תכנית 28 - בחינת מווסתי צימוח לעידוד התמיינות והשפעה על צבירת יבול בבטטה

חוקר ראשי: טלי אילני – מו"פ דרום

שותפים : שחר פינקוביץ – שה"מ, איתן שלמה – מו"פ דרום, יהושע קליין – מכון וולקני

סטטוס: שנה ראשונה

מועד התחלה וסיום: 2021-2022

רקע תיאור הבעיה ומטרת המחקר:

כיום בישראל מגדלים כ- 15 אלף דונם בטטות. ריבוי הבטטה נעשה באופן ווגטטיבי ע"י ייחורים הננעצים ישירות בקרקע בחודשי האביב – קיץ. התמיינות ויצירת השורשים מתבצעת באזור ה"עין"(ניצן צמיחה) על גבי הייחור אשר ננעץ בקרקע (Togari, 1950), כך שלעיתים ניתן להבחין במספר עיניים המתמיינות לשורשים על גבי אותו הייחור. בפרק זמן קצר מאוד לאחר השתילה מתחילים להתפתח השורשים מה שמאפשר לשתילים לשרוד ולשגשג גם בתנאי מזג האוויר של הקיץ הישראלי. יחד עם זאת, גידול הבטטה סובל מחוסר אחידות בשדה, כאשר עיקר הבעיה היא מספר הבטטות לצמח. אין זה מן הנמנע כי באותה ערוגה יימצאו צמחים שלהם בטטה אחת (גדולה מאוד ולא ראויה לשיווק) לצד צמח עם 8 בטטות לצמח ואף יותר. חוסר האחידות בשדה גורם למספר בעיות כאשר המרכזית שבהם היא הפחת הרב הנגרם כתוצאה מתוצרת שאינה עונה לקריטריונים של השיווק. הפגיעה הכלכלית הגדולה באה לידי ביטוי ביתר שאת בשנת 2020 שהתאפיינה בהאטה משמעותית בצריכה המוסדית – מה שגרם לעצירה בשיווק בטטות S ו XL (פרקציות שיכולות להגיע לאחוזים ניכרים ביחס ליבול הכללי).

בזכות מבחן הזנים שבוצע בשנתיים האחרונות, נראה שישנם זנים בעלי נטייה לאחידות התמיינות, לדוגמא הזן Eureka (דו"ח מסכם מבחן זנים שנה א' – פינקוביץ & גאבה 2019). אולם, הזנים המסחריים הקיימים בארץ (ג'ורג'יה ג'ט ובורגארד) הינם בעלי פוטנציאל שונות רב בכל מה שנוגע למספר שורשי האגירה לצמח. מחקרים שנעשו בתחום מדגישים מספר נקודות שיש לקחת בחשבון:

א. שורשים אדוונטיביים הנוצרים בשלבים המוקדים לאחר שתילה (Belehu et al. 2004) ייתמינו (פוטנציאלית) לשורשי אגירה.

ב. שלב ההתמיינות הוא עד כחודש לאחר שתילה (Togari, 1950) ואף יש שמראים כי התמיינות זו נקבעת עד שבוע לאחר שתילה (Villordon et al., 2009). משמע – התקופה המאוד מוקדמת לאחר שתילה היא שתכתיב את מספר הבטטות.

ג. ג'יברלין נמצא כמעכב התמיינות שורשי אגירה (Singh et al. 2019).

מווסתי צמיחה (הורמונים צמחיים) יכולים להשפיע על התמיינות שורשים (Acha et al., 2004). מעכבי ג'יברלין דוגמאת Uniconazole, ידועים כ"מסיטים" את המוטמעים לכיוון השורש, לצבירת יבול בתת הקרקע על חשבון צימוח ווגטטיבי. הדבר נבחן גם בבטטה והראה שיפור ניכר ביבול על חשבון הסעת מוטמעים לצימוח (Duan et al., 2020). Uniconazole יושם לאחר כיסוי הנוף את הערוגה במינונים של 50 ו 100 מ"ל / ליטר (נפח תרסיס 45 ליטר לדונם).

כמו כן ידוע כי מחסור בזרחן זמין בתקופה הראשונה להתבססות הצמח עלול להביא לעצירה בהתפתחות מערכת השורשים ולשינוי הארכיטקטורה (Niu et al., 2013), זמינות הזרחן משפיעה על התפתחות שורש האגירה בבטטה (Villordon et al., 2018). בקרקעות שוליות, וכאשר לא מתקיים דישון זרחני, יכולות פטריות סימביונטיות (דוגמאת מיקוריזה George et al., 1995) לייעל את אספקת הזרחן לצמח ובכך לתרום להתבססות מערכת השורשים (Gamalero et al., 2004). הורמונים צמחיים מקבוצת ברסינוסטראידים מעודדים את האינטראקציה בין שורשים לסימביונטים דוגמאת מיקוריזה (McGuiness et al., 2019).

מכל הנ"ל אנו מניחים כי שיפור התמיינות שורשי בטטה בשלבים מוקדמים על ידי מניפולציות שונות (דישון זרחן זמין, עידוד פעילות מיקוריזה ויישום מווסתי צמיחה שונים) יכולים לשפר את האחידות בשדה, להגדיל את היבולים ולהגדיל את אחוז היבול המשווק. כמו כן, יישום מווסתי צמיחה לאחר התבססות הצמח וסיום התמיינות יכול להביא לייעול הסטת המוטמעים לטובת שורשי האגירה על חשבון הנוף. לצורך כך אנו מעוניינים לבחון מספר חומרים ליישום בשתילה ולאחר התבססות הצמח ולבחון את ביצועיהם בשתי קטגוריות עיקריות: א. מספר שורשי האגירה לצמח. ב. יבול כולל.

מהלך המחקר ושיטות העבודה:

<u>ניסוי הקדמי:</u>

בחודש פברואר 2021 ננעצו ייחורי בטטה מזן ג'ורג'יה ג'ט (כייחורים חשופי שורש) בעציצים מלאים בקרקע חולית שנלקחה מהחלקה שבה עתיד להישתל הניסוי.

מכל טיפול נשתלו 8 עציצי 10 ליטר, שלושה ייחורים לכל עציץ. סך הכל 24 צמחים לכל טיפול.

הטיפולים היו:

1. היקש; 2. אילוח במיקוריזה נוזלית (ביו בי); 3. דישון ראש זרחני במינון 120 ח"מ P_2O_5; 4. יישום מעודד השרשה הורמוריל (אוקסין) 3 – טבילה הייחור באבקה; 5. יישום מעודד השרשה הורמוריל (אוקסין) 6 – טבילת הייחור באבקה; 6. טיפול מעודד השרשה ממעבדתו של ד"ר יהושע קליין (RePar, 15 סמ"ק בליטר – השריית הייחור למשך 10 דקות לפני נעיצה). 7. יישום ברסינוסטאידים (B52, 5 סמ"ק בליטר – השריית הייחור למשך 10 דקות לפני נעיצה). 8. יישום ברסינוסטאידים + ביוסטימולנטים (ביוגרין, 0.005% - השריית הייחור למשך 10 דקות לפני נעיצה).

כל הייחורים ננעצו בקרקע כך שקודקוד אחד + עין אחת נעוצים בקרקע. טיפול נוסף של מעודד השרשה הורמוריל 6 נערך כאשר הייחורים ננעצו בקרקע בצורת U כך ששני הקודקודים של הייחור מחוץ לקרקע ולפחות עין אחת בקרקע.

העציצים הושקו בצורה מיטבית בעזרת טפטוף וגודלו במנהרה.

לאחר כחודשיים נעקרו כל הצמחים נמדד אורך השורשים ונקבע המשקל היבש של הנוף ושל השורשים.

<u>ניסוי שדה:</u>

בשטח במו"פ דרום נשתלו בטטות מהזן ג'ורג'יה ג'ט בחודש יוני. שלושת הטיפולים שנמצאו כיעילים בניסוי ההקדמי נבחנו ברמת השדה – 1. מיקוריזה שיושמה כגרנולות 30 גרם למטר ערוגה; 2. RePar – טבילת הייחורים בתמיסה בריכוז 30 מיקרומול ונעיצתם בקרקע לאחר 5-10 דקות; 3. ביוגרין - טבילת הייחורים בתמיסה בריכוז 0.005% ונעיצתם בקרקע לאחר 5-10 דקות. מכל טיפול נשתלו ייחורים על כשמונה מטר ערוגה

כל חזרה, 4 חזרות. לאחר כחודש נדגמו החלקות (מטר ערוגה מכל חזרה) והנוף והשורשים יובשו ונשקלו. בסוף הגידול נבחנו משקל יבול כולל ומספר האשרושים כמתואר מטה.

בנוסף, נבחנו בשדה שני חומרים מעכבי ג׳יברלין – מודוס (טריאקסאפאק-אתיל) וקולטר25 (פקלובוטרזול 250 גרם/ליטר) בשני מינונים כל אחד. החומרים יושמו במועד של כחודשיים משתילה (לקראת סגירת נוף) ו-80 ימים לאחר שתילה בריכוזים כפי שמופיעים בטבלה 1.
בתום שלב הגידול השני הופסקה ההשקייה של הבטטות למשך 21 ימים עד לאיסוף המסחרי. מיד עם הפסקת ההשקיה נדגמו כל הבטטות ממטר אחד של ערוגה (כשני מטר רבוע) בשני מיקומים שונים מכל חלקה. הבטטות חולקו לפי גודל: XS – 0-100 גרם; S – 100-150 גרם; M - 150-300 גרם, 1L – 300-450 גרם; 2L – 450-600 גרם; XL – 600-800 גרם; G – מעל 800 גרם. הבטטות בכל קבוצה נשקלו ונספרו. כמו כן, מכל חלקה נדגמו 5 בטטות, נשקלו והונחו בתנור ב-60 מ״צ עד שלא היה שינוי במשקלן ומשקלן היבש תועד על מנת להעריך את תכולת המים בבטטות בטיפולים השונים.

טבלה 1. מינוני מעכבי ג׳יברלין שניתנו במהלך הניסוי.

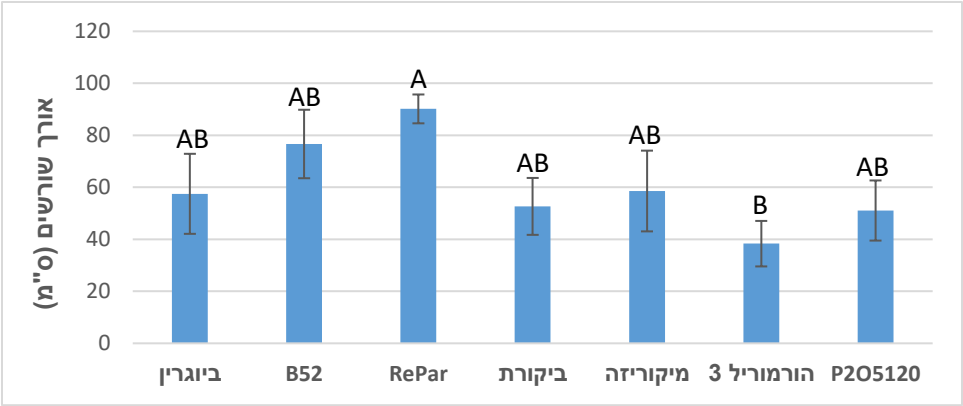
חומר	**יישום ראשון – 50 יום לאחר שתילה**		**יישום שני – 80 יום לאחר שתילה**	
מודוס (טריאקסאפאק-אתיל)	500 ח״מ	1000 ח״מ	1000 ח״מ	2000 ח״מ
קולטר25 (פקלובוטרזול 250 גרם/ליטר)	37.5 ח״מ	75 ח״מ	75 ח״מ	150 ח״מ

קרטנואידים ואנתוציאנינים הם פיגמנטים המקנים לבטטה את הצבע הכתום והסגול. כמותם משתנה בהתאם לזן אבל גם בהתאם לתנאי הגידול ולפעילות ההורמונים בצמח. הפיגמנטים מושפעים מעקות ביוטיות ואביוטיות (כך למשל, עקת קור יכולה להגדיל את כמות האנתוציאנינים בבטטה). בנוסף, הם אנטיאוקסידנטים המועילים לגוף האדם. לשם הערכת כמות ה קרטנואידים והאנתוציאנינים מכל חזרה בכל הטיפולים (מעודדי השרשה ומעכבי ג׳יברלין) נלקחו שתי בטטות. דיסקית דקה נחתכה ממרכז כל בטטה והקליפה הופרדה מהחלק הפנימי. מהקליפה והחלק הפנימי שנלקחו מהדיסקית מוצו קרטנואידים (בעזרת מתנול) או אנתוציאנין (בעזרת 1% MeOH-HCl). אחרי 48 שעות בחושך ב-20 מ״צ המיצויים עברו אנליזה בעזרת ספקטרופוטומטר.

תוצאות ביניים:

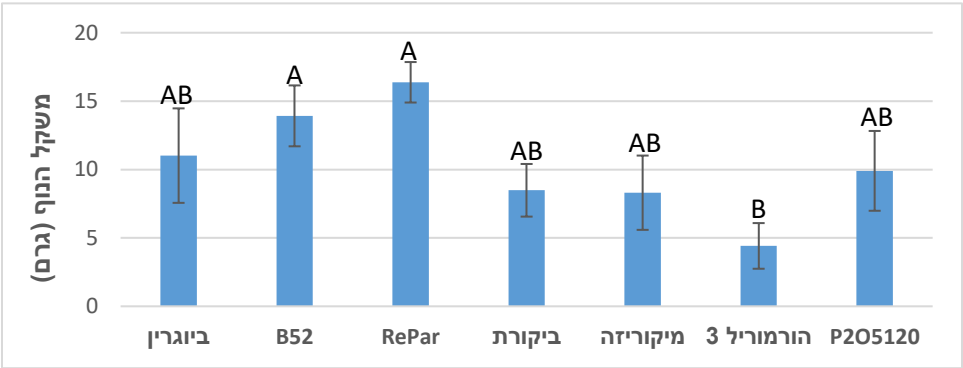
<u>ניסוי הקדמי: השוואה של מעודדי השתרשות שונים</u>

הצמחים בטיפול הורמוריל 6 בשתי שיטות היישום – נעיצה של קודקוד הייחור או נעיצה של הייחור בצורת T, מתו כולם בשלבים מוקדמים מאוד של הניסוי כך שהתוצאות עבור טיפולים אלו אינן מוצגות. גם בטיפול הורמוריל 3 חלק גדול מהצמחים מתו ובאופן כללי השונות היתה גדולה מאוד בין החזרות. התוצאות המוצגות כאן הן עבור 4 חזרות אקראיות מכל טיפול. לאחר כחודשיים בעציצים עדיין לא היתה התמיינות של השורשים לאשרושים אולם התפתחו שורשים רבים. אורך השורשים בטיפולים השונים נע בין 50 ס״מ ל-100 ס״מ בממוצע (איור 1) בטיפולים השונים כאשר השורשים הארוכים ביותר התפתחו בטיפול RePar והקצרים ביותר התקבלו בטיפול הורמוריל 3.



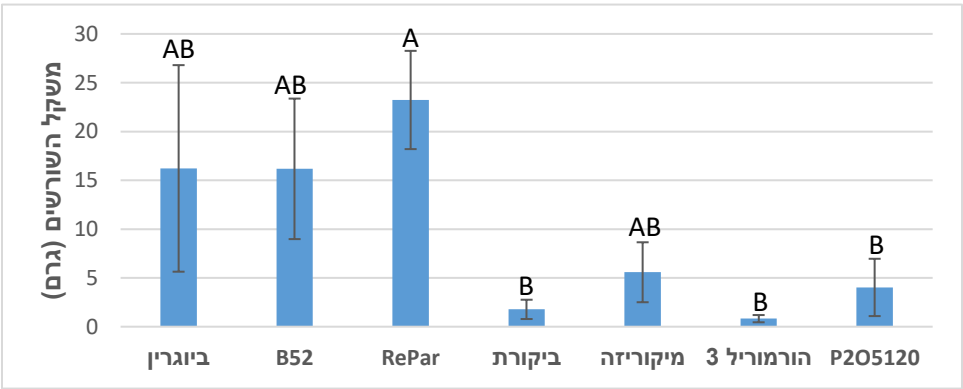
איור 1. ממוצע אורך השורשים בטיפולים השונים בניסוי המקדים בעציצים. עמודות בעלות אותיות שונות נבדלות זו מזו ברמת מובהקות $P<0.05$

משקל הנוף (איור 2) הגבוה ביותר התקבל עבור הטיפולים RePar ו-B52, משקל הנוף בטיפול הורמוריל 3 היה הנמוך ביותר.



איור 2. משקל הנוף בטיפולים השונים בניסוי המקדים בעציצים. עמודות בעלות אותיות שונות נבדלות זו מזו ברמת מובהקות $P<0.05$

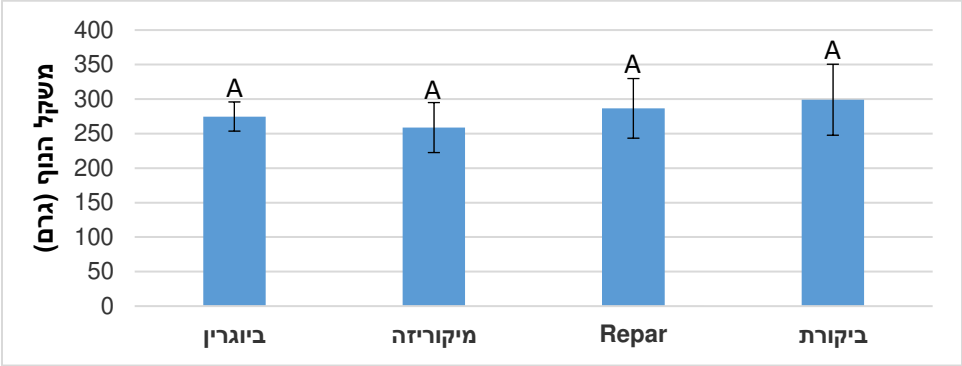
בטיפול RePar התקבל גם משקל השורשים הגדול ביותר, גדול בהאופן מובהק מהביקורת. אולם, גם בטיפולים מיקוריזה, ביוגרין ו-B52 התקבל משקל שורשים שאינו נבדל משמעותית ממשקל השורשים בטיפול RePar. לעומת זאת בכל שאר הטיפולים התקבל משקל שורשים נמוך יותר משמעותית.



איור 3. משקל השורשים בטיפולים השונים בניסוי המקדים בעציצים. עמודות בעלות אותיות שונות נבדלות זו מזו ברמת מובהקות $P<0.05$

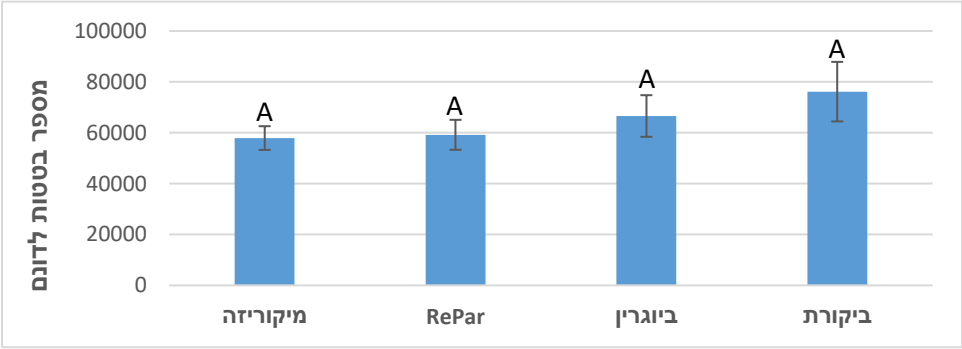
<u>ניסוי שדה – השוואת מעודדי השרשה הטובים בניסוי ההקדמי</u>

בדגימות הצמחים שנלקחו כחודש לאחר שתילה מהחלקות בהם יישמו החומרים מעודדי ההשרשה לא נמצאו הבדלים משמעותיים במשקל הנוף ומשקל השורשים (איור 4).



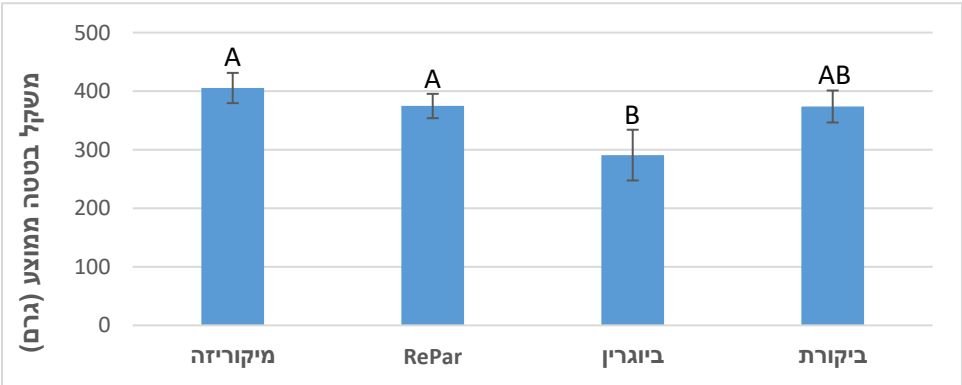
איור 4. משקל הנוף בטיפולי מעודדי ההשרשה השונים בשטח כחודש לאחר שתילה. עמודות בעלות אותיות שונות נבדלות זו מזו ברמת מובהקות $P<0.05$

לא נמצא הבדל במספר הבטטות לדונם בטיפולים השונים בניסוי מעודדי ההשרשה(איור 5).



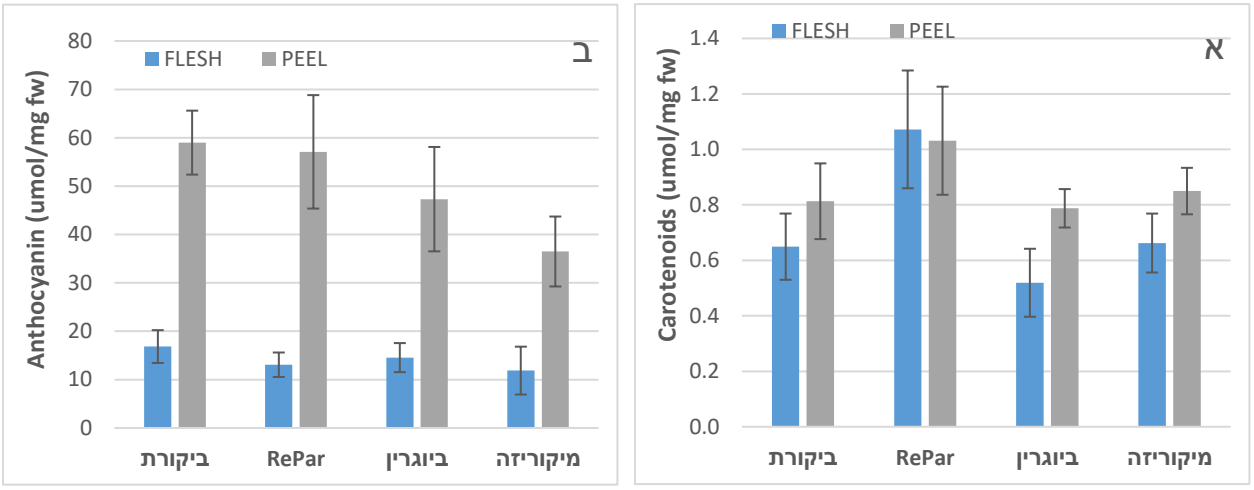
איור 5. מספר בטטות לדונם בטיפולי מעודדי ההשרשה השונים בשטח. עמודות בעלות אותיות שונות נבדלות זו מזו ברמת מובהקות $P<0.05$

משקל הבטטה הממוצע בטיפול הביוגרין היה נמוך משמעותית ממשקל הבטטה הממוצע בטיפולי המיקוריזה וה-RePar.



איור 6. משקל בטטה ממוצע (גרם) בתום עונת הגידול בטיפולים השונים. עמודות בעלות אותיות שונות נבדלות זו מזו ברמת מובהקות $P<0.05$

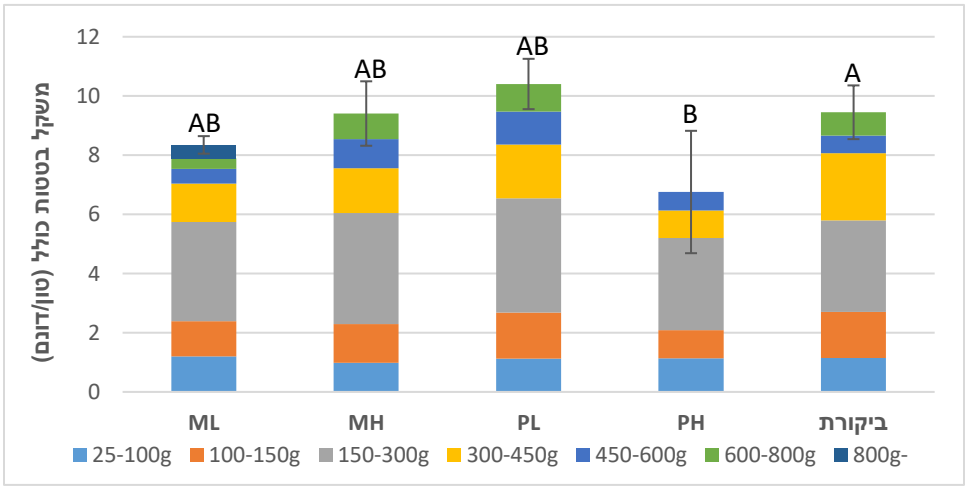
ניתוח של תכולת הקרטנואידים והאנתוציאנינים בבטטות ובקליפת הבטטות מוצג באיור 7. תכולת הקרטנואידים היתה גבוהה יותר בטיפול בו נטבלו הייחורים ב-RePar גם בקליפה וגם בתוך הבטטה (איור 7א). תכולת האנתוציאנינים היתה מעט נמוכה יותר בקליפת הבטטה בטיפול בו הוספה מיקוריזה לקרקע (איור 7ב). בתוך הבטטה לא היו הבדלים בתכולת האנתוציאנינים בין הטיפולים השונים.



איור 7. תכולת הקרטנואידים (7א) והאנתוציאנינים (7ב) בקליפות ובפנים הבטטות בטיפולים השונים בטיפולי מעודדי ההשרשה.

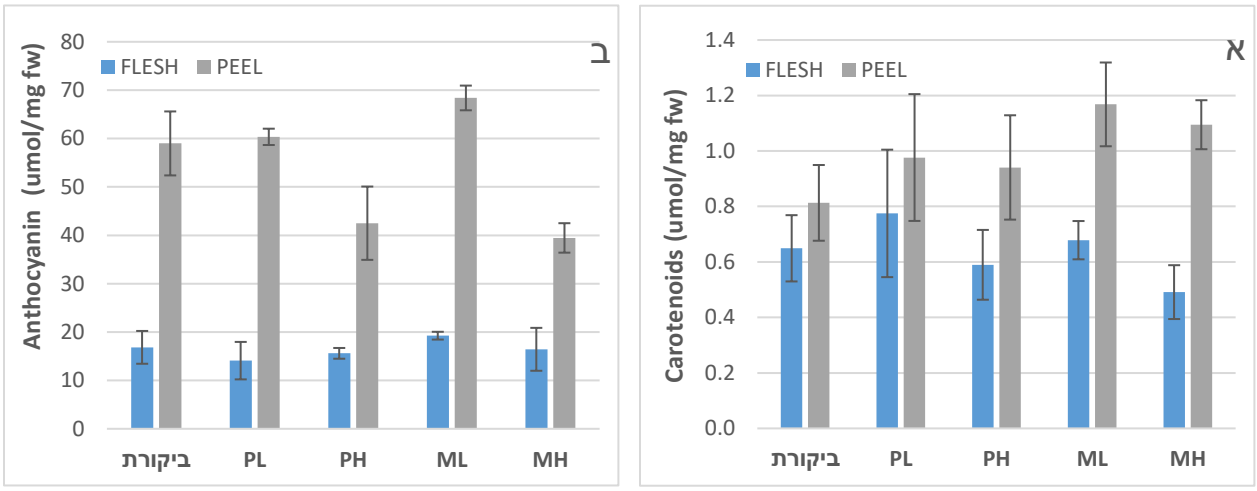
<u>ניסוי שדה – מעכבי ג׳יברלין</u>

משקל הבטטות הכולל 130 ימים לאחר שתילה מוצג באיור 8. בשלושה מתוך ארבעת הטיפולים ריסוס ההורמונים על הצמחים לא השפיע על משקל הבטטות הכולל. בטיפול השלישי, טיפול הפקלובוטרזול במינון גבוה, משקל הבטטות הכולל היה קטן ממשקל הבטטות בביקורת. כבר בקבוצת המשקל של 100-150 גרם היבול היה נמוך יותר ולא היו כלל בטטות במשקל מעל 600 גרם בטיפול זה.



איור 8. משקל הבטטות הכולל (טון/דונם) בטיפולים השונים בניסוי מעכבי הג׳יברלין מחולק לפי קבוצות גודל המקובלות בשיווק הבטטות. כאשר PL ו-PH = פקלובוטרזול בריכוז נמוך וריכוז גבוה, בהתאמה; ML ו-MH = מודוס בריכוז נמוך וגבוה, בהתאמה. עמודות בעלות אותיות שונות נבדלות זו מזו ברמת מובהקות $P<0.05$

בטיפול המודוס בריכוז הגבוה ובריכוז הנמוך היה ריכוז קרטנואידים גבוה יחסית בקליפה איור 9א). בבשר הבטטה לא נראו הבדלים בתכולת הקרטנואידים בין הטיפולים השונים. תכולת האנתוציאנינים בקליפה היתה נמוכה ביותר בטיפולים שרוססו בהורמונים בריכוז הגבוה יותר (איור 9ב). גם במקרה של האנתוציאנינים השונות בין החזרות בתוך כל טיפול היתה גדולה מאוד ובסך הכל לא היו הבדלים משמעותיים בתכולתם בבשר הבטטה.



איור 9. תכולת הקרטנואידים (9א) והאנתוציאנינים (9ב) בקליפות ובפנים הבטטות בטיפולים השונים בניסוי מעכבי הגיברלין. כאשר PL ו-PH = פקלובוטרזול בריכוז נמוך וריכוז גבוה, בהתאמה; ML ו-MH = מודוס בריכוז נמוך וגבוה, בהתאמה.

דיון:

<u>ניסוי הקדמי:</u>

בניסוי המקדים מצאנו כי טיפול RePar נתן את התוצאות הטובות ביותר בשיפור משקל השורשים לעומת הביקורת. גם עבור משקל הנוף ואורך השורשים הטיפול הראה תוצאות טובות. לאחריו התקבלו תוצאות טובות עבור הטיפולים ביוגרין, B52 ומיקוריזה. לכן, הוחלט לבדוק את ארבעת הטיפולים הללו גם בתנאי שדה. אולם, מאחר ולא הצלחנו להשיג בזמן את החומר B52 בכמות שתספיק לניסוי שדה הניסוי בוצע רק עבור שלושת החומרים האחרים.

<u>ניסוי שדה – מעודדי השרשה:</u>

נראה כי בניגוד למצופה ובניגוד לתוצאות שהתקבלו בניסוי המקדים, מעודדי ההשרשה שנבחנו בשטח לא הגדילו את מספר הבטטות ביחס לביקורת. בין צמחי בטטה ישנה שונות טבעית גדולה במספר ובגודל הבטטות הנוצרות מכל צמח. ניתן לראות זאת אם מסתכלים על שגיאות התקן בכל הפרמטרים. גם להקטנה של השונות ישנה חשיבות רבה משום שכך נוכל לקבל אחידות גדולה יותר בשטח ולשלוט יותר ביבול המתקבל. כך ניתן לראות כי למרות שבריכוזים ובשיטת היישום שנבחנה בניסוי זה לא הצלחנו להגדיל את מספר הפקעות ביחס לביקורת בטיפולים בהם ניתנו מיקוריזה וביוגרין השונות בין החזרות היתה קטנה יותר.

תרומת RePar מתבטאת בהגדלת רמת הקרטנואידים דבר המועיל לבריאות האדם.

ניסוי שדה – מעכבי ג׳יברלין:

צמח הבטטה מפתח נוף מעבר לכיסוי של 100%. התפתחות של הנוף בשלב מסויים יכולה לבוא על חשבון התפתחות האשרושים (Duan et al., 2020). השימוש במעכבי הג׳יברלין לאחר כיסוי מלא של הנוף יכול לדכא את התפתחות הנוף כך שהצמח ישקיע יותר מהאנרגיה שלו בהתפתחות האשרושים. בניסוי הנוכחי לא נראה כי הצלחנו להגיע לריכוז ו/או לתיזמון הנכון של מתן מעכבי הג׳יברלין על מנת לדכא את התפתחות הנוף או לעודד התפתחות של האשרושים. במקרה של פקלובוטרזול בריכוז הגבוה ההורמון אפילו גרם לתופעה ההפוכה כאשר התפתחות הבטטות נפגעה והתקבל יבול בטטות נמוך יותר מאשר בטיפול הביקורת. הריכוזים הגבוהים של ההורמונים הובילו גם לריכוז נמוך יותר של אנתוציאנינים בקליפת הבטטה. התוצאות מראות מגמה שפקלובוטרזול ברמות נמוכות נתן את התצאות הטובות ביותר.

ריסוסי המננסים (אנטי ג׳ברלין) ניתנו חודשיים לאחר השתילה, ויתכן שלא התקבלו תוצאות טובות כי ריסוס החומרים בשלבים מוקדמים יותר, לפני כיסוי מלא של הנוף יכול לתרום להקצאת משאבים טובה יותר כבר בשלבים מוקדמים וכך להגדיל את היבול.

ספרות מצוטטת:

Acha, I. A., Shiwachi, H., Asiedu, R., & Akoroda, M. O. (2004). Effect of auxins on root development in yam (Dioscorea rotundata) vine. *Tropical science*, *44*(2), 80-84.

Belehu, T., Hammes, P. S., & Robbertse, P. (2004). The origin and structure of adventitious roots in sweet potato (Ipomoea batatas). *Australian Journal of Botany*, *52*(4), 551-558.

Duan, W., Zhang, H., Xie, B., Wang, B., Hou, F., Li, A., ... & Zhang, L. (2020). Foliar application of uniconazole improves yield through enhancement of photosynthate partitioning and translocation to tuberous roots in sweetpotato. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *66*(3), 316-329.

Gamalero, E., Trotta, A., Massa, N., Copetta, A., Martinotti, M. G., & Berta, G. (2004). Impact of two fluorescent pseudomonads and an arbuscular mycorrhizal fungus on tomato plant growth, root architecture and P acquisition. *Mycorrhiza*, *14*(3), 185-192.

George, E., Marschner, H., & Jakobsen, I. (1995). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. *Critical Reviews in Biotechnology*, *15*(3-4), 257-270.

McGuiness, P. N., Reid, J. B., & Foo, E. (2019). The role of gibberellins and brassinosteroids in nodulation and arbuscular mycorrhizal associations. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 269.

Niu, Y. F., Chai, R. S., Jin, G. L., Wang, H., Tang, C. X., & Zhang, Y. S. (2013). Responses of root architecture development to low phosphorus availability: a review. *Annals of botany*, *112*(2), 391-408.

Singh, D., Sergeeva, L., Ligterink, W., Aloni, R., Zemach, H., Doron-Faigenboim, A., ... & Firon, N. (2019). Gibberellin Promotes Sweetpotato Root Vascular Lignification and Reduces Storage-Root Formation. *Frontiers in plant science*, *10*, 1320.

Togari, Y. (1950). A study of tuberous root formation in sweet potato. *Bull. Nat. Agr. Exp. Station*, *68*, 1-96.

Villordon, A. Q., La Bonte, D. R., Firon, N., Kfir, Y., Pressman, E., & Schwartz, A. (2009). Characterization of adventitious root development in sweetpotato. *HortScience*, *44*(3), 651-655.

Villordon, A., Gregorie, J. C., LaBonte, D., Khan, A., & Selvaraj, M. (2018). Variation in 'Bayou Belle'and 'Beauregard'Sweetpotato Root length in response to experimental phosphorus deficiency and compacted layer treatments. *HortScience*, *53*(10), 1534-1540.

שחר פינקוביץ וויקטור גאבה (2019). סיכום שנה א' מבחן זני בטטה. אתר שה"מ