

עבודת גמר בחקלאות

התנהגות הקשר הסימביוטי אנדומיקוריזה-אבוקדו מזן האס בתנאי מליחות נתרן כלורידית ודשן זרחתי ברמות שונות



מגיש העבודה: **דניאל רייזנוב** (ת.ז.: 1556846509)

מנחים: **ארז רבינוביץ'** (ת.ז.: 300718319, טלפון: 0524704032,

מייל: erezrabinovich@gmail.com) **נועם גבע** (ת.ז.: 040807901,

טלפון: 0523-750979, מייל: gevanoam@gmail.com)

מקצוע: חקלאות

תודות

ברצוני לציין מספר אנשים ומקומות שסייעו בביצוע עבודת גמר זו:

תחילה, למקום שלמזלי הצלחתי להכיר, מקום יוצא דופן - **חממת עין שמר**. אפשר להגיד המון דברים טובים עליו, אבל אני אציין את העיקר - זה מקום שתמיד נעים לבוא אליו, בו תמיד יושיטו יד עזרה בכל אופן ואפילו לא יבקשו משהו בחזרה - בעצמנו נרצה לתת בחזרה. לא סתם credo (עיקרי האמונה) של חממה: "כל מה שצריך ילד זה מבוגר שיאמין בו". זה מקום נותן השראה ליצור ובשבילי זו היתה אחת מהסיבות להישאר בארץ.

תודה למנהל החממה, **נועם גבע**, **שחשף בפני** את האפשרות לכתוב עבודת גמר ותמך בעבודה מבחינה ארגונית - אירגן סדנאות והרצאות שבהן הצגתי את העבודה בפני מומחים, ובכך הצלחנו לעניין ספונסרים שסייעו במשאבים לביצוע העבודה, ובנוסף חיבר אותי לאנשים שבילו אותי כל הפרויקט. **תודה מיוחדת לארז רבינוביץ'**, המנחה שהפך לחבר קרוב. ארז הוא בן אדם מיוחד - גאון בתחומו ועל כך איש מעניין. הוא לא לימד אותי, אלא נתן לי השראה ואת כל הכלים כדי שאני אהפוך בעצמי למקצוען במה שאני עושה. ארז כמדען הראה לי כתיבה מדעית ומסודרת, הראה התארגנות ויכולת לשלוט בפרויקט גדול. הוא נתן לי לנהל את עבודה כמו שאני רוצה אך תמיד נתן עצות ותמך בי. לסיכום ארז נתן לי ניסיון לכל הפרויקטים הבאים שלי (מדעיים ולא רק).
תודה **לאביטל גבע** שהיה שם מאחורי הקלעים, לעזור בצד המקצועי וגם לדאוג לי ולצוות העוזרים שלי בניסוי לחביתה בשש בערב...
תודה **ליאיר מיוזוסר** אשר הושיט יד עזרה ותמך בניסוי בעזרת איסוף נתונים בשדה גידול (בדיקות עובי גזע התארכות הגבעול) במשך חודשיים שלא הייתי בארץ.

תודה לחברות שהתעניינו בעבודה זו:

"**אבוקדו גרנות**" - תומכים ראשיים - שנתנו לי את האתגר, לעזור לחברה לבדוק פתרון אפשרי להגביר עמידות אבוקדו להמלחה כלורידית של קרקעות, וסייעו בציד החקלאי לביצוע הניסוי. תודה לאודי גפני שסייע לי בידע האגרונומי.
חברת "**נטפים**" - שסייעו בהקמת מערכת ההשקיה.
"**GroundWork**" - על אספקה חומר חיי המרכזי לניסוי - אנדומיקוריזה בתוצר **Rootella G**. **תודה לאדווה** - נציגה מחברה אשר לימדה אותנו לעבוד עם מיקוריזה, לפזר אותה וגם הביאה ידע בשיטות מדידה וזיהוי מיקוריזה בשורש.

Supplant - תודה על חיישנים ששימשו ככלי לאיסוף נתונים. כמובן תודה לענבל לבבי על ההדרכה בשימוש בחיישנים הללו.

לבסוף תודה לכל המתנדבים מחממה וגם לאנשים שהצטרפו לקבוצת המתנדבים שהקמתי **מבית הספר מבואות עירון: אנדרי איונוב, סופיה קובלסקיה, אנסטסיה קמנבה, מיוחדת לאיוון קגן ולאונד מרזליקין**, שעזרו באיסוף נתונים. לפיכך, אני מודה למחנך שלי **נוה תומר** ממבואות עירון אשר הלך לקראתי והשיג לי ולצוות מתנדבים שלי שחרורים מלימודים כך שאוכל לעמוד בזמנים גם בלימודים וגם בעבודת גמר. במובן עוד יותר גדול תודה לבי"ס מבואות עירון שמשתף פעולה עם חממה ותומך בכתיבת עבודות גמר ובכך גם במדעים.

תוכן העניינים

2.....	תודות
4.....	תוכן העניינים
5.....	תקציר
7.....	מבוא וסקירת ספרות
7.....	משאב הקרקע החקלאית
10.....	בעיות נפוצות: השפעת עודף מלח על קרקע
22.....	בעיות נפוצות: השפעת עודף דשן כימי על קרקע
32.....	הצעת פתרון: מיקוריזה
35.....	שימוש במיקוריזה בחקלאות
37.....	תכנון המחקר
39.....	שיטות וחומרים
39.....	החומר החי
48.....	שיטות מדידה
49.....	חומרים אחרים
50.....	מערך הניסוי
54.....	מהלך הניסוי
56.....	תוצאות
90.....	מסקנות ודיון
92.....	המלצות למחקרי המשך
94.....	מקורות
97.....	נספחים

תקציר

רקע: אחת הבעיות המתגברות כיום בחקלאות, בישראל ובעולם, הינה עודף מלחים בקרקע. בישראל, נגרם עודף המלחים כתוצאה משאיבת יתר, דישון ושימוש במים מושבים. במסגרת מחקר זה, ביקשתי לבחון פתרון אפשרי לבעיה של עודף מלחים בקרקע בעצי אבוקדו. הרעיון לביצוע המחקר עלה מתוך שיתוף פעולה של החממה עם חברת "אבוקדו גרנות", במסגרתו איתרנו יחד עם צוות האגרונומים של החברה אתגרים עכשוויים. כאתגר מרכזי למחקר, נבחרה בעיית המלחת המים והקרקע, וחיפוש דרכים לסייע לעצי האבוקדו להתמודד עם עקת מלח. הפתרון אותו חקרנו, הינו שימוש בפטריית מיקוריזה. מיקוריזה היא משפחה רחבה של פטריות קרקע המקיימות קשר סימביוטי עם צמחים, המתבטא בכך שהצמח מספק לפטרייה סוכרים והפטרייה עוזרת לצמח לקלוט חומרי תשמורת ומים מהקרקע לשורשים (Smith 2010 ,mycorrhizal symbiosis).

מטרת המחקר: לבדוק מה הן ההשפעות של תנאי עקה של עודף מלח ועודף בדשן זרחתי על הקשר הסימביוטי בין מיקוריזה לבין אבוקדו מזן האס, ועל היכולת של האבוקדו לעמוד בתנאי עקה.

שיטות העבודה: הניסוי נערך לאורך 200 יום, בתקופה: מרץ-נובמבר 2018. הוקם מערך ניסוי ובו 48 שתילי אבוקדו מזן "האס", והותקנה מערכת השקיה מפוצלת, ובה ארבעה מכלים, בכל מיכל מים בהם מומסים מלח ודשן זרחתי בריכוזים שונים.

המשתנים הבלתי תלויים שנבחנו היו ריכוז הזרחן המומס במי ההשקיה, ריכוז מלח השולחן המומס במי השקיה ואכלוס ראשוני של המיקוריזה בקרקע. המשתנים התלויים: עובי הגזע, התארכות הגבעול, אכלוס מיקוריזה בקרקע ומדדי נוטריינטים בעלים ובקרקע

תוצאות: בטיפולים בהם התנאים של הזרחן (88ppm) והמלח (400ppm) היו סבירים ולא קיצוניים, ניתן לראות בצורה מובהקת לפי נתוני עובי הגזע, יתרון לעצים שאוכלסו על ידינו במיקוריזה על אלו שלא. ככל שהתנאים נהיו פחות טובים יתרונו של העצים שאוכלסו במיקוריזה נהייה פחות משמעותי. ברמות המלח והזרחן הגבוהות (188ppm) והמלח (800ppm) - לא נראה הבדל בין העצים שאוכלסו במיקוריזה לאלו שלא במדדים הצמחיים של עצי האבוקדו. במדדי התארכות הגבעול לא ראינו הבדלים, ובבדיקה הסטטיסטית היה קשה לראות מובהקות בין הטיפולים שאוכלסו ואלו שלא ולכן קשה להסיק לגבי מדד זה מסקנות כלשהן. בבדיקות האכלוס ראינו שכול שריכוז הזרחן

או הדשן עלו ובמיוחד משילוב של הרכוזים הגבוהים ישנה פגיעה משמעותית בהתפתחות המיקוריזה בשכת הריזוספרה של שורשי העצים.

מסקנות: נוכחות המיקוריזה היתה משמעותית יותר עבור התפתחות עצי האבוקדו בתנאי הגידול שאינם קיצוניים (זרחן 88ppm מלח 400ppm). אנו משערים שהסיבה לכך, שבדומה לעץ גם הפטרייה נפגעת מהתנאים הקיצוניים, ולכן אינה יכולה לתרום לעץ. השילוב של מלח בריכוזים גבוהים עם זרחן בריכוזים הולכים וגדלים פוגע בגידול האבוקדו הרגיש לזרחן במידה רבה. בשלב הזה לא מצאנו שמיקוריזה יכולה לעזור בהתמודדות עם תנאי קיצון של מלח בגידול האבוקדו, כנראה בגלל השפעות המלח ואולי גם הזרחן עליה. כן ראינו שבתנאים הקיצוניים פחות הייתה לנוכחות המיקוריזה השפעה חיובית על מדדי הצימוח והוגטיביים של האבוקדו. בניסוי המשך היינו רוצים לבדוק האם אפשר "לתמוך" בגידול המיקוריזה באופן מסוים כדי שתוכל להתמודד עם תנאי קיצון, מתוך הנחה שאם המיקוריזה חזקה ומתפקדת יש ביכולתה לעזור גם לעץ להתמודד עם תנאים אלו. במחקר זה השתמשנו בדשן מינרלי מומס. במחקר המשך נציע לבדוק את מדדי הגידול של המיקוריזה עם אבוקדו כפונדקאי בתנאי קיצון של מלח (PPM 800) עם דשנים זרחניים שונים: אורגנים, מינרליים, מומסים ומוצקים.

1. מבוא וסקירת ספרות

1.1 משאב הקרקע החקלאית

מדענים מעריכים שבשנת 2050 יהיו בכדור הארץ 9.1 מיליארד בני אדם, 34% יותר מהיום. בשביל להאכיל את אוכלוסיית העולם ההולכת וגדלה, יש להעלות את ייצור המזון בכ - 70%. ייצור הדגנים, לדוגמה, יצטרך לעלות עד 3 מיליארד טון, 2.1 מיליארד טון יותר ממה שמיצרים כיום. חוסר במזון צפוי להתקיים בעיקר במדינות מתפתחות, אפריקה ומזרח אסיה, מכיוון שחלקו הגדול של המזון המיוצר במדינות מתפתחות, מועבר למדינות מפותחות.

(Food and Agriculture Organization. 2009).

קיימות מספר סיבות למחסור במזון: מצד הביקוש, העלייה בהיקף האוכלוסין בעולם, מצטרפת לעלייה ברמת החיים, המביאה לשינוי בהרגלי התזונה של בני האדם בעולם. הביקוש של בני אדם לבשר עולה, כמויות המזון שאנו צורכים עולה, וכך הביקוש למזון באופן כללי - עולה. מצב ההיצע, לעומת זאת - לא עולה בקצב זהה, ויש סיכוי שאף ירד בעתיד: עליה בכמות המזיקים פוגעת בתנובת המזון מן השדה, חוסר הסתגלות של האורגניזמים לשינויי האקלים המשמעותיים, מחסור במים להשקיה וחקלאות, חוסר צדק בחלוקת המזון בעולם (יותר מזון מגיע למדינות עשירות מאשר למדינות עניות), שיטות חקלאיות ישנות אשר לא מנצלות נכון את תפוקת השדה ובעיות פוריות בקרקע הפוגעות בתנובת השדה (FAO, 2009).

הקרקע היא גורם הייצור החקלאי הראשון במעלה בחקלאות. צמחים גדלים בקרקע, ובעלי החיים רועים בה או מתקיימים מגידולים הגדלים בה. היווצרות הקרקע איטית: בניית שכבת קרקע עליונה לוקחת בין 100 ל- 400 שנים לסנטימטר. התהליך מתרחש באמצעות אינטראקציה לאורך הזמן של האקלים, טופוגרפיה, קרקע, מיקרואורגניזמים, צמחים, בעלי חיים, בני אדם ומינרלים. לעומת זאת, תהליך הכיליון של משאבי הקרקע החקלאית מהיר ביותר, וכולל תהליכים פיזיים טבעיים וכן תהליכים מעשי ידי אדם כמו כריתת יערות, שריפות, מרעה, חריש ובניית בתים, הגורמים לסחף ולזיהום הקרקע. ארגון ה-OECD קבע כי הזמינות של משאבי קרקע חקלאית הוא נושא קריטי לסוגיית ביטחון המזון העולמי. קרקעות חקלאיות באיכות גבוהה נדירות, וקיים חשש מתמיד לאבדן קרקעות והתדרדרות באיכותן, למשל בעקבות עיור (אורבניזציה).

(משרד החקלאות ופיתוח הכפר הרשות לתכנון ופיתוח החקלאות ההתיישבות והכפר, 2015)

באזור הגיאוגרפי שבו נמצאת ישראל כמעט שלא ניתן לקיים חקלאות ללא השקיה. מיעוט המשקעים בישראל והחלוקה המקוטבת שלהם לאורך השנה (חורף גשום, קיץ ארוך ויבש) שאינה אופטימלית לחקלאות, מחייבים להשתמש בהשקיה בהיקפים גדולים יחסית. במיוחד אמור הדבר באזורים הצחיחים (ערבה, חבל הבשור, הר הנגב, בקעת הירדן, עמק הירדן, בית שאן ועוד). לאורך עשרות שנים התבססה ההשקיה בחקלאות ישראל על מים שפירים. הקצאת המים לחקלאות גדלה בשלושת העשורים הראשונים של המדינה. לאחר מכן צומצמה במידת מה והרכבה השתנה: כמויות ניכרות של מים שפירים הומרו בקולחין, תהליך הנמשך עד היום.

(משרד החקלאות ופיתוח הכפר הרשות לתכנון ופיתוח החקלאות ההתיישבות והכפר, 2015).

מים מושבים (קולחין) מכילים בתוכם הרבה מינרלים, חלקם חומרי דשן, אשר במינונים נכונים יעילים לצמחים ובמינונים גבוהים יפגעו בהם. אחד החסרונות הבולטים בשימוש במים מושבים הוא אחוז המלחים הגבוהים שמים אלו מכילים. שימוש מתמשך במים מושבים עלול לגרום להמלחה של הקרקע. (J. Vicente-Sánchez · E. Nicolás , 2013).

כאשר הקרקע מומלחת, היכולת של הצמחים לספוג מים מן הקרקע יורדת, ובריכוזי מלח גבוהים הצמח אף עלול לנבול ולמות. (Smith, Sally E.; Read, David J. 26 July 2010).

1.2 גורמים טבעיים ולא טבעיים להמלחת קרקע

הגורמים להמלחת קרקע בשטחים חקלאיים:

1. ריכוז גבוה של מלחים מומסים בקרקע ובמי התהום.
2. השקיה במים המכילים ריכוז מלחים גבוה.
2. מפלס מי תהום גבוה ו/או קרוב לפני קרקע.
3. מלחים שנוספו במי ההשקיה ו / או אבק שהגיע מאזורים אחרים.
4. מלחים שנוספו בגלל דישון.
5. רשת הניקוז בשדה אינה מתפקדת או אינה מתאימה לתנאים המקומיים.
6. איבוד מים ממערכות השקיה עקב תקלות או עודפי השקיה.

7. כמות מים לא מספקת לשטיפת המלחים לעומק שמתחת לבית השורשים.

המלחת קרקעות יכולה להיווצר גם כתוצאה מתנועה של מי תהום, וזאת ממספר סיבות:

1. מי התהום מעבירים את המלחים המומסים בתוך שכבות הקרקע;
2. עליה נימית ממפלס מי התהום מביאה מלחים מומסים לשכבות הקרקע העליונות. לאחר מכן המים מתאדים והמלחים נשארים בקרקע;
3. לחצים ארטזיים הם הסיבה לזרימת מי התהום כלפי מעלה. וכן הם מפחיתים את חלחול מי הגשם ומי ההשקיה כלפי מטה.

הצטברות טבעית של מלחים בקרקע

מלחים בקרקע יכולים להצטבר גם כתוצאה מתהליך טבעי, ללא מעורבות האדם. לתהליך זה יכולות להיות סיבות שונות:

1. המקור העיקרי להמלחת קרקע הם היונים המומסים המגיעים מהמינרלים של סלע המקור (סלע אב).
2. עודפי מלח נוצרים כתוצאה מבליה ומפעילות ביולוגית.
3. מי ים הם המקור הישיר של מלחים בתהליך היווצרות קרקעות ממשקעים ימיים.
4. מלחים מצטברים בהדרגה בקרקע, כתוצאה מזרימת מים עיליים זרימת מי תהום גבוהים מאזורים גבוהים לאזורים הנמוכים יותר והתאדות המים לאחר מכן.

דינמיקה של המלחת קרקע:

1. עקב השתנות בכמות המלחים המסיסים במים יחול שינוי מהיר במליחות הקרקע.
2. קרקע לא מלוחה, לא אלקלית (נורמלית), ניתנת בקלות להפוך לקרקע מלוחה לא אלקלית או לקרקע מלוחה ואלקלית, תלוי בהרכב מי ההשקיה, במשטר ובמנות ההשקיה.

עם חלחול המים לתוך הקרקע משתנה הרכבם.

3. סילוק עודפי מלח בקרקע מלוחה אלקלית על ידי שטיפה במים המכילים הרבה נתרן,

גורם לירידה במוליכות ההידראולית של הקרקע, בעיקר בקרקעות כבדות.

4. במקרה כזה השיפור אינו כלכלי וצריכים לוותר על התהליך.

השפעת ההשקיה על המלחת קרקעות

מי ההשקיה מכילים מלחים שונים. התאדות מים אלה יכולים להוסיף עד 200 ק"ג מלחים לדונם מדי שנה.

1. מי השקיה מכילים מלחים מומסים, ולכן כתוצאה מהשקיה, הקרקע "שאינה

מלוחה" (נורמלית) עלולה להפוך למלוחה ואפילו להפוך לקרקע מלוחה אלקלית.

2. מי השקיה במליחות של 25.2 - 5 (m/dS) יכולים להפוך קרקע שאינה מלוחה לקרקע

מלוחה בעומק ההרטבה תוך השקיה אחת (על פי נתונים מארה"ב).

3. גם מים שפירים במליחות של 1 - 5.1 (m/dS) עלולים להמליח את הקרקע במהירות

בהעדר ניקוז.

4. השקיה בכמויות גדולות של מים המוסיפים עד 2,000 מ"מ, עלולה לגרום להמלחה של

שכבת בית השורשים. (ד"ר ולדימיר מירלס / אגף שימור קרקע וניקוז המדריך המקצועי)

5. שימוש במים מושבים (קולחין), למרות שמם אלו מכילים יסודות הזנה בריכוז גדול כגון

חנקן, אשלגן וזרחן החיוניים לצמח הם מכילים גם מלחים רבים

(Mounzer et al. 2013).

1.3 היבטים כימיים של המלחת קרקע

המלחת קרקע היא תופעה של הצטברות מלחים על פני הקרקע, או בשכבות קרקע העליונות אליהן מגיעים שורשי הצמחים, עד שריכוזם מגיע לרמות הרעילות לצומח (ריכוז מלחים 300-600 ppm מזיק לרוב צמחי התרבות). (ד"ר ולדימיר מירלס / אגף שימור קרקע וניקוז המדריך המקצועי)

על פי המכון הבינלאומי לאיכות הסביבה (International Institute for Environment and Development) והמכון העולמי למשאבים (World Resource Institute), למעלה מ-10% משטח היבשה מכוסה בקרקע מלוחה. למעשה, בעיית המליחות ניכרת ב-75 מדינות בעולם (אוסטרליה, סין, הודו, עיראק, מקסיקו, פקיסטן, ארצות הברית כולל ישראל). על פי ה-FAO/UNESCO כ-51.3 מיליון דונם במזרח התיכון מוגדרים קרקע מלוחה. מתוך 222 מיליון דונם קרקע חקלאית על פני כדור הארץ, 40 מיליון דונם -קרקע מלוחה, 62 מיליון דונם -קרקע מסוג Solonets (לפי דירוג הקרקעות של ה-FAO), סוג של קרקע מלוחה ונתרנית, הנוצרת בתנאי מים עומדים ומכילות 70-80% נתרן יוני. Solonchak הוא סוג נוסף של קרקע על פי דירוג FAO, המאופיינת בנוכחות מלחים בשכבה העליונה של הקרקע, מלחים אלו מתמוססים בקלות, ונוכחותם מונעת את התפתחותם של רוב הצמחים. (Lopatovskaya 2010)

ישנן מספר סיבות להמלחת קרקעות והן:

1. ראשוני (טבעי) - עליה בריכוז והצטברות מלחים עקב איזוי מי תהום, מליחות טבעית של המינרלים הנמצאים בה או עקב השפעות גיאואקולוגיות - שינויי אקלים, רוחות ים, וכו'.
2. משני (כתוצאה מפעילות אדם -אנתרופוגני) - תוצאה מפעילות בני אדם, בעיקר חקלאיים. תהליך העיור - קרקע אורבנית. (Lopatovskaya 2010)

סוגי מליחות הקרקע

סוג המליחות נקבע על פי כמות המלחים בקרקע וכמות הנתרן האלקלי (Solonets). קרקעות מלוחות מכילות כמות רבה של מלחים, מעל 4 דצי-סימנס למ'. קרקעות אלקליות מכילות כמות רבה של נתרן - יחס ספיחת הנתרן מעל 15. יש שני סוגים של קרקעות מליחות - מליחות אלקליות ומליחות שאינן אלקליות. קרקעות אלקליות שאינן מלוחות הן

קרקע "לא מלוחה אלקלית". כל הקרקעות אלה נחשבות "קרקעות מלוחות".

טבלה 1: מיון המלחת הקרקע על פי ערכי המוליכות החשמלית (EC) ויחס ספיחת הנתרן

המוליכות החשמלית, בדצי-סימנס למ'	יחס ספיחת הנתרן	סוג הקרקע על פי מליחותה
< 4	< 15	לא מלוחה, לא אלקלית (ראויה לעיבוד)
< 4	> 15	לא מלוחה, אלקלית
> 4	< 15	מלוחה, לא אלקלית
> 4	> 15	מלוחה, אלקלית

(SAR). (Laboratory of soil salinity, Riverside, USA)

הסיווג לפי ה- Base Reference World-WRB של ה- FAO

מוצעות שלוש רמות של מליחות הקרקע (m/dS-EC):

קרקע בעלת מליחות נמוכה - פחות מ-4 m/dS;

קרקע בעלת מליחות בינונית - בין 4 לבין 15 m/dS;

קרקע מלוחה מאוד - מעל 15 m/dS.

אינדיקטורים כמותיים של מליחות המאפיין סוגים שונים של מלחים.

לפי אחוז הנתרן החליף (ESP- Percentage Sodium Exchangeable) שלוש רמות של קרקעות

נתרניות אלקליות (מוצעות) WRB:

אלקליות הקרקע נמוכה - פחות מ-6%;

אלקליות הקרקע בינונית - בין 6% לבין 15%;

אלקליות הקרקע גבוהה - מעל 15% (ולדימיר מירלס / אגף שימור קרקע וניקוז המדרוך המקצועי)

היסודות אשר גורמים להמלחת קרקעות, הרכבם הכימי והשפעתם על מליחות הקרקע ורעילותה.

ישנו מספר רב של יסודות המרכיבים מלחים, אלו הם היסודות העיקריים אשר נוכחותם בקרקע יכולה להוביל להמלחת קרקעות - Ca, Mg, Na, K, Cl, S, C, N, B, Si.
מליחות קרקע מתרחשת מנוכחות של מינרלים ומלחים.

מינרלים מומסים במים אשר גורמים להמלחת קרקעות הנפוצים ברוב הקרקעות החקלאיות ברחבי העולם-

sulfates: arkanite, pale, glaserite, epsomite, gypsum, semi-hydrate, anhydrite, glauberite, hexahydrate, starkeite, mirabilite, tenardite, kieserite;
chlorides: halite, cainite, carnallite, silvin, bischofite;
carbonates: dolomite, calcite, aragonite, lublinit, magnesium-zit, burkeite, geyluseit, nahcolit, pearsonite, thermosodium, thrones;
nitrates: potassium nitrate, sodium nitrate, calcium nitrate

Kovda V.A, 2008

מלחים הגורמים למליחות קרקע

- כלורידים - NaCl , KCl , MgCl_2 , CaCl_2 ; vv
- גופרתי - Na_2SO_4 , MgSO_4 , K_2SO_4
- פחמתי- $(\text{Na}_2\text{CO}_3, \text{NaHCO}_3, \text{MgCO}_3, \text{CaCO}_3, \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)$
- חנקות - $\text{NaNO}_3, \text{KNO}_3$
- Borates - $\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_7$
- מלחים אחרים. (Lopatovskaya 2010)

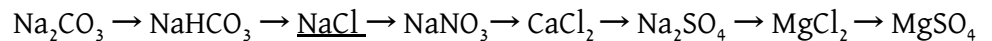
הימצאותם של מלחים מסיסים בקרקע עשויה להיות רעילה (טוקסינית) ולא רעילה.

השפעה טוקסית של המלחים הללו מתבטאת במסיסותם הגבוהה, הגורמת להגברת הלחץ האוסמוטי של מי התהום, היוצר קושי ב קליטת המים לתוך התאים ובמקרים קיצוניים גם להרס הקרומים. כתוצאה מכך משתבש האיזון התזונתי של הצמח, דבר הגורם לשיבוש בפעילויות האנזימטיות של הצמח. (Kovda V.A 1946, 1968, 1973)

מלחים טוקסיים מחולקים ל-

- **כלוריד** (NaCl , CaCl_2 , MgCl_2),
- **סולפטים** (Na_2SO_4 , MgSO_4)
- **פחמות** (Na_2CO_3 , NaHCO_3)
- **וחנקות** (NaNO_3 , KNO_3).

להלן חלוקה לרעילותם של המלחים הנפוצים לפי דירוג מהרעיל לפחות רעיל:



מלחים שאינם רעילים כוללים - CaCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

(Lopatovskaya 2010)

הימצאותם של תרכובות מלחים שונים בקרקע, פחות מזיקה מאשר דומיננטיות של מלח אחד.

מלח שולחן NaCl (הליט)

(נתרן כלוריד) הוא אחד המלחים הנפוצים בקרקעות מלוחות, בריכוזים גבוהים הוא הופך להיות רעיל למרבית הצמחים, בשל השפעתו על הפעילויות הפיזיולוגיות של הצמח ומסיסותו הגבוהה (264 גרם / ליטר).

טבלה 2: רמת מליחות (ב- PPM) לפי סוגי המלחה

סוג המלחה							רמת המליחות (לפי כמות המלח (ppm)
כלורידית	גופרתית- כלורידית	כלורידית- גופרתית	גופרתית	פחמת הנתרן - כלורידית	פחמת הנתרן - גופרתית	נתרן מימן פחמתי- נתרן גופרתי	
<0.05	<0.1	<0.2	<0.3	<0.1	<0.15	<0.2	לא מלוחה
0.05-0.15	0.1-0.2	0.2-0.4	0.3-0.4	0.1-0.2	0.15 - 0.25	0.2-0.4	קצת מלוחה
0.15-0.3	0.2-0.4	0.4-0.6	0.4-0.8	0.2-0.3	0.25-0.4	0.4-0.5	מליחות בינונית
0.3-0.7	0.4-0.8	0.6-0.9	0.8-1.2	0.3-0.5	0.4-0.6	לא קיימת	מלוחה

בטבלה מס' 2 אפשר לראות שהמלחת קרקעות ע"י מלח נתרן כלורי/המלחה כלורידית מתרחשתב רמות מלח נמוכות ביחס למלחים אחרים, וזאת בשל מסיסותו הגבוהה.

(Lopatovskaya 2010)

בהתבסס על הנתונים הנ"ל, בחרנו לבדוק את התאוריה של יעילות המיקוריזה בתנאי המלחה אלו (המלחה נתרן-כלורידית). בנוסף לכך זוהי ההמלחה הנפוצה ובעיתית ביותר בישראל.

(A. Vengosh, E. Rosenthal, 1993)

1.4 השפעת קרקע מלוחה על גידולים חקלאיים

עמידות צמחים למליחות תלויה במספר גורמים: סוג הגידול, שלב התפתחות הגידול, תכונות הקרקע, רטיבות הקרקע, וסוג המליחות בקרקע. כל סוג צומח מתאפיין בצורך שונה בזמינות המים, כפי שנקבע על ידי גורמים חיצוניים (מזג האוויר, תכונות הקרקע ודרגת המליחות), וכן בתכונות הצמח, עמידותו ליובש ולסבילות שלו למלח. רגישותו הצמח להמלחה משתנה בשלבים השונים של התפתחות הצמח. ככלל הצמח רגיש ביותר בשלב הנביטה. קרקעות נחשבות מלוחות אם הן מכילות יותר מ-10% (במשקל) מלחים רעילים לצמח. מחקרים הראו, כי למלח השפעה שלילית על גידולים שונים:

בקרקע מלוחה במקצת יכול הכותנה פוחת ב-20-30%, תירס ב-40-50%, חיטה ב-50-60%. בתנאי מליחות קרקע בינונית יכול כותנה מצטמצם בחצי, וחיטה מדוכאת עד שנובלת. (ולדימיר מירלס / אגף שימור קרקע וניקוז המדריך המקצועי)

ראינו כי ישנן סיבות רבות להמלחת קרקעות, חלקן טבעיות וחלקן נובעות מפעילות חקלאית. בכל אופן ישנם מקרים בהם על החקלאי להתמודד עם מצב נתון של המלחה. בנוסף, לכל מצח ישנה רגישות ספציפית לסוגי המינרלים השונים, בהמשך נראה כי אבוקדו רגיש במיוחד למליחות, גורם קריטי בקרקעות ישראל במיוחד כאשר האבוקדו מהווה אחוז משמעותי מהגידולים החקלאיים בישראל:

ייצור האבוקדו בישראל, הנמצא החל משנת 2010 במגמת עלייה, הגיע ב-2014 לכמעט 100 אלף טון. חלקה של ישראל ביבוא האבוקדו לאיחוד האירופי נאמד בעונות האחרונות ב-12% עד 15%. בחודשי היצוא המרכזיים של ישראל (אוקטובר עד פברואר) נתח השוק של ישראל גבוה יותר ומגיע לכ-26% (עונת 2013/14) (לנה כץ, מאי 2015).

מעבר לכך מבנה בית שורשים של העץ ורגישותו הגבוהה למלח הובילה אותנו לחפש שיטות העוזרות לעץ להתמודד עם תנאי מליחות הולכים וגוברים. (נרית ברנשטיין 2008)

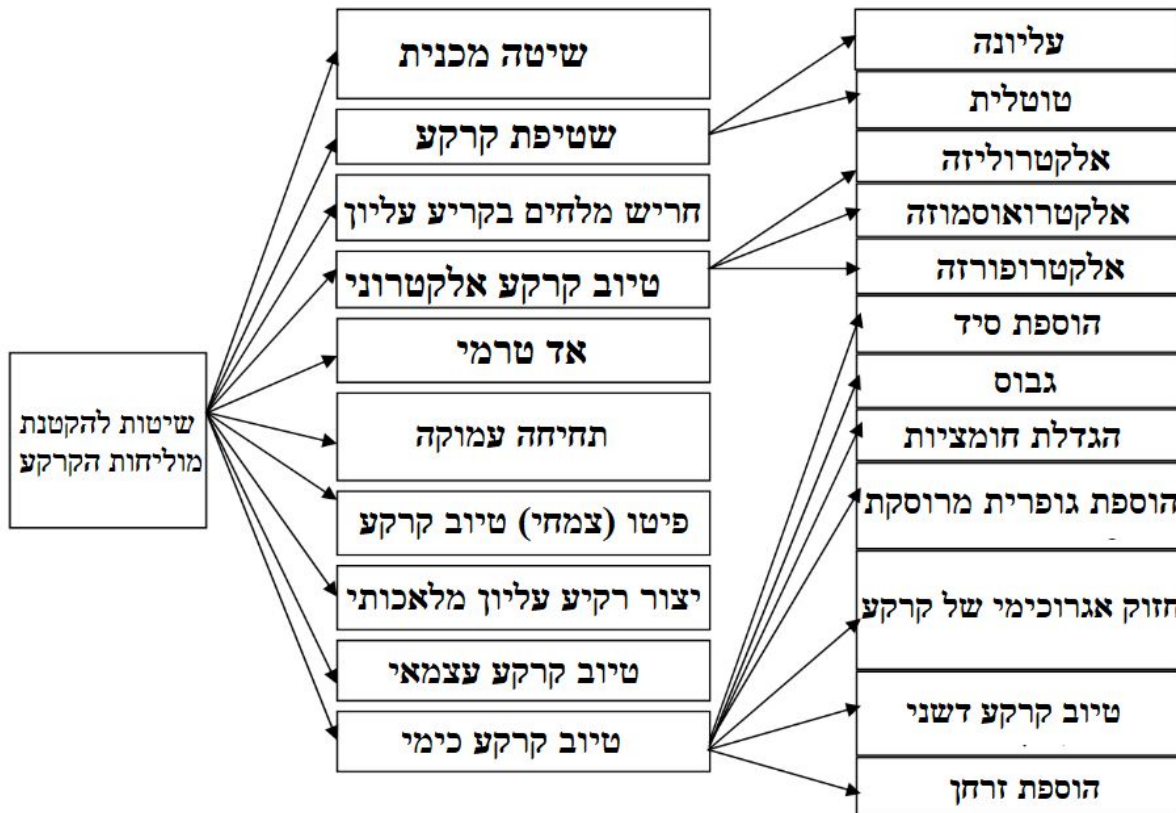
1.5 טיוב קרקע מלוחה

כאשר פונים לטיוב קרקע מלוחה מתייחסים למספר גורמים-

1. תנאי אקלים - כמות המשקעים.
2. ספציפיות לשימוש חקלאי - סוג תרבויות האמור להיגדל בשטח גידול, קרקע חקלאית, ערוגות חציר, מרעה, פרדס או חלקת פירות.
3. תכונות קרקע - תוכן של נתרן חליף, מידת מליחות, ויסות מלחי קרקעות, עומק פחמתי.

(Lopatovskaya 2010)

טבלה 1.0: שיטות טיוב קרקע



בטבלה זו מתואר מיון שיטות מודרניות של טיוב קרקע מלוחה. (Lopatovskaya 2010)

שטיפת הקרקע:

שטיפת קרקע הנה מערכת מורכבת של אמצעים טכניים המאפשרים הפחתת ריכוז יתר של מלחים רעילים בקרקע לרמה המותרת לגידולים חקלאיים, על ידי הזנת מים על פני הקרקע והסרת תמיסת המלח וניקוז מחוץ לשטח גידול (Kireychewa 2004).

שיטה מכנית (חריש הכנה לשטיפה):

שימוש בחריש ע"י טרקטור. שיטה זאת משמשת בעיקר לקרקעות מלוחות לפני שטיפת קרקע, וכך יכולה לתרום לצמצום בצריכת מי שטיפה. שיטה זו בעייתית שכן היא הורסת את קרום המלח על פני הקרקע.

חריש מלחים בשכבה העליונה

בשיטה זו משתמשים בקרקעות מלוחות מעט, כאשר רוב ריכוז המלחים מצטבר בשכבה העליונה של קרקע, על מנת לפזר את המלחים בשכבת הקרקע. אם בשכבה זו יש שכבה עבה של חומר אורגני, מתאפשר כך פיזור מלחים שווה על כל שטח גידול.

טיוב קרקע אלקטרוני:

בשיטה זאת מופעל זרם חשמלי קבוע על הקרקע. כתוצאה מכך משתנה הרכב המלחים בקרקע להרכב מזיק פחות (רמת הרעילות יורדת).

בשימוש בטיוב אלקטרוני רואים הקטנה בצריכה של מי שטיפה בנוסף בתהליך זה הקרקע מקבלת אפיונים זונאליים (מקומיים), פוריות הקרקע גדלה וכתוצאה מכך יכולים עשויים לגדול. (Karnaukhov 1980)

אד טרמי

שיפור המאפיינים הפיזיים של השכבה המלוחה (של הקרקע) בהשפעת קרינת השמש. בתהליך זה יתבצע חריש של השכבה המלוחה, הרמה, היפוך ותיחושלה על פני הקרקע.

תחת השפעת קרינת השמש והרוח, מלחים יעברו תהליך התקרשות- המלחים יצטברו למעלה בצורת גביש.

תיחוח עמוק

בדומה לשיטה המכנית, יתבצע חריש של הקרקע, שיטה זאת תתאפיין בחריש כמה שיותר עמוק ללא ערבוב שכבות אחרי חריש (יעיל ביותר אחרי הכנסת גיר להורדת חומציות).

מאפשר:

- (1) הרסת שכבת מלחים צפופה וקשה.
- (2) מלחי הסידן של האדמה עצמה מתערבבים לתוך שכבת החריש ובכך מפזרים ומדללים אותם.
- (3) שיפור התכונות הפיזיקליות של הקרקע.
- (4) הגדלת אספקת המים בקרקע. (Lyubimova 2004)

"פיטו" טיוב קרקע

שימוש בצמחים המסוגלים להתבסס בקרקע מלוחה. צמחים אלו מתבססים בקרקע, ולאחר זמן ותהליכי הירקבות, נוסף חומר אורגני לקרקע והאיכות שלה עולה. דבר נוסף שקורה הוא ששורשי הצמחים העמידים מרככים את הקרקע ומשפרים את תנועת המינרלים בה, דבר העוזר לצמחים פחות עמידים למליחות להתבסס לאחר מכן. כאשר השורשים של צמחים אלו מגיעים למי התהום הם יכולים לסנן מהם חלק מהמלח. צמחים אלו נקראים בבוטניקה

הלופיטים. ("halo-" ("salt") + -phyte ("plant"))

הצמחים ההלופיטים מסוגלים לתפקד מבחינה אקולוגית, פיזיולוגית וביוכימית באופן תקין, ולשגשג בתנאי סביבה מלוחים ו / או בהשקיה במי מלח. יכולת של ההלופיטים מתאפשרת כתוצאה מכך שיש להם לחץ אוסמוטי גבוה (110 אטמוספרות) בתאים, ומנגנון העברה של יונים דרך קרום התא המאפשר להם לקלוט מים בתנאי מליחות ומוליכות גבוהה. בנוסף, להלופיטים יכולת לבצע פוטוסינתזה מסוג C-המאפשרת הפקת אנרגיה בתנאי קיצון של בצורת, טמפרטורות גבוהות ומליחות. ההלופיטים יוצרים מסות גבוהות של חומר צמחי מעל פני הקרקע, כתוצאה מכך גדל קצב אידוי המים מהעלים שלהם. בעזרת האידוי

המוגבר ההלופיטים "מושכים" אליהם את המים המלוחים מקרקע, מאדים אותם לאוויר ומשאירים את המלח בתאים שלהם וכך מורידים את רמות המליחות בקרקע ובמי התהום. משך תהליך טיוב הקרקע תלוי במידת ההמלחה (בינוני 4-5 שנים, גבוה 6-7 שנים).

חלק מהצמחים הללו נוצרו י"ע האדם בתהליך ברירה מלאכותית:

Suaeda, Atriplex - מלוח , Climacoptera crassa, כף אווז לבנה, Bassia hyssopifolia, Salicornia...

(Poluektov 2004)

לצערנו אבוקדו אינו הלופיט ואינו מסוגל לתפקד במלואו בתנאי המלחה.

יצירת שכבת קרקע עליונה מלאכותית

תהליך בו יוצרים מחדש את השכבה העליונה של הקרקע (20-6 ס"מ) ע"י הוספה של סידן חליף וחומר אורגני רב, היא יצירה מלאכותית של שכבה רבת עוצמה: 20-6 ס"מ פורה על פני השטח של אדמה מלוחה מאוד, על ידי הוספת שכבת אדמה עשירה, סידן חליף וחומר אורגני רב. בתהליך זה הסידן החליף "מחליף" את אטומי הנתרן (הרעיל) בקרקע ונוצרות תרכובות נתרן רעילות פחות.

טיוב קרקע עצמאי

ערבוב של שכבות גירניות ופחמיות בחריש, ע"י הרמתן כלפי מעלה, כך שאלו ירטבו ממי הגשמים. אפשר לזרז שיטה זו ע"י שטיפת הקרקע, השקיה, תיחוח בעזרת הוספת זבל, קש, קומפוסט, הגדלת ריכוז סידן בתמיסת קרקע - הכנסת גיר, סופרפוספט וכדומה.

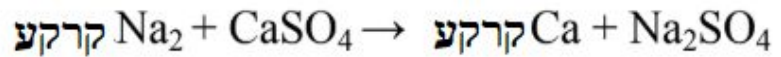
טיוב קרקע כימי

שיטה זו מכוונת לשיפור התכונות הכימיות של הקרקע, בעזרת ויסות תרכובות כימיות (חומציות בסיסיות), שינוי במבנה קרקע, העשרה שלה ביסודות הזנה, הקטנה של דחיסות הקרקע והגברה של חדירות המים.

דוגמאות:

- הוספת סיד על-מנת להוריד חומציות.

בתהליך הוספת הגיר הסיידן מחליף את הנתרן בתרכובות הקרקע ונוצרות תרכובות רעילות פחות.



- הגדלת חומציות בעזרת הוספת חומצה גופרתית, סולפט ברזל, אלומיניום סולפט, סידן כלורי וכו'

(Olgarenko G. 2014)

- טיוב דשני של קרקע - מטרתו להגדיל הרכב הומוס בקרקע, שיפור משטר מימי ואווירוני של הקרקע. כחומרי טיוב משמשים: לשלש, זבל, חומר יבש של צמחים (כגון הלופיטים), כבול, סאפרופל, פסולת עץ, פסולת ענף הידרוליזה, תעשיית מזון, תעשיית ביוכימיה וכו'.
- זרחון של הקרקע - המבוא מנות של דשנים זרחתיים בצורת זמינה (סופרפוספט, טרמופוספט, קמח זרחן). (Lopatovskaya 2010)

השיטות המתוארות לעיל מיושנות מאוד ולרובן חסרונות רבים, לדוגמא:

- שטיפה: לאחר השטיפה הרבה מהשכבה העליונה של הקרקע, החומר האורגני, חומרי הדשן והמקופלורה/מקרופאונה (כגון מיקוריה) נשטפים יחד עם המלחים. הרכב הקרקע משתנה ואיתו התכונות הפיזיקליות כגון החזקת מים ודשן.
- שיטה מכנית: בעת החריש העמוק מתערבבות שכבות הקרקע, דבר הפוגע בריזוספרה ובכל היצורים המקרוסקופיים החיים בה, כך נפגעת יכולת של הקרקע לתמוך חיים.
- טיוב קרקע אלקטרוני: משנה את התכונות הכימיות והמטען החשמלי של הקרקע באופן שאינו מדויק ושאינו ניתן לצפות את תוצאותיו, כך שאיננו יודעים אילו תרכובות מינרליות יוניים ייווצרו בקרקע לאחר הפעלת השיטה.
- ועוד...

כל השיטות האלו (למעט יצירת שכבת קרקע עליונה חלופית ושיטה של שימוש בצמחים הלופיטים) מחייבות התערבות מכנית הכוללת פגיעה בגיעה בשכבת הקרקע העליונה בה נמצאים שורשי הצמחים אותם אנו מגדלים. בשכבה זאת מתקיימים החיים המיקרוסקופיים אשר חיוניים לתפקודי הצמח ומהווים גורמים קריטיים בתהליכים כמו מעגל החנקן, פירוק של חומרים אורגניים בקרקע

ועוד ... שיטות אלו מחייבות את שיקום הקרקע לאחר הטיפול על מנת לחזור לגדל בה, אחד מהתהליכים מהסוג הזה נקרא **Revegetation** - הוא אוסף של פעולות באמצעים הנדסיים כימיים וסנטריים הנועדו להחזיר לקרקע את מאפייניה המקוריים ולווסת את המאזן האקולוגי. (Ganeev, 2009)

1.6 השפעת עודף דשן כימי על קרקע

במקורו, דישון הוא תהליך הוספת דשן לקרקע על-מנת להעשיר אותה ביסודות הזנה מינרלית. הזנה מינרלית של צמחים מורכבת מ-17 יסודות כימיים הנחשבים חיוניים לתפקוד צמח. חמצן, פחמן ומימן - נקלטים ע"י הצמח מהאוויר או מביקוע מולקולות מים. יתר 14 יסודות - בהם גם יסודות הבסיס (חנקן, זרחן ואשלגן) נקלטים מדישון וממינרלים בקרקע. (יורם איזנשטדט 2016.1.26)

בהזנה מינרלית בצמחים ישנם יסודות הנחשבים חיוניים וכאלו שלא:

יסודות חיוניים :

רשימה של 17 יסודות כימיים הנחשבים חיוניים לצמח מהסיבות הבאות:

- 1) יסודות אשר מחסור בהם לא מאפשר לצמח להשלים את שלב הגדילה הוגטיבי או רפרודוקטיבי של מחזור חייו.
- 2) יסודות בלעדיים לצמח שלא ניתן להחליפם ביסודות אחרים וכל השמטה שלהם תפגע בהתפתחות הצמח.
- 3) היסודות הקשורים באופן ישיר בפיזיולוגיה ובמטבוליזם של צמח, כולל חלק מפעילות האנזימים וההורמונים והרכבם. (יורם איזנשטדט 2016.1.26)

רשימה זו מחולקת ל-

יסודות מאקרו (בסיסיים)-

חנקן, זרחן, אשלגן.

יסודות מאקרו משניים-

סידן, מגנזיום, גפרית

יסודות מיקרו-

ברזל, נחושת, אבץ, בורון, מנגן, מוליבדנום, כלור, ניקל.

ישנם גם יסודות הנחשבים ללא חיוניים לצמח-

ונדיום, קובלט, נתרן, צורן. (יורם איזנשטדט 26.1.2016)

תפקידי יסודות ההזנה בצמח

יסודות מאקרו (בסיסיים)-

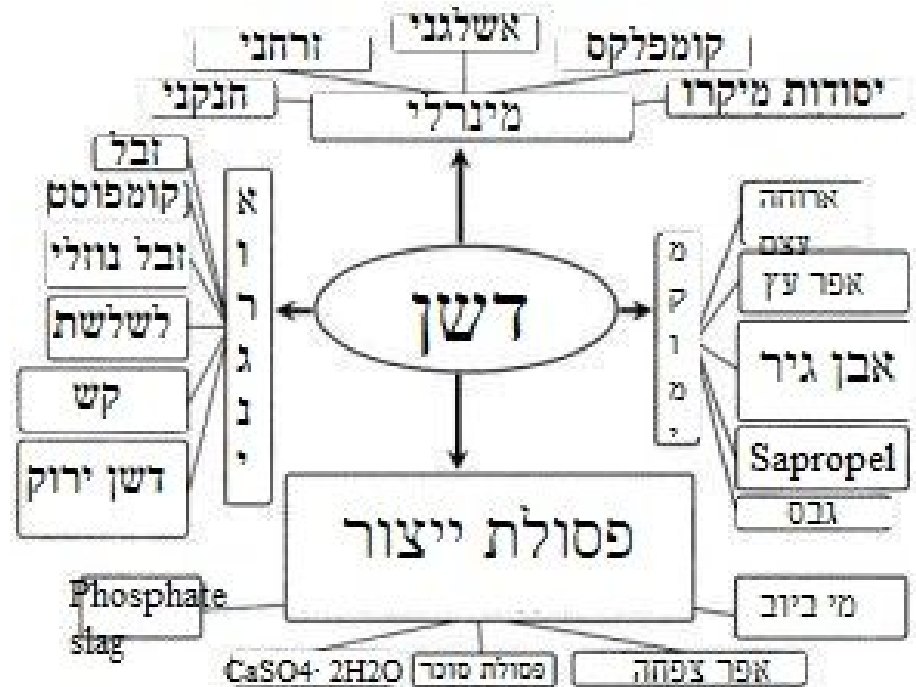
חנקן - מרכיב חיוני בחלבון ובכלורופיל. חוסר ביסוד זה גורם לעיכוב גדילה ובעיקר עיכוב בהתארכות רקמות. ריכוז החנקן בצמחים מהווה 1 - 3 מהחומר היבש.

זרחן - מרכיב חשוב בגרעין התא, מחסור בזרחן יגרום לעיכוב בהתפתחות שורשים ובהתמיינות לקווה לפריחה. מהווה 0.05%-0.2 מהחומר היבש.

אשלגן - אינו נוטל חלק בבניית רקמות הצמח. נמצא כולו בתמיסה או מלחים אורגניים. מווסת את הלחץ האוסמוטי בצמח ושיעור פתיחת הפיוניות. מחסור בו יגרום לגבעולים דקים ורגישות יתר למחלות. מהווה 3 - 4 מהחומר היבש.

מיקרו אלמנטים - נוטלים חלק בפעילויות אנזימטיות שונות, המחסור בהם גורם לפגיעה ישירה בפעילויות אלו. ריכוזם בצמח נע בין מאות אחדות של חלקי מליון (לדוגמא מנגן) ועד חלקי מליון בודדים ואף פחות (לדוגמא נחושת ומוליבדן) (יורם איזנשטדט 26.1.2016)

סכמה 2: סוגים שונים של דשנים המשמשים בחקלאות:



חלוקת דשנים לסוגים נעשית לפי המאפיינים הבאים:

- (1) מקור: אורגני או כימי
- (2) צורה: נוזלי או מוצק
- (3) צורת פעולה: ישירות או עקיף
- (4) שיטת הכנסה: ראשי, דשן יסוד (תרם הזריעה), במהלך הגדילה, לעומק, או לשכבה עליונה
- (5) שיטת הזנת צמחים: פנימי (לתוך שורש) או חיצוני - (נקלט עם עלווה או גזע)

דשנים מינרליים או כימיים הם תוצרי מפעלים כימיים המשתמשים בחומרים אנאורגניים בייצור שלהם, בעיקר מלחים מינרליים.

דשנים אורגניים - נגזרות של תוצאות פירוק של חומרים אורגניים (ממקור חי).

למעשה דישון היא אחת מן השיטות הכימיות של טיוב קרקע (ראה עמ' 18 שיטות טיוב קרקע מלוחה). ישנה חשיבות לציין שדשן בהתאם לכימיות שלו שווה למלח. לכן, נושא זה ומנגנוני השפעה יהיו דומים להמלחת קרקעות.

1.7 השפעות של דישון בדשן כימי

דישון קרקעות חקלאיות בדשן מינרלי (כימי) עלול לגרום לנזק לאדמת הגידול וכמו כן לנזק סביבתי רב. אחת הסיבות לשימוש בדשן כימי היא בכדי לשמור על רמת היבולים או להגדיל אותה. במצב זה החקלאים צריכים להגדיל את השימוש בדשן בצורה אקספוננציאלית: אם כדי לגדל טון ראשון של חיטה על החקלאי להשקיע טון אחד של דשן, כדי להגדיל את התבואה בטון נוסף יהיה עליו להשקיע פי 2-3 ממה שכבר השקיעה, וזאת לפי החוק של הגדלת ההשקעה באנרגיה של יחידת ייצור. דבר הגורם לשימוש לא נכון בדשן. נזק זה נגרם כאשר משתמשים בדשנים אלו בצורה לא נכונה, וזאת ללא יתרון כלכלי מובהק. כיום השימוש בדשנים מינרליים בחקלאות אינטנסיבית הוא בלתי נמנע.

(Afanasyeva L. 2010)

חשוב לציין שלדשנים מינרליים יכולה להיות השפעה שלילית, על צמחים הגדלים באדמה המדושנת, על תוצריהם וגם על בעלי החיים הצורכים אותם. ישנה גם השפעה שלילית על האדמה והחיים בה. עיקרי השפעות אלה מוצגים בטבלה מס' 3.

השפעות שליליות של שימוש בדשן כימי על קרקע

- עליה בחומציות הקרקע
- שינוי בהרכב המינים של האורגניזמים באדמה.
- הפרעה במחזוריים של תהליכים כימיים המתרחשים באדמה.
- שינויים בהרכב הפיזי של הקרקע המביאים לשינוי במאפיינים כגון הכלת מים ציפיות, חדירות לאוויר וכו'.

(Afanasyeva L. 2010)

ישנן עדויות (Mineev, 1964) כי אחת התוצאות של עלייה בחומציות הקרקע עם השימוש בדשנים (בעיקר חנקן חומצי) הוא שטיפת מוגברת של סידן ומגנזיום מהם. כדי להתמודד עם תופעה זו, יש צורך להכניס שוב את היסודות האלה לתוך האדמה. (Afanasyeva L. 2010)

דשנים זרחתיים אינם בעלי אפקט חומציות מובהק כדשנים חנקניים, אך השימוש בהם עלול לגרום להפרעות בקליטת אבץ והצטברות סטרונציום. (Afanasyeva L. 2010)

טבלה 3: השפעות כלליות של דשן מינרלי

סוג דשן	השפעה	
	חיבובי	שלילי
חנקני	מגביר ריכוז חלבון בתבואה ומשפר תחונות הטעם.	במינים גבוהים או בהכנסות תדירות גורם להצטברות בצורת ניטרטים. קצב גידול מהיר במיוחד על מחיר עמידות. תחלוא מוגברת (במיוחד מחלות פטריות). אמוניה כלורידית תגרום להצטברות כלוריד במוצרים, בעיקר ירקות כמו תירס, טבק.
זרחתי	מוריד השפעות שליליות של חנקות. משפר איכות הפרי ומגביר עמידות למחלות.	במינים גדולים גורם להרעלות הצמח בעקבות מתכות כבדות שדשנים אלו מכילים - קדמיום, זרניך, סטרונציום ויסודות רדיואקטיביים ופסור. מצטבר בדרך כלל ב: פטרוזיליה, בצל.
אשלגני	בדומה לדשן זרחתי	השפעה שלילית נגרמת מכלורידים שנמצאים בתרכובות עם אשלגן. אם הצטברות גורמת הרעלות הצמח. מצטבר לרוב ב - תפוח אדמה, ענבים.

(Afanasyeva L. 2010)

השפעות גיאוקולוגיות של דשנים

עבור התפתחותם צמחים זקוקים לכמות מסוימת של חומרים מזינים (תרכובות חנקן, זרחן, אשלגן), הנספגים בדרך כלל מהקרקע (למעט פחמן וחמצן). במערכות אקולוגיות טבעיות, ומאוזנות, חומרים מזינים אלו נקלטים על ידי הצמחים דרך השורשים, ושבים לאדמה כתוצאה מתהליכי מוות וריקבון במחזור החומר (פירוק של פירות, פסולת צמחים ושורשים). חלקם של חומרים אלו נכנסים למערכת דרך התפרקות של מינרלים שונים הנמצאים בקרקע, במסלע ובמשקעים הנסחפים לקרקע. חלקם נקלטים מן האטמוספירה כדוגמת חנקן שעובר קיבוע ע"י חיידקים ופחמן שעובר קיבוע ע"י צמחים. כאשר המערכת אינה מאוזנת ישנה העלמות של חלק מחומרי דשן אלו, לדוגמה: כאשר היסודות המסיסים שלהם נסחפים עם חלקיקי הקרקע בתהליכים של סחיפת קרקעות. יחד עם זאת חלק ניכר של החנקן חוזר לאוויר בצורה של חנקן גזי בתהליך של דה-נטריפיקציה (Afanasyeva 2010)

החקלאות משבשת את האיזון הטבעי, הסגור כמעט, של חומרי הזנה. הקציר השנתי נלקח מן השטח ואיתו חלק מן החומרים המזינים. במערכות חקלאיות, קצב "העלמות" חומרי ההזנה הוא בין 3-1 פעמים מהר יותר מאשר במערכות הטבעיות. ככל שהיבול גדול יותר, כך גדל קצב אובדן המינרלים בקרקע. מצב זה יכול לקרות גם במקרים בהם האוצר הראשוני של חומרי ההזנה בקרקע גדול, דבר הקורה במהירות גבוהה יחסית במערכות חקלאיות. (Afanasyeva 2010)

בתהליך הקציר ברחבי העולם מוציאים מהקרקע כ- 40 מיליון טון חנקן בשנה בסך הכל, או 63 ק"ג לכל דונם של תבואה. כך יורד כושר הנשיאה של הקרקע ונוצר הצורך להשתמש בדשנים כדי לשמור על פוריות הקרקע ולהגדיל את היבולים. לכן, בחקלאות אינטנסיבית ללא הוספת דשנים, פוחתות פוריות הקרקע כבר בשנה השנייה. כך נוצרת תלות בשימוש בחומרי דשן כימיקלי.

הייצור והצריכה של דשנים בעולם גדל בהתמדה (פי 10 בין השנים 1950 ל 1990). בהתאם, גדלה בהתמדה ההשפעה השלילית שיש לשימוש בדשנים אלו על הסביבה, לדוגמה זיהום מי תהום ונחלים ע"י דשנים זרחתיים. (Afanasieva 2010)

תלות החקלאות בדשנים מינרליים הובילה לשינויים חמורים במחזורי הגלובלי של חנקן וזרחן. השימוש בדשנים חנקניים הוביל לשיבוש במאזן החנקן העולמי בשל גידול של 70% בכמות תרכובות החנקן הזמינות לצמחים בהשוואה לתקופה הטרום תעשייתית. עודף חנקן יכול לשנות את חומציות הקרקע, כמו גם את התוכן של החומר האורגני בהם, אשר יכול להוביל לשטיפה נוספת של חומרים מזינים מהקרקע ואת הידרדרות איכות מאגרי המים הטבעיים, כתוצאה מזיהום ע"י עודפי חנקן הנשטפים אליהם מהשטחים החקלאיים. (Afanasieva 2010)

לדברי המדענים, היסחפות זרחן מהשטחים החקלאיים, בתהליך של סחף קרקע, עומדת על יותר מ- 50 מיליון טון בשנה. נתון זה דומה לכמות השנתית של הייצור התעשייתי של דשני פוספט (על כן ישנו צורך להוספה חוזרת ונשנית של זרחן לקרקעות חקלאיות על מנת לשמור על רמות יבולים). בשנת 1990, אותה כמות זרחן הוכנסה לשדות במערכות הדישון כפי נשטפה לאוקיינוס בתהליך זה, כלומר 33 מיליון טון. כיוון שאין תרכובות זרחניות גזיות, היא נעה תחת השפעת כוח הכבידה, בעיקר עם מים, מהיבשות ועד לאוקיינוסים. תהליך זה מוביל למחסור זרחני כרוני בקרקע, ולבעיות נוספות במאזן גיאואקולוגי העולמי. (Afanasieva 2010)

סיבות להשפעה שלילית של דשנים מינרליים על הקרקע:

ההשפעה השלילית של דשנים על הסביבה נובעת בעיקר מחוסר השלמות של המאפיינים וההרכב הכימי של דשנים. חסרונות משמעותיים של דשנים מינרליים רבים הם:

- נוכחות של חומצות שאריות בשל טכנולוגיית הייצור שלהם. (Ushakov.N 1934)
- חומציות פיזיולוגיות, הנובעת מהשימוש או בקטיונים או אניונים מדשנים. שימוש ממושך בדשנים חומציים או אלקליניים משנה את התגובת תמיסת הקרקע, מוביל לאובדן הומוס

(שכבת קרקע עשירה בחומרים האורגניים שעברו פירוק), מגביר את הניידות ואת ההגירה של אלמנטים רבים.

- בדשנים, בניגוד לעפרות ופוספט טבעיות, פלואור נמצא בצורה של תרכובות מסוכנות ובקלות חודר לצמח. הצטברות מוגברת של פלואור בצמחים משבשת את חילוף החומרים, פעילות אנזימטית (מעכבת פעולה של פוספטאז), משפיע שלילית על פוטו- וביוסינתזה של חלבון, והתפתחות הפרי. מינון מוגבר של פלואור מדכא את התפתחותם של בעלי חיים, גורם להרעלה.
- נוכחות של מתכות כבדות (קדמיום, עופרת, ניקל). דשנים מזוהמים ביותר עם מתכות כבדות הם זרחתיים ושלמים. זאת בשל העובדה כי כמעט כל עפרות זרחן מכילים כמויות גדולות של סטרונציום, יסודות נדירים ורדיואקטיביים. הרחבת הייצור והשימוש בדשנים זרחתיים ומורכבים מובילה לזיהום סביבתי על ידי תרכובות פלואור וארסן.

(Afanasieva 2010)

חסרונות הנובעים משימוש בדשן זרחתי:

דשנים מסיסים זרחתיים שהוכנסו לקרקע אינם נעים לאורך פרופיל הקרקע, נספגים במידה רבה על ידי והופכים לבלתי זמינים לצמחים. נקבע כי הגידול הראשון משתמש רק ב 10-30% של P2O5 מתוך הדשן הזרחתי מוטמע בקרקע. שאר הזרחן בדשן נשאר בקרקע ועובר שינויים, שחלקם אינם מיטיבים עם הקרקע והסביבה. לדוגמה, בקרקע חומצית, זרחן מדשן סופרפוספט הופך בעיקר לפוספטים של ברזל ואלומיניום. באדמה עשירה בחומר אורגני וכל קרקעות פחמתיות הופך הסופר-פוספט לפוספטים של סידן הלא מסיסים במים. השימוש השיטתי והממושך בדשני פוספט מלווה בעיבוד הדרגתי של הקרקע. (Afanasieva 2010)

עוד ידוע כי שימוש לטווח ארוך במינונים גבוהים של דשנים זרחתיים יכול להוביל למצב בו הקרקע רוויה בזרחן וכמויות נוספות של דשן שאינן נקלטות (Hyperphosphatemia). **במקרה זה, עודף של זרחן בקרקע יכול לשבש את היחס בין חומרי ההזנה בקרקע ואף להפחית את הזמינות של אבץ וברזל לצמחים.**

עם יישום לטווח ארוך של דשנים זרחתיים, יש צורך לשנות את היחסים בין חומרים מזינים תוך התחשבות בהשפעה שלהם על הקרקע. (Afanasyeva L. 2010)

סיכום ההשפעות השליליות של דשנים מינרליים:

- (1) השפעה על צמחים - צמצום ניידות של יסודות אחרים בקרקע.
- (2) פגיעה במאפייני הפיזיקלים של הקרקע.
- (3) פגיעה במאפייני הקרקע הקשורים במים. כגון היכולת להחזיק מים, חדירות המים בין השכבות וכו'...
- (4) ירידה באספקה חומרי הזנה לצמחים, כתוצאה מתחרות על משאבים בסביבת השורש הנובעת משינויים במטעני החשמלי בסביבת השורשים.
- (5) הפרעה במחזור חילוף החומרים בסביבת השורש.
- (6) הידרדרות מאפיינים טכנולוגיים ובטעם של מוצרים
- (7) הרעלת סביבה המיקרוביולוגית (עומס על חיידקי ניטריפיקציה).
- (8) פגיעה בפעילות אנזימטית.
- (9) הרעלת עולם החי של הקרקע.
- (10) פגיעה ביכולת ההסתגלות של הצמח למזיקים ומחלות ותנאים קיצוניים, זאת בשל אכילת יתר.
- (11) שינוי בהרכב החומר האורגני בקרקע עד לאובדנו מהקרקע לחלוטין. כדי למנוע את ההשפעות השליליות משתמשים בדשנים אורגניים, אופטימיזציה של ה-pH, מווסתים המשטר מים, מאזנים המערכת דשנים.
- (12) הידרדרות המאפיינים הפיזיקליים והכימיים של הקרקע.
- (13) הידרדרות של תכונות מכניות של קרקעות.
- (14) הידרדרות של משטר האוויר הקרקע.
- (15) גידול בריכוז של יסודות מסוימים בתרביות מעל הרמה המותרת.
- (16) "עייפות קרקע" - מצב שבגללו קרקע צריכה זמן להתחדש - תוצאה של חקלאות אינטנסיבית.
- (17) המראה של ריכוזים רעילים של יסודות מסוימים.

(Afanasieva 2010)

אפשר להקטין את ההשפעות השליליות של השימוש בדשן מינרלי ע"י שימוש מושכל לדוגמה: שימוש בדשנים המתפרקים לאט (עשוי למנוע פגיעה באיזון טבעי של יסודות הקרקע - להקטין קצב הצטברות חנקות וזרחן בקרקע ובמי תהום. בנוסף קצב העלמות יסודות שדשנים מתפרקים לאט,

איטי יותר מאשר דשנים נזלים שיאפשר הזנה לאורך שנים רבות יותר). יחד עם זאת שימוש בדשנים מרוכזים אשר מכילים פחות מתכות כבדות יתבטא באופן חיובי על התכונות של הקרקע.

(Afanasieva 2010)

בהתחשב באוכלוסייה הולכת וגדלה, הוצג בעבר פתרון להאכיל כדור הארץ - חקלאות אינטנסיבית. אך בעשורים האחרונים הולכים ומתגלים נזקים של החקלאות האינטנסיבית, את חלקם נסקרו כאן. משום כך נדרש פתרון חדש שעשוי להחליף או לפחות לצמצם שימוש בדשנים ובמקביל לשמור על רמת יבולים או אפילו להגדיל אותה. אחת הפתרונות האפשריים הוא ניצול הקשר הסימביוטי עם פטריות קרקע.

3 מאמרים מתקדמים Jerry A. Mensah 2015 / Heike Bücking 2015/ Carl R. Fellbaum 2014

הוראה שעל ידי ניצול הקשר הסימביוטי בין פונדקאים מסוימים לבין מיקוריזה, מדענים עשויים להגדיל את ייצור ביומסה של גידולים ביואנרגטיים, את התשואה של גידולי מזון ולהפחית את תשומות הדשן הנדרש. וכך לשפר את הקיימות הסביבתית של מערכות הייצור החקלאי. (South Dakota State University 2016).

"במשך יותר מ-500 מיליון שנה, רוב הצמחים היבשתיים שיתפו את הפחמימות שלהם עם פטריות מיקוריטיות ארבוסקולריות שהתיישבו בריזוספרה שלהם", הסביר Heike Bücking. בתמורה, פטריות אלה מספקות צמחים עם חנקן וזרחן, משפרות את ההתנגדות ללחץ של המארח שלהם. יתכן, כי לפטריות אלו יש פוטנציאל להגדיל את הייצור ביומסה של יבולים ביואנרגטיים ואת התשואה של גידולי מזון ולעשות זאת בצורה יותר בר קיימת וידידותי לסביבה. בנוסף על אספקת חומרים מזינים, פטריות אלו יכולות להגן על מזון ועל גידולים ביו-אנרגטיים מעקה הסביבתית, כגון בצורת, מליחות ומתכות כבדות ומחלות.

"כל העקות שבגללן צמח עלול להיות מדוכא, מורידות השפעתן בדרך כלל על ידי אינטראקציות עם מיקוריזה."

בניסוי זה השתמשנו בדשן כימי נוזלי (N6.P2/4.K10) מהסיבות הבאות:

- (1) כדי לבדוק תכונה מסוימת של מיקוריזה המסייעת בקליטת היסוד זרחן מהקרקע, הוחלט להשתמש בדשן נוזלי מומס ולא בדשן אורגני, כדי לשלוט בצורה מדויקת בכמויות הזרחן בו אנחנו מדשנים כדי לקבל תוצאות "נקיות".
- (2) בניסוי השתמשו בדשן N.P.K מלא ולא בדשן פשוט, וזאת כדי לספק לעצים את כל חומרי ההזנה ולמנוע את שיבוש התוצאות בגלל גורם מגביל בשל חוסר באחד מחומרי ההזנה האחרים. דשן ישיר משמש להעשיר צמח ביסודות הזנה, ובאופן עקיף לשיפור תכונות הקרקע.
- (3) בניסוי נעשה שימוש בריכוז דשן קבוע במהלך כל הגדילה.
- (4) אם משתמשים בדשן כולל מיקרו יסודות, עדיף לרסס אותו כדי שכל תאי צמח יועשרו ביסוד.
- בניסוי צמחי אבוקדו קיבלו דשן ישירות לתוך שורשים. אסור היה להשתמש בריסוס חיצוני על מנת לוודא שדשנים לא מתערבבים.
- (5) עלינו להכיר את מנגנוני השפעת דשן כימי על קרקע משום שבניסוי מתוכנן לבדוק תכונה מיוחדת של מיקוריזה - להגביר יכולת הצמח לקלוט זרחן מהקרקע.

1.8 מיקוריזה

ישנם מחקרים רבים המראים שסימביוזה בין פטריית המיקוריזה לבין צמחים תומכת רבות בגידול הצמח בתנאי עקה של עודף מלח בקרקע, עודף בחומרי דשן, מחסור במים ועוד גורמים רבים ושונים. למרות שהשקיה במים בעלי מליחות גבוהה פוגעת בביסוס וגדילה של מושבות המיקוריזה. העובדה היא שהפטרייה יכולה להתבסס בקרקעות מליחות. (J. Vicente-Sánchez 2013)

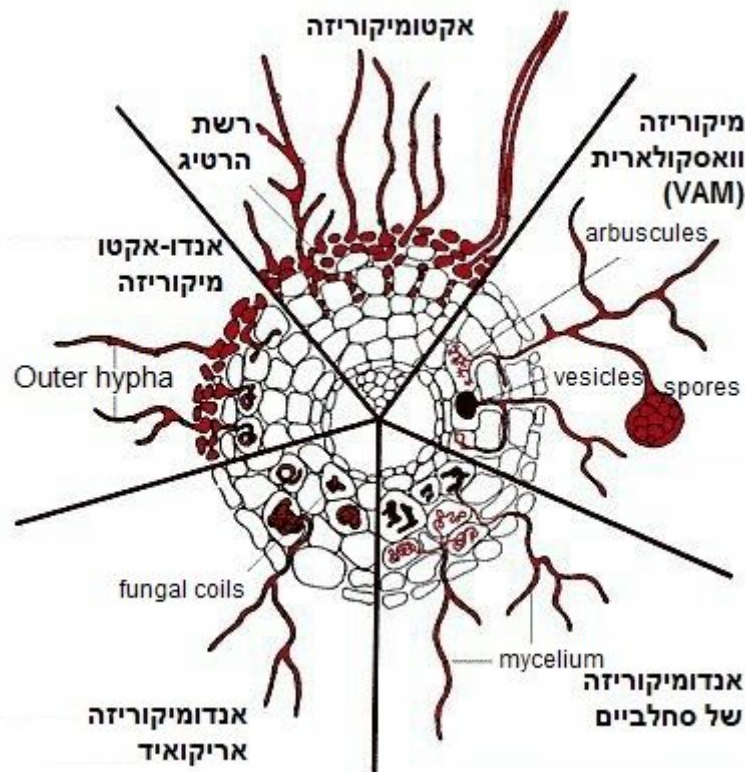
את המונח מיקוריזה (מיוונית - שורש פטרייתי) לראשונה הכניס Benjamin Franklin (1885) לתיאור הקשר בין פיטריות המיקוריזה הביוטרופיים לשורשי צמחי עובר. מיקוריזות נפוצות מאד בטבע. על פי מקורות שונים מ-75% עד 95% מיני צמחים יוצרים קשר עם מיקוריזה. על כל סנטימטר מעוקב אחד של אדמה סביב שורש, ישנם בין 20-40 מטר של נימי מיקוריזה. מחקרים מראים שמיקוריזה תסבול מקשיי התפתחות בתנאי קרקע שאינם מסיעים לכך (כגון בצורת, מליחות, עודף לחות) וגם לא בקרקעות עם פוריות גדולה. מיני צמחים מסוימים אינם מפתחים קשרים סימביוטיים עם מיקוריזה ללא קשר לתנאי הקרקע. (Wang, B 2006).

לדוגמה, ישנם מספר מינים במשפחת המצליבים והסילקיים שאינם מפתחים קשרים סימביוטיים עם המיקוריזה. היחסים בין שותפי אסוציאציה המיקוריזית יכולים להיות הדדיים (mutualism), נייטרליים או טפיליים. בדרך כלל שולטת ההדדיות, לכן לרוב בספרות המקצועית למיקוריזה קוראים סימביוזה מיקוריזית, אולם אין זה מדויק משתי סיבות:

- 1) יחסים ניטרליים וטפיליים לא כל-כך נדירים בטבע
- 2) הצמחים אשר נגועים בפטריית מיקוריזה, מסוגלים רק באופן חלקי לפקח על התפשטות של הפטריות בשורשם.

ישנם שלושה סוגים יחודיים של קשרים סימביוטיים בין הצמח לבין המיקוריזה, הנקבעים לפי מנגנון שיתוף הפעולה בין הסימביונטים:

סכמה 3: קביעת סוגי פטריות מיקוריטיות על פי מבנים פנימיים והתקשרות עם פונדקאים.



קשרי אקטומיקוריזה (סוג של קשר וגם שם של פטרייה). בסוג קשר זה ההיפות (מיונית - קורי עכביש) מהוות את רוב החלק הווגטטיבי בגוף הפטרייה. אחד מן התפקידים של הפטרייה זה לספוג מים וחומרים מזינים. הפטריות אינן חודרות את דופן תאי השורש של הפונדקאי אלא מקיפות את השורש ויוצרות תפטיר בחלל הריזוספרה (רשת הרטיג). רשת זאת מורכבת מריזומורפים (חוטים המסתעפים המרכיבים את גוף הפטרייה). חילוף החומרים בין הקרקע לצמח מתרחש על-ידי רשת זו. קשר זה מתקיים בדרך כלל בין שורשי עצים (רב שנתיים) לבין הפטריה ורק לעתים רחוקות בעשבונים. (Smith, Sally E.; Read, David J 26 July 2010)

קשרי אנדומיקוריזה בסוג קשר זה הפטרייה חודרת את דופן התא של שורשי הצמח ומתבססת בו. ישנם מינים רבים של אנדומיקוריזה שאחד הבולטים בהם הוא vesicular-arbuscular mycorrhizas, or VAM, מיקוריזה שההיפות שלה חודרות לתוך תאי הצמח. קשרים אלו מתקיימים בעיקר עבור

צמחים עשבוניים (רוב הצמחים מתורבתיים). מבחינה אבולוציונית האנדומיקוריה קדומה בהרבה מן האקטומיקוריה.

ישנם מצבים בהם על צמח פונדקאי אחד ניתן למצוא את שני סוגי הקשרים. (Wang, B.; Qiu, Y.L.) (2006)

אנדומיקוריה חודרת ישירות אל השורש של הצמח, ומהווה תפטיר, אשר מסייע לשורשים לחזק את המערכת החיסונית, להילחם בפתוגנים של מחלות שונות לינוק מים, זרחן וחומרים מזינים מהאדמה. בעזרת הסימביוזה עם הפטרייה, הצמח משתמש במשאבי הקרקע במלוא תפוקתם. שורש אחד לא היה מתמודד עם משימה כזאת ללא תמיכת הפטריות. הצמחים צריכים לכוון עתודות נוספות כדי להגדיל את מערכת השורש, במקום להגדיל את חלק הקרקע. אחד המרכיבים להדדיות בקשר הסימביוטי מתבטא בכך שהצמח הפונדקאי מפריש סוכרים שהם תוצר מתהליך הפוטוסינתזה אל הפטרייה. סוכרים אלו מופרשים אל הריזוספרה (אזור של 2-3 מ"מ מהשורשים המכיל כמעט את כל הפאונה של אדמה). הסוכרים שהצמחים מפרישים מושכים את כל הסימביונטים שמסביבם. הפטריות הסימביוטיות יכולות "להרגיש" ו "לתפוס" את הסוכרים המופרשים לקרקע. הסימביונטים מתקרבים לשורש הצמח עם ההיפות שלהם ומשתלבים בתוכו, ויוצרים תרבות פטרייתית, לפעמים הם אפילו מוטבעים עמוק בשורש על ידי תולעים מיוחדות או בליטות המשמעות של השתלבות זו, היא יצירת קשר צמוד יותר של היפה עם השורש - כדי להקל על העברת חומרים מזינים. הצמחים מעודדים שילוב הזה. מחקרים מסוימים מראים, כי בפיזיולוגיה של צמחים מסוימים, יש מנגנונים מיוחדים האחראים על תהליך של חיפוש פטריות סימביוטיות ויצירת מיקוריה איתם. מזונות אלה מוטמעים במולקולת הדנ"א עצמה (תוכנית החיים העיקרית). (Nikolai Bitvutsky 2014)

יכולת ייחודית נוספת של המיקוריה היא היכולת לחבר בין צמח אחד לאחר. זה קורה על-ידי יצירת רשת של חוטים המקשרת צמח אחד עם אחר באמצעות העברת והחלפת תרכובות אורגניות ומינרליות. הרעיון של "קהילות צמחים" האיר את עולם המיקוריה באור חדש לגמרי. רשת מקשרת זו מאפשרת לא רק לצמחים מאותו מין קשרים מפרים אלו, אלא יצירת "קהילות" של מספר מינים. קשרים מפרים אלו מתבטאים בעזרה הדדית, צמחים חזקים מאכילים את החלשים. במיוחד בולט בצמחים עם זרעים קטנים מאוד, נבטים מיקרוסקופיים לא יכלו לשרוד אם בהתחלה זה לא נלקח לטיפול שלהם על ידי רשת תזונתית משותפת. חילופי צמחים הוכחו על ידי ניסויים עם איזוטופים רדיואקטיביים. לדעתי החשיבות של יכולת יחידה וייחודית זאת מאד השפיעה על התפתחות מינים במהלך אבולוציה. היכולת הזאת עזרה למינים מסוימים לעבור בהצלחה את ברירה הטבעית בעזרת

תמיכת המין הפנימי. -אספקת משאבים ואמצעים להישרדות החלשים ביותר. ככה המין לא איבד את נציגיו ונשאר בחיים.

יחד עם זאת מיקוריזה היא בעלת סלקטיביות. צמחים איתם המיקוריזה אינה מקיימת קשרים סימביוטיים נמצאים בנחיתות לעומת צמחים המקיימים קשרים אלו. במקביל מינים אשר מקיימים קשרים סימביוטיים עם הפטרייה מקבלים משאבים נוספים מהקרקע בעזרת הפטרייה ובכך יש להם יתרונות ביחס לצמחים בלי מיקוריזה. כתוצאה מכך הם נחלשים ומתים. צורה נוספת בה מתבטא קשר הסימביוזה בין הצמח למיקוריזה היא ביכולת הייחודית של המיקוריזה לפרק תרכובות זרחן אורגניות ואנאורגניות ולהפוך אותן לזמינות לצמח. ב"תמורה" לכך, הצמח מספק לפטרייה סוכרים (תרכובות פחמן) אשר מיוצרים בתהליך הפוטוסינתזה בעלים, לעתים עד 30% מיצור הסוכרים בצמח. חילוף חומרים זה בין הצמח לפטרייה מזרז תהליכים ביולוגיים וכימיים בסיסיים בצמח (לדוגמה פוטוסינתזה ונשימה תאית).

(López, M. F 2008)

1.9 שימוש במיקוריזה בחקלאות

למרות שמיקוריזה נוכחת בטבע בצורה טבעית ומופצת בעזרת הרוח וגורמים אחרים למרחקים רבים, הנוכחות שלה בשטחים חקלאיים רבים הייתה מועטה וזאת כתוצאה משימוש בשיטות של חקלאות אינטנסיבית הפוגעות בגדילת המיקוריזה. כדוגמת יישום של פונגצידים, חריש עמוק, דישון בדשנים כימיים, ועוד. ישנם צמחים המחייבים קשר מיקוריטי בכדי לגדול, לדוגמה משפחת הסחלביים. השילוב של גורמים אלא יצרו צורך ליישום של מיקוריזה בשטחים חקלאיים. לאורך הרבה מאד זמן לא הייתה יכולת לייצר מיקוריזה בתנאים מלאכותיים, בעיה זו נפתרה בשנות ה-80. לאחר מכן חברות מסחריות החלו לייצר ולשווק סוגים שונים של מיקוריזה. מאז ישנן חברות רבות המייצרות מיקוריזה, למשל החברה הגרמנית "Andreas Mrose". ישנן עדויות רבות של חקלאים בארצות הברית המצביעות על כך שיישום מיקוריזה של חברות מסחריות הטיב את התוצרת החקלאית בחלקות עם תנאי קיצון. (Robert M. Augé 2014 | D. Dayninger 2010)

ישנן עדויות רבות הן בעולם המחקר והן בעולם החקלאות המראות שקשר סימביוטי עם פטריית המיקוריזה מעודד גדילה ומשפר התמודדות עם תנאי עקה בצמחים. לצד עדויות אלו ישנם מחקרים

רבים המראים שגם התפתחות הפטרייה נפגעת כתוצאה מתנאים אלו, חלקם הגדול נגרם כתוצאה מטכניקות של חקלאות אינטנסיבית, כגון דישון יתר, שימוש בחומרי הדברה (במיוחד קוטלי פטריות) שיטות עיבוד כגון חריש עמוק וכו'.

בעולם בו הדרישה למזון הולכת וגוברת ואיתה גורבת אינטנסיביות החיים והחקלאות, יהיה צורך לבדוק את התנאים בהם קשר סימביוטי מועיל זה בין הצמח לפטרייה מתקיים.

המחקר שלי יתמקד בבדיקת התפתחות המיקוריזה והיכולת שלה להועיל בתנאי עקה של עודף מלח ודשן.

ההשערה שלי היא שנוכחות של מיקוריזה והקשר הסימביוטי בינה לבין הצמח הפונדקאי תהווה גורם קריטי ביכולת הצמח הפונדקאי להתמודד עם תנאי העקה. וזאת ע"י היכולת של המיקוריזה להיקשר לשורשי הצמח ובכך להגדיל את שטח הפנים שלהם בין 1200-200 פעמים. הגדלת שטח הפנים והיכולת של הפטרייה להוליך יונים ספציפיים (במיוחד זרחן) עשויה לעזור לצמח הפונדקאי להתמודד עם תנאי עקה אלו.

במידה ונראה כי הנוכחות של המיקוריזה תעזור בהתמודדות עם תנאי עקה אלו, ההולכים ונהיים יותר נפוצים בישראל כתוצאה משימוש הולך וגובר בהשקיה במים מושבים, יוכלו חקלאים להמשיך לגדל בשטחים שלהם ההולכים ונהיים יותר ויותר מלוחים. בייחוד במציאות בה אין שיטה יעילה להפוך קרקעות שנהפכו למליחות כתוצאה מהשקיה במים מלוחים. לשימוש במיקוריזה עשויים להיות יתרונות בגידולים חקלאיים כגון שיפור בתחרותיות של צמחים מאותו המין המתחרים על משאבים עם מינים אחרים באותו שטח גידול ע"י יצירת רשת קשר בין אותם צמחים עם ההיפות המהוות את גוף הפטרייה. לשימוש במיקוריזה בחקלאות ישנם גם יתרונות ברמה האקולוגית, הפטרייה היא חומר אורגני והוספת למערכת מפרה את המאזן האקולוגי בצורה אינה פוגעת אלא משפרת אותו- יחסיים הדדיים ואינם תחרותיים עם חיידקי מקבעי חנקן כמו Azotobacter ועם חייקי מאזני זרחן. יתרה על כך, ישנם מחקרים המראים על כך שמיקוריזה משפרת תנאי קיום של מיקרופלורה סימביוטית באזור mycorrhizosphere ומיקרופלורה זאת בעצמה משפרת תנאי התבססות של מיקוריזה באזור בית שורשים. (Sudeshna Bhattacharjya January 2014)

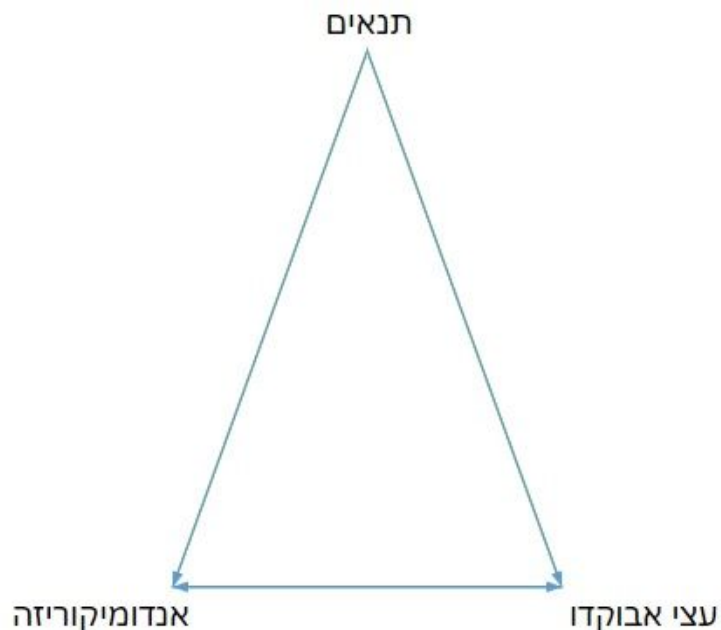
2. תכנון המחקר:

מטרת המחקר: לבדוק מה הן ההשפעות של תנאי עקה של עודף מלח ועודף בדשן זרחתי על הקשר הסימביוטי בין מיקוריזה לבין אבוקדו מזן האס, וכיצד השפעות אלו על כל אחד מהגורמים (מיקוריזה ואבוקדו) ושני הגורמים יחד משפיעה על היכולת של האבוקדו לעמוד בתנאי עקה.

שאלות מחקר:

- (1) מה תהייה ההשפעה של תנאי העקה השונים (מלח ודשן זרחתי) על מדדי הגידול של האבוקדו.
- (2) מהי השפעת איכלוס המיקוריזה על גדילת צמחי האבוקדו בתנאי ריכוזי מלח ודשן שונים.
- (3) מהי תהיה השפעת תנאי עקת המלח והדשן בריכוזים גבוהים על התפתחות המיקוריזה בבית השורשים? (לפי חברת ground work, אכלוס משמעותי הוא מעבר ל-15%, מיקוריזה פר ס"מ).

סכמה 4: דיאגרמת השפעות 3 גורמים בניסוי אחד על שני.



בדיאגרמה ניתן לראות כי הגורם הבלתי תלוי הם תנאי הגידול המשפיעים באופן שווה על הקשר הסימביוטי בין עצי האבוקדו מזן האס לבין אנדומיקוריזה VAM (לכן משולש שווה שוקיים). קשר זה מפוצל כי נבדקה השפעת תנאי ניסוי על כל חלק מסימביוזה בנפרד:

- (1) השפעת ריכוזי המלח (NaCl) ודשן שפר עם ריכוזי זרחן שונים על עצי האבוקדו בלבד.

- 2) השפעת ריכוזי המלח (NaCl) ודשן שפר עם ריכוזי זרחן שונים על אנדומיקוריזה VAM בלבד.
- 3) בנוסף נבדק כיצד מיקוריזה משפיעה על גידול אבוקדו תחת תנאי גידול (ריכוזי המלח (NaCl) ודשן שפר עם ריכוזי זרחן שונים).

השערות:

1. על בסיס הספרות המדעית, נצפה שריכוזי מליחות העוברים את הנורמה (400ppm), הצמחים שנמצאים בסימביוזה עם המיקוריזה תהיה להם עדיפות התפתחותית בתנאי עקה על אלו שלא בסימביוזה.
2. בריכוז מליחות קיצוניים (800ppm) גם התפתחות המיקוריזה תפגע לצד פגיעה בהתפתחות הצמח.
3. בתנאים של עודף דשן קיצוני נצפה שתהיה פגיעה בהתפתחות הפטרייה וכתוצאה מכך גם הצמח יפגע. התפתחות הפטרייה תהיה טובה בתנאי ריכוזי דשן אופטימאליים (לפי פרוטוקול גידול לפונדקאי).

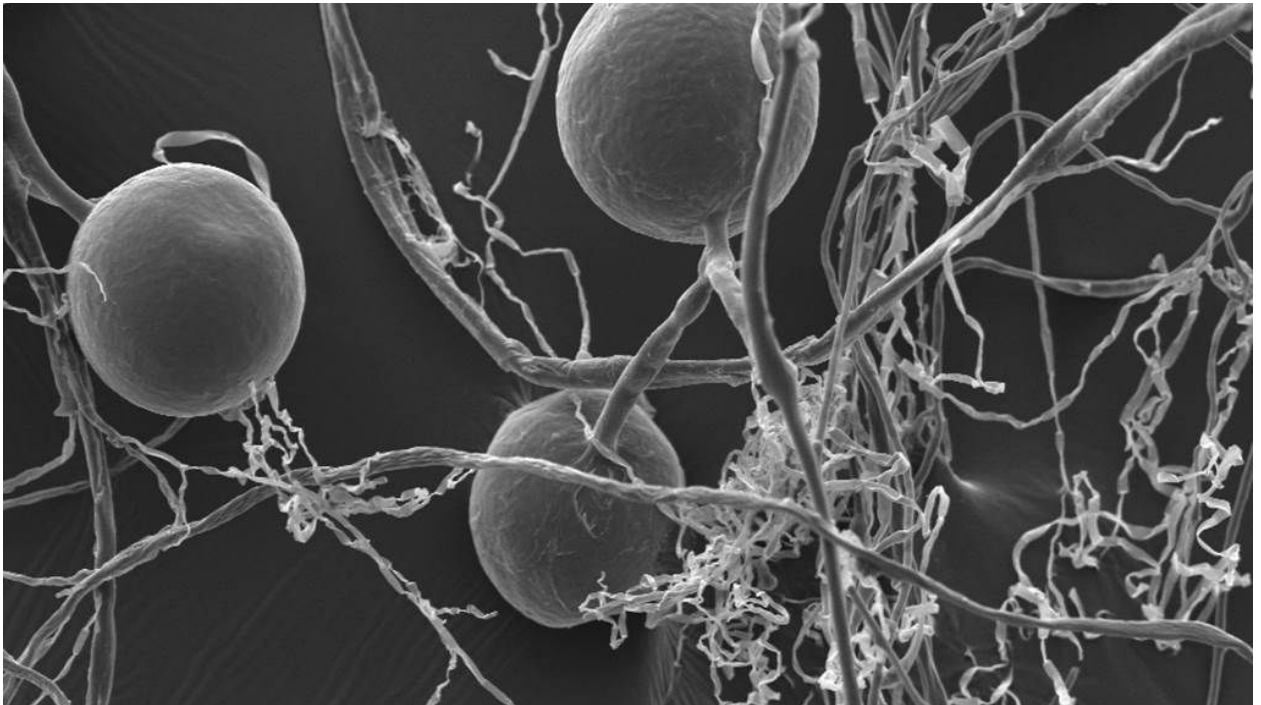
נימוק להשערות:

הפטרייה אינה מתקיימת ללא העץ, וגם העץ נעזר בפטרייה על-מנת לקיים את עצמו. זהו קשר סימביונטי בו גורם אחד משפיע על השני. לכן נצפה לראות שבתנאים בהם נפגע העץ תהיה גם השפעה על המיקוריזה וההפך. לצד זה בעקבות מחקרים רבים שהתפרסמו בעבר (Tony Provin and J.L. Pitt | J.Vicente, E.Nicolas), המראים בצורה מובהקת את תרומת הפטרייה ליכולת של הסימביונט הצמחי להתמודד עם תנאי עקה של מליחות ודשן זרחני. בגלל סיבות רבות הקשורות לאופי הקשר הסימביונטי, סביר לצפות להבדלים בין הטיפולים בהם יאוכלסו עצי אבוקדו במיקוריזה ובין אלו שלא. ככל הנראה ההתפתחות של צמחי האבוקדו תהיה טובה יותר בנוכחות המיקוריזה בתנאי העקה. מחקרים בעבר (Jerry A. Mensah | Heike Bücking | Carl R. Fellbaum Smith, Sally E.; Read, David J. | S.Nemec) הראו את יכולתה של הפטרייה בתנאים של עודף זרחן להפוך את הזרחן זמין לצמח. לכן נצפה שהפונדקאי בסימביוזה עם המיקוריזה יהיה ביתרון התפתחותי לעומת עצים ללא מיקוריזה. ככל שהמליחות וריכוזי הזרחן יעלו (עד גבול מסויים) ההבדלים בין צמח בסימביוזה עם פטריה לבין צמח ללא סימביוזה יהיו גדולים יותר. ההסבר לכך זה שהצמח יצרוך יוני זרחן זמינים, שהמיקוריזה מסוגלת לספק.

3. שיטות וחומרים

3.1 החומר החי

מיקוריזה:



תמונה 1:

Electron microscope image of endomycorrhizal VAM fungi with spores attached to the hyphal strands. (Teaming with Fungi: The Organic Grower's Guide to Mycorrhizae / Jeff Lowenfels)

מקור השם מיקוריזה ביוונית "פטריות" ($\mu\kappa\eta\varsigma$, $m\acute{y}k\epsilon s$), ו"שורש" ($\rho\acute{\iota}\zeta\alpha$ - rhiza). זוהי משפחת פטריות היוצרות קשר סימביונטי-מוטואליסטי עם צמחים וסקולריים (צמחים שיש בהם מערכות הובלה הכוללים נצר ושורש). קיימת חלוקה של המיקוריזה לפי אופן החדירות של ההיפוט לתוך שורשי הצמח הפונדקאי וגם לפי סוג הפונדקאי. התופעה של סימביוזה בין צמחים לבין מיקוריזה לא הייתה ידועה לפני כ-100 שנים. בעבר טענו כי הפטריה היא טפיל, וטיפלו בה עם

ריסוסים כימיים וחרישים (חפירות בקרקע). לאחר הטיפולים ראו שהיבול (הצמחי) הופחת או מת לחלוטין. כדי להבין את התופעה בוצעו מחקרים רבים, במחקרים אלה מצאו יתרונות לקשר הסימביוטי. יתרונות אלה ניתן להשיג רק באמצעות שמירה על הקשר הסימביוטי. למשל שיפור (של הצמח) בהתמודדות בתנאי מליחות גבוהים. המנגנון שהתגלה הוא שהפטריה מייצרת תעלות ותפטירים מחוץ לשורש שמגדילים את שטח פני השורש, דבר המאפשר קליטה יעילה יותר של המים בקרקע

(J. Vicente-Sánchez 2013 | Smith, Sally E.; Read, David J. 2010).

בנוסף לשיפור בהתמודדות עם מליחות, המקוריזה הופכת מגוון יונים (בעיקר זרחן) לזמינים לצמח (Nikolai Bityutsky 2014 | D. Dayninger 2010).

ישנו יתרון נוסף לנוכחות המיקוריזה בריזוספרה, היא מאפשרת לשורשים של צמחים מאותו המין ליצור מערכת שורשים משותפת אחת, ע"י תעלות וההיפות של המיקוריזה. באמצעות התופעה הזו מין (של צמח) מצליח לעבור ברירה טבעית ולתחרות טוב יותר על משאבים בשטח הגידול. נוצרת תמיכה בין פרטים, כאשר צמח בתנאים טובים יותר מספק את חומרי ההזנה לצמח שנמצא בתנאי גדילה פחות טובים

(Robert M. Augé 2014 | D. Dayninger 2010).

בזכות יתרונות אלה מתחילים להבין את חשיבותו של הקשר הסימביוטי בין שורשי הצמח למיקוריזה, חשיבותו גדולה במיוחד לאור העובדה שהקשר הזה קיים באופן טבעי כמעט בכל סביבת גידול חקלאי על פני כדור הארץ. (Wang, B.; Qiu, Y.L. 2006).

לניסוי זה קיבלנו מיקוריזה מסוג אנדומיקוריזה VAM שמה בלטינית (Glomus intraradices) בצורת **viable propagules** בתרומה מחברת "GroundWork".

viable propagules מהווים צורת המיקוריזה שנראית כמו אבקה ויתרונות של צורה זו הם שאפשר לשמור על נגבים (Spores) של מיקוריזה לאורך זמן בטווח תנאים סבירים, ניתן להעביר אותה קלות כדי שלאחר מכן לרסס אותה על חלקה שכבר בתנאי הקרקע היפות של מיקוריזה יצאו מן הנגבים וידבקו אל בית שורשים של פונקאי המתאים ביותר להתבססות של מיקוריזה.

בניסוי ריססנו 47 גרם של אבקת נגבים מעל 24 עצים מסביב לבית שורשים של 24 עצים שאז יחשבו כאלה שאוכלסו במיקוריזה. השתמשנו ב-18 גרם לכל שתיל כדי להגיע לאחוז אכלוס של 25% שלפי

הנחיות של חברה נחשב לאחוז איכלוס התחלתי גבוה. ריסוס מהווה קודם כל מדידת משקל רצוי של מיקוריזה ביחס לאחוז אכלוס רצוי, לאחר מכן בכפפות (כדי למנוע הדבקה לידיים) צריך לקרב אבקה אל השורשים של השתיל ולרסס אותה בכפפות או דרך כלי אחר מסביב לכל בית השורשים למען ההבדקה באופן שווה בכל מקום במערכת השורשים שיאפר פעילותה תקינה ומלאה.

הערה חשובה: במהלך הריסוס של מיקוריזה עצים שלא אמורים להיאכלס בה נמצאו במרחק רב ממנה בחדר סגור היות ש **viable propagules** של מיקוריזה מתפזרים עם הרוח ואף עלולים להיבדק לעצים מסיבה הקרובה אליהם.

אבוקדו:



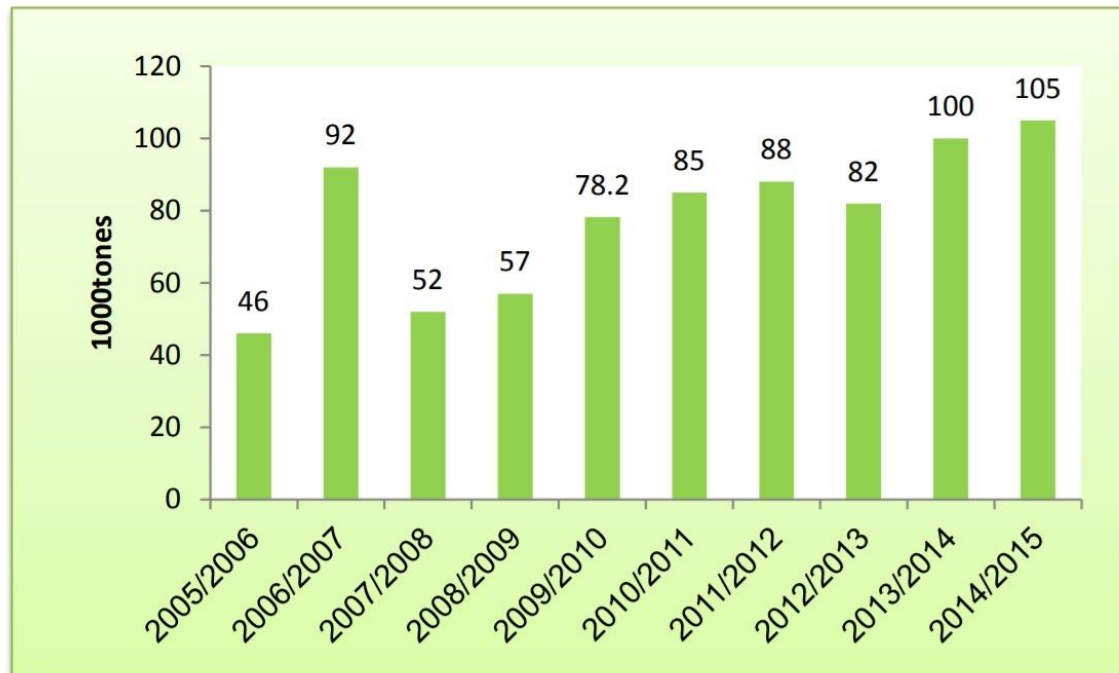
תמונה 2: אבוקדו מזן האס/ Bilse avocado. תמונה נלקחה מ: GreenLife.Crop protection of Africa.

במחקר הנוכחי הוחלט להשתמש באבוקדו מזן האס (Hass avocado). עץ אבוקדו מזן האס, זהו עץ רב-שנתי מהסוג "Persea" (שמו בלטינית "Persea Americana"). עץ האבוקדו מזן האס גודל לראשונה בקליפורניה הדרומית על-ידי רודולף האס (שם זן האבוקדו קיבל את שמו) שחקר בתחום הורטיקולטורה (תחום חקלאי).

בישראל מגדלים זנים שונים של אבוקדו בהתאם לסוגי הקרקעות והאקלים באזורים השונים. האבוקדו נחשב כיום בישראל לפרי היצוא השני בחשיבותו הכלכלית (אחרי ההדרים). האבוקדו הישראלי זוכה לפופולריות רבה בשוקי אירופה, ובייחוד בגרמניה ובצרפת. בשל הטעם שלו, גודלו, ואורך חיי המדף זן האס הוא הפופולרי ביותר מבין זני האבוקדו הנמכרים בארץ ובכללי-בעולם עבור כ-80% מכלל גידולי אבוקדו ברחבי העולם.

(California Avocado Commission, 2008)

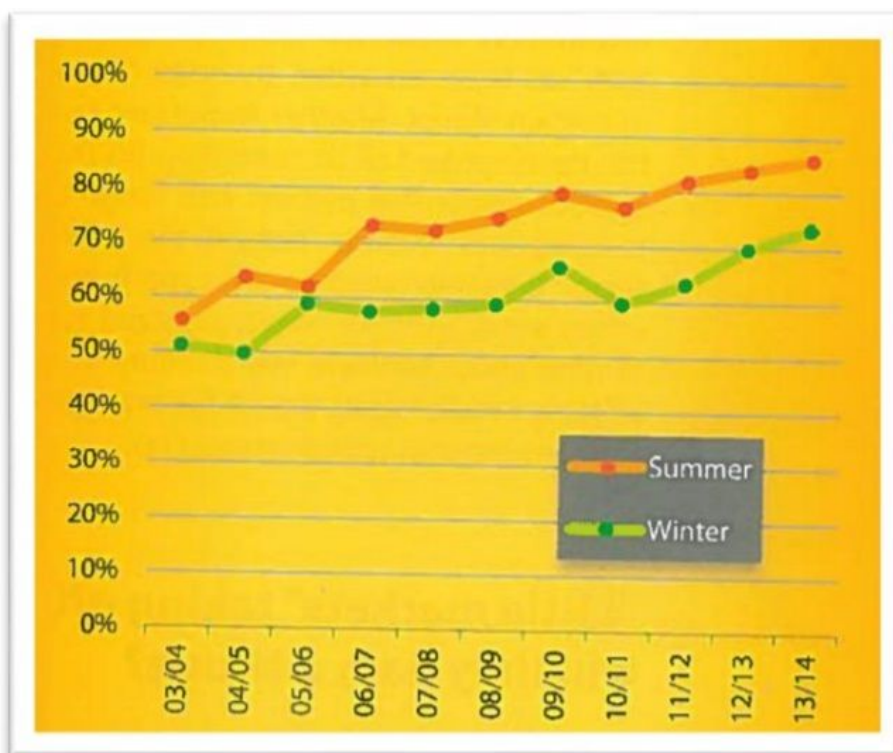
ייצור האבוקדו בישראל, הנמצא החל משנת 2010 במגמת עלייה, הגיע ב-2014 לכמעט 100 אלף טון. חלקה של ישראל ביבוא האבוקדו לאיחוד האירופי נאמד בעונות האחרונות ב-12% עד 15%. בחודשי היצוא המרכזיים של ישראל (אוקטובר עד פברואר) נתח השוק של ישראל גבוה יותר ומגיע לכ-26% (עונת 14/2013). הערכות אלה מתבססות על נתוני בתי האריזה "מילופרי" ו"גרנות". על פי נתוני ה-Fruitrop, הגידולים עשויים להגיע אף להיקף של 105 אלף טון. (לנה כץ, מאי 2015).



מקור: Fruitrop, September 2014- No.225.

גרף 1: מגמת עלייה של יצור אבוקדו בישראל.

הזנים העיקריים הנטועים בישראל הינם: האס (35% - 40 ועד כדי 65% בנטיעות החדשות). "האס" מהווה את הזן המבוקש ביותר בקרב רשתות השיווק ברוב מדינות אירופה:



מקור: .Fruitrop, September 2014- No.225

גרף 2: נתח השוק של זן ה"האס" ברחבי אירופה

אף על פי כן, עץ האבוקדו ידוע כ-בעל רגישות גבוהה למליחות (Haas 1929-51, Gustafson 1972, Bingham and Fenn 1996)

נזקי מליחות באבוקדו דווחו בישראל (Bar et al, 1997) ובעיה זו מוכרת בעוד מדינות רבות בעולם

(Branson and Gustafson, 1972).

הנזק מתבטא בצריבות עלים ובירידה ביבול (שטיינהרדט וחוב', 1995) גם בעצים המורכבים על כנות

עמידות (בן יעקב, 1988). עץ האבוקדו רגיש מאוד למליחות כוללת ולהשפעה ספציפית של נתרן כלור

(בן יעקב, 1988, שטיינהרדט וחוב', 1995), כאשר סימני הנזק לצמח של שני היסודות שונים:

ריכוזי כלוריד עודפים מתבטאים בעלים כצריבות המתחילות בקצה העלה וגורמות לנשירת עלים מוקדמת

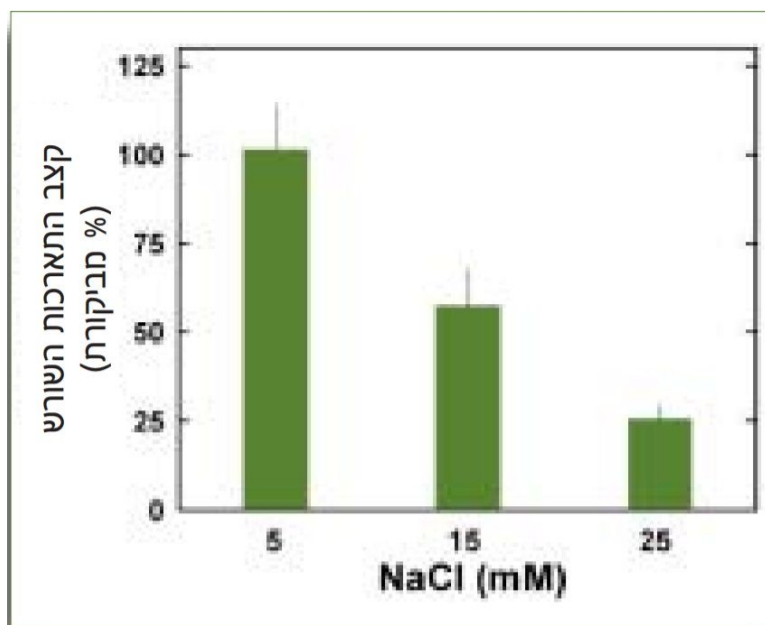
(Ayers et al., 1951; Kadman, 1963) בעוד שריכוזי נתרן עודפים גורמים לכתמים נקרוטיים בין העורקים (Hass, 1950). זה בהתחשב שריכוזי ניטרט גבוהים בתמיסת הקרקע מעכבים קליטת כלוריד ותופעה נזק עלווה בעץ אבוקדו. (Bar et al., 1997; Xu et al., 2000), ויתכן שניזקי עלים גורמים להפחתת פוטנציאל ההנבה של העץ עקב צמצום שטח העלים המטמיע. בארץ נמצא כי מליחות גורמת לפחיתה של 10-30% ביבולים (שטיינהרדט וחובי, 1995; בן יעקב, 1988). הנזק לצמח מתבטא גם בירידה בקוטר הגזע, גובה העץ וצימוח עלווה.

(Bernstein et al., 2001; Haas, 1950; Bingham and Fenn, 1966).

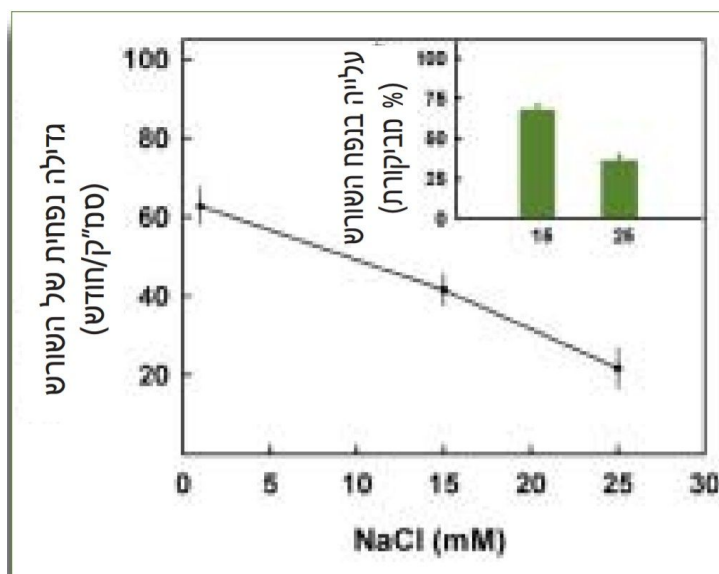
כלורידים ונתרן, כך נראה, אינם מהווים גורם עיקרי בעיכוב צימוח עלווה אבוקדו במליחות, שכן ריכוזם בעלים צעירים צומחים הוא נמוך.

יבולם נפגע בכל זאת כתוצאה מחשיפה למלח, ותופעה זו מצביעה על כך, כי נזקי ההנבה מקורם בהשפעת העקה על השורש. מעט מאוד ידוע על השפעת המליחות על שורשי האבוקדו. סיכומים של מחקרי שדה רומזים לכך, כי יתכן שהנזק לעצים המורכבים על כנות עמידות למליחות קשור בפגיעה בשורשים. (Hass 1950|Bar et al. 1997).

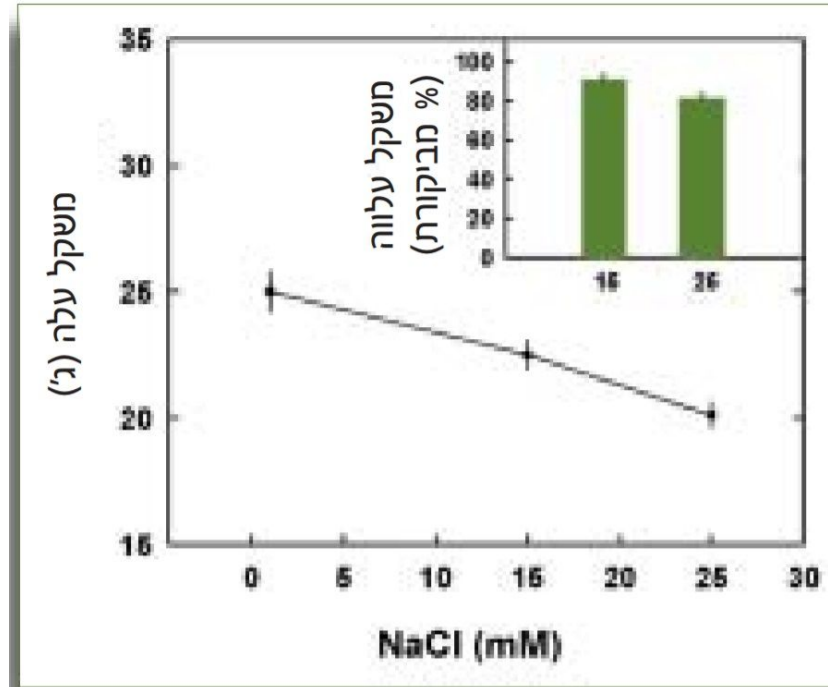
תוצאות הניסוי "השפעת מליחות על צימוח עצי אבוקדו", נירי ברנשטיין (2009):



גרף 3: השפעת מליחות על קצב התארכות שורש באבוקדו. צימוח שורשים החשופים ל-5, 15, 25 מילימולר NaCl, בהשוואה לצמחי ביקורת.



גרף 4: השפעת המליחות על צימוח נפחי של מערכת השורשים באבוקדו. מוצג ביחידות של סמ"ק לחודש (איור ראשי), או אחוזים מהביקורת (גרף קטן, חושב מנתוני הגרף הראשי)



גרף 5: השפעת מליחות על צבירת ביומסת עלוה. הגרף הקטן מציג צבירת ביומסה בטיפול המלח באחוזים מהביקורת.

תוצאות הניסוי של נירי ברנשטיין (2009) מציגות את עץ אבוקדו כצמח ייחודי הודות לרגישות שורשיו למליחות רבה יותר מאשר הנוף ואילו ידע הקודם הראה כי רגישותו של מגוון רב של צמחים לעקה מתבטאת בנוף ולא בשוריהם. הסיבות לכך הן מערכת שורשים רדודה, נעדרת יונקות ובעלת דרגת סיעוף נמוכה.

שורשי האבוקדו מאופיינים במבנה מורפולוגי ייחודי:

הם מחוסרי יונקות, בעלי דרגת הסתעפות נמוכה במיוחד והמסה העיקרית שלהם מצויה בשכבת הקרקע העליונה. לתכונות אלו משמעות פוטנציאלית שלילית לגבי קליטת מים וחומרי הזנה, שכן שטח השורש הפעיל בקליטה מצומצם ומערכת השורשים חשופה לתנודות של תנאי סביבה. מכיוון שחוסר יונקות משמעו קליטה רק בקצות השורש הצעיר, הגדל, הרי שפגיעה בגדילת השורשים

ובהתחדשותם עלולה לגרום לפגיעה ניכרת ביכולת הקליטה של כל המערכת. מכיוון שרקמת קצה השורש הפעילה בגדילה ובקליטה אחראית לביסוסיתנה של הורמוני גידול והסעתם לנוף, עיכוב גידול של השורש עלול להפחית, בנוסף לאספקת מים ומינרלים, גם אספקת חומרים מווסתי צמיחה לנוף, גורם שעלול להשפיע על צימוח והנבה.

(נירית ברנשטיין, אברהם מאירי/ המכון למדעי הקרקע 2009)

לפיכך, בגלל המשמעות הכלכלית הגבוהה של ענף האבוקדו הנובעת מהדרישה הגבוהה שלו ברחבי העולם ובגלל הרגישות הייחודית של שורשי אבוקדו לתנאי מליחות כולל השפעה ספציפית של NaCl נדרש פתרון כמעט מיידי לבעיית המלחת הקרקעות הפוגעת בענף זה. בהתחשב זה שעצם הבעיה היא מערכת השורשים נעדרת יונקות בעלת דרגת סיעוף נמוכה ולא עלווה כפי שהוכח (נירית ברנשטיין 2009), עלינו למצוא פתרון שעשוי להגביר את העמידות של האבוקדו דרך השלמת חסרונות מורפולוגיות של עצי אבוקדו. זאת ניתן להשיג באמצעות סימביוזה עם פטריות מיקוריטיות שיכולות להגביר את שטח הפנים של מערכת השורשים. כתוצאה מכך הפתרון הכדאי הוא מיקוריזה.

3.2 שיטות

שיטות מדידה:

סוג 1: בדיקות תגובת הפונדקאי בשטח גידול.

מדידת עובי גזע ידנית: אחד לשבועיים נבדק עובי הגזע של כל העץ במקום קבוע בעזרת קליבר אלקטרוני.

(200 יום בדיקות)

מדידת התארכות גבעול: אחד לשבועיים נבדקה התארכות של 3 גבעולים ממוספרים על כל עץ. (174 יום בדיקות).

סוג 2: בדיקות שנעשו במעבדות שרותי שדה בחדרה. נבדקו ריכוזים של אלמנטים רבים בכל עץ.

נערכו 2 בדיקות קרקע בתאריכים: 21.5.18 ו- 07.10.2018

בוצעו בדיקות קרקע של אלמנטים רבים. מתוכם התייחסתי בניסוי ל:

חנקן חנקתי מ"ג/ל'

זרחן מ"ג/ק"ג

אשלגן מא"ק/ל'

כלוריד מא"ק/לי

נתרן מא"ק/לי

אבץ מ"ג/לי

נערכו 2 בדיקות עלים בתאריכים : 22.5.18 ו- 08.10.2018

בוצעו בדיקות עלים של אלמנטים רבים. מתוכם התייחסתי בניסוי ל: זרחן בשרפה % חנקן כללי %
אשלגן בשרפה % כלור בשרפה % אבץ בשרפה מ"ג/ק"ג נתרן ב%.

סוג 3: נעשו שתי בדיקות של אכלוס מיקוריזה ב% בכל עץ.

לשם כך נעשתה צביעת שורשים (שימוש בטרופאן בלו) לשני עצים בכל טיפול. אחוז אכלוס בטיפול
נקבע לפי מדדי אכלוס של שני העצים בכל טיפול. מדד אכלוס לכל עץ נקבע לפי חילוק שורשיו ל3
צלחות פטרי. כל צלחת 10 הסתכלויות במיקרוסופ. לפיכך אחוז אכלוס בכל טיפול (בהתא גם סטיית
תקן) מהוה תוצאות של 60 בדיקות בצלחות פטרי

- שימוש בבינקולר: על מנת לזהות את מיני המזיקים שנצפו בשטח הגידול.

3.3 חומרים

הליט בצורה מלח שולחן NaCl

דשן שפר 4-1-6

דשן שפר 5-3-8

HCl

KOH

Trypan Blue

4. מערך המחקר

משתנים בלתי תלויים:

- ריכוז המלח
- נוכחות מיקוריזה
- ריכוז זרחן

משתנים תלויים:

- אכלוס מיקוריזה בקרקע באחוזים
- ריכוז מינרלים בקרקע
- ריכוז מינרלים בעלים
- עובי גזע
- צימוח חדש של ענפים קבועים

בקרה:

- 1) בקרה כללית. בקרה השוואתית -פנימית מהווה הבדלי בהתפתחות המיקוריזה ובכך הבדלים בהתפתחות הצימוח באבוקדו בין צמח ללא מיקוריזה בתנאי מליחות סבירה ודשן נמוך לבין צמחים עם מיקוריזה שגדלו באותם התנאים ולבין כל העצים.
- 2) בקרה אופקית. בקרה נוספת היא בקרה השוואתית של טיפולים שונים בעצים עם מיקוריזה ובמקביל השוואה בטיפולים שונים של העצים ללא מיקוריזה. ביקורת זו תציג את השפעת המיקוריזה על הפונדקאי בתנאים שונים וגם טווח התנאים שבהם קשר סימביוטי זה לא נפגע.
- 3) בקרה אנכית. בזכות בקרה השוואתית זו נוכל להציג הגבלים בגדילת הצמחים באותו טיפול, כלומר באותם התנאים עם נוכחות ובלתי נוכחות מיקוריזה בשורשי הצמח. זה יאפשר לראות את ההשפעה של המיקוריזה על גדילה בתנאים מסוימים.

כלי מדידה:

צביעת שורשים של האבוקדו בשיטת בטרופאן בלו

מיקרוסקופ

בינקולר

קליבר אלקטרוני

סרגל

בדיקות מעבדה למינרלים בעלים

בדיקות מעבדה למינרלים בקרקע

טבלה 4: ציור של תכנית המחקר

תנאי טיפולים				
מלח גבוה זרחן גבוה	מלח גבוה זרחן נמוך	מלח נמוך זרחן גבוה	מלח נמוך זרחן נמוך	
      טיפול 7	      טיפול 5	      טיפול 3	      טיפול 1 ביקורת	בלי מיקוריזה
      טיפול 8	      טיפול 6	      טיפול 4	      טיפול 2	עם מיקוריזה

4.1 תכנית הניסוי.

בניסוי נבדקו השפעת שני גורמים בלתי תלויים - נוכחות המיקוריזה, תנאי הטיפול (דשן זרחתי לפי פרוטוקול גידול לאבוקדו (88ppm) ומעבר לפרוטוקול גידול לעצי אבוקדו (180ppm) ומלח נתרן כלורידי בריכוזים שונים בינוני (400ppm) וגבוה (800ppm) בכדי לבדוק יכולת של מיקוריזה לתמוך בעצי אבוקדו לעמוד בתנאי העקה.

סך הכל 48 עצי אבוקדו, 24 עם מיקוריזה ו-24 בלי מיקוריזה -בסיס.

כל טיפול מכיל 6 עצים הגדלים בתנאים מסוימים עם או בלי מיקוריזה.

כל מספר אי-זוגי מייצג טיפול שלא אוכלס מיקוריזה, ואילו מספר זוגי מייצג טיפול שאוכלס במיקוריזה. כל זוג מספרים (1-2, 3-4) מייצג טיפולים באותם תנאי הגידול אך עם הבדל בנוכחות מיקוריזה כדי לבדוק השפעת המיקוריזה על צימוח פונדקאי.

הרכב טיפולים מפורט ונכתב:

טיפול 1.

6 עצים ללא מיקוריזה גדלים בתנאי מלח NaCl בריכוז בינוני (40 גרם מלח שולחן ל100 ליטר) + דשן (נמוך) 87 סמ"ק דשן שפר 4.1.6 ל100 ליטר.

טיפול 2.

6 עצים עם מיקוריזה גדלים בתנאי מלח NaCl בריכוז בינוני (40 גרם מלח שולחן ל100 ליטר) + דשן זרחתי בריכוז נמוך (87 סמ"ק דשן שפר 4.1.6 ל100 ליטר)

טיפול 3.

6 עצים ללא מיקוריזה גדלים בתנאי מלח NaCl בריכוז בינוני (40 גרם מלח שולחן ל100 ליטר) + דשן זרחתי בריכוז נמוך (87 סמ"ק דשן שפר 4.1.6 ל100 ליטר)

טיפול 4.

6 עצים עם מיקוריזה גדלים בתנאי מלח NaCl בריכוז בינוני (40 גרם מלח שולחן ל100 ליטר) +דשן זרחתי בריכוז גבוה (70 סמ"ק דשן שפר 5.3.8 ל100 ליטר).

טיפול 5.

6 עצים ללא מיקוריזה גדלים בתנאי מלח גבוה (80 גרם מלח שולחן ל100 ליטר) + דשן זרחתי בריכוז נמוך (87 סמ"ק דשן שפר 4.1.6 ל100 ליטר)

טיפול 6.

6 עצים עם מיקוריזה גדלים בתנאי מלח גבוה (80 גרם מלח שולחן ל100 ליטר) + דשן זרחתי בריכוז נמוך (87 סמ"ק דשן שפר 4.1.6 ל100 ליטר)

טיפול 7.

6 עצים ללא מיקוריזה גדלים בתנאי מלח גבוה (80 גרם מלח שולחן ל100 ליטר) +דשן גבוה (70 סמ"ק דשן שפר 5.3.8 ל100 ליטר).

טיפול 8.

6 עצים עם מיקוריזה גדלים בתנאי מלח גבוה (80 גרם מלח שולחן ל100 ליטר) +דשן גבוה (70 סמ"ק דשן שפר 5.3.8 ל100 ליטר).

5. מהלך הניסוי

תיאור המחקר:

בניסוי בדקתי השפעת כלורידים בתרכובת כימית NaCl בריכוזים 400PPM ו 800PPM בשילוב מתחלף עם דשן שפר המכיל זרחן על התפתחות עצי אבוקדו מזן האס.

הקמת הניסוי

בהקמת הניסוי נעזרתי באנשים הבאים: ארז רבינוביץ' - מנחה הראשי, אדווה מנחה למיקוריזה מחברת Ground Work, ענבל לבבי מנחה לחיישנים מחברת Supplant, אודי גפני מנחה לגידול אבוקדו מ"אבוקדו גרנות", אודי רם -דוקטור לרקע תאורטי, אביטל גבע ונועם גבע מחממת עין שמר - עוזרים בכתיבה מדעית, ארגוני ספונסרים, ארגון משאבי ניסוי.

גם תרומה רבה נעשתה מצד צוות מתנדבים אשר הקמתי : איוון קגן ולאוניד צ'מוד -מתנדבים הראשים. אנסטסיה קובלסקיה, סופה , אנדרי שגם תמכו בהקמת הניסוי.

יום הקמת הניסוי עצמו - 14.03.2018

- 1.הבאת 56 שתילי אבוקדו מזן האס על כנה 17 ממשתלת חזקלברג בכפר ויתקין. כל שתיל בן שנתיים הושקה באופן ידני לפני הרכבת מערכת השקיה.
2. הכנת קרקע שהרכביה היו: (4 מריצות אדמה מקומית + 4 מריצות מצא קרקע אם + 16 דליים טוף).
- 3.חלוקת מצע גידול ל24 שקי שתילה.
4. נעשה חישוב של יחסי העברה בין משקל מוצר חברת גראונד ווארק: Rootella G™. הוא מכיל כמות מיקוריזה פעילה בצורת גרנולה ענקית: 2500 יחידות פעילות בגרם 1 של viable propagules of glomus intraradices.
- 5.הוחלט להשתמש ב18 גרם של מוצר זה כדי להגיע לאכלוס התחלתי גבוה (מעל 15%).

6. חלוקת 18 גרם של *propagules of glomus intraradice* ב24 כלים נפרדים לשמירת דיוק. חלוקת אבקה זו נעשתה ממרק רב מעצים שלא אמורים להאכלס במיקוריזה מכיוון שמיקוריזה אף עשויה להידבק אליהם כי מתפזרת עם האוויר.
7. שתילת 48 עצי אבוקדו במצע גדילה שהכנו.
8. תהליך של אכלוס 24 עצי אבוקדו באנדומיקוריזה VAM. אכלוס מהווה ריסוס אבקת מיקוריזה על שורשי אבוקדו על כל שטח פנים לשם להגדיל שטח מגע. חשוב לציין שאכלוס נעשה בבגדי מעבדה כדי להימנע בדקת ספורות של מיקוריזה אל הגוף ובאיזולציה - מחוץ לחממה בה נמצאו שתילי אבוקדו שלא אמורים להאכלס במיקוריזה מפני שספורות של מיקוריזה מתפזרות עם הרוח.
9. סימון עצים עם מיקוריזה באות "M" והעברת כל 48 עצי אבוקדו לשטח גידול בתוך החממה.
10. הרכבת מערכת השקיה של חברת "נטפים": 4 מיכל מים בנפח 100 ליטר הועלו לגובה 4 מטר. כל מיכל יכול את התכולה בהתאם לתנאי הניסוי שלו (1 לטיפולים 2-1 / 2 לטיפולים 3-4) וכדומה. כל מיכל יתמלא באופן ידני כאשר יתרוקן - זאת נדע בעזרת פקודה מערכת השקיה. מכל טיפול יוצא צינור השקיה לכל תור של עצים שבו 12 עצים (6 עם מיקוריזה ו6 ללא מיקוריזה אשר יקבלו את אותה התכולה המומסת במיכל מים). מכל צינור השקיה יתפצלו טפטפות לכל עץ. את משטר המים היה קבוע לאורך כל הניסוי -מינימלי לגידולי אבוקדו, אותו יצרנו בעזרת תכנות מחשב השקיה.
11. איסוף נתונים. מאז לאורך 200 כל שבוע באופן ידני נעשתה בדיקת התארכות גבול/עובי גזע בהתחלפות (שבוע זה שבוע זה) לפי השיטות המתוארות למעלה. בנוסף לבדיקות אלו יתבצעו שתי בדיקות אלמנטים בקרקע ובעלים משירותי שדה ועוד שתי בדיקות של אכלוס מיקוריזה בשורשי האבוקדו. במהלך הניסוי התרחשה פגיעה בגלל באקריות קורית אותה פתרנו בעזרת ריסוס כימי.
12. סיום איסוף תוצאות משלושה סוגי בדיקות ובניית גרפים על סמך תוצאות הללו.
13. כתיבת מסקנות והמלצות למחקרי המשך.
14. עברה סופית על כל העבודה.

המשך מהלך הניסוי מפורט ב"יומן ניסוי" בנספחים.

6. תוצאות

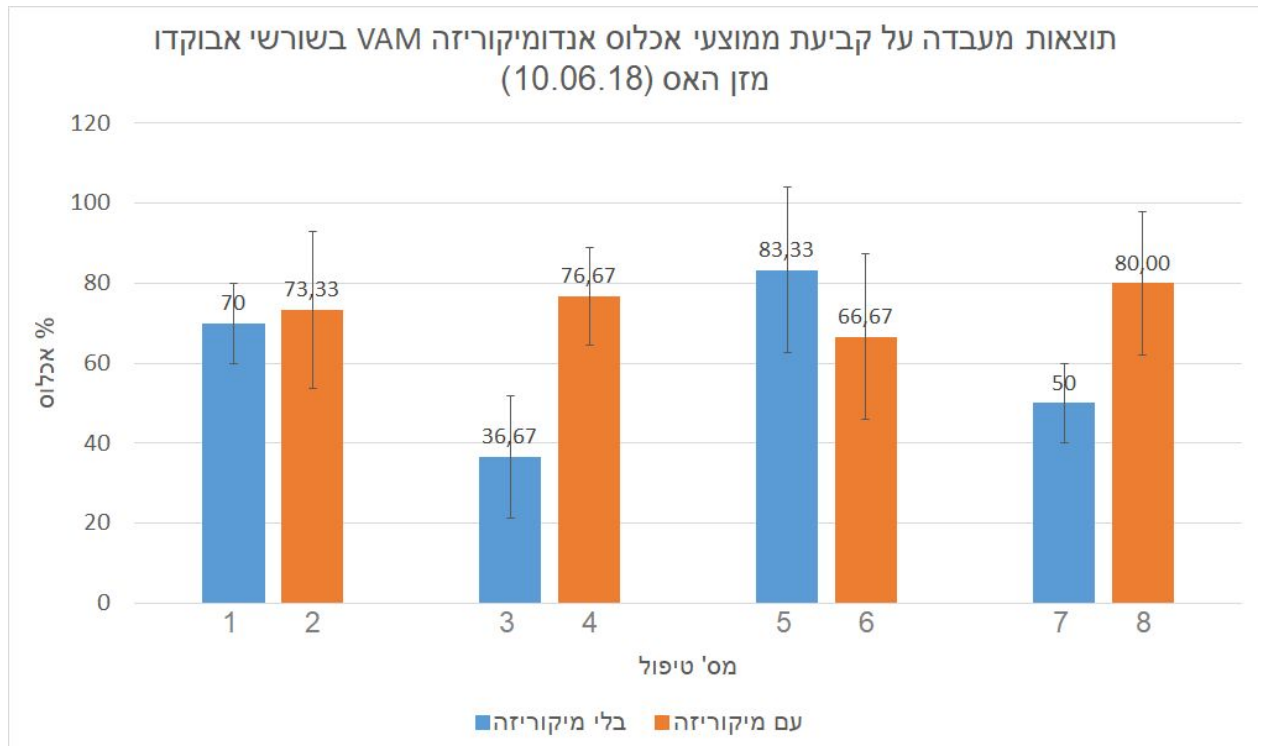
בהתאם ל 3 סוגי בדיקות נאספו 3 סוגי תוצאות הנותנות תמונה מלאה על סימביוזה מזויות שונות:

- תגובת צימוח של פונדקאי בשטח גידול מראה השפעת תנאים על אבוקדו בלבד, כמו כן מראה מידת תרומת מיקוריזה על צימוח אבוקדו תחת תנאי טיפולים.
- כימיות של קשר - בדיקות ריכוזי יסודות מראה דרך נוספת של השפעת תנאים על אבוקדו ומבהירה כיצד מיקוריזה משפיעה על ריכוזי יסודות בצמח.
- אכלוס מיקוריזה - בדיקות מעבדה קבעו השפעת תנאים על התבססות מיקוריזה בשורשים.



תמונה 3: מקרא כללי שמסביר מהם התנאים של כל טיפול.

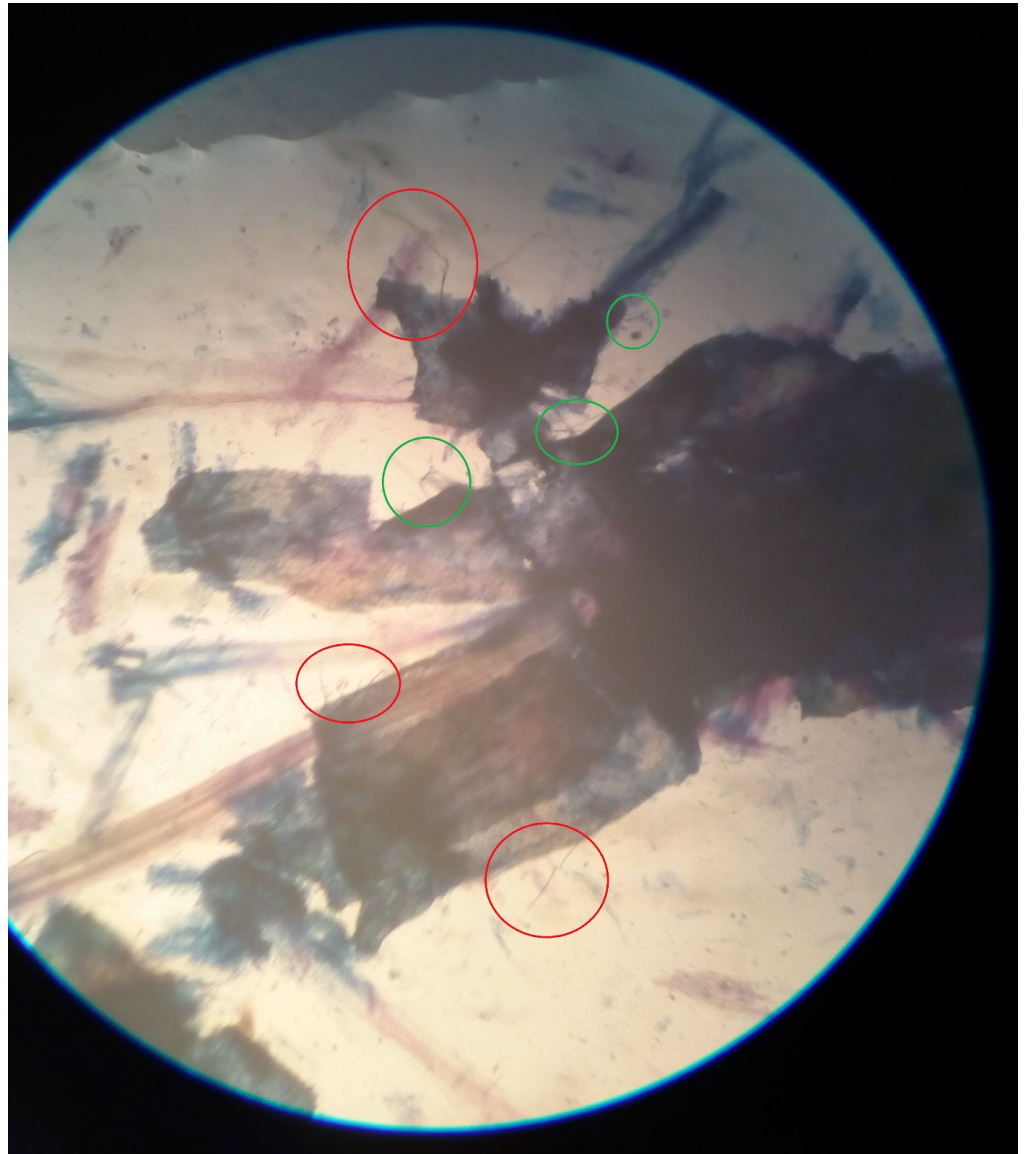
6.1 תוצאות מעבדות על קביעת ממוצעי אכלוס מיקוריזה בטיפולים:



גרף מס' 6: משווה % אכלוס מיקוריזה בכל הטיפולים בתאריך 10.06.18. הגרף מראה את ממוצעי אכלוס אנדומיקוריזה VAM בשורשי אבוקדו מזן האס באחוזים לכל הטיפולים (בדיקה ראשונה). ציר X מייצג מספר טיפול, ציר Y מייצג ממוצעי האכלוס באחוזים. הצבע הכתום מראה את הטיפולים שאוכלס במיקוריזה, הצבע הלבן-הצהוב - טיפולים ללא מיקוריזה. טיפולים 1-2: (מלח נמוך 400 ppm זרחן נמוך 88 ppm). טיפולים 3-4: (מלח נמוך 400 ppm זרחן גבוה 180 ppm) טיפולים 5-6 (מליחות גבוהה 800 ppm זרחן נמוך 88 ppm) טיפולים 7-8 (מלח גבוה 800 ppm זרחן גבוה 180 ppm). המעבדה נעשתה לפי הנחיות חברת "Groundwork" באמצעות צביעת שורשים - שיטת טריפאן בלו.

כפי שנאמר קודם, מטרת בדיקה זו להראות השפעת התנאים בניסוי על התבססות המיקוריזה בשורשים, הגרף ראשון מציג את אחוז האכלוס לאחר זמן סביר להתבססות (8 שבועות).

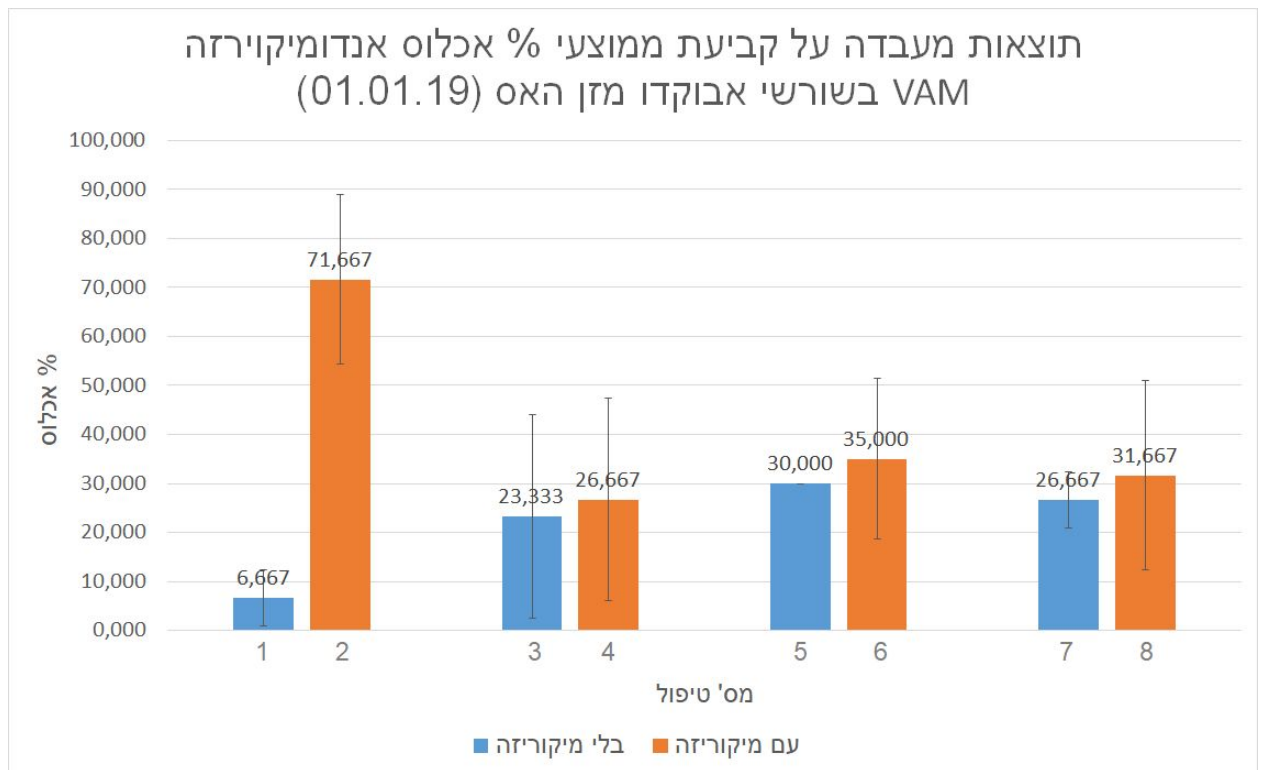
למרות שטיפולים 1,3,5,7 לא אוכלסו במיקוריזה הם נבדקו על מנת לוודא שלא הייתה הדבקה חיצונית וכדי לראות מה קרה בקרקע בכל הטיפולים. הבדיקה מראה אכלוס גבוהה מאוד (מעל 30%, הנורמה לאכלוס משמעותי החל מ 15% לפי חברת GROUND WORK) בכל הטיפולים כולל את אלו שלא אוכלסו ע"י בפטרייה. נתונים אלו הפתיעו אותנו ולכן התייעצנו עם אגרונומית החברה והיא אימתה את הבדיקות שלנו, ההשערה שעלתה היא שהיתה נוכחות של פטריית מיקוריזה כלשהי בקרקע לפני האכלוס דבר שהשפיע על התצפיות שלנו. ישנו ספק שמתחזק לגבי אמינות הבדיקה כאשר מתבוננים באחוזי האכלוס הגבוהים בטיפולים בהם התנאים היו קשים (5-8). דוגמא לקושי שבקביעת אחוזי אכלוס מיקוריזה ניתן לראות בתמונות 4-5. התוצאות המפתיעות הביאו אותי למחקר מעמיק וקריאה לגבי הפטריה ושיטות הבדיקה והובילו לבדיקה שניה מדוקדקת ומדויקת יותר בחלק השני של הניסוי. בגלל הנאמר אינני מתייחס לתוצאות הבדיקה מתאריך 10.06.18.



תמונה 4: צילום שורשי האבוקדו מזן האס בסימביוזה עם מיקוריזה בתנאי NaCL 400 ppm ודשן זרחתי 180 ppm בהגדלה X400. בתמונה מוצגת צביעת שורשים של טיפול 4. באדום מוקפת יונקת עץ אבוקדו, כי ידוע בספרות לפי מבנה לא מפותח. בירוק הוקפות היפות של אנדומיקוריזה VAM.



תמונה 5: צילום שורשי האבוקדו מזן האס בסימביוזה עם מיקוריזה בתנאי 800 ppm NaCl ודשן זרחתי 88 ppm בהגדלה X400. בתמונה מוצגת צביעת שורשים של טיפול 6. באדום הוקפו יונקות אבוקדו, ואילו בירוק היפה של מיקוריזה.



גרף מס' 7: משווה % אכלוס מיקוריה בכל הטיפולים בתאריך 01.01.19. הגרף מראה ממוצעי אחוז אכלוס אנדומיקוריה VAM בשורשי אבוקדו מזן האס בכל הטיפולים. ציר X מייצג מספר טיפול, ציר Y מייצג ממוצעי % אכלוס. הצבע הכתום מראה את הטיפולים שאוכלס במיקוריה, הצבע הכחול - טיפולים ללא מיקוריה. טיפולים 1-2: (מלח נמוך 400 ppm זרחן נמוך 88 ppm). טיפולים 3-4: (מלח נמוך 400 ppm זרחן גבוה 180 ppm) טיפולים 5-6 (מליחות גבוהה 800 ppm זרחן נמוך) (88 ppm) טיפולים 7-8 (מלח גבוה 800 ppm זרחן גבוה 180 ppm).

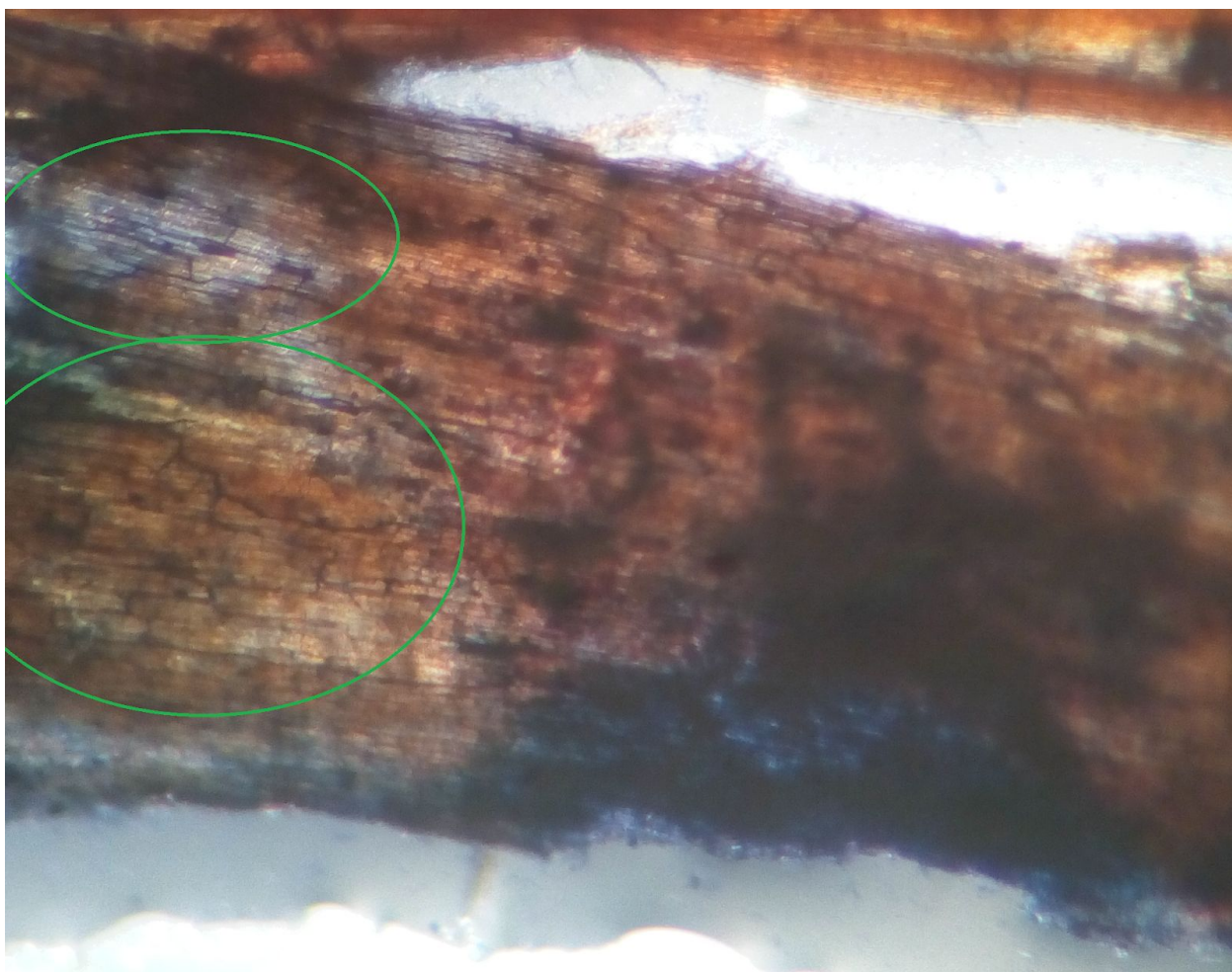
כפי שנאמר קודם, מטרת בדיקת האכלוס להראות השפעת תנאים של ריכוזי מלח קיצוניים (400-800 ppm) וזרחן לפי פרוטוקול גידול ומעבר (88-180 ppm) על התבססות מיקוריה בשורשים, גרף שני יציג אותה מעבדה, אך לאחר ידע נוסף על מבנים של מיקוריה, עצות מחברה ושיטות מדידה משופרות. יתרה על כך, הפעם התאפשר לי לעבוד עם בינקולר אחר עם הגדלה עד X600. גרף זה מראה מצב התבססות מיקוריה בשורשים אחרי השפעת מליחות וריכוזי זרחן שונים במשך שנה וחצי (גרף 7).

גרף זה הוא גרף מרכזי בכל העבודה בגלל יחודיותו ותמיכה בהשערותנו. חשוב לציין שעדיין יש ריכוז משמעותי של מיקוריזה בטיפולים שלא אוכלסו במיקוריזה, אך לפי תשובה של חברה "Groundwork" " מבנים שצינתי קודם כמיקוריזה הם כן פטרייתיים ודומים רבות למיקוריזה, אך זה לא הסוג שבו אוכלסו העצים. סביר להניח שזהו סוג חדש של פטריות מיקוריטיות. על בסיס ספרות, פטריות אלו ברניות בבחירת הפונדקאי וסיבה לקיום סוגים שונים של מיקוריזה זוהי התאמה לפונדקאי. על כן כנראה לא הייתה השפעת של סוג זה על תוצאות הניסוי.

נצפה הבדל מובהק באחוז אכלוס של טיפול 2 מול כל הטיפולים אחרים זה תומך בהשערה שלנו שמיקוריזה תפגע מתנאי קיצון של מלך נטרן כלורידית PPM 800. אך היא כן הצליחה להתבסס היטב בתנאי מליחות של תנאי סף PPM 400 וריכוז זרחן לפי פרוטוקול גידול לפונדקאי. בנוסף בוראה שלמרות תרומתה בהפיכת זרחן (שלא נצפה בתוצאות) היא גם נפגעת מריכוזי זרחן שמעבר לפרוטוקול לפונדקאי. (לדוגמה טיפול 2 - אותו מלך אך דשן מוגבר). מה שמעניין שריכוז מיקוריזה בטיפול 4 היה קצב גבוה בטיפול 2 ואפילו 8 בכ 10% שגם בא לידי ביטוי בגידול אבוקדו, גורם להניח שפגיעה במיקוריזה מעודף זרחן יותר קריטית מעודף מלח קיצוני. במספר הבדיקות (הראה תמונה 6) נמצא סוג שונה של פטריות (לא מיקוריטיות) אך מפני שאחוז אכלוס שלהן היה נמוך, כנראה שלא הייתה התאמה ביניהן לבין האבוקדו ולכן, כנראה, אין להן השפעה על תוצאות הניסוי.



תמונה 6: צילום שורשי האבוקדו מזן האס בלי סימביוזה עם מיקוריזה בתנאי NaCl 400ppm ודשן זרחתי 88 ppm בהגדלה X600. בתמונה מוצגת צביעת שורשים של טיפול 1. באדום הוקפה היפה של פטרייה אחרת, לא ממשפחת מיקוריזה משום מבנה מחוסר הסתעפות ועבה מידי או יונקה של האבוקדו.



תמונה 7: צילום שורשי האבוקדו מזן האס בסימביוזה עם מיקוריזה בתנאי NaCL 400ppm ודשן זרחתי 88 ppm בהגדלה X600. בתמונה מוצגת צביעת שורשים של טיפול 2. בירוק הוקפו מבנים פנימיים של אנדוקניקרויזה VAM בתוך השורש אבוקדו. בעיגול העליון ניתן לראות vesicles.



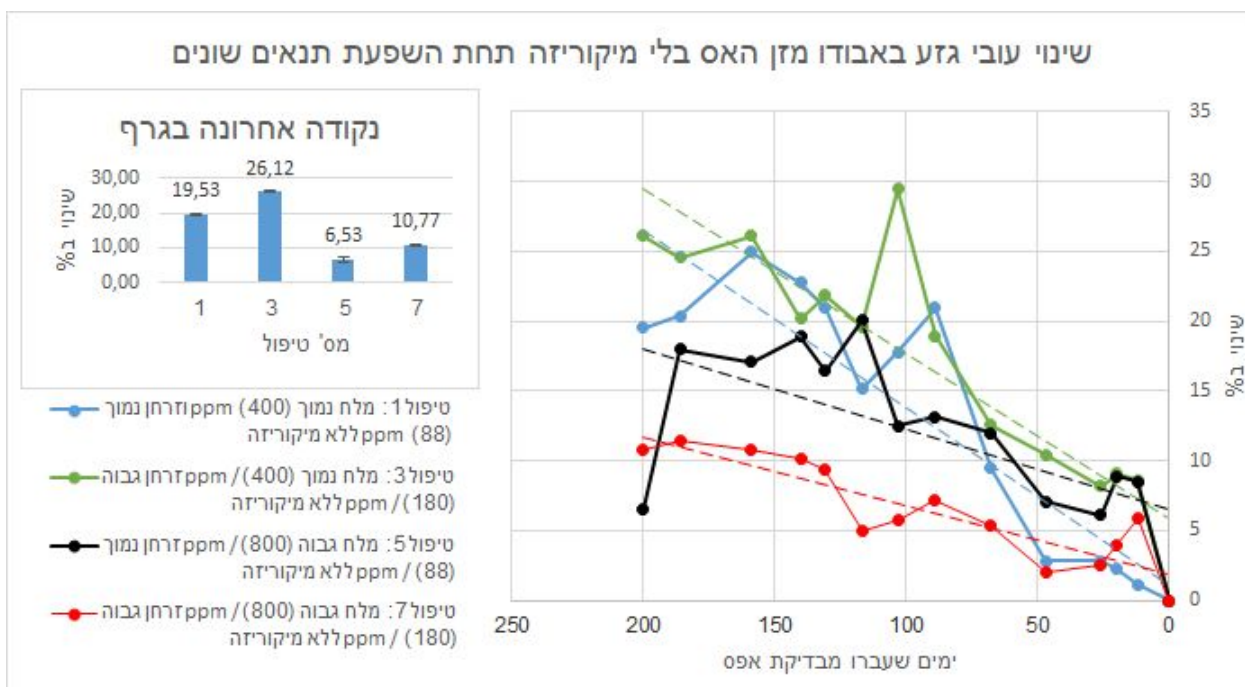
תמונה 8: צילום שורשי האבוקדו מזן האס בסימביוזה עם מיקוריזה בתנאי NaCl 400ppm ודשן

זרחתי 88 ppm בהגדלה X600.

צילום בינקולר בהגדלה X600. בתמונה מוצגת צביעת שורשים של טיפול 2. בירוק מופיעה ההיפה של מיקוריזה בגודל משמעותי לעומת שאר הטיפולים, דבר התומך בגרף 2 המציג את הטיפול 2 בו היה אכלוס מיקוריזה גבוה יחסית לטיפול עם אותם התנאים (טיפול 1) ויחסית גבוה לכל הטיפולים בהם לא נצפה הבדל מובהק בין טיפולים שלא אוכלסו במיקוריזה לבין אלה שכן אוכלסו.

6.2 מדדי הצימוח של האבוקדו (התעבות עובי גזע והתארכות גבעולים)

6.2A שינוי עובי גזע:



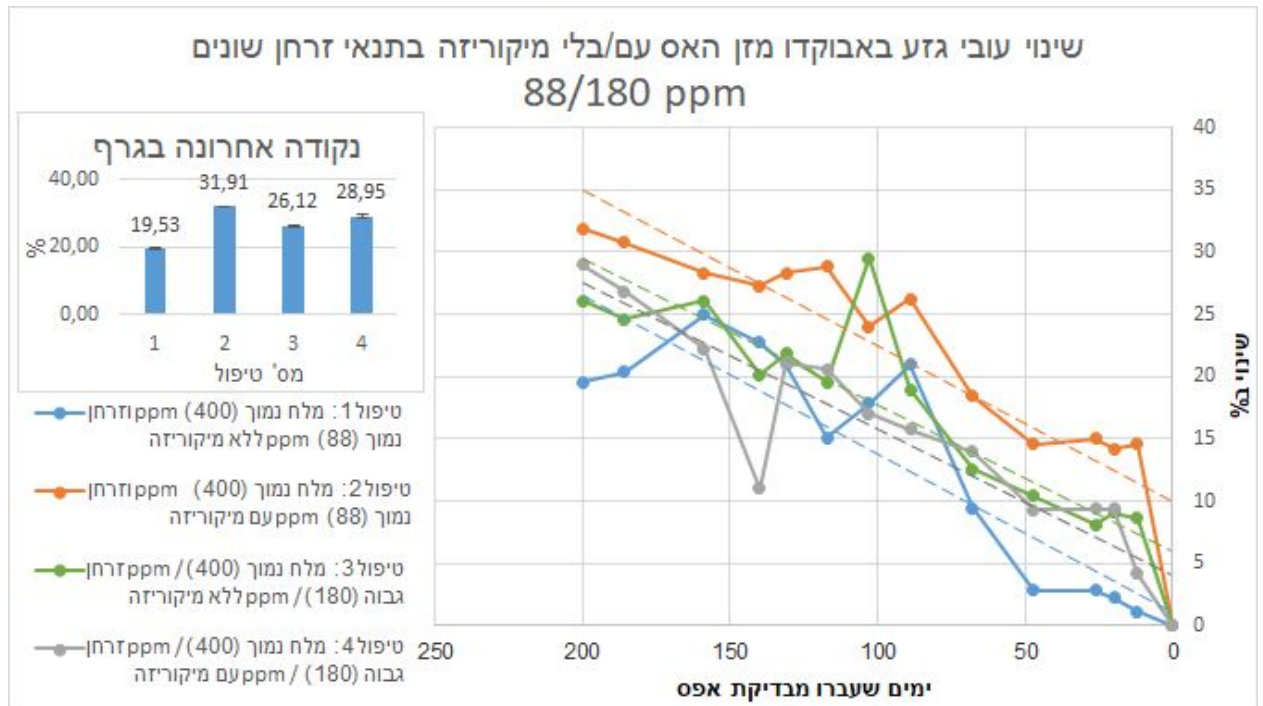
גרף מ'8: משווה את השינוי בעובי הגזע בעצים (ממוצע לכל טיפול) בכל התנאים, ללא מיקוריזה. הגרף משווה את השינוי עובי גזע % ממוצע של ששת העצים בכל טיפול (ציר X) של אבוקדו מזן האס לאורך 200 יום (ציר Y). לטיפולים בתנאים השונים שלא אוכלסו במיקוריזה. טיפול 1 תכלת (מלח נמוך 400 ppm זרחן נמוך 88 ppm) טיפול 3 ירוק (מלח נמוך 400 ppm זרחן גבוה 180 ppm) טיפול 5 שחור מליחות גבוה 800 ppm זרחן נמוך 88 ppm) טיפול 7 אדום מלח גבוה 800 ppm זרחן גבוה 180 ppm. בכל הטיפולים חסרה מיקוריזה. בגרף משמאל מופיעות התוצאות במדידה האחרונה. קווי השגיאה מייצגים את סטיית התקן.

מגרף 9 ניתן להסיק מסקנות על התגובה של העצים לכל טיפול באופן טבעי לתנאי גידול שיצרנו להם (ללא השפעת המיקוריזה). בגרף ניתן לראות יתרון קל לעצי האבוקדו בטיפול 3 עם מליחות נמוכה ודשן זרחתי מוגבר, אחר"כ בטיפול 1 עם שוב מליחות נמוכה ודשן נמוך. ותוצאות נמוכות בגידול השגנו מטיפולים 5 ו 7 עם מליחות גבוהה. התוצאות בגרף מאששות את השערתנו. ההסבר לכך הוא,

בכל הטיפולים נוכחה מיקוריזה. בגרף משמאל מופיעות התוצאות במדידה האחרונה. קווי השגיאה מייצגים את סטיית התקן.

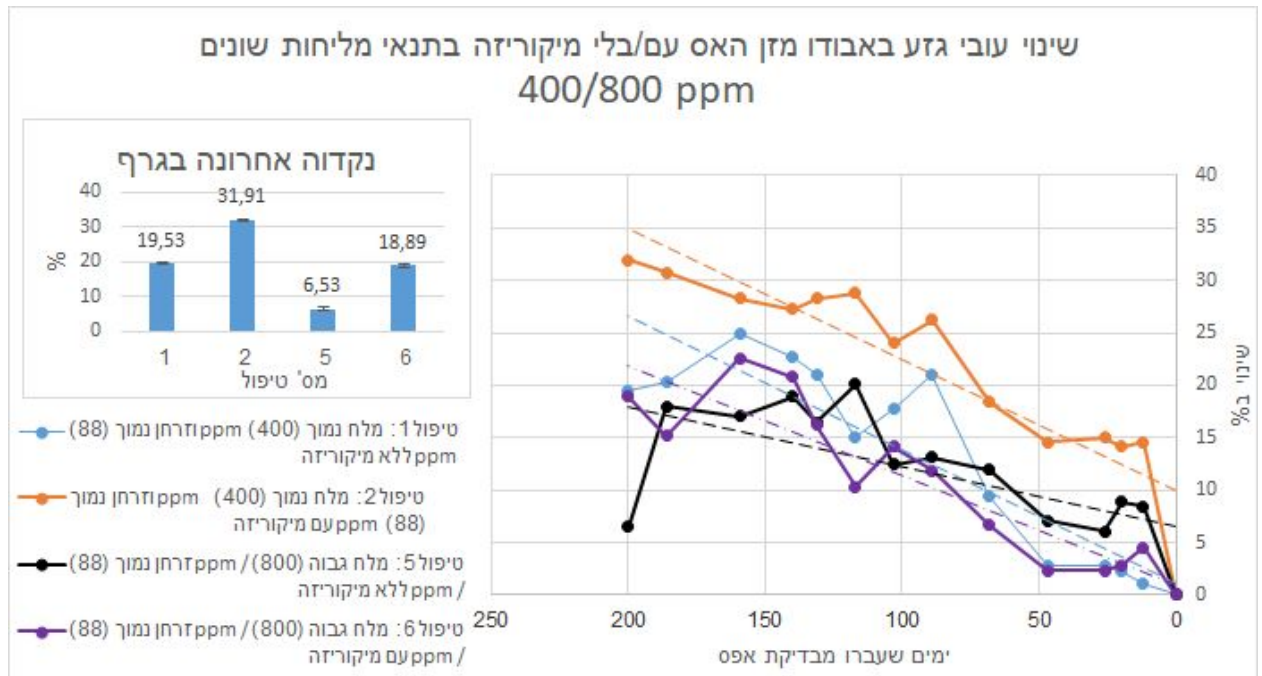
בגרף 10 ניתן לראות מגמת השינוי באחוזים בגידול עצי אבוקדו מזן האס עם מיקוריזה בתנאי טיפולים שונים לאורך כל הניסוי (200 יום בדיקות). מגרף ניתן להסיק מסקנות על התגובה של כל קבוצת עצים לטיפולים השונים עם השפעות של איכלוס במיקוריזה. ולהשוות עם עצים שגדלו באותם התנאים ללא מיקוריזה - ביקורת (גרף מס' 5). בגרף ניתן לראות שעצי האבוקדו גדלו בצורה מייטבית בטיפול 2 עם רמות מליחות ודשן נמוכות, אח"כ בטיפול 4 שוב עם מליחות נמוכה אבל עם דשן מוגבר. אחרי"כ לפי גידול בא טיפול 6 עם מליחות מוגברת ודשן נמוך ואז התוצאות הנמוכות ביותר השגנו מטיפול 8 עם מלח ודשן מוגבר.

הממצאים המופיעים בגרף מקובלים ותומכים בהשערות. תוצאות הטובות ביותר קיבלנו מטיפול 2 בתנאים נמוכים וזאת אף על פי שתוצאות גידול הטובות ביותר בגרף מס' 8 שמייצג עצים ללא מיקוריזה קיבלנו מטיפול 3 הגדל בתנאי זרחן גבוהים. ההסבר לכך שבסימביוזה עם מיקוריזה הבדל בין טיפול 2 ל4 לא משמעותי -4% והם כמעט מקבילים בעלייה. מליחות לא פוגעת במיקוריזה ושני טיפולים מקבלים יסודות זמינים באופן כמעט שווה בזכות מיקוריזה בטיפול 2 בזכות ריכוז דשן גבוה בטיפול 4. טיפול 86 כמו טיפולים 75 במקרה עם חוסר מיקוריזה.



גרף מס' 10: שינוי עובי גזע באבוקדו מזן האס עם/בלי מיקוריזה בתנאי רמת מלח נמוכה קבועה ורמות זרחן שונות. הגרף משווה את השינוי בעובי הגזע % ממוצע של ששת העצים בכל טיפול (ציר X) של אבוקדו מזן האס לאורך 200 יום (ציר Y). לטיפולים אשר קיבלו תנאים של מלח נמוך ותנאי זרחן משתנים (גבוהה/נמוך) עם ובלי מיקוריזה. בגרף משמאל מופיעות התוצאות במדידה האחרונה. קווי השגיאה מייצגים את סטיית התקן.

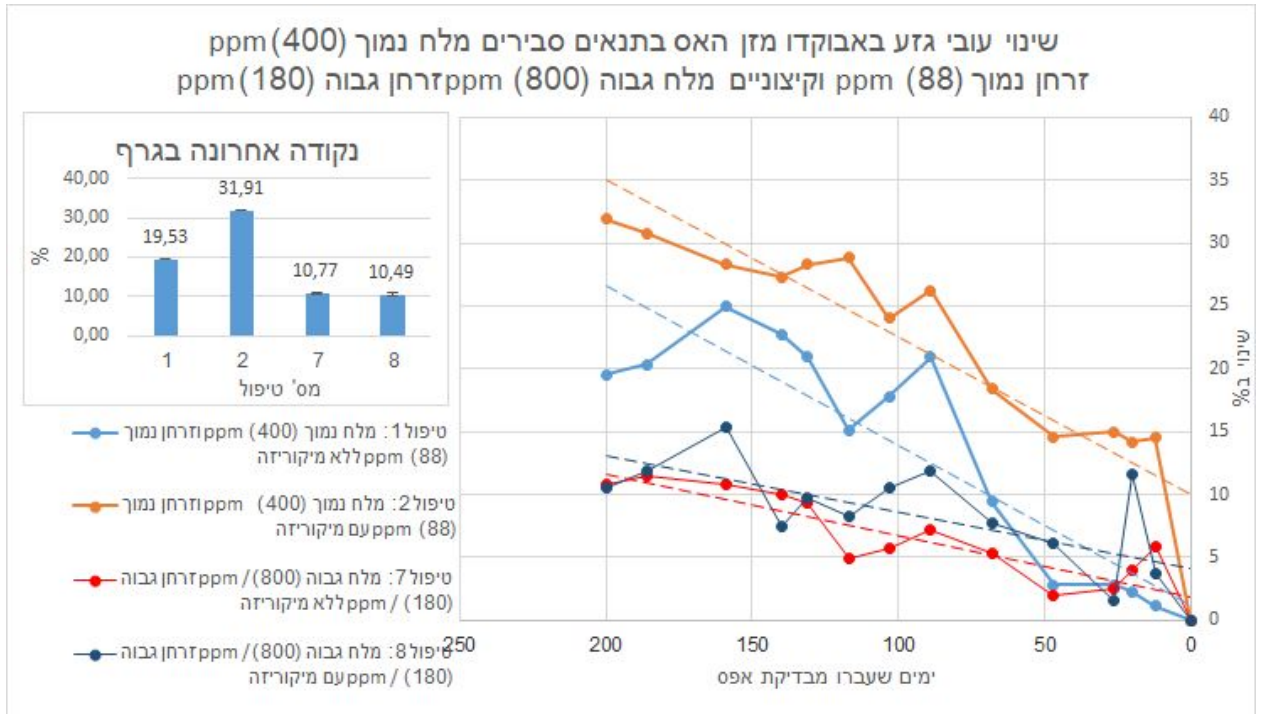
גרף זה מאוד מעניין בעיני, אנחנו לומדים ממנו את יחסי הגומלין והאינטראקציות השונות שיש לקשר הסימביוטי בתנאי מלח קבועים ותנאי דשן שונים, ניתן להבין מהגרף מהם התנאים המתאימים ביותר בין תנאי העקה השונים לגידול האבוקדו עם ובלי המיקוריזה. ניתן לראות יתרון וודאי לטיפול 2 (מלח נמוך/דשן עם מיקוריזה) ותוצאות מאוד דומות לטיפולים 1, 3 ו-4. המטרה של ההשוואה בגרף זה היא להראות איך ריכוזי הזרחן השונים משפיעים על גידול האבוקדו בנוכחות המיקוריזה (ישנה השוואה בין טיפולים שאוכלסו במיקוריזה וכאלו שלא) בתנאי המלח הנמוכים. מהגרף ניתן ללמוד שריכוזי הזרחן הגבוהים פוגעים בגידול האבוקדו גם בנוכחות המיקוריזה, ניתן לראות בגרף מס' 7 שאכלוס המיקוריזה גם כן נפגע.



גרף מס' 11: שינוי עובי גזע באבוקדו מזן האס עם/בלי מיקוריזה בתנאי רמת זרחן נמוכה קבועה ורמות מלח שונות. הגרף משווה את שינוי עובי גזע ב% ממוצע של ששת העצים בכל טיפול (ציר X) של אבוקדו מזן האס לאורך 200 יום (ציר Y). בתנאים של זרחן נמוך ותנאי מלח שונים (גבוהה/נמוך) עם ובלי מיקוריזה. מטרת הגרף להשוות את התגובות של העצים לריכוזים שונים של מלח NaCl ולנוכחות המיקוריזה בריכוז זרחן קבוע (נמוך). ההשוואה מאפשרת לנו להסיק מסקנות לגבי התנאים המיטיבים לגידול האבוקדו וגם לגבי האינטראקציות השונות בין האבוקדו והמיקוריזה בתנאי הדשן השונים במליחות הנמוכה. בגרף משמאל מופיעות התוצאות במדידה האחרונה. קווי השגיאה מייצגים את סטיית התקן.

הגרף מראה בבירור שבטיפול 2 (מלח נמוך זרחן נמוך עם מיקוריזה) עצי האבוקדו גדלו בצורה מייטבית, שאר הטיפולים היו דומים מאוד כאשר טיפול 1 מראה תוצאות טובות במעט מטיפול 6 ולבסוף טיפול 5 בו התנאים היו הכי פחות מסיעים וללא נוכחות המיקוריזה. הממצאים המופיעים בגרף אינם מפתיעים אותנו ותומכים בהשערותינו. ציפיתי לראות יתרון מובהק לעצים שגדלו עם מיקוריזה בתנאי מליחות נמוכה (טיפול 2), ואז לעצים שגדלו בלי מיקוריזה באותם תנאים (טיפול 1) (תוצאות פחותות מטיפול 2 אבל עם יתרון קל על העצים מטיפולים 5 ו-6. מה שמצביע על כך

שמיקוריזה אינה מסוגלת לתמוך בעצים בתנאים של מליחות גבוהה ולכן איננו רואים הבדל גדול בין טיפולים 5 ו-6. ללא מיקוריזה בטיפול עם מלח נמוך.

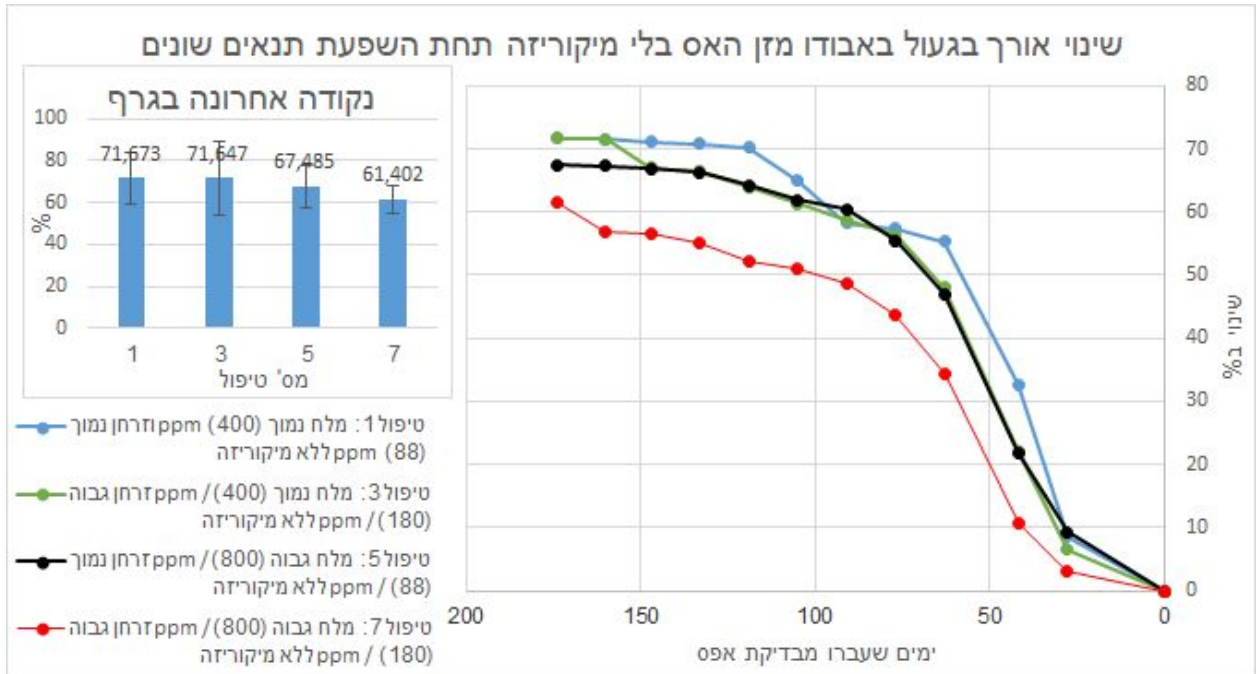


גרף מ' 12: שינוי עובי גזע באבוקדו מזן האס עם/בלי מיקוריזה בתנאים סבירים וקיצוניים. הגרף משווה את שינוי עובי גזע ב% ממוצע של ששת העצים בכל טיפול (ציר X) של אבוקדו מזן האס לאורך 200 יום (ציר Y). הגרף מראה בין תנאי הקיצון בניסוי (מלח נמוך/זרחן נמוך) לבין (מלח גבוה/זרחן גבוה) עם ובלי מיקוריזה. גרף זה מאפשר לראות את האינטראקציות השונות של עצי האבוקדו בנוכחות המיקוריזה בתנאים הסבירים (טיפולים 1 ו-2) ותנאי הקיצון הקשים (טיפולים 7 ו-8) הקשים, הגרף מראה יתרון משמעותי לעצים אשר אוכלסו במיקוריזה לאל שלא בתנאים הסבירים אך אינו מראה יתרון כלל לעצים שאוכלסו במיקוריזה על אלו שלא בתנאי הקיצון הקשים. בגרף משמאל מופיעות התוצאות במדידה האחרונה. קווי השגיאה מייצגים את סטיית התקן.

הממצאים המופיעים בגרף אינם מפתיעים אותנו ותומכים בהשערותינו. צפיתי לראות ש-בטיפול 2 בתנאים הסבירים עם מיקוריזה העצים יגדלו בצורה טובה, ושהעצים בתנאים הקשים (טיפולים 7 ו-8) יפגעו יחסית לשאר, מכך שאין הבדל בין טיפול 7 ל טיפול 8 אשר היו באותם תנאים אשר קיבלו

את אותם התנאים וההבדל ביניהם היה האיכלוס במיקוריזה אני יכול להבין או שאין ביכולתה של המיקוריזה לתמוך בעץ בתנאים אלו או שגם המיקוריזה כמו העץ מתה בתנאים האלו.

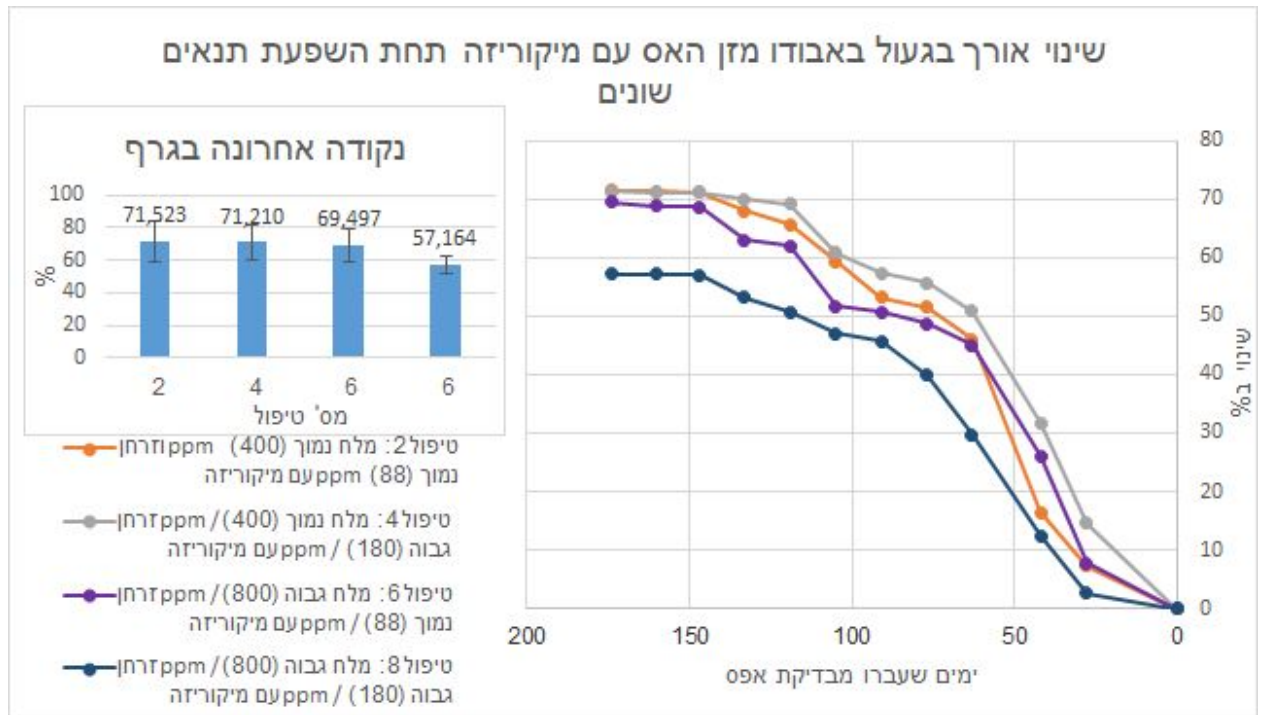
6.2B התארכות עובי גזע:



גרף מס' 13: שינוי התארכות הגעול באבוקדו מזן האס, בלי מיקוריזה בתנאים השונים. הגרף מראה את השינוי בהתארכות הגעול ב%, ממוצע של ששת העצים בכל טיפול (ציר X) באבוקדו מזן האס לאורך 174 יום (ציר Y) בתנאים השונים ללא אכלוס במיקוריזה. טיפול 1 תכלת מלח נמוך (400) ppm זרחן נמוך (88) ppm טיפול 3 ירוק מלח נמוך (400) ppm זרחן גבוה (180) ppm טיפול 5 שחור גבוה (800) ppm זרחן נמוך (88) ppm טיפול 7 אדום מלח גבוה (800) ppm זרחן גבוה (180) ppm. בגרף משמאל מופיעות התוצאות במדידה האחרונה. קווי השגיאה מייצגים את סטיית התקן.

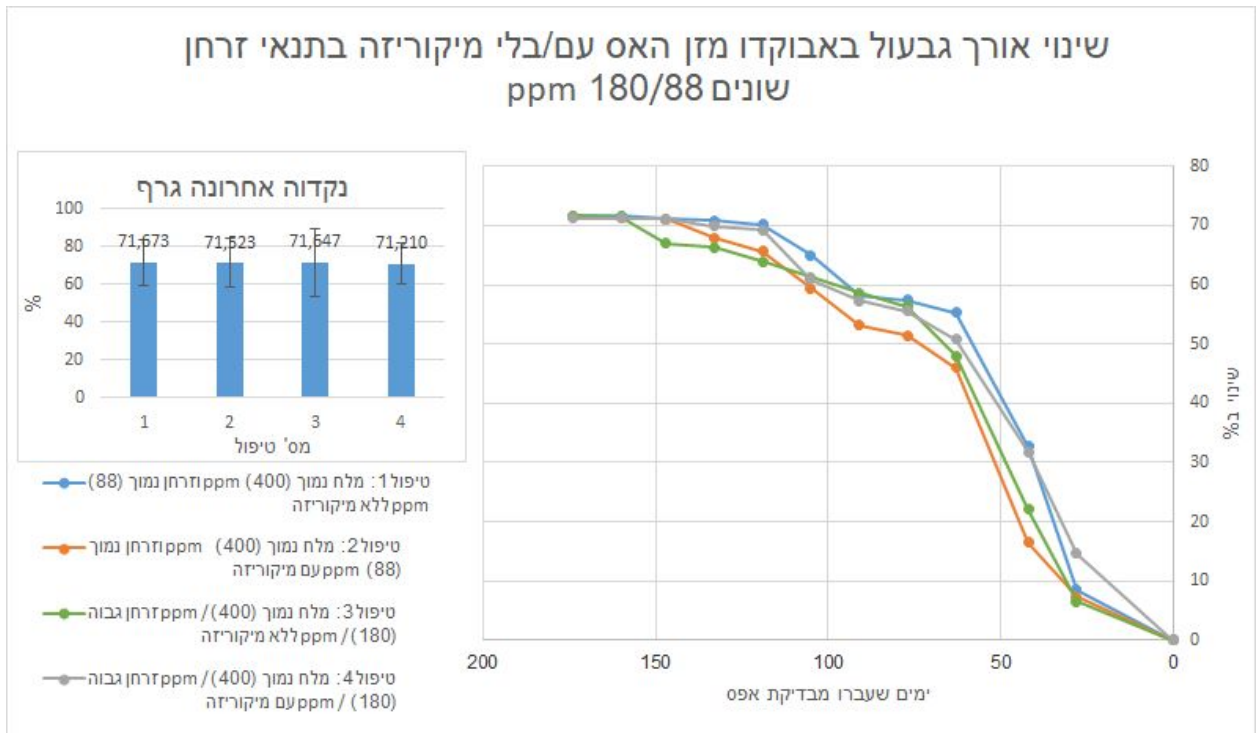
הגרף מראה את מגמת הצימוח החדש בענפי העצים (ממוצע לכל טיפול). מהגרף ניתן ללמוד על התגובה של העצים לתנאים השונים של מלח וזרחן ללא מיקוריזה באופן טבעי לתנאי גידול שיצרנו, ניתן להתייחס לממצאים בגרף זה כביקורת לטיפולים שאוכלסו במיקוריזה. ניתן לראות למרות קרבתם של הקווים שיש הבדל בגידול (למשל הבדל של 26% בין טיפול 1 לטיפול 7 ביום 63) בין

הטיפול. את הצימוח הטוב ביותר ניתן לראות בטיפול מס' 1 ובהפרשים קלים אחריו את טיפולים 3 ו-5 כש-בטיפול 7 ניתן לראות צימוח מואט יחסית לטיפולים האחרים. התוצאות בגרף מאששות את השערת. ההסבר לכך זה שבאופן טבעי ללא מיקוריזה עצים גדלו בצורה הטובה ביותר בתנאים הפחות קשים (מלח/זרחן נמוכים).



גרף מס' 14: שינוי התארכות גבעול באבדו מזן האס, עם מיקוריזה תחת השפעת תנאי טיפולים שונים. הגרף מראה את השינוי בהתארכות הגבעול ב%, ממוצע של ששת העצים בכל טיפול (ציר X) באבדו מזן האס לאורך 174 יום (ציר Y) בתנאים השונים עם אכלוס במיקוריזה. טיפול 2 כתום (מלח נמוך (400) ppm זרחן נמוך (88) ppm) טיפול 4 אפור (מלח נמוך (400) ppm זרחן גבוה (180) ppm) טיפול 6 סגול (מלח גבוה (800) ppm זרחן נמוך (88) ppm) טיפול 8 כחול (מלח גבוה (800) ppm זרחן גבוה (180) ppm) בגרף משמאל מופיעות התוצאות במדידה האחרונה. קווי השגיאה מייצגים את סטיית התקן.

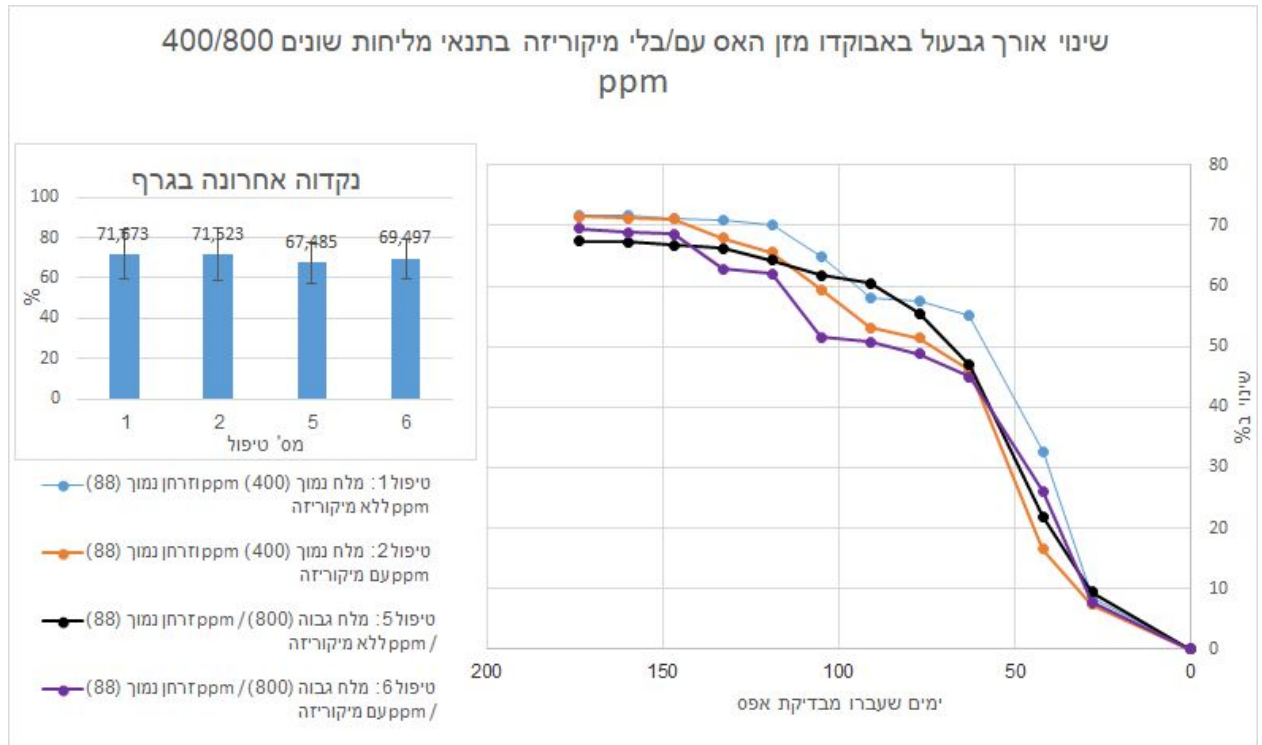
הגרף מראה את מגמת הצימוח החדש בענפי העצים (ממוצע לכל טיפול). בגרף ניתן לראות תוצאות דומות יחסית בין טיפולים 2-6 ופיגור בצימוח בטיפולים 8, אפשר לשער מכך שהתנאים של מלח וזרחן גבוהים היו המיטיבים פחות עם האבוקדו והמיקוריזה וש-לשילוב של המלח עם הזרחן הגבוהים ישנה השפעה יותר משמעותית משאר השילובים. התוצאות בגרף מאששות את השערת.



גרף מס' 15: שינוי התארכות גבעול באבוקדו מזן האס, בתנאי רמת מלח נמוכה קבועה ורמות זרחן שונות. הגרף מראה את השינוי בהתארכות הגבעול ב%, ממוצע של ששת העצים בכל טיפול (ציר X) באבוקדו מזן האס לאורך 174 יום (ציר Y) בתנאים של מלח נמוך (400 PPM) וזרחן נמוך (88 PPM), מלח נמוך (400 PPM) וזרחן גבוה (180 PPM) עם ובלי מיקוריזה. בגרף משמאל מופיעות התוצאות במדידה האחרונה. קווי השגיאה מייצגים את סטיית התקן.

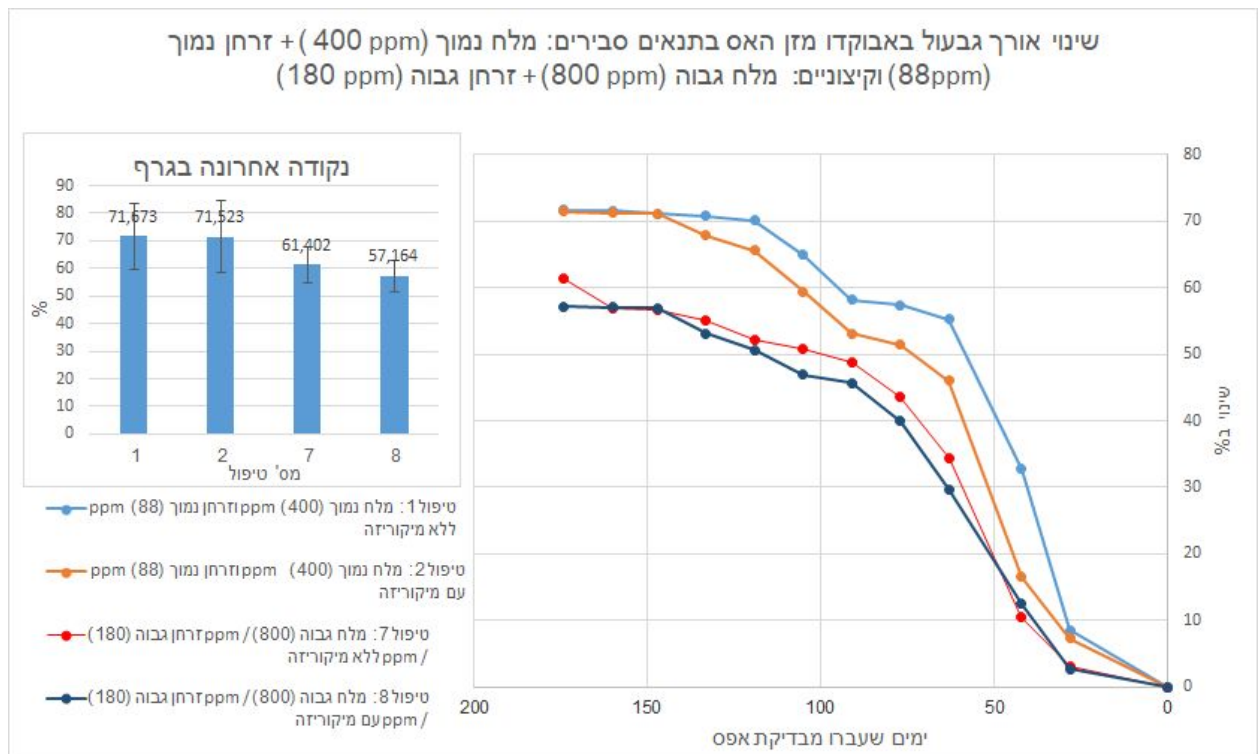
הגרף מראה את מגמת הצימוח החדש בענפי העצים (ממוצע לכל טיפול). הגרף משווה בין כל הטיפולים שקיבלו מלח נמוך. הנראה בגרף מפתיע מעט, אין הבדל גדול בקצב הצימוח, ביום האחרון

הגרפים מתכנסים מה שיכול להצביע על כך שלתנאי הדשן השונים במליחות הנמוכה ולנוכחות המיקוריזה לא היתה השפעה משמעותית על הצימוח החדש.



גרף מס' 16: שינוי התארכות גבעול באבוקדו מזן האס עם/בלי מיקוריזה בתנאי רמת זרחן נמוכה קבועה ורמות מלח שונות. הגרף מראה את השינוי בהתארכות הגבעול ב%, ממוצע של ששת העצים בכל טיפול (ציר X) באבוקדו מזן האס לאורך 174 יום (ציר Y) בתנאים של מלח נמוך (PPM 400) וזרחן נמוך (PPM 88), מלח גבוה (PPM 800) וזרחן נמוך (PPM 88) עם ובלי מיקוריזה. הגרף מראה את מגמת הצימוח החדש בענפי העצים (ממוצע לכל טיפול). הגרף משווה בין כל הטיפולים שקיבלו זרחן נמוך ותנאי מלח שונים. בגרף משמאל מופיעות התוצאות במדידה האחרונה. קווי השגיאה מייצגים את סטיית התקן.

הנראה בגרף מפתיע מעט, אין הבדל גדול בקצב הצימוח, ביום האחרון הגרפים מתכנסים מה שיכול להצביע על כך שלתנאי המלח השונים, ריכוזי הזרחן הנמוכים ולנוכחות המיקוריזה לא היתה השפעה משמעותית על הצימוח החדש.



גרף מס' 17: שינוי עובי גזע באבוקדו מזן האס עם/בלי מיקוריזה בתנאים סבירים וקיצוניים. הגרף מראה את השינוי בהתארכות הגבעול ב% (ציר X) של אבוקדו מזן האס לאורך 174 יום (ציר Y), ממוצע של ששת העצים בכל טיפול. בנאי הקיצון של הניסוי: מלח נמוך/דשן נמוך עם ובלי מיקוריזה (טיפולים 1 ו-2), מלח גבוה דשן גבוה עם ובלי מיקוריזה (טיפולים 7 ו-8). מהגרף ניתן ללמוד על ההנהגות העצים בהשפעת המיקוריזה בתנאי הקיצון של הניסוי ולראות האם נוכחות המיקוריזה השפיעה על הצימוח החדש של ענפי העצים. בגרף משמאל מופיעות התוצאות במדידה האחרונה. קווי השגיאה מייצגים את סטיית התקן.

הגרף מראה יתרון קל בממוצע לעצים שלא אוכלסו בכל טיפול על פני אלו שאוכלסו במיקוריזה. ההבדל בין הטיפולים אינו מפתיע כלל מכיוון שהעצים הגיבו פחות טוב לתנאים הקשים יותר, מה שמעט מפתיע הוא שהעצים שאוכלסו במיקוריזה הגיבו פחות טוב. יחד עם זאת, חישוב סטיות התקן מראה כי ההבדל בין הטיפולים אינו מובהק. ניתן לראות יותר מאוחר בגרף האכלוס מחודש אוקטובר (גרף מס' 7) הבדל משמעותי באיכלוס בין טיפולים 1 ו-2 לטובת טיפול 2.

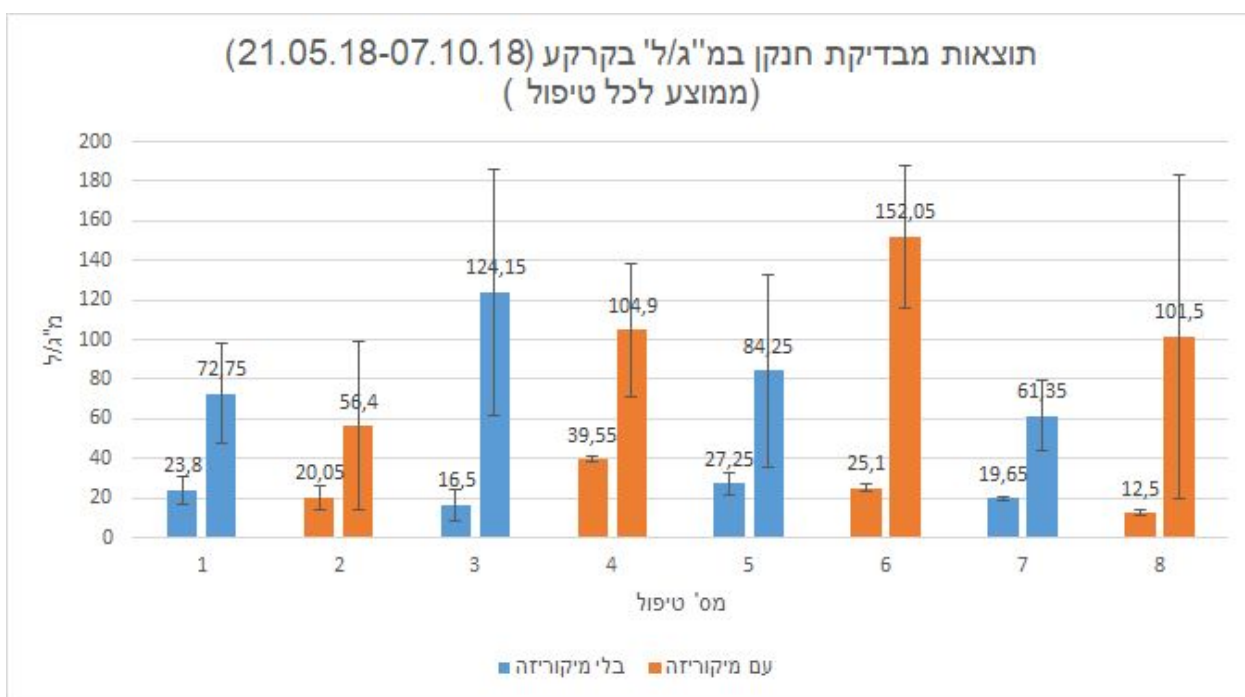
6.3 בדיקות יסודות הזנה בקרקע ובעלים בוצעו ע"י שרותי שדה חדרה בשני

תאריכי דיגום (22.05.18-14.10.18) המייצגים את תחילת וסוף הניסוי ואת

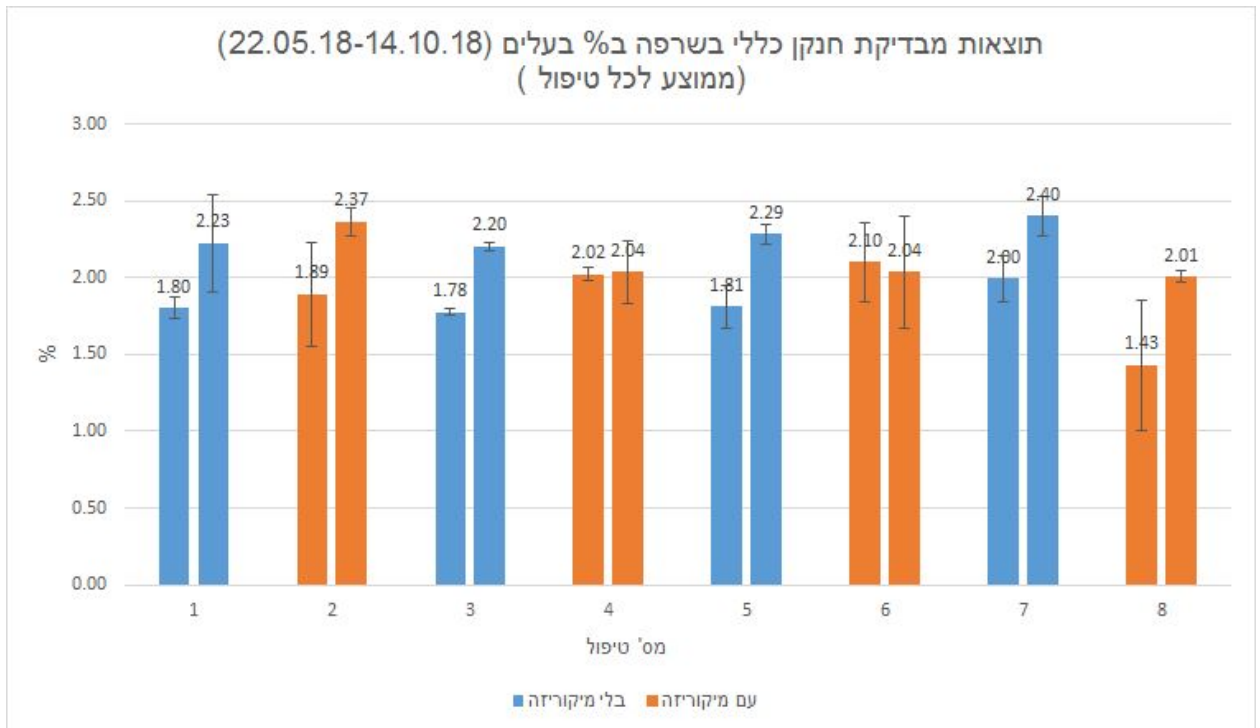
השינוי לאורך הזמן.

נשווה ריכוזי היסודות בקרקע לאלו בעלים בכל יסוד על-מנת ללמוד על קליטתם מהקרקע לצמח.

חנקן:



גרף מס' 18: משוואה ריכוזי חנקן במ"ג/ל בקרקע (ממוצע של שני עצים לכל טיפול).

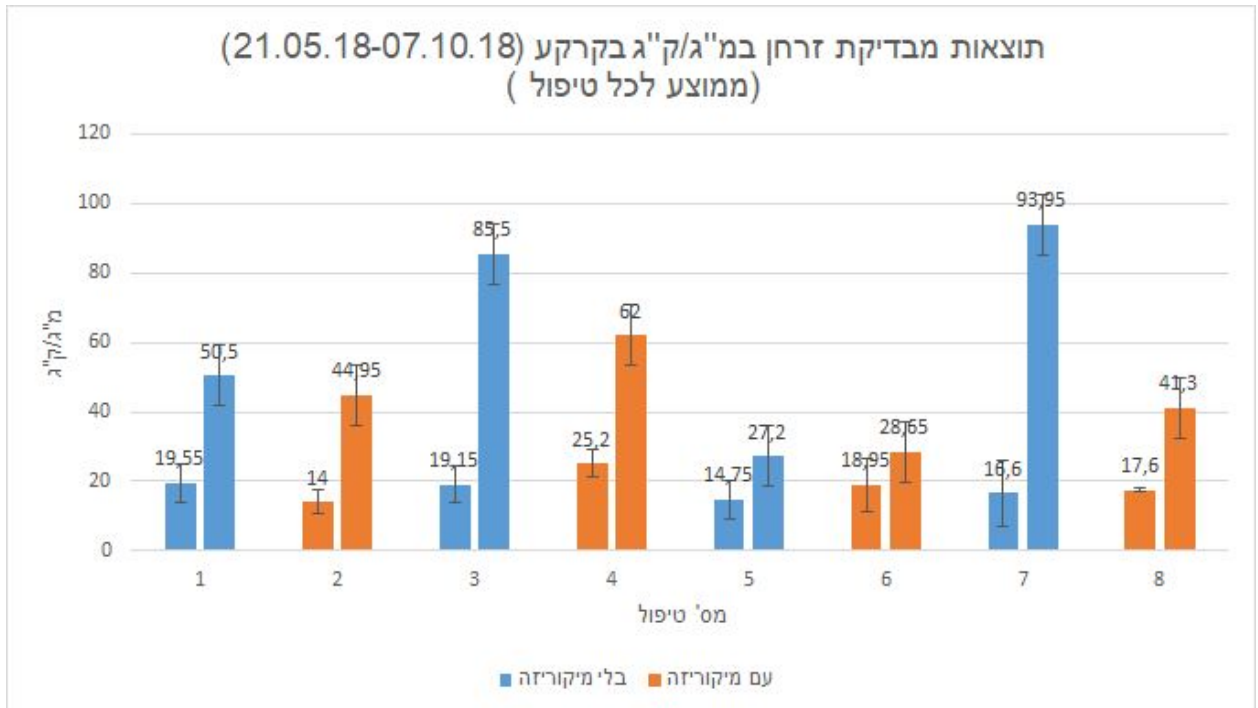


גרף מס' 19: משווא ריכוזי חנקן ב% בעלים (ממוצע שני עצים לכל טיפול).

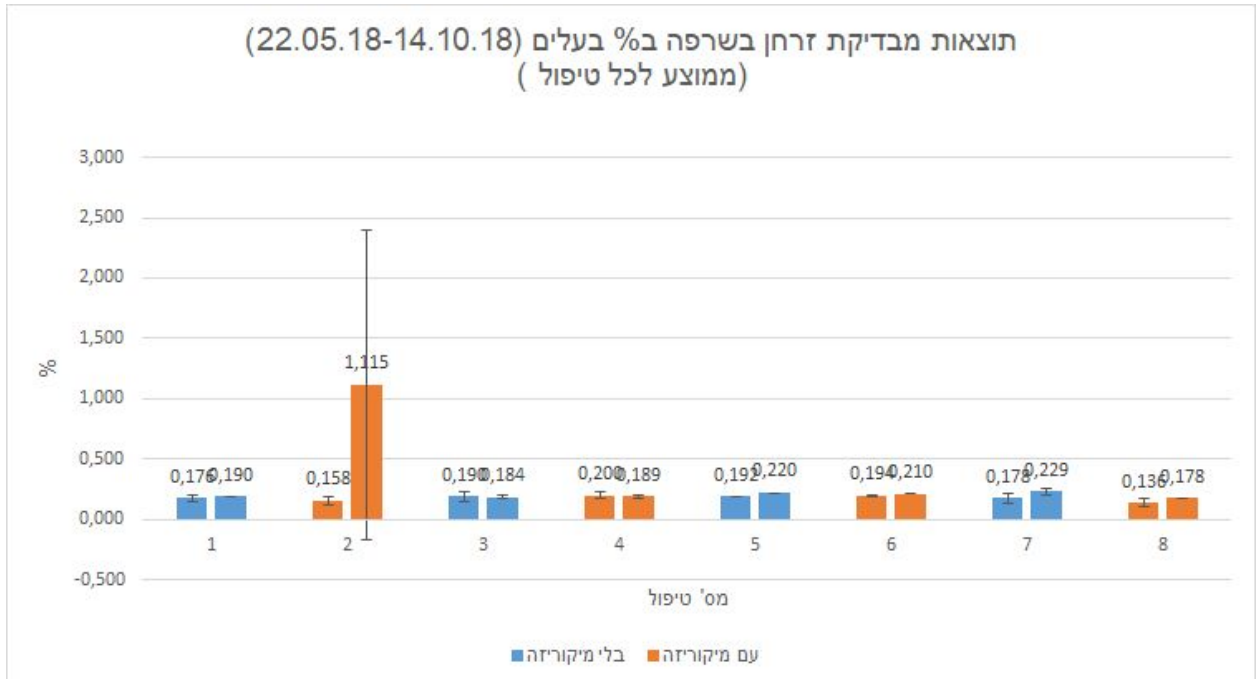
הגרפים משווים את ריכוזי חנקן בעלים ובקרקע בשני תאריכים 22.5.18 ו- 14.10.18 (עמודה ימנית ועמודה שמאלית בכל טיפול בהתאמה) בכל הטיפולים עם ובלי מיקוריזה. ציר X מייצג את ריכוז החנקן (קרקע - מ"ג/ליטר מומס, עלים - %) צבע כתום מראה טיפול שאוכלס במיקוריזה, צבע תכלת- טיפול ללא מיקוריזה. טיפולים 1-2: (מלח נמוך 400 ppm זרחן נמוך 88 ppm). טיפולים 3-4 : (מלח נמוך 400 ppm זרחן גבוה 180 ppm) טיפולים 5-6 (מליחות גבוה 800 ppm זרחן נמוך) (88 ppm) טיפולים 7-8 (מלח גבוה 800 ppm זרחן גבוה 180 ppm).

מהשוואה בין שני הגרפים ניתן לראות בצורה עקבית שכאשר ריכוז החנקן בעלים נמוך בהשוואה לשאר הטיפולים ריכוז החנקן בקרקע גבוהה ולהפך מה יכול להצביע על כך שהחנקן נקלט בצמח. לא ניתן לראות יתרון מובהק בקליטת חנקן בעלים לצמחים אשר אוכלסו במיקוריזה לא משנה באיזה טיפול ואפילו להיפך - לדגומא טיפול 8. לא ניתן ללמוד מהגרף על השפעת המיקוריזה במקרה זה. לפי אוניברסיטת קליפורניה (Division of Agriculture and Natural Resources University of California, 2000) טווח נורמה של ריכוזי חנקן בעלים כמדד לגידול, הוא בין 1.6 עד 2.4. ריכוז מוגבר גורם לשיבוש ריכוזי יסודות אחרים הצטברות בשכבות קרקע ומי תהום.

זרחן:



גרף מס' 20: משוואה ריכוזי זרחן במ"ג/ק"ג בקרקע (ממוצע של שני עצים לכל טיפול).

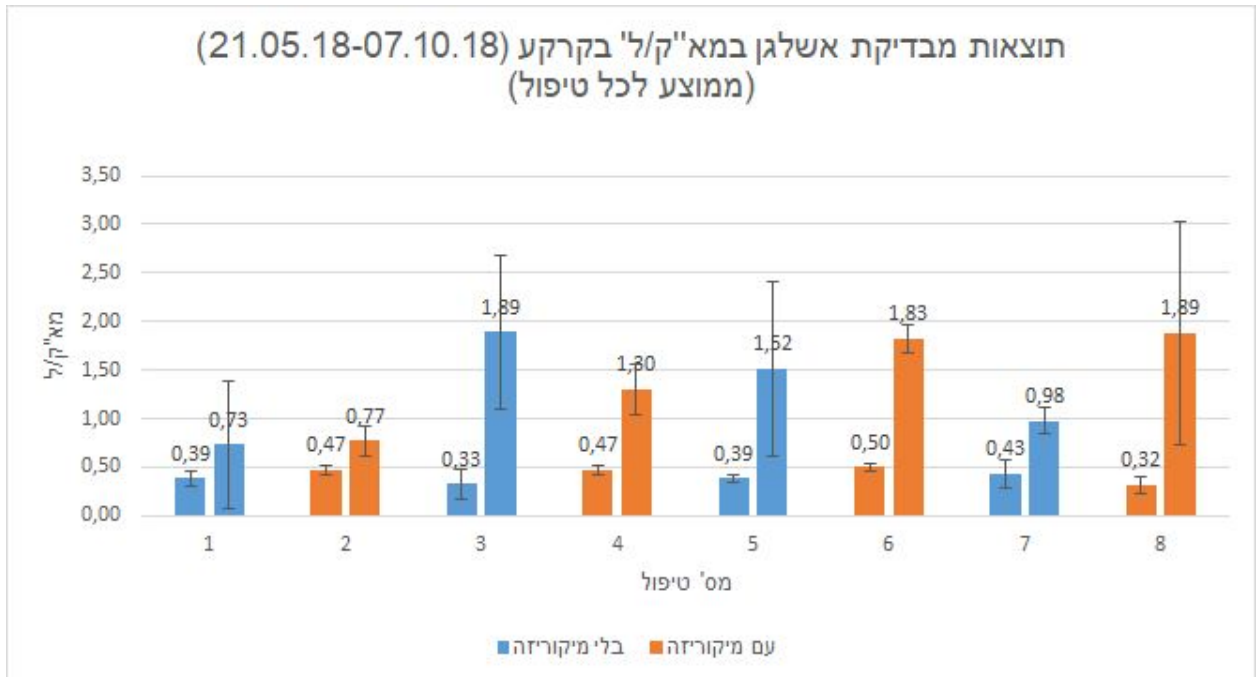


גרף מס' 21: משוואה ריכוזי זרחן ב% בעלים (ממוצע של שני עצים לכל טיפול).

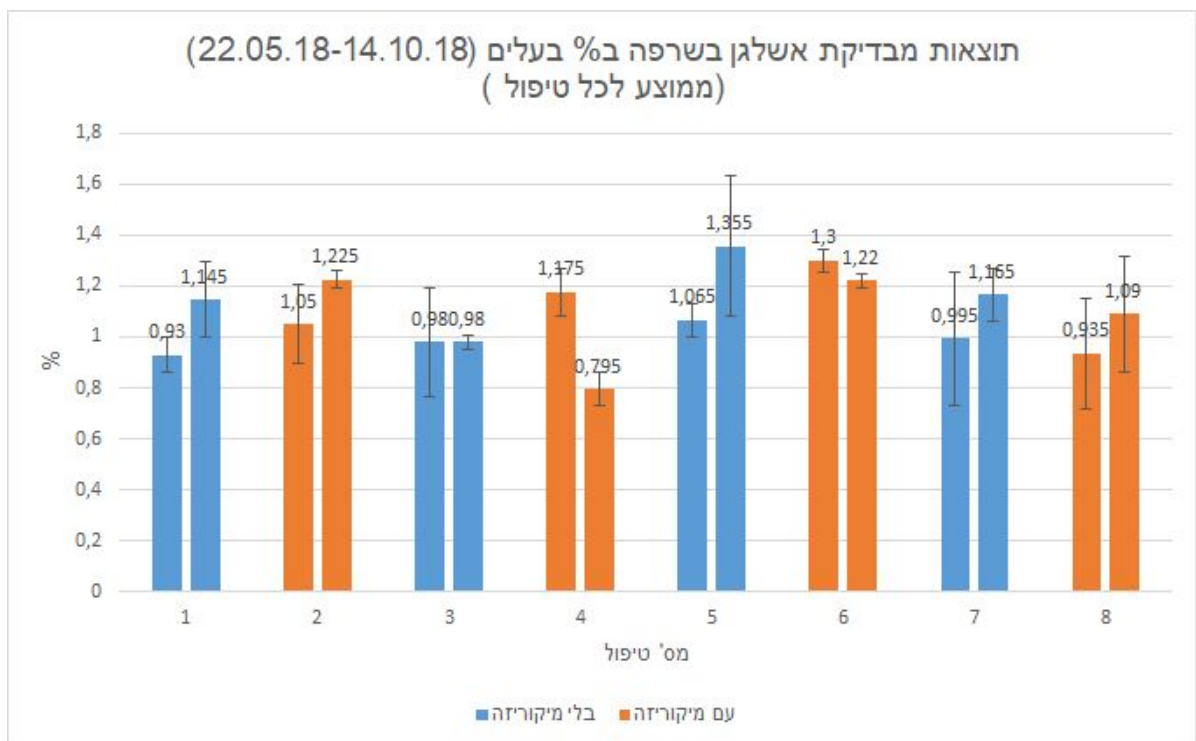
הגרפים משווים את ריכוזי הזרחן בעלים ובקרקע בשני תאריכים 14.10.18 ו- 22.5.18 (עמודה ימנית ועמודה שמאלית בכל טיפול בהתאמה) בכל הטיפולים עם ובלי מיקוריזה. ציר X מייצג את ריכוז הזרחן (קרקע - מ"ג/ליטר מומס, עלים - %) צבע כתום מראה טיפול שאוכלס במיקוריזה, צבע תכלת- טיפול ללא מיקוריזה. טיפולים 1-2: (מלח נמוך 400 ppm זרחן נמוך 88 ppm). טיפולים 3-4: (מלח נמוך 400 ppm זרחן גבוה 180 ppm) טיפולים 5-6 (מליחות גבוה 800 ppm זרחן נמוך) (88 ppm) טיפולים 7-8 (מלח גבוה 800 ppm זרחן גבוה 180 ppm).

בניגוד לגרף עם חנקן, בגרף זה לא ניתן לראות שככל שריכוז זרחן היה נמוך בקרקע, בעלים הוא היה גבוה. כדוגמה- בדיקה שנייה של טיפול 8. אבל מה שכן נצפה, זה קורלציה בין ריכוז זרחן לחנקן שאומר משטר חנקן גבוה בעלים ישפר משטר זרחן בעלים. (Haas and Brusca 1955) -למשל ריכוזי חנקן וזרחן גבוהים בטיפולים 2 ו 7, נמוכים ב 1 ו 8. חשוב לציין קפיצה סטטיסטית בבדיקה שנייה של טיפול 2 משום שעץ ראשון הראה רכיז 0.02% ושני -2%. לתוצאה זו אנו לא מתייחסים. בגדול גרף זה מראה כי אין השפעה לנוכחות המיקוריזה על קליטת הזרחן לצמח.

אשלגן:



גרף מס' 22: משוואה ריכוזי אשלגן במא"ק/ל בקרקע (ממוצע של שני עצים לכל טיפול).



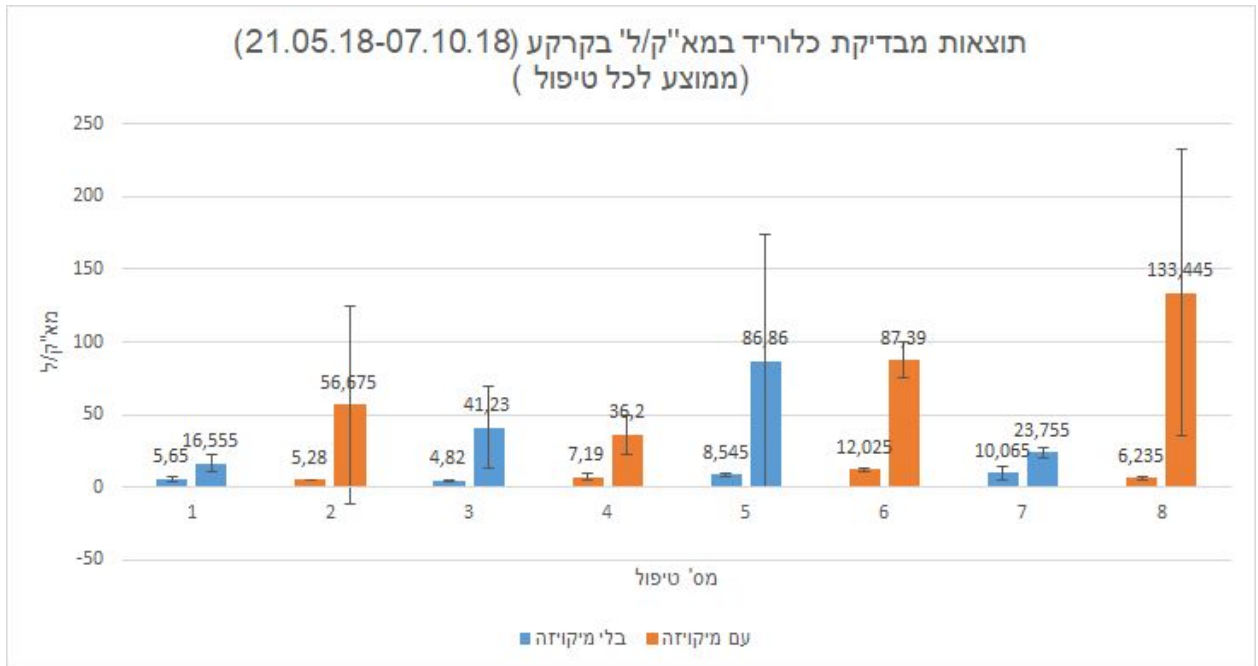
גרף מס' 23: משוואה ריכוזי אשלגן ב% בעלים (ממוצע של שני עצים לכל טיפול).

הגרפים משווים את ריכוזי האשלגן בעלים ובקרקע בשני תאריכים 14.10.18 ו- 22.5.18 (עמודה ימנית ועמודה שמאלית בכל טיפול בהתאמה) בכל הטיפולים עם ובלי מיקוריזה. ציר X מייצג את ריכוז האשלגן (קרקע מא"ק/ליטר מומס, עלים -%) הצבע הכתום מראה את הטיפולים שאוכלסו במיקוריזה, הצבע התכלת- טיפול ללא מיקוריזה. טיפולים 1-2: (מלח נמוך 400 ppm זרחן נמוך 88 ppm). טיפולים 3-4: (מלח נמוך 400 ppm זרחן גבוה 180 ppm) טיפולים 5-6 (מליחות גבוהה 800 ppm זרחן נמוך 88 ppm) טיפולים 7-8 (מלח גבוה 800 ppm זרחן גבוה 180 ppm).

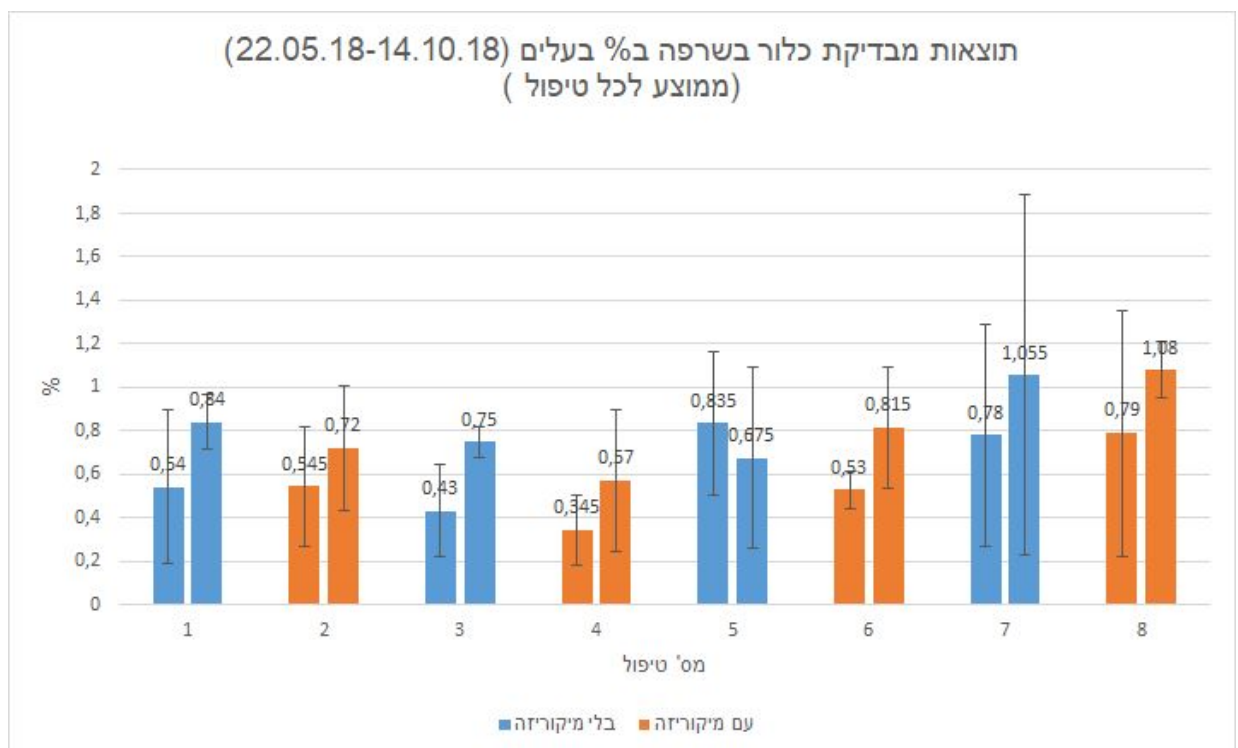
הגרף משווה את ריכוז האשלגן בקרקע מול ריכוז האשלגן בעלים. בניגוד למה שהייתי מצפה, ניתן לראות בגרף שככל שיש יותר אשלגן בקרקע כך יש יותר אשלגן בעלים. אני מניח שהצטברות האשלגן בקרקע נובעת מדישון עודף ולכן בניגוד לגרף החנקן ככל שיש יותר אשלגן בקרקע כך גם בעלים ולא להפך. לא ניתן לראות השפעה לנוכחות המיקוריזה על ספיגת האשלגן לעלים, דרך השוואה בין הטיפולים אשר אוכלסו במיקוריזה ואלו שלא.

ההסבר אפשרי לכך הוא שריכוז מוגבר של נתרן בקרקע מונע את קליטת האשלגן לצמח, ניתן לראות בטיפולים 7-8 שבהם היה ריכוז גבוהה של נתרן בקרקע, לעומתם בגרפים 5-6 היתה השפעה פחותה כנראה בגלל ריכוזי הזרחן המופחתים שגם הם מפריעים לקליטת אשלגן בריכוזים גבוהים. נתונים הסותרים את השערתו של אלסן (Ehsan Tavakkoli 2010) על השפעת שלילית של יוני Na^+ על קליטת יוני K^+ לתוך הצמח.

כלור:



גרף מס' 24: משוואה ריכוזי כלור במא"ק/ל בקרקע (ממוצע של שני עצים לכל טיפול).

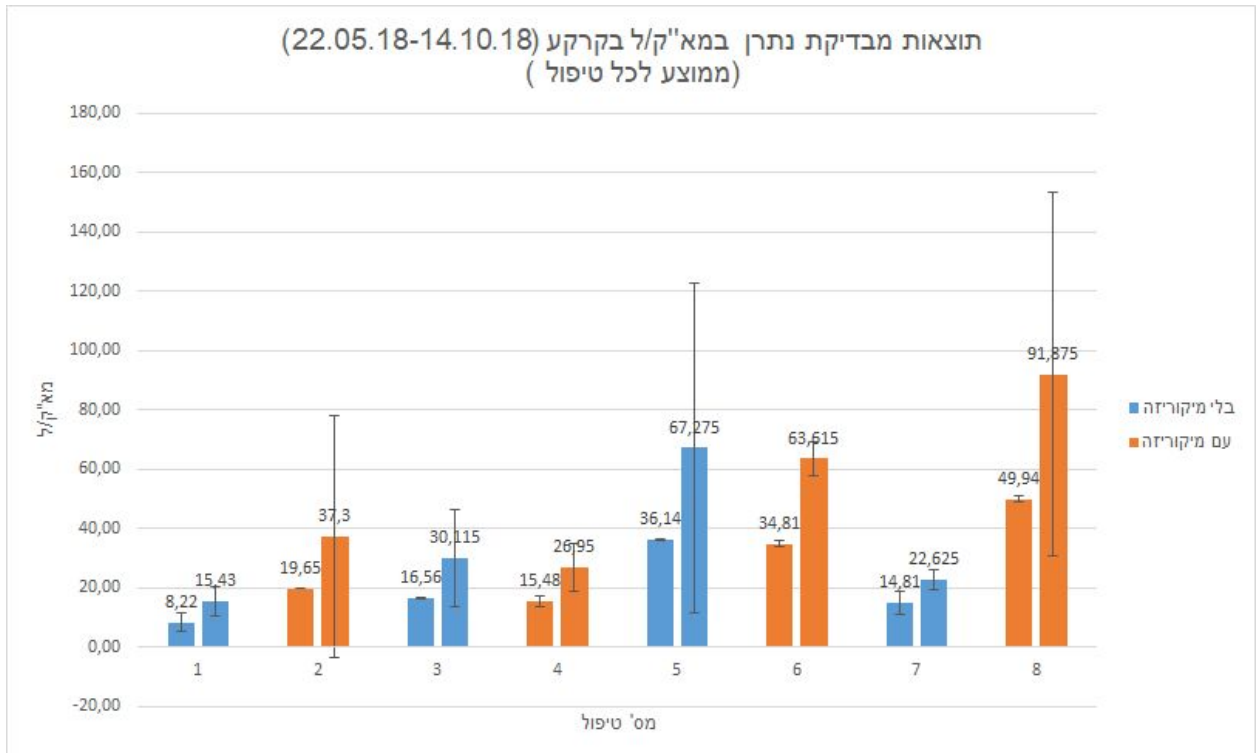


גרף מס' 25: משוואה ריכוזי כלור ב% בעלים (ממוצע של שני עצים לכל טיפול).

הגרפים משווים את ריכוזי הכלור בעלים ובקרקע בשני תאריכים 14.10.18 ו- 22.5.18 (עמודה ימנית ועמודה שמאלית בכל טיפול בהתאמה) בכל הטיפולים עם ובלי מיקוריזה. ציר X מייצג את ריכוז ההכלוריד (קרקע מא"ק/ליטר מומס, עלים-%) הצבע הכתום מראה את הטיפולים שאוכלס במיקוריזה, הצבע התכלת- טיפולים ללא מיקוריזה. טיפולים 1-2: (מלח נמוך 400 ppm זרחן נמוך 88 ppm). טיפולים 3-4 : (מלח נמוך 400 ppm זרחן גבוה 180 ppm) טיפולים 5-6 (מליחות גבוהה 800 ppm זרחן נמוך 88 ppm) טיפולים 7-8 (מלח גבוה 800 ppm זרחן גבוה 180 ppm).

הגרף משווה את ריכוזי הכלוריד בקרקע מול ריכוזו בעלים ויכול להעיד על ההשפעה של מיקוריזה על העברתו מהקרקע לצמח (כלור יכול להיות רעיל לצמח בריכוזים גבוהים). ניתן לראות מנגנון קליטה חיובי (ככל שריכוז כלוריד בקרקע היה גבוה, ריכוזו בעלים נשאר גבוה, למעט טיפול 5). כפי שנראה בגרף, לא ניתן לומר שהמיקוריזה משפיעה באופן חד משמעי על קליטת כלור לתוך הצמח. לדוגמה בטיפולים 1-2, 3-4, 5-6 שתי בדיקות נוגדות אחד לשניה. בטיפול 7 בבדיקה שנייה בולטת שגיאה סטטיסטית בין שני העצים באותו טיפול. בין הטיפולים 7-8 לא נצפה הבדל. לפיכך, מהגרף קשה להסיק מסקנה על השפעת המיקוריזה על קליטת כלור לתוך הצמח, באופן כללי ניתן לראות ריכוזי כלור קטנים יותר בטיפולים שאכלסו במיקוריזה לעומת אלו שלא.

נתרן בקרקע:



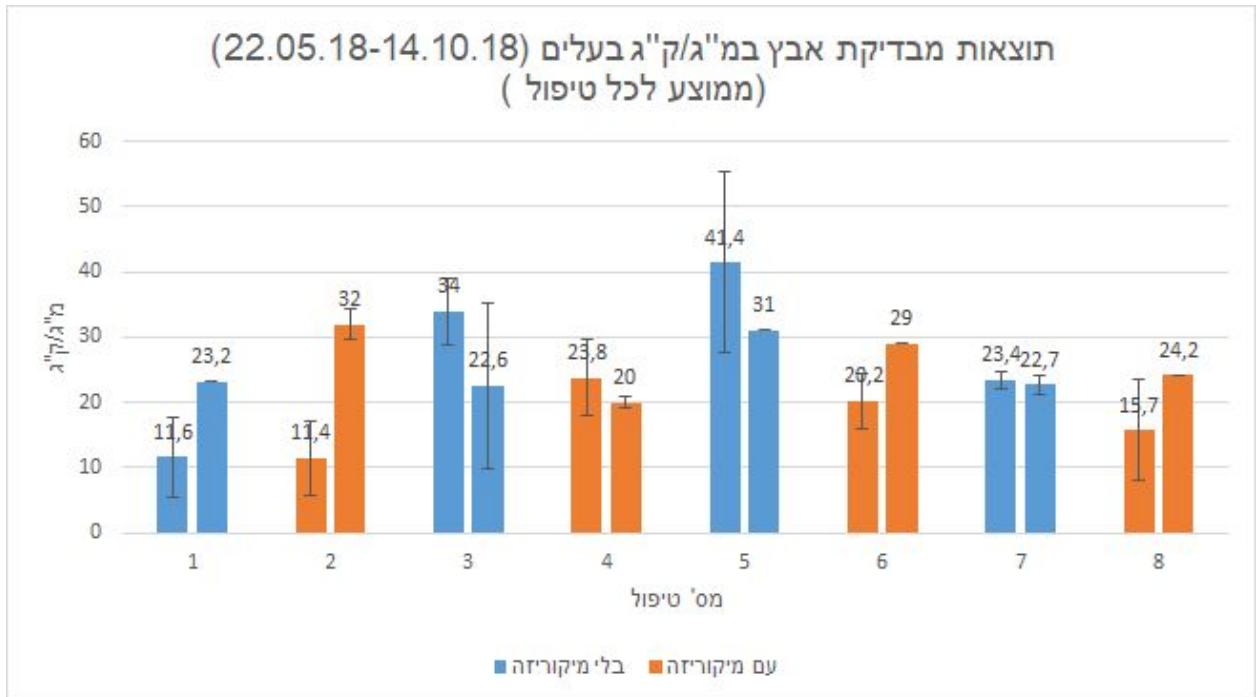
גרף מס' 26: משווה ריכוזי נתרן במא"ק/ק' בקרקע (ממוצע של שני עצים לכל טיפול).

הגרפים מראה את ריכוזי הנתרן בקרקע בשני תאריכים 22.5.18 ו- 14.10.18 (עמודה ימנית ועמודה שמאלית בכל טיפול בהתאמה) בכל הטיפולים עם ובלי מיקוריזה. ציר X מייצג את ריכוז הנתרן בקרקע (מא"ק). הצבע הכתום מראה את הטיפולים שאוכלס במיקוריזה, הצבע הכחול-טיפולים ללא מיקוריזה. טיפולים 1-2: (מלח נמוך 400 ppm זרחן נמוך 88 ppm). טיפולים 3-4: (מלח נמוך 400 ppm זרחן גבוה 180 ppm) טיפולים 5-6 (מליחות גבוהה 800 ppm זרחן נמוך 88 ppm) טיפולים 7-8 (מלח גבוה 800 ppm זרחן גבוה 180 ppm).

לפי (Kevin Garcia, Sabin D. Zimmermann 2014) לנוכחות מיקוריזה בקרקע יש השפעה על הומאוסטזיס בין Na^+ ל- K^+ . לא ניתן לצפות במנגנון זה ברגפים הנ"ל.

בגרף ניתן לראות שבהתאם לתנאים אותם נתנו לטיפולים 5,6,8 (מלח גבוהה) ריכוזי הנתרן בקרקע היו גבוהים. בגלל טווח נתונים גבוהה בטיפולים 2,5,8 ולא ניתן לראות תוצאות מובהקות. בשאר הטיפולים לא ניתן לראות השפעה לנוכחות המיקוריזה על קליטת הנתרן בעלים.

אבץ בעלים:



גרף מס' 27: משוואה ריכוזי אבץ במ"ג/ק"ג בעלים (ממוצע של שני עצים לכל טיפול).

הגרף מראה את ריכוז האבץ בעלים בשני תאריכים 22.5.18 ו- 14.10.18 (עמודה ימנית ועמודה שמאלית בכל טיפול בהתאמה) בכל הטיפולים עם ובלי מיקוריזה. ציר X מייצג את ריכוז האבץ בעלים (מ"ג/ק"ג). הצבע הכתום מראה את הטיפולים שאוכלס במיקוריזה, הצבע הכחול- טיפולים ללא מיקוריזה. טיפולים 1-2: (מלח נמוך 400 ppm זרחן נמוך 88 ppm). טיפולים 3-4: (מלח נמוך 400 ppm זרחן גבוה 180 ppm) טיפולים 5-6 (מליחות גבוהה 800 ppm זרחן נמוך 88 ppm) טיפולים 7-8 (מלח גבוה 800 ppm זרחן גבוה 180 ppm).

כשאר התמקדנו בהשפעת דשנים על קרקעות ציינו כי ריכוזי זרחן מוגברים מצטברים בקרקע ואף יכולים להפחית זמינות אבץ לקליטה. על סמך העובדה שלא ראינו עזרת מיקוריזה בליטת זרחן לצמח, במקביל בטיפולים כמו 3 ו 7 ראינו הצטברות מוגזמת של זרחן בקרקע (אבל לא הייתה קליטה לעלים) סביר לדון על אבץ.

לא ניתן לראות השפעה מובהקת לנוכחות המיקוריזה על ריכוזי האבץ בעלים למעט אולי בהשוואה בין טיפולים 1-2. יכול להיות בהשוואה בין ריכוזי האבץ בעלים לגרף ריכוזי הזרחן בקרקע אפשר

לראות קורלציה בין ריכוז זרחן גבוהה בקרקע לריכוז אבץ נמוך בעלים דבר היכול להצביע על כך שריכוז זרחן מוגבר מונע קליטה של אבץ לצמח. דבר התומך תיאוריות אחרות. כמו (Afanasyeva L. 2010).

7. דיון ומסקנות

בניסוי יצאנו לבדוק:

- 1) מה תהייה ההשפעה של תנאי העקה השונים (מלח ודשן זרחתי) על מדדי הגידול של האבוקדו?
 - 2) מהי השפעת איכלוס המיקוריזה על גדילת צמחי האבוקדו בתנאי ריכוזי מלח ודשן משתנים?
 - 3) מהי תהייה השפעת תנאי עקה של המלח והדשן בריכוזים משתנים על התפתחות המיקוריזה בבית השורשים? (לפי חברת ground work, אכלוס משמעותי הוא מעבר ל-15%, מיקוריזה פר"ס"מ).
- כמו שנאמר בפרק התוצאות יכול להיות שישנה בעיה באופן בדיקות האכלוס בקרקע ולמרות זאת נתייחס אליהן כמדד להמצאות הפטרייה בקרקע. בדיקות האכלוס הראו נוכחות דומה (הבדלים של עד 5 %) של מיקוריזה בטיפולים 3-4, 5-6 ו- 7-8 (כל צמד קיבל את אותם התנאים אחד אוכלס בפטרייה והשני לא) מה שאומר שהייתה נוכחות של מיקוריזה בין אם איכלסנו ובין אם לא. ובכלל אחוזי האכלוס למרות שהיו משמעותיים (30%) לפי הפרוטוקול של חברת GROUNDWORK היו נמוכים משמעותית מהאכלוס בטיפול 2 (70%). אני נוטה לשייך את ההבדל הניכר באחוזי האכלוס לתנאים הקשים בהם גדלנו את העצים והפטרייה ולשילוב בין המלח לזרחן בקרקע, טיפולים 1-2 קיבלו את התנאים הגרועים פחות מכל הטיפולים ובהם ניתן לראות הבדל מובהק באחוזי האכלוס לטובת העצים שאוכלסו (6%-71%). נתונים התומכים בהשערותינו בהם טענו שהתפתחות הפטרייה והצמח יפגעו ככל שריכוזי המלח והדשן הזרחתי יהיו גבוהים. נתונים אלו יכולים להסביר גם את הנמצא בבדיקות עובי הגזע, התארכות הגבעול ובדיקות היסודות בקרקע ובעלים, המראות תוצאות דומות בטיפולים 3-8 (בהם אחד מהפרמטרים -דשן/מלח היה גבוה) בין העצים שאוכלסו במיקוריזה ובין אלו שלא ובכלל הראו תוצאות דומות בצימוח של העצים, ומראות תוצאות שונות מאוד במדדי עובי הגזע בין טיפולים 1-2 בהם היה הבדל משמעותי באחוזי האכלוס. ההשערה שלי היא שנוכחות המיקוריזה בטיפולים שלא אוכלסו בפטרייה יכולה לנבוע משני גורמים, יכול להיות שישנה נוכחות טבעית של פטריות מיקוריזה ממינים שונים בקרקע בלי קשר לאכלוס שלנו וגם הם מופיעים בבדיקות המיקרוסקופ או שישנה בעיה באופן בו מתבצעת הבדיקה עליה נרחיב בסוף הדיון. תוצאות הבדיקות הראו שלריכוזי המלח והדשן השונים אין השפעה על הצימוח החדש של ענפי האבוקדו, נתון התואם את המסקנות של המחקר של נירי ברנשטיין (2009). בנוסף אין מובהקות מספקת בבדיקה הסטטיסטית כדי להתייחס לתוצאות מבדיקות התארכות הגבעול. ולכן גם איננו

יודעים לומר האם למיקוריזה השפעה כלשהי על התארכות הגבעול. מהתוצאות ניתן ללמוד שלריכוזי המלח והזרחן יש השפעה ניכרת על עובי הגזע, במיוחד בולטת ההשפעה בשילובים השונים בין ריכוזי הזרחן הגבוה (188PPM) לריכוזי המלח השונים. דבר שהפגיע אותנו מעט, לא ציפינו שלריכוזי הזרחן תהייה השפעה כל כך משמעותית על הצמח. כן ניתן לראות שלנוכחות המיקוריזה הייתה השפעה חיובית על מדד עובי הגזע בהשוואה בין טיפול 1-2 שקיבלו את אותם התנאים ובהם היה הבדל מובהק באחוזי האכלוס (טיפול 2 71%, טיפול 1 6%) בטיפולים אלו ישנה קורלציה בין נוכחות הפטרייה בקרקע לבין התעבות הגזעים לאורך הניסוי. ולמרות כך קשה להסיק בצורה מובהקת על תרומת המיקוריזה להתעבות הגזעים מכיוון שמדובר על השוואה בין שני טיפולים בלבד, זאת בגלל שבשאר הטיפולים לא היה הבדל באחוזי האכלוס. בהשוואה בין טיפול 2 לטיפול 4 אשר קבלו את אותם תנאי המלח (מלח נמוך 400PPM) אך תנאי זרחן שונים ניתן לראות פגיעה בהתעבות הגזע בטיפול 4 בו ריכוזי הזרחן הם מעל לפרוטוקול הגידול של האבוקדו, אני לומד מכך שריכוזי הזרחן הגבוהים יותר פוגעים במיקוריזה ובכך מונעים ממנה לתמוך בעץ, בהתחשב בהבדלים באחוזי האכלוס בין הטיפולים (26% בטיפול 4 ו- 21% בטיפול 2). לא ראינו השפעה של המיקוריזה על קליטת יסודות מאקרו מהקרקע לעלים, נתון הסותר את ההשערה שלנו המבוססת על מחקרים מדעיים (Sudeshna Bhattacharjya 2014 | D. Dayninger 2010 | Nikolai Bityutsky 2014) שאומרת שלמיקוריזה השפעה חיובית על זמינות וקליטת זרחן מהקרקע לצמח, ע"י הפיכתו לזמין. לדעתי דבר זה יכול לנבוע מכך שהשתמשנו בדשן מומס בו הזרחן נמצא במצב יוני. לא ראינו השפעה של המיקוריזה על קליטת יסודות מיקרו לעצים, גם לא נתרן וכלור שניתנו בעודף כתוצאה מתנאי ההמלחה.

באופן כללי למרות שעצי האבוקדו שרדו בתנאי המליחות הגבוהים בהשקיה, סביר להניח שאם היינו ממשיכים את הניסוי ריכוזי המלח בקרקע היו גדלים והעצים היו מתים. עוד ראינו שלמיקוריזה ישנם תנאי סף בהם היא יכולה לגדול ולתפקד כראוי ולעזור לעץ להתמודד עם תנאים שונים של דשן זרחתי, יכולת המושפעת מאוד משילובים עם מלח. קשה להסיק מכך אם המיקוריזה יכולה לעזור לפתור את בעיית גידול האבוקדו בשטחים בהם מדשנים בריכוזים לא מדויקים תמיד ומשקים במים מושבים עם ריכוזי מנרלים גבוהים, ההולכים ונהפכים מלוחים יותר ויותר עם הזמן. יכול להיות שעצי האבוקדו פשוט לא מפתחים קשר סמביוטי מועיל עם סוג זה של מיקוריזה.

8. המלצות למחקר המשך:

במהלך הניסוי ביצעתי שתי בדיקות של איכלוס המיקוריזה בקרקע, ישנה בעיה בבדיקות אלו המסתמכות על התבוננות בשורשי העץ הצבועים במיקרוסקופ. הבעיה נובעת מהקושי בזיהוי המייסילים וקביעה האם באמת מדובר בפטריית מיקוריזה ואם מיקוריזה מאיזה סוג ומין. למחקר המשך הייתי ממליץ לפתח שיטה יותר מדויקת לביסוס רמת האכלוס של המיקוריזה בקרקע. למשל פענוח רצף הגנום של הסוג והמין הספציפיים ושימוש ב-Real Time PCR. השיטה יותר מהירה ולכן יכולה לאפשר לקחת יותר דגימות מה שיריד את הסטטיסטיקה לטעויות.

הייתי ממליץ להשתמש בבדיקת מוהל העלים לצורך קביעת ריכוזי יסודות ההזנה ולא בבדיקות השרפה הרגילות, ד"ר אבנאי (הרצאה על דישון יתר, מייל: idoaviani@gmail.com) מראה שישנו חוסר דיוק בבדיקות ריכוזי יסודות בשריפת העלים בגלל שהן מראות את ריכוזי היסודות הכללי כולל את היסודות שכבר מקובעים לתאי הצמח ולא את אלו הזמינים לצמח לשימוש מיידי. עוד צריך להשוות את הפוטנציאל בין עלים חדשים לעלים ישנים כדי להבין באמת מה קורה בצמח, בגלל התופעה בה צמחים מזיזים יסודות הזנה שונים בתנאי עקה שונים מעלים חדשים לישנים ולהפך. בניסוי זה השתמשנו בדשנים מומסים, דבר שיכול היה להשפיע על תוצאות הקשורות בדשן הזרחתי. דשן זה זמין לצמח רק במצב יוני (נוזלי) ולכן אם היינו משתמשים בדשנים מוצקים או זרחן אורגני שאינו זמין לצמח בצורתו הטבעית הינו לומדים האם המיקוריזה יכולה לתמוך בגידול העץ בהקשר לזרחן בתנאים המדגימים יותר את התנאים בשדה.

במחקר שלנו למדנו שהמיקוריזה עלולה לסבול מהתנאים שהחקלאים יוצרים בשדה שלהם בשיטות העיבוד השגרתיות (דישון לפי פרוטוקול, השקיה במים מושבים, חריש וכו'). עוד למדנו שלקשר הסמביוטי בין המיקוריזה לעצים ישנה השפעה חיובית מסוימת על הגידול. אני ממליץ על מחקר המשך שיתמקד בחיפוש התנאים האופטימליים לקיום הקשר הסימביוטי בין המיקוריזה (כל סוג) והפונדקאי (כל סוג). מתוך הבנה שכאשר המיקוריזה משגשגת גדלה יכולת הצמח הפונדקאי להתמודד עם תנאי עקה. במחקר זה הייתי ממליץ למדוד את רמות אכלוס המיקוריזה בקרקע ביתר דקדוק ולא את מדדי הצימוח של הפונדקאי, המראים את מצב המיקוריזה בדרך עקיפה.

מחקרים נוספים יכולים גם להתמקד בעמידות מיקוריזה לתנאי שדה המיוחדים לישראל, כלומר לבדוק עמידותה לגשמים חזקים, שינויי אקלים קיצוניים, סוגים שונים של קרקעות וכמובן עמידות לפעילות החקלאי בחלקה שלו (במיוחד עמידות לדישון יתר אשר נפוץ כיום בחקלאות).

אף על פי המורפולוגיה המיוחדת של שורשי האבוקדו חסרי היונקות שהובילו אותנו להאמין שהמיקוריזה תתרום לו רבות, לא ראינו תרומה בולטת. הייתי ממליץ לחזור שוב על ניסוי דומה בו נבדק הקשר בין אבוקדו לבין מיקוריזה מסוג שונה, מכיוון שצריכה להיות התאמה מבנית בין קרומי התאים של המיקוריזה והפונדקאי שיכול להיות שלא היתה בשיאה עם סוג זה.

עוד מעניין אותי ללמוד על הסימביוזה בין הסחלבים לבין סוגי המיקוריזה מיוחדים רק למשפחה זאת (מיקוריזה של סחלביים). מה הגורמים הגנטיים הגורמים לסחלבים להכנס לסימביוזה מיוחדת עם מיקוריזה של סחלביים והאם אפשר להתאים מיקוריזה זאת לגידולים אחרים?

9. מקורות מידע

1. וולדימיר מירלס, המלחת קרקע, משרד החקלאות, אגף שימור קרקע וניקוז המדריך המקצועי, 2013. אוחר מתוך: 24.10.2018.
2. יורם איזנשטדט, עקרונות הזנה בצמחים. שרות שדה, שה"ם, משרד החקלאות ופיתוח הכפר, אוחר מתוך: 26.1.2016.
3. לנה כץ, השווקים לאבוקדו בישראל - סקירה תקופתית. משרד החקלאות ופיתוח הכפר, 2015. אוחר מתוך: 24.10.2018.
4. משרד החקלאות ופיתוח הכפר הרשות לתכנון ופיתוח החקלאות ההתיישבות והכפר, מסמך מדיניות תכנון החקלאות והכפר בישראל - כרך א - דו"ח 1 אפיון, מיפוי ומגמות, 2015, אוחר מתוך: 24.01.2018.
5. נירית ברנשטיין, אברהם מאירי, השפעות מליחות על צימוח עצי אבוקדו, המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני. נובמבר 2009. אוחר מתוך: 07.02.2019.
6. A. R. C. Haas and Joseph N. Brusca, PHOSPHATE RESPONSE IN AVOCADO TREES, California Avocado Society 1955.
7. A. Vengosh, E. Rosenthal, Saline groundwater in Israel: its bearing on the water crisis in the country, Research Division, Hydrological Service of Israel, 17 August 1993.
8. Division of Agriculture and Natural Resources University of California . Avocado Leaf Analysis - 2000, 19.01.2019.
9. Ehsan Tavakkoli, Pichu Rengasamy, and Glenn K. McDonald, High concentrations of Na⁺ and Cl⁻ ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress, NCBI, Published online 2010 Aug 16.
10. Food and Agriculture Organization, *How to Feed the World in 2050*, 2009. Retrieved from: 15.11.2017
11. J. Vicente-Sánchez · E. Nicolás · F. Pedrero · J. J. Alarcón · J. F. Maestre-Valero · F. Fernández, *Arbuscular mycorrhizal symbiosis alleviates detrimental effects of saline reclaimed*

water in lettuce plants, published online: 28 November 2013, SYMBORG.SL, Campus de Espinardo 7. Edificio CEEIM, CP 30100 Murcia, Spain. Retrieved from: 24.01.2018

12. Kevin Garcia, Sabin D. Zimmerman, The role of mycorrhizal associations in plant potassium nutrition, *Biochimie et Physiologie Moléculaire des Plantes*, UMR 5004 CNRS/INRA/SupAgro/UM2, 2014 Jul 17, Montpellier, France.

13. López, M. F., Dietz, S., Grunze, N., Bloeschies, J., Weiss, M., and Nehls, U., The sugar porter gene family of *Laccaria bicolor*: function in ectomycorrhizal symbiosis and soil-growing hypha, 2008, n.p.

14. Robert M. Augé, Heather D. Toler, and Arnold M. Saxton, Arbuscular mycorrhizal symbiosis and osmotic adjustment in response to NaCl stress: a meta-analysis, 2014, Department of Plant Sciences, University of Tennessee, Knoxville, TN, USA.

15. Smith, Sally E.; Read, David J., *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press. ISBN 978-0-08-055934-6., 26 July 2010, n.p. Retrieved from (24.01.2018)

16. Sudeshna Bhattacharjya January, *Arbuscular Mycorrhizae: Status and Potential*, Indian Institute of Soil Science, 2014.

17. Tony Provin and J.L. Pitt. *Managing Soil Salinity*. AgriLife Extension Texas A&M System, n.d. Retrieved from: 07.02.2019.

18. Wang, B.; Qiu, Y.L., Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. July 2006, n.p. Retrieved from (24.01.2018)

19. Z. Jonah, E. Chirner, Professor D. Dayninger. (2010), РОЛЬ МИКОРИЗЫ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ, 2003, n.p. Retrieved from: 24.01.2018

20. Афанасьева Л. Ю., «Скрытое отрицательное действие удобрений», Проверила Букарева О. В., Кубанский государственный университет Биологический факультет, Краснодар, 2010. Retrieved from 24.10.2018

21. Ганеев И. Г., Ремедиация и рекультивация техногенно деградированных земель, ОГУ. – 2009. – No 6. – С. 554–557.
22. Карнаухов Н. И., Мелиорация солонцов, Иркутский государственный институт, Иркутск, 1980, С.95.
23. Ковда В. А., Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира, Наука, 2008. – 415 с.
24. Ковда В. А., Происхождение и режим засоленных почв, Изд-во АН СССР, 1946. – Т. 1. – 568 с.; 1947. – Т. 2. – 375 с.
25. Киричева, Промывка почв // Мелиоративная энциклопедия, Российский научно-исследовательский институт информационно-техничко-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса. Москва, 2004. С 57. Retrieved from: 24.10.2018
26. Любимова И. Н. Солончак // Мелиоративная энциклопедия. – М. : Росинформагротех, 2004. – Т. 3. – С. 200.
27. Николай Битюций, *Минеральное питание растений*, ISBN: 978-5-288-05527-0, 2014, Санкт-Петербургский государственный университет. Retrieved from (24.01.2018)
28. Н.Н Ушаков , Редактор: И.В Лебедев, Справочник для инженеров и мастеров по производству взрывчатых веществ, ОНТИ, госхимтехиздат, Москва, 1934.
29. О. Г. Лопатовская, А. А. Сугаченко, учебное пособие: МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ-ЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ, Министерство образования и науки Российской Федерации ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет», Биолого-почвенный факультет, Иркутск, 2010. Retrieved from 24.09.2018
30. Ольгаренко Г. В. Химическая мелиорация // Мелиоративная энциклопедия. – М. : Росинформагротех, 2004. – Т. 3. – С. 361–363.
31. Полуэктов Е. В. Солеустойчивость растений // Мелиоративная энциклопедия, Росинформагротех, 2004. – Т. 3. – С. 197.

10. נספחים

נספח 1: יומן הניסוי:

1) השגת חומר חי הנבדק בניסוי.
בתאריך 07.02.2018 הבאנו לחממה 56 שתילי אבוקדו מזן האס על כנה 17 ממשלת חזקלברג בכפר ויתקין. במהלך החודש הראשון השקינו את הצמחים באופן ידני.

2) 28.2.18 ארז, אדווה (יועצת מיקוריזה מחברת גראונד וורק) ואני קיימנו פגישת עבודה בנושא תכנון הניסוי.

סיכום הפגישה:

- א. הוחלטו המינונים של הכלורידים, חישבנו כמות המלח שולחן הנחוץ על מנת להשיג את מינון הכלורידים הרצוי. התברר שכדי להכניס 250 גרם כלור נקי צריך להוסיף 404.78 גרם מלח שולחן.
- ב. הוחלט להשתמש בקרקע מקומית במקום מצע גן.
- ג. הוחלט על ריכוזי דשן.
- ד. נקבע שיטה ליצור מצב 0 של אכלוס המיקוריזה בקרקע לפני תחילת הניסוי. תתבצע בדיקה של מצב האכלוס והאם הערכים שלה יהיו מעל X אחוז, יתבצע חיטוי קרקע בעזרת מי חמצן ב3 אחוז.
- ה. נקבעה פגישת עבודה נוספת ל11.03.2018 והקמת הניסוי ב14.03.2018.
- ו. התבצע חלוקת עבודה: ארז דאג למצע חמרה, שקים. אדווה דאגה לבירור לגבי ריכוזי הדשן אני דאגתי להשיג שחרור מהמחנך ולהקים צוות עבודה.

באותו היום הגיעו בתרומה 6 טון של טוף ממרום גולן אותם שינענו בשיטה מצרית עתיקה על גבי פלטות וגלילים. הטוף ישמש כמצע עליו יוקם הניסוי. כתותאה- פיזור טוף וקרקע אם עליו נקים את הניסוי.

3) דרך קשיים רבים הקשורים לשחרור עצמי מבית הספר ומתחרות רובוטיקה, שיחררתי גם והצוות עבודה שהקמתי - 6 מעבדנים האמיצים, האחריים וחכמים ביותר. הגעה לחממה עין שמר קרתה ב 11:15.

מיד ארז בירר לי את כמות העבודה וסוגיה שצריך להספיק לעשות, עד ההגעה של אוודה אני מיד ביצעתי חלוקת מעבדנים לשתי קבוצות והעמיד אחריי בכל מיהם - לאוניד ואיוון שכב עברו קורס הכנה.

עד 1:30 צוות אחד בהצלחה הכין קרקע להקמת הניסוי (4 מריצות אדמה מקומית לרלוונטיות של הניסוי בתנאי השדה + 4 מריצות מצא קרקע עם + 16 דליים טוף). צוות שני פינה את החלל בשביל הניסוי בפינת ההידרופוניקה - הצלנו כמה שיותר עצים: שטלנו בערך 30 סלרי מחד בעצצים עם אדמה ממערכת ההידרופונית.

שטלנו בערך 15 חסה מחד בעצצים עם אדמה ממערכת ההידרופונית.
שטלנו בערך 5 עצי עגבנייה מבוגרים בגובה של 2 מטר מחד בעצצים עם אדמה ממערכת ההידרופונית.

סגרנו ניסוי עם הידרופוניקה והעברנו ניסוי חיטה.
אני וארז ביקרנו הכנת קרקע עברה עצים מהידרופוניקה לגדילה באדמה.

אחרי הפסקת צהריים המשכנו עבודה ב2:00. פיזרנו מצא מוכן ל 24 שקי שטילה - ביקורת ללא מיקוריזה והכנסתי אותן למקום הניסוי.

2:30 באה אדווה. נעשה שיח יחד איתי ועם ארז על אכלוס 24 עצי אבוקדו מזן הס לפי תחנון. נעשה חישוב ויחסי העברה בין גרם לאכלוס בהתאם למוצר חברת גראונד ווארק: Rootella G™. הוא מכיל כמות מיקוריזה פעילה בצורת גרנולה ענקית. *c of glomus intraradices* -

2500 **יחידות פעילות** בגרם 1. הגענו להסכמה שכדי להגיע חאחוז אכלוס מספיק גהוה צריך לשפוך 18 גרם לכל עץ אבוקדו. בו זמני אני עם אדווה בעדינות חילקנו מיקוריזה בגרנולות ב24 כלים נפרדים לשמירת דיוק הניסוי ובו-זמני קבוצה החלה להכין אדמה לאבוקדו עם מיקוריזה. ארז אירגן הספקת עצי אבוקדו ואני שתלתי אותם מחדש במצע שהכנו לפי כללי התבססות. שפכתי מיקוריזה על שורשי אבוקדו על כל שטח פנים לשם להגדיל שטח מגע. בדרך זו נמשכה עבודה עד שהכנו 24 שטילי אבוקדו עם מיקוריזה וסימנו אותם באות "M" וקבוצה 2 תחת ההדרכה של ארז העבירה 24 עצי ביקורת למצע שהכנו.

במהלך אכלוס עצי אבוקדו עבדנו עם בגדי מעבדה ובאיזולציה מחממה כדי לא לפזר ספורות מיקוריזה העפות לאורך קילומטרים. בסוף היום סידרנו 48 עצי ניסוי במקום הקמת הניסוי הוכנו תנאי גדילה מתאימים. מסכנות אחרי שיח עם אדווה:

אין צורך להפריד ביקורת מעצי מיקוריזה על-ידי קיר ולהרחיק אותם מפני שראינו אפילו בעין שמיקוריזה לא נוכחה בביקורת. אפילו עם מיקוריזה תעבור לביקורת זה לא היה אכלוס משמעותי ואפקטיבי, מעבר לזה בדרך אנו שואפים לתנאי שדה עם אכלוס מיקוריזה קטן. 20 יממה - זמן שלוקח למיקוריזה להתבסס בצמח ולתת מיצלים ראשון. שאר זמן לפני חופשת פסח באתי אישי עם אינטרס לבדוק לעקוב אחרי התבססות מיקוריזה.

(4 יום בו קמה מערכת ההשקייה של הניסוי.

יום ראשון של פסח באתי כמה שיותר מוקדם. היה לי יום ארוך אבל מאד פרודוקטיבי. מ14:00 עד 19:00 למדתי קצת בלחץ על מערכת השקיה. ארז לימד אותי כל מיני סוגים, דרכים לחבר חלקים ולהקים את מערכת בעצמי. אז הובלנו צינורות מבריכות מים עם בכרה ל48 עצי אבוקדו. כל צינור מסמן טיפול. ישבתי והרכבתי מערכת - עשיתי חורים, הוספתי צינורות הקיפיות, נעדים וטפטפות.

27.03.2018 (5)

באתי ב07:00 כדי לסיים מערכת השקיה לפני מפגש עם ענבל מnetafim. המשכתי עבודה עד שלא סיימתי כלל להרכיב מערכת השקיה. אז מעכשיו יחד עם מתנדבת הכנתי שתי הגלות קרקע-מצע לגידול אבוקדו ופיזרתי בין העצים. יישרתי עצי אבוקדו לפי טיפולים חצי חצי על כל צינור. אז הכנתי טבלת מדידות וביום זה בפעם הראשונה התחלתי לאסוף נתונים. מילאתי עובי גזע וגובה עץ. הגעתי למסקנה שלספור עלים זה מיותר ונעשה את זה ע"י חיישנים. מאז בכל שלבים הבאים במשך 200 יום אני וצוות מתנדבים נעשה בדיקות צינוח אבוקדו.

28.03.2018 (6)

באופן דיבור בטלפון הסברתי תכנון המחקר שלי, שלחתי שלטים וענבל הוסיפה לעצים מערכת חיישנים powerplant ממולדובה.

29.03.2018 (7) - הפעלנו מערכת בנויה.

במהלך חופש באתי לראות שמערכת מספקת מספיק מים באופן שווה לכל הטיפולים לפי משטר מים הקבוע ומינימלי לפי המלצות מחברת אבוקדו גרנות.

(8) מפגש עפ אדווה מגראונד ווארק

באתי אחרי לימודים יחד עם שני מתנדבים

- ביררנו תאריכי מפגש על חיישנים ובדיקות הרכבי קרקע
- המשכנו מדידות וציינו גידול עצים
- למדנו שיטות הצבע גראם. על דוגמאות שורשי בצל למדנו לזהות מיקוריזה ותפתירה.
- על סקיצות הבדלנו בין כל סוגי מיקוריזה וראינו שהיא אנדומיקוריזה
- למדנו לעשות מעבדה בעצמנו - כלים, חומרים ולהצמוד עם קשיי זיהוי.
- למדתי על סוגי מוצרי גראונד ווארק ומשמעותם.
- ראינו פגיעת מזיקים בעלים אקריית קורית - אקריית אבוקדו

14.03.2018 (9)

ריסוס חומר הדברה מטרונום ב0.5% 3.5 ליטר ל48 עצים

17.03.2018 (10)

ריסוס

אחרי שראינו שמזיק עדיין חיים ומתפתח, ריססתי חומר פעם שניה באותו ריכוז וכמות

22.03.2018 (11) - ענבל הסבירה על חיישנים

נעשו בדיקות כרגיל + אחריהם למדתי המון על מערכת חיישנים, תקשורת ביניהם סוגי חיישנים. הקמנו חיישני לחות, טמפרטורה עלה, תנועת עובי גזע על טיפול 3 עץ עם אבוקדו + חיישן מטראולוגיה + למדתי בעצמי להקים מערכת חיישנים. הוצע פתרון לבעיות השקיה עם מחשב.

(12)

נצפה בעתיות במערכת ההשקיה הפועלת כעת - כמויות המים ואיתם מלחי טיפולים מומסים בהם באים לא לפי תכנון מחשב ובאופן שונה. לכן נסענו ללחברת נטפים כדי לברר זאת. למדנו על מערכות השקיה ואז אני וארז פירקנו את מערכת המים הקודמת לחלוטין והרכבנו מערכת השקיה חדשה. לשם להגביר עוצמת הגעת מים לאבוקדו שיפרנו מערכת גרביטציונית לגובה נוספת. נעשתה בדיקה שהוכחה שמערכת השקיה ניסיונית עובדת באופן תקין. בדיקת מערכת בפועל + החלטה להילחם במזיקי אבוקדו שפוגעים בניסוי בשיטה דרסטית יותר - להשתמש בריסוס כימי נגד פאגוציטים.

(13)

בגלל הבעיות תוכניות עם מכשירי Suplant הוחלט להשתמש במחשב השקיה איטלקי. מחשב זה בדוק ומתוכנן לתדמיות, משך השקיה, עוצמת השקיה מסוימות: כל יום ב-08:00 (לשם השקיה במים קרים לפני ההתחממות היומית) במשך 60 דקות (כמות מינימלית לפי דרישות אבוקדו לגידול) בשביל בדיקות בתנאים קיצוניים. נבדק כמות מים שמגיעה לקצה של הצינור לשעה ומזה הבנו שצריך לדאוג להשקיה שווה בין הטיפולים.

(14)

ריסוס חומרי הדברה כימיים (הפעם נכונים ומתאימים למקרה של אקרית קורית - חקרת את הנושא ושאלתי חקלאים רבים היות שריסוס הקודם לא נתן תוצאות).

(15)

יצור אקאונט באתר Suplant שמאפשר לעבד נתונים מכל סוג חיישן שמשמש בשטח גדילה. למידה על נתונים וגרפים של תוצאות בדיקה. רעיונות שימוש באפליקציה כדי להפעיל השקיה בהתאם לדרישות הצמח מרחוק.

(16) 22.05.2018

נסיעה לשרותי שדה בחדרה הסבר, מספור והשארות דגימות קרקע ועלים. ביום זה אספנו מכל עץ דגימה של קרקע כ-200 גר ו-8 עלים במשקל יבש 10 גר. סידרנו לפי מספר עץ בשקיות ניילון. בוצעו בדיקות מלאות של אלמנטים ומיקרו אלמנטים.

08.06.2018(17

ביום זה למדתי מהנחיות של אדווה מחרבת GroundWork על תהליכי הכנת דגימות שורשים לבדיקה במעבדה. מכל טיפול נלקחו 2 עצים ומיהם דגימות קרקע. הבאתי צוות מתנדבים ואיתם ביצענו עבודה קשה כדי להכין את דגימות לבדיקה:

אסיפת שורשים מתאימים לבדיקה, שטיפתם, השארות בטפרטורה קבועה קודם בתמיסת HCl ואז בתמיסת KOH.

10.6.18-17.6.18 (18

אחרי הנחיות מאדווה ביצעתי מעבדה על קביעת אחוז אכלוס מיקוריזה.

20.06.2018(19

הכנסתי תוצאות לטבלה.

14.10.18 (20

לשירותי שדה נשלחו דגימות עלים וקרקע נוספים שמסמנים סוף הניסוי. על בסיס שתי בדיקות ניתן ללמוד על השפעת טיפולים למצב הכימי בצמח לאורך זמן הניסוי. לפני כאן כל הכוחות העברתי כל סיום רקע ספרותי בעבודה והכנת תוצאות הניסוי (גרפים של אכלוס ראשון, גרפים של בדיקות עובי גזע ואורך גבעול וגרף תוצאות ריכוז יסודות של בדיקות שירותי שדה הראשונה).

01.01.2019-12.01.2019 (21

לאחר שהבנתי שיש צורך בבדיקת אכלוס שנייה: יותר אמין, מראה השפעת זמן על אחוז אכלוס והכי חשוב שבדיקה הראשונה נתנה תוצאות לא הגיוניות בגלל חוסר דיוק. הפעם היא הייתה הרבה יותר אמינה בזככות שקראתי על ניסיונות הקודמים לצפות במיקוריזה באמצעות שיטה זו ובזכות שקראתי מאמרים על מבנים של משפחת המיקוריזות. לכל עץ 30 התכלויות במיקרוסקופ.

12.01.2019-20.01.19 (22

הכנסת כל תוצאות מכל סוגי הבדיקות לגרפים. בניית גרפים ובדיקות סטטיסטיות אליהם.

20.01.19-03.02.12 (23)

כתיבת מסקנות על-סמך תוצאות.

03.02.19-06.02.19 (24)

בדיקת כל העבודה. קבלת תיקונים של ארז המנחה שלי, נועם מנהל חממה וגלית דוקטור רכז
עבודות גמר של בית הסדר שלי על רקע הספרות, תיקונים של גל דישון דוקטור לביוטכנולוגיה ועודי
גפני מנהל אבוקדו גרנות בקשר לקרע המדעי בעבודה.

נספח 2: טבלאות בהם נאספו נתונים ועליהן נבנו גרפים

קישור לטבלה:

<https://drive.google.com/file/d/19UlaLXidDqOMYwMVw1Yf-qOjt5wmSVFB/view?usp=sharing>

(1)

- טבלת אליה הוכנסו תוצאות מעבדה על קביעת אכלוס מיקוריזה מתאריך 11.06.2018

מס' עץ	תפטר/מס'	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ממוצע אכלוס בצלחת	ממוצע אכלוס במבחנה	ממוצע אכלוס בטיפול	מס' עץ
5	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	70	70,00	70,00	10,00
	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	80			
	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	60			
7	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	60	56,67	56,67	19,66
	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	50			
	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	60			
11	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	80	90,00	90,00	
	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	90			
	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	100			
17	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	40	36,67	36,67	15,28
	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	20			
	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	50			
19	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	90	86,67	86,67	12,11
	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	80			
	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	90			
23	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	70	66,67	66,67	
	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	70			
	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	60			
29	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	60	83,33	83,33	20,82
	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	100			
	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	90			
31	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	30	53,33	53,33	20,66
	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	70			
	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	60			
35	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	80	80,00	80,00	
	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	70			
	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	90			
41	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	50	50,00	50,00	10,00
	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	60			
	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	40			
43	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	70	70,00	70,00	17,89
	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	50			
	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	80			
47	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	100	90,00	90,00	
	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	80			
	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	90			

החוה החקלאית "החממה האקולוגית" בעין שמר

● טבלת אליה הוכנסו תוצאות מעבדה על קביעת אכלוס מיקוריה מתאריך 01.01.2019

מס' עץ	מס' צלחת פטר/ מס' הבדיקה	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	אכלוס כללי	ממוצע אכלוס במבחנה	ממוצע אכלוס בטיפול	סטיית תקן	תנאים	
5	1	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	6,667	5,7735			
	2	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	6,667	5,7735			
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,667	5,7735			
	1	10	0	10	0	10	0	10	0	0	0	50	56,667	17,224			
7	2	0	10	10	10	10	10	0	10	10	0	60	56,667	17,224	מחקר (88) זרחן נמוך (מחקר 400) מלח נמוך		
	3	0	10	0	0	10	10	10	0	10	10	60	56,667	17,224			
	1	10	10	10	10	0	10	10	10	10	10	80	86,667	17,224			
	2	10	10	10	0	10	10	10	10	10	10	90	86,667	17,224			
11	3	10	10	10	10	0	10	10	10	10	10	90	86,667	17,224			
	1	10	0	10	10	10	0	0	0	0	0	40	23,333	20,817			
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23,333	20,817			
	3	0	10	10	0	0	10	0	0	0	0	30	23,333	20,817			
17	1	10	0	10	10	10	10	0	0	0	0	30	23,333	20,817			
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23,333	20,817			
	3	0	10	10	0	0	10	0	0	0	0	30	23,333	20,817			
	1	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	30	40	20,656			
19	2	10	0	0	0	0	10	10	0	0	0	30	40	20,656	מחקר (180) זרחן גבוה (מחקר 400) מלח נמוך		
	3	10	0	0	0	0	10	10	0	0	0	60	40	20,656			
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,333	20,656			
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	13,333	20,656			
23	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	13,333	20,656			
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,333	20,656			
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	13,333	20,656			
	3	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	30	13,333	20,656			
29	1	10	0	10	10	0	0	0	0	0	0	30	30,000	0			
	2	0	10	0	0	0	10	0	10	0	0	30	30,000	0			
	3	10	10	0	0	0	0	0	10	0	0	30	30,000	0			
	1	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	20	23,333	16,432			
31	2	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	20	23,333	16,432	מחקר (88) זרחן נמוך (מחקר 800) מלח גבוה		
	3	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	30	23,333	16,432			
	1	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	60	46,667	16,432			
	2	0	0	0	0	0	10	10	10	10	50	46,667	16,432				
35	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	46,667	16,432			
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	46,667	16,432			
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	46,667			16,432
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	46,667	16,432			
41	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	26,667	5,7735			
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	26,667	5,7735			
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	26,667	5,7735			
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	26,667	5,7735			
43	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	26,667	19,408	מחקר (180) זרחן גבוה (מחקר 800) מלח גבוה		
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	26,667	19,408			
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	36,667	19,408			
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	36,667	19,408			
47	3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	36,667	19,408			
	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	36,667	19,408			

(2) תוצאות מעבדות שירותי שדה על קביעת ריכוזי אלמנטים בקרקע ובשריפות עלים.

קישור:

https://drive.google.com/open?id=0B-IqSNjQQ_OTMEVyQWE0WWlfUG0zSVpBWnZTT2dLOWFWZXRF

https://drive.google.com/open?id=0B-IqSNjQQ_OTWkZpaGVPcF9RLWhkUm1SdDdSQUhpdndEQ0gw

<https://drive.google.com/open?id=0B-T4kgc6blFwZERZT1A3TTVtOHhPcEZRdm9peUR0TERVLWJB>

<https://drive.google.com/open?id=0B-T4kgc6blFwdeJSSVY1TkVDTXFTaGjklUFvWExZeHBwd0dv>

טבלת תוצאות על-סמך מעבדות:

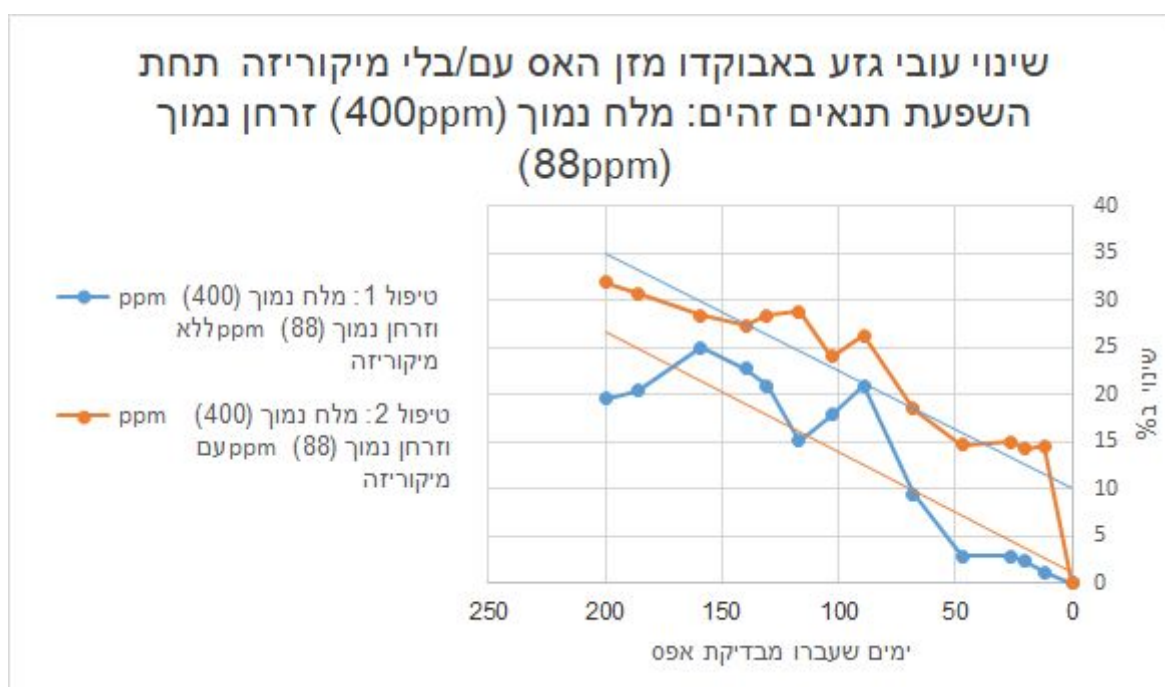
החוה החקלאית "החממה האקולוגית" בעין שמר

<https://drive.google.com/open?id=1mhV8esLgPgOfsigDIwe6suW47G-RLus>

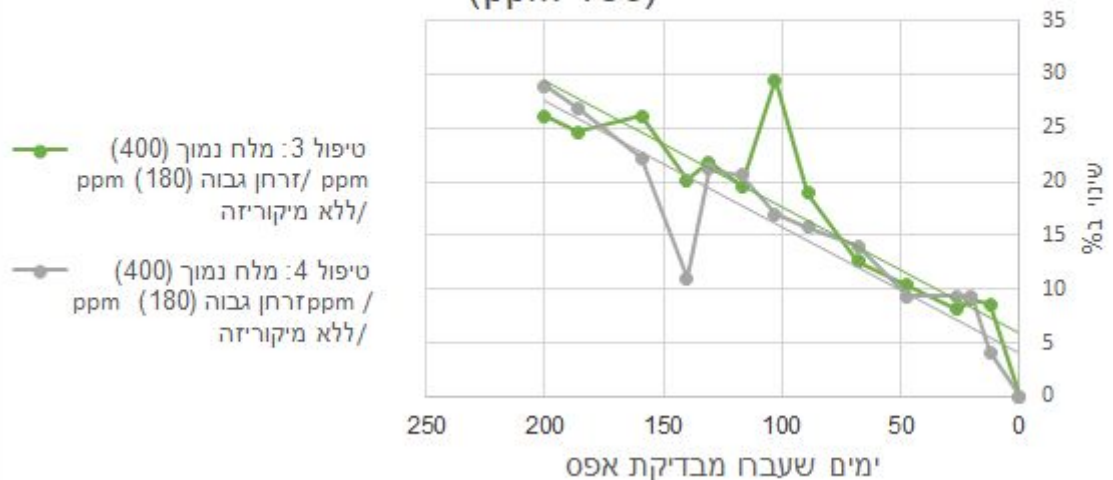
3) טבלת איסוף נתונים של צימוח אבוקדו: הן התעבות עובי גזע והן התארכות גבעולים לאורך 200 יום.

<https://drive.google.com/open?id=1mZK7JaxPQSI3SIZtkxddu8doh9q6jIsRDODKUr1OKPM>

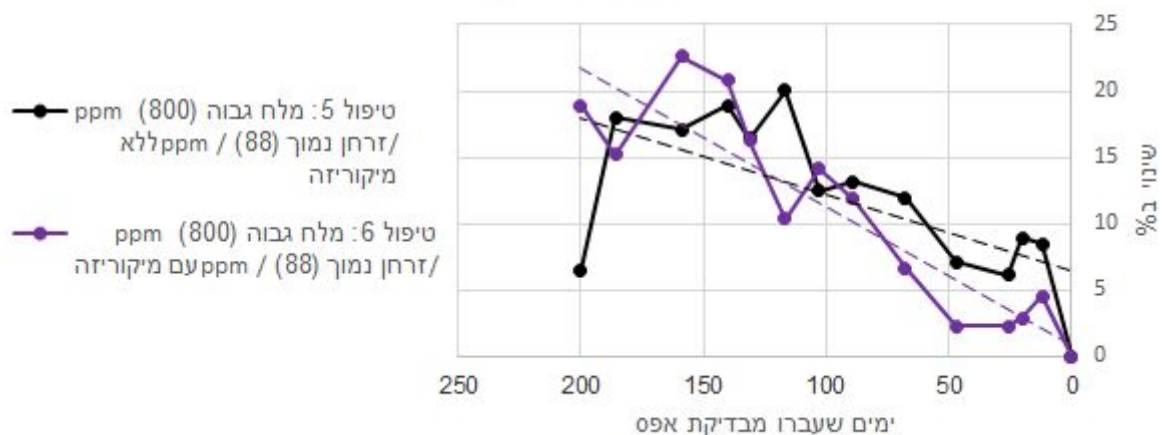
נספח 3: גרפים אשר לא הופיעו בעודה:



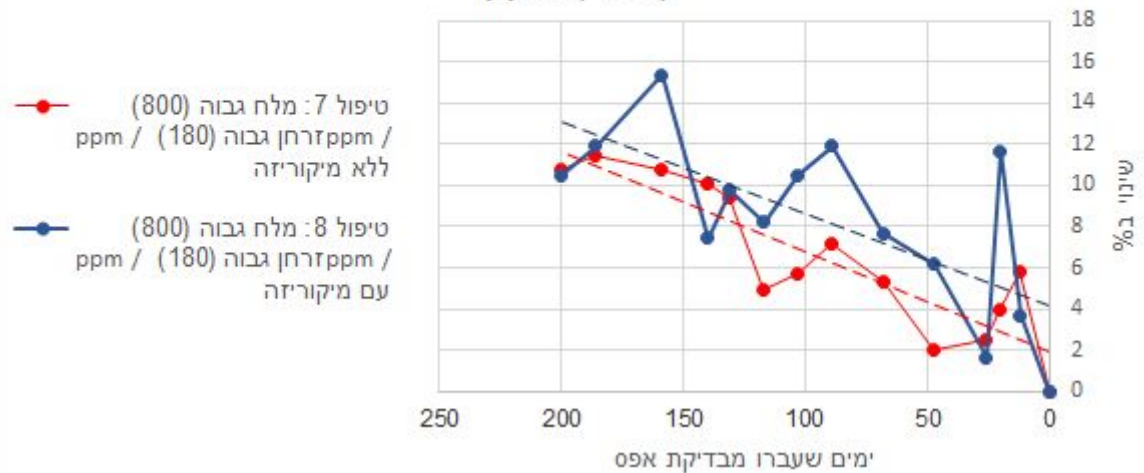
שינוי עובי גזע באבוקדו מזן האס עם/בלי מיקוריזה תחת השפעת תנאים זהים: מלח נמוך (ppm 400) זרחן גבוה (ppm 180)



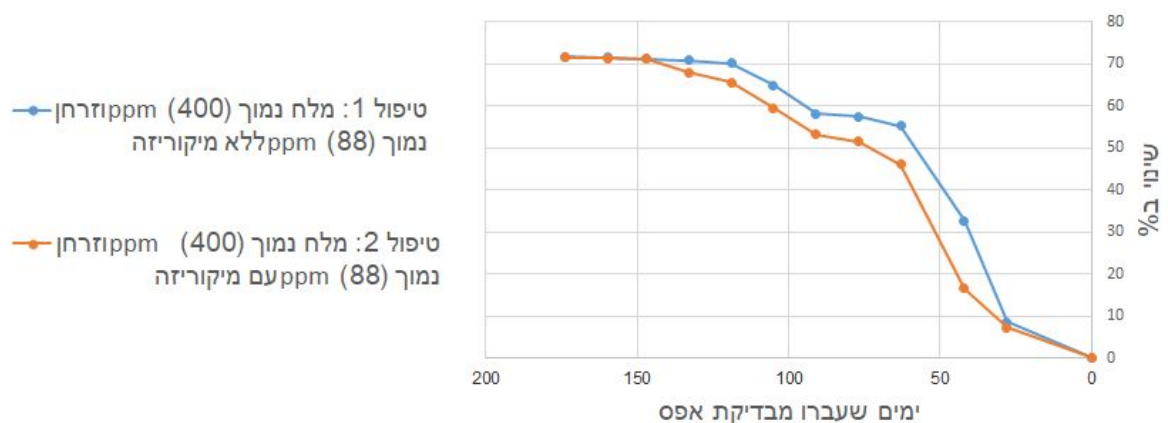
שינוי עובי גזע באבוקדו מזן האס עם/בלי מיקוריזה תחת השפעת תנאים זהים: מלח גבוה (ppm 800) זרחן נמוך (ppm 88)



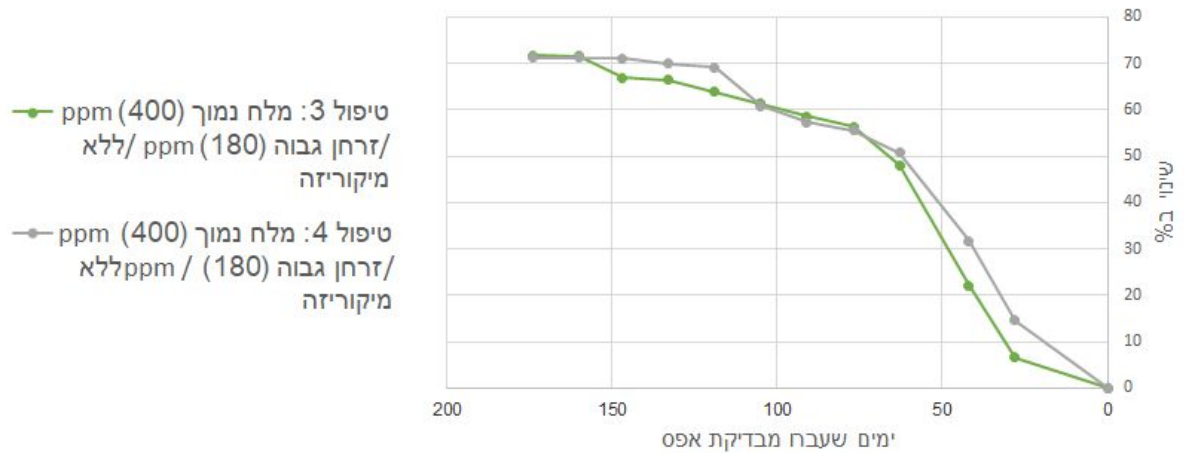
שינוי עובי גזע באבוקדו מזן האס/בלי מיקוריזה תחת השפעת תנאים זהים: גבוה (800) ppm זרחן גבוה ppm (180)



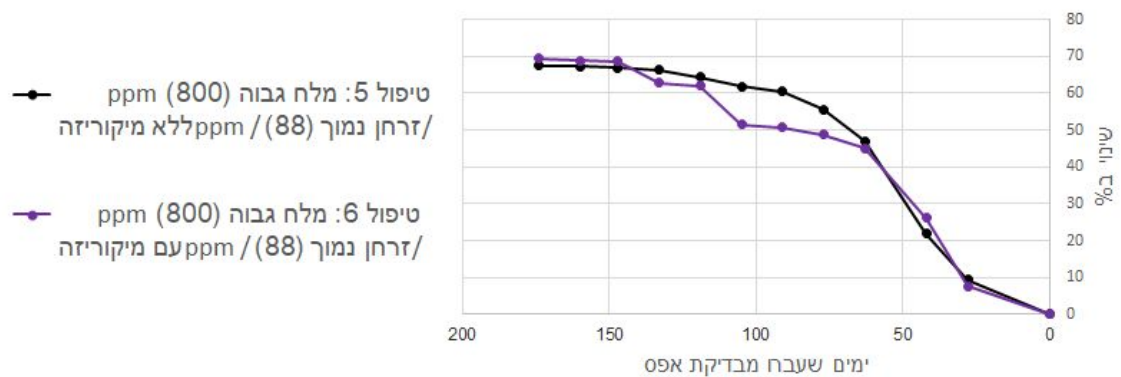
שינוי אורך בגעול באבוקדו מזן האס/בלי מיקוריזה תחת השפעת תנאים זהים: מלח נמוך (400) ppm זרחן נמוך (88) ppm

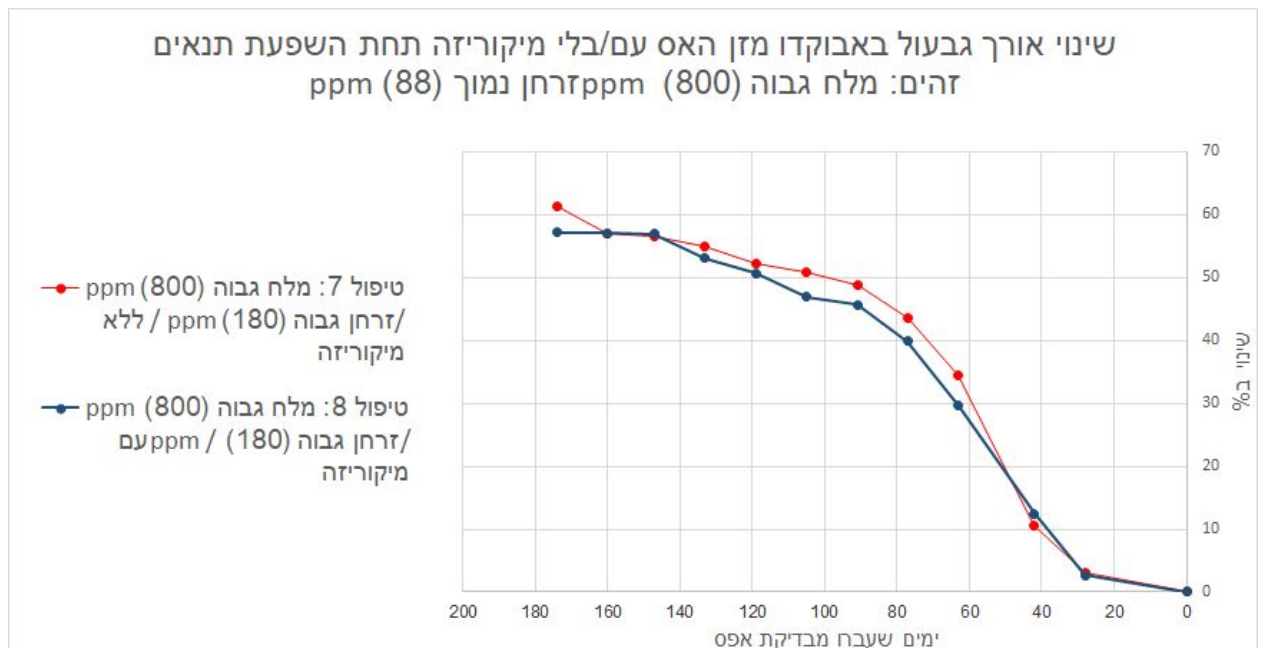


שינוי אורך גבעול באבוקדו מזן האס/בלי מיקוריזה תחת השפעת
תנאים זהים: מלח נמוך (400 ppm)
זרחן גבוה (180 ppm)



שינוי אורך גבעול באבוקדו מזן האס/בלי מיקוריזה תחת השפעת תנאים
זהים: מלח גבוה (800 ppm) / זרחן נמוך (88 ppm)





נספח 4: תמונות מעבדה על קביעת אחוז אכלוס מיקוריזה בשורשים.

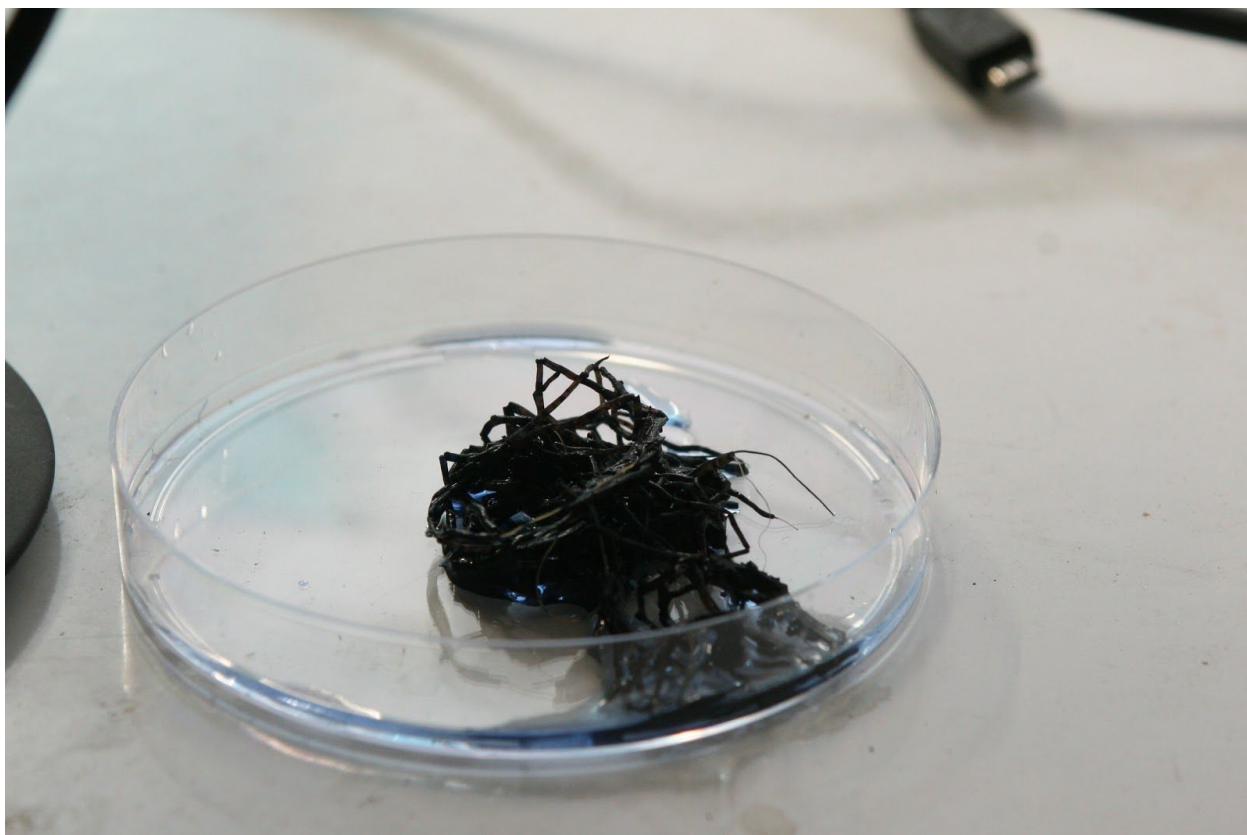


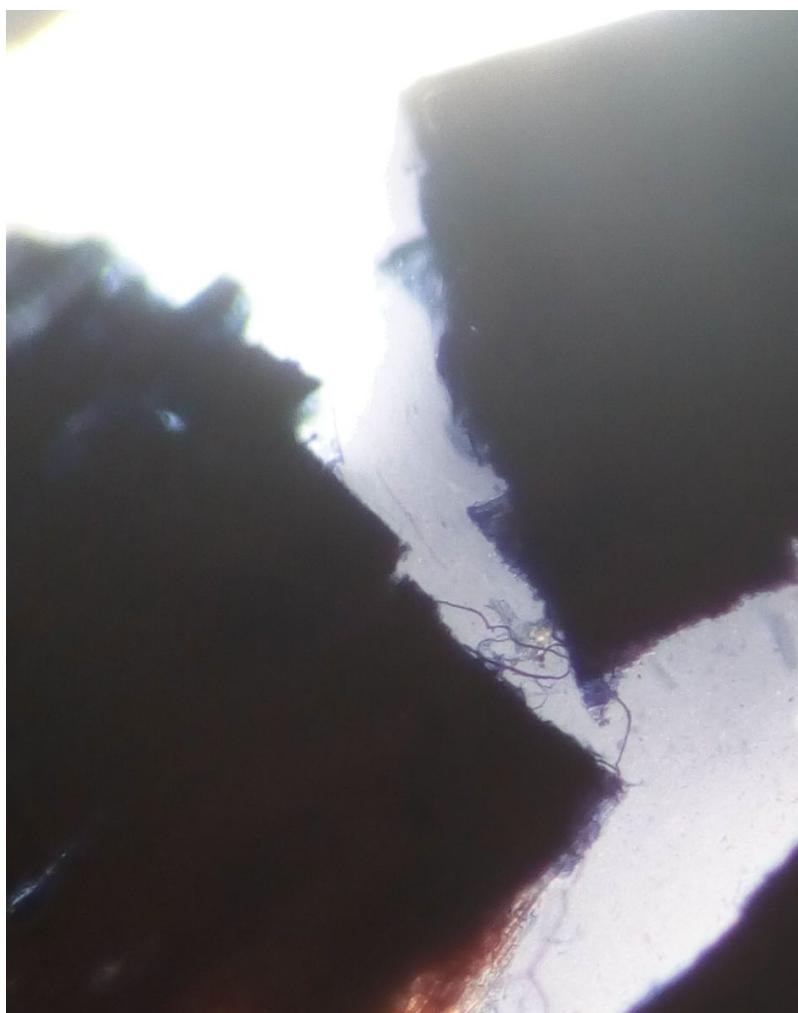
החוזה החקלאית "החממה האקולוגית" בעין שמר



החוה החקלאית "החממה האקולוגית" בעין שמר







נספח 5: תמונות מהקמת הניסוי בחממת עין שמר.



החוזה החקלאית "החממה האקולוגית" בעין שמר





החווה החקלאית "החממה האקולוגית" בעין שמר



החווה החקלאית "החממה האקולוגית" בעין שמר

