

מועצה אזורית אשכול
מועצה אזורית שדות נגב
מועצה אזורית מרחבים



SOUTH AGRICULTURAL R&D CENTER

משרד החקלאות ובטחון המזון
קרן קיימת לישראל

משרד
החקלאות
ובטחון המזון



מועצת הצמחים



יק"א בישראל
ICA in Israel

מכון וולקני
מנהל המחקר החקלאי



דו"ח מסכם 2023-2025

תכנית 92-03-0010



מו"פ דרום / דו"ח סופי מסכם

- מספר מחקר: 92-03-0010

- שם התכנית: משטר דישון בטטה לשיפור יבול ואיכות הבטטה

- חוקרת ראשית: טלי אילני

- חוקרים שותפים: ציפורה טייטל, מרכז מחקר גילת; זיו מי-טל, שה"מ

- סטטוס התכנית: הסתיימה

- מועד התחלה וסיום התכנית: ינואר 2023 – דצמבר 2025

תקציר

המחקר בחן את השפעת משטרי הדישון האשלגני והחנקני על יבול, איכות שיווקית ואיכות תזונתית-בריאותית של בטטה, בשלוש עונות גידול (2023–2025) בתנאי הנגב המערבי. מטרת-העל הייתה לפתח המלצות דישון מיטביות לשיפור אחידות היבול, כמותו ואיכותו. הניסוי כלל דישון אשלגני בשלבי הגידול השונים של הבטטה: שלב I (0-40 ימים משתילה), שלב II (40-90 ימים משתילה), שלב III (90-120 ימים משתילה), שלב II+III, דישון רציף, וללא תוספת דישון אשלגני. בשנה השלישית נבחן גם שינוי יחס N:K ושינויי השקיה. במהלך העונות נמדדו: ריכוזי אשלגן וניטרט בפטוטורות, כיסוי נוף, מספר ואיכות האשרושים בשלבי גידול שונים, יבול סופי והתפלגות גדלים, איכות אחסון, ותכולת רכיבים תזונתיים וערך בריאותי (פוליפנולים, אנתוציאנינים, קרטונואידים, פיטוסטרולים, חלבון ופעילות נוגדת חמצון) בעלים ובאשרושים.

בעונות הראשונה והשנייה, למרות כמות אשלגן התחלתית גבוהה בקרקע, נמצא כי דישון בשלב I שיפר משמעותית את היבול בעונה הראשונה, במיוחד בקטגוריית הבטטות לשיווק (100–600 גרם). בעונה השנייה לא נמצאו הבדלים מובהקים, ככל הנראה עקב מועד שתילה מאוחר. ריכוזי האשלגן בפטוטורות לא הושפעו מהטיפולים — תופעה התואמת את "הריכוז הקריטי הדינמי".

בשנה השלישית, שינוי יחס N:K לא השפיע מובהקות על היבול הסופי, אך נצפתה מגמה של עיכוב התפתחותי בטיפולים עם פחות חנקן או פחות מים. איכות האחסון לא הושפעה מהטיפולים. במדדי איכות תזונתית ובריאותית נמצאו הבדלים משמעותיים: דישון בשלב II ובשלב II+III שיפר תכולת פוליפנולים, אנתוציאנינים ופעילות נוגדת חמצון בעלים ובאשרושים. דישון רציף שיפר חלק מהמדדים אך הוריד אחרים.

המחקר מצביע על חשיבות תזמון הדישון האשלגני, במיוחד בשלב I לשיפור יבול, ובשלב II לשיפור איכות תזונתית. הממצאים תומכים בהמלצה לממשק דישון מפוצל ומדויק בהדשיה בטפוף.

רקע קצר ותיאור הבעיה

כיום מגדלים בארץ כ-12,000 דונם בטטות כמחציתם באזור הנגב והבשור. גידול הבטטות על קרקע חולית, האופיינית לאזור הבשור, מיטיב עם מבנה האשרוש. אחד האתגרים הגדולים של מגדלי הבטטות הוא אחידות הגידול. צמח בטטה אחד יכול להוציא בין בטטה אחת ל-10 בטטות. גודל הבטטות בצמח בודד יכול לנוע בין מספר בטטות ענקיות (במשקל של עד 1000 גרם) והרבה בטטות קטנות במשקל של 100 גרם ופחות שאין להן ערך שיווקי. חוסר אחידות זה מעיד על ניצול לא יעיל של משאבי הקרקע (מים ומינרלים) ומקשה על

החקלאי בשיווק הסחורה כאשר בטטות בגדלים שונים מיועדות לשווקים שונים. הסיבות לחוסר האחידות אינן ידועות אך יכול להיות שהן מערבות גורמים אפיגנטיים, ביוכימיים או שיטות ריבוי שמעודדות את התופעה. האשלגן משחק תפקיד חשוב במחזור החיים של הבטטה. הוא מגביר את צמיחת השורשים ומשפר את העמידות ליובש, מפעיל מערכות אנזימטיות רבות, שומר על הטורגור, מפחית איבודי מים ונבילה. אשלגן גם תורם להגדלת תכולת חלבונים, עמילן וסוכרים בצמח ועוזר בדיכוי מחלות. הבטטה היא שורש מעובה (אשרוש) המתחיל להיווצר כתוצאה מפעילות קמביאלית ראשונית גבוהה (Byju and George, 2005). על מנת לזרז פעילות זו בשורש המעובה בו עמילן נאגר צריך אשלגן. צמח הבטטה צורך כמות אשלגן רבה גם לצורך התפתחות הנוף וגם להתפתחות שורשי האגירה. כמות האשלגן שמוציאים עם הבטטות משטח של דונם ביבול של 10 טון לדונם היא 26-36 ק"ג. בנוף, האשלגן יכול להגיע לרמות של עד כ-3% מהמשקל היבש, 13-18 ק"ג עבור יבול של 10 טון לדונם (Bruns and Bouwkamp, 2019). רב צריכת האשלגן על ידי הנוף מתרחשת בין החודש השלישי לחמישי של הגידול ורב צריכת האשלגן של האשרושים מתרחשת בחודש הרביעי והחמישי ובזמן זה מתחילה לרדת צריכת האשלגן על ידי הנוף. בזמן הגידול יש לשמור על יחס נמוך בין חנקן לאשלגן כאשר האופטמלי הוא יחס N:K של בין 1:3 ל-2:3. ביחס כזה מוצאת סינתזת החלבונים בבטטה ועולה משקל האשרושים (Ravi and Indira, 1999).

Klipcan et al. (2020) הראו כי הוספה של דישון יסוד אשלגני משפרת את כמות היבול ואת איכות הקליפה של הבטטה בקרקעות החוליות של הנגב בהן מתבצע חלק גדול מגידול הבטטה בארץ. אולם, קרקעות אלו מעובדות ומדושנות כבר שנים וברבות מהן תכולת האשלגן ההתחלתית אינה נמוכה ולכן לפי המלצות הדישון כיום, במידה ותכולת האשלגן ההתחלתית בקרקע גבוהה – אין צורך לדשן כלל באשלגן. מצד שני, מאחר וכמות רבה של האשלגן נצרכת בשלבי הגידול הראשונים של הבטטה – יש צורך לעקוב אחר תכולת האשלגן במהלך העונה ובמידת הצורך להוסיף דשן אשלגני. מעקב אחר תכולת האשלגן בקרקע נעשה על ידי בדיקות קרקע שמחירן יקר וההליך מורכב, וחקלאים רבים בוחרים לוותר על הבדיקות. בנוסף, בשנים האחרונות מגדלי הבטטות עוברים להשקיה בטפטוף לעומת השקיה בהמטרה שהיה נהוג בעבר. ההשקיה בטפטוף מאפשרת הדשיה לאורך כל העונה ישירות אל בית השורשים של הצמח. עיקר הדישון האשלגני בעולם נעשה בדישון יסוד ורב המחקרים שנעשו על השפעת הדישון האשלגני על הבטטה נעשו עם דישון יסוד בלבד. אולם, Mukhopadhyay et al. (1993) הראו שדישון מפוצל (חצי מהמנה המומלצת ביסוד וחצי 35-ימים לאחר שתילה) משפר את צבירת החומר היבש ביבול לעומת דישון יסוד בלבד. מכאן אנו מעריכים כי המלצות דישון אשלגני במהלך העונה שיתייחסו לא רק לכמות אלא גם למועד יישום האשלגן, יכולות לשפר את כמות ואיכות היבול. הצלחה להגדיל את צבירת המסה של הבטטה יכולה לתרום לאחידות גדולה יותר בשדה. בנוסף, ההדשיה מאפשרת דיוק של היחס בין החנקן לאשלגן במהלך העונה, יחס שהוא קריטי להקצאת המשאבים של צמח הבטטה מהנוף אל האשרושים, כלומר להגדלת היבול. בשנים האחרונות מתפתח מאוד בעולם העניין במזון בריאות ובתוספי תזונה, לצד דרישה לסוגי קמח נטולי גלוטן או בעלי רמת פחמימות נמוכה ובעלי ערך תזונתי גבוה. לאשרוש הבטטה ערך תזונתי ובריאותי גבוה, הוא עשיר במינרלים ומכיל תרכובות מקדמות בריאות רבות, ביניהן קרוטנואידים, פוליפנולים, אנתוציאנינים, סטרולים וקומרינים וכן בעל פעילות נוגדת חמצון. כמו כן הוא מכיל חלבון, עמילן ומינרלים. גם עלי הבטטה נאכלים ובעלי תכולה גבוהה של מינרלים ושל

מרכיבי בריאות כגון אנתוציאנינים ופוליפנולים, ובעלי פוטנציאל גבוה לשימוש כירק עלים. תזמון נכון של הוספת אשלגן עשוי לשפר את תכולת החלבונים והחומרים בעלי ערך בריאותי באשרוש ובעלים.

מטרות המחקר

מטרת המחקר העיקרית הינה פיתוח המלצות למשטר דישון אשלגני מיטבי לשיפור אחידות הגידול בשטח מבחינת מספר ומשקל הבטטות כמו גם לשיפור כמות היבול ואיכותו השיווקית והתזונתית- בריאותית. על מנת להגיע למטרה זו היעד בשנתיים הראשונות היה: **בחינת תזמון הדישון האשלגני האופטימלי לשיפור כמות ואיכות היבול.**

על מנת להגיע למטרה זו עלינו לבחון מספר מטרות משנה:

1. בחינת תזמון הדישון האשלגני האופטימלי לשיפור כמות ואיכות היבול

אשלגן משפיע על היבול בצורה שונה בשלבי הגידול השונים. בתחילת הגידול הוא תורם להתמיינות השורשים לשורשי אגירה, בהמשך רוב האשלגן הנצרך מובל אל הנוף ובשלב הגידול האחרון, השלב בו האשרושים מתמלאים, האשלגן מהווה חלק ניכר מצבירת המסה של האשרוש. כדי להגדיל יבול נרצה לספק מספיק אשלגן לצמח כבר בשלבי הגידול הראשונים, שלב התמיינות השורשים, תוך התחשבות בכמות האשלגן בקרקע. בשלב השני ישנו משחק עדין של הקצאת משאבים – נרצה שהצמח יפתח מספיק נוף על מנת לתמוך בהתפתחות האשרושים. אולם התפתחות העלווה בבטטה יכולה לבוא על חשבון ההתפתחות התת קרקעית. לכן יש צורך במציאת התזמון הנכון על מנת שהנוטריינטים יוקצו להתפתחות פקעות יותר מלהתפתחות נוף.

2. לימוד היחס הרצוי בין הדישון האשלגני לדישון החנקני

צמחי הבטטה זקוקים גם לחנקן וגם לאשלגן. אולם ליחס ביניהם חשיבות רבה. מחקרים שונים הראו כי דישון חנקני בעודף מוביל להקצאת משאבים לא מאוזנת בין העלווה לאשרושים. לכן, ישנה חשיבות רבה לא רק לתזמון מתן האשלגן אלא לשמירה על יחס נכון בין האשלגן לחנקן לאורך העונה.

3. התאמת משטר ההשקיה למשטר הדישון

הגדלה של כמות האשלגן הניתנת לגידול בשלבי גידול שונים יכולה להשפיע על צריכת המים של הצמח בשלבים אלו.

4. בחינת השפעת משטרי הדישון וההשקיה על הערך הבריאותי והתזונתי של אשרושי ועלי הבטטה

הן האשרושים והן העלים עשירים בתרכובות בעלות תרומה בריאותית, וכפי שאנחנו (Tietel et al., 2020) ואחרים הראינו תכולת תרכובות אלו עשויה להיות מושפעת מן הממשק, ובין היתר ממשטר הדישון וההשקיה. הצרכן נותן משקל רב גם לערך הבריאותי של המזון, ולפיכך יש חשיבות רבה לבדוק במקביל להשפעה על היבול ועל האיכות השיווקית אף את ההשפעה של הטיפול המוצעים על האיכות הבריאותית והתזונתית, על מנת לראות כי האיכות לא נפגעת ויש לשער אף משתפרת. דישון אשלגני יכול לשפר מדדים אלו גם בעלים וגם באשרושים. לכן, תבחן תכולת המינרלים, תכולת החלבון והעמילן ותכולת מרכיבי בריאות באשרושים ובעלים.

מהלך המחקר ושיטות עבודה

הכנת חלקות הניסוי

שנה א': חלקת גידולי שדה במו"פ דרום חולקה ל- 30 חלקות בבלוקים באקראי. אורך כל חלקה 20 מטרים ורוחב החלקה 6 מטרים (3 ערוגות כפולות), כל טיפול דישון התבצע על 5 חלקות (כלומר, 5 חזרות לטיפול). בטטות מזן ג'ורג'יה ג'ט נשתלו ב-19.6.23.

שנה ב': חלקת גידולי שדה במו"פ דרום חולקה ל- 27 חלקות באקראי. אורך כל חלקה 20 מטרים ורוחב החלקה 6 מטרים (3 ערוגות כפולות), כל טיפול דישון התבצע על 4-5 חלקות (כלומר, 4 חזרות לטיפול). בטטות מזן ג'ורג'יה ג'ט נשתלו ב-22.7.24.

שנה ג': חלקת גידולי שדה במו"פ דרום חולקה ל-24 חלקות. אורך כל חלקה 30 מטר ורוחב החלקה 6 מטר (3 ערוגות כפולות), כל טיפול התבצע על 6 חלקות (6 חזרות). בטטות מזן ג'ורג'יה ג'ט נשתלו ב-10.6.25. בכל שלושת השנים השקיית החלקות היתה בטפטוף טמון בעומק של עד 5 ס"מ (טפטפות כל 15 ס"מ בספיקה של 0.6 ליטר לשעה). ניטור תכולת הרטיבות בקרקע נעשה על ידי טנסיומטרים שהוצבו בחלקה אחת לכל טיפול. הקרקע בניסוי חולית: כ-87% חול, 3% סילט, 10% חרסית.

בחינת תזמון הדישון האשלגני לשיפור כמות ואיכות היבול

המלצות הדישון האשלגני לאורך עונת גידול בטטה הן כ-20-25 ק"ג לדונם. בבדיקות הקרקע שנערכו בחלקות נמצא כי כמות האשלגן הזמין היתה כ- 5 ק"ג לדונם. בעונות הראשונה והשניה ניתנו כ- 20 ק"ג לדונם אשלגן כאשר המנה הזו חולקה באופן שונה בכל טיפול כפי שמתואר בטבלה 1. בעונה השלישית ניתנו כ- 15 ק"ג לדונם לפי הטיפולים המתוארים בטבלה 1. בכל העונות ניתן דשן טוב 0-0-15. הדישון החנקני (אמון חנקתי 21%) ניתן בהדשיה לאורך כל העונה בהתאם למקובל באזור (15 ק"ג לדונם) במהלך העונה הראשונה והשניה. בעונה השלישית בטיפול אחד ניתנו 15 ק"ג לדונם, בטיפול השני 7.5 ק"ג לדונם ובשני טיפולים 10 ק"ג לדונם כאשר אחד הושקה לפי ההמלצות ובדומה לטיפולים האחרים ואחד הושקה ב-70% מכמות המים.

טבלה 1. מינון הדשן האשלגני שניתן בטיפולים השונים בתקופות הגידול השונות, המינון לכלל העונה בכל טיפול וכמות האשלגן שניתנה בעונות הראשונה והשניה.

סה"כ		90-120 ימים		40-90 ימים		0-40 ימים			
N	K	חנקן	אשלגן	חנקן	אשלגן	חנקן	אשלגן		
ק"ג	ק"ג	ליטר/דונם/יום						שם	עונה
0.0	0	0.4		0.4		0.4		בלי	II+I
15	20	0.4		0.4		0.4	3.5	שלב I	
15	20	0.4		0.4	2.8	0.4		שלב II	
15	20	0.4	1.7	0.4	1.7	0.4		שלב III+II	
15	20	0.4	4.7	0.4		0.4		90 יום	
15	20	0.4	1.2	0.4	1.2	0.4	1.2	כל הזמן	
7.5	15	0	0.5	0.2	0.4	0.5	1.6	יחס $0.5 = K/N$	III
10	15	0	0.5	0.5	0.4	0.5	1.6	יחס $0.67 = K/N$	
10	15	0	0.5	0.5	0.4	0.5	1.6	יחס $0.67 = K/N$ + 70% השקיה	
15	15	0.3	0.5	0.2	0.4	1	1.6	יחס $1 = K/N$	

במהלך כל עונה נערך אומדן של מספר הצמחים שנקלטו ובתום כל שלב גידול (40, 90, 150 ימים אחרי שתילה) הוערכו מספר האשרושים והיבול. מספר פעמים במהלך העונה (20 ימים לאחר שתילה ולאחר מכל כל שבועיים) נבדקו פטוטות להערכת ריכוז ניטרט ואשלגן. במהלך העונה ועד לכיסוי מלא נערך מעקב אחרי אחוז כיסוי הנוף בעזרת אפליקציית Canopy Cover. הצילומים נלקחו תמיד מאותו גובה ואותו כיוון על ידי אותו אדם בשעות הבוקר, לפני שנוצר צל על הצמחים. ההשקיה הופסקה 120 ימים אחרי שתילה ופקעות נאספו 30 ימים לאחר מכן.

בחינת השפעת הטיפולים על כמות היבול, האיכות השיווקית וכושר האחסון של הבטטות

בשנת הניסוי הראשונה, 110 ימים לאחר שתילה, ב-7 באוקטובר, הפסיקה לעבוד מערכת ההשקיה וההדשיה של הניסוי. כמו כן, שטח הניסוי הוכרז כשטח צבאי סגור ולא ניתן היה להכנס לעבוד בו באופן סדיר עד לחודש פברואר 2024. כך ששלב ההשקיה האחרון היה קצר מהמתוכנן ואיסוף הבטטות התרחש באיחור של כ-4 חודשים. האיסוף והאיפיון נערכו באותו אופן בכל שלושת השנים. הבטטות נאספו משטח של 4 מטר ערוגה. הבטטות מוינו לפי משקל ל-8 קטגוריות: XXS – 0-25 גרם, XS – 25-100 גרם, S – 100-150 גרם, M – 150-300 גרם, L1 – 300-450 גרם, L2 – 450-600 גרם, XL – 600-1800 גרם, G – 800 גרם ויותר. בעונה האחרונה הבטטות הוכנסו לאחסון בקירור ונערך מעקב אחר השרדות הבטטות באחסון במשך כשלושה חודשים.

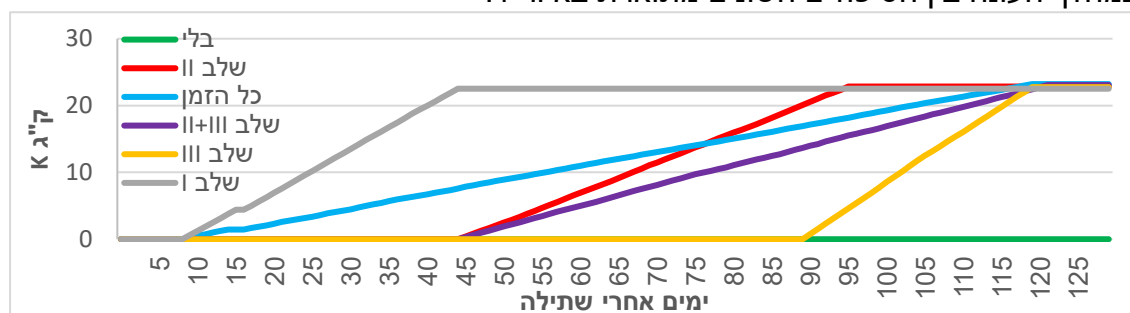
בחינת השפעת הטיפולים על האיכות התזונתית והבריאותית של אשרושי ועלי בטטה

בשתי העונות הראשונות, כ-10 אשרושים מייצגים מכל טיפול (3 חזרות) וכן דוגמאות של עלים מייצגים בתום הגידול (3 חזרות), לפני הורדת הנוף נשלחו לבחינת תכולת החלבון והעמילן ותכולת מרכיבי הבריאות: פוליפנולים, אנתוציאנינים, קרוטנואידים, סטרולים ופלבנואידים וכן והפעילות נוגדת החמצון (בשיטה ספקטרופוטומטרית). אלה נבדקים בעלים, באשרושים ובקליפות בנפרד ונמדד היחס שבין קליפה לאשרוש. תכולת המינרלים נבדקת במספר דוגמאות מייצגות.

תוצאות

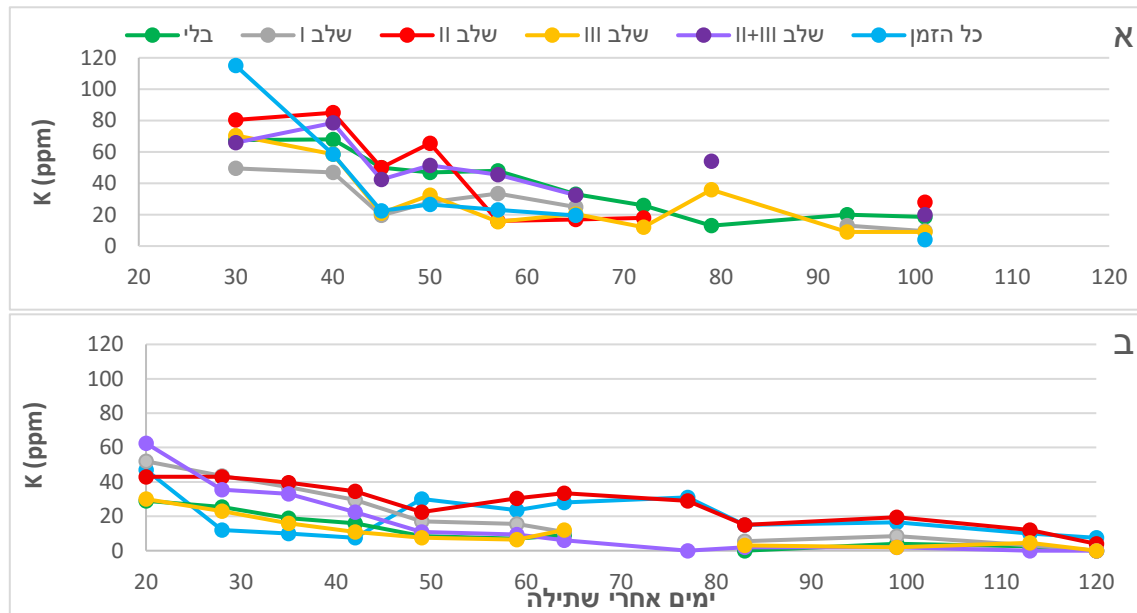
בחינת תזמון הדישון האשלגני האופטימלי לשיפור כמות ואיכות היבול

בשנתיים הראשונות כל הטיפולים קיבלו כמות דומה של אשלגן אך בתזמונים שונים. התפלגות הדישון האשלגני במהלך העונה בין הטיפולים השונים מתוארת באיור 1.



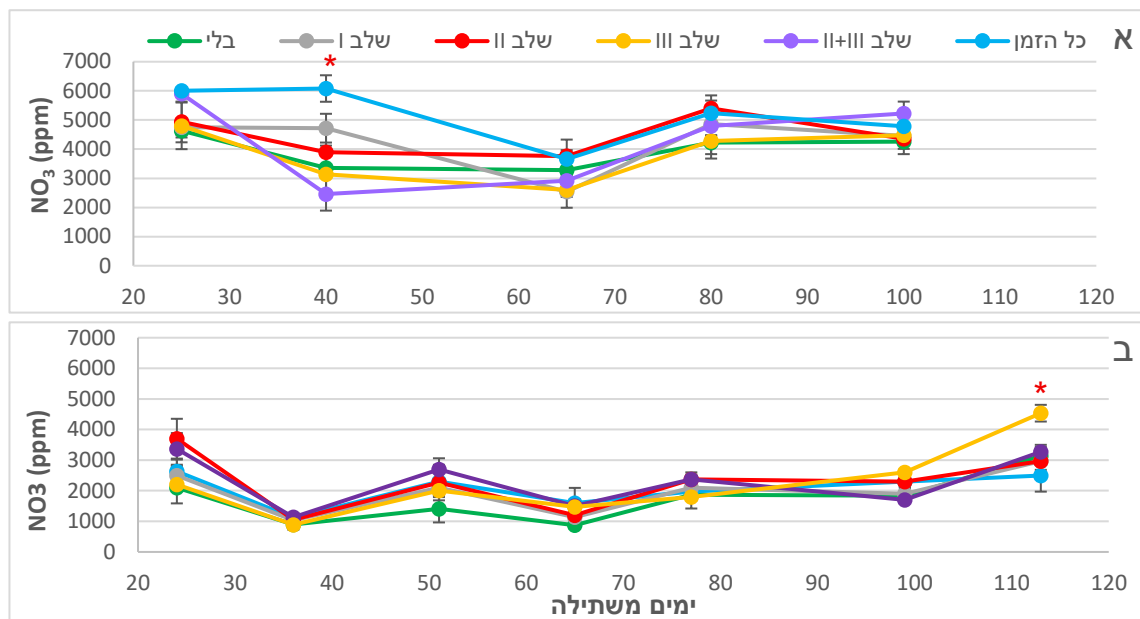
איור 1. התפלגות הדישון האשלגני (ק"ג K לדונם) במהלך עונות הגידול הראשונה והשניה בטיפולים השונים.

איור 2 מראה כי בתחילת הניסוי, בשתי השנים, היה ריכוז גבוה של אשלגן בתמיסת הקרקע בכל הטיפולים, גם אלו שלא הוסף אליהן דשן אשלגני כלל, בשנה הראשונה (איור 2א) גבוה מאשר בשניה (איור 2ב). בכל הטיפולים היתה ירידה בריכוז האשלגן עם הזמן כאשר רואים פיקים של עליה בריכוז בימים הראשונים של הוספת האשלגן בחלק מהטיפולים



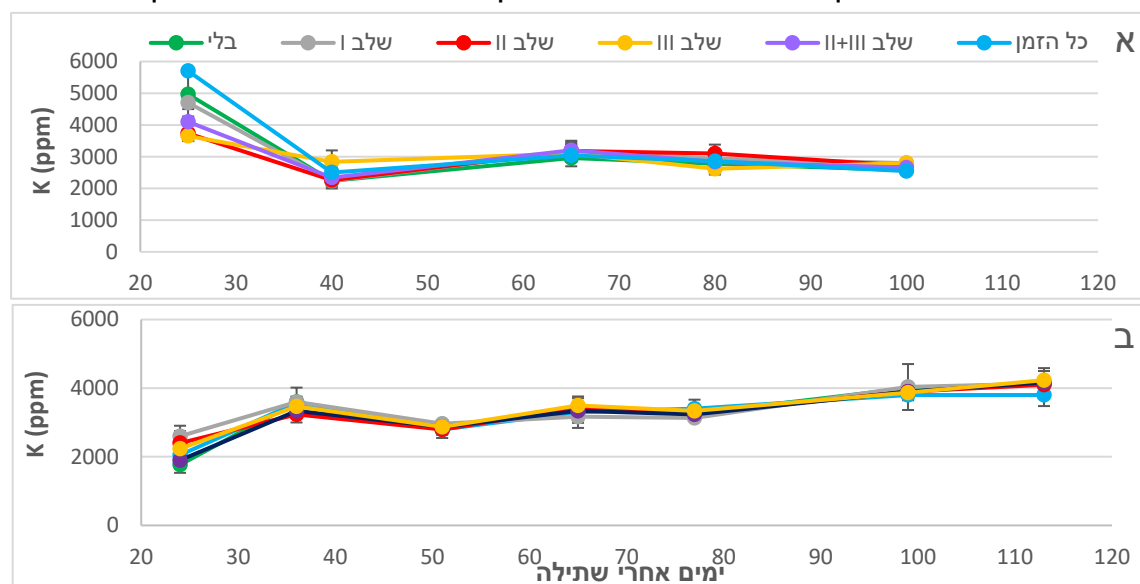
איור 2. ריכוז אשלגן (ppm) בתמיסת הקרקע בטיפולים השונים במהלך העונה הראשונה (א) והשניה (ב).

בשנתיים הראשונות דישון החנקן היה זהה לכל הטיפולים. אולם, באיור 3א ניתן לראות כי 40 יום לאחר שתילה בעונה הראשונה ריכוזו בעלים של הצמחים שקיבלו דישון כל יום היה גבוה משמעותית מריכוזו בטיפולים שבשלב זה לא קיבלו כלל דשן אשלגני (שלב III, שליב II+III, בלי). לאחר מכן, ריכוז החנקן היה דומה בכל הטיפולים. ריכוז הניטרט בפטוטרת העלים נשאר פחות או יותר קבוע במהלך העונה ללא הבדלים משמעותיים בין הטיפולים פרט לאנליזה האחרונה בה ריכוז הניטרט בפטוטרת של הצמחים מטיפול שליב III היו גבוהות משמעותית מריכוזן בטיפול "כל הזמן" וזאת למרות דישון חנקני זהה בכל הטיפולים (איור 3ב).



איור 3. ריכוז ניטראט בפטוטורות העלים במהלך השנה הראשונה (א) והשניה (ב). הנתונים מוצגים כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. הבדלים מובהקים (0.05) על פי מבחן שונות Tukey-Kramer HSD בין All pairs, הטיפול השונים נמצאו 40 יום אחרי שתילה בעונה הראשונה ובדיגום האחרון בעונה השניה.

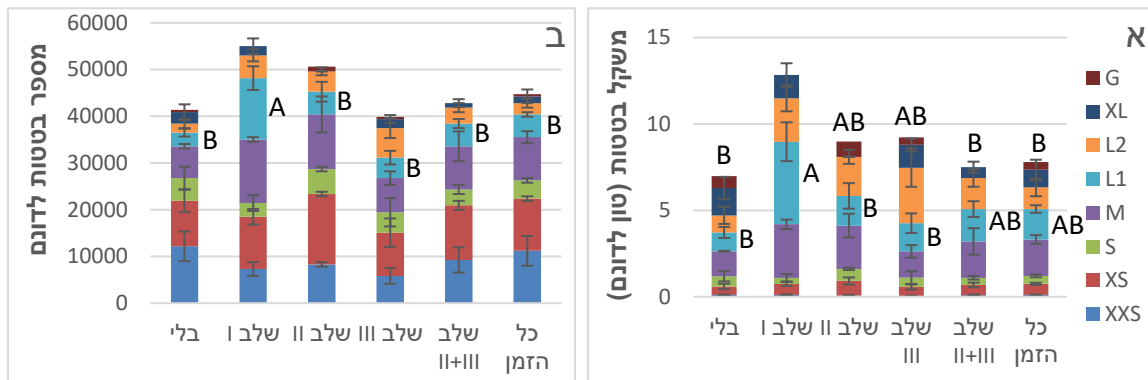
על אף כמויות האשלגן השונות שניתנו בטיפולים השונים במהלך העונות לא היו הבדלים בריכוז ניטראט בפטוטורות בין הטיפולים (איור 4). בדיגום הראשון בשנה הראשונה - ריכוז האשלגן היה גבוה בכל הטיפולים (איור 4א). בדיגום השני הריכוז ירד דרסטית ונשאר סביב 3000 ח"מ. בעונה השניה (איור 4ב) ריכוז האשלגן בפטוטורות הראה מגמה הפוכה - ריכוז נמוך בתחילת העונה ולאחר מכן עליה מתונה שנמשכה לאורך כל העונה.



איור 4. ריכוז אשלגן בפטוטורות העלים במהלך השנה הראשונה (א) והשניה (ב). הנתונים מוצגים כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. לא נמצאו הבדלים מובהקים (0.05) על פי מבחן שונות One-Way Anova בין הטיפולים.

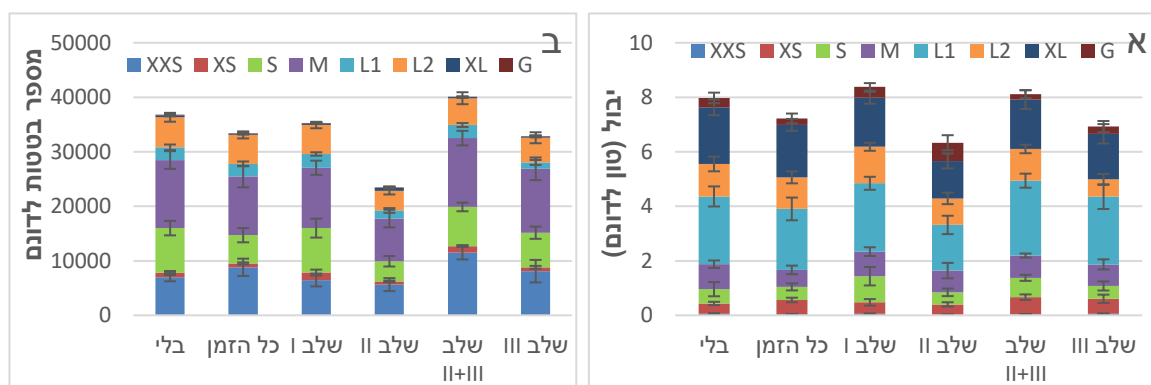
יבול הבטטות בתום העונה הראשונה מוצג באיור 5. יש לציין כי היבול נאסף כ-4 חודשים לאחר שהופסקה ההשקיה אך היו מספר אירועי גשם. משקל היבול נע בין 7 ל-13 טון לדונם שזהו יבול גבוה יחסית. היבול בטיפול שדושן באשלגן בשלב I היה גבוה משמעותית מהיבול בטיפולים ללא דישון, דישון בשלב II+III או

דישון לאורך כל העונה (איור 5א). מספר הבטטות היה דומה בכל הטיפולים (איור 5ב). התבוננות בהתפלגות הבטטות לפי גודל מראה כי בכל קבוצות הגודל פרט ל-L1 לא נמצאו הבדלים בין הטיפולים. בגודל L1 (300-450 גרם) נמצא מספר הבטטות הגדול ביותר בטיפול שדושן בשלב I וגם משקלם היה גבוה מרב הטיפולים.



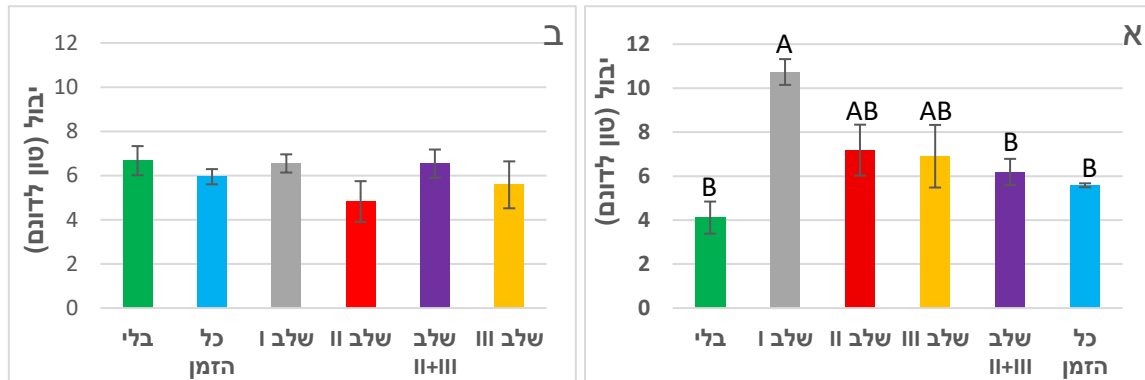
איור 8. יבול הבטטות בתום העונה הראשונה לפי גודל. א. משקל הבטטות לדונם; ב. מספר הבטטות לדונם. XXS – 0-25 גרם, XS – 25-100 גרם, S – 100-150 גרם, M – 150-300 גרם, L1 – 300-450 גרם, L2 – 450-600 גרם, XL – 600-1800 גרם, G – 800 גרם ויותר. הנתונים מוצגים כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. הבדלים מובהקים (0.05) על פי מבחן שונות All pairs, Tukey-Kramer HSD נמצאו בין הטיפולים השונים עבור המשקל הכולל ועבור גודל L1 והם באים לידי ביטוי באותיות שונות.

יבול הבטטות בתום העונה מוצג באיור 9. היבול נע בין 6-8 טון לדונם אך לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים, לא במשקל הבטטות (איור 9א) ולא במספר (איור 9ב). עם זאת, משקל ובעיקר מספר הבטטות בטיפול שקיבל את כל מנת הדשן בשלב השני נראה מאוד נמוך ביחס לשאר הטיפולים. גם בהתפלגות הגדלים לא נמצאו הבדלים. בטיפול שקיבל את הדשן האשלגני בשלב השני גם משקל וגם מספר הבטטות היו מעט נמוכים יותר מאשר בשאר הטיפולים.



איור 9. יבול הבטטות בתום העונה השנייה לפי גודל. א. מספר הבטטות לדונם; ב. משקל הבטטות לדונם. XXS – 0-25 גרם, XS – 25-100 גרם, S – 100-150 גרם, M – 150-300 גרם, L1 – 300-450 גרם, L2 – 450-600 גרם, XL – 600-1800 גרם, G – 800 גרם ויותר. הנתונים מוצגים כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. לא נמצאו הבדלים מובהקים (0.05) על פי מבחן Oneway Anova.

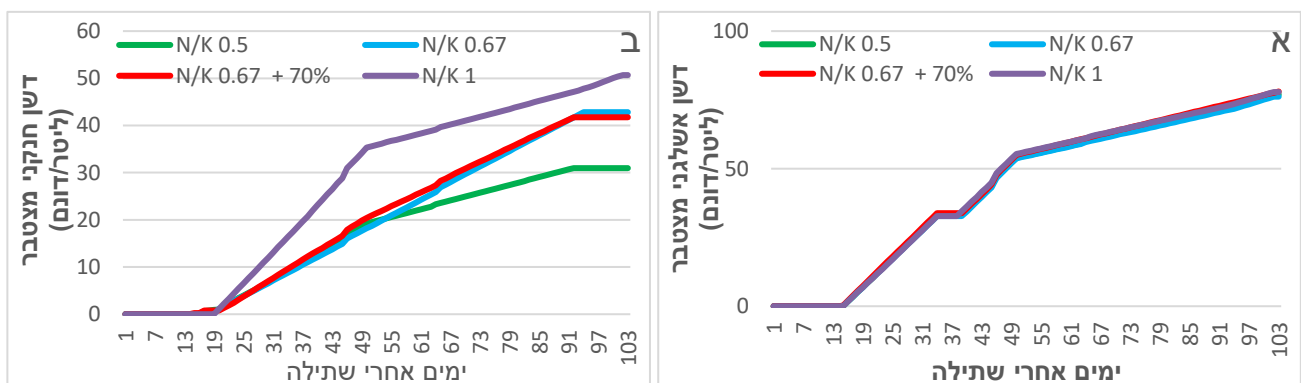
בקטגורית הבטטות לשיווק (איור 10, גודל 100-600 גרם) אפשר לראות כי היבול הגבוה ביותר היה לטיפול שדושן בשלב I בשנה הראשונה (איור 10א). גם בשנה השניה היבול בקטגוריה זו היה יחסית גבוה אך לא היו הבדלים משמעותיים בין הטיפולים (איור 10ב).



איור 10. יבול הבטטות הראויות לשיווק (גודל L1-S, 100-600 גרם) בטיפולים השונים בשנה הראשונה (א) ובשנה השניה (ב). הנתונים מוצגים כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. הבדלים מובהקים (0.05) על פי מבחן שונות שונות. All pairs, Tukey-Kramer HSD שנמצאו בין הטיפולים השונים בעונה הראשונה באים לידי ביטוי באותיות שונות.

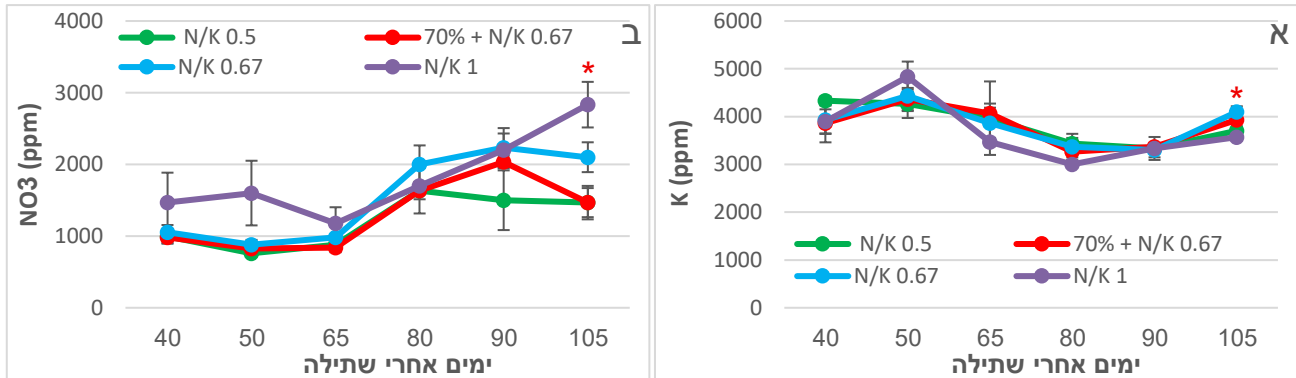
לימוד היחס הרצוי בין הדישון האשלגני לדישון החנקני

בשנה השלישית ניתנה כמות זהה של דשן אשלגני שחולקה באופן זהה בין שלבי הגידול השני (איור 11א). הטיפולים השונים התבטאו בכמות דשן חנקני שונה (איור 11ב) והשקיה מופחתת עבור הטיפול האדום.



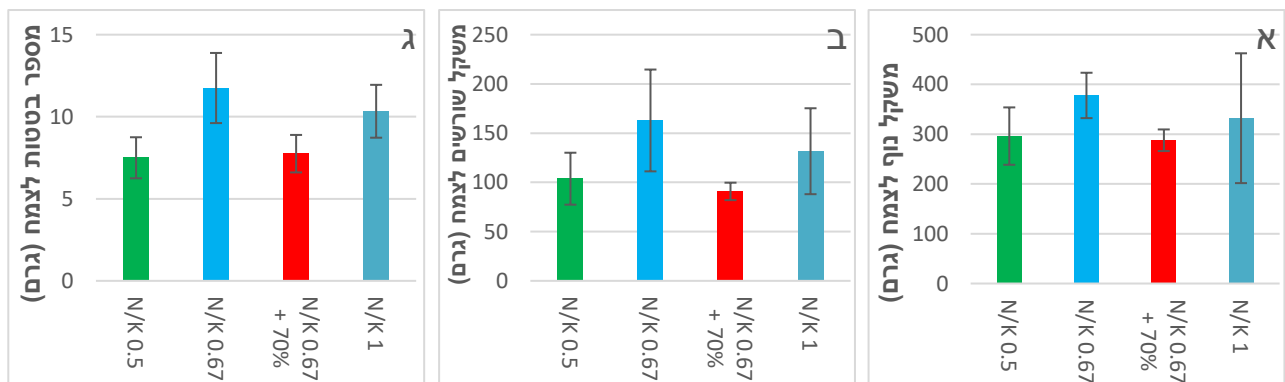
איור 11. כמות הדשן המצטברת (ליטר לדונם) שניתנה במהלך העונה בטיפולים השונים. א. דשן אשלגני (טוב 0-5); ב. דשן חנקני (אמון חנקתי 21%).

ריכוז האשלגן והניטרט בפטוטורות מוצג באיורים 12 ו-13, בהתאמה. ריכוז האשלגן בפטוטורות היה דומה בכל הטיפולים ונע סביב 3500-4000 ח"מ עד לסוף העונה. 105 ימים אחרי שתילה הריכוז בטיפול עם יחס חנקן לאשלגן 0.67 היה גבוה משמעותית מהריכוז בטיפול בו היחס היה 1. ריכוז הניטרט התחיל עבור כל הטיפולים סביב 1000 ח"מ ניטרט (226 ח"מ חנקן ניטרטי) ללא הבדלים משמעותיים. החל מ-65 ימים אחרי שתילה ריכוז הריכוז בעלים החל לעלות כאשר העליה היתה חדה ביותר עבור יחס 1 והכי פחות עבור יחס 0.5 וכן עבור הטיפול עם יחס 0.67 והשקיה מופחתת.



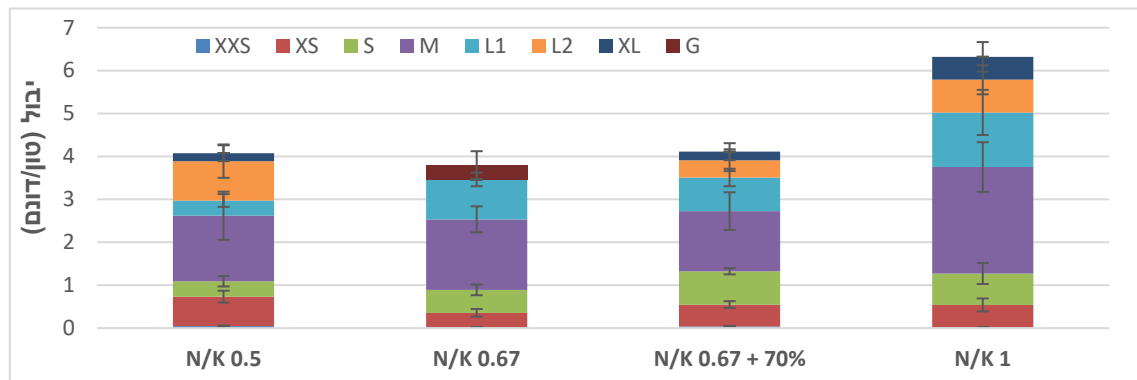
איור 12. ריכוז האשלגן (א) והניטרט (ב) בפטוטורות העלים במהלך עונת הגידול. הנתונים מוצגים כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. הבדלים מובהקים (0.05) על פי מבחן שוניות All pairs, Tukey-Kramer HSD. הטיפולים השונים באים לידי ביטוי בכוכבית אדומה. הבדלים נמצאו בין טיפול יחס 0.67 ליחס 1 בריכוז האשלגן ובין טיפול יחס 1 ליחס 0.5 וליחס 0.67 עם 70% השקיה בריכוז הניטרט.

בתום שלב הגידול הראשון לא נמצא הבדל במשקל הנוף לצמח (איור 13א), משקל השורשים לצמח (איור 13ב) ומספר הבטטות לצמח (איור 13ג). אפשר אבל לראות מגמה ברורה לפיה משקל הנוף והשורשים וכן מספר הפקעות היו נמוכים יותר בטיפולים שקיבלו פחות חנקן (יחס 0.5) או פחות מים (יחס 0.67 עם 70% מכמות המים).



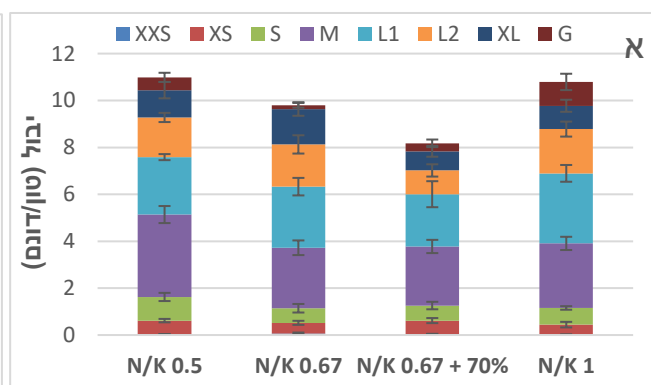
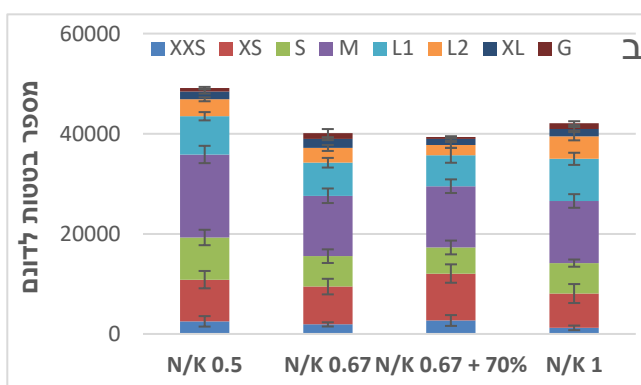
איור 13. משקל הנוף לצמח (א), משקל השורשים לצמח (ב) ומספר הבטטות לצמח (ג) כפי שנמדדו בתום שלב הגידול הראשון, 40 ימים לאחר שתילה. הנתונים מוצגים כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. לא נמצאו הבדלים מובהקים (0.05) על פי מבחן Oneway Anova.

בתום שלב הגידול השני, 90 ימים לאחר שתילה, היבול עדיין היה נמוך בשלושת הטיפולים בהם כמות החנקן שניתנה היתה מעט נמוכה יותר. בטיפול השלישי, על אף שלא עם שונות סטטיסטית, היבול כבר היה כ-6 טון לדונם שזהו יבול סביר לסוף עונה (איור 14). בכל הטיפולים, היבול בגודל לשיווק (600-100גרם) היווה כבר בשלב זה את החלק הארי מהיבול.



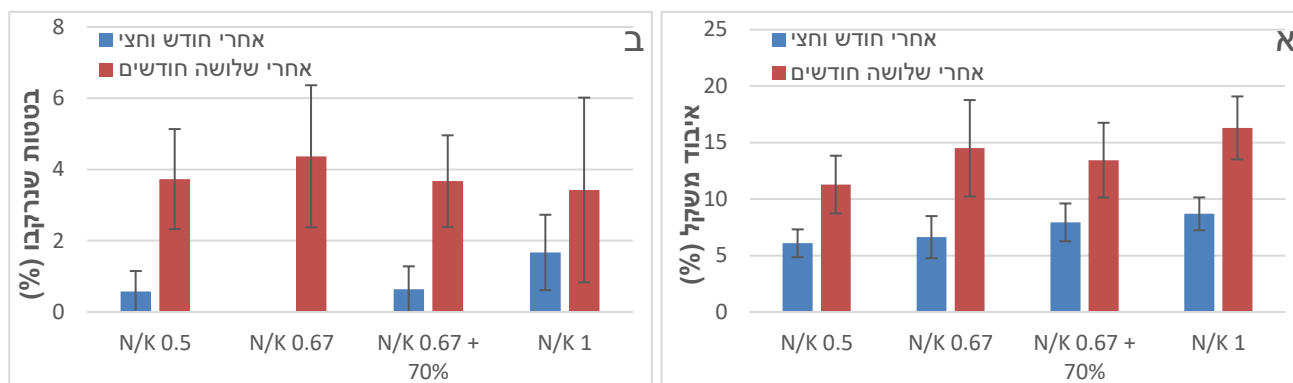
איור 14. התפלגות יבול הבטטות הכולל (טון לדונם) לפי גדלים 90 ימים לאחר שתילה. XXS – 0-25 גרם, XS – 25-100 גרם, S – 100-150 גרם, M – 150-300 גרם, L1 – 300-450 גרם, L2 – 450-600 גרם, XL – 600-1800 גרם, G – 800 גרם ויותר. הנתונים מוצגים כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. לא נמצאו הבדלים מובהקים (0.05) על פי מבחן Oneway Anova.

יבול הבטטות בתום העונה מוצג באיור 15. היבול נע בין 8-11 טון לדונם אך לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים, לא במשקל הבטטות (איור 15א) ולא במספר (איור 15ב). עם זאת, ניתן לראות כי משקל הבטטות בטיפולים שקיבלו את מנת החנקן הגדולה יותר והקטנה יותר דומה אך מספר הבטטות בטיפול שקיבל את המנה הקטנה הרבה יותר גבוה. כלומר, משקל הבטטה הממוצע בטיפול יחס 1 היה מעט גבוה יותר (264 גרם) לעומת הטיפול עם יחס 0.5 (227 גרם) אך ההבדל גם כאן לא היה משמעותי סטטיסטית. לא נראה שהפחתת ההשקיה שיפרה את היבול לעומת השקיה מלאה. גם בהתפלגות הגדלים לא נמצאו הבדלים.



איור 15. יבול הבטטות בתום העונה לפי גודל. א. משקל הבטטות, טון לדונם; ב. מספר הבטטות לדונם. XXS – 0-25 גרם, XS – 25-100 גרם, S – 100-150 גרם, M – 150-300 גרם, L1 – 300-450 גרם, L2 – 450-600 גרם, XL – 600-1800 גרם, G – 800 גרם ויותר. הנתונים מוצגים כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. לא נמצאו הבדלים מובהקים (0.05) על פי מבחן Oneway Anova.

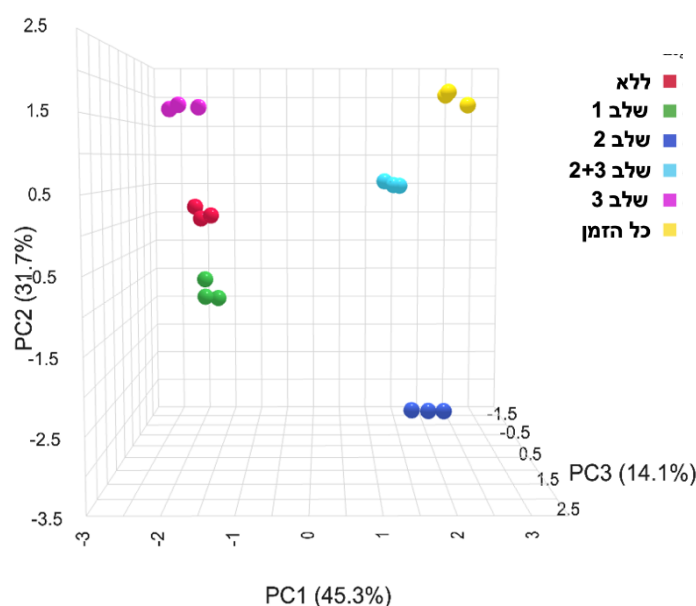
לאחר איסוף הבטטות הוכנסה דוגמא מכל חלקה לאחסון בקירור ונערך מעקב אחר איבוד המשקל ואחוז ההשרדות של הבטטות כפי שמוצג באיור 16. לא היה הבדל בין הטיפולים השונים באיבוד המשקל (איור 16א). בסך הכל איבדו הבטטות בין 11% ל-16% ממשקלן. אחוז הבטטות שנרקבו ולא היו ראויות לשיווק לא היה גדול, פחות מ-5%, וגם כאן לא היה הבדל בין הטיפולים (איור 16ב).



איור 16. אחוז איבוד המשקל של הבטטות באחסון לאחר חודש וחצי ולאחר שלושה חודשי אחסון (א) ואחוז הבטטות שנרקבו בזמן זה ואין ראויות לשיווק (ב). הנתונים מוצגים כממוצעים $\pm$ שגיאת תקן. לא נמצאו הבדלים מובהקים (0.05) על פי מבחן Oneway Anova.

השפעת תזמון הדישון האשלגני על הערך הבריאותי של עלי בטטה

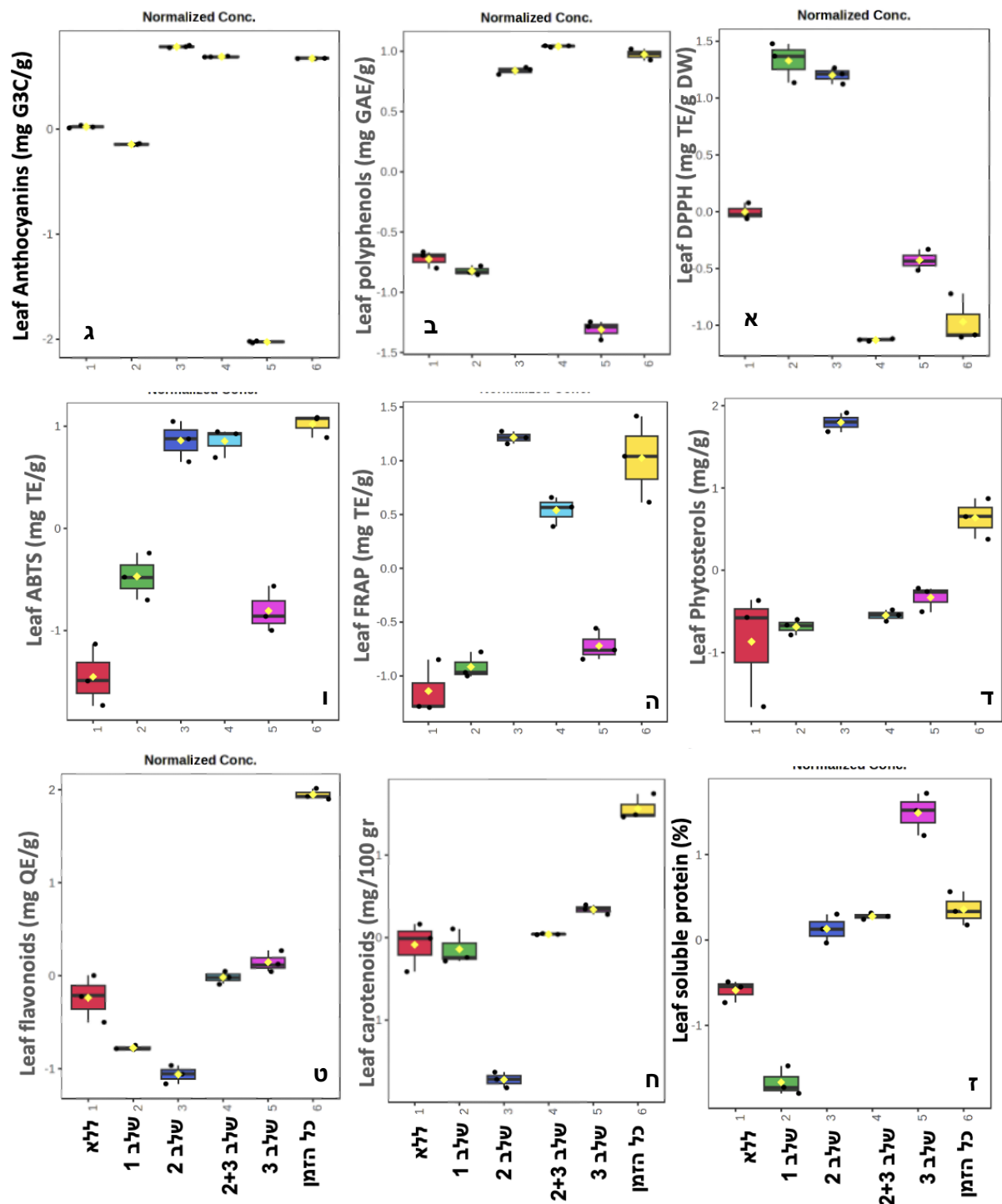
תוצאות אנליזת PCA מראות כי הטיפולים שנבדקו היו שונים משמעותית מבחינת ההרכב הפיטוכימי של העלים (איור 17).



איור 17. אנליזת PCA של הרכב פיטוכימי של עלי בטטה תחת טיפולי דישון אשלגני בשלבי גידול שונים.

באופן ספציפי, הטיפולים נבדלו בכל מדדי האיכות שהוערכו בעלים (איור 18). ניתן לראות כי הפעילות נוגדת החמצון הליפופילית DPPH (איור 18א) היתה הגבוהה ביותר בדישון בשלב I ובשלב II נמוכה ביותר בדישון הרציף. גם תכולת הפוליפנולים היתה הגבוהה ביותר בשלב II, וכן בשלב II+III, (איור 18ב), אולם היתה גבוהה גם בטיפול הדישון הרציף, ותכולת האנתוציאנינים, קבוצה של פוליפנולים, הראתה מגמה דומה (איור 18ג). תכולת הפיטוסטרולים הראתה מגמת עליה בין טיפול ללא דישון לטיפול הדישון הרציף, עם קפיצה

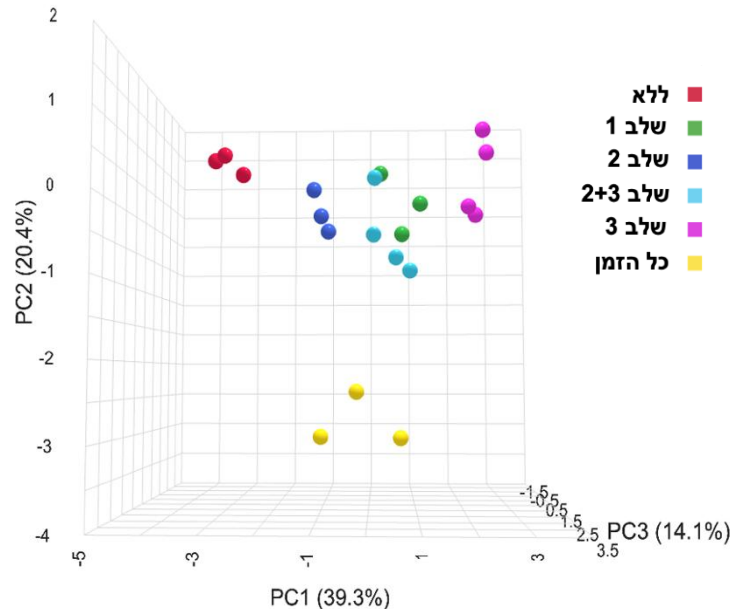
בתכולתם בשלב II (איור 18ד). פעילות נוגדת חמצון FRAP (איור 18ה) ו-ABTS (איור 18ו) התנהגו באופן דומה, והציגו את הערכים הגבוהים ביותר בדישון בשלב II ובשלב III, וכן בדישון רציף. תכולת החלבון המסיס עלתה באופן הדרגתי משלב I לשלב III, ואז ירדה בדישון הרציף (איור 18ז). תכולת הקרוטנואידים עלתה באופן הדרגתי מהטיפול ללא דישון לטיפול הדישון הרציף, עם תכולה נמוכה בטיפול דישון בשלב II (איור 18ח). תכולת הקרוטנואידים היתה הגבוהה ביותר בדישון הרציף, והנמוכה ביותר בשלב II (איור 18ט).



איור 18. איכות תזונתית של עלי בטטה תחת טיפולי דישון אשלגני בשלבי גידול שונים. א. DPPH, ב. פוליפנולים, ג. אנתוציאנינים, ד. פיטוסטרולים, ה. FRAP, ו. ABTS, ז. חלבון מסיס, ח. קרוטנואידים, ט. פלבונואידים.

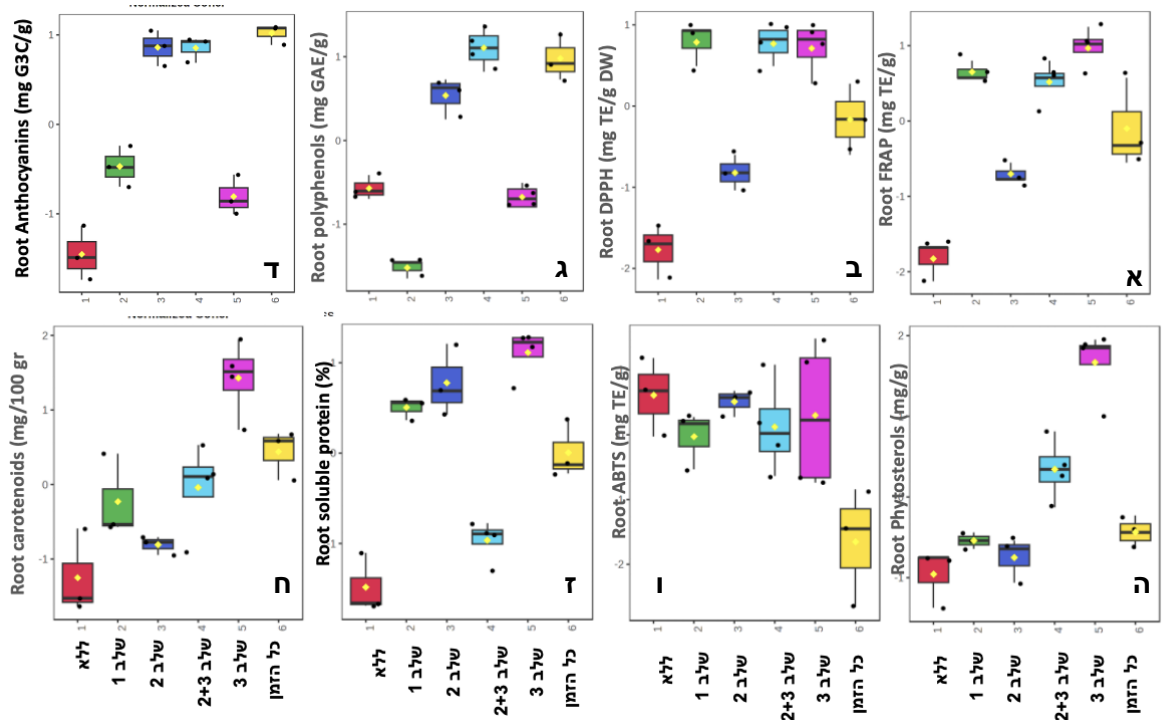
השפעת תזמון הדישון האשלגני על הערך הבריאותי של אשרושי בטטה

תוצאות אנליזת PCA מראות כי הטיפולים שנבדקו נבדלו משמעותית מבחינת ההרכב הפיטוכימי של האשרושים (איור 19).



איור 19. אנליזת PCA של הרכב פיטוכימי של אשרושי בטטה תחת טיפולי דישון אשלגני בשלבי גידול שונים.

באופן ספציפי, הטיפולים נבדלו ברוב מדדי האיכות שהוערכו בשורשים, למעט פלבנואידים (איור 20). הפעילות נוגדת החמצון FRAP היתה נמוכה ביותר בטיפול ללא דישון, אחריה בדישון בשלב II, וכל הטיפולים האחרים היו גבוהים יותר, ולא נבדלו ביניהם (איור 20א), וכך גם לגבי הפעילות נוגדת החמצון DPPH (איור 20ב). תכולת הפוליפנולים היתה הנמוכה ביותר בדישון בשלב I, היעדר דישון ודישון בשלב III הביאו לערכים נמוכים יותר, וכל שאר הטיפולים הציגו גבוהים יותר, ולא נבדלו ביניהם (איור 20ג). באופן דומה, תכולת האנתוציאנינים באשרוש היתה הגבוהה ביותר בטיפול II, III+II וכל הזמן (איור 20ד). תכולת הפיטוסטרולים הגבוהה ביותר נצפתה באשרושים שדושנו בשלב III (איור 20ה), ולאחריה בשלב II+III. הפעילות נוגדת החמצון ABTS היתה דומה בכל הטיפולים, לבד מטיפול הדישון הרציף שבו היתה נמוכה יותר (איור 20ו). תכולת החלבון הנמוכה ביותר נצפתה בטיפול ללא דישון (איור 20ז), והגבוהה ביותר בשלב III, אך לא נבדלה משלב I ומשלב II. תכולת הקרוטנואידים עלתה מהטיפול ללא דישון לטיפול בשלב II+III, ולאחר מכן ירדה בטיפול בדישון רציף (איור 20ח).



איור 20. איכות תזונתית של אשרושי בטטה תחת טיפולי דיזון אשלגני בשלבי גידול שונים. א. FRAP, ב. DPPH, ג. פוליפנולים, ד. אנתוציאנים, ה. פיטוסטרולים, ו. ABTS, ז. חלבון מסיס, ח. קרוטנואידים.

דיון

השפעת תזמון הדיזון האשלגני על כמות היבול ואיכותו השיווקית

מחקר זה בחן את ההשפעה של תזמון הדיזון האשלגני על יבול הבטטה במהלך שלוש עונות בתנאי הנגב המערבי, תוך שימוש בהדשיה בטפטוף. נראה כי לדיזון האשלגני בשלב הגידול הראשון (0-40 ימים אחרי שתילה) השפעה חיובית על יבול הבטטה בהשוואה לטיפולים בהם האשלגן ניתן בשלבים מאוחרים יותר לאורך כל העונה. תוצאות אלו עולות בקנה אחד עם ממצאים ממחקר של Liu et al. (2024) בו הדגו בניסויי שדה דו-שנתיים כי יישום אשלגן מפחית את פעילות אנזימי ביוסינתזת הליגנין בשורשים הפוטנציאליים בשלבי הגידול המוקדמים (10-30 ימים אחרי שתילה) ובכך מוריד את רמת הליגניפיקציה ב-pericycle (מעטף). הדבר מאפשר ליותר שורשים להתמייין לשורשי אגירה וכן מגדיל את אחידותם. בניסוי הנוכחי, אחוז הבטטות הגבוה בקטגוריה של בטטות לשיווק בעונה הראשונה (84%) תומך גם הוא בממצאים אלו. בעונה הראשונה היבול בטיפול שקיבל את כל הדיזון בתחילת העונה היה גבוה יותר באופן מובהק בעונה השניה כבר לא היה הבדל משמעותי בין הטיפולים. ייתכן ותרם לכך מועד השתילה המאוחר בעונה השניה.

יצוין כי בעונה הראשונה הפסקת ההשקיה אירעה 110 ימים לאחר שתילה ואיסוף הבטטות התרחש באיחור ניכר עקב אירועי ה-7 באוקטובר. על אף זאת, יבול כולל של 7-13 טון לדונם מהווה תוצאה גבוהה יחסית לממוצע האזורי ומעיד על חוסן הגידול בתנאי לחץ.

דינמיקת אשלגן וחנקן בפטוטורות לאורך העונה

ממצא בולט של המחקר הוא שריכוז האשלגן בפטוטורות לא הציג הבדלים מובהקים בין הטיפולים למרות הפרשים ניכרים בכמות האשלגן שניתנה בשלבי הגידול השונים. תופעה זו מוכרת בספרות כ"ריכוז קריטי דינמי" והיא נובעת מכך שצמחי הבטטה מווסתים את ריכוז האשלגן ברקמות העלה בטווח צר יחסית, ללא תלות בריכוז הקרקע, כל עוד אינם במצב של מחסור ממשי (He et al., 2023). בשתי העונות הראשונות הריכוז הראשוני בקרקע (כ-5 ק"ג לדונם) כנראה לא היה נמוך מספיק כדי לגרום למחסור.

לעומת זאת, ריכוז הניטרט בפטוטורות הראה עליה ניכרת בשלב הגידול המאוחר של העונה השלישית, בעיקר בטיפול עם יחס $1=N:K$ שבו כמות החנקן היתה גבוהה יותר. תוצאה זו תואמת ממצאים של Shu et al. (2024) שמצאו כי אינטרקציה בין אשלגן לחנקן משפיעה על קצב הפוטוסינטזה, על פעילות גלומטין סינתטז ועל חלוקת המשאבים בין נוף לאשרושים. בנוסף, Phillips et al. (2005) הראו כי עיתוי ומינון החנקן משפיעים על כמות ואיכות היבול ואחת מהמסקנות היתה שמינון גבוה מידי מוביל לצמיחת נוף על חשבון האשרושים. ריכוז גבוה של ניטרט ברקמות בשלב הגידול המאוחר עלול לשקף עודף חנקן בצמח, עיכוב בהקצאת פחמימות לאשרושים ובסופו של דבר פגיעה ביחס נוף:אשרוש. בניסוי זה לא ניכר כי עודף החנקן בשלב הגידול האחרון בטיפול $1=N:K$ בא לידי ביטוי בפגיעה ביבול כנראה בגלל שהעודף ניתן רק בשלב האחרון. אולם, תוספת חנקן זו גם אינה תורמת לשיפור ביבול ולכן כנראה שאין בה כל צורך.

היחס בין הדישון האשלגני לדישון החנקני

בעונה השלישית נבחן יחס $N:K$ כמשתנה העיקרי, כאשר כמות האשלגן היתה זהה בין הטיפולים. לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הטיפולים ביבול הסופי, אולם ניתן להבחין במגמה לפיה בשלבי הגידול הראשונים התפתחות הנוף והשורשים היתה פחותה בטיפולים עם יחס 0.5 ועם השקיה מופחתת. תוצאות אלו מצביעות על החשיבות שיש בהשקיה מספקת, כפי שנמצאה בניסויים קודמים (אילני וחובריה, 2022) ודישון חנקני חשובים במיוחד בשלבי הגידול הראשונים וכי בשלבים אלו כמות מספקת של אחד הגורמים אינה מפצה על מחסור בגורם אחר. המחסורים במים או בניטרט לא היו חמורים דיה כדי להראות פגיעה ממשית ובשלבים מאוחרים יותר בגידול ההבדלים אף קטנו. נראה כי ביחס 0.5 אמנם היה עיכוב בהתפתחות השורשים אך בסוף העונה מספר האשרושים בטיפול זה היה גדול אך משקלם הממוצע קטן. כנראה שהעיכוב בהתפתחות לא איפשר לאשרושים בטיפול זה לצבור מספיק משקל לאורך העונה.

עמידות באחסון

בעונה השלישית נבחן כושר אחסון הבטטות בקירור למשך כשלושה חודשים. איבוד משקל של 11%-16% ושיעור ריקבון של פחות מ-5% ללא הבדלים בין הטיפולים מצביעים על כך שמשטרי הדישון וההשקיה שנבחנו אינם פוגעים בעמידות האשרושים באחסון. תוצאות אלו עומדות בקנה אחד עם ממצאי Klipcan et al. (2020) שמצאו כי דישון אשלגן ביסוד משפר את איכות הקליפה והיבול ללא פגיעה ביכולת האחסון בקרקעות חוליות.

ערך תזונתי ובריאותי של עלים ואשרושים

ניתן לראות כי לתזמון הדישון השפעה משמעותית על תכולת התרכובות מקדמות הבריאות בעלי ובאשרושי בטטה.

בחלק מן המקרים ההשפעה על העלים והאשרושים היתה דומה, למשל בשינויים בתכולת הפוליפנולים והאנתוציאנינים, אשר הציגו מגמה דומה, שאף חזרה על עצמה בין שתי הרקמות. עם זאת חלק מן המדדים הושפעו באופן שונה, למשל פיטוסטרולים אשר תכולתם השתנתה באשרושים אך לא מעט מאוד בעלים. מבחינת הקשר בין הממשק לערך הבריאותי, ניתן לראות כי דישון בשלב השני היה אופטימלית על מנת להעלות את תכולת התרכובות המיטיבות בעלים, לרבות אנתוציאנינים, פוליפנולים, פיטוסטרולים ופעילות נוגדת חמצון. מגמה דומה נצפתה באשרושים, שאף בהם צבירת תרכובות רצויות, לרבות אנתוציאנינים, פוליפנולים, וחלבון עלתה בטיפול בו הדישון ניתן בשלב השני, אולם גם דישון בשלב השלישי הביא לתוצאות רצויות מבחינה תזונתית, לרבות רמות גבוהות של קרוטנואידים, ופעילות נוגדת חמצון גבוהה. ממצאים אלו תואמים דיווחים לפיהם דישון אשלגני מגביר פעילות אנזימי PAL ו-CHI המרכזיים בביוסינתזת אנתוציאנינים ופלבנואידים (Zhang et al., 2024). Radojicic Redovnikovic et al. (2012) מצאו אף הם כי דישון אשלגני מעלה רמת תרכובות פנוליות בעלי בטטה. ממצאים אלו תואמים תיאוריה ביוכימית לפיה אשלגן מקדם את תהליכי הסינתזה של פוליפנולים ואנתוציאנינים על ידי הפעלת אנזימי מפתח במסלול הפנילפרופנואיד (Zhang et al., 2024). תכולת חלבון גבוהה יותר נמצאה בטיפול שלבים II ו-III בהשוואה לטיפול ללא דישון, בהתאמה לתפקיד הידוע של אשלגן בהגברת סינתזת חלבונים על ידי הפעלת גלוטמין-סינתטז (Shu et al., 2024).

השלכות מעשיות ומסקנות

המחקר מספק ראיות ראשוניות חשובות לכך שדישון אשלגני מרוכז בשלב הגידול הראשון (0-40 ימים אחרי שתילה) עשוי לשפר יבול שיווקי בקרקעות חוליות בהן האשלגן הזמין בתחילת העונה נמוך. שיטת ההדשיה בטפטוף מהווה פלטפורמה מצויינת ליישום דישון מדויק ומפוצל בניגוד ליישום כל כמות הדשן כדשן גרגירי בתחילת העונה. אולם, בשל חוסר העקביות בשנה השניה – יש לבחון זאת שוב.

ממצאי השפעת הדישון על האיכות התזונתית פותחים אפיק חשוב לשיפור ערך שוק הבטטה הישראלית. הצרכן המודרני מייחס ערך גבוה לתכולת נוגדי חמצון, ולכן ממשק דישון שמשפר גם יבול וגם ערך בריאותי מהווה יתרון תחרותי משמעותי. מחקרים עתידיים יצטרכו לבחון את ההשפעות הדישון בתנאים שונים על מנת לקבוע סף מינון ותזמון אופטימלי שניתן להמלצה חקלאית.

לסיכום, מחקר זה מהווה תרומה חשובה להבנת יחסי גומלין בין תזמון דישון, יחס חנקן-אשלגן ואיכות הבטטה בתנאי הייצור הישראלי. הנתונים מראים על כיוון של דישון אשלגני מוגבר בשלב הראשון של הגידול ושמירה על יחס K:N מאוזן לאורך כל העונה כאסטרטגיה לשיפור כמות ואיכות היבול.

ביבליוגרפיה

- Bruns, H.A., and J.C., Botiwkamp.1989 - Nutrient concentration, content and uptake by sweet potatoes grown in varying intra-row plant spacings. - Field Crops Res.,22: 11-26.
- Byju G., J. George. 2005. Potassium nutrition of sweet potato. Adv. Hort. Sci. 19(4): 221-239
- He, P., Li, J., Lu, Y., Chen, S., Deng, L., Xu, X., Zhu, Y., Jin, M., Liu, Y., Lu, G., and Lv, Z. 2023. Development of critical K dilution curves for diagnosing sweetpotato K status under different nitrogen levels. Frontiers in Plant Science 14: 1248903.

Klipcan, L., R. van Oss, A. Keren-Kieserman, U. Yermiyahu and I. Ginzberg. 2020. Potassium positively affects skin characteristics of sweet potato storage roots. *Agronomy*. 10: 1385; doi:10.3390/agronomy10091385

Liu, B., Xv, B., Si, C., Shi, W., Ding, G., Tang, L., Xv, M., Shi, C., and Liu, H. 2024. Effect of potassium fertilization on storage root number, yield, and appearance quality of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Frontiers in Plant Science* 14: 1298739.

Mukhopadhyay, S.K., H. Sen, and P.K. Jana. 1993 - Dry matter accumulation, starch and nutrient concentration in sweet potato as influenced by potassium nutrition. *J. Root Crops*, 19(1): 21-28.

Phillips, S.B., Warren, J.G., and Mullins, G.L. 2005. Nitrogen rate and application timing affect "Beauregard" sweetpotato yield and quality. *HortScience* 40: 214–217.

Radojcic Redovnikovic, I., Bogovic, M., Belko D., and Delonga, K. 2012. Effect of nitrogen and potassium fertilization on phenolic compounds in sweet potato leaves. *Food Chemistry* 135: 2055–2063.

Ravi V. and Indira P. 1999. Crop physiology of sweet potato. *Horl. Rev.* 23: 271 -338.

Shu, X., Jin, M.H., Wang, S.Y., Xu, X., Deng, L., Zhang, Z., Zhao, X., Yu, J., Zhu, Y., Lu, G., and Lv, Z. 2024. The effect of nitrogen and potassium interaction on the leaf physiological characteristics, yield, and quality of sweet potato. *Agronomy* 14: 2319.

Tietel, Z., Simhon, E., Gashu, K., Ananth, D.A., Schwartz, B., Saranga, Y. and Yermiyahu, U., 2020. Nitrogen availability and genotype affect major nutritional quality parameters of tef grain grown under irrigation. *Scientific reports*, 10(1), pp.1-15.

Wang, S. 2024. Anthocyanin biosynthesis in sweetpotato: Current status and future perspectives. *Journal of Food Composition and Analysis*. 132: 106353.

אילני, ט., לזרוביץ, נ., בן גל, א., אדלר, א., מי-טל, ז. 2022. ייעול השקיית בטטה לשיפור איכות יבול הבטטות בנגב המערבי. דו"ח לוועדת התמיכות.