ❖ גיל הפרה – קדחת חלב אינה מופיעה במבכירות, היא נדירה ביותר בפרות לאחר המלטה שנייה ומופיעה בשכיחות הולכת וגוברת מהמלטה שלישית ואילך.
- ❖ רמת התנובה – שכיחות מקרי קדחת חלב בעדרים שונים עולה עם העלייה בתנובה הממוצעת של העדר.
- ❖ ירידה בתיאבון הפרה ביום ההמלטה – ירידה בקצב האכילה הניכרת אצל פרות בהתקרב ההמלטה מביאה להקטנת כמות הסידן הנספגת מהמעיים, ובעקבותיה לירידה באספקת הסידן לברכת הסידן בדם.
- ❖ מנת ההזנה בתקופת היובש – ככל שרמת הסידן במנת יורדת, כך קטנה בהתאמה התחלואה, עד להיעלמותה אצל פרות המוזנות ברמת הזנה נמוכה של 70 ג' סידן ליום. ההסבר לתופעה זו הוא בכך שחסר יחסי של סידן במנת ההזנה בתקופת היובש מביא לצורך בספיגתו מהעצמות, תהליך הדורש רמה מתמדת וגבוהה של ההורמון המופרש מבלוטת הפאראתירואיד. רמה גבוהה זו משרה ספיגת סידן מוגברת גם בזמן ההמלטה ומיד לאחריה, כאשר הפרה נמצאת במצב של היפוקלצמיה פיזיולוגית. לעומת זאת, הפרשת ההורמון נמוכה בפרות המוזנות בתקופת היובש במזון עשיר יחסית בסידן, והן אינן מגיבות מהר למצב של היפוקלצמיה שנוצר בעת ההמלטה.
- עם ירידת רמת הסידן בדם יורדת לאיטה גם רמת הזרחן כתוצאה מהגברת הפרשת הזרחן לצורך איזון רמתו בדם עם רמת הסידן. במצב תקין היחס בין ריכוזי הזרחן והסידן בדם הוא של כ-3 זרחן ל-1 סידן בהתאמה.



שכיחות האירועים של קדחת חלב גבוהה יותר בארצות בעלות ממשק אינטנסיבי ותנובה גבוהה מאשר בארצות שאינן כאלה. כ-3.5% מכלל הפרות אשר המליטו בישראל בשנים 1963 עד 1990 לקו בקדחת חלב. אולם, הודות להקפדה על הזנת פרות יבשות במזון גס דל באנרגיה שכיחות המחלה הולכת ויורדת בהתמדה.

כאמור, הדרך המקובלת ביותר למניעת המחלה היא שליטה על רמת הזרחן והסידן במנת המזון של הפרה בתקופת היובש. ההמלצה היא להזין פרות בתקופה זו במנה אשר כמות הסידן

בה לא תעלה על 100 ג' ליום. שיטה נוספת למניעת המחלה בפרות בודדות להן היסטוריה של קדחת חלב מבוססת על הזרקת 10 מיליון יחידות של ויטמין D_3 לפרה בשבוע האחרון שלפני ההמלטה. פעולה זו מביאה לספיגה רבה של סידן ממאגרי הסידן בשלד ולעלייה ברמת הסידן בדם למשך שבוע עד 10 ימים. במידה וההמלטה מתרחשת בפרק זמן זה נמנעת הופעה של קדחת חלב.

ניתן למנוע מקרה של קדחת חלב גם על ידי הזרקה לשריר של ההורמון אֶלְפָּא-קֶלְצִיטְרֹל, המכונה "וִט אֶלְפָּא", תוך שעותיים ממועד ההמלטה. ההורמון זה מגרה הפרשת קֶלְצִיטְרֹל, האחראי על ספיגת הסידן מהמעיים. הגברת הספיגה מביאה לעלייה ניכרת ברמת הסידן בדם ולמניעת היפוקלצמיה האופיינית למרבית הפרות ביממה הראשונה לאחר ההמלטה. הטיפול המקובל בקדחת חלב הוא החדרה לגוף של תמיסת סידן בתרכובת אורגנית של קלציום בורוג'לוקונט במינון של 100 סמ"ק לכל 100 ק"ג משקל חי של הפרה. פרת החלב הישראלית הממוצעת מקבלת בעת טיפול זה 500 סמ"ק של התמיסה המכילה 8 ג' של יוני סידן לאחר התפרקות התמיסה האורגנית בגוף. ישנן אסכולות של טיפול הממליצות על תוספת סידן תת-עורית, אך במחקרים שונים לא הוכח יתרון של תוספת זו למניעת התקף חוזר של המחלה המתרחש ב-4% עד 8% של המקרים תוך 12 שעות בערך.



רוטוהוירוס (נגיף ה-ROTA בבני-בקר יונקים)

הגורם הנגיפי העיקרי לשלשולים בבני-בקר יונקים בישראל הוא נגיף הרוטה. נגיף הרוטה הוא נגיף מסוג RNA השייך למשפחת נגיפי REOVIRIDIE, הוא נקרא כך על שום צורתו העגולה לגמרי. בהיקף העיגול ישנו עבוי המדגיש את צורתו העגולה.

השלשול הנגרם על ידי נגיף הרוטה מופיע בין היום השלישי לבין היום השביעי לחיי הוולד. הוא מימי מאוד ומופרש לעתים תכופות בקשת רחבה. בדרך כלל, בתחילה הוולד אינו מדוכא, ממשיך לשתות את החלב ומגלה עניין בסביבתו. על פי רוב, אם אין סיבוכים משניים, מתחילה רירית המעי להשתקם אחרי 48 שעות והעגל מבריא. אולם, אם כעבור יום או יומיים אי-ספיגת המזון ואובדן הנוזלים מחלישים את הוולד וגורמים להתייבשותו, עלול המצב להסתבך. חיידיקי קולי או חיידיקי מעיים אחרים המגיעים למעיים הדקים מתחילים להתרבות שם ולייצר רעלים המזיקים לעגל. במצב זה העגל כבר חולה, ונראית התמונה הקלינית האופיינית והקשה של שלשול מסוג קולי.

רגישות בני-הבקר להדבקה ברוטוהוירוס רבה ביותר בשלושת הימים הראשונים לחיי הוולד והיא הולכת ויורדת עד להיעלמותה בתום השבוע הראשון לחיי הוולד. ההדבקה היא דרך

מערכת העיכול, ונעשית כתוצאה ממגע עם צואת פרות הנגועות בוורוס. בסקר שנערך בישראל בשנת 1993 נמצא כי 41.2% מדגימות שלשול שנבדקו היו נגועות ברוטהוורוס. התברר שנגיף הרוטה הוא נפוץ ביותר בישראל.

הפתוגנזה של המחלה: לאחר חדירת הנגיף לגוף הנעשית כאמור דרך מערכת העיכול, הנגיף מתקדם ומתמקם ברירית של המעיין הדקים. תאי רקמה זו נהרסים על ידי הנגיף וכתוצאה מכך נפסקת ספיגת המזון מהמעיים. תופעת לוואי להדבקה היא הפרשה מוגברת של נוזל הרירית הנקרא מוצין (Mucin). נוזל רירי זה מצטבר בחלל המעי בכמויות גדולות ומופרש החוצה על ידי תהליך תנועתיות המעי – הפריסטילטיקה. כתוצאה מכך, השלשול הטיפוסי מנגיף הרוטה הוא שלשול מימי מאוד המופרש בקשת. כאמור, אם אין סיבוכים נעצרת הפגיעה בתאי הרירית תוך ימים ספורים באופן טבעי.

מניעה: הגיל המוקדם שבו מתרחשת ההדבקה מונע אפשרות של חיסון אקטיבי של הוולד. הדרך היחידה למנוע תחלואה בוולדות היא על ידי חיסון פסיבי תוך הנקת קולוסטרון מאמהות המחוסנות נגד הוורוס. קיימים מספר תרכיבים מסחריים של נגיף רוטה מומת המוזרקים לפרות ולמבכירות בתקופת היובש שלהן במטרה לעודד אצלן יצירת נוגדנים כנגד הנגיף. כאמור, אלה יעברו עם הקולוסטרון לעגל.

טיפול: הטיפול בשלשולי רוטהוורוס מתבסס על השלמת משק הנוזלים של הוולד תוך מתן הנוזלים והאלקטרוליטים דרך הפה. גורם חשוב בטיפול הוא מניעת התבססות חיידקי הקולי במעיים הדקים. ניתן להשיג זאת על ידי מתן אנטיביוטיקה מתחילת הופעת השלשול במטרה למנוע הדבקה על ידי חיידקים.



סלמונלוזיס בבני־בקר

ההדבקה בסלמונלוזיס מתרחשת במהלך השבועיים הראשונים לחיי הוולד כאשר רוב הוולדות נדבקים במהלך השבוע השני לחייהם. ההדבקה אפשרית גם בשבועות הבאים אולם עמידות הוולדות בפני החיידק גדלה והולכת, ומגיעה לשיאה בגיל שלושה חודשים. תקופת הדגירה של החיידק עד להופעת המחלה הקלינית היא 7 עד 10 ימים. החיידק הגורם לתחלואה בבני־הבקר הוא במרבית המקרים מקבוצת סלמונלה D, ונקרא בשם סלמונלה דֶבְלִין על שם המקום שבו זוהה לראשונה. יש להדגיש כי גם סוגים נוספים של סלמונלה עלולים לגרום לתחלואה בבני־בקר. דרך התפתחות המחלה: החיידק חודר לגוף דרך מערכת העיכול ומתבסס תחילה בתאי הרירית של המעיין, ובכלל זה בתאי המעי הגס. הדבר גורם להופעת שלשול בו נראות טיפות דם טרי

שהן תוצאת הרס נימיות דם בדפנות המעיין. בתוך זמן קצר עוברים החיידקים מהמעיים דרך מחזור הדם לכבד ומתבססים בו בצינורות המרה. כמו כן, עוברים החיידקים לריאות, לפרקים של הגפיים ולאברים אחרים. עם התקדמות המחלה מופיעים שיעולים, שהם עדות לדלקת ריאות, וכן מופיעות התנפחויות בפרקים – עדות לדלקת פרקים. כל אלה מביאים להדרדרות כללית במצב הגופני של העגל.

אבחון המחלה נעשה על ידי בדיקה קלינית המסתייעת בבדיקות הצואה. דגימות הצואה צריכות להיות טריות מאוד, וחייבות להגיע למעבדה בקירור, שאם לא כן מתרבים בהן חיידקי הקולי.

טיפול: הטיפול נגד דלקת המעיין הנגרמת מסלמונלה הוא טיפול משולב של אנטיביוטיקה וטיפול תומך. הטיפול האנטיביוטי חייב להיות רק עם תכשיר שנמצא בבדיקת מעבדה יעיל כנגד החיידק שבודד. הסיכוי להצלחה בטיפול אנטיביוטי שלא הוכח כיעיל במעבדה הוא קלוש. הטיפול התומך חייב להינתן על בסיס יומי וחייב לכלול אספקת נוזלים לפי צורכי הוולד, בשתייה – אם היונק שותה, או בהזרקה תוך-ורידית על ידי הרופא – אם העגל אינו שותה. כמו כן, נדרשת הזרקת ויטמינים ושיכון העגל במקום יבש ומוגן מפגעי מזג האוויר. חלק מבני-הבקר החולים מתים מהמחלה בעוד חלק אחר מחלים לאחר טיפול. אצל חלק מהמחלימים מהשלשול יופיעו השיעול ודלקת הריאות בגיל חודשיים, ואצל חלקם תופיע דלקת פרקים במועד מאוחר יותר, לאחר ההחלמה מהשלשול. יש לציין שאצל למעלה מ-90% של העגלים הנגועים יישארו חיידקי הסלמונלה בצינורות המרה ובכבד לכל חייהם. בני-בקר אלו הופכים לנשאי סלמונלה, אשר ימשיכו להפרישה בצואה ולהוות מקור להדבקה בסלמונלה. נשאים אלה עלולים לחלות שוב במחלה קלינית בעת הכבדה מסיבה כל שהיא, כמו תחלואה בדלקת עטין חריפה. תופעה זו שכיחה יחסית. פרות מבוגרות נפסלות בבתי המטבחים לאחר השחיטה בגלל סלמונלוזיס על אף שהובאו לשחיטה בגלל מחלה אחרת.



מניעה של מחלת הסלמונלה: כלל ראשון למניעת הידבקות בסלמונלה הוא מניעה של הכנסת פרות זרות לעדר. בקר כזה אשר ייתכן ונמצאות בו פרות נשאיות סמויות של חיידקי סלמונלה הוא מקור להדבקה. בעת המעבר מעדר לעדר, הבקר החדש נמצא בתנאי עקה עקב התנאים החדשים, והפרות הנשאיות עלולות להתחיל להפריש חיידקי סלמונלה בצואה. חדירה של סלמונלה לעדר נקי עלולה להתרחש גם על ידי רכב של סוחרי בקר המעבירים ברכבם בקר נגוע.

כאשר פורצת המחלה ביונקים ניתן למנוע הדבקת ולדות חדשים על ידי חיסון. חיסון כזה קיים עד עתה רק כנגד חיידקי סלמונלה דבלין אך לא כנגד סוגי סלמונלה אחרים. החיסון ניתן בהזרקה ליונקים בגיל שבוע במטרה להביא לחיסון פעיל עד לגיל שבועיים, הגיל שבו עלולים חיידקי הסלמונלה להתבסס בגוף בני-הבקר.



מחלת האנפלזמה נגרמת על ידי טפיל קטן הנמצא בכדוריות הדם הפגועות של פרה חולה. השם אנפלזמה פירושו חסר ציטופלזמה, זאת, משום שבעת צביעת כדוריות הדם האדומות של פרה חולה נראה הטפיל כגרעין תא ללא ציטופלסמה סביבו. הטפיל נקרא אנפלזמה מֶרְגִינָלָה (*Anaplasma Marginale*), כי כל הטפילים נראים בשולי (Margins) כדוריות הדם. מהותם של הטפילים הללו אינה ברורה עד היום.

התמונה הקלינית: תהליך ההידבקות במחלה מתחיל לאיטו, ועד שמופיעים הסימנים הקליניים של המחלה עלולים לעבור מספר שבועות. בדרך כלל מופיעים סימני המחלה כעבור שבועיים מההדבקה, כאשר השיא נראה בתום השבוע השלישי. בשלב זה נצפו פרות שריכוז הכדוריות האדומות בדמן ירד ל-200,000 כדוריות לסמ"ק בלבד!

המחלה הקלינית מופיעה כאשר מספר רב של כדוריות אדומות נהרסות. בשלב זה, הפרה מאבדת את התיאבון וחלה עלייה הדרגתית בחום הגוף העלול להגיע ל-41°C. עם התגברות הרס הכדוריות מופיע חיוורון הנראה בבירור בריריות של הפה, של העיניים ושל הבושת. במצב זה הפרה נחלשת. בהמשך, מופיעה צהבת הנגרמת מהצטברות מרכיבי ההמוגלובין בפלזמה. בהגיע האנמיה לשיאה נגרם מוות כתוצאה מחוסר חמצן במוח. לא כל הפרות מתות מהמחלה. חלקן מצליח ליצור נוגדנים. במקרה כזה מתחילה יצירה מואצת של כדוריות אדומות במח העצמות. פרות כאלו מתגברות לאיטן על האנמיה והחולשה והופכות חסינות לכל החיים כנגד המחלה.



דרך ההדבקה: מחלת האנפלזמה עוברת מפרה לפרה בדרך מכנית של חדירת כדוריות אדומות או פלזמה מפרה נגועה לפרה בריאה. הגורם המדבק העיקרי הוא קרציות למיניהן, אך אפשרית גם העברה תוך עקיצה של זבוב מוצץ דם. גם מחטי מזרקים שאינן מוחלפות בין פרה לפרה בעת חיסון העדר או בהזרקה טיפולית מסוגלות לגרום להדבקה.

התפתחות המחלה: בעת מציצת דם מפרה נגועה על ידי הקרצייה חודרות לקיבתה של הקרצייה כדוריות דם נגועות. כאשר הקרצייה זקוקה למנת דם נוספת יש והיא נטפלת לפרה אחרת בריאה. בעת המציצה מפרישה הקרצייה הפרשות שנועדו למנוע קרישה של דם הפרה. בהפרשות אלו עוברים טפילי אנפלזמה לנימיות הדם של הפרה הבריאה, ומשם למערכת הדם. טפילי האנפלזמה חודרים לכדוריות הדם האדומות ומתרבים בהן. יציאת הטפילים החדשים לפלזמה במטרה לחדור לכדוריות חדשות גורמת להרס הכדורית ולזליגת ההמוגלובין לפלזמה. תהליך זה, החוזר על עצמו במשך תקופת המחלה, מביא לירידה במספר כדוריות הדם האדומות ולאנמיה קשה.

אבחון המחלה: באזורים בהם המחלה שכיחה נעשה האבחון לרוב על ידי וטרינר מנוסה על סמך סימנים קליניים. אבחון מדויק של המחלה מתקבל לאחר בחינת משטח דם. מקובל לדגום דם מאוזן הפרה. לאחר צביעת משטח הדם במעבדה ניראים טפילי האנפלזמה במופע האופייני להם, בשולי כדוריות הדם.

טיפול: טפיל האנפלזמוזיס רגיש לאנטיביוטיקה מסוג טֶטְרָצִיקְלִינִים. השיקולים האם לטפל בפרה וכיצד לטפל בה נעשים על ידי הרופא האחראי ומרכז העדר.

המשמעות הכלכלית של המחלה: מחלת האנפלזמה תוקפת בישראל הן בקר לחלב והן בקר לבשר. היא מופיעה בכל חלקי הארץ. בדרך כלל תוקפת המחלה בעת ובעונה אחת מספר רב של פרות בעדר. בעדרי בקר לבשר הידבקות באנפלזמה היא אירוע שכיח, המתרחש עם החלפת שטחי מרעה או במהלך מעבר של עדר נגוע אל שטחי מרעה של עדר בריא. בעדרי הבקר לחלב פורצת המחלה לעתים עם קנייה של חציר או קש אשר מכילים קרציות נגועות. כתוצאה מהדבקות במחלה תנובת החלב יורדת מאוד, חלק מהפרות מתות בעקבות המחלה ואחרות נשלחות לשחיטת דחק בגלל ההידרדרות במצבן. בעקבות ההדבקה, פרות רבות מפילות והופכות להיות בלתי כלכליות. לעתים, הנזק הוא כה גדול עד כי קיים צורך להחליף את כל העדר לאחר מגפת אנפלזמה. עדר שעבר מחלת אנפלזמה סובל איפוא נזקים כלכליים ישירים ועקיפים.



מניעת המחלה: מכיוון שמעבירי המחלה בטבע יכולים להיות סוגים שונים של פרוקי רגליים, ניתן להילחם במחלה על ידי חיסול המעבירים (וקטורים). הדבר נעשה בדרך כלל על ידי ריסוסים של הבקר בקוטלי קרציות. אולם, יש לזכור שהמחלה עלולה לפרוץ גם מסיבות אחרות ולא רק בגלל העברה על ידי קרציות.

חיסון הבקר כנגד המחלה עדיף על פני כל דרכי המניעה האחרות. השיטה הנהוגה בעולם היא החיסון של הבקר בטפיל אנפלזמה מזן שונה. זן זה הנקרא אנפלזמה צֶנְטְרָלֶה (*Anaplasma Centrale*) משום שהוא נראה במרכז כדורית הדם האדומה, אינו גורם לתחלואה קלינית, אולם חיסון נגדו מביא ליצירת תגובה חיסונית טובה כנגד הזן הגורם לתחלואה הקלינית – האנפלזמה מרגינלה.

גורם ממשקי חשוב ביותר למניעת מגע בין דם פרה אחת לשנייה הוא הקפדה בעת חיסון על החלפת מחטי מזרקם תכופה או על ניקוי המחט ושטיפתה בין פרה לפרה.

מחלת האנפלזמה בישראל: מחלת האנפלזמה הייתה שכיחה ביותר בישראל בשנים הראשונות שלאחר קום המדינה. המחלה פגעה בעדרים רבים מאוד כאשר ההדבקה הובילה לתמותה ושחיטות דחק של פרות רבות. מספר היישובים בהם עדרים נגועים באנפלזמה הגיע מִדִּי שנה

ליותר מ-100. בשנת 1973 הוחל בשימוש בתרכיב החיסון המכיל את הזן אנפלזמה צנטרלה, ומשנת 1977 החלה התחלואה בישראל לרדת בהיקפה. אין נתונים עדכניים על היקף התחלואה בישראל, אולם ידוע כי מספר העדרים הנגועים במחלה ירד ל-20 עד 30 בשנה ללא ספק הודות לחיסון. החיסון כנגד אנפלזמה אינו חיסון חובה בישראל. באזורים בהם נפוצה המחלה וכן בעדרי בקר לבשר נהוג לחסן כנגד אנפלזמה בגיל 6 עד 9 חודשים יחד עם מתן חיסון כנגד ברוצלזיס.

במקסיקו ובמדינות אחרות בדרום אמריקה נעשה שימוש מוגבל אך יעיל בחיסון כנגד טפיל מוחלש של אנפלזמה מרגינלה. הכנתו של חיסון זה מסובכת יחסית. מסיבה זו לא נפוץ השימוש בתרכיב חי מוחלש זה בעולם.



מחלות הבבזיה (Babesiosis)

מחלת הבבזיה נקראת בספרות בשמות שונים, אשר הידועים ביניהם הם: Babesiosis, Tick Fever, Texas Fever, Piroplasmosis, Redwater disease, Hemoglobinuria. השמות הרבים מעידים על תפוצתה של המחלה בחלקי העולם השונים. השמות השונים מתארים סימנים קליניים כמו עלייה בחום (פירופלזמה), הופעת המוגלובין בשתן (המוגלובינוריה ומחלת השתן האדום) או שמות הקשורים בעובדה שהמחלה מועברת רק על ידי קרציות. המחלה נקראת על שם הטפיל הגורם למחלה. טפיל זה התוקף את הכדוריות האדומות שבדם נתגלה לראשונה ב-1889 על ידי חוקר הונגרי בשם בַּבֶּס (Babes). בישראל קיימים שני זנים של הטפיל המכונים "בבזיה גדולה" ו"בבזיה קטנה" על שום ההבדל בגודלם. למרות הדמיון הרב בין המחלות הנגרמות על ידי הטפילים ניתן לציין הבדלים ברורים ביניהן. המחלות נקראות בישראל בַּבֶּזְיָה וּבַבֶּזְיָאלָה (הבבזיה הקטנה).

מחלת הבבזיה: נגרמת על ידי הטפיל בבזיה בִּיגִמִּינָה (*Babesia bigemina*). שם הטפיל "ביגמינה" שמשמעותו תאומים, ניתן לו על שום הצורה השכיחה שבה הטפיל נראה בבדיקות המיקרוסקופיות בתוך כדוריות הדם האדומות. רוב הטפילים נמצאים בעת הבדיקה בשלב חלוקה ונראים כשני טפילים צמודים זהים בגודלם ובצורתם.

התמונה הקלינית של המחלה: ככל הקדחות, כך גם במקרה של הבבזיה, התפתחות המחלה איטית בתחילה. תקופת דגירת המחלה היא 10 עד 14 יום מהעקיצה של הקרציה שהכילה את טפילי הבבזיה. העלייה במספר הכדוריות הנגועות בטפיל מלווה בעלייה בחום הגוף אשר מגיע במהירות ל-41 מ"צ ואף יותר. במצב זה הפרה מפסיקה לאכול ומראה סימני חולשה וחוסר

יציבות. השתן הופך גוון ורוד ועובר בהדרגה לצבע אדום עד אדום כהה. בשל כך מכונה המחלה בעברית "קדחת שחור השתן". בריריות נראה בתחילה גוון חיוור ההופך בהדרגה לגוון צהבהב, הנעשה צהוב עם החמרת המחלה. בשלב מתקדם זה של המחלה הפרות חלשות מאוד ומועדות תוך כדי הליכה. פרות היוצאות למרעה ירבצו בדרך אליו או ממנו. רוב הפרות המגיעות לשלב זה של המחלה ימותו גם אם יקבלו טיפול. אלה שייגיבו לטיפול יתאוששו לאט במשך מספר שבועות. פרות שהבריו מהמחלה נושאות טפילים בדמן תקופה ארוכה, לעתים כל חייהן.

הפתוגנזיס – התפתחות המחלה: עם חדירת טפילי בבזיה ביגמינה לגוף תוקפים הטפילים את כדוריות הדם האדומות. הטפיל גדל בתוך הכדורית תוך שהוא ניזון ממוהל התא. בתוך כדורית הדם עובר הטפיל חלוקת הנצה כך שנוצרים שני טפילים זהים. בשלב זה נבקעת הכדורית בהשפעת חומרים המופרשים על ידי הטפילים, וההמוגלובין שבה נמהל בפלסמת הדם. שני הטפילים שנוצרו תוקפים כדוריות דם חדשות, וחוזר חלילה. תוך ימים מספר יורד בגוף מספר כדוריות הדם האדומות הכשירות להובלת חמצן לרקמות. האנמיה (חסר דם) שנוצרת גורמת לפרה לחולשה כללית ולחיוורון בריריות. ההמוגלובין המשתחרר מהכדוריות האדומות לדם מגיע לכבד ומתפרק שם לצבעי מרה, הסובבים במחזור הדם וצובעים את הרקמות בצבע צהוב. בשלב מתקדם יותר של המחלה הכבד אינו מסוגל להתמודד עם כמויות ההמוגלובין החופשי הסובבות בדם. ההמוגלובין העודף מגיע לשטן דרך הכליות וצובע את השתן בצבע אדום. הכדוריות המתות נאגרות בטחול אשר הולך ותופח לממדים עצומים עד אשר לעתים הוא מתפוצץ. במקרה זה, הפרה מתה מוות פתאומי משטף דם פנימי חמור, אם לא מתה קודם לכן מחסר חמצן במוח או מנמק של אברים אחרים כתוצאה מחוסר בחמצן. ההדבקה במחלה: העברת טפיל הבזיה מבהמה חולה לבהמה בריאה נעשית על ידי קרציה מסוג בואופילוס אַנולטוס (*Boophilus Annulatus*). קרציה זו היא קרציה חד-פונדקאית – כל חייה, פרט לתקופת ההטלה, עוברים עליה על גבי פונדקאי אחד. הפונדקאי המועדף על הקרציה הוא הבקר. הקרציה נישאת על גבי הפרה כל חייה ומוצצת דם לפני כל נשל, המקדים מעבר לשלב התפתחות חדש שלה.



הקרציה נושרת לאדמה כדי להטיל את ביציה שם. טפילי הבזיה נמצאים בתוך כל אחת מהביצים של הקרציה. תהליך הבשלת הביצה עד לבקיעת הזחל נמשך בין שבועיים לחודשים מספר, בהתאם לעונת השנה ולתנאי הסביבה. זחלי הקרציה בוקעים מהביצים כאשר בתאי דופן המעיים שלהם מצויים טפילי בבזיה. טפילים אלו עדין אינם בשלים להדבקה, והם מתבגרים תוך שהות בדופן המעי של הזחל.

הזחל הצעיר של הקרציה מחפש מגע עם רגלי הפרה במרעה תוך שהוא מטפס על העלים הגבוהים של צמחי המרעה. משהגיע הזחל למגע עם רגל הפרה הוא עולה עליה ומתבסס, בדרך כלל באזור הבשת ועל קפלי העור בצוואר. הזחל מוצץ דם לקראת הנשל הראשון שלו

שלאחריו הוא הופך לנימפה – קרציה צעירה. בהגיע הזמן למציצת דם נוספת פולטת הנימפה מקיבתה חומר המונע קרישת הדם באזור מציצת הדם. יחד עם חומר זה חודרים לגוף הפרה גם טפילי הבבזיה אשר מגיעים למגע עם כדוריות הדם של הפרה הבריאה ותהליך ההדבקה במחלה מתחיל מחדש.

מחלת הבבזיאלה: מחלת הבבזיאלה נגרמת על ידי סוג של בבזיה הנקרא בספרות בשני שמות: בבזיה בוביס (*Babesia Bovis*) ובבזיה בֶּרְבֶּרָה (*Babesia Berbera*). טפיל זה נבדל מטפיל בבזיה ביגמינה בכך שמידותיו קטנות בהרבה מאלו של הבבזיה הגדולה, ובכך שהזווית בין שני הטפילים שנוצרים בתהליך ההנצה בתוך כדורית הדם חדה יותר מזו שבבבזיה ביגמינה. אין הבדל בין שתי הבבזיות בתהליך ההדבקה ובשני המקרים הגורם המעביר הוא הקרציה בואופילוס אנולטוס. אולם קיים הבדל במופע הקליני של המחלה.

הפתוגנזיס – תהליך המחלה: ההדבקה בטפילי בבזיה בוביס (בבזיאלה) מתרחשת, שלא כמו אצל הבבזיה ביגמינה על ידי הקרצית בשלב ההתפתחות הראשון שלה – שלב הזחל (הלרווה). המייחד את מחלת הבבזיאלה היא העובדה שבשלב מוקדם מאוד של המחלה מתרכזות כדוריות דם אדומות נגועות בטפיל בנימי הדם במוח. בהשפעת אנזימים שונים המופרשים כנראה על ידי כדוריות אלו נגרמים קרישי דם במוח. כתוצאה מכך נגרם נמק לרקמת המוח, עקב חסימה של אספקת הדם. נמק כזה גורם לעתים קרובות למוות מהיר של הפרה ללא סימני מחלה מוקדמים. לעתים נראים סימנים עצביים לפני המוות כמו אֶטֶקְסִיָה (חוסר יציבות וחוסר שיווי משקל בהליכה).

כאשר המחלה מתמשכת, עולה מאוד חום הגוף ומגיע ל-41.5°C ואף יותר ומופיעה אנמיה בריריות. בהמשך, מופיעים צהבת וגוון אדמדם בהיר בשתן. גם בפרות הנגועות בבבזיאלה ניתן לאבחן צהבת ברקמות, טחול נפוח, כבד צהוב ופריך ושטפי דם בכליות. הבראה ספונטנית מהמחלה אפשרית והיא מתרחשת תוך יצירת נוגדנים כנגד הטפיל.



אבחון המחלה: במרבית ההתפרצויות מאובחנת המחלה בשלבים החריפים שלה ויש להתחיל מיד בטיפול. אבחון מהיר ואמין אצל פרות המגלות את סימני המחלה ייעשה על ידי בדיקה מיקרוסקופית של משטחי דם. במקרה של מוות פתאומי ניתן למצוא טפילי בבזיאלה במוח. קיימות מספר בדיקות סרולוגיות המשמשות בעיקר למחקר ולפיתוח תרכיבים.

הטיפול בבבזיזיס: טפילי הבבזיה רגישים למספר תכשירים כימיים המיוחדים לגוף בהזרקה. במשך השנים היו בשימוש תכשירים שונים שהטיפול בהם היה כרוך בתופעות לוואי ואף במוות. תכשירים אלה הוחלפו בתכשירים יעילים יותר ובטוחים יותר.

המשמעות הכלכלית של הבזיוזיס: מחלת הבזיוזיס היא המחלה המדבקת הנפוצה ביותר בבקר בישראל. על פי דיווחים של השירותים הווטרינריים הממשלתיים המחלה מופיעה מדי שנה בעשרות עדרים הן של בקר לחלב והן של בקר לבשר. בכל אירוע מופיעה המחלה במספר רב של פרטים בעדר, ובמקרים רבים היא מלווה בתמותת הבקר. תהליך ההבראה של פרות שהיו חולות קשה וממושך והמחלה כרוכה באיבוד משקל ובאיבוד תנובת החלב. מרכיב נכבד מאוד בנוק הכלכלי הנגרם מקדחות אלה, הוא ההשקעה הנדרשת באופן מתמיד בחיסון הניתן לוולדות ובהדברה שגרתית של הקרציות.

מניעת בבזיוזיס ובזיאלה: מאחר והמחלות עוברות באמצעות קרציות ניתן לכאורה לחסל את מעגל ההדבקה על ידי חיסול הקרציות. בפועל, קשה מאוד, וכמעט בלתי אפשרי לחסל כליל את הקרציות, אלא אם העדר נמצא כל הזמן במכלאות סגורות. גם אז מגיעות קרציות אלה כשהן נישאות על קש או על חציר המגיע משטחי הגידול בהם רעו עדרים נגועים או חיות בר מעלות גירה שבהם נמצאת המחלה ברמה תת-קלינית. לפיכך, הדרך הבטוחה ביותר למניעת המחלה היא חיסון המורכב מטפילי בבזיוזיס אשר הוחלשו בעזרת העברות עוקבות רבות בבקר נטול טחול. חיסון כזה הוא פעולה שגרתית, הנעשית במרבית עדרי הבקר לבשר בישראל וכן במספר עדרי בקר לחלב הנמצאים בתנאים של סיכון גבוה. חסרונם של החיסון הוא שהוא מגן על העגלה או הפרה ומעודד יצירת נוגדנים רק כל עוד הטפילים עדיין בגופה. מסיבה זו, במרבית העדרים מתבצעת המלחמה נגד הקרציות באופן חלקי בלבד במכוון, למען תתקיים נוכחות מתמדת, אך מועטה, של קרציות בגוף הפרה.

טיפול נגד קרציות נעשה בעזרת ריסוס בחומרים כימיים. ניתן לווסת את עוצמת הטיפול על ידי שינוי במספר הריסוסים. נהוג לרסס מדי שנה בעיקר בעונת האביב והקיץ. החומרים הכימיים שהיו בעבר בשימוש למטרה זו היו אַרְסֶן ופחמימנים כלוריים. כיום הריסוס נעשה בזרחנים אורגניים במינון המומלץ על ידי היצרן.



בוטולזיס (Batulism)

מחלת הבוטולזיס היא הרעלה חריפה ולרוב ממיתה, הנגרמת על ידי בליעת רעלנים של חיידקים המתרבים בחומר אורגני רקוב. רעלן הבוטולזיס הוא הרעלן הביולוגי הקטלני ביותר. הרעלנים מתקשרים לחיבור שבין העצב לבין השריר המוטורי, ומונעים מעבר של הגירוי החשמלי לשריר במנגנון פעולה שטרם הוברר עדיין. התוצאה היא שיתוקו של השריר. רעלני הבוטולזיס נהרסים בהרתחה.

התמונה הקלינית: קצב הופעת השינויים האופייניים למחלה תלוי בכמות הרעלנים שנספגו בגוף. במקרים בהם נספגה כמות יחסית גדולה, עלולה להיגרם תמותה פתאומית ללא הופעת סימנים מוקדמים.

המאפיין את המחלה הוא התפתחות שיתוק מוטורי בגוף הפרה. השיתוק מופיע לראשונה בדרך כלל בשרירי הלעיסה והלשון ומתפשט בהדרגה לשרירי הגפיים. בשלבים הראשונים של המחלה, ניתן בקלות לפתוח לפרה את הפה וזה יישאר פתוח. בעת משיכת הלשון החוצה היא תישאר שמוטה מחוץ לפה. לאחר הופעת השיתוק של שרירי הלעיסה, מופיעה גרירת רגליים אחוריות ולבסוף חוסר יכולת לעמוד. הפרה רובצת תחילה בראש מורם ובהמשך מניחה את הראש על אדמה. מרבית המקרים מסתיימים במוות תוך 3 עד 4 ימים כתוצאה מהשיתוק המוטורי של שרירי הסרעפת, של שרירי הצלעות ושל שריר הלב. בעלי חיים שנשארים בחיים לאחר ההרעלה הם אלו שספגו כמות קטנה מהרעל. אלה ימשיכו לרבוץ שבועות מספר ולאחר שיבראו הם יתנהגו בעצבנות גדולה.

גורם המחלה: גורם המחלה הוא רעלן הנוצר על ידי החיידק קְלוֹסְטֶרִיִּדיום בוטולינום (*Clostridium Botulinum*) – חיידק גרם חיובי אנארובי הזקוק לסביבה דלת חמצן לצורך חלוקה ורבייה. החיידק עמיד ביותר בתנאי סביבה קשים הודות לספורות (Spores) שהוא יוצר בתגובה לתנאי סביבה קשים. הספורות הן קופסיות בעלות מעטפת קשה ועמידה. בהגיע הספורות הללו לתנאים מעודדים לחיידק, כמו גופה רקובה של בעל חיים או חומר צמחי עשיר, יהפכו הספורות בחזרה לחיידקים. החיידקים יחלו בחלוקה מזוהזת תוך שהם מפרשים לסביבתם את הרעלנים. רעלני הבוטוליזם אמנם עמידים מאוד בתנאי טבע קשים, אך כאמור נהרסים בחימום גבוה של 130 מ"צ למשך מספר דקות. קיימים 5 זנים של החיידק, וסימונם הוא A,B,C,D,E. הבקר נפגע מהזנים C ו-D.



דרכי העברת המחלה והתפשטותה: הספורות הן בעלות עמידות גבוהה ביותר ונשמרות בטבע לאורך זמן. הן מתפזרות בשטחי השדות, משם הן מגיעות למערכת העיכול של אוכלי הצמחים כמו הפרה והסוס. אלה ממשיכים להפיץ את הספורות עם הצואה. נוכחות הספורות במערכת העיכול אינה מעידה על הרעלה.

רעלן הבוטוליזם מגיע אל הבקר בצורות שונות, כאשר הנפוצה ביותר היא אכילת חציר או תחמיץ בהם גופות של ציפורים או נברנים במצב ריקבון. באלה התפתחו חיידקי בוטוליזם אשר הפרישו רעלנים. גם שתייה ממקורות מים בהם נמצאות גופות במצב ריקבון היא דרך

שכיחה לספיגת הרעלנים. הרעלן עצמו נשמר תקופות ארוכות מאוד בעצמות בעלי חיים שמתו מבוטולים. דווחו מקרים רבים של הרעלת בוטולים לאחר אכילת עצמות בשטח, דבר המתרחש בעת שהבקר הנמצא במרעה לוקה בחסר כרוני של זרחן. אבחון המחלה: האבחון העיקרי של המחלה הוא על ידי המאפיינים הקליניים. לאבחון מעבדתי נדרשת קביעה של נוכחות הרעלן בגוף הפרה, אך הדבר מסובך. בגלל הכמויות הזעירות אשר מספיקות להרעלה לא ניתן למצוא את הרעלן בשרירים. נוכחותו במערכת העיכול נחשבת כהוכחה מעבדתית להרעלת בוטולים. תמותה של חיות מעבדה לאחר הזרקת מיץ כרס של פרה פגועה היא הוכחה למציאת הרעלן. הוכחה עקיפה לגילוי הרעלת בוטולים היא גילוי רעלנים במזון שהואבס לפרות החולות.

טיפול במחלה ומניעתה: כאשר מאבחנים הרעלת בוטולים בעדר לא ניתן לקבוע האם ההרעלה מלווה בנוכחות חיידקים או בנוכחות הרעלן בלבד. נהוג לחסן את הפרות כנגד בוטולים בחומר חיסון שפותח כנגד הזנים C ו-D. החיסון מקנה עמידות רבה בפני ההרעלה החל משבועיים לאחר החיסון והעמידות נמשכת כשנתיים. לצורך הגנה בטוחה ויעילה נעשה החיסון מדי שנה בעדרים בארצות שבהן הבעיה נרחבת. לפרות חולות שאינן רובצות ניתן טיפול אנטיביוטי במטרה לקטול את חיידקי הבוטולים בטרם ייצרו את הרעלן. יעילות הטיפול מוגבלת מאוד, וחשוב כלכלי מלמד כי למעשה כדאי לשלוח את כל הפרות שרובצות לשחיטת דחק.



הנזק הכלכלי ומניעת המחלה: מכיוון שהרעלנים או הספורות מגיעים דרך המזון, ההרעלה פוגעת בדרך כלל במספר רב של פרות בעדר הניזונות מאותו מקור מזון. מרבית הפרות באירוע המוני כזה מגיעות למצב של שיתוק מוטורי ונשלחות לשחיטה. הנזק הכלכלי הנגרם לעדר בעת הרעלת בוטולים הוא גדול מאוד, ועלול להגיע עד לחיסול העדר כיחידה כלכלית.

הרעלות בוטולים בישראל: בישראל היו מספר התפרצויות של הרעלות מבוטולים בבקר לחלב. בשנת 1977 אובחנו מקרים קליניים רבים בעדרי חלב לאורך נחל שורק. חקר אפידמיולוגי הגיע למסקנה שהבקר בעדרים אלו הואבס בחציר שגדל בשדות על גדות נחל שורק, שבו היו הצפות רבות עקב ריבוי הגשמים באותה שנה. בהצפות אלו הגיעו לשדות פגרי נברנים שהיו המצע האורגני להתפתחות החיידקים וליצירת הרעלנים. בנגב היו מספר אירועים של הרעלות בוטולים בעדרים שהואבסו בשיירי ירקות מבתי החרושת לעיבוד ירקות לשימורים.

ההתפרצות הגדולה ביותר של מחלת הבוטולים היתה בשנים 1976 ו-1977. עדרים רבים בכל חלקי הארץ נפגעו קשה כאשר חלק מהעדרים חוסל. כ-1,000 פרות נשחטו שחיטת דחק באותה תקופה. מחקר אפידמיולוגי עלה על הקשר בין האבסת הבקר בזבל עופות לבין

התמותה מבוטולזים. נהוג לעקר זבל עופות תוך חימום לטמפרטורה גבוהה לפני שהוא מועבר למכונת התערובת לשימוש כמרכיב במנת המזון. במקרה הנדון, זבל עופות שלא עבר טיפול בחום, ואשר הסתבר בדיעבד כי הכיל את הרעלן, הגיע למספר מכונת תערובת והוכנס למזון שחולק לעדרים רבים.

מאז הרעלה נרחבת זו, כל עדרי הבקר לחלב ורוב עדרי הבקר לבשר בארץ מחוסנים מדי שנה כנגד בוטוליזם. החיסון הוא כנגד הרעלנים מסוג C ו-D. בפועל, חלק מהבקר אינו מחוסן, כך שאנו עדים לאירועים של הרעלות מבוטוליזם כמו שקרה בשנת 1988 בעדר בצפון הארץ, אירוע שבו נשחטו 91 ראש.



תסמונת "האכילה הגסה" בבקר (Complex Overeating)

אכילה גסה בבקר היא תסמונת המופיעה לאחר אכילה מרובה של מזון עשיר באנרגיה או בחלבון מסוג שלא נצרך על ידי הבקר באופן שגורתי. שמות כמו אֶצִידוֹזִיס לֶקְטִי של הכרס (Rumen Lactic Acidosis), הפסקת העיכול בבקר (Bovine Indigestion) או הרעלת פחמימות (Carbohydrate intoxication) שכיחים בספרות המקצועית המתארת אירועים של המחלה.

הפתוגנזיס והתמונה הקלינית של המחלה: בבקר בריא דרגת החומציות של נוזל הכרס היא כ- $pH=6.5$ שהיא סביבה כמעט ניטרלית. פירוק התאית על ידי החיידקים בכרס בתנאים אלה מסתיים בהפיכת הפחמימות לגז מֵתָאן, לדו־חמצן הפחמן ולחומצות שומניות נדיפות: חומצה אצטית (65%), חומצה פרופיונית (25%) וחומצה בוטירית (10%). החומצות השומניות נספגות למחזור הדם דרך דופן הכרס, ועוברות בדם תהליך של נטרול, בעיקר על ידי בִּי־קָרְבוֹנָט־הֶנְתָּרֶן.

בעת אכילה של כמות מזון גדולה מן הרגיל, וכאשר המזון מתפרק במהירות רבה על ידי החיידקים גוברת הפעילות של החיידק סְטְרֵפְטוֹקוֹקוס בּוֹבִיס (*Streptococcus bovis*) ונוצרת חומצה לקטית. עלייה בכמות החומצה הלקטית בכרס מביאה לעלייה בחומציות בכרס. תוך 8 שעות מגיעה החומציות לערך של $pH=5.5$, דבר הגורם לתמותה של מרבית החד־תאיים והחיידקים. תמותת החיידקים מביאה להתפרקותם, ולשחרור רעלנים שונים המכונים אֶנְדוֹטוֹקְסִינִים מקפסולת החיידקים. אנדוטוקסינים אלה, הנספגים לזרם הדם דרך דופן הכרס הם בעלי השפעה מדכאת על מרכזי התיאבון, הנשימה והלב, וכן מסבים נזק לדפנות כלי הדם תוך שהם מגבירים את חדירותם. מצב זה מאפשר יציאה קלה של סרום ממערכת הדם לחללים הבין תאיים בגוף.

החומציות שעלתה במיץ הכרס מביאה לעלייה ברמת ההיסטמין בכרס על ידי תהליך של קרבוקסילציה של היסטידין הנמצא במיץ הכרס. העלייה בחומציות הכרס מביאה גם להפסקת תנועתיות הכרס ולהגברת הלחץ האוסמוטי של מיץ הכרס. בעקבות עלייה זו מתקיים מעבר נוזל הפלזמה מכלי הדם למיץ הכרס. כתוצאה ממעבר זה נגרמת ירידה בנפח מערכת הדם והפרה מגיעה למצב של התייבשות. זו גורמת לירידה בתפוקת הלב ולחסר דם ברקמות, דבר הפוגע בעיקר בכליות ומביא להקטנת הפרשה של שתן ולעלייה בריכוז השתן בדם, מצב המביא להלם.

הפרה החולה לוקה למעשה במספר אופנים: בחִמְצַת הדם – אַצִידוֹזִיס, כתוצאה ממעבר של כמות גדולה של חומצה לקטית לדם בגלל הבדל ריכוזים; בהתייבשות – בגלל הקטנת נפח נוזלי הדם; בדיכאון קשה בגלל השפעת האנדוטוקסינים על מרכזי המוח החיוניים. כמו כן, עלולה הפרה לסבול מהתפתחות למיניטיס חריפה, שהיא דלקת עלעלי הטלף הנגרמת במצב של אצידוזיס; בנוסף לכל אלו נמצאת הפרה במצב של הרעלת שתן – אוֹרֶמְיָה (Uremia), כתוצאה מהקטנת הפרשת השתן.

אם לא יינתן לפרה טיפול היא עלולה למות תוך פרק זמן קצר. התמותה בעדרים שנפגעו מאכילה גסה עשויה להגיע ל-90% בבקר בלתי מטופל ול-50% בבקר שקיבל טיפול.

הטיפול: הטיפול במקרים של אכילה גסה חריפה מיועד לתיקון העיוותים במצב המטבולי. הטיפול יכול להינתן על ידי בעל הפרה עצמו וכן על ידי הרופא. הטיפול על ידי בעל הפרה צריך לכלול אבקת ביי־קרבונאט הנתרן מומסת במים הניתנת לפרה בהגמעה מאולצת. פירוק ביי־קרבונאט הנתרן בכרס משחרר כמות גדולה של נתרן, אשר יחד עם המים יוצר בסיס אשר מנטרל את החומציות בכרס.

הטיפול על ידי הרופא יכלול עירוי של תמיסה פיזיולוגית לווריד, עירוי שמטרתו להגדיל את נפח נוזלי הדם וכן מתן תכשירים המבטלים את ההשפעות הקשות של ההיסטמינים. תכשירים אלה מגבירים את יכולת עמידתו של הגוף במצב של הלם.



המשמעות הכלכלית של המחלה: הסיבה למרבית מקרי האכילה הגסה היא פריצה של הבקר למקור עשיר של פחמימות (מְכָלִי תערובת למשל) או מעבר חד מהזנה על מזון אחד להזנה על מזון אחר. כמחצית מכלל העדר שנחשף לגורם המחלה נפגע. הפרות שמבריאיות מהמצב

של אכילה גסה אינן חוזרות לרמת התנובה הקודמת מיד, אלא בהדרגה ולאחר זמן של מספר ימים עד שבועות. מכיוון שהתמותה עלולה להגיע בעדר לעשרות אחוזים מהבקר הפגוע, הנזק הכלכלי של המחלה עלול להיות גדול מאוד. תמותה מאכילה גסה היא למעשה אחת המכות הכלכליות הקשות העלולות לנחות על העדר.

מניעת המחלה: ניתן למנוע אירועים של המחלה על ידי ממשק הזנה נכון. העקרונות החשובים ביותר הם מעבר הדרגתי מאוד בעת שינוי לוח ההזנה, מניעת שינויים תכופים ברמות אנרגיה וחלבון במנה, ויחס מתאים בין מזון גס לבין מזון מרוכז. כמו כן, יש להבטיח כי הבקר לא יפרוץ לעבר מקומות בהם מאוכסנים הגרעינים והתערובות.

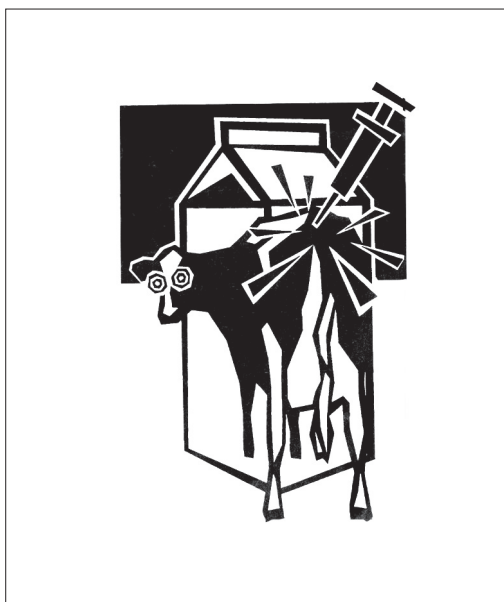
מידע נוסף על גידול בקר לחלב בישראל ניתן להשיג באתרי האינטרנט הבאים:

❖ <http://www.icba.org.il> – אתר התאחדות מגדלי הבקר

❖ <http://www.para.co.il/newsite/viewArticle.asp?ID=17> – אתר מידע לבקר לחלב

שנבנה על ידי גבי עדין, מדריך שה"מ.

❖ <http://www.icba.org.il/cbase/bakar1.htm> – מאגר מידע בנושאי בקר



יסודות רבייה של מעלי גירה



דוד וולפנזון

הקדמה



בשר וחלב המופקים מבקר ומצאן מהווים חלק חשוב מסל המזונות של האדם. פוריות תקינה של חיות משק אלו היא תנאי ראשון לשימוש בהן לתועלת האדם. זאת, מן הסיבה הפשוטה שאחזקתן של בהמות אשר אינן מתעברות, אינן ממליטות ואינן מייצרות חלב כרוכה בהפסד. בהמות שלא התעברו משך תקופה מסוימת מוצאות מהעדר ובמקומן מוכנסות בהמות צעירות. תחלופה זו של פרטים בעדר כרוכה בהוצאות ובהפסד כלכלי רב למגדל. התחלופה השנתית הממוצעת של פרות בעדר הבקר לחלב בארץ היא בשיעור של כ-25%. יש הטוענים כי מספר הפרות המוצא מהעדר לשחיטה עקב חוסר התעברות גבוה יותר מאשר מספר הפרות המוצאות מהעדר עקב גורמים אחרים כגון דלקות עטין או בעיות בריאות אחרות.

עייכוב בהתעברות גם הוא גורם נזק למגדל מאחר וברור מאליה כי איחור בהתעברות מביא לאיחור בהמלטה. הדבר כרוך לא רק בנזק ישיר, הנגרם מהזנת בעלי חיים שאינם יצרניים ודחיית מועד קבלת ההכנסות ממכירת התוצרת, אלא גם בנזק עקיף: בהמות "מצטיינות" בתכונות ייצור כתנובת חלב למשל אשר אינן מתעברות כמצופה, מוצאות מן העדר בגיל מוקדם תוך צמצום האפשרות להשבחה גנטית של העדר בדרך של בחירת הצאצאים שלהן לגידול.

קיים הבדל עקרוני בין הבקרה על הליך ייצור החלב או על תהליך הגדילה לבין הבקרה על תהליך הרבייה. קצב ייצור החלב או קצב הגדילה של עגלים או טלאים תלוי ברמת ההזנה שבעלי החיים מקבלים. שינויים הדרגתיים בכמות או בהרכב מנת המזון יביאו לשינויים

הדרגתיים בתכונות ייצור אלו. תוספת מזון למשל, תגביר את ייצור החלב אצל האמהות, וצמצום מנת המזון תפגע בקצב הגדילה של הוולדות הצעירים. לעומת זאת, הבקרה על מערכת הרבייה היא בקרה של "הכל או לא כלום". רצף האירועים בתהליך הרבייה אשר סופו המלטה תקינה של ולד בריא משול לשרשרת ארוכה של חוליות. כשם שהוספת חוליה נוספת מותנית בתקינות החוליה שקדמה לה, כך התקדמות תקינה של תהליך הרבייה, החל מייחום והפריה ועד להמלטה, מותנה בתקינות השלב הקודם. די בכשל של אחד השלבים בהליך הרבייה, אצל הזכר ו/או הנקבה, כדי למנוע היריון והמלטה תקינים.

פרות בעדר הבקר לחלב בישראל הן בממוצע בעלות תנובת החלב הגבוהה בעולם. אולם, ככל שהנבת החלב הלכה ועלתה בישראל במהלך השנים (כמו גם במשקים מודרניים אחרים בעולם), כך ירדה באופן איטי אך עקבי רמת פוריות הפרות. הסיבות למגמות ההפוכות של הנבת חלב ופוריות יידונו בהרחבה בהמשך הפרק. כאן נציין רק כי הליקוי בפוריות פרות גבוהות תנובה נובע בעיקר משתי סיבות:

- א. בעיה מטבולית הנובעת מהכמות המוגבלת של המזון אותו יכולה הפרה לצרוך ביום: בשלבים המוקדמים של התחלובה, בהם תנובת החלב בשיאה, נוצר חוסר איזון בכמות האנרגיה הרבה הנדרשת לייצור חלב לבין רמות האנרגיה שהפרה מקבלת מהמזון. מאזן שלילי זה פוגע ביכולת ההתעברות של הפרה.
- ב. ייצור חלב רב כרוך בייצור מוגבר של חום מטבולי. לעתים מתקשה גוף הפרה לסלק את עודף החום. הדבר גורם, בייחוד בקיץ, לעליית טמפרטורת גוף הפרה (היפרטרמיה), וזו גורמת לתמותה מוגברת של עוברים.

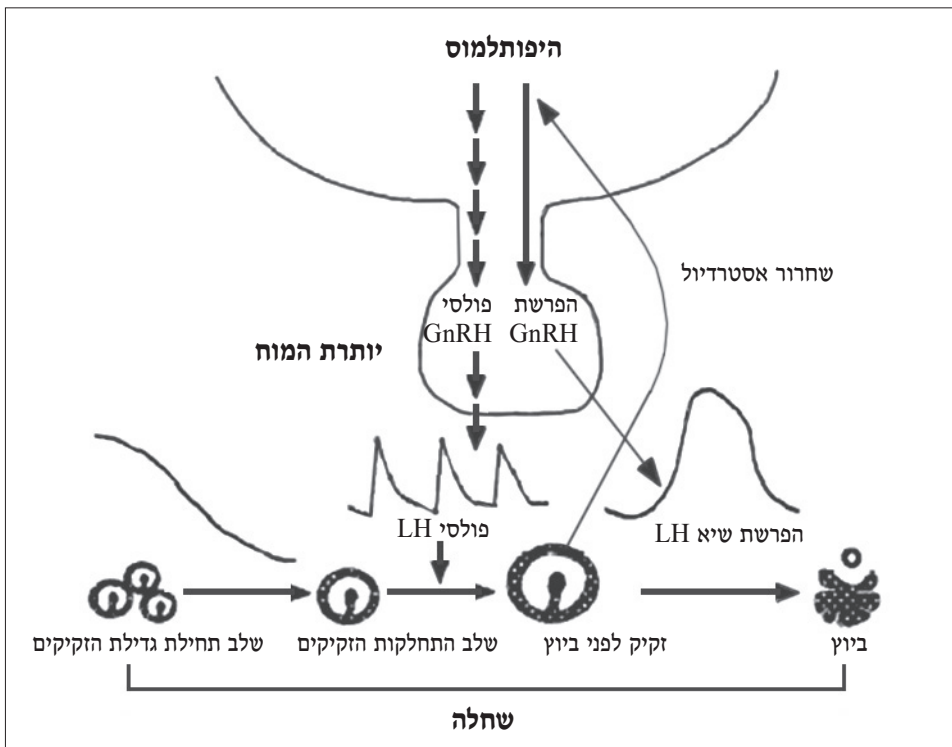
פרק זה עוסק בתהליכי רבייה בסיסיים בנקבות ובזכרים. עיקר הדיון הוא בבקר ומיעוטו בצאן. להשלמת הידע, הקורא מוזמן להיעזר במקורות נוספים העוסקים ברביית יונקים, לאו דווקא מעלי גירה. כמו כן, ניתן להוסיף ידע והבנה גם מקריאת פרקים העוסקים ברביית עופות וברביית דגים בסדרת ספרים זו. פרק נוסף בכרך זה, הדן ב"ממשק רבייה של מעלי גירה", יעסוק בגורמי סביבה המשפיעים על פוריות חיות משק ובדרכים שונות בהן ניתן תוך שינוי הממשק לשפר את ביצועי הרבייה.



הבקרה ההורמונלית של מערכת הרבייה



במהלך תקופת הפוריות עוברים על הנקבה מחזורי פעילות רבייה "ארוכים" בהם הנקבה מתייחמת, מתעברת, הרה, ממליטה, מתייחמת מחדש וחוזר חלילה. כאשר הנקבה אינה הרה, עוברים עליה מחזורים "קצרים" הנקראים מחזורי ייחום (Estrus cycles), שמשכם כ-17 יום בכבשה וכ-21 יום בפרה ובסוסה. מחזורים "קצרים" אלה אינם מתרחשים כאשר הנקבה הרה או במהלך עונת השקט המיני (תקופת האנאסטרוס). כל מחזור ייחום "קצר" כולל פרק זמן של שעות עד ימים ספורים בו הנקבה מתייחמת, תוך שהיא משנה את התנהגותה ומוכנה להזדווג עם הזכר, ופרק זמן ארוך יחסית בו לא תיתן הנקבה לזכר להרביע אותה. סמוך לסיום הייחום חל הביוץ ולאחריו תהליך הפריית הביצית, בין אם הנקבה הזדווגה עם זכר פורה ובין אם הוזרעה בדרך מלאכותית.



תמונה מס' 1: תיאור סכמטי חלקי של הבקרה ההורמונלית המלווה את תהליך הגדילה וההתפתחות של הזקיקים בשחלה עד לשלב הביוץ

משך מחזורי הייחום וכן תקופת ההיריון בנקבות מבוקרים בעיקר על ידי המערכת ההורמונלית כאשר בלוטת ההיפופיזה למוס, הנמצאת בבסיס המוח, היא הבקר העליון של התהליך. בלוטת ההיפופיזה למוס מפרשה מספר הורמונים המבקרים את הפרשת הורמוני בלוטת יותרת המוח (היפופיזה). בין השאר, ההיפופיזה למוס מפרש כמויות זעירות של ההורמון Gonadotropin releasing hormone (GnRH). הורמון זה, שהוא חלבון קטן בן עשר חומצות אמינו, מופרש מתאי עצב (נוירונים) שבהיפופיזה למוס לפרקים (הפרשה בפולסים). ה-GnRH מובל באמצעות שלוחות של תאי העצב (אקסונים) אל גזע ההיפופיזה, שם הוא נקלט במערכת "שער" של כלי דם.

בהגיעו אל ההיפופיזה ה-GnRH מעודד הפרשה של שני הורמונים: Follicle stimulating hormone (FSH) ו-Luteinizing hormone (LH). שני הורמונים אלה, הנקראים בשם כולל גונדוטרופינים (בעלי זיקה לגונדות) הם ההורמונים העיקריים המבקרים את פעילות אברי המין הפנימיים (גונדות):

בשחלת הנקבה מבקרים הורמונים אלה את גדילת הזקיקים, את תהליך הביוץ, את התפתחות הגוף הצהוב וכן את הפרשתם של שני הורמונים סטרואידים עיקריים: אסטרוגן המופרש מן הזקיקים, ופרוגסטרון המופרש מן הגוף הצהוב לאחר ביוץ הזקיק. באשך הזכר מבקרים הגונדוטרופינים הפרשת הורמונים אנדרוגנים ויצירת תאי הזרע. בנוסף, מופרש מן ההיפופיזה האחורית ההורמון אוקסיטוצין שחלקו בתהליך הרבייה יוסבר בהמשך.

מרחם הנקבה מופרש ההורמון פרוסטגלינדין $PGF_{2\alpha}$ המבקר את ניוון הגוף הצהוב ואת תהליך ההמלטה. מהשליה הנוצרת במהלך ההיריון ברחם הנקבה מופרשים הורמונים בעלי פעילות גונדוטרופינית דמוית LH ו-FSH, וכן סטרואידים והורמונים חלבונים אשר בין השאר מבקרים את התפתחות בלוטת החלב כדוגמת ההורמון לקטוגן שלילי (Placental lactogen). בנוסף, מיוצרים גורמי גדילה (Growth factors), המופרשים בצורה מקומית ברקמות שונות של מערכת המין, או המופרשים מהכבד ומוסעים אל מערכת המין, כמו למשל (IGF-I) Insulin-like growth factor I, שם הם קשורים לפעילות מגוונת בתהליכי רבייה רבים.



הבקרה על הפרשת כל ההורמונים שהוזכרו כאן היא תהליך מורכב הכולל משובים שליליים וחיוביים רבים. משוב חיובי הוא תהליך בו נוכחות ההורמון מביאה באמצעות השפעה על הורמונים נוספים להגברת קצב ייצורו והפרשתו של ההורמון הראשון. משוב שלילי הוא תהליך מנוגד בו נוכחות ההורמון גורמת בסופו של דבר לדיכוי בייצורו ובהפרשתו. כך למשל, מופרשים מהשחלה ומהאשך בהשפעת FSH ההורמונים אינהיבין ואקטיבין. אלה, בתהליך של משוב חיובי או שלילי, מבקרים את הפרשת FSH מההיפופיזה.

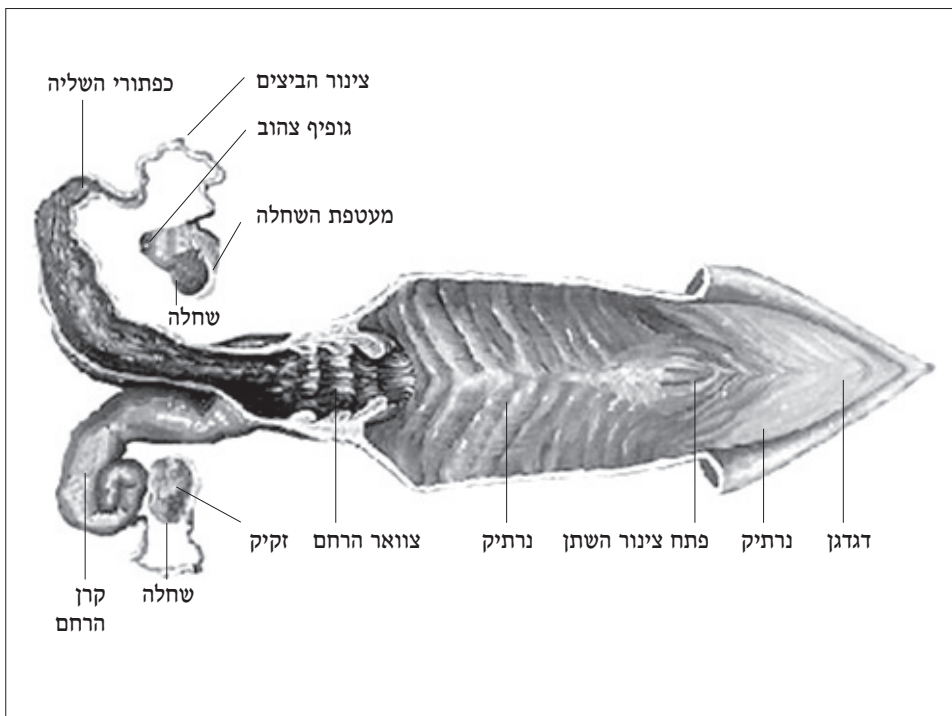
מבנה מערכת המין הנקבית



מערכת המין הנקבית כוללת:

1. שחלה – בה נוצרות הגמטות (תאי המין) הנקביות – הַיְצִיּוֹת (Oocytes), אשר מתפתחות בתוך מבנים בשחלה הנקראים זקיקים (Follicles).
2. "צינור" המין – כולל מספר חלקים וביניהם את צינור הביצים והרחם בו מתפתח העובר.

בעקבות הביוץ, הביצית חורגת מהשחלה, נאספת אל תוך המשפך אשר בקצה צינור הביצים, נודדת לאורך הצינור תוך שהיא מופרית שם (במידה ומתרחשת הזרעה או הרבעה). הביצית המופרית (Zygote) מגיעה לבסוף לרחם בה מתפתח העובר.



תמונה מס' 2: תיאור סכמטי של מבנה מערכת המין הנקבית בבקר

השחלה

מבנה ותפקוד השחלה משתנים ללא הרף במהלך מחזור הייחום של הנקבה. בשחלה מתרחש תהליך בלתי פוסק של גדילה והתפתחות של זקיקים, תהליך המסתיים ברוב המקרים בדעיכה ובניוון שלהם. אולם, מדי מחזור, אחד או מספר זקיקים עובר ביוץ – תהליך בו הביצית חורגת ויוצאת מהזקיק לעבר צינור הביצים. לאחר הביוץ הופך הזקיק המבייץ למבנה הנקרא גוף צהוב. הגוף הצהוב גדל עד לשלב מסוים במחזור ולאחר מכן מתנוון.

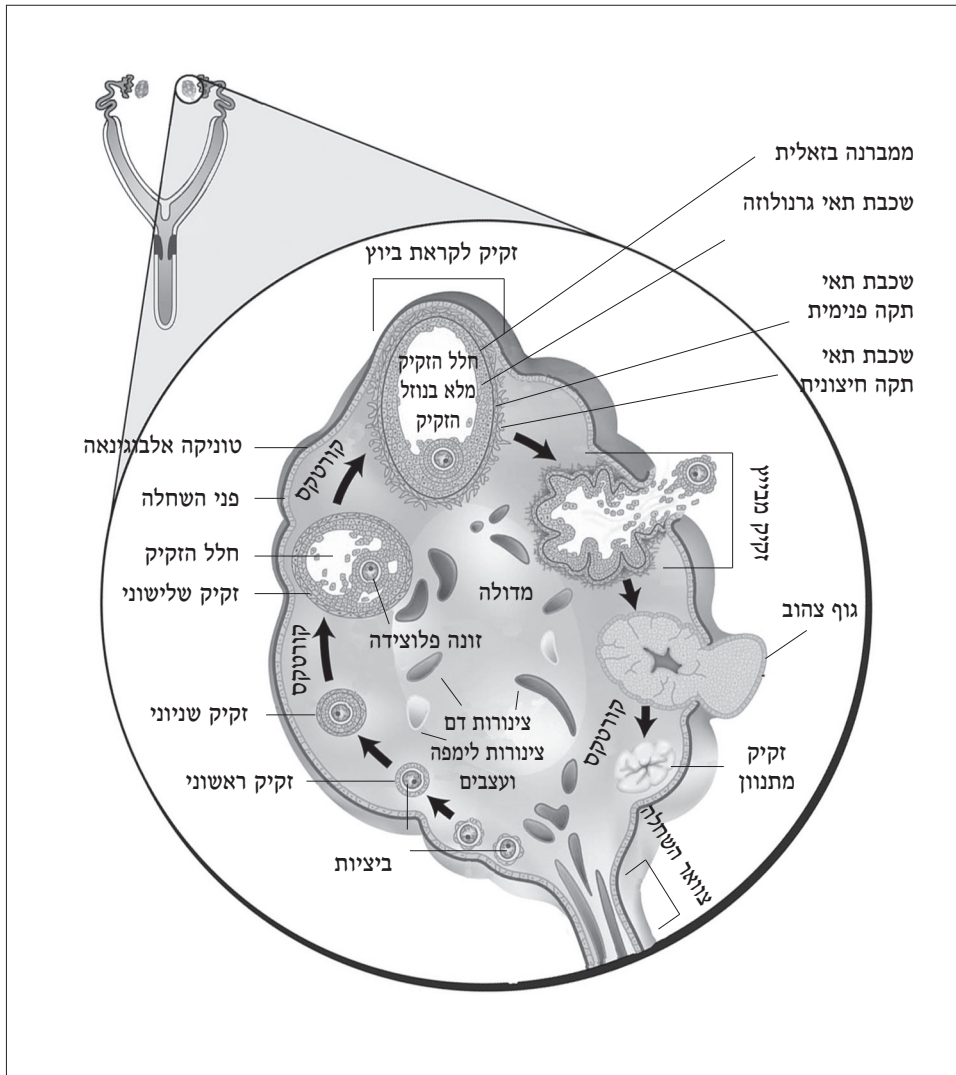


תמונה מס' 3: שחלות של כבשה

מימין: שחלה שאינה "פעילה" בה לא נראים זקיקים לפני ביוץ
משמאל: שחלה בה נראים זקיקים בדרגות התפתחות שונות

השחלה היא אבר אליפטי-עגול הממוקם בסמוך למשפך של צינור הביצים. היא נתונה בתוך מעטה של רקמת חיבור (ליגמנט) הנושאת את כל מערכת המין הנקבית. מבחינים בשחלה בשני אזורים: אזור הנקרא מדולה מרכזית, בו עוברים כלי דם, צינורות לימפה ועצבים, ואזור הקורטקס המצוי בהיקף השחלה, בו ערוכים הזקיקים המכילים את הביציות. הנקבה נולדת כאשר בשחלותיה כמה מאות אלפים של זקיקים בשלבי התפתחות ראשוניים. במהלך החיים, אוכלוסיית הזקיקים אינה גדלה אלא קטנה. הרוב המכריע של הזקיקים יתפתח עד לשלב מסוים ועובר לאחר מכן ניוון – אטרזיה (Atresia), בעוד מיעוט קטן ביותר מהם יתפתח ויגיע לביוץ.

מלכתחילה, הביציות נתונות בתוך זקיקים ראשוניים (Primordial follicles) קטנים, אשר בהיקפם שכבה אחת של תאים הנקראים תאים פוליקולריים. מספר מצומצם של זקיקים מתוך המאגר הגדול של הזקיקים הראשוניים מתפתח במהלך חיי הנקבה לזקיקים שניוניים, אשר בהיקפם מספר שכבות של תאים פוליקולריים. חלק מהזקיקים השניוניים עובר לשלב של זקיקים שלישיוניים כאשר מתפתח במרכזם חלל המתמלא בנוזל הנקרא נוזל פוליקולרי. הנוזל מופרש לחלל מהתאים הפוליקולריים ההיקפיים. זקיקים בשלב התפתחות זה נקראים "זקיקים בעלי חלל" (Antral follicle). כאמור, רק חלק קטן מהזקיקים מתפתח ומגיע לשלב זה. התפתחותם של רוב הזקיקים נעצרת בשלב מוקדם יותר והם מתנוונים ונעלמים.



תמונה מס' 4: ציור סכמטי של שחלת יונק

בשחלה פעילה של נקבה מחזורית (נקבה העוברת מחזורי ייחום) ניתן להבחין במספר זקיקים שלישוניים הנבדלים זה מזה בגודל החלל. הדופן של הזקיק בעל החלל בנויה משכבה חיצונית של תאי תיקה הנקראים תיקה אֶקְסֵטֶרְנָה (Theca externa), שאין להם כושר ייצור של הורמונים סטרואידים, ותאי תיקה פנימיים יותר – תיקה אִינְטֵרְנָה (Theca interna), שהם בעלי כושר ייצור מלא של סטרואידים מחומר המוצא שלהם – כולסטרול. תאי התיקה אינטרנה מייצרים ומפרישים בעיקר קבוצה של הורמונים סטרואידים מסוג אנדרוגנים: טֶסְטוֹסְטֶרוֹן

ואַנְדְרוֹסְטֵינִדִּין. פנימה לתאי התיקה אינטרנה, מבחינים בממברנה (ממברנה בזלית) ופנימה לה, לכיוון החלל הפוליקולרי, שכבה של תאי גֶרְנולוֹזָה (Granulosa). תאי הגרנולוזה הם בעלי כושר ייצור סטרואידים מסוג אחר, בעיקר אֶסְטֵרִדִּיול, שהוא הסטרואיד העיקרי והחשוב ביותר הנוצר על ידי הזקיק בנקבות.

הנוזל הפולקולרי בחלל הזקיק מכיל כמויות גדולות של סטרואידים (בעיקר אסטרדיול) המופרשים אל החלל מדופן הזקיק. בדופן זקיק בעל חלל קיימת בקרה מעניינת של ייצור סטרואידים בתהליך המכונה בתרגום חופשי: "שני תאים – שני גונדוטרופינים": תאי התיקה אינטרנה הם כאמור בעלי כושר סטרואידוגני מלא, כלומר, הם מסוגלים לייצר אנדרוגנים מכולסטרול. הם אכן מייצרים אנדרוגנים בעידוד של ההורמון ההיפופיזיאלי LH, הנקשר לקולטן (רצפטור), המצוי בממברנה של תאי התיקה. לעומתם, תאי הגרנולוזה מסוגלים לייצר אסטרוגנים (אסטרדיול) בתנאי שיקבלו אנדרוגנים כחומר מוצא (סובסטרט). אנדרוגנים עוברים מתאי התיקה הסמוכים אל תאי הגרנולוזה, ואלה, בעידוד ההורמון ההיפופיזיאלי השני – FSH, הנקשר לרצפטור (קולטן) על הממברנה שלהם, מייצרים אסטרדיול. ייצור אסטרדיול בתאי הגרנולוזה נעשה על ידי פעילות מערכת אנזימתית תוך תאית הנקראת אַרומָטז, המעודדת יצירה של אסטרוגנים מאנדרוגנים.

עם גדילתו של הזקיק, כמויות האסטרדיול המיוצרות בו הולכות ועולות. מכיוון שההורמון פרוֹגֶסְטֵרוֹן מצוי בשלב מוקדם של שרשרת הביוסינתזה של סטרואידים, הריכוז של אסטרדיול בנוזל הפוליקולרי בזקיק עולה בעוד הריכוז של פרוגסטרון יורד. מקובל כי יחס בין אסטרדיול לפרוגסטרון גבוה מ־1 הוא עדות לכך שהזקיק פעיל. כאשר היחס מתהפך, למשל בזקיק אֶטְרָטִי ההולך ומתנוון, ריכוז הפרוגסטרון ממשיך לעלות, בעוד תהליך הסטרואידוגנה, המוביל לייצור אנדרוגנים ולאסטרדיול הולך ודועך. במצב זה היחס אסטרדיול:פרוגסטרון משתנה וערכו קטן מ־1.

צינור המין

דופן צינור המין לכל אורכו כוללת ארבע שכבות תאים אשר דרך הופעתם ותפקודם משתנה מאזור לאזור. בהיקף הצינור נמצאת שכבת הֶסְרוֹזָה. פנימה יותר נמצאת שכבה של שרירים חלקים הבנויה מרובד של סיבי שריר אורכיים, ופנימה להם רובד של סיבי שריר טבעתיים. השרירים מאפשרים תנועה של הצינור. זו מסייעת לאחר הזדווגות או הזרעה להולכה של תאי זרע במעלה צינור המין מהבושת לכיוון צינור הביצים. כמו כן, מסייעת תנועת הצינור לאחר הביוץ לתנועה של הביצית במורד הצינור מאזור המשפך אל אזור ההפריה. לשכבת השרירים תפקיד חשוב גם במהלך ההמלטה, עת התכווצות דופן הרחם עוזרת לוליד להגיח מרחם אמו. פנימה לשכבת השרירים מצויה שכבה הנקראת סַאב־מוֹקוֹזָה או המוקוזה הפנימית. זו כוללת

רקמת חיבור, כלי דם ועצבים. השכבה הפנימית של צינור המין כוללת את שכבת המוקוזה הפנימית המורכבת מתאי אֶפִּיתֵל שלחלקם כושר הפרשה של נוזלים שונים. ברחם, שכבת המוקוזה הפנימית מפותחת במיוחד ונקראת אֶנְדוֹמֶטְרִיּוּם (Endometrium).

צינור המין כולל ארבעה אזורים עיקריים:

תחילתו במשפך הנמצא סמוך לשחלה. משפך זה "קולט" את הביצית לאחר חריגתה מהזקי. בהמשך, צינור הביצים הופך לצינור צר יחסית, ובחלק המעובה שלו, הנקרא אֶמְפּוֹלָה, מתבצעת ההפריה של הביצית על ידי תא הזרע. אפיתל המוקוזה באזור זה חלקו בעל כושר הפרשה וחלקו ריסני. האפיתל הריסני מעורב בדחיפת הביצית במורד צינור הביצים אל הרחם.

צינור הביצים
(Oviduct)

אצל מעלי גירה כבקר וצאן, לרחם שתי קרניים (קרני הרחם) המתחברות בבסיסן לגוף רחם קטן. העובר שנוצר לאחר ההפריה מתפתח בקרן הרחם הסמוכה לשחלה בה אירע הביוץ. בבקר לא מתקיימת נדידה של עוברים בין קרני הרחם וכאשר מתרחשים שני ביוצים באותה שחלה, שני העוברים יתפתחו באותה קרן רחם. לא כך המצב בצאן: כאשר מתרחשים מספר ביוצים, בכבשים ולדניות למשל, העוברים ינדדו, יתפזרו ויתמקמו בשתי הקרניים, אפילו אם כל הביוצים התרחשו בשחלה אחת. בשונה ממעלי גירה, בנשים ולהבדיל, גם בקופות, אין מבחינים בקרני רחם. קיים גוף רחם אחד שבו מתקיים ההיריון של עובר יחיד או של מספר עוברים.

הרחם (Uterus)

שכבת השרירים בדופן הרחם נקראת מְיוֹמֶטְרִיּוּם. בהשפעת ההורמון אסטרוידול (ההורמון האסטרוגני העיקרי) שריר הרחם מתכווץ ונוצר מתח (טונוס) בקרני הרחם. פעילות השריר בשלב זה קשורה להנעת הביצית המופרית מצינור הביצים אל קרן הרחם. הטונוס בשריר הרחם ניתן לחישה בקלות אצל הפרה בזמן בדיקת רופא וטרינר והוא מהווה אחד מהסימנים שהבהמה עומדת להתייחס.

שכבת האנדומטריום ברחם עבה ומפותחת ויש לה כושר ייצור והפרשה של חומרים שונים. על פני האנדומטריום ניתן להבחין בפתחן של בלוטות פשוטות רבות, המפרישות אל חלל הרחם חומרי מזון הדרושים להתפתחות העובר בעיקר בשלב בו טרם התפתחה שליה. כמו כן, מזהים באנדומטריום בליטות אופייניות, הנקראות קרנקולות (Caruncles), באמצעותן יתקיים בעתיד הקשר בין השליה העוברית לבין הרחם. דופן הרחם מעורבת בקיום המחזוריות של הנקבות כפי שיתואר בהמשך. במהלך ההיריון, הרחם נושאת את העובר המתפתח עד להמלטה.

צוואר הרחם (Cervix)

אזור זה נמצא במשכו של צינור המין לאחר הרחם, מבנהו דמוי צינור קצר ומעובה מאוד. במהלך הייחום בבקר ובצאן צוואר הרחם מתרחב ונפתח, מצב המאפשר מעבר של תאי זרע מהנרתיק לכיוון צינור הביצים. בבקר ובצאן לצוואר הרחם תפקיד בבקרה על מספר תאי הזרע הנעים מעלה לאזור ההפריה ועל איכותם. בהשפעת ההורמון פרוגסטרון ההפרשה בצוואר הרחם הופכת במהלך ההיריון לצמיגה (מוקוֹזִית), תוך שהיא מהווה מחסום מפני חדירת זיהום מהחוץ אל הרחם ואל העובר, דבר המאפשר התפתחות עוברית תקינה.

הנרתיק (Vagina)

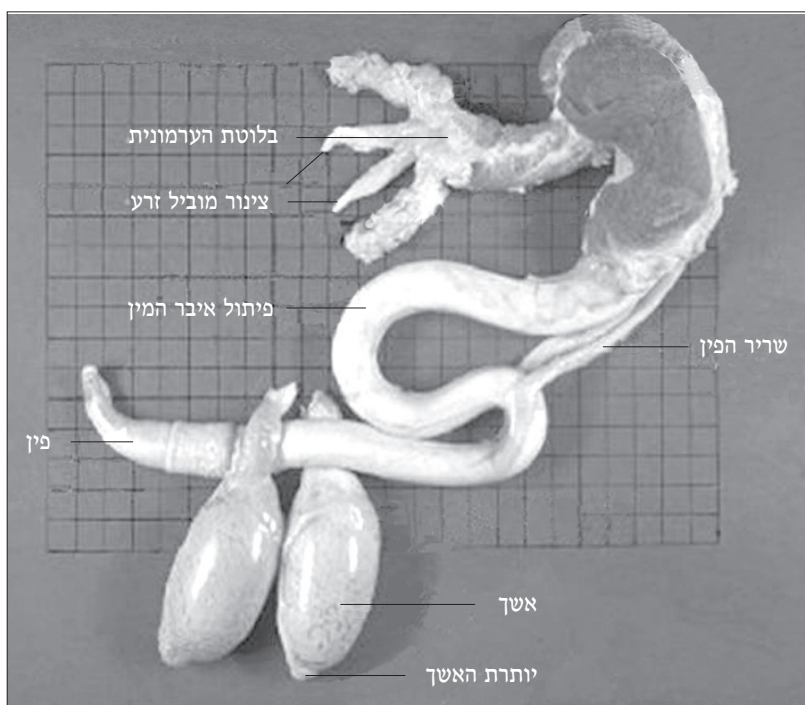
הנרתיק הוא אבר ההזדווגות. דופן השריר בנרתיק דקה בהשוואה לדופן קרני הרחם או לדופן צוואר הרחם. שכבת המוקוזה מפותחת ובעלת כושר הפרשה רב. חלקו האחורי של הנרתיק (הקרוב יותר לשפתי הבושת) הוא למעשה צינור משותף של מערכת המין ושל מערכת הפרשת השתן. הפרשה מוקוזית שקופה המתרחשת בהשפעת אסטרוידול מבלוטות הפרשה שבנרתיק, מהווה אחד מסימני הייחום בבקר ובצאן.

מבנה מערכת המין הזכרית



בניגוד לתהליך התפתחות תאי המין בנקבה, ייצור של תאי זרע בזכר הבוגר מתקיים באופן רציף. הזכר "מוכן" לתרום תאי זרע לצורך ההפריה בכל עת. זכר בוגר מייצר בליוני תאי זרע ביום. ייצור תאי הזרע נעשה באשכים במהלך כל חיי הבוגר, מגיל בגרות מינית. בקירוב, גיל זה נע בין 9 ל-12 חודשים בפרים, בין 4 ל-6 חודשים באילים ובין 13 ל-18 חודשים בסוסים.

החלקים העיקריים של מערכת המין של הזכר הם: זוג גונדות – האשכים הנתונים בתוך שק האשכים; המיתר הספֶרְמָטִי הנושא את האשך ובאמצעותו מתאפשר גם קירור האשכים; מערכת הובלה ואחסון של תאי הזרע הכוללת את יתרת האשך, בה מתקיימת ההבשלה הסופית של תאי הזרע, ואת הצינורות מובילי תאי זרע; בלוטות המין המשניות התורמות את נוזלי הזרמה ואבר המין (Penis).



תמונה מס' 5: מבנה מערכת המין של אייל

שק האשכים (Scrotum)

אבר זה מחולק לשני מדורים כאשר כל מדור מכיל אשך אחד. שכבת שריר חלק המצויה בדופן שק האשכים מתכווצת בחשיפה לקור, תוך שהיא מעלה את האשכים ומצמידה אותם לגוף. בחשיפה לחום מתרחש מצב הפוך: השריר נרפה והאשכים מתרחקים מקיר הבטן, מצב המקל על קירור האשכים. ניתן להבחין בעור שק האשכים בבלוטות זיעה הזרועות בצפיפות רבה יחסית. אידוי הזיעה המופרשת מהבלוטות תורם בעת חשיפה לחום לקירור הדם הווריד החוזר מכיס האשכים אל הלב. מאחר והוורידים צמודים לעורקים המגיעים לאשך, כפי שיתואר, הדם הווריד הקר יחסית מקרר במהלכו את הדם העורקי הזורם אל האשך. תנועת האשכים בשק האשכים והפרשת זיעה הם מנגנונים המבטיחים כי ייצור תאי הזרע באשך ייעשה בטמפרטורה המיטבית.

המיתר הספרמטי (Sigmoid flexure)

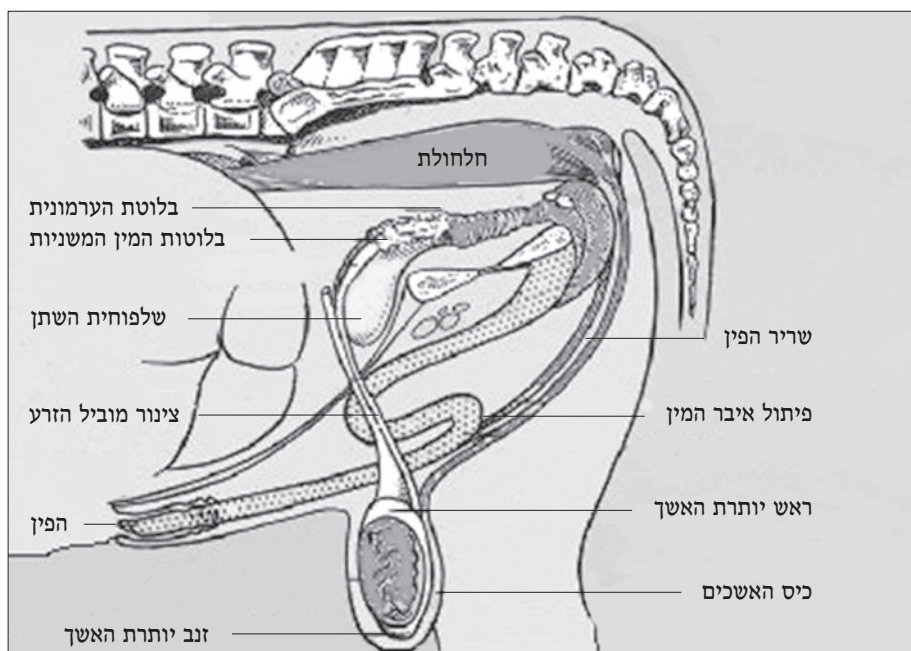
אבר זה נושא את האשך ומחבר אותו אל חלל הבטן. המיתר מכיל חבילות שרירים וכן כלי דם ועצבים. הצינורות מובילי תאי הזרע גם הם עוברים דרכו. המיתר הספרמטי נושא את האשך בריחוק מסוים מן הגוף. מתברר, כי ברוב המכריע של הזכרים אצל היונקים (מעלי גירה וכן גם בקוף ולהבדיל, באדם) יש חשיבות רבה לכך שטמפרטורת האשך תהיה נמוכה מטמפרטורת הגוף, מאחר וטמפרטורה גבוהה פוגעת באיכות תאי הזרע. "אשך טמיר" אצל תינוקות הוא מצב בו האשך אינו נודד מחלל הבטן, שם הוא נוצר, אל שק האשכים. חשיפת האשך לטמפרטורה גבוהה של הגוף לזמן ממושך מביאה לעקרות. רגישות לטמפרטורה גבוהה מפריעה לתפקוד של פרים ואילים בקיץ היות והחשיפה לטמפרטורות סביבה גבוהות אינה מאפשרת קירור יעיל של האשכים. אמנם, לא נגרמת לפרים ולאילים עקרות מלאה, אך נגרם נזק לתאי הזרע, דבר המוריד באופן משמעותי את כושר ההפריה של הזכרים. מסיבה זו, אין נוהגים להשתמש לצורך הזרעה מלאכותית במנות זרמה שנאספו בקיץ.

במיתר הספרמטי קיים צבר צפוף של כלי דם ורידיים המוליכים דם "קר" יחסית מהרקמות ההיקפיות של האשך (עור למשל) לכיוון הלב. צבר ורידים זה שהופך להיות מפותל מאוד, עוטף את העורק הספרמטי המוליך מהלב לכיוון האשכים דם עורקי "חם" יותר. כתוצאה מחילוף חום יעיל בין הדם העורקי לבין הדם הווריד הזורמים בסמיכות זה לזה טמפרטורת הדם העורקי באשך נמוכה בכ-4 עד 5 מ"צ מטמפרטורת הדם העורקי בגוף. בעוד שטמפרטורת גוף של פר (כפי שנמדדת בפי הטבעת) היא 38.5 מ"צ, טמפרטורת רקמת האשך היא 34.5 מעלות בלבד. יעילות חילוף החום בין הדם העורקי לבין הדם הווריד במיתר הספרמטי נובעת משטח הפנים הרב של המגע בין שני סוגי כלי הדם.

האשכים (Testis)

אלה עטופים בשתי שכבות: אחת נקראת טוניקה וג'ינליס, שהיא למעשה המשכו של קרום הפְּרִיטוֹנְאום העוטף את כל חלל הבטן. כך נוצר רצף בין חלל שק האשכים לבין חלל הבטן. השכבה השנייה, הפנימית יותר, היא טוניקה אֶלְבּוֹגִינֵאָה. זוהי שכבה של רקמת חיבור חסרת גמישות המכילה גם סיבי שריר חלק, דבר המאפשר לה להתכווץ מעט. מבנה זה מאפשר יצירת לחץ בתוך האשך, לחץ המניע את תאי הזרע המיוצרים בתוך האשך לכיוון פתח היציאה הפונה אל יתרת האשך.

האשך בנוי מצינוריות בהן נוצרים תאי זרע. הצינוריות עטופות ברקמת חיבור כאשר ברווחים בין הצינוריות מבחינים בתאים עגולים-אליפטיים הנקראים תאי לֵיִדִיג (Leydig). תאים אלה מקבילים מבחינת תפקודם לתאי התיקה בשחלה, מאחר וכתגובה לגירוי של ההורמון LH המופרש מההיפופיזה מסוגלים תאים אלה לייצר טסטוסטרון – הורמון סטרואיד האופייני לזכרים. פעילותו הביולוגית של טסטוסטרון הנה מגוונת: הוא נקשר לקולטנים על תאי סְרְטוּלִי



תמונה מס' 6: מיקום מערכת המין בגוף הפר

המצויים בתוך הצינורית עצמה (ראה/י להלן) ומשפיע בכך על תהליך היצירה וההתמיינות של תאי הזרע. בנוסף, הטסטוסטרון קשור בבקרת הפעילות של בלוטות המין המשניות, להופעה של סימני מין משניים זכריים וכן לעידוד הדחף המיני (ליבידו) של הזכר.

כאמור, רוב רובו של נפח האשך מכיל את הצינוריות המייצרות תאי זרע. צינוריות אלה עטופות בממברנה בַּזָּאִלִית. פנימה לממברנה הבזאלית מצויים תאי המין הראשוניים הנקראים סֶפֶרְמָטוֹגוֹנִיָּה. תאי הסֶפֶרְמָטוֹגוֹנִיָּה ממוקמים בשכבת התאים הראשונה סמוך לממברנה הבזאלית וצמודים אליהם תאי סרטולי שאינם תאי מין.

תאי סרטולי: לתאים אלה חלק חשוב בבקרת ההתמיינות וההתפתחות של תאי הזרע (התהליך נקרא סֶפֶרְמָטוֹגֶנֶזִּיס, Spermatogenesis). לתאי סרטולי קולטנים להורמון FSH המופרש מן ההיפופיזה, וכן קולטנים לטסטוסטרון המיוצר בתאי לידיג הסמוכים לתאי סרטולי. נמצא, כי למעשה שני ההורמונים הגונדוטרופיניים FSH ו-LH מעורבים בתהליך הספרמטוגני: FSH נקשר ישירות לקולטנים על תאי סרטולי, ו-LH מעודד יצירת טסטוסטרון אשר נקשר גם הוא, כאמור, לקולטנים המצויים על תאים אלו. תאי סרטולי מייצרים הורמונים כגון אֵינְהִיבִין המעורב בבקרת ההפרשה של FSH וכן של הסטרואידים. טסטוסטרון המגיע אל תאי

סרטולי מתאי לידיג הסמוכים משמש כחומר מוצא ליצירת אסטרדיול. בנוסף, תאי סרטולי מייצרים חלבונים שונים וגורמי גדילה שונים המעורבים בספרמטוגנזה, וכן גם חלבונים קושרי אנדרוגנים (מונח כללי לסטרואידים "זכריים", כמו טסטוסטרון ואנדרוסטנדיין).

תאי סרטולי הם תאים גדולים יחסית, צמודים זה לזה ומאורגנים בשורה קרוב למברנה הבזלית. שורת תאים זו יוצרת מעין מחסום אשר מחלק למעשה את חלל הצינורית לשני מדורים: מדור אחד המצוי במרכז הצינורית ומדור שני המצוי בהיקף הצינורית, קרוב למברנה הבזלית. מחסום זה נקרא "מחסום דם-אשך" והוא מונע בין השאר מעבר של מולקולות חלבוניות גדולות אל תוך המדור המרכזי של הצינורית. כך נמנעת תגובה חיסונית אפשרית של הגוף כנגד תאי המין. אלה שונים משאר תאי הגוף בכך שהם אפלואידים ונושאים רק מערך יחיד של כרומוזומים (n) במקום מערך כפול של כרומוזומים (2n) הנמצא בשאר תאי הגוף. "מחסום דם אשך" משפיע גם על ריכוזי מינרלים שונים במדור המרכזי של הצינורית.

עם הגיע הזכר לבגרות מינית, תאי המין הראשוניים – הספרמטוגונים – אשר מצויים, כאמור, סמוך למברנה הבזלית של הצינורית, עוברים חלוקות בשני מסלולים. ב"מסלול" אחד מתרחשות חלוקות הכפלה – מיטוזות, כך נעשה ריבוי של תאי המין הראשוניים. ה"מסלול" השני – הספרמטוגנזה, מוביל את תאי הספרמטוגונים לחלוקת הפחתה (מיטוז) וליצירת תאי זרע הפלואידים (ספרמטוזואה). חלוקת ההפחתה כוללת מספר שלבים כאשר תאי המין שנוצרים בשלבי הביניים השונים נקראים ספרמטוציטים ראשוניים, ספרמטוציטים שניוניים וספרמטידים.

כל תהליך הספרמטוגנזה, החל מחלוקת תאי הספרמטוגונים ועד יצירת תאי זרע בשלים, אורך כשישה עד שבעה שבועות. במהלך התהליך משנים תאי המין את צורתם: הספרמטידים העגולים מאבדים ציטופלסמה ונוצר תא זרע מאורך בו מבחינים בראש המכיל חומר גרעין בעל n כרומוזומים וזנב בעל כושר תנועה. הזנב של תא הזרע עוזר לתנועת התא הן במורד מערכת ההובלה של הזרמה בזכר והן במעלה הרחם וצינור הביצים בגוף הנקבה לאחר הזדווגות או הזרעה מלאכותית. ראש תא הזרע עטוף בשכבה הנקראת אקרוזום. בתוך האקרוזום מספר אנזימים, אשר פעילותם נחוצה במהלך תהליך ההפריה, בו תא הזרע נקשר אל הביצית והחומר הגנטי שהוא מכיל עובר ממנו אליה.

כאמור, תהליך הספרמטוגנזה אורך כשישה-שבעה שבועות. פועל יוצא מכך הוא שזנק הנגרם לתאי הזרע בראשית התהליך, עקב חשיפה לתנאי עקה, לחומרי רעל או לחסר תזונתי, יבוא לידי ביטוי רק מספר שבועות מאוחר יותר. הנה כי כן, ירידה בריכוז תאי הזרע או ירידה באיכותם נובעת למעשה מעקה אשר התרחשה שבועות רבים קודם לכן.

יותרת האשך (Epididymis)

עם סיום תהליך הספרמטוגנזה ניתק תא הזרע השלם מדופן הצינורית המייצרת תאי זרע ועובר אל חלל הצינורית המלא נוזל. כאן מתחיל תא הזרע את "מסעו" אל מחוץ לאשך. תכולת הצינוריות הרבות מתנקזת למעין רשת צינורות היוצרת עמוד מרכזי לאורך כל האשך. זוהי הֶרְטָה טֶסְטִיס (Rete testis). התנועה החוצה של תאי הזרע מתרחשת בהשפעת לחץ הידרוסטטי ("לחץ של נוזל") שמייצרת הטוניקה אלבוגינאה, כפי שתואר קודם. תאי הזרע עוזבים את האשך ונכנסים ליותרת האשך. זהו צינור ארוך ומאוד מפותל אשר אורכו, כאשר פורשים אותו, כ־50 מ'. יותרת האשך צמודה לאשך מצדו החיצוני תוך שהיא נתונה בתוך שק האשכים.

מקובל לחלק את יותרת האשך לשלושה חלקים: ראש, גוף וזנב. משך הזמן שתא הזרע נע ביותרת האשך של פרים ואילים הוא כשבועיים. קצב התנועה בראש ובגוף של יותרת האשך קבוע, כאשר תנועת ריסים של תאי אפיתל שביותרת האשך והתכווצויות של שריר חלק העוטף את הצינור אחראים לתנועת תאי הזרע בו. תוך מעברם ביותרת האשך עוברים תאי הזרע הבשלה נוספת אשר בלעדיה אין לתא הזרע כושר הפריה. הבשלה זו כרוכה בשינויים במבנה הממברנות של תא הזרע. כמו כן, רוכש תא הזרע תכונה לתנועה כיוונית קדימה בניגוד לתנועה אקראית שהייתה אופיינית לתא הזרע לפני ההבשלה ביותרת האשך. מכאן, לתאי זרע שמוצאים מהראש או מהגוף של יותרת האשך אין הכושר להפרות ביציות, אלא אם עברו תהליך הבשלה נוסף במבחנה.

בנוסף למעורבותה של יותרת האשך בתנועה ובהבשלה של תאי זרע יש לה גם תפקיד באחסון תאי הזרע. האחסון נעשה רובו בגוף יותרת האשך ובעיקר בזנבה. בהתאמה לכך, קוטר החלל של צינור יותרת האשך רחב יותר בזנב מאשר בראש. מירוקים (איסוף תאי זרע בצורה מלאכותית) תכופים של פר או של אֵיל יורידו את כמות תאי הזרע האגורים בזנב היותרת. מאידך, פעילות מינית הנעשית רק לעתים רחוקות עלולה לפגום בדחף המיני של פרים ואילים. לכן, קיימים בפריות של שירותי ההזרעה לוחות קפדניים של תדירות לקיחת זרמה מפרים. זאת במטרה לשמור בכל פר על מאגרי תאי הזרע ביותרת האשכים, על איכות הזרמה ועל הדחף המיני.

בהמשך צינור המין הזכרי, זנב יותרת האשך מתנקז ל"צינורית מובילת תאי הזרע" (Vas deference). זוג הצינורות מובילי הזרע (הבאים משני האשכים) חודר אל חלל הבטן דרך המיתר הספרמטי. שני הצינורות מובילי הזרע מתלכדים באזור האגן לצינור משותף אחד בעל דופן עבה הנקרא אוּרֶטְרָה (Urethra). לאורטרה מתנקז גם השתן משלפוחית השתן. כמו כן, מתנקזים אליו נוזלים המיוצרים במספר בלוטות מין משניות. נוזל זה, הנקרא נוזל הזרמה או הנוזל הֶסְמִינָלִי, מוהל את תאי הזרע המגיעים בצינורות מובילי הזרע ויחד הם יוצרים את הזרמה המיוחדת אל הנקבה במהלך ההזדווגות. בלוטות המין המשניות כוללות בבקר ובצאן בין השאר זוג בלוטות סמינליות גדולות יחסית ובלוטה יחידה – הערמונה (Prostate gland) שהיא קטנה יחסית בפר ובאֵיל ומעט גדולה יותר, באופן יחסי, בסוס.

הנוזל הסמינלי המופרש על ידי בלוטות המין המשניות מכיל בין השאר מינרלים שונים ופרוקטוז – סוכר המשמש כמקור אנרגיה לתאי הזרע. הנוזל נחוצ במהלך הרבעה טבעית ליצירת סביבה נוזלית מתאימה לתאי הזרע בבושת הנקבה, אך אינו מעורב בקביעת כושר ההפריה של תאים אלה. הראיה, פוריות תאי זרע שעוברים הקפאה במכוני הזרעה ללא נוזל סמינלי אינה נפגעת.

אבר המין (Penis)

אבר המין בפר ובאיל הוא מטיפוס הנקרא פִּיבְרוֹאֶלְסְטִי, והוא אינו מתארך בזמן ריגוש מיני. באבר מין כזה קיים מעין פיתול (סיגמואיד) הנמשך לאחור, אל תוך גוף הזכר, על ידי זוג שרירים חלקים הצמודים אליו. בזמן ריגוש מיני שרירים אלו נרפים ואבר המין מתיישר ונשלף החוצה. לאורכו של אבר המין מבחינים ברקמה ספוגית הבנויה בעיקרה מהתרחבויות של כלי דם ורידיים. כלי דם אלה מתמלאים בדם בזמן הריגוש המיני ומקשים את אבר המין.



תפקוד מערכת המין הנקבית



מחזור הייחום

נקבה הופכת להיות "מחזורית" ומתייחמת בפרקי זמן קצובים עם הגעתה לבגרות המינית (Puberty) ורכישת היכולת להתרבות. במוצא, אורך המחזור בפרה, בסוסה ובחזירה הוא כ־21 יום ובכבשה כ־17 יום. כניסה לבגרות מינית הוא הליך מורכב בו מעורבת המערכת ההורמונלית. בקצרה, מדובר ברכישת יכולת של תאי עצב מסוימים בהיפותרמוס של הנקבות לייצר GnRH במידה הדרושה לעורר הפרשת גונדוטרופינים מההיפופיזה. הורמונים אלה כזכור נחוצים לייצור תאי המין. השינוי בתפקוד תאי העצב בהיפותרמוס מתבטא ביכולת להגיב במשוב חיובי לאסטרדיול המופרש מהשחלה. הגיל בו נרכשת הבגרות המינית בנקבות תלוי

במשקל גופן, בגורמים סביבתיים ותזונתיים שונים וכן במוצא הגנטי של הנקבה. עגלה צעירה בעדר הבקר לחלב מציגה מחזורי ייחום החל מגיל 8 או 10 חודשים. בגרות מינית אצל כבשים מושגת בגיל 6 עד 8 חודשים כאשר גדילת השיה נעשית בצורה מיטבית. כאשר הגדילה איטית עקב מצאי מזון מוגבל, הופעת בגרות מינית יכולה להתאחר בצאן עד לגיל של כשנה וחצי.

משך הזמן במהלך השנה בו הנקבה חוזרת ומתייחמת שונה בין המינים. הפרה למשל מחזורית כל השנה. לעומתה, הכבשה והסוסה מציגות מחזוריות רק בעונות מוגדרות במהלך השנה, כאשר בשאר הזמן הן מצויות בתקופת "השקט המיני" או בתקופת "חוסר התאנה" (Unestrus). גם בין נקבות המציגות מחזוריות עונתית יש הבדלים: הכבשה היא נקבה עונתית של יום קצר: התמעטות מספר שעות האור עם בוא הסתיו משרה אצל הכבשה כניסה למחזוריות. לעומתה, הסוסה היא נקבה עונתית של יום ארוך, היות והיא נכנסת למחזוריות כאשר היום מתארך עם בוא האביב. ראוי לציין, כי קיימת "התאמה" יפה בין מועד עונת הייחום ומשך ההיריון לבין תנאי הסביבה. כבשה אשר מתעברת בסתיו ממליטה לאחר היריון של כחמישה חודשים באביב – עונה בה המרעה מצוי בשפע ותנאי האקלים נוחים לגידול ולדות. הסוסה מתעברת באביב ותמליט לאחר אחד-עשר חודשים גם כן באביב, בעונת המרעה.

חיות המשק הן "רב-מחזוריות" (Polyestrus) כלומר, מציגות באופן רצוף מספר מחזורים כל השנה (פרה, חזירה) או רק במהלך עונת הייחום (כבשה, סוסה). לעומתן, קיימים מינים, כמו הכלב למשל, בו הנקבות מוגדרות "חד-מחזוריות" (Monoestrus) מאחר והן מציגות תקופת ייחום אחת בשנה.

כאמור, במינים עונתיים שינוי באורך היום הוא האות הקובע את מועד הכניסה ואת מועד היציאה מתקופת הייחום. אור היום מגרה את רשתית העין תוך יצירת אותות עצביים המועברים בסופו של תהליך לבלוטת האוזנית (Pinal), שם הם מעכבים הפרשת הורמון בשם מְלַאטוֹנִין. הפרשת המלטונין נעשית עם כך רק בשעות החשכה. המלטונין מעודד הפרשת GnRH מההיפותלמוס, ובכך מעודד למעשה את הפעילות מינית. כאשר אורך היום מתקצר בסתיו, הפרשת המלטונין בכבשים למשל מתגברת, בעקבותיה עולה הפרשת GnRH, והכבשה תיכנס לעונת ייחום.

יש לציין כי אצל הפרה, אשר אמורה לכאורה להיות מחזורית במהלך כל השנה, קיימות במהלך השנה תקופות של חוסר תאנה (אי-הופעה של ייחום). להלן מספר סיבות אפשריות לכך:

- ❖ היריון מונע מחזוריות. במהלך ההיריון ההורמון פרוגסטרון מופרש מהגוף הצהוב ברציפות וברמה גבוהה אשר מונעת הופעה של פאזה פוליקולרית (ראה/י להלן) בה מתפתח זקיק מבייץ ומתרחש ביוץ.
- ❖ התקופה שלאחר ההמלטה – קיימת תקופת זמן של מספר שבועות לאחר ההמלטה בה אין הפרשה מספקת של גונדוטרופינים – LH ו-FSH, דבר המונע מחזוריות. אצל פרות

בעדרי חלב תקופה זו בדרך כלל נמשכת כארבעה עד חמישה שבועות לאחר ההמלטה. יש שפרק זמן זה מתארך כמו למשל במצבי עקה (סטרס).

❖ מצב של עקה כתוצאה מהזנה שאינה מספקת. עקה זו מתרחשת כאשר כמות המזון מוגבלת, כאשר למשל המרעה דל, אך גם במצב בו הבהמה אמנם אוכלת ללא הגבלה, אך המאזן האנרגטי שלה שלילי, מאחר וצריכת האנרגיה לקיום ולייצור חלב עולה על זו המתקבלת מהמזון. במצב זה נוצר "מאזן אנרגיה שלילי" – מצב שכיח בתחילת התחלובה בפרות גבוהות תנובה כמו אלה המצויות בישראל. מאזן אנרגיה שלילי עלול להביא לעיכוב בחידוש המחזוריות של הפרה אחרי המלטה. איחור זה מוביל בהכרח לפוריות נמוכה.

❖ מצב של עקה כתוצאה מתנאי אקלים. עומס חום בקיץ ידוע כמדכא פוריות ועלול גם לעכב את חידוש המחזוריות.

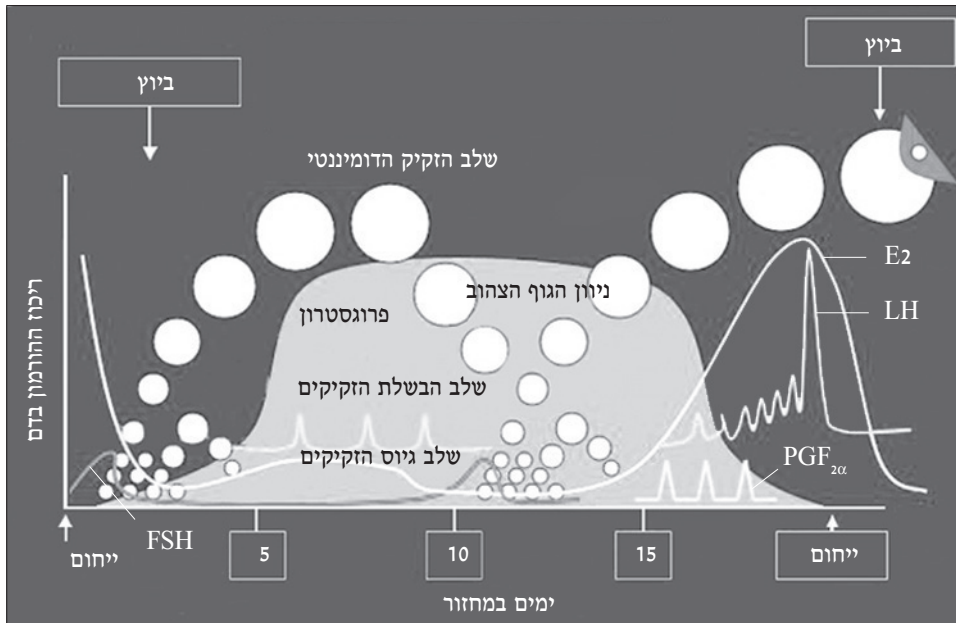
❖ נוכחות של ולדות צעירים והנקתם. בחלק מהנקבות מקובל לקשר הנקה והפרשה מוגברת של הורמונים הקשורים לייצור החלב (כמו פרולקטין, למשל) עם עיכוב בחידוש המחזוריות לאחר ההמלטה. יש הטוענים כי תהליך ההנקה עצמו אינו הסיבה להיעדר מחזוריות אלא, נוכחות הולדות היא המשפיעה על אי־חידוש המחזוריות. בפרות בעדרי חלב בארץ מצב זה לא קיים מאחר והעגל או העגלה מופרדים מהאם ביום ההמלטה. בחיות משק אחרות כמו צאן או בקר לבשר נוכחות של ולדות יונקים דוחה לעתים את הופעת המחזוריות.

❖ תחלואה: דלקת רחם אחרי המלטה או דלקות עטין במהלך התחלובה עלולות לדחות חידוש מחזוריות של הפרה לאחר ההמלטה.

התפתחות זקיקים וגלים פוליקולריים

גדילת הזקיקים משלב של זקיק ראשוני ועד לביץ היא תהליך הנמשך כמה חודשים ולו מספר שלבים. השלב הראשון והארוך יותר, הוא שלב הגדילה האיטית: מזקיק ראשוני עד זקיק אַנְטֶרִי קטן. השלב השני הוא שלב הגדילה המהירה של הזקיק האנטרלי הקטן עד להיותו זקיק העומד לביץ (Preovulatory follicle). זהו שלב בו התפתחות הזקיק תלויה בפעילות ההורמונים הגונדוטרופיים – LH ו-FSH.

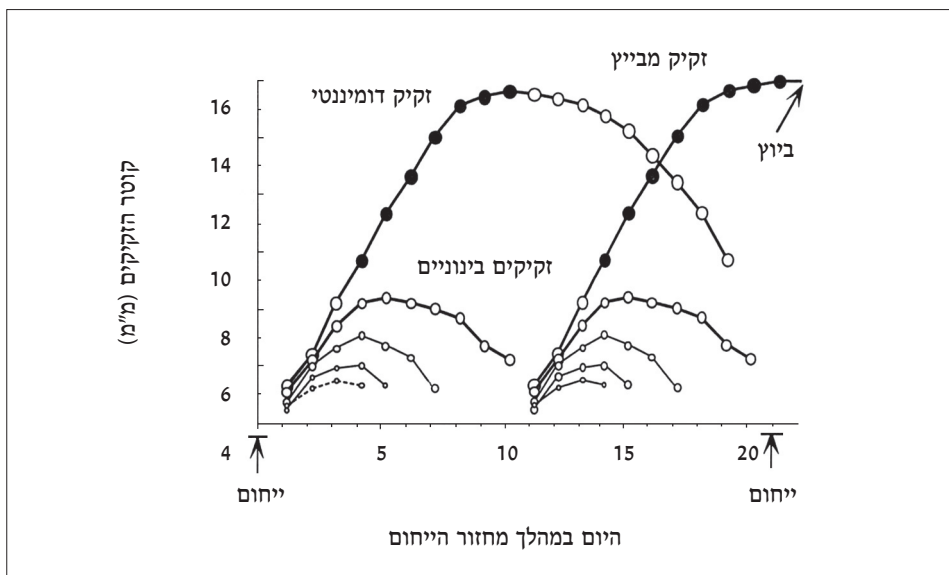
אולטרה-סונוגרפיה היא טכנולוגיה בה ניתן לבחון את המבנה הפנימי של הגוף תוך שימוש בגלי קול. השימוש בטכנולוגיית הדמיה זו במחקר רבייה של חיות משק תרם רבות בשנים האחרונות להבנת מהלך ההתפתחות של זקיקים העומדים לביץ. נמצא, כי במהלך מחזור הייחום הזקיקים מתפתחים בגלים הנקראים "גלים פוליקולריים". המידע המפורט ביותר על כך מצוי בפרות. התברר, כי לאורך מחזורי הייחום הנמשכים בבקר כ-21 יום, מתקיימים אצל כ-75% מהפרות שני גלים פוליקולריים ואצל כ-25% מהפרות שלושה גלים פוליקולריים. כל גל פוליקולרי אורך בין 7 ל-10 ימים. גל כזה מתחיל בשלב של "גיוס וצמיחה" של 10 עד 30 זקיקים קטנים (בקוטר של 3 עד 5 מ"מ). מתוך אלה ממשיכים להתפתח 2 עד 5 זקיקים בינוניים בקוטר של 6 עד 9 מ"מ בעוד



תמונה מס' 7: רמת ההורמונים והשינוי בהרכב אוכלוסיית הזקיקים במהלך מחזור הייחום בבקר

שאר הזקיקים מתנוונים. כאן, מתרחש שלב "בחירה" נוסף שבו נבחר אחד הזקיקים להיות הזקיק הגדול, הנקרא גם הזקיק הדומיננטי. זה ממשיך להתפתח בעוד כל הזקיקים האחרים מתנוונים. משך החיים של הזקיק הדומיננטי מוגבל למספר ימים וגורלו שהוא מביץ או מתנוון. כך למשל, כאשר גל פוליקולרי ראשון במחזור הייחום מתחיל ביום השני של המחזור, זקיק דומיננטי מופיע ביום החמישי למחזור, הוא קיים עד היום העשירי בערך, ואז הוא מתנוון. ביום 11 עד היום ה-12 למחזור עולה גל פוליקולרי שני והזקיק הדומיננטי שבו מגיע לביוץ ברוב המקרים, או שגורלו דומה לזקיק הדומיננטי הראשון, והוא מתנוון. במקרה זה, עולה גל פוליקולרי שלישי, אשר הזקיק הדומיננטי שבו מביץ בסופו של דבר. התיאור שהובא לעיל, נכון במיוחד עבור בעלי חיים בהם מתרחש בדרך כלל ביוץ אחד כמו פרה וסוסה וכן בגזעי צאן שאינם ולדניים. בבעלי חיים בהם מספר זקיקים מבייצים בכל מחזור מוצאים גם כן התפתחות זקיקים בגלים. אולם, לא קיים מצב של זקיק דומיננטי אחד מאחר וכמה זקיקים מבייצים יחדיו.

הבקרה ההורמונלית על התפתחות זקיק דומיננטי מורכבת. לא ברור כלל מה קובע את ה"בחירה" של זקיק אחד מתוך כמה זקיקים בינוניים להיות הזקיק הדומיננטי. מצד שני, ידוע כי זקיק דומיננטי מדכא גדילה והתפתחות של זקיקים אחרים. נוטים לחשוב שבזקיק הגדול התלות בהורמון FSH פוחתת ולכן הוא שורד, בעוד הזקיקים הקטנים – יותר תלויים ב-FSH להישרדותם. מאחר וקיימת ירידה בהפרשת FSH במהלך הגל הפוליקולרי, נבלמת הגדילה של הזקיקים הקטנים בעוד הזקיק הדומיננטי שורד וממשיך להתפתח.



תמונה מס' 8: הופעת שני גלים פוליקולריים במהלך מחזור הייחום של הפרה. במקרה זה הזקיק המבייץ מתפתח בגל הפוליקולרי השני

שינויים במבנה השחלה במהלך מחזור הייחום

מחזור הייחום בחיות משק מתחיל ביום הייחום (בדרך כלל מסומן כיום אפס של המחזור). מבחינים במחזור הייחום בשני פרקי זמן (פאזות):

פרק זמן זה במחזור ארוך יחסית ומשכו כ-18 יום בפרה וכ-13 יום בכבשה. בתקופה זו מופרש מהגוף הצהוב שבשחלה ההורמון פרוגסטרון. הפאזה הלוטאלית מתחילה מיד לאחר הבייץ, עם הפיכת הזקיק שבייץ לגוף צהוב. רמת הפרוגסטרון עולה בהדרגה במחזור הדם במהלך הפאזה הלוטאלית עד לרמת שיא הנמשכת כשבוע ימים. הפאזה הלוטאלית מסתיימת כאשר הגוף הצהוב מתחיל להתנוון ורמת הפרוגסטרון יורדת.

הפאזה הלוטאלית

פרק זמן זה במחזור קצר יותר – אורכו כ-3 עד 5 ימים והוא מתחיל כאשר הגוף הצהוב מתנוון. במהלכו, מתפתח זקיק גדול עד אשר יגיע בסוף הפאזה הפוליקולרית לבייץ, בסמוך למועד הייחום. בתקופה זו ההורמון העיקרי המופרש מהשחלה הוא אסטרוידול ברובו בזקיק העומד לבייץ.

הפאזה הפוליקולרית

הפאזה הפוליקולרית של המחזור – גדילת הזקיק המביין

באיזה שלב זקיק דומיננטי הופך לזקיק העומד לבייץ? התשובה פשוטה יחסית: כל זמן שלאורך הפאזה הלוטאלית של מחזור הייחום קיים בשחלה גוף צהוב המפריש פרוגסטרון, לא יתרחש ביוץ. כדי לעבור לפאזה הפוליקולרית, בה מתפתח זקיק אשר יגיע לבסוף לביוץ, יש צורך בניוון הגוף הצהוב (או הגופים הצהובים) שעל פני השחלה ולירידה ברמות הפרוגסטרון. זאת, מכיוון שתנאי מוקדם לביוץ הוא הפרשה של שיא LH. כזכור, GnRH משרה הפרשת LH מההיפופיזה. מאחר והפרשתו של ה-GnRH מההיפותלמוס מעוכבת בנוכחות רמות גבוהות של פרוגסטרון, הופעת שיא LH תתרחש רק כאשר רמות הפרוגסטרון בגוף נמוכות עד כדי כך שהן אינן מדכאות הפרשת GnRH. לצורך הביוץ נחוצה רמה גבוהה של אסטרדיול המיוצר בזקיק הדומיננטי אשר במשלב חיובי מעודד הפרשת GnRH מההיפותלמוס. נוצרת עם כן, שרשרת של תגובות אנדוקריניות המביאה לביוץ: ניוון הגוף הצהוב מביא להורדת רמת הפרוגסטרון בגוף. רמה נמוכה זו מסירה עיכוב בהפרשת GnRH ומאפשרת עלייה בתדירות שיאי ההפרשה של LH, שמצדה מעודדת ייצור טסטוסטרון בתאי התיקה בזקיק הדומיננטי הגדול. הטסטוסטרון עובר בדיפוזיה לתאי הגרנולוזה שבזקיק ושם בהשראת FSH הופך לאסטרדיול המופרש למחזור הדם. התהליך הולך וגובר לאורך הפאזה הפוליקולרית. לקראת סוף המחזור, הזקיק העומד לביוץ מפריש כמויות שיא של אסטרדיול, אשר משרות שיא של הפרשת GnRH, אשר מצדו משרה הופעת שיא של LH שנמשכת מספר שעות בחיות משק שונות.

שיא של LH טרם הביוץ הוא שלב מכריע בתהליך הרבייה. הוא גורם לא רק לביוץ, אלא גם משרה בְּגִיָּה (תהליך התבגרות) של הביצית והמשך בתהליך חלוקת ההפחתה (מיזוה) בה, לקראת יצירה של גמטה נקבית הפלואידי. שיא LH דרוש גם לתחילת הפיכת הזקיק המביין, מיד לאחר הביוץ, לגוף צהוב המפריש פרוגסטרון.

כאמור, הביוץ עצמו מתרחש בעקבות הופעת שיא של LH. שיא זה גורם לפעילות הורמונלית המעלה את קצב זרימת הדם לזקיק. זרימת הדם לזקיק גורמת לעליית הגודש והלחץ התוך זקיקי. במקביל, עולה בזקיק הפרשה מקומית של אנזימים המעודדים התרופפות הרקמות בזקיק. שיא ה-LH מוביל לירידה בייצור האסטרדיול בזקיק ובמקביל לעלייה בייצור פרוגסטרון בו. שינויים אלה מעודדים הפרשת אנזימים המפרקים את סיבי הקולגן בזקיק. השילוב של התרופפות דופן הזקיק, עליית הלחץ בתוך הזקיק וההתכווצויות גורמים לקריעה של דופן הזקיק ולפליטת הנוזל הפוליקולרי וחריגת הביצית העטופה בשכבת תאי גרנולוזה אל מחוץ לזקיק. עם יציאתה נקלטת הביצית על ידי המשפך של צינור הביצים.

הבשלת הביצית: אנו מונים ארבעה שלבים עיקריים בתהליך ההתפתחות וההבשלה של הביצית עד למועד בו היא מוכנה להפריה. שני השלבים הראשונים, המתרחשים בשלב העוברי של התפתחות הנקבה, עוד טרם נולדה. שני השלבים האחרונים מתרחשים רק לאחר שהנקבה נולדה ולאחר שהגיעה לגיל בגרות מינית:

1. ריבוי תוך חלוקה מיטוטית של תאי המין הראשוניים.
2. כניסה של תאי המין הראשוניים לחלוקת הפחתה (מיזוזה). תהליך זה נעצר כבר בתחילתו בשלב המכונה אוואציט ראשוני, בו הביצית נמצאת בשלב של פרופאזה ראשונה, כאשר היא עדיין בעלת 2n כרומוזומים. חלוקת ההפחתה של חלק מהאואציטים תתחדש רק לאחר מספר רב של חודשים או אפילו שנים, לאחר שהנקבה הגיעה לגיל בגרות מינית.
3. בשלב השלישי של התפתחות הביצית גדל נפח הציטופלסמה שבה. נמצא, כי נפח הציטופלסמה של ביצית בשלה גדול פי 50 לערך בהשוואה לזה של ביצית ראשונית. בשלב שבו הזקיק מפתח חלל, הביצית נעטפת בממברנה עבה יחסית וקשיחה הנקראת זונה פלוצידה (*Zona Pelucida*). שכבה זו מגנה על הביצית ועל העובר הצעיר המתפתח ממנה לאחר ההפריה.
- הביצית מוקפת ועטופה ב"אשכול" של תאי גרנולוזה הנקראים תאי קומולוס (*Cumulus*). תאי הקומולוס יוצרים "צומתי מעבר" החודרים דרך הזונה פלוצידה אל הביצית. דרך אלה מתרחש מעבר של חומרים אל הביצית וממנה. מעבר החומרים חשוב ביותר לגדילה ולהתמיינות תקינה של הביצית. תאי הקומולוס מלווים את הביצית גם לאחר שחרגה מהשחלה ועברה לצינור הביצים. שיא ה-LH המתרחש טרם הביוץ כפי שתואר למעלה, מרופף את הקשר בין הביצית לבין תאי הקומולוס שסביבה, דבר המאפשר מעבר של תאי הזרע בין תאי הקומולוס עד לחדירה של אחד מהם אל הביצית והפרייתה.
4. השלב הרביעי בהתפתחות הביצית הוא השלמת תהליך המיזוזה. שלב זה מתרחש בביצית המצויה בזקיק דומיננטי גדול בעקבות שיא LH. קיימת טענה כי התרופפות הקשר בין תאי הקומולוס לבין הביצית מונעת את העיכוב בחידוש המיזוזה. בכל מקרה, המיזוזה מתקדמת ונשלמת בחיות שונות בסמוך לביוץ (לפניו או מיד לאחריו). כך נוצרת גמטה הפלואידית (n) נקבית המוכנה להפריה על ידי תא הזרע.

עד לאחרונה היה מקובל כי הקשר בין הזקיק לבין הביצית הוא חד-סטרי וכי תאי הזקיק מבקרים את התפתחות הזקיק. לאחרונה הסתבר כי בנוסף לכך, קיים גם תהליך הפוך בו הביצית מבקרת את התפתחות הזקיק.



הפאזה הלוטאלית של המחזור – התפתחות הגוף הצהוב ותפקודו

הייחום (והביוץ המתרחש בעקבותיו) מסמן תחילת מחזור ייחום חדש. מיד לאחר הביוץ מתחיל להיווצר מהזקיק המבייץ גוף צהוב. שם זה ניתן לזקיק שעבר ביוץ הודות לצבעי צהוב-

כתום-חום המאפיינים אותו בשלבים שונים של התפתחותו. לצבע עצמו של הגוף הצהוב אין משמעות ביולוגית, פרט לכך שהוא מאפשר להעריך את גילו. התהליך של הפיכה לאחר הביוץ של תאי תיקה וגרנולוזה שבדופן הזקיק לתאים לוטאלים המפרישים פרוגסטרון נקרא לוטאיניזציה (Luteinization).

לאחר הביוץ כל המבנה המסודר של שכבות תאים בדופן הזקיק מתערער ותאי התיקה והגרנולוזה מתערבבים יחד. תאי הגרנולוזה אינם ממשיכים להתחלק לאחר הביוץ. הם הופכים בגוף הצהוב לתאים "הלוטאלים הגדולים" וקוטרם גדל ומגיע עד ל-40 מיקרון. לעומתם, תאי התיקה ממשיכים להתחלק אחרי הביוץ ונקראים כאן התאים "הלוטאלים הקטנים" מאחר וקוטרם מגיע עד כדי 20 מיקרון בלבד.



הגוף הצהוב מגיע לגודלו הסופי בערך באמצע המחזור – ביום 10 עד 12 בפרה וביום 8 עד 9 למחזור בכבשה. בשיא גודלו יכול הגוף הצהוב להקיף כ-60% עד 70% מנפח השחלה. ניתן לומר כי גדילת הגוף הצהוב היא תוצאה של שילוב תהליכי הִיפּוֹטָרופִיָה (גדילת נפח תאים) והִיפּוֹרֶפְלִיָה (ריבוי תאים). פרט לגדילה ושגשוג של התאים הלוטאלים המפרישים פרוגסטרון, מתקיים בגוף הצהוב גם ריבוי של תאי רקמת חיבור, בעיקר תאי אנדותל הבונים רשת צפופה ועשירה ביותר של כלי דם. למעשה, תאי האנדותל מהווים כ-50% מסך כל התאים בגוף הצהוב.

בניית כלי הדם המתרחשת בימים הראשונים של התפתחות הגוף הצהוב קשורה בין היתר לפעילות של גורמי גדילה "אֶנְגִיוֹגֵנִים" המעודדים גדילה של כלי דם. זרימת הדם לגוף הצהוב היא הנמרצת ביותר בגוף כאשר קנה המידה הוא קצב מעבר נפח דם ליחידת משקל של רקמה. זרימה זו של דם לעבר הזקיק מאפשרת לתאי הזקיק לקלוט כמויות גדולות של ליפופרוטאינים המכילים כולסטרול. הכולסטרול נחוץ לייצור של פרוגסטרון. כמו כן, מאפשרת זרימת הדם ניקוז מהיר של ההורמונים המופרשים על ידי תאי הגוף הצהוב למחזור הדם. תאי האנדותל חשובים גם לתהליך ניוון הגוף הצהוב, כפי שיידון בהמשך.

קצב ייצור הפרוגסטרון בגוף הצהוב והפרשתו הולך ועולה עד לסיום תהליך הלוטאיניזציה. אם כי ייצור הפרוגסטרון נעשה על ידי התאים ה"לוטאלים הגדולים" והתאים ה"לוטאלים הקטנים" גם יחד, הרי ייצורו בתאים הלוטאלים הקטנים דורש גירוי מתמיד על ידי LH, בעוד ייצור הפרוגסטרון על ידי התאים הגדולים כמעט ואינו תלוי בפעילות LH. תא לוטאלי גדול מייצר יותר פרוגסטרון מתא לוטאלי קטן. כך, למרות הנחיתות המספרית של התאים הגדולים בגוף הצהוב, הם המייצרים את מרב כמות הפרוגסטרון בשחלות של חיות המשק.

לפרוגסטרון תפקיד חשוב ביותר בתהליך הרבייה. השפעתו מגוונת וניכרת באתרים רבים של מערכת המין ובשלבם שונים של התהליך. בהיפותרמיה מדכא הפרוגסטרון הפרשת GnRH, ובכך מדכא את ההפרשה של LH ו-FSH מההיפופיזה. באמצעות דיכוי הפרשת גונדוטרופינים מדכא הפרוגסטרון יצירת רמות שיא של אסטרדיול (האופייניות לפאזה הפוליקולרית, כפי שתואר קודם). כך, מונעת נוכחות רמה גבוהה של פרוגסטרון ייחוס ויוץ (ראה/י להלן). ברחם, הפרוגסטרון מעודד את ההפרשה של בלוטות הרחם התומכת בעובר בעיקר בשלבי ההיריון המוקדמים, לפני התפתחות השליה. כן מדכא הפרוגסטרון את התכווצות שריר הרחם ותורם בכך לשהייה בטוחה של העובר שם. פרוגסטרון מעורב גם בהתפתחות הנאדיות הקשורות להנבת החלב בעטין.

גורלו של הגוף הצהוב תלוי בכניסת הבהמה להיריון. כאשר לא מתפתח עובר ברחם, מתחיל ברבע האחרון של המחזור (יום 14 עד 15 בכבשה, יום 16 עד 17 בפרה) תהליך ניוון (רגרסיה) של הגוף הצהוב. בחיות משק (בניגוד לנשים ולהבדיל, בקופות) ניוון הגוף הצהוב מותנה בקשר תקין בין השחלה לבין הרחם, כאשר הגורם המרכזי המעורב בניוון הגוף הצהוב הוא ההורמון פרוסטגלינדין $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$) המיוצר ברחם. $PGF_{2\alpha}$ מופרש ויוצא מהרחם למחזור הדם דרך וריד הרחם, מגיע לריאות, שם רובו מתפרק למטבוליט שאינו פעיל.

עבודות רבות הוכיחו קשר אנטומי מעניין בין כלי הדם של הרחם לבין אלה של השחלה. נמצא, כי עורק השחלה מתפתל ונצמד אל דופן וריד הרחם. סמיכות זו מאפשרת בפרות, בכבשים ובחזירות, ופחות בסוסות, העברה מקומית של ה- $PGF_{2\alpha}$ מהרחם לשחלה עד שריכוזים גבוהים של ההורמון חודרים בדיפוזיה דרך הדפנות מווריד הרחם לעורק השחלה ומביאים לניוון הגוף הצהוב.

הדרך בה מתרחש ניוון הגוף הצהוב (התהליך הלואטוליטי) עדיין לא ברורה די צרכה. מקובל כיום מהלך האירועים הבא: הפרשה מוגברת של אסטרדיול מהזיקה הגדול לקראת סוף הפאזה הלואטלית משרה ברחם עלייה בריכוז קולטן לאוקסיטוצין והפיכת הרחם לאבר המגיב להורמון זה. הפרשה של אוקסיטוצין מההיפופיזה (ו/או מהגוף הצהוב) וקשירה לרצפטור שלו ברחם מעודדת ברחם יצירת $PGF_{2\alpha}$ אשר מופרש בצורה של פולסים לדם. $PGF_{2\alpha}$ מגיע מהרחם לשחלה בדרך שתוארה למעלה תוך שהוא גורם לכיווץ כלי דם שם, וכתוצאה מכך גורם לחסר מקומי של חמצן (היפוקסיה). מצב זה מעודד הפרשה של מספר חומרים בשחלה וביניהם ההורמון אנדוטלין המיוצר בתאי האנדותרל. הפרשת חומרים אלה גורמת בסופו של דבר לניוון הגוף הצהוב. הפסקת ההפרשה של פרוגסטרון על ידי הגוף הצהוב מתרחשת מהר יחסית ואילו הניוון המבני (כלומר היעלמות הגוף הצהוב) נמשכת פרק זמן ארוך יותר. ניתן למצוא בשחלה שרידים של גוף צהוב מנוון גם במחזור עוקב.



התפתחות העובר מההפריה ועד להמלטה



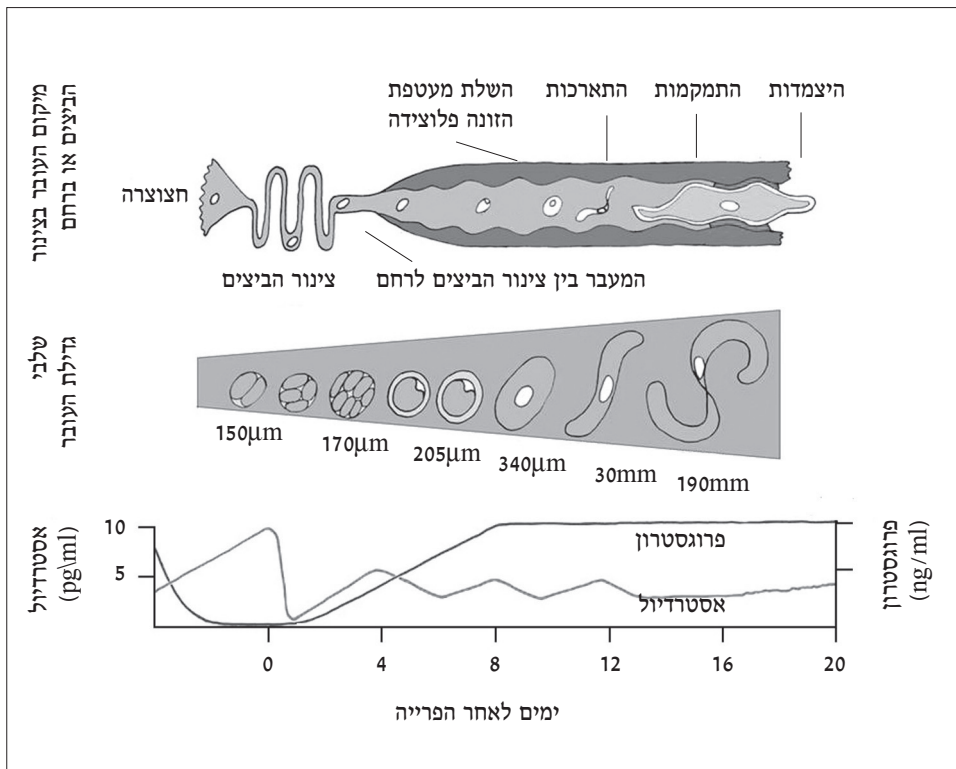
התפתחות העובר המוקדם

לאחר הפריית הביצית בצינור הביצים מתאחד הגרעין של הביצית עם זה של תא הזרע ליצירת תא דיפלואידי (2n) יחיד – השלב הראשון בהתפתחות העובר. כאן מתחילה שורה של חלוקות: לשני תאים, לארבעה תאים, לשמונה תאים וכך הלאה. כל זאת, ללא שינוי בגודל העובר. שלב זה בהתפתחות העובר נקרא "שלב החלוקה" (Cleavage). בשלב זה כל תא בעובר המוקדם זהה לחברו מבחינת יכולתו להמשיך להתחלק, להתמייין ולייצר תאים מסוגים שונים. ניתן בשיטות עדינות ומדויקות לבדוד תא אחד מתוך תאי העובר המוקדם. תחת תנאים מתאימים תא זה ימשיך להתחלק עד שיתפתח ממנו עובר שלם ונורמלי.

העובר כלוא בשלב זה בתוך ה-Zona Pelucida ונפחו אינו משתנה. ככל שמתקדמות החלוקות, תאי העובר נעשים קטנים יותר. במהלך החלוקות העובר המוקדם לובש דמות גוש עגול מלא בתאים זהים הנקרא תותית או מורולה (Morula). בשלב מסוים, התאים במרכז המורולה נדחסים זה אל זה ומפתחים ביניהם קשרים הקרויים "צומתי מעבר" המאפשרים תקשורת ביניהם. במקביל, התאים בהיקף המורולה שהם פחות דחוסים, יוצרים ביניהם "צמתי חסימה". צמתי החסימה מונעים מעבר של חומרים שונים בין התאים, וכך משפיעים על הרכב החומרים השונים המגיעים אל העובר.

בשלב הבא של התפתחות העובר המוקדם מתחיל להצטבר במרכז העובר נוזל והתאים נדחסים להיקף המורולה. זהו שלב הבלסטוציסט (Blastocyst), בו מבחינים בשתי אוכלוסיות תאים השונות במהותן: "גוש תאים פנימי" שיתפתח לעובר (Embryo), והתאים בהיקף הנקראים תאי טרופובלסט (Trophoblast) אשר יתפתחו בהמשך ויתרמו ליצירת השליה. שלב הבלסטוציסט חל בפרה בימים 7 עד 12 להיריון ובכבשה בימים 4 עד 10 להיריון.

בהמשך ההתפתחות ההעוברית ההמוקדמת מתרחשת גדילה נוספת של הבלסטוציסט תוך עליית הלחץ בתוך ה-Zona Pelucida. זו נבקעת בסופו של דבר והבלסטוציסט מגיח החוצה לחלל הרחם. שלב זה נקרא שלב הבקיעה (Hatching), והוא מתרחש בין היום ה-9 ליום ה-12 להיריון בבקר, ובין הימים ה-7 ל-8 להיריון בכבשה. לאחר הבקיעה ממשיך העובר לשלב של גדילה והתארכות מואצים. עד כמה גדילת העובר מהירה בשלב זה ניתן ללמוד מכך שבבקר, ביום ה-13 להיריון קוטר הבלסטוציסט הוא 3 מ"מ בלבד וביום ה-17 להיריון אורכו של העובר מגיע כבר ל-250 מ"מ.



תמונה מס' 9: התפתחות עוברית מוקדמת בצאן (באדיבות ד"ר תום ספנסר)

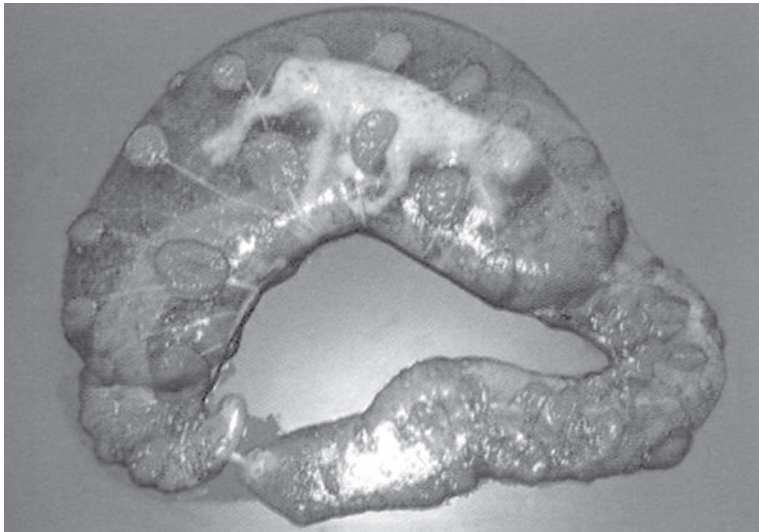
התפתחות רקמות חוץ-עובריות

הגדילה המואצת של הטרופובלסט מלווה בהתפתחות של ארבע שכבות או ממברנות חוץ – עובריות (Extraembryonic membranes): שק החלמון (Yolk sac), כוריון (Chorion), אַמניון (Amnion) וְאַלֶּנטוֹאִיס (Allantois). שק החלמון בחיות משק הוא הנצה זמנית המתנוונת בהמשך. הכוריון הוא השכבה החיצונית ביותר. קפולים שלו מכסים את העובר ויוצרים את שק האמניון המלא בנוזל המקיף את העובר ומגן עליו. הכוריון מהווה גם חלק חשוב בשליה המתהווה. שכבת האלנטואיס היוצרת כיס אשר מנקז הפרשות נוזלים מהעובר נמתחת ונצמדת אל הכוריון. כך נוצרת שכבה כפולה הנקראת: הממברנה הכוריו-אלנטואית (Chorioallantoic membrane) אשר תיצור בהמשך את השליה העוברית. זו תיצמד לדופן הפנימית של הרחם ודרכה יתרחשו תהליכי הזנה וחילופי גזים (חמצן ופחמן דו-חמצני) בין האם לעובר.

זיהוי ההיריון על ידי האם

שלב חשוב בהתפתחות ההיריון קורה סביב היום ה-17 להיריון בפרה וסביב היום ה-13 להיריון בכבשה. זה המועד בו אמור להתחיל בנקבה – מחזורית ניוון (לוטאוליה) של הגוף הצהוב. ניוון הגוף הצהוב פירושו המידי הוא מות העובר, מאחר ורמת פרוגסטרון גבוהה היא תנאי לקיום העובר.

בכבשה, הפרשה של פרוגסטרון מהגוף הצהוב חיונית לפחות עד היום ה-60 להיריון (משך ההיריון בכבשה כ-150 יום). משלב זה השליה תהווה את המקור העיקרי לפרוגסטרון אצל הכבשה ההרה. גם אצל הפרה השליה הופכת במהלך ההיריון למקור עיקרי לפרוגסטרון,



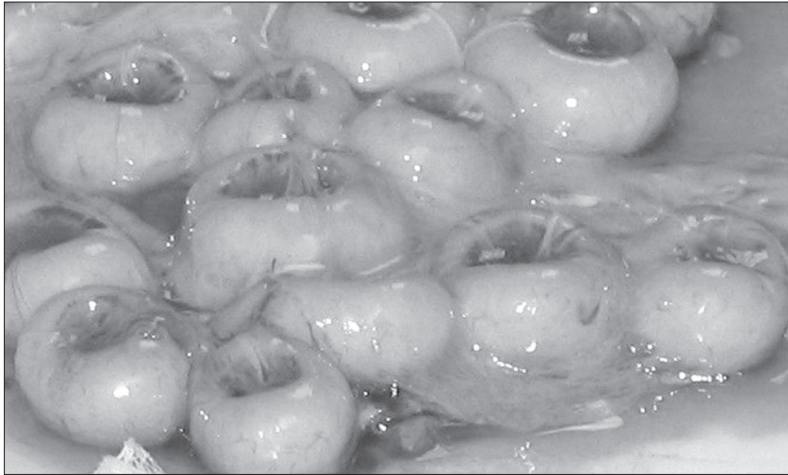
תמונה מס' 10: עובר בקר מוקף בשליה ועליה קוטילידונים

אולם רק בשלב מאוחר יחסית (יום 200 להיריון בערך כאשר משך ההיריון בפרה כ-275 יום). ההוכחה כי השליה נעשית למקור העיקרי לפרוגסטרון במהלך ההיריון באה מניסיונות בהם הסירו בנייתוח שחלות מכבשים ופרות בשלבים שונים של ההיריון ונוכחו לדעת כי החל משלב מסוים ההיריון לא נפגע מטיפול זה.

העובר המצוי ברחם משרה תהליך הורמונלי מורכב של "זיהוי" ההיריון על ידי גוף האם, תהליך אשר בזכותו ניוון הגוף הצהוב נבלם וההתפתחות העוברית נמשכת. שתי דרכים אפשריות לפעילות הורמונלית זו: האחת היא הגישה ה"לוטאטרופית", כלומר גישה התומכת ומעודדת באופן ישיר את קיום הגוף הצהוב. זו קיימת למשל אצל האישה ההרה. השליה העוברית אצל האישה ההרה מפרישה בשלב מוקדם של ההיריון הורמון הנקרא hCG. הורמון זה הוא בעל

פעילות ביולוגית דומה ל-LH. ההורמון מגיע לגוף הצהוב בשחלה דרך מחזור הדם ומעודד את המשך הייצור של פרוגסטרון.

גישה אחרת לבלימת ניוון הגוף הצהוב היא הגישה ה"אנטיילוטאוליטית" אותה מוצאים בכבשים, בפרות וגם בסוסות. בלימת ניוון הגוף הצהוב נעשית על ידי דיכוי ההפרשה של $PGF_{2\alpha}$ מהרחם. הטרופובלסט העוברי מפריש גליקופרוטאין מיוחד הנקרא אינטרפרון-טאו (Interferon τ). חלבון זה מעכב את הייצור של $PGF_{2\alpha}$ על ידי הרחם בנקבה מחזורית. מצב זה מתרחש בשליש האחרון של מחזור הייחום.



תמונה מס' 11: פֶּלֶנְצֵנְטוֹמִים של כבשה ביום ה-80 להריון החלק העליון הכהה בכל פלצנטום הוא החלק העוברי, בעוד שהחלק התחתון הבהיר הוא החלק האימהי שבפלצנטום

התפתחות השליה, שלבים בהיריון

גדילת העובר מתקיימת בשבועות הראשונים של ההיריון תוך שהוא ניזון מהפרשות של בלוטות הרחם. בהמשך נוצרת השליה אשר דרכה נעשה חילוף גזים וחומרים שונים בין האם לבין העובר. השליה הנוצרת במהלך התפתחות העובר נצמדת לדופן הרחם תוך יצירת מבנים בהם מערכת כלי הדם העובריים סמוכה מאוד לכלי הדם האמהיים. קיימים מספר סוגים של שליות הנבדלות במינים שונים בשני היבטים עיקריים:

❖ מבנה מורפולוגי: במעלי גירה מדובר בשליה אשר לה אזורים הנקראים כפתורי הצמדה או קוטיילדונים (Cotyledons). קיימים בין 70 ל-120 קוטיילדונים כאלה בשליות של כבשים ופרות והם פזורים על פני קרומי השליה. הקוטיילדונים נצמדים לאזורים

מיוחדים בדופן רחם האם הנקראים קַרְנָקוּלִים (Caruncles). יחד, הם יוצרים מבנים בשם פְּלָצֶנטוֹמִים (Placentomes) בהם שלובות יחד רקמות האם והעובר. חשוב להדגיש כי יצירת הפלצנטומים אינה מלווה בשילוב של שתי מערכות הדם האמהית והעוברית זו בזו אלא, בהתהוות של קרבה אנטומית בין שתי מערכות של נימי הדם. כך, חילוף חומרי הזנה כגולקוז וחומצות אמינו, וכן חילוף גזים כחמצן ופחמן דו-חמצני נעשה ביעילות רבה. לעומת המצב במעלי גירה, בכלבה קיימת שליה עוברית בצורת רצועה, ובאישה השליה מתוארת כשליה "דיסקואידית" (בצורת דיסק) עגולה.

❖ מבנה אנטומי: מספר שכבות תאים מפרידות בין כלי הדם של העובר לבין כלי הדם של האם. מספר השכבות שונה בסוגים שונים של שליות, והוא משפיע על קצב המעבר של חומרים שונים בין מחזור הדם של האם לבין זה של עובר, ולהפך.

העברת חומרים בשליה בין מערכת הדם האמהית לבין זו של העובר נעשית בכמה אופנים, החל מדיפוזיה פשוטה התלויה במפל ריכוזים (למשל חילופי גזים), עבור דרך דיפוזיה מזורזת של גולקוז וחומצות אמינו ועד מעבר בניגוד למפל הריכוזים של מינרלים כמו נתרן ואשלגן.

חלבונים אינם עוברים את השליה, והעובר מייצר את חלבוניו מחומצות אמינו המסופקות לו מדם האם. גם שומנים לא עוברים את השליה. השליה מפרקת טריגליצרידים ופוספוליפידים ממקור אמהי והעובר מנצל את אלה לייצור רקמת שומן. הורמונים חלבוניים אמהיים כמו אינסולין, הורמון גדילה וכדומה אינם עוברים את השליה, אך הורמונים סטרואידים והורמוני בלוטת התירואיד שמשקלם המולקולרי נמוך עוברים את השליה. ויטמינים נמסים בשמן מתקשים לעבור דרך השליה, בעוד אלה הנמסים במים עוברים בקלות יחסית. חומרים רעילים העלולים לגרום נזקים קשים לעובר כמו: אלכוהול, מתכות כבדות, סמים שונים, חומרי הרדמה וחומרי אנטיביוטיקה יכולים לעבור בקלות את השליה כמו גם וירוסים שונים.

השליה אינה רק אבר המזין את העובר, זהו גם אבר אנדוקריני המפריש במהלך ההיריון הורמונים חשובים. הזכרנו את ה-hCG, הורמון בעל פעילות דמוית LH המופרש באישה ובפרימטים (קופים עילאיים). בסוסה מופרש הורמון בעל פעילות גונדוטروفית של FSH ו-LH אשר נקרא eCG (או בשמו הישן PMSG). כאמור, בכבשים, השליה מייצרת פרוגסטרון בכמויות גדולות, כדוגמת לקטוגן שלייתי, וכן הורמונים הקשורים להתפתחות העטין והכנתו להנבת חלב לאחר ההמלטה.

המלטה

מועד ההמלטה נקבע על ידי העובר. בהגיעו לגודל מסוים ולגיל מסוים, האופייני לכל מין של בעל חיים, נוצר בעובר, גירוי היפוטלמי הגורם בסופו של דבר לעלייה בהפרשת

ההורמון adreno-corticotrophic hormone (ACTH) מההיפופיזה. כתוצאה מכך מתקיים גירוי של בלוטת האדרנל העוברית לייצר ולהפריש קורטיקוסטרואידים. עליית קורטיזול (הקורטיקוסטרואיד העיקרי בחיות משק) גורמת לירידה בייצור פרוגסטרון על ידי השליה. מכיוון שקורטיזול מעודד פעילות של אנזימים אשר הופכים את הפרוגסטרון בסופו של דבר לאסטרדיול. ירידת היחס פרוגסטרון:אסטרדיול קובעת את קצב התקדמות ההמלטה. עם הירידה ברמת פרוגסטרון נפסק דיכוי התכווצויות שריר הרחם הנגרם בעקבות פעילות ההורמון. האסטרדיול, אשר רמתו עולה יחסית מעודד את ההתכווצויות. במקביל, עליית רמת הקורטיזול מעודדת ייצור של $PGF_{2\alpha}$ אשר גורם, בעידוד האסטרדיול, לסדרת התכווצויות של שריר הרחם.

בשלב מסוים חל שינוי במיקום של העובר ברחם, כך שראשו מופנה לכיוון צוואר הרחם. הכיווצים התכופים וכן הלחץ על צוואר הרחם גורם לגירוי של קולטנים ללחץ שם. מידע המגיע למוח האם דרך מערכת העצבים מעודד הפרשה של אוקסיטוצין מההיפופיזה האחורית. עליית רמת האוקסיטוצין גורמת, יחד עם $PGF_{2\alpha}$, לסדרת התכווצויות עזות של הרחם ולהוצאת העובר.



מעברו של העובר דרך צוואר הרחם והבושת מתאפשר הודות להרפיה של רקמות חיבור, והרחבה משמעותית של "תעלת ההמלטה". ההמלטה מסתיימת רק כאשר נפלטת גם השליה העוברית לאחר זמן מה. בניגוד לסוסה ולחזירה שם נפלטת השליה תוך שעה ממועד ההמלטה (כך גם המצב אצל האישה), במעלי גירה פליטת השליה מתרחשת בפרה תוך כ-12 שעות ממועד ההמלטה ותוך כ-5 שעות ממועד ההמלטה בכבשה. תופעה שכוחה למדי בפרות בעדר החלב היא "עצירת שליה". כלומר, השליה אינה נפלטת בזמן המתאים והישארותה ברחם גורמת לסיבוכים ולזיהומים. תופעה זו עלולה להגיע לכ-10% עד 20% מההמלטות המתרחשות בעדר. הסיבות הפיזיולוגיות לעצירת שליה בשיעורים כה גבוהים בפרות בעדר החלב לא ברורות דיין. מכל מקום עצירת שליה מחייבת התערבות וטרינרית.

❖ תמונות מספר 4 ו-5 נלקחו מהספר: "Pathways to Pregnancy and Parturition", שנכתב עלידי פרופסור P. L. Senger. הספר יצא לאור בהוצאת: Current Conceptions Inc.

ממשק רבייה של מעלי גירה

דוד וולפנזון



הפרק "יסודות רביית מעלי גירה" תיאר את הבסיס הפיזיולוגי של תהליכי הרבייה העיקריים בחיות המשק. כפי שנכון הדבר עבור תכונות ייצור כגדילה או כהנבת חלב, גם תכונות רבייה נתונות להשפעה של תנאי הסביבה, אשר יכולה להיות מועילה אך לעתים גם מזיקה. תהליך הרבייה כולל מספר רב של שלבים והוא משול לשרשרת המורכבת מחוליות רבות, כאשר כל חוליה מייצגת שלב בתהליך הרבייה. כפי שדי שחוליה אחת תישבר כדי שהשרשרת תינתק, כך די בכשל באחד השלבים של תהליך הרבייה כדי שהמלטת עגל או טלה לא תצא לפועל. הגורמים הסביבתיים העיקריים המשפיעים על פוריות בקר וצאן יידונו בפרק זה. חלק מהדרך להתגבר על מגבלות הסביבה הוא פיתוח ויישום של טכנולוגיות מתקדמות בממשק הרבייה. גם נושא זה יידון בפרק הנוכחי. חלק מטכנולוגיות אלה, כמו הקפאת זרמה והזרעה מלאכותית, מצויות בשימוש כבר עשרות שנים. חלקן האחר פותח ומיושם רק בשנים האחרונות.



השפעת עקת חום על תהליכי רבייה בבקר לחלב



עומס חום נחשב כאחד הגורמים העיקריים, אם לא הגורם החשוב ביותר, לירידה בפוריות של פרות בעדרי בקר החלב. מדובר בגורם סביבתי המשפיע על למעלה מ-60% של הבקר בעולם, זה המצוי באזורים טרופיים וסובטרופיים בעלי אקלים חם, ובכלל זה בישראל. המדד החשוב ביותר לרמת הפוריות בעדר הוא שיעור ההתעברות – היחס באחוזים בין מספר פרות הרות למספר הרבעות ו/או הזרעות שבוצעו בתקופה מסוימת. שיעור ההתעברות הממוצע מהזרעה ראשונה בתקופת החורף (חודשים דצמבר עד מאי) בפרות גבוהות תנובה בעדרי הבקר לחלב בישראל נע בין 45% ל-50%. לעומת זאת, בקיץ (חודשים יוני עד ספטמבר) יורד שיעור ההתעברות בעדרים אלה באופן ניכר לערכים שבין 10% ל-25% בלבד. שיעור הירידה בהתעברות הקיצית מותנה בעוצמת עקת החום מצד אחד (קיץ חם מאוד או קיץ מתון) ומן הצד השני, באיכות מערכות הצינון המותקנות ברפת. מערכות צינון יעילות עשויות לשפר את שיעור ההתעברות בקיץ עד לרמה של למעלה מ-30%. מעניין, כי גם בעונת הסתיו (חודשים אוקטובר-נובמבר), בה עקת החום מתונה מאוד או שאינה קיימת כלל, שיעור ההתעברות של הפרות נמוך מזה שבחורף ועומד על 25% עד 35% בלבד. נמצא, כי ההתעברות הנמוכה בסתיו נובעת מהשפעה ארוכת טווח של עקת החום הקיצית על פוריות הפרות.

מהנתונים שהוצגו נובע כי, במשך כשישה חודשים בשנה סובלות הפרות בעדרי הבקר לחלב בארץ מפוריות נמוכה עקב השפעה קצרת טווח (בקיץ) או ארוכת טווח (בסתיו) של עקת חום. למרות הצפי לשיעור התעברות נמוך בחצי מחודשי השנה, ברוב עדרי הבקר לחלב בארץ ההזרעות מתבצעות במשך כל השנה. אולם, באזורים חמים במיוחד, כמו עמק הירדן והערבה, נמנעים מהזרעות בקיץ עקב שיעור התעברות נמוך ביותר. רמת הפוריות של בקר בארצות אחרות בעולם חשופה גם היא להשפעה השלילית של עקת החום. במדינות דרום ארצות-הברית למשל, בהן קיים אקלים חם ולח, פוריות בקר לחלב בקיץ נמוכה אף מזו שבישראל ועומדת על 5% עד 10%.

כיצד אפשר להסביר פגיעה קשה זו של עקת חום בפוריות הבקר? כזכור, תהליך הרבייה הוא תהליך מורכב ועקת חום יכולה לפגוע במספר שלבים במהלכו. מתברר, כי העלייה העקבית במהלך השנים בתנובת החלב הייתה כרוכה בירידה מתונה אך עקבית בפוריות של הפרות גבוהות התנובה. פגיעה זו בפוריות בולטת במיוחד בעונת הקיץ. הסיבה לכך היא שעלייה בתנובה כרוכה בעלייה ברמת חילוף החומרים בגוף הפרה. זו כרוכה בעלייה בייצור החום המטבולי. ככל שרמת התנובה גבוהה יותר, ייצור החום המטבולי רב יותר.

הרחקה של חום זה מגוף הפרה נעשית קשה ככל שעקת החום גוברת. התוצאה המתבקשת היא עלייה בחום הגוף (היפרטרמיה) של הפרה. טמפרטורת גוף רגילה של פרה היא 38.5 מ"צ. במצב של היפרטרמיה מתונה עולה טמפרטורת גוף הפרה לערכים שבין 39.0 מ"צ ל-39.5 מ"צ ואילו בהיפרטרמיה חריפה, טמפרטורת הגוף עולה ל-40 מ"צ עד 41 מ"צ, ואף יותר. די בהיפרטרמיה מתונה של חצי מ"צ עד מעלת צלזיוס אחת כדי לפגוע בפוריות. ככל שדרגת ההיפרטרמיה חריפה יותר, כך הפגיעה בפוריות קשה יותר. טמפרטורת גוף גבוהה גורמת נזק למספר רקמות המעורבות במספר אופנים בתהליכי הרבייה, כפי שיפורט להלן.

השפעת עקת חום על זקיקים בשחלה

שיבוש בתפקוד הזקיקים עקב עקת חום בא לביטוי בכמה מישורים:

1. עקת חום משפיעה על תהליך גדילת הזקיקים בשחלה. העלייה בטמפרטורת הגוף גורמת לכך שהזקיק הדומיננטי הופך לזקיק קדם-ביוצי מוקדם מדי. מצב זה מביא לכך כי בהגיע מועד הביוץ הנקבע על ידי גונדוטורפינים, הזקיק והביצית בתוכו כבר בשלים מדי. הסיבה לזירוז הגדילה של הזקיק הקדם-ביוצי נובעת מכך שהגל הפוליקולרי ממנו הוא בא (מדובר בדרך כלל בגל הפוליקולרי השני במחזור הייחום) מתחיל את התפתחותו מוקדם מן הצפוי עקב עקת חום. הקדמת התפתחות זו נובעת מדיכוי הפרשת ההורמון אינהיבין בעת עקת חום. דיכוי זה מאפשר הפרשה מוגברת ומוקדמת של FSH מההיפופיזה, אשר מעודדת מוקדם מן הרגיל את צמיחת הגל הפוליקולרי. הנזק הנגרם מהקדמת התפתחות הזקיק המבייץ נובע מכך שיכולת הביצית להתפתח לעובר תקין לאחר ההפריה נפגמת כאשר היא עוברת תהליכי הבשלה מוקדם מן המקובל.

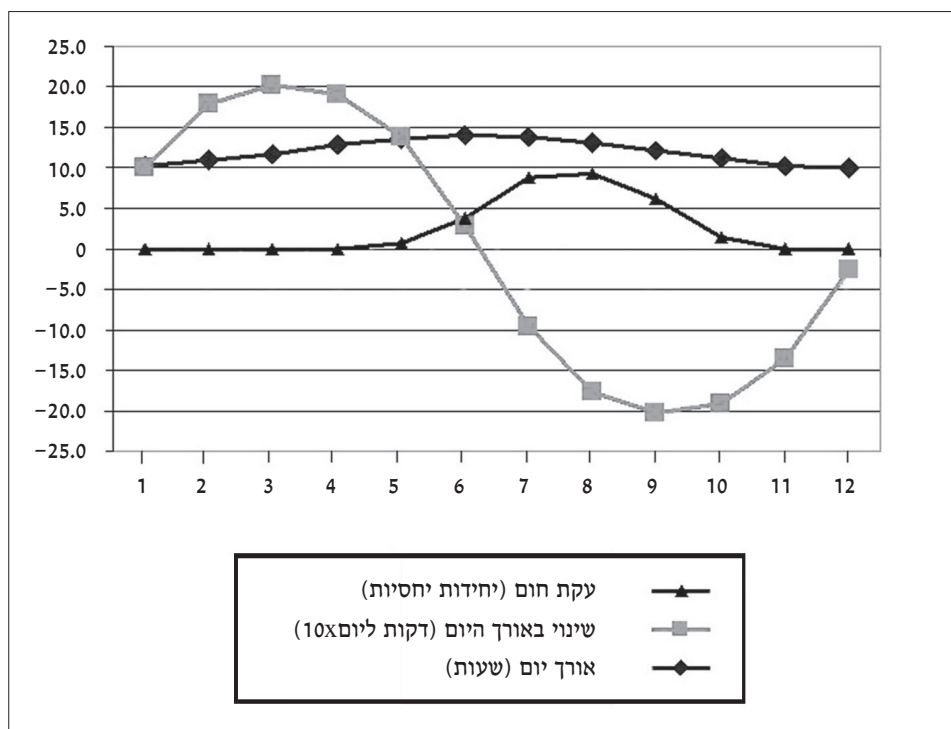
2. כושר הזקיק לייצר הורמונים סטרואידים פוחת בתנאי עקת חום. במיוחד מדובר בפגיעה ביכולת תאי התיקה המצויים בדופן הזקיק לייצר אנדרוגנים, המהווים חומרי מוצא לייצור אסטרדיול בתאי הגרנולוזה. כך, נוצר מצב שהפרשת אסטרדיול מהזקיק דלה יחסית, מצב המשפיע על דגם ההפרשה של שיא LH קדם-ביוצי. כזכור, עליית ריכוז אסטרדיול בפאזה הפוליקולרית, לקראת סוף מחזור הייחום מעודדת (במשוב חיובי) את הפרשת GnRH, ובעקבותיה את הפרשת שיא LH. שיא LH נמוך מדי כתוצאה מריכוזי אסטרדיול נמוכים עלול לגרום לדחייה במועד הביוץ, המתרחש בדרך כלל לקראת סוף הייחום. ככלל, הזרעה או הרבעה נעשים כאשר הפרה מיוחמת. חיוניות הגמטה הזכרית בגוף הנקבה מוגבלת ל-20 עד 30 שעות וחיוניות הגמטה הנקבית לאחר הביוץ מוגבלת עוד יותר – 10 עד 20 שעות בלבד. בתנאי עקת חום, דחיית מועד הביוץ, יחסית לייחום, עלולה למנוע הפריה תקינה היות והביצית ותאי הזרע יהיו במועד ההפריה מבוגרים יחסית ומכאן, בעלי חיוניות נמוכה.

3. עומס חום פוגע גם באיכות הביצית הנתונה בתוך הזקיק העומד לבייץ. נמצא, כי ביציות שנלקחו מפרות אשר נחשפו לחום הקיץ היו באיכות נמוכה יחסית, שהתבטאה בשיעור נמוך מאוד של התפתחות לעוברים לאחר הפריה במבחנה (*In vitro fertilization*). השפעה זו של עומס החום על איכות הביציות ניתנת להדגמה גם בתנאים מבוקרים יותר כמו חשיפה של פרות לטמפרטורות גבוהות בחדר אקלים, או הדגרה של ביציות שנשטפו מרחם הפרה באינקובטור, בטמפרטורה גבוהה יחסית. בשני המקרים נגרמת ירידה משמעותית בכושר הביציות להתפתח לעוברים תקינים לאחר ההפריה, יחסית לביציות שלא נחשפו לעקת חום.

4. הביצית רגישה מאוד לטמפרטורה גבוהה סביב מועד הביוץ, וכך גם העובר בימיו הראשונים. אולם, ככל שעובר הזמן, העובר הופך פחות ופחות רגיש לחשיפה לטמפרטורה גבוהה. כך למשל, עובר בעל שני תאים רגיש לטמפרטורה גבוהה הרבה יותר מאשר עובר בן 8 תאים.



על פי המוזכר למעלה ניתן היה להניח שמניעה או צמצום של עקת החום בשבוע הראשון להיריון הייתה פותרת, ולו באופן חלקי, את בעיית הפוריות הקיצית הנמוכה. זאת, מכיוון שרגישות העובר לחום יורדת עם התבגרותו. אולם, תוצאות מעבודות שבדקו את ההשפעה של צינון פרות למשך כשבוע ימים אחרי ההזרעה לא תמכו בהשערה זו. הסיבה העיקרית שפוריות הפרות המקוררות למשך שבוע לא השתפרה היא שבנוסף לנזק המידי, קצר הטווח, של עקת חום על התפתחות העובר בשלבים המוקדמים של ההיריון, עקת החום פוגעת באיכות הביציות גם מוקדם יותר, עוד בהיותן בזקיקים קטנים, שבועות רבים לפני שהם הופכים להיות זקיקים גדולים המועמדים לביוץ. לא ברור בדיוק מהו השלב בהתפתחות הזקיקים בו הזקיקים והביציות שבתוכם, נפגעים מעקת החום. אולם, ברור כי הנזק יתגלה רק בשלב מאוחר יותר של התפתחות הזקיק והביצית. הביטוי החריף ביותר להשפעה ארוכת טווח זו של עקת חום קיצית על איכות הביציות מתגלה בסתיו. בעונה זו לא קיימת עקת חום, אך כושר הביציות להתפתח לעוברים תקינים נותר נמוך ונשאר כך עד תחילת החורף (עד חודש דצמבר). עקת החום הממושכת של הקיץ "יצרה" מאגר של זקיקים בעלי איכות נמוכה, מהם יחרגו ביציות בעלות כושר לקוי להתפתח לעוברים. בעיית פוריות הפרות בסתיו תחלוף רק כאשר אוכלוסיית הזקיקים הפגומים שבתוכם ביציות פגומות תיעלם מהשחלה (בתהליך הניוון הטבעי של הזקיקים) ובמקביל יצמח ויעלה מאגר זקיקים חדש בהם ביציות תקינות. אכן, סילוק מזורז בעזרת טיפולים הורמונליים הגורמים לביוץ יתר, בתחילת הסתיו, של זקיקים אשר התפתחו בקיץ הביא לשיעור גבוה יחסית של התפתחות עוברים תקינים בסתיו.

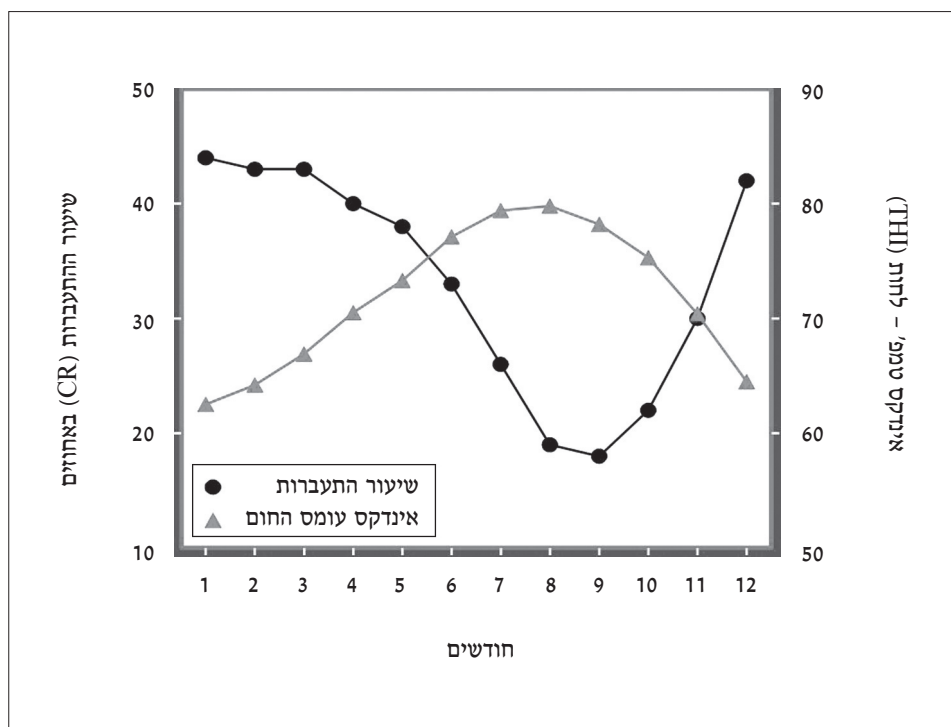


תמונה מס' 1: שינוי באורך היום ובעומס החום לאורך השנה בישראל

השפעת עקת חום על הגוף הצהוב בשחלה

פרוגסטרוגן הוא הורמון החשוב לקיום תהליכי רבייה תקינים. ריכוז נמוך של פרוגסטרוגן בדם במהלך השלב הלוטאלי של המחזור נגרם ברוב המקרים כתוצאה מנוכחות גוף צהוב שאינו מפותח אשר כושר ייצור הפרוגסטרוגן שלו נפגם. קיימת הסכמה בין רוב המדענים כי הפרשה נמוכה של פרוגסטרוגן מגוף צהוב – לא תקין, קשורה לפוריות נמוכה. אחת הסיבות לכך היא תמיכה לקויה בתפקודן של בלוטות הרחם אשר הפרשתן תומכת בהתפתחות העובר. סיבה אחרת להשפעה השלילית של רמת פרוגסטרוגן נמוכה על הפוריות היא בתרומתה ל"הזדקנות" מוקדמת של הביצית לפני ההפריה.

נמצא, כי במצב של עומס חום קיצו ממושך (כרוני), רמת הפרוגסטרוגן בדם הפרה נמוכה באופן משמעותי מזו הקיימת בחורף. זקיק שניזוק עקב עקת חום יתפתח לאחר הביצוץ לגוף צהוב פגום. הדבר נובע מחיות נמוכה של תאי גרנולוזה בזקיק כזה. פגיעה בחיוניות תאי הגרנולוזה תביא לכך שמספר התאים הלוטאליים הגדולים בגוף הצהוב, אלה המייצרים פרוגסטרוגן, יהיה נמוך יותר בקיץ, דבר אשר יגרום לשיבוש בייצור פרוגסטרוגן על ידי הגוף הצהוב.



תמונה מס' 2: דוגמה לאפקט דחוי של עומס חום על שיעור ההתעברות בבקר לחלב

האם תוספת של פרוגסטרון ממקור חיצוני עשויה להביא לשיפור פוריות הבקר בקיץ? חובה לציין כי קיימות לא מעט עבודות בהן תוספת פרוגסטרון ממקור חיצוני לפרות לא הביאה לשיפור בפוריות. לעומת זאת, עבודות אחרות אכן מציינות שיפור בפוריות בעקבות תוספת של פרוגסטרון חיצוני. גם אם טיפול בפרוגסטרון ממקור חיצוני יכול לפצות במידת מה על רמה טבעית נמוכה של פרוגסטרון, לא בהכרח ברור כי בכוחו של טיפול זה לפתור את בעיית פוריות הפרות בקיץ. זאת, מאחר ורמת פרוגסטרון נמוכה היא רק הפרעה אחת מני רבות הנגרמת כתוצאה מעקת החום בעונה זו.

השפעת עקת חום על ההיפופיזה

כפי שצוין קודם, עומס חום גורם לשיא LH נמוך יחסית בסמוך למועד הביוץ דרך פגיעה ברמת האסטרדיול. אולם, קיימת גם אפשרות שעקת החום פוגעת ישירות בהפרשת LH מההיפופיזה. מעניין, כי בניגוד ל-LH, הפרשת FSH עולה בעומס חום, עלייה הקשורה לדיכוי הפרשת

אינהיבין מהשחלה. העלייה בהפרשת FSH, אשר כידוע מעודד גדילת זקיקים, קשורה לתופעה מעניינת. נמצא, כי בעדר הבקר לחלב הישראלי שיעור המלטת תאומים בחודשים מאי-יולי עולה בצורה משמעותית בהשוואה להמלטות תאומים ביתר חודשי השנה (9% לעומת 5%). המלטות בחודשים מאי-יולי באות בעקבות הזרעות קיץ, 9 חודשים קודם לכן. ההסבר לשיעור הגבוה יחסית של לידת תאומים הוא בשיעור הגבוה של ביוצים כפולים שמקורו בעלייה בהפרשת FSH בתנאי עקת חום בקיץ. נמצא ששיעור המלטת תאומים מהזרעות קיץ גבוה עוד יותר בארצות מדבריות חמות מאוד, ומגיע למשל בערב-הסעודית ל-12%.

השפעת עקת חום על התפתחות העובר

הרחם הוא בית הגידול של העובר. לצורך הדיון, יש להבחין בשני שלבים במהלך ההיריון: שלב מוקדם המתרחש לפני התפתחות השליה, בו העובר חופשי ואינו צמוד לדופן הרחם, ושלב ההיריון המתקדם, המתחיל עם קינון (אִימְפִּלַּנְטַצְיָה) העובר בדופן הרחם ומסתיים בהמלטה.

עובדה היא כי לא כל הפרות מתעברות בעקבות הזרעה או הרבעה. חלקן חוזר להתייחס 21 ימים או יותר לאחר מכן. חוסר התעברות יכול לנבוע מכשל בהפריה או ממותו של העובר בשלב ההיריון המוקדם. מקובל לחשוב כי פוריות נמוכה נובעת ברוב המקרים מתמותה עוברית מוקדמת. פרות השבות להתייחס אחרי הזרעה מכונות פרות "חוזרות". פרות שלא התעברו כתוצאה מכשל בהפריה עצמה חוזרות בדרך כלל להתייחס תוך פרק זמן של מחזור ייחום שלם – 21 יום. אולם, חלק ניכר מהפרות המוזרעות חוזר להתייחס לאחר 25 עד 40 ימים אחרי מועד ההזרעה, ואף יותר, פרק זמן גדול ממשך מחזור ייחום. במקרים אלה טוענים כי הפרה הייתה בהיריון, אך כנראה "ספגה" את עוברת בשלב ההיריון המוקדם. זאת כתוצאה למשל משיבוש של זיהוי ההיריון על ידי האם. שיבוש המוביל לניוון הגוף הצהוב. תמיכה פרוגסטינית (של פרוגסטרון) שאינה מספקת גורמת לתמותת העובר ולהפסקת ההיריון. יש להדגיש, כי הדעה לפיה אצל פרות אשר חזרו לדרוש למעלה מ-21 יום ממועד ההזרעה חלה "ספיגה" של העובר היא בגדר השערה בלבד, השערה הדורשת הוכחה, אותה קשה לאשש מאחר וקיים קושי לקבוע היריון בשלבים המוקדמים שלו.

מתברר, כי עומס חום גורם לתמותת עוברים בשלבי התפתחות מוקדמים, דבר אשר מביא לשיעור גבוה יותר של פרות מוזרעות לחזור ולהתייחס תוך 21 יום. בניסוי בו הוצאו בשלב ההיריון המוקדם עוברים מרחמים של פרות הרות אשר היו חשופות לעומס חום, ומפרות ביקורת, נמצא כי שיעור העוברים הפגומים היה גבוה יותר אצל פרות שהיו חשופות לעומס חום. יש להניח כי חלק מהסיבות שתוארו למעלה כמו: זקיק פגום, ביצית באיכות ירודה או גוף צהוב לא תקין תרמו לתמותת העוברים המוקדמת. סיבות אלה קשורות לתפקוד לקוי של השחלה. מסתבר כי בנוסף לסיבות אלו, תורמים לפוריות נמוכה, במצב של עומס חום, גם

גורמים הקשורים לתפקוד הרחם. אחד מגורמים אלה קשור להפרשה מוגברת מאוד של $PGF_{2\alpha}$ מדופן הרחם (אֶנְדוֹמֶטְרִיוֹם). כזכור, נוכחות עובר מדכאת הפרשה זו, וכך נמנע ניוון הגוף הצהוב. עלייה של הפרשת $PGF_{2\alpha}$ בתנאי עומס חום תגרום לניוון לא רצוי של הגוף הצהוב ולהפסקת ההיריון. סיבה אפשרית לעליית בהפרשה של $PGF_{2\alpha}$ בתנאי עקת חום היא שינוי ברמת ההפרשה של אינטרפרון- γ (טאו) על ידי העובר. הורמון זה משרה בבקר ובצאן את תהליך "זיהוי ההיריון על ידי האם". נמצא, כי הפרשתו של הורמון זה יורדת בצורה משמעותית בתנאי עומס חום.

פרק זמן נוסף בו עלולה להשתבש התפתחות העובר ברחם בעומס חום הוא שלב ההיריון המאוחר, כאשר השליה כבר מתפקדת, העובר מפותח ומבחינים באבריו. נמצא, כי קיום היריון בתנאי עומס חום משרה המלטה של ולד קטן מהרגיל. לעתים מוצאים גם כי התפתחות של אברים מסוימים כמו הכבד נפגעת באופן בולט. הסיבות לתופעה זו הן ירידה משמעותית בגודל השליה וירידה של זרימת הדם השלייתית-עוברית והרחמית-אמהית. ירידה זו משבשת מעבר של חומרי הזנה חשובים מאוד כמו גלוקוז וחומצות אמינו אל העובר, דבר הפוגע בגדילתו.

ידוע כי עומס חום מביא לירידה בתיאבון. לא רק בני-אדם, אלא גם בעלי חיים אוכלים פחות בקיץ. פרה או כבשה היפרטרמים (שטמפרטורת גופם גבוהה מזו הנורמלית) אוכלים פחות מזון. נוסף לכך, לא רק שקיימת ירידה בכמות המזון הנאכל בתנאי חום, אלא קיימת גם ירידה בספיגת מרכיבי מזון מסוימים במערכת העיכול. אם כך, מצב עומס חום עלול לגרום להחרפה בבעיות מטבוליות כמו "מאזן אנרגיה שלילי" למשל. מצבים כאלה ידועים כבעלי אפקט שלילי על פוריות הבקר, כפי שנראה בהמשך.

השפעת אורך היום על ביצועי מערכת הרבייה



בצד חיות משק כבקר, אשר מקיימות פעולות רבייה במהלך כל השנה, ישנם כבשים, עזים וסוסים המקיימים פעילות מינית "עונתית", המוגבלת למספר חודשים בשנה. גם עופות הם בעלי חיים עונתיים. אורך היום הוא הגורם הסביבתי החשוב המשפיע על עונתיות של תהליכי רבייה. אורך היום נקבע על ידי מספר שעות האור ביממה. באזורים שאינם סביב קו המשווה, אורך היום מתארך או מתקצר בהתאם לעונת השנה. המושג הלועזי לשינוי מספר שעות האור ביממה במהלך השנה נקרא פוטופְּרִיֻדָּה.

השפעה פוטופריודית על גיל בגרות מינית

אורך היום יכול להשפיע על מועד הכניסה לבגרות המינית (Puberty). כניסה לבגרות מינית מותנית ביכולתם של תאי עצב בהיפותלמוס לייצר GnRH, הורמון המבקר את הפרשתם של גונדוטרופינים מההיפופיזה. הורמונים אלה מבקרים את התפתחות תאי הזרע בזכרים ואת התפתחות הביציות בנקבות.

הפרשת GnRH מבוקרת במשוב חיובי על ידי אסטרדיול המופרש מהשחלה. בנקבה המגיעה לבגרות מינית יש צורך שתגובת ההיפותלמוס לאסטרדיול תהיה ברמה מספקת כדי להשרות שיא LH קדם-ביוצי ובעקבותיו ביוץ. המועד בו מגיע פרט צעיר לבגרות המינית תלוי בגודל ובמבנה גופו, וכן בתנאי הסביבה כמו למשל, רמת ההזנה, פוטופריודה וכן גורמים חברתיים שונים. באשר להשפעות הסביבה, צעירים המתפתחים בתנאי הזנה לקויה וחסרה יגיעו לבגרות מינית בגיל מאוחר יחסית לאחיהם שקבלו הזנה מספקת. מובן שהגורם הגנטי חשוב אף הוא: יש וגזעים שונים נבדלים בגיל הבגרות מינית שלהם.

כבשים מגזעים עונתיים אשר נולדו באביב, בחודש אפריל למשל, תגענה לבגרות מינית אחרי 5 עד 6 חודשים, בחודשים ספטמבר-אוקטובר שהם בעונת הסתיו. בעונה זו, שהיא עונת הרבייה של הכבשים, אורך היום הולך ומתקצר. אולם, כבשים שנולדו בסתיו (בחודש אוקטובר למשל) תגענה לבגרות מינית רק בסתיו של השנה הבאה – בגיל של 10 עד 12 חודשים. בשני המקרים, כניסה לבגרות מינית מתרחשת כאשר אורך היום מתקצר. גם בעגלות שאינן נחשבות לבהמות עונתיות, יש השפעה לחודש ההמלטה על גיל הבגרות המינית. עגלות שנולדו בסתיו נוטות להגיע לבגרות מינית מוקדם יותר מאשר עגלות אשר נולדו באביב. כאמור, קביעת העונתיות נעשית לא רק על פי האורך המוחלט של היום, אלא גם על פי קצב ההשתנות במשכו.

השפעה פוטופריודית על מחזוריות

קיימים שני סוגים של בעלי חיים עונתיים: כאלה המגיבים ליום ארוך כמו סוסים, וכאלה המגיבים ליום קצר כמו כבשים ועזים. כאשר היום מתקצר בסתיו הכבשים נכנסות למחזוריות מינית כאשר משך תקופת המחזוריות תלוי בגזע. לכבשה מגזע מרינו למשל, תקופת מחזוריות ארוכה יחסית של 220 יום בערך, ואילו לכבשה מהגזע הסקוטי שחור הפנים תקופת מחזוריות קצרה יחסית של 120 יום בערך. הגורם העיקרי אשר משפיע על כניסה למחזוריות הוא שינוי אורך היום. המידע על אורך היום נקלט דרך רשתית העין המגיבה לאור. האות הנקלט ברשתית מועבר דרך מערכת העצבים לבלוטת האֶוֶרְנִית (הבלוטה הפִּינְאֵלִית), שם הוא מדכא את הפרשת ההורמון מֶלְטוֹנִין. המלטונין מופרש רק בלילה, כאשר אין אור. מאחר והמלטונין מעודד הפרשת GnRH מההיפותלמוס, הוא משרה בעקבות כך את המחזוריות המינית. כאשר אורך היום קצר (או מתקצר) האות המעכב את הפרשת המלטונין נחלש, הפרשת המלטונין גוברת וגורמת לעידוד הפרשת GnRH ולחידוש המחזוריות.

מטבען, כבשים בוגרות אינן מציגות רצף של מחזורי ייחום כל השנה. בחלק מהשנה הכבשים מצויות במצב של חוסר תאנה או בלועזית אַנאָסטרוס (*Unestrus*). במצב זה הכבשה תדחה ניסיון הרבעה מצד האיל. השתנות אורך היום מכוונת בגזעים עונתיים את המועד בו הן נכנסות לתקופת ייחום כך, שרוב העדר מציג ייחום בעונה מסוימת ונמצא באנאסטרוס בתקופה אחרת. בגזעים שאינם עונתיים, לפוטופריודה השפעה חלשה על קביעת תקופת הייחום. בגזעים אלה יימצאו בעדר במהלך כל השנה כבשים בייחום, אולם, בכל עת כ-10% עד 20% מהעדר יהיה במצב של אנאסטרוס.

זיהוי ייחומים



על מנת לאפשר הפריה של הביצית על ידי תא הזרע חייבת להיות התאמה הדוקה בין מועד הייחום לבין מועד הביוץ. הכרח זה מקורו בעובדה לפיה אורך החיים של תא הזרע במערכת המין הנקבית מוגבל (20–30 שעות), וכן כשירות הביצית להפריה מוגבלת לכ-10 עד 20 שעות לאחר ההפריה.

קיים הבדל מהותי בין הזכר לבין הנקבה בהתנהגות בעת ייחום. בזכר בוגר מבחינה מינית מופרש מהאשכים באופן קבוע טסטוסטרון, וזה משרה בזכר דחף מיני קבוע. זכר מסוגל לזהות בקלות נקבה מיוחמת ולהרביעה. הקושי בזיהוי ייחומים ברפת בקר לחלב מודרנית נובע מהיעדר פרים בעדר, היות וכל ממשק הרבייה מושתת על הזרעה מלאכותית בזרמה קפואה המגיעה ממכוני ההזרעה.

בניגוד לזכר, הנקבה מתייחמת ומוכנה להזדווג רק בפרק זמן מוגדר וקצר במחזור הייחום. פרק זמן זה מאופיין ברמות גבוהות של אסטרדיל בגוף הנקבה המאפיינות את הפאזה הפוליקולרית.

במהלך הייחום מופיעים בפרות מספר סימני התנהגות אופייניים: הרחת הבושת, הרמת הראש ופעולת הרחה אופיינית, הנחת הצוואר על פרה אחרת, אי-שקט ופעילות סביב פרות אחרות, קפיצה על גבן של פרות אחרות, געייה, וכמובן ייחום עמידה, שהוא סימן הייחום המובהק והחשוב ביותר אשר על פיו קובעים את היות הפרה בייחום אמיתי. כל סימני הייחום האחרים שהוזכרו הם משניים ורק מתרעים על כך שמועד ייחום העמידה קרוב.

במהלך הייחום נוהגות פרות לקפוץ אחת על רעותה. בהעדר זכרים ברפת מנצלים הרפתנים תכונה זו כדי לזהות פרות מיוחמות. קפיצת נקבות אחת על השנייה כמעט ואינה קיימת בצאן.

ולכן, זיהוי ייחומים בכבשים קשה יותר, ומתבצע בדרך כלל תוך הכנסה של איל לקבוצה של כבשים. כבשה מיוחמת מחפשת את קרבת האיל ותוך כדי שהיא שוהה בקרבתו היא מנענעת את הזנב כסימן לייחום. האיל מזהה כבשים מיוחמות וקופץ עליהן. איל המוכנס לקבוצת נקבות מסוגל להריח בשתן הכבשים חומרים נדיפים המעידים על היות הכבשה בייחום. סימן הייחום המובהק של הכבשה הוא עמידה בעקבות קפיצת איל. כבשים שאינן מיוחמות יברחו כאשר האיל יקפוץ עליהן.

לעתים, יש עניין לזהות כבשים דורשות מבלי שהאיל ירביע אותן, כמו למשל במקרה של הכנת כבשים פונדקאיות במערך השתלת עוברים. למטרה זו מוכנס לקבוצת כבשים איל שתפקידו חיפוש בלבד. איל זה נקרא שָׁדִיךְ. כדי למנוע הרבעת הכבשים על ידי השדיך, ניתן לעקרו על ידי ניתוק כירורגי של צינורות מובילי הזרע, או לכסות את בטנו בעת החיפוש בסינר גומי אשר ימנע את אפשרות ההרבעה.

הזרעה מלאכותית בעדרי הבקר לחלב בישראל מתבצעת כמעט ב-100% מהפרות. בשיטת ממשק רבייה זו פרים אינם מוחזקים כאמור ברפתות חלב אלא במכוני הזרעה מלאכותית. על כן, ממשק הרבייה בעדר חייב להיעזר במערכת מדויקת ויעילה של זיהוי ייחומים על מנת לאתר את הפרות הדורשות כדי לבצע את ההזרעות במועד הנכון.

להלן, השיטות העיקריות לזיהוי ייחומים בבקר, במיוחד בעדרי בקר לחלב:

1. שימוש בפר: הכוונה לפר מעוקר אשר גם אם יקפוץ על פרה מיוחמת וירביע אותה, היא לא תופרה. דרך אחרת למניעת הרבעה על ידי הפר המחפש היא הסטה הצדה של אבר המין שלו בשיטה כירורגית. שיטה זו של זיהוי ייחומים באמצעות פר אינה מקובלת בדרך כלל בגלל הסכנה בהחזקת פר.

2. תצפית ייחומים: זו השיטה הנפוצה ביותר לזיהוי ייחומים בעדר הבקר לחלב. שיטת העבודה דורשת כי כל תצפית תימשך זמן וכן, כי תדירות התצפיות תהא מספקת. כל זאת, על מנת לזהות את מרב הפרות הנמצאות בייחום. בדרך כלל משתדלים הרפתנים לבצע שלוש תצפיות ביממה, כאשר משך כל תצפית כמחצית השעה לפחות. אחוז הפרות המזהות כמיוחמות מסך כל הפרות המציגות ייחום אמיתי מותנה בדרך בה נערכות התצפיות: הוא יכול להיות נמוך (כ-50%) בממשק גרוע, או טוב (כ-85%) בממשק תצפיות קפדני. פרה הנראית "עומדת" כאשר אחרות קופצות עליה מוגדרת כפרה בייחום. גם פרה שאינה עומדת, אלא קופצת באופן עקבי הרבה פעמים על פרות אחרות, נחשבת כפרה בייחום. לעומתן, פרה ה"בורחת" (אינה עומדת) כאשר פרה אחרת קופצת עליה אינה מוגדרת כפרה בייחום. סימני הייחום המשניים אינם קובעים מצב של ייחום אלא רק תומכים בקביעה כזו. חשוב לציין כי שיעור מסוים של הפרות אינו מציג התנהגות ייחום

אופיינית למרות היותן בייחום. זאת מסיבות שונות, וביניהן האפשרות שהדחף לייחום נמוך עקב הפרשה נמוכה מהדרוש של אסטרדיל מהזקיק הקדם-ביוצי. אפשרות נוספת היא כי פרה זו נפגעה והיא צולעת ולכן אינה מציגה פעילות ייחומית כמקובל.

3. סימון בצבע של פרות מיוחמות: שיטה זו מנצלת את אחד המאפיינים ההתנהגותיים בעת ייחום, בו הפרה המיוחמת עומדת ופרה אחרת קופצת עליה מאחור. ניתן לצבוע בצבע את אזור הזנב של קבוצת פרות. הצבע ייעלם מהפרות עליהן קפצו פרות אחרות. כך ניתן לזהות "פרה עומדת" גם אם העמידה לא זוהתה על ידי תצפית באופן ישיר. כמו כן, ניתן לקבע באזור שורש הזנב חיישן לחץ אשר יגיב בדרך אלקטרונית ללחיצה של פרה הקופצת על בעלת המתמר. האות אלקטרוני יישלח מהמתמר אל מחשב המוצב ברפת. גישה זו מיושמת ברפתות המצוידות במערכת ממוחשבת מסחרית.

4. מדידת פעילות גופנית: עיקרון אחר שנמצא לו שימוש נפוץ לזיהוי פרות בייחום הוא העובדה שפרה מיוחמת מגבירה בצורה משמעותית את הפעילות הגופנית שלה. לצורך מעקב אחר פעילות זו ניתן להצמיד פֶּדוּמֶטֶר (מד צעדים) על רגל הבהמה או על צווארה ולעקוב מספר פעמים ביום אחר מספר הצעדים אותם צעדה הפרה. הנתונים נקלטים במחשב הרפת בעזרת גלאים המוצבים במכון החליבה למשל. שיטה זו לזיהוי ייחומים נפוצה ויעילה למדי.

5. מעקב אחר ריכוז הפרוגסטרוגן בחלב: רמת הפרוגסטרוגן בגוף הפרה נמוכה ביותר במהלך הפאזה הפוליקולרית של מחזור הייחום. זיהוי רמה נמוכה של פרוגסטרוגן בחלב ילמד על היותה של הפרה בייחום. לשיטת בדיקה זו מספר חולשות וביניהן העבודה המעבדתית הכרוכה בביצוע בדיקות והעובדה שקשה לזהות באמצעות השיטה את המועד המדויק בו הפרה בייחום.



תמונה מס' 3: קפיצה של נקבה על רעותה – ייחום עמידה

חשוב להדגיש כי ברוב השיטות שהוזכרו ניתן בקלות יחסית לשגות ולקבוע שהפרה בייחום על אף שאין הדבר כך. לדוגמה: מד הצעדים קובע ייחום כאשר מספר הצעדים בפרק זמן מסוים חורג מממוצע צעדים קודם האופייני לפרה מסוימת. העברה של פרה מסככה לסככה, או כל שינוי ממשקי אחר אשר גורם לעלייה במספר הצעדים במהלך היום יביא לזיהוי שגוי של מצב ייחום אצל הפרה. דוגמה אחרת: המעמד החברתי של פרה בעדר עלול להשפיע על ההתנהגות שלה בעת ייחום. פרה בעלת מעמד נמוך בעדר עלולה להיות מדוכאת על ידי פרה דומיננטית, נחיתות חברתית תביא לירידה בפעילות הגופנית של הפרה הנחותה, ולכן יקשה על הרפתן לזהות את היותה בייחום.

6. שיטות נוספות: זיהוי ייחום יכול להיעשות גם על ידי שינויים ברמת הנבת החלב, שינוי בטמפרטורת הגוף וכן שינוי במוליכות החשמלית של הבושת. אולם, כל השיטות האלה אינן מדויקות דיין ולכן אינן בשימוש.



השפעת המצב הגופני על פוריות בקר



מסתבר, כי במהלך 50 השנים האחרונות קיימות מגמות הפוכות בתמורות שחלו בתנובת החלב לעומת הפוריות של הבקר לחלב. בעוד שנרשמת התקדמות מתמדת ברמת הנבת החלב, פוריות הבקר נמצאת בנסיגה. מחקר שהתפרסם בארצות הברית הראה כי שיעור ההתעברות של פרות בעדרי בקר לחלב בתחילת שנות ה־50 של המאה העשרים היה מעל 60%. פרות אלו הניבו בממוצע כ־4,000 ק"ג חלב לשנה. יובל שנים מאוחר יותר, בסוף שנות ה־90, פרה בעדרי הבקר לחלב הניבה בממוצע מעל 8,000 ק"ג חלב לשנה, אך שיעור ההתעברות שלה עמד סביב 40%. גם בישראל ובמקומות אחרים בעולם קיימת מגמה דומה.

מתברר כי המאזן האנרגטי של הפרה משפיע על ביצועי הרבייה שלה. שינוי במצב הגופני (Body condition) של פרה יכול לשקף שינוי במצב המטבולי הכללי של הפרה. מצבן הגופני של פרות גבוהות תנובה לאחר ההמלטה יורד כתוצאה מ"מאזן אנרגיה שלילי" (Negative energy balance) כפי שיוסבר להלן:

בשילבים ההראשוניים של התחלובה כמות החלב היומית המיוצרת על ידי הפרה נמצאת בשיא. כמות זו הולכת ויורדת עם התקדמות התחלובה. מאחר והאנרגיה המושקעת בייצור חלב גבוהה, והפרה אינה מסוגלת להגביר את צריכת המזון בקצב דומה לעלייה בתנובת החלב, נוצר פער בין כמות האנרגיה הנכנסת לגוף מהמזון לבין כמות האנרגיה המוצאת לקיום הגוף ולייצור חלב. איזון בין כמות האנרגיה הנצרכת לבין כמות האנרגיה המושקעת בקיום ובייצור חלב מושג במהלך התחלובה רק לאחר מספר שבועות מההמלטה. התוצאה הבלתי נמנעת היא שבראשית התחלובה, הפרה מפרקת מאגרי אנרגיה שבגופה (שומן) על מנת לספק את צריכת האנרגיה הגבוהה. מצב זה מתואר כ"מאזן אנרגיה שלילי", והוא כמעט בלתי נמנע בפרות חלב גבוהות תנובה.

מתברר, כי חידוש המחזוריות המינית לאחר ההמלטה מתעכב בפרות הנמצאות במאזן אנרגיה שלילי. דחייה כזו של חידוש המחזוריות מביאה כמובן לדחייה במועד ההתעברות. מצב של מאזן אנרגיה שלילי גורם לדיכוי בהפרשת LH. דיכוי זה נובע כנראה משיבוש כושרו של הזקיק הגדול לייצר אסטרדיול. בנוסף, נמצא גם כי מאזן אנרגיה שלילי כרוך ברמות פרוגסטרון נמוכות המופרשות מהגוף הצהוב. כך למשל, מאזן אנרגיה שלילי, 10 ימים אחרי ההמלטה, קשור לריכוזי פרוגסטרון נמוכים חודשיים מאוחר יותר, סמוך למועד ההזרעה של הפרה. עדיין לא ברור כיצד מתקיים האפקט הדחוי של מאזן אנרגיה על רמת הפרשת פרוגסטרון לזמן כה ארוך.

מאחר וקשה למדוד את מצב מאזן האנרגיה של הפרה בנקודת זמן מסוימת, נוהגים לתאר את מצבה המטבולי של הפרה תוך שימוש במושג "מצב גופני". מצב גופני מתאר באופן כללי את עתודות השומן התת-עורי של הפרה והוא נקבע תוך מישוש שורש זנב הבהמה. פרה שמנה מאוד מקבלת ציון 5 ופרה רזה ושדופה מאוד מקבלת ציון 1. ככל שמאגר השומן התת עורי מידלדל, כך דירוג המצב הגופני של הפרה הולך ויורד. כתוצאה ממאזן האנרגיה השלילי בשבועות הראשונים אחרי ההמלטה, חלה ירידה ניכרת בדירוג המצב הגופני של הפרה. נמצא במחקרים רבים, כי פרות בעלות דירוג גופני נמוך בעת ההמלטה, וכן כאלה אשר ירדו אחרי ההמלטה באופן חריף במצבן הגופני, הציגו ביצועי רבייה גרועים במחזור הרביה העוקב בהשוואה לפרות שהיו בעת ההמלטה במצב גופני טוב יותר.

מה ניתן לעשות כדי לשפר את מאזן האנרגיה של הפרות בעדרי הבקר לחלב אחר ההמלטה כך שפוריותן לא תיפגע? אפשרות אחת היא לדאוג כי המצב הגופני של הפרות בעת ההמלטה יהיה תקין. זאת למשל על ידי הגשת מנה שתעודד צבירת עתודות אנרגיה (מאגרי שומן) בגוף הפרה בשליש האחרון של התחלובה הקודמת, לפני תקופת היובש אשר לפני ההמלטה. אפשרות אחרת היא לדחות את מועד ההזרעה במהלך התחלובה. הזרעה מאוחרת יותר כרוכה בהארכת משך התחלובה. כך ניתנת לפרה תקופת זמן ארוכה יותר על מנת לצבור מאגרי אנרגיה נאותים, שיבואו לידי ביטוי במצב גופני משופר בעת ההמלטה הבאה.

גישה נוספת היא לטפל בפרה בתקופה שאחרי ההמלטה בדרך שתביא לצמצום הגירעון באנרגיה. ניתן להעלות את ריכוזיות האנרגיה במנה המוגשת לאחר ההמלטה, כך שהפרה תקבל אנרגיה רבה יותר מאותה כמות מזון נאכלת.

סנכרון (האחדת מועד) ייחומים בבקר



ממשק רבייה יעיל בעדרי בקר לחלב אינו מטלה פשוטה, בעיקר כאשר מדובר בעדרים בהם נהוגה הזרעה מלאכותית. אחת הדרכים לשיפור יעילות ממשק הרבייה (צמצום מספר ביקורי המזריע במשק) היא סנכרון מועד הייחום של קבוצות – פרות בעדר, כך שכל הפרות בקבוצה יציגו ייחום באותו מועד. כידוע, מועד הייחום נקבע על ידי משך החיים של הגוף הצהוב. כאשר הגוף הצהוב עובר ניוון (לוטאוליזה), מסתיימת הפאזה הלוטאלית של המחזור ומתחילה הפאזה הפוליקולרית שסופה ייחום ובייץ. ניתן לסנכרן את מועד הייחום של פרות תוך שליטה על משך חיי הגוף הצהוב. שליטה זו מתבצעת בעזרת שלושה הורמונים אותם מייצרים כיום באופן תעשייתי והם מותרים לשימוש מסחרי: פרוגסטרון, $\text{PGF}_{2\alpha}$ ו- GnRH .

ניתן לקצר את חיי הגוף הצהוב על ידי מתן זריקה אחת של $\text{PGF}_{2\alpha}$. כידוע, הורמון זה, המיוצר באופן טבעי ברחם, הוא הגורם הראשון המשרה ניוון של הגוף הצהוב. מתברר, כי מתן זריקת $\text{PGF}_{2\alpha}$ לפרה בין היום ה-5 של מחזור הייחום לבין היום ה-17 בו, תגרום לניוון הגוף הצהוב ולהופעת ייחום מספר ימים לאחר מתן הזריקה. לפני היום ה-5 של המחזור, הגוף הצהוב אינו רגיש ל- $\text{PGF}_{2\alpha}$ ואילו אחרי היום ה-17 של המחזור, מתרחש ממילא ניוון טבעי של הגוף הצהוב. מכיוון שכך, זריקה בודדת של $\text{PGF}_{2\alpha}$ הניתנת לקבוצת פרות מחזוריות תביא לכך שרק כ-60% מבין הפרות שטופלו יגיבו בניוון הגוף הצהוב ויציגו לאחר מכן ייחום מסונכרן.

שיטת סנכרון זו אינה יעילה במיוחד שהרי עדיין, מועד הדרישה של כ-40% מהפרות בקבוצה מתפזר על פני מספר ימים, כך שלא ניתן למעשה לצמצם את מספר ביקורי המזריע במשק. התברר, כי מתן שתי זריקות של $\text{PGF}_{2\alpha}$ בהפרש של 12 עד 14 יום זו מזו יגרום לכך שמעל 80% מהפרות המטופלות יסונכרנו ויציגו ייחום בתוך פרק זמן של 3- ימים מאחד ממועדי ההזרקה. שיטת סנכרון זו נפוצה למדי והיא פשוטה וקלה יחסית לביצוע. חסרונה בכך שלמרות הכול, קיים פיזור של כמה ימים בהופעת הייחום. כמו כן, מסתבר כי לא כל הפרות מגיבות לטיפול זה.

שיטה נוספת לסנכרון ייחומים בעדרי בקר לחלב משלבת טיפול בפרוגסטרוגן למשך 9 ימים עם טיפול ב- $\text{PGF}_{2\alpha}$. מתן פרוגסטרוגן למשך מספר ימים יכול להתבצע דרך מתן זריקת פרוגסטרוגן מדי יום או תוך החדרת שתל תת-עורי ספוג בהורמון. ההורמון משתחרר באיטיות מהשתל במהלך הזמן ומעלה באופן מלאכותי את רמת הפרוגסטרוגן בגוף הפרה, בדומה למצב הקיים באופן טבעי במהלך הפאזה הלוטאלית. השיטה הנפוצה כיום לטיפול בפרות באמצעות פרוגסטרוגן היא החדרה של גליל ספוג בנגזרת של פרוגסטרוגן לבושת של הפרה למשך 9 ימים. הטיפול בפרוגסטרוגן מונע ייחום וביוץ: כל זמן שרמת הפרוגסטרוגן בגוף גבוהה יחסית, הפרשת GnRH מדוכאת, ובעקבותיה מדוכאת גם הפרשת גונדוטרופינים, בעיקר LH. מצב זה לא מאפשר ביוץ. כאשר מוציאים את השתל או ההתקן המכיל פרוגסטרוגן מזריקים $\text{PGF}_{2\alpha}$, זאת כדי לגרום לניווט הגוף הצהוב. כתוצאה מכך מתפתחת פאזה פוליקולרית, זקיק גדול מתפתח והופך לזקיק קדם ביוצי ובהמשך, מופיע ייחום ולאחריו ביוץ. שיטת סנכרון זו היא בעלת דיוק רב ושיעור גבוה של פרות מגיבות לטיפול. אולם, בחלק מהפרות הזקיק המגיע לביוץ מבוגר מדי, דבר שעלול להשפיע לרעה על שיעור ההתעברות. לכן, שיטה זו אינה נפוצה בעדרים מסחריים ומשתמשים בה בעיקר למטרות מחקר.



גישה שונה לסנכרון ייחומים בבקר מכוונת לסנכרון ביוצים ולא לסנכרון ייחומים. לשם כך משתמשים בהורמון הסינתטי GnRH. כאשר מזריקים הורמון זה, משרים הפרשת שיא LH. שיא LH כזה גורם לביוץ וללוטאיניזציה של הזקיק הגדול או הזקיקים הגדולים בשחלה. אחרי 7 ימים ממתן ה-GnRH מזריקים $\text{PGF}_{2\alpha}$ כדי לגרום לניווט הגוף הצהוב אשר התפתח בעקבות הביוץ. ניווט הגוף הצהוב גורם להופעת פאזה פוליקולרית אשר במהלכה עולה וגדל בדרך כלל, זקיק דומיננטי אחד. יומיים אחרי הזרקת $\text{PGF}_{2\alpha}$ נוצר כבר זקיק דומיננטי גדול ומפותח. אז מזריקים עוד מנה של GnRH וגורמים לזקיק לבייץ גם אם הפרה אינה מציגה סימני ייחום. בזמן קבוע לאחר מכן (כ-16–20 שעות אחרי הזרקת ה-GnRH) מזריעים את כל הפרות המטופלות. מכיוון שלא נזקקים לסימני ייחום אלא מזריעים בזמן קבוע מראש, נהוג לתאר שיטה זו כסנכרון ביוצים, או "הזרעה עיוורת", כלומר הזרעה שלא מלווה בזיהוי סימני ייחום. השיטה מכונה גם Fixed time insemination כלומר, הזרעה במועד מתוכנן וקבוע מראש שאינו תלוי בהופעה או אי-הופעה של ייחום, ומכיוון שכך, שיטה זו פותרת את בעיית זיהוי הייחומים.

שיעור ההתעברות בשיטה זו דומה או נמוך מעט בהשוואה לשיעור ההתעברות בממשק רגיל של הזרעה בעקבות זיהוי ייחום. אולם, שיעור הפרות ההרות בעדר גבוה יותר הודות לעובדה שכל הפרות מטופלות ומזרעות בשיטה זו ולא רק אלה שהציגו ייחום.

קיימות היום מספר גישות לסנכרון ייחומים בבקר, רק חלקן תואר למעלה. השימוש בשיטות השונות מוגבל במדינות מסוימות ונפוץ באחרות. כך למשל, במדינות אירופה קיימת התנגדות לטיפולים הורמונליים בחיות משק, ולכן השימוש בהם מוגבל. בארצות-הברית לעומת זאת, השימוש בטיפולים הורמונליים נפוץ יותר, במיוחד שיטת ההזרעה בזמן קבוע המשלבת טיפול משולב ב-GnRH ו-PGF_{2α}. בישראל, בה נפוץ השימוש במערכות פדומטרייה (ספירת צעדים) ממוחשבות לזיהוי ייחומים, השימוש בהורמונים לסנכרון ייחומים מוגבל. הסיבה לכך היא שמערכות הפדומטרייה מקלות על ממשק הרבייה והרפתנים אינם נוטים להגדיל את הוצאותיהם ברכישת הורמונים על מנת לסנכרן את מחזורי הייחום של מקבצי הפרות. עקרונות סנכרון ייחומים בצאן דומים לאלו של הבקר ופרטים עליהם יוצגו בפרק על ממשק גידול צאן.

שיטות לזיהוי היריון בבקר ובצאן



זיהוי מוקדם ככל האפשר של היריון בחיות משק חשוב למגדל, מאחר ומידע זה מהווה בסיס לניהול יעיל של העדר. פרות או כבשים שהוזרעו או הורבעו ונמצא בבדיקת ההיריון כי הן אינן הרות, תחזורנה למעגל הרבייה מוקדם ככל האפשר או תוצאנה מהעדר. בכך ייחסכו הוצאות קיום על בהמות שאינן יצרניות. לעומתן, נקבות הרות יקבלו הזנה מיוחדת מתאימה, חליבתן תופסק לפני מועד ההמלטה הצפוי, וצוות הרפתנים או הנוקדים יהיה ערוך מבעוד מועד לתקופת ההמלטות.

ניתן להניח כי בהמה מוזרעת או מורבעת אשר לא התעברה, תחזור ותפגין במועד המתאים סימני ייחום. לכן לכאורה, אין צורך בשיטות מיוחדות לאבחון היריון. אכן, רוב הפרות שלא התעברו או שהתעברו אך עוברן מת בשלב מוקדם מאוד של ההיריון, יתייחמו פעם נוספת תוך שלושה עד שלושה וחצי שבועות לאחר ההזרעה הקודמת. בדרך זו ניתן להניח כי נקבה שלא חזרה לדרוש היא בהיריון. אולם, דרך זו לקביעת היריון על פי זיהוי דרישה חשופה לשגיאות. זיהוי שגוי של בהמה הרה כמיוחמת (על אף שאינה בייחום) יביא למסקנה מוטעית שהפרה אינה בהיריון. בעקבות קביעה זו הבהמה הרה תופנה שוב להזרעה. מצב הפוך הוא כְּשֶׁל זיהוי ייחום למרות שהבהמה אכן במצב זה. כאן, הבהמה תיחשב כהרה למרות שהיא למעשה "ריקה" (לא הרה).

התוצאה הבלתי נמנעת מטעויות אלו היא אחזקה של בהמות ריקות בעדר הכרוכה בהוצאות מיותרות ומאידך, הוצאה של בהמות בהיריון כאשר נקבע בטעות שאינן בהיריון. בנוסף, הרבעה או הזרעה של נקבות הרות כרוכה בהוצאות כספיות מיותרות וחמור מכך, בסיכון ההיריון.

השיטה הנפוצה ביותר לקביעת היריון בפרות היא מישוש של קרני הרחם. כידוע, בבקר ובצאן יש שתי קרני רחם נפרדות, המחוברות ביניהן בגוף רחם קטן. בבקר, כאשר הביץ מתרחש למשל בשחלה השמאלית, ההיריון יתקיים בקרן רחם שמאלית. תוך החדרת יד מכוסה בכפפה ארוכה דרך פי הטבעת (רקטום) למעי הגס של הפרה ניתן לחוש בעזרת מישוש באברי מערכת המין. במהלך טיפול זה אצבעות הבודק אינן חודרות את קיר המעי. גמישותו של זה מאפשרת מישוש האברים הפנימיים. השיטה קרויה בלועזית Rectal palpation. בעגה המקצועית נהוג להשתמש לתיאור הבדיקה במונח "פְּלֶפְצִיָּה". הבדיקה נעשית בדרך כלל על ידי רופא וטרינר מנוסה. הרופא יכול לזהות בדרך זו מצב של היריון בסביבות 40 עד 45 יום אחרי ההזרעה בכ-95% מן המקרים.

החל מן היום ה-35 להיריון ניתן לחוש במהלך הפלפציה בשלפוחית של האמניון, אשר מכילה נוזל ועוטפת את העובר (Amniotic vesicle). כמו כן, ניתן לחוש בקרומי האֵלֶנטוֹכּוֹרִיוֹן, כלומר באיחוד השכבות של האלנטואיס והכוריון היוצרות את השליה. מכיוון שהשליה העוברית מחוברת לקיר הרחם האמהי במקומות מוגדרים (פְּלֶצֶנְטוֹמִים) ניתן לחוש בממברנת האלנטוכוריון הנתונה בתוך קרן הרחם. בזמן הפלפציה ניתן לזהות בנקבה בהיריון את מיקום הגוף הצהוב – בשחלה שמאל או בשחלה ימין, ובכך לכוון את המישוש לקרן המתאימה.

אחת הבעיות העיקריות של זיהוי היריון בבקר היא העובדה שלא ניתן לזהות מצב של היריון מוקדם על סמך סימנים הניתנים לחישה. אולם, ניתן לזהות היריון מוקדם בבקר בעזרת בדיקת רמות פרוגסטרון בדם או בחלב. עיקרון השיטה מבוסס על כך שבעת ההיריון, הגוף הצהוב פעיל ומפריש פרוגסטרון, הנחוץ לקיום העובר. לכן, רמת הורמון זה בדם או בחלב גבוהה יחסית. לעומת זאת, בפרה שלא התעברה, הגוף הצהוב מתנוון, ורמת הפרוגסטרון יורדת לרמה נמוכה יחסית. נמצא, כי הזמן המתאים ביותר לבדיקה זו הוא בין 21 ל-24 ימים לאחר ההזרעה. בימים אלה רמת הפרוגסטרון בפרה שאינה הרה נמוכה מאוד, בעוד שבפרה הרה רמת ההורמון גבוהה יחסית. הקביעה של היעדר היריון נעשית על ידי בדיקת פרוגסטרון בדיוק גבוה מאוד – מעל 95%. אולם, זיהוי של פרה הרה בדרך זו נעשה בדיוק של 80% עד 85% בלבד. מאחר ושיעור הטעות של זיהוי שגוי "חיובי", כלומר קביעת מצב היריון בפרה שאינה הרה, גבוה יחסית (כ-15% עד 20%), קביעת היריון על סמך בדיקת פרוגסטרון בחלב אינה נפוצה במשקים מסחריים. בישראל משתמשים בבדיקת פרוגסטרון בחלב לחיזוי מועד ייחום או מצב היריון עבור פרות מצטיינות אשר מתקשות להתעבר או עבור פרות שסימני הייחום בהן אינם ברורים דיים, ובכל זאת יש רצון לעבר אותן.



שיטה נוספת לזיהוי היריון בבקר לחלב מבוססת על שימוש במכשיר אולטרה-סאונד. במהלך הבדיקה מחדירים לפי הטבעת של הפרה מתמר (אביזר המשדר גלים אולטרה-סוניים) ומביאים אותו לקרבת קרני הרחם. הגלים האולטרה-סוניים, שאינם מזיקים, יוצאים מהמתמר, פוגעים ברקמות השונות, מוחזרים ונקלטים חזרה במתמר. מבנה הרקמה בה פוגעים הגלים וחוזרים ממנה כמו גם דרגת הצפיפות של הרקמה קובעים את תדירות הגל המוחזר. עיבוד הנתונים מביא להצגת מתאר הרקמה על צג המכשיר. בדרך זו ניתן להבחין על הצג במבנה האנטומי של הרחם ובתכולתה. כך, ניתן לראות על צג מכשיר האולטרה-סאונד עובר כבר בשבוע השלישי-רביעי להיריון. על מנת להגיע לדיוק מרבי גבוה בבדיקת אולטרה-סאונד כמו בפלפציה ידנית, נהוג לסקור את הרחם החל מהיום ה-27 להיריון. בשלב זה כבר ניתן לזהות את פעימות לב העובר, וכן את הרקמות מלאות הנוזל העוטפות אותו.



שימוש באולטרה-סאונד מאפשר זיהוי היריון (או חוסר היריון) כ-10 ימים עד שבועיים מוקדם יותר מאשר בשיטת הפלפציה הידנית. לכך יתרון חשוב, היות וניתן לתכנן מראש את ההזרעה הבאה של הפרה, במטרה לעברה מוקדם ככל האפשר. בארצות מסוימות כמו בריטניה ניתן לקבל שירות אולטרה-סאונד על ידי טכנאים מיומנים. בישראל אינה מקובלת שיטה זו באופן מסחרי. זיהוי הריונות בבקר לחלב מאובחן רק בפלפציה ידנית על ידי רופא וטרינר. בדיקת היריון תוך שימוש במכשיר אולטרה-סאונד מקובלת גם בצאן. כאן משתמשים במתמר חיצוני וסורקים את הבטן התחתונה של הכבשה, סמוך לעטין, קרוב כל האפשר לקרני הרחם המצויות פנימה בחלל הבטן. בשיטה זו ניתן להגיע בימים 50 עד 70 של ההיריון לדיוק של מעל ל-95% באבחון מצב ההיריון. ניתן להשתמש בבדיקות היריון בצאן גם במתמר רקטלי, כמו בבקר. במקרה זה אפשר להגיע להבחנה של היריון בשלב מוקדם יותר – סביב יום 30 להיריון.

בדיקת רמת פרוגסטרון בדם או בחלב ניתנת לביצוע גם בצאן, אולם זו אינה מקובלת. כמו כן, קיימת האפשרות לזיהוי היריון בכבשים באמצעות בדיקת נוכחות חלבונים ייחודיים להיריון אשר מופרשים על ידי השליה. עד כה לא מצויה בדיקה זו בשימוש מסחרי.



הפקת זרמה, הקפאת זרמה והזרעה מלאכותית



אחד מציוני הדרך החשובים בהתפתחות ממשק הרבייה בענף הבקר לחלב בעולם הוא התפתחות הטכניקות של הפקת הזרמה, שימור זרמה בהקפאה וההזרעה המלאכותית. שלוש טכניקות אלו יחד תרמו לא רק לשיפור יעילות ממשק הרבייה אלא גם לטיפול גנטי של עדרי הבקר. בטרם הפיכתה של ההזרעה המלאכותית למקובלת, הפריית הפרות בעדר נעשתה על ידי פר המצוי בעדר עצמו. מצב זה לא אפשר עבודת טיפוח מסודרת כפי שנעשית כיום. הקפאת זרמה והזרעה מלאכותית מאפשרות הפצה נרחבת של זרמת פרים משובחים, הן בתוך המדינה והן בין מדינות. רמת תנובת החלב בעדר הבקר לחלב הישראלי, אשר מגיעה בשנים הראשונות של המאה העשרים ואחת לכ-11,000 ק"ג חלב לפרה לשנה, הושגה בעבודת טיפוח שהתבססה על הפקה, הקפאה והזרעה של זרמה מפרים. זאת כמובן, לצד התקדמות חשובה לא פחות בהזנה וכן בשיפור תנאי הממשק. הקפאת זרמה והזרעה מלאכותית זכו לשימוש נרחב בעיקר בעדרי הבקר לחלב, עד כדי כך שיש מדינות כמו מדינת ישראל, בהן הרוב המכריע, אם לא כל הפרות, מוזרעות בצורה מלאכותית. בבקר לבשר, השימוש בהזרעה מלאכותית אינו נפוץ כמו בעדרי הבקר לחלב עקב הקושי בזיהוי ייחומים ובשל תנאי הממשק המיוחדים של עדר הבקר לבשר. הקפאת זרמה אפשרית גם בצאן, אך שיטה זו אינה מיושמת כבדרך שגרה עקב כושר ההפריה הנמוך של תאי זרע מופשרים. אולם, הזרעה מלאכותית בזרמה טרייה או בזרמה מצוננת של אילים נהוגה במדינות שונות וכן גם בישראל.

הפקת זרמה מפרים

הפקת זרמה מפרים נבחרים נעשית במכוני ההזרעה. בדרך כלל קיימת שגרה מקובלת של "חימום" הפרים ולאחר מכן "הקפצה" של הפר על פר אחר ואיסוף מנת הזרמה בבושת מלאכותית הבנויה משקית לְטָקְס מחוממת. מכוני ההזרעה בוחנים ללא הרף את איכות מנות הזרמה. בדיקה מיקרוסקופית של תאיות תאי הזרע, כוללת בדיקת תנועתיות תאי הזרע והערכה של שיעור תאי זרע פגומים במירוק. שינוי במאפיינים אלו של מנות זרע אצל פר מסוים יכול להעיד על מחלה. פרים רגישים לחום הקיץ, עקב כך בעונה זו איכות הזרמה ונפחה יורד בהשוואה לחורף. ישנן תקופות בשיא הקיץ בהן מפיקים מנות זרמה מהפרים רק על מנת לשמור על שגרת עבודה. בתקופה זו של השנה איכות מנות הזרמה שנאספות כה נמוכה עד שלא נעשה בהן כל שימוש. נפח מירוק של פר הוא כ-6 מ"ל בהם כמיליארד תאי זרע. לשם השוואה, נפח מירוק של איל הוא כ-1 מ"ל ובו כ-5 מיליארד תאי זרע.

שימור זרמה בקירור ובהקפאה

הדרך לשמר תאי זרע לתקופה ארוכה היא להקפואם ולאחסן אותם בטמפרטורה נמוכה. במצב זה, תהליכי החיים בתאים נעצרים, ומתחדשים רק לאחר הפשרתם. במהלך הקפאה של תאים כמו תאי זרע ללא נקיטת אמצעים מיוחדים נוצרים במוהל התאים גבישי קרח. אלה גורמים נזק לממברנות התאים, נזק אשר עלול להביא למותם. פריצת הדרך בהקפאת זרמה נעשתה בראשית שנות ה-50 של המאה העשרים באנגליה, עת נמצא כי הוספת גליצרול למדיום בו נמצאים התאים, והשהיית התאים טרם תחילת תהליך ההקפאה בנוזל המכיל גליצרול הביאה לכך שלאחר ההפשרה, שיעור גבוה של תאי זרע שרד את תהליך ההקפאה. הסתבר, כי בעת הדגרת התאים במשך כמה שעות טרם ההקפאה, חדר הגליצרול לתאים תוך שהוא מחליף את המים שבהם. גם כיום משתמשים בתמיסת גליצרול כדי למנוע נזקי קיפאון בתאים. בנוסף לגליצרול נהוג להוסיף לתרחיף תאי הזרע טרם ההקפאה חלמון ביצה או חלב אשר תורמים לעמידות התאים בעת תהליך הקירור וההקפאה. בנוסף, נהוג להוסיף לתרחיף התאים אנטיביוטיקה למניעה של מחלות וזיהומים בחיידקיים. את הזרמה הנאספת מהפר לצורך הקפאה נהוג לדלל בחומרי מיהול שונים, כך שבסופו של דבר תתקבל מנת זרמה המכילה 15 עד 20 מיליון תאים בנפח של כ-0.5 מ"ל. מנות הזרמה מוזרקות לקשיות פלסטיק קטנות שנאטמות משני הצדדים שלהן. מקובל כי ממירוק אחד של פר ניתן להכין כמה מאות מנות זרמה. דרך אחרת להכנת מנות זרמה מוקפאת היא יצירת "כופתיות" שהן טיפות של מדיום ההקפאה המכילות תאי זרע בריכוז המתאים.

הקפאת הקשיות המכילות את מנות הזרמה (או את הכופתיות) נעשית בחנקן נוזלי בטמפרטורה נמוכה מאוד (194 מ"צ מתחת לאפס). המנות מאוחסנות במכוני ההזרעה "בבנקים" שהם למעשה מְכֵלִים גדולים המכילים מנות תאי זרע טבולות בחנקן נוזלי. ניתן באופן תיאורטי לאחסן מנות זרמה קפואה ללא הגבלת זמן. הפשרת מנת הזרמה נעשית תוך טבילת הקשית במים חמים ומקובל כי חיוניות הזרמה לאחר הקפאה והפשרה, כאשר אלה נעשו כשורה, עומדת על כ-50%.

כיום, רוב מנות זרמת הפרים המיועדות להזרעה מלאכותית נשמרות בהקפאה. בדרך זו ניתן כאמור לשמר את הזרמה לאורך זמן. אולם, כאשר המטרה היא לשמר את הזרמה לפרק זמן קצר של מספר שעות או אף יום או יומיים, יש גם אפשרות להימנע מהקפאה. במקרה כזה, הזרמה תישמר תוך קירורה לטמפרטורה של כ-5 מ"צ או תשומר בטמפרטורת החדר תוך שימוש בתמיסות מתאימות שאינן מכילות גליצרול. שיטה זו של שימור זרמה נהוגה בניו-זילנד בה הזרעת הפרות נעשית רק בתקופת זמן קצרה של חודשיים. חיוניות זרמה מצוננת גבוהה יותר מאשר זו של זרמה שהוקפאה והופשרה, ומכאן יתרונה.

הזרעה מלאכותית

השיטה המקובלת להזרעה מלאכותית של פרות היא זו המכונה השיטה ה"קטוֹ-נאגִינֶאלִית". המזריע המאומן מכין קשית ארוכה בתוכה נתונה מנת הזרמה שהופשרה. לצורך ביצוע ההזרעה, הפרה המיוחמת נקשרת בעול, המזריע אווז בצוואר הרחם ביד אחת הנתונה ברקטום וביד השנייה מחדיר את הקשית לבושת הפרה. הקשית מוחדרת לכיוון צוואר הרחם וכאשר היא עוברת אותו המזריע מזריק את המנה לגוף הרחם. משך פעולת ההזרעה קצר ביותר. בדרך כלל שעות ההגעה של המזריע למשק קבועות והפרות המיועדות להזרעה מוכנות מבעוד מועד. יש לא מעט משקים בעולם בהם ההזרעה נעשית על ידי איש מאומן מצוות החווה. בישראל, הרוב המכריע של הפרות בעדרי הבקר לחלב מוזרע על ידי מזריעים מקצועיים.

טכניקות מתקדמות בממשק הרבייה



השראה של ביוץ מרובה והעברת עוברים בבקר

טכניקה זו מתחום הרבייה של חיות משק ידועה כבר כמה עשרות שנים וכוללת השראה של מספר ביוצים רב בפרה תורמת ולאחר הפריה, העברת עוברים ממנה למספר פרות אומנות. שיטה זו (Multiple Ovulation and Embryo Transfer - MOET), מבוצעת באופן מסחרי במקומות שונים בעולם, ותכליתה יצירת מספר רב יותר של עוברים מזיווגים מכוונים בין פרות ובין פרים מצטיינים בתכונותיהם. בעוד שבעזרת ההזרעה מלאכותית ניתן להפיץ בקלות באוכלוסייה את התכונות הגנטיות של זכרים, הרי השריית ביוץ מרובה והעברת עוברים מאפשרת הפצה באוכלוסייה של תכונות גנטיות של נקבות. בניגוד להזרעה מלאכותית העברת עוברים לא תפסה את מקומה כשיטה רווחת בממשק הרבייה של הבקר. זאת בעיקר עקב העלות הגבוהה והמורכבות היחסית הכרוכה בתהליך הפקת העוברים, הוצאתם והעברתם מהפרה התורמת לפרות האומנות.



השראת ביוץ מרובה

כבר לפני עשרות שנים נמצא כי הזרקת מינון גבוה יחסית של גונדוטורפינים שהופקו מהיפופיזות של פרות או כבשים, לפרות, כבשים ועוזים הביאה להתפתחות של מספר רב של זקיקים בני-ביוץ. תוצאה דומה הושגה גם לאחר הזרקה של סרום שהופק מדם של סוסות הרות. סרום זה מכיל הורמון הקרוי Pregnant Mare Serum Gonadotropin (PMSG) או בשמו האחר Equine Chorionic Gonadotropin (eCG). להורמון זה שהוא גליקופורטאין פעילות גונדוטורפית משולבת של LH ו-FSH.

הפרוטוקול המקובל כיום להשראת ביוץ מרובה אצל פרות כולל הזרקת מנות FSH, פעמיים ליום למשך כארבעה ימים. תחילת ההזרקות נעשית באמצע המחזור (9 ימים עד 12), בשלב בו הזקיק הדומיננטי הראשון כבר אטרטי, ואילו הזקיק הדומיננטי מהגל הפוליקולרי השני עדיין לא רכש דומיננטיות. הזרקת FSH בשלב זה מביאה להתפתחות נמרצת של זקיקים, כך שנוצר אשכול של עשרות זקיקים גדולים בני-ביוץ. בגמר הזרקת הגונדוטורפינים מזריקים $PGF_{2\alpha}$ לניווט הגוף הצהוב. פעולה זו מביאה למעבר מהפאזה הלוטאלית במחזור לפאזה הפוליקולרית. הזקיקים המפותחים מפרישים כמות גדולה מאוד של אסטרדיול, הרבה יותר גדולה מזו המופרשת על ידי זקיק בודד. עם הופעת הייחום מזריקים לבעל החיים GnRH, כדי להשרות יצירת שיא LH או ממתנים להופעת שיא LH טבעי. אלה כמובן דרושים לתהליך הביוץ, בו בניגוד למתרחש במחזור רגיל, מספר רב של זקיקים מבייץ. מזריעים את הפרה במועד המיטבי, ובעקבות כך מתפתחים מספר עוברים בקרני הרחם (גם בשמאלית וגם בימנית).

קבלת העוברים

לאחר ההפריה ויצירת הזיגוטה העוברים נודדים לאורך צינור הביצים לכיוון הרחם כך שביום השביעי לאחר ההפריה, כאשר הם בשלב הבלסטוציסט, הם כבר נמצאים בחלל הרחם. בשלב זה נראים העוברים ככדורים קטנים ושקופים שקוטרם כ-0.1 מ"מ – וניתן לראותם, אם כי בקושי, גם ללא הגדלה.

שטיפת העוברים מחלל הרחם נעשית תחת הרדמה מקומית של הפרה. במהלך השטיפה מחדירים דרך הואגינה וצוואר הרחם צִנְתָּר (קֶטֶטֶר) ארוך עד לחלל קרן הרחם. בעזרת צנתר זה מחדירים לחלל הרחם נוזל ומיד לאחר מכן אוספים אותו חזרה למבחנה, כאשר הנוזל מכיל את העוברים. את נוזל השטיפה ובו העוברים סורקים בעזרת מיקרוסקופ, מזהים את העוברים ומדרגים אותם לפי איכותם. בדרך כלל, רק חלק מהעוברים שנשטפו הם באיכות מתאימה להעברה. מקובל, כי בשטיפה מפרה תורמת אחת ניתן לקבל בין 3 ל-7 עוברים באיכות טובה אותם ניתן להעביר ולהשתיל בבהמות אחרות.



העברת העוברים

ניתן להעביר עוברים מפרות "תורמות" לפרות "אומנות" תוך זמן קצר לאחר השטיפה או להקפיא אותם, לשמר אותם ולהשתיל אותם במועד מאוחר יותר. הקפאת העוברים מאפשרת גם את העברתם למקומות רחוקים. אם מדובר בהקפאת העוברים, יש לבצע אותה סמוך ככל האפשר לשטיפתם ולבדיקתם.

במידה ואין מקפאים את העוברים, יש להשתילם חזרה בפרות אומנות תוך 3 שעות לאחר שנשטפו מהתורמות. ניתן להאריך את משך הזמן עד להשתלה לכ-24 שעות מבלי שהעוברים יינזקו נזק רב מדי, על ידי צינון העוברים ושמירתם בקירור. הפרות האומנות בהן משתילים את העוברים צריכות להיות מסונכרנות עם הפרות התורמות בדיוק רב ככל האפשר, ולהיות ביום העברת העוברים סביב יום 7 של המחזור. כך מבטיחים שהסביבה הרחמית של העובר לא תשתנה. החדרת העובר לקרן הרחם של הפרה האומנת נעשית באמצעות צנתר ארוך, הדומה לזה שבו נעשה שימוש בעת שטיפת העוברים מהתורמת. חשוב שהפרה המקבלת תהיה במצב גופני תקין, בריאה וללא אירועים קודמים של תחלואת רחם.

לא כל העוברים נקלטים לאחר העברתם ברחם הפרה המקבלת. נמצא, כי השתלה של שני עוברים במקום עובר אחד מעלה את שיעור ההתעברות. אולם, במקרה זה קיימת האפשרות כי מהשתלת שני עוברים ייוולדו תאומים. מצב זה אינו רצוי בעדר הבקר לחלב בגלל הבעיות והקשיים הכרוכים בהמלטת תאומים. בעדר הבקר לבשר המצב שונה: למרות הקשיים הכרוכים בהמלטת תאומים קיימת ההבנה כי השראה של המלטת תאומים תעלה משמעותית את תפוקת הבשר ואת הרווחיות של הענף.

אחת מהבעיות המרכזיות של השריית ביוץ מרובה לצורך השתלת עוברים היא שונות גדולה בין הפרות בתגובה לטיפולים ההורמונליים. בעוד שניתן לקבל מפרה אחת כ-10 ואף יותר עוברים טובים להשתלה הרי פרה אחרת, שעברה טיפול הורמונלי דומה לראשונה תניב רק עובר אחד המתאים להשתלה.

מיישמים העברת עוברים במקרים בהם רוצים לנצל טוב יותר את הפוטנציאל הגנטי של פרות מצטיינות. כמו כן נעזרים בשיטה זו במקרים בהם יש עניין להחדיר גזע חדש תוך שימוש בנקבות הגזע המקומי כאומנות. בארצות העולם השלישי למשל, מצוי בקר מקומי בעל דבשת מגזעי זָבו (*Bos indicus*) אשר כושר הנבת החלב שלו אינו גבוה. ניתן להשתיל בפרות זָבו עוברים שנשטפו מפרות מגזע חלבני שחור-לבן כמו הגזע הולשטיין, ולשפר תוך דור אחד את המבנה הגנטי של העדר בכל הקשור לתנובת חלב.



יצירת עוברים במבחנה

התהליך שתואר לעיל: השראה של ביוץ מרובה, הזרעה והעברת עוברים ביום השביעי להיריון מפרה תורמת לפרות אומנות, מבוסס על הפריית הביציות ברחם אמן – הפריה *In vivo*. במקביל לקבלת עוברים בהפריה *In vivo* התפתחה הטכנולוגיה של הפריית הביציות ויצירת עובר מחוץ לגוף האם – *In vitro*. תהליך זה קרוי "הפריית מבחנה" או (*In Vitro Fertilization*) IVF.

התהליך כולל מספר שלבים שראשיתם איסוף ביציות בלתי מופרות מהפרה, ואחריתם קבלה במבחנה של עובר בשלב בלסטוציסט. השלב הראשון בתהליך יצירת עוברים במבחנה הוא ליקוט ביציות מזקיקים בשחלה כאשר לעניין זה קיימות שלוש אפשרויות:

❖ ליקוט ביציות מזקיקי שחלות שנאספו בבית המטבחיים מיד לאחר שחיטה. החיסרון בשיטה זו הוא שהשחלות אינן נלקחות דווקא מפרות מצטיינות בתכונות כאלה או אחרות.

❖ שחלות המוצאות בניתוח מהפרה. ניתן להוציא בניתוח שחלה מפרה מצטיינת בתנובת חלב למשל ולהפיק ממנה מספר רב של ביציות. אולם, מעשה זה הוא אירוע יחיד שאי אפשר לחזור עליו והוא בא בחשבון רק כאשר הפרה נמצאת כבר בסוף תקופת היצרנות שלה.

❖ שאיבת ביציות משחלות *In vivo*. השיטה הקרויה OPU (Ovum Pick-Up) כוללת שאיבה של ביציות מהשחלה בגוף הבהמה. הדמיית השחלה לצורך שאיבת הביציות נעשית באמצעות מערכת אולטרה-סאונד. במהלך הטיפול מחדירים מתמר אולטרה-סאונד שבקצהו מחט לוואגינה של הבהמה, דוקרים וחודרים את קיר הבטן סמוך לצוואר הרחם ומקרבים את השחלה למחט. על מסך המכשיר רואים את הזקיק, דוקרים זקיק זה במחט ושואבים את הנוזל הפוליקולרי יחד עם הביצית. ניתן לאסוף משחלה אחת כמה ביציות מכמה זקיקים באותו מועד. כן ניתן לחזור על פעולת ה-OPU באותה פרה מדי מספר חודשים.



בדרך כלל, שואבים ביציות המצויות בזקיקים קטנים או בזקיקים בינוניים, ומכניסים את הביציות להפריה. לאחר חילוף הביצית מהזקיק יש צורך בתהליך של הבגרת הביצית והבשלתה, כך שתהיה מסוגלת לעבור הפריה. מוסיפים LH לצלחות ההדגרה בהם מצויות הביציות, על מנת לחקות את פעולת שיא LH הקדם-ביוצי הטבעי. הוספת ההורמון גורמת לתהליך ביוכימי

מורכב של הבשלת הציטופלסמה והגרעין של הביצית, לשינויים הכוללים בין השאר שינוי במבנה החיבורים של תאי הקומולוס העוטפים את הביצית. תהליך ההבשלה מוביל להשלמת המיזוזה של הביצית לקראת הפיכתה להפלואידית. תהליך הבגרה במבחנה של ביציות בעזרת מדיום מתאים המכיל הורמונים כדוגמת LH נקרא IVM (*In vitro* Maturation).

במקביל לטיפול בביצית והכנתה לקראת ההפריה נעשה טיפול בתאי הזרע. אלה מופשרים (כאשר מדובר בשימוש בזרמה קפואה) ועוברים תהליך הנקרא קַפְּסִיטִיצְיָה (*Capacitation*). בתהליך זה רוכשים תאי הזרע את הכושר לעבור את שכבת תאי הקומולוס ואת מעטפת הזונה-פלוצידה של הביצית ולחדור אל הביצית עצמה. תהליך הקפסטיציה נעשה באופן טבעי במערכת המין של הנקבה לאחר ההזדווגות או ההזרעה, תוך נדידת תאי הזרע במעלה הרחם. במקרה של הפריה חוץ גופית יש צורך לבצע תהליך זה במבחנה.

במהלך ההפריה רק אחד מתאי הזרע מפרה את הביצית. לאחר ההפריה ממשיכים להדגיר את הביצית המופרית בצלחת תרבית עד לשלב הבלסטוציסט ואז משתילים את העובר שהתפתח ברחם פרה אומנת. במטרה לשפר את חיוניות העוברים ניתן להשתיל את הזיגוטה לאחר ההפריה בצינור ביצים של כבשה ולאפשר לה התפתחות בתנאי *in vivo* למשך כשבוע ימים בערך, עד לשלב של בלסטוציסט מוקדם. בשלב זה ניתן לאסוף את העובר מרחם הכבשה ולהשתילו בפרה אומנת.

את העוברים שנוצרו *In vitro* ניתן לשמר בדרך של הקפאה. אולם, עוברים שהתפתחו בדרך זו, הוקפאו והופשרו לוקים בחיוניות נמוכה יחסית לעוברים שהתפתחו באופן טבעי ברחם או כאלה שנשטפו והושתלו מיד ללא הקפאה.



מיון תאי הזרע על פי כרומוזום הזוויג אותו הם נושאים

שיטה נוספת בעלת השלכות מרחיקות לכת על ממשק הרבייה המודרני היא מיון של תאי הזרע לפי סוג כרומוזום הזוויג אותו הם נושאים. ידוע, כי לאחר הפריה של ביצית בתא זרע המכיל כרומוזום Y יתפתח זכר ואילו לאחר הפריה של ביצית בתא זרע המכיל כרומוזום X, תתפתח נקבה. היחס בצאצאים בין זכרים ונקבות אצל חיות משק באופן טבעי הוא כ-50%:50%, בדומה למצב אצל האדם.

למיון של תאי זרע לפני הזרעה עשוי להיות יתרון רב. לדוגמה, בבקר לחלב ניתן להזריע פרות מצטיינות מהן רוצים לגדל עגלות לחלופה רק בזרמה הנושאת את כרומוזום ה- X . בדרך זו יתקבלו כמבוקש רק נקבות. מאידך, את הפרות שאינן מצטיינות ניתן להזריע בזרמה הנושאת את כרומוזום Y בלבד. פעולה זו תביא בסופו של דבר להמלטת עגלים זכרים בלבד המיועדים לפיטום אשר להם יכולת גדילה טובה יותר מאשר לנקבות.

במהלך השנים ניסו חוקרים למצוא שיטות יעילות להפרדה בין תאי זרע בעלי כרומוזומים X ו- Y . השיטה למיון תאי זרע המבטיחה ביותר כיום היא זו המבוססת על טכניקת Flow cytometry. עקרון ההפרדה בין תאי הזרע מבוסס על כך שכרומוזום Y קטן יותר מכרומוזום X בכל בעלי החיים, כולל באדם. הפרדה של תאים לפי כרומוזום הזוויג אותו הם נושאים נעשית בדיוק של כ-95%. ניסיונות הזרעה בזרמה ממוינת הראו תוצאות מרשימות של הצלחה בקבלת זכרים או נקבות בהתאם לתכנון.

קיימות כיום כמה מגבלות טכניות המונעות שימוש נרחב בשיטת הפרדת תאי הזרע שתוארה. ראשית, המחיר הגבוה יחסית של התהליך מרתיע חקלאים משימוש בו. המחיר הגבוה נובע בעיקר מקצב הפרדה איטי של תאי הזרע במכשירים הקיימים, דבר המגביל את כמות הזרמה הממוינת אותה ניתן לספק. בעיה נוספת ביישום הטכניקה של מיון תאי זרע קשורה לירידה מסוימת בפוריות של זרמה ממוינת, יחסית לזרמה טבעית שאינה ממוינת. על אף המגבלות, יש לצפות כי טכנולוגיה זו שכבר קיימת כשיטה מסחרית בכמה מדינות בעולם, כמו בבריטניה, תתפוס בעתיד מקום מרכזי יותר בממשק רבייה של בקר לחלב.

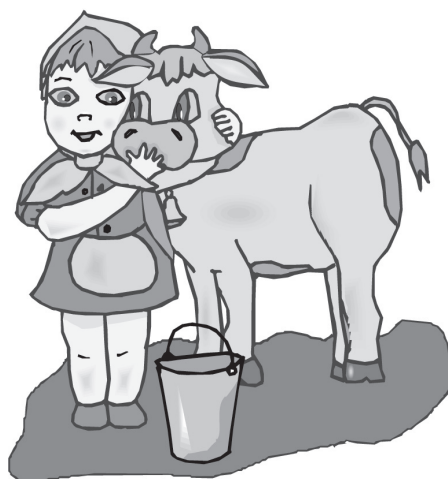


הרכב כימי של מזונות מעלי גירה

חיים תגרי

Menu

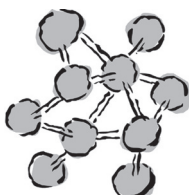
באופן כללי, מבחינים במזונות בחמש קבוצות של תרכובות כימיות: פחמימות, חלבונים, שומנים, ויטמינים ומינרלים. ארבע הקבוצות הראשונות כוללות תרכובות אורגניות דהיינו, תרכובות שנוצרו בגוף בעלי חיים או צמחים. הקבוצה האחרונה, קבוצת המינרלים, כוללת תרכובות של יסודות וחומרים כימיים אנ־אורגניים (חומרים שמקורם בטבע ושלא נוצרו בגוף בעלי חיים או צמחים). יש המגדירים את שלוש הקבוצות הראשונות של התרכובות הכימיות במזון כ"אבות המזון". הגדרה זו הייתה מקובלת בעבר ואין בה כדי להפחית מחשיבותם של הוויטמינים והמינרלים במזון. הפחמימות והחלבונים נחשבים חומרים "הידרופילים" (אוהבי מים) ומכאן, הם מסיסים במים ומסוגלים לספוח מים (להירטב). מאידך, השומנים נחשבים כ"הידרופובים" (שונאי מים) ואינם מסיסים במים.



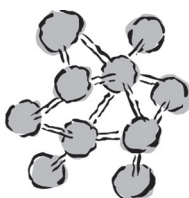
פחמימות



הכינוי של תרכובות אלה, פחמימות (פחמן-מימי), נגזר מהעובדה שכל אטום פחמן בתרכובות אלה מלווה במולקולת מים. מולקולת הבסיס של הפחמימות היא מולקולת חד-סוכר אשר הנוסחה הכללית שלה היא: $C_x-H_{2x}-O_x$.

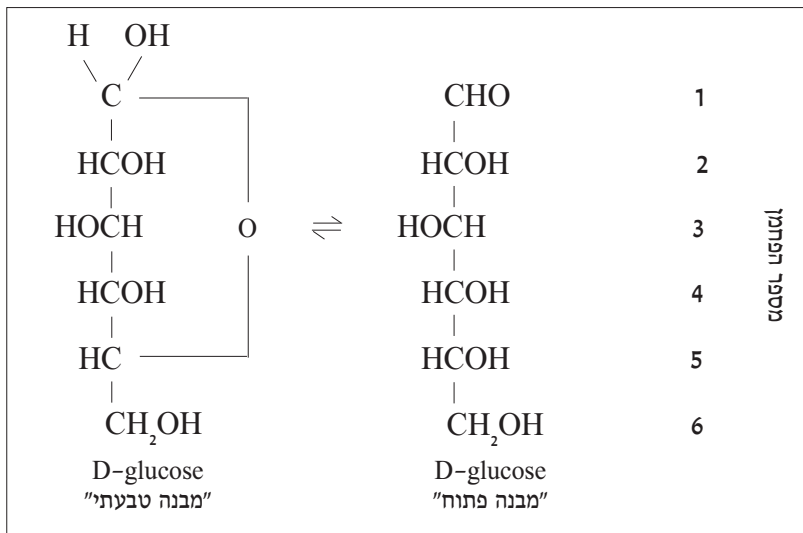


מספר אטומי הפחמן במולקולת החד-סוכר הוא בדרך כלל חמישה או שישה והם מסודרים בצורת טבעת. במקרה בו המולקולה מכילה חמישה אטומי פחמן, החד-סוכר נקרא פֶּנְטוֹזָה (פנטה = חמש). דוגמה לסוכרים בעלי חמישה פחמנים הם האֶרְבִּינְוֹזָה והֶקְסִילוֹזָה. מספר אטומי הפחמן במולקולת החד-סוכר יכול להיות גם שישה כמו בֶּגְלוֹקוֹזָה, פְּרוֹקְטוֹזָה או גֶּלֶקְטוֹזָה. סוכרים אלה נקראים הֶפְסוֹזוֹת (הֶפְסָה = שש). קיימים גם חד-סוכרים המכילים ארבעה פחמנים (טֶטְרוֹזִים) וכן גם חד-סוכרים בעלי מספר פחמנים העולה על שישה.

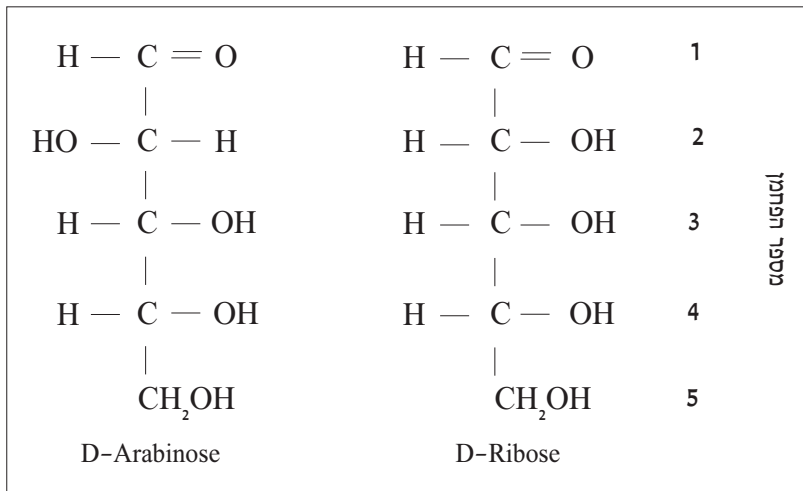


החד-סוכרים הם תוצר של תהליך הפוטוסינתזה המתרחש בצמחים, אשר במהלכו מותמרת אנרגיית אור השמש לאנרגיה של קשרים כימיים האצורה במולקולת החד-סוכר. בנוסף, בעזרת אנרגיית השמש הצמח מסוגל גם לקשור שתי מולקולות חד-סוכר זו לזו תוך יצירת מולקולת דו-סוכר, וכן לקשור מספר רב של יחידות סוכר תוך יצירת מולקולה הנקראת רב-סוכר. אופי הקשרים בין היחידות הבודדות של הרב-סוכר קובע את תכונות המולקולה, וכן את מידת הנעכלות שלה בגוף בעל החיים.

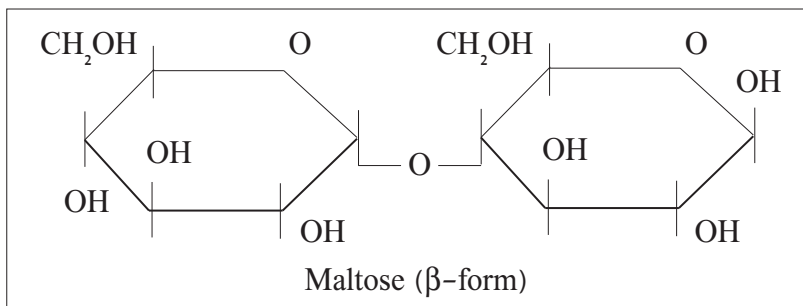
א. גלוקוז



ב. ריבוז
ואראבינוז



ג. מלטוז



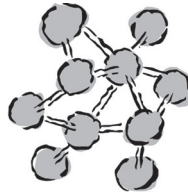
תמונה מס' 1 (א', ב' ו-ג'): מבנה המולקולה של חד-סוכרים ודו-סוכרים שונים

חלוקת הפחמימות לקבוצות

ניתן למיין את הפחמימות לארבע קבוצות:

א. פחמימות מסיסות קצרות שרשרת. בקבוצה זו כלולים:

- ❖ חד-סוכרים כגון גלוקוזה או פרוקטוזה.
- ❖ דו-סוכרים כדוגמת סוכרוז – הסוכר שאנו ממתיקים בו. הסוכרוז מורכב ממולקולה אחת של גלוקוזה ואחת של פרוקטוזה. דו-סוכר נוסף הוא המלטוזה. סוכר זה מצוי בבירה שחורה ומורכב משתי מולקולות של גלוקוזה.
- ❖ תלת-סוכרים כגון רפינוזה המצוי במולסה של סלק סוכר.



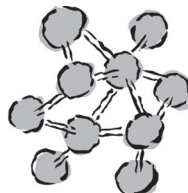
ב. פחמימות ארוכות שרשרת:

בקבוצה זו כלולות מולקולות של רב-סוכרים המורכבות ממספר גדול של יחידות חד-סוכר זהות. כדוגמה נביא את העמילן, העמילופקטין והתאית (צלולוזה) אשר כולם מורכבים ממולקולות גלוקוזה.

❖ עמילן הנו רב-סוכר הנוצר על ידי הצמח למטרות אגירה של אנרגיה לשעת הצורך. הוא מורכב משרשרת ישרה וארוכה, העשויה לכלול אלפי יחידות גלוקוזה. העמילן אינו מסיס במים, אך עם ערבובו במים נוצר תרחיף ההופך עם התייבשותו לעיסה דמוית דבק.

❖ עמילופקטין הוא עמילן אשר בשרשרת יחידות הגלוקוזה שלו קיימות הסתעפויות רבות. כמו העמילן גם העמילופקטין אינו מסיס במים. הן העמילן והן העמילופקטין נעכלים יפה בבעלי חיים.

❖ צלולוזה (תאית) הנה רב-סוכר המשתלב בבניין חלקי הצמח השונים כדוגמת הגבעולים והעלים. רב-סוכר זה בנוי מאלפי יחידות של גלוקוזה. צלולוזה נבדלת מעמילן בצורה שונה של הקשר בין מולקולת הגלוקוז, דבר אשר מונע את עיכולה של המולקולה על ידי פשוטי קיבה, ומקשה על הפירוק במעלי גירה ובסוסיים.



מבנה ההמיצלולזה דומה לזה של הפקטין: שרשראות גלוקורוניות משולבות בשרשראות ארבינוז או ברבי-הסוכר של קסילוז. הקשרים בין המולקולות השונות בהמיצלולזה יציבים יותר ביחס לאלה שבפקטין וקשים לפירוק. ההמיצלולזה מצויה ברקמות מבניות וברקמות תמיכה של הצמח, רקמות קשות פירוק במהלך העיכול.

ד. פחמימות אחרות:

בקבוצה זו כלולות פחמימות שלא נכללו בקבוצות הקודמות. לדוגמה: ליגנין (עצה) וכיטין.

הליגנין אינו פחמימה המורכבת מרב-סוכרים, אלא מקבץ של שלל תרכובות סוכריות טבעתיות שאין מעלי הגירה או החיידקים שבכרסם מסוגלים לפרק. תרכובת זו מוזכרת כאן כי היא מקור ל"צרות" בפירוק של החומר האורגני, הן בכרס והן לאורך מערכת העיכול. מולקולות הליגנין משתבצות לתוך ההסתעפויות של שרשראות התאית וההמיצלולזה, וכן לחלבונים שונים, נקשרות בקשרים חזקים והופכות חומרים אלה לקשי עיכול או לבלתי נעכלים כלל. שלל תרכובות הליגנין נועדו להגן על הצמח, עד כמה שאפשר, מפני גורמי ריקבון, ולחזק את כוחו המבני. תכונות אלה הן לרועץ לבעל החיים בתהליך העיכול בכרס.

הכיטין הוא אמינו-רב-סוכר, כלומר, רב-סוכר אשר לאחד מאטומי הפחמן שלו קשורה קבוצה חנקנית (NH^-) (ראה/י בסוף פרק "חלבונים"). חומר זה מצוי בין השאר בקשקשי דגים ובשריונות סרטנים. בבדיקה כימית סטנדרטית יגיב הכיטין כחלבון (המוגדר ומאובחן לפי תכולת החנקן בתרכובותיו) דבר שעלול להביא לטעות בקביעת ערכם המזוני של קמחי דגים או קמחי בשר.

תפקידן העיקרי של הפחמימות הוא לספק אנרגיה לבעל החיים ולמיקרואורגניזמים (מק"א) שבמערכת העיכול שלו. שלא כחלבון וכשומן, אין הפחמימות מהוות רכיב כלשהוא במבנה הגוף, למעט שיירים סוכריים הקשורים למולקולות מסוימות. הפחמימות הרב-סוכריות עוברות פירוק בכרס מעלה הגירה או בגופו לפחמימות חד-סוכריות. חד-הסוכר שנשפג ישירות מהמזון או שנוצר עקב פירוק פחמימות דו-סוכריות או רב-סוכריות עובר תהליך זרחון שלאחריו הוא נתקף, מפורק ומחומצן תוך פליטת דו-תחמוצת-הפחמן, או במקרה של חמצון אנארובי, תוך פליטת דו-תחמוצת-הפחמן ומתאן (Methane). האנרגיה המשתחררת כתולדה של תהליך חמצון הסוכרים משמשת את האורגניזם לקיום ולייצור.

לאחר הרוויית הדם בגלוקזה בריכוז המיטבי, גוף בעל החיים מסוגל לאגור כמות קטנה של סוכר בכבד (עד 3% ממשקל הכבד). זאת, תוך הפיכת חד-הסוכר לרב-סוכר הקרוי גליקוגן. בנוסף לגליקוגן מצויות בגוף מספר תרכובות המכילות רב-סוכרים, כגון מוצינים (תרכובות צמיגות המשמשות לסיכה וריר, המורכבות מפפטידים הקשורים לרב-סוכר), או גליקו-פרוטאינים (תרכובות המכילות חלבונים וסוכרים המצויות בין השאר בדם או בחלבון הביצה).

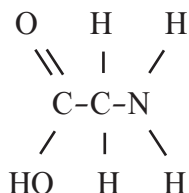
חלבונים



חומצות אמינו

השם "חלבונים" נגזר מ"חלב" אשר ממנו הם בודדו ואופיינו לראשונה. שלא כבפחמימות, בהן יחידת המבנה הבסיסית היא מולקולה בעלת צורת טבעת המכילה בדרך כלל 5 או 6 אטומי פחמן, יחידת המבנה של חלבונים קרויה "חומצת אמינו". חומצת האמינו היא שרשרת של אטומי פחמן ומימן כאשר לאטום הפחמן שבקצה המולקולה מחוברת מצד אחד קבוצת אמינו (NH_2), שבסיסה אטום חנקן, ומצד שני קבוצה קרבוקסילית (HOOC^-), שהיא חומצה אורגנית. קבוצת האמינו טוענת את המולקולה במטען חשמלי חיובי ואילו שייר החומצה – במטען שלילי. קומפלקס זה קרוי "יון תאומים" (Zwitter ion). מכאן מובן כי החלבונים, שלא כסוכרים, עשויים להיות טעונים במטען חשמלי. סוג המטען, שלילי או חיובי, תלוי במאזן שבין היונים השליליים לבין היונים החיוביים שעל פני מולקולת החלבון. דוגמה לחומצת אמינו ניטרלית מבחינת מטענה החשמלי היא גליצין אשר בתמיסה, הקבוצה החומצית בה נטענת במטען שלילי בעוד הקבוצה האמינית נטענת במטען חיובי. שני המטענים מאזנים זה את זה והמולקולה תהיה ניטרלית מבחינה מטענה חשמלי.

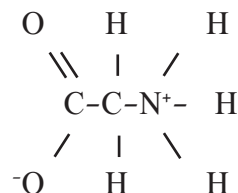
נוסחת מבנה של גליצין



נוסחת סיכום של גליצין



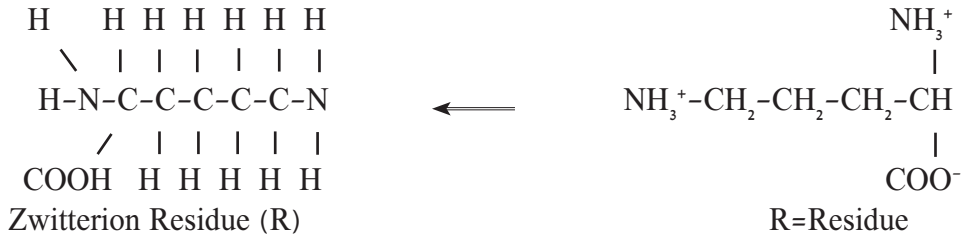
נוסחה יונית של גליצין



תמונה מס' 3: מבנה מולקולה של חומצת האמינו גליצין

דוגמה לחומצת אמינו בעלת מטען חיובי היא הליזין שהיא בעלת שתי קבוצות אמינו (בסיסיות) משני צדי המולקולה, ורק קבוצה קרבוקסילית (חומצית) אחת. בתמיסה מימית תהיה מולקולת הליזין בעלת מטען חשמלי חיובי.



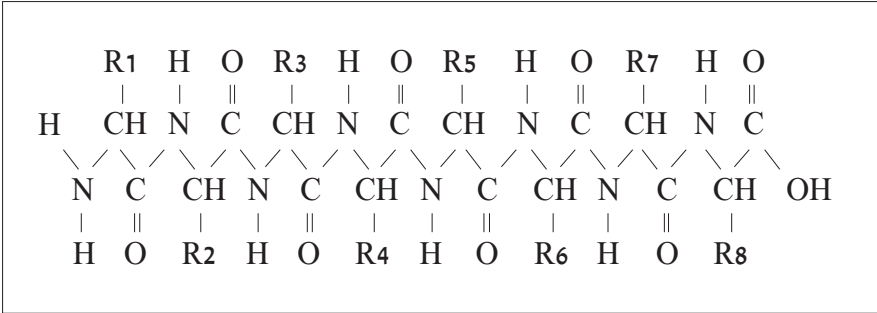


תמונה מס' 4: מבנה מולקולה של חומצת האמינו ליזין

תכונות יוניזציה אלה מאפשרות לכל חומצות האמינו, ולחלק גדול מהחלבונים שהן מרכיבות, להתמוסס במים. לתכונה זו חשיבות פיזיולוגית ותזונתית גדולה כפי שיודגם בהמשך. מוכרות כיום כ־30 חומצות אמינו. גוף בעל החיים מסוגל לייצר מחומרי מוצא שאינם חומצות אמינו חלק ניכר מחומצות האמינו הדרושות לו. חומצות אמינו אלה נקראות "חומצות בלתי הכרחיות", מאחר ואין הכרח לקבלן ממקור חיצוני. אולם, עשר מחומצות האמינו אין גוף בעל החיים מסוגל לייצר והן חייבות להיות מסופקות במזון. חומצות אמינו אלה מכונות "חומצות אמינו הכרחיות". חומצות האמינו ההכרחיות הן: ליזין, ארגינין, היסטידין, מטיונין, לאוצין, איזולאוצין, וואלין, טריפטופן, פניל-אלנין וטרואנין. חומצות האמינו ההכרחיות נוצרות ומסופקות למעלי גירה על ידי החיידקים שבכרס. ראוי לאזכור מיוחד חומצת האמינו מתיונין, המכילה גופרית. עד היום נמצא כי חומצה זו משתתפת בכ־100 תהליכים של חילוף חומרים בגוף, וידועה במיוחד כחומצה חשובה לתהליכי מתיילציה בגוף, תהליכים בהם נקשרת קבוצה מתיילת (CH_3^-) לתרכובות אחרות. חומצה זו חשובה במיוחד כחומר מוצא לייצור חומצות האמינו ציסטין ו/או ציסטאין בעת מחסור בהן. ציסטין וציסטאין משמשות בין השאר גם כחומר גלם לבניית שערות, נוצות פרסות וקרניים. הריח הרע הנודף משרפת שערות או נוצות למשל, נובע משרפת תרכובות הגופרית שבהן.

יצירת חלבונים מחומצות אמינו

שלב ראשון בתהליך יצירת חלבון מחומצות אמינו הוא קישור של שתי חומצות אמינו ויצירת דו־פפטיד. מקום הקישור הוא היות הכפול (Zwitter ion). הקישור נעשה תוך הוצאת מולקולת OH מחומצה אמינית אחת ויון מימן מהחומצה שנייה. בתהליך זה נוצרת מולקולת מים ודו־פפטיד (תמונה מס' 5). הקשר בין שתי חומצות האמינו קרוי "קשר פפטידי". חיבור חומצה אמינו נוספת לדו־פפטיד מביא ליצירת תלת־פפטיד וכך הלאה, עד ליצירת חלבון הבנוי ממספר רב של חומצות אמינו.



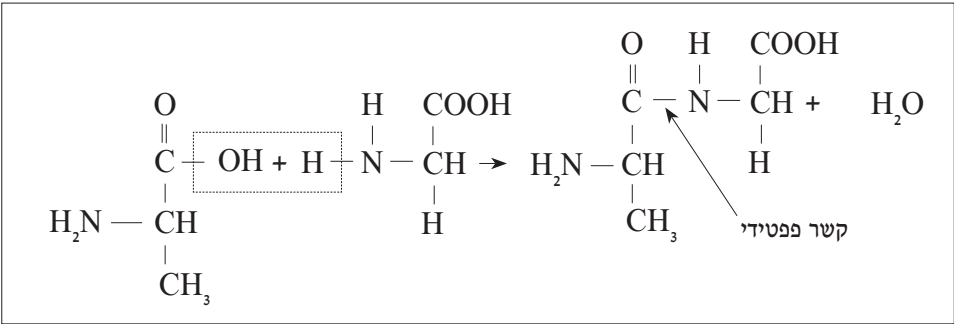
תמונה מס' 5: מבנה שרשרת פפטידית (R=Residue)

מבנה ראשוני של חלבונים

לרצף של חומצות האמינו בחלבון קוראים מבנה ראשוני של החלבון. מולקולות של חלבונים שונים נבדלות זו מזו במבנה הראשוני שלהן, כלומר, במספר חומצות האמינו במולקולה ובסדר בו הן מחוברות האחת לשנייה. חלק מהחלבונים, כדוגמת הורמונים מסוימים, הם מולקולות קצרות הכוללות חומצות אמינו בודדות או עשרות מעטות של חומצות אמינו. חלבונים אחרים הם ארוכים מאוד וכלולות בהם מאות חומצות אמינו ואף יותר.

מבנה שניוני של חלבונים

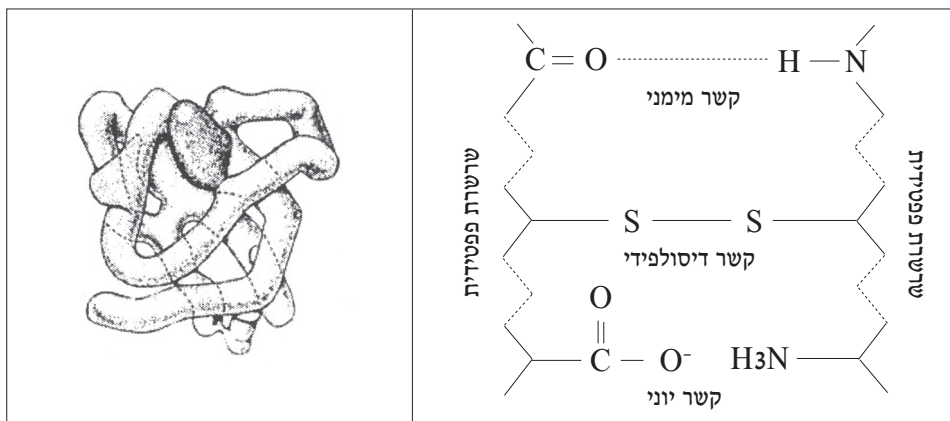
מסתבר, כי בחלק מהמקרים שרשראות חומצות האמינו המרכיבות את מולקולות החלבון אינן ערוכות במבנה דמוי קו ישר אלא במבנה דמוי קפיץ סלילי למשל. מצב זה יכול להיווצר כתוצאה מיצירת קשרי מימן ($R_1-OH-H-R_2$) או קשרי גפרית (S-S) בין שאריות (Residues) של חומצות אמינו שכנות. מערכת הקשרים הכימיים בין חומצות אמינו שכנות, כמו גם המבנה הסלילי של המולקולה, המכביד ואף מונע תקיפתה על ידי אנזימי עיכול, הופכים את החלבון לקשה תָּמָס ולקשה עיכול. מבנה שניוני מורכב מאפיין חלבונים המצויים בשער ובנוצות.



תמונה מס' 6: מבנה שניוני של חלבונים

מבנה שלישוני של חלבונים

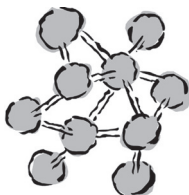
קיפולים בשרשראות חלבוניות נוצרים כתוצאה מכך שחומצה אמינית אחת נקשרת בקשר כימי לחומצה אמינית אחרת אשר מצויה במרחק מה ממנה. דוגמה לכך מובאת בשרטוט המתאר את מבנה מולקולת המיוגלובין, החלבון אשר מוביל חמצן לרקמות הגוף ומעניק לשריר את צבעו האדום.



תמונה מס' 7: מבנה שלישוני של חלבון ושרטוט מבנה מולקולה של מיוגלובין

מבנה רביעוני של חלבונים

המבנה רביעוני מתאר מצב בו מספר יחידות של מולקולות חלבון קשורות זו לזו למבנה אחד, לעתים יחד עם מולקולה נוספת שאינה חלבונית. כך הוא המקרה של מולקולת ההמוגלובין, חלבון המצוי בכדוריות הדם האדומות. מולקולת ההמוגלובין קושרת חמצן ומובילה אותו לרקמות הגוף. מולקולת ההמוגלובין מורכבת מארבע תת יחידות של גלובין שלכל אחת מהן קשורה מולקולת Heme שבמרכזה אטום ברזל ואשר אליה נקשר החמצן. כך, מולקולת ההמוגלובין נושאת סך הכל ארבע מולקולות Heme.



דוגמאות למולקולות חלבון

להלן תיאור של מספר סוגי חלבונים המצויים במזונות בעלי החיים ובמוצרים המופקים מבעלי חיים:

חלבונים פשוטים

אלבומינים: אלו חלבונים נפוצים מאוד בטבע. האלבומינים מסיסים במים, נקרשים בחום ומכילים באופן יחסי לחלבונים אחרים מעט מהחומצה האמינית גליצין. אלבומינים המצויים בצמחים מרוכזים בעיקר בעלים. בבעלי חיים מצוי אלבומין בדם, בחלבון הביצה, בשריר ובחלב (לקטואלבומין). אלבומינים ניתנים לשיקוע בתמיסה המכילה 20% גפרת אמן מבלי לאבד את חיוניותם. הדבר חשוב למשל בעת הפרדת אלבומינים מדם לצורך הכנת עירוי.

גלובולינים: אלו הם חלבונים בעלי מבנה כדורי אשר אינם מסיסים במים. גלובולינים נקרשים בחום ושוקעים בגפרת אמן כמו אלבומינים. גלובולינים מצויים בחלבון ביצה, בסרום הדם, בשריר, בבוטנים ובשעועית. נוגדני מערכת החיסון מורכבים בעיקר מגלובולינים.

גלויטלינים (מלשון גלוטן): חלבונים אלה אינם מסיסים במים אך מסיסים בחומצה חלשה או בבסיס חלש. הם מצויים למשל בגרעיני חיטה, בגרעיני אורז ובריכוז גבוה בגרעיני תירס. כאשר לשים בצק מקמח ומים ושוטפים אותו בזרם מים איטי המרחיק את העמילן, נותרת עיסה צמיגה ודביקה שעיקרה גלוטן. גלויטלינים דלים בליזין, שהיא חומצה אמינית הכרחית. לעומת זאת, במרבית המקרים הם עשירים במתיונין, שאף היא חומצה אמינית הכרחית.

פרולאמינים: חלבונים אלה הם היחידים המסיסים בתמיסות מרוכזות של אלכוהול. הם מכילים הרבה יחידות של חומצת האמינו פרולין, ומכאן שמם. אף כי חומצה אמינית זו אינה חומצה אמינית הכרחית, היא מהווה כ-12% מחלבון החלב וחשובה לבניין העצמות של הרך הנולד.

אלבומינואידים: (סקלרו־פרוטאינים): חלבונים אלה שונים במהותם הכימית והפיזית משאר החלבונים. הם אינם מסיסים בשום חומר כימי מהול: לא באלכוהול, לא בחומצה, לא בבסיס (אלקלי) ולא בתמיסת מלח. חלבונים אלה מצויים רק ברקמות ואברים מסוימים בבעלי חיים: בטלפיים, בשער, בנוצות, בקורי משי, בציפורנים, בקרניים, בטלפיים, בגידים וברקמת חיבור. האלבומינואידים נחלקים לקבוצות הבאות:

❖ **קולגנים:** אלה חלבוני השלד (עצם מכילה 25% קולגן, המכיל הרבה יחידות של חומצת האמינו פרולין).

❖ **קרואטינים:** חלבונים אלה מצויים בשער, בקרניים, בטלפיים ובציפורניים, ומתאפיינים בתכולה גבוהה של חומצת האמינו ציסטאין המכילה גופרית. כזכור, נוכחות הגופרית גורמת לריח האופייני המתקבל בעת שרפתם של חלקים אלה.

❖ אֶלֶסְטִין: חלבון המצוי בגידים וברקמת חיבור המופיעה בין השאר בצלקות.

❖ פִּיבְרִין: חלבון המצוי בקורי משי.

כל האלבומינואידים למעט אלסטין אינם נעכלים ועשויים לשרוד בקרקע או במערכת העיכול זמן ממושך ביותר. כדי שחומרים חלבוניים אלה יהיו ברי-עיכול יש לטפל בהם בחימום או בכימיקלים.

חלבונים קשורים

מיוחד חלבונים אלה הוא קשר עם תרכובות נוספות. ההמוגלובין שבדם או המיוגלובין שבשריר שכבר הוזכרו הם דוגמאות טיפוסיות לחלבונים מסוג זה.

סוג אחר של חלבונים מקבוצה זאת הם חלבונים הקשורים לאנזימים או להורמונים, כאשר האחרונים מבצעים פעולות רבות החשובות לתהליכי החיים ולחילוף החומרים בגוף. לדוגמה: אנזימי הנשימה והציטוכרומים הקשורים לחלבונים. ההורמון טִירוֹזִין קשור לחלבון הקרוי טירוגלובולין (Tyroglobulin). קבוצות נוספות של חלבונים-קשורים הם הגִלְיִקוֹ-פרוטאינים, המוקופרוטאינים והמוֹצִיִּינים. אלה חלבונים הקשורים לסוכרים ומהווים מרכיב עיקרי ברוק, ברירות, ברקמות חיבור ובתמיסות סיכה בגוף החי.

שומנים (ליפידים)



השומנים שבמזונות משמשים כמקור אנרגיה, וכן כאבני בניין לוויטמינים ולפרו-ויטמינים הנחשבים כחומרים נוגדי חמצון (אֶנְטִיאֹקְסִידָנְטִים – חומרים אשר חמצונם מפחית מסכנת החמצון של מולקולות אחרות בגוף כגון ויטמינים או הורמונים, תהליך אשר עלול לשבש את פעולתן של מולקולות אלו). כמו כן, משמש השומן כממס המסייע לספיגת חומרים מסיסים בשמן כוויטמינים במעיים. מאגרי שומן בגוף משמשים כעתודת אנרגיה לגוף, כשכבת בידוד בפני קור או חום, וכשכבה שתפקידה לבלום זעזועים. כך מגינה שכבת המיאלין על חוט השדרה.

מבנה השומנים

כאמור, השומנים מהווים קבוצה של חומרים אורגניים המרכיבים את התא החי. השומנים כפחמימות, בנויים מאטומי פחמן, מימן וחמצן. אלא, שלא כמו בפחמימות, אטומי הפחמן

והמימן הם הרוב במבנה השומנים ואילו חלקם היחסי של אטומי החמצן קטן. מאפיין את השומנים הוא כושרם להתמוסס בממסים אורגניים כגון כוהלים שונים, אתר, כלורופורם, אצטון ופטרול אֵתֶר (בנזין לבן). מאידך, אין השומנים יכולים להתמוסס במים או אף בתמיסות מימיות של חומצות חלשות או של בסיסים חלשים. השומנים מסוגלים ליצור תרחיפים במים (תחליב, אמולסיה) על ידי קשירתם לתרכובות מסיסות במים כגון סבונים.

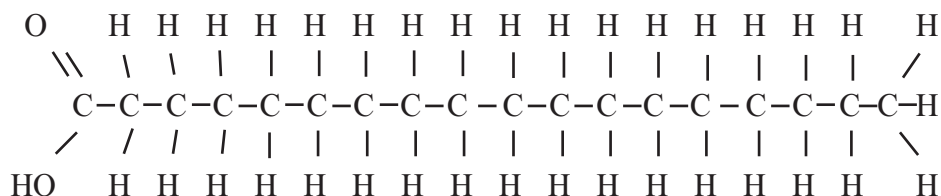
הרקע הביוכימי למבנה השומנים

אנו מבחינים בכמה תרכובות מהן בנויות מולקולות השומנים: קבוצה חומצית, קבוצה כהלית, קבוצה מתילית ושיירים של שרשרת פחמימנית (ראה/י תמונה מס' 8). מבחינים בין חומצות שומן רוויות לבין חומצות שומן בלתי רוויות.

$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ - \text{C}-\text{OH} \end{array}$	1. קבוצה חומצית
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ - \text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	2. קבוצה כוהלית
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ - \text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	3. קבוצה מתילית ($-\text{CH}_3$)
4. שרשרת (Residue) פחמימנית (מורכבת מפחמן ומימן, בניגוד למצב בסוכרים):	
$- \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	

תמונה מס' 8: המבנה הביוכימי של תרכובות המצויות בשומנים

בחומצות שומן רוויות הקשרים בין אטומי פחמן סמוכים הם קשרים פשוטים, וכל אטום פחמן, למעט אלה המצויים בקצה השרשרת, קשור לשני אטומי מימן. כדוגמה לחומצת שומן רוויה מובאת נוסחת המבנה של חומצה סטאירית:



תמונה מס' 9: מבנה של חומצה סטארית

חומצות שומן רוויות נפוצות בכרס מעלי הגירה הן: חומצת חומץ, חומצה פְּרֹפִּיוֹנִית וחומצה בְּיוֹטִירִית (חומצת חמאה). לחומצות אלו משקל מולקולרי נמוך והן נדיפות בטמפרטורה נמוכה.

דוגמה לחומצות שומן רוויות הנפוצות בצמחים: חומצה פלמיטית $C_{16}H_{32}O_2$ (שמן דקלים) וחומצה סטארית $C_{18}H_{36}O_2$.

כאשר כל אחד משני אטומי פחמן סמוכים מאבד בתהליך חמצון אחד משני אטומי המימן הקשורים אליו נקשרים אטומי הפחמן זה לזה בקשר הנקרא "קשר כפול בלתי רווי". חומצה שומנית המכילה לפחות קשר שומני אחד נקראת "חומצה שומנית בלתי רוויה". קשר כפול הוא יציב פחות מקשר יחיד והוא רגיש יותר לתהליכי חמצון (קלקול).

החומצה הסטארית שהוזכרה למעלה תהפוך בעקבות תהליך חימצון להיות בלתי רוויה ושמה יהפוך לחומצה אולֵאֵית (על שם הזית שמשמנו היא בודדה לראשונה). נוסחת המבנה של חומצה אולאית מובאת בתמונה מס' 10.


$$\begin{array}{ccccccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ | & | & | & | & | & | \\ -\text{C} & -\text{C} & =\text{C} & -\text{C} & =\text{C} & -\text{C}- \\ | & & & & & | \\ \text{H} & & & & & \text{H} \end{array}$$

תמונה מס' 11: קשר כפול צמוד

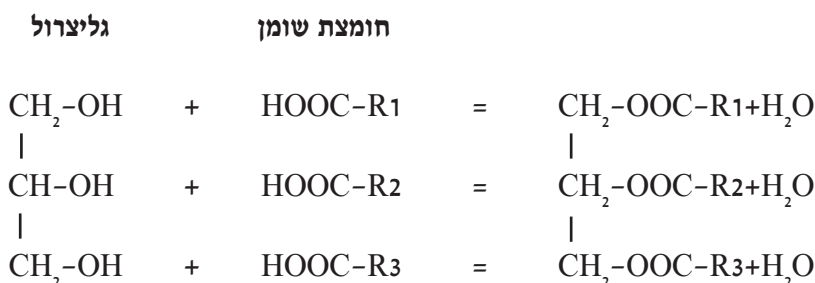
כאמור, חומצת שומן בעלת קשר כפול אחד היא החומצה האולֵאית (נפוצה בשמן זית). חומצה בעלת שני קשרים כפולים היא חומצה לִינֵולֵאית (חומצה פשתית, Linoleic acid). חומצה בעלת שלשה קשרים כפולים היא הלינולנית (חומצה פשתנית, Linolenic acid). שתי

האחרונות נפוצות בשמן פשתן ובזכות כושר ההתחמצנות שלהן שימשו בעבר כ"שמן צַבָּעִים". החמצן שבחומצות אלו מתקשר בערכיות אחת לעץ אותו צובעים ובערכיות השנייה לצבע, דבר המעניק לצבע יציבות. לאחרונה הסתבר שלחומצות אלה חשיבות רבה לבריאות בעלי חיים וכן לבריאות בני־אדם. בבוטנים נפוצה בריכוזים גבוהים חומצה אַרְכִידוֹנִית (Arachidinic acid), שהיא חומצה בעלת ארבעה קשרים כפולים.

הקשר הכפול־הצמוד יציב עוד פחות מקשר כפול רגיל וניתן לחמצון בקלות. מכאן יובן כי חומצות בעלות קשרים כפולים צמודים עשויות לשמש כחומרים נוגדי חמצון. קיימות חומצות שומן בעלות שני קשרים כפולים צמודים ואף יותר. כיום נוהגים לכנות חומצות בעלות קשרים כפולים צמודים בשם "חומצות אומֶגָה" (ω). הבחנה בין חומצות אומגה שונות נעשית על פי מספר הפחמנים המבדיל בין הקשר הכפול־צמוד לבין הקצה המתילי של החומצה. לדוגמה, "אומגה 3" ($\Omega 3$).

אֶסְטֵרִים

חיבור בין חומצה שומנית לבין קבוצה כוהלית קרוי "אסטר" (Ester). קשר אסטרי מניב שרשרת פחמימנית ארוכה כדוגמת מולקולות השעווה או הדונג. כאשר נוצר קשר בין שלוש חומצות שומניות ומולקולת גליצרול (המכיל שלוש קבוצות כוהליות) התוצר קרוי שֶׁמֶן, שומן או חֶלֶב (זה האחרון מצוי במאגרי השומן של בעלי חיים). דוגמה ליצירת מולקולת שומן תלת־גליצריד תוך התחברות מולקולות שומן לשיירים הכוהליים שבמולקולת הגליצרול מובאת בתמונה מס' 12.



תמונה מס' 12: יצירת מולקולת שומן תלת־גליצרידי מחומצות שומן ומגליצרול

בדרך זו עשויים להיווצר גם דו־גליצרידים, כאשר לכוהל השלישי שבמולקולת הגליצרול מתקשרת קבוצה אחרת כגון חומצה זרחנית או מולקולה של ויטמין. מאחר וקיים מספר רב של חומצות שומן, תלת־גליצרידים עשויים להכיל צירופים שונים

של חומצות שומן. ככל שתתארך השרשרת של מולקולת חומצת השומן ודרגת הרוויה שלה תעלה, כן תגדל דרגת המוצקות של התלת-גליצריד, ולהפך.

סיווג השומנים

השומנים נחלקים לשתי קבוצות ראשיות:

א. שומנים שהם אֶסְטֵרִים של חומצות שומניות וגליצרול (גליצרין) או נגזרות של תרכובות בסיס אלה. מרבית שומנים הנמנים עם קבוצה זו נקראים גליצרידים, על שם הקשר עם גליצרין. בקבוצה זו מבחינים בשומנים פשוטים ובשומנים מורכבים:

שומנים פשוטים: אלה נמצאים בשמן, בשומן ובחלב. לקבוצת שומנים זו שייכים האסטרות התלת-גליצרידים (טרי-גליצרידים), דהיינו: מולקולות בהן שלוש חומצות שומן קשורות למולקולת גליצרול (שם עממי: גליצרין). בדם עשויות חומצות שומן אלה להיות קשורות גם לכולסטרול. לקבוצת השומנים הפשוטים משתייכים גם שעוות למיניהן ודונוג. תרכובות אלה מצויות בעיקר בשכבות הקליפה העוטפות עלים, גבעולים, פירות וירקות. סוגים אחרים של שומנים פשוטים מצויים בחיות ים. אלה הם אסטרות הבנויים מחומצות שומן וכוהלים ארוכי שרשרת, אשר במקרים רבים אינם ניתנים לפירוק או לעיכול על ידי בעלי חיים.

שומנים מורכבים: קבוצה זו מגוונת מאוד, להלן יובאו רק שתי דוגמאות: פוספוליפידים (שומנים הקשורים לזרחן הקרויים גם שומנים מזרחנים): דוגמה לשומן זה הוא לָצִיטִין המורכב מגליצרול, אשר אל שתי הקבוצות הכהליות שבו קשורות חומצות שומן ואילו לכוהל השלישי מחוברת חומצה זרחנית. החומצה הזרחנית מאפשרת למולקולה להיות מסיסה במים ומאידך, החומצות השומניות עוזרות לה להתמוסס בשומן. הלציטין משמש כחומר מרחיף שומנים בתמיסות מימיות (כגון ממיס שומן בתחליפי חלב). הוא גם חומר טעים מאוד ומגרה תיאבון. משום כך הוא מוסף בין השאר גם לשוקולד. לִיפּוֹפּוֹרֵטֵאִינִים (שומנים הקשורים לחלבון): אלו הן תרכובות המצויות לדוגמה בדם. הן בנויות מחלבון מסיס בנוזלי הדם ומשומן שאינו מסיס כדוגמת כולסטרול או פוספוליפיד. מולקולת הליפופורטאין מאפשרת למעשה לנייד דרך הדם רכיבים שומניים ממקום למקום בגוף. תרכובות מעין אלה מצויות גם בתוך תאי הגוף ואף בתאי צמחים.

ב. תרכובות שאינן גליצרידים כגון כולסטרול, סטרואידים וקרֶוֶטֶנוֹאִידִים. גם תרכובות אלו אינן מסיסות במים אלא בממיסים אורגניים.

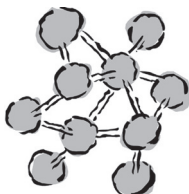
קלקול שומנים ודרכים למניעתו

בעוד שפחמימות וחלבונים נשמרים ביובש, שומנים החשופים לאוויר עלולים ל"התקלקל" ולהתעפש. בשלב הראשון של תהליך זה נתקפים ומפורקים הקשרים האסטרניים שבשומנים על ידי חיידקים או עובשים. כתוצאה מכך ניתק הקשר בין הגליצרין לבין חומצות השומן הארוכות. האחרונות פוגמות בטעם ובריח של מזון המכיל שומנים, אך אינן מזיקות לבריאות.

חמור יותר הוא קלקול הנגרם על ידי חמצון קשרים כפולים בחומצות שומן בלתי רוויות. קלקול זה נובע משחרור תרכובות מחמצנות כהידרו־פֶּרֶאֶוֹקְסִידים, העלולות להפוך בסופו של תהליך החמצון לחומצות. נוכחותן של תרכובות מחמצנות אלו במזון או בגוף (לאחר ספיגתו) עלולה לגרום לחמצון ויטמינים חשובים המסיסים בשומן ובמיוחד לחמצון ויטמין A ונגזרות שלו. כדי למנוע מצב זה, מוסיפים למזון או לשומן תרכובות מונעות חמצון (Anti-oxidant). מרבית השמנים הצמחיים שלא זוקקו באופן קיצוני מכילים אנטיאוקסידנטים טבעיים, הידוע שביניהם הוא ויטמין E, המפרק את הרכיב המזיק שבפראוקסיד, שעיקרו אטום חמצן מעורער. גם תרכובות כימיות אחרות משמשות כאנטיאוקסידנטים יעילים. תרכובות אלו המוספות במנה מתחמצנות בגוף במקום מולקולות ביולוגיות חשובות. ידועים מביניהם בשמותיהם המסחריים בוטילן הידרקסי טולואן (Butylane hydroxy toluene) או סנטוקין (Santoquin).

עיבוד שומנים

בשוק המזונות של חיות משק מוצעים מספר מוצרים עתירי אנרגיה ממקור שומני המשמשים להעשרת המנה באנרגיה. מקורם של שומנים אלה הוא בשומן בעלי חיים הנאסף בבתי מטבחיים או שמנים ממקור צמחי. העשרת מנת מעלי גירה בשומן עלולה לפגוע בפעילות בקטריאלית בכרס, במטרה לצמצם נזק זה פותחו תהליכים תעשייתיים לעיבוד השומן. אחד המוצרים קרוי "פניני שומן", השומן בצורה זו מתמוסס ולכן פגיעתו במק"א פחותה יחסית. בתהליך אחר מייצרים "שומן מוגן" אשר למעשה אינו אלא מלחי סידן של חומצות שומן שנוצרו לאחר שהחומצות הופרדו משלד הגליצרול. יתרונו של ה"שומן המוגן", בנוסף להיותו עתיר אנרגיה בהשוואה לפחמימות או לחלבונים, הוא בכך שאינו מתמוסס בכרס ולכן אינו מפריע לפעילות המק"א.



מינרלים



המינרלים הם חומרים כימיים שמקורם אינו מהחי או מהצומח. המינרלים מעורבים בין השאר בבניין השלד ובשמירה על לחץ אוסמוטי בדם ובנוזלי גוף אחרים. כמו כן, הם משמשים מרכיבים של מולקולות פעילות כגון יוד בהורמון טירוקסין (T3) המפקח על חילוף החומרים בגוף, ברזל במולקולת ההמוגלובין וקובלט בוויטמין B12.

מבחינה כמותית המינרלים נחלקים לשתי קבוצות ראשיות:
יסודות גודש (מאקרו־אלמנטים) – אלה מצויים בגוף בכמות רבה יחסית כמו: סידן, זרחן, מגנזיום, נתרן, כלור, אשלגן וגפרית.
יסודות קורט (מיקרו־אלמנטים) – אלה מצויים בגוף בכמות נמוכה. הידועים בהם: ברזל, אבץ נחושת ויוד. חלק מיסודות הקורט נמצאים בכמויות מזעריות: קובלט, פלואור, סלניום ומנגן.

המינרלים מסופקים לגוף במזון. אולם, יש לזכור כי לא תמיד ריכוז המינרלים במזון מלמד על זמינותם לבעל החיים. ידוע, כי קצב הספיגה של מינרל מסוים במערכת העיכול תלוי לא רק בריכוזו אלא גם בריכוז המינרלים האחרים. זאת, מאחר וקיימת תחרות בין המינרלים השונים על אתרי הספיגה במערכת העיכול. בנוסף, קיימת אפשרות כי תוך כדי יצירת קשרים בין מולקולות המינרלים הם הופכים לבלתי מסיסים ובלתי ניתנים לספיגה בכרס ובמעי.

שלא כמו עודפי החלבון ועודפי החנקן המופרשים בשתן כשתנן, עודפי המינרלים נאגרים לעתים בגוף תוך שהם עלולים להזיק ואף להרעיל. לכן, יש להקפיד הקפדה יתרה על מינון נכון של מינרלים במנה. כדי להבטיח אספקה סדירה של מלח מומלץ לספק למעלי גירה, במיוחד לכבשים ולסוסים, תערובת מינרלים בצורת אבני לקיקה, אותן כורים במחצבי מלח או מכינים בצורה תעשיתית. אם בעלי החיים סבלו ממחסור במלח למשך תקופה ארוכה, יש לחדש את אספקתו בהדרגה כדי להימנע מצריכת יתר שסכנה בצדה.

יסודות גודש (מאקרו־אלמנטים)

רוב הסידן, הזרחן והמגנזיום בגוף מרוכז בעצמות, כאשר היחס ביניהם קרוב ל-2 (סידן) : 1 (זרחן) : 0.05 (מגנזיום). יחד עם מינרלים אחרים כגון נתרן וכלור, מהווים הסידן, הזרחן והמגנזיום בסיס למבנה העצם. תופעת החסר הידועה ביותר של סידן היא

סידן (Ca), זרחן (P)
ומגנזיום (Mg)

ה"רִכְכָּת". מחסור בסידן בגיל הרך, גורם לכשל בבניית העצמות. הן גדלות רכות, צורתן מתעוותת עם הזמן והן שבריות.

מאגרי הסידן, הזרחן והמגנזיום בעצם משמשים גם כעתודה לגוף, והם נגרעים מהעצמות בעת מחסור במינרלים אלה בדם או ברקמות הרכות של הגוף. גריעתם של המינרלים מרקמת העצם מבוקרת בעיקר על ידי פעולת הורמון הפרה-תירואיד המופרש מבלוטה שכנה לבלוטת התריס.

ריכוז מתאים של סידן ומגנזיום ברקמות הרכות ובדם הוא תנאי לפעולה תקינה של קשרי עצב-שריר. מחסור ביסודות אלה – היפוקלצמיה (Hypocalcemia) או "קדחת חלב" במקרה של חסר בסידן) והיפומגנזמיה (Grass tetany) במצב של חסר מגנזיום, גורמים לעוויתות שריר קשות העלולות להסתיים במוות. ריכוז נאות של סידן בדם חשוב בין היתר גם לתהליך קרישת דם, בעוד ריכוז מתאים של מגנזיום נחוץ לפעולה תקינה של אנזימים הקשורים בתהליכי חילוף חומרים ובייצור אנרגיה בגוף.



מחסור בסידן ובמגנזיום עלול להתפתח בשני מצבים: בעת צריכת מזונות דלים במינרלים אלה, או כתוצאה מעלייה תלולה בדרישת הגוף למינרלים אלו, דרישה אשר אינה מלווה באספקה מתאימה במזון. מצב זה מתרחש בכבשים ולדניות לקראת סוף ההיריון – פרק זמן שבו גדילת העוברים מואצת. חסר בסידן או במגנזיום עלול להתרחש גם מיד לאחר ההמלטה בנקבות נחלבות. בראשית התחלובה תנובת החלב עולה באופן תלול ויחד אתה הצורך בסידן ובמגנזיום. צריכת המזון בראשית התחלובה אינה מספקת לעתים את כמות המינרלים הנדרשת. מאחר ובלוטת התירואיד של הפרה אינה משחררת בתקופה זו כמות מספקת של הורמון התירואיד, הדרוש לשחרור מינרלים אלה מהעצם, תיגרם היפומגנזמיה.

לזרחן תפקיד חשוב בתהליכי חמצון בגוף וכן באצירת אנרגיה. חשוב להזכיר כי אטומי זרחן משולבים במבנה ה-DNA – החומר הגנטי. לזרחן תפקיד חשוב בהבטחת פעילות חידקי הכרס. בהיעדר זרחן או כאשר רמתו נמוכה מהנדרש, פירוק פחמימות מסיסות ומבניות במזון, המתבצע על ידי חידקי הכרס פוחת ומכאן, פוחתת גם נעילות המזון בכרס. כתוצאה מכך, מעלה הגירה מאבד תיאבון, דבר הגורר בעקבותיו פגיעה בקצב גדילת העגלים והטלאים וכן לפגיעה בתנובת החלב של נקבות. עד כדי כך חשוב הזרחן לפעילות תקינה של המק"א בכרס, שבלוטות הרוק ממצות את הזרחן מהדם, כך שריכוזו ברוק המופרש לכרס גבוה יותר מאשר במזון או בדם. בעת מחסור בזרחן, כמו למשל במקרה של רעיית פרות או כבשים בשטחי מרעה דלי זרחן, עלולות חיות המרעה לאכול עצמות בעלי חיים שמתו, עץ ואף מתכות כדי להשלים את מחסורן. מחסור בזרחן במנה גורם, כמו במקרה של מחסור בסידן, לרככת. עודף זרחן וחוסר סידן גורמים בסוסים ובעזים להפרעה בגדילת העצמות והן הופכות רחבות, רכות וחלשות.

בתכנון מנות עבור פשוטי קיבה כדוגמת חזירים ובני אדם נשמר היחס 2 סידן : 1 זרחן. המערכת ההורמונלית של מעלי גירה לא נפגעת אפילו במקרה שיחס זה עולה ל-8 סידן : 1 זרחן. עם זאת, יש להיזהר מהכללת עודפי סידן במנה. עודף סידן עלול לעכב ספיגת מינרלים אחרים, אם על ידי תחרות על אתרי ספיגה במעי ואם על ידי העלאת ה-pH במעי לרמה שתגרום להשקעתם של המינרלים כתרכובת לא מסיסה ושאינה נספגת בדופן המעי, כפי שקורה לנחושת.

בתנאי חסר של סידן ו/או זרחן או במקרה של יחס לא נאות ביניהם במנה, עשוי ויטמין D לעזור הן בספיגה אקטיבית של סידן מהמעי והן בצמצום נזקי הרככת.

הזנת סוסים במנה הכוללת סידן בריכוז של עד פי חמישה מהדרוש אינה מזיקה, בתנאי שנשמר היחס סידן:זרחן. זאת, כדי לא לפגוע בספיגת זרחן. מתן עודפי זרחן במנת סוסים במשך תקופה ממושכת, כמו בעת הכללת הרבה מזון מרוכז במנה, מתבטא בהארכת עצמות הגולגולת ומביא לתסמונת ה"ראש גדול", כפי שמקובל לתאר זאת אצל מגדלי הסוסים.

זמינות: הסידן והמגנזיום מצויים במזונות גסים בשפע יחסי הן בעלווה והן בגבעולים. ריכוזם תלוי בסוג הצמח ובהרכב הקרקע בה גדל הצמח. ריכוז הסידן בחומר יבש בשחת קטנית מגיע לממוצע של כ-1.5% בבקיה, ול-1.9% באספסת או באפונה. כאשר צמחים אלה גדלים בקרקעות סידניות, הריכוזים בחומר היבש אף עולים על אלה שהוזכרו. ריכוז סידן ומגנזיום בשחת דגן הוא כמחצית מאשר בקטנית, ובתחמיצי דגן ריכוז מינרלים אלה נמוך אף יותר ועומד על כ-0.25% עד 0.35%. ריכוזו של הסידן במזונות מרוכזים נמוך במיוחד. לכן, בעת הזנה במזונות אלה יש להקפיד על הוספתו למנה בצורה מלאכותית. נוכחות בתחמיצים של גרעינים, בהם ריכוז המינרלים נמוך יחסית, מורידה מאוד את ריכוז הסידן בתחמיצים.



ריכוז המגנזיום במזונות שהוזכרו הוא כעשירית עד כחמישית מזה של הסידן, והשינוי בריכוזו בין המזונות השונים מקביל לזה של הסידן. ריכוז הזרחן הוא כ-0.16% בתחמיץ חיטה, כ-0.24% עד 0.29% בתחמיץ תירס, בשחתות קטניות ודגן. בשחת שיבולת שועל ריכוז המגנזיום נמוך יותר ועומד על 0.12% עד 0.15%.

הזרחן מצוי במזונות גסים בעיקר בעלווה. אובדן עלים בעת הכנת תחמיץ או בעת הכנת שחת פירושו הפסד ניכר בין היתר של חלבון צמחי ושל זרחן. שלא כסידן, מצוי הזרחן בשפע במזונות מרוכזים כגרעיני דגן, סובין וכוספאות למיניהן. לעתים, יש להקפיד על ריכוז הזרחן במנה, כמו במקרה של מנת טלאים. אצל אלה עלולות להתפתח אבנים בכליות עקב עודפי

זרחן במנה. יש לזכור, כי חלק מהזרחן ומהסידן בצמחים (במיוחד בגרעיני דגן) מצוי בקשר חזק עם "חומצה פִּיתִית" (Phytic acid) וזמינותם נמוכה עבור מעלי גירה יונקים המקבלים תוספת מזון מוצק בעת צריכת תחליף חלב. בבוגרים, המק"א בכרס מפרקים את החומצה הפיתית ביעילות, והופכים את הזרחן ואת הסידן זמינים לעיכול.

זמינות הזרחן והסידן עבור מעלי גירה במזונות מהצומח נעה בין 10% ל-60% ותלויה במקורם וביחס שביניהם. אם מקור הסידן והזרחן בעלווה, בכוספאות או כמו גם במקרה של זרחן בגרעיני דגן, זמינותם בתחום הגבוה שצוין, ואף יותר. לעומת זאת, בקמחי בעלי חיים שאינם מעובדים היטב או ברקמות תמיכה צמחיות, זמינות הזרחן והסידן פחותה יחסית. זמינותם של זרחן וסידן בתרכיזים מסחריים כגון זרחה דו-סידנית נקיה מפלואור (DCP) עשויה להגיע עד 90%. סוסים יספגו ממזון סטנדרטי 55% עד 75% מהסידן ו-35% עד 55% מהזרחן. בסוסות מיניקות ספיגה של שני היסודות עולה בכ-5% עד 15%.



שני הקטיוֹנִים (יונים בעלי מטען חיובי): נתרן (סודיום) ואשלגן ואַנִיּוֹן (יון בעל מטען שלילי) הכלור הנידונים כאן יחד, חשובים לשמירה על הלחץ האוסמוטי ועל ה-pH בכל נוזלי הגוף, ובמיוחד בדם. כמחצית מכמות הנתרן שבגוף מצויה בנוזליו, ומחציתו האחרת

נתרן (Na), אשלגן (K) וכלור (Cl)

קשורה ברקמת העצם. מרבית האשלגן מצוי בתוך התאים ובכדוריות הדם בעוד הכלור מצוי רק בנוזלי הגוף.

הנתרן שבפלזמה משמש לקשירת דו-תחמוצת הפחמן הנוצרת בתהליך הנשימה, ומונע את הפיכתה לחומצה פחמנית המביאה להחמצת הדם, מצב שעלול לגרום נזק לבעל החיים. הדבר נעשה על ידי קשירת הפחמן הדו-חמצני והפיכתו לסודיום בִּי־קרבונאט (סודה לשתייה). לכלור תפקיד בהחמצת תוכן הקיבה מאחר והוא אחד המרכיבים של חומצה מלחית (HCl) המופרשת בכרס. החומצה המלחית דרושה להפעלת האנזים פפסין, המעורב בתהליך עיכול החלבון.

הנתרן מופרש למעיים כסודיום בִּי־קרבונאט (CaCO_3) שם הוא סותר את חומצת המלח המגיעה עם המַעֲכָל מהקיבה. פעולה זו מעלה את ה-pH בתריסריון, ומאפשרת לאנזימי העיכול הפועלים בסביבה בסיסית להמשיך בפעולת העיכול.

סוסים הנמצאים במשטר אימונים או סוסים עובדים, מזיעים יותר מאשר סוסים במנוחה ולכן נזקקים ליותר מלח באופן יחסי. מחסור במלח בסוסים יגרום לחוסר תיאבון, לירידה בגדילה ולצמיחת שער גס. עודפי מלח במנה יגרמו לשתייה ולהשתנה מרובים, להפרעות עיכול, לעוויתות ואף למוות.

זמינות: האשלגן נפוץ מאוד ברקמות צמחיות, בעלווה ובמיוחד ברקמות תמיכה. למעשה, אין מחסור בו במנת המזון. סילוק עודפים גדולים שלו מהגוף מתבצע תוך הפרשה בשתן בתהליך המבוקר על ידי ההורמון אֶלְדוֹסְטֶרֶן. ריכוז הנתרן והכלור, כמלח (NaCl), במזונות הטבעיים קרוב למדי לספק את צורכי מעלי הגירה וסוסים, ורק בתקופה של יצרנות אינטנסיבית יש להוסיף מלח למנה. עודפים קטנים ממנו אינם מזיקים, אך יש להיזהר מעודפים גדולים. ככלל, עודפים גדולים של נתרן, של אשלגן ושל זרחן עלולים לפגוע בספיגת מגנזיום.



זו מצויה בגוף בתרכובות רבות, אך עיקרה משולב בחומצות אמינו מתיונין, ציסטין וציסטאין. הגופרית מצויה הן ברקמות הרכות (שריר דם וכד') והן ברקמות מגן (שער, צמר, טלפיים וכד').

גופרית (S)

הגופרית מצויה גם בהורמונים כגון אינסולין או בתרכובות גופרה-סוכר המרכיבות חלק מהסחוס.

מעלה גירה מקבל את הגופרית בתרכובות אורגניות, אך עשוי לקבלה גם כיסוד אי-אורגני במנה. גופרית, אי-אורגנית תנוצל על ידי המק"א שבכרס לייצור של חומצות האמינו שהוזכרו קודם לכן לבניין גופם. בכל מקרה בו ניתן למעלי גירה שתנן כתחליף לחלבון, תוך מטרה שהמק"א יפרקוהו לאמוניה ויבנו ממנו את חלבון גופם, יש לוודא כי יחד עם כל יחידה אחת של גופרית יינתנו 16 יחידות של חנקן. יחס זה הוא היחס הדרוש לייצור חומצות האמינו.

זמינות: זמינות הגופרית במזונות מהצומח טובה למדי, בנוסף, הגופרית זמינה גם במזונות שמקורם מהחי. בעוד שזמינותה במזונות שמקורם ברקמות הרכות של בעלי חיים טובה, הניצולת שלה מחלבון נוצות, למשל, גרועה עד אפסית, אלא אם מטפלים בנוצות בקיטור בלחץ גבוה.

יסודות קורט (מיקרו־אלמנטים)

הברזל הוא הידוע והנפוץ מבין המיקרו־אלמנטים בגוף. חלק הארי של אטומי הברזל מקובע במרכז מולקולות ההמוגלובין האצורות בכדוריות האדומות. החמצן הנספג דרך הריאות נקשר לאטומי

ברזל (Fe)

הברזל שבהמוגלובין ומובל לרקמות. כאשר כדוריות הדם האדומות הזקנות מפורקות בטחול או במח העצמות ההמוגלובין מופרש כפסולת, אך הברזל נאגר הן בטחול והן במח העצמות, לשימוש חוזר. בנוסף להיותו מרכיב במולקולת ההמוגלובין, הברזל מצוי גם כקבוצה פעילה בהרבה אנזימים הקשורים בתהליכי חמצון-חיזור והמצויים בנוזלי הגוף.

זמינות: הברזל נפוץ ביותר בכל חלקי הצמח וזמינותו של הברזל חופשי למעלי גירה טובה. לעומת זאת, בדומה לזרחן, זמינותו של ברזל הקשור לפיטאט בזרעים או בקמחי דם פחותה יחסית. הברזל נאגר בכבד העופר במהלך ההיריון ומשמש את הוולד במהלך תקופת היניקה. מצב זה מחפה על ריכוז זעום של ברזל בחלב.

יש לוודא כי הברזל מצוי בכמות מספיקה בתחליף החלב לעגלים רגילים. עם זאת, יש להגביל את כמותו בתחליף חלב לעגלים המגודלים לצורכי ייצור בשר לבן כדי שבשרם לא יאדים (הברזל מקנה לשריר את צבעו האדום). עודפי ברזל גדולים יפגעו בספיגת יסודות אחרים.

כמות הברזל במזונות המקובלים הניתנים לסייחים ולסוסים בוגרים עונה על צורכיהם ואין צורך להוסיף ברזל למנה. בעיות בספיגת ברזל נוצרות כאשר קיימת נגיעות גבוהה בטפילי מערכת העיכול. מחסור בברזל גורם לאנמיה בכל בעלי החיים.



כמותו של הקובלט בגוף דומה לזו של הברזל. הקובלט מצוי במרכז המולקולה של ויטמין B12. מולקולה זו דומה במבנה למולקולת ההם (Heam), שהוא המרכיב הבסיסי של המוגלובין. ויטמין B12

קובלט (Co)

מיוצר בכמות רבה בכרס על ידי המק"א. מכיוון שוויטמין B12 אינו מצוי כלל במזונות מן הצומח, ואילו מעלה הגירה זקוק לוויטמין זה ככל בעל חיים אחר, יובן הצורך להקפיד על הימצאות קובלט בכמויות מתאימות במנה. במצב של מחסור בקובלט, תיעצר יצירת ויטמין B12 בכרס ומעלה הגירה יסבול מפיגור בגדילה, מחוסר תיאבון, מאנמיה (B12 חשוב ליצירת המוגלובין), מחוסר פוריות, מירידה בתנובת חלב ומפיגור בייצור צמר. חוסר בקובלט עלול לגרום למות בעל החיים.

זמינות: מזון גס המכיל קטנית כגון אספסת, תלתן או בקיה אשר גדלו באדמות המכילות קובלט בריכוז ממוצע, עשוי להכיל על בסיס חומר יבש פי שניים עד פי שלושה יותר קובלט מאשר מזון גס דגני כדוגמת שחת או תחמיץ עשויים משעורה, מחיטה, מתירס או מסורגום. גרעיני דגן יכולו יותר קובלט מאשר העלים והגבעולים. תכולת הקובלט בכוספאות תלויה בצורת מיצוי השמן מהן, ויש לבחון את תכולתה בלוחות המזון בעת הרכבת המנה.

ככלל, צורכי סוסים בקובלט נמוכים ביותר עד כי הם יכולים להתקיים על מרעה דל בקובלט, מרעה אשר גידול מעלי גירה עליו יביא למותם.

כיוון שעל אף חשיבותו לקיום, צריכת הקובלט זעומה, קשה מאוד לקבוע את זמינותו. דרך טובה לבחינת אספקת קובלט לבעלי חיים תהיה קביעת ריכוזי ויטמין B12 בדמם או בצואתם.

הנחושת מעורבת בייצור ההמוגלובין, מהווה מרכיב חשוב באנזימי חמצון של תרכובות שונות וכן, חשובה עבור פעילות אנזימים הקשורים בייצור קולגן ואֵלֶסְטִין, שהם מרכיבים חשובים בחלבוני

העצם ובחלבוני רקמות חיבור. נחושת קשורה גם במערכת ייצור המיאלין אשר מגן על שלוחות תאי העצב. מחסור בנחושת יגרום, אפוא, למגוון תופעות חסר וביניהן: אנמיה, פגיעה בפעילות המוח ובתפקוד העצבים, חוסר בתיאום בין המוח לבין השרירים הרצוניים ולפגיעה בפיגמנטים ובצבע השער של מעלי גירה (גורם לצמר לבן בכבשים ושער לבן בבקר). מחסור בנחושת עלול לגרום גם להיעדר פוריות, לפיגור בגדילה ולחולשה של המערכת החיסונית. שיעור ספיגת הנחושת מהמנה נע בין 1% ל-30%, והוא תלוי במספר רב של גורמים. סוסים רגישים פחות ממעלי גירה לעודפי נחושת, אך מחסור בו יתבטא בשפכי דם פנימיים, במיוחד בסוסות בוגרות אשר בהן כושר ספיגת הנחושת פוחת.

מצב של עודף נחושת הוא בעייתי מאוד במעלי גירה. הדבר נכון במיוחד בכבשים, בהן הזנה לא נכונה עלולה לגרום להרעלת נחושת ולתמותה. יש לציין כי הגבול בין חסר לבין עודף בנחושת הוא דק מאוד.

זמינות: באדמת ארצנו אין מחסור בנחושת ככתוב בתנ"ך: "ארץ אשר אבניה ברזל ומהרריה תחצוב נחושת" (דברים, ח' פסוק 9). מכיוון שכך, נחושת מצויה בכמות מספקת במזונות גסים ובמזונות מרוכזים המיוצרים בארץ.

הבעיה בהזנת מעלי גירה בארץ אינה מחסור בנחושת אלא עודפי נחושת, במיוחד בצאן הרגיש פי חמישה עד פי עשרה לעודפי נחושת מאשר הבקר. גזעי צאן שונים נבדלים ברגישותם לעודפי נחושת: בעוד גזע האוּוּסִי נחשב לעמיד, הרי גזע האסֶף נחשב לרגיש.

זמינות הנחושת עבור מעלי גירה תלויה בעיקר בריכוז המוליבדן והגופרית במנה. זאת, מאחר ובמהלך התסיסה בכרס נוצרת תרכובת מוליבדאט-גופריתי (תיו-מוליבדאט), הקושרת את הנחושת לתרכובת תיו-מוליבדאט. תרכובת זו אינו מסיס, אף לא אחד מרכיביו נספג במעי וכולו מופרש בצואה. גם עודפי ברזל, ובמידת מה גם עודפי אבץ, נקשרים לנחושת והופכים אותה לבלתי ניתנת לספיגה. מומלץ, כי יחס נחושת למוליבדן במנה (במיוחד בצאן) יהיה בתחום 5 עד 6 חלקים נחושת ליחידה אחת של מוליבדן. עליית ריכוז המוליבדן במנה עד ל-5 חלקים למיליון (5 מ"ג לק"ג חומר יבש) תפחית את זמינות הנחושת עד לאפס. עליית ריכוז המוליבדן מעבר לכך לא תזיק אלא תעלה דווקא את זמינות הנחושת בגלל ההפרעה שתיווצר לייצור תרכובת הגופרית סולפיד הדרושה ליצירת תרכובת תיו-מוליבדאט הבלתי מסיס.

הרעלת נחושת: עודפי נחושת בגוף יכולים להיאגר עד גבול מסוים בכבד. כאשר ריכוז הנחושת בכבד מתקרב לגבול כושר האגירה, מתחיל שחרור בלתי מבוקר שלה לדם. עקב כך, ריכוזה בדם עולה, מצב הגורם לפירוק (המוליזה) של הכדוריות האדומות. ההמוגלובין מהכדוריות האדומות משתחרר לפלסמה תוך שהוא צובע את הרקמות בצבע צהוב, במיוחד את קרנית העין, תופעה הניתנת לאבחון בקלות. אם בשלב זה מתגלה ההרעלה בנחושת, ניתן לטפל ולהציל את בעלי החיים הפגועים על ידי מתן מינון גבוה של אמוניום מוליבדאט במנה למשך מספר שבועות.

פעולה זו עשויה לבלום כליל את ספיגת הנחושת, ואף לגרום לגריעה של עודפי נחושת מהכבד. הוספת די-פניציל-אמין למנה תזרז אף היא את גריעת עודפי הנחושת מהכבד.

הריכוזים הקטלניים של נחושת בכבד אינם נוצרים באופן שווה אצל כל הפרטים בעדר, אם מחמת שונות בצריכת מזון בין כבשים ואם מחמת שונות גנטית ביכולת לאגור נחושת בכבד. כשל בגילוי מצב של הרעלת נחושת בשלב המוקדם שלה ועלייה נוספת בריכוזי נחושת בכבד כתוצאה מהזנה לקויה, יגרום לנמק של הכבד, לשחרור רב של נחושת לדם, ולבסוף, למות בעלי החיים. מאידך, מינון גבוה של מוליבדן לזמן ממושך מדי, יגרום לחסר בנחושת על כל המשתמע מכך, כפי שכבר תואר.

רגישותם של בקר וסוסים לעודפי נחושת קטנה פי כמה מזו של כבשים ובמידה וקיימת בעיה הקשורה אצלם באספקת נחושת, הרי המדובר במחסור בה.



יסוד מתכתי זה מהווה חלק מאנזים קסנתין-אוקסידאז המשמש לייצור חומצת שתן בעופות. המוליבדן מזרז במעלי גירה את פעולת האנזימים מפרקי התאית בכרס. מכאן, השפעתו על יעילות

מוליבדן (Mo)

עיכול מזון גס על ידי המק"א בכרס מעלי הגירה.

זמינות: מוליבדן דרוש בכמות זעומה וכמותו במזונות בדרך כלל מספקת. עודפים של מוליבדן גורמים בעיות בספיגת נחושת והוספתו ביתר למנה (כמו בעת החשש להרעלת נחושת בצאן) עלולה להביא לחסר בנחושת.

בשנים האחרונות נמצא כי תוספת כמות קטנה של סלניום במזון משפרת באופן מובהק את ביצועי הפוריות במעלי גירה. כמו כן, הוכח כי מחסור בסלניום פוגע בספיגה במעיים של ויטמין E

סלניום (Se)

המשמש כחומר מונע חמצון. חסר מתמשך בסלניום עלול לפגוע במערכות אנזימים הקשורות בפיתוח שרירים תוך גרימה לניוון בשרירי הלב ובשרירי השלד. חוסר סלניום מביא למחלה מטבולית הידועה בשם "מחלת השריר הלבן" היות ובבדיקה שלאחר המוות מתגלים פסים לבנים בשריר. מחסור בסלניום מביא גם בסוסים לניוון שרירים ולשפכי דם פנימיים. הסימן החיצוני של חסר בסלניום במעלי גירה ובסוסים הוא קשיחות שרירים בעמידה ובהליכה.

בהיות הסלניום חלק ממערכת אנזימים ההורסת פראוקסידים (תרכובות מחמצנות הנוצרות בגוף ופוגעות בשומנים לא רוויים) נוכחותו חוסכת בדרישה לוויטמין E. תכונה זו מייחדת את הסלניום משאר המתכות. במרעה דל-סלניום נוטים בעלי החיים להגביר את צריכת המזון כדי להשלים את הכמות הנדרשת מיסוד זה.

עודפי סלניום גורמים בעיות קשות במעלי גירה ובסוסים. מאחר והסלניום נמנה עם משפחת

היסודות של החמצן והגופרית, עלולים המק"א בכרס להשתמש בו במקום בגופרית בייצור חומצות אמינו הכלולות בדרך כלל גופרית. כיוון שהתרכובות אינן מוכרות בגוף בעל החיים אין להן שימוש בגופו. במעלי גירה ובסוסים הדבר משפיע במיוחד על הרקמות המכילות כמות רבה יחסית של חומצות אמינו המכילות גופרית: עודפי סלניום גורמים לנשירת שערות או צמר, להתפוררות טלפיים וקרניים ובמקרים קיצוניים גם להתפוררות פרסות וכן לעיוורון. הסלניום נאגר בכבד וברקמות אך מופרש במהירות גבוהה יחסית לאחר גריעתו מהמנה. תוספת למנה של חומצה אַרְסֵנִילִית מזרזת גריעת עודפי סלניום.

זמינות: בצמחים, סלניום מצוי בתרכובות אורגניות כגון חומצות אמינו (סלנו-מתיונין או סלנו-ציסטיין) או כמלח אי-אורגני כסלניט (SO_3) או כסלנאט (SO_4). ריכוז הסלניום במזונות בארץ הוא ברמה העשויה לספק את צורכי מעלי גירה וסוסים. בקרקעות עמק החולה יש ריכוזים גבוהים במיוחד של סלניום ובעקבות כך, גם בצמחים הצומחים באזור זה.



מנגן (Mn)

אטום מנגן כלול במבנה מספר ניכר של אנזימים הפועלים במערכות חמצון בגוף. המנגן נחוץ גם לבניין העצם. מחסור במנגן מתבטא בפיגור בגדילה, בעיוותים בשלד ובחוסר שליטה על פעילות השרירים. הפוריות בכבשים ובעזים גם היא נפגעת עקב חסר במנגן. בקר רגיש פחות לחסר במנגן מאשר צאן ופוריותו נפגעת דווקא מעודפי מנגן. אין מידע רב באשר לצורכי מנגן בסוסים. בעת צריכה גבוהה של ברזל וסידן, יסודות אלקליים (בסיסים) מתחרים, יש להעלות גם את מינון המנגן במנה.

זמינות: המנגן מצוי בדרך כלל בכמות נאותה במרבית המזונות וזמינותו טובה. עם זאת, נהוג להוסיף כמות קטנה ממנו בתרכיזי המינרלים המוספים למזונות מעלי הגירה.

יוד (I)

יוד הנו היסוד היחיד שקשירתו לתרכובת אורגנית, חומצת האמינו טירוזין, הופכת את התרכובת להורמון – טירוקסין. לטירוקסין חשיבות רבה בבקרה על ייצור אנזימים והורמונים, הידוע מביניהם הוא האינסולין. ייצור הטירוקסין נעשה בבלוטת התריס (התימוס) אשר באזור הצוואר, משם הוא מוסע בזרם הדם לכל הגוף. חוסר ביוז יגרום להגדלת הבלוטה, עקב הגדלת נפח הדם העובר בבלוטת התריס. מצב זה מאפשר לבלוטה לספוג את כמות היוד הדרושה מהדם גם כאשר ריכוזו נמוך. חוסר בטירוקסין גורם לחולשה כללית, לתפקוד לקוי של מערכות אנזימטיות רבות ולִיצָרָנוֹת נמוכה של בעלי החיים. עודף יוד גורם להגברת ייצור טירוקסין, המוליך לחילוף חומרים מהיר, שאינו תמיד רצוי, מאחר והדבר מביא להקטנת נצילות המזון

ולחמצון מוגבר שלו (מחלת באַזידוֹף). עודפים גדולים של יוד עוברים למוצרים המופקים מן החי כגון חלב וביצים. בעבר השתמשו תזונאי בעלי החיים בתכונה זו של היסוד כדי להעשיר בIOD את מזון האדם. בסוסות יגרום מחסור בIOD לשיבוש במחזור הפוריות ולהולדת סייחים חלשים.

זמינות: במזונות בארץ יש בדרך כלל די יוד, במיוחד כאשר מוסיפים מלחים למנה. חשוב להזכיר כי עודפי סידן גדולים מעכבים ספיגת יוד. כמו כן, מצויים צמחים המכילים תרכובות SH, ההופכות את היוד ליוֹדִיד ואינן מאפשרות לו להתקשר לטירוזין וליצור את הורמון הטירוקסין. בכך פוגעים עודפי סידן בחילוף החומרים של בעל החיים וביצרנותו.



האבץ מהווה מרכיב במספר רב של מולקולות אנזימטיות בגוף. הוא קשור בפעולת האינסולין ומצוי בריכוז גבוה באישון ובקרנית העין. עודפים גדולים של אבץ גורמים לאנמיה, כיוון שהאבץ מתחרה בנחושת וחסרונה של האחרונה גורם לאנמיה. כמו כן, גורמים עודפי אבץ לירידה בצריכת מזון ולפיגור בגדילה. סימנים נוספים לעודף אבץ הם: תקופות של הפרשת רוק מרובה, פֶּאָה־קֶרְטוֹזִיס (הופעת קשקשי עור), נשירת צמר בצאן, פיגור בפיתוח אשכים, ייצור זרע פגום ופגיעה בפוריות אצל נקבות. בעשור האחרון הצטברו עדויות כי מחסור באבץ גורם גם לפגיעות, לסדקים, לדלקות ולריקבון בטלפיים של בקר. כל אלה גורמים לצליעה קשה של בעלי החיים.

אבץ (Zn)

זמינות: באופן מעשי אין מחסור באבץ במזונות הרגילים, וזמינותו טובה. יש הטוענים כי תוספת אבץ מעל למינון המקובל עשוי לצמצם תופעות של מחלות טלפיים בבקר, בייחוד אצל בקר המוחזק בתנאי ממשק גרועים כגון רטיבות או הזנחה בטילוף. בסוסים ובסייחים גדלים, גורם מחסור באבץ לפצעים בעור ולהתקרחות בקצות הטלפיים והזנב. עודף גדול של אבץ במזון סוסים גורם לגדילת יתר של קצות העצמות. כתוצאה מכך נגרמת התקשחות בגוף וצליעה.

מינון נכון של פלואור תורם לחיזוק מבנה העצמות ולעמידות של ציפי האמייל שבשיניים בפני חומצות. בבקר לחלב, רק חלק זעום, אם בכלל, של הפלואור הנאכל עובר לחלב. במידה וקימת צריכת יתר של פלואור, מופרש רוב הפלואור העודף בשתן. החלק שנותר נצבר בעצמות. עודפים אלה עלולים בסופו של דבר, לאחר שנים, להפוך לרעילים. בהרעלה הנגרמת מעודפי פלואור נפגעות העצמות והשיניים. עודפי פלואור אצל מעלי גירה מפחיתים את התיאבון, ובעקבות כך נפגעים ביצועי הגדילה, הפוריות ותנובת החלב. אם כי סוסים רגישים פחות מבקר לעודפי פלואור, הרי גם אצלם עודפים גדולים של פלואור במזון יגרמו לפגיעה בלובן השיניים, לפגמים בעצמות ולצליעה.

פלואור (F)

מאחר והפוספאטים בארץ מכילים פלואור בכמויות רעילות אסור להשתמש בהאבסת בעלי חיים בפוספאטים המיועדים לדישון. שימוש בפוספטים כתוסף למזונות בעלי חיים מחייב טפל בהם בתהליך מיוחד להרחקת הפלואור.

זמינות: אין מחסור בפלואור במזונות לבעלי חיים בארץ. אולם, יש רק להיזהר מעודפים בו. נוכחות רמות עודפות של סידן, של מלח ואף של חמרן (אלומיניום) במנה מצמצמת את הסכנה של הרעלה מעודפי פלואור.

למעשה, מתכת זו אינה דרושה כלל עבור בעלי חיים. העופרת מגיעה למנת בעלי החיים מזיהום הצמחייה ממנה נוצר המזון. העופרת מצויה בגזים הנוצרים משַרַפת דלק של מכוניות. בין 3%

עופרת (Pb)

ל-10% מהעופרת הנצרכת נספגים בגוף אצל מעלה גירה בוגר. ידוע, כי ספיגה רבה של עופרת מהמזון גורמת להרעלה, ובעלי חיים צעירים רגישים לה יותר מבעלי חיים בוגרים. למרבה הדאגה, חלק נכבד מהעופרת הנספגת מהמזון עובר לחלב, או מוטמע בעצמות ומשוחרר מהן בקצב איטי. הרעלת עופרת מתבטאת בפגיעה בחילוף החומרים בגוף. אצל בני־אדם, הרעלת עופרת כרונית פוגעת בכשירות הקוגניטיבית (התודעתית), אך לא ידוע על פגיעה כזו בבקר. בהרעלת עופרת חריפה נפגעת פעילות העצבים תוך שהדבר עלול להביא לעיוורון, לעצבנות ולפגיעה בהעלאת הגירה בחיות משק. הרעלת עופרת עלולה לגרום לכאבי מעיים, להפלות ואף למוות. הרעלת עופרת בסוסים תגרום לשיתוק חלקי של בית הבליעה, שיתוק השפתיים, כאבי מעיים, לקוליק – קיפול ועיוות מעיים המביא לסתימתם, לשלשול ואף למוות.

הבטחת זמינות מינרלים במזון

התחרות בין יסודות מתכתיים על אתרי ספיגה במערכת העיכול, וכן כושרם של מינרלים לפגוע בספיגה של מינרלים אחרים מהמַעֲכָל על ידי הפיכתם לבלתי מסיסים, עלולה להביא לסכנה. סכנה זו נובעת מכך שבמצבים מסוימים יסבלו מעלי הגירה ממחסור ביסודות קורט אפילו אם הם מצויים בריכוז מתאים במנה. לפתרון הבעיה פותחה שיטה כימית לקשירת היסוד הרגיש לתרכובת נוספת המותירה אותו מסיס במעכל הכרס כמעט בכל מצב ומאפשרת פריקותו על ידי חומצה מלחית, סודה ביי־קרבונאט וכן אנזימי עיכול בקיבה האמיתית ובמע. התהליך הכימי הנדון נקרא קשר פְּלָאֵטִי (Chelaet), ולמוצר קוראים יסוד פְּלָאֵטִי (Chelated mineral). התרכובת הקושרת את יסוד הקורט עשויה להיות שונה עבור יסודות שונים. דוגמה ליישום פְּלָאֵטִיזציה בחיי יום יום היא התרכובת (Ethylen Di Amine Tetra Acetate), EDTA, המוספת (בחלק מהמקרים) למי קירור של רדיאטורים במנועים. זו קושרת את הסידן לפלאט מסיס ובכך נמנעת סתימת הרדיאטורים. EDTA רעיל לבעלי חיים מאחר והוא קושר סידן. עבור בעלי חיים פותח כלאט אחר, קְלֶצִיוֹם גְּלוֹקוֹנָאט (Ca-Gluconate), שאפשר

לבצע עירוי שלו ישירות לדם במקרה של חוסר בסידן (היפוקלצמיה) או במקרה של מחלת קטוזיס.

כלאט אחר הוא צין-פרו (Zin-Pro) שהוא כלאט של אבץ הקשור לחלבון או לחומצת האמינו מתיונין. זה ניתן לפעמים כתוספת שמטרתה לצמצם בעיות בריקבון טלפיים. מחמת מחירם הגבוה של הפלאטים יחסית ליסודות בתרכובות רגילות, אין הצדקה כלכלית להוספתם למנה. מכאן, ישנה חשיבות כלכלית לדאוג למינון נכון של היסודות בתרכובות סטנדרטיות.

תוספות של מינרלים מסחריים למנה

לעתים, לא ניתן לענות על מחסור במינרל מסוים במנה על ידי שינוי תכולת המזונות בה. במקרה זה מוסיפים למנה מוצרים תעשייתיים המכילים את המינרלים החסרים. המקרה הידוע ביותר הוא הוספת זרחה דו-סידנית נטולת פלואור במטרה לספק זרחן זמין למעלי גירה. נפוץ גם השימוש בסודיום בי-קרבוונאט (סודה לשתייה) אשר מוסף למנה במטרה להעלות ולווסת את ה-pH בכרס מעלי גירה. במקרה של שימוש בסודיום בי-קרבוונט מומלץ גם להוסיף תחמוצת מגנזיום (MgO) וזאת משתי סיבות:

- א. תחמוצת המגנזיום יוצרת סביבה בסיסית מתונה המוסיפה לאפקט הבופר של הסודיום בי-קרבוונט;
- ב. גודש הנתרן שהוסף, היוצר סביבה בסיסית בנוזלי הכרס, עלול לפגוע בספיגת המגנזיום.

גם נתרן כלורי (מלח בישול) הוא אחד המינרלים שמשתמשים בו בהזנת מעלי גירה, אך הוא מוסף רק במקרים של חשש למחסור בו.

בעת הכללת שתנן כמחליף חלבון במנת מעלי גירה חייבים להכליל גופרית תוך שמירה על יחס של 16 יחידות חנקן ליחידה אחת של גופרית. זאת, כדי לספק למק"א שבכרס את הגופרית הדרושה להם לייצור מתיונין וציסטיין-ציסטאין (חומצות אמינו המכילות גופרית). הגופרית מוספת למנה, אם כמלח גופריתי (גופרת אמון לדוגמה) ואם כאבקת גופרית (ידועה בשם "פרחי גופרית").

בעשור האחרון החלו להוסיף סלניום למנות מעלי גירה (הן בקר והן צאן) כדי למנוע בעיות של חוסר פוריות. נוהגים להוסיף סלניום למנה בשיעור של 1 עד 2 חלקי מיליון כתרכובת אי-אורגנית (מלח של סלניום עם נתרן – סודיום סלנאט). בכל מקרה, לפני הוספת סלניום יש לבדוק את תכולת הסלניום במזונות כדי לוודא שאין ממנו עודפים העלולים לגרום להרעלה.



ויטמינים



ויטמינים הם תרכובות אורגניות המשמשות בגוף בין השאר כמצע ויטמין (סובסטרט) לביצוע פעולת חיזור של תרכובות מחומצנות כמו במקרה של ויטמין E או C. ויטמין עשוי להיות גם קוֹ-אנזים – תרכובת אשר לאחר חיבורה ליחידת חלבון או לנוקלאוטיד הקרויה "אֶפּוֹ-אנזים" נוצרת מולקולת אנזים, כמו במקרה של ויטמין B12. במולקולת ויטמין זה מוחלפת קבוצת OH או קבוצת CN בקבוצה של תרכובות נוקלאוזידיות (נגזרות של חומצות גרעין), הנקשרת אל הקובלט שבמרכז הוויטמין. פעולה זו הופכת את הוויטמין לשמש כקוֹ-אנזים הנקרא גם הוא בשם B12. זה נחוץ לביצוע מספר רב של תהליכים בגוף מהם יוזכרו כאן רק שניים:

- א. מעורבות בהפיכת החומצה הפרופיונית בכבד מעלי גירה לגלוקזה, תהליך חיוני אצל מעלה הגירה. זאת, מאחר וחומצה פרופיונית הנוצרת בתהליך התסיסה בכרס מהווה מקור חשוב ביותר לאנרגיה ולייצור הלקטוזה (סוכר החלב).
- ב. ויטמין B12 בצירוף חומצה פולית חיוניים ליצירת $\text{Dioxy Ribonucleic acid} = \text{DNA}$, שהוא החומר הגנטי.

מאידך, קיימים ויטמינים אשר פעילותם הביולוגית אינה מותנית בהתחברות לתרכובות אחרות, כמו למשל קָרְטִינול (ויטמין A), המשתתף בין היתר בתהליך הראייה.

הוויטמינים נחלקים לשתי קבוצות, מסיסים בשומן: הוויטמינים E, D, A ו-K, ומסיסים במים – כל קבוצת ויטמיני B וויטמין C. פשוטי הקיבה מסוגלים לייצר בגופם רק חלק זעום מהוויטמינים החיוניים, כמו במקרה של הפיכת החומצה האמינית טריפטופאן, החיונית כשלעצמה, לחומצה נִיקוֹטִינִית או נִיקוֹטִין אָמִיד (שתי התרכובות הן ויטמין הקרוי ניאצין). גם במקרה זה נדרשת למעשה מעורבותם של הוויטמינים B12 ו-B6 בביצוע תהליכים אלה. מקרה אחר הוא הפיכת קָרְטִין (חומר שהגוף אינו יכול לייצר ומקורו מהמזון) לוויטמין A. את חלק הארי של הוויטמינים חייבים פשוטי קיבה לספוג מהמזון.

כבעלי חיים אחרים, גם מעלי הגירה זקוקים לאספקה של ויטמינים מבחוץ, אלא ש"החוץ" במקרה שלהם הוא הכרס על שלל החיידקים שבה. אלה מייצרים את כל הוויטמינים המסיסים במים ואף חלק מהוויטמינים המסיסים בשומן לדוגמה: ויטמין K הדרוש למערכת קרישת הדם. בשונה מכך, חיידקי הכרס אינם מייצרים את הוויטמינים A ו-D. במהלך תהליך העיכול נספגים הוויטמינים לגוף בעל החיים יחד עם שאר מרכיבי המזון. בסוסים המצב דומה לזה שבמעלי גירה.

ויטמינים מסיסים בשמן

תכונה זו של מסיסות בשמן מכתיבה את דרך ספיגתם של ויטמינים מקבוצה זו במעי. בעת הספיגה, מולקולות הוויטמין "נארזות" כטיפה זעירה (מיצלה) המוקפת בממברנה. ממברנה זו מורכבת ממיצי מרה המכילים חומצות שומן ארוכות או פוספוליפידים – תרכובות הנמסות הן במים והן בשמן. מעבר המיצלות דרך דופן המעי אל פנים הגוף נעשה תוך בליעתן על ידי תאי רירית המעי (תהליך הנקרא פִּינוֹצִיטוֹזִיס), שחרורן מהתאים לצינורות הלימפה ומשם ספיגה לדם. מהדם עוברים הוויטמינים לאברי המטרה או לאגירה בכבד או באברים אחרים.

זהו הוויטמין הראשון שהתגלה. למרות שהידע על מעורבותו בפעילויות פיזיולוגיות ובתהליך חילוף החומרים בגוף רב, רק במעט מקרים ידוע מנגנון פעולתו. שמו של ויטמין זה נגזר מפעילותו ברשתית העין (Retina).

ויטמין A
(רֵטִינוֹל, Retinol)

ויטמין A נחשב כבעל פעילות אנטי דלקתית והוא פעיל במיוחד בהתפתחות ובפעילות של רקמות ממוצא אפיתליאלי כרירות, עור, עצבים ועצמות, וכן כאמור הוא פעיל במערכת הראייה. מחסור בוויטמין A גורם למספר רב של תופעות פיזיולוגיות בלתי רצויות כגון: פגיעה בהתפתחות ריריות ההופכות בשל כך לחדירות יותר לגורמי זיהום, התייבשות העור, התקרנות העור (קֶרַטִּינִיזָצְיָה) והסדקות שלו, התפתחות דלקות עור, פגיעה בקרנית ובלחמית העין, הופעת הפרשות מרובות מהעין, עיוורון בראיית לילה ועיוורון בכלל. מחסור בוויטמין A גורם גם לפגיעה בפעולת העצבים, לפגיעה בייצור חלבון, לפגיעה בפוריות ועוד. ולדות של מבכירות שסבלו מחסור בוויטמין A נולדים עיוורים למחצה או עיוורים לחלוטין, עם רגליים מעוותות או לשון שלוחה מעוקמת ועם ראש וגוף מעוותים. חלק מהוולדות אף מופל. סימני מחסור בוויטמין A בסוסים דומים לאלה שבבעלי חיים אחרים. בנוסף, מוצאים אצלם בעת מחסור בוויטמין זה, מורסות (פצעים מוגלתיים) בבלוטות תת-לשוניות ועוויתות. גם עודף של ויטמין A מזיק לבעל החיים, כך למשל בסוסים תיגרם גדילה בלתי מבוקרת של עצמות – דבר שיביא לשבירות, וכן יצירת קשקשים בעור. למרות חשיבותו הרבה, אין ויטמין A מצוי כלל כוויטמין במזון צמחי, אלא כתרכובות מוצא לסוגיהן הקרויות קָרוֹטֶנוֹאִידִים. שם זה נגזר מהגזר (Carrot), ממנו בודד ויטמין זה לראשונה. הקרוטנואידים צובעים בצהוב או בכתום את הרקמה הצמחית. בעלי החיים הופכים את עיקר הקרוטן שנספג לוויטמין A ברירת המעי, ובמידה פחותה מכך גם בכבד ובכליה. הוויטמין נאגר בשומן הגוף, בעיקר בכבד, ויכול להישמר שם לתקופות ארוכות מאוד. לא כל הקרוטנואידים שנספגו הופכים בגוף לוויטמין A. חלקם נותרים בדם מעלי גירה כקרוטן (יש המייחסים לכך חשיבות בתפקודי רבייה). לכן, לצורך אומדן רמתו של ויטמין A בדם יש למדוד הן את רמת הוויטמין והן את רמת הקרוטן.

זמינות: קרוטנואידים נמצאים בשפע ברקמות צמחיות פעילות וברקמות אגירה, בעלווה ירוקה של גזר, בגרעיני תירס צהוב ועוד. אין לטעות, לא כל צבע כתום מעיד בהכרח על נוכחות

קרוטון. הקסנטופילים למשל שייכים לקבוצת צבעים אחרת. אלה מקנים לקליפות ההדר את צבען הכתום. לא ניתן להפוך את מולקולות הקסנטופילים לוויטמין A. אצל פשוטי קיבה הקרוטון נספג במערכת העיכול והופך בכבד ביעילות רבה לוויטמין A. במעלי גירה עובר הקרוטון עיבוד על ידי המק"א בכרס בטרם יהפוך לוויטמין A. לכן, יעילות ניצול הקרוטון על ידי מעלי גירה היא פחותה בערך פי חמישה מאשר בפשוטי קיבה. שחת ותחמיץ משמשים מקור טוב לקרוטון למעלי גירה, על אף שבעת שימור הירק כשחת או כתחמיץ נהרס חלק ניכר מהקרוטון על ידי קרינת השמש או בתהליך ההחמצה. מחמת נטייתו להתחמצן, משווק ויטמין A באופן מסחרי כתכשיר מצופה בשעווה, המגנה עליו מפני "תלאות" הערבול והתסיסה בכרס, עד להמסת הציפוי.



ויטמין E (Tocopherol)

לוויטמין זה שייכת קבוצה גדולה של תרכובות אשר המשותף ביניהן הוא מבנה של שרשרת פחמנים הקשורה לקבוצות מתיליות (CH_3), שבקצה שלה ממוקם צמד טבעות מרובות קשרים כפולים, הקרויות אלפא-טופופרול. אלה, מעניקות לוויטמין את כושרו לשמש כמונע חמצון וכמגן על תרכובות החשופות לחמצון בגוף כגון ויטמין A, פוספוליפידים, חומצות שומן רב-בלתי רוויות המצויות בממברנות תאים ועוד. פעולת החמצון המזיקה מתבצעת על ידי תרכובות מחמצנות כגון פראוקסידים (כדוגמת מי-חמצן) הנוצרות בגוף בתהליכי חילוף החומרים. שלא כויטמין A, אין ויטמין E נאגר בכבד ואין בגוף עתודות גדולות שלו. מחסור בוויטמין E עלול לגרום לפגיעה בתרכובות חשובות הרגישות לחמצון, ובהמשך, לפגיעה בתהליכים פיזיולוגיים חשובים. מהסימנים הידועים של חסר בוויטמין E: מחלת השריר הלבן (ראה/י סלניום) בצעירים. בבעלי חיים מבוגרים סימנים חיצוניים למחסור בוויטמין E הם קשיחות הגפיים האחוריות עד כדי צליעה, קימור גב המעיד על בעיות בשרירים, הרס ממברנות תאים והמוליזה המביאה לצביעת שכבות השומן בשריר בצבע חום במעלי גירה או להופעת שתן חום בסוסים. כמו כן, קיימת פגיעה בפוריות ותופעה של עצירת שליה. תוספת סלניום לבעל החיים עשויה למלא את מקומו של ויטמין E בחלק מתפקידיו ולהקל בכך על המחסור בו, במיוחד בנושא הפוריות ועצירת שליה. הצורך בוויטמין E עשוי להשתנות בהתאם לכמות הסלניום ולכמות חומצות השומן הרב בלתי רוויות שבמזון, ובמצב הפעילות הכללית של בעלי החיים.

זמינות: ויטמין E מצוי בכמות מספקת בירק טרי. ויטמין E מתחמצן במהלך הזמן, ולכן בשחת ובתחמיץ תהיה רמתו רק כ-25% מזו המקורית. כמו כן, מצוי הוויטמין ברמה מסוימת בגרעיני דגן. ויטמין E מצוי בשפע בגרעיני שמן כגון גרעיני כותנה, גרעיני סויה, גרעיני ליפתית ועוד. זמינותו גבוהה לכל בעלי החיים, במגבלות הרס בכרס מעלי גירה. גם את הוויטמין הזה נהוג להוסיף למנה כשהוא מוגן בציפוי.

ויטמין D3 (Cholecalciferol)

מוצאו של ויטמין זה מסטרואידים, הנוצרים באופן טבעי בגוף בעל החיים ונמצאים בדם או מתחת לעור. כדי להפוך לויטמין D על הסטרואיד להיחשף לאור על-סגול (UV). לכן, חשוב כי בעלי החיים ייחשפו לאור. הפיכת הסטרואיד לויטמין D יעילה יותר

בבעלי חיים בעלי פרווה (שער או צמר) לבנה ופחות יעילה בבעלי חיים כהי פרווה. ידועות מספר נגזרות טרום-ויטמיניות של סטרואידים, אשר הן בעלות כושר מלא או חלקי להפוך לויטמין D, ולאחר עיבוד בגוף לויטמין D3. לאחר ייצורו מעובד הויטמין בכבד לתרכובת 25-Hydroxy CholeCalciferol (25-HCC), ומשם הוא עובר לכליה והופך לתוצר הסופי 1-25-HCC, שהיא הנגזרת הפעילה של הויטמין. ויטמין D3 מעורב בייצור החלבון הקשור בספיגת הסיידן או בהובלתו בדם. מיד עם היווצרותו מורחק הויטמין מהדם ונאגר בכבד. עודפי ויטמין D3 בדם גורמים להסתיידות כלי הדם והרקמות הרכות. בעת הצורך, מועברות כמויות דרושות של ויטמין מהכבד לדם.

במקרה שהויטמין מוגש במזון, הוא נספג כמיצלה, בדומה לויטמין A. ויטמין D מעורב בתהליך ספיגת סיידן מהמעי לדם ובהשקעתו בעצם. כאשר ספיגת הסיידן מהמעי אינה עונה על צורכי הגוף, כמו בזמן הנבה מוגברת של חלב, ורמתו בדם יורדת, פועל ויטמין D בשילוב עם הורמון הפרה-טירואיד בפירוק הסיידן מהעצם והפיכתו למסיס לצורכי הסעתו בדם לאברי המטרה (עיין/י בנושא "קדחת חלב"). בעופות, ויטמין D משפר את ספיגת הזרחן. לא ידוע על פעילות דומה במעלי גירה.

חסר בוויטמין D מגביל את כושר ספיגת הסיידן, ואת כושר הוויסות ביחסי סיידן/זרחן בדם. חסר זה גורם לירידה בריכוז מינרלים אלה, כאשר המצב עלול להסתיים במחלת הרכבת אצל צעירים, בעצמות ספוגיות ושבירות אצל בוגרים, במפרקים תפוחים וכן בצליעה בכל בעלי החיים כמו גם בהליכה קשיחה בסוסים.

זמינות: תרכובות טרום-ויטמין D נפוצות מאוד בצומח ובגוף החי. חשיפה לאור על-סגול מאפשרת הפיכה יעילה של תרכובות אלו לויטמין D. לבעלי חיים שאינם נחשפים לשמש יש לספק את הויטמין במזון, בעיקר בצורתו המצופה. לחולבות גבוהות-תנובה, העלולות לחלות בקדחת חלב, נוהגים להזריק כמויות מומלצות של הויטמין מספר ימים לפני ההמלטה הצפויה.

רעילות ויטמין D: עודפים של הויטמין מתבטאים בהפרעות שתן (ריבוי, ואחר כך מיעוט), בצואה יבשה, בירידה בצריכת מזון ומכאן ירידה בתנובת חלב. בשחיטה מתגלות הסתיידויות בכליה, באבי העורקים, בקיבה ובסימפונות.

לויטמין זה חשיבות מרובה בבקר ובעלי חיים אחרים. זאת עקב מעורבותו ביצירה של לפחות עשרה חלבונים שונים, מהם ארבעה הקשורים בתהליך קרישת הדם. תרכובות טרום-ויטמין K מצויות

ויטמין K (Phylloquinone)

בצמחים רבים, אך אלה מיוצרות בשפע גם על ידי המק"א בכרס ונספגות ללא בעיות במעי, בדומה לשאר הוויטמינים מסיסי-השומן. תופעות מחסור בוויטמין K הן קשיחות בתנועת אברים, צליעה ושטפי דם פנימיים אף ממכה קלה (כתם כחול בעור חשוף). מקובל לחשוב כי ייצור ויטמין K מתבצע על ידי מק"א גם במעי הגס של סוסים.

זמינות: ידועות שלוש צורות של הוויטמין: K1 מצוי במזון צמחי טרי ומשומר. K2 מיוצר בשפע על ידי המק"א במעלי גירה ובסוסים ו-K3 הוא מוצר סינתטי של הרכיב הבסיסי של הוויטמין, ועם הגעתו לדם, הגוף הופכו לוויטמין K פעיל. לא דווח על תופעות של חסר בוויטמין K.

ויטמינים מסיסים במים

בין הוויטמינים הנמנים עם קבוצה זו ניתן למנות את החומרים הבאים:

תִּיָּאָמִין B1 = (Thiamine)

רִיבוֹפְּלָבִין B2 = (Riboflavin)

חומצה נִיקוֹטִינִית (Nicotinamide Niacin)

פִּירִידוֹקְסִין B6 = (Pyridoxin)

בִּיוֹטִין (Biotin)

חומצה פוֹלִית (Folacin = Folic acid)

כוֹלִין (Choline)

ויטמין B12 (Cyanocobalamine)

אִינוֹזִיטוֹל (Inositol)

חומצה אֶסְקוֹרְבִּית = ויטמין C

אספקת ויטמינים מסיסים במים למעלי גירה

יונקים צעירים: כל התצרוכת בוויטמינים מסיסים במים מסופקת ליונקים בחלב האם. ליונקים הניזונים על תחליפי חלב יש להוסיף הן בחלב והן במזון היבש המוגש בעת הגמילה את כל הוויטמינים, כל עוד לא הושלמו ההתפתחות ותפקוד הכרס.

מעלי גירה בוגרים וסוסים: מקובל כי המק"א בכרס מעלי גירה מייצרים את רוב, אם לא את כל קבוצת הוויטמינים המסיסים במים (B). זאת, בנוסף להימצאותם של ויטמינים אלה בכמויות נכבדות במזון ירוק, בגרעינים (כולל גרעיני שמן) וכן במידה מוגבלת בכוספאות, בשחתות ובתחמיצים. ויטמין C מיוצר בגוף מעלה הגירה.

גם אם לא נצפו תופעות חסר, קיים חשש שבפרות גבוהות תנובה, בהן קצב מעבר המֶעֶפֶל בכרס גבוה בעקבות הגברת הצריכה, לא מספיקים המק"א בכרס לייצר את כל כמות הוויטמינים הדרושה. אכן, קיימים דיווחים מדעיים כי תוספות ויטמין זה או אחר מקבוצה זו משפרות את

ביצועי החולבות, כמו במקרה של הוספת ניאצין, ביוטין, חומצה פולית, ובמקרים של הרס של תיאמין, כמפורט להלן.

השפעת עודף או חוסר של ויטמינים מסיסים במים

מחקרים הראו כי קיים קשר הפוך בין ריכוז הביוטין בדם לבין תופעות צליעה קלינית בפרות חולבות. ניסויי שדה ארוכי טווח הראו שתוספת של 20 מ"ג ביוטין ליום לבעל החיים שיפרו באופן מובהק את מצב הטלפיים. בארצנו, בתחזוקה נאותה של הסככות והחצרות, ובטילוף נכון, אין בעיות צליעה, ואין צורך בתוספת ביוטין. אין מידע מעודכן באשר להשפעת חסר ביוטין על סוסים.

ביוטין

לא נצפו תופעות חסר של חומצה פולית במעלי גירה או בסוסים. תוספת בהזרקה של חומצה פולית לעגלים בשלבי פיתוח הכרס שיפרה את הגדילה ב-8%, וכן הביאה לעלייה בריכוז ההמוגלובין ובתכולת התאים בדם. תוספת הוויטמין לפרות חולבות מ-45 יום להיריון ועד 6 שבועות טרם ההמלטה שיפרה במספר ניסויים את תנובת החלב בפרות וכן את תכולת החלבון בו. מאחר והוויטמין מעורב בתהליכים המסוגלים לחסוך לגוף במתיונין, וכיוון שזו חומצת אמינית הכרחית ונחשבת כמגבילה, לא ברור אם ההשפעה החיובית של הוויטמין היא ישירה או כתוצאה מחיסכון במתיונין. כיום, אין מידע או המלצות באשר למינון דרוש לבקר ולצאן.

חומצה פולית



תופעת החסר היחידה שדווחה לגבי ניאצין הייתה בעגלים אשר ניזונו בתחליף חלב דל בניקוטין הופיעו בהם פצעי שפשוף. בעקבות הזרקה לדם של 10 מ"ג ניאצין ליום התופעה נעלמה מיד. מאחר והגוף מייצר ניאצין מהחומצה האמינית החיונית טריפטופן, סביר כי הגורם למחלה היה גם מחסור בחומצה אמינית זו ולא דווקא בוויטמין. במנה סטנדרטית לסוסים לא יחסר ויטמין זה.

ניאצין (חומצה ניקוטינית)

ייצור של ויטמין זה בכרס, ככל יתר ויטמיני B, מספק די והותר את צורכי מעלי הגירה, למעט מצב בו בעלי החיים ניזונים ממזון לא שגרתי כגון שֶׁרְכִים מסוימים או מזון מקולקל כגון שרידי דגים לא מטופלים. כל אלה עלולים להכיל תיאמין – אנזים המפרק את הוויטמין עוד בכרס, הורס את הוויטמין או מתערב וחוסם את פעולתו. חסר בתיאמין גורם לירידה בתיאבון (אֲנֹרְקְסִיָה) הגדלת לב לא רגילה, אובדן משקל ואובדן שיווי המשקל, הליכה ללא כיוון, לפעמים סחרור ומתיחות

תיאמין

שריר. תופעות חוסר השליטה בתנועה נגרמות כתוצאה מנקרוטיות (ניוון) במוח, ולכן המחלה נקראת פולי־אֶנְצֶפְלּוֹמְלֶצְיָה (ספוגיות המוח). ניתן לטפל ביעילות יחסית במחלה על ידי הזרקה ישירה לדם או לשריר של תיאמין, וכן לשנות את הרכב המנה במידה וזו מכילה תיאמינאז.

ויטמינים נוספים מקבוצה זו: ביחס לשאר הוויטמינים בקבוצה זו אין עדויות באשר למחסור או לתופעות פיזיולוגיות הנגרמות בעטיו.

שיטות לקביעת איכות מזונות כספקי אנרגיה וכספקי חלבון



מדי פעם עולה השאלה מה ערכו של המזון המוגש לבעל החיים ועד כמה הוא מספק את צרכיו. בעל החיים זקוק לאנרגיה כדי לקיים את הפעילויות השונות של גופו. אנרגיה זו אצורה למעשה ברכיבים שונים של המזון: בפחמימות, בחלבונים ובשומנים. עדיף כי האנרגיה תסופק לגוף על ידי פחמימות, בעוד חלבונים יספקו אבני בניין לבניית הרקמות השונות.

השאלות הנשאלות הן רבות: מהי תכולת החלבון שבמזון, מהי נעילותו ומה הרכב חומצות האמינו של החלק שנספג. באשר לפחמימות למשל, עולות השאלות מהי התכולה במזון של פחמימות קשות-עיכול ומה היא תכולת הסיבים שהם כה חשובים לפעולת הטלטול של הכרס. כמו כן, חשוב לדעת מהי התכולה של הפחמימות מהירות העיכול במזון, כמה מהן תתפרקנה בכרס ותתרומנה למעשה לייצור חלבון כתוצאה משגשוג אוכלוסיית חיידקי הכרס, וכמה מהן יגרמו לתופעה הבלתי רצויה של החמצת הכרס. השומן עשוי להיות מקור עשיר לאנרגיה כל עוד אינו שעווה. אך גודש במנה של טרי־גליצרידים (שומן וחלב אמיניים) יפגע קשות בייצור חלבון בכרס.

כדי לענות על שאלות אלה ואחרות פותח מכלול של שיטות לבדיקת המזונות. אנו מבחינים בשלושה שלבים במהלך בדיקות:

- ❖ שלב ראשון בו נבחן ההרכב הכימי של המזון על ידי בדיקות במעבדה;
- ❖ שלב שני בו נקבעת דרגת נעילותו של המזון וזמינות מרכיביו כגון חנקן, ומינרלים. בדיקות אלה נעשות במעבדה וכן בניסיונות הנערכים בגוף בעלי החיים;
- ❖ שלב השלישי של הערכת המזונות, בו נבחנים ביצועי גדילה וייצור של בעלי החיים הניזונים על המזון הנבחן.

בדיקות הרכב המזון

קביעת תכולת החומר היבש במזון

ניתן לבצע את בדיקת הרכב המזון בכל רמת לחות שבה הוא מגיע למעבדה (לח, רטוב או לאחר ייבוש בשדה). עם זאת, כדי שדוגמאות המזון הנבדקות יהיו אחידות בהרכבן עדיף לייבש את המזון ולטחון אותו לפני ביצוע הבדיקות הכימיות. חשוב לזכור כי כל מזון, אף זה המוגדר כיבש, מכיל בין 8% ל-10% מים הספוחים לחומר אורגני (מים היגרסקופיים). כך למשל, טון של גרעינים מכיל למעשה כ-100 ק"ג מים היגרסקופיים.

קיימות שתי דרכים לייבוש מזונות:

1. הדרך הראשונה מיועדת למזונות המגיעים "יבשים" למעבדה כגון גרעינים. אלה מיובשים ב-105 מ"צ למשך לילה, נטחנים ומושאים לספיגה חוזרת של מים היגרסקופיים, אשר כמותם נקבעת לאחר מכן במהלך הבדיקה הכימית.

2. הדרך השנייה מטפלת במזונות לחים כגון ירק ותחמיצים אשר ייבושם ב-105 מ"צ יגרום לנידוף של חומר אורגני בעל ערך תזונתי. במקרה זה, מקובל לייבש תחילה מזונות אלו בטמפרטורה של 55 מ"צ למשך 24 שעות. תהליך זה אינו גורם לייבוש מוחלט של הדוגמה. לאחר טחינת החומר מחלקים אותו למנות. ממשיכים לייבש חלק אחד מהדוגמה ב-105 מ"צ למשך לילה כדי לקבוע את תכולת החומר היבש בעוד שהבדיקות הכימיות נעשות על החלק האחר של הדוגמה. בכל מקרה יש לזכור כי אף הטחינה עצמה מייבשת את החומר הנטחן.

קביעה מדויקת של תכולת המים במזונות לחים נעשית תוך שימוש בממיסים אורגניים ובמכשור מיוחד. בשיטה זו ממצים את המזונות תוך הרתחה בממיסים אורגניים כאצטון או טולואן. המים, החומרים הנדיפים והממיס מתנדפים והאדים שלהם נקלטים בזרוע צדדית של מכשיר הנידוף תוך שהם מתעבים על דפנות הכלי. הודות למשקל סגולי שונה ניתן כאן להפריד בין המים המכילים את החומצות הנדיפות לבין הממיס. כמות המים שנאספה נמדדת (מְכָל עיבוי המים בנוי כמשורה) ואת כמות החומצות שבמים קובעים על ידי סתירה בתמיסה אלקלית (בסיסית). את כמות החומצות ואת הרכבן ניתן לבחון בכרומטוגרפיה גאזית. בסופו של התהליך מחשבים את כמות החומר היבש, כאשר זו מתקבלת מצירוף כמות החומר שלא התנדף יחד עם החומצות שהתנדפו ושכמותן נקבעה על ידי סתירה בתמיסה אלקלית.

שיטה כימית אחרת לקביעת כמות המים במזונות לחים כוללת שימוש בחומרים המנתקים את המים מהחומר האורגני, ומקבעים אותו בתוך מולקולה מורחבת. למשל, תהליך בו יוֹדִיד הופך ליוֹדָאט.

הערכה של תכולת חומר יבש בתחמיצים מדויקת פחות מאשר הערכת תכולת החומר היבש בירק, כיוון שכתוצאה מפעולת התסיסה של החיידקים שבתחמיץ נוצרים בו חומרים נדיפים רבים המתנדפים במהלך הבדיקה. ככל שהתחמיץ גרוע (ה-pH שלו גבוה יותר) כך עולה בו תכולת תרכובות נדיפות כגון חומצת חומץ, חומצה פרופיונית ובמיוחד חומצת חמאה (חומצה בוטירית) אשר היא זו המקנה לתחמיץ גרוע את ריחו הרע. אולם, יש לזכור כי חומצת החמאה עצמה היא מרכיב מזוני טוב עבור מעלי גירה.

תרכובות נדיפות אלה אשר נעכלותן היא 100% מתנדפות במהלך הבדיקה בשלב הייבוש. כתוצאה מכך, תכולת החומר היבש המתקבלת בבדיקה פחותה מהתכולה האמיתית של החומר היבש במזון. צא וחשב, אם תכולת החומר היבש בתחמיץ טוב היא כ-35% עד 38%, מהם 2% עד 3% מתנדפים במהלך הייבוש, הרי שתוצאת בדיקת החומר היבש פחותה מהערך האמיתי בכ-7% עד 8%. קל וחומר הדבר בבדיקת תכולת החומרים הנדיפים בתחמיץ גרוע אשר כמות החומרים הנדיפים בו עשויה להגיע ל-6% עד 7%.

בפועל, מאחר ותכולת החומרים הנדיפים בתחמיצים טובים עד משובחים היא מועטה, התוצאה המתקבלת מבדיקת החומר היבש שבתחמיצים אלה תוך ייבוש בתחילה ל-55°C ולאחר מכן קביעת כמות המים ההיגרוסקופיים, קרובה מאוד לערך האמיתי של תכולת חומר זה במזון.

קביעת ההרכב הכימי של המזון

התוצאות בדבר ההרכב הכימי של המזון מוגשות לחקלאי תמיד כ"אחוזים בחומר יבש" כיוון שאין אנרגיה, חלבון או מינרלים במים הכלולים בצמח.

שיטה זו היא השיטה הראשונה לאנליזה כימית של מזונות והייתה בבחינת "חלוץ לפני המחנה". כיום היא כמעט ואינה בשימוש. השיטה נקראת "שיטת וונדה", על שם תחנת הניסיונות בגרמניה בה פותחה, והיא מורכבת ממספר בדיקות מקבילות הנערכות על

שיטת וונדה
(Weenda)

מזון מיובש וטחון.

הבדיקה קרויה על שם מפתחה. בדיקה זו בוחנת למעשה לא את תכולת "החלבון הכללי" אלא את תכולת "החנקן הכללי" שבמזון. חנקן הוא המרכיב המאפיין של החלבון, אך הוא מרכיב גם של חומצות גרעין שאינן חומצות אמינו. כמו כן, מצוי במזון "חנקן שאינו חלבוני" כגון חנקן של שתן. לכן, המדקדקים מעדיפים לדווח בעקבות בדיקת קלדהל על תכולת החנקן הכללי במזון ולא על תכולת חלבון כללי. חנקן שאינו-חלבוני יכול להיות ממקור אורגני כגון שתן או ממקור אי-אורגני כמו במקרה של אמוניה או ניטראטים הנאגרים בצמח בשלבי צמיחתו. קשה לקבוע בבדיקה פשוטה את סוג החנקן שאינו חלבוני במזון ואת

בדיקת קלדהל
(Kjeldhal)

כמותו. במידה ומתעורר חשד למעשה הונאה בו הוספת חנקן שאינו חלבוני למזון באה במטרה להציג מצג שווא בדבר ריכוז חלבון גבוה בתערובת למשל, ניתן לבדוק באופן ישיר את תכולת השתנן או הניטראטים במזון.

במהלך בדיקת קלדהל המזון עובר עיכול בחומצה גופריתנית מרוכזת, כך שכל החומר האורגני הופך לדו-חמצות-הפחמן ומים, ואילו החנקן המשתחרר הופך לאמוניה. האמוניה מזוקקת ומכמותה לומדים על כמות החנקן שבדוגמה. כדי לקבל מנתוני כמות החנקן הערכה בדבר ריכוז החלבון במזון, מכפילים את כמות החנקן שבדוגמה (מבוטאת במ"ג למשקל הדוגמה בחומר יבש) במקדם אופייני לטיב הדוגמה. לדוגמה: 6.25 הוא המקדם אשר נהוג בבדיקת חלבון מהצומח. את התוצאה מחלקים במאה כדי לבטא את ריכוז החלבון באחוזים.



חלק אחר של המזון עובר מיצוי באתר או בכל ממיס אורגני אחר לשם הפרדת שומנים. לאחר המיצוי מנדפים את האתר ושוקלים את השומן שנשאר. יודגש, כי בתהליך זה לא רק שומן אמיתי ממוצה, אלא גם ליפידים אחרים כגון כלורופיל, חומצות שומן נדיפות (חש"ן), סטרואידים וכד'.

"מיצוי אתרי"

הכוונה לבדיקת כמות המינרלים. המזון עובר קלייה בטמפרטורה של 600 מ"צ. כתוצאה מכך, החומר האורגני שבמזון נשרף ונותרים רק המינרלים או מלחיהם, לדוגמה נתרן כלורי ופחמון. ריכוז המינרלים במזון מתקבל תוך חישוב היחס בין משקל המינרלים לבין משקל הדוגמה היבשה.

"תכולת אפר"

המזון עובר הרתחה בחומצה גופריתנית בריכוז של 1.25% (חיקוי לחמיצות הקיבה). לאחר הרחקת החומצה עובר המזון הרתחה נוספת בהידרוקסיד הנתרן (נתרן מאכל) בריכוז של 1.25% (בדומה לתנאים הבסיסיים השוררים במעי). לאחר שטיפה וייבוש נותרים סיבים, המכונים "תאית גסה".

"תכולת תאית גסה"

חלק מהמזון שנבדק אבד במהלך תהליכי המיצוי והבדיקה. שארית זו קרויה "חומרי מיצוי חסרי חנקן" (חמח"ח) והיא אינה נקבעת ישירות באנליזה כימית אלא בחישוב (ראה/י תמונה מס' 13): מאחר שסך כל כמויות הרכיבים במזון אמור להסתכם ב-100%, מחושב החלק היחסי של חומרי מיצוי חסרי חנקן כדלקמן:

"חומרי מיצוי חסרי חנקן"

$$\% \text{ חמח"ח} = 100\% - A - B - C - D$$

%
מיצוי אחרי
חלבון כללי
אפר
%
תאית גסה

תמונה מספר 13: נוסחת חישוב לחלק היחסי של חומרי מיצוי חסרי חנקן במנה

שיטת וונדה לוקה בחסר כיוון שבדיקות התאית הגסה והאפר אינן מדויקות. כמות האפר במנה כוללת גם רכיבי אדמה ואבק המתווספים למזון בעת איסופו מהשדה, וכן פחמות הנוצרות בתהליך השַרפה וקשורות לחלק מהרכיבים האלקליים (לדוגמה פחמה דו־נתרנית – סודה לכביסה). חומרי מיצוי חסרי חנקן אמורים להיות בעיקר סוכרים מסיסים ועמילן אולם דרך החישוב מביאה גם להכללה של ליגנין במקטע זה, חומר שאינו בר עיכול. כדי להתגבר על קושי בבדיקת איכות של סיבים בעלי ערך מזוני, פותחו בנוסף לבדיקות הכרחיות של חלבון, מיצוי אתרי ואפר גם שתי שיטות כימיות ממוקדות לקביעת תכולת הסיבים, כמפורט להלן:

שיטת דטרגנט חומצי (Acid Detergent Fiber - ADF): קביעת תכולת הסיבים במזון בשיטת ה-ADF נעשית תוך פירוק (הידרוליזה) המזון בדטרגנט ובחומצה גופריתנית בריכוז של כ־5%. הסוכרים, העמילנים ויתר הרב־סוכרים המסיסים מתפרקים בתהליך זה ליחידות המבנה שלהם, הליפידים מתמוססים בדטרגנט, והיסודות המינרליים מתמוססים בחומצה למעט תרכובות צורניות (מלחי חומצה צורנית שהם למשל חול ים או זכוכית). כל שנותר הוא מקטע המכיל צלולוזה, ליגנין וקו־טין – ADF. לאחר טיפול במקטע זה בחומצה גופריתנית בריכוז של 72%, טיפול המשמש לפירוק הצלולוזה, נותרים הליגנין והסיליקטים, ולאחר שַרפה ב־600 מ"צ נותרים רק הסיליקטים. בדרך זו נמדדים הרכיבים קשי העיכול במנה.

שיטת דטרגנט ניטרלי (Neutral Detergent Fiber - NDF): גם כאן קביעת החלבון הכללי, המיצוי האתרי (במזון המכיל שומן) והמינרלים נקבעים כבשיטת וונדה. כזכור, בשיטת הדטרגנט החומצי מומסים בנוסף לסיבים קשי העיכול גם מקטעי סיבים קלי עיכול. כדי לבדוק את תכולת הסיבים קלי העיכול פותחה שיטה המטפלת בעדינות במקטע זה, הנקרא לאחר הטיפול הכימי, סיב דטרגנט ניטרלי (Neutral Detergent Fiber - NDF). לעובדה זו חשיבות בהערכת "מקטע המזון הגס" במנה.

מקטע ה-ADF מכיל המיצלולוזה וליגנין, המשמשים בצמח כתרכובות המייצבות את המבנה וכן כתרכובות המגנות עליו מפני תקיפת גורמי פירוק המביאים לריקבון. מקובל לחשוב שיעילות עיכול המזון או המנה נמצאת ביחס הפוך לריכוז ה-ADF שבו. זאת, מאחר ומקטע זה מגדיר את כמות הסיבים ואת נעכלותם במנה. מאידך, מקטע ה-NDF בודק את כמות הסיבים אשר רמת נעכלותם גבוהה יחסית. מקטע זה מגדיר טוב יותר את דרגת ה"גסות" של המנה בהקשר לתהליכי הטלטול (פריסטלטיקה) שהמזון עובר בכרס. מאחר ותהליכים אלה חשובים לבריאות הכרס ולתקינות פעולתה, יש חשיבות לבדוק גם את כמות הסיבים העדינים במנה. כאמור, תכולת ה-ADF במזון עוזרת למעריך המזון לחזות את נעכלותו, ואילו תכולת ה-NDF עוזרת למתכנן המנה להעריך אם היא כוללת סיבים בריכוז מניח את הדעת מנקודת מבט של "גסות המנה", החשובה לתהליכי תסיסה טובים בכרס. כדי לחסוך בעלות בדיקות כמות הסיבים, ניתן במקרים מסוימים לוותר על אחת הבדיקות.



בדיקות נעכלות

בעזרת הבדיקות הכימיות ניתן לקבל מושג על הרכב המזון, וכן רמזים בדבר דרגת הנעכלות שלו. מידע מדויק יותר בדבר דרגת נעכלות המזון ניתן לקבל בניסיונות עיכול בהם בעל החיים מצוי בכלוב. השוואה בין כמות המזון שהוא צורך לבין כמות ההפרשות שלו מלמדת על דרגת נעכלות המזון. בדיקה זו יקרה מאוד. על כן, לקביעת דרגת הנעכלות של המזון נהוגות כיום שתי חלופות הכוללות בדיקות מעבדתיות או מעבדתיות למחצה.

שיטת הכרס המלאכותית (כרמ"ל): בשיטה זו נשאב מהכרס מוהל הכרס (התכולה המימית), המכיל מק"א. מוהל זה מעורבב עם המזון הנבדק במֶּכָּל המכיל גם רוק מלאכותי אשר הרכבו דומה לרוק אמיתי של מעלי גירה. המֶּכָּל מוצב באינקובטור למשך 24 שעות בטמפרטורה של 400 מ"צ. בגמר הבדיקה מפרידים בצנטריפוגה (מסרכזים) במהירות נמוכה את התמיסה. המשקע הוא החומר שלא נעכל ואילו החומר שהתמוסס נחשב כחומר שנעכל. בדרגת סרכוז נמוכה זו לא שוקעים החיידקים שבתמיסה ועל כן נוכחותם אינה מעוותת את התוצאה. על אף ששיטה זו בודקת רק בעקיפין את נעכלות המזון, נמצא כי המתאם בין ה"עיכול" בכרמ"ל לבין העיכול שנקבע בבדיקות בגוף החי (*In-vivo*) הוא טוב מאוד.

שיטת שקי הדקרון: לצורך קביעת פריקות החלבון (ואף פריקות רכיבי חומר אורגני כגון סיבים) מכניסים כמות נתונה מהמזון הנבדק לתוך שקית העשויה בד דקרון בעל נקבוביות

זעירות. השקית מוחדרת לכרס של מעלי גירה ל-72 שעות דרך פתח הנעשה בדופן הגוף ובדופן הכרס (פִּסְטוּלָה). בגמר הבדיקה מוציאים את השקית, שוטפים אותה היטב וקובעים על ידי שקילה את כמות החומר שנותרה בשקית. זו כמות החומר שלא עוכלה.

חלק מהחומר שלא עוכל עובר קלייה בטמפרטורה של 600 מ"צ. כמות החומר שנעלמת לאחר הקלייה היא כמות החומר האורגני שנותרה בשקית הדקרון. זו נחשבת כ"חומר אורגני שאינו בר עיכול". בחלק שנותר בשקי הדקרון לאחר ההשות בכרס ולא נעכל ניתן לקבוע בשיטות כימיות את כמות החלבון. מתוך ידיעת כמות החלבון שהייתה במנת המזון או שהוכנסה לשקית וכמות החלבון בחומר שלא עוכל, ניתן לחשב את כמות החלבון שנעלם (עוכל). האחרון נקרא "חלבון פריק". החלבון שנותר בשקית מוגדר כ"חלבון שרידי לכאורה". לכאורה, מאחר והחלבון שנותר בשקית כולל חלבון שמקורו במזון, וכן חלבון שמקורו בחיידקי הכרס שתקפו את המזון ונשארו ספוחים או מקובעים על הסיבים שלא נעכלו. אם מעוניינים לדעת את ערך הפריקות האמיתי של החלבון יש למדוד את כמות חלבון המק"א המצויה בתוך החומר ששרד בשקית הדקרון.

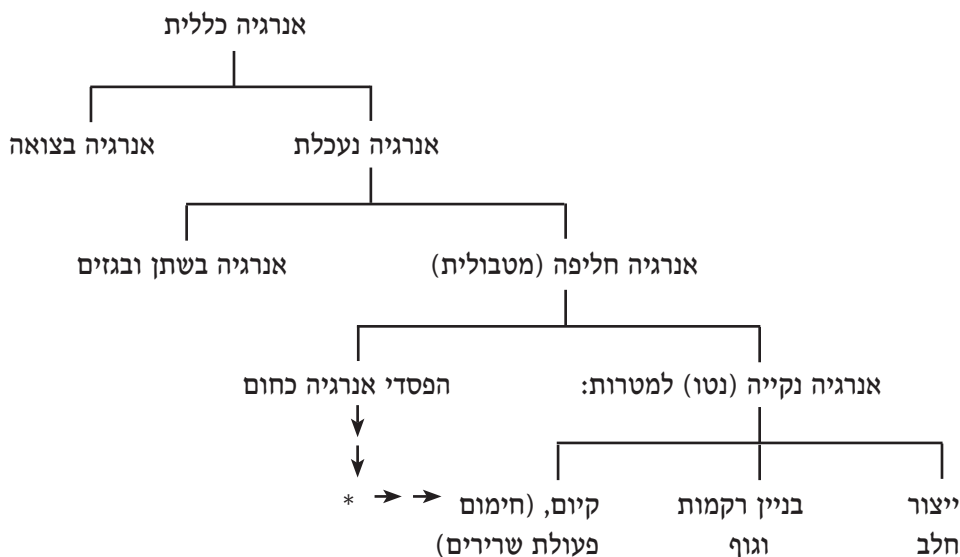
הערכת תכולת האנרגיה במזון וזמינותה לבעל החיים



כל השיטות להערכת הרכב המזון שתוארו עד כה, בחנו את הרכבו הכימי של המזון ואת נעכלותו, אך למעשה לא התייחסו לתרומתו בפועל לגוף. בדיקת נושא זה נעשית במספר שיטות. חלקן מתאים לבחינת מזון המיועד למעלי גירה, וחלקן מתאים לבחינת מזונות המיועדים לפשוטי קיבה בהם לא מתקיים פירוק מזון בכרס.

הערכת תכולת האנרגיה במזון

קביעת כמות האנרגיה האצורה במזון, ברקמות הגוף או בתוצרי בעל החיים כשתן או כצואה נעשית באמצעות שרפה במד קלוריות (קלורימטר). במהלך העיכול מנותבת האנרגיה הכללית האצורה במזון לכיוונים שונים, כמפורט בתמונה מס' 14:



* חלק מהחום הנוצר מעיבוד המטבוליטי עשוי באקלים קר לשמש לחימום הגוף. באקלים חם חום זה מהווה גורם מכביד.

תמונה מס' 14: ניתוב האנרגיה בגוף במהלך עיכול המזון

חישוב סוגי אנרגיה למיניהם (יחידת החישוב היא קלוריה) כחלק מסך כל האנרגיה הכללית שבמזון מתבצע באופן הבא:

- ❖ **אנרגיה נעכלת** – אנרגיה במזון פחות האנרגיה ההולכת לאיבוד בצואה.
- ❖ **אנרגיה חליפה (מטבולית)** – אנרגיה נעכלת פחות אנרגיה ההולכת לאיבוד בגזים ובשתן. האנרגיה המטבולית היא האנרגיה הזמינה העומדת לרשות תהליכי חילוף החומרים בגוף. תכולתה במזון מוגדרת כ"ריכוזיות האנרגיה". יחידות המדידה הן "מגה קלוריות לק"ג חומר יבש".
- ❖ **אנרגיה נקייה (נטו)** – זו האנרגיה המטבולית לאחר ניכוי הפסדי אנרגיה (כאנרגיית חום) אשר הוצאה במהלך הפיכת המטבוליטים שנספגו לרכיבים הניתנים לשימוש על ידי תאי הגוף. הפסדי אנרגיה (חום מטבולי) הם עודפי החום שהגוף חייב להיפטר מהם. באקלים קר חום זה משמש לחימום גוף בעל החיים תוך שהוא מביא לחיסכון באנרגיה נטו לקיום. באקלים חם, החום המטבולי מהווה נטל ומחייב את בעל החיים להשקיע אנרגיה כדי להיפטר ממנו בדרך של הזעה או הלחתה למשל.

הערכת תכולת האנרגיה הנעכלת במזון

חשוב מאוד לדעת כי האנרגיה הנעכלת אינה נמדדת באופן ישיר אלא באופן עקיף תוך החסרת ערך מדידת האנרגיה שבצואה מערך מדידת האנרגיה שבמזון. הערכת האנרגיה במזון ובצואה יכולה להיעשות בדרך קלורימטרית או בדרך כימית תוך חישוב הערך הקלורי של רכיבי המזון השונים (ראה/י פירוט בהמשך).

מדידה קלורימטרית נערכת כאשר הקלורימטר זמין והמשתמש מסתפק בידיעת הערך הקלורי של המזון מתוך הנחה כי נעכלותו היא 100% או קרוב לכך (הדבר נכון בעיקר עבור האדם ופשוטי קיבה). הבדיקה הכימית נערכת כאשר נחוץ לדעת את ערכם האנרגטי של רכיבי המזון השונים (חלבון, שומן וסיבים).



דרך א' – מדידה קלורימטרית:

- ❖ שלב א': מזינים את בעלי החיים במזון הנבחן ואוספים את הצואה.
- ❖ שלב ב': קובעים בעזרת קלורימטר את הערך הקלורי של המזון ואת הערך הקלורי של הצואה.
- ❖ שלב ג': מחשבים את ההפרש בין האנרגיה שבמזון לבין האנרגיה שבצואה. ההפרש הוא למעשה האנרגיה הנעכלת.

דרך ב' – הערכה של תכולת האנרגיה בדרך כימית:

- ❖ שלב א': מזינים את בעלי החיים במזון הנבחן ואוספים את הצואה (כמו בדרך א').
- ❖ שלב ב': בודקים את התכולה של הרכיבים האורגניים מכילי האנרגיה (חלבון, פחמימות ושומן) שבמזון ובצואה ומחסירים את כמות הרכיבים שנמדדה בצואה מאלה שנמצאו במנה. ההפרש בין השניים הוא המרכיב האורגני שנעכל.
- ❖ שלב ג': חישוב האנרגיה הנעכלת נעשה על ידי סכימת הערך הקלורי של כל המרכיבים שנעכלו (Total Digestible Nutrients = TDN), כאשר הערך הקלורי שלהם ידוע מראש (נקבע במספר רב של ניסויים שנערכו בעבר). כך נקבע ממוצע של 4 קילו קלוריות לגרם פחמימות נעכלות או לגרם חלבון נעכל ו-9 קילו קלוריות לגרם שומן נעכל. התרומה האנרגטית של פחמימות וחלבונים נלקחת כמו שהיא ואילו התרומה האנרגטית של שומן מוכפלת במקדם של 2.25, מחמת ערכו הקלורי הגבוה.

דוגמה לחישוב מפורט של תכולת האנרגיה הנעכלת במזון המכיל 20% חלבון, 60% פחמימות ו-10% שומן לגרם מזון מובאת בטבלה מס' 1:

טבלה מס 1: תכולת אנרגיה נעכלת במזון

הרכיב במזון	מים	חלבון*	פחמימות	שומן	אפר	סה"כ
% הרכיב (A)	10	20	60	10	10	100
% נעכלות (B)		70	75	60		
% הרכיב הנעכל במנה (AxB)		14	45	6		
פקטור אנרגטי (מקדם ההכפלה)		1	1	2.25		
% תכולת האנרגיה הנעכלת (TDN)		14	45	13.5		13.5

(*) התייחסות למושג חלבון נעכל וערכו של החלבון ראה/י בעמ' 177

על אף ששיטת חישוב זו ישנה ואינה מדויקת, היא עדיין שימושית מאוד, זאת, משום שבמשך למעלה ממאה שנים היא שימשה לחישוב האנרגיה הנעכלת של מגוון מזונות רב. ערכי המזונות שנקבעו לפיה תוקנו לאור ביצועי בעלי החיים שניזונו באותו מזון. ערכים אלה משמשים עד היום את התזונאים ואת החקלאים.

הערכה של תכולת אנרגיה חליפה (מטבולית) במזון

אחת המגבלות במדידה של תכולת ה"אנרגיה הנעכלת" במזון היא שמדידה זו אינה מפרידה בין האנרגיה אשר מופנית למילוי צורכי בעל החיים (אנרגיה חליפה – מטבולית) לבין האנרגיה אשר מתבזזת למעשה תוך יצירת גזים במהלך התסיסה בכרס. גזים אלה המופרשים בשיהוק או בנשימה אינם תורמים לבעלי החיים והם נטולי ערך יצרני. מגבלה זו הובילה לצורך לעבור לחישובי "אנרגיה חליפה (מטבולית)" – האנרגיה העומדת לרשות חילוף החומרים בגוף ("מטבוליזם"). תוצאות מניסויים רבים מלמדות כי בממוצע, תכולת האנרגיה החליפה מהווה כ-82% מהאנרגיה הנעכלת.

יש לזכור, כי הרכב המקורות של האנרגיה החליפית בהם מוזן בעל החיים אינו בהכרח תואם את צורכי הגוף באנרגיה הדרושה למשל לגדילה או לייצור חלב. תרכובות המספקות אנרגיה לגוף עשויות להיות חש"ן ביחסים שונים, חומצות אמינו, חומצות גרעין, שמנים, חומצות שומן ארוכות וכד'. חומרים אלה עוברים בגוף עיכול ועיבוד או שינוי אחר לצורך הכנתם למילוי הצרכים השונים בגוף בעל החיים. עיבוד זה כרוך בייצור אנרגיה המשתחררת כחום. באשר לחום המופרש, חשוב להדגיש כי בגוף מעלה גירה, ובעיקר בכרס, מתרחשים תהליכים רבים הגורמים לפליטה של חום רב. למעשה, בתנאי הארץ, בחלק מהמקרים אין מעלה הגירה מייצר חום לחימום הגוף אלא להפך – הוא משקיע עבודה מרובה (נשימה תכופה למשל) בהפגת החום הנוצר בתהליכי העיכול והייצור.

מדידת אנרגיה מטבולית מצריכה מכשור מורכב, הדרוש לצורך איסוף השתן והגזים היוצאים מהגוף. מדידת ייצור הגזים נעשית על ידי איסופם ממסכה הסוככת על פיו של בעל החיים וקולטת את תוצרי הנשימה, או על ידי החזקתו של בעל החיים בחדר סגור ואיסוף כל הגזים שהשתחררו. הפחתת ערכי האנרגיה שבשתן ובגזים הנפלטת מהאנרגיה הנעכלת תביא לקבלת ערכי האנרגיה החליפה שבמזון.

הערכה של תכולת אנרגיה נטו במזון

קביעת האנרגיה נטו במזון עבור תהליך מסוים כגון גדילה, ייצור צמר או ייצור חלב נראית לכאורה פשוטה: אוספים את החלב, גוזזים את הצמר או טובחים את בעל החיים וקובעים עבור כל אלה את ערכם הקלורי בקלורימטר. תוך השוואת הערך הקלורי של המזונות ושל התוצר ניתן לחשב את נצילות האנרגיה במזון הנבדק.

אולם, חישוב זה של אנרגיה נטו הדרושה לתהליכים השונים מעלה מספר שאלות: כאשר בעל חיים צורך מזון תוך כדי ייצור (חלב, גדילה, צמר) הוא צורך באותו זמן גם מזון לקיומו. כיצד ניתן להבדיל בין האנרגיה המנותבת לייצור לבין זו המנותבת לקיום? ומה הנצילות של מעבר האנרגיה המטבולית לאנרגיה נטו, כאשר האחרונה נדרשת לקיום ולייצור גם יחד? הדבר מורכב אף יותר במצב שבו האנרגיה המטבולית מנותבת לשלושה יעדים ואף ליותר, כמו אצל נקבה נחלת בהיריון.

בעיה נוספת היא העובדה כי יעילות הפיכתה של אנרגיה מטבולית לאנרגיה נטו שונה עבור היעדים השונים. כך למשל, נצילות הפיכת אנרגיה מטבולית לאנרגיה נטו לצורכי קיום גבוהה יחסית מאשר נצילות הפיכתה לאנרגיה המנותבת לייצור חלב. נצילות הפיכת אנרגיה מטבולית לייצור חלב גבוהה מהנצילות המתקבלת כאשר האנרגיה מופנית לצורכי גדילת הגוף.

בעיה אחרת היא כי יעילות הפיכתה של האנרגיה המטבולית לאנרגיה נטו לקיום, לגדילה או לייצור חלב אינה קבועה והיא משתנה בהתאם לריכוז האנרגיה שבמזון (הנמדדת כזכור במג"ל אנרגיה מטבולית לק"ג חומר יבש). לגבי תהליכי קיום וגדילה, יעילות הפיכת אנרגיה מטבולית לאנרגיה נטו עולה ככל שריכוזיות האנרגיה המטבולית במזון עולה. לעומת זאת, יעילות הפיכת האנרגיה המטבולית לאנרגיה נטו בחלב עולה עד לריכוז מסוים של אנרגיה מטבולית במזון

ואילו מעבר לריכוז זה יעילות התהליך פוחתת. מכאן, שמבחינת ניצול האנרגיה המטבולית אין להזין פרה חולבת במזון שריכוזיותו גבוהה מאוד, זאת לבד מהסכנה שבהיווצרות אצידוזיס כאשר ריכוזיות האנרגיה במזון גבוהה יתר על המידה.

אולם, קיימים גם שיקולים נוספים. כאן המקום להזכיר כי כדי להקל מעומס החום על בעלי החיים, חום העלול לפגוע במיוחד באלה שיצרנותם גבוהה, קיימת חשיבות להפחתה בחום הנפלט בעת עיבוד המזון. ניתן לצמצם ייצור חום זה על ידי העלאת ריכוזיות המנה זאת משום שעיבוד אנרגיה מטבולית שמוצאה ממזון גס כרוך בייצור רב יותר של חום מאשר עיבוד אנרגיה מטבולית שמקורה במזון מרוכז. טבלה מס' 2 מדגימה את השוני שביעילות ניצול אנרגיה מטבולית לאנרגיה נטו, כאשר מקור האנרגיה הוא במזונות שונים.

טבלה מס' 2: יעילות הפיכת אנרגיה מטבולית ממזונות בעלי ריכוזיות שונה לאנרגיה נטו למטרות ייצור שונות

סוג המזון	תכולת אנרגיה מטבולית (מק"ל/ק"ג חומר יבש)	יעילות הפיכת אנרגיה מטבולית לאנרגיה נטו (%)		
		לקיום	לגדילה	לייצור חלב
קש	1.6	66	33	62
שחת באיכות ירודה	2.0	68	40	66
מזון גס מעולה	2.6	72	51	70
גרעיני שעורה	2.8	74	55	70
בליל משובח	3.0	75	58	68
גרעיני תירס	3.2	76	62	64
תירס מטופל בקיטור	3.4	78	66	61

מטבלה זו ניתן ללמוד בין השאר כי רצוי שמנת מעלי גירה המיועדת לסיפוק צורכי קיום בלבד תהיה מבוססת על שימוש יתר במזונות גסים (שחת, תחמיץ ואף קש). הבסיס להעדפה זו הוא בין השאר כלכלי, והוא נובע מכך שמחירם של מזונות מרוכזים כגון גרעיני תירס גבוה פי שלושה לערך מזה של הקש. תכולת האנרגיה המטבולית בגרעיני תירס כפולה מזו של קש ויעילות הפיכתה של האנרגיה המטבולית לאנרגיה נטו גבוהה גם היא בגרעיני תירס (אם כי היתרון כאן על קש או על שחת מאיכות ירודה הוא כ-10% בלבד). חישוב מראה כי האנרגיה נטו לקיום המתקבלת מק"ג חומר יבש של גרעיני תירס גבוהה במקרה שלפנינו פי 2.5 לערך מזו המתקבלת מק"ג קש בעוד המחיר הוא כאמור פי שלושה. על כן, במקרה זה יועדף שימוש בקש על פני שימוש בגרעיני תירס. מסקנה זו נכונה גם אם מביאים בחשבון את הצורך להוסיף חלבון או שתנן למנת הקש.

מערכת שיקולים דומה מביאה למסקנה כי עדיף שצורכי האנרגיה לגדילה יבואו ממזון מרוכז מאחר ותכולת האנרגיה המטבולית בו כפולה בהשוואה לקש וכן גם יעילות הפיכת האנרגיה המטבולית לאנרגיה נטו, כפולה. אם הכללת המזון הגס בגודש לא תגרום לאצידוזיס הרי שהאבסתו למטרות גדילה עדיפה, ולו בגלל כושר בעלי החיים לצרוך ממנו באופן יחסי הרבה יותר (כפי שהדבר נמדד בק"ג חומר יבש) מאשר מזון גס.

בניסויים רבים נמצא שהרכב המנה היעיל ביותר עבור ייצור חלב חייב לכלול מזון גס משובח עד תכולה של כ-40%. זאת על אף שתכולת האנרגיה המטבולית במזון גס נמוכה מאשר במזון מרוכז. נמצא כי הכללה של גרעינים במנה בגודש, במיוחד הכללת תירס, העתיר אנרגיה מטבולית, פוגעת ביעילות הפיכת האנרגיה המטבולית לאנרגיה נטו לחלב. ממצאים אלה סותרים לכאורה את הידוע על נצילות אנרגיה מטבולית לייצור חלב.

ההסבר לכך נעוץ בעובדה שחלק ממרכיבי החלב מיוצר ביעילות רבה ממזון גס, בעוד חלק אחר מיוצר ביעילות רבה ממזון מרוכז. חלב מכיל שומן, המיוצר ביעילות האנרגטית הגבוהה ביותר מחומצת חומץ, שעיקרה מיוצר בכרס מסיבי מזון גס. ככל שאיכות המזון הגס עולה, יותר חומצת חומץ תופק ממנו. מזון גס משובח מעודד גם ייצור מיקרוביאלי של חלבוני חלב (בתנאי שלמק"א תהיה גם אנרגיה זמינה פריקה בכרס). בנוסף, הלקטוזה שבחלב, וזו מיוצרת מגלוקוזה שמוצאה מחומצה פרופיונית בכרס, האחרונה מיוצרת בכמות רבה דווקא ממזון מרוכז. כן, ראוי להזכיר כי האנרגיה נטו שבחומצת חומץ, שמקורה בעיקר ממזון גס, מנוצלת ביעילות גם לצורכי קיום, כמעט כמו האנרגיה המטבולית שמגיעה ממזון מרוכז. מכל אלה עולה כי יעילות הפיכת אנרגיה מטבולית לייצור חלב ממזון מרוכז מאוד בלבד או ממזון גס מאוד בלבד נופלת מזו של בליל המכיל עד 40% מזון גס משובח. זה מספק לחולבת תמהיל מטאבוליטי מעולה לקיום, לייצור חלב ולתוספת משקל שנפסד.

הערכה של תרומת החלבון להזנת מעלי גירה



זמינות ואיכות החנקן שבמזון

כזכור, חלק מהחלבון המגיע לכרס מפורק על ידי מק"א לאמוניה. החנקן שבאמוניה משמש מק"א אחרים בכרס לבניית חלבון גופם. בנוכחות פחמימות פריקות כרס ברמה גבוהה של פי חמישה עד פי שישה מזו של חלבון הפריק, עשויה מרבית האמוניה שנוצרה בכרס לשמש

לייצור חלבון מיקרוביאלי. שתנן מגיע לכרס וכן מופרש במזון מדופן הכרס. בנוסף, מגיע שתנן לכרס גם ברוק. השתנן וכן חומצות הגרעין שבמזון מפורקים בכרס גם הם לאמוניה, המשמשת גם כאן כחומר גלם לבניית חלבון מיקרואורגניזמים.

כאשר קצב פירוק החלבון גבוה, כאשר פריקות החלבון גבוהה, וכאשר קצב השימוש בחלבון בכרס נמוך מחמת היעדר פחמימות, ריכוז האמוניה בכרס עולה מאוד, נוצר עודף אמוניה וזה עלול לעבור לדם ולגרום למות מעלה הגירה מהרעלת אמוניה.

מעלי גירה דומים לבעלי חיים אחרים בדרישתם לחלבון ולהרכב חומצות אמינו מתאים. עד לפני מספר עשרות שנים היה מקובל כי בעת תכנון אספקת חלבון למעלי גירה, יש צורך להתייחס רק לכמות החלבון במנה, ואין צורך לדאוג לאיזון בין חומצות האמיניות במזון. זאת משום שהוכח שהמיקרואורגניזמים בכרס ממלא מפרקים את מרבית החלבון שבמזון ובונים מחדש חלבון מיקרוביאלי בעל ערך ביולוגי גבוה, המשמש את מעלי הגירה. במהלך עשרות השנים האחרונות נתברר כי הדבר נכון רק לגבי מעלי גירה בעלי ביצועים נמוכים עד בינוניים, אך לא למעלי גירה בעלי רמת יצרנות גבוהה.



כיום התווספו הוכחות כי עבור מעלי גירה בשיא תקופת הייצור שלהם, כגון אצל פרות חולבות, יש חשיבות הן לכמות החלבון והן להרכב היחסי של חומצות האמינו במנה. מקובל לחשוב כי הסיבה לכך היא שבתנאים אלה של צריכת חלבון רבה ומעבר מהיר של חלבון בכרס, קצב ייצור החלבון על ידי המק"א אינו עונה על הצרכים של מעלה הגירה הן מבחינת כמות החלבון והן מבחינת ההרכב יחסי של חומצות האמינו בו. במיוחד נמצא לעיתים במנות מסוימות חסר בליזין, במתיונין ובהיסטידין (אלה קרויות "חומצות אמינו מגבילות"). ניתן לענות על החסר בשלוש דרכים:

- ❖ לכלול במנה חלבון שרידי (חלבון שהמק"א אינם מספיקים לפרקו עד עזיבתו את הכרס במעכל) המכיל את חומצות האמינו כשהמק"א לא מספיקים די הצורך;
- ❖ לכלול במנה חומצות אמינו בצורה מוגנת כדי שלא תתפרקנה בכרס ותגענה בשלמות למעי;
- ❖ לספק במנה בגודש תרכובת מוצא (פרקורסור) אשר מהן המק"א ייצרו את חומצות האמינו החסרות.

שתי הדרכים הראשונות, הוספת חלבון שרידי או הוספה של חומצות אמינו מוגנות, עלולות לייקר את המנה. אך אין מנוס מנקיטה בדרכים אלה כאשר קיים חסר בחומצות אמינו מסוימות במנה.

למושג "חלבון נעכל" משמעות שולית בלבד בהקשר של הזנת מעלי גירה. זאת, משום שבעקבות פעילות המק"א בכרס, בעל החיים ניזון מחלבון שמקורו בעיקר מחיידקי הכרס ולא מהמזון שנאכל. לכן כיום, כמעט ולא מוגש בטבלאות-מזון הערך "חלבון נעכל". עד כמה רופף הקשר בין החלבון שנאכל על ידי מעלי הגירה לבין החלבון שנעכל בקרבו ניתן ללמוד לדוגמה ממצב בו גמל ניזון מקש המכיל 3% חלבון כללי בלבד. מרבית השתנן בדמו של הגמל מוחזר לכרס, והופך לחלבון מיקרוביאלי, אשר בהמשך יוצא מהכרס ומתעכל במעי. בדרך זו, מעכל הגמל למעשה כמות רבה יותר של חלבון מזה שצרך מהקש. עם זאת, יש לדעת כי אין הגמל יכול להתקיים ללא אספקה מסוימת של חלבון במזון. בכל מקרה, חלק מהחלבון או החנקן הכללי חייב לבוא כתוצאה מפירוק בכרס של חלבון לאמוניה או לאחר עיכול חלבון בקיבה.

במהלך הערכת תרומת החלבון להזנת מעלי גירה יש לזכור, כי בצד כניסת חלבון למערכת העיכול קיים גם הפסד של חלבון מגוף מעלי גירה. בצוואה מופרש חלבון הקרוי "חלבון מטבולי" שמקורו ברקמות המעי, באנזימים שהופרשו למערכת העיכול ובשרידי חלבון מק"א. שיעורו של החלבון המטבולי בצוואה עולה ככל שגדלה תכולת הסיבים במנה. יש להביא נתון זה בחשבון בעת האבסה במזונות גסים מאוד, הגורמים לגריעת חלבון אל מחוץ לגוף.

הערכת טיב החלבון

ערכו הביולוגי של החלבון

כפי שפורט קודם, גוף מעלי גירה שרמת יצרנותו גבוהה זקוק לחומצות אמינו בכמויות וביחסים מוגדרים בהתאם לצרכיו המשתנים. בעוד שאצל פשוטי קיבה היחס בין חומצות האמינו הנצרכות נקבע על ידי הרכב המזון, אצל מעלה הגירה יחס חומצות האמינו הנספגות בגוף נקבע בכרס בה מסונטזות חומצות אלו. מאחר שהמק"א מסנטזים חלבון לצורכי בניין גופם ולא לצורכי מעלי הגירה, ההרכב היחסי של חומצות האמינו בגוף המק"א אינו בדיוק זה הדרוש לייצור חלב או צמר למשל.

ככלל, התאמת הרכב חומצות האמינו לצורכי בעלי החיים, כולל מעלי הגירה, מוגדרת במושג "הערך הביולוגי של החלבון". ערך זה מוגדר ככמות החלבון שנאצר בגוף כאחוז מכלל החלבון שנספג (נעכל). הגוף צורך ממאגר חומצות האמינו שנספגות את הדרוש לו ואילו החלק שלא נאצר בגוף מפורק לאמוניה ולשרשראות פחמניות. המרכיב הפחמימני שבשרשרת חומצת

האמינו מנוצל למטרות אנרגיה (במידה ומינון החלבון אינו בעודף) ואילו החנקן שנותר הופך בכבד לשנתן ומופרש בשתן.

מניין חומצות אמינו במזונות הנפוצים הוא כ-20. הגוף מסוגל לייצר חלק מחומצות האמינו, אך 10 מהן הוא חייב לקבל מבחוץ – מהמזון. אלה קרויות בשפת התזונאים "חומצות אמינו הכרחיות". קושי הנגרם כתוצאה מחוסר איזון בין תמהיל חומצות אמינו במֶעֱפֵל לבין צורכי מעלי הגירה ניתן לפתרון בשתי דרכים:

- ❖ להרכיב מנה ממזונות אשר תערובת החלבונים השרידיים שבהם תזרים במעכל היוצא מהכרס, ביחד עם חלבוני המק"א, תמהיל של חומצות אמינו המתאים באיכות ובכמות העונה על צורכי מעלי הגירה;
- ❖ להוסיף ממקור חיצוני חומצות אמינו (כגון מתיונין או ליזין המיוצרות כיום בייצור סינתטי) שעברו תהליך הגנה מפני פירוקן בכרס ובכך לאזן את אספקת חומצות האמינו.

ניתן להתגבר על נחיתות תזונתית בערך ביולוגי של חלבון נתון או של נחיתות הרכב בחלבון מֶעֱפֵל הכרס המגיע למעי על ידי הזנה בתערובת של חלבונים שונים, תוך הסתמכות על ידע בדבר ההרכב היחסי של חומצות אמינו בחלבונים אלה. לדוגמה, ערוב, ביחסים מתאימים של חלבוני חיטה וחלבוני סויה עשוי להעלות את הערך הביולוגי של תערובת החלבונים מכ-65% עד לכ-85%. הערך הביולוגי של חלבוני קמח דם ושל גלוטן תירס הוא כ-45% כל אחד, ואם יואבסו כל אחד כמקור חלבון יחיד במנה, 55% מהחנקן שבהם יופרש בשתן כשתנן. אך תערובת של 4 יחידות משקל של חלבון תירס עם יחידת משקל אחת של חלבון קמח דם תעלה את הערך הביולוגי של החלבון בתערובת עד קרוב ל-100%. דבר דומה יקרה בערוב שתי יחידות חלבון סויה עם יחידה אחת של חלבון שומשומין (טחינה). זאת עבור פשוטי קיבה ומעלי גירה יונקים.



חנקן (חלבון נאצר)

אחת מאמות המידה ליעילות ניצול חלבון המנה (או חנקן המנה) הוא אצירת החלבון (החנקן) שנספג ממערכת העיכול בגוף בעל החיים. הערך "חלבון נאצר" או "חנקן נאצר" מופיע בדרך כלל בדיווחים על ניסויי הזנה שנערכים על ידי מוסדות מחקר וחברות מסחריות, אך לא בטבלאות הזנה. המדובר הוא בחנקן שבעל החיים אצר מתוך החנקן שנספג והשתמש בו לצרכים שונים. חישוב החנקן הנאצר נעשה על פי המסוכם בתמונה מס' 15.

$$\text{חנקן נאצר} = A - B - C - D$$

חנקן
בצואה

חנקן
בשתן

חנקן
בחלב
(**)

חנקן
נושר
(*)

(*) חנקן נושר: חנקן המצוי בשער, בעור, בטלפיים וכד'.
(**) חנקן בחלב: חנקן היוצא מהגוף דרך חלבוני החלב בנקבה נחלבת.

תמונה מספר 15: חישוב רמת החנקן הנאצר בגוף מעלה הגירה

יעילות אצירה נמוכה של החלבון הנספג (בנוכחות כמות מספקת של אנרגיה במנה) מצביעה על ערך ביולוגי נחות של החלבון ומחייבת שינוי הרכב החלבון במנה.

טיב החלבונים המסופקים במזון

על אף שבדרך כלל אין קשר בין תכולת החלבון במנה לבין כמות החלבון הנעכל, קיימים שני מצבים בהם מומלץ לבדוק בדרך מעבדתית את היחס בין החלבון הנעכל לבין החלבון האמיתי שבמזון (הרכב חומצות אמינו).

במקרה הראשון, מדובר במצב בו עולה החשד כי למזון הוכנס מרכיב המכיל חנקן שאינו חלבוני כגון כיטין קשקשי דגים, כיטין מסרטנים (כל אלה אינם חלבון אמיתי) או במקרה אחר, קמח נוצות שהוא חלבון אמיתי אך אם לא טופל כהלכה בקיטור בלחץ גבוה אינו נעכל כלל ואף אינו פריק בכרס.

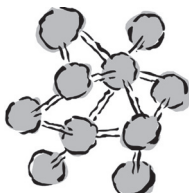
המקרה השני בו דרושה בדיקה מעבדתית מעין זו הוא כאשר מדובר בחשד להוספת שתן למנה. בשני המקרים בדיקת תכולת החנקן במזון תראה ערך גבוה יחסית מאחר וחומרים אלה, שאינם עוברים עיכול, מכילים חנקן, המגיב בבדיקת קלדהל כחנקן של חלבון.

לבידור חשדות אלה של זיוף תכולת החלבון במנה בודקים את המזון כך שמעבירים אותו בשלב ראשון עיכול בפפסין – אנזים מפרק חלבון הפעיל בקיבה, ובשלב השני עיכול בפנקאטין – אנזים המופרש מהלבלב ומעכל חלבון המגיע למעינים. אם בדיקת קלדהל של המזון לאחר עיכולו בפפסין ופנקאטין תצביע על הימצאות חלבון הרי מדובר בזיוף, שהרי כל החלבון הנעכל היה צריך להיעלם מהמבחנה, למעט אם היה שתן במזון שגם הוא מסיס בנוזלי

העיכול. במקרה של חשד בזיוף כזה רצוי להוסיף בדיקת שתנן במזון כדי להוכיח בצורה ישירה את הטענה לזיוף. ראוי להזכיר כי גם במנה רגילה נהוג לכלול שתנן במנת מעלי גירה כתחליף לחלבון, אך במקרה כזה חייב היצרן להצהיר על כך ולציין במפורש את תכולת השתנן במנה.

פריקות חלבונים

אמת מידה נוספת בדבר איכות החלבון המסופק למעלי גירה היא מידת פריקותו בכרס. זו אמת מידה המשמשת בהערכת טיב החלבון רק עבור מעלי גירה בוגרים. יש לדעת כי פריקות חלבון של מזון נתון שלא עבר כל טיפול מושפעת ביחס ישר ממשך השהות שלו בכרס, או נמצאת ביחס הפוך לקצב מעבר המזון מהכרס. יש לקחת בחשבון כי קצב מעבר המזון נמצא ביחס ישר לרמת צריכת המזון, לכמות המינרלים המסיסים שבו ולקצב צריכת המים. פריקות גבוהה עלולה להסתיים בהפסד חלבון במקרה הטוב, ואף למות בעל החיים במקרה קיצוני.



מאחר ומחיר החלבון במנה הוא גבוה יחסית, פותחו טכניקות לצמצם את פריקותם של חלבונים יקרים, במיוחד במזונות עתירי חלבון. טכניקות אלה כוללות קלייה, איוד בפורמלדהיד (טיפול האסור בחלק מהארצות כי פורמלדהיד הנקשר לאוראה או תרכובות אחרות יוצר תרכובות הנחשבות כמסרטנות), טיפול בטנינים קושרי חלבון וכיוצא באלה תהליכי קשירה לחומרים המאטים או מצמצמים את פריקות החלבון בכרס.

חשוב לזכור כי חלק מהמזונות החלבוניים הם תוצרי לוואי של תהליכי תעשייה. דוגמאות למזונות אלו הן גלוטן תירס הנותר מקורנפלור, כוספאות שונות הנוותר לאחר מיצוי שמן מגרעינים או מקמחי בעלי חיים. התהליכים התעשייתיים מסתיימים בדרך כלל בחימום התוצרים לצורך אידוי המים מהם. חום זה מעלה את רמת השרידות של החלבון שבכוספה או בקמחי שאריות בעלי חיים. אולם, יש לזכור, חלבונים שרידיים אלה אינם עומדים לרשות ייצור המק"א, והם זורמים לעיכול בקיבה ובמעיים תוך שימור הרכבם המקורי בחומצות אמיניות. כאשר הרכב זה אינו מספק את ההרכב היחסי בחומצות אמינו הדרוש לביצועי מעלי הגירה, נוצרת בעיה של ערך ביולוגי נמוך הפוגע בביצועי בעל החיים. כדוגמה למקרה כזה ישמש גלוטן התירס, ששרידותו גבוהה מאוד אך הוא חלבון גרוע, והכללתו בגודש כמקור בלעדי לחלבון מוסף במנת פרות חלב גרמה לירידה משמעותית בתנובות החלב. מאידך, שרידותו הגבוהה של חלבון קמח דגים (כ-70%) אינה פוגמת בביצועי מעלי הגירה, כי הוא מספק הרבה מחומצות האמינו ההכרחיות החסרות במעכל היוצא מהכרס. אך מאחר והוא פוגע במידת מה בתיאבון בעלי החיים, יש לאזן את הכללתו במנה במקורות חלבוניים אחרים.

הערכת תרומת שומן להזנת מעלי גירה



בשוק המזונות של חיות משק מוצעים מספר מוצרים עתירי אנרגיה ממקור שומני המשמשים להעשרת המנה באנרגיה. מקורם של מוצרים אלה הוא בעודפי שומן בעלי חיים הנשחטים בבתי מטבחים או בשמנים ממקור צמחי.

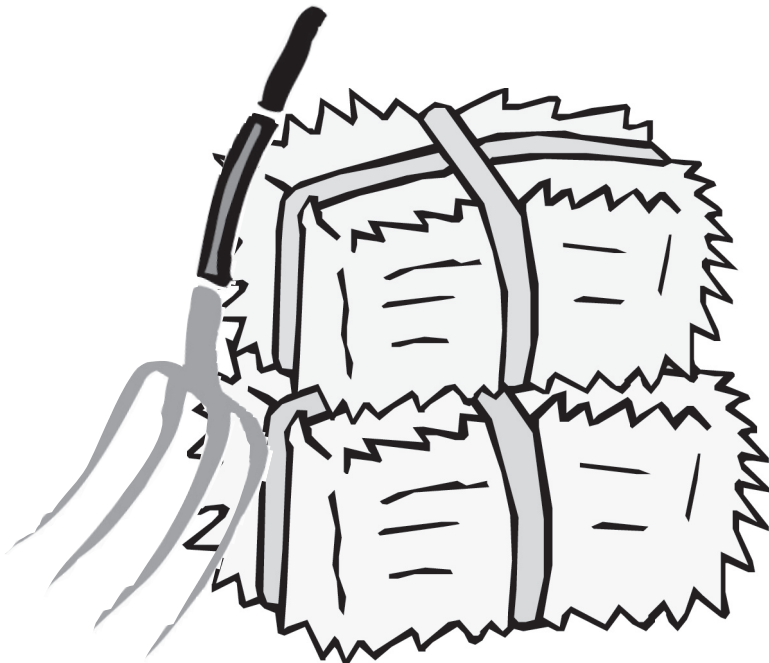
יתרונות: כזכור, ליפידים ונגזרותיהם השונות הם חומרים עתירי אנרגיה – יותר מחלבונים ומפחמימות. בנוסף, הם מכילים חומצות שומן בלתי (ורב בלתי) רוויות הדרושות לגוף כפרויטמינים וכתרכובות מוצא להורמונים חשובים. שומנים דרושים גם עבור ויטמינים המסיסים בשומן בתהליך ספיגתם בגוף. בזכות כל אלה נכללים השומנים במנות מעלי גירה, במיוחד במנות המוכנות עבור מעלי גירה בשיא היצרנות. הכללתם במנה מעשירה אותה מבלי להזיק לתוספת גרעיני דגן שגודש בהם עלול לגרום לאצידוזיס. שנויה במחלוקת הטענה כי ריכוז האנרגיה הגבוה בנפח מזון שומני קטן יחסית מותיר נפח בכרס לצריכה נוספת של מזון.

חסרונות: המק"א אינם מכילים אנזימים ליפוליטיים ומשום כך אינם מסוגלים לתקוף ולפרק את הליפידים בכרס ולהשתמש באנרגיה הגלומה בהם לצורכי ייצור חלבון מיקרוביאלי. יתרה מכך, השמנים הנוזליים שבגרעיני שמן, ואף אלה נמוכי נקודת ההתכה שבשאר המזונות (כגון בקמחי בשר וכד'), עוטפים בכרס את חלקיקי המזון הגס, ומונעים מאנזימים צלולוליטיים (מפרקי סיבים) לפרק את הסיבים. צמצום פירוק סיבים בכרס גורם לצמצום ייצור החלבון שם. בנוסף, משבשים השומנים את פעולת הממברנות השומניות בפרוטוזואה, דבר המגביל את גדילתן. חיסרון נוסף בשימוש בשומנים להזנת מעלי גירה הוא חשיפתם של הקשרים הבלתי רוויים שבשומני המזון, ובשמנים הצמחיים במיוחד, לחמצון ולעיפוש המזון בעת אחסונו, דבר המוביל בין השאר להרס ויטמינים. כדי לנצל את יתרונות השומנים בהזנת מעלי גירה תוך ביטול או צמצום נזקיהם פותחו טכניקות לעיבודם, שחלקן מיוחדות עבור מעלי גירה. למוצרים קוראים "שומן מוגן".

כל שיטות העיבוד מתאפיינות במניעה של התמוססות השומנים המוגנים בכרס. התמוססות השומנים עלולה להביא לפגיעה בהם. הרעיון הכללי ביצירת שומן מוגן הוא להפוך את השומנים לחלקיקים קטנים אינרטיים (אדישים מבחינה כימית לסביבתם) הצפים בנוזלי הכרס. על ידי כך יזורז קצב מעברם למערכת העיכול מבלי שהם ייספחו לסיבים שבכרס. אחד המוצרים קרוי "פניני שומן" אשר למעשה אינם מתפרקים בכרס. בתהליך אחר מייצרים "שומן מוגן" אשר אינו אלא מלחי סידן של חומצות שומן, אשר אינם מתמוססים או ניתכים בכרס. בתהליך

העיבוד, השומן עובר ליפוליזה, הגליצרול מופרד ונאסף בנפרד וחומצות השומן הופכות למלח סידני בלתי מסיס בכרס. בעבר נוסתה בהצלחה שיטה לעטוף את השומן בחומר שאינו מסיס או שאינו מתפרק בכרס (הידוע ביותר היה חלבון שרידי שעטף את השומן), אך מחמת מחירו הגבוה של התהליך, המוצר לא הפך חלבון זה למוצר מסחרי.

יש לזכור בעת הרכבת המנות וחישוב פוטנציאל ייצור חלבון מק"א בכרס כי שומן מוגן אינו מתפרק בכרס, וככזה אינו תורם לייצור חלבון מיקרוביאלי שם.



הזנת מעלי גירה



חיים תגרי

ייחודם של מעלי גירה וסוסיים



סקירה של תפוצת בעלי החיים המאכלסים את כדור הארץ מגלה כי מעלי גירה מצויים בכל המקומות הקשים לקיום. הגמל והעז הבדואית חיים במדבריות צחיחים וניזונים שם על צמחייה דלה. אייל הצפון (קרנפ) להבדיל, חי במדבריות הקרח ושולף את מזונו מקרקעית נהרות. מצטרפים לרשימה הלאמה, החיה בהרי האנדים והיאק החי בהרי ההימלאיה, אשר מתקיימים בגובה של עד 4 ק"מ כאשר הם חשופים לקור מקפיא וניזונים על מזון דל. כל הסוגים שהוזכרו, כמו גם רבים אחרים, מסוגלים לשרוד בתנאים קשים ולהוות מקור המספק לאדם מזון (בשר, חלב ומוצריו) ומוצרי צריכה כגון צמר ועורות. זאת, בנוסף לשימוש שעושה האדם במעלי גירה כחיות משא וכבהמות עבודה. יכולת זו של מעלי גירה, לעכל ולעבד מזונות דלים מתאפשרת הודות למבנה מיוחד של מערכת העיכול שלהם. זו כוללת את הכרס, את קיבת הכוסות ואת קיבת העלים. אברים אלה ממוקמים בקדמת מערכת העיכול האמיתית, לפני הקיבה והמעיים.

במערכת העיכול של מעלי גירה, ובמידה חלקית גם בזו של סוסיים, מתקיים פירוק מזון על ידי חיידקים (Bacteria), חד־תאיים (Protozoa) ופטריות (Fungi), המכונים יחד מיקרואורגניזמים (מק"א). פירוק המזון אשר נעשה בתהליכי תסיסה במערכת העיכול של מעלי גירה הוא בהיקף גדול יותר והוא מתבצע ביעילות רבה יותר מאשר פירוק המזון אצל פשוטי קיבה. בנוסף לפירוק המזון, נוצר במהלך התסיסה במערכת העיכול גם חום רב, יותר מזה הנוצר בפעולת עיכול

רגילה. לחום זה אצל מעלי גירה יתרון וחיסרון כאחד: מחד, הוא עוזר מאוד למעלי גירה לשרוד בקור המקפיא אשר בערבות, בגבהי ההרים או בלילות במדבר. מאידך, החום עלול להכביד על מעלי גירה יצרניים באזורים חמים. בעלי החיים ממשפחת הסוסיים כגון הסוס, החמור והערוד רועים בטבע בעיקר באזורים בהם מצוי, על פי רוב, מזון באיכות טובה יותר מזה העומד לרשות מעלי הגירה הניזונים על מרעה טבעי. עם זאת, חשוב להזכיר כי גם בין הסוסיים יש מינים המסוגלים לחיות על מזון בעל ערך תזונתי נמוך. גם בסוסיים מתבצעת פעולת תסיסה במערכת העיכול, אך היקפה ותפוקתה נחותים יחסית בהשוואה לאלה של מעלי גירה. מבנה ופעילות קדמת מערכת העיכול של סוסים דומים אך במעט לאלו של מעלי גירה. עיקר תסיסת המזון בסוסיים מתבצעת במעי העיוור ובמעי הגס הגדול.

מבנה מערכת העיכול של מעלי גירה



שני מאפיינים מבדילים את מערכת העיכול של מעלי גירה ממערכת העיכול של שאר בעלי החיים:

נפח ומשקל: מערכת העיכול עשויה לתפוס במעלי גירה בוגרים 38% עד 45% מנפח הגוף וממשקל הבוגר. זאת, בהשוואה למשל לכ-20% בסוסיים, 15% בחזיר וכ-8% באדם.

חלוקה למדורים: מערכת העיכול של מעלי גירה מחולקת לשלושה מדורים ראשיים:

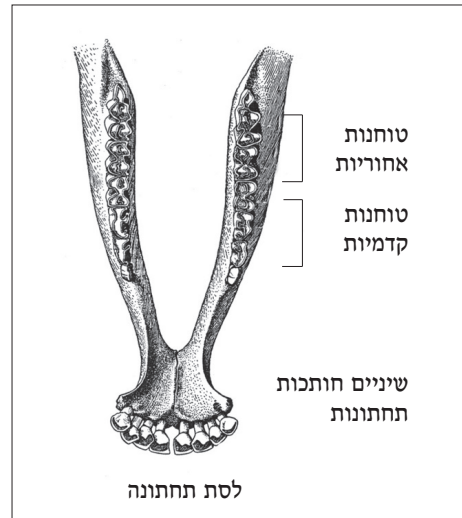
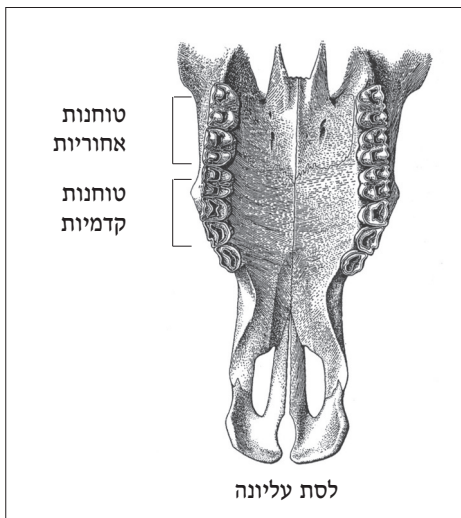
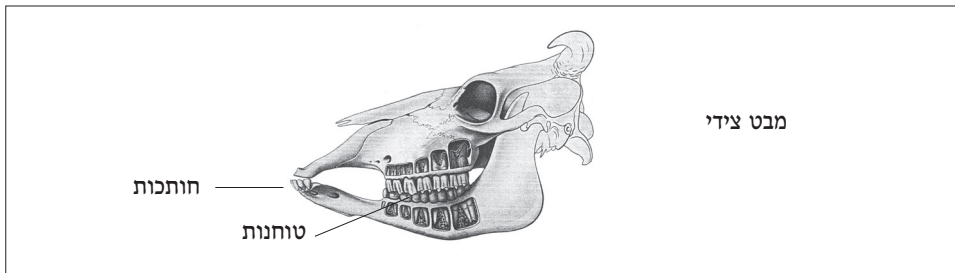
❖ מערכת הכרס והאברים הנלווים אליה – קיבת הפוסות וקיבת העלים מצויים רק במעלי גירה. בכרס מתנהלת על ידי המק"א פעולת פירוק המזון וייצור מחודש של חלק מרכיבי המזון.

❖ מערכת העיכול האמיתית: בדומה למערכת העיכול הקיימת במרבית בעלי החיים, מערכת העיכול האמיתית של מעלי גירה כוללת קיבה ומעיים. באיברים אלה מתבצעת פעולת העיכול על ידי אנזימים המופרשים מגוף מעלי הגירה.

❖ המעי העיוור, המעי הגס והחלחולת: באיברים אלה מתנהלת פעולת פירוק של שארית המזון שלא עוכל קודם לכן על ידי מק"א או על ידי אנזימי העיכול שבקיבה האמיתית ובמעיים. אמנם, גם אצל בעלי חיים חד-קיבתיים מתקיימת פעילות מק"א דומה בחלקים אלה של מערכת העיכול, אולם חשיבותה של פעילות זו להזנת הפרט אצל החד-קיבתיים היא מזערית.

הפה ותהליך העלאת הגירה

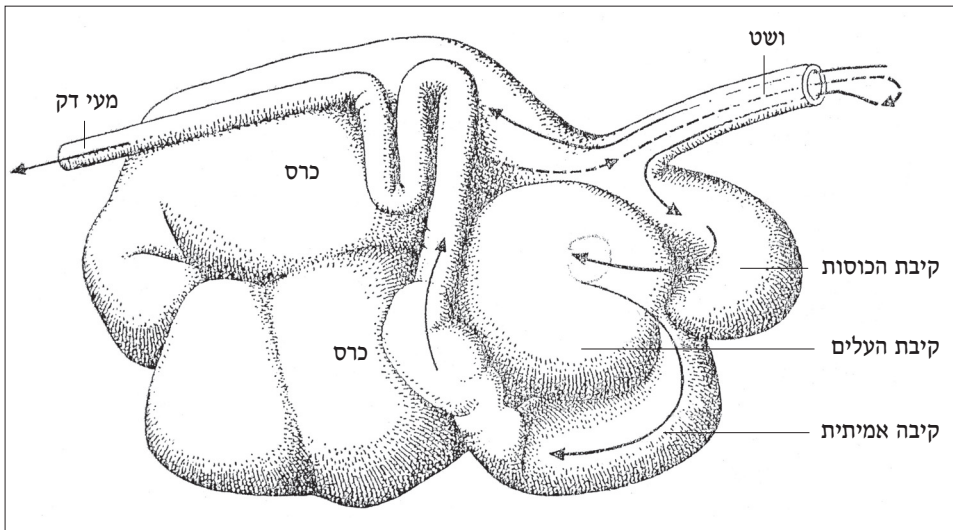
הפה הוא האבר בו מתבצעות פעולות הלעיסה והבליעה. מערכת השיניים בפי מעלי גירה כוללת שיניים חותכות תחתונות והיא חסרה שיניים חותכות עליונות. הניבים במעלי גירה מנוונים. למעלי גירה יש מערכת מפותחת של שיניים טוחנות בשתי הלסתות. שיניים אלה מסוגלות לרסק ביעילות רבה את המזון הנאכל (ראה/י תמונה מס' 1). מחמת היעדר שיניים חותכות עליונות אין הפרה או הכבשה למשל, נוגסות בעשב, אלא לוחכות אותו בלשונן, ובתנועה מהירה כלפי מעלה תולשות ומנתקות אותו משורשיו. המזון נלעס בפה מספר קטן של לעיסות ותוך הרטבתו ברוק הוא מתכדר לכדי "צִנְפֶּת־מִזוֹן" אותה בולע בעל החיים. לאחר הבליעה והמעבר דרך הוושט, מגיע המזון לכרס, שם הוא עובר טלטול וערבול לסירוגין. מכאן, נשאב המזון בחזרה אל הפה לצורך העלאת גירה הכרוכה בלעיסה, בחיתוך, בריסוק ובהרטבה חוזרת ברוק. בשלב זה, מתערבבים רכיבי המזון עד ליצירת עיסה אחידה הנקראת "מֶעֶכָּל" (Digesta). המעכל מורכב מרוק, ממים, מחלקיקי מזון וממק"א והוא נבלע בחזרה לכרס.



תמונה מס' 1: מערכת השיניים של פרה

מערכת הכרס של מעלה גירה בוגר

מערכת הכרס של מעלה גירה בוגר כוללת שלושה חלקים: כרס התופסת כ-80% מנפח המערכת, קיבת כוסות וקיבת העלים (ראה/י תמונה מס' 2). עם בליעתה החוזרת של הגירה היא מגיעה שוב לכרס ושם מתפזר המעכל בתוכן הכרס וממשיך להיות מותסס על ידי המק"א. בתוכן הכרס נוצרות מספר שכבות של המעכל, הנבדלות זו מזו באורך המקטע הסיבי שלהן: בשכבה העליונה צפים הסיבים הארוכים ביותר והיא יחסית "יבשה". השכבה התחתונה היא מעין "מרק" שבו צפים החלקיקים הקטנים ביותר. מהשכבה התחתונה זורם המעכל מהכרס הלאה אל קיבת הכוסות.



תמונה מס' 2: מערכת הקיבות של מעלי גירה

עיקר פירוק המעכל על ידי המק"א נעשה בכרס. חלק מתוצרי הפירוק נספגים בדופן הכרס, בדופן קיבת הכוסות ובדופן קיבת העלים. חלק אחר זורם לקיבה האמייתית, בה נעשה עיכול מוגבל על ידי הפרשות הקיבה. משם והלאה מועבר המזון למעייים.

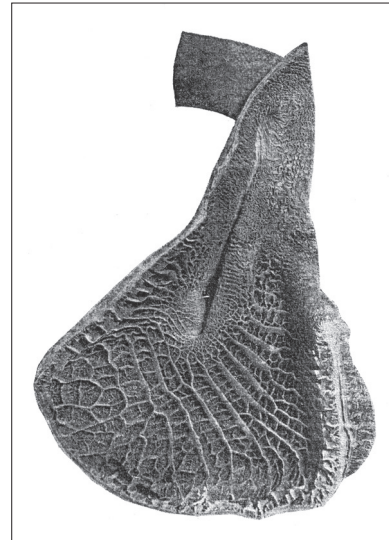
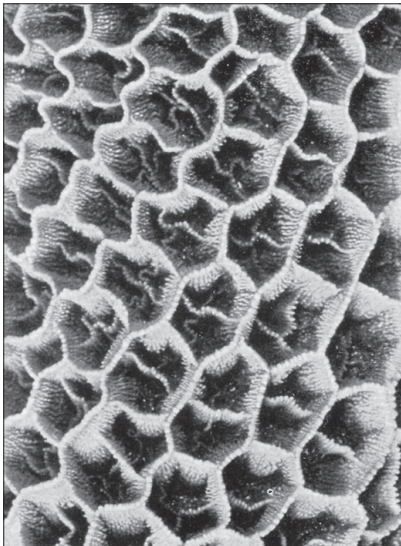
לכרס צורת שק גדול מאוד. בדפנותיה מצויה מערכת שרירים וגידים חזקה, המחלקת אותה למספר מדורים קטנים שאינם מופרדים לחלוטין זה מזה. פעילות הכרס כוללת פעולת טלטול דמוית לִישָׁה, בה מועבר המעכל ממדור למדור. מפני שטח דופן הכרס בולטות אל תוך חלל הכרס מספר רב מאוד של פִּיטְמִיּוֹת (Pappili), שאורכן בין 2 ל-5 מ"מ. אם שוטחים את דפנות הכרס של פרת בקר לחלב למשל, שטח הפנים מגיע לכדי 2 מ"ר. אולם, אם מחשבים

כָּרֶס (Rumen)

גם את שטח הפנים הכולל של הפיטמיות מגיע שטח הפנים של הכרס לכדי 70 מ"ר. הפיטמיות עשירות בכלי דם ודרךן מופרשים אל תוך חלל הכרס רכיבים שונים. הפיטמיות משמשות בעיקר לספיגה מחלל הכרס של תוצרים מסיסים הבאים מפירוק המזון על ידי המק"א. המזון שלא נעכל בכרס שוקע לשכבת הנוזלים שבתחתיתה. משם מועברים חלקיקי המזון עם נוזלי הכרס לקיבת הכוסות.

קיבת הכוסות (Reticulum)

מדופנותיה של "קיבה" זו בולטות מחיצות קטנות בצורת שתי וערב שגובהן 2 עד 3 מ"מ, אלו יוצרות מבנים דמוי כוסות. מכאן שמה של קיבה זו (ראה/י תמונה מס' 3). בקיבת הכוסות מתמין המעכל: החלקיקים הצפים הנושאים את מרבית המק"א, וכן המק"א הצפים בנוזלי הכרס מועברים מכאן דרך "תעלת קיבת העלים" אל קיבת העלים. החלקיקים הגדולים או הכבדים שלא עוכלו מוחזרים לכרס להמשך תסיסה. תנועת המעכל בקיבת הכוסות נעשית בעזרת התכווצויות שרירי דופן קיבה זו. אחת לכמה כיווצים מתחולל בקיבה זו כיווץ חזק במיוחד המעלה את תכולת המעכל שבתחתיתה לגובה תעלת קיבת העלים, וכל התוכן הכבד (גרגירי חול, אבנים קטנות) שנלכד ב"כוסות" מועבר דרך תעלת קיבת העלים לקיבת העלים, ומשם הלאה למערכת העיכול האמיתית עד להפרשתו בצואה. אולם, חלקי מתכת כבדים הקרויים בפי הרפתנים "גופים זרים" שנבלעו עם המזון, אינם עוזבים את קיבת הכוסות לעולם.

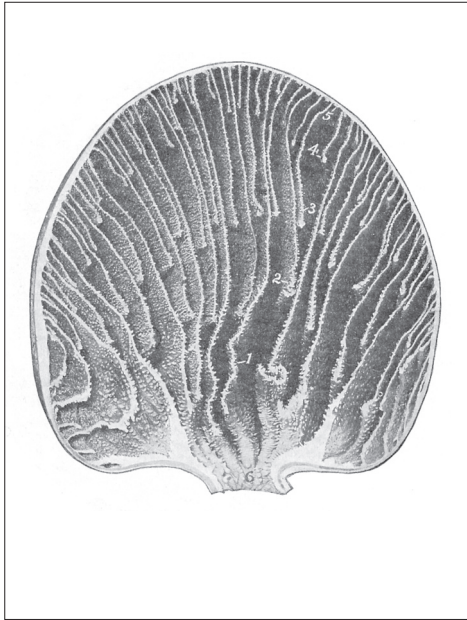


תמונה מס' 3: מימין: חתך המציג את המבנה הפנימי של קיבת הכוסות
משמאל: מבנה קיבת הכוסות

קיבת העלים (Omasum)

כשמה כן היא. מדופנותיה בולטים מבנים דמויי עלים שגודלם ושטחם בכבשים כגודל כף יד של אדם בוגר ועוביים כ־3 עד 6 מ"מ (ראה/י תמונה מס' 4). "עלים" אלה, הממלאים את כל נפחה של קיבה זו מכוסים במספר רב מאוד של פיטמויות שתפקידן בעיקר

ספיגת רכיבים מסיסים ונוזלים.



תמונה מס' 4: מימין: חתך המציג את המבנה הפנימי של קיבת העלים
משמאל: מבנה קיבת העלים

הקיבה האמיתית (Abomasum)

זו זהה בפעולותיה לפעולת הקיבה היחידה שב"פשוטי הקיבה". המעכל מגיע אליה מקיבת העלים דרך תעלה המקשרת ביניהם. דופנותיה של הקיבה האמיתית חלקים ומרופדים ברירת. מעבר לרירת, בינות השרירים, ממוקמות הבלוטות המפרישות בעגל או בטלה היונק חומצה מלחית ואת האנזימים רֵנִין (Renin) ופֶפְסִינוֹגֶן ההופך בקיבה לפֶפְסִין (Pepsin). במעלה גירה בוגר אין הפרשת רנין. בקיבה האמיתית של מעלה גירה מתחוללת פעולת עיכול בדומה לנעשה בקיבה של פשוטי הקיבה, אלא שיעילותה של פעולה זו פחותה בהרבה בהשוואה לזו שבפשוטי קיבה.

מבנה מערכת הכרס של מעלה גירה בשלב היניקה

מבנה מערכת העיכול של מעלה גירה צעיר בשלב היניקה שונה ממבנה מערכת העיכול של מעלה גירה בוגר. אצל היונק הכרס, קיבת הכוסות וקיבת העלים אינן מפותחות. לעומת זאת, נפח הקיבה האמיתית גדול יחסית למצב בבוגר, והוא מהווה למעלה מ-50% מנפח מערכת "כרס-קיבות" של היונק.

האבר המאפיין את מערכת העיכול של היונק הוא "תעלת הוושט – קיבות הכוסות וקיבת העלים" (Esophageal groove). מבנה תעלה זו כולל שתי דפנות (שפתי התעלה) הצמודות לדופן הקיבות. התעלה מתחילה ליד קצה הוושט בבית הבליעה ונמשכת לאורך דופן הוושט ודופן קיבת הכוסות עד לתעלת המעבר לקיבת העלים. משם, נמשכות שפתי התעלה היישר אל הקיבה האמיתית. בעת היניקה מתקרבות שפתי ה"תעלה" האחת אל השנייה בעזרת שרירים הממוקמים בדופנותיה. כך נוצר מבנה דמוי צינור המוביל את החלב הנגמץ מבית הבליעה דרך הוושט והתעלות היישר לתוך הקיבה האמיתית.

חלקיקי מזון ועליהם מק"א שהיונקים מלקטים כבר בגיל צעיר מגיעים יחד עם כמויות קטנות של חלב לכרס. החיידקים גורמים לתסיסה האופיינית לכרס. בתהליך זה נוצרות חומצות אורגניות המגרות את הכרס והפיטמיות שבה לגדול. כרס מפותחת תאפשר ליונק להתחיל להיזון על מזון צמחי. לכן, יש הממליצים להלעיט את היונק במיץ או במעכל כרס בגיל של שבועיים-שלושה כדי לזרז את תהליך התפתחות הכרס. בסיום של תהליך הגדילה של הכרס, בגיל 6 עד 8 שבועות, מגיע גודלה של הכרס לכ-80% מגודל מערכת הכרס-קיבות, אשר במעלה גירה מבוגר.

מערכת המעיין והאברים הקשורים לה

המעיינים, אשר מהווים המשך רציף לקיבה האמיתית ולקיבת העלים, ממוקמים בצד ימין של הגוף כשלשמאלם הכרס. מערכת המעיין נחלקת לשני חלקים ראשיים: המעי הדק והמעי הגס.

המעי הדק: המעי הדק נחלק לשלושה חלקים: **דוואדנום** (Duodenum), שאורכו באדם כרוחב תריסר אצבעות (ומכאן שמו), ממוקם מיד ביציאה מהקיבה, והוא מעוגן בחלק העליון של הגוף. מקצהו יורד צינור המעיין לחלקו האחורי של הגוף. אל התריסריון מופרשים מיצי עיכול שמקורם בבלב ובכיס המרה. החלק שעד אמצע המעיין קרוי **דוואדנום** (Jejunum) ואילו החלק שבהמשך, עד סוף המעי הדק, אשר דופנותיו עבים יותר וכן גם קוטר, קרוי **איליום** (Ileum).

המאפיין את המעי הדק על שלושת חלקיו הוא היותו צינור צר יחסית וארוך מאוד, שסך אורכו בכבשה או בפרה כ-25 מ' ובסוסים כ-35 מ'. באדם, בחזיר ובפשוטי קיבה אחרים, לשם השוואה, אורך המעי הדק הוא 4 עד 7 מ' בלבד. בשלושת חלקי המעי הדק מתרחשת פעולת

עיכול על ידי אנזימים המופרשים מדופן המעי. כמו כן, במעי הדק מתבצעת ספיגה נרחבת של כל תוצרי הפירוק שהגיעו מהקיבות.

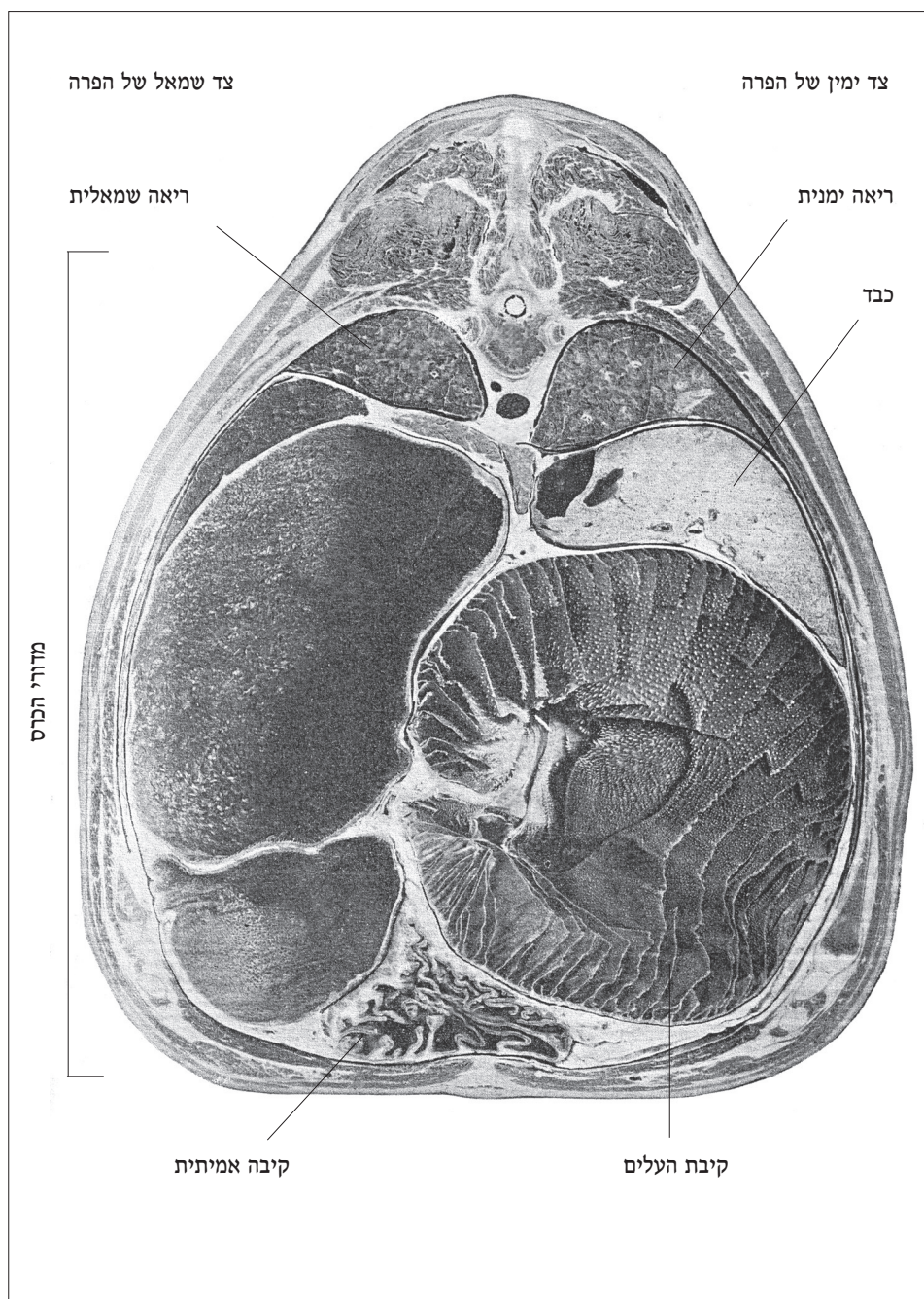
מערכת העיכול האחורית: בקצה האיליום ממוקמת צומת מערכת העיכול האחורית (Ileo-Ceacal Junction). במערכת העיכול האחורית, המורכבת מהמעי העיוור (Caecum), מהמעי הגס (Colon), מהחלחולת (Rectum) ומפי הטבעת (Anus), מתבצעת פעולת פירוק של שרידי מעכל על ידי מק"א (כמו בכרס), ולא על ידי אנזימים כפי שקורה במעי הדק. כמו כן, נספגים במערכת העיכול האחורית, אם דרך הדופן או על ידי שטיפה חוזרת לחלקו הסופי של האיליום חומרים שונים. אלה מכילים בין השאר מינרלים, חומצות שומן, אמוניה, מים וויטמינים מסוימים, אך לא חלבונים. אזור מערכת העיכול האחורית והפעילות בו דומים בכל בעלי החיים, ולהבדיל אצל האדם. עם זאת, אצל מעלי גירה וסוסיים אזור זה הוא יחסית גדול יותר ומתבצעת בו פעילות תסיסה נרחבת.



בשלב ראשון, עם הגעת המעכל לצומת מערכת העיכול האחורית, זורמת יתרת המעכל מהאיליום דרך סעיף אחד של הצומת לשק המעי העיוור. לאחר שהייה, תסיסה ופירוק נוספים של שרידי המעכל, חוזר המעכל מהמעי העיוור לצומת, וזורם דרך סעיף אחר של הפתח למעי הגס או לחלקו הסופי של האיליום. קוטרו של המעי הגס עשוי להיות עד פי ארבעה מזה של המעי הדק, אך אורכו כ-3 עד 6 מ' בלבד במעלי גירה. לאחר שהות במעי הגס עוברים שרידי המעכל לחלחולת ומשם, דרך פי הטבעת הם מופרשים אל מחוץ לגוף.

נוכל לדמות את מערכת העיכול המתחילה בפה ומסתיימת בפי הטבעת לצינור העובר בתוך הגוף, כאשר הצינור פתוח משני צדדיו לסביבה החיצונית. על פי תיאור זה, כל עוד המזון המפורק במערכת העיכול אינו נספג דרך דופן המעי אל מערכת הדם, הוא מצוי למעשה "מחוץ לגוף", ויכול להיפלט אל מחוץ למערכת העיכול בדרך של צואה, הקאה, או של שלשול. עובדה זו חשובה לוורטינרים המטפלים בחיות שאכלו מזונות מזיקים או מורעלים, כאשר יש צורך לשטוף את מערכת העיכול ולנקותה מרעלים אלה, או לשחרר מתוכה גזים עקב התנפחות הכרס, העלולה לגרום למות בעל החיים.





תמונה מס' 5: חתך רוחב בגוף הפרה

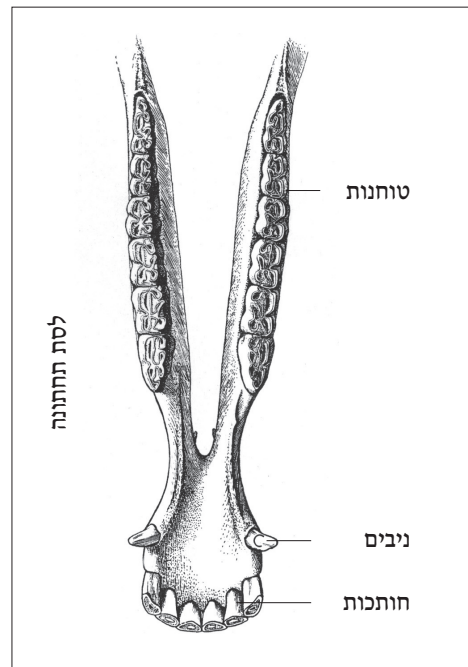
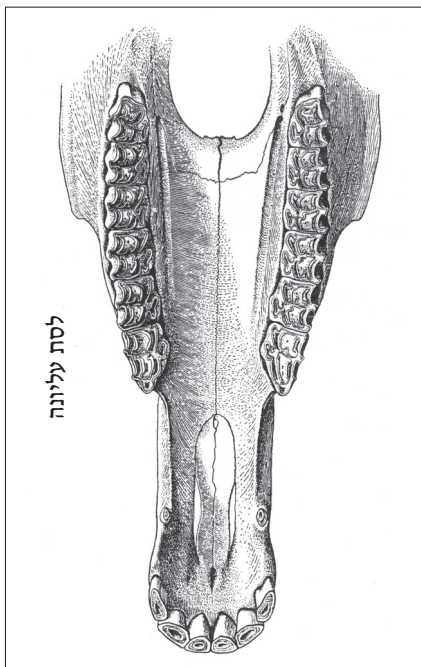
מבנה מערכת העיכול בסוסיים



סוסים, כמו מעלי גירה, ניזונים בטבע ממזון צמחי גס, עם זאת, קיים רק דמיון חלקי בין מבנה מערכת העיכול שלהם לבין זה של מעלי גירה. ככלל, מערכת העיכול בסוסיים תופסת באופן יחסי נפח קטן יותר בגוף מאשר במעלי גירה, והיא אינה כוללת את מערכת הכרס.

ראש ושיניים

לסוסיים מערכת מלאה של שיניים חותכות, הן בלסת העליונה והן בלסת התחתונה. הניבים מנוונים (לעיתים צצים ניבים בגיל מבוגר) או נעדרים כליל. למרווח שבין השיניים החותכות והשיניים הטוחנות מכניסים את הרסן. מערכת השיניים הטוחנות של הסוס דומה לזו של מעלה גירה הן במבנה והן ביעילות ריסוק המזון. במהלך האכילה, המזון נאסף ונתפס על ידי השפתיים, נחתך ונגס בתנועה מהירה של הראש ואז נלעס ונבלע.

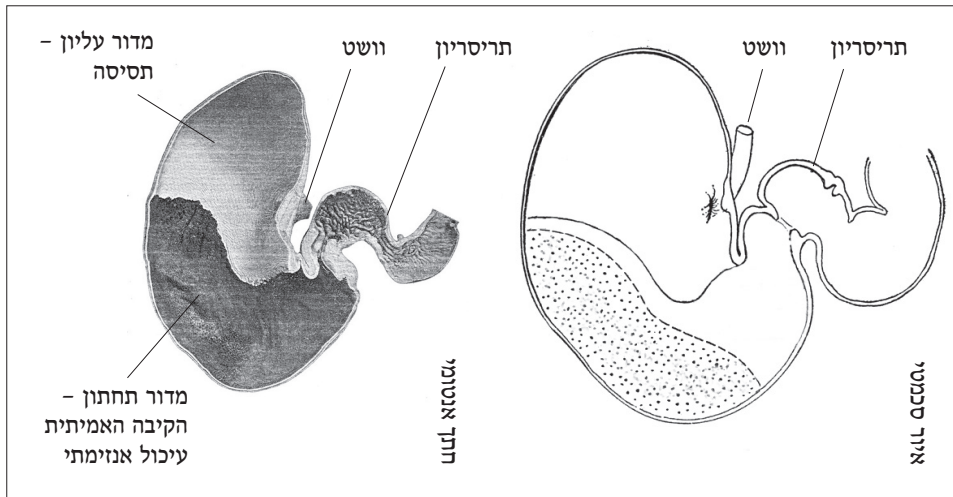


תמונה מס' 6: מערכת השיניים של הסוס

ושט וקיבה

לאחר ליקוט המזון וטחינתו בפה הוא נבלע לוושט ודרכו הוא עובר לקיבה. הוושט מסתיים במחצית גובהה של קיבת הסוס מעל קרום דמוי-עלה הנקרא "מדף". זה יוצר בקיבת הסוס שני מדורים: מדור עליון ומדור תחתון. המזון הנבלע מגיע לחלק העליון של הקיבה מעל "מדף". בשכבה זו מתחוללת פעולת תסיסה של מק"א, המביאה לפירוק חלקי של סיבי המזון ולהפיכתם לעיסה רכה. פעילות המק"א בקיבת הסוס פחותה בהרבה מזו שבמעלה גירה ולא מתקיימת אצלם כלל העלאת גירה.

במהלך שהותו בקיבה, המזון המפורק מאבד את צורתו וקשיחותו הפיזית, נקטע לחלקים קטנים ורכיביו מתערבבים תוך שהוא הופך למַעֲכָל. המעכל סופג רטיבות נוספת מרוק וממים ושוקע לחלק התחתון של הקיבה האמיתית. כאן, מופרשת מדופן קיבת הסוס כמות קטנה של אנזימי עיכול. לאחר שהות קצרה (חצי שעה עד שעתיים, תלוי בהיקף צריכת המזון) עובר המעכל למעי.

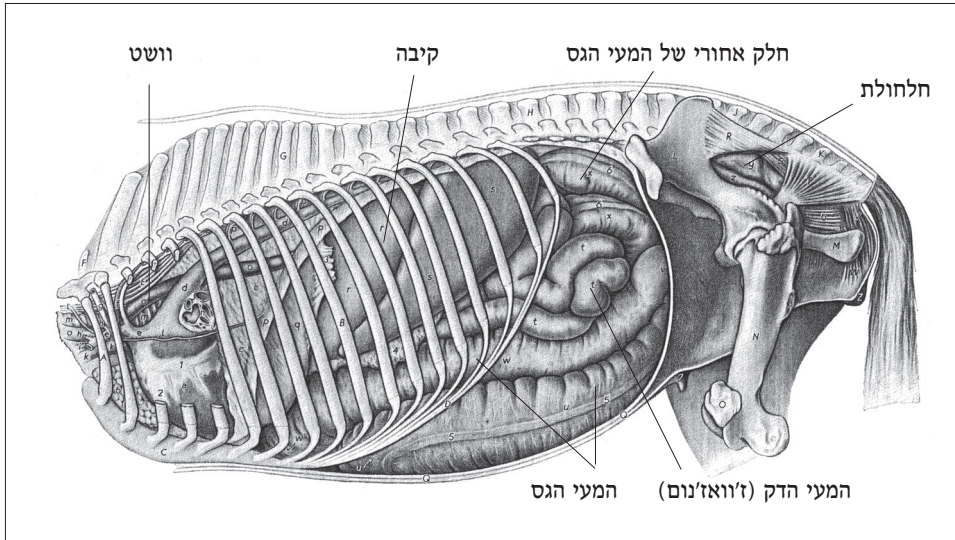


תמונה מס' 7: קיבת הסוס

מערכת המעי

מהקיבה עובר המעכל לתריסריון קצר שקוטרו גדול יחסית לקוטר התריסריון במעלה גירה. מדפנותיו של התריסריון מופרשים אנזימי עיכול, וכן מתנקזים אליו בצינורות נפרדים מיצי המרה ואנזימי הבלב. בהמשכו של התריסריון ממקמים המעי, שבאופן יחסי הם ארוכים יותר מאשר באדם או בחזיר, אך קצרים יותר ממעי מעלה גירה. במעיים מתעכל המעכל על ידי אנזימי עיכול המופרשים מדפנות המעי ותוצרי פירוק המזון נספגים בדופן המעי. השרידים שלא התעכלו זורמים למעי העיוור.

החלקים המאפיינים ביותר את מערכת העיכול של הסוס, והמבדילים אותה ממערכת העיכול של מעלה גירה (לבד ממערכת הכרס) הם המעי העיוור (צקום) והמעי הגס. אלה גדולים יחסית לגודל הגוף, לפחות פי שלושה מאשר במעלה גירה, והם תופסים את כל חלקו האחורי של הגוף. באברי עיכול אלה מתרחש פירוק שרידי המעכל והסיבים על ידי פעולת תסיסה של מק"א, בדומה לנעשה במעלה גירה. החלחולת ופי הטבעת של הסוס דומים בגודלם היחסי ובתפקודם לאלה של מעלה גירה.



תמונה מס' 8: מערכת המעיים של הסוס (מבט מהצד)

תפקוד מערכת העיכול



עיכול המזונות על ידי מעלי גירה וסוסיים – עקרונות

כאמור, בניגוד לחד-קיבתיים ולמעלי גירה יונקים, אשר אצלם המזון הנבלע מגיע לקיבה, הרי במעלי גירה בוגרים, המזון הנבלע מגיע תחילה לכרס. כאן המזון עובר עיכול ראשוני, עולה חזרה לפה, שם הוא מפורק בתהליך העלאת הגירה. מהפה עובר המזון לכרס בצורת עיסה. בכרס, המעכל נתקף על ידי מספר רב של מק"א המפרקים אותו בתהליכי תסיסה אנארוביים. יש הטוענים כי גם וירוסים מעורבים בתהליך העיכול בכרס. המק"א מתרבים בכרס ורכיבי

המזון משמשים לבניית גופם, אשר למעלה ממחציתו עשויה חלבון. חלבון זה של המק"א בכרס כולל את כל חומצות האמינו ההכרחיות למעלה הגירה. בנוסף, תאי המק"א מכילים גם חומצות שומניות בלתי רוויות וכן את מרבית הוויטמינים, למעט הוויטמינים E ו- A, D.

תערובת המק"א ושרידי המזון – "המעכל" – מוזרמת מהכרס לקיבת הכוסות תוך טלטול (פְּרִיסְטַלְטִיקָה). מקיבת הכוסות מועבר המעכל לקיבת העלים ומשם לקיבה האמיתית ולמעין. בקיבה האמיתית ובמעין עובר המעכל פירוק על ידי מיצי העיכול המופרשים מגוף בעל החיים. מיצים אלה מכילים אנזימי עיכול. תוצרי פירוק המעכל נספגים דרך דפנות מערכת העיכול ומובלים לתאי הגוף באמצעות מערכת הדם. פעילות התסיסה בכרס המתבצעת באמצעות המק"א, מהווה את הבסיס להזנת בעל החיים. אולם יש לדעת כי כאשר תהליך התסיסה יוצא מכלל שליטה, הוא עלול להסב נזק לבעל החיים ואף לגרום למותו.

חשוב לזכור כי הרכב אוכלוסיית המק"א בכרס אינו אחיד. הרכב זה משתנה מעת לעת, בהתאם להרכב המנה. בעקבות מעבר להזנה על מנה עתירת מזון גס למשל, יתרבו בכרס מק"א מפרקי תאית וסיבים, בעוד אוכלוסיית המק"א מפרקי העמילן תלך ותקטן. היפוכו של מצב זה יתרחש בעת הזנה על מנה עתירת מזון מרוכז. כאן, יגדלו באופן יחסי בכרס אוכלוסיית מק"א מפרקי עמילן ואוכלוסיית מק"א מפרקי "חלבון פריק". לפיכך, אין לשנות את מנת ההזנה של מעלי הגירה בבת אחת, למשל תוך יום. שינוי מיידי בהרכב המנה עלול להסב לבעלי החיים נזקים בריאותיים. בעת הצורך, ניתן לשנות את הרכב המנה באופן הדרגתי – תוך עשרה עד עשרים יום. במהלך תקופה זו אוכלוסיית המק"א בכרס תעבור שינוי, ותתפתח אוכלוסיית מק"א התואמת את ההרכב החדש של המנה.

פירוק פחמימות לא מבניות ופירוק סיבים

מק"א מפרקי פחמימות נחלקים לשני סוגים עיקריים:

- א. מק"א מפרקי פחמימות לא מבניות (פל"מ), כגון סוכרים מסיסים, עמילנים ופקטין. פחמימות אלו מתפרקות בקלות ובמהירות.
- ב. מק"א מפרקי תאית או סיבים מבניים אחרים, כגון צֶלוּלוֹזָה, הֶמִיצֶלוּלוֹזָה וְלִיגְנֶזֶלוּלוֹזָה, אשר פירוקם קשה, איטי וממושך.

המק"א מפרקים את הרב-סוכריים לחד-סוכריים. החד-סוכרים מותססים בתהליך נטול חמצן (אנארובי), כאשר במהלך התסיסה מופקת אנרגיה. תוצרי הלוואי של תהליך תסיסה זה הם גזים וחומצות שומן נדיפות (חש"ן). הגזים העיקריים הנוצרים בתהליך פירוק הרב-סוכרים הם מתאן ($\text{CH}_4 = \text{Methane}$) ודו-תחמוצת הפחמן (CO_2). לבעל החיים אין כל שימוש בגזים אלה, והם

נפלטים לאוויר ישירות בשיהוק, או נספגים לדם ומופרשים לבסוף בתהליך הנשימה. פליטת מתאן מהווה למעשה הפסד אנרגיה. תסיסה בקטריאלית קיימת גם במערכת העיכול האחורית, וגם כאן נפלטים גזים. אולם, כמות הגז הנפלטת מהמעיים זניחה ביחס לכמות הנפלטת מהכרס.

שלא כחומצות השומן אשר בשמנים ובשומנים, חומצות השומן הנדיפות הנוצרות בתהליך פירוק הרב-סוכרים בנויות משרשראות קצרות של פחמנים: החל מפחמן אחד כבחומצה פורמית, וכלה בשרשרת של שישה פחמנים כבחומצה הקפּרוֹאִית. החומצות השומניות הנדיפות העיקריות הנוצרות בתהליך התסיסה בכרס הן: חומצה פורמית, חומצה אַצֵטית (חומצת חומץ), חומצה פְּרופִיוֹנִית, חומצה בּוּטִירִית (חומצת חמאה), חומצה וּלְרִית וחומצה קפּרוֹאִית. חש"ן אלה מכילות אנרגיה זמינה. לאחר ספיגה ועיבוד מסוגל בעל החיים לנצל את החש"ן כמקור אנרגיה או לצורך בניין הגוף.

כתוצרי תסיסה נוספים ניתן למנות מספר רב של חומצות שמרביתן נצרכות ו/או מפורקות בכרס על ידי המק"א עצמם. מתוך קבוצה זו ראוי להזכיר את חומצת החלב (Lactic Acid), הנוצרת בכרס בעיקר מתסיסת פחמימות קלות – פירוק סוכרים ועמילן. חומצת החלב היא חומצה חזקה במיוחד. עם זאת, היא כמעט ואינה מביאה להחמצה מזיקה של תוכן הכרס מאחר ובדרך כלל ריכוזה בכרס נמוך. הסיבה לכך היא שחומצת החלב מנוצלת באופן מיידי כמזון לקבוצות שונות של מק"א בכרס. במקרה והחומצה הלקטית אינה מפורקת (כאשר למשל אין בכרס אוכלוסיית חיידקים מתאימה), נוצרת בעיה חמורה של החמצת תוכן הכרס – "אַצִידוֹזִיס". במצב זה נעצרת לחלוטין התסיסה בכרס ומעלה הגירה מרגיש "מלא", על אף שבפועל הוא סובל מרעב.

בדרך כלל רק מעט מאוד סוכרים (בעיקר רב-סוכרים) חומקים מפעילות התסיסה והפירוק המיקרוביאלי בכרס. המצב שונה כאשר סוכרים מואבסים בגודש או כאשר מוגש מזון איכותי בשפע, כמו במקרה של הזנת פרות או כבשים חולבות. במצב של גודש האבסה, מתרחשת זרימה מהירה של תוכן הכרס לקיבות. בתנאים אלו, מעכל המכיל את שרידי הרב-הסוכרים מגיע למעי ומפורק שם על ידי אנזימים. הסוכרים נספגים ומגיעים ישירות לדם.

מקור רוב הגלוקוזה בדם מעלה גירה הוא בחומצה פרופיונית הנספגת מהכרס, ורק מעט מהגלוקוזה בדם מקורה בסוכרים ששרדו את תהליך תסיסה ונספגו במעי. ריכוז הגלוקוזה הנורמלי בדם מעלה גירה (הנמדד ביחידות של מ"ג ל-100 סמ"ק, מ"ג-%), הוא בתחום של 45 עד 60 מ"ג %. ריכוז זה הוא כמחצית מהריכוז באדם או בפשוטי קיבה, שם ריכוז הגלוקוזה בדם עומד על 90 עד 120 מ"ג %.

בסוסים, נוצרות חש"ן בתהליכי תסיסה הן במדור העליון של הקיבה והן במעיים האחוריים. חלק ניכר מהאנרגיה שמקורה במזון נספגת בסוסים כחש"ן. כתוצאה מכך, ריכוז הגלוקוזה

בדם בסוסים הוא בין הרמה הנמוכה המצויה במעלי גירה לבין הרמה הגבוהה המצויה בפשוטי קיבה, והיא בתחום של 60 עד 90 מ"ג %.

הפרשת רוק

ייצור מרובה של חש"ן בתהליך התסיסה בכרס גורם להחמצה (הורדת ה-pH). כדי לסתור חמיצות זו מפריש מעלה הגירה כמות רבה מאוד של רוק משלושה זוגות של בלוטות, הממוקמות בלסתות ומתחת לשון. לרוק pH בסיסי. פרה נחלבת בשיא תנובתה עשויה להפריש אל תוך כרסה כ-75 עד 150 ל' רוק ליום, בהשוואה ל-35 עד 45 ל' ליום בסוסים.

בנוסף לתרכובות המשמשות לסתירת החומציות בכרס כגון סודיום-בי-קרבונאט (סודה לשתייה), מכיל הרוק גם תרכובות המכילות זרחן. תרכובות הזרחן דרושות למק"א לפעולת פירוק תרכובות המזון ולבניין גופם. התרכובות המצויות ברוק מגיעות אליו מסרום הדם. אלה מגיעות בדרך של דיפוזיה, כמו במקרה של מגנזיום, סידן, וכלור, המצויים ברוק בריכוז נמוך ביחס לריכוזם בדם, או דרך מעבר בניגוד למפל הריכוזים כמו במקרה של זרחן ודו-תחמוצת הפחמן. אין בלוטות הרוק ממצות אלא כמות מזערית מהסידן, מהמגנזיום ומהכלור המצויים בדם. כאמור, ריכוז רכיבים מסוימים ברוק עולה על ריכוזם בדם, עובדה המצביעה על מעבר רכיבים אלה מהדם לבלוטות הרוק בניגוד למפל הריכוזים. השוואה בין ריכוז יסודות וחומרים שונים ברוק ובסרום של כבשים מוצגת בטבלה מס' 1.

טבלה מס' 1: השוואת ריכוז חומרים שונים ברוק (מילי-אקוויוואלנט/ליטר) בבלוטת הרוק בלחי ובסרום הדם בכבשים

היסוד	ריכוז ברוק בלוטת הלחי	ריכוז בסרום הדם
נתרן	180	150
אשלגן	10	9
סידן	0.2	2.5
מגנזיום	0.3	1.5
זרחן אי-אורגני	27	1.6
כלוריד	17	105
דו-תחמוצת הפחמן	98	25
שתנן	ריכוז משתנה בהתאם למנה	ריכוז משתנה בהתאם למנה

שתנן הנוצר בתאי הגוף בתהליך פירוק החלבונים רעיל לגוף. בדרך כלל, השתנן המצוי בדם פשוטי קיבה מורחק על ידי הכליות לשתן, ומופרש אֶתוֹ מהגוף. במעלי גירה קיים מנגנון המאפשר ניצול חוזר של השתנן תוך העברת השתנן מהדם למערכת העיכול, ובמיוחד לכרס. המעבר מתבצע ישירות דרך דופן הכרס והן תוך מיצוי השתנן מהדם על ידי בלוטות הרוק, והעברתו לכרס באמצעות הרוק. המק"א שבכרס, במיוחד החיידקים, מפרקים את השתנן לאמוניה וזו משמשת להם כאבן בניין ליצירת חלבוני גופם. כזכור, תאי החיידקים מעוכלים בקיבות מעלי הגירה ובמעיי שלהם, ומשמשים כמקור לחלבון ולאנרגיה. החלבון נצרך על ידי תאי הגוף, ופירוקו מלווה ביצירת שתנן החוזר לדם. התהליך שתואר כאן מכונה מחזור חנקן-שתנן, והוא אחד מסודות הצלחת הקיום של מעלי גירה בעת שהם ניזונים על מזון דל חלבון בתנאי קיום קשים.

הרוק מופרש בעיקר בעת הלעיסה והעלאת הגירה. מזון גס גורם להפרשת רוק מרובה פי כמה מאשר מזון מרוכז. מכאן, החשיבות של הכללת מזון גס במנה של מעלי גירה. תרומתו של המזון הגס באנרגיה ליחידת משקל מזון פחותה יחסית לזו של מזון מרוכז. לעומת מזון גס, מזון מרוכז הוא עתיר אנרגיה וגורם לייצור רב של חומצות בכרס, אך הוא אינו מגרה די הצורך הפרשת רוק שתפקידו כאמור לסתור את החומצות הנוצרות בתסיסה. לכן, חשוב שמנת מעלה הגירה המכילה מזון מרוכז תכיל ביחס נאות גם מזון גס. במקרה שהדבר אינו מתאפשר מסיבה זו או אחרת יש להוסיף למנה עתירה במזון מרוכז חומרים סותרי חומצות המכונים בּוּפְרִים.



שיהוק והרחקת הגזים מהכרס

במהלך התסיסה נוצרים בכרס גזים בכמות רבה. מעלה הגירה מסוגל להרחיק כמות קטנה של גזים אלה על ידי ספיגתם לדם או בדרך של הפרשתם בנשימה. אולם, רוב הגזים מסולקים מהכרס על ידי פעולת שיהוק תוך כדי העלאת הגירה. מזון גס מעודד את פעולת השיהוק ומקל עליה. מחסור במזון גס ימנע ממעלה הגירה להרחיק את הגזים מהכרס. הצטברותם של גזים בחלל הכרס עלולה לגרום לתמותת בעל החיים מלחץ הגזים המצטברים, תופעה המכונה "התנפחות".

פליטת המתאן, שהוא גז בערה, כרוכה בהפסד אנרגיה שהייתה אצורה במזון. הפסד זה עלול להגיע עד לכ-8% מכלל האנרגיה במזון הנצרך.



תהליך העלאת הגירה

תהליך העלאת הגירה מורכב למעשה משלושה שלבים:

1. בשלב הראשון מתבצעות מספר פעולות יחד:
 - ❖ היפוך כיוון התנועה הפריסטלטית של שרירי הוושט, תנועה התומכת בתהליך הבליעה.
 - ❖ לאחר ההיפוך תנועת המזון תהיה מהכרס לכיוון הפה.
 - ❖ כיווץ הכרס הגורם להעלאת צנפת המזון עד לפתח התחתון של הוושט.
 - ❖ יצירת תת-לחץ בחלק העליון של הוושט, וכן תת-לחץ בפה בעזרת כיווץ שרירי הפה והלשון. כל זאת לצורך שאיבת המזון מהכרס אל הפה.סדרת פעולות זו מסתיימת בהעלאת צנפת המזון מפתח הוושט לחלל הפה. לצופה מהצד נראה ככדורית עולה במעלה הצוואר. תנועה זו נראית בבירור בבקר, ובמיוחד בגמלים. עם הגעת הצנפה לפה היא נסחטת ותוכנה הנוזלי נבלע.

2. בשלב השני מופרש בפה רוק על צנפת המזון והוא נלעס היטב מחדש.

3. בשלב השלישי מתבצעת בליעת המזון חזרה כלפי מטה אל הכרס. פעולה זו מתרחשת תוך היפוך חוזר של כיוון הפריסטלטית של שרירי הוושט. צנפת המזון הלעוסה מגיעה לכרס, שם היא מתפוררת תוך שחלקיקיה השונים מתפזרים בשכבות השונות של הכרס, לפי גודלם ומשקלם הסגולי. חלקיקי מזון מרוכזי שוקעים בדרך כלל לקרקעית הכרס ("הברכה") – בשכבה זו יש הרבה נוזלים וחלקיקים אשר מוזרמים בהמשך תהליך העיכול לקיבות. בשכבות העליונות בכרס מסתדרים הסיבים שעיקולם-תסיסתם טרם הסתיים. אלה יחזרו להיות חשופים לפעולת העיכול אשר תביא להקטנת גודלם. הנקבוביות שיצרו המק"א בסיבים בתהליך עיכול החומר האורגני, מתמלאות במים, ואלה, בצירוף המינרלים שנותרו בחלקיקים מגדילים את משקלם הסגולי של החלקיקים עד שהם שוקעים לתחתית הכרס, ומשם לקיבת הכוסות, לקיבת העלים והלאה.



הצד הכמותי של תסיסת הפחמימות בכרס

המק"א מייצרים כמעט את כל החש"ן מפחמימות. מיעוט מהחש"ן מתקבל לאחר פירוק חלבונים. ראוי להדגיש כי מאחר והמזונות נבדלים בטיב אוכלוסיות המק"א המתפתחת עליהם, עיכול מזונות שונים יכול להוביל ליצירת מגוון שונה של חש"ן. כך למשל, חומצת חומץ (חומצה אצטית) וחומצה בוטירית (חומצת חמאה) תיווצרנה באחוזים גדולים יותר

מכלל החומצות עם ההגדלה בצריכת מזון גס בכלל, ועלייה בדרגת המזון הגס מירק, לתחמיץ, לשחת ועד לקש. מאידך, צריכה מרובה של גרעיני דגן למשל, תגרום להעדפה בייצור של חומצה פרופיונית וחומצת חלב (האחרונה מפורקת בכרס לחומצה פרופיונית) ולצמצום ייצורן מסיבי מזון גס של חומצת חומץ וחומצה בוטירית. זאת, עקב ירידה ברמת ה- pH לרמה שאינה מתאימה לפירוק הסיבים בכרס. לשוני במגוון חומצות השומן הנוצרות בכרס כתוצאה מפירוק מזונות שונים יש השפעה על תוצרים שמעלי גירה מייצרים.

לדוגמה, יש לזכור כי מעלה הגירה מייצר מחומצה פרופיונית את הגלוקוזה הדרושה לו לחילוף חומרים, בעוד מחומצת חומץ ומחומצה בוטירית מייצר מעלה הגירה שומני גוף ושומני חלב שונים. היכולת להפיק מחש"ן אנרגיה תלויה בנוכחות מספקת של גלוקוזה בגוף. מכאן, יובן הצורך באיזון נכון של המנה אשר יביא ליצירת גלוקוזה וחומצות שומניות גם יחד.



פירוק חלבונים בכרס

לחלבון חדש המגיע לכרס שני מקורות: מקור חיצוני – החלבון שבמזון, ומקור פנימי – חלבון המצוי בהפרשות של מערכת העיכול, וכן חלבון המצוי בתאים הנושרים מדפנות מערכת העיכול. החנקן המתקבל מפירוק חלבונים המגיעים לכרס מגוף החיה נקרא חנקן אֶנְדוֹגֶנִי. זה כולל בנוסף לחנקן ההפרשות וחנקן הבא מתאי הגוף, גם את החנקן שבשתנן המגיע מהדם לכרס.

עם הגעת תרכובות החנקן והחלבונים שבמזון לכרס הם "מותקפים" על ידי המק"א. החלבונים עוברים פירוק לשרשראות ארוכות של חומצות אמינו (פֶּפְטוֹנִים), אשר מפורקות בהמשך לשרשראות קצרות יותר של חומצות אמינו (פֶּפְטִידִים). אלו האחרונים מפורקים לחומצות אמינו בודדות. חלק מחומצות האמינו ממשיך ומתפרק בכרס לחומצות שומניות נדיפות ולאמוניה. חלק זעום מחומצות השומן הנדיפות מתפרק ל- CO_2 . תהליך פירוק דומה עובר גם על החלבון האנדוגני ועל חנקן שאינו חלבוני (חש"ח) המגיע לכרס. כלל מקטעי החלבון והחנקן הכללי הניתנים לפירוק בכרס נקרא "חלבון פריק".

לא כל חלבון המגיע לכרס מפורק, כמתואר למעלה. חלק ממנו אינו מפורק על ידי המק"א, אלא עובר את הכרס ומגיע לקיבת מעלה הגירה ולמעיי שלו תוך שמירה על מבנהו המקורי. חלבון זה נקרא "חלבון שרידי". מעבר חלבון שלא עוכל ישירות לקיבה יכול להיות יתרון, כמו במקרה של מעבר קמח דגים משובח ישירות למערכת העיכול האמיתית או חיסרון, כמו במקרה של מעבר נוצות או שערות המצויות לעתים במזונות המוגשים למעלי גירה ואשר אינן מתעכלות כלל בכרס.

תכולת ה"חלבון הפריק" וה"חלבון השרידי" במזונות אינה קבועה. ערך זה תלוי, בין השאר, במשך שהותו של המזון בכרס. משך השהות מותנה ברמת ההזנה, בגודל חלקיקי המזון לאחר קיצוצו או טחינתו, בדרגת מסיסותו של המזון במים וכן בכמות המים אותה שותה מעלה הגירה. מכאן, ברור שאין ערך קבוע לפריקות החלבון שבמזון מסוים, וזה עשוי להשתנות בהתאם לנסיבות ההזנה. לדוגמה, תוספת מלח למנה תגביר את השתייה, אשר בעקבותיה תגבר זרימת מזון אל מחוץ לכרס תוך הקטנת פריקותו של חלבון. כך למשל, פריקותו של חלבון במזון מסוים עשויה לנוע בין ערכים של 75% עד 95%, בעוד פריקותו של חלבון במזון אחר המוגדר כ"שרידי" עשויה לנוע בין 55% ל-65%, אך גם בין 30% ל-35%, הכול בהתאם לנסיבות.



ייצור חלבונים בכרס

במקביל לתהליך פירוק החלבונים בכרס, מתבצע בה גם תהליך הפוך של יצירת חלבונים. יצירת החלבונים בכרס על ידי המק"א מלווה בקיבוע אמוניה. המק"א מתרבים בכרס תוך חלוקת תאים כאשר הם משתמשים בחלבונים, בפחמימות ובשומנים שבמעכל לבניית גופם. חלוקת התאים נעשית בקצב שונה אצל מיני המק"א השונים: החל מאחת לכל 20 עד 30 דקות אצל חלק מהחיידקים, וכלה בחלוקה של אחת ל-24 שעות אצל חלק מהפרוטוזואה הגדולים. בניין גוף החיידקים אינו תהליך חד-כיווני, היות והמק"א שנוצרו בכרס עשויים להתפרק על ידי מק"א אחרים, למשל כאשר בקטריות נטרפות על ידי פרוטוזואה. כמות המק"א הנוצרת מדי יום בכרס גדולה למעשה עד פי חמישה מכמות המק"א המצויה בכל עת בכרס. כך שלמעשה, מרבית המק"א שנוצרו בכרס מתפרקים ונעכלים בגוף מעלה הגירה תוך שהם מספקים לו רכיבי מזון.

כאשר מאזן התהליכים המנוגדים של יצירת אמוניה תוך פירוק חלבונים מחד, ושימוש באמוניה לבניית המק"א מאידך, נוטה לטובת בניית גוף מק"א, מעלה הגירה "מרוויח", מאחר והערך התזונתי של חלבון מק"א הוא מהגבוהים ביותר מבין המזונות הנאכלים. אולם, אם מאזן התהליכים נוטה לטובת פירוק גופי החיידקים ויצירה מוגברת של אמוניה, תוך דעיכה ביצירת חלבון מיקרוביאלי, נגרם הפסד חלבון למעלה הגירה. נזק העלול להביא במקרים קיצוניים למחסור בחלבון ואף להרעלת אמוניה ולמוות. מחקרים שונים הוכיחו כי בכרס הפרה מיוצרים בין 180 ל-220 גרם חלבון מק"א מכל ק"ג חומר אורגני נטול שומן המתפרק ותוסס בכרס. פרת בקר לחלב גבוהה תנובה מעכלת ביום כחמישה ק"ג מק"א, המכילים כשניים וחצי ק"ג חלבון מק"א.

דילול אוכלוסיית המק"א נעשה על ידי מעבר רצוף של חלק מהמעכל אל מורד מערכת העיכול. בתנאים רגילים מאזן יצירת החלבון בכרס הוא תמיד חיובי: יותר מק"א נוצרים מאלה ש"מחוסלים" או שזורמים אל מחוץ לכרס. עם הירידה בקצב ריבוי המק"א, קטן גם קצב הטריפה ההדדית של המק"א זה את זה, וכן קטן גם קצב זרימתם אל מחוץ לכרס. מצב זה קרוי בעגה המקצועית Steady State – מצב יציב וקבוע.

יעילות ניצול החנקן: בדיון על יעילות ניצול המזון על ידי מעלי הגירה יש חשיבות רבה להבנת הגורמים המשפיעים על הדרך בה מנוצלת האמוניה הנוצרת בכרס כתוצאה מפירוק חלבונים. חלק מהאמוניה הנוצרת משמש כאמור ליצירת חלבון הנכלל בגופם של מק"א אחרים. חלק אחר של האמוניה נספג לדם, מגיע לכבד והופך שם לשתנן. השתנן הנוצר נע בשני מסלולים, כאשר באחד מהם הוא עובר דרך הכליות לשלפוחית השתן, משם הוא מופרש בשתן. במקרה זה, מעלה הגירה מפסיד את החנקן האצור במולקולות השתנן. במסלול השני, השתנן עובר מהכבד לדם ומשם לכרס, תוך שהוא משמש ליצירת חלבון המק"א. תהליך זה חשוב ביותר למעלי גירה הניזונים על מזון דל-חלבון כדוגמת הגמל או עז סיני. שימוש בשתנן ליצירת חלבוני המק"א הוא תהליך המאפשר לבעלי חיים אלה לשרוד בתנאי אספקת חלבון מוגבלת, ואף להיות יצרנים.

גילוי העובדה כי השתנן שבדם יכול לעבור לכרס, שם הוא משמש לייצור חלבון מק"א, הוביל מדענים ומגדלי בקר לבחון את האפשרות לכלול שתנן סינתטי המיוצר כדשן כימי במנת המזון. השתנן המצוי בדשן הכימי יכול לשמש כמקור זול יחסית לחנקן, במקום חלבון שהוא יקר יחסית. אולם, הוספת דשן למנה במינון שאינו נכון עלולה לגרום להרעלת שתנן. מסיבה זו, הרעיון של שימוש בדשן בהזנת מעלי גרה היה שנוי במחלוקת במשך שנים לא מעטות, עד שנמצאה הדרך כיצד לכלול אותו במנה מבלי להביא להרעלת מעלי הגירה.

העיקרון העומד מאחורי שימוש נכון בשתנן סינתטי במזון למעלי גירה הוא זמינות במנה של רכיבים מספקי אנרגיה, במיוחד פחמימות מהירות-פירוק כגון עמילן, סוכרים או פקטין. מצב זה מונע הרעלה במקרה של הזנה בעודף חלבון או במקרה של הכללת שתנן במנה, ואף מצמצם ומונע הפסדי חנקן בדרך של פליטת אמוניה.

פירוק חלבונים בקיבת הכוסות וקיבת העלים

תנאים סביבתיים כ- pH נמוך וריבוי נוזלים המצויים בקיבת הכוסות ובקיבת העלים דומים לאלה שבכרס. מכיוון שכך, נמשכים תהליכי הפירוק ויצירת החלבונים גם באברים אלה. אולם, בשונה מהמצב בכרס, אין כל הפרשת אנזימים מדפנות קיבת הכוסות ומדפנות קיבת העלים. מאחר והמזון שווה באברים אלה שהות קצרה, תרומת אברים אלה לעיכול החלבון מועטה.

כמות המק"א בקיבת הסוסים קטנה מזו שבמעלי גירה, אך הם מייצרים בתהליך פירוק המזון במדור העליון של הקיבה חש"ן, ביחסים הדומים לאלה שבמעלי גירה.

פירוק שומנים בכרס

ככלל, פירוק שומנים בכרס מעלה הגירה על ידי מק"א אינו תהליך יעיל במיוחד. ייתכן והדבר נובע מכך שתכולתם של שומנים המשמשים להזנת מעלי גירה בטבע מזערית, על כן האבולוציה של אוכלוסיית המק"א בכרס לא כללה הסתגלות לפירוק חומרים אלה. השומנים מורכבים ממולקולות גליצרול אליה מחוברות שלוש חומצות שומניות ארוכות-שרשרת. במהלך פירוק השומנים בכרס על ידי המק"א מתנתקות חומצות השומן ממולקולת הגליצרול. את מולקולות הגליצרול מחמצנים המק"א בדרך זהה לזו המשמשת אותם בחמצון סוכר. מאידך, אין המק"א מפרקים כלל את חומצות השומן, על אף היותן עתירות אנרגיה. בתהליך התסיסה בכרס עוברות חומצות השומן הבלתי-רוויות תהליך רוויה באטומי מימן המצויים בשפע בכרס. אטומי מימן אלה הם תוצרים של תהליך התסיסה האנארובית ותהליך היצירה של גז המתאן. מצב זה מוביל לכך ששומן הגוף של מעלי גירה, וכן השומן שבחלב, הם שומנים רוויים בעיקרם. הכללת שומן רב במנת מעלי גירה פוגעת באוכלוסיות המק"א וכתוצאה מכך נפגע גם היקף ייצור החלבון בכרס.

שומנים כגון שעווה העוטפת פירות או מצפה עלים מסוימים, כמעט ואינם נעכלים בכרס, למעט "קטיעות", במקרים מסוימים, של תרכובות הקשורות למולקולות גדולות, כמו במקרה של "קטיעת" חומצה פרופיונית הקשורה למולקולות הכלורופיל המצויות בחלקי הצמח הירוקים.

עיכול מעבר למערכת הכרס

עיכול בקיבה

❖ יונקים (עגלים וטלאים): החלב המגיע לקיבה האמיתית נתקף ראשית על ידי האנזים רֶנִין (Renin), ההופך אותו לגֶבֶן תוך הפרשת הנוזלים (תהליך מקביל להפרשת מי גבינה בתעשיית הגבינה). במהלך הזנת היונק בחלב אם או בתחליף חלב מופרשת לחלל הקיבה חומצה מלחית, העשויה להוריד את ה-pH לרמה של 1.5. אנזים נוסף המופרש בקיבה של יונקים הוא הפֶּפְסִינוֹגֶן, כשאל חלקו הפעיל מחוברת תרכובת הבולמת את יכולתו לפרק חלבון. בהשפעת החומצה המלחית, המופרשת לקיבה בעקבות פעילות האנזים רנין, מוסרת התרכובת החוסמת הקשורה לפפסינוגן וזה הופך לפֶפְסִין. הפפסין מפרק בקיבת העגל או בקיבת הטלה את חלבוני החלב לִפְּטוֹנִים וִלְפֶּפְטִידִים. אלו מוזרמים לתריסרון שם נמשך

תהליך פירוקם. ה-pH בקיבת יונק בריא הניזון מחלב או מתחליף חלב עשוי להיות חמוץ מאוד ובערכים של 1.5 עד 2.0.

❖ מעלי גירה בוגרים: מאחר ונפח המעכל המגיע לקיבה האמיתית רב מאוד, מדלל המעכל את החומצה המלחית המופרשת לקיבה. כתוצאה מכך, בקיבת הבוגר קיימת סביבה פחות חומצית ביחס לזו שבקיבת העגל היונק. ה-pH בקיבה של מעלה גירה בוגר יורד רק לעתים רחוקות מתחת ל-3.0. רמת חמיצות זו אינה רצויה, מאחר ומרבית המק"א אינם שורדים בה. הפפסין המופרש לחלל הקיבה האמיתית מפרק באופן חלקי את גופי המק"א. מהקיבה האמיתית מועבר המעכל שהתעכל קלות להמשך עיכול במעי.

עיכול במעיים

❖ תַּרְסָרִיוֹן, ז'וֹז'וֹנוֹם ואֵילָאוֹם: המעכל המגיע לתריסריון נחשף לסודיום בִּי־קֶרְבוֹנַט (סודה לשתייה) המופרשת מהלבלב לתריסריון. זו סותרת את החומצה שהופרשה בקיבה. בנוסף, מהלבלב מופרשים לתריסריון אנזימים כְּטֵרִיפֶסִין וכֶמּוֹטֵרִיפֶסִין, המפרקים את החלבונים שלא פורקו בקיבה, עֲמִילָאוֹת המפרקות שרידי עמילן, מיצי מרה היוצרים תַּרְחִיף (אֵמּוּלְסִיָּה) משומנים וְלִיפָאוֹת (קבוצת אנזימים מפרקי שומן) המפרקות את השומנים. בהמשך, בז'וֹז'וֹנוֹם, נמשכת הפרשת סודיום בִּי־קֶרְבוֹנַט והפרשה של אנזימים נוספים, אשר יחד ממשיכים בפירוק מלא של החלבונים עד לחומצות אמינו בודדות. כמו כן, נמשך בז'וֹז'וֹנוֹם פירוק שרידי השומן שמקורו במזון כמו גם פירוק שומן שמקורו בתאי המק"א. בז'וֹז'וֹנוֹם נמשך פירוק של רב־סוכרים. מאמצע המעיים ואילך נמשך האילאום בו מתרחשים בקצב מתון יותר תהליכי העיכול שהחלו בקדמת המעי.

❖ המעי העיוור והמעי הגס: באברים אלה כמעט ואין פירוק של המעכל על ידי אנזימים המופרשים מגוף בעל החיים, אלא כאן חוזר הפירוק המיקרוביאלי. פעילות זו כוללת פירוק שרידי סיבים, פירוק גופי מק"א שלא פורקו, פירוק תאים שנשרו מדופן הכרס ומדופן המעי (חלבון אנדוגני) וכן פירוק כמויות ניכרות של עמילן מגרעיני דגן שלא התעכלו עד לשלב זה. כמותו של העמילן יכולה לנוע בפרות חולבות גבוהות תנובה ל-0.5 ועד 2.5 ק"ג ליום. לאזור המעי העיוור והמעי הגס מופרשת אוֹרִיָּאָה המגיעה לדופן המעי עם זרם הדם, הופכת שם לאמוניה, ומשמשת כמקור חנקן לבניין גוף המק"א יחד עם רכיבי החלבון האנדוגני. פעולת העיכול במעי העיוור מצטיינת בעיקר בפעולת תסיסה של סיבים ושאר רכיבים שאינם חלבוניים, והפיכתם לחש"ן הנספגים כאן או לאחר מכן במעי הגס. המעכל בשלב זה נוזלי בדומה למעכל המעיים, ברמה המאפשרת פעילות נרחבת של מק"א. בעת הזנה מעבר לנדרש או במקרה של מחסור במזון גס במנה, כמויות גדולות של מזון שלא עוכל בקיבה ובמעי הדק עלולות להגיע למעי העיוור ולמעי הגס. מצב זה פוגע בתהליך העיכול התקין בכרס, ועלול לגרום לבעיות בריאות קשות. תסיסה של שרידי הפחמימות מורידה את ה-pH במעיים תוך יצירת חומצות הגורמות

לצריבות במעי הגס, מהחלחולת ועד לפי הטבעת. כמו כן, עודפי חלבון המגיעים למעי העיוור ולמעי הגס יכולים להתפרק תוך יצירת אמוניה. בעוד שכמויות קטנות של אמוניה אינן מזיקות, הרי כדי לסתור כמויות גדולות של אמוניה הנספגות בדם דרושה השקעה של אנרגיה רבה מצד בעל החיים.

בסוסיים, מתרחשת במעי העיוור ובמעי הגס פעולת עיכול נמרצת, אשר היקפה עולה באופן יחסי על פעולת העיכול במעי העיוור ובמעי הגס של מעלי גירה. הדבר קשור בין השאר בגודלם היחסי הרב (מכלל מערכת העיכול) של אברים אלה בסוסיים. פעילות תסיסה נמרצת של שרידי פחמימות במעי הגס, ובמיוחד במעי העיוור, עלולה לגרום בסוסים לבעיות קשות בזמן צריכה מרובה של גרעיני דגן עתירי פחמימות קלות-עיכול ומהירות-תסיסה, כגון גרעיני שעורה. כל עוד פעולת העיכול של הקיבה והמעיים תקינה, מגיעות למעי הגס ולמעי העיוור כמויות קטנות של פחמימות קלות-עיכול ולא מתעוררת כל בעיה. אך אם מגיעות למערכת המעיים האחורית כמויות גדולות של פחמימות, נוצרת בתהליך התסיסה כמות רבה של גזים. כאשר המעיים מקופלים ותנועת החומרים בהם נחסמת, נגרמת התנפחות קשה וכאבים עזים לסוס. הדרך היחידה להציל את הסוס במקרה זה, אם מזהים את הפגע בזמן, היא ניתוח הכולל פתיחת המעיים והרחקת המזון התוסס, שאם לא כן ימות בעל החיים בייסורים.



ספיגת חומרי המזון

ספיגת רכיבי המזון לאחר פירוקו מתבצעת לכל אורך מערכת העיכול, אך לא כל החומרים המזינים נספגים בכל האברים.

ספיגה בכרס

בכרס מתרחשת ספיגה נרחבת של תוצרי פירוק המזון על ידי המק"א. מרבית החש"ן נספגות בכרס וכן נספגים בכרס אמוניה ומים. כמויות קטנות של מתאן ודו-תחמוצת הפחמן נספגות אף הן לדם דרך דופן הכרס. חשוב לציין, כי אין בכרס ספיגת מינרלים, חומצות אמינו או מקטעי חלבון.

ספיגה בקיבת הכוסות

שהות המעכל בקיבת הכוסות קצרה ביותר באופן יחסי לשהותו בכרס או במעיים. מכיוון שכך, לספיגה בקיבת הכוסות במידה והיא קיימת (יש חילוקי דעות) יש חשיבות שולית.

ספיגה בקיבת העלים

כאן מתבצעת ספיגה נמרצת של אותם רכיבים שנותרו במעכל, לאחר שלא נספגו בכרס. המדובר במיוחד במים אך גם באמוניה. מחקרים שפורסמו לאחרונה מרמזים שייתכן וגם פפטידים המסיסים במים נספגים בקיבת העלים.

ספיגה בקיבה האמיתית

לא נמצאו הוכחות לספיגה של חומרים מזינים בקיבה זו, אם כי ייתכן וכמות מזערית של נוזלים נספגת גם כאן.

ספיגה במעיין

תריסריון: כאן מתחילה ספיגה נרחבת של רכיבים תזונתיים שונים, החל מספיגת יסודות כגון זרחן וכלור, וכלה בתוצרי פירוק ראשוניים של חלבון. אלה חשובים עבור עגל הניזון על תחליפי חלב, כיוון שספיגתם במעיין של תוצרי פירוק חלבון מעודדת הפרשת פפסין, רנין וחומצה מלחית לקיבה לצורך פירוק הגבן. במעלה גירה בוגר ספיגתם של רכיבים אלה מעודדת הפרשה של אנזימים מפרקי חלבון ושומן מהלבלב וכן הפרשת חומצות מרה.

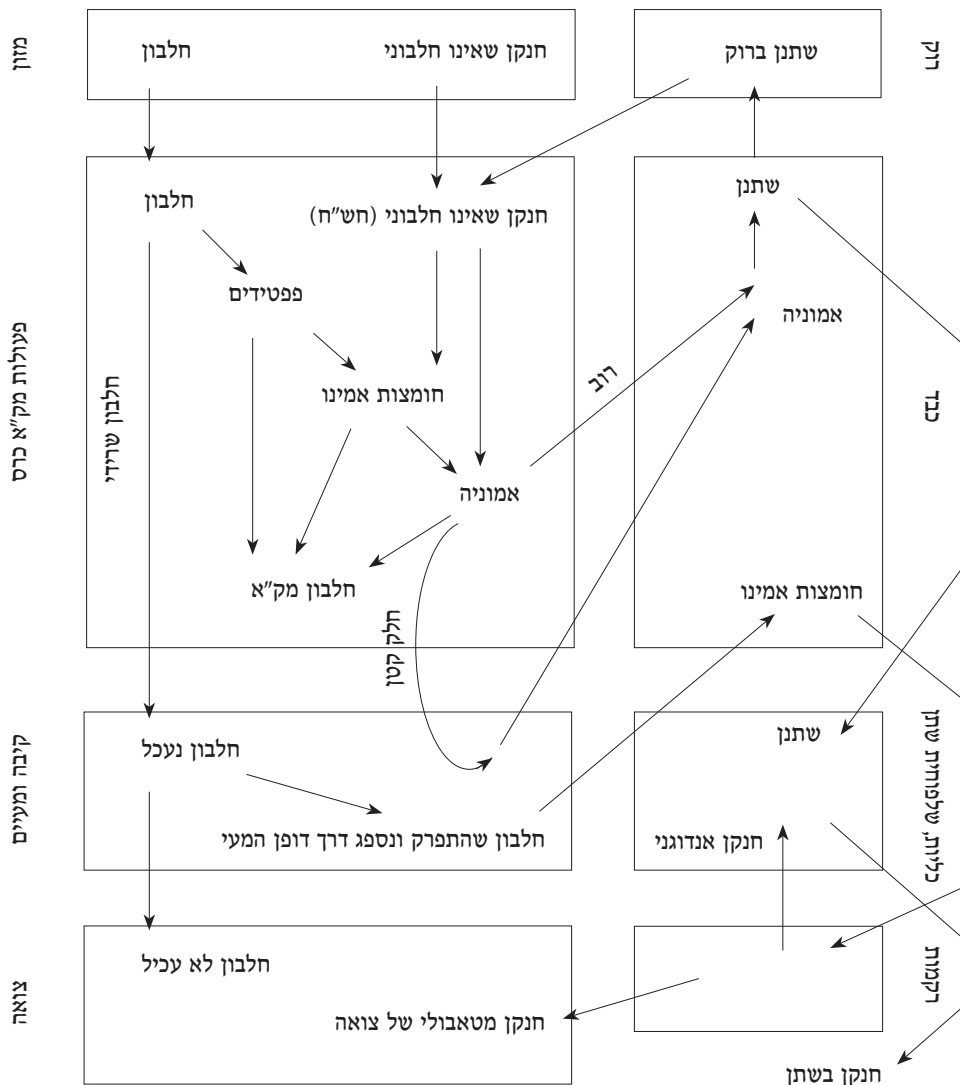
ז'ז'ז'ז'ז': בחלק זה, הכולל כ-12 עד 15 מ' ראשוניים של המעי הדק בבקר, מתבצעת עיקר הספיגה של חומצות אמינו, וככל הנראה גם של פפטידים קצרים. באזור זה של מערכת העיכול מתבצעת גם ספיגה של חד-סוכרים שפורקו מרב-סוכרים, ספיגה של חומצות שומן וגליצרין, וכן ספיגה של מרבית שרידי חש"ן ואמוניה שנשטפו מהכרס ולא נספגו עד כה. כדוריות שומן זעירות (מיצלות) שלא פורקו נעטפות בקרומיות (ממברנות) העשויות מפוספוליפידים (מולקולות שומן להן קשרים אטומי זרחן), חומצות שומן ארוכות ופפטידים והופכות לכילומיקרונים (Chylomicrons) – חלקיקים כדוריים מיקרוסקופיים המרחפים בתמיסת המעי. חלקיקים אלה עוברים ישירות דרך תאי דופן המעי אל מערכת הלימפה ללא עיכול, בתהליכים הקרויים פֶּאגוֹ-צִיטוֹזִיס (בליעת חלקיקים = Phagocytosis) או פִּינוֹ-צִיטוֹזִיס (בליעת נוזלים = Pynocytosis). משמעותם של אלה, בליעה של החלקיק בשלמות על ידי תאי הרירית שבדופן המעי בתהליך הדומה לבליעת חלקיקים הנעשית על ידי אמבות או פרוטוזואה אחרים.

אילאום: כאן מתרחשים תהליכי ספיגה דומים לאלה שבז'ז'ז'ז', אלא שכאן קצב הספיגה איטי יותר, כך שהוא מותאם לקצב פירוק הרכיבים קשי-העיכול של המעכל.

המעי הגס והחלחולת: באברים אלה מתבצעת ספיגה נרחבת של מים ומינרלים, ההופכת את המעכל ליבש ומוצק יותר. כמו כן, עשויה להתקיים באזור זה פעילות מק"א הקשורה בפירוק שרידי עמילן, הנספגים כאן אף הם.

חשוב להדגיש כי על אף שקיימת במעי הגס ובחלחולת פעילות מק"א ענפה המייצרת חלבוני גוף של מק"א, ויטמינים וחש"ן, רק שני האחרונים יכולים להיספג במעי הגס, ואילו חלבוני

המק"א הנוצרים באזור זה של המעי מופרשים בצואה ואינם נספגים בגוף. צואת פרה גבוהת תנובה עשויה להכיל לבד ממינרלים וויטמינים שונים עד 17% חלבון כללי. עד 60% מסך החלבון הכללי שמופרש בצואה ניתן לעיכול על ידי מעלי גירה או פשוטי קיבה. ממצאים אלה שימשו בסיס למחקר שמטרתו מציאת דרכים למחזור הפרשות בעלי חיים (לאחר חיטוי ההפרשות) לשם הזנת בעלי חיים אחרים.



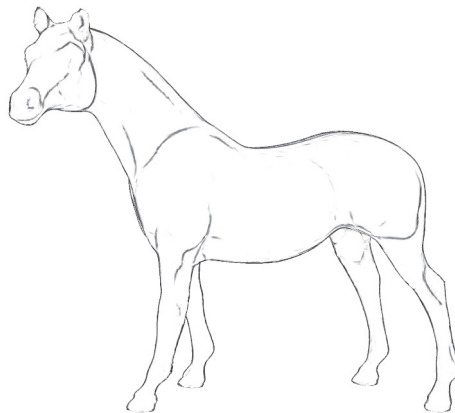
תמונה מס' 9: חילוף חומרים של חנקן במעלי גירה

ספיגת תוצרי פירוק המזון בסוסיים

תהליך זה אינו שונה בהרבה מזה שבמעלי גירה. ההבדל העיקרי בין מעלה גירה לבין סוסיים הוא בהיקף היחסי של פעולות העיכול ושל פעילות הספיגה של המזון. היקף הספיגה מהקיבה פחות באופן יחסי לזה שבמעלי גירה. הספיגה במעי דומה לזו שבמעלי גירה והספיגה במעי העיור ובמעי הגס עולה בהיקפה בהרבה על זו שבמעלי גירה. זאת, כתוצאה מהיקף גדול יחסית של תסיסה ופירוק המזון באברים אלה.

באשר לעיכול המזון, קיים שוני רב בין הסוסיים השונים. יעילות העיכול בחמורים או בערודים עולה בהרבה על זו של סוסים מבויתים. יכולתם של חמורים, חמורי בר וערודים להתקיים על מזון נחות מבוססת על עיכול מהיר של מה שניתן לעכל ממזון זה, ופליטה מהירה של החומר שלא נעכל אל מחוץ למערכת העיכול כדי לפנות מקום למזון חדש. מנגנון דומה קיים גם בבעלי חיים אחרים, כמו בקנגורו למשל.

זבל סוסיים אינו טוב לדישון. זאת, מכיוון שנותר בו חומר אורגני רב שלא נעכל על ידי בעל החיים. כשזבל כזה מוצנע באדמה צריכת החמצן שלו במהלך ריקבונו באדמה כה גדולה (BOD - Biological Oxygen Demand) עד שהדבר פוגע בגדילת שורשי הצמח הצעיר, הזקוקים להרבה חמצן באדמה. רק הצנעה ממושכת של הזבל לפני זריעה או תהליך קומפוסטציה ממושך לפני הדישון יעזרו להתגבר על בעיה זו.



הערכת תרומתם של המזונות ותוצרי פירוקם להזנת מעלי גירה



כמו אצל האדם, כך גם אצל בעלי חיים, המזון מספק לגוף אנרגיה, חומרים הדרושים לבניין תאי הגוף ומרכיבים הדרושים לייצור של חלב או של צמר למשל. מעלי גירה נבדלים מבעלי החיים פשוטי הקיבה בכך שמזונם חייב לכלול סיבים בכמות רבה. זאת, מאחר ובנוסף לשימוש בסיבים כספקי אנרגיה וחלבון, נועד לסיבים תפקיד חשוב בגירוי מערכת העיכול לתנועתיות נאותה (פריסטלטיקה). פעולה זו חשובה ביותר הן לערבול תוכן הכרס, והן לשחרור הגזים הנוצרים שם. ללא תנועתיות זו תיגרמנה למעלי גירה בעיות עיכול קשות, וכן תיפגע היכולת להיפטר מעודפי גזים, מצב אשר עלול להוביל להתנפחות ואף למוות.

מקורות המזונות והרכבם

נהוג לחלק את המקורות למזונות מעלי גירה לשניים: מן הצומח ומן החי. במזונות מן הצומח מבחינים בשתי קבוצות ראשיות: מזונות שמקורם בזרעים ומזונות שמקורם ברקמות צמחיות. אלו האחרונות נחלקות לרקמות צמיחה (גבעולים, עלים וכד') ולרקמות אגירה (תפודים, גזר, סלק בהמות וכד').

רכיבי המזון

ברכיבי מזון אנו מבחינים ב:

1. רכיבים מבניים (תומכים) שהם קשי עיכול. רכיבים מבניים בצמחים כוללים סיבים המייצבים את מבנה חלקי הצמח: כדוגמת הגבעול, הגזע, או העלה וצינורות להובלת מים. במזון מן החי מבנים תומכים הם עצמות וטלפיים;
2. רכיבים עוטפים שהם קשי עיכול. דוגמה לרכיבים אלו במזון מהצומח הם קליפות כגון קליפות כותנה, קליפות בוטנים או קליפות חמניות. שער, צמר, קרניים וקשקשים בדגים ייחשבו כרכיבים עוטפים במזון מן החי;
3. רכיבים שאינם מבניים שהם קלי עיכול. אלה כוללים בצמחים רקמות אגירה. בבעלי חיים המדובר ברקמות רכות קלות עיכול, כרקמות שריר או ברקמות אברים פנימיים.

חלוקה זו אינה מתייחסת להרכב הכימי של הרקמה. שער או נוצות שהם קשי עיכול עשויים מחלבון כפי שעשוי שריר או כבד שהם קלי עיכול. תאית שהיא קשת עיכול מורכבת מגלוקזה, ממנה מורכב גם עמילן, המצוי ברקמת אגירה והוא קל לעיכול. מכאן, ההרכב הכימי של מזון מסוים לא בהכרח מעיד על ערכו התזונתי.

מקטעי המזון

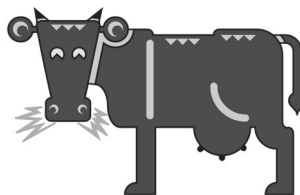
מבחינים במזון במקטעים הבאים: פחמימות לא מבניות, פחמימות מבניות (פ"מ), חלבון, שומן, מינרלים.

במקטע הפחמימות הלא מבניות נכללים בדרך כלל סוכרים מסיסים, עמילנים על סוגיהם השונים, אינולין (בפקעות פרחים) וכן פקטין המצוי בקליפות הדר, בסלק בהמות או בסחיט סלק סוכר.

מקטע הפחמימות המבניות עשיר בפחמימות איטיות-עיכול או קשות-עיכול כגון ליגנין, צלולוזה, המיצלולוזה, ליגנוצ'לולוזה, קוטין וכד'. מיעוטן של הפחמימות המבניות, אלו המצויות לדוגמה בסיבים של עלי כותנה, נעכלות בקלות, אך מרביתן של הפחמימות המבניות נמצאות ברקמות התמיכה וברקמות ההולכה העשירות לדוגמה בליגנין, בליגנוצ'לולוזה או בהמיצ'לולוזה שהן קשות-עיכול.

זמינות המינרלים אף היא משתנה בין מזונות כתלות במקורם. אם מדובר באשלגן, בזרחן ובמגנזיום המצויים בעלים או ברקמות צמחיות צעירות, הרי שזמינותם גבוהה. אך יש לזכור כי יש מקרים בהם זמינות המינרלים נמוכה, כמו במקרה בו הם קשורים בחוזקה לרקמות צמחיות מבניות דבר הפוגע בזמינותם. כדוגמה קיצונית יוזכר הצ'רן (סיליקה) שתכולתו בגבעולי דגניים בוגרים גבוהה מאוד, אך זמינותו למעשה נמוכה מאוד. לא זו בלבד, אלא שנוכחותו בסיבים המבניים פוגעת בזמינות מינרלים אחרים שם.

בכל הנוגע למידת נעכלותו של המזון, תכולת החלבון ותכולת הסיבים פועלות באופן מנוגד זו לזו. בדרך כלל, ככל שעולה תכולת החלבון במזון עולה נעכלותו. לעומת זאת, ככל שעולה תכולת הסיבים, במיוחד הסיבים המבניים, יורדת נעכלות המזון. בעוד הנעכלות של פחמימות לא מבניות גבוהה, וכן גבוהה הנעכלות של שומן אמיתי, הרי הנעכלות של השעווה העוטפת את הפרי או זו המצפה את העלים נמוכה. תמונה כללית של תכולת חלבון, שומן, פחמימות לא מבניות, סיבים ומינרלים במזונות שונים מובאת בטבלה מס' 2.



טבלה מס' 2: הרכב מזונות והחלק היחסי של מרכיבי המזון במזונות השונים (באחוזים)

המקטע	חלבון כללי	שומן וליפידים	פחמימות לא מבניות	סיבים*	מינרלים	הערות
מן הצומח						
עלים צעירים	++++	+	+++	+++	++	
עלים בוגרים	+++	+	++	+++	++	
גבעולים צעירים	++	+	++	+++	++	
גבעולים בוגרים	+	+	+	++++	++	
קש (לסוגיו)	+	--	--	+++++	++	
שורשיים אוגרים	+	--	++	+	++	
שורשיים תומכים	+	+	+	+++++	++	
גרעיני דגן	+++	+	+++++	++	+	
גרעיני שמן	+++	+++	+++	+++++	++	לפני קילוף
כוספאות	++++	+	+++++	+++	++	
תוצרי לוואי מהחי						
קמחי בשר	+++++	+++	--	++	++	טרם מיצוי השומן
קמח עצמות	+++	+	--	--	+++++	לדישון, להאבסה
קמח דגים	+++++	++	--	--	++	

* סיבים – כולל פחמימות מבניות וסיבים שונים כולל עצה (ליגנין).

מקרא:

-- לא שייך

תחומים:

+ - מ⁻ 0% עד 3%;

++ - מ⁻ 4% עד 8%;

+++ - מ⁻ 9% עד 15%;

++++ - מ⁻ 16% עד 25%;

+++++ - מ⁻ 26% עד 35%;

+++++ - מ⁻ 36% עד 60%;

+++++ - מ⁻ 61% ומעלה.

הערכת תרומת המזונות להזנת מעלי גירה

קביעת ערכם התזונתי של מזונות לבעלי החיים נעשית בדרך כלל תוך התייחסות לריכוזיות האנרגיה הגלומה בהם, זו אשר ניתנת לניצול על ידי בעל החיים. נוהגים להגדיר בהקשר זה שלושה סוגי מזונות: מזונות מרוכזים, מזונות חצי מרוכזים ומזונות גסים. השוואת תכונותיהם של סוגי המזונות השונים מובאת בטבלה מס' 3.

טבלה מס' 3: השוואה בין תכונות של מזון מרוכז, מרוכז למחצה ומזון גס

סוג המזון			
מרוכז	חצי מרוכז	גס	
1.8 ומעלה	1.4 עד 1.7	פחות מ 1.4	ריכוזיות האנרגיה*
מרובה אניונים (לדוגמה אניוני זרחן)	משתנה	מרובה קטיונים (אשלגן, סידן וכו')	סוג המינרלים**
נמוכה	בינונית	גבוהה	תכולת סיבים***
נמוכה עד בינונית	משתנה	גבוהה עד נמוכה	נעכלות הסיבים
לינגנין, צלולוזה וכו' בתכולה של 0% עד 12%	כמו במזון מרוכז אך בתכולה של 7% עד 15%	כמו במזון מרוכז אך בתכולה של 16% עד 50%	הרכב הסיבים ADF, NDF וכו' (ראה/י להלן)
נמוך	משתנה	גבוה	גירוי להפרשת רוק
נמוך	משתנה	גבוה	גירוי לפריסטלטיקה
לאורך כל מערכת העיכול			מקום העיכול
גרעיני דגן, שמן כוספות, קליפות הדר, מי גבינה			דוגמה למזונות:
סובין, סחיט סלק סוכר, כוספת כותנה לא מקולפת			שחתות, ירק, תחמיץ, קש, קליפות כותנה

* ריכוזיות האנרגיה במזון נמדדת ביחידות של מגה-קלוריות (מק"ל) אנרגיה נטו (לקיום, לייצור חלב או לגדילה) בק"ג חומר יבש של מזון.

** הזרחן אינו מופיע כיון של חומצה זרחנית, אלא כאטום הקשור לתרכובות מיוחדות כגון חומצה פִּתִּית (ראה/י פרק "מינרלים"). הקטיונים (קטיון – יון שמטענו החשמלי חיובי) משפיעים בכיוון בסיסי כשהם נמסים בתוכן הכרס ותורמים ליכולת לשמור על רמת החומציות שמקורה בחומצות הנוצרות בתהליכי התסיסה המיקרוביאלית.

*** סיבים מצויים בקליפות גרעינים, ברקמות תמיכה וברקמות הולכה (פחמימות מבניות בגבעולים וכד') וכן בעלים ובעטיפות כקליפות גרעינים.

**** למעט החיידקים שגדלו על המזון הגס ומתעכלים במעינים.

הגדרת ריכוזיות המזון מתייחסת לרמת האנרגיה שבו, אך אינה מתייחסת לתכולת הסיבים או לתכולת החלבון שבו. ריכוזיות האנרגיה נמצאת בדרך כלל ביחס הפוך לתכולת הסיבים קשי-העיכול שבמזון הנבחן. יוצאים מכלל זה הם גרעיני כותנה לא מפולמים. גרעיני כותנה לא מפולמים הם גרעיני כותנה שהסירו מהם את הסיבים אך נשארה עליהם הפלומה, כמו בכותנה מזן אקלה. גרעיני כותנה מצרית עירומים לגמרי לאחר הניפוט. גרעינים לא מפולמים עשויים להכיל עד 30% סיבים, שמרביתם מכילים תאית והם קשי עיכול. למרות זאת, גרעינים אלה נחשבים עדיין כמזון מרוכז משום שהם מכילים רמה גבוהה יחסית של שמן בר-עיכול. כוספת כותנה לא מקולפת תיחשב כמזון חצי מרוכז, למרות התכולה הגבוהה יחסית של החלבון בה. זאת, משום שהשמן בגרעין הכותנה מוצץ אך נשארו הסיבים קשי העיכול.

תיאור המזונות המקובלים בהזנת מעלי גירה



מזונות מרוכזים

אלו מזונות בהם ריכוזיות האנרגיה הנקייה (נטו) או ריכוזיות האנרגיה המטבולית ליחידת משקל חומר יבש (ח"י) בהם גבוהה יחסית. לקבוצה זו שייכים בעיקר הגרעינים, בין אם גרעיני דגן ובין אם גרעינים המיועדים להפקת שמן. תוצרי הלוואי של הגרעינים לאחר מיצוי השמן (קוספאות; Meal), יידונו בפרק תוצרי לוואי.

גרעיני דגן

ככלל, תכולת החלבון בגרעיני דגן נמוכה יחסית (8% עד 12%). גרעיני דגן נחלקים לשתי קבוצות:

- ❖ גרעיני דגן מהירי פירוק – אלו שהן העמילן והן החלבון בהם פריקים: כגון גרעיני שעורה, גרעיני חיטה וגרעיני שיבולת שועל.
- ❖ גרעיני דגן המתפרקים באופן איטי – עמם נמנים גרעיני תירס וגרעיני סורגום. הניצולת של גרעינים אלה משתפרת עבור בעל החיים לאחר עיבודים שונים.

גרעינים המשמשים להפקת שמן

אלה גרעינים שתכולת השמן בהם נעה בין 18% ל-35%. גרעינים אלה עתירי אנרגיה ועשירים יחסית בחלבון אשר רמתו עשויה להגיע לכדי 20% עד 30% מהחומר היבש. על קבוצה זו נמנים גרעיני כותנה, גרעיני סויה, גרעיני חמניות, גרעיני לפתית (קנולה) ובוטנים. בעוד שלחלק מהם קליפה דקה, לחלק אחר קליפה קשה אשר כמעט ואינה ניתנת לעיכול (כותנה, חמניות ובוטנים).

מזונות גסים

מזונות אלה מוכנים מהחלק הוֹגְטִיבִי (רקמות הצמח שאינן קשורות ברבייה מינית) של הצמח. לפעמים יכולו המזונות הגסים גם גרעינים מחוצים ומרוסקים (לדוגמה, בתחמיצי תירס ובתחמיצי חיטה). תכולת האנרגיה במזונות הגסים נעה בתחום רחב מאוד, מתכולה גבוהה, אותה מוצאים במזונות כגון שורשי סלק־מספוא ועד תכולה נמוכה מאוד כבקש.

מזון גס טרי

יֶרֶק

במצב טרי ניצולת של תכולת האנרגיה, החלבון ושאר רכיבי המזון היא הגבוהה ביותר. אולם, יש לזכור כי החלבון במזון גס טרי הוא פריק מאוד. באם תכולת הפחמימות פריקות־כרס שבמנה אינה ביחס מתאים לתכולת החלבון הפריק, עלול חלק מהחלבון להפוך לאמוניה בכרס ולהיות מופרש כשתנן.

מזון גס משומר

שימור מזון גס מבטיח את אספקתו במשך כל השנה. במזונות גסים משומרים אנו מביינים בתחמיץ (Silage), בשחמיץ (Haylage) או בשחת (Hay).

שחת (חציר)

שחת היא צורת שימור המקובלת עוד מימי קדם, בה מייבשים את הירק עד לתכולת לחות כה נמוכה, בה כמעט ולא מתקיימת בחומר המשומר כל פעילות ביולוגית, של מק"א, של פטריות או של הצמח עצמו. נוהגים למיין את השחתות לשתי קבוצות עיקריות, שחתות דגניים ושחתות קטניות.

א. שחתות דגניים

בין שחתות הדגניים ניתן למנות שחתות המיוצרות מגידולי חורף המושקים במי גשמים כגון שחת שיבולת שועל, שחת זון ושחת חיטה. זו האחרונה מיוצרת כאשר החיטה אינה מניבה גרעינים. כן כלולות בקבוצה זו שחתות המיוצרות מגידולי קיץ כגון שחת סִיטְרִיָה, שחת פנסילריה או שחת דוֹחֶן ענק. אלה שחתות המיוצרות במקרי מחסור חמור בשחתות חורפיות.

ב. שחתות קטניות

בין שחתות הקטניות הנפוצות ביותר ניתן למנות את שחת האספסת ואת שחת הבקיה. הראשונה מגודלת בהשקיה והיא היקרה ביותר, אך גם הטובה ביותר. השנייה מושקית בגשמי חורף ועשויה להגיע לאיכות מעולה בצורת גידול נאותה. מצויות אך לא שכיחות, שחת אפונת בקר ושחת המיוצרת מהחלק הצמחי הנותר של אפונה ירוקה לאחר איסוף האפונים. זו האחרונה נחשבת כשחת באיכות בינונית עד טובה.



תמונה מספר 10: חבילת חציר עגולה

לאחרונה נוסתה בהצלחה טובה יחסית שחת נוספת, שחת חריע שהוא צמח ממשפחת המורכבים. לחריע שורש שיפודי עמוק והוא יכול לגדול בתנאים של מחסור במים.

במהלך הכנת שחת, הצמחים הנקצרים נערמים בשדה לייבוש ראשון. לאחר שהצמחים יבשו באופן חלקי, עוברים בשדה עם מגוב והופכים את ערמות הצמחים לייבוש סופי לרמה של 88% חומר יבש או אף יותר (לחות של כ-12% או פחות). בשלב זה כונשים את השחת בחבילות או בגלילים.

יתרון השיטה של שימור חומר גס בצורת שחת הוא בפשטותה היחסית. הפעולות הנדרשות אינן מורכבות: ייבוש, כבישה והובלה למתן. אולם, להכנת שחת גם חיסרון – התהליך עלול להיות כרוך בהפסד של עד כ-50% מהערך המזוני של חומר המוצא. כל ההפסדים במקטע הנעכל מתרחשים בפרק הזמן בו השחת מונחת בשדה. ניתן למנות כמה סיבות להפסדים אלה:

- א. גם לאחר הקציר נמשכים תהליכי הנשימה בצמח וכן נמשך פירוק חומרי התשמורת. זאת, כל עוד לא ירדה הלחות ברקמות אל מתחת ל-50% – רמת לחות בה הצמח מת (נפסקת לצמיתות פעילותן של כל המערכות האנזימטיות שבו).
- ב. בשלבי הייבוש וההפיכה עלולים עלים, החלק המזין ביותר בצמח, לנשור ולא להיאסף בעת תהליך הכבישה.



תמונה מספר 11: חבילת קש מרובעת

- ג. הצמח עלול לעבור תהליך של יצירת סיבים קשי עיכול המכילים ליגנין (ליגניפיקציה) בעקבות הייבוש וההתחממות מחום הקרקע החשופה (מצב המכונה בפי בעלי המקצוע "שרפת השחת"). תהליך זה פוגע בנעכלות השחת.
- ד. אחסון ממושך של שחת פוגם באיכותה היות והוא כרוך בחמצון איטי של סוכרים בשחת.

בנוסף לחסרונות, ניתן למנות גם מספר סיכונים בהכנת שחת:

א. המגוב עלול לגרוף אל תוך החבילות בעת הכבישה רגבי קרקע, אבנים וחומרים זרים כגון חלקי מתכת. אלה עלולים להגיע למערכת העיכול של מעלה הגירה ולהזיק לה.

ב. כבישת שחת כאשר הלחות בה מעל לרמה המומלצת תוביל להתפתחות עובשים. אלה עלולים להיות רעילים או להכיל חומרים דמויי אנטיביוטיקה. חומרים אלו עלולים להיספג במעי מעלה הגירה ולהגיע לחלב. במקרה זה, החלב ייפסל לשימוש.

הצטברות טל מתחת לערמות הגידול הקצור, וכן לחות אוויר גבוהה, מאיטים את קצב ייבוש השחת. כדי למנוע אובדן של עלים מהשחת נוהגים לפעמים לכבש אותה בלחות מעל לזו המומלצת (12% ומטה), וכובשים אף בלחות של 13% עד 16%. במקרה כזה אין מובילים את

השחת מיד למתבן, אלא משאירים את חבילות החציר בשדה לייבוש נוסף, תוך שמשעינים כל שתי חבילות שחת האחת על רעותה באלכסון. סכנה הקיימת בכל סוגי המזון המשומר (כולל תחמיצים, ראה/י להלן) היא נוכחות פגרי חיות כעכברי שדה, נחשים או ציפורים. אלה נגרפים לפעמים במגוב האוסף את השחת או הירק לכבישה או להחמצה, נלכדים וגופם נקצץ על ידי המכסחת או נמעך במכבש. הגוויות עלולות להכיל חיידקים שונים כגון חיידקי סימום מעיים או חיידקי קלוסטרידיום. החיידקים מתרבים בתוך הגוף המת ובמזון המשומר הצמוד לו, ועלולים בתנאי לחות וטמפרטורה מתאימים לייצר רעלנים כדוגמת רעלן הבוטולינום, הגורם להרעלת בוטוליזם. רק חיסון מוקדם יכול להציל את בעל החיים מהרעלה זו.

קש

קש הוא שם כולל לחלקי המזון הצמחיים שנשארו לאחר הקציר ואיסוף יבול הגרעינים. אנו מכירים סוגי קש דגניים כגון קש חיטה וקש שעורה שהם דלי עלים, עתירי גבעולים וקשי עיכול. לעומתם, קיימים קש סורגום וקש תירס שנותרו בהם עלים וערכם המזוני עולה על קש חיטה או על קש שעורה. מבין סוגי הקש שאינם דגניים מוכרים קש בוטנים (קטנית) שאיכותו עשויה להיות טובה, קש סויה שהוא באיכות נמוכה יחסית וקש כותנה שאיכותו כמזון נחותה ביותר.



תמונה מספר 12: סידור חבילות קש במתבן

תחמיץ

טכניקת ההחמצה מנצלת את פעולת התסיסה האנאerובית של חיידקי חומצת חלב (לקטובצילים), המאכלסים את חומרי המוצא בכמות רבה. ההחמצה משמשת גם לשימור מזונות האדם, במיוחד לשימור ירקות (מלפפונים, חצילים) וכן לשימור זיתים. מזון טרי מכיל בין השאר חיידקי ריקבון מפרקי-חלבון אשר ללא החמצה תגבר פעילותם. התססה מהירה על ידי חיידקי חומצת חלב מפסיקה את פעילותם של חיידקים מזיקים אלה, ועשויה אף לקטול חיידקים פתוגניים (מחוללי מחלות). חיידקי חומצת חלב מתסיסים את הסוכרים המצויים בירק הטרי, ומייצרים בעיקר חומצת חלב, הגורמת לירידת ה-pH עד לערך של 4 ואף של 3. ב-pH נמוך זה מתים המק"א המזיקים, אך גם פעילותם של חיידקי חומצת החלב נפסקת כמעט לחלוטין.

בצד היתרונות שבהכנת תחמיץ ניתן למנות גם חסרונות, מעבר להוצאות הנדרשות למשל לבניית בורות תחמיץ או להידוק התחמיץ בבור. הכנת תחמיץ מלווה בהפסד חלקי של סוכרים המשמשים כמצע לתסיסת החיידקים. חלק מסוכרים אלה הופכים במהלך התסיסה לחומצת חלב שהיא בעלת ערך מזוני. אולם, חלק אחר הופך במהלך התסיסה לגזים הנפלטים לחלל האוויר. הפיכת הסוכרים לגזים היא למעשה הפסד שהיקפו כ-2% מהחומר היבש בתחמיץ טוב ועלולה להגיע עד כדי 8% בתחמיץ גרוע.

הפסד נוסף הכרוך בהכנת תחמיץ נובע מכך שבמהלך יצירת התחמיץ נוצרים נוזלים, אשר במהלך ניקוזם הם גורפים עמם חומרי מזון.



הכנת התחמיץ: הגידול נקצר, בדרך כלל במכסחת, במועד מיטבי, בו הערך התזונתי של הרכיבים הצמחיים והגרעיניים (אם ישנו כזה) מרבי. בשלב זה עדיין מצויות בצמח כמויות נכבדות של סוכרים זמינים לתסיסה לקטית. כמו כן, חשוב שתכולת החומר היבש במזון הנקצר לתחמיץ תהיה לפחות בין 32% ל-38%. תכולה זו משתנה ותלויה גם בכושר השמירה של חומר המוצא על רמת חומציות קבועה פחות או יותר. דהיינו, ביחסים שבין תכולת הסוכרים המשמשים לתסיסה, לבין תכולת חלבון ואפר המעכבים את הירידה בערך ה-pH.

העלאת תכולת החומר היבש מעלה את הלחץ האוסמוטי של חומר המוצא, ומצמצמת את כושר הפעילות של החיידקים שבחומר הקצור, במיוחד את הפעילות של החיידקים המזיקים. בנוסף, העלאת תכולת החומר היבש מקטינה את ההפסדים הנגרמים מנגר של נוזלים מהתחמיץ. אפשר לצמצם את כמות הנגר על ידי דחיית מועד הקציר עד לשלב מילוי הגרעין (תירס, חיטה או סורגום) או עד לשלב הבשלת חלב-דונג (שם עממי המתאר מצב בו תוכן הגרעין רך וצמיג. משלב זה ואילך הגרעין עובר הליך של התקשות שאינה רצויה במקרה של הכנת

תחמיץ). כאשר תכולת החומר היבש בחומר הקצור נמוכה, יש להשאיר את הצמחים בשדה כדי לגרום לקמילתם עד לקבלת תכולה נאותה של חומר יבש. אולם, יש לזכור כי ייבוש יתר יגרום להתחממות התחמיץ, מצב שאף הוא אינו רצוי. לצורך החמצת אספסת יש אף צורך לייבש אותה עד לתכולת חומר יבש של שחמיץ (ראה/י להלן). לאחר גמר הקציר, ובעת הצורך, לאחר ייבוש החומר הקצור בשדה, מובל החומר לאחסון במקל ההחמצה.

באופן כללי קיימים שני סוגי מתקנים להחמצה:

1. בור שטוח שצורתו כטרפז הפוך. אורך הבור יכול להיות כ-15 עד 30 מ', רוחבו 5 עד 15 מ' וגובהו כ-2 עד 3 מ'. משני צדי הבור דפנות בטון.
2. מגדל-תחמיץ עשוי מבטון, בעל פתח עליון או מגדל תחמיץ העשוי ממתכת או מפברגלס משוריין ואטום לחלוטין, הקרוי Harvester. החומר הקצור מובא אל הבור במשאיות ונפרק באופן ישיר. כאשר מדובר ב-Harvester, החומר הקצור מועלה אל תוכו על ידי מִפּוֹחַ חֶזֶק, דרך צינור הובלה. החמצה במגדל תחמיץ כמעט עברה מהעולם. החמצה ב-Harvester נפוצה בארצות הקור. שיטה זו נוסתה בארץ ללא הצלחה מחמת "התפתחות התחמיץ" עקב החום הרב הנוצר בתוך המתקן כתוצאה מפעילות מק"א וכן מחום הסביבה.



התנאים האנארוביים בבור הדרושים לתהליך ההחמצה מושגים תוך ביצוע מספר פעולות עוקבות שיש להקפיד מאוד על אופן ביצוען:

- א. הידוק מיידי של החומר הקצור עם הכנסתו אל הבור בעזרת טרקטור הנוסע הלון ושוב על גבי החומר הקצור. עם גמר מילוי הבור יש להמשיך במלאכת ההידוק מספר שעות.
- ב. לאחר סיום מלאכת ההידוק, יש לבצע איטום טוב של בור התחמיץ במטרה למנוע חדירת אוויר. האיטום מתבצע תוך כיסוי קפדני של הבור ביריעות פלסטיק. על יריעות הפלסטיק יש להניח שכבת חומר הידוק (פסולת מחצבה, פסולת מנפטה, צמיגים ישנים וכד') כדי להוציא את שרידי האוויר שנכלא בין כיסוי הפלסטיק לבין המזון שאוכסן בבור.

פעולות עזר התורמות להחמצה טובה:

- א. במקרה של ריכוז סוכרים נמוך (הסוכרים דרושים לתסיסה) והיעדר אפשרות להקמלה ניתן להוסיף על המזון שכבה אטומה של חומרים מכילי סוכר כגון קליפות תפוזים.
- ב. מצויים בשוק מספר רב של חומרים המדכאים התפתחות חיידקי ריקבון, וחומרים אשר מעודדים התפתחות חיידקים המייצרים חומצת חלב. ניתן להוסיף חומרים אלו לחומר המוחמץ תוך ערבובם עם החומר בעת מילוי הבור.



תמונה מספר 13: בורות תחמיץ

מימין: בורות פתוחים בהם נעשית כריית תחמיץ

- ג. כדי להעשיר בחומר המוחמץ את אוכלוסיית החיידקים המייצרים חומצת חלב ניתן להוסיף לו בעת מילוי הבור תרביות מוכנות של חיידקים אלה.
- ד. הוספת חומר יבש (שחת קצוצה או גרעיני דגן) כאשר החומר המיועד להחמצה רטוב מדי, כמו במקרה של החמצת קליפות תפוזים. כבישה בבור של חומר רטוב מדי (15% עד 20% חומר יבש) תגרום להתארכות משך תהליך ההחמצה, מצב שיביא להרס חלבונים תוך כדי תסיסה, יצירה מוגברת של חומצה בוטירית, כמו גם יצירת נגור רב המכיל למעשה חומרי מזון מסיסים. כדי למנוע הפסדים אלה בעת החמצה בבור שטוח, יש לגרום ראשית לקמילתו של החומר המיועד להחמצה. הכללים בדבר תכולת חומר יבש תקפים גם להחמצה במגדל או ב-Harvestor.

כאמור, שימור מזון כתחמיץ מאפשר לאגור אותו כאשר הוא מצוי בשפע, ולשמר אותו זמין ללא פגיעה משמעותית באיכותו לתקופה ממושכת. בנוסף, יצירת תחמיצים אחת לתקופה מבטלת את הצורך לצאת כל יום לשדה כדי לקצור חומר טרי. בצד היתרונות שבהכנת תחמיץ, יש לפעולה זו גם מספר חסרונות: יצירת התחמיץ מלווה בהפסד חומר אורגני בר-עיסה המשמש לתסיסה וביצירת גורמים מזיקים היוצאים מהבור בעודם מכילים חומרים מסיסים קלי עיסה. בנוסף, חלק מהחלבון שבמזון הופך בעת ההחמצה לאמוניה. לתכולת החומר היבש בתחמיץ חשיבות רבה. ככל שתכולת החומר היבש של חומר המוצא גבוהה יותר, כך לתחמיץ יש ערך תזונתי גבוה יותר, וככל שתכולת החומר היבש בחומר המוצא תהיה נמוכה (אחוז מים גבוה) תפחת איכות המזון.

תכולה גבוהה מדי של מים בתחמיץ עלולה להוביל אף לריקבון התחמיץ. מאידך, חומר יבש מדי בבור תחמיץ יתחמם, אדי מים יעלו ויתעבו מתחת לפלסטיק האוטם, ויגרמו להתפתחות עובשים בשכבה שהעובי שלה עלול להגיע ל-5 ואף ל-15 ס"מ. הנזק כאן עלול להיות רב, שכן מלבד הטרחה הקשורה בהרחקת השכבה הנגועה בעובש והפסד חומר, עלולים העובשים להכיל רעלנים (ראה/י בהמשך).

כריית תחמיץ: כריית התחמיץ מהבור חייבת להיעשות בזהירות. זאת משום שפני-שטח מקום הכרייה נחשפים לאוויר. במהלך הכרייה האוויר גם חודר מתחת לכיסוי הפלסטיק שעל התחמיץ, במידה וזה לא אוטם כהלכה. חשיפה לאוויר מאפשרת תסיסה משנית של חיידקים, אך במיוחד של עובשים, שחלקם עלולים לייצר רעלנים או חומרים אנטיביוטיים. כך למשל אירע שחלב שנשלח למחלבה נפסל עקב האבסת תחמיץ תירס מעופש, בטענה שהתחמיץ הכיל חומרים אנטיביוטיים. הרכיב הראשון שנפגע כתוצאה מחשיפה לאוויר הוא חומצת חלב (חומצה לקטית), המנוצלת על ידי חיידקים ארוביים. אלה הופכים אותה לפחמן דו-חמצני ולמים או לחומצת חומץ נדיפה. כתוצאה מהירידה בכמות החומצה הלקטית, עולה ה-pH של התחמיץ, ובכך מוסרת ממנו ההגנה הטובה ביותר מפני התפתחות חיידקים מזיקים. למניעת התקלות שהוזכרו, יש לשמור בעת כריית התחמיץ על שטח חתך חלק. את שטח פני החתך יש לרסס בחומצה פרופיונית, שהיא חומר קוטל עובשים, ולכסות את שטח הפנים במידה והכרייה אינה נעשית פעם ביום לפחות. מבחינת הסכנות שעלולות להתעורר כתוצאה מחשיפת התחמיץ לאוויר בעת הכרייה יש ל-Harvestor, שהוא אנארווי מוחלט, יתרון רב.



שחמיץ

שם המוצר בא משילוב המילים שחת ותחמיץ. שחמיץ כשמו כן הוא, "שחת עם קצת מיץ". חומר המוצא עובר תחילה הקמלה וייבוש עד לרמה של 50% עד 60% חומר יבש. לאחר מכן התוצר נכבש בבורות או במגדלי תחמיץ. נוטים לשחמץ חומרי מוצא אשר קשה להחמיצם בדרך הרגילה. אלה יהיו למשל גידולי קטנית כבקיה או כאספסת עתירי חלבון ומינרלים, המכבידים על ההחמצה בגלל כושר ההתרסה (שימור רמת החומציות בטווח מסוים) שלהם. על אף הקושי הכרוך בהידוק חומר קצור המכיל רמה גבוהה של חומר יבש, ועל אף שנותרת כמות רבה של אוויר ברווחים, לא יוכלו חיידקי ריקבון או חיידקים מפרקי חלבון לפעול ברמת יובש כזו.

עיקר הפעילות החיידקית בתנאים אלה נעשית על ידי חיידקים לקטובציליים. נוכחות אוויר מאפשרת ללקטובציליים תרמופיליים (אוהבי חום) לפעול. כתוצאה מכך, השחמיץ בדרך כלל

מתחמם. התחממות השחמיץ מצמצמת את פריקות חלבון בכרס, ביחוד בשחמיצים עתירי חלבון. יש בכך יתרון מאחר ופריקות מוגברת של חלבון בכרס יכולה להסתיים בספיגה רבה יותר של האמוניה מהכרס לדם, הפיכת האמוניה לשתנן והפרשת השתנן בשתן, תהליך שבסיכומו נגרם למעלי גירה הפסד חלבון עָכִיל. אמנם, החימום מקטין במקצת את נעילות השחמיץ בקיבה האמיתית ובמעיי, אולם, הפסד זה מתקזז על ידי הקטנת פריקות חלבון בכרס, כפי שתואר.

כריית שחמיץ: קשה יותר להדק ולכרות שחמיץ מאשר להדק ולכרות תחמיץ. זאת, הואיל והחומר המשוחמץ נמצא במצב צבירה דליל יותר, עובדה המאפשרת את פריקתו מתחתית ה־Harvestor.

השימוש בשחמיצים ואכסונום במתקני Harvestor אינו נפוץ בארצות החום עקב מספר חסרונות של שיטת שימור זו של חומר גס אשר ביניהם: הצורך לעלות פעמיים על השדה (קציר הקמל ואיסופו), הפסד עלווה (עלים עתירי חלבון) בשדה בתהליך ההקמלה, עלות גבוהה של המתקן וכן של מנגנונים להכנסת השחמיץ ולהוצאתו כמו גם תקלות טכניות תדירות. בנוסף, קיימת סכנה של חימום יתר בתהליך התסיסה, חימום אשר מביא להפחתת הערך המזוני של השחמיץ במקרה של ייבוש יתר.

השימוש בשחמיצים התפתח בארצות הקור בהן התחמיץ הרגיל קופא בחורף וכרייתו קשה מאוד. אולם, בשנים האחרונות פותחו מכשירי כרייה וערבול מזון למנה כולית (סֶלֶף; Self) אשר להם מנועים ומתקני כרייה חזקים מאוד. פיתוח זה מאפשר כיום החמצה בבורות שטוחים גם בארצות הקור.

יש חומרים שניתן להחמיצם רק בתכולה גבוהה מאוד של חומר יבש. כדוגמה אפשר להביא את זבל העופות. חומר זה עשיר במינרלים ובחלבון כללי, והחמצתו בריכוז חומר יבש של פחות מ־60% עד 65% תגרום לריקבון ולרעילות המוצר, אלא אם יוספו אליו חומרים סוכריים כגון קליפות תפוזים או מי־גבינה.



מזונות שמקורם בחקלאות ובתעשייה

מזונות לוואי מרוכזים עשירים באנרגיה וחלבון

מזונות לוואי פחמימתיים: לקבוצה זו שייכים מזונות כגון מוֹלֶסָה – תרכיז סוכרי נוזלי וסמך שנותר לאחר גיבוש הסוכר ממיצוי מִימִי של סלק סוכר או מקנה סוכר; טֶפְיוֹקָה – אבקת עמילן המופקת משורש צמח דמוי בטטה; קליפות הדר; שאריות גזר או סלק לשימורים; קמח חלב (מלא ורזה) ומי גבינה. חלק מהחומרים המוזכרים מכילים גם חלבון אם כי בתכולה נמוכה – 5% עד 7%.

מזונות לוואי שומניים:

א. סופסטוק – חומר הנותר לאחר מיצוי וניקוי מלציטין של שמן מגרעיני סויה, של גרעיני ליפתית (Canola), של נבטי תירס, של גרעיני כותנה וכד'. החומר מורכב בעיקר מחומצות שומן שנסתרו על ידי יסוד אלקלי (בסיס). חומר זה שימש בעבר לייצור סבון (Soap stock) ומכאן שמו.

ב. שומן שנאסף מבתי מטבחים וחלב מרקמת השומן הטוטפת את הכרס ואת המעיין.



מזונות לוואי חלבוניים מהצומח:

א. פוספה – כוספה הוא שם כולל לשאריות שנותרו לאחר מיצוי השמן מגרעיני שמן. כיום נפוצות בשימוש בארץ כוספת סויה, כוספת ליפתית (קנולה) וכוספת כותנה. זו האחרונה יוצרה בעבר בארץ, אך כיום היא מיובאת במידת הצורך. בארצות אחרות נפוץ גם השימוש בכוספת חמניות. לפני השימוש יש לברר אם הכוספה היא מגרעין אשר קולף או מכזה שלא קולף לפני מיצוי השמן. ההחלטה בדבר שימוש בכוספה מקולפת, או בכוספה לא מקולפת, המכילה הרבה סיבים קשי-עייכול תתקבל בהתאם לצורכי ההזנה של מעלה הגירה. כאשר דרוש רק חלבון, או כאשר הסיבים עלולים להזיק (למשל בעת הכללת כוספה בתערובת ליונקים) יש להעדיף כוספה על פני גרעינים מקולפים. אולם, כאשר חסרים סיבים במנה או כאשר המחיר ליחידת אנרגיה או חלבון נמוך יותר בכוספה "לא מקולפת", יש להעדיף כמובן את השימוש בכוספה זו.

ב. גלוטן – גלוטן תירס וגלוטן חיטה הם תוצרי-לוואי עתירי חלבון מתעשיית הקורנפלוור (עמילן טהור). איכות החלבון שלהם עבור פשוטי קיבה נחותה, לכן נמצא להם שימוש בהזנת מעלי גירה.



מזונות לוואי חלבוניים מהחי:

א. קמח דגים – מוצר זה מיוצר משאריות תעשיית שימורי דגים או מדגים שנידוגו במיוחד לצורך הכנת הקמח. מחמת מקורותיו השונים ואיכותו אשר עלולה להיות שונה כתלות במקורו, יש לבדוק היטב לפני השימוש את מקורו של הקמח ואת נעכלות החלבון שהוא מכיל. הכנת הקמח: לאחר ניקוי הקשקשים והסנפירים ו"קילוף" נתחי בשר הדג כ"פילה", מסירים בקרצוף מעל האידך את יתרת בשר הדג, מחטאים אותה בקיטור תוך שחלק מהשומן מורחק. לבסוף, מייבשים ומרסקים לקמח. בטיפול נכון ומבוקר מתקבל מזון חלבוני מעולה, המכיל עד 70% חלבון בעל נעכלות גבוהה. מאידך, קמח דגים מארצות בעלות טכנולוגיה נחותה עלול להכיל שרידי עצמות דג, קשקשים, סנפירים או אף גופי סרטנים ששריונם עשוי כיתין. זה מגיב בבדיקה מעבדתית כחלבון כללי, על אף שאינו חלבון. קמח דגים שלא חוטא כהלכה עלול להכיל חיידקי סלמונלה, או אף רעלן שמקורו בחיידק קלוסטרידיום בוטולינום. בארץ פותח תהליך מיוחד ל"כפתות" (יצירת כופתאות) מזון שבו כלול קמח דגים ה"חשוד" כמזוהם בחיידקים גורמי מחלות. בתהליך הכפתות מוסיפים לקמח פורמלידה המחסל את החיידקים.

ב. קמח בשר – זה מיוצר מפסולת משחטות (מעיים וכד'). הטיפול בפסולת בשר דומה לטיפול בשאריות דגים. אלא שיש מקרים בהם מעדיפים היצרנים או הלקוחות למצות את השומן טרם תהליך החיטוי.

ג. קמח נוצות – הנוצות מכילות כמעט 100% חלבון, אלא שהנעכלות של חלבון זה היא נמוכה מאוד. הנעכלות הנמוכה של חלבון זה מקורה במבנה המרחבי שיוצרות המולקולות של החלבון, מבנה אשר אנזימי העיכול אינם יכולים לפרק. כדי לאפשר את עיכול החלבון שבנוצות הן עוברות טחינה לקמח. לאחר מכן, מוכנס הקמח למֶכָּל אטום אליו מוזרם קיטור בטמפרטורה גבוהה ובלחץ גבוה. בנוכחות הקיטור מתפרקים קשרי המימן שבין מולקולות החלבון. עם זאת, יש לזכור כי על אף העובדה שקמח הנוצות עשיר בִּצִּסְטִין וִצִּסְטֵאִין שהן חומצות אמינו מכילות גופרית, אין הוא עשיר בִּמְתִּינִין, שהיא חומצת אמינו הכרחית. באופן כללי קמח נוצות אינו מצטיין במגוון חומצות אמינו.



מזונות לוואי חצי מרוכזים

הנפוץ ביותר מבין אלה הוא הסובין, שהוא תוצר-לוואי של טחינת גרעיני חיטה לקמח. חומר נוסף הוא סחיט סלק סוכר, הנמכר בשוק ללא פֶּתוֹת או מכופתת בתוספת מולסה. סחיט סלק סוכר זמין כיום בישראל רק מייבוא. מזון נוסף השייך לקבוצה זו הוא קליפות מיובשות של פרי הדר. כיום תוצר זה נדיר ביותר בארץ. נפוצים יותר קליפות סויה (מקילוף לפני מיצוי השמן) ושומר שקד (עטיפת השקד הירוקה שיובשה), שניהם מזונות המכילים סיבים. בקניית שומר השקד יש להקפיד כי השומר יהיה אכן רק "שומר השקד" ולא קליפת שקד (החומה), שמרביתה לִיגְנִין והיא אינה נעכלת כלל.

כוספת כותנה לא מקולפת גם היא נחשבת כמזון חצי מרוכז. כאן הגרעין מטופל בקיטור ומרוסק עם הקליפה הקשה ופלומת הכותנה לפני מיצוי השמן. מזון נוסף השייך לקבוצת מזונות הלוואי החצי מרוכזים הוא גֶּפֶת זיתים – תוצר-לוואי מכבישה קרה של שמן זית. מוצר זה מכיל אמנם גרעיני זיתים שבורים שאינם ברי-עיכול, אך לציפת הפרי יש ערך תזונתי גבוה.



מזונות גסים שהם תוצרי לוואי מחקלאות ומתעשייה

לקבוצת מזונות זו שייכים מזונות כגון שאריות צמחיות של אפונה לשימורים (כשחת או כשחמיץ), שחת בוטנים (שני האחרונים קטניות) שְׁזֵרֹת וגִּלּוּמוֹת תירס הנותרות לאחר פִּילּוּם הגרעינים (פילום – הסרת הפלומה), עלוות תפודים, ואף קליפות כותנה עם פלומה או בלעדיה. מאחר וקיימת שונות רבה בהרכב החומרים, יש לקבוע בכל מקרה לגופו ובטרם השימוש את ההרכב ואת הערך התזונתי של החומר המתקבל.



פסולות מתעשיית המזון:

קבוצה של שאריות תעשייתיות אשר הן מעוטות או נטולות כל ערך תזונתי. בין פסולות אלה מונים פסולת מנפטות כותנה, קליפות חמניות או בוטנים, פסולת קפה או פסולת קקאו,

פסולת שורשים (ליקוריס) ואף גפת ענבים לאחר מיצוי המיץ. חומרים אלה מתאימים בעיקר לריפוד רצפת המבנים ברפת.



הפרשות ממוחזרות של בעלי חיים:

בעשורים האחרונים של המאה העשרים החלו בניצול הפרשות של בעלי חיים לצורכי הזנת מעלי גירה. זאת, לאחר תהליך של חיטוי ההפרשות. ניצול זה התאפשר עם הבנת תפקוד הכרס במעלי גירה. נמצא כי הכרס מאפשרת עיכול שרידי – סיבים ושימוש בחנקן חלבוני ושאינו חלבוני שמקורו בהפרשות. הנפוץ ביותר בשימוש הוא זבל פטמים של עופות, המורכב מתערובת שבה לשלשת ורפד. כמו כן, נלמדו דרכים לטיפול בלשלשת מטילות שאינה מעורבת ברפד. ניתן להאביס אף בפֶּרֶש של פרות גבוהות תנובה שעורבב לשחמיץ עם שחת. פרש פרות גבוהות תנובה מכיל הרבה חלבון ממקור צמחי בר-עיקול, ולעתים גם כמות ניכרת של עמילן שלא התעכל.

בעת מחזור ההפרשות יש לטפל בהן באמצעים למניעת מחלות. אחת הדרכים היא חיטוי בחום, שמשכו ורמתו נקבעים בהתאם לסוג ההפרשה. דרך אחרת היא החמצה אנארובית של הפרשות לתחמיץ אם על ידי הוספת מים, במידה ונדרש, או הוספת חומר המכיל סוכר כגון מי גבינה או קליפות הדורים. כאשר מים משמשים להעלאת הלחות בבלייל זבל העופות המיועד להחמצה, חשוב לוודא כי הלחות של הפרש המעורבל לא תעלה על 35% עד 37%. כאשר קליפות הדר או מי גבינה משמשים להעלאת תכולת הלחות בזבל המוחמץ, מותר מלכתחילה להעלות את דרגת הלחות עד ל-40%. העלאת הלחות מעבר לכך עלולה לקלקל את התחמיץ עד כדי התפתחות ריקבון.

חיטוי הפרשות יכול להיעשות גם תוך תסיסה לקטית ארובית, אשר במהלכה מוזרם אוויר דרך הפרש המעורבל. יתרונה של שיטה זו הוא שהזרמת אוויר ובו חמצן, מאפשרת העלאת טמפרטורת התסיסה. הטמפרטורה הגבוהה תאפשר קטילה יעילה יותר של גורמי מחלה, ביחס לקטילת גורמי מחלה המתרחשת בתסיסה אנארובית. כעיקרון, כל תהליכי התסיסה מתבססים על חיידקים לקטובציליים. בנוכחות רבה של חיידקי חומצת החלב נקטלים כמעט כל סוגי החיידקים הפתוגניים, למעט חלק מהקֶלוֹסְטֶרִיִּדִיּוֹת. מאחר ותהליכי החיטוי המיקרוביאלי אינם קוטלים את חיידקי הקלוסטרודיום בוטולינום, יש לחסן את בעלי החיים הצורכים את הפרש הממוחזר כנגד רעלן הבוטוליזם טרם תחילת האבסתם בהפרשות ממוחזרות.

הזנה בהפרשות ממוחזרות של בעלי חיים דורשת זהירות רבה. יש לבחון היטב אם ההפרשות אינן מכילות שרידי תרופות או חומרים מזרזי גדילה (אנטיביוטיקות), העלולים להיות לרועץ לבעל חיים האוכל את הפרש הממוחזר. כמו כן, יש להרחיק מההפרשות גופי מתכת המסכנים את בריאות הבקר.

חומרים מזיקים, רעלים ורעלנים במזונות



חומרים מזיקים

מזונות מעלי גירה עלולים לכלול מספר חומרים אשר אם כי אינם רעילים לכשעצמם, הם עלולים לגרום נזק לבעל חיים הניזון מהם. הנפוצים ביותר מבין קבוצת החומרים האלה הם הטנינים. קבוצת הטנינים היא בעלת מבנה מגוון שהתכונה המאפיינת אותם היא היקשרות בחוזק משתנה לחלבונים. הטנינים הם החומרים הנותנים תחושת עפיצות בפה בעת אכילת פרי בוסר.

במערכת העיכול עשויים הטנינים להיקשר לאנזימי עיכול ולחלבונים, וכתוצאה מכך לפגוע בתהליכי העיכול והספיגה. הטנינים נפוצים בחרובים וזו הסיבה שחרובים גורמים לעצירות. חומרי מיצוי מחרובים משמשים כתרופה נגד שלשול. הטנינים נפוצים בטבע, ובמרעה הם עלולים לגרום לבעל החיים להימנע מלאכול צמחים המכילים אותם, כדוגמת אלת המסטיק. מאחר ופוליאיתילן-גליקול (פא"ג) מנטרל את פעולתם של הטנינים במערכת העיכול, האבסת עזים למשל, בכמות קטנה שלו לפני הרעייה מאפשרת להן לנצל טוב יותר את עלי אלת המסטיק. טנינים בריכוזים מזיקים נמצאו בעבר בגרעיני סורגום שטופח לרמת טנינים גבוהה, וזאת במטרה למנוע מציפורים לאכול את הגרעינים מהצמח לפני הקציר. בדיעבד, התברר שהקטנת נזקי הציפורים הייתה כרוכה בהקטנת הנעכלות בבעלי חיים ומלאכת הטיפול הופסקה.

קבוצת חומרים מזיקים נוספת היא הספונג'ינים. אלה מצויים בתלתן ובאספסת, בעיקר כאשר הם מוגשים לבעלי החיים כשהם ירוקים (בארץ – לאחר קציר להאבסה כירק – כיום מצב די נדיר; בחו"ל – במרעה בעיקר באוסטרליה, בניו־זילנד ובצפון ארצות־הברית). ספונג'ינים מצויים גם בגרעיני סויה. ספונג'ינים גורם להקצפת תוכן הכרס וכליאה של הגז הנוצר בעת התסיסה בבועות. מצב זה מביא להתנפחות הכרס, והוא מתרחש לא רק אצל מעלי גירה אלא גם אצל סוסיים.

חומר מזיק אחר הוא הקומרול הנוצר מקומריין, המצוי בקליפות הדר. הקומרול הופך לקומסטרול בעת החמצת קליפות ההדרים. החומר מר ועלול גם להתחרות על אתר ספיגת ויטמין K, שהוא ויטמין חיוני בתהליך קרישת הדם. חומר זה פוגם בעיקר בטעם, ולכן פוגע בצריכה של תחמיץ קליפות תפוזי ולימון, העשירות במיוחד בקומרול.

חומר מזיק נוסף הוא חומצה אוקסאליט, המצויה בכמות רבה יחסית בעלוות סלק סוכר. החומצה האוקסאליט נקשרת לסידן, ויוצרת מלח קשה תמס, המונע או מצמצם את ספיגת הסידן הדרוש לגוף.

רעלים

לדוגמה יובאו מספר חומרים טבעיים, אשר פועלים כרעל בגוף בעל החיים הניזון מהם. ג'וסִיפּוּל – הגוסיפול אינו רעל במשמעות הביולוגית המקובלת. החומר מצוי בתאי השֶמֶן של גרעיני כותנה ותכונתו השלילית היא שהוא נקשר בקשר בלתי הפיך לחומצת האמינו לִיזִין, שהיא חומצת אמינו הכרחית. התקשרות זו נעשית בחומר המוצא בתהליך מיצוי השמן כתוצאה מחימום גרעיני הכותנה או חימום הכוסבה, וכן בגוף בעל החיים המוזן בכוספת כותנה לאחר שהגוסיפול נספג מהמעיי לדם. אכילת גרעיני כותנה בכמות קטנה אמנם גורמת לגריעה של ליזין, אך פעילות מוגברת של מק"א בכרס יכולה לפצות את בעל החיים על חסר זה. אולם, האבסה מוגזמת בגרעיני כותנה לאורך זמן עלולה להביא לגריעה בלתי ניתנת לתיקון של ליזין, אשר עלולה לגרום אף למוות.

חומצה אורוֹצִית ופרוֹג'וֹיטֶרִין – שני חומרים המצויים בליִפְתִית המיובאת לארץ לצורך מיצוי שמן. הפרוֹג'וֹיטֶרִין עלול להיות מפורק לגוֹיטֶרִין, הפוגע בפעילות בלוטת התריס. החומר נותר גם בכוספה שיוצרה מגרעיני הליפתית. הקנדים טיפחו זן של ליפתית הנקי משני רעלים אלה, כך שהכוספה המיוצרת מזן זה היא משובחת ובטוחה בשימוש כמזון לבעלי חיים. שמו של הזן, "קנולה 00", נגזר מצירוף קיצורי המילים "שמן קנדי" (Canadian Ola).



רִיזִין – זהו רעל מסוכן מאוד המצוי בכוספת קִיקִיוֹן והוא נותר בה לאחר מיצוי שמן קיק. מסיבה זו האבסת כוספת הקיקיון אסורה באיסור מוחלט.

הִלּוֹפִינִין – חומר זה מצוי בגרעיני תוֹרְמוֹס כחול הפורח בשדות ארצנו באביב. הגרעינים מכילים את הרעל (אֶלְקִלּוֹאִיד הִלּוֹפִינִין). מסיבה זו אסורה האבסת גרעיני תורמוס כחול למעלי גירה. יש המתירים האבסתו לדגים בבִּרְכוֹת.

שֶתֶנֶן – חומר זה, המשמש כתחליף לחלבון מזוני עבור מעלי גירה, עלול להפוך לרעיל כאשר הוא מוגש בעודף וללא תקופת הכנה הדרושה להסתגלות של אוכלוסיית המק"א בכרס. הדבר מתרחש כאשר המנה לא כוללת יחס מתאים של פחמימות פריקות כרס, וכאשר השתנן מוגש ללא פיזור יומי נאות. הזנה לא זהירה בשתנן עלולה לגרום לייצור מהיר של כמויות גדולות של אמוניה, שלא תנוצל בכרס ליצירת חלבון מק"א, אלא תגרום להרעלת אמוניה ולמוות.

רשימה זו אינה כוללת את כל הרעלים המוכרים. כך למשל, לא הוזכרו רעלים המצויים בצמחי נוי כמו "הִרְדּוֹפִינִין" בהרדוף הנחלים, או רעלים בצמחי ה"יִנְקָה". מאחר ושאריות צמחי נוי עשויות לשמש להזנת מעלי גירה, יש לעמוד על טיבו של צמח הנוי שבשאריותיו רוצים להאביס את בעלי החיים.

רעלנים

חומרים אלה נוצרים על ידי עובשים ופטריות במזון שאוחסן שלא כהלכה, או במזון שאוחסן בתנאים של לחות גבוהה מהרצוי. יש להדגיש כי גם כאשר מלכתחילה הלחות במזון המאוכסן היא ברמה נאותה, אפשר ויהיו תקלות. למשל, כאשר מקום האחסון של המזון מתחמם ולאחר מכן רק אזור מסוים בו מתקרר. אדים שנוצרו במהלך התחממות המזון המאוכסן, מתעבים רק באזור שהתקרר, תוך יצירת לחות מקומית גבוהה המאפשרת התפתחות העובשים. מצב זה קורה למשל בסילו (מגדלי אחסון גרעינים), המתחמם ביום מקרני השמש ומתקרר בלילה. הלחות מתעבה על דפנות הסילו, וכתוצאה מכך מתפתחים שם עובשים.

הרעלן הנפוץ ביותר הוא אֶפְּלֵאטוֹקְסִין. רעלן מסרטן זה נוצר על ידי הפטרייה *Aspergillus* *Flavus*, המתפתחת בתנאי לחות גבוהה על גרעיני דגן או על קטניות. הפטרייה עלולה להתפתח בין השאר על גרעינים בבטן אניות בעת ההובלה מארץ לארץ. משום כך, כל משלוחי גרעינים המיובאים לארץ נבדקים לנוכחות אפלאטוקסין. הרעלן נפוץ גם בתירס, בכוספות סויה או בכוספות כותנה מיובאות. לא פחות מסוכן מהאפלטוקסין הוא רעלן הפּוֹזְזִיּוֹם הנוצר באותם תנאים ומופרש במיוחד על ידי פטריות המתפתחות על גרעיני שעורה.



רעלנים נוצרים גם בגוויות של בעלי חיים נגועים בחיידקים פתוגניים, שנלכדו במזון מאוכסן. רעלן הבוטוליזם מופרש על ידי החיידק קְלוֹסְטֶרִיּוֹדִים בּוּטוֹלִינּוֹם הנמצא בגוויות עכברי שדה הנגועים בו. הרעלן מצטבר גם בגופות נחשים הטורפים את העכברים הנגועים. עכברים, חולדות ונחשים נלכדים לעתים בחבילות שחת בתהליך הכבישה. לפעמים, נלכדים בעלי חיים אלה גם בהפרשות בעל חיים אשר ממוחזרות ומואבסות. עם מותם של בעלי החיים הלכודים והנגועים, החיידק מתרבה בגוויה בתנאים האנארוביים.

רעלן זה משתק את הקשר בין העצבים לבין שרירים, וגורם למות בעל החיים הניזון מהמזון הנגוע. רק חיסון של חיות המשק בגיל צעיר כנגד בוטוליזם ימנע את מות בעלי החיים במקרה של הרעלה.



חומרים משפרי ביצועים



קיימים מספר חומרים אשר הכללתם במזון מעלי גירה עשויה לשפר את גדילת בעלי החיים או לשפר את תכונות הייצור שלהם. מרבית החומרים הם בעלי פעילות אנטיביוטית, והכללתם במנת המזון המוגשת נועדה למתן את התסיסה בכרס או לנתב אותה לאפיקים יעילים יותר מאלה הטבעיים. הנפוץ ביותר מבין חומרים אלה הוא הרומנסין (או מוננסין). זהו חומר אנטיביוטי הממתן את התסיסה בכרס ומנתב את המק"א לייצור מוגבר של חומצה פרופיונית, היעילה יותר לצורכי גדילה ביחס לחש"ן אחרות. הכללתו בריכוז גבוה מהמותר תגרום להרעלה ולתמותת מעלי הגירה. הרומנסין מוגש בריכוזים גבוהים לעופות ולכן, יש לברר לפני האבסת מעלי גירה בזבל עופות האם הוא כולל מוננסין (או חומר אנטיביוטי אחר כמו סאייגרו Sygro), ולנסות בעזרת מומחה להעריך את הכמות ממנו ששרדה בזבל. רשימת החומרים משפרי הביצועים מתחדשת לעתים קרובות. בכל מקרה של שימוש בקבוצת חומרים זו יש לברר את הסכנות הכרוכות בפעולה זו. סוסים רגישים יותר ממעלי גירה לתוספים המכילים חומרים אלה.

עיבוד מזונות



עיבוד גרעינים

בקר, צאן וסוסים מצוידים במערכות עיכול המותאמות לאכילת כל סוגי המזונות הגסים. באשר לגרעינים, רק צאן ובמידת מה סוסים, מסוגלים ללעוס ולרסק גרעינים שלמים. למעט גרעיני כותנה לא מפולמים (שלא הוסרה מהם הפלומה), מרבית הגרעינים מואבסים לבקר כשהם בלתי מטופלים. גרעינים אלה יחמקו במורד מערכת העיכול כשהם אינם מרוסקים. ברוב המקרים יגרום הדבר לבעיות קשות כגון פגיעה ברירית המעיים או שלשול. לכן, במטרה לנצל את הגרעינים ולהכשירם למאכל בקר יש לטפל בהם טרם האבסתם.

הטיפולים הנפוצים בגרעינים נקראים גם "טיפולים יבשים", והם כוללים בהתאם לגודל התוצר (מהגדול לקטן) תהליכי שבירה, גריסה, מעיכה וטחינה. הטחינה מביאה לעתים ליצירת אבקה. כדי להתאים אבקה זו להזנת בעלי החיים נהוג ליצור מהאבקה פופטיות (Pelets). בתהליך

הכפתות נלחץ החומר הטחון בכוח רב על ידי גלילים לתוך טבעות ברזל ויוצא בצורת אֶטְרִיּוֹת קשות ודחוסות. לשיפור תהליך הכפתות, ולמניעת התפוררות הכופתיות חזרה לאבק, בהמשך תהליך זה נהוג להוסיף לתערובת הטחונה, טרם הכפתות, חומרים מלכדים כגון בֶּנְטוֹנִיט (מינרל הפועל כחֶמֶר), לִיגְנוֹ סוּלְפוֹנָאט (חומר לוואי הממוצה מעץ לפני הפיכת העץ לנייר), מוֹלַאסָה או שמן.



לכפתות נכון אשר ימנע את התפוררות הכופתיות חשיבות רבה. זאת, מן הטעם שבדרך כלל ויטמינים, מינרלים ומזרזי גדילה, המוספים טרם הכפתות, מצטברים באבק הכופתיות המתפוררות. צאן וסוסים נוהגים לברור את הכופתיות במנה בעזרת השפתיים, תוך שהם נמנעים מאכילת האבק. פועל יוצא מכך הוא שכאשר הכופתיות המוגשות נוטות להתפורר, בעלי החיים הצורכים אותן סובלים למעשה מחסר בוויטמינים ובמינרלים. במקביל, האבק הנשאר באבוס נותר עבוור הפרטים החלשים שבעדר, ואלה צורכים כמויות גדולות ועודפות ממנו. במקרה של הוספת מוֹנָזִין למשל לכופתיות, אכילה מוגברת של אבק כופתיות תגרום לפרטים החלשים בעדר להרעלת מוֹנָזִין, אף כי לכאורה ריכוזו בכופתיות הנו לפי התקן המומלץ.

לא תמיד הטיפולים היבשים חושפים את תוכן הגרעין לניצול מרבי במהלך העיכול. לכן, יש המעבירים את הגרעינים טיפול נוסף הכרוך בהרטבה, בדרך כלל בקיטור. בנוסף, מוסיפים פעולת מעיכה בשיטות שונות. הטכניקה הנפוצה היא מעיכה (Rolling) ללא הרטבה או מעיכה תוך הרטבה בקיטור (Dry or steam rolling). בעבר נהגו להשרות גרגרי שעורה או שיבולת שועל למשך לילה במים, ולהעביר אותם למחרת בין שני גלילי מלחצה. במקרה זה העיסה מואבסת מיד לאחר התהליך. כיום טיפול זה אינו מקובל. טיפול חריף יותר בגרעינים הוא יצירת פתיתים (Dry or steam flaking). במקרה זה, הטיפול הממושך בקיטור והלחיצה האיתנה יותר מובילים ליצירת פתיתים דקים במיוחד.

טיפול חריף עוד יותר הנהוג רק בעת בהכנת גרעינים ליונקים הוא "שיחול" (Extrusion). בתהליך זה הגרעין, לאחר שעבר טיפול בקיטור, עובר בלחץ גבוה דרך חור קטן והופך למעשה לעיסה היוצאת כאטריות בקוטר הרצוי.

המעיכה הקרה של שעורה או של שיבולת שועל משאירה את סיבי הגרעין שלמים. הסיבים הנותרים במזון חשובים בפיטום אינטנסיבי של בקר לבשר בו אין מאבסים כלל במזון גס. טיפולי הקיטור, המעיכה, יצירת הפתיתים והשיחול מועכים את העמילן ואף מפרקים אותו באופן חלקי (ג'לטיניזציה), ובכך מזרזים את התסיסה בכרס, לפעמים יתר על המידה.

מטרת כל הטיפולים שהוזכרו היא להחליש את הקשרים הכימיים ואת הקשרים הפיזיים שבין מולקולות המזון, במטרה לעשות אותו זמין יותר לפעילות העיכול המיקרוביאלית והאנזימתית במערכת העיכול. טיפול נוסף בגרעינים בכיוון זה הוא טיפול כימי בנתר-מאכל (NaOH) או בשמו העממי סודה קאוסטית. הטיפול מבוצע בגרעינים שלמק"א קשה לחדור אליהם כמו גרעיני כותנה, אך הטיפול ניתן גם לגרעיני דגן כמו שעורה ושיבולת שועל, לגרעיני תירס ולגרעיני סורגום. ריכוז הנתר-המאכל שמשתמשים בו וטכניקת הפעולה (ריסוס, השריה או ערבול בעגלה מערבלת) משתנים בהתאם לצורך. נתר מאכל תוקף את קליפת הגרעין, ממס את הליגנין שבה, והופך אותה חדירה למק"א ולאנזימי עיכול.

הטיפול בגרעינים ביובש עשוי לשפר את יעילות עיכולם ב-2% עד 3%, כפי שקורה למשל במקרה של גרעיני שעורה שעיקולם ממילא טוב, ועד לכ-20% בטיפול בקיטור ויצירת פתיתים. הטיפול שמניב את התשואה הגבוהה ביותר הוא יצירת פתיתים מגרעיני סורגום תוך שימוש בקיטור. חשוב לזכור כי לא תמיד נכון לטפל בגרעינים בטיפול היעיל ביותר. הדבר נכון בעיקר אם ברצוננו למתן את עיכול הגרעינים ולפזר את התסיסה, את העיכול ואת יצירת חלבון המק"א על פני כל שעות היממה.

עיבוד מזונות גסים יבשים

מזונות גסים, אלו מזונות שנפחם גדול. המאמץ הטכני בטיפול בהם נועד להפחית את נפחם כדי לחסוך בהוצאות הובלה או בהוצאות אגירה, ורק במקרים מועטים לשיפור העיכול. הטכניקה הרגילה של שימור מזונות גסים היא ייבוש לשחת תוך כבישה בחבילות או בגלילים.

טיפול קיצוני יותר הוא יצירת רקיקים (Wafers) משחת. אלו מיוצרים בשדה במכש בלחץ גבוה מאוד כאשר גודל הרקיקים הוא 5x10x2 ס"מ. טיפול קיצוני עוד יותר במזונות גסים הוא פפתות השחת לכופתיות בקוטר של כ-2 עד 2.5 ס"מ ובאורך של 2 עד 5 ס"מ. לשני האחרונים נפח אחסון קטן באופן יחסי, והם שימושיים כאשר יש להוביל מזונות גסים למרחקים גדולים מאוד. בדרך כלל נהוג לפני ההאבסה לפזר או להרטיב את המזונות הללו.

שימור מזונות גסים לחים

שימור מזון לח נעשה כתחמיץ או כשחמיץ (ראה/י לעיל הסעיף על תחמיץ ושחמיץ), כאשר לפעמים מוסיפים חומרים מעודדי החמצה כסוכרים, תרבויות של חיידקי חומצת חלב או תערובת של שני מרכיבים אלה. קיימות גם תוספות שיעודן דיכוי מק"א המזיקים להחמצה.

הגנה על מזונות מפני פריקות או הרס בכרס

יש לזכור כי פעילות המק"א במערכת העיכול מכוונת למעשה לצורכי גדילת המק"א עצמם, ולא לצורך קיום מעלה הגירה (אף כי בסופו של דבר, מעלה הגירה מפיק תועלת מהתהליך). הרס קרוֹטֶן או פירוק חלבון עד לאמוניה בכרס אינם תהליכים רצויים. כדי למזער נזקים אלה פותחו מספר אמצעים להגנה על מקורות החלבון. ככלל, יש לזכור כי עיכול של חומרים בלתי מסיסים בכרס מחייב היצמדות של מק"א למצע (סובסטרט) לפני פירוקו. תהליך זה מאט מאוד את קצב הפירוק של המצע, לטוב ולרע. צמצום (אך לא הפסקת) פריקות חלבון בכרס מושג במספר דרכים שהמשותף לכולן הוא הקטנת מסיסות החלבון בכרס וכתוצאה מכך, הקטנת זמינותו לפירוק מיקרוביאלי.

הדרכים המקובלות לצמצום פריקות החלבון בכרס הן:

- א. קליית מזון המכיל חלבון. הקלייה גורמת לקרישת החלבון (דנטורציה) ולהקטנת מסיסותו בכרס. הקלייה אינה משפיעה על יכולת עיכול החלבון במעי, כשם ששליקת ביצה אינה פוגמת ביכולת לעכל אותה.
- ב. טיפול בפּוֹרְמָאִלְדֵּיד המתקשר לקצה חומצת האמינו לִיזִין שבחלבון, ומדכא את פעילות הפירוק של המק"א.
- ג. חיבור רופף לטנינים (ראה/י סעיף רעלים) מעכב פירוק חלבונים בכרס אך לא במעי.
- ד. חיבור לליגנין (ליגנו-סולפונאט) שפעולתו דומה לפעילות הטנינים.

ההגנה על הוויטמינים נעשית על ידי ציפוי התְּרִפִּיז (Coating) בחומר דמוי שעווה שאינו עמיד למיצי המעי, אך עמיד לתנאים השוררים בכרס. טכניקה זו מקובלת גם באשר להוספת חומצות אמינו הכרחיות מוגנות-כרס למנת מעלי גירה (Rumen protected amino acids).

הוספת שומן למנה כדי להעשירה באנרגיה עלולה לפגוע בפעילות חיידקי הכרס, זאת, כתוצאה מהתחברות מולקולת השמן לממברנות השומניות של דפנות המק"א ושיבוש פעילותן הביולוגית. בנוסף, עיטוף סיבי המזון בשכבה שומנית המונעת התחברות של מולקולות מים הדרושה לפעילות פירוק אנזימטי של הסיבים.

ה"הגנה" על תרכובות שומן שבחלקן אינן רוויות, שלא תִּזְקְנָה ולא תינזקנה, נעשית על ידי הפיכת חומצות השומן למלח סידיני קשה-תמס. השם המסחרי של מוצר זה הוא "שומן מוגן". האבסה ב"שומן מוגן" מונעת הפסקה או צמצום פעילות המק"א בכרס, ובכך נמנעת הפרעה למשל בעיכול סיבים או ביצירת חלבון מק"א. מאידך, אין חומצות השומן הנמצאות ב"שומן המוגן" עוברות בכרס הִרְוּיָה מלאה. במקרה זה צפוי כי חלק מהחומצות הבלתי רוויות תגענה כפי שהן לבשר בעל החיים או לחלב, ובדרך זו תעלה איכות המוצר מבחינת בריאות הצרכן. דרך אחרת להגנה על תרכובות שומניות מן החי המוספות למזון מעלי גירה היא הפיכת החֵלֶב (השומן הקשה העוֹטֵף את המעיים או הנאגר במאגרי השומן) ושומנים דומים לו למעין פנינים

"מיצלות", גרגירים כדוריים קטנים בקוטר 1 עד 2 מ"מ), העוברות את הכרס מהר יותר בהשוואה לשומן המוגש בצורה אחרת.

עקרונות הרכבת מנה למעלי גירה



שלוש מטרות עומדות ביסוד הרכבת המנה:

- א. התאמה מרבית לתפקוד ולפעולת מערכת העיכול של מעלי הגירה.
- ב. מענה לדרישות צורכי הקיום והייצור של מעלי הגירה.
- ג. עלות נמוכה ככל האפשר של המנה.



מאחר ולעתים הפתרונות למילוי המטרות השונות מצויים בסתירה זה לזה, יש צורך להתפשר בהצבת הדרישות בעת הרכבת המנה. הדבר אפשרי מאחר ולמעלי גירה כושר התאמה לתנאים שאינם מיטביים, כמו למשל הגברת יעילות העיכול תוך צמצום צריכת מזון. לעתים, לא ניתן להבטיח במהלך תכנון המנה את צורכי הקיום והייצור של בעל החיים. סיבה לכך יכולה להיות מגבלה ביכולת צריכת המזון בהשוואה לצרכים התזונתיים. מצב מעין זה מתרחש לדוגמה במקרה של צריכת מזון רבה אצל חולבות בתחילת תחלובה, כאשר הזנתן אינה מספקת את הדרישה הגבוהה יחסית של הפרה לחומרים מזינים. במקרה זה, מילוי הדרישות התזונתיות יבוא תוך ניצול עֲתוּדוֹת השומן בגוף. מצב אחר של פער בין המנה המוגשת לבין צורכי הגוף יכול להיות במקרה של הגבלה מכוונת בצריכת המזון, כמו במקרה של פיטום טלאים, שם ניתן משיקולים כלכליים לִמְתֵּן את קצב הגדילה של הטלאים על ידי הגבלת מזון למשך תקופה קצרה, תוך פיצוי והגדלת המנה לאחר מכן. נוכח הגמישות הקיימת בתגובת בעלי החיים למנות השונות, אין מכתבים במהלך תכנון המנה כמות מוחלטת של מזינים, אלא מגדירים ערכי "מינימום" וערכי "מקסימום" ביחידות משקל ליום או בקלוריות. בדומה, מקובל לא לקבוע באופן שרירותי את היחס הדרוש בין המזונות השונים, אלא להסתפק בהצבת ערכי "מינימום" וערכי "מקסימום" ליחס הרצוי.

גורמים שיש להתחשב בהם בעת הרכבת המנה

ידועת הרכבם של המזונות השונים ותכונותיהם היא תנאי ראשון לתכנון המנה. במהלך התכנון יש להתחשב בגורמים הבאים:

- א. סוג בעל החיים והביצועים הנדרשים (נקבה נחלבת, עגל או טלה בפיטום, מבכירה, וכד').
- ב. יחס רצוי בין מזון גס לבין מזון מרוכז (מבוטא בחומר יבש).
- ג. התכולה הרצויה של סיבים כשהיא מבוטאת באחוזים מכלל החומר היבש או בכמות סיבים ליום.
- ד. תכולה רצויה של חלבון כללי, תוך התחשבות בגורמים הבאים:
 - יחסי חלבון (חנקן) שרידי לחלבון (חנקן) פריק.
 - יחס חנקן שאינו חלבוני לחנקן חלבוני (למשל היחס בין חנקן-שתנן לבין חנקן חלבוני).
- ה. יחס רצוי בין פחמימות מבניות לבין פחמימות שאינן מבניות.
- ו. יחס רצוי בין פחמימות פריקות-כרס לבין חלבון פריק.
- ז. יחסי רצוי של מינרלים.



סיבים ופחמימות במנה

בתחילת המאה העשרים נתגלה כי שילוב מזון מרוכז במנת ההזנה מעלה מאוד את תנובת החלב בהשוואה למנה הכוללת מזון גס בלבד. תגלית זו הביאה להכללת מזון מרוכז במנות שניתנו למעלי גירה, כאשר כמותו היחסית במנה עלתה עם הזמן. כך למשל, תכולת המזון המרוכז במנות לפרות חולבות עלתה מפחות מ־50% מזון מרוכז במנה לכ־70%. הגורם העיקרי שהכתיב את צמצום תכולת המזון הגס במנת חולבות היה הדחף הכלכלי להעלות את תנובות החלב. גורם נוסף המעודד שימוש יתר במזון מרוכז הוא מחסור במזון גס, כפי שקורה בארץ.

העלאה חריפה של שיעור המזון המרוכז במנה נהוגה גם במנות של חיות לפיטום. השמות הנפוצים בלועזית, כגון Corn Beef או Barley Beef, משמעים פיטום הבקר במנות שהאנרגיה והחלבון שבהן מגיעים כמעט אך ורק ממזון מרוכז. עם זאת, יש לזכור כי הזנה על מזון מרוכז בלבד גורמת נזקים לדופן הכרס. זו הופכת חדירה למק"א אשר פולשים לגוף. לאחר שהמק"א נעצרים בכבד, הם גורמים שם לִפְיָבִים (אֶבְצָסִים) ולפסילת השימוש בכבדים למאכל אדם. עם כל זאת, השיטה של פיטום במנה עתירת מזון מרוכז משתלמת מבחינה כלכלית. כיום, נוטים להכניס כמות מזערית של מזון גס למנתם של עגלי פיטום. טלאים וגדיים רגישים פחות לגודש של מזון מרוכז אך בכל זאת, מכילים גם במנתם כמות מסוימת של מזון גס (ואפילו קש) כדי לשמור על בריאות מערכת העיכול ובמיוחד על בריאות הכרס.

עם ההתקדמות בהשבחה הגנטית של מעלי הגירה והשיפור בתכונות הייצור והגדילה, התעורר הצורך להעלות את תכולת האנרגיה-נטו של המנות. הדבר הושג כאמור על ידי העלאת תכולת המזון המרוכז במנות על חשבון תכולת המזון הגס. בעקבות זאת, התגלו בעיות בכרס, כאלה הקשורות בחסר מזון גס. בעיות אלה כללו בין השאר צמצום העלאת גירה וצמצום הפרשת רוק, אצידוזיס קליני ותת-קליני וכן ירידה בתכולת שומן החלב. מצב זה דרש ממתכני המנות להגדיר במדויק מהו מזון גס ולהתייחס לשאלות כגון: האם גרעיני כותנה עם פלומה בתכולת סיבים של עד 25% הם מזון גס? או האם תלתן צעיר או שעורה וחיטה לפני פריחה, שנעכלותם מתקרבת לזו של מזון מרוכז, עדיין ייחשבו כמזון גס?

לימוד הנושא הביא להבנה כי חשיבותו של המזון הגס לבריאות מערכת העיכול של מעלה הגירה מקורה בנוכחות הסיבים שבו. עיכולם של אלה משרה פריסטלטיקה ותנועה של הכרס, כמו גם של חלקים אחרים במערכת העיכול. הסיבים גורמים לייצור העיקרי של חומצת חומץ. כמו כן, עליהם מתאכסנות כל פטריות העובש (Fungi), כ-75% מהחידקים שבכרס וכן חלק מהפרוטוזואה. נותר רק לקבוע מהו האורך המזערי שמעליו ניתן לכלול את הסיב במקטע הקרוי "מזון גס". כיום, מקובל להגדיר את כל מקטע הסיבים כ-NDF או כ-ADF (Neutral Detergent Fiber, Acid Detergent Fiber), הנקבעים בשיטות הכימיות שהוסברו. הדרישות בעת הרכבת המנה של מה שהיה קרוי פעם "תאית גסה" מוגדרות כיום כדרישות של ADF ו/או של NDF. בדרך זו אפשר לכלול גם את סיבי גרעיני כותנה או שומר שקד למשל כתורמי סיב (סיב ברמה ובאיכות שיוגדרו בנפרד). כך למשל, מקובל לדרוש במנות חולבות נוכחות NDF.



גורם נוסף בו משתמשים לעתים בעת הרכבת המנות למעלי גירה להגדרת דרגת "גסות" המנה הוא "יחס במנה בין פחמימות לא מבניות לבין פחמימות מבניות", שהוא היחס במנה בין סיבים המפורקים בכרס לאיטם לבין פחמימות מהירות תסיסה (עמילנים ודומיהם).

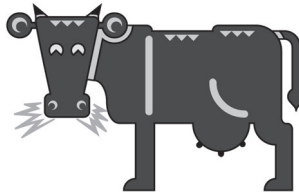
באשר לפחמימות מהירות תסיסה, מבחינים בשתי תת-קבוצות של פחמימות פריקות כרס:

- פחמימות שפריקות מתונה כגון פחמימות שמקורן בגרעיני סורגום ובגרעיני תירס;
- פחמימות שפריקות מהירה והן מהירות תסיסה כגון פחמימות של גרעיני חיטה, גרעיני שעורה, גרעיני שיבולת שועל ואף טפיוקה. עבור פחמימות אלה נתחם גבול עליון לתכולה במנה, כדי למנוע החמצת הכרס עקב תסיסה מהירה וחזקה יתר על המידה. אם תכולתן של פחמימות אלה במנה תעלה, התסיסה המוגברת תגרום נזק בשל הורדת ה-pH, תפגע בעיכול סיבים וכן תפגע ביצירת אוכלוסיית החידקים בכרס.

רכיבי חלבון ויחס חלבון:פחמימות במנה

מקטע החלבון הכללי (ח"כ) מתחלק כזכור לשניים: חלבון כללי פריק-כרס (כולל חנקן שתנן) וחלבון כללי שרידי. אם החלבון הכללי השרידי אינו משובח במיוחד, יש לוודא כי ייכללו במנה חלבונים שרידיים ממספר מקורות. על ידי כך יגדל הסיכוי שאספקת חומצות האמינו למעי תהיה מאוזנת וקרובה לצורכי בעל החיים. יש הנוטים לקבוע תכולה מיטבית של חלבון כללי שרידי – לגבי פרות חולבות, בין 38% ל-42% מכלל החלבון הכללי במנה. גישה זו לוקה בחסר, כפי שיוסבר להלן.

לגבי החלבון הפריק, ידוע שכדי לייצר מכל האמוניה המשתחררת בכרס או ממרביתה חלבון מק"א, חייבת המנה לכלול פחמימות פריקות כרס, ביחס משקל של לפחות 5 פחמימות ל-1 חלבון כללי פריק (לדוגמה, 5 ג' פחמימות לכל ג' אחד של חלבון פריק), ויש לוודא זאת. שימוש במידע זה באשר לתנאים ללכידת האמוניה בכרס בעזרת פחמימות בלתי מבניות, מאפשר למתכנן המנה לחסוך בהוספה של חלבון שרידי למנה, חלבון שלעיתים עלותו גבוהה מאוד.



יחסי מינרלים במנה

בחלק הדן במינרלים הודגשו מספר דוגמאות של תחרות בין יסודות שונים על אתרי ספיגה. תחרות זו גורמת לדחיקה (לצמצום הספיגה) של חלק מהמינרלים. לדוגמה: סידן עשוי לדחוק ברזל, הן על ידי תחרות על מקום הספיגה (נדיר ביותר), ובמיוחד בדרך של התקשרות עם הברזל בקשר כימי והשקעתו במערכת העיכול כחומר קשה תמס או כחומר בלתי מסיס. בדרך זו תימנע ספיגת הברזל מאחר ומסיסות הרכיבים היא תנאי לספיגתם. כאשר הסידן למשל נמצא ברמה גבוהה מאוד, הוא דוחק בדרך זו את הזרחן תוך יצירת תרכובת קשת תמס. הוזכר היחס העדין הדרוש בין ריכוז נחושת לבין ריכוז מוליבדן וגופרית. מוליבדן וגופרית עשויים בתנאים מסוימים להפוך את הנחושת לבלתי מסיסה ולבלתי ספיגה.

על סיכונים כאלה ניתן להתגבר בשתי דרכים:

- א. ללמוד היטב את הרכב המזונות המואבסים ואת זמינות המינרלים שבהם, ולקצוב במהלך תכנון המנה את הכמות הדרושה לבעל החיים, בתוספת עודף של כ-10%.
- ב. שימוש מושכל בפֶּלָאטִים (Chelates) של המינרלים שספיגתם עלולה להיפגע. כלאטים הם תרכובות בעלות קשר קוואלנטי של המינרל שספיגתו עלולה להיות בעייתית, עם תרכובת המסיסה היטב בכל תנאי pH של מערכת העיכול. כאשר הכלאט מגיע לתוך הגוף, האנזימים מפרקים אותו ומשתמשים בדרך זו במינרל וכמעט תמיד, גם בתרכובת ה"גוררת". לדוגמה: בעת חשש למחסור באבץ (Zn = Zink), יש הממליצים לספק אותו ככלאט של חומצת אמינו מִתְיוֹנִין או ככלאט הקשור לחלבון.

תכנון המנה

נדיר המצב בו סוג מזון אחד יספק בדיוק את כל צורכי בעל החיים. ברוב המקרים יש צורך להשתמש בעת הרכבת המנה במספר מזונות אשר לכל אחד מהם הרכב שונה. היחס בין המזונות במנה משתנה בהתאם לצורכי בעל החיים במהלך תקופות הגדילה והייצור. לשימוש מושכל במזונות המגוונים פותחו טכניקות גראפיות ו/או מתמטיות המאפשרות לקבוע את הרכב המנה המיטבית, הרכב שיהיה קרוב ככל האפשר לסיפוק הצרכים התזונתיים של בעל החיים.



בעבר, היו החישובים של תכנון המנה מייגעים וממושכים. הופעת המחשב אפשרה לבחון במהירות הרכבים שונים של מנות במטרה למצוא את המנה המיטבית בעלת העלות הזולה ביותר. לטכניקת חישוב זו קוראים: "תכנון המנה הזולה ביותר" (Least Cost Diet Formulation). מאחר והתוכנה משתמשת בחישוביה בטכניקה המתמטית של חישוב ליניארי (קווי), נקראת טכניקת החישוב "תכנון ליניארי של מנות". שיטת חישוב זו מניחה כי קיימת השפעה קווית (ולא מעריכית, למשל) של השינוי בהרכב המנה על ביצועי בעל החיים. מאחר והנחה זו נכונה רק בתחום ערכים מסוים, מוגדרות הדרישות התזונתיות בין תחומי מינימום ומקסימום.

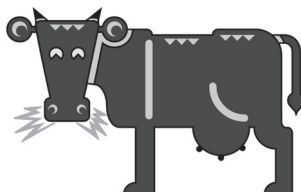


תוכנה לחישוב לינארי של הרכב מנות כוללת את המרכיבים הבאים:

1. פרטים על המזונות: הרכב כימי, פריקות פחממות, ריכוז חלבון ושרידותו, מחיר וכד'.
2. דרישות למזינים כגון: חלבון כללי (פריק או שרידי), אנרגיה, פחמימות פריקות כרס, סיבים שונים, יסודות, ויטמינים וכד'. כל זאת בהתייחס לשלב הפיזיולוגי בו נמצא בעל החיים. דרישות למזינים ניתנות כאמור כערכי מינימום ומקסימום.
3. יחס בין מזינים: כגון יחס בין חלבון כללי לבין אנרגיה או בין שני יסודות (תומכים או מתחרים). כאן אנו מכתיבים את היחס הרצוי בין פחמימות פריקות-כרס לבין חידקים. על ידי כך מחשבת התוכנה כמה מק"א יזרמו למעי.
4. מגבלות: קביעת תחום – כמות המזונות הנלקחים להרכבת המנה, גם עבור אלו נקבעים ערכי מינימום וערכי מקסימום.

בשימוש מושכל בתכנון הקווי, על המתכנן לזכור שהמחשב מְחַשֵּׁב, אך לא חושב(!). את החשיבה צריך לבצע המתכנן המשתמש בתוכנה, ולכפות לפעמים על התוכנה קבלת החלטות מסוימות. להלן מספר דוגמאות:

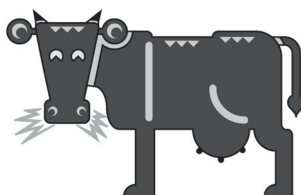
התוכנה עשויה לאתר בטבלאות המזון כי טפיוקה (מזון עמילני מיובא אשר הוא מהיר תסיסה) הוא מזון זול, מצוי בכל עת וביכולתו לספק את כל צורכי האנרגיה של בעל החיים. לכן תמליץ התוכנה להכלילו בגודש במנה. החלטה זו תוביל לבעיות מטבוליות קשות כגון ירידה חריפה ב-pH בכרס, זו תוביל להפחתה בעיכול הסיבים, להפחתה בייצור החלבון המיקרוביאלי ובמקרים קיצוניים לאצידוזיס חמור על כל השלכותיו (ראה/י להלן פרק על מחלות הקשורות בהזנת חיות משק – "מחלות מטבוליות"). במקרה כזה, יש להגביל את התוכנה בכמות הטפיוקה אשר מותר להכליל במנה על פי המלצות התזונאים.



כמו כן, מזון יקר עלול להיות מושמט מהמנה עקב מחירו, אך במידה ומזון זה מספק רכיבים חיוניים הדרושים לתקינות המנה, או ששימוש בו מביא לגיוון המקורות, יש ל"הכריח" את התוכנה לכלול אותו בתכנית המנה. כך למשל, גיוון מקורות העמילן עשוי להאריך את שהותו בכרס, דבר שיתרום לייצור חלבון מק"א. מקרה אחר יהיה גיוון מקורות החלבון השרידי.



פְּלֵט המחשב יכול עותק של הדרישות שהוזנו לתוכנה, את הפתרון התזונתי המיטבי ואת מחיר המנה היומית. בנוסף לקבלת פתרון בו תרומת מרכיבי המנה מובאת באחוזים, ניתן לקבל בפתרון את כמות המזינים (ק"ג, ג', מ"ג, או יחידות בין-לאומיות לויטמינים) למשקל נתון של מנה מחושבת.



טבלה מס' 4: דוגמה לפלט של תכנון ליניארי עבור מנת פרה גבוהת תנובה*.
א. תכנון ליניארי: תכולה מבוקשת של מנת חולבות גבוהות תנובה

מקסימום	מינימום	%	כמות	יחידה	תכולה
20.010	20.01	54.5	20.01	ק"ג	חומר – יבש
40.000		100	36.714	ק"ג	חומר טרי
	3.33	9.1	3.33	ק"ג	חלבון
240	180		180	גרם	סידן
	88		88	גרם	זרחן
			35.265	מק"ל	א. נטו חלב
	180		180	יחב"ל	ויטמין A / 1000
	0.08	0.2	0.08	ק"ג	מלח
	6.000	16.4	6.003	ק"ג	דופן תא
	3.3	9.0	3.3	ק"ג	דופן תא גס
1.2		2.7	0.974	ק"ג	שומן
0.25		0.3	0.1	ק"ג	חנקן בלתי חלבוני (חב"ח)
		3.1	1.152	ק"ג	חלבון שרידי
	6.8	22.3	8.205	ק"ג	גרעינים
1.1	0.6	1.8	0.643	ק"ג	חלבון תירס
		16.5	6.055	ק"ג	חומר יבש גס
		21.3	7.818	ק"ג	ח . א . פריק
		6.2	2.278	ק"ג	חליפה
			0.166		חלבון: חומר יבש
			1.762		א. נטו חלב: חומר יבש
3.0	1.0		2.045		סידן: זרחן
	0.5		0.550		דופן תא גס: דופן תא
	10.59		10.59		א. נטו חלב: חלבון
			0.346		חלבון שריד: חלבון



ב. תכנון ליניארי: פיתרון – תכולת מזונות במנה של פרות גבוהות תנובה

מזונות	יחידה	כמות	%	מחיר יחידה (ש"ח)	מחיר למנה (ש"ח)
D.C.P.	ק"ג	0.02	0.1	1.77	0.039
פרמיקס ויטמין A	ק"ג	0.01		1.35	0.015
מלח סידן	ק"ג	0.16	0.4	0.4	0.064
שעורה לחוצה	ק"ג	2.00	5.4	0.8	1.600
חיטה גרוסה	ק"ג	1.50	4.1	0.7	1.050
אוריאה	ק"ג	0.04	0.1	1.35	0.054
חציר אפונה	ק"ג	0.70	1.9	0.650	0.455
כוספת סויה	ק"ג	1.40	3.8	1.75	2.450
סובין	ק"ג	0.50	1.4	0.65	0.325
תירס גרוס	ק"ג	3.60	9.8	0.83	2.988
גרעיני כותנה	ק"ג	2.00	5.4	0.94	1.880
גפת תירס	ק"ג	3.00	8.2	0.35	1.050
שיפון סודה	ק"ג	0.80	2.2	0.66	0.531
תחמיץ חיטה	ק"ג	14.20	38.7	0.24	3.408
תחמיץ תירס	ק"ג	4.00	10.9	0.24	0.960
מולסה + אוראה	ק"ג	1.00	2.7	0.52	0.520
סורגום	ק"ג	0.30	0.8	1.11	0.333
אדולן (שומן מוגן)	ק"ג	0.16	0.4	3.25	0.517
גלוטן תירס	ק"ג	0.20	0.5	2.08	0.416
גלוטן פיד	ק"ג	0.68	1.9	0.95	0.648
מגנזיום אוקסיד	ק"ג	0.05	0.1	1.63	0.081
סודה לשתייה	ק"ג	0.15	0.4	1.13	0.169
סידנית	ק"ג	0.23	0.6	0.11	0.025
סה"כ		36.7 ק"ג			19.579

* לפלט שני מרכיבים:

- טבלת "תכולות" בה מוצגת הדרישה למאפייני המנה, כולל ערכי מינימום ומקסימום עבור כל מאפיין;
- טבלת "מזונות" ובה הפתרון המיטבי לדרישה, כולל פירוט הכמות מהמזונות השונים אשר תיכלל במנה וכן עלות כל מרכיב.

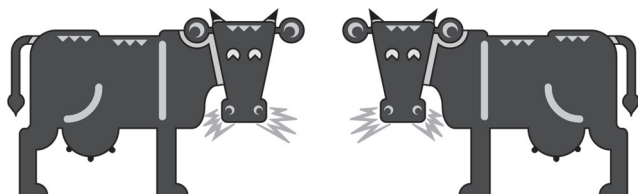
חיזוי כמות חומצות האמינו הזורמות למעי והרכבן היחסי

בשנים האחרונות התפתחה מודעות גדולה הן לזיהום הסביבתי הנגרם כתוצאה מהזנת יתר בחלבון, והן לעלות באנרגיה ובמחיר הכרוכים בשימוש בגודש של חלבון שרידי. עם שיפור הידע בדבר הגורמים המשפיעים על כמויות החלבון הזורמות למעי מעלה גירה, נוצר כלי חישובי חדש, המאפשר לדייק יותר בחיזוי זרימת חלבון למעי בעקבות הזנה במנה מסוימת. מכאן, ניתן להשיג רמת דיוק גבוהה יותר בתכנון מינון החלבון, ולחסוך הן בהשקעה הכספית והן בעומס הפיזיולוגי המוטל על מעלה הגירה כתוצאה מעודפי חלבון אשר מגביר את ייצור השתן ואת הפרשתו.

לצורך חיזוי זה מתחשבים בנתונים הבאים:

- א. כמות הפחמימות פריקות־כרס הניתנות במנה. מנתון זה ניתן לחשב את כמות חלבון המק"א שיוצֵר בכרס בזמן מסוים וכן את הכמות שתזרום למעי.
- ב. ההרכב הממוצע של חומצות האמינו של המק"א.
- ג. ההרכב הממוצע של חומצות האמינו של החלבון הכללי השרידי.
- ד. הנעכלות של כל החלבונים הנ"ל במעי.

מארבעת הנתונים שצוינו ניתן לחשב בקירוב טוב למדי את כמות חומצות האמינו (כלליות ו/או חיוניות) הזורמות למעי ונספגות ממנו לגוף, ולהעריך בקירוב האם המנה מספקת אותן בכמות נאותה הנדרשת לביצועי בעל החיים. כל שעל המתכנן לעשות הוא להציב בטבלאות השונות של התוכנה את הנתונים הנדרשים, ולציין את הכמות הנדרשת לצורך השגת הביצועים הפוטנציאליים של מעלה הגירה. התוכנה תחשב את הרכב המנה שתספק את הדרישות המוכתבות. אם הפתרון אינו בר ביצוע, אפשר להוסיף למנה חומצות אמינו סינתטיות, והתוכנה תכליל אותן במנה במידה והן תזלנה את המנה, או תאפשרנה פתרון יעיל יותר.



מחלות הקשורות בהזנת חיות משק – "מחלות מטבוליות"



נוהגים לכנות בשם "מחלות מטבוליות" בעיות שמקורן בפעילות בלתי תקינה של הכרס או בעיות שנוצרות בחילוף החומרים בגוף עקב הרכב לקוי של המנה.

אצידוזיס (החמצת הכרס)

ה- pH המיטבי לפעילות מק"א בכרס הוא בתחום שבין 6.2 ל-7.2. פעילות מיקרוביאלית תתרחש בכרס גם ב- pH נמוך יחסית בתחום שבין 4.5 ל-5.2. pH מתחת לערך של 4.5 בכרס מוביל להפסקת הפעילות המיקרוביאלית בה. כאשר המנה מכילה כמות עודפת של פחמימות מהירות תסיסה נוצרת במהלך התסיסה כמות גדולה יחסית של חומצת חלב, אותה אין המק"א מפרקי חומצת חלב מספיקים לפרק. במקרה זה חומצת החלב מצטברת בכרס, ה- pH יורד והדבר מביא להפסקת פעילות התסיסה, דהיינו, להפסקת העיכול בכרס. עקב כך יורדת ואף נפסקת צריכת מזון. בנוסף, חומצת החלב מפעפעלת לדם ומורידה גם בו את ה- pH . במקרים קיצוניים אך נדירים, עלול הדבר להביא למות בעל החיים.

טיפול: במקרה חמור יש לתת עירוי של תמיסת סודיום בי-קרבוונט (סודה לשתייה) לכרס. תמיסה זו היא בסיסית ולכן תגרום לעליית ה- pH .

התנפחות

התנפחות חלה כאשר מעלה הגירה אינו מסוגל להשתחרר מהגזים שבכרסו על ידי שיהוק. הסיבות לכך עלולות להיות:

- ❖ מיעוט של מזון גס או של סיבי מזון גס במנה.
- ❖ הצטברות בוועות גז כתוצאה מנוכחות חומרים מקציפים כגון ספונינים או פקטינים שונים.
- ❖ הפרשת תוצרי תסיסה הפוגעים בפעולת השיהוק.

טיפול: עירוי לכרס של תחליבי שמנים מקטיני שטח פנים (אפילו סבון). אלה מפרקים את הקצף בכרס ומאפשרים שיהוק תקין. במקרים אחרים חייבים לשחרר את הגזים הכלואים בכרס על ידי ניקוב דופן הגוף והכרס בעזרת מכשיר הנקרא טְרוֹקֶר, או תוך החדרת צינור לכרס דרך הוושט ושחרור לחץ הגז. במידה והגז לא ישוחרר והתנפחות הכרס לא תיפסק, ייווצר לחץ אדיר על הראות, ויש אומרים גם על אבי העורקים. למעשה, בעל החיים ימות מחנק או עקב צמצום באספקת הדם לגוף כתוצאה מחסימת אבי העורקים. אם ידוע מראש על נוכחות

של חומרים גורמי התנפחות במזון (כגון תלתן צעיר), ניתן להוסיף את חומרים המִשְׁטָחִים כדוגמת סִילִיקוֹנִים או שומנים למזון או לרססם על המרעה.

קוליקס (התנפחות בסוסים)

צריכה רבה של גרעיני דגן מהירי-תסיסה וחוסר עיכול או עיכול חלקי שלהם בקדמת מערכת העיכול, תביא בהמשך לתסיסתם של הגרעינים במעיין, וליצירת כמות גדולה של גזים אשר יגרמו להתנפחות המעיין. קוליק בסוסים עלול להיות בדרגות שונות של חומרה, החל מכאב קל וכלה בכאבים עזים הנגרמים עקב סיבוכים שאף עלולים לגרום למות בעל החיים בייסורים. **טיפול:** הטיפול בסוס כולל פעילות גופנית העוזרת לפעילות המעי ולשחרור הלחץ.

קטוזיס

זו מחלה שסימניה מובאים כאן לפי סדר הופעתם: ירידה בתיאבון, חולשה כללית המלווה ברביצה ממושכת ובסוף אדישות של בעלי החיים הסובלים (אפתיה, נראים מדוכאים). נקבות בהיריון הלוקות בקטוזיס עלולות להפיל את עובריהן. במידה והטיפול לא מתבצע במועד, המחלה עלולה להסתיים במותן.

מצב קטוֹטִי נוצר כאשר מצטברים בגוף גופי קטו. אלה יכולים להיות משלושה סוגים:

א. חומצה בִּיתָא־הִדְרוֹקְסִי בּוֹטִירִית.

ב. חומצה אֶצֶטוֹאֶצֶטִית.

ג. אֶצֶטוֹן.

מבין השלושה, הצטברות האצטון היא המסוכנת ביותר ולאחריה, הצטברות החומצה האצטואצטית.

קטוזיס תת־קליני: צורה זו של קטוזיס היא הגרועה ביותר לרפת מבחינה כלכלית מאחר והיא פוגעת בביצועים מבלי שעין מקצועית תרגיש במחלה. קטוזיס תת־קליני עשוי להתחולל בכל שלבי התחלובה או בשלבי ההיריון, אך הוא נפוץ ביותר בפרות המייצרות מיד לאחר ההמלטה כמות רבה של חלב. בפרות אלה נוצר מצב בו ההזנה אינה מספקת את כמות הגלוקוזה הנדרשת בו בזמן לייצור החלב הרב ולתחזוקת הגוף. במצב של קטוזיס תת־קליני לא נראה לכאורה כלפי חוץ שבעל החיים סובל. קטוזיס תת־קליני עלול גם להתפתח במעלי גירה הניזונים על מרעה דל.

קטוזיס של היריון (רעלת היריון): מחלה זו עלולה להתפתח בכבשים או בפרות הרות בסוף ההיריון עת העובר גדל במהירות, וצריכת האנרגיה והגלוקוזה עולה בקצב מואץ. רעלת היריון ידועה במיוחד ברחלות הרות, הנושאות מספר עוברים או בפרות ובכבשים הרות הניזונות

לקראת סוף ההיריון על מרעה דל. המזון הנאסף במרעה הדל אינו תורם לייצור כמות מספקת של חומצה פרופיונית בכרס, המשמשת בכבד לייצור גלוקוזה ודרושה, כאמור, במידה מוגברת בעיתוי זה. רעלת היריון מאובחנת אף בנשים הרות הניזונות שלא כהלכה.

המטבוליזם הכימי של ייצור גופי הקטו גורמי הקטוזיס ברעלת היריון או בקטוזיס בתקופת התחלובה דומים.

כאמור, מצב קטוטי נוצר כאשר המנה המואבסת דלה באנרגיה או שצריכת המזון אינה עונה על צורכי בעל החיים באנרגיה. המחלה פורצת כאשר תוצרי התסיסה בכרס אינם מספקים די רכיבים לייצור מחדש של גלוקוזה (בתהליך הגלוקוֹנֵיאוֹגֶנֶזָה). גלוקוזה היא תרכובת הכרחית במעגלי ייצור אנרגיה ונוכחותה הכרחית כאשר מדובר בייצור אנרגיה מתרכובות שאינן גלוקוֹנֵיאוֹגֶנֶזָה כגון שומן גוף, חומצה לקטית או חומצה בוטירית שנוצרו בכרס. גלוקוזה גם דרושה, בכמויות גדולות, לייצור סוכר החלב – לקטוזה.

בעת מחסור באנרגיה ובגלוקוזה, מפרק הגוף כמויות גדולות של שומן ממאגרי השומן. חלק מתוצרי הפירוק הופכים בגוף לחומצה לקטית, המשמשת בין השאר, רכיב חשוב בייצור שומן החלב. כדי להפיק עוד קמטוץ אנרגיה במצב של מחסור גלוקוזה, מתרחש תהליך בו שתי מולקולות של חומצה לקטית מוצמדות והופכות לחומצה אֶצֶטוֹאֶצֶטִית תוך כדי שחרור אנרגיה. בהיעדר כרוני של גלוקוזה, הופכת החומצה האצטית לאצטון המרעיל את בעל החיים. האצטון מופרש בשתן. מאחר והוא חומר נדיף, ניתן אף להריח אותו ברפת בה הפרות לוקות בקטוזיס. כמו כן, ניתן לקבוע את נוכחות האצטון בשתן על ידי נייר לֶקְמוֹס (נייר המשנה את צבעו כאשר הוא בא במגע עם חומצה או עם בסיס) מיוחד או למדוד את כמותו בחלב.

טיפול: הטיפול הנפוץ כיום במצב של קטוזיס כולל אספקת חומרים גלוקוֹנֵיאוֹגֶנֶזָה לבעל החיים הקטוטי, אם כעירוי של תרכובות גלוקוגניות (פרופילן גילקול) לכרס ואם בדרך של מתן גלוקוזה ישירות לדם. בעבר רווח טיפול של הזרקת קוֹרְטִיזוֹן הגורם לפירוק חלבון גוף ולייצור גלוקוזה מחומצות האמינו הגלוקוגניות על חשבון הפניית חומצות אלו ליצירת חלבונים. שיטה אחרת שהייתה נהוגה בעבר לטיפול בקטוזיס תת־קליני הייתה עירוי לכרס של תמיסת כְּלוֹרַת הַאֶשְׁלֶגָן – חומר מחמצן המחסל בכרס, אך לא בגוף, את גופי הקטו שנוצרו שם (טיפול זה אינו פותר את בעיית גופי הקטו בגוף).

הרעלת אמוניה

(ראה/י לעיל בפרק "רעלים").

הרעלת ניטראטים

שם זה אינו מדויק מאחר ולא הניטראטים הם שגורמים להרעלה. הניטראטים נקלטים ממזון צמחי, הגדל בתנאי דישון חנקני עשיר, או מעשב הגדל בצדי דרכים בשנות בצורת. חומרים אלה מצטברים בצמח כמקור חנקני לחלבון. אם מזון כזה נאכל, המק"א בכרס מְחַזְרִים את הניטראט לניטריט על ידי תוספת מימן המיוצר על ידם בתהליך התסיסה. משנספג הניטריט לדם הוא פועל על ההמוגלובין בדומה לרעל הציאניד, תוך שהוא הופך את ההמוגלובין למתהמוגלובין (Methemoglobin) שאינו מסוגל לקשור חמצן. בדרך זו נפסקת לחלוטין פעולת העברת החמצן מהריאות לרקמות. הגוף אמנם יכול להפוך את המתהמוגלובין חזרה להמוגלובין, תהליך המתבצע בשגרה בדם, אך התהליך אינו מספיק מהיר כאשר נוצר זרם גדול ופתאומי של ניטריטים. מעלי הגירה עשויים להתאים עצמם לרמה גבוהה במקצת מהרגיל של ניטראטים, אך נדרש זמן להתאים את רמת האנזימים המטפלים בניטראטים במצב כזה. ידועים מקרי הרעלת ניטראטים של עדרי צאן מהנגב שרעו בצדי דרכים בשנות בצורת.

מקובל להניח כי צריכה של מזון המספק כ-1 ג' של ניטראט לק"ג משקל גוף תגרום למות בעל החיים. יש האוסרים הגשת מזון בו ריכוז הניטראטים עולה על 0.2%. גישה זו מוטעית, ולו מהטעם שהמזון הנגוע לא בהכרח מהווה את כל המנה, ויש להחליט על הרכב המנה על פי סך מרכיביה.

טיפול: הרעלת ניטראטים מתחוללת במהירות. אם מבחינים בה בזמן (נדיר למדי), ניתן להזריק לדם חומרים מְחַזְרִים. אלה מתחמצנים על ידי הניטריט, האחרון מתפרק בעקבות כך ופעולתו המזיקה על ההמוגלובין נפסקת. אחד החומרים שמשמש למטרה זו הוא מְטִילֵן בְּלוּ (Methylen blue), שהוא חומר מחזור ידוע.

הרעלת גליקוזידים

הגליקוזידים הם תרכובות המכילות נגזרות סוכר ונספחים רעילים.

גלוקוזידים ציאנידים

אין ציאנידים בצמחים, אך הם נמצאים בהם כקבוצה הקשורה לגליקוזידים (תרכובות מכילות סוכרים) כמו אַמִּיגְדִין (מצוי בשקדים מרים) ודומיו. עם הגיע מזון המכיל גליקוזידים המכילים ציאניד לכרס מעלה הגירה, המק"א תוקפים את התרכובת, מפרקים את החלק הסוכרי שבה תוך שמולקולות הציאניד משתחררות. אלו נספגות לדם וגורמות להרעלת מעלה הגירה שאכל את המזון. תרכובות של גליקוזידים המכילות ציאניד נמצאות בעיקר בצמחים מקבוצת הסורגוס (עשב סודני, דוחן ענק ואף סורגוס) ומצטברות בהם בתקופות יובש, ואף בצמחי בר מקבוצה זו כגון בדרך אֶרֶם-צֹבָא (פוסאב). מכאן, שאין להעלות למרעה על שלפי סורגוס בסוף הקיץ, אלא אם כן השדה קיבל השקיית עזר לחידוש הצימוח ולדילול תכולת הגליקוזידים בצמחים.

חשוב להדגיש כי הן במקרה של צמחים המכילים ניטראטים והן במקרה של צמחים המכילים ציאנידים, שימורם של צמחים אלה כתחמיץ משחרר לאוויר את התרכובות הרעילות, ותוצר ההחמצה טוב לאכילה ואינו רעיל יותר.

טיפול: אין טיפול להרעלה בציאניד. כאשר כמות הציאנידים אינה רבה, בעל החיים אינו חש בטוב זמן מה עד שנוצר המוגלובין חדש. במקרה של הרעלה קשה נחרץ גורלו של בעל החיים למות.

גלוקוזידים מכילי גופרית

אלה חומרים המצויים בצמחים מקבוצת המַצְלִיבִים: בחרדל (ובשמן חרדל), בליפתית ובכוספת ליפתית, ובחו"ל בכרוב מספוא. לחומרים אלה פעילות גויטְרוֹנִית (נוגדי פעולת בלוטת התריס – תסמונת גוייטר). הנגזרות הגופריתיות מונעות ספיגת יוד על ידי בלוטת התריס על כל המשתמע מכך. חומרים אלה עוברים לחלב. כיום פותחו זני ליפתית אשר אין בכוספה הנוצרת מהם כל סכנה.

גלוקוזידים מכילי ספונג'נים

(ראה/י למעלה בתת-פרק "התנפחות" בעמוד 242).

קדחת חלב (היפוקלצמיה – חסר בסידן)

במחלה זו, על אף שחום גופו של בעל החיים אינו עולה, ניכרות בו רעידות, ובמצב מתקדם של המחלה הוא סובל מעוויתות ומהתכווצויות שריר קשות (מתיחת רגליים בשכיבה וכיפוף צוואר) עד למוות. מאפייני המחלה מתגלים ברגע שריכוז הסידן בדם יורד אל מתחת לריכוז הדרוש לקיום שליטה על הפעילות העצבית הקשורה בסיום פעולת כיווץ השריר. בהיעדר ריכוז מספק של סידן, כיווץ השריר לא נפסק.

קדחת חלב מאובחנת בבקר לחלב מיד לאחר ההמלטה, תקופה בה צריכת הסידן עולה מאוד כתוצאה מהפרשתו לחלב. בתקופה זו בדרך כלל, צריכת המזון, על המינרלים שבו, אינה עונה על דרישת הגוף לסידן המופרש עם החלב. אירוע קדחת חלב פוגע פגיעה קשה גם בייצור החלב.

טיפול: בטיפול מידי מחדירים בעירוי תמיסת קלציום-גלוקונאט לדם, ובדרך זו פותרים את בעיית הקטוזיס וכן את בעיית קדחת החלב באחת. דרך אחרת היא להעלות את אספקת הזרחן בשבועות היובש האחרונים שלפני ההמלטה (שיטת Cole and Boda), ובמקביל לצמצם את אספקת הסידן. בכך, להכריח את הגוף לפתח את פעילות בלוטת יתרת-התריס (פַּרְהֵיִרֹאִיד) ואת הפרשת ההורמון T_3 המופרש ממנה ותפקידו לפקח על שחרור סידן מהעצם. הגשה של תחליף סינתטי של פרורויטמין D בעודף גם היא עשויה לעזור. עם זאת, יש לזכור כי עודף של הוויטמין רעיל, ולכן יש לתת טיפול זה לאחר התייעצות עם וטרינר.

היפומגנזמיה – חסר מגנזיום (צפדון העשב – Grass Tetany)

שם המחלה מעיד על המופע שלה: עוויתות הדומות לאלו המאפיינות הרעלת טטנוס. התופעה מתפתחת עם ירידת ריכוז המגנזיום בגוף מתחת לרמה הדרושה לפיקוח נאות על הקשר שריר-עצב. בחסר מגנזיום (כמו בחסר סידן השייך לאותה משפחת יסודות) נפגעת פעילות האנזים הגורם להפסקת פקודת העצב על כיוון השריר. בהיעדר פעילות זו, השרירים נשארים מכווצים והדבר עלול להוביל למות בעל החיים. גם כאשר מגנזיום נמצא בכמות נאותה במנה עלול להיגרם מחסור במגנזיום. זאת, כתוצאה מנוכחות של חומרים שונים במזון, המעכבים את ספיגתו של המגנזיום לגוף, או במצב בו בנוכחות ריכוז גבוה של זרחן משתחררת כמות רבה של אמוניה בכרס מחלבון פריק או משתנן. במצב זה וב- pH הגבוה יחסית, נוצר התלכיד "מגנזיום-אמוניום-פוספט" שהוא בלתי מסיס, ואינו מאפשר ספיגת המגנזיום. בחו"ל מצב זה עלול להתפתח בעת יציאת מעלי גירה למרעה אביבי עשיר בחלבון פריק ובזרחן ומכאן שמו (Grass Tetany). בארץ דווח רק על מקרה ברור אחד של תת-מגנזיום, ממנו מתו חמש פרות בעלות תנובת חלב גבוהה במיוחד.

טיפול: מתן מידי של אבקת תחמוצת המגנזיום (MgO) עשוי להציל את החיות החולות.

אבנים בדרכי השתן

מחלה זו פוגעת בטלאים זכרים אשר מנת המזון שלהם עשירה יחסית בזרחן. כתוצאה מעודף זרחן וחוסר יחסי בסיס, באשלגן ובמגנזיום, השתן נעשה בסיסי יותר (pH עולה) ונוצרים משקעים (אבנים) הסותמים את דרכי השתן. הדבר גורם לטלאים לכאבים עזים, ומוביל לפיצוץ שלפוחית השתן ולמוות. סימנים מתריעים: השתנה איטית ומומושכת, רקיעה ברגליים לפני או בעת השתנה (עקב הכאב) וסימני אי-נוחות.

טיפול: החמצת השתן על ידי הכללה במנה של כ-0.5% כלוריד האמוניום. האמוניה הופכת בכרס לחלבון מק"א, ואילו הכלור מופרש בשתן, תוך שהוא מחמיץ אותו וממיס את האבנים שנוצרו או אף מונע את יצירתן.

הרעלת נחושת

נחושת היא אחד מיסודות הקורט להם זקוק הגוף בכמויות זעירות. כאשר מנה עתירת נחושת ניתנת לכבשים לאורך זמן, עודפי הנחושת מצטברים בכבד. כאשר ריכוז הנחושת בכבד מגיע לסף מסוים משתחררת הנחושת החופשית לתוך זרם הדם, פוגעת בתאי הדם האדומים ומביאה לפירוקם (המוליזה). פירוק תאי הדם האדומים מתבטא בצהבת ובמחלה קלינית

הנגרמת מחסר דם (אַנֶמִיָּה). כתוצאה מכך, רירית העין נראית צהובה ותיתכן הפרשת שתן בצבע אדום. הכבשים החולות רובצות, מדוכאות, אינן ניגשות לאכול ומתות כעבור מספר ימים. בנתיחה שלאחר המוות הממצאים העיקריים הם כליות בצבע כהה מהרגיל וכבד בצבע כתום-תפוז. מזון מרוכז (תערובת) של כבשים דל יחסית בנחושת, בעוד מזון מרוכז לבקר עשיר יחסית בנחושת. הרעלת נחושת נגרמת לעתים מטעות בה מוזן הצאן במזון מרוכז המיועד להזנת בקר.

טיפול: ניתן לטפל בכבשים החולות בהרעלת נחושת על ידי מתן תרופות המכילות מוליבדן וגופרית. אלה מביאים לפינוי הנחושת ממחזור הדם ולגריעת הנחושת שהצטברה בכבד. אולם, כבשים הסובלות מאנמיה חריפה לא תמיד מתאוששות. מכיוון שהעדר כולו נחשף לרמות נחושת גבוהות, וכל הכבשים הבריאות לכאורה נמצאות למעשה בסיכון, יש לטפל בכל העדר מיד עם הופעת המקרה הראשון של הרעלת הנחושת בעזרת מנה גורעת נחושת למשך מספר שבועות.



מקורות לתמונות המופיעות בגוף הפרק:

❖ תמונה מספר 2

E.F Annison, D. Lewis, 1959. Metabolism in the rumen. A.R.C press Institute of animal physiology, Babraham, Cambridge. pp. 15.

❖ תמונות מספר 3-5

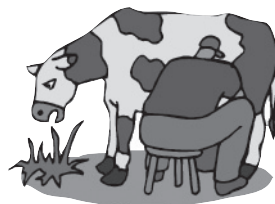
Septimus Sisson S.B, 1953. The anatomy of the domestic animals. Press of W.B. Saunders company Philadelphia. pp. 466-467.

❖ תמונות 1, 6-8

R. Nickel, A. Schummer, E. Seiferle, 1973. The viscera of the domestic mammals. Translation and revision by W.O. Sack. Press Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg. pp. 89, 94, 182, 190.

ייצור חלב וחליבה

עזרא שושני



הקדמה



באופן טבעי ייצור החלב בעטין הפרה מתחיל בסמוך למועד ההמלטה ונמשך לאחריה. בעדרי בקר לבשר בישראל חלב האם משמש עבור העגלים הנולדים כמזון בלעדי בתקופת החיים הראשונה. עם גדילתם, העגלים היונקים עוברים להיזון גם על מרעה או ממזון מוגש והיניקה הולכת ומצטמצמת, עד שהיא נפסקת עם גמילתם. במקביל, עטין הפרה הולך ו"מתייבש", עד שייצור החלב בו נפסק.

בעדרי בקר לחלב בארץ נהוג להפריד את העגלים מאמהותיהם ביום לידתם ולהעבירם להנקה מלאכותית. הפרות נחלבות פעמיים או שלוש ביום וכל החלב הנחלב משווק כחלב ניגר או משמש לייצור יוגורט, גבינות או מוצרי חלב אחרים. כתוצאה מעבודת טיפוח יעילה שבוצעה במהלך השנים וההזנה המשופרת הניתנת ברפתות בארץ, פרה בעדרי בקר לחלב מניבה כיום חלב בכמות שהיא הרבה מעבר לדרוש למילוי צורכי העגל. חליבת הפרות נמשכת לעתים מספר רב של חודשים, הרבה מעבר לתקופת היניקה המקובלת.



אנטומיה ופיזיולוגיה של העטין



הסתכלות חיצונית על העטין

בעטין הפרה ארבע בלוטות חלב מסודרות בזוגות משני צדדיו של מרכז הבטן. בעוד הצד השמאלי של העטין מופרד מהצד הימני בשקע אורכי ברור לעין, קיים קושי רב להבחין בגבול שבין הרבע הקדמי לבין הרבע האחורי שבכל צד. תנובת החלב של הרבעים האחוריים גבוהה יותר מזאת של הקדמיים, כאשר היחס הוא בדרך כלל 60 ל-40, בהתאמה.

עור עטין הפרה מכוסה בשער בעוד הפטמות חסרות שער. הפטמות עשירות בכלי דם ובעצבים. באופן כללי, הפטמות הקדמיות ארוכות במקצת מהאחוריות. קיימים הבדלים בין פרות בצורת הפטמות וכן בעובי הפטמות ובאורכן. לעתים, ניתן להבחין בפרות מסוימות בפטמות נוספות, מעבר לארבע הרגילות. פטמות נוספות אלו ממוקמות בדרך כלל בחלק האחורי של העטין והן אינן פעילות בהפרשת חלב.

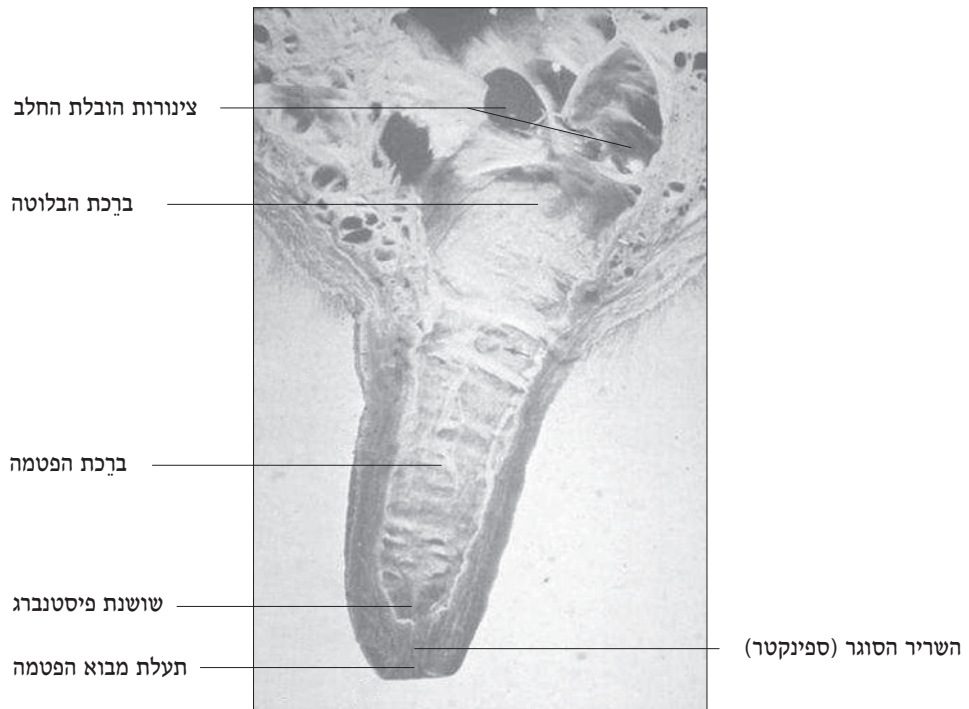
מבנה בלוטת החלב

כל אחת מארבע בלוטות החלב שבעטין מסתיימת בתעלת מוצא המכונה תעלת מבוא הפטמה. אורכה של תעלה זו נע בין 5 מ"מ ל-13 מ"מ. לחתך רוחב של תעלת מבוא הפטמה צורת כוכב. מבנה זה מאפשר בעת הצורך דחיקת דפנות התעלה החוצה תוך הרחבה ניכרת של נפח התעלה. בפרקי הזמן שבין החליבות (או היניקות) קצה התעלה חסום באמצעות שריר טבעתי חלק המכונה סְפִינְקְטֵר. שריר זה שבקצה הפטמה מונע דליפת חלב החוצה. אטימת הפטמה באמצעות הספינקטר מהווה גם מחסום ראשון בפני חדירת חיידקים מהחוץ אל תוך העטין. עוצמת כיווץ הספינקטר מכתיבה את קצב יציאת החלב מהבלוטה במהלך החליבה: שריר "חזק" – מאפיין פרות איטיות חליבה בעוד ששריר "חלש" מאפיין פרות מהירות חליבה. טיפוח הבקר לחלב במהלך עשרות השנים האחרונות, אשר כוון לתנובת חלב גבוהה, הביא לכך כי לפרות בעדרי חלב כיום שרירים סוגרים חלשים באופן יחסי, מצב המקצר את משך החליבה, אך עם זאת מעלה את הסיכון לתחלואה בדלקת עטין.

מעל תעלת מבוא הפטמה מצויה בִּרְכַת הפטמה. בין בִּרְכַת הפטמה לבין תעלת מבוא הפטמה מצוי אזור העשיר בקפלים רבים המכונה "שושנת פִּסְטִינְבֶּרֶג", על שם חוקר שאפיין אזור זה. הלחץ של החלב בבִּרְכַת הפטמה כלפי מטה מְשַׁטח את הקפלים על פני הפתח העליון של תעלת מבוא הפטמה, תוך שהפתח נחסם חלקית. מצב זה מביא להקטנת הלחץ על החלב

המצוי בתעלת מבוא הפטמה. הודות לכך, עוצמת ההתכווצות של הספינקר הנחוצה למניעת דליפת חלב מהפטמה קטנה יחסית.

בין הקפלים של "שושנת פיסטנברג" מצוי חומר חלבוני בשם קֶרָאטִין, המופרש על ידי תאי האפיתל שבאזור זה. לקראטין תפקיד באטימת הרווחים שבין הקפלים. בנוסף, הקראטין מכיל רכיבים המסוגלים להמית חיידקים ומכיוון שכך, הוא משמש כקו הגנה נוסף למניעת חדירת חיידקים לעטין.



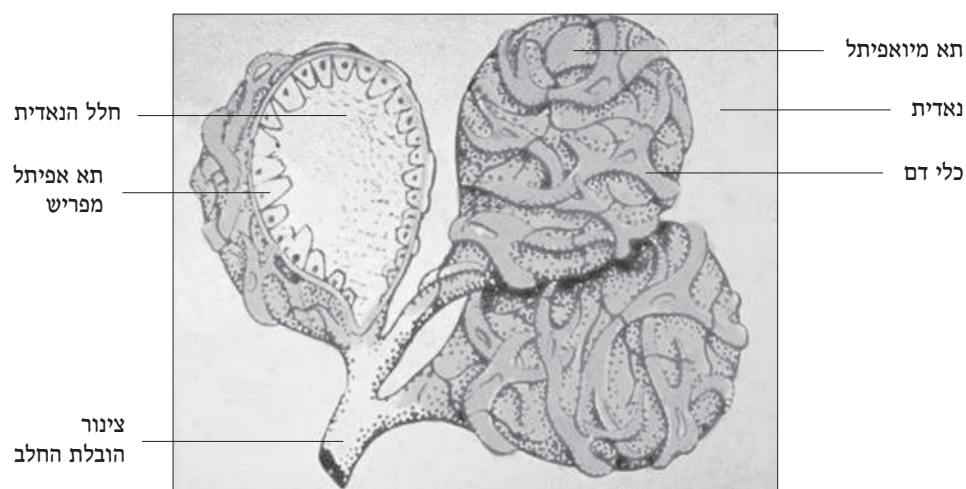
תמונה מס' 1: חתך אורך בפטמת עטין הפרה

נפח בִּרְכַת הפטמה מגיע בדרך כלל ל-30 עד 45 סמ"ק, ובגזעים אחדים הוא אף עשוי להיות גדול יותר. צורת בִּרְכַת הפטמה גלילית או דמוית קונוס. על פני הדופן הפנימית של בִּרְכַת הפטמה מצויים קפלים הנוצרים כתוצאה מהתכווצות שרירים חלקים המצויים בדופן הפטמה. קפלים אלו עלולים לעתים לחסום מעבר של חלב דרך חלל הפטמה.

בגוף העטין, מעל בִּרְכַת הפטמה ממוקמת בִּרְכַת הבלוטה. במעבר בין שתי הבִּרְכוֹת יש קפלים המִצְרִים את מעבר החלב דרכו. נפח בִּרְכַת הבלוטה הוא 100 סמ"ק עד 500 סמ"ק ואליה מתנקזים 8 עד 12 צינורות ראשיים – צינורות אוספים המשמשים להובלת החלב מהרקמות בהן מיוצר החלב לבִּרְכַת הבלוטה. עם ההתקדמות במעלה העטין, הצינורות האוספים הולכים ומסתעפים לצינורות דקים יותר ויותר.

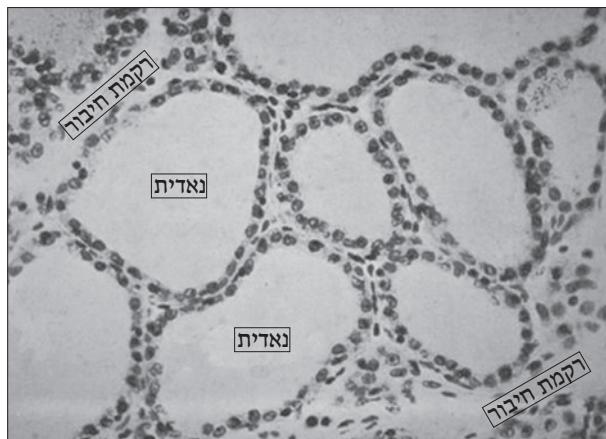
קצוות סעיפי הצינורות הדקים מתרחבים והופכים לנאדיות, שהן המבנים האנטומיים בהם מיוצר החלב. הדופן הפנימית של הנאדית בנויה משכבת תאי אפיתל. צורת תאי האפיתל משתנה בהתאם למצב הנאדית: בנאדית ריקה, או בכזו שאין בה הצטברות רבה של חלב, לתאי האפיתל צורת עמודים והם בולטים לתוך חלל הנאדית. עם הצטברות החלב בחלל הנאדית, נפחה גדל תוך שתאי האפיתל נמתחים ונעשים שטוחים, גרעיניהם מתארכים והם נערכים במקביל לציר האורך של התא. המרחק בין גרעינים של תאים סמוכים גדול יותר בנאדיות מלאות חלב מאשר בנאדיות ריקות.

כל נאדית מוקפת בממברנה בזלית. בין הממברנה הבזאלית לבין תאי אפיתל הנאדית, מצויים תאים בעלי צורת כוכב – תאי המיואפיתל. תאים אלו מתכווצים בהשפעת אוקסיטוצין – הורמון המופרש לדם מבלוטת ההיפופיזה הממוקמת במוח הפרה. התכווצות תאי המיואפיתל גורמת לסחיטת החלב מן הנאדית אל עבר צינורות החלב.



תמונה מס' 2: מבנה נאדית

קבוצת נאדיות המוקפת ברקמת חיבור נקראת אונית. צינורות החלב הדקים מנקזים את החלב הנוצר בתוך כל נאדית לצינור מוביל חלב משותף. מספר אוניות אשר החלב מהן מתנקז יחד לצינור אוסף מרכזי נקראת אונה. זו מוקפת ברקמת חיבור עבה יותר. דופן של צינור אוסף בנויה אפיתל דו-שכבתי. ניתן למצוא לאורכה של דופן זו גם תאים מפרישי חלב. ככל שיוורדים כלפי מטה – לעבר בִּרְכַת החלב של הבלוטה – הצינורות הולכים ומתרחבים עד התכנסותם לצינורות האוספים המתנקזים אל בִּרְכַת החלב.



תמונה מס' 3: צבר של נאדיות – אונית

מבנה מערכת נשיאת העטין

משקל עטין יכול לנוע בין מספר בודד של ק"ג לעשרות ק"ג. עטין מלא חלב במשקל של 100 ק"ג אינו נדיר. משקל העטין עולה עם התבגרות הפרה ועם העלייה בתנובת החלב. קיבולת העטין בפרות חולבות יכולה להגיע ל-35 עד 40 ל' חלב. במהלך חיי הפרה, תוספת המשקל הגדולה ביותר של העטין מתרחשת בהמלטה שנייה כתוצאה מהעלייה בכושר ייצור החלב.

כדי למנוע את צניחת העטין כלפי מטה עקב משקלו הרב, דרושה מערכת נשיאה חזקה. העור משתתף בנטל של נשיאת העטין וייצובו, אך המיתר (הליגמנט) האמצעי, הממוקם בין שני חצאי העטין, הוא זה שנושא את מרב המשקל. מיתר גמיש זה נוצר על ידי שתי רצועות של רקמת חיבור אלסטית, המתחברות אל האגן ואל מערכת שרירי הבטן. רצועות אלו חודרות בין שני חצאי העטין ומתפשטות ביניהם עד לשטחם התחתון. שלוחות מרצועות אלו חודרות אל תוך העטין.



בנוסף למיתר האמצעי קיימים גם מיתרים היקפיים (מיתרים לטרליים) אשר גם הם מתחברים אל האגן. מיתרים אלה, העשויים רצועות סיביות בלתי גמישות נפרשים על פני שטח העטין, וכן חודרים לתוך העטין ומתחברים אל מחיצות רקמת החיבור שבו.



תמונה מס' 4: מערכת התמיכה של העטין

המיתרים ההיקפיים והמיתר המרכזי נפגשים על פני שטחו התחתון של העטין. מאחר והמיתרים ההיקפיים הם אינם אלסטיים בעוד המיתר האמצעי אלסטי, מילוי העטין בחלב מותח את המיתר האמצעי ובעקבות זאת הפטמות פונות כלפי חוץ וקדימה. באופן זה מתאפשר מילוי מרבי של העטין, תוך הנמכה מזערית שלו. כאשר המיתרים מתרופפים, כפי שקורה לעתים אצל פרות מבוגרות, העטין נוטה להתרחק מקיר הבטן ויורד כלפי מטה.

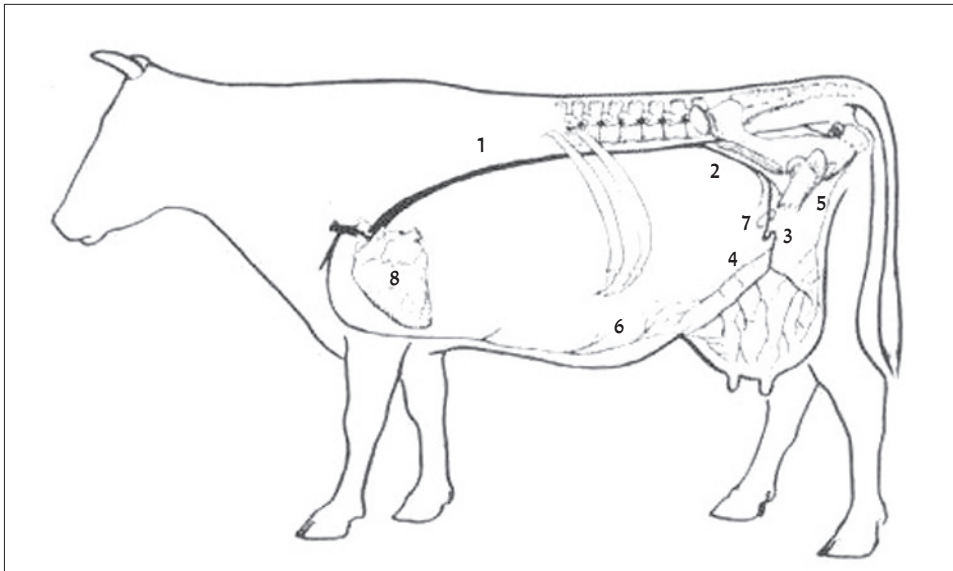


מערכות הדם ומערכת הלימפה בעטין



אספקת דם עורקי

העטין מקבל את מרבית אספקת הדם שלו מעורקים היוצאים את חלל הבטן דרך התעלה האינגווינלית הממוקמת בדופן הבטן. עורקים אלו מתפתלים בצורת S בצאתם מהתעלה. כיפוף זה מאפשר את התארכותם בעת התמתחות העטין עם העלייה במשקלו בעקבות הצטברות חלב. במקום הכיפוף קוטרם של העורקים כ-1 ס"מ. עם כניסתם לעטין מסתעפים העורקים תוך שהם שולחים שלוחות אל החלקים הקדמי והאחורי של כל חצי עטין, וכן אל בלוטות הלימפה הנמצאות בחלקו האחורי של העטין. העורקים משני חצאי העטין מחוברים ביניהם ברשת של עורקי משנה (אֶנְסֵטְמוֹזוֹת) המאפשרת זרימת דם עורקי מצד אחד של העטין אל צדו השני.

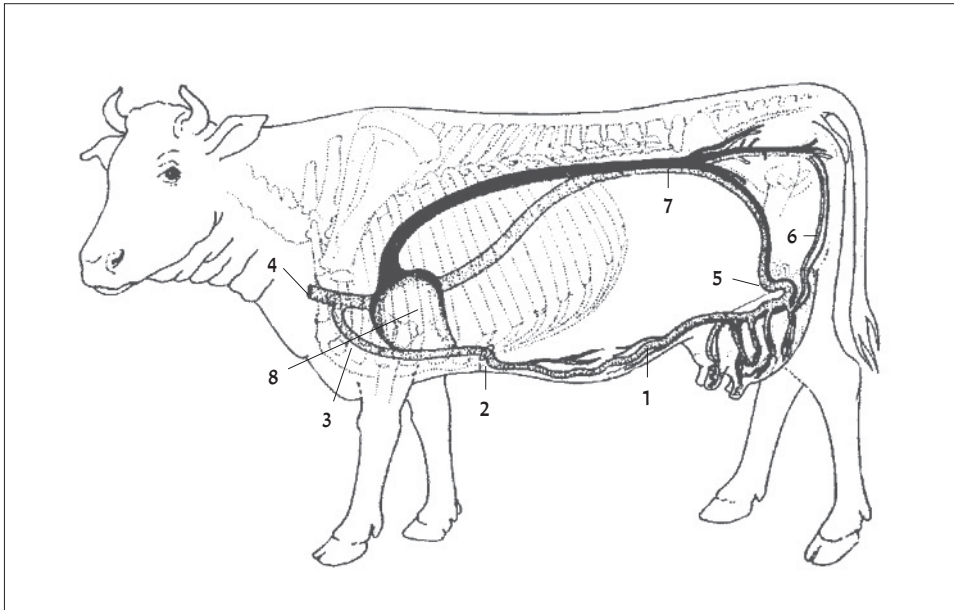


תמונה מס' 5: מערכת העורקים המובילים דם לעטין

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. אב העורקים | 5. העורק הפריניאלי |
| 2. עורק עצם הכסל | 6. עורק רום הבטן |
| 3. עורק העטין | 7. התעלה האינגווינלית |
| 4. העורק הבטני התת-עורי | 8. לב |

ניקוז דם ורידי

לאחר מעבר דרך נימי הדם (קאפילרות) העוטפות את הנאדיות, מגיע הדם אל ורידים קטנים. ורידים אלו מוליכים את הדם לכיוון החלק הגבי של הפרה תוך שהם מתאחדים לווריד עטין גדולים. שכבה דקה של רקמת שריר חלק המקיפה את הוורידים מונעת כמעט לחלוטין שינוי בקוטרם בעת זרימת הדם. הדם הוורידי יוצא מהעטין בשני נתיבים: בוורידים העוברים דרך התעלה האינגואינלית, אשר ערוכים במקביל לעורקים הנכנסים, ודרך שני ורידים תת־עוריים היוצאים מחלקו הקדמי של העטין. אלה נמשכים לאורך הבטן (קל להבחין בהם בפרות בוגרות), חודרים דרך שרירי בית החזה ומתחברים אל וריד בית החזה. מווריד בית החזה עובר הדם הזורם מהעטין לווריד הנבוב המרכזי דרכו חודר הדם אל חדרי הלב. דרך מערכת הדם היוצאת את התעלה האינגואינלית עוברים כשני שלישים מהדם הוורידי העוזב את העטין, ודרך הווריד התת־עורי הבטני עובר נפח הדם הנותר.



תמונה מס' 6: מערכת הוורידים של העטין

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1. וריד בטני תת עורי | 5. וריד החלציים החיצוני |
| 2. "שקע" החלב | 6. וריד החלציים הפנימי |
| 3. וריד בית החזה הפנימי | 7. הווריד החלול האחורי |
| 4. הווריד החלול הקדמי | 8. לב |

המערכת הלימפתית

נוזלים בין תאיים שמקורם בנימים (קאפילרות) המזינים את התאים בהם נוצר החלב מתנקזים מרקמת העטין ומוחזרים למערכת הדם דרך הרשת הלימפתית. נוזלים אלו נושאים עמם תוצרים של תהליכי חילוף חומרים אל מחוץ לעטין. הצינורות הלימפטיים מתחילים כקאפילרות אשר דומות לקאפילרות מערכת הדם, לבד מכך שהן חסרות דופן. קאפילרות אלו מפוזרות בין תאי רקמת החיבור של הפטמה לבין תאי רקמת ייצור החלב. הקאפילרות מתחברות לצינורות הובלה גדולים אשר פונים לעבר החלק הגבי של העטין ומסתיימים בבלוטות לימפה הממוקמות בחלק האחורי העליון של שני חצאי העטין. בכל צד יכולה להיות בלוטה אחת עד שלוש בלוטות. בבלוטות הלימפה נעצרים ונהרסים חומרים זרים אשר חדרו לעטין (בעיקר חיידקים). בנוסף, משמשות בלוטות הלימפה מאגר של תאי דם לבנים: לימפוציטים ומאקרופגים, שתפקידם להילחם בחיידקים.

נוזל הלימפה חסר צבע והרכבו דומה להרכב פלסמת הדם, לבד מכך שריכוז החלבונים בו קטן יותר. הנוזל עוזב את העטין דרך התעלה האינגוויאנילית, זורם דרך צינורות לימפה המסתעפים ומתחברים אל בלוטות לימפה הפרושות באגן. מבלוטות אלו ממשיך נוזל הלימפה את דרכו אל צינור לימפה גבי המתנקז אל צינור בבית החזה, ומתרוקן לתוך הווריד החלול הקדמי.

מערכת העצבים בעטין



העצבים מעבירים אותות חשמליים בין ארבעת רבעי העטין לבין המוח. חלק מהעצבים קשור לשרירים החלקים שבדופנות העורקים. חלק אחר קשור לשרירים החלקים של הספינקטר. בין השאר, מערכת העצבים מבקרת את קצב זרימת הדם בעטין תוך שינוי של קוטר העורקים.



אנטומיה משווה של בלוטות החלב



אצל הברווזן – יונק המטיל ביצים, החלב משמש מקור מזון בלעדי לוולדות עד גיל של כ-4 חודשים. לנקבות כ-100 עד 150 בלוטות חלב המסודרות בזוגות. לנקבות אין אבר לאגירת חלב דמוי עטין, וכן אין להן פטמות. צינוריות חלב היוצאות מהבלוטות נפתחות בבסיס השער והוולדות אינם יונקים את החלב אלא מלקקים אותו.

אצל הקיפודן – חיית כיס מטילת ביצים, הביצים משוכנות בכיסי עור. בלוטות חלב ממוקמות בדופן הכיסים והחלב מופרש ממספר צינוריות לחריצים בעור. בחיות כיס הממליטות ולדות, כדוגמת הקנגורו, יש בכיס כארבע בלוטות וכמספר הבלוטות מספר הפטמות, כאשר כל פטמה מנקזת באמצעות צינור חלב בלוטה אחת בלבד. הוולדות מוצאים את דרכם אל הכיס מיד לאחר לידתם. הוולד נצמד לפטמה למספר חודשים והפטמה גדלה במקביל להתפתחות הוולד. כל בלוטת חלב מתפתחת בנפרד בהתאם לגיל הוולד היונק ממנה. הרכב החלב בבלוטות חלב סמוכות יכול להיות שונה. בכך מתאפשר גידול במקביל של שני ולדות בגילאים שונים אשר דרישותיהם התזונתיות שונות.

עטין העז ועטין הכבשה ממוקמים באזור המפשעה, ומכילים רק שתי בלוטות חלב. כל אחת מבלוטות החלב מתנקזת על ידי פטמה אשר בה תעלת מבוא פטמה. על הפטמות יש שערות דקות. העטין והפטמות של עזים גדולים בדרך כלל מאלו של כבשים, ובתוך כל מין קיימת שונות רבה בין הפרטים בגודל ובצורת הפטמות. מערכות הדם והלימפה של העטין אצל הכבשה והעז דומות לאלו של הפרה. לעתים ניתן למצוא בכבשים עטינים עם זוג נוסף של פטמות המוליכות לבלוטות מייצרות ומפרישות חלב.

בסוסות, בלוטות החלב ממוקמות אף הן באזור המפשעה. מערכת כלי הדם והלימפה בעטין הסוסה דומה לאלו של הפרה. בעטין הסוסה שתי פטמות ולכל אחת מהן שתי תעלות של מבוא הפטמה. כל תעלה מצדה מובילה אל ברכת פטמה המחוברת אל בלוטת חלב נפרדת. מכאן שבסוסה, יש "ארבעה רבעים" כפרה, אך רק שתי פטמות.

בחזירה יש בין 12 ל-14 בלוטות חלב הערוכות בזוגות. הבלוטות ערוכות בשתי שורות מקבילות משני צדי הקו האמצעי של האורך הבטן. מספר הבלוטות לאורך שורה יכול להיות זוגי או אי-זוגי. ייצור החלב בכל אחת מהבלוטות הוא בלתי תלוי בייצור החלב בבלוטה השכנה. כל בלוטה קשורה לפטמה בשתי תעלות מוצא או אף יותר.

באישה, נאדיות החלב מסודרות באשכולות אשר כל אחד מהם נקרא אונית. החלב מתנקז החוצה מהאוניות דרך 10 עד 15 צינורות חלב, העוברים דרך שכבת שומן ומסתיימים בפטמה. כל צינור משרת אונית משלו. האוניות מופרדות ונתמכות על ידי רקמת חיבור, ובמצב של היעדר חלב הן נתמכות ברקמת שומן. ברקמת השומן עוברים גם כלי דם, עצבים וצינורות לימפה. הפטמה, המהווה קצה סופי לצינורות החלב, מוקפת בעור המכיל פיגמנט – "הילה" אשר מכילה בלוטות זיעה. ההילה עשירה בעצבים אשר ממלאים תפקיד בתהליך הוצאת החלב מהשד. צינורות החלב מתרחבים ליצירת סינוסים מתחת להילה. בסינוסים מתנקז החלב ובתהליך היניקה הוא מוצא החוצה.

בלוטות החלב של כל מיני היונקים ממוקמות משני צדי הקו המרכזי של הבטן. הפיזור שלהן שונה בבעלי חיים שונים (טבלה מס' 1): הן יכולות להיות מרוכזות באזור החזה כמו למשל באדם או בקופים עילאיים, באזור המפשעה כמו אצל מעלי גירה או פרושות לאורך באזור החזה, הבטן והמפשעה גם יחד, כפי שקורה אצל חתולות למשל.

טבלה מס' 1: מערכי בלוטות החלב ומיקום הפטמות באדם וביונקים שונים

מין	מספר פטמות	מיקום הפטמות			מס' פתחים לפטמה	מס' כולל של בלוטות חלב
		חזה	בטן	מפשעה		
פרה	4	–	–	4	1	4
עז, כבשה	2	–	–	2	1	2
סוסה	2	–	–	2	2	4
חזירה	12 עד 14	6	6	4	2	24 עד 28
חתולה	8	4	2	2	4 עד 8	32 עד 64
כלבה	10	4	4	2	8 עד 22	80 עד 220
ארנבת	12	6	2	4	1	12
עכברה	10	6	–	4	1	10
אישה	2	2	–	–	10 עד 20	20 עד 40



הרכב החלב



החלב מספק את תצרוכת הוולדות באנרגיה, בחלבון, בוויטמינים, במינרלים ובנוזלים. בבקר ובצאן משמש החלב בתחילת תקופת היניקה גם כמקור לנוגדנים. במינים אלה הוולדות נולדים כאשר מערכת חיסון שלהם חסרת נוגדנים. החלב שהוולד יונק בתחילת חייו נקרא קולוסטרום, והוא עשיר בנוגדנים הנספגים דרך דופן המעי למחזור הדם של העגל, הטלה או הגדי. מעבר הנוגדנים מהאם לוולדות באמצעות הקולוסטריום נפסק כעבור מספר ימי הנקה. זאת מאחר והפרשת הנוגדנים לחלב מצד האם הולכת ופוחתת. במקביל פוחתת גם יכולת מעבר הנוגדנים דרך דופן המעי של העגלים והטלאים אל מחזור הדם שלהם. הרכב החלב שונה באופן ניכר בין מינים שונים של יונקים, ואף בין פרטים מאותו מין. המרכיבים העיקריים של החלב הם: מים, לקטוז (סוכר החלב), שומן, חלבונים ומינרלים.



להלן פירוט המרכיבים העיקריים של החלב ותכונותיהם:

מים – החלב של רוב היונקים מורכב ברובו ממים. לדוגמה: חלב פרה מכיל כ-87% מים.
לקטוז – סוכר זה מהווה מקור עיקרי של פחמימות ליונק ומצוי בחלב של רוב היונקים. הלקטוז הוא דו-סוכר המורכב מגלוקוז ומגלקטוז. לקטוז מיוצר אך ורק בבלוטת החלב. ריכוזו מהווה מרכיב חשוב בקביעת הלחץ האוסמוטי של החלב. כיוון שכך, ריכוז הלקטוז בחלב קובע את כמות המים בחלב.

שומן – שומן החלב הוא תערובת של ליפידים, בעיקר טריגליצרידים. שומן החלב מהווה את המקור העיקרי לליפידים המשמשים לבניית מאגרי השומן בוולדות. כמו כן, השומן מהווה את מקור האנרגיה העיקרי של ולדות הניזונים על החלב. תכולת השומן בחלב שונה באופן ניכר בין מינים ובתוך מינים.

חלבונים – קיימים מספר סוגים של חלבונים בחלב, מהם המצויים אך ורק בחלב כדוגמת הקזאינים. חלבונים אחרים הם אנזימים שונים, חלבונים המעורבים במעבר חומרי מזון, חלבונים המעורבים בהגנה מפני מחלות (נוגדנים ואחרים), גורמי גדילה ועוד.

מינרלים (אפר) – המינרלים העיקריים בחלב הם סידן וזרחן. אלה דרושים להתפתחות השלד של הצאצא. המינרלים מצויים בחלב כתצמידים (כקומפלקסים) יחד עם חלבוני החלב, הקזאינים.

חומרים נוספים: בחלב מצויים גם חומרים נוספים כוויטמינים.

תכולה מייצגת של המרכיבים השונים בחלב (כאחוזים ממשקל החלב) במינים שונים מפורטת בטבלה מס' 2.

טבלה מס' 2: הרכב מייצג של החלב (ב-%) במינים שונים

מין	מרכיב				
	מים	שומן	לקטוז	קזאין	חלבונים אחרים
פרה	87.1	3.8	4.8	2.9	0.7
עז	87.2	4.1	4.2	2.9	0.8
כבשה	83.2	6.2	3.4	4.3	1.1
סוסה	89.3	1.6	6.1	1.6	0.9
חזירה	82.6	7.0	4.0	3.8	1.7
כלבה	79.2	8.5	3.7	3.9	3.5
חתולה	82.4	5.0	5.0	3.7	3.3
ארנבת	67.8	16.0	2.0	9.2	2.8
עכברה	68.0	15.0	3.0	9.3	2.7
צבייה	63.3	22.5	2.5	8.3	2.0
לוויתן	46.7	44.0	1.8	7.0	–
אישה	87.4	3.8	7.0	0.9	0.7

גדילה והתפתחות של בלוטת החלב



בלוטות החלב מתחילות להתפתח בעובר הבקר באזור המפשעה בין היום ה-32 לבין היום ה-43 לחיי העובר. ממועד הלידה ועד לגיל הבגרות המינית העטין מתפתח בקצב איטי, המקביל לקצב גדילת גוף העגלה (גדילה איזומטרית). התפתחות העטין מואצת לאחר הבגרות המינית, תוך שהיא מבוקרת על ידי הפרשה של מספר הורמונים וביניהם אסטרוגן ופרוגסטרון המופרשים מהשחלה, ופרולקטין והורמון הגדילה המופרשים מבלוטת ההיפופיזה. המסה העיקרית של עטין עגלה אשר טרם הגיעה לבגרות מינית מורכבת מרקמת שומן ומרקמת

חיבור. ניתן להבחין בעטין בשלב זה במערכת דם, במערכת עצבים, כמו גם בברכות החלב ובצינורות החלב. האפיתל של הנאדיות נשאר עדיין בלתי ממיון. בגיל 18 חודשים מערכת צינורות החלב בעטין העגלה כבר מפותחת היטב. הצינורות הסופיים מתחילים להתמייין בגיל זה לנאדיות והתפתחות רקמת ייצור החלב ממשיכה עם כל הופעה של מחזור ייחום.

רוב ההתפתחות וההתמיינות של רקמת ייצור החלב בעטין מתרחשת במהלך ההיריון, תחת הבקרה של הורמונים סטרואידים המופרשים מהשחלה; הורמונים המופרשים מההיפופיזה; הורמונים המופרשים מן השליה כלקטוגן שלייתי; והורמונים המעורבים בבקרת חילוף החומרים כאינסולין, טירוקסין וקורטיקוסטרואידים. גדילת העטין מואצת עם התפתחות ההיריון ובמהלכה רקמת ייצור חלב, כלי דם ולימפה ורקמת חיבור תומכת הולכים ותופסים את מקום שכבת השומן.

במשך ארבעת חודשי ההיריון הראשונים, אסטרוגן הוא ההורמון החשוב ביותר בבקרה על גדילת העטין, והוא זה אחראי על הסתעפות ועל התארכות צינורות הובלת החלב. לקראת סוף חודש ההיריון הרביעי עולה חשיבותו של הפרוגסטרון בבקרה על התפתחות העטין. יחד עם האסטרוגן הוא מבקר את התפתחות הנאדיות באוניות אשר בקצה צינורות החלב. מחודש שישי ואילך, ניתן כבר להבחין במבנה האונות בעטין, והתפתחות המבנה האונות-נאדיות נמשכת הלאה כאשר הנאדיות מתחילות להתמלא בחלב. התהליך בו מתפתחת רקמת העטין מכונה מְמוֹגֶנְזִיס (ממו = בלוטת החלב; גנזיס = התפתחות).

תהליך ההתמיינות בו תאי האפיתל מפתחים יכולת לייצר חלב מכונה לְקוֹטוֹגֶנְזִיס (ייצור חלב). במשך החודש האחרון של ההיריון מתרחש השלב הראשון של הלקטוגנזיס בו חלה התפתחות מואצת של תאי ייצור חלב והאצה בקצב ייצור החלב. בשבוע האחרון של ההיריון העטין מתחיל להתמלא בקולוסטרון, ובחלק מהפרות ניתן אף לראות את הקולוסטרון מטפטף מהפטמות כתוצאה מעלייה בלחץ בתוך העטין. תהליך יצירת הקולוסטרון נקרא קולוֹסְטְרוֹגֶנְזִיס.

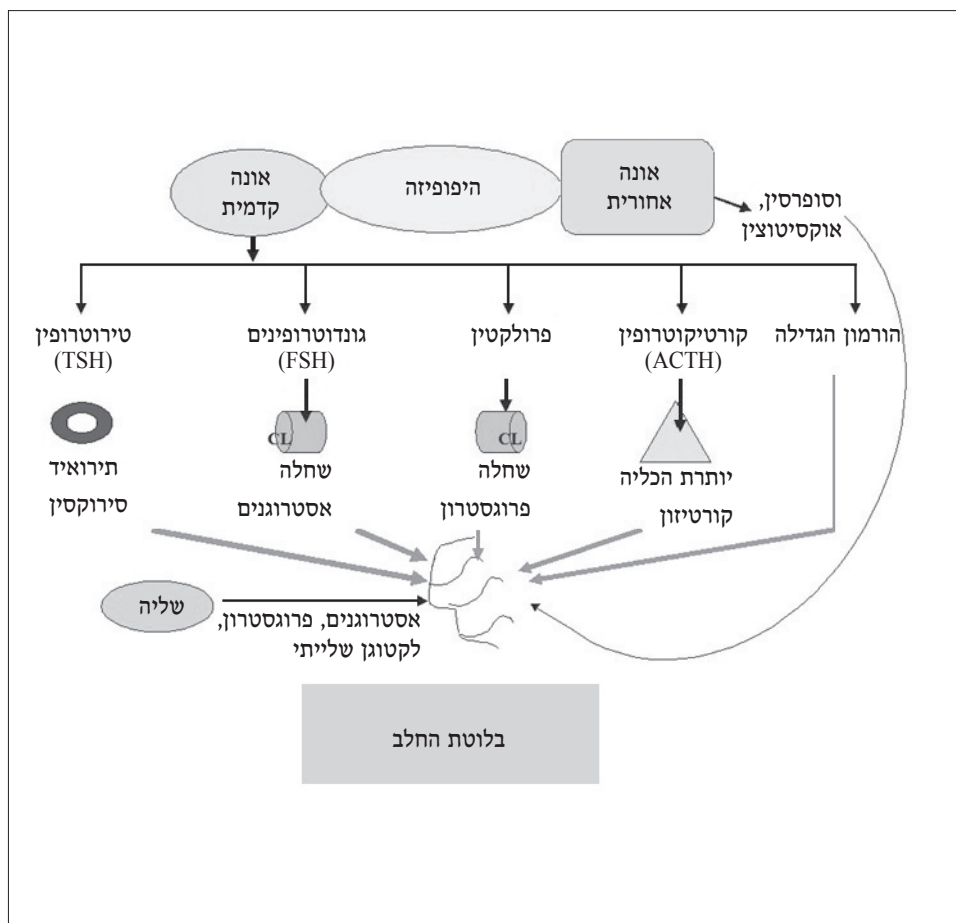
מספר ימים לאחר ההמלטה חלה עלייה משמעותית בריכוז השומן, הקזאין והלקטוז בחלב. תקופה זאת של הפרשה רבה של חלב קרויה "השלב השני של הלקטוגנזיס". תקופה זו מאופיינת בירידה ברמות הפרוגסטרון בגוף הפרה, ובמקביל בהפרשה רבה של פרולקטין, של הורמון המגרה ייצור והפרשה של גלוקוקורטיקוסטרואידים ושל אסטרוגן. הפרוגסטרון מעכב את תחילת התחלובה באופן חלקי על ידי עיכוב ייצור הלקטוז. לכן, ככל שרמת הפרוגסטרון יורדת במהלך סוף ההיריון, ייצור הלקטוז עולה וחלב מתחיל להיאגר ברקמת הבלוטה. נראה שלפרוגסטרון יש השפעה ישירה על תאי בלוטת החלב. הפרוגסטרון מדכא את הפעילות של הורמון הפרולקטין, ובכך מדכא בין היתר את ייצור ה- α -lactalbumin, החשוב ליצירת הלקטוז. נוכחות לקטוז בחלב הנאדית גורמת לחדירת מים וחומרים המומסים במים לחלב.

קורטיקוסטרואידים מעודדים התפתחות של הרטיקולום האנדופלסמטי הגס (RER) ושל גופי גולג'י בתאי ייצור החלב. הפרולקטין אחראי על ייצור ועל אגירה של חלבוני החלב בגופים התוך תאיים, שעל התפתחותם אחראים הגלוקוקורטיקואידים. עלייה ברמת הפרולקטין לפני ההמלטה חיונית לשם הפרשה מרבית של חלב.

הבקרה ההורמונלית על ייצור חלב



מנגנון של משוב חיובי מביא לכך כי הוצאת החלב מהעטין (בחליבה או ביניקה) מעודדת את המשך ייצור החלב. כך, תנובת החלב היומית הולכת ועולה ממועד ההמלטה עד שהיא מגיעה לשיא לאחר 60 עד 90 ימים. לאחר מכן, קצב ייצור החלב ברוב הפרות הולך ויורד.



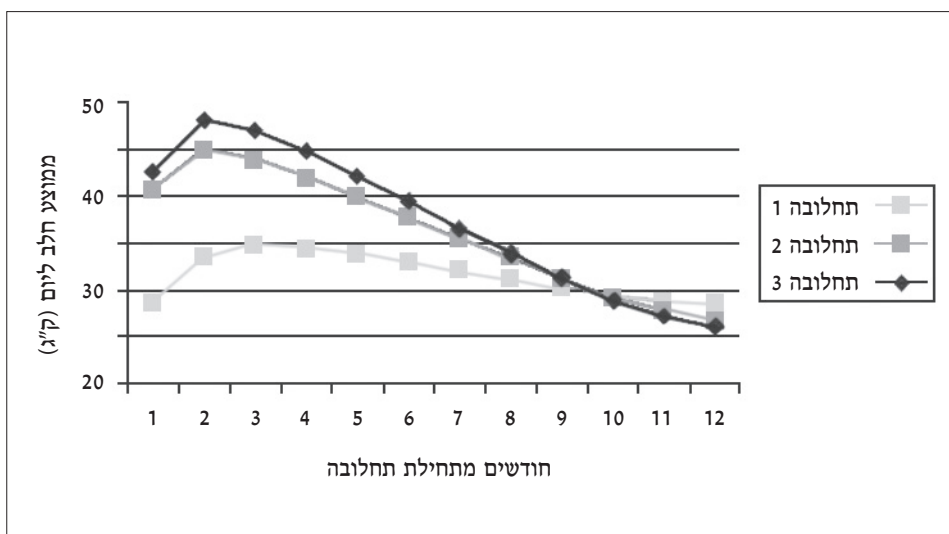
תמונה מס' 7: הורמונים המבקרים את ייצור החלב

היקף ייצור חלב בעטין תלוי במספר התאים המייצרים חלב, בקצב הפרשת החלב מהתאים ובקצב ריקון החלב מהנאדית. לפרולקטין ולהורמון הגדילה – הורמונים המופרשים מן האונה הקדמית של ההיפופיזה, חשיבות רבה בבקרה על פעילות הפרשת החלב מתאי האפיתל שבנאדית. נראה שהפרולקטין מעורב בעיקר בתהליך גדילת תאי בלוטת החלב ובהתמדה של התחלובה, בעוד שהורמון הגדילה מגרה את ייצור החלב במשך התחלובה על ידי ניתוב מטאבוליטים ממאגרי הגוף לבלוטת החלב.

הורמונים אחרים המופרשים מהאונה הקדמית של ההיפופיזה, האֶדְרֶנוֹקוֹרְטיקוֹרופִּין והֶטִירוֹרופִּין, מעורבים גם הם בבקרת ייצור החלב בעטין. האדרנוקורטיקורופין מבקר הפרשת הורמונים גלוקוקורטיקואידים מקליפת בלוטת יותרת הכליה. האחרונים הכרחיים להשריית תחילת התחלובה ולהמשכה. טירורופין מבקר הפרשת הורמונים מבלוטת התירואיד: תירוקסין וטרי־יודוֹטירון, ואלו מגרים ייצור חלבון חלב ומעלים את תנובת החלב. הורמון אחר המיוצר בתירואיד, תירוקלֶצִיטוֹנִין, והורמון הפֶּה־תירואיד מבקרים את המטבוליזם של סידן ושל זרחן. אינסולין, המיוצר על ידי הבלב, מעורב במטבוליזם של גלוקוז בעטין. הורמון האוקסיטוצין הוא הורמון המשרה כיווציות, ובכך הוא מבקר את ריקון תכולת הבלוטות ואת הורדת החלב.

אותות עצביים המיוצרים בעטין בעקבות גירוי במהלך יניקה או במהלך חליבה עוברים דרך עצבי חוט השדרה להיפותלמוס. בהיפותלמוס ממוקמים מרכזים המבקרים שחרור הורמונים מהאונה הקדמית של ההיפופיזה. להורמונים אלו יש קולטנים (רצפטורים) בתאי ייצור החלב. התחברותם של ההורמונים אל קולטנים אלו מניעה רצף אירועים בציטופלסמה של התאים, שתוצאתם היא מעבר של מטבוליטים מהדם הזורם בעטין אל התאים, וייצור של חלבוני חלב בתאי העטין. הורמונים סטרואידים כמו אסטרוגן ופרוגסטרון המופרשים מהשחלה לדם, מגיעים לתאי האפיתל ומשפיעים על קצב חלוקתם. כך, שתחת צריכה מתאימה של חומרי מזון, התחלובה נמשכת בעיקר הודות לריקון העטין מחלב (לפחות פעמיים ביממה) אשר בתהליך של משוב חוזר, גורמת לשחרור הורמונים המעודדים ייצור חלב.

כאמור, עקומת התחלובה מאופיינת בעלייה בייצור החלב עד לשיא (ראה/י תמונה מס' 8). הירידה בקצב ייצור החלב לאחר ההגעה לנקודת השיא נובעת בעיקר מירידה במספר התאים המייצרים חלב בעטין, ובמידה מסוימת נובעת גם מירידה בקצב ייצור החלב בכל תא ותא. ירידה בייצור החלב במהלך התחלובה מואצת כאשר הפרה בהיריון. בדרך כלל, פרות בעדרי הבקר לחלב מוזרעות ונכנסות להיריון בין 80 ל־120 ימים לאחר ההמלטה. מצב ההיריון אינו תואם את מצב התחלובה, כיוון שפרוגסטרון המופרש מהשחלה ומהשליה במהלך ההיריון מעכב את פעולתם של הורמוני האונה הקדמית של ההיפופיזה, אשר מבקרים מצדם את ייצור החלב. מבחינה הורמונלית מצב ההיריון אינו תואם את מצב התחלובה גם בשל תחרות על חומרי מזון בין הרחם, בה מתפתח העובר, לבין העטין בו מיוצר החלב.



תמונה מס' 8: עקומות תחלובה אופייניות לפרות בעדר החלב

כ־60 ימים לפני ההמלטה הצפויה, במידה והפרה לא "התייבשה" וחדלה לייצר חלב בעצמה, מופסקת חליבת הפרה והיא "מתייבשת". בעבר, הפסקה זו נעשתה בהדרגה. עם זאת, בממשק האינטנסיבי הקיים כיום, נהוג להפסיק את החליבה בבת אחת תוך כדי החדרת אנטיביוטיקה לעטין כדי למנוע התפתחות דלקת עטין. הפסקת החליבה מביאה להצטברות נוזלים בעטין ולעלייה בלחץ התוך-עטיני, וכן לעלייה בריכוז של חלבון מסוים (Feedback Inhibitory of Lactation - FIL), המיוצר על ידי תאים מייצרי חלב. חלבון זה מעכב את המשך ייצור החלב על ידי תאי האפיתל. עם הפסקת החליבה מתחיל תהליך של ספיגה מחדש של מרכיבי החלב השונים מהעטין אל מחזור הדם. תהליך הצטברות הנוזלים בעטין מגיע לשיאו כ־48 עד 72 שעות מהפסקת החליבה, ומאותה עת ואילך נפח הנוזלים הולך וקטן עד ליום 30 מתחילת הייבוש. במהלך תקופת היבוש רוב תאי ייצור החלב אצל פרות אינם מתים, כפי שקורה למשל במכרסמים, אלא עוברים למצב של חוסר הפרשה.

ייתכן והישרדות התאים בעטין נובעת מפעילות הורמונלית הקשורה להיריון המתרחש בו זמנית. כזכור, במשך השלב האחרון של ההיריון, ובמשך השלב הראשון של התחלובה מתקיים תהליך של גדילה והתפתחות של רקמת ייצור החלב, בעיקר באזורים ההיקפיים של הרבעים. לכן, מתחלובה לתחלובה תנובת החלב תהיה גבוהה יותר (ראה/י תמונה מס' 8). כך למשל, תנובת החלב בתחלובה חמישית גבוהה בכ־30% מתנובת החלב בתחלובה ראשונה. קצב העלייה בתנובת החלב בין התחלובות הולך וקטן עם העלייה במספר התחלובה. כלומר, שיעור העלייה בתנובת החלב בין התחלובה הראשונה לשנייה גבוה יותר מאשר שיעור העלייה בין התחלובות השנייה והשלישית.

ייצור והפרשה של מרכיבי החלב העיקריים



שומן, קזאין (חלבון החלב) ולקטוז (סוכר החלב) מיוצרים מחומרי מוצא אשר עוברים מהדם אל התאים מייצרי החלב. מרכיבים אחרים כמו מים, נוגדנים, ויטמינים, מלחים ויונים מועברים מהדם דרך האפיתל של הנאדיות לתוך חלל הנאדית.

חלבונים

רוב החלבונים המצויים בחלב מיוצרים מחומצות אמינו חופשיות, הנספגות מזרם הדם דרך הממברנה הבזלית על ידי תאי האפיתל של בלוטת החלב. החלבון העיקרי בחלב הנו הקזאין. הוא מצוי בחלב בצורה של מיצלות (צבר של חלבון דחוס) אשר מהוות למעשה תלכיד (קומפלקס) של קזאין, סידן וקבוצות זרחניות (PO_4^-). קוטר המיצלות הוא כ-140 ננומטר. הן מורכבות ממספר חלבוני קזאין: α , β ו- α . ה- α קזאינים שונים זה מזה בקבוצות פוספוריות ($\alpha\text{s}3$, $\alpha\text{s}4$, $\alpha\text{s}5$, $\alpha\text{s}6$). β -Casein הוא המרכיב העיקרי של הקזאין בחלב בקר, אך נמצא בכמות מעטה יחסית בחלב אדם. κ -Casein מפוזר על פני השטח החיצוני של המיצלה ומייצב אותה.

חלבוני חלב נוספים מופיעים במי החלב (נוזל הנשאר לאחר הפרדת המוצקים מהחלב) והם:

β -Lactoglobulin – הוא המרכיב העיקרי (כ-50%) של חלבוני מי החלב במעלי גירה ובחזירים. עם זאת, הוא לא נמצא בחלב של הרבה מינים אחרים. תפקודו לא ידוע. ייתכן שהוא חומצת שומן או חלבון הקשור לשומנים. הוא נמצא בחלב של מינים בהם יש מעבר של נוגדנים במהלך ייצור הקולוסטרום.

α -Lactoglobulin – מהווה כ-25% מכלל חלבוני מי החלב. הוא משמש כחלבון בתוך קומפלקס של האנזים האחראי לייצור הלקטוז (ראה/י להלן). לכן יש לו חשיבות רבה בבקרה על ייצור החלב. ייתכן שיש לו תפקידים נוספים בייצוב ממברנת טיפות השומן בחלב. בנוסף, הוא קושר יוני סידן ויוני אבץ.

ישנם חלבונים נוספים בחלב כגון:

אֶלְבּוּמִין – חלבון המגיע מהדם רק במקרה של פגיעה בתאי האפיתל כתוצאה מדלקת עטין או בתקופת היובש. תפקידו אינו ידוע. הוא מחובר אל חומצות שומן ולמולקולות קטנות אחרות.

אִימוֹנוֹלוֹגְבוֹלִינִים – אלה הם הנוגדנים אשר נמצאים בריכוז גבוה בקולוסטרום ובריכוזים נמוכים בחלב רגיל.

לְקִטּוֹפְרִין – חלבון אשר אליו קשורים יוני ברזל, והוא בעל תכונות אנטימיקרוביאליות. ריכוזו בחלב עולה בעת דלקת עטין או בתקופת היובש. בחלב אדם הוא מרכיב עיקרי במי גבינה. בחלב ניתן למצוא חלבונים נוספים אך אלו שהוזכרו לעיל הם העיקריים.

סוכרים

לקטוז: לקטוז הוא דו-סוכר הנמצא רק בחלב. הוא מיוצר משני חד-סוכרים: גלוקוז וגלקטוז. ריכוז המומסים בדם זהה לזה שבחלב. מכאן, נוכחות הלקטוז בחלב כרוכה בהימצאות ריכוזים נמוכים יותר של נתרן וכלור בחלב.

שומנים

שומן החלב מורכב ברובו מטריגליצרידים (קרוב ל-98%). שני האחוז הנותרים הם שומנים אחרים הכוללים: דיאצילגליצרידים, מונואצילגליצרידים, פוספוליפידים, כולסטרול, גליקוליפידים וחומצות שומן חופשיות. הטריגליצרידים בחלב מיוצרים על ידי תאי האפיתל מייצרי החלב. מקור חומצות השומן לייצור הטריגליצרידים הוא משני מקורות: מהדם ומייצור מקומי בתאי האפיתל מייצרי החלב.

רפלקס הורדת החלב



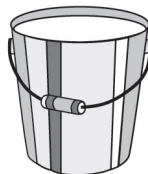
הפרשת החלב

בפרקי הזמן שבין חליבות או בין יניקות מצטבר חלב בעטין. רוב החלב נאגר בחללי הנאדיות ומיעוטו בצינורות החלב ובבִּכְרוֹת החלב. ללא גירוי העטין, גירוי שבעקבותיו מתכווצות הנאדיות והחלב מוזרם מהן לברכת החלב, ניתן להפיק מהעטין רק כמות מועטה יחסית של חלב. תהליך שחרור החלב מהנאדיות מתרחש לאחר שתאי המיואפיתל המקיפים את הנאדיות מתכווצים בתגובה לפעולת ההורמון אוקסיטוצין המופרש מההיפופיזה. תהליך פליטת החלב מהנאדיות הוא בלתי רצוני, דמוי רפלקס, ואינו תחת בקרת ההכרה של הפרה.

גירוי העטין על ידי יניקת העגל או על ידי מגע אצבעות החולב בפטמות, גורם לשדר עצבי אשר מביא ליצירת אוקסיטוצין בהיפותלמוס. ההורמון מופרש מההיפותלמוס ונאגר באונה האחורית של ההיפופיזה. לאחר גירוי העטין, האוקסיטוצין מופרש מההיפופיזה למחזור הדם ומביא בסופו של דבר לשחרור החלב מהנאדיות – ל"הורדת החלב". הזמן העובר מרגע הגירוי ועד להגעת ההורמון האוקסיטוצין אל תאי בלוטת העטין הוא כ-30 שניות. גירוי הפרה יכול לבוא לאחר ההמלטה כתוצאה מריח או ממראה הוולד. במקרה זה התגובה לגירוי מוגדרת כ"לא מותנית". גירויים אחרים, כמו למשל אלו הקשורים בקולות ובמראה או בפעולות אחרות הקשורות לשגרת חליבה, גורמים גם הם להורדת חלב והם מוגדרים כ"תגובה מותנית". עם יצירת התגובה המותנית יש לשמור על רצף הפעולות באופן קבוע ברפת בכדי להרגיל את הפרה להוריד את החלב בסמוך לחליבתה.

התעלמות מחשיבות רפלקס הורדת החלב, כמו במקרה של הרכבת אשכול החליבה על העטין ללא גירוי מוקדם של העטין, עלולה להביא לכך כי רק כמות קטנה של חלב תיחלב בתחילת החליבה. בחליבה ללא גירוי מוקדם של העטין ייחלב תחילה החלב האגור בבִּרְכּוֹת החלב (המהווה לכל היותר כ-10% מכלל החלב בעטין). מאחר ולא החלה זרימת חלב מהנאדיות לבִּרְכּוֹת החלב, תיפסק הזרמת החלב מהעטין למכונה עד שגירוי העטין כתוצאה מפעולת החליבה עצמה יביא להורדת החלב מהנאדיות אל בִּרְכּוֹת החלב. זמן זה בו מכונת החליבה יונקת אך החלב אינו יוצא מהעטין מוגדר כ"זמן מת". בפרק זמן זה, כאשר קצה הפטמה חשוף ליניקת סָרָק, גובר הסיכון לחדירת אוויר בין הפטמה לבין הבטנה (צפצופים), וכן גדל הסיכון לשמיטת האשכול. כל אלה גורמים כאבים לפרה והיא עלולה להיכנס למצב של עקה בה ייעצר שחרור החלב מהעטין, כפי שיוסבר בהמשך.

עם סיום החליבה נותרת בעטין כמות חלב מסוימת. כמות זו מוגדרת כ"חלב שרידי". ניתן להפיק חלב זה מהעטין רק לאחר הזרקת אוקסיטוצין, פעולה שאינה נעשית ברפת בממשק חליבה רגיל, ונגקטת רק במסגרת ניסיונות. גורמים שונים עלולים להשפיע על כמות החלב שנותרת בעטין לאחר החליבה וביניהם: אי-הקפדה על זמני חליבה, עיכוב בהרכבת מכונת החליבה לאחר תחילת הכנת הפרה, הופעת גורמי עקה כגון מכות או צעקות תוך כדי חליבה. חלב שרידי בכמות רבה יחסית יישאר בעטין גם במקרה של פרות איטיות חליבה. אצל אלה, זמן החליבה מתארך מעבר לזמן השפעתו של האוקסיטוצין המופרש מהיפופיזה הפרה.



עיכוב רפלקס הורדת החלב

הפרעות שונות במהלך החליבה עלולות ליצור מצב של עקה אצל הפרה. במצב זה משתחרר ההורמון אֶפִינֶפְרִין (אדרנלין) מבלוטת יותרת הכליה, וגורם לכיווץ כלי דם בעטין ולעיכוב חלקי או מלא של שחרור אוקסיטוצין מהאונה האחורית של ההיפופיזה. בנוסף, אפינפרין פועל ישירות על תאי המיואפיתל אשר בנאדיות וחוסם את אתרי הקישור לאוקסיטוצין. כתוצאה מכל אלה תהליך הורדת החלב עלול להיפגע. מנגנון נוסף המביא להפרעה בפעולת החליבה בעת עקה הוא עלייה במתח (טונוס) של השרירים החלקים בצינורות אוספי החלב, דבר המביא להיצרות המפריעה לזרימת החלב. תופעה כזאת מוכרת בהרבה מבכירות המייצרות חלב לראשונה בחייהן.

הלחץ בתוך העטין

לחץ החלב בתוך העטין נמדד בבֶּרֶכַת הפטמה. לחץ זה גדל ככל שהמרווח בין החליבות גדל והוא מגיע לשיאו כאשר המרווח הוא בן 25 עד 30 שעות. במהלך השעה הראשונה לאחר סיום החליבה הלחץ התוך עטיני עולה בצורה מהירה יחסית. לאחר מכן, במשך 5 עד 6 שעות, העלייה בלחץ מתמתנת כתוצאה מהתמתחות רקמות העטין. בהמשך, הלחץ ממשיך לעלות עד לחליבה הבאה.

הלחץ בתוך העטין לקראת תחילת החליבה תלוי במרווח בין החליבות, בקיבולת העטין ובתנובת החלב של הפרה. הלחץ בעטין לקראת תחילת החליבה גדל ככל שהמרווח בין החליבות גדל. הלחץ יגיע לשיאו כאשר המרווח הזה יהיה בן 25 ל-35 שעות. כאשר העטין לא נחלב כלל, הלחץ בעטין יתחיל לרדת לאחר 120 שעות כתוצאה מספיגה חוזרת של חלק ממרכיבי החלב אל הדם.

קצב ייצור החלב ותדירות החליבות

בעבר רווחה הדעה כי קצב ייצור החלב בעטין מיד לאחר החליבה הוא הגבוה ביותר. לאחר מכן, קצב זה הולך ויורד כתוצאה מעלייה בלחץ התוך עטיני. מחקרים מלמדים שלא כך הוא המצב. אם מסירים את השפעת החלב השרידי הנשאר בעטין לאחר כל חליבה, קצב ייצור החלב בעטין קבוע כל עוד המרווח בין החליבות אינו עולה על 12 שעות.

העובדה שקצב ייצור החלב בעטין קבוע יכולה להביא למסקנה מוטעית כי למספר החליבות ביממה אין השפעה על תנובת החלב היומית. אולם, לא כך הדבר. עבודות רבות הראו שתנובת החלב של הפרה הולכת ועולה עם העלייה במספר החליבות ביממה (תוך ירידה בריכוז המוצקים בחלב). עלייה זו אינה מוסברת בהקטנת הלחץ התוך עטיני עם הקטנת מרווחי הזמן בין החליבות, אלא בדילול נוכחותו של מרכיב חלבוני בחלב אשר הצטברותו בעטין גורמת

לדיכוי ייצור החלב. חלבון זה מכונה (Feedback Inhibitory of Lactation - FIL). הוכחות לפעילותו המעכבת של חלבון זה הושגו בשנים האחרונות: הזרקתו לעטינים גרמה לעיכוב זמני בייצור החלב. השפעת חלבון זה היא מקומית: אי־חליבת רבע מסוים של העטין תביא לירידה בתפוקת החלב של אותו רבע, אך לא תפגע בתנובת החלב של הרבעים האחרים.

חליבה שאינה מושלמת

חליבה שאינה מושלמת משמעותה השארת חלב זמין בעטין כתוצאה מהסרה בטרם עת של מכונת החליבה. כאשר כמות החלב שנשארת בעטין גדולה מדי, הדבר עלול לגרום לדיכוי בייצור החלב (ראה/י סעיפים קודמים). אם מכונת החליבה תוסר כאשר קצב זרימת החלב לא עלה על 0.5 ליטר/דקה לא תהיה פגיעה בתנובת החלב.

שגרת חליבה



תנובת החלב של הפרה מושפעת מתדירות חליבה, מפעולות הנקטות במהלך שגרת החליבה ומאירועים של חליבה לא מושלמת כפי שפורט בסעיפים הקודמים. המטרה העיקרית של שגרת חליבה נכונה היא להפיק את כמות החלב המרבית המיוצרת על ידי הפרות. הפקת החלב מהעטין צריכה להיעשות מבלי לאפשר חדירת חיידקים מחוללי מחלות (פתוגניים) אשר עלולים לגרום לדלקות עטין. שגרת חליבה נכונה מורכבת ממספר פעולות, הכוללות גירוי יעיל של הפרה כדי להביא לשחרור החלב ואיסוף החלב לאחר יציאתו מהעטין. כאשר תהליך פליטת החלב (Milk ejection) נפגע, כמות החלב שנשארת בעטין רבה. בנוסף, אם לאחר הגירוי להורדת החלב החלב אינו מוסר, תנובת החלב תפחת.

פליטת החלב היא תהליך המבוקר על ידי גירוי עצבי המלווה בהפרשת ההורמון אוקסיטוצין. הגירוי העצבי מתקיים בקצות הפטמות ובבסיס העטין. אזורים אלו עשירים בעצבים הרגישים ללחץ ולחום. את אלה ניתן לגרות באמצעות פעולות ידניות (שטיפה, ניגוב, מישוש) או באמצעות מכונת החליבה (בטנת החליבה). הגירוי העצבי מביא להפרשת ההורמון האוקסיטוצין. הורמון זה מיוצר בבלוטת ההיפותלמוס ונאגר באונה האחורית של ההיפופיזה. עם שחרורו לזרם הדם הוא מגיע אל העטין, ושם גורם לכיווץ של תאי מיואפיתל המקיפים את נאדיות

החלב, ומביא לפליטת החלב לעבר צינורות החלב הגדולים, ברכת החלב וברכת הפטמה. בתוך כך, לחץ החלב בעטין עולה בצורה ניכרת. עליית הלחץ בעטין היא תהליך חולף הנמשך רק מספר דקות. לכן, ככל שמרווח הזמן בין תהליך פליטת החלב לבין סוף החליבה יגדל, כך תגדל כמות החלב השרידית בעטין.

כדי לנצל נכון את תהליך פליטת החלב יש חשיבות רבה לתזמון נכון של הרכבת מכונת החליבה. שגרת חליבה נכונה תביא להסרת החלב במשך זמן קצר ככל האפשר ותימנע התופעה של חליבה "על ריק" (חליבת יתר). מצב כזה עלול להתרחש בסוף החליבה אך גם מיד לאחר הרכבת האשכול, במידה ותהליך הפליטה לא החל.

הפעולות הננקטות במהלך שגרת החליבה הן:

רצוי להימנע ככל האפשר מהרטבת הפטמות במהלך הכנת העטין. יש לזכור כי מים מאפשרים נידודת חיידקים. לכן, אם העטין לא ינוגב, מים מזהמים בחיידקים עלולים לחדור לרווח בין הבטנה לבין הפטמה במהלך החליבה ולהגביר את הסיכון לדלקות עטין. חיטוי פטמות לפני הרכבת מכונת החליבה מומלץ כדי לצמצם את נגיעות העטין בחיידקים המצויים בסביבת העטין. החיטוי יבוצע באמצעות מטליות טבולות בחומר חיטוי (בדרך כלל יוד בריכוז 1,000 חלקים למיליון). ניגוב הפטמות משאריות היוד נדרש לשם צמצום חדירת יוד לחלב. פעולת הניגוב תיעשה לאחר כ־30 שניות לפחות מתום פעולת החיטוי.

הכנת העטין

הורדת זליפי חלב לפני תחילת החליבה אינה פעולה הכרחית לשם ביצוע החליבה, אך היא נחוצה לשם אבחון שינויים בצבע החלב, נוכחות דם, פתיתים או גבן בחלב. הפעולה חייבת להיעשות כהלכה כך שהחלב בברכת הפטמה לא יידחף כלפי מעלה. דרך נכונה להורדת זליפים היא על ידי אחיזת הפטמה וסגירת האצבעות בזו אחר זו, בתנועת סחיטה מלמעלה כלפי מטה, לעבר קצה הפטמה. הורדת זליפים מגבירה את הסיכון של העברת חיידקים באמצעות ידי החולב מפרה לפרה. לכן, רצוי ללבוש כפפות ולחטא את הידיים מעת לעת. שימוש במערכות לזיהוי דלקות עטין תוך כדי חליבה, באמצעות בחינת השינויים במוליכות החשמלית של החלב ובתנובת החלב, מקטינה את הצורך לבצע הורדת זליפים, אולם הסיכון למשלוח דם למכל החלב נותר בעינו. מאידך, חוסר היכולת להבטיח ביצוע נכון של הורדת זליפים, וכן הזמן הנדרש לביצוע פעולה זו בעדרים גדולים, הביאו לכך שכיום במשקים רבים פעולה זו אינה מבוצעת.

אשכול החליבה יורכב על העטין לאחר כ־30 עד 60 שניות מתחילת הכנת העטין. הרכבה נכונה בסדר הבא תצמצם חדירת כמויות אוויר מיותרות: לאחר לחיצה על כפתור הפעלה – דבר שמאפשר

הרכבת מכונת החליבה

לואקום להגיע אל היחידה – יש לאחוז את הקומץ כך שגביעי החליבה שמוטים כלפי מטה. אם קיים כפתור לפתיחת/סגירת ואקום בקומץ יש להפעילו רק לאחר שאשכול החליבה נתון ביד החולב ומוכן להרכבה. במצב זה צינור החלב הקצר סוגר על השסתום (ניפל) בקומץ ומונע חדירת אוויר. הרכבת הגביעים תיעשה בזה אחר זה.

במהלך החליבה יש לתקן "צפצופים" ושמיטות גביעים קרוב ככל האפשר לזמן האירוע עצמו. לכן, תצפית נוחה על כל עמדות החליבה במהלך החליבה היא חיונית.

הסרת האשכול עם תום החליבה

כמעט בכל המשקים בישראל מותקנים כיום מסירי גביעים אוטומטיים, המסירים את האשכול לאחר שקצב זרימת החלב ירד מתחת לסף מסוים שהוגדר מראש. ברוב מערכות החליבה הסף להסרה הוא כ-300 סמ"ק/דקה, אם כי קיימת נטייה להעלות סף

זה ל-500 סמ"ק/דקה כדי לצמצם את זמן חליבת הפרה.

אם לא מותקן מסיר גביעים אוטומטי יש להסיר את המכונה עם קבלת התראה ממד זרימת החלב על ירידה בקצב זרימת החלב מתחת לסף מסוים. אשכול החליבה יוסר לאחר סגירת הוואקום. נהוג להשהות את הסרת המכונה כ-30 שניות לאחר קבלת ההתראה על סיום החליבה למקרה שהפרה לא שחררה את החלב (תגובה נפוצה כאשר הפרות מיוחמות ובמידה מסוימת גם כאשר הן חולות). אולם כיום, עם קיומן של מערכות לניהול החליבה חשיבות השהיה זו הולכת ומצטמצמת.

חיטוי פטמות בתום החליבה

חיטוי פטמות לאחר חליבה נמצא כתורם באופן משמעותי לירידת הנגיעות בדלקות עטין. עם תום החליבה תעלת מבוא הפטמה נותרת פתוחה בין 30 דקות ל-120 דקות. בפרק זמן זה חיידקים עלולים לחדור בצורה קלה יחסית לעטין. תמיסת החיטוי מונעת

את ריבוי החיידקים מסביב לפטמה ובתוך תעלת מבוא הפטמה, אליה התמיסה חודרת בכוח הנימיות. חומרי החיטוי לפטמות עוברים תהליך של תקינה, ולכן יש להשתמש רק בחומרים המאושרים לשם כך ובריכוז המומלץ. תוספת של גליצרין לתמיסה אפשרית במקרים של סדקים בפטמות (בעיקר באזורים קרים). ראוי לזכור שהוספת גליצרין לתמיסה מורידה מיעילות הפעילות האנטי בקטריאלית של תמיסת החיטוי.





נראה כי דלקת עטין היא הבעיה הבריאותית בעלת ההשלכה הכלכלית הגדולה ביותר בענף הבקר לחלב. הנזק הכלכלי הנגרם בעטיה של מחלה זו שונה בהתאם לסוג החיידק הגורם למחלה ובהתאם לחומרת הדלקת. מקור שם המחלה ביוונית עתיקה: Mastos פירושו שד (בלוטת החלב של האישה), והתוספת itis מציינת מצב דלקתי.

צורות שונות של דלקות עטין

דלקת עטין (Mastitis) נגרמת לרוב כתוצאה מחדירה של מיקרואורגניזמים (מק"א) אל בלוטת החלב דרך תעלת מבוא הפטמה. הדלקת פוגעת בתפקוד העטין. באופן כללי מבחינים בין "דלקת עטין תת-קלינית", שבה בלוטת החלב נגועה בחיידקים אך לא ניכרים עדיין בעטין סימני מחלה קליניים, לבין "דלקת עטין קלינית", המאופיינת בשינויים נראים לעין בעטין ובחלב. דלקת קלינית יכולה להיות מוגדרת כדלקת תת-אקוטית, כאשר ניתן להבחין בשינויים קלים במרקם החלב (הופעת פתיתים, גבן או הפרשה חסרת צבע) ובנפיחות קלה ורגישות של העטין. במקרה של דלקת עטין קלינית-אקוטית, צבע העטין הופך אדום, ניתן להבחין בנפיחות העטין והוא נעשה קשה למגע. כמו כן, חלים בדלקת עטין קלינית-אקוטית שינויים במרקם החלב וכן ירידה בכמות החלב עד כדי עצירת ייצור החלב. בנוסף, עלולים להופיע סימנים סיסטמיים (של כל הגוף) כמו עלייה בחום הגוף וירידה בתיאבון.

כאמור, לא ניתן לאבחן מצב של דלקת תת-קלינית על פי מראה העטין או על ידי מגע בו. ניתן לזהות דלקת זו באמצעות בדיקות שונות, היכולות להצביע על נוכחות ופעילות של מק"א בעטין, כמו למשל בדיקת המוליכות החשמלית של החלב. זו ניתנת לביצוע במהלך החליבה, תוך כדי זרימת החלב דרך מד החלב. נוכחות חיידקים בחלב בלוטת החלב גורמת לפגיעה בדופן תאי הבלוטה ולמעבר מואץ (כתוצאה מתהליך של השוואת ריכוזים) של יוני נתרן ויוני כלור מהדם אל החלב, ובכיוון ההפוך מעבר יוני אשלגן מהחלב לדם. כתוצאה משינוי זה בהרכב החלב המוליכות החשמלית שלו עולה.

דרך נוספת לבדיקת רמת הנגיעות התת-קלינית של העטין היא באמצעות בדיקה הנקראת CMT (California Mastitis Test). נגיעות העטין בחיידקים מביאה למעבר תאי דם לבנים אל בלוטת החלב. מדובר בעיקר במעבר של נוטרופילים ומקרופגים, אך גם במעבר של לימפוציטים. כל אלה מתנקזים לעטין תוך מטרה להשמיד את המק"א הפולשים. מספר

התאים הלבנים הנקראים כאן תאים סומטיים (סומה = גוף; תאים הנוודים מגוף בעל החיים אל רקמת העטין) עולה כאשר עולה נגיעות בלוטת החלב בחיידקים. במהלך הבדיקה מוסיפים לדגימת החלב תכשיר המביא לפירוק התאים הסומטיים שבדגימה. DNA המצוי בתאים משתחרר לחלב וגורם לעלייה בצמיגות הנוזל. צמיגות נוזל החלב נבדקת בצורה איכותית בבדיקת ה-CMT, כאשר הערך המתקבל בבדיקה עולה ככל שכמות התאים הסומטיים בדגימת החלב עולה. מבחן ה-CMT נעשה ברפת. זהו מבחן איכותי והוא אינו מדויק כספירת חיידקים המתבצעת במעבדה.

דרך מדויקת לבחינת רמת הנגיעות התת-קלינית היא ספירת התאים הסומטיים שבחלב. תאים סומטיים הם, כאמור, תאי אפיתל או כדוריות לבנות הנמצאים בחלב. במצב רגיל ישנם עד 500,000 תאים סומטיים בסמ"ק חלב. עלייתה בריכוז התאים הסומטיים מעבר לערך זה מעידה על דלקת עטין.

לשיטת התשלום עבור החלב חלק נכבד בצמצום תפוצת דלקת עטין בעדרי הבקר לחלב בישראל. שיטה זו נהוגה בישראל מזה שנים רבות. השיטה מבוססת על תשלום של פרס עבור חלב באיכות מעולה, המוגדר כחלב שמכיל לכל היותר 300,000 תאים סומטיים בסמ"ק; תשלום רגיל – שהוא "מחיר המטרה" עבור חלב המכיל בין 300,000 ל-500,000 תאים, תשלום קנס א' – שהוא 1% פחות ממחיר המטרה עבור חלב המכיל בין 500,000 ל-700,000 תאים, ותשלום קנס ב' – שהוא 2% פחות ממחיר המטרה עבור חלב המכיל מעל 700,000 תאים סומטיים בחלב.

זיהוי סוגי החיידקים בחלב נעשה במעבדה תוך גידולם בתרבות. התרבות היא הבסיס להמלצות באשר לטיפול במחלה.

דלקת תת-קלינית גורמת לפחיתה בתנובת החלב ולפגיעה באיכותו. משום כך, יש חשיבות רבה להערכה נכונה של שכיחות מקרי הדלקות בעדר. מאחר ודלקת זו אינה מלווה בשינוי במרקם החלב או בהופעת סימנים קליניים בעטין, רבים מהרפתנים אינם מעריכים נכון את מספר הפרות הנגועות בעדר. לעתים, שכיחות הדלקות התת-קליניות גבוהה פי 15 עד פי 40 מאשר שכיחות מקרי הדלקות הקליניות. דלקת עטין תת-קלינית עלולה להימשך זמן רב, ובדרך כלל מקדימה מופע קליני של המחלה. חשוב לאתר פרות הנגועות בדלקת עטין תת-קלינית ולטפל בהן, מכיוון שהן עלולות לשמש מקור להדבקת פרות אחרות במק"א ובפתוגניים אחרים הגורמים לדלקת עטין.

זיהוי דלקת עטין קלינית מתבצע באמצעות חישת העטין לאחר גמר החליבה. בדרך זו ניתן לזהות רבעים שהתקשו, שהתנפחו או שחומם עלה בשל דלקת אקוטית, וכן הופעה של רבעים אשר איבדו את צורתם הטבעית והתכווצו. באלה ניתן לחוש במוקדים קשים המעידים על התפתחות רקמת חיבור ועל נזק מתמשך.

דרך נוספת לזיהוי מקרים של דלקת קלינית היא בדיקת החלב היוצא בזליפים הנחלבים מהפטמה תוך כדי הכנת העטין לחליבה. חלב חריג יהיה בעל צבע שקוף עד צהבהב, ולעתים גם בצבע אדום המעיד על מעבר דם לחלב. כן יופיעו בו גושים או פתיתים. עם אבחון של חלב כזה, יופרד החלב ולא יישלח למֶכָל החלב הכללי אלא יישפך. הפרה תעבור טיפול עד להבראתה תוך שהיא ממשיכה להיחלב אלא, שכאמור, חלבה יישפך.

הורדת זליפים יכולה לעזור בהכנת העטין לחליבה, אך היא אינה הכרחית כאשר מבוצעת שגרת חליבה נכונה. במשך שנים רבות היה מקובל להוריד זליפים לספל ביקורת אשר בחלקו העליון הותקנו משטח שחור או רשת. רשת עדיפה על פני משטח קשיח כיוון שהיא מונעת התזת החלב לכיוון פרות שכנות. אולם, בשל משך הזמן הנדרש לביצוע הפעולה של הורדת זליפים לספל ביקורת קיימת נטייה בקרב החולבים, בפרט אצל אלה העובדים במכוני חליבה גדולים בהם מספר הפרות הנחלבות רב, להוריד את הזליפים היישר על גבי רצפת מכון החליבה. פעולה זו טומנת בחובה סיכון מאחר וחלב נגוע בחיידקים פאתוגנים ניתן ועלול לפגוע בפרות שכנות ולהדביקן.

נגיעות רבע עטין מסוים של פרה בדלקת עטין תת-קלינית או בדלקת קלינית אינה מחייבת כי גם שאר הרבעים של העטין יהיו נגועים. כאשר בוחנים רבעי עטינים של פרות בעדר בזמן נתון, ימצאו רבעים שיאובחנו כנגועים במק"א פתוגניים וכאלו שיימצאו כלא נגועים. בחלק מסוים של הרבעים הנגועים ניתן יהיה להבחין בסימנים קליניים של דלקת. תדירות המופע הקליני של המחלה ברבעים הנגועים תלויה במספר גורמים וביניהם סוג החיידק הנפוץ בעדר. אם החיידק הוא *Staphylococcus aureus*, דלקת תת-קלינית עלולה להימשך זמן רב ללא הופעת סימנים קליניים. בשונה מכך, פרות הלוקות בדלקת תת-קלינית הנגרמת מנוכחות *Escherichia coli* יפתחו בדרך כלל סימנים קליניים תוך שעות ספורות ממועד חדירת החיידק. גורמי עקה שונים גם הם יכולים להשפיע על התדירות של הופעת דלקות קליניות בעדר דרך השפעה על מערכת החיסון של בלוטת החלב.

מצב הנגיעות בדלקות עטין בעדר משתנה מעת לעת. רבעי עטין בריאים עלולים ללקות בדלקות תת-קליניות ובמשך הזמן חלק מהם יפתח דלקות קליניות. במקביל קיים גם תהליך הפוך של הבראת עטינים ושל מעבר ממצב של דלקת קלינית למצב של דלקת תת-קלינית, וממצב של נגיעות למצב בריא. יש והדבר מתבצע ללא התערבות רפואית ויש שההחלמה באה בעקבות טיפול אנטיביוטי.

בחלק מהפרות עלולה להתפתח דלקת עטין כרונית, המתאפיינת בהופעה חוזרת של דלקת קלינית אחת לתקופה. מרווח הזמן בין אירועי ההתפרצות של הדלקת הקלינית שונה ותלוי בין השאר בסוג המק"א בו נגועה בלוטת העטין ובמידת החשיפה של הפרה לתנאי עקה. בדרך כלל נגיעות בדלקת עטין כרונית מלווה בהתפתחות של רקמת חיבור בבלוטת החלב, ובשינויים בגודל ובצורה של הבלוטה. נשיאת המחלה מלווה גם בירידה בתנובת חלב.

התפתחות דלקת העטין

פי הפטמה ותעלת מבוא הפטמה הם המחסום העיקרי כנגד חדירת חיידקים לעטין. כאמור, דלקת מתפתחת כאשר החיידקים מצליחים לעבור את תעלת מבוא הפטמה, לחדור לבלוטת החלב ולהתרבות בה. חדירתם יכולה להתרחש במהלך החליבות וביניהן.

- ❖ חדירת חיידקים לעטין בין החליבות מתרחשת כאשר עם גמר החליבה חלה הפרעה בסגירת תעלת מבוא הפטמה על ידי שריר הספינקטר (Spincter). הפרעה זו עלולה להיגרם מסיבות שונות וביניהן: עייפות של השריר הסוגר בתום החליבה, פציעה בתעלת הפטמה או בצקת של תאי הרירית כתוצאה מנזק הנגרם במהלך החליבה.
- ❖ חדירת חיידקים לעטין בעת החליבה מתרחשת כאשר טיפות חלב שיצאו מהעטין והזדהמו בחיידקים זורמות בעוצמה בחזרה לכיוון הפטמה. הדבר קורה כאשר אוויר חודר בלחץ לפטמה כתוצאה משמיטות גביעים (צפצופים). מצב זה מתרחש בעיקר כאשר זרימת החלב מהעטין נחלשת על פי רוב לקראת סוף החליבה.

עם חדירת המק"א לתעלת מבוא הפטמה הם יכולים להתבסס שם ולשרוד מספר חודשים. מכאן, פתוחה הדרך להדבקת בלוטת החלב. לשם הפחתת הסיכון של חדירה ושל ריבוי מק"א בתעלת מבוא הפטמה חיוני לחטא את הפטמות בסוף כל חליבה. זרימת החלב מהעטין החוצה במהלך החליבה יכולה לגרום להרחקת מק"א שחדרו לברכת החלב. חלק מהמק"א כדוגמת סְטֶרְפִּיטוֹקוּס אֶגֶלְקִיָּה וסְטֶפִּילוקוּס אאורוס חומקים מכך, תוך שהם נצמדים לתאי האפיתל. *Escherichia coli* לעומת זאת, אינו יכול להיצמד לתאי אפיתל. יכולת הריבוי המהירה של חיידק זה היא הדרך בה הוא מתבסס בעטין למרות השטיפה החוצה.

קו ההגנה השני של בלוטת החלב כנגד פלישת מק"א הם התאים הסומטיים שמרביתם תאי דם לבנים. במידה והמק"א יפרצו גם קו הגנה זה, הם יתפשטו לעבר צינורות החלב ותאי רקמת ייצור החלב ויתרבו שם. במקומות אלו המק"א יכולים לשחרר רעלנים, אשר ישמשו כגורמי משיכה לתאי דם לבנים נוספים. מצב זה יגביר את עוצמת הדלקת ועלול להוביל לתמותת תאים מייצרי חלב.

תנועת תאי דם לבנים ונוזלים לתוך רקמת העטין בעקבות חדירת מק"א לבלוטת החלב היא תגובה חיסונית רגילה של הגוף, שמטרתה להיפטר מהפולשים הזרים ולהבריא את האזור הנגוע. תהליך דלקתי זה יכול להיות מתון, כפי שקורה בדלקות תת־קליניות, או יכול להיות חריף תוך שהוא מלווה, בהתאם לחומרת הדלקת הקלינית בבצקת, באדמומיות על פני העטין, בהתנפחות הבלוטה, בחום, בתגובת כאב למגע, ובירידה בייצור חלב – עד הפסקה מוחלטת במקרים קיצוניים. הרכב החלב גם הוא משתנה והפרשתו מלווה בהפרשת גושים, פתיתים או דם.

לאחר שתאי הדם הלבנים (אשר מהווים 98% מהתאים הסומטיים בחלב) יצאו מכלי הדם ועברו דרך רקמות העטין לאזור הנגוע, הם מצטברים מסביב לנאדיות, לצינורות החלב ולברכות

לפני שהם חודרים לחלב. בעת שהתאים הסומטיים עוברים דרך הרקמות באזור הנגוע, הם משחררים חומרים אשר יכולים לגרום להרס התאים מייצרי החלב, דבר המביא לירידה בייצור החלב.

נוכחות של מק"א על הרעלנים שהם משחררים, תאים סומטיים ונוזל לימפה באזור הנגוע עלולה לגרום לתאי ייצור חלב בריאים שלא נפגעו בשלב הקודם, להצטמק, תהליך המלווה בירידה הדרגתית בייצור החלב. בנוסף לכך, שאריות מהרקמה הפגועה, תאים סומטיים ומק"א עלולים לחסום את צינורות הובלת החלב אשר מנקזים אזורים של רקמת ייצור חלב. כאשר המק"א מושמדים הדלקת נרגעת, צינורות חסומים מתחילים להיפתח, ובתוך מספר ימים כמות והרכב החלב חוזרים לרמתם הקודמת. אולם, אם הדלקת נמשכת וצינורות החלב נותרים חסומים, חלב המצטבר בנאדיות החלב גורם להרס שלהן. את מקומה של רקמת ייצור החלב תופסת רקמת חיבור. כתוצאה מכך, תנובת החלב של הפרה יורדת הן בתחלובה עצמה והן בבאות אחריה.



מיקרואורגניזמים הגורמים לדלקות עטין

את המק"א הגורמים לדלקות העטין ניתן לסווג לארבע קבוצות לפי המקור ממנו הם מגיעים:

- ❖ מק"א מדבקים: מקורם הוא עטינים של פרות נגועות. מק"א אלו מועברים מפרה לפרה בעת תהליך החליבה.
- ❖ מק"א סביבתיים: מקורם הוא בסביבת הפרה. לכן, הם עלולים לחזור לעטין הן במהלך החליבה והן בפרקי הזמן שבין החליבות.
- ❖ מק"א מזדמנים: מק"א אלה נמצאים בשכיחות רבה על עור הפטמות והעטין. ניתן למצוא אותם ברוב דוגמאות החלב. הדבקה בהם מביאה לתהליך דלקתי מתון.
- ❖ מק"א אחרים: בקבוצה זו כלולים מק"א אשר גורמים לדלקות עטין, אך נדיר למצוא אותם בדוגמאות חלב.

דלקות העטין העיקריות נגרמות כיום בארץ בעיקר מחיידקים סביבתיים. העלייה היחסית בשיעור דלקות אלו נובעת כתוצאה מהורדת שיעור הנגיעות מחיידקים מדבקים כתוצאה מנקיטת פעולות מִנֶּע שונות ביניהן חיטוי פטמות בסוף חליבה, טיפול אנטיביוטי בתקופת היובש ושטיפת אשכולות החליבה בין חליבת פרה אחת לרעותה.

מיקרואורגניזמים מדבקים

המק"א המדבקים העיקריים אשר גורמים לדלקות עטין בבקר לחלב הם סְטֵפִילוקוקוס אאוראוס (*Staphylococcus aureus*), סְטֵרֶפְטוקוקוס אַגְלֶקְטִיָּה (*Streptococcus agalctia*), מִיקוֹפְלֶסְמָה (*Mycoplasma bovis*) וקוֹרְנִיבַקְטֵרִיוֹם (*Corynebacterium bovis*). מעבר של מק"א אלו מרבעים נגועים לאלה שאינם נגועים מתרחש בעיקר במהלך החליבה. המק"א המדבקים גורמים לדלקות תת־קליניות הנמשכות זמן רב, והם מופרשים בחלב מרבעים נגועים ברמות גבוהות.

סְטֵפִילוקוקוס אאוראוס

חיידק זה הוא חיידק גרם חיובי (על פי מבחן צביעה במעבדה), צורתו כשל כדורית זעירה והוא גדל בצברים דמויי אשכולות. מכאן גם שמו, *Staphylo* – שפירושו "אשכולות", ו־*coccus* – שפירושו "כדוריות". מק"א אלו נמצאים על עור עטין בריא וגדלים בקלות בתעלת מבוא הפטמה, בפרט כאשר יש פצעים או סדקים בפתח הפטמה. נוכחות מק"א אלו בקצה הפטמה מאפשרת להם לעבור מרבעים נגועים לרבעים לא נגועים באמצעות בטנות החליבה, מטליות לניגוב פטמות והן באמצעות ידי החולב. בנוסף, מק"א מרבעים נגועים יכולים להיות מועברים מרבע עטין אחד למשנהו על ידי טיפות חלב בעת חדירת אוויר בין הבטנה לבין הפטמה בעת שמיטות המכונה. לאחר שמק"א אלו התבססו ברקמת ייצור החלב מתפתחת דלקת כרונית, המתבטאת בעלייה מתמשכת בספירת התאים הסומטיים. באמצעות מישוש עטין ניתן לאתר אזורים מוקשים, המעידים על התפתחות רקמה פִּיבְרוֹטִית (רקמת חיבור אשר מחליפה את רקמת ייצור החלב). בדרך כלל דלקת ממק"א אלו היא תת־קלינית עם מופעים של התפרצויות תקופתיות של דלקת קלינית. רבעים נגועים קלינית יתנפחו ופתיתים יופיעו בזליפי חלב המורדים לפני הרכבת המכונה. במקרים אקוטיים, הרבעים נעשים חמים ונפוחים וחום גופה של הפרה עולה. לעתים הדלקת יכולה להסתיים בִּגְנִגְרָה (נֶמֶק) ואזי העטין יהיה קר למגע.

דלקות הנגרמות מסטפילוקוקוס אאוראוס אינן ניתנות לריפוי בקלות תוך שימוש באנטיביוטיקה, מכיוון שבאזורים אשר נהרסים על ידי החיידק מתפתחת רקמת חיבור אשר מונעת מחומרים אנטיביוטיים לחדור לאזור ההדבקה ולפגוע במק"א. לכן, קרוב לוודאי שבלוטה שנפגעה לא תירפא. הדרך היחידה למנוע את הפצת המק"א מפרה נגועה לפרות אחרות היא להוציא את הפרה החולה מהעדר.

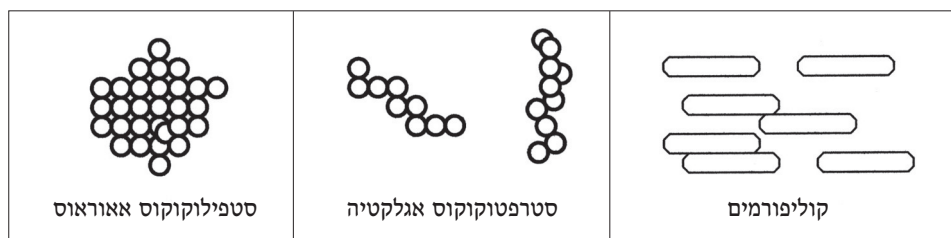
סְטֵרֶפְטוקוקוס אַגְלֶקְטִיָּה

חיידק זה הוא חיידק גרם חיובי. בדומה לסטפילוקוקוס אאוראוס גם לו צורה של כדורית זעירה. בניגוד לסטפילוקוקוס אאורוס חיידקי סטרפטוקוקוס אגלקטיה מסודרים בצברים דמויי שרשרת. מכאן גם שם החיידק: *strepto* = שרשרות, *coccus* = כדוריות. המונח *agalactiae* פירושו "ללא חלב", מושג המעיד על הנזק שחיידק זה עלול לגרום – ירידה

ניכרת בייצור חלב. המקור הכמעט יחידי להדבקה בחיידק זה הוא מרבעים נגועים. אולם, ניתן למוצאו גם על ידי החולב, אזור המרבץ של הפרה ועל ציוד החליבה.

עגלות עלולות להידבק בסטרפטוקוקוס אגלקטיה לאחר שהן יונקות קולוסטרום או חלב הנגועים בחיידק זה. מבכירות המשוכנות יחד עלולות להידבק זו מזו בשל נטייתן למצוץ חלב אחת מהשנייה. החיידק נמצא במספרים גדולים בעטין נגוע. חלב מרבעים נגועים מאופיין בדרך כלל בריכוזים גבוהים של תאים סומטיים (בין מיליון ל-10 מיליון לסמ"ק). לכן, השפעת חלב שמקורו בפרה אחת הנגועה בסטרפטוקוקוס אגלקטיה על ספירת התאים הסומטיים של כלל החלב במכל החלב היא משמעותית. למשל, אם בעדר בן 100 פרות נחלבות יש רק רבע עטין אחד נגוע בסטרפטוקוקוס אגלקטיה ריכוז התאים הסומטיים במכל החלב יכול לעלות ב-100,000 בסמ"ק.

מעבר של סטרפטוקוקוס אגלקטיה מרבע עטין אחד למשנהו יכול לתרחש תוך כדי חליבה, והוא יכול להיות מואץ בשל אי-קיום שגרת חליבה ראויה. חיידק זה יכול להתפשט במהירות רבה בעדר. חליבה לא מושלמת תגביר את חומרת הדלקת מחיידק זה. דלקות תת-קליניות כתוצאה מהדבקות בסטרפטוקוקוס אגלקטיה הופכות לדלקות כרוניות כאשר הרבעים אינם מטופלים באנטיביוטיקה בזמן. בניגוד להדבקות בסטפילוקוקוס אאוראוס, הרי טיפול באנטיביוטיקה, כדוגמת פניצילין, במקרה של הדבקות בסטפילוקוקוס אגלקטיה הוא יעיל מאוד.



תמונה מס' 9: צברי חיידקים שונים כפי שנראה בבדיקה מיקרוסקופית

מק"א אלו קטנים מחיידקים וגדולים מוורוסים. דלקת ממק"א אלו מאופיינת בספירה גבוהה של תאים סומטיים בדגימת חלב מהרבע הנגוע, אשר אינה מלווה בזיהוי חיידק מסוים כמקור לדלקת. שיטות מיוחדות של תרבויות נדרשות כדי לזהות מק"א זה.

מיקופלסמה

דלקת כתוצאה מנגיעות במיקופלסמה מאופיינת בהתפרצות מהירה, בהפרשה מוגלתית מהרבעים הנגועים, בהפצה מהירה בתוך העדר, בירידה תלולה בתנובת החלב ובעמידות לאנטיביוטיקה. על אף התגובה הדלקתית החזקה בבלוטות העטין, פרות נגועות לא יפתחו סימנים סיסטמיים (של כל הגוף). ניתן לבדוד את המיקופלסמה מזבל, מדם, ממערכת הנשימה, מעיניים ואף מרחם של פרות נגועות. שימוש במזרקים רב-פעמיים או חיטוי לא טוב של קצות הפטמות עם סיום החליבה עלולים להביא לנגיעות חדשה.

קיימים מינים רבים של מיקופלסמה. המין הנפוץ הוא *Mycoplasma bovis*. הדרך היעילה למניעת הדבקה של פרות נוספות בעדר במחולל מחלה זה היא הוצאת הפרות הנגועות מהעדר.

חיידק זה הוא חיידק גרם חיובי המופיע בתרבות במקבץ ובשכבות. דלקות עטין מחיידק זה הן מתונות בדרך כלל, וספירת התאים הסומטיים בדגימות חלב מעטינים נגועים היא בתחום של 200,000 עד 400,000 תאים/סמ"ק. אולם, בשנים האחרונות נמצא כי חיידק זה עלול לגרום גם לדלקות קליניות המאופיינות בערכים גבוהים של ספירת תאים סומטיים הקרובים למיליון תאים/סמ"ק.

קורניבקטריום

המקור העיקרי של הקורניבקטריום הוא בעטינים נגועים. התפרצויות של דלקות מחיידק זה בעדרים עלולות להיגרם כתוצאה מאי-חיטוי פטמות לאחר חליבה. חיידק זה עמיד לאנטיביוטיקה.

מיקרואורגניזמים סביבתיים

המק"א העיקריים הכלולים בקבוצה זו הם מינים של סטרפטוקוקים (*Streptococcus species*) ומינים של קוליפורמים (*Coliforms*). תדירות הנגיעות במק"א אלו היא בדרך כלל נמוכה, ולכן לדלקות מחיידקים סביבתיים יש השפעה נמוכה יחסית על ערכי ספירת תאים סומטיים של חלב במכל החלב. מק"א אלו נמצאים בשפע היכן שהפרות שוכנות: בזבל, באדמה, באזור המרבץ, במזונות, במים ובחומרים צמחיים. תדירות הנגיעות במק"א סביבתיים הולכת ועולה בחודשי החורף בשל רטיבות אזור המרבץ. כיוון שמק"א סביבתיים נמצאים בשפע בסביבת הפרה קשה מאוד לבער אותם.

קבוצת הסטרפטוקוקים הסביבתיים כוללת את המינים *Streptococcus uberis* ו-*Streptococcus Dysgalactiae*. למק"א אלה צורה כדורית בדומה לסטרפטוקוקוס אגלקטיה, וגם הם חיידקים גרם חיוביים. סטרפטוקוקים סביבתיים נמצאים

סטרפטוקוקים סביבתיים

בסביבתה של הפרה ובמספרים גבוהים במיוחד באזור המרבץ. הם נמצאים גם במעי הפרה באופן טבעי. ללא טיפול אנטיביוטי שיעור דלקות העטין אלה עולה מאוד. הסיכון ללקות בדלקת עטין כתוצאה מנגיפות בסטרפטוקוקים סביבתיים עולה בצורה בולטת בעת הכניסה לתקופת היובש ובשבועיים שלפני ההמלטה. שיעור דלקות אלה עולה במקביל לעלייה בגיל הפרה. שגרת חליבה לקויה – כגון הרכבת מכונת חליבה על עטין רטוב, שימוש במטליות מלוכלכות והעברתן מפרה לפרה, כמו גם תנאי שיכון גרועים המעלים אף הם את שיעור הדלקות הנגרמות ממק"א אלו.

רוב הדלקות הנגרמות מסטרפטוקוקים סביבתיים נמשכות לא יותר מ־30 ימים. אך כ־18% מהדלקות הופכות לדלקות כרוניות, ואז המחלה נמשכת זמן רב. כ־40% מהדלקות הנגרמות מסטרפטוקוקים סביבתיים במהלך התחלובה נרפאות ללא טיפול. מקרים קליניים של הדלקת הם בדרך כלל מתונים עם מופע של פתיתים בחלב. לעתים צבע החלב עלול להשתנות, והרבע הנגוע עלול גם לפתח נפיחות קלה. ערכי ספירת התאים הסומטיים מדגימות חלב מרבעים הנגועים בדלקת תת־קלינית ינועו בין 300,000 ל־2,000,000 תאים/סמ"ק.

קוליפורמים

הקוליפורמים הם חיידקים גרם שליליים אשר צורתם כמתג. ניתן למצוא מק"א אלו בזבל, במים מזוהמים, באדמה ובחומרי הרפד. אֶשְׁרִיכִיָּה קוֹלִי (*Escherichia coli*) וקֶלְבִּסִּיָּאֵלָה (*Klebsiella*)

הם החיידקים העיקריים מקבוצה זו הגורמים לדלקות עטין. *Escherichia coli* מצוי באופן טבעי במספרים גבוהים במעי הפרה ובזבל. הקליבסיילה מצוי בעיקר באדמה והוא מתרבה מהר מאוד בחומרי הרפד. בתקופת הקיץ, כאשר החום עולה בסביבת הזבל, מק"א אלו מתרבים במהירות. הרגישות לדלקות מקוליפורמים, כמו הרגישות לדלקות הנגרמות מסטרפטוקוקים סביבתיים, היא בעיקר בתקופת הכניסה ליובש ובתקופה שלקראת ההמלטה. שיעור הדלקות החדשות מקוליפורמים גבוה פי ארבעה בתקופת היובש מאשר במהלך תקופת התחלובה. דלקות מקוליפורמים יכולות להיגרם כתוצאה מ"טיפול יובש" (הכנסת אנטיביוטיקה לעטין) שנעשה שלא כהלכה, החזקת הפרות בתנאי שיכון גרועים במשך תקופת היובש, המלטה באזור נגוע והשהיה בין מועד ההמלטה לבין מועד החליבה הראשונה.

כ־50% מהדלקות הנגרמות מקוליפורמים הן קצרות טווח ונמשכות פחות מ־10 ימים. כ־20% מהדלקות נמשכות פחות מ־30 ימים. אולם, יש דלקות הנמשכות גם יותר מ־100 ימים. אלה עלולות להפוך לדלקות אקוטיות. דלקות כרוניות מעין אלו נגרמות בדרך כלל מקוליפורמים אחרים ולא רק מ־*Escherichia coli*.

באופן כללי, שיעור דלקות העטין התת־קליניות והקליניות הנגרמות מאשריכיה קולי אינו עולה על אחוז אחד מכלל דלקות העטין בעדר. כ־80% מדלקות אלו בתקופת התחלובה מופיעות כדלקות קליניות. מקצתן של דלקות קליניות אלו עלול להתדרדר לדלקות חריפות מאוד בתוך פרק זמן קצר של שעות, ולגרום לפגיעה קשה בכל מערכות הגוף של הפרה

ובכלל זה הופעת חום גבוה, ירידה בתיאבון ואף שיתוק. רבעים נגועים קלינית יפתחו מהר מאוד סימנים של דלקת חריפה: נפיחות, חום וכאב בעת מגע בעטין. יש וצבע החלב משתנה לצהבהב או שקוף כמים ומופיעים בו פתיתים. רוב המקרים הקשים של דלקות אלו מופיעים סביב ההמלטה או בתוך 6 עד 8 שבועות לאחר מכן. בתקופת הקיץ, כאשר הפרות נתונות לעקת חום, הסיכון לדלקות אקוטיות אלו גדל. ללא טיפול מיידי באנטיביוטיקה או בחומרים משככי תגובות אלרגיות, פרה נגועה עלולה למות.

מיקרואורגניזמים מזדמנים

קבוצה זו של מק"א כוללת מעל 20 מינים של סטפילוקוקים שאינם סטפילוקוקוס אאורוס, והם מכונים בדרך כלל סטפילוקוקים קואגולאז שלילי (חסרי יכולת להציג את האנזים קואגולאז). על אף העובדה שמק"א מזדמנים הם בדרך כלל המק"א המבודדים בשכיחות הרבה ביותר בתרבויות מעבדה של דגימות חלב מרבעים נגועים, דלקות עטין הנגרמות מהם הן בדרך כלל מתונות. העלייה בערכי ספירת תאים סומטיים בדגימות החלב מפרות נגועות אף היא מתונה, ויכולה להגיע בדלקות עטין תת-קליניות עד למיליון תאים למ"ל, אם כי בדרך כלל הערכים יותר נמוכים באופן ניכר. דלקות קליניות ממק"א מזדמנים הן נדירות והן מלוות בהופעת פתיתים בחלב.

מק"א מזדמנים מצויים בדרך כלל על פני עור העטין וגם על ידי החולבים, ולכן הם נמצאים ב"מצב מזדמן" להתרבות בקצה הפטמה ולחדור לרקמת ייצור החלב. שיעור דלקות עטין אלו הוא הגבוה ביותר במשך השלבים הראשונים של תקופת היובש, כיוון שיעור הפטמות אינו עובר חיטוי תדיר. לכן, ניתן למצוא עדרים עם שיעור גבוה של דלקות עטין ממק"א אלו מיד לאחר ההמלטה. בדרך כלל הפרות נוטות להירפא בעצמן מדלקות אלו. שיעור הדלקות ממק"א מזדמנים הולך ויורד עם ההתקדמות התחלובה.

מיקרואורגניזמים אחרים

קבוצה זו כוללת מגוון מק"א. דלקות מאורגניזמים אלו מופיעות בדרך כלל בשל טיפול לא תקין בפרה החולבת. שיעור הדלקות הנגרמות ממק"א אלו נמוך יחסית. הן עלולות להתפרץ באופן חמור בתנאים אשר מעלים את החשיפה ל"מק"א מזדמנים".

דלקות מחיידק זה בבקר הן בדרך כלל דלקות תת-קליניות אשר מדי פעם הופכות לדלקות קליניות. לעומת הבקר, הצאן נפגע קשה ממק"א אלו ונגיעות בחיידק זה גורמת בצאן לדלקות אקוטיות. כיוון שמק"א אלו עמידים לאנטיביוטיקה אין בנמצא כלים מתאימים לרפא את הדלקת, ויש להוציא את הפרטים הנגועים מהעדר.

פְּסֵאוֹדוֹמוֹנַס אֶרוֹגִּינוֹזָה
(*Pseudomonas aeruginosa*)

חיידק הפסאודומנס ארוגינזזה מייצר רעלן (אנדוטוקסין) אשר יכול לגרום להרעלה כללית של הגוף. ההרעלה מתבטאת בעלייה חדה בחום הגוף. החלב מהרבעים הנגועים עלול להיות מימי עם צבע צהבהב בתוספת פתיתים וגושים. המקורות שמהם מגיעים מק"א אלו הם מים, אדמה, צואה, ציוד חליבה לא מטופל כיאות וטובלנים מזוהמים של חומר חיטוי. שימוש במזרקים נגועים המיועדים להחדרה של אנטיביוטיקה דרך תעלת מבוא הפטמה אף הוא יכול להיות מקור הדבקה במק"א אלו.

אַקְטִינוֹמִיצֶס פִּיוֹגֶנְס
(*Actinomyces pyogenes*)

רבעים נגועים בחיידק זה יציגו בדרך כלל דלקת קלינית ויפרישו נוזל ירקרק ומצחין. דלקת כתוצאה מהדבקה באקטינומיצס מתרחשת בעיקר בפרות יבשות ובעגלות הנמצאות קרוב להמלטה. יש המעריכים שהחיידק מועבר על ידי זבובים. הדלקת אינה ניתנת לריפוי, ולכן הרבע הנגוע נידון לייבוש תמידי. במקרים חריפים יש להוציא את הפרה מהעדר. התחלואה נגרמת בדרך כלל תוך כדי תחלובה בשל נזקים לפטמות או בשל שיטות טיפול לא נאותות.

מיני נוקרדיה
(*Nocardia Species*)

החיידק הנפוץ ממשפחה זו הוא בדרך כלל *Nocardia asteroides*. מק"א אלו נמצאים באופן טבעי באדמה, במים וכן על גבי העור של עטניים בריאים. דלקת מחיידקים אלה נגרמת בשל חיטוי לקוי של קצות הפטמות לפני החדרת אנטיביוטיקה לצורך טיפול במק"א אחרים שגרמו לדלקת עטין. ברבע נגוע תאובחן נפיחות והתקשות ויפיעו גושים בחלב. החלב עלול לשנות את צבעו לגוון צהבהב. לעתים יופיעו סימנים נלווים לקיומה של דלקת בעטין כגון עלייה בחום גוף הפרה. החיידק עמיד יחסית לאנטיביוטיקה, וניסיון להילחם בדלקת קלינית מחיידק זה ברבע נגוע לא יצלח. חישה של הרבע הנגוע תאבחן גושים של רקמה פיברוטית.

דלקות עטין יכולות להיגרם באופן נדיר גם על ידי אצות (*Candida sp.*). דלקות אלה נגרמות בדרך כלל כתוצאה משימוש בתרופות אנטיביוטיות מזוהמות, המשמשות בטיפול כנגד מק"א אחרים. אצות (בעיקר מהסוג *Candida albicans*) נמצאות באופן רגיל על עור הפרות וכן במערכת העיכול.

מחוללים נדירים נוספים של דלקות עטין הם מיני *בַּצִּילִים* (*Bacillus sp.*), סֶרַטִּיָה (*Serratia sp.*), פֶּסְטוֹרֶלָה (*Pasteurella sp.*) ופֶּרוֹטוֹטֶקָה (*Prototheca sp.*). מיני בצילים נפוצים בסביבת הפרה, בפרט באדמה. מיני סרטייה מתקיימים אף הם בסביבת הפרה, אך גם במים. הם גורמים בדרך כלל לדלקות עטין קליניות מתונות. רוב הפרות הנגועות נרפאות מדלקות עטין אלו תוך פרק זמן קצר גם ללא טיפול.

מיני פסטורלה שוכנים בדרך כלל במערכת הנשימה של הפרות ויכולים להיות מועברים לעטין באמצעות מציצות. דלקות עטין אלו הן בדרך כלל קליניות, ובמקרים חמורים הן יכולות לגרום למות הפרה. מבין מיני הפרוטוטקה ידועה ה-*Prototheca zopfii* – זו אצה חסרת צבע הנמצאת במקומות רטובים המזהמים בזבל. היא מצויה גם במקורות אחרים כגון: צמחים, חומרי רפד ושחמץ.

לעיון נוסף:

אתר מועצת החלב:
WWW.icba.org.il



חליבה מכנית

עזרא שושני



עקרונות החליבה



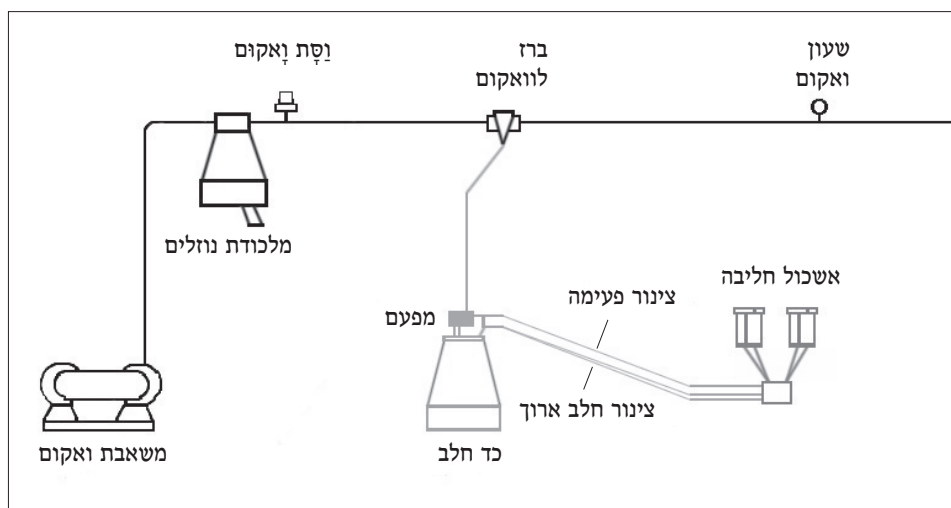
מערכת החליבה מורכבת ממכונת חליבה (אשכול חליבה), מצנרת להובלת החלב, מאמצעים לאגירת החלב (מֶקָל) ומאמצעים למדידה של כמות החלב תוך כדי זרימתו. החלב נשאב מהעטין במהלך החליבה בשל הפרש בין הלחץ בו נמצא החלב בתוך העטין לבין תת-לחץ (ואקום) הקיים בבטנת החליבה שבאשכול החליבה. שאיבת החלב מהעטין נעשית בפעילות (פולסים), המושרות באמצעות ה"מֶפָעֵם" (פולֶסְטוֹר). פעימות אלה מדמות את פעולת היניקה של העגל. תת-הלחץ הנוצר באמצעות משאבת הוואקום הוא גם הכוח הגורם לזרימת החלב במערכת אל מֶקָל האגירה. במהלך החליבה חודר למערכת אוויר, כך שלמעשה עוברים במערכת בעת החליבה שני מרכיבים: חלב ואוויר.

ניתן למנות שלוש דרכים לביצוע החליבה: חליבה לפֶד, חליבה לקו וחליבה לצנצנות.

חליבה לפֶד

זו הדרך הפשוטה ביותר לחליבת פרות. החלב זורם מאשכול החליבה ישירות אל מֶקָל אגירה יידי. מֶקָל זה מחובר למערכת יצירת ואקום אשר יכולה להיות משאבת ואקום ניידת המותקנת יחד עם מווסת הוואקום על עגֶלָה, בצמוד למֶקָל, או מערכת ואקום קבועה כמו במבנה "רפת

קשירה" – בו הפרות קשורות למקומן מרבית שעות היממה (שיטה זו אינה מקובלת בארץ). ב"רפת קשירה" קו הוואקום עובר מעל גב הפרות, כאשר משאבת הוואקום וווסת הוואקום ממוקמים בקצה הקו. באמצעות ברזים ניתן לחבר לקו זה את מכלי החליבה הניידים (תמונה מס' 1). בשיטת החליבה לכד, המפעם מחובר אל מכסה המכל. כאשר המפעם פועל באמצעות לחץ אוויר (פנאומטי) הוא מופעל באמצעות הוואקום שבמכל. כאשר המפעם אלקטרוני, הוא מחובר ישירות לקו אספקת הוואקום.

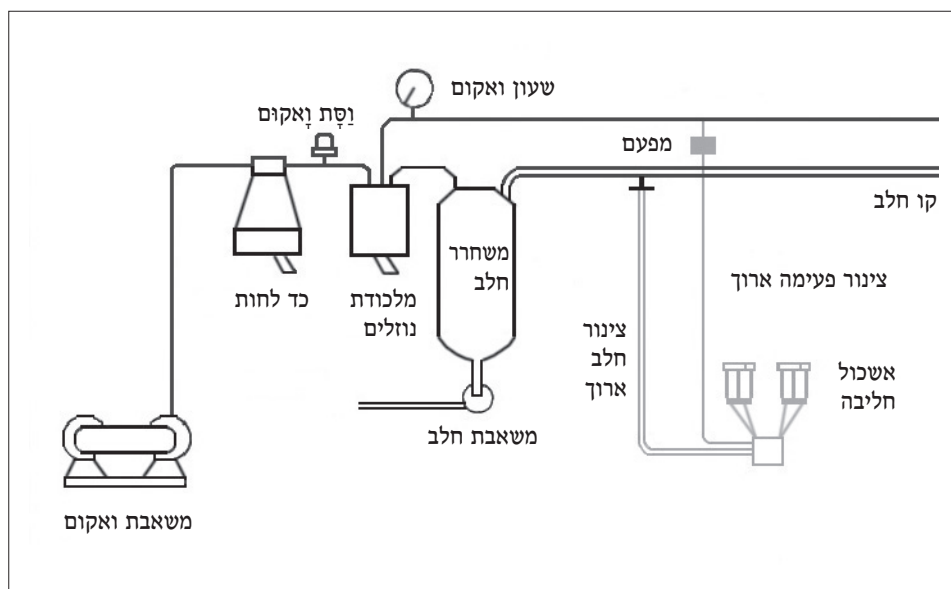


תמונה מס' 1: כד חליבה נייד המתחבר אל מערכת קו ואקום עילי

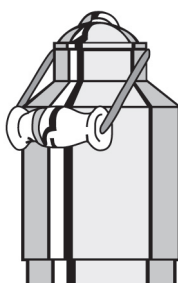
חליבה לקו

במערכות חליבה ל"קו חלב", החלב והאוויר זורמים יחד מאשכול החליבה דרך קו דו-תכליתי ישירות אל מכל המכונה בעגה מקצועית "משחרר חלב". הקו הדו-תכליתי מספק ואקום לאשכול החליבה לצורך חליבת הפרות, ומשמש בנוסף גם לזרימת החלב אל "משחרר חלב" (תמונה מס' 2). במשחרר החלב מבוצעת הפרדה בין החלב לבין האוויר. משאבת חלב דוחפת את החלב מ"משחרר החלב" אל מכל החלב. משאבה זו מופעלת בצורה אוטומטית בהתאם לגובה החלב ב"משחרר החלב". האוויר נשאב באופן קבוע מ"משחרר החלב" לחלל האוויר באמצעות משאבת הוואקום.

במרבית מערכות החליבה החלב זורם ל"קו נמוך" – נמוך ביחס לגובה העטין. אולם, יש מערכות חליבה לקו בהן הקו הוא "קו גבוה". מערכות אלו מותקנות בדרך כלל במבנים שבהם אין מכוני חליבה. במקרה זה הפרות משוכנות במבנה "רפת קשירה" והחלב נחלב במכונות חליבה ידניות. שימוש ב"קו גבוה" מחייב רמת ואקום גבוהה יותר מאשר ב"קו נמוך" היות ויש להזרים את החלב מהעטין כלפי מעלה.

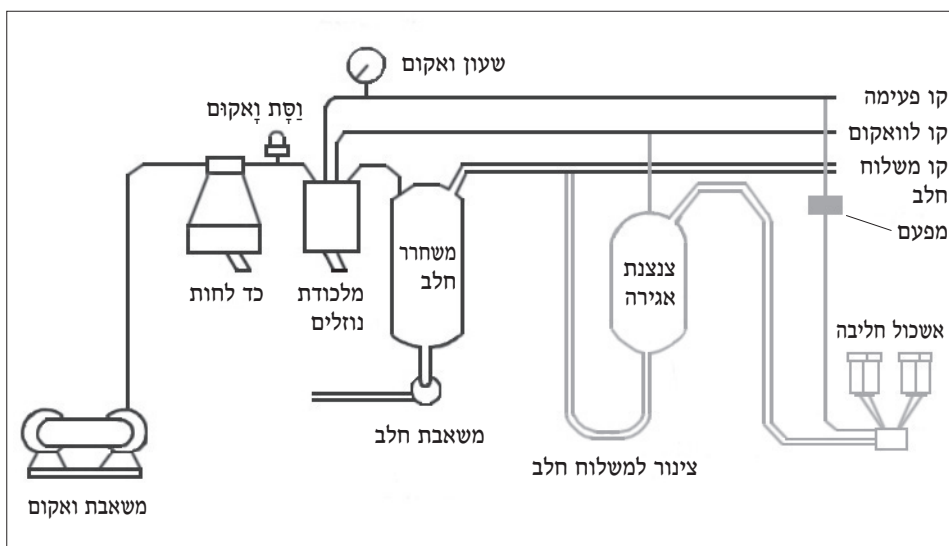


תמונה מס' 2: חליבה לקו



חליבה לצנצנות

בשיטת חליבה זו החלב זורם מאשכול החליבה אל צנצנת החלב, בה מצוי ואקום, ונאגר בצנצנת כל עוד הפרה נחלת. בתום החליבה ולאחר הסרת האשכול החליבה, מוחדר לצנצנת אוויר בלחץ אטמוספרי לשם שחרור הוואקום. במקביל, נפתח ברז הקבוע בתחתית הצנצנת והחלב זורם בכוח ואקום לעבר משחרר החלב (תמונה מס' 3). מערכות חליבה לצנצנות מותקנות בגבהים שונים ביחס לעטין הפרה. בדרך כלל, מערכות אלו מותקנות מעל גובה עטין הפרה, כמו בתמונה מס' 3, אך יש גם מערכות חליבה שבהן הצנצנות מותקנות מתחת לגובה העטין. במערכות חליבה לצנצנות יש למעשה שני קווים: קו אחד לצורכי אספקת ואקום לצנצנות וקו שני לצורכי שליחת חלב לעבר משחרר החלב.



תמונה מס' 3: חליבה לצנצנות

תת-לחץ וחליבה



עקרונות בסיסיים של מדידת לחץ

כדור הארץ מוקף בשכבת אוויר המכונה אטמוספירה. משקל עמודת האוויר באטמוספירה יוצר לחץ, הנקרא לחץ אטמוספרי. לחץ זה פועל על פני האדמה וכן על עצמים, בעלי חיים ובני-אדם.

לחץ (P) מבוטא ככוח ליחידת שטח ומחושב לפי הנוסחה הבאה:

$$P = F/a$$

כאשר: F = כוח, a = שטח החתך המאונך לכיוון הפעלת הכוח.

כאשר היחידה למדידת כוח היא ניוטון (N) ושטח החתך נמדד ביחידות של מ"ר (m^2), הלחץ מבוטא ביחידות של N/m^2 המכונות פסקל (Pa). במערכות החליבה הלחץ נמדד למעשה ביחידות של קילופאסקל (kPa, ובעברית קפ"א). 1 קפ"א שווה ל- $1,000 N/m^2$ או ל- $1,000 Pa$.

הלחץ האטמוספרי פוחת ככל שעולים גבוה יותר מעל לגובה פני הים. זאת, מכיוון שגובה עמודת האוויר הלוחצת על יחידת השטח הולך וקטן עם העלייה בגובה. הלחץ האטמוספרי בגובה פני הים מוגדר כבעל ערך של אטמוספירה אחת השווה ללחץ של 100 קפ"א, ללחץ של 760 מ"מ כספית או ללחץ של 14.5 פאונד לאינץ' בריבוע (psi). לדוגמה, על פסגת הר שגובהו 1,000 מ' מעל פני הים יהיה הלחץ רק 89 קפ"א (ירידת לחץ של 0.011 קפ"א לכל עלייה של 1 מ' מעל פני הים).

יצירת ואקום והבקרה על רמתו

המושג "ואקום" מבטא ירידה בלחץ מתחת ללחץ של אטמוספירה אחת. לדוגמה, אם רמת הוואקום במערכת החליבה, כפי שמופיע על גבי שעוני הוואקום, היא של 40 קפ"א, הלחץ במערכת הוא למעשה 60 קפ"א ($100 - 40 = 60$). בשעוני ואקום הערך "0" מבטא לחץ של אטמוספירה אחת (1 אטמוספירה).

בכל מערכות החליבה המודרניות יצירת ואקום נעשית תוך הוצאת האוויר מהמערכת באמצעות משאבה, אשר שואבת החוצה בכל סיבוב נפח נתון של אוויר. עם כניסתו ממערכת החליבה למשאבה, האוויר הולך ונדחס. כאשר לחץ האוויר במשאבה משתווה ללחץ האוויר האטמוספרי האוויר מהמשאבה משוחרר לאטמוספירה.

טמפרטורת האוויר החודר למשאבה תשפיע על הספק המשאבה (כמות האוויר העוברת דרך המשאבה בזמן נתון). כך למשל, ספיקת המשאבה תקטן ב-10% במידה וטמפרטורת האוויר תשתנה מ-0° מ"צ ל-30° מ"צ. הספיקה קטנה מכיוון שצפיפות האוויר קטנה ככל שהטמפרטורה עולה.

הספק המשאבה מושפע גם ממיקומה ביחס לגובה פני הים, מאחר והלחץ האטמוספרי יורד עם העלייה בגובה. מסת האוויר שתוצא בכל סיבוב ממשאבה הפועלת בגובה רב תהיה קטנה יותר ביחס לזו היוצאת ממשאבה הפועלת בגובה פני הים. כך למשל, ספיקת משאבה הפועלת בגובה 1,000 מטרים נמוכה בכ-14% מספיקת משאבה הפועלת בגובה פני הים. זו הסיבה שבאזורים גבוהים נדרשות משאבות חזקות יותר באופן יחסי.

משאבת הוואקום מוציאה אוויר ממערכת החליבה בקצב פחות או יותר קבוע. עם יציאת האוויר, רמת הוואקום במערכת החליבה הולכת ועולה, כאשר מעבר לרמה מסוימת של ואקום קיימת סכנה לבריאות עטיני הפרות. לכן, בכל מערכת חליבה מותקן על קו הוואקום הראשי וסת ואקום, אשר תוך החדרה מבוקרת של אוויר למערכת מוריד במידת הצורך את רמת הוואקום לרמה הרצויה. אולם, יש לזכור כי כפי שיכולה להתרחש עלייה בעוצמת הוואקום במערכת כתוצאה מפעולת משאבת הוואקום, כן עלולה להיגרם במערכת מעת לעת גם ירידה

בוואקום כתוצאה מחדירת אוויר דרך האשכול החליבה. וסת הוואקום חש בשינוי בכמויות האוויר החודרות למערכת דרך האשכול, ומשנה בצורה אוטומטית את כמות האוויר המוזרמת דרכו, כך שסך כל כמות האוויר המגיעה אל משאבת הוואקום ביחידת זמן תהיה קבועה.

רמת ואקום: קצב זרימת החלב מהעטין ילך ויעלה ככל שרמת הוואקום תעלה, אך ככל שרמת הוואקום תעלה, תגדל גם כמות החלב שתיוותר בעטין עם סיום חליבת הפרה. עלייה ברמת הוואקום גורמת ל"טיפוס" יתר של גביעי החליבה על הפטמות כלפי העטין, דבר אשר גורם לחסימה של זרימת החלב במעבר בין ברכת הפטמה לברכת הרבע בשלב מוקדם יחסית של החליבה. הדרך לצמצם תופעה זו היא שימוש באשכול חליבה בעל משקל מסוים (בדרך כלל המשקל מרוכז בגביעים לשם חלוקה אחידה שלו). משקל האשכול מהווה כוח הנוגד את כוח הוואקום ה"מושך" את הגביעים במעלה הפטמות.



ככל שרמת הוואקום גבוהה יותר קיים גם סיכון רב יותר לפגיעה בקצה הפטמה בשל התעבותה והתנפחותה תחת תנאי ואקום. החומר ממנו עשויה הפטמה, קוטר שפתי הבטנה, נפח החלל שמתחת לשפתי הבטנה וקוטר שרוול הבטנה, כמו גם רמת הוואקום משפיעים ישירות על הלחץ שמופעל על רקמת דופן הפטמה במהלך החליבה. אין כל יתרון, ואף יש חיסרון, בהעלאת רמת הוואקום במערכת החליבה לרמה שמעל 50 קפ"א. העלאת רמת הוואקום מעבר לרמה זו תגרום נזק לאפיתל העור של הפטמה מבלי להביא כמעט לשינוי בקוטר תעלת מבוא הפטמה, שהוא הגורם המבקר את קצב זרימת החלב מהעטין החוצה.

קצב החליבה של פרות מהיר במערכות שבהן החלב זורם אל מתחת לגובה העטין ("קו נמוך") ביחס למהירות זרימת החלב במערכות בהן החלב מועלה מעל מפלס העטין. הבדל זה נובע מכך שבעת זרימת השיא של החלב, רמת הוואקום באשכול החליבה במערכות שבהן החלב "מטפס" כלפי מעלה נמוכה יותר בשל הלחץ ההידרוסטטי (לחץ עמודת הנוזל) של החלב. רמת ואקום של 40 קפ"א במערכת חליבה לקו נמוך תביא לקצב חליבה דומה לזה שתביא רמת ואקום של 50 קפ"א במערכת חליבה לקו גבוה. זאת, כאשר התופעות השליליות של עיבוי ונפיחות קצה הפטמה יהיו מתונות ברמת הוואקום הנמוכה יותר. במכוני חליבה של צאן – כבשים ועזים – רמת הוואקום המקובלת היא 37 עד 40 קפ"א.



אשכול החליבה של בקר מורכב מארבעה גביעים כאשר בכל גביע מותקנת בטנת חליבה, צינור חלב קצר וצינור פעימה קצר, קוֹמָץ, צינור חלב ארוך וצינור פעימה ארוך (תמונה מס' 4). לאשכול חליבה של צאן שני גביעים כמספר הפטמות אצל כבשים ועזים.



גביע חליבה: גביע החליבה עשוי בדרך כלל מפלדת אל-חלד, אולם יש גם גביעים העשויים מפלסטיק. גביעי פלסטיק משמשים בדרך כלל לחליבת עזים וכבשים, אך לא לחליבת בקר, וזאת בשל משקלם הקל יחסית ורגישותם לפגיעה מרגלי הפרות. הגביעים בדרך כלל עגולים כאשר קצותיהם מעוצבים כך שיתאימו לבטנה התואמת. מחפר (ניפל) הצמוד לצד כל גביע (אין כל חשיבות לגבי מיקומו מלבד נוחות בהרכבה) מאפשר לחבר לגביע צינור פעימה קצר דרכו נעשים שינויי הלחץ בחלל שבין דופן הגביע לבין הבטנה.

בטנת חליבה: בטנת החליבה היא מעין שרוול גמיש. בבטנה מבחינים בשפתיים, בגוף בטנה (עגול בדרך כלל או בעל צלעות) ובצינור חלב קצר. בטנת החליבה חייבת להיות רכה וגמישה כדי לאפשר חליבה יעילה של הפרה מבלי לגרום נזק לרקמת העטין. הדרישה לתכונות אלו מכתובה את החומרים מהם עשויה הבטנה: גומי טבעי בלבד, גומי מלאכותי בלבד, תרכובת בין גומי טבעי לגומי מלאכותי או תרכובת של גומי עם סיליקון. גומי טבעי מאופיין ברכות ובגמישות רבה, אך חסרונו הוא בהתבלות מהירה שנגרמת עקב המגע עם שומן החלב ועם שומן רקמת העטין. לכן, אורך החיים של בטנה מגומי טבעי יהיה קצר. גומי מלאכותי או תערובת של גומי מלאכותי עם גומי טבעי עמידים יותר לשומן. בטנות עשויות מחומרים אלו מקובלות ונפוצות כיום ברוב מכוני החליבה בעולם. בטנות מסיליקון עמידות יותר מבטנות העשויות מחומרים אחרים, ולכן משך זמן השימוש בהן ארוך יותר. אולם, בטנות סיליקון יקרות יותר מבטנות אחרות וכן רגישותן לחבלות גבוהה יחסית.

ניתן למנות מספר תכונות נוספות המשותפות לבטנות החליבה מהסוגים השונים:

- ❖ הבטנות מעוצבות בצורה המונעת חדירת אוויר משני צדי הגביע;
- ❖ מאפייני שפתי הבטנה (קוטר הקדח, נפח השפתיים) ומאפייני גוף הבטנה (אורך, קוטר) נקבעים כך שהבטנה תותאם בצורה המיטבית למבנה הפטמות. זאת במטרה לצמצם ככל האפשר חדירת אוויר בין הפטמה לבין הבטנה ושמיטה של הגביע מהפטמה במהלך החליבה;
- ❖ קיימת דרגה רצויה של מתיחות הבטנה בתוך הגביע. מתיחות זו דרושה ליצירת לחץ על קצה הפטמה בעת סגירת הבטנה (ראה/י לעיל). התקנת בטנות שאינן מתאימות לגביעי החליבה עלולה ליצור רפיון יתר של הבטנה או מתיחות יתר, דבר שיפגום בחליבה בשל התנגדות יתר לשינויי לחץ האוויר בתא הפעימה;
- ❖ עיצוב הבטנה לוקח בחשבון את הצורך למנוע ככל האפשר נזק לרקמות העטין;
- ❖ על הבטנה להיות קלה לניקוי.

מספר יצרני בטנות החליבה הוא רב, ובשוק קיימות בטנות ממגוון סוגים. למשל: הקוטר הפנימי של חלל הבטנה נע בתחום שבין 18 לבין 28 מ"מ, ואילו האורך של גוף הבטנה נע בין 90 מ"מ ל-164 מ"מ. יש בטנות עגולות, אחרות הן דמויות טרפז. יש בטנות שדופנותיהן חלקות ויש כאלו שהן מחורצות ויוצרות 3 עד 8 צלעות.

הבטנות מסווגות כ"צרות" כאשר הקוטר פנימי שלהן צר מ־21 מ"מ, או כ"רחבות" כאשר קוטרן הפנימי עולה על 21 מ"מ. בגלל השונות הקיימת בין הפרות בצורת הפטמות קיים קושי לבחור בסוג בטנה אשר יתאים לכל הפרות בעדר. בטנה צרה מדי עלולה לפגוע בפטמות, שכן היא לא תוכל לסגור על קצות הפטמות בשלב המנוחה של הפעימה (ראה/י להלן) או להביא לאחיזה טובה של הפטמות – דבר שיגרום לחדירת אוויר (צפזופים) ושמטיות גביעיים. בטנה רחבה מדי עלולה לגרום לעליית הבטנה במעלה הפטמה לקראת סוף החליבה, לעיבוי ונפיחות קצה הפטמה ולפגיעה באפיתל עור הפטמה, וכן לחדירת אוויר למערכת. הניסיון שהצטבר בארץ מלמד כי בטנה בקוטר של 21 מ"מ מתאימה לרוב הפרות.

ניתן לסווג את בטנות החליבה לפי צורת החיבור שבין הבטנה לבין צינור החלב הקצר:

1. צינור החלב הקצר מחובר באופן קבוע לבטנת החליבה. בסוג בטנות זה ניתן להבחין בטבעות על גבי צינור החלב הקצר, אלו מאפשרות את מתיחת הבטנה במהלך השימוש בה. מתיחת דופן הבטנה תשפיע על צורת התגובה של הבטנה לשינויים בלחצי האוויר בחלל הגביע. דרגה מסוימת של מתיחה דרושה כדי להבטיח לחץ על קצה הפטמה בשלב המנוחה. אולם, מתח רב מדי עלול לפגוע ביכולת הבטנה לקרוס כלפי הפטמה בשלב המנוחה (ראה/י להלן). הגמישות (אלסטיות) של הבטנה נפגמת במידת מה במהלך השימוש בה. האפשרות למתיחת הבטנה באמצעות הטבעות על גבי צינור החלב הקצר מקנה לה יתרון מסוים.
2. צינור החלב אינו מחובר באופן קבוע לבטנה ונדרש מחבר מיוחד כדי לחבר בין הצינור לבטנה. מתיחת הבטנה מתבצעת במגוון שיטות. ניתן למקם במחבר חריר אוויר במקום למקם אותו בקומץ (ראה/י הסבר בפסקה על הקומץ). היתרון של השימוש בבטנה בה צינור החלב אינו מחובר באופן קבוע לבטנה הוא היכולת להחליף בעת פגיעה בצינור החלב הקצר רק את צינור החלב. אולם, החיסרון בתכנון זה הוא שטיפות חלב נוטות להצטבר בקפלים שבין הבטנה לבין המחבר. קשה להסיר טיפות אלו בעת שטיפת מערכת החליבה והן עלולות לשמש מצע לריבוי חיידקים.
3. שפתי בטנה וצינור חלב קצר נפרדים מגוף הבטנה. במקרה זה הבטנה היא דמוית צינור פשוט. טבעת המוכנסת לבטנה גורמת להתרחבות וליצירת שפתי הבטנה. צינור החלב הקצר מתחבר לבטנה כפי שמתואר בסעיף 2 לעיל. היתרונות בשיטה זו: עלות זולה של הבטנה ותכונות חליבה טובות, החסרונות: נדרשת עבודה רבה בהכנת הגביע לחליבה, תדירות ההחלפה של הבטנות גבוהה יחסית, וכן קיים סיכון להצטברות של טיפות חלב שקשה לנקות בקפלים.

מכלל הבטנות המוזכרות לעיל הבטנה שאליה מחובר צינור החלב הקצר באופן קבוע היא כיום הנפוצה ביותר.

קומץ: הקומץ הוא כלי קיבול אשר אליו מחוברים צינורות הפעימה הקצרים, צינורות החלב הקצרים היוצאים מארבעת גביעי החליבה, צינור החלב הארוך וצינור הפעימה הארוך. תפקיד הקומץ הוא לקלוט חלב מארבעת הרבעים של העטין ולהעבירו אל קו החלב / צנצנת החלב / כד החלב תוך שמירה על רמת ואקום קבועה בכל ארבעת הגביעים. קמצים עשויים בדרך כלל מפלדת אל חלד או מפלסטיק יצוק. חלב מארבעת רבעי העטין מתערבב במהלך החליבה בקומץ. מאחר שכן, קיים חשש כי כאשר אחד הרבעים נגוע בדלקת עטין, הדלקת תתפשט דרך הקומץ לרבעים האחרים. כדי להתגבר על בעיה זו ולצמצם את הסיכוי להדבקה בין רבעי-עטין של אותה פרה נבנים קמצים בהם מוקצה לכל רבע עטין תא נפרד, והמעבר בין התאים מתבצע דרך שסתומים חד-כיווניים.

המחברים (ניפלים), אליהם מתחברים ארבעת צינורות החלב הקצרים, חתוכים בזווית מסוימת אשר במהלך הרכבת הקומץ מאפשרת לצינורות החלב הקצרים להתכופף כלפי מטה בשל משקל הגביעים ולסגור את מעבר האוויר בעת ההרכבה על העטין.

בקומץ מותקן חריר אוויר שתפקידו לעזור בדחיפת החלב אל מחוץ לקומץ, בפרט כאשר על החלב לטפס כלפי מעלה בקו עליון. חדירת האוויר דרך החריר מפחיתה את הלחץ ההידרוסטטי של החלב על ידי שבירת הרציפות של עמודת החלב. קוטר החריר הוא 0.8 עד 1.1 מ"מ והוא מאפשר חדירת כמות אוויר של 7 עד 14 ליטר/דקה. לעתים, חרירי האוויר מותקנים בצינורות החלב הקצרים במקום בקומץ. במקרה זה קוטר החרירים הוא 0.64 מ"מ. חרירים גדולים מדי יגרמו לפגיעה בטיב החלב בגלל פגיעת האוויר בממברנות המקיפות את טיפות (מיצלות) השומן, דבר שיתבטא בעליית ריכוז חומצות שומן חופשיות בחלב (FFA). עלייה בריכוז תפגום בטעם החלב.

במספר סוגי קמצים מותקן כפתור אוטומטי לסגירת הוואקום במידה ואשכול החליבה נופל מהעטין במהלך החליבה. מנגנון זה מונע זיהום חלב ואובדן ואקום בשל חדירת אוויר (כמויות האוויר שעלולות לחדור למערכת עם נפילת קומץ אשר לא מותקן בו מנגנון זה יכולות להגיע ל-400 עד 1,200 ליטר/דקה).

משקל אשכול החליבה: משקל אשכול החליבה משפיע על כמות החלב הנותרת בעטין לאחר החליבה. מדובר בחלב הזמין להיחלב ולא בחלב שרידי אשר יוצא מן העטין רק לאחר הזרקת ההורמון אוקסיטוצין. העלאת משקל אשכול החליבה מביאה להפחתת כמות החלב הנותרת בעטין. השפעה זו באה לידי ביטוי רק לקראת סוף החליבה, כאשר הפטמות מתכווצות ומתארכות כתוצאה מירידה בלחץ התוך-עטני והבטנות "מטפסות" במעלה הפטמה. שפתי הבטנה אשר נצמדות סמוך לאזור שבין ברכת הפטמה ובין ברכת הבלוטה (Coricoid ring) עלולות לחסום את זרימת החלב החוצה. ככל שמשקל האשכול רב יותר, חסימת זרימת החלב קטנה יותר. אולם, יש לדעת כי העלאת משקל אשכול החליבה מגדילה גם את הסיכון לצפצופים (חדירת אוויר בין הפטמה לבטנה), שמיטות גביעים ונפילת אשכול החליבה כולו במהלך החליבה.

משקל אשכול החליבה צריך להיות מחולק שווה בין כל הגביעים. כאשר המשקל ירוכז בקומץ, עיקר המשקל יופעל על הרבעים הקדמיים.

המשקל של אשכולות החליבה בבקר נע בתחום של 1.5 ל-3.5 ק"ג. בניסויים שנעשו בארץ בשלהי שנות ה-70 של המאה העשרים, נמצא שמשקל אשכול חליבה המתאים לפרות מהירות חליבה כפרות הישראליות, צריך להיות כ-2.3 ק"ג. כיום מצויים בשימוש בארץ אשכולות חליבה שמשקלם אף קטן מ-2 ק"ג. השימוש בהם מתאפשר הודות לשינויים בעיצוב הבטנה ובצורת זרימת החלב. עיצוב בטנה למשל יכול להשפיע לכשעצמו על כמות החלב הזמינה בעטין. כך למשל, בטנת חליבה עם קוטר קדח קטן יותר תמנע או תצמצם את טיפוס המכונה כלפי מעלה ללא קשר למשקל אשכול החליבה.

משאבת ואקום

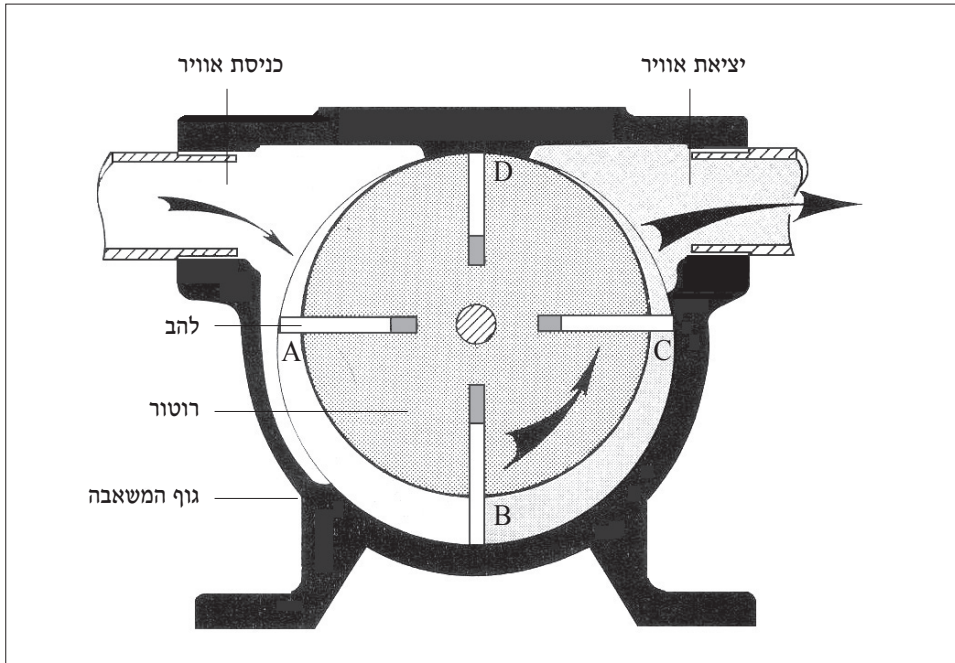
כאמור, תפקיד משאבת הוואקום הוא לשאוב אוויר באופן רציף ממערכת החליבה, ובכך ליצור ואקום המשמש למספר מטרות: לחליבה, לפעימה, לניוד חלב בתוך המערכת ולהפעלת המסירים האוטומטיים של הגביעים. משאבת ואקום היא למעשה מדחס אוויר אשר שואב אוויר מתוך המערכת ומוציא את האוויר בלחץ אטמוספרי אל מחוץ למערכת. קיים מגוון גדול של משאבות ואקום עם תחום נרחב של ספיקות, אשר יכול לנוע בתחום שבין 150 ל-5,000 ליטר/דקה ברמת ואקום של 50 קפ"א. את משאבת הוואקום מפעיל מנוע חשמלי. במכוני חליבה רבים מותקנות מספר משאבות במקביל. דבר זה מקנה יתרון במקרה ומשאבה אחת יוצאת מכלל פעולה.

משאבות הוואקום הנפוצות הן משאבות המבוססות על רוטור (תמונה מס' 5). ברוטור זה מותקנות דיסקיות הנעות בתוך מסילה. תוך כדי סיבוב הרוטור באמצעות מנוע חשמלי, נשלפות דיסקיות אלו כלפי חוץ (בשל יצירת כוח צנטריפוגלי) ויוצרות למעשה ארבעה תאים שונים. לחץ האוויר בכל תא משתנה עם סיבוב הרוטור עד שהוא נפלט בלחץ גבוה לאוויר האטמוספרי דרך מפלט המשאבה. מכיוון שמהירויות הסיבוב הן גבוהות נוצר חיכוך רב בין הדיסקיות לבין גוף המשאבה. חיכוך רב זה יוצר חום גבוה העלול לעוות את צורת חלקי המשאבה. לכן, מוחדר למשאבה שמן במשך כל זמן סחרורה. בנוסף לסיכוך, השמן תורם גם לאטימת הרווחים בין הדיסקיות לבין גוף המשאבה.

כיום משווקות משאבות המוגדרות כ"יבשות", בהן השימון הוא פנימי ואין צורך להזריק שמן למשאבה במהלך פעולתה. משאבות אלו עונות על הדרישות של תקנות השמירה על איכות הסביבה, מאחר ואינן מתיזות שמן לסביבה יחד עם האוויר הנפלט.

ישנן כיום משאבות אשר ההספק שלהן משתנה בהתאם לכמות האוויר ולרמת הוואקום במערכת החליבה. הבקרה במקרה זה נעשית באמצעות חיישן. שינוי קל ברמת הוואקום, בשל

חדירות אוויר, מתורגם מחיישן זה למערכת חשמלית אשר משנה את מהירות הסיבוב של המנוע החשמלי המפעיל את המשאבה. משאבות אלו מכונות "משאבות שינוי תדר". משאבות אלו חסכוניות בצריכת החשמל כאשר החיסכון יכול להגיע עד כדי 50% מסך כל היקף צריכת החשמל.



תמונה מס' 5: משאבת רוטור

בחישוב הספיקה הנדרשת ממשאבות הוואקום, צריכה להילקח בחשבון ירידה ברמת הוואקום כתוצאה מחדירות אוויר למערכת החליבה בצורה קבועה ובצורה בלתי קבועה. בעת קביעת ספיקת משאבה הדרושה למכון החליבה יש לקחת בחשבון את מספר יחידות החליבה (מספר האשכולות), את אורך הצנרת, את מספר הזוויות לאורך הקווים, את מספר החולבים וכן מתקנים נוספים במערכת הצורכים ואקום כגון מדי חלב, מסירי גביעים ובוכנות לפתיחת שערים. נוסחה פשוטה לחישוב מקורב של ספיקת כלל המשאבות הנדרשות במכון החליבה היא כדלהלן:

$$C = 1000 + 85N$$

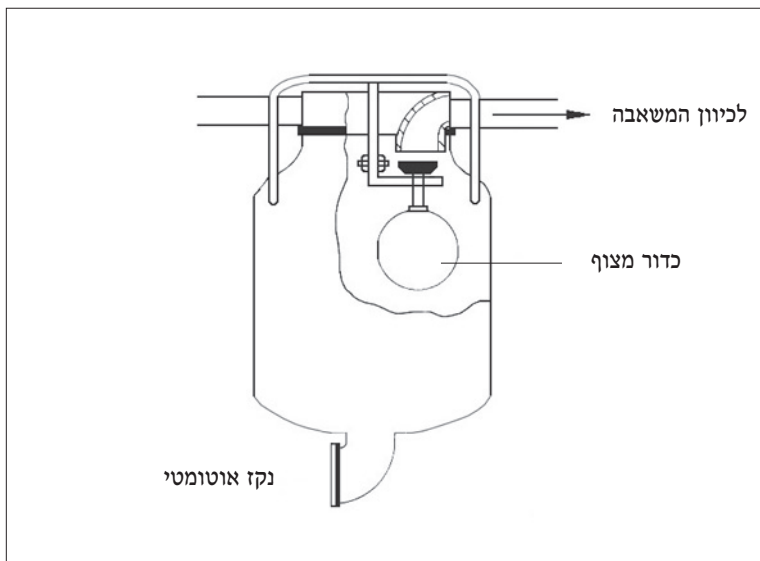
כאשר:

C – ספיקה כוללת של משאבות (ליטר אוויר/דקה ב־50 קפ"א)

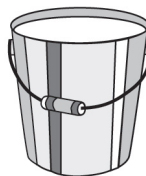
N – מספר יחידות חליבה

מלכודת

משאבת הוואקום חייבת להיות מוגנת תמיד מפני חדירת נוזלים אשר יכולים להיות חלב, תמיסת ניקוי או מים שהתעבו בתוך המערכת. תפקיד זה מוטל על מלכודת המוצבת בין המשאבה לבין מערכת החליבה (תמונה מס' 6). נפח המלכודת יהיה לכל הפחות 15 ל'. ככל שמערכת החליבה גדולה יותר יש צורך במלכודת גדולה יותר (כדי להכיל את תמיסת הניקוי של מערכת הוואקום, באמצעותה מנקים את קווי הוואקום מדי פעם בפעם). במלכודת חייב להיות מותקן מצוף כדי למנוע מעבר נוזלים לכיוון המשאבה, ופתח תחתון שיפתח עם הפסקת פעולת המשאבה לשם ניקוז נוזלים שהצטברו במהלך החליבה האחרונה.



תמונה מס' 6: מלכודת



וסתי ואקום

וסת ואקום הוא שסתום אוויר אוטומטי המתוכנן לשמירה על רמת ואקום יציבה במכונת החליבה למרות השינויים בצריכת האוויר במהלך החליבה. קיימים מספר סוגים של וסתי ואקום.

שעון ואקום

שעון הוואקום מצביע על רמת הוואקום במערכת החליבה. לשם מעקב יעיל אחר רמת הוואקום במערכת, על חלקיה השונים, יש להתקין במערכת החליבה שעונים במספר מקומות. שעוני ואקום מכוילים בדרך כלל ביחידות ברומטריות. תחום המדידה שלהם הוא בין 0 ל-100 קפ"א, בין 0 ל-760 מ"מ כספית או בין 0 ל-30 פאונד לאינץ' בריבוע (ראה/י עמ' מס' 289). בדרך כלל התחום הרצוי של רמת הוואקום מוצג במרכז השעון ומסומן בצבע. שעוני ואקום ניתנים לכיול באמצעות בורג מיוחד.

קו ואקום ראשי

הוואקום מועבר ממשאבות הוואקום אל מערכת החליבה באמצעות קו ואקום. רצוי שקווי הוואקום יהיו עשויים מפלסטיק קשיח אשר אינו מתבלה במהלך השנים. בקווים העשויים פלסטיק קשיח הפסד הספיקה נמוך הודות לשטח הפנים החלק של הצינור. כמו כן, קל לנקות צינורות אלו. קווי הפלסטיק חייבים להיות עמידים מפני קריסה בוואקום של כ-70 קפ"א וכן עמידים לחום גבוה של 90 מ"צ. קוטר הקווים יחושב בהתאם לגודלו של מכון החליבה, אך מקובל כיום להתקין צינורות בקוטר של 3 צול ומעלה. במערכות החליבה המודרניות קו ואקום זה מתחבר אל מִקְלֵל איזון המותקן בסמוך לבור החליבה. בִּמְקַל איזון זה מתחברים קווי הפעימה וקווי הוואקום למשחרי החלב.

קו חליבה

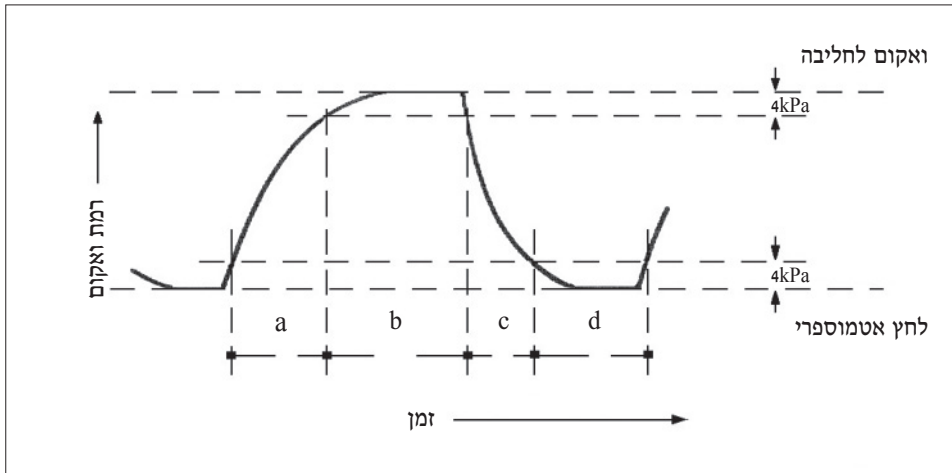
קווי החלב יכולים להיות עשויים זכוכית עמידה לחום או נירוסטה. במערכות החליבה לקו נמוך (אלו הנפוצים כיום) מקובל להתקין קווי נירוסטה הודות לעמידותם הגבוהה. קוטר קווי החלב נע בין 50 ל-100 מ"מ, בהתאם למספר יחידות החליבה במכון. ככל שמספר יחידות החליבה במכון עולה, כך עולה קוטר קווי החלב. קווי החלב מותקנים בשיפוע כלפי משחרי החלב.

מפְעָם

בטנות החליבה נפתחות ונסגרות לחילופין בעת החליבה. פעולות הפתיחה והסגירה יוצאות לפועל על ידי שינויים בלחץ האוויר בחלל הגביע – החלל בין הבטנה לבין הגביע. חלל זה מכונה גם תא פעימה. השינוי בלחץ האוויר בחלל הגביע מתבצע בעזרת המִפְעָם, שהוא ססתום המחבר את תא הפעימה בגביע החליבה לוואקום ולאוויר אטמוספרי לחילופין. כאשר

נוצר ואקום בתא הפעימה בטנת החליבה נפתחת והחלב נשאב. כאשר הלחץ חוזר להיות הלחץ האטמוספרי בטנת החליבה נסגרת ונפסקת שאיבת החלב.

במחזור פעימה אחד בטנת החליבה נפתחת פעם אחת ונסגרת פעם אחת (תמונה מס' 7). משך הזמן של מחזור פעימה מכתוב את מספר המחזורים לדקה. כאשר זמן מחזור פעימה הוא שנייה אחת, מספר המחזורים לדקה יהיה 60 (כנהוג בבקר). כאשר משך מחזור פעימה יהיה 0.66 השנייה מספר המחזורים לדקה יהיה 90 (כנהוג בצאן).



תמונה מס' 7: מחזור הפעימה

ניתן לחלק את מחזור הפעימה לארבעה שלבים:

- ❖ שלב א' (a בתרשים שבתמונה מס' 7): שלב יצירת הוואקום בחלל הגביע (בין הבטנה לבין גביע החליבה). רמת הוואקום בחלל הגביע עולה מלחץ אטמוספרי בתחילת התהליך לרמת הוואקום שקיימת במערכת החליבה. במשך שלב זה הבטנה הולכת ונפתחת ומתחיל לזרום חלב מהפטמה.
- ❖ שלב ב' (b בתרשים שבתמונה מס' 7): שלב בו רמת הוואקום בחלל הגביע מגיעה לשיא וזהו לרמת הוואקום במערכת החליבה. כתוצאה מכך, הבטנה פתוחה לגמרי והחלב ממשיך לזרום בקצב גבוה מהפטמה החוצה.
- ❖ שלב ג' (c בתרשים שבתמונה מס' 7): שלב הירידה בוואקום. רמת הוואקום בחלל הגביע הולכת ויורדת עד שהיא מגיעה ללחץ אטמוספרי. מצב זה קורה עם החדרת אוויר אטמוספרי דרך המפגש אל חלל הגביע. תהליך זה גורם לכך שבטנת החליבה הולכת ונסגרת תוך כדי לחיצה על קצה הפטמה כך שזרימת החלב הולכת ונחלשת עד שהיא נפסקת.

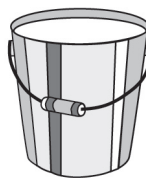
❖ שלב ד' (d בתרשים שבתמונה מס' 7): שלב בו רמת הוואקום היא 0 או במילים אחרות הלחץ בחלל הגביע שווה ללחץ אטמוספרי). בשלב זה בטנת החליבה סגורה, לוחצת בכוח רב על קצה הפטמה, וחוסמת את זרימת החלב מהעטין לאשכול. בשלב זה אין זרימת חלב מהעטין לאשכול. מן ההיבט של בריאות העטין חשוב כי הזמן יחסי של שלב ד' יהיה לפחות 15% ממשך המחזור. הרפיית לחץ השאיבה (ירידת הוואקום) על הפטמה מאפשר לנוזלים שיצאו מכלי הדם אל החללים הבין-תאיים שבפטמה לחזור לכלי הדם. בכך נמנעת נפיחות הפטמה.

יחס חליבה:מנוחה – היחס בין זמן החליבה לבין זמן המנוחה במהלך מחזור הפעימה מוגדר כיחס בין סכום משכי הזמן של שלבי הפתיחה של הבטנה (שלבים א' וב') לבין סכום משכי הזמן של שלבי הסגירה של הבטנה (שלבים ג' וד').

יחס החליבה (באחוזים) יחושב לפי הנוסחה הבאה:

$$\text{יחס חליבה} = \frac{100 \cdot (א+ב)}{(א+ב+ג+ד)}$$

יחס המנוחה יחושב על ידי הפחתת יחס החליבה מ-100. נהוג לרשום את יחס חליבה:מנוחה, כך שמצד ימין של הביטוי יופיע יחס המנוחה ומצד שמאל יחס החליבה. למשל, אם 60% מזמן המחזור הוא חליבה ו-40% מנוחה הרישום יהיה: 60:40. יחס חליבה:מנוחה גבוה יחסית, למשל 65:35, יביא לחליבת הפרות מהר יותר לעומת יחס חליבה נמוך יחסית של 50:50. למשל. זאת, מכיוון שבמקרה השני הבטנה תהיה פתוחה משך זמן ארוך יותר במהלך המחזור. בדרך כלל יחס חליבה : מנוחה 60:40 הוא המתאים ביותר לבקר לחלב.



צורת פעימה – בדרך כלל נהוג לחלוב את הפרה כך שבאותו פרק זמן ייחלבו שני רבעים ושני הרבעים האחרים יהיו במצב מנוחה. צורת פעימה זו נקראת חליבת רבעים והיא מסומנת בדרך הבאה: 2x2. ישנן מערכות חליבה (מספרן הולך ומתמעט והן אינן מקובלות בארץ) שבהן כל הרבעים נחלבים יחד ונחים יחד. צורת חליבה זו נקראת חליבת רבעים סימולטנית והיא מסומנת: 4x0. במערכות החליבה המודרניות כיום, המפעמים הם אלקטרוניים וכל מפעם מופקד על יחידת חליבה אחת.

מכשור נוסף במערכת החליבה



במכוני חליבה מתקדמים מותקנים מספר אביזרים אשר מהווים חלק בלתי נפרד מציוד החליבה, כמפורט להלן.

מדי זרימת חלב

אלה מותקנים בין הקומץ לבין הצנצנת/קו החלב ומוודדים את קצב זרימת החלב בדקה. כאשר קצב הזרימה פוחת מתחת לסף שנקבע (בין 250 ל-500 סמ"ק/דקה) המד מעביר פקודה להפסיק את החליבה. הפקודה מועברת אל לוח הבקרה של העמדה או ישירות למסיר אשכול החליבה.



מדי חלב

אלה מותקנים בין אשכול החליבה לבין הכניסה לקו החלב. כמות החלב העוברת דרכו נמדדת וכך גם קצב זרימת החלב. כאשר קצב הזרימה פוחת מתחת לסף שנקבע (ראה/י לעיל) מעביר מד החלב פקודה אל לוח הבקרה להסרת האשכול. ביצוע ההסרה מושהה למספר שניות כדי להבטיח כי במידה והפרה מחדשת את שחרור החלב לאחר עצירה קצרה, החליבה תימשך. אם זרימת החלב אינה מתחדשת מתבצעת הסרת האשכול. כל המידע ממד החלב מועבר אל מחשב מרכזי אשר מעבד את הנתונים ויודע להתריע למרכז הרפת על ירידה בלתי צפויה בכמות החלב הנחלבת מפרה מסוימת. בחלק ממדי החלב מותקן חיישן לבחינת המוליכות החשמלית של החלב. עלייה במוליכות פירושה חשד לדלקת עטין.

מערכת זיהוי אוטומטי

על רגל הפרה או על צווארה מותקן תג זיהוי. עם כניסתה למכון החליבה מזוהה הפרה ונקבע הקשר בין הפרה לבין מספר העמדה בו היא תיחלב. במידה ובמערכת הממוחשבת קיימת הודעה מסוימות לגבי פרה (למשל ייצור קולוסטרום, חלב המכיל אנטיביוטיקה וכו') מופיעה הודעה על צג לוח הבקרה בעמדה המתאימה. לתגי הזיהוי האוטומטי מוצמדים כיום גם מדי פעילות (פדומטרים), המעידים באמצעות ספירת צעדים של הפרה על כניסתה לייחום.

מֶכֶל החלב

החלב ממערכת החליבה מוזרם באמצעות משאבת משחרר החלב אל מֶכֶל החלב העשוי נירוסטה. במֶכֶל החלב, החלב מקורר בדרך כלל ל-4°C מ"צ תוך פרק זמן מוגדר מתום החליבה. קירור החלב מתבצע באמצעות "שדות קירור" המקיפים את המֶכֶל. שיטת קירור זו מכונה "קירור ישיר". יש מקרים, בפרט במכוני חליבה גדולים אשר מאופיינים בקצב גבוה של זרימת חלב (מעל 2,500 ל' לשעה), בהם מערכת הקירור של המֶכֶל אינה מסוגלת להוריד את טמפרטורת החלב במהירות הנדרשת. במקרה זה מותקנת מערכת קירור נוספת, לפני הכניסה למֶכֶל. באמצעות החלפת חום בין החלב הזורם בקו החלב לבין מים קרים הזורמים בצמוד לקו החלב מתאפשר קירור החלב. שיטת קירור זו נקראת "קירור עקיף".

נפח מֶכֶל החלב הדרוש למשק מחושב לפי הנוסחה הבאה:

כמות החלב היומית המרבית לפרה כפול מספר הפרות בעדר כפול מספר ימי אחסון החלב במשק (בדרך כלל: יומיים).



מבנים ברפת החלב



עזרא שושני

בעלי חיים הרועים בשטח פתוח חשופים לפגעי הסביבה. בקיץ, קרינת השמש עלולה לגרום לעקת חום. בחורף, גשם, קור ורוחות חזקות עלולים להביא להורדת טמפרטורת הגוף. בנוסף, הרטיבות והבוץ מונעים מבעלי החיים לרבוץ ולהעלות גירה בנחת. שיכון בעלי חיים במבנים נעשה במטרה להגן עליהם מפני פגעי מזג האוויר ומפני פגעי הסביבה. אחזקת בעלי חיים במבנים תורמת גם לייעול עבודת המגדל, ומאפשרת לנצל את מלוא כושר הייצור או הגדילה של חיות המשק, באשר נחסך מהן הצורך להשקיע מאמצים להשגת מזון ומי שתייה.

קיימות עדויות לכך שכבר לפני אלפי שנים בנו רועי צאן ובקר מכלאות, או שיכנו את בעלי החיים במערות מוגנות בסמיכות לאזורי המרעה. אולם, רק עם התיישבות האדם במקומות קבע החל תהליך של שיכון חיות המשק במבנים. היציאה למרעה נעשתה לפרקי זמן קצרים, כאשר בעלי החיים הוחזרו מדי יום אל הרפתות או הדירים למטרת חליבה. במקומות רבים בעולם שיטת גידול זאת קיימת גם כיום. עם התפתחות הגידול האינטנסיבי של בעלי חיים, אשר קיבלה תנופה רבה במהלך המאה התשע-עשרה, הוחל ביישום ממשק בו בעלי החיים מוחזקים כל תקופת חייהם בתוך מבנים.

תכנון נכון של מבנה הרפת או הדיר צריך לתת מענה לצורך במתן הגנה מקרינת שמש ומחום, וכן הגנה מפני רוחות חזקות וגשמים. כמו כן, המבנה צריך לאפשר במשך כל שעות היממה תנאים נוחים למרבץ, לאכילה ולשתייה. תוך כדי לימוד התנהגות בעלי החיים במבנים ולימוד המנגנונים הפיזיולוגיים הקשורים בגדילה ובייצור, חלו עם השנים שינויים בתפיסה לגבי הצורה הרצויה של מבני משק בעלי החיים ולגבי התכנון הפנימי שלהם.

תכנון מבנים לבקר לחלב



בתכנון מבנים לבקר חלב יש להתייחס לנקודות הבאות:

כיוון הצבת הסככה ומיקומה

לכיוון הצבת המבנה חשיבות רבה, באשר הוא קובע את רמת האוורור הטבעי הנעשה באמצעות הרוח. בדרך כלל, כיוון הרוח בישראל הוא ממערב למזרח. לכן, במטרה להשיג אוורור מרבי, הצבת הסככות תיעשה בניצב לכיוון הרוח, דהיינו בציר אורך צפון-דרום. יחד עם זאת, יש לדעת כי לא די בהקפדה על הצבת המבנה בכיוון הרצוי, אלא יש להקפיד ולמקם אותו במרחק של 30 מ' לפחות ממבנים אחרים או משדרות עצים העלולים לחסום את תנועת האוויר.

שטח רביצה

יצירת תנאי צפיפות בסככות תביא לפגיעה ברווחת חייהם של בעלי החיים, ומכאן לפגיעה בביצועיהם. תנאי הצפיפות גם יגבירו את הסיכון לחלות בדלקת עטין עקב רטיבות המתפתחת באזור הרביצה. כאשר מדובר בפרות לחלב, מומלץ להקצות לכל פרה שטח של כ-15 עד 18 מ"ר באזור הרביצה, בהתאם למיקום הרפת ובהתאם לתנאי האקלים. באזורים לחים רצוי להקצות אזור רביצה נרחב עוד יותר. הופעת אזורים לחים על רצפת הרפת הם סימן מעיד לכך ששטח הרביצה קטן מדי.

כאשר מדובר בגידול עגלות, שטח הרביצה הדרוש לעגלה קטן מהשטח הנדרש לפרה בוגרת. שטח זה ילך ויגדל עם התפתחות העגלה.

מבנה הגג

התפקיד העיקרי של הגג הוא להגן על בעלי החיים מפני שמש וגשם. שגיאה בבניית הגג עלולה להביא לחימום יתר של המבנה עקב כליאת אוויר חם תחתיו או בשל מתן אפשרות לקרני השמש לחדור לכיוון שטח מרבץ הפרות. סוג החומר ממנו בנוי הגג וגובה הגג משפיעים גם הם על הולכת חום אל המבנה וממנו אל החוץ. יש לבנות את הגג כך ששוליו התחתונים יהיו לפחות בגובה של 4.50 מ' מעל לפני הקרקע. כדי לאפשר תנועת אוויר חם כלפי חלקו העליון של הגג רצוי שהגג יהיה בעל שיפועים מתאימים (קרוב ל-30%), וכן רצוי שיהיו בו פתחים לשם יציאת האוויר החם אל מחוץ למבנה.

אבוסים ושקתות

מזון הפרות, בצורת בליל, מחולק באבוס שטוח עשוי בטון, הממוקם לאורך ציר האורך של המבנה. רצוי שהאבוס יהיה מקורה כדי למנוע קלקול המזון כתוצאה מפגיעת קרני שמש, מרוחות או מגשמים. פרות נוהגות לאכול במרעה כאשר ראשן מוטה כלפי מטה. נמצא, כי הרכנת הראש כלפי מטה מביאה להפרשה מוגברת של רוק ולהגברה של צריכת המזון. לכן, יש לבנות את האבוס כשהוא נמוך וצמוד לפני הקרקע. שיטת ההזנה החופשית בבליל מזון אינה מחייבת התקנת סגרים לכל אורך האבוס. אולם, הצורך לבחון את מצבן הגופני של הפרות מדי פעם או לטפל בהן לעתים קרובות, כמו גם הצורך למנוע את רביצת הפרות מיד לאחר חליבתן, מקנים יתרון להתקנת סגרים לאורך האבוס. האבוס צריך להיות מבוסן ורחב דיו כדי לאפשר מעבר כלים לחלוקת האוכל. רוחב השביל מותנה גם במספר חלוקות האוכל במהלך היממה (חלוקת מזון פעם ביום תחייב שולחן רחב יותר, יחסית). בדרך כלל רוחב שולחן יהיה 4.5 עד 6 מ'.

צריכת המזון תלויה בכמות הנוזלים שהפרה שותה. בנוסף, המים מהווים את המרכיב העיקרי של החלב. לכן, יש חשיבות רבה לאפשר לפרות, במיוחד לגבוהות התנובה שביניהן, לשתות ללא כל הגבלה מים באיכות גבוהה. יש להתקין ברפת מספר שקתות רב ככל שניתן, ולאפשר גישה חופשית של הפרות אליהן. השקתות צריכות להיות ממוקמות באזורים מוצלים ברפת ויש לאפשר חילוף מהיר של המים בהן. המיקום הרצוי של השקתות הוא בסמוך לאזור הרביצה, כאשר הגישה אל השוקת היא מכיוון האבוס בלבד. ניתן גם למקם שקתות בהיקף הסככות, סמוך לגדר וכן לאורך מסלולי חזרת הפרות ממכון החליבה אל הסככות, תוך דאגה לכך שהשקתות תהיינה בצל. כדי ליצור חילוף מהיר של מים בשקתות, למניעת התחממות המים ולמניעת התפתחות אצות, על השקתות להיות שטוחות, צרות וארוכות דבר אשר יאפשר למספר רב של פרות לשתות מהן באותו פרק זמן. מספר השקתות הדרוש לקבוצה יחושב לפי מכפלת מספר הפרות בקבוצה ב-0.2 מ"ר – המרווח הרצוי לפרה, מחולק באורך השוקת. לדוגמה: לקבוצה בת 75 פרות תידרשנה 5 שקתות כל אחת באורך של 3 מ'.

מדריך הפרות לאורך פס האביסה

מדריך הפרות ירוצף בבטון ששטח פניו מחורץ. חגורת בטון בגובה של 25 ס"מ מעל פני הבטון תחצוץ בין אזור המדרך לבין אזור הרביצה. ניקוי המדרך צריך להיעשות לפחות פעמיים ביום כדי למנוע גריפת הזבל לאזור הרביצה.



טיפול בזבל



הטיפול בזבל ישתנה בהתאם לרמת סמיכותו. פרש הפרות נאגר בשני מצבי צבירה:

פרש מוצק

פרה חולבת מפרישה בממוצע כ־18 מ"ק פרש לשנה, בריכוז מוצקים של 10%. פרות "יבשות" מפרישות עד כ־16 מ"ק לשנה. עגלים ועגלות מפרישים כמויות משתנות בהתאם לגילם. כמות הזבל המיועדת לטיפול ולסילוק תלויה בסוג הרפד ובתדירות החלפת הריפוד. ניתן לפזר ולהצניע את הזבל המוצק בשדות חקלאיים, להפנותו להכנת קומפוסט או להשתמש בו שימוש חוזר לריפוד סככות לאחר טיפול מתאים.

זבל נוזלי

זבל נוזלי הוא זבל אשר כמות המוצקים בו ליחידת נפח קטנה יחסית, דבר המאפשר זרימת הזבל בהתאם לכוח הכובד מהרפת אל סביבתה. המקום המיועד לקבלת זבל נוזלי הוא מדרך הפרות שלאורך האבוס. את הזבל הנוזלי ניתן לדחוף באמצעות טרקטור או מגרד מכני. הזבל הנוזלי ייאגר במאגר אטום בקצה המדרך תוך מניעת תנועת מים עיליים אליו וממנו. מאגר זה יהיה מוקף גדר כדי למנוע נפילה של בני־אדם או בעלי חיים לתוכו.



ניתן לייבש את הזבל הנוזלי על גבי משטח ולפזר אותו בשדות בזמן מתאים. פיזור הזבל הנוזלי בשדות במטרה להיפטר ממנו מוגבל לאזורים מסוימים. אפשרות נוספת לטיפול בזבל רטוב היא להפנות אותו אל מתקן הפרדה באמצעות שטיפה על ידי מים ממוחזרים. פתרון זה אינו מועדף בשל חשש להתפתחות של חיידקים במים הממוחזרים, אלא עלולים לפגוע בטלפי הפרות. הפניית הזבל הנוזלי לעבר מתקן הפרדה מחייבת בניית תעלות הובלה. האזור שאליו מופנה הזבל כולל מספר מערכות נלוות מעבר למתקני ההפרדה: בור ערבול, מְכָלִים אופרטיביים ומערכות שינוע של מים ושל חשמל. לאחר ההפרדה מתקבלים שני מקטעים: מוצקים ונוזלים. הנוזלים יופנו למתקן טיפול־קדם או למערכות ביוֹב אזוריות. מקטע הזבל המוצק יפונה כמוזכר לעיל.

סוגי מבנים



קיימים בארץ שלושה סוגי מבנים לשיכון בקר לחלב: קוראל, סככה כוללת וסככת תאי רביצה.

קוראל

מבנה זה בנוי מאזור רביצה צר וארוך אשר משני צדדיו יצוקים משטחי בטון שאינם מוצלים. האבוס ממוקם מצדו החיצוני של משטח הבטון. שטח הרביצה המוצל לפרה קטן יחסית, דבר המקשה על ההתייבשות הטבעית של האזור, מצב המחייב התקנת אוורור מאולץ וכן תדירות גבוהה של החלפת ריפוד. מילוי אזור הרביצה בעפר או בכל סוג של מילוי מתאים אחר שעלותו זולה לתצורה של גבעה עשוי לשפר את תנאי האוורור ולהגדיל במקצת את השטח לרביצה.



תמונה מס' 1: קוראל

תנועת כדור הארץ סביב השמש גורמת לכך כי אזור רביצת הפרות הנחשף לקרני השמש משתנה במהלך היום. כתוצאה מכך, הפרות נעות במהלך היום ומצטופפות באזורי הצל. מאחר והאבוס בנוי בקצה אחד ממשטחי הבטון, על הפרה ללכת לעתים מרחק רב מהמרבץ המוצל אל האבוס. שימוש בסככה מסוג קוראל אינו מומלץ כיום (מלבד באזורים שחונים וגם שם, תוך כדי הגדלת שטח הרביצה לפרה) בגלל החשיפה של משטחי הבטון למי-גשם. המים עלולים לזהם את הסביבה באם הם אינם נאספים במערכת לטיפול בשפכים (ראה/י לעיל). אזור האבוס יקורה בגג לשם הקטנת עומס החום על הפרות. על הגג להיות גבוה כך שתנועת טרקטור ו/או עגלה מערבלת מתחתיו לא תפגע בו. בהתאם לצורך, ניתן להגדיל את השטח המוצל לפרה באמצעות פרישת רשתות צל מעל החצר הפתוחה שבין האבוס לבין סככת הרביצה.

סככה כוללת

ברפת מסוג זה מרבית שטח המחיה של הפרה מקורה. היתרון של סככה כוללת הוא שיש בה רצף מקורה בין אזור האביסה לבין אזור הרביצה. לכן, מרחקי ההליכה של פרות מהאבוס אל השקתות ואל אזור הרביצה קטנים. כמו כן, תכיפות הכנסת ריפוד והוצאתו קטנה לאין שיעור לעומת המצב ברפת מטיפוס קוראל. שטח הרביצה לפרה, כיוון הצבת המבנה, צורת הגג ושיפועו וכן גובה הגג בשולי המבנה בסככה כוללת יהיו בהתאם לכללים הנהוגים. מכיוון שחצר פתוחה אינה מותרת כיום בשל דרישות איכות הסביבה שמטרתן מניעה של חדירת גשם ויצירת תשטיפים לסביבה, פותחה בארץ שיטה אשר מאפשרת פתיחה של הגג מעל לשטח מרבץ הפרות בעת הצורך. פתיחת הגג בקיץ בשעות הקרירות מאפשרת הפחתה של עומס החום וכן תורמת לייבוש המרבץ.



תמונה מס' 2: סככה כוללת



תמונה מס' 3: פתיחת גג בסככה כוללת על ידי רפרפות



תמונה מס' 4: פתיחת גג בסככה כוללת על ידי מדפים

סככת תאי רביצה

המונח "תאי רביצה" מתייחס בדרך כלל לצורת מבנה הכולל מדרכים קשים בתוספת תאי רביצה אשר גישת הפרות אליהם חופשית. רפת תאי רביצה תוכננה במקור לשם הגנה על הפרות מתנאי סביבה קשים של אקלים קר, וכן לשם חיסכון בקש כחומר ריפוד. במשך הזמן נבנו מבנים עם תאי רביצה גם באזורים חמים.

היתרונות של סככת תאי רביצה הם: שטח קטן יחסית לפרה (עשרה עד חמישה עשר מ"ר, כולל חצר) וצורך בכמויות רפד קטנות יותר. החסרונות: הצורך בטיפול ידני יום יומי בהוצאת צניפי הזבל, קושי בביצוע תצפית דרישות וריבוי יחסי של פציעות בברכיים ודלקות בטלפיים כתוצאה מהליכה על משטח בטון במהלך רוב שעות היממה.



תמונה מס' 5: סככת תאי רביצה

המבנה הטיפוסי של סככת תאי רביצה הוא של שני טורים של תאי רביצה, כאשר הפרות רובצות ראש מול ראש. קיימים מבנים עם מספר שורות של תאי רביצה. אולם, ככל שמספר השורות הולך וגדל, כך הולכת ומחמירה בעיית אוורור המבנה. במבנה רפת תאי רביצה צפיפות הפרות ליחידת שטח גדולה יחסית. כמו כן, נמנעת מהפרות האפשרות להתגודד באזורים שונים בתוך הסככה במהלך היממה בהתאם למשטר רוחות ולתנועת השמש, כפי שהן נוהגות לעשות בסככות רגילות. לכן, ברפת תאים לרביצה יש להקפיד הקפדה יתרה על אוורור מתאים ואחיד לכל המבנה ולאפשר נוחות מרבית בתאי הרביצה. המבנה צריך להיות פתוח משני צדדיו כדי להבטיח אוורור מרבי, לבד מאשר באזורים בעלי אקלים קר.

מרכז החלב

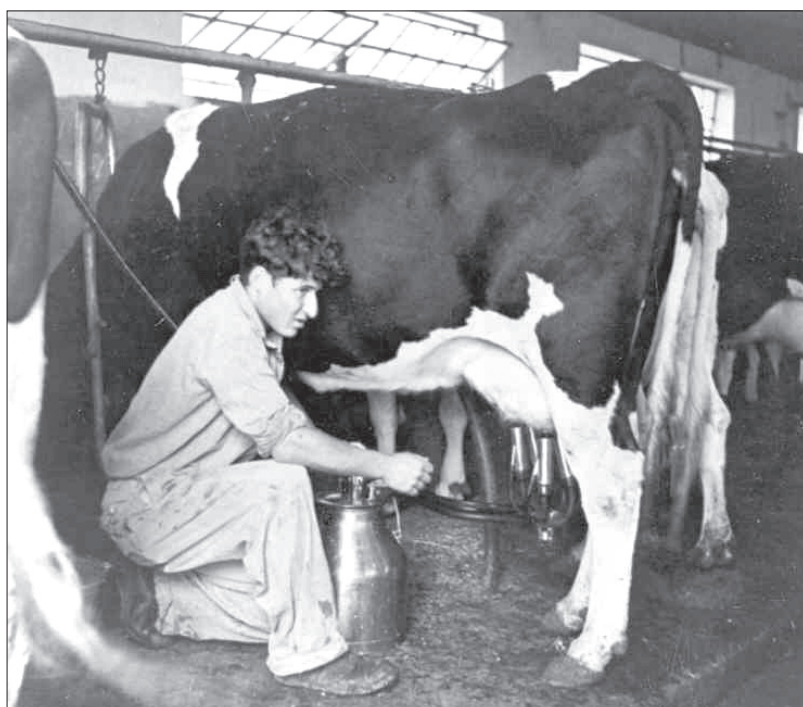


מרכז החלב ברפת כולל את מכון החליבה, את חצר ההמתנה ואת מדור השירותים. משך החליבה תופס כ-40% מכלל זמן העבודה ברפת החלב. על כן, יש חשיבות מרבית לתכנון את מרכז החלב כך שיאפשר חליבה יעילה, מהירה ונוחה ככל האפשר. במדינות רבות אין ברפתות מכוני חליבה. מכונת החליבה מובאת אל הפרה העומדת קשורה בסככת השיכון. במצב זה, המפלס בו החולבים ניצבים הוא אותו מפלס בו עומדות הפרות. בעת החליבה, על החולב להתכופף. שיטה זו של הבאת מכונת החליבה לפרה אינה יעילה והיא שהביאה לפיתוח מכוני החליבה. מכוני החליבה הראשונים היו למעשה עמדות חליבה שהיו מסודרות בשורה והפרות היו נכנסות אליהן תוך כדי חציית אזור החולבים ונעמדות אחת ליד השנייה. יחידת חליבה הייתה משרתת שתי פרות. עם תום החליבה, הפרות היו יוצאות קדימה. תכנון ראשוני זה של מכון חליבה נזנח עם השנים, הן מכיוון שמלאכת החליבה בו לא הייתה יעילה, והן בשל הצורך של הפרות לחצות את משטח העבודה של החולבים – דבר שלא תרם להיגיינת החליבה. עם הזמן, בכדי להקל על החולבים בעת עבודתם, נבנו מכוני חליבה עם במות מורמות ביחס למפלס החולבים. בתחילה היה זה מכון חליבה מסוג טנדס (ראה/י פירוט בהמשך). בהמשך, פותח בניו־זילנד ובאוסטרליה בשנות ה-50 של המאה העשרים מכון חליבה מסוג שדרת־דג. לאחר מכן, בשנות ה-70 של המאה העשרים פותחו מכוני חליבה מסוג הטריגון והפוליגון. במקביל לאלה, פותחו מכונים סובבים. בשלבים מאוחרים יותר פותח מכון החליבה מסוג מקבילית אשר הוא הסוג המקובל כיום לחליבת עדרים גדולים בהם למעלה מ-1,000 פרות. העיקרון בכל המכונים שצוינו: עמידת הפרות במפלס גבוה ממפלס החולבים, מצב המונע התכופות של החולבים בעת החליבה.

חצר המתנה

חצר ההמתנה היא חצר אליה מובאות קבוצות הפרות, כל אחת בתורה, לקראת חליבתן. רצוי לבנות חצר המתנה ברוחב שאינו חורג בהרבה מרוחב המכון. חצר ההמתנה תיבנה בהמשך ובצמוד למכון החליבה כדי לאפשר כניסה ישירה של הפרות למכון והפעלה של "מגרש מכני". במשק המשפחתי, כאשר אין אפשרות אחרת, ניתן לשלב את חצר ההמתנה עם חצר הרפת. במקרה זה פני שטח מקום ההמתנה חייבים להיות מכוסים בטון. כמו כן, צריך להיות שביל עשוי בטון בין אזור שיכון הפרות לבין הרפת והמכון. חשוב שאזור ההמתנה יכוסה בגג למניעת קרינת שמש על הפרות בצוהרי היום. הדבר נחוץ במיוחד כאשר חולבים שלוש פעמים ביממה.

רצפת החצר תיבנה בשיפוע שלא יעלה על 5%. שיפוע זה (פרט לחשיבות הניקוז) יכריח את הפרות לעמוד עם הפנים לכיוון הכניסה אל המכון. בתכנון גודל חצר ההמתנה יש להקצות 2 מ"ר לפרה. השטח הכולל של חצר ההמתנה ייקבע לפי הקצאה לפרה, מוכפלת במספר הפרות בקבוצה הגדולה ביותר ברפת. בעת תכנון חצר ההמתנה יש להביא בחשבון אפשרות של התקנת מגרש מכני (מכנס בקר). דחיפת הפרות באמצעות מתן פעימות חשמל תיעשה רק לעתים רחוקות ולשם אילוף הפרות בלבד. על מגרש הבקר להיות כבד־משקל במידה כזו שיימנע מעבר פרות מתחתיו. יש לתכנן מעברים לצורך כניסת אדם אל החצר. הקירות בהיקף החצר ייבנו בגובה של מטר אחד לפחות בכדי למנוע את הרטבת הפרות היוצאות ממכון החליבה (אם מופעלת מערכת המִטְרָה). חצר ההמתנה משמשת אתר מרכזי לצינון הפרות ברפת. לכן, יש להתקין במקום מערכת התזת מים עילית בשילוב מאווררים שיעבדו לסירוגין. מומלץ כי הפרות תחזורנה אל האבוס לאחר חליבתן כדי לאפשר האבסה מיידית, ובכך תימנע רביצת פרות לאחר החליבה.



תמונה מס' 6: חליבה במכונה ניידת

מכוני החליבה לסוגיהם

מכוני החליבה מסווגים לשתי קבוצות עיקריות: מכוני חליבה נייחים ומכוני חליבה סובבים.

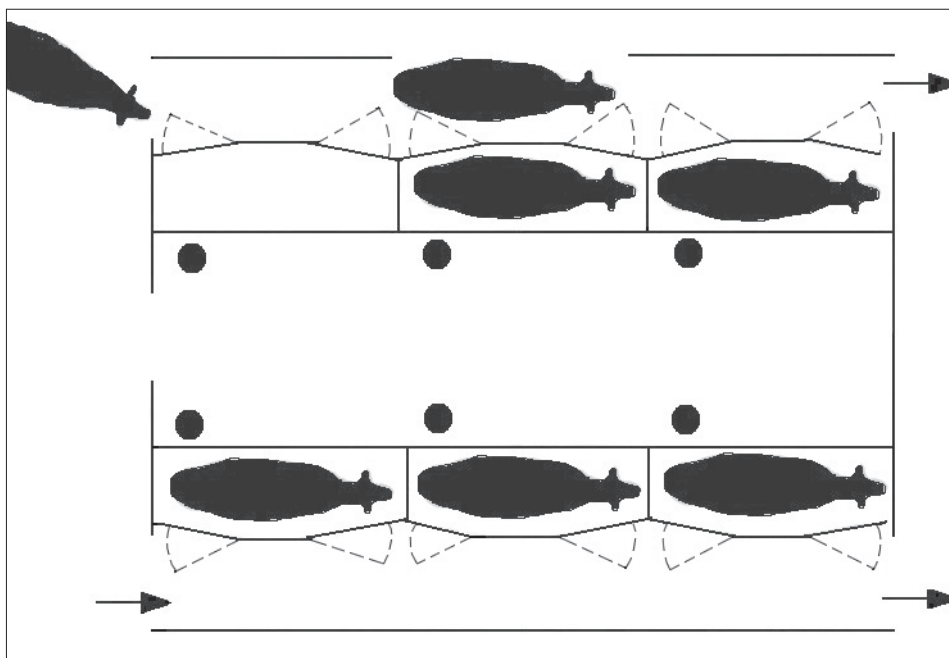
מכוני חליבה נייחים

מכון חליבה מסוג טנדם

במכון זה עמדות החליבה מסודרות בקו אחד, אחת אחר השנייה משני צדי בור בו נמצא החולב. הבמות עליהן עומדות הפרות ממוקמות בגובה של 0.85 מ' מעל רצפת בור החולב. תאי הפרות מלבניים (2.4 מ' על 0.8 מ'), וכל תא מצויד בשער כניסה ובשער יציאה הנפתחים למעבר הפרות. מעבר הפרות ממוקם בין התאים לבין קירות המבנה. שער נוסף ממוקם בקדמת המכון לכיוון חצר ההמתנה. לאחר סיום החליבה, מוסר אשכול החליבה ושער היציאה של התא נפתח באופן אוטומטי. לאחר יציאת הפרה נסגר שער זה ונפתח שער הכניסה בקדמת המכון כדי לאפשר לפרה שעדיין לא נחלבה להיכנס לתא. שני תאים אינם יכולים להיפתח בו־זמנית. יציאת הפרות מתאי החליבה היא אוטומטית אלא אם החולב מחליט אחרת, לדוגמה, בעת הצורך לעכב את הפרה בשל חיטוי הפטמות לאחר החליבה. אין מומלץ לבנות מכון מסוג טנדם עם מספר תאים הגדול מארבעה בכל צד של בור החליבה בגלל מרחקי ההליכה אותם נדרשים החולבים לעבור במהלך החליבה. מכון מסוג טנדם מיועד לחולב אחד והספק העבודה הצפוי בו הוא חליבת 50 עד 60 פרות בשעה.



יתרונות מכון הטנדם: הפרדת הפרות במהלך החליבה זו מזו תורמת להיותן רגועות ושקטות. מבנה המכון מאפשר גישה נוחה לעטיני הפרות, ומונע השפעה של פרה איטית־חליבה על קצב החליבה של הקבוצה. חסרונו של מכון מסוג טנדם הוא בהגבלת מספר העמדות (בגלל מרחקי ההליכה של החולבים). מגבלה נוספת היא היציאה האוטומטית של הפרות מהמכון, אשר אינה רצויה בשל הצורך בחיטוי פטמות לאחר החליבה. עלות מכון זה יקרה יחסית בעוד הספקי העבודה בו נמוכים יחסית.



תמונה מס' 7: מכון טנדם

סוג מכון זה הוא הנפוץ ביותר בארץ הן בעדרים המשפחתיים והן בעדרים שיתופיים. במכון מסוג שדרת-דג הפרות נכנסות ויוצאות בדבוקות (קבוצות) (תמונה מס' 8). לאחר כניסתן, הפרות נעמדות בזווית של כ-30° (תלוי במבנה הזיגוג) משני צדי בור החולב. סידור

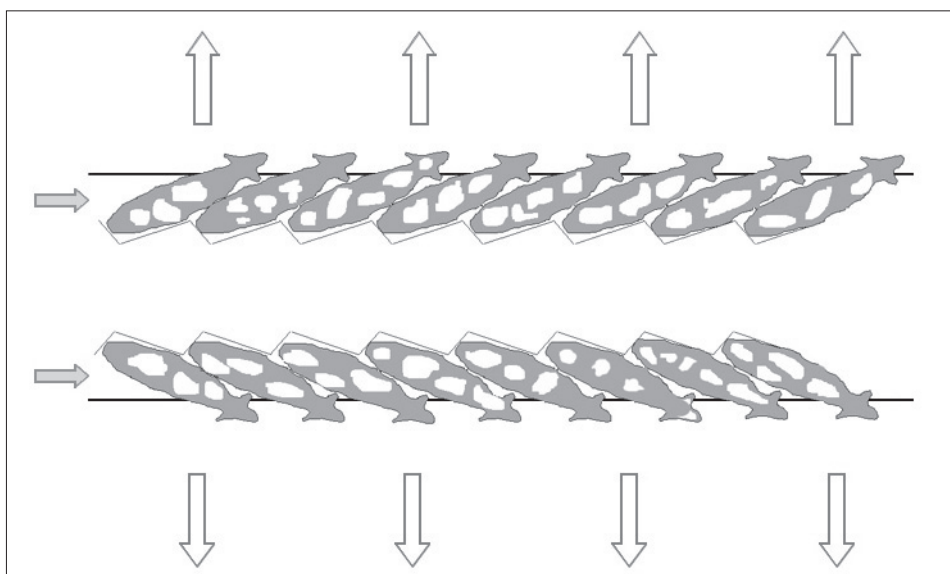
מכון חליבה
מסוג שדרת-דג

זה תורם לקיצור מרחקי ההליכה של החולבים ולקיצור אורך מערכת הובלת החלב. גודלו המיטבי של מכון שדרת-דג לחולב אחד (עדר משפחתי) יהיה 8 עמדות בכל צד. מכוני שדרת דג גדולים (עד 16 עמדות מכל צד), המיועדים לשני חולבים, מתאימים לעדר השיתופי. במכונים הגדולים ניתן לתכנן קו חזה נפתח (יורד או מתרומם). אשר אף על פי שאינו חוסך בזמן העבודה, מקל על החולבים, שכן הוא משחרר אותם ממעקב אחר יציאת הפרות ממכון החליבה. הספק העבודה במכון מסוג שדרת-דג תלוי במספר החולבים ובמספר עמדות החליבה, כמפורט בטבלה הבאה:



טבלה מס' 1: הספק חליבה (פרות/שעה) של מכוני חליבה מדגם שדרת־דג בגדלים שונים.

מספר עמדות	מספר חולבים	הספק (פרות/שעה)	פרות/חולב/שעה
2x6	1	60 עד 50	60 עד 50
2x8	1	75	75
2x10	1	90	90
2x16	2	140 עד 120	70 עד 60



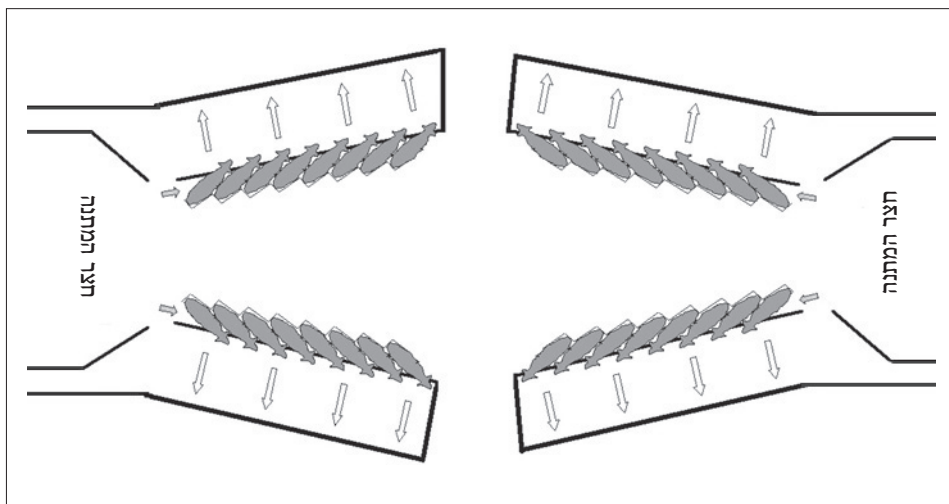
תמונה מס' 8: מכון חליבה מסוג שדרת־דג

מכון פוליון דומה במהותו למכון שדרת הדג בכל הקשור לדרך עמידת הפרות כלפי בור החולב, אך שונה ממנו בכך שמספר העמדות בכל צלע קטן יותר ומכאן מספר הדבוקות רב יותר (תמונה מס' 9). סידור זה מצמצם את השפעת הפרה איטית־החליבה על קצב

**מכון חליבה
מסוג פוליון**

העבודה. סוג מכון זה מתאים לעדר השיתופי בו יותר מחולב אחד. מספר העמדות המרבי בכל צלע הוא 10, כאשר בסך הכול מונים במכון 40 עמדות חליבה. קיימים שני דגמים למכון מסוג זה: האחד, עם חצר המתנה אחת המשרתת את כל ארבע הצלעות והשני עם שתי חצרות המתנה, כאשר כל חצר משרתת שתי צלעות. חסרון הדגם הראשון: גישת הפרות אל הצלעות

המרוחקות מחצר ההמתנה היא דרך שביל אשר מיקומו מקביל לעמדות הפרות בצלעות הקרובות לבור החליבה. שביל זה יוצר אזורי חצייה בין שתי צלעות הממוקמות באותו צד, דבר אשר גורם לקושי רב בשינוע הפרות. קושי זה הביא לפיתוחו של הדגם השני, והוא הנפוץ כיום. יתרונו של מכון הפוליון מהדגם השני: הספק גבוה יותר מאשר בשדרת דג ללא תוספת של יחידות חליבה. זאת, בתנאי ששגרת החליבה היא סיבובית וקיימת תצפית טובה על הפרות בעת חליבתן. חסרונו של מכון זה: עלות גבוהה יותר בגלל הצורך בבניית שתי חצרות המתנה, מבנה מכון בעל שטח נרחב יותר, וכן יש צורך בתוספת שערים ומיכון.

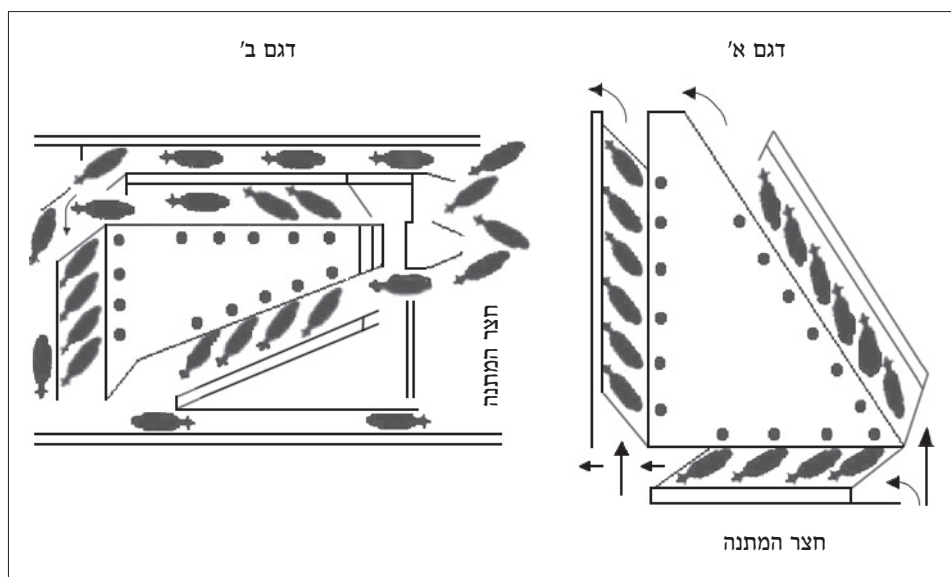


תמונה מס' 9: מכון חליבה מסוג פוליון

בדומה לפוליון למכון זה מספר צלעות – שלוש צלעות במקום ארבע (תמונה מס' 10). הסיבה לתכנונו של הטריגון: צמצום אפקט הפרה האיטית על ידי הקטנת מספר הפרות בדבוקה. מספר יחידות החליבה לכל צלע גדול יותר מאשר בפוליון. חצר המתנה אחת

**מכון חליבה
מסוג טריגון**

משרתת את שלוש הצלעות. קיימים שני דגמים של מכון זה: בדגם הראשון אחת הצלעות ממוקמת בניצב לחצר ההמתנה. בדגם זה קיים קושי בכניסה של הפרות למכון בגלל הצורך שלהן לבצע במהלכה תפנית של 90° . הדגם השני מחייב הולכה של הפרות אל הצלע הרחוקה מחצר ההמתנה בשביל הרחוק מבור החולב ולכן, השליטה בפרות מוגבלת. שגרת החליבה במכון זה דומה לשגרת החליבה בפוליון. חיסרון במכון חליבה מסוג טריגון הוא שינוע מסורבל יחסית של הפרות בשל יצירת מעברים מוצלבים בכניסה וביציאה. יתרונו של מכון חליבה מסוג זה הוא מרחב גדול, כדוגמת הפוליון, המאפשר תצפית טובה על הפרות במשך כל תהליך החליבה.



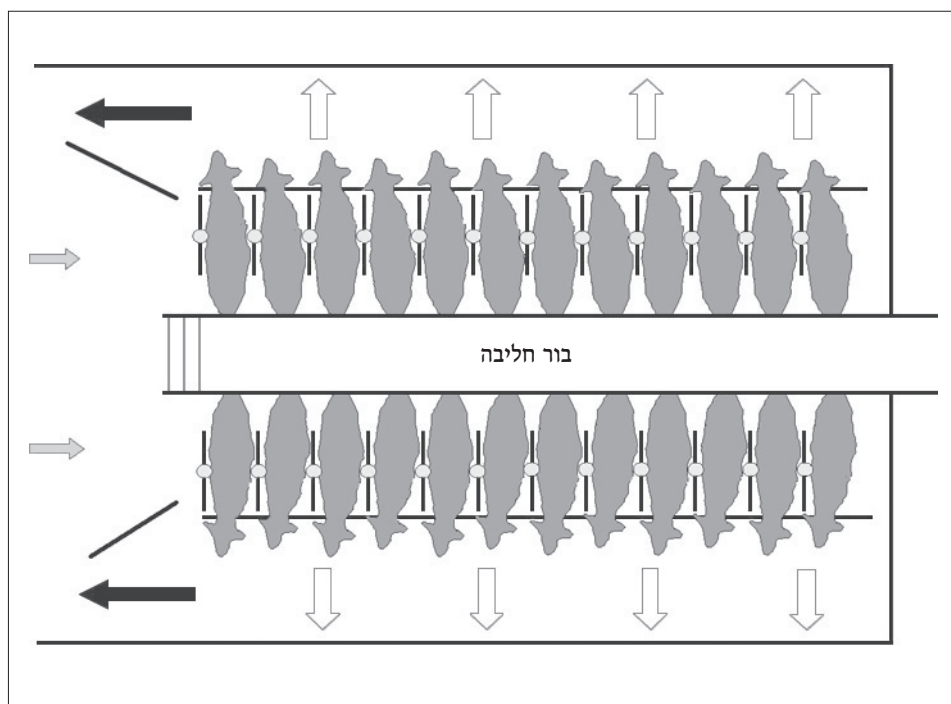
תמונה מס' 10: מכון חליבה מסוג טריגון



הפרות נכנסות למכון זה בדבוקה, כאשר המחיצות החוצצות בינהן נעות על ציר ומוסטות בכיוון הליכת הפרות: כאשר הפרה הראשונה מגיעה לעמדתה היא מכניסה את ראשה אל תא הנעילה תוך כדי סיבוב המחיצה במקביל לגופה וכך הלאה. יציאת הפרות

**מכון חליבה
מסוג מקבילית**

מהירה ומיידית – דבר שמושג באמצעות הרמת נועלי החזה בו זמנית לכל הפרות בדבוקה. הפרות נעמדות בניצב לבור החולב והרכבת המכונות נעשית בין רגליהן האחוריות (תמונה מס' 11). גובה במת הפרות מרצפת בור החולב: 95 עד 100 ס"מ. לשיטת חליבה זו מספר יתרונות: הספק חליבה גבוה יחסית לאותו סדר גודל של יחידות חליבה בשדרת-דג, מרחקי הליכה קצרים לחולבים, זמני כניסה קצרים לפרה הראשונה ובנוסף, הפרות רגועות יחסית במהלך החליבה בשל שיערי ההפרדה ביניהן. חסרונות שיטה זו: תצפית מוגבלת על הפרות, הצורך בטיפוח עטינים צמודים היטב ובגזיזת השערות מקצות הזנב (יש אף שקוצצים חלק מחוליות הזנב כדי למנוע צמיחת השער לצמיתות). יש גם הרואים בהרכבת מכונת החליבה בין הרגליים האחוריות חיסרון.



תמונה מס' 11: מכון חליבה מסוג מקבילית

בבדיקת ביצועי מכוני חליבה בה הושוו ביצועיו של מכון שדרת דג מול ביצועיו של מכון מקבילית נמצא כי ההספקים במכון מסוג מקבילית עולים על אלו של מכון שדרת דג בעל אותו מספר יחידות (ראה/י טבלה מס' 2).

טבלה מס' 2: הספקי חליבה במכון חליבה מקבילית בהשוואה לשדרת־דג.

סוג מכון	מס' חולבים	פרות/שעה	פרות/חולב/שעה
2x10 שדרת־דג	1	80	80
2x10 מקבילית	1	100	100
2x40 שדרת־דג	4	408	102
2x40 שדרת־דג	7	392	56
2x40 מקבילית	4	465	116

מכוני חליבה סובבים

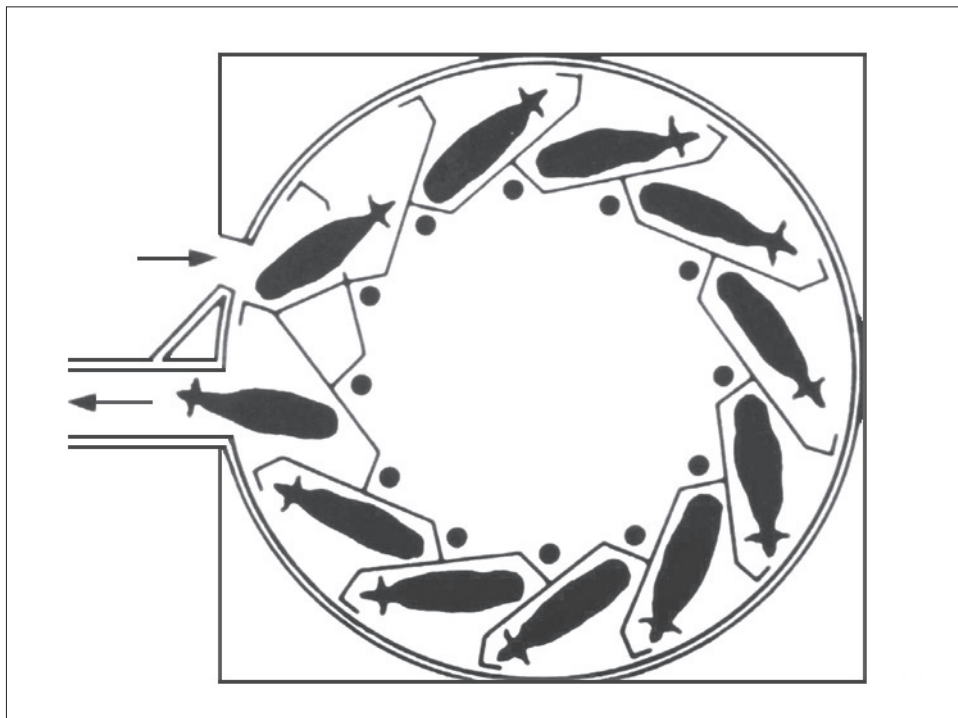
שלושה סוגים של מכוני חליבה סובבים מוכרים ברחבי העולם: טנדם סובב, שדרת דג סובבת ומקבילית סובבת.

בסוג הראשון, פרות עומדות ראש לזנב וכל פרה מאכלסת תא אחד. מכון מסוג זה תוכנן לחולב אחד והספק העבודה בו נמוך.

טנדם סובב

במכון מטיפוס שדרת דג סובבת (תמונה מס' 12) הפרות עומדות בזווית, כך שמספר הפרות בקוטר נתון של קרוסלה גדול יותר מאשר במכון מטיפוס מקבילית סובבת (תמונה מס' 13). מכון זה תוכנן עבור שני חולבים ופעולת החליבה מבוצעת בהיקף הפנימי. שינוע הפרות במכון שדרת-דג סובבת משופר בהשוואה לשינוע הפרות במכון טנדם סובב. היתרונות שנקפו לסוג מכון זה: אוטומציה, שעלותה זולה יחסית: הסרת הגביעים סמוך ליציאה, מכונה לשטיפת אשכולות, חליבה בנקודה אחת, שחרור חלב מהצנצנות וכן הלאה. הספקי החליבה כאן דומים לאלו שבמכון מטיפוס שדרות דג נייחות בו מספר דומה של עמדות חליבה.

שדרת דג סובבת

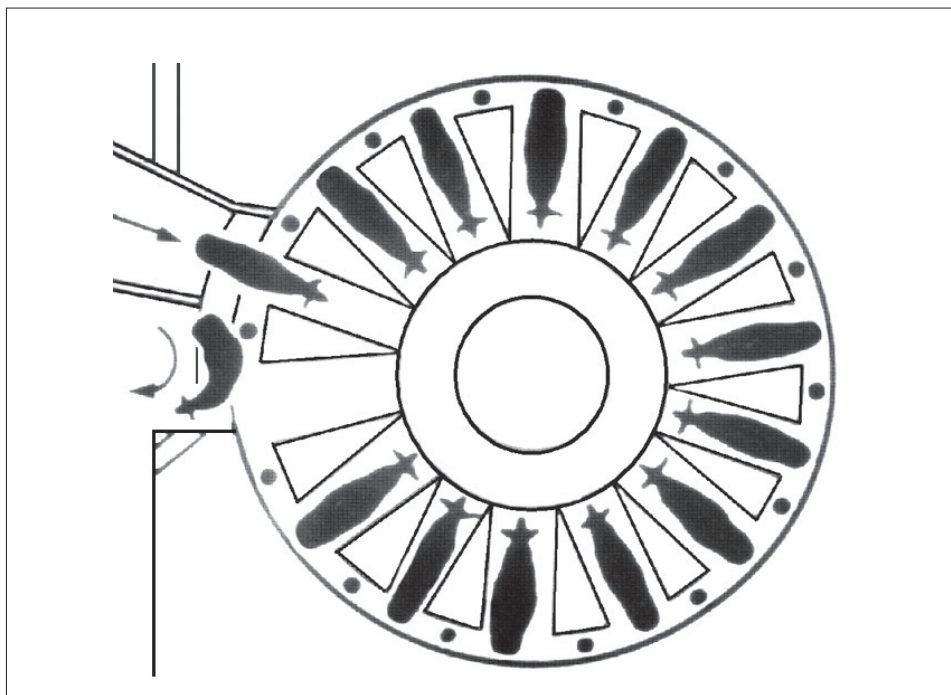


תמונה מס' 12: מכון חליבה סובב מטיפוס שדרת-דג

הסוג השלישי של מכון סובב - מקבילית סובבת, פותח בשלב מאוחר יחסית. הפרות נכנסות אל מכון זה כשראשן מופנה פנימה. ביציאתן הן הולכות אחורה (תמונה מס' 13). הרכבת מכוונת

החליבה נעשית בין הרגליים האחוריות, כאשר החולבים מבצעים את עבודתם מההיקף החיצוני של המכון. במקור, תוכנן מכון חליבה זה לשני חולבים: אחד מכין את הפרות ומרכיב את הגביעים ואילו השני מחטא פטמות ומתקן שמיטות גביעים ו"צפצופים". הוספת חולב שלישי, שעוסק בהרכבת הגביעים במכונים גדולים יותר, לא שיפרה בהרבה את הספק החליבה (פרות/שעה/חולב). הוספת פעולות כגון חיטוי פטמות לפני החליבה מאיטה את הספקו של מכון זה הרבה יותר מאשר במכונים סובבים אחרים. לכן, תכנון מכונים גדולים של למעלה מ-40 עמדות למשל לא יניב הספק גבוה יותר, על אף הוספת חולב. חסרונו של המכון הוא בהיעדר תצפית טובה על הפרות במהלך חליבתן. יתרונו של מכון מטיפוס זה הוא בכך שניתן לאכלס בו מספר גבוה יותר של פרות בהיקף נתון של קרוסלה.

עלות בניית מכון מסוג מקבילית סובבת זולה יחסית למכונים סובבים אחרים. העיכוב בשל פרה איטית מתבטל על ידי סיבוב המכון פעם נוספת. הפרות שקטות בעת החליבה בשל ההפרדה בין פרה אחת לרעותה. שינוע הפרות טוב יותר מאשר בדגמים סובבים אחרים, וכן קיימת האפשרות לשנוע פרה בסיבוב העוקב. ככלל, עלות האחזקה השוטפת של מכונים סובבים אלו גבוהה יותר מאשר במכונים אחרים.



תמונה מס' 13: מכון חליבה סובב מטיפוס מקבילית

שגרת החליבה

שגרת חליבה הנה רצף של פעולות אשר החולב מבצע במהלך החליבה. פעולות אלה כוללות: שינוע והכנסת הפרות למכון, שטיפה וניגוב עטינים, חיטוי פטמות לפני חליבה, בדיקת זליפים, ניקוי וייבוש פטמות, הרכבת אשכול החליבה, חליבה, הסרת האשכול, חיטוי פטמות לאחר חליבה והוצאת הפרה מהמכון. ניתן לציין פעולות נוספות כגון תיקון מכונת החליבה, חליבת חלב חריג וטיפול בפרות. סך כל משך פרקי הזמן של הפעולות השונות יקבע את משך הזמן המוקדש לכל פרה. קיצור משך פעולה זו או אחרת, או ביטול פעולה אחת או יותר, יקצר את הזמן שהחולב יקדיש לפרה מסוימת. בעקבות כך, החולב יהיה מסוגל לחלוב מספר רב יותר של פרות באותה יחידת זמן. מספר הפרות שתיחלבנה בשעה על ידי חולב יחיד מחושב לפי 60 דקות בשעה חלקי סך כל הזמן המוקדש לפרה. בטבלה מס' 3 מוצגים משכי הזמן המצטברים של שגרות חליבה שונות, וכן חישוב מספר הפרות שתיחלבנה בשעה על ידי חולב יחיד בשגרות חליבה שונות.



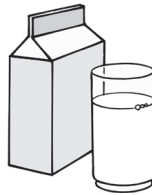
טבלה מס' 3: שגרות חליבה שונות והשפעתן על הספקי חליבה (בדקה)

פעולה	שגרת חליבה מס' 1	שגרת חליבה מס' 2	שגרת חליבה מס' 3	שגרת חליבה מס' 4
הכנסת פרות	0.25	0.05	0.05	0.05
חיטוי פטמות לפני חליבה				0.10
זליפים	0.10	0.10	0.10	0.10
ניקוי וייבוש פטמות	0.20	0.20	0.20	0.20
הרכבת אשכול	0.20	0.20	0.20	0.20
הסרת אשכול	0.10	0.10	אוטומטי	אוטומטי
חיטוי פטמות לאחר חליבה	0.10	0.10	0.10	0.10
הוצאת פרות	0.20	0.10	אוטומטי	אוטומטי
שונות	0.05	0.05	0.05	0.05
סה"כ זמן/פרה	1.20	0.90	0.70	0.8
פרות/שעה/חולב	50	67	85	75

שיקולים בבחירת סוג מכון החליבה

בחירת סוג מכון החליבה וגודלו תוכתב על פי העקרונות הבאים:

1. משך זמן משמרת החליבה – רצוי שמשך זמן משמרת החליבה לחולב לא יחרוג מארבע שעות;
2. מספר חולבים – יעילות מרבית תושג כאשר מכון החליבה מתוכנן עבור חולב אחד. העסקת מספר חולבים מחייבת התאמה ביניהם, וככל שמספר החולבים גדל, עולה החשיבות בקביעה של חלוקת העבודה ביניהם. קיימות שלוש שיטות לשגרת חליבה, בה משולבים מספר חולבים:
 - א. שיטת המעקובת – חולב אחד עוקב בפעולתו אחר השני. למשל: הראשון מכין את הפרות והשני מרכיב את הגביעים. שיטה זו היא העדיפה מבין השיטות.
 - ב. השיטה הקבוצתית – שתי דבוקות של פרות מטופלות באותו זמן, כל אחת על ידי עובד אחר.
 - ג. השיטה התחומית – כל חולב מטפל בחצי דבוקה באותו צד;
3. תדירות חליבה – מספר משמרות החליבה ביממה: שתיים, שלוש או ארבע;
4. שגרת חליבה – מספר הפעולות המבוצעות על ידי החולבים ומשך הזמן הדרוש לשם חליבת הפרה;
5. גודל העדר – מספר הפרות בעדר בהווה ובעתיד.



קביעת גודל הקבוצה וחלוקת העדר לקבוצות

משך זמן חליבת קבוצה במכון החליבה תלוי בתדירות החליבות: שתי חליבות ביממה – 60 דקות, שלוש חליבות ביממה – 40 דקות וארבע חליבות ביממה – 30 דקות. ההספק הנדרש ממכון חליבה יחושב בהתאם לגודל העדר. בהתחשב בהספק הנדרש, ייבחר סוג המכון וייקבעו מספר העמדות והיחידות שיותקנו בו. גודל הקבוצה ייקבע בהתאם לתדירות החליבה ולהספק מכון החליבה.

לדוגמה:

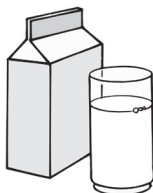
כאשר מספר הפרות הנחלבות הוא 1,200 ראש וזמן משמרת החליבה נקבע ל-6 שעות הרי הספק העבודה הנדרש במכון החליבה הוא חליבת 200 פרות/שעה.

כאשר נקבע כי תדירות החליבה היא 3 פעמים ביממה הרי קבוצה צריכה להיחלב כאמור במשך 40 דקות בלבד. מאחר והספק החליבה במכון הוא כאמור 200 פרות לשעה, הרי ב-40 דקות ניתן לחלוב קבוצה בגודל של 134 פרות: $200 \times (40/60) = 134$ קבוצה.

תכנית עבודה כזו תביא לכך שהפרות יורחקו עקב החליבה ממזון וממים לכל היותר למשך שעותיים בכל יממה.

נמצא כי עד לגודל עדר של 1,000 פרות הגודל המיטבי של הקבוצה הנחלבת הוא 80 עד 100 פרות. כאשר גודל העדר עולה על 1,000 פרות קביעת גודל הקבוצות תיעשה בהתאם לגודל העדר ולמשטר הקצאת הפרות לקבוצות, לפי הדוגמה שהובאה לעיל.

בעת חלוקת הפרות בעדר לקבוצות יש לדאוג כי המבכירות תקובצנה בנפרד מפרות בוגרות, ופרות חריגות תיכללנה בקבוצות נפרדות (חולות, ממליטות, איטיות-חליבה וקשות הליכה). חלוקה מעין זו תתרום ליעול העבודה במכון החליבה ותקטין את העקה על הפרות. הפרדה של פרות חולות מפרות בריאות תצמצם את ההדבקה בדלקות עטין, תאפשר טיפול אינטנסיבי בפרות החולות ותצמצם מעבר אנטיביוטיקה לחלב. פרות קשות הליכה ואיטיות חליבה תקובצנה בקבוצה נפרדת ותשוכנה בסמוך למכון החליבה. כל הפעולות האלו עשויות ליעל את פעילות מכון החליבה בכ-10%.



רובוט חליבה

רובוט החליבה ממלא את מקומו של החולב בעת החליבה. שני יעדים נוספים המושגים באמצעות החליבה הרובוטית הם הגברת תנובת החלב של הפרות ושיפור איכות חיי הרפתנים.

העיכוב בכניסתו של רובוט החליבה למשקי הבקר לחלב נבע מהצורך לפתח מערכת אשר תזהה את מיקום הפטמות במרחב בדרגת אמינות גבוהה, ואשר תרכיב את גביעי החליבה תוך פרקי זמן קצרים. המערכות הרובוטיות השונות מתבססות על זיהוי מיקום הפטמות בעזרת גלי קול, קרן לייזר, מצלמה או שילוב ביניהם.

מבחינים כיום בשני סוגי רובוטים אשר פותחו בהתאם לאסכולות שונות:

1. רובוט המשרת יחידת חליבה אחת בלבד.

2. רובוט המשרת מספר יחידות חליבה.

רובוט המשרת יחידה אחת בלבד קבוע במקומו. רובוט המשרת מספר יחידות נע על גבי מסילה המותקנת לאורכם של מספר תאים אליהם נכנסות הפרות. שימוש ברובוט המשרת יותר מיחידת חליבה אחת אמור להוזיל את עלות התפעול לפרה. אולם, לעתים בא הדבר על חשבון פחיתה ביעילות העבודה, כמו במקרה בו קיים צורך להרכיב את אשכול החליבה מחדש

(בשל שמיטת גביע). במקרה זה על הרובוט לחזור אל העמדה ולהרכיב מחדש את הגביע תוך איבוד זמן.

דוגמה לסוגי הרובוטים שהוזכרו מובאת להלן. ראוי להדגיש כי רובוטים לחליבה מיוצרים כיום על ידי מספר חברות מסחריות.

רובוט המשרת יחידה אחת בלבד

הרובוט בנוי מתא אחד, חליבת הפרה נעשית לפי "חלונות כמות חלב צפויה". כמות החלב היומית של הפרה משמשת כבסיס להחלטה כמה פעמים היא תיחלב. הפרות מתרגלות למרווחים אלו ומפתחות מקצב חליבה יומי (ביוריתמוס) אופייני. מספר פרות לרובוט אחד – 60-70 פרות (180 חליבות ביממה).

תהליך הרכבת הגביעים כולל זיהוי הפרה עם כניסתה לתא הרובוט. אישור חליבת הפרה מותנה בתכנית החליבה המיועדת לפרה אותה קובע הרפתן כאשר רמת תנובת החלב של הפרה משמשת בסיס לקביעת תדירות החליבה היומית. לפי תדירות זו נקבעים "חלונות זמן" שבהם צריכה הפרה להיחלב. בכל "חלון זמן" הפרה יכולה להיחלב פעם אחת בלבד. במידה והיא תיכנס לתא הרובוט פעם נוספת בתוך "חלון הזמן", היא תוצא אל מחוץ לתא הרובוט ללא חליבה וללא מתן מזון מרוכז.



עם אישור חליבת הפרה ניתן לפרה מזון מרוכז בתא האביסה שבתוך תא הרובוט. רובוט החליבה נע לאיטו אל מתחת לבטן הפרה, מערכת מברשות מנקה את הפטמות ובה בעת מגרה את הפרה להורדת החלב. הפטמות מאותרות באמצעות קרן לייזר ולבסוף מתחיל תהליך הרכבת הגביעים. תחילה מורכב הגביע על הפטמה של הרבע האיטי ביותר ולאחר מכן מורכבים הגביעים על שאר הפטמות. במידה שהמערכת מתקשה בהרכבת הגביע מסיבה כלשהי, מתנתקים שאר הגביעים ומתחיל תהליך של הרכבת הגביעים מחדש. אם הרובוט אינו מצליח להתקין את כל הגביעים של רבעי העטין בניסיון השני, מוצאת הפרה אל מחוץ לרובוט.

לאחר הרכבת הגביעים כמות חלב ראשונית מכל רבע מופרשת למכל קטן אשר תוכנו מרוקן לביוב עם הסרת הגביעים.

בניגוד למערכות החליבה הרגילות בהן גביעי החליבה מקובצים באשכול (אשכול החליבה), ברובוט חליבה כל רבע עטין נחלב באופן בלתי תלוי ברבעים האחרים. במשך החליבה נמדדים

המדדים הבאים לכל רבע בנפרד: תנובת חלב, מוליכות חשמלית ומשך זמן החליבה. במידה והרפתן מעוניין, מאפשרת המערכת גם לבחון את רמת הפעילות הגופנית. הגביעים מוסרים אחד לאחר השני עם ירידת קצב זרימת החלב מתחת לסף של כ-50 גרם / דקה. בתום הסרת כל הגביעים ולפני צאת הפרה מתא הרובוט, הפטמות מרוססות בחומר חיטוי מתאים. לפני חליבת הפרה הבאה בתור נשטפים הגביעים במי ברז (ניתן לתכנת את המערכת לשטוף את גביעי החליבה בין דבוקות פרות).



תמונה מס' 14: רובוט חליבה מסוג "ללי" המשרת יחידה אחת

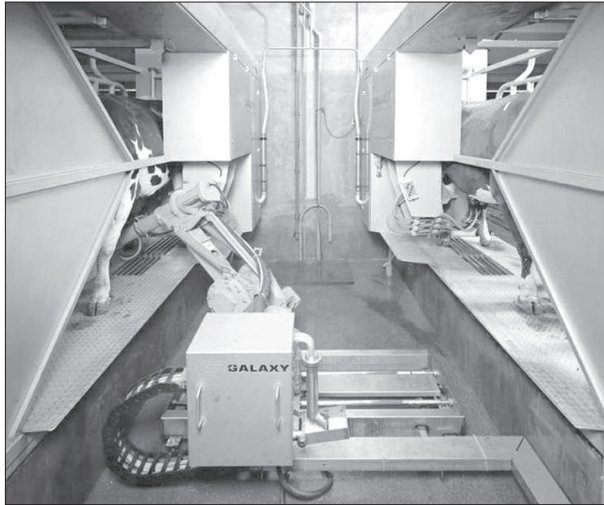
מערכת ניהול הרובוט מדפיסה דו"חות חריגים פעמיים ביממה (בוקר וערב) ומדווחת על דלקת עטין, ייחוס, פעילות גופנית, ומנפיקה רשימת פרות שלא נחלבו במשך 12 השעות האחרונות. הפרות שלא נחלבו בתוך פרק זמן זה מוקמות מרבצן על ידי הרפתן ומובאות אל הרובוט.

עקב זרימה איטית של החלב מהרובוט אל מכל החלב במהלך היממה, מוזרם החלב אליו בשני שלבים. בשלב הראשון, מוזרם החלב אל מכל קירור ביניים (בנפח 500 ל') בו מורדת הטמפרטורה ל-4 מ"צ, לאחר מכן מוזרם החלב ישירות אל מכל החלב הגדול. ניקוי כולל של מערכת החליבה מבוצע שלוש פעמים ביממה.

רובוט המשרת מספר יחידות

רובוט זה משרת עד ארבעה תאי חליבה. הטכנולוגיה של זיהוי הפטמות מתבססת על השימוש בקרני אולטרה-סאונד. הגביעים מורכבים על הפטמות אחד אחר השני ורק לאחר שכולם הורכבו כהלכה מתחילה החליבה.

מספר הפרות המיועד לתא הראשון – 60 פרות ליממה. הוספת כל תא נוסף מאפשרת חליבת 30 פרות נוספות. לפיכך, במידה ויותקנו ארבעה תאים, תוכלנה להיחלב באמצעות רובוט אחד 150 פרות ביממה.



תמונה מס' 15: רובוט חליבה מסוג "גלקסי" המשרת מספר יחידות

ניקוי הפטמות מבוצע תוך התזת מים דרך חרירים בשפתי הבטנה, לאחר הרכבת הגביעים. פעולת ניקוי זו לוקה בחסר. כמות חלב ראשונית מופנית לביוב ביחד עם מי ניקוי הפטמות. המוליכות החשמלית של החלב הנחלב מכל רבע עטין נבדקת בעת החליבה בנפרד. הסרת הגביעים נעשית יחד לכל ארבעת הרבעים. ריסוס עטינים בגמר החליבה אפשרי. אין אפשרות לשטוף את אשכול החליבה בין חליבת פרה אחת לבין רעותה. תדירות החליבה מוכתבת על ידי הרפתן לפי כמות החלב הצפויה. קירור החלב מבוצע כמתואר למעלה. תדירות ניקוי מערכת החליבה נתונה להחלטתו של הרפתן. בדרך כלל, מומלץ לבצע שטיפה שלוש פעמים ביממה.

ממשק חליבה רובוטית

הרובוט עצמו אינו אלא מכשיר אשר מזהה את העטין והפטמות ומאפשר להרכיב את הגביעים באופן אוטומטי. פיתוחו של הרובוט ושיווקו המסחרי חייב מתן מענה לביצוע פעולות נוספות וכן שילוב של טכנולוגיות חדשות:

- ❖ ניקוי הפטמות וגירוי לפני הרכבת גביעי החליבה;
- ❖ הפניית כמות חלב ראשונית לביוב (כמתחייב מתקנות בריאות בחלק ממדינות אירופה);
- ❖ התרעה על דלקות עטין על סמך בדיקת מוליכות חשמלית;
- ❖ הפניית חלב חריג אל מכלי חלב ייעודיים;
- ❖ הסרת הגביעים לאחר גמר החליבה;
- ❖ חיטוי פטמות לאחר חליבה;
- ❖ שטיפת גביעי החליבה בין הפרות;
- ❖ שמירה על איכות חלב: קירור החלב וניקיון מערכת החליבה.

הנהגת ממשק החליבה הרבובטית הביאה לשינוי שגרת החיים של הפרה ברפת. לוח זמנים לביצוע פעולות שונות (חליבה, הזנה, צינון וכו'), אשר נקבע על ידי הרפתן ברפת רגילה אינו קיים כאן. פעילות החליבה מתנהלת על פני 24 שעות כאשר מועדי החליבה נקבעים על ידי הפרה (במגבלות "חלונות" כפי שפורט לעיל). גישתה של הפרה אל המזון תלויה בכניסה לתא החליבה. לכן, מרכיב עיקרי של ממשק החליבה הרבובטית הוא הבטחה כי הפרה תגיע אל הרבובט מרצונה החופשי. הגורם המניע את הפרות – מתן מזון מרוכז בתא החליבה.

במדינות אירופה נהוג היה לקשור את הפרות בעמדות קשירה במשך כל היממה בתקופת החורף. פיתוח הרבובט האייץ את המעבר לרפת בה תנועת הפרות חופשית, כאשר למרבץ משמשים תאי הרביצה. מתכנני ומפתחי הרבובט הציבו את יחידת הרבובט בממד הצר של מבנה תאי הרביצה. מעבר הפרות אל האבוס מתאפשר רק דרך הרבובט או דרך תא בורר המותקן לפניו. תנועה זו של פרות נקראת "שגרת מעבר כפוי".

עם התקנת הרבובט, ברפתות רבות התאפשרה תנועה חופשית של הפרות בין תאי הרביצה לבין האבוס, השוקת או תא הרבובט. צורת ממשק זו קרויה: "שגרת גישה חופשית". שגרת הגישה החופשית נעשית מקובלת יותר ויותר הן מבחינת שיפור ביעילות פעולת הרבובט והן מבחינת רווחת הפרות.

בארץ הותקנו רבובטים בסככות שמרביתן מסוג תאי רביצה. במספר משקים הותקנו הרבובטים בסככה כוללת מהסוג הנפוץ בארץ. הניסיון שנצבר עד היום מראה שהתאקלמות הפרות בסככה הכוללת בשילוב עם רבובט היא טובה בהרבה מאשר בסככת תאי הרביצה. אפשרות זו תקל על התקנת רבובטים ברפתות קיימות ללא צורך בבניית סככות חדשות של תאי רביצה חופשיים.

ספרות:

מידע נוסף על מבנה רפתות ניתן למצוא בחוברת שנושאה תכנון מבני משק, בעריכת ע' שושני ובהוצאת המחלקה להמחשה, ש"מ, 2001.

