כפר הנוער החקלאי

הששׁ שנתי על שם כדורי

סמל מוסד: 280065

ד. נ. ג. ת 125242

עבודת גמר ברמת 5 יח"ל

חקלאות

השפעת מינון תערובת מיקרואורגניזמים EM על גידול חסה במערכת ביופונית המדושנת בתמצית זבל עופות

שם התלמידה: ירדן לוי

ת.ז: 213788011

מספר טלפון: 0556641055

כתובת: מסד

כתובת דוא"ל:dendenlevy@gmail.com

שם המנחה: ד"ר הללי עותבנס

כתובת: כמון

מקום עבודה: בית ספר כדורי

יוני, 2021

תודות:

- ♥ בראש ובראשונה אני רוצה להודות להללי עותבנס, שבלעדיה כל העבודה הזאת לא הייתה קורת. תודה על ההשקעה, על השעות הפרטניות, על התמיכה והפתיחות לאורך הדרך.

- ♥ תודה לחוה חדיש עוזרת ההוראה שתמיד העלתה חיוך, לימדה אותי את נפלאות הexcel ולחלוטין הייתה חלק בלתי נפרד מהתהליך.

- ♥ תודה גדולה לעופר ליאון על התמיכה והליווי בכל הצד הטכני שקשור לתפעול מערכת הניסוי, ערבוב זבל עופות ושתמיד היית שם כדי לזרוק חיוך ולהעלות את מצב הרוח.

- ♥ תודה רבה לחברים שלי למגמה שהיו חלק ענק מכל התהליך, שהייתם שם לאורך כל הדרך והפכתם את החוויה הזאת למשהו שלא אשכח

- ♥ תודה לאבא שלי רביד לוי שתמך, נתן זריקות מוטיבציה, החזיק אותי קצר ושגם עזר בצד הפרקטי, בדק, נתן הערות ותיקן במידת הצורך.

תוכן עניינים:

1 מבוא 1

2 סקירת ספרות 3

2.1 מחסור בקרקעות חקלאיות 3

2.2 הידרופוניקה 4

2.2.1 יתרונות גידול בהידרופוניקה: 4

2.2.2 שיטות גידול: 4

2.3 קליטת תמיסת הקרקע והחמצן בשורשים 6

2.4 דרישות הזנה בצמחים 6

2.5 פוטוסינתזה 7

2.6 יסודות מאקרו ומיקרו אלמנטים 8

2.6.1 חנקן ומחזור החנקן 8

2.7 מקורות לנוטריינטים (דשנים) 10

2.7.1 סוגי דשנים 10

2.8 חיידקי EM 11

2.9 חסה כצמח בוחן 11

3 מערך מחקר 13

3.1 משתנים בלתי תלויים: 13

3.2 משתנים תלויים 13

3.3 חומרים: 14

3.4 כלים וציוד בדיקה: 14

3.5 תיאור והעמדת הניסוי 14

3.6 שיטת הכנת תמצית זבל העופות 15

3.7 שיטת מדידה: 15

4 תוצאות 16

5 דיון ומסקנות 19

5.1 מגבלות הניסוי 21

6 ביבליוגרפיה 22

7 נספחים 24

רשימת גרפים

גרף 1: גובה החסה בריכוז EM אדמה שונים כתלות בימים משתילה.....16
גרף 2: משקל טרי ויבש של שורש החסה בהשוואה בין ריכוזי ה-EM אדמה השונים.....17
גרף 3: משקל טרי ויבש של נוף החסה בהשוואה בין ריכוזי ה-EM אדמה השונים 17
גרף 4: ריכוז ניטראט ב mg/l בתלות בזמן בהשוואה בין בריכוזי ה-EM אדמה השונים 18

רשימת טבלאות

טבלה 1: ערכה התזונתי של חסה רומית: 12
טבלה 2: טבלת טיפולים:.....13
טבלה 3: טבלת מדדים צמחיים (וגטטיביים).....13
טבלה 4: מדדים כימים של המים 14
טבלה 5: יחס משקל שורש למשקל נוף (טרי) כתלות בריכוזי ה-EM אדמה השונים 18
טבלה 6: ריכוז אמוניום ב mg/l בזמנים שונים כתלות בריכוזי ה-EM אדמה השונים 18

רשימת תמונות

תמונה 1: שורש הצמח 6
תמונה 2: מחזור החנקן 9
תמונה 3: הכנת זבל עופות: 15
תמונה 4: הכנת שלט לניסוי: 24
תמונה 5: הכנת מיצוי זה עופות: 24
תמונה 6: בדיקת מדדים כימיים במים: 25
תמונה 7: השוואת שתילי חסה בסיום הניסוי: 25

1 מבוא

כולנו חולמים לשנות את העולם. לכל אחד מאיתנו היה חלום לעשות איזה שינוי משמעותי שישאיר חותם. והיום, החלומות האלה לא כל כך רחוקים מאיתנו. כל חידוש טכנולוגי, כל מחקר עם מסקנות מעניינות יכול לשנות למליונים רבים של אנשים את החיים. התחממות גלובלית היא מסוג הבעיות הללו. התהליך הזה גורם ויגרום בשנים הקרובות לשינויים גדולים בדרכים בהן אנו מגדלים אוכל. האדמה הופכת למדברית יותר, הגישה למים נקיים הולכת ונהיית קשה יותר. החקלאות המודרנית תצטרך לעשות שינויים דרסטיים כדי להתאים את עצמה למצב המשתנה. ואיפה הבעיה קשה יותר? במקומות בהם המצב עגום גם ככה. מדינות אפריקה הן מדינות מתפתחות, עניות ודלות אמצעים שכל הקשיים שצויינו למעלה קיימים בהן כבר עכשיו. המדינות הללו גוועות ברעב וכחברה גלובלית עלינו להשקיע משאבים רבים בפתרון הבעיות האלה.

הפתרון נמצא לנו מול העיניים. בראש סדר העדיפות שלנו צריך להיות גידול מזון. הגידול באוכלוסייה מצריך בנייה של בתים שמקטינים את שטחי הגידול החקלאי, אוכלוסייה גדולה דורשת יותר מזון, ולאדמה נהייה קשה יותר לספק לבני האדם את הצרכים שלנו. לתוך אתגר זה נכנסת טכנולוגיית ההידרופוניקה. כדי שמערכת הידורפונית תניב יש צרוך בשני דברים עיקריים. מים וידע. את בעיית המים נתן לפתור בקלות יחסית בהצבת משאבות שיוצאיו את מי התהום מתוך הקרקע שמכילה אותם וכדי לספק את הידע יש צורך בלימוד המקומיים את שיטות הטיפול וההפעלה של המערכות.

מבחינתי, כתיבה של עבודה זו היא סוג של הגשמת חלום. הייתה לי את הזכות לרכוש כלים וידע שאולי יום אחד יצילו אנשים מרעב, יספקו מקורות פרנסה והשכלה ואולי אפילו יצילו את העולם.

החסה ירק המהווה מרכיב חשוב בתזונה. החסה היא דוגמא מצויינת לגידול של ירק ירוק, קל לגידול במערכות הידורופיות שמספק ויטמינים ומינרלים ומשווק בהיקפים גדולים. אורך חיי המדף של החסה קצרים והיא רגישה מאוד לתנאי אחסון ושינוע. לכן יש משמעות גדולה לייעול גידול החסה על ידי גידולה במקום הקרוב לשיווקה ולקיצור מחזורי הגידול ובכך להרוויח יותר מחזורי גידול בשנה. מערכת ההידרופוניקה יכולה להוות פתרון מתאים מאחר והיא מנתקת את התלות בשטח חקלאי ומאפשרת למקם את הגידול בסמוך למקום השיווק.

להתפתחות הצמח נדרשים יסודות הזנה, אלו הם יסודות החיוניים להתפתחות הצמח ונקלטים על ידו מתמיסת הקרקע ומהאוויר. בגידול ההידרופוני המצע הוא מים, לכן, הצמח צריך לקלוט מהמצע ההידרופוני את יסודות ההזנה, ועל מנת שהמצע יוכל לספק זאת יצרנו מערכת סינרגית שבה EM אדמה מפרק את זבל העופות ליסודות ההזנה הנדרשים לחסה. החנקן, הוא יסוד הזנה חיוני ביותר להתפתחות הצמח; מחסור בחנקן בצמח מורגש באופן מידי ומתבטא

בהאטת הפעולות הזקוקות לחנקן (כמו חלוקה של תאים, ופוטוסינתזה), מחסור חמור יתבטא בהצהבה של העלה וכן בהפסקת גדילה.

עבודה זו עוסקת בהשפעת ריכוזים שונים של EM אדמה בשלוש מערכות הידרופוניות, מערכת צינורות NFT על הצימוח הווגטטיבי של החסה. במערכת הידרופונית ישנה זרימה זעומה של מים (בסדר גודל של כליטר לדקה).

שאלת המחקר בעבודה זו היא באיזה אופן ישפיעו אחוזים שונים של EM, המוספים לתוך מערכת הידרופונית המכילה זבל עופות, על התפתחות ותנובת החסה ועל נוכחות חנקן אמוניאקלי וחנקתי במים? על מנת לענות על שאלה זו הצבנו שלוש מערכות הידורופוניות של צינורות במנותק אחת מהשנייה. בכל מערכת ריכוז דומה של זבל עופות בשתי מערכות הוספנו ריכוז שונה של חיידקי EM אדמה ומערכת שלישית היוותה בקרה ללא EM.

2 סקירת ספרות

2.1 מחסור בקרקעות חקלאיות

במהלך המאה האחרונה גדלה השפעתו של האדם על הסביבה בצורה ניכרת והצטמצמו בצורה משמעותית שטחים חקלאיים לגידול מזון. הצמצום בשטחים החקלאיים נגרם ממספר סיבות. הטכנולוגיה מתפתחת, הכלכלות מתחזקות אך בבסיס המשבר עומד על הגידול הדמוגרפי. הגידול באוכלוסייה דורש למצוא פתרונות דיור לאוכלוסייה שהולכת וגדלה. המרכיב המכריע שמכתיב כרסום חמור ביותר בשטחים הפתוחים בישראל מקורו ב"תרבות הפיתוח" שהתפתחה במדינה. תרבות זו מתאפיינת בבנייה דלילה, נמוכת קומות ומפוזרת, ש"זוללת" שטחים פתוחים.(שגיא, 2012). תוחלת החיים עולה, שיעור הילודה עולה ותרבות הצריכה מתפתחת. כל אלה מביאים למצב שאנחנו מנצלים את מעט הקרקעות הפוריות לבנייה ולא לשימושים חקלאיים, מה שבאופן ישיר מקטין את יכולת הגידול שלנו.

סיבה נוספת היא המדבור, תהליך הידרדרות של קרקעות, המאפיין אזורי אקלים יובשניים, יובשניים למחצה ואזורים לחים. בניגוד לדעה הרווחת, המושג מדבור אינו מתייחס להתפשטות של אזורי מדבר קיימים, אלא לירידה בפוריות של קרקעות באזורי ספר המדבר. התהליך נגרם משילוב של פעילות אנושית ושינויים אקלימיים.

- רעיית יתר
- השקיה באופן שגורם לעלייה ולהצטברות מלחים בפני הקרקע.
- כריתת יערות וסילוק הכיסוי של הצומח המקומי. (אוניברסיטת תל אביב, 2019)

המלחת קרקעות היא תופעה נוספת שמשפיעה על תפוקת הגידולים. מלח (נתרן) הוא מינרל שקיים בקרקעות באופן טבעי. במקומות מסוימים הוא קיים בקרקע בשיעורים גדולים בעוד שבמקומות אחרים הוא נמצא בשיעורים קטנים יותר. בפועל, המלחת קרקע זו תופעה גיאוגרפית שבה כמות המלחים המצויים בקרקע עולה ועושה את דרכה לשורשיהם של צמחים. כאשר שיעור המלחים בקרקע גבוה מאוד צמחים רבים לא יכולים להתפתח, עד שניתן לומר שקרקע כזו אינה ראויה לחקלאות או אפילו גינון. על פי הערכות של האו"ם מליחות משפיעה כיום על כ-810 מיליוני דונמים של קרקעות בכל רחבי העולם, והמשמעות של נתון זה היא קיצונית. בשטחים אלו כבר לא ניתן לגדל את מרבית הצמחים. (אביטל, דגן בגן, 2019)

כל הבעיות הללו מצריכות חשיבה מחודשת והסתכלות שונה על גידול מזון. שינוי התפישה מגיע יחד עם פתרונות טכנולוגיים חדשניים שמתפתחים בשנים האחרונות. אחד הפתרונות היעילים ביותר היא שיטת הגידול במנותק מהקרקע. ובניהם הידרופוניקה.

2.2 הידרופוניקה

הידרופוניקה היא גידול צמחים במצע[1] מנותק ללא שימוש באדמה או במצע מוצק. מערכות לגידול הידרופוני הינן מערכות סגורות לרוב , כלומר המים שמכילים את חומרי ההזנה מסתחררים בהן במעגל סגור, והצמחים קולטים את חומרי ההזנה המומסים במים.

2.2.1 יתרונות גידול בהידרופוניקה:

- ❖ חסכון במים – כאמור, במרבית מערכות הגידול המים מסתחררים באופן קבוע ולמעשה נצרכים רק ע"י הצמחים והאידוי מהם, זאת בניגוד לשיטות גידול באדמה אשר בהן מרבית המים "מתבזבזים" בחלחול לעומק האדמה או באידוי ממנה לאויר. מדובר בחיסכון משמעותי של עד 80% מכמות המים.
- ❖ חיסכון בדשן- עיקר החיסכון בדשנים נובע מסחרור הנוזלים במערכת. בנוסף למשמעות הכלכלית הנובעת מכך (פחות דשן אובד בחלחול לאדמה או באינטראקציות כימיות שונות) קיים גם יתרון סביבתי מובהק, חקלאות מסורתית הינה האחראית העיקרית לזיהומי חנקן וזרחן במקורות מים מתוקים ומלוחים בשל דישון-יתר. הזליגה של חומרים אלו לסביבה מביאה לזיהום מקורות מי שתיה, ולפגיעה בסביבה הימית.
- ❖ חסכון במקום– מאחר שכל חומרי ההזנה והמים מגיעים באופן ישיר לשורשי הצמח, נחסך הצורך בפיתוח מערכת שורשים גדולה כמו באדמה. על כן ניתן לשתול את הצמחים בצפיפות גבוהה יותר. בנוסף, החופש מאדמה מאפשר גידול לגובה תוך ניצול המרחב האנכי. כתוצאה מכך ניתן לגדל יותר יבול ליחידת שטח בהשוואה לאדמה.
- ❖ מחזור גידול קצר יותר לעומת גידול באדמה- בהידרופוניקה הצמח מקבל את כל הדרוש לו בצורה זמינה וקלה לשימוש ישירות לשורשים זאת בניגוד לאדמה בה השורשים "מתחרים" עם גורמים נוספים על חומרי ההזנה. (livingreen, 2019)

הבסיס לכל השיטות ההידרופוניות הוא גידול במים. מתוך כך נוצר הצורך הטכנולוגי באוורור בסביבת בית השורשים כדי לאפשר גידול אופטימלי.

2.2.2 שיטות גידול:

נתמקד בשלוש שיטות הגידול העיקריות, השיטות השונות נבדלות בדרך בה הגידול נעשה, באפשרויות ההצבה ובסוגי הגידול המומלץ עבורן. המערכות הללו שונות במשטר הזרימה במערכת, אופן אספקת המים המדושנים והחמצן לשורשים, וכן סוג המצע התומך (אם נדרש בכלל). (livingreen, 2019).

שיטות הגידול העיקריות הן:

רפסודות צפות - בשיטה זו שותלים את הצמחים בחורי שתילה על גבי משטח הצף (בד"כ קלקר) על פני גוף מים גדול יחסית המכיל את המים וחומרי ההזנה. מאחר ושורשי הצמחים טבולים במים יש לדאוג לאספקת אוויר סדירה בדומה לאקווריום של דגים באמצעות אבני

[1] החומר בו הצמחים גדלים

אוויר. היתרונות בשיטה שמאגר המים זמין לצמחים ללא תלות במשאבה שמסחררת את המים מנגד החסרונות דומים לאלו של מאגר מים עומדים.

ריקון והצפה או "פילם דק" - הצמחים נמצאים בתוך מצע אינרטי[2] כגון טוף. בריקון והצפה אדנית הגידול מתמלאת ומתרוקנת ממים לסירוגין, באמצעות מנגנון סיפון, כאשר במהלך הריקון אוויר נכנס בין חלקיקי הטוף באזור בית השורשים. במערכת "פילם דק" המים זורמים בשכבה דקה בתחתית המצע בדומה למצב שלאחר הריקון. המים המנוקזים נאספים למיכל ומושבים באופן רציף לאדנית. המערכת למעשה מחקה גידול באדמה או במצע מנותק ומאפשרת סבילות גדולה יותר להפסקות מים וחשמל ופותרת את בעיית אספקת החמצן לשורשים באופן פשוט.

בניסוי החלטנו להשתמש בשיטת הגידול NFT (Nutrient Film Techniqe) המתוארת להלן.

NFT - גידול בצינורות עם "הזנה מינימלית". בשיטה זו שותלים בחורי שתילה בצינור בעל קוטר גדול כאשר המים המדושנים זורמים בתחתית הצינור בזרם דק וכך מזינים את שורשי הצמחים. מערכות אלו מורכבות ממכל, המכיל תמיסה הידרופונית, המחובר למערך של צינורות בעלות קוטר רחב, אשר בהן חורי שתילה. המים מסתחררים בין המכל לבין הצינור כך שזורם זרם דק של מים לאורך הצינור, כתוצאה מכך, שורשי הצמח נהנים מאספקה רציפה של חומרי הזנה וממגע חופשי עם האוויר שסביבם.

שיטה זו מקובלת מאוד בגידול מסחרי וביתי בגלל קלות ההקמה, משקל נמוך של רכיבי המערכת, ואפשרות לגידול אנכי תוך ניצול מקסימלי של המרחב, כלומר חיסכון במקום.

עם זאת, המערכת נוטה להיות רגישה יותר לשינויים בתנאי הסביבה שכן נפח המים הקטן יחסית שבא במגע עם הסביבה מושפע בקלות משינויים בטמפרטורה או בריכוזי הדשן. בנוסף, ללא אספקת חשמל רציפה להפעלת המשאבה המזרימה את המים או מים, יש סכנה כי הצמחים יתייבשו במהירות והתפתחותם לאורך זמן עלולה להפגע (livingreen, 2019)

יתרונות:

1. אין צורך במצע, מה שמפשט את התחזוקה ומצמצם הוצאות
2. קיבולת חמצן טובה מאד כתוצאה מהמגע ההדוק עם האוויר
3. ניצול מקסימלי של מרחבי הגידול תוך ניצול ממד הגובה
4. קל להרכבה ולפירוק ועלות הקמה נמוכה יחסית.

חסרונות:

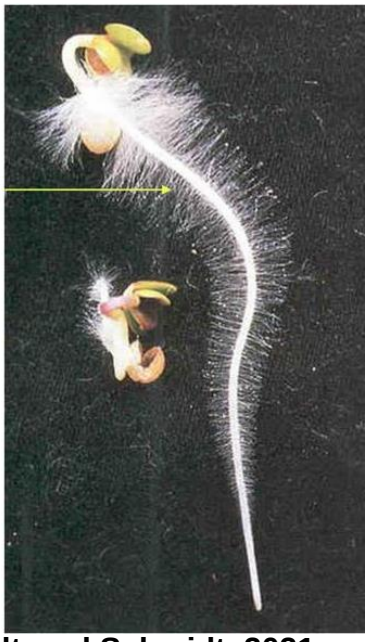
1. מגביל את גובה הצמחים המתאימים, צריך לאזן ולייצב את הצמחים בגלל המחסור במצע
2. נטייה לבעיות של חום באזור השורשים (הידרופוניקס, 2019)
3. סתימות הנובעות מבית שורשים מפותח שעוצרות את זרימת המים ומונעות מגע של השורשים עם האוויר.

[2] אינרטי - מצע שאין אינטראקציה בינו לבין המומסים שבמים.

2.3 קליטת תמיסת הקרקע והחמצן בשורשים

קליטת התמיסה מהקרקע נעשית על ידי השורש. השורש הוא איבר תת קרקעי ממנו מובלים המים דרך צינורות ההובלה לכלל הצמח. מהאיבר המרכזי מתפצלים שורשים דקים יותר מהם יוצאות היונקות (תמונה מס' 1).

תמונה 1: שורש הצמח



By Waltraud Schmidt, 2021

עיקר הספיגה של המים והמינרלים מתרחשת דרך היונקות. מספר היונקות העצום מגדיל את שטח הפנים של השורש ובכך מייעל את הקליטה של המים והחומרים המומסים בהם. למעשה, הצמח זקוק לגדילתו רק לתמיסת הקרקע, ולחמצן, פחמן דו חמצני ואור, לכן ניתן לגדל את הצמח ללא תלות באדמה, כלומר במערכות הידרופוניות. במערכת הידרופונית, היונקות בשורשים נמצאות במגע ישיר עם התמיסה ההידרופונית שממנה הן "יונקות" את המים בהם נמצאים יסודות ההזנה, העוברים לתא דרך קרום התא. הקרום הינו ממברנה בררנית ודרכה מתרחשים תהליכים שקובעים אילו יסודות יעברו לתוך תאי רקמת הצמח ואלו לא. אלו שעוברים, מתקדמים לכיוון הצמח במעבר בין תא לתא באמצעות מעברים בין תאיים. מעברים אלו מכונים "גשרי ציטופלסמה", או מועברים באמצעות צינורות העצה[3] (המכלול האינציקלופדיה היהודית, 2019).

את החמצן הדרוש לו הצמח קולט מתוך תהליך הפוטוסינתזה, בו מתקבל חמצן כתוצר לוואי. החמצן דרוש לצמח, כמו לכלל האורגניזמים, לתהליך הנשימה התאית שאחראי על אספקת אנרגיה בתאים. בלילות, בחשכה, כאשר תהליך הפוטוסינתזה לא יכול להתבצע, בשל מחסור באור, תהליך הנשימה התאית עדיין מתרחש ולכן נדרשת אספקת חמצן חיצונית. אמנם בשעות החשכה הפעילות המטאבולית של הצמח יורדת ולכן נדרשת כמות מועטה יותר של חמצן, אך בשורשים ממשיכה להתקיים פעילות של חלוקה וגדילת תאים ולכן עיקר צריכת החמצן מתרחשת בשורשים. מכאן שאספקת החמצן צריכה להיות בדיפוזיה מהאוויר שנמצא בסביבת השורש. (לויט, 2019). במערכות ההידרופוניקה השונות יש פתרונות שונים כדי לספק חמצן לסביבת השורשים כפי שהוצג בפרק שדן בהידרופוניקה.

2.4 דרישות הזנה בצמחים

הצמח זקוק לחומרי הזנה כדי לגדול, יסודות הזנה חיוניים להתפתחותו נקלטים על ידיו מתמיסת הקרקע ומהאוויר. היסודות השונים משמשים כ"חומרי גלם" לתהליכי הבניה וההתפתחות של הצמח. יסוד נחשב לחיוני כאשר אין הצמח יכול להתפתח בלעדיו, בין שהוא ממלא תפקיד חיוני בתהליכים הפיזיולוגיים, ובין שהוא מהווה מרכיב של רקמות הצמח. היסודות החיוניים הדרושים בכמות ניכרת הם: פחמן C, חמצן O ומימן H חנקן N , אשלגן K

[3] אחד משני סוגי רקמות ההובלה בצמחים

,מגניון Mg ,זרחן P וגופרית S. את יסודות ההזנה המינרלים ניתן לחלק לשתי קבוצות: יסודות מיקרו ויסודות מאקרו. יסודות מאקרו אלו יסודות שהצמח צורך בכמויות גדולות כמו פחמן, חנקן, אשלגן, זרחן וסידן ויסודות מיקרו אלו יסודות שהצמח צורך בכמויות מזעריות כמו ברזל, נחושת ואבץ (ודר-וויס, 2001).

שלושת היסודות פחמן, חמצן ומימן מרכיבים כ 96% מכלל החומר היבש של הצמח, וכאמור שלושת אלו אינם נחשבים כלל לחומרי דישון מאחר והצמח קולט אותם בתהליך אקטיבי של פוטוסינתזה מתוך התגובה של המים והפחמן הדו-חמצני שנקלט מהאוויר.

כלומר את מירב המסה הצמח מייצר לעצמו מחומרים שמקורם מהאוויר והמים בתהליך הפוטוסינתזה. בתהליך זה, הצמח מנצל את אנרגיית האור לייצור גלוקוז מפחמן דו חמצני מהאוויר והמים אותם הוא קולט מסביבתו בעזרת העלים והשורשים.

2.5 פוטוסינתזה

פוטוסינתזה זהו תהליך שבו מיוצר המזון בצמחים ואורגניזמים אוטוטרופיים[4]. על ידי קיבוע של פחמן, שנמצא באוויר כפחמן דו חמצני, לבנייה של סוכרים באמצעות אנרגיית אור, ומים מהקרקע. אחד מתוצרי הלוואי של התהליך הוא החמצן, שחיוני לקיום החיים בכדור הארץ. תהליך הפוטוסינתזה מורכב משני שלבים עיקריים: הוא מתחיל בתהליך תלוי אור שבמהלכו מתפרקים המים ונוצרים החמצן, האנרגיה והמחזרים שדרושים לחלק השני. בחלק השני, שאינו תלוי באור, הפחמן הדו-חמצני הופך לסוכר (גרטי, 2009)

את הפחמן הדו חמצני הצמח קולט דרך פתחים בעלה הנקראים פיוניות (הפיוניות בהסתכלות במיקרוסקופ נראות כמו שפתיים והן בעלות יכולת פתיחה וסגירה ועל כן שמן, הנגזר מהמילה פה), ואת המים מהקרקע דרך היונקות שבשורש (שדה, 2011). הפיוניות משולבות בין התאים בשכבת האפידרמיס של העלים, ודרכן גזים יכולים להכנס ולצאת אל רקמת העלה.

האפידרמיס היא שכבה דקה של תאים אשר נועדה להגן על האיברים בפנים העלה. זוהי השכבה החיצונית של העלה המורכבת משכבת האפידרמיס ולעיתים על שכבת האפידרמיס ישנה שכבת קוטיקולה, המורכבת מחומר שעוותי שנועד להגן על העלה מפני התייבשות. האפידרמיס בחלקו התחתון של העלה יהיה לרוב רווי יותר בפיוניות, מאחר וצד זה מוגן מחשיפה לשמש ולרוח (בשן, 2011).

כאמור כדי שהצמח יוכל לגדול ולהתפתח הוא זקוק בנוסף למים, ל־CO_2 ולאור גם למינרלים. קיימים 13 יסודות מינרלים, החיוניים[5] להתפתחות הצמח בלעדיהם הצמח לא יוכל להשלים את מחזור חייו שכן הוא לא יוכל לבנות מהשלד הפחמני שנוצר בתהליך הפוטוסינתזה את שאר החומרים להם הוא זקוק.

---

[4] יצור המייצר את מזונו בכוחות עצמו

[5] יסודות הנדרשים להתפתחותו וצמיחתו של הצמח, כלומר בלעדיהם לא מתאפשרת ההתפתחות וההמשכיות

היסודות הכימיים האחרים נקלטים ע"י השורשים מתמיסת הקרקע עצמה. מסתבר, שמתוך כלל ארבעת האחוזים שנותרו, ירכיבו יסודות המאקרו בסביבות 3.6% מהביומסה, כאשר יסודות המיקרו ירכיבו רק שברי אחוז (אוסרוביץ, 2018).

2.6 יסודות מאקרו ומיקרו אלמנטים

<u>יסודות מאקרו עיקריים:</u>

<u>חנקן (**N**) –</u> ראה סיכום בנפרד (כותרת 2.6.1 חנקן ומחזור החנקן).

זרחן (**P**) – חשוב להתפתחות השורשים, במיוחד בצמחים צעירים. תורם לפריחה, להתפתחות הפרי, להבשלה ולנשימה של הצמחים.

אשלגן (**K**) – חשוב לשינוע חומרי הזנה בצמחים בעזרת פוטוסינתזה. תורם להתעצמות הגזע ועמידות הצמח בפני עקה, שינויים קיצוניים במזג אוויר ופתוגנים. תורם מאוד להיווצרות של ניצני פרחים, פירות ומזרז גדילה.

סידן (**Ca**) – חשוב מאוד לבניית תאי הצמחים, בעיקר לדפנות התאים. הסידן תורם למערכת השורשים, הוא מקדם צמיחה וחיוני מאוד להבשלה.גופרית

(**S**) – תורמת מאוד לייצור כלורופיל והיא מרכיב הכרחי של כמה חלבונים, ויטמנים אנזימים. גופרית מסייעת לספיגת סידן, מגנזיום ואשלגן.

<u>יסודות מיקרו עיקריים:</u>

ברזל (**Fe**) – הברזל חיוני לתהליכים כימיים לרבות ייצור כלורופיל ומסייע בהיווצרותם של חומצות-אמינו וכמה אנזימים.

מנגן (**Mn**) – חיוני ליצירת חלבונים, לייצור כלורופיל ולהטמעת חנקן. המנגן מאיץ את התבגרות הצמחים ומקדם נביטה.

אבץ (**Zn**) – לאבץ תפקיד חשוב בפיתוח של הורמוני גדילה ואנזימים.

בורון (**B**) – הבורון חיוני לרקמות הצמחים. הוא מקדם את ספיגת המים ומווסת את המטבוליזם של הצמחים. כמו כן, תורם הבורון להתפתחות הפירות.

נחושת (**Cu**) – הנחושת חשובה לייצור כלורופיל ומסייעת להפעלת אנזימים שונים מגוונים.

לקליטת המינרלים מהקרקע והטמעתם בחומרים האורגניים בצמח קוראים הזנה מינרלית. (נעמן, 2018). בעבודה זו התמקדנו בזמינות החנקן ולכן אתמקד ביסוד זה.

2.6.1 חנקן ומחזור החנקן

חנקן - **N** מהווה כ-16 אחוזים מן החלבונים שבצמח. החשיבות של יסוד החמצן בצמח היא גדולה מאוד. חנקן מקדם את תהליך הפוטוסינתזה בצמח ואחראי באופן ישיר על ייצור הכלורופיל. החנקן מייעל צמיחת עלים וגבעולים בצמח ומסייע בגדילת הצמח וחיוניותו. הספקת חנקן חשובה במיוחד במשך תקופת הגדילה. בנוסף החנקן מהווה מרכיב בשלד החנקני של הנוקליאוטידים, חומצות אמיניות ומטבע האנרגיה ATP.

מחסור בחנקן גורם האטה בגידול והצהבה כללית של הצמח. לראשונה נפגעים חלקי הצמח המבוגרים, מאחר שהחנקן עובר מחלקי הצמח המבוגרים לחלקי הצמח הצעירים. במקרה של עודף חנקן בצמח הוא מתרכז בצורת יוני חנקה (ניטראט) NO_3- ויוני אמוניום . NH_4+ (נוי, 1982).

מחזור החנקן (באנגלית: Nitrogen cycle) הוא תהליך ביולוגי שעובר החנקן, דרכו נקלט בצמחים, בבעלי חיים ובקרקע. האטמוספירה של כדור הארץ מורכבת מכ-78% חנקן (בצורה מולקולרית), דבר שהופך אותה למאגר החנקן הגדול ביותר בפלנטה. חנקן מעורב בתהליכים ביולוגיים רבים והוא מרכיב חיוני לחיים בכדור הארץ. הוא מצוי בכל חומצות האמינו, הוא מרכיב יסודי של חלבונים, והוא מצוי בבסיסים שמרכיבים את חומצות הגרעין של ה-DNA וה-RNA. חלק נכבד מהחנקן בצמחים משמשמש לייצור מולקולות כלורופיל החיוניות לתהליך הפוטוסינתזה.

מחזור החנקן הוא מחזור ביוגאוכימי[6] שמתאר את הגלגולים של חנקן ושל תרכובותיו בטבע. במחזור זה חיידקים ואצות כחוליות בקרקע ובמים הופכים את החנקן האטמוספרי לתרכובות חנקן הזמינות לצמחים. הצמחים מקבלים את החנקן שלהם מהקרקע באמצעות מערכת השורשים שסופגת מהקרקע יוני ניטראט (NO_3-) או יוני אמוניום (NH^+_4) ומייצרים ממנו חלבון. את החלבון הזה אוכלים בעלי-החיים צמחוניים וכך הוא הופך לחלבון מן החי. בעלי חיים וצמחים מתים מפורקים על-ידי מיקרואורגניזמים שהופכים את תרכובות החנקן שוב לחנקן שחוזר לאטמוספירה או לקרקע (אקו-ויקי, 2018) .

קיבוע של חנקן הוא תהליך חיוני כדי להפוך את החנקן הגזי לתרכובות זמינות עבור יצורים חיים. חלק קטן מהקיבוע מתרחש בתהליכים פיזיקליים כמו ברקים והתפרצויות הרי געש שהופכים את החנקן לתחמוצת חנקן הזמינה לצמחים. עם זאת, רוב הקיבוע מתרחש על ידי חיידקים חופשיים או סימביוטיים וכן על ידי אצות. חיידקים ואצות אלה הם בעלי האנזים ניטרוגנז אשר מאפשר להם לפרק את הקשר החזק בין אטומי החנקן ולהוסיף לחנקן מימן כדי ליצור אמוניה (NH_3). האמוניה מומרת על ידי החיידקים לתרכובות אורגניות אחרות.

תמונה 2: מחזור החנקן

לקוח מתוך ויקיפדיה, 2021

[6] מחזור במערכת אקולוגית שבו עובר חומר מהאטמוספירה לאורגניזם, לקרקע וחזרה לאטמוספירה.

2.7 מקורות לנוטריינטים (דשנים)

היסודות המינרליים יכולים להיקלט בצמח רק כיונים מומסים מתוך תמיסת הקרקע, השורש קולט את התמיסה יחד עם היסודות המומסים שעוברים לחלקים השונים בצמח דרך רקמות ההולכה. מתוך יסודות ההזנה הללו האשלגן, הזרחן והחנקן מהווים את החלק העיקרי.

חֹמֶר מָזוֹן (נוּטְרִיֶינְט או נוטריאנט) הוא יסוד או תרכובת כימית החיוניים לחיים ולגדילה של יצורים חיים. שני השימושים העיקריים של חומרי המזון הם לבניין הגוף ולאספקת אנרגיה. (ויקיפדיה, חומרי מזון, 2021)

צמחים דורשים מגוון נוטריינטים, חומרי הזנה, לצורך הגידול המיטבי מבחינת מדדי יבול ואיכות. לעיתים קרובות תהליכי הקליטה, ההטמעה וההובלה בצורות היוניות שלהם ע"י הצמח מתוארים כאילו היו נפרדים זה מזה אולם במציאות קיימת אינטראקציה בין כל חומרי ההזנה. אינטראקציה זו יכולה להתרחש עוד בשלב ייצור הדשן, לאחר יישום הדשן בסביבת בית השורשים או לאחר קליטה בצמח.

2.7.1 סוגי דשנים

- כימי- דשן כימי (סינתטי) הינו תכשיר המיוצר במפעל תחת בקרה ופיקוח וביחסים הקבועים של המרכיבים אשר אמורים לתת מענה לצורכי הצמח. צורת דשן כימי - גרגרים, אבקה או נוזל. הדשן מומס אל הקרקע ומוחזר אל הצמחים כמלחים. (הגרעין, 2019)
- דשן אורגני נחלק לרוב ל-3 סוגים שונים :
  - ❖ זבל – דשן אורגני שמיוצר מהפרשות של בעלי חיים שונים (יונקים, עופות וכו') ו/או מחומרים צמחיים ששימשו כמצע עבורם (קש למשל). דשן זה משמש לרוב לצורך העשרת הקרקע, טיוב הקרקע והעלאת האיכות והכמות של היבולים. סוג נוסף של זבל הוא גואנו שמקורו בהפרשות של עופות
  - ❖ קומפוסט (דשונת בעברית)– דשן אורגני שמיוצר מזבל או פסולות אורגניות שונות באמצעות תהליך טבעי באופן מלאכותי. הזבל עצמו עשוי מחומרים אורגניים ואנאורגניים (למשל, זבל של בקר, עופות, סוסים, צמחים וכו' ו/או בוצת שפכים ואשפה עירונית), כך שההתפרקות שלהם יוצרת רקב.
  - ❖ הומוס (רקבובית)– דשן אורגני שמתקבל כתוצאה מפירוק כימי וביולוגי של חומרים אורגנים ע"י בעלי חיים שונים (תולעים ומיקרואורגניזמים בעיקר). הומוס מיוצר משני מקורות עיקריים:

2.8 חיידקי EM

חומרים אורגנים לא מתפרקים מעצמם. בכדי להגיע לחנקן זמין לצמח יש צורך בחיידקים שיפרקו את החומר האורגני לחנקן זמין. הוספה של חייקים מסוג EM מזרזת את פעולת הפירוק. לחיידקי חומצה לקטית, פטריות, שמרים וחיידקים אוטוטרופים הכלולים ב EM יש יכולת להתסיס חומרים אורגניים. קומפוסט המותסס ומפורק על ידי EM מתפרק באדמה ונספג על ידי צמחים. כמו כן, EM מכיל רכיבים שימושיים רבים לקידום צמיחת הצמחים. מיקרואורגניזמים מהווים את הבסיס של הפירמידה האקולוגית, ולכן כאשר המיקרואורגניזמים בקרקע מגוונים, המערכת האקולוגית בקרקע תועשר בדרכים שונות. מערכת אקולוגית בריאה ומגוונת תעזור ליצור אדמה עשירה.

EM מפרק חלבונים לחומצות אמיניות ומונע ייצור אמוניה כתוצר של הפירוק. חומצות אמינו אלה יכולות להיספג ישירות על ידי הצמחים. עם זאת, עקב פעולת התסיסה של EM, יופקו רב-סוכרים ואלה ייספגו על ידי מיקרואורגניזמים וצמחים. בדרך כלל, חלבונים מסונתזים מחנקן. עם זאת, אם הצמחים יכולים לספוג ישירות חומצות אמינו משורשיהם, הם יכולים להתאים לתכלית חדשה את האנרגיה שהייתה הולכת לייצור חומצות אמינו וחלבונים, ובכך לייצר תנובה גדולה יותר.

2.9 חסה כצמח בוחן

סוג גידול: צמח חד-שנתי

שם מדעי: LACTUCA SATIVA

מקור: אזורים שונים ברחבי העולם.

החסה הוא צמח אשר נחשב לאחד הנפוצים ביותר מבין גידולי העלים בחקלאות המודרנית העולמית. היא כוללת כמה סוגים וזנים, שלכולם מאפיין משותף אחד: צימוח ראש עלים עגול או מוארך (נקרא גם קולס), אשר מיועד לאכילה. החסה פורחת למשך 24 שעות בלבד במהלך הקיץ, אז היא מבצעת האבקה עצמית, אך בשדות החקלאיים היא נקטפת טרם פריחתה. העונות הטובות ביותר לגידול חסה הן עונות המעבר, אם כי כיום היא מגודלת ומשווקת גם בחורף ובקיץ. (agrica, 2020)

החסה היא הירק הנפוץ ביותר מבין ירקות העלים והיא מצויה כל עונות השנה. יש סוגים שונים של חסה מבחינת מבנה העלה והקולס ("ראש"). אלה השכיחים ביותר: רומית ("ערבית") שעליה ירוקים, מוארכים ובשרניים שיוצרים קולס רפה; אמריקאית ("אייסברג") שעליה בהירים ופריכים המסודרים בקולס מוצק. כמו כן יש מינים נוספים שעליהם עדינים יותר, חלקים או מסולסלים ובגוונים שונים.

המחקר נערך על חסה רומית המכונה גם "חסה ערבית".

החסה הרומית בנויה משורש ומראש החסה –העלים, עליה ארוכים בעלי צבע ירוק כהה.

טבלה 1: ערכה התזונתי של חסה רומית:

ערכים תזונתיים	ל-100 גרם
אנרגיה	17
חלבונים	1.23
שומנים	0.3
פחמימות	3.29
סיבים תזונתיים	2.1

(ויקיפדיה, חסה תרבותית, 2020)

חסה, כמו שאר ירקות העלים נשמרת היטב בטמפרטורה הקרובה ל-0 מ"צ. במקרר הביתי היא תשמר במצב סביר למשך כשבוע (משרד החקלאות ופיתוח הכפר, 2019)

ארגון המזון והחקלאות האמריקאי מדווח כי תוצרת החסה העולמית עמדה בשנת 2007 על 23.55 מיליון טון, כאשר שלוש היצרניות הגדולות הן סין (51%), ארצות הברית (22%) וספרד (5%) (ויקיפדיה, 2020).

3 מערך מחקר

בעבודה זו רצינו לבדוק ולבחון את השפעת מינון תערובת מיקרואורגניזמים EM אדמה על גידול חסה במערכת ביופונית המדושנת בתמצית זבל עופות.

הניסוי בוצע בשלוש מערכות NFT (צינורות) שבכל מערכת היה ריכוז שונה של חיידקי EM. (ריכוזים של 0.2%, 0.4% וטיפול ביקורת ללא הוספת EM). כל אחת מהמערכות הכילה מיצוי של 10 גר'/ל זבל עופות יבש. כל צמחי החסה נמצאו בתנאים דומים.

בשאלת המחקר בדקנו באיזה אופן ישפיעו אחוזים שונים של EM, המוספים לתוך מערכת הידרופונית המכילה זבל עופות, על התפתחות ותנובת החסה ועל נוכחות חנקן אמוניאקלי וחנקתי במים?

השערת המחקר הייתה כי הוספה של כמות גדולה יותר של EM אדמה לתוך המערכת הביופונית תעזור בפירוק החומר האורגני לרכיבים בצורתם הזמינה לצמח ותאפשר קליטה טובה יותר של היסודות המינרלים החיוניים. ההנחה היא כי EM אדמה מכיל תשלובת של מיקרואורגניזמים מועילים המקיימים סימביוזה סינרגטית. אלו יפרקו את החומר האורגני שבזבל העופות ויהפכו אותם לזמינים יותר עבור הצמח. (EM אדמה, 2019).

3.1 משתנים בלתי תלויים:

ריכוזים שונים של EM אדמה

טבלה 2: טבלת טיפולים:

ריכוז EM	ביקורת – ללא EM אדמה	EM 0.2% אדמה	EM 0.4% אדמה
חסה	20*	20	20

*** גודל מדגם**

3.2 משתנים תלויים

טבלה 3: טבלת מדדים צמחיים (וגטטיביים)

מדד	יחידות	תיאור המדידה
גובה החסה	cm	כל שבועיים
משקל טרי	gr	בסוף הניסוי
משקל יבש	gr	בסוף הניסוי
אחוז חנקן בעלים *בנסיבות הקורונה המדד לא נבדק	%	מעבדה חיצונית

טבלה 4: מדדים כימים של המים

מדד	יחידות	תיאור המדידה	סיבת המדידה	אופן התיקון
אמוניום (NH^+_4)	mg/l	ספקטרופוטומטרית	ניטור ומעקב	
ניטריט (NO_2^-)	mg/l	ספקטרופוטומטרית	ניטור ומעקב	
ניטראט (NO_3^-)	mg/l	מד חנקן	ניטור ומעקב	
חומציות	pH	חיישן pH	שמירה על גורמים קבועים	הוספת חומצה גופרתית 10%
מוליכות חשמלית EC	ms/cm	מד מוליכות	ניטור ומעקב	

3.3 חומרים:

- שתילי חסות תוצרת משתלת כפר כמא.
- זבל העופות ממשק ארבל ברמת צבי.

3.4 כלים וציוד בדיקה:

-שלוש מערכות הידרופוניות בשיטת NFT של חברת LivingGreen.

-לצורך מדידות ה - pH השתמשנו מד חומציות של חברת HANNA.

-לצורך מדידת EC השתמשנו במכשיר של חברת ADWA.

-60 קונוסים מחוררים לשתילה.

-תנור יבוש לקרקע ועלים בנפח 330 ליטר, דגם , KD 400 תוצרת NOVE גרמניה.

-ספקטרופוטומטר- multyphotometer HANNA HI83300

3.5 תיאור והעמדת הניסוי

הניסוי התרחש בחממת בית הספר "כדורי". כל שתיל חסה הונח בתוך קונוס מחורר מפלסטיק שבתוכו טוף והוכנס לשקע בצינור, השתילים מוקמו במרווחים של צינור לרוחב ובמרווח של שקע אחד בין כל שתיל לאורך הצינור. כל טיפול מוקם בקו שונה. כל שתיל מוספר במספר זיהוי וכל מערכת קיבלה צבע סימון שונה. ריכוז זבל העופות בכל המערכות היה 10 ג'/ ליטר (הריכוז נקבע מתוך ניתוח התוצאות של המחקר של Peter Tikasz, Sarah MacPherson, Viacheslav Adamchuk, Mark Lefsrud, עליו מבוססת עבודה זו). המים סוחררו בספיקה של ליטר לדקה, נפח מים בכל מערכת כ-100 ליטר. בכל מערכת הוספנו ריכוז שונה של EM אדמה בהתאם לטבלת הטיפולים.

EM אדמה הוסף בתחילת הניסוי ומנה נוספת לאחר שלושה שבועות. תמצית זבל העופות הוספה פעם אחת בלבד בתחילת הניסוי. רמת החומציות נוטרה פעמיים בשבוע ותוקנה באמצעות חומצה גופרתית 10% כשערך ה pH עלה מעל 7.

3.6 שיטת הכנת תמצית זבל העופות

הוכן תרכיז על ידי ערבוב של 6 ק"ג זבל עופות ב- 60 ליטר מים.

זמן מיצוי של שבוע בתוך מיכל סגור כשבכל יומיים ערבנו את התכריז. מתוך התרכיז הועברו 10 ליטר לכל מערכת הידרופונית והשלמנו את הנפח ל-100 ליטר במי ברז.

תמונה 3: הכנת זבל עופות:

צולם על ידי חוה חדיש 05.01.2020

3.7 שיטת מדידה:

גובה הצמח: את גובה העציצים מדדנו פעם בשבוע מצוואר השורש ועד קצה העלה הגבוה ביותר.

בסיום הניסוי מדדנו:

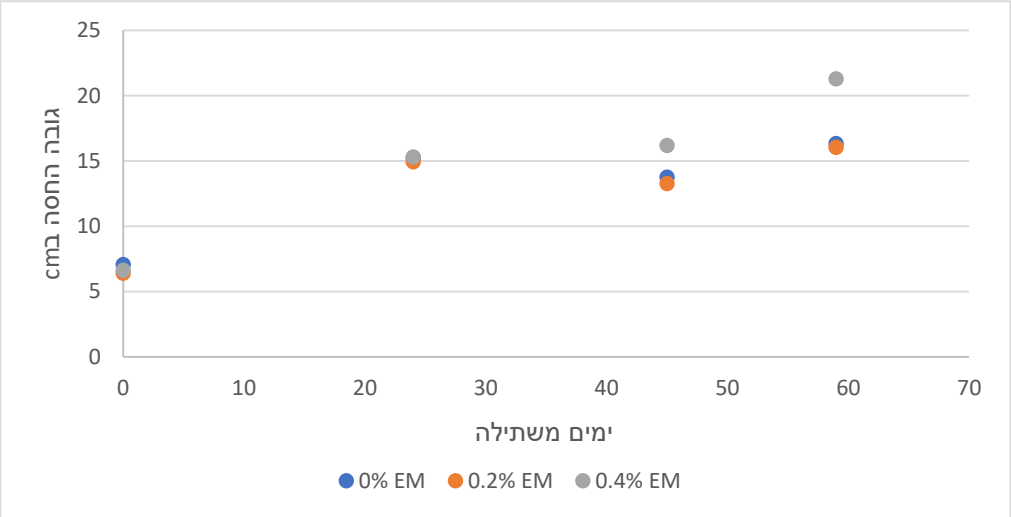
- משקל נוף רטוב ויבש- צמחי החסה נשקלו מצוואר השורש ומעלה. חתכנו את הצמח מצוואר השורש והכנסנו לשקיות נייר והנחנו על המשקל למדידת משקל טרי, לאחר מכן השקיות עם משקל הנוף הוכנסו לתנור בטמפרטורה של 75^{o} מעלות צלזיוס ולאחר יומיים הוצאנו את הצמחים ושקלנו משקל יבש.
- משקל שורש רטוב ויבש- שורשי החסה נשקלו מצוואר השורש ומטה. חתכנו את השורש מצוואר השורש והכנסנו לשקיות נייר והנחנו על המשקל למדידת משקל טרי, לאחר מכן השקיות עם משקל השורש הוכנסו לתנור בטמפרטורה של 75^{o} מעלות צלזיוס ולאחר יומיים הוצאנו את השורשים ושקלנו משקל יבש.

4 תוצאות

את הנתונים והממצאים ריכזנו בטבלאות אקסל. מסיכום הנתונים עשינו טבלאות ממוצעים וסתיות תקן. בנוסף את הנתונים סיכמנו בגרפים.

התוצאות מתייחסות לשני היבטים. האחד מתייחס למדדי צמיחה של החסה והשני למדדי המים.

גרף 1: גובה החסה בריכוז EM אדמה שונים כתלות בימים משתילה

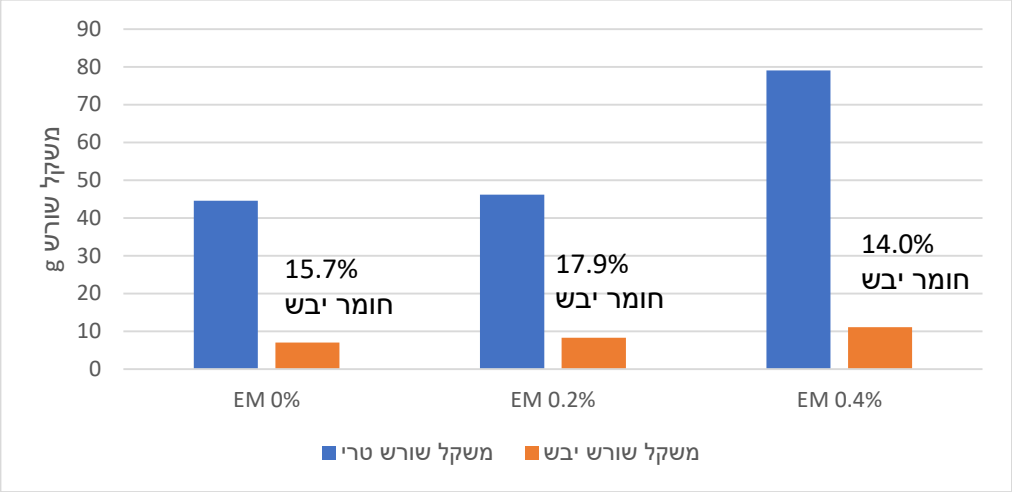


הגרף מראה את גובה עליי החסה לאורך הזמן.

ניתן לראות שבטיפול ללא תוספת של EM אדמה ובטיפול שיש בו 0.2% EM אדמה גובה הצמחים דומה ואינו משתנה ככל שעוברים הימים מהשתילה.

בטיפול שיש בו 0.4% EM אדמה גובה הצמחים דומה עד היום ה-24 לשני הטיפולים האחרים ולאחר מכן גובה העלים גדול יותר (ביום ה45 ההבדל הוא של 22% וביום ה60 ההבדל הוא של 33%).

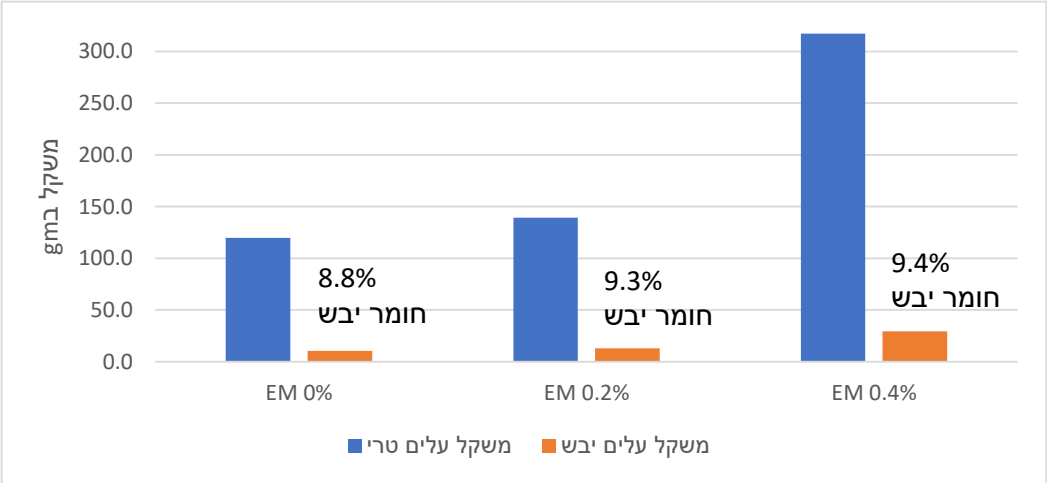
גרף 2: משקל טרי ויבש של שורש החסה בהשוואה בין ריכוזי ה-EM אדמה השונים



הגרף מציג משקל שורש טרי ויבש לאחר 75 ימים מן השתילה.

ניתן להבחין שבריכוז EM אדמה של 0.4%, משקל השורש גדול משמעותית לעומת שני הטיפולים האחרים; בריכוז של 0.2% EM אדמה תוספת המשקל ביחס לביקורת היא של 4% ובריכוז של 0.4% EM אדמה תוספת של יותר מ-77%. כמו כן ניתן לראות ש % החומר היבש בטיפול עם 0.4% נמוך משאר הטיפולים.

גרף 3: משקל טרי ויבש של נוף החסה בהשוואה בין ריכוזי ה-EM אדמה השונים



הגרף מציג משקל נוף טרי ויבש לאחר 75 ימים מן השתילה.

ניתן לראות שככל שריכוז ה EM אדמה עולה, עולה גם משקל הנוף; בריכוז של 0.2% EM אדמה תוספת המשקל ביחס לביקורת היא של כ-17% ובריכוז של 0.4% EM אדמה תוספת של יותר מ160%. בשני הטיפולים הללו אחוז החומר היבש היה דומה (9.3%-9.4%) בעוד שאחוז החומר היבש בטיפול ביקורת היה 8.8% (מתוך טבלה מספר 1)

טבלה 5: יחס משקל שורש למשקל נוף (טרי) כתלות בריכוזי ה-EM אדמה השונים

ריכוזי EM	יחס משקל שורש למשקל נוף טרי
EM 0%	0.37
EM 0.2%	0.33
EM 0.4%	0.25

הטבלה מציגה את היחס בין משקל השורש הטרי למשקל הנוף הטרי. ניתן לראות שהיחס בין משקל השורש למשקל הנוף דומה בטיפול הביקורת ובריכוז של EM 0.2% אדמה בעוד שהיחס הזה קטן משמעותית בהוספה של EM 0.4% אדמה.

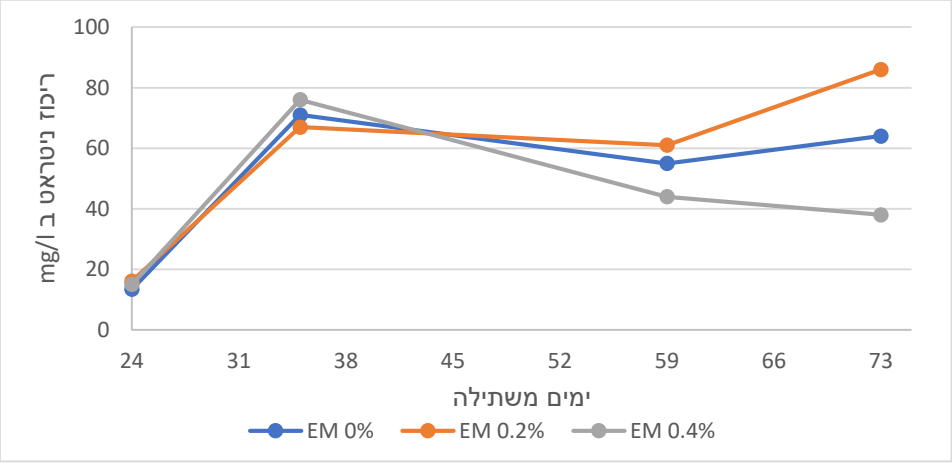
טבלה 6: ריכוז אמוניום ב mg/l בזמנים שונים כתלות בריכוזי ה-EM אדמה השונים

תאריך מדידה	30/01/2020	09/02/2020	01/03/2020
ימים משתילה	42	52	75
EM 0%	7.3	2.6	0.67
EM 0.2%	4.5[7]	4.05	1.24
EM 0.4%	9.3	3.3	1.4

הטבלה מציגה את ריכוז האמוניום לאורך זמן בטיפולים השונים. אפשר לראות שיש ירידה בריכוז האמוניום לאורך הזמן בכל שלושת הטיפולים.

בטיפול ללא EM נראים ערכים נמוכים יותר של אמוניום ביחס לשני הטיפולים האחרים(למעט המדידה ביום ה-42 בריכוז EM 0.2%).

גרף 4: ריכוז ניטראט ב mg/l בתלות בזמן בהשוואה בין בריכוזי ה-EM אדמה השונים



הגרף מציג את ריכוז הניטראט לאורך זמן על פי הטיפולים השונים.

ריכוז הניטראט עולה מהיום ה-24 עד היום ה-35 בצורה דומה בשלושת הטיפולים. מהיום ה35 עד היום ה59 נצפית ירידה שהיא תלולה יותר בריכוז EM 0.4% ביחס לשאר הטיפולים. מהיום ה59 בריכוז EM 0.4% נמשכת מגמת הירידה בעוד שבשני הטיפולים האחרים ריכוז הניטראט מתייצב ואף עולה.

[7] ככל הנראה נקודה חריגה (טעות בדגימה)

5 דיון ומסקנות

בעבודה זו רצינו לבדוק את השפעת ריכוז EM אדמה במערכת הידרופונית המכילה מיצוי זבל עופות. שאלת המחקר בעבודה התבססה על הרצון להבין מהו הריכוז המתאים ביותר אם בכלל, של EM אדמה, לגידול של חסה במערכת הידרופונית המכילה זבל עופות. השערת המחקר שהתבססה על מחקרים נוספים שהתמקדו בגידול בזבל של בעלי חיים הייתה שככל שריכוז ה-EM אדמה יהיה גדול, קצב פירוק הזבל לנוטריינטים זמינים לצמח יעלה וצמיחת החסה תהיה גדולה יותר, החסות יגדלו יותר לגובה ומשקלן יהיה רב יותר.

בשלב ראשון ננתח את הממצאים הקשורים להתפתחות הווגטטיבית של החסה;

מתוך מעקב על גובה החסה כתלות בזמן (גרף 1) נראה שבטיפול הבקרה, והטיפול בו הוספנו 0.2% EM אדמה הצמחים גבהו בצורה דומה לאורך כל הניסוי. לעומת זאת בטיפול שבו 0.4% EM אדמה ישנה עדיפות בגובה החל מהיום ה 45 שהלכה וגדלה עם הזמן (22% ביום ה 45 ו 33% ביום ה65). מתוך גרף 2, שמציג את משקל השורש, מתקבלת תמונה דומה. משקלם של שורשי הצמחים שהיו במערכות הבקרה ו0.2% EM דומה ולא ניכר הבדל משמעותי במשקל השורש היבש או הרטוב, לעומת זאת בטיפול המכיל 0.4% EM משקל השורש היבש והרטוב גדול משמעותית אך % החומר היבש נמוך לעומת שני הקודמים. בהשוואת משקל הנוף הטרי והיבש (גרף 3) מתקבלת תמונה דומה לזו שעולה ממדידות השורש.

ממשקל וגודל שורש ניתן להשליך לשני אספקטים; הראשון הוא רווחת הצמח והשני הוא גודל בית שורשים ביחס לגודל הנוף. צמח שחי ברווחה טובה, שבה החומרים שאותם הוא מקבל מהמצע זמינים לו, לא צריך לפתח בית שורשים גדול בעוד שצמח שחומרים אלה לא זמינים לו, יפתח בית שורשים גדול ומסועף שאיתו יצליח לספוג יותר חומרים. פרמטר נוסף שמעיד על רווחת הצמח הוא היחס שבין משקל בית השורשים למשקל הנוף. יחס נמוך בין בית השורשים לנוף מעיד על כך שהצמח חי ברווחה טובה. כלומר המצע שבו חי הצמח מכיל את מה שהצמח צריך באופן זמין ורציף והצמח לא צריך לפתח בית שורשים גדול כדי לספק לעצמו את חומרי ההזנה הדרושים לנו גדול ומפותח. המשמעות היא שככל שהיחס קטן יותר גודל השורש קטן ביחס לנוף וניתן להסיק כי הצמח חי בתנאים טובים יותר.

בהתאם לכך, בחנו גם את היחס שבין משקל השורש למשקל הנוף (טבלה 5) ומצאנו שהיחס שבין השורש לנוף בטיפול הביקורת ובהוספה של 0.2% EM גדול יותר בכ- 30% לעומת היחס בהוספת 0.4% EM.

בהתייחס לכלל הממצאים הקשורים לצמיחה הווגטטיבית של החסה ניתן להסיק שתוספת של 0.4% EM למערכת הביופונית שלנו שיפרה את מדדי הצמיחה של החסה, התקבל נוף מפותח יותר שנתמך בבית שורשים גדול יותר אך ביחס קטן יותר בהשוואה לשני הטיפולים האחרים. במקביל למעקב אחר המדדים הוגטטיביים והתפתחות החסה בחנו את מדדיי המים של המערכות השונות בהתייחס לריכוז יוני האמוניום ויוני הניטראט (הצורה הזמינה של חנקן לצמחים).

במערכת שלנו הוספנו תמצית זבל עופות שמכילה חנקן בחומר האורגני, שנמצא בדרגות פירוק שונות, בצורה שאינה זמינה לצמחים. בתהליך הפירוק הטבעי החנקן האורגני עובר בשלב ראשון תהליך שינוי לחנקן אמוניאקלי ובשלב שני יוני האמוניום הופכים ליוני ניטראט (תהליכים ביולוגים בהשפעת מיקרואורגניזמים).

בטבלה 2 מוצגים הנתונים לגבי ריכוז יוני האמוניום לאורך זמן. ביום ה-42 ריכוז יוני האמוניום הוא הגבוה ביותר והריכוז גדול יותר ככל שריכוז חיידקי EM גדול יותר (למעט המדידה ביום ה-42 בריכוז EM 0.2%). לאחר מכן הריכוז יורד אך עדיין ריכוז יוני האמוניום גדול יותר ככל שריכוז הEM גדול יותר.

מבחינת ריכוז יוני הניטראט (גרף מספר 4) רואים תמונה מורכבת לאורך הזמן. מאחר וניטראט הוא תוצר המשך של אמוניום, ככל שיוני האמוניום הופכים ליוני ניטראט, ריכוז הניטראט עולה וריכוז יוני האמוניום יורד (כפי שרואים בטבלה מספר 6). מתוך הגרף רואים שבשלושת הטיפולים העלייה בריכוז הניטראט דומה עד היום ה35, ולאחר מכן יש ירידה, בין היום ה35 עד היום 60. ניתן לשער כי הירידה בריכוז נוצרת משום שהחסה גדלה, וזקוקה לניטראטים בכדי להתפתח, לכן היא צורכת את הניטראטים שפורקו. החל מהיום השישים התנהגות המערכות משתנה. ריכוז הניטראט במערכת 0.4% ממשיך במגמת ירידה ולעומת זאת ריכוז הניטראט במערכת הבקרה עולה. בהתייחס לתוצאות הווגטטיביות ידוע לנו כי החסות שגדלו במערכת שלה הוספנו EM 0.4% גדלו ברווחה גדולה יותר וצמחו בצורה טובה יותר לעומת המערכות האחרות. לכן, ניתן להסיק כי החסות במערכת 0.4% צרכו יותר ניטראטים. ריכוז יוני האמוניום בשתי המערכות שהכילו EM היה גבוה יותר ממערכת הבקרה.

מתוך כלל הממצאים עולה כי לתוספת EM אדמה למערכת ביופוניות (מדושנת בזבל עופות) יש השפעה חיובית על צמיחת החסה בכלל המדדים. במדדי המים מצאנו כי ריכוז תוצר הפירוק של החומר האורגני, יוני אמוניום שהם הצורה הזמינה לצמח של חנקן, והבסיס להיווצרות ניטראט, עלה בתוספת EM אדמה למערכת.

כמו כן, ראינו שההשפעה בהוספה של EM 0.4% גדולה יותר מבמערכת שהכילה EM 0.2% מתוך ממצאים אלו, אנו ממליצים לבחון את ההשפעה גם על תמציות זבל ו/או דשן אורגני ממקורות שונים והוספת ריכוזי EM אדמה גדולים מ0.4%.

5.1 מגבלות הניסוי

- בבית הספר כדורי עמדו לרשותנו רק שלוש מערכות צינורות זמינות כך שמספר המערכות הוגבל ל-3 בלבד. מספר המערכות לא הספיק כדי להבין מהו ריכוז הEM האופטימלי.
- את מדידות הגובה לא מדדתי מספיק פעמים ולא בפערי זמן קבועים ולכן מספר המדידות היה נמוך וקשה להסיק מכך מסקנות חד משמעיות
- היו תנודות בריכוזי החנקן והחומציות בכל המערכות, מה שהיה יכול להשפיע על תוצאות כיוון שהריכוזים במערכות השתנו מפעם לפעם, למרות שבדקתי את ריכוז החנקן אחת לשבוע ואת מדדי החומציות אחת לשלושה ימים וביצעתי תיקונים בהתאם.
- השורשים במערכת הצינורות גדלו עד כדי כך שסתמו באופן חלקי את הצינורות (מגבלה ידועה במערכות NFT) והביאו לזרימה פחותה בהמשך הצינור, מה שיכול היה להשפיע על הבדלים בין צמחי החסה בתוך טיפול הצינורות, לכן מומלץ להגביל את גידול החסה עד כ-8 שבועות.

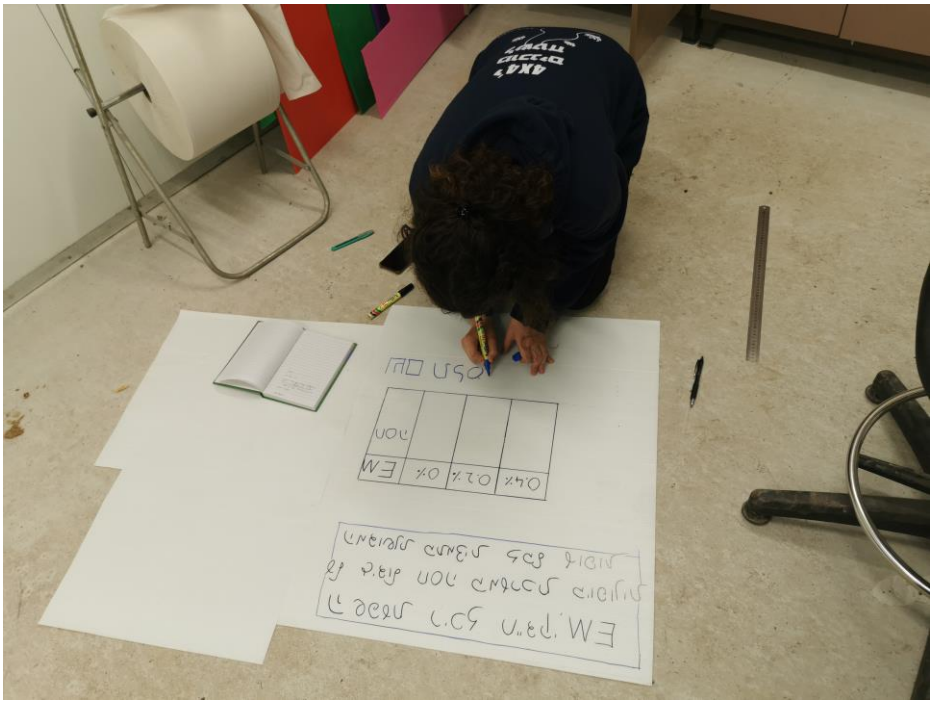
6 ביבליוגרפיה

- המכלול האינציקלופדיה היהודית. (2019). אוחזר מתוך https://www.hamichlol.org.il/
- *agrica*. (2020). אוחזר מתוך https://www.agrica.co.il/
- EM אדמה. (2019). אוחזר מתוך http://www.emisrael.co.il/P/EM_ADAMA.html
- *livingreen*. (2019). אוחזר מתוך https://livingreen.co.il/
- אביטל. (2019). אוחזר מתוך דגן בגן: https://daganbagan.co.il/
- אביטל. (2020). אוחזר מתוך https://daganbagan.co.il/
- אוניברסיטת תל אביב. (2019). *שער לביולוגיה סביבתית*. אוחזר מתוך http://earthweb.tau.ac.il/content/desertification
- אוסרוביץ, י'. (2018). *הפרו'טל לחקלאות טבע וסביבה*. אוחזר מתוך https://www.israel.agrisupportonline.com/ginun/csv/csvread.pl?show=134&mytemplate=tp2
- אקו-ויקי. (2018). אוחזר מתוך https://ecowiki.org.il/wiki/
- בשן, נ'. (2011). הזנה באדם בצמחים ובבעלי החיים.
- גרטי. (2009). *מכון דוידסון הזרוע החינוכית של מכון וייצמן*. אוחזר מתוך https://davidson.weizmann.ac.il/
- הגרעין. (2019). אוחזר מתוך https://www.hagarin.co.il/
- הידרופוניקס, א'. (2019). אוחזר מתוך https://www.i-h.co.il/guide/nft/
- ודר-וויס, ד'. (2001). קליטת מים ויסודות מינרליים בצמח.
- *ויקיפדיה*. (2020). *חסה תרבותית*. אוחזר מתוך https://he.wikipedia.org
- ויקיפדיה. (2021). *חומרי מזון*. אוחזר מתוך https://he.wikipedia.org
- יעקוב, ע' ב'. (2020). אוחזר מתוך https://deshengat.co.il/
- לויט, ד' מ'. (2019). *הפקולטה למדעי החיים*. אוחזר מתוך https://life-sciences.biu.ac.il/node/8048
- *משרד החקלאות ופיתוח הכפר*. (2019). אוחזר מתוך https://www.moag.gov.il/subject/the_food_we_eat/perot_ve_yerakot/Pages/hasa.aspx
- נוי, י'. (1982). קרקע ודשן. הקיבוץ המאוחד.
- נעמן, ר' נ'. (2018). הזנה מינרלית בצמחים.

- פפירוס, ה' ה'. (2020). אוחזר מתוך https://www.papirusgan.co.il/
- שגיא, י'. (2012). השפעת הגידול הדמוגרפי על השטחים הפתוחים. *ההשפעות הסביבתיות של גידול האוכלוסייה בישראל*, עמ' 263-273. אוחזר מתוך http://old.magazine.isees.org.il/ArticlePage.aspx?ArticleId=275
- שדה, א'. (2011). מזרע לזרע. אוחזר מתוך https://meyda.education.gov.il/files/Mazkirut_Pedagogit/biology/mizeraheb1-24.pdf

7 נספחים

תמונה 4: הכנת שלט לניסוי:

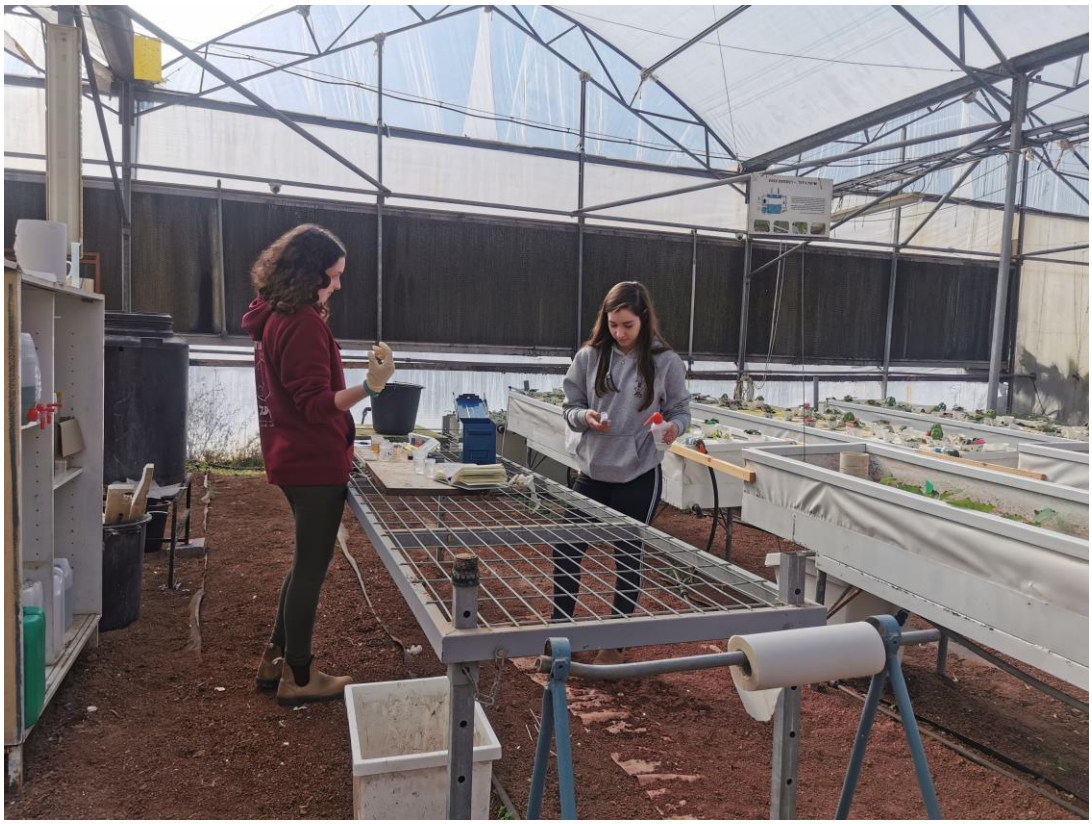


צולם על ידי חוה חדיש בתאריך 02.01.2020

תמונה 5: הכנת מיצוי זה עופות:

צולם על ידי חוה חדיש בתאריך 05.01.2020

תמונה 6: בדיקת מדדים כימיים במים:



צולם על ידי חוה חדיש בתאריך 10.02.2020

תמונה 7: השוואת שתילי חסה בסיום הניסוי:

צולם על ידי ירדן לוי בתאריך 01.03.2020