

מאי, 2022

דוח מסכם מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות לתוכנית מחקר מספר 20-01-0174;

פיתוח ממשק להשקיה והזנת חוחובה

Developing of irrigation and fertigation protocol for jojoba

מוגש לקרן המדען הראשי של משרד החקלאות על ידי:
 ארנון דג, אלון בן-גל, אורי ירמיהו וציפורה טייטל, מרכז מחקר גילת, מנהל המחקר החקלאי.
 רונן רוטשילד, חוחובה ישראל.

תוכן עניינים

תקציר	עמ' 2
מבוא	עמ' 2
מטרות המחקר	עמ' 4
עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר	עמ' 5
- השקיה	עמ' 5
- הזנה	עמ' 16
- איכות השעווה	עמ' 22
דיון	עמ' 25
פרסומים מדעיים שנבעו מהמחקר	עמ' 27
ספרות	עמ' 27

תקציר

ענף החוחובה הפך בשנים האחרונות לענף חקלאי משמעותי, כאשר מרבית השטחים מרוכזים בנגב וכמעט כל התוצרת מיועדת ליצוא. עם ההרחבה בהיקפי הגידול, נשארו פערי ידע משמעותיים בשאלות בסיסיות הקשורות לממשק השקיה והזנה מיטביים. בתוכנית המחקר הנוכחית (שהיא המשכה של תוכנית קודמת) אנו בוחנים שורה של משטרי השקיה ורמות הזנה שונות בחנקן (מ-5 ועד 50 ק"ג חנקן לדונם). רמות ההשקיה השונות (סטנדרט מגדל, -25%, +25%) השתקפו היטב בערכי פוטנציאל המים בגזע וטיפול החנקן השתקפו היטב, ברמות החנקן בבדיקות העלים, ממצאים המספקים לנו בטחון כי הצמחים אכן נחשפו לטיפולים כמתוכנן. מבחינת מדדי יבול, התגובה לטיפול ההשקיה היתה מתונה והתבטאה בעיקר בשנות ח.נ. בטיפול החנקן, רק הטיפול של מנת החנקן הנמוכה, (N5) הביא לירידה ביבול, דבר המצביע על יכולתו של הצמח לתפקד ולהניב גם ברמות חנקן נמוכות. מדדי האיכות הושפעו רק במעט ממנת ההשקיה וממנת ההזנה בחנקן. לסיכום, ממצאי המחקר ניתן להצביע על כך שדרישות ההזנה של חוחובה בחנקן צנועות יחסית וניתן לרדת למעט מעל 15 ק"ג לדונם לשנה, ללא פגיעה צפויה ביבול. בנושא ההשקיה, המנה המקובלת כיום של 50% החזר התאדות גיגית נראית סבירה, אם כי נראה שלקראת שנות ח.נ. יש מקום להעלות את מנת השקיה זו.

מבוא

צמח החוחובה (*Simmondsia chinensis* Link Schneider) הוא צמח רב שנתי ירוק עד ממשפחת Simmondsiaceae (סדרת הציפורנאים). מקורו של הצמח הוא במדבריות צפון אמריקה, ארה"ב ומקסיקו (Gentry, 1958). גידול החוחובה המסחרי קיים בעיקר באזורים חמים וצחיחים או צחיחים למחצה בדרום ארה"ב, מקסיקו, ארגנטינה, פרו וישראל. זרעי החוחובה עשירים בשמן, בו נעשה שימוש נרחב בעיקר בתחום הקוסמטיקה. שמן החוחובה (למעשה שעווה), הוא בעל מבנה כימי ייחודי; בשל תכונותיו המיוחדות הווה בזמנו תחליף לשומן לווייתנים, שהשגתו כרוכה בציד לא חוקי (Wisniak, 1977), מה שהביא לעניין מדעי וחקלאי ניכר בגידול. שמן החוחובה מורכב בעיקרו מאסטרים של חומצות שומן וכהלים ארוכי שרשרת במיוחד (42 פחמנים ויותר) ללא גליצרול, דבר המקנה להם תכונות היפואלרגניות ורצויות מאוד בתעשיית הקוסמטיקה (Wisniak, 1977). מחצית השטחים המעובדים בישראל נמצאים

בנגב. חבל ארץ זה היה בעבר איזור גידול מטעים מרכזי, אך עם השנים הענף דעך ונעלם כמעט לחלוטין, פרט לערבה ולמערב הנגב. בעוד מרבית ענפי המטע בנסיגה, ענף החוחובה, שמתרכז כמעט כולו בנגב, נמצא בתנופת התפתחות. הגידול בארץ החל בשנות ה-60 עם חלקות זריעים. את יסודותיו המקצועיים המודרניים בנו המגדלים יחד עם פרופ' עליזה בנציוני מאוני' בן-גוריון החל משנות ה-70 (Benzioni, 2006). בירור זנים, פיתוח שיטת ריבוי מייחורים וממשק מודרני של מיכון, השקיה והדשיה תרמו לעליה משמעותית ביבול ממספר ק"ג לכ-400 ק"ג זרעים (כ-200 ק"ג שמן) לדונם בממוצע ויותר, כיום. אולם, מאז פרישתה של פרופ' בנציוני לפנסיה לפני למעלה מ-15 שנה, לא מתקיים כמעט מחקר מסודר בענף. בארץ ההשקיה מתבצעת בקיץ ומנת המים בממוצע היתה כ-600 מ"מ לשנה (Benzioni, 2006), לאחרונה מנות ההשקיה עלו. באזור חצרים לדוגמא משקים כ-750 מ"מ לשנה (רוטשילד, מידע אישי). באיזורים אחרים בהם רמות המשקעים והדיות (טרנספירציה) שונות, מנת ההשקיה שונה בהתאם. דווח כי הדיות בצמח עולה בטמפ' אויר של 27°C ויורדת בטמפרטורות קרקע נמוכות, גם אם טמפ' האוויר גבוהה יחסית (Benzioni and Dunstone, 1988). עובדה שמחזקת את חשיבות ההשקיה בעונות חמות ולא בקרות. ככל שידוע לנו לא נעשה ניסוי השקיה מסודר בישראל וגם בעולם המידע בנושא מועט ביותר. מים מהווים תשומה מרכזית בגידול וזמינותם על פי רוב מוגבלת ולכן יש חשיבות לחסכון במשאב זה, אחת האסטרטגיות לחסכון במים היא (Regulated Deficit Irrigation (RDI (Chai et al. 2016). בבסיס שיטה זו עומד הרעיון שבשלבים פנולוגים שונים, צריכת המים ועוד יותר מכך, תלות היבול במנת ההשקיה משתנה, כפי שהראנו לאחרונה בזית (Ben Gal et al., 2021). בעבודה קודמת תארנו את עקום צבירת השעווה בחוחובה (Perry et al., 2021), בעבודה הנוכחית בחנו את האפשרות לחסוך במים על ידי הפסקת ההשקיה, עם תום צבירת השמן מתוך הנחה שלעקת מים בתקופה זו תהיה השפעה מינימלית על היבול. המידע על דישון והשפעת יסודות הזנה על יבול ואיכות השעווה של חוחובה מוגבל. עבודה הקדמית שנערכה בישראל על דישון בתערובת של חנקן, אשלגן וזרחן העלתה כי הדישון העלה את הצימוח והיבול (Benzioni and Nerd, 1985). החנקן הינו בעל משמעות רבה ליבול בחוחובה. באריזונה בוצע מחקר על זנים מקומיים, בו הדישון החנקני יושם כדשן מוצק פעמים ספורות במהלך הגידול (Nelson and Watson, 2001). בישראל נמצא שדישון חנקני בכמויות קטנות של 8-10 ק"ג חנקן לדונם לשנה, משפר את גידול הרקמות הוגטטיביות ואף את יבול הזרעים בחוחובה (Benzioni, 2006). אולם, לדישון חנקני בעודף יכולה להיות השפעה שלילית על תכולת השעווה (Nelson and Watson, 2001). כאשר ריכוז החנקן בעלים בקיץ יורד מתחת ל-2%, הדבר מוביל לירידה ביבול בשנה העוקבת (Nelson and Watson, 2001). המידע המצומצם על השפעת החנקן נבדק כאמור על רקע

של יבולים נמוכים ותנאים סביבתיים שונים לחלוטין מתנאי הנגב ולכן יש צורך לבחון נושא זה.

לפי נתונים לא רשמיים, מיוצרים בעולם כ-3,000 טון שמן חוחובה לשנה. בישראל מייצרים כ-1,200 טון שמן חוחובה לשנה. הגידול מתרכז בנגב בשטח של כ-25,000 דונם (הערכה) אשר תוך שנים ספורות יגיעו לניבה מלאה. במחירים הקיימים כיום (15 ₪ לק"ג זרעים) יביאו לפדיון של כ-150,000 מיליון ₪ בשנה למגדלים.

הרווחיות הגבוהה הביאה בשנים האחרונות לתנופת נטיעות גדולה של כ-3,000 דונם בשנה והגידול נכנס ליותר ויותר משקים בנגב. על אף ההתרחבות המהירה של הגידול, שאלות בסיסיות בממשק הגידול כמו השקיה והזנה כמעט ולא נלמדו וכל מגדל נוהג לפי ניסיונו, תוך לא מעט שאלות ובעיות המתעוררות בשטח ותוך בזבז תשומות יקרות של מים ודשן. מרבית השעווה מהזרעים נעשית בארץ ומיועדת ליצוא (למעלה מ-90%). עד לא מזמן הביקוש העולמי היה גבוה מיכולת הייצור. לפיכך, המחירים בשוק העולמי היו גבוהים. אולם, לא רק בישראל, אלא גם מדינות כדוגמת פרו, אינם שוקטים על השמרים ומרחיבים את הענף במהירות. ישראל מהווה כיום כ-40% משוק השעווה העולמי ולהערכתנו ניתן להמשיך ולהגדיל את שטחי הגידול. על מנת לשמר את היכולות ולהתחרות עם המגדלים בעולם על רקע של שוק בעודפי ייצור (מצב המתהווה כיום בשווקים) יש לסגור פערי ידע ולבנות פרוטוקולי גידול המתאימים לנגב. דבר שיאפשר לענף להמשיך ולשגשג בישראל גם בעתיד.

מטרות המחקר

מטרה הכללית של המחקר היתה לפתח ממשק השקיה ודישון של חוחובה לקבלת יבול ואיכות מיטביים של שעווה.

בנושא ההזנה, המחקר התמקד בחנקן, אשר מניסיונו הוא יסוד בעל השפעה רבה על פוריות ואיכות שמן בגדולים אחרים.

המטרות הממוקדות של המחקר היו:

1. אפיון תגובה של חוחובה לממשק השקיה וגיבוש מימשק השקיה.
2. פיתוח כלים של חישה של מצב המים בקרקע ובצמח על מנת לשלב ניטור רציף למערכות קבלת החלטות לגבי ממשק ההשקיה.
3. אפיון תגובה של חוחובה לחנקן וגיבוש מימשק דישון בחנקן.
4. בחינת השפעת מנת הדישון החנקני ומנת ההשקיה על תכונות השעווה.

פירוט עיקרי הניסוי ותוצאות המחקר

חלקות הניסוי הועמדו בשטחי חוֹבָה של הזן 'חצרים' של קיבוץ חצרים מנטיעת 2007. שטח הניסוי 10 דונם והוא כולל שני ניסויים העומדים זה בסמוך לזה, ניסוי ההשקיה וניסוי ההזנה בחנקן. הטיפולים החלו באפריל 2016 (לאחר הטמנת קווי טפטוף ומובילים לחלקות הניסוי והעמדת ראש השקיה מתאים) במסגרת מיזם רחב שעסק בשיפור יבולי חוֹבָה. החלקה הושקתה מתחילת הניסוי במים שפירים. כל טיפול נבדק ב 5 חזרות לפי 'בלוקים באקראי', כלומר 25 חלקות לניסוי ההשקיה ו 25 חלקות לניסוי הדישון. כל חלקה כללה 3 שורות צמודות של 9 צמחים, כאשר 5 הצמחים המרכזיים בשורה המרכזית שימשו למדידות ויותר הצמחים שמשו כצמחי 'גבול' למנוע השפעת טיפולים שכנים על הצמחים הנמדדים.

טיפול השקיה:

1. ביקורת: השקיה ברמה המקובלת בגידול מסחרי של חוֹבָה (על בסיס הנהוג בחצרים, סדר גודל של 50% החזר התאדות פוטנציאלית (פנמן-מונטייט'))
 2. השקיה של 25% פחות מהרמה המקובלת בגידול המסחרי.
 3. השקיה של 25% יותר מהרמה המקובלת בגידול מסחרי.
 4. השקיה מכוונת לפי ניטור מים וצמח.
 5. השקיה גרעונית בחלק מהעונה - Regulated Deficit Irrigation (RDI) (הכוונה, לצמצום מנת ההשקיה מיד עם סיום צבירת השמן, למשך כחודש).
- בטיפול 4 נעשה שימוש במדי רטיבות קרקע ודנדרומטרים כדי לנסות להכווין את מנת ההשקיה. מכיוון שלא עלה בידינו לפתח כלי מהימן לבקרת מנת ההשקיה על בסיס חיישנים אלו, במרבית המדדים, תוצאות טיפול זה אינן מוצגות. בשנים 2017-2019 הטיפול הושקת שווה לטיפול ה-100%. בשנת 2021 הטיפול הועבר לטיפול RDI, רק ברמת עקה מופחתת מטיפול 5.

טבלה 1. מנות ההשקיה שניתנו בפועל בטיפול הניסוי (מ"מ)

טיפול	מנת השקיה 2020	מנת השקיה 2021	מנת השקיה כללית ל 6 שנות הניסוי 2016-2021
ביקורת	675	537	3904
השקיה של 25% פחות מהמנה המקובלת	509	407	2953

4629	676	839	השקיה של 25% מעל המנה המקובלת
3369	389	839	השקיה לפי ניטור
3369	469	586	RDI

טיפול ההזנה:

1. 5 ק"ג חנקן צריף לעונה
2. 15 ק"ג חנקן צרוף לעונה
3. 25 ק"ג חנקן צרוף לעונה
4. 37 ק"ג חנקן צרוף לעונה
5. 50 ק"ג חנקן צרוף לעונה

כאשר זרחן ואשלגן ניתנים באופן זהה לכל הטיפולים במנה של 10 ו-30 ק"ג צרוף לדונם לשנה, בהתאמה. כל יסודות המיקרו, מלבד בורון, מוספים למי ההשקיה.

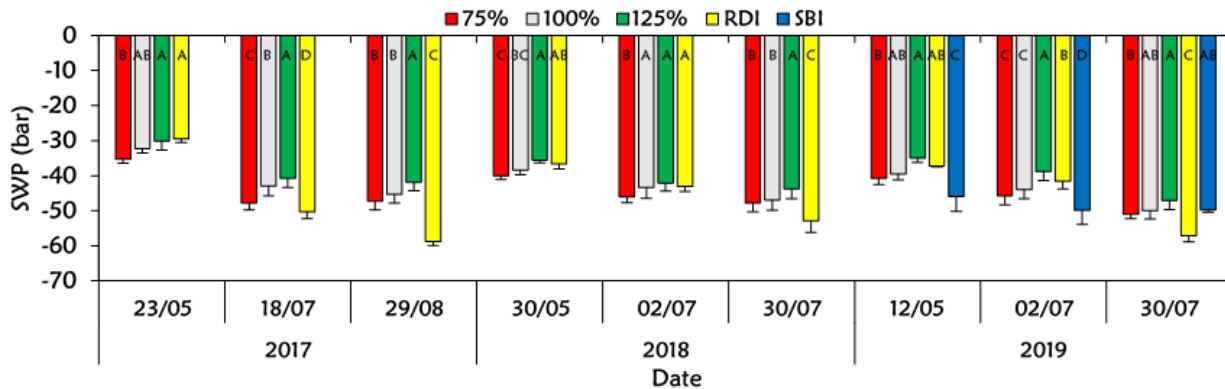
בדיקות איפיון הזרעים ואיכות השעווה כללו את המדדים הבאים; משקל מאה, פעילות נוגדת חמצון (DPPH), תכולת כלל טוקופרולים בשעווה, תכולת רטיבות ותכולת שעווה בזרע. כאשר בדיקות האיכות בוצעו בדגימת שעווה שהופקה במכונת סחיטה מעבדתית בגילת המדמה את הסחיטה במערך המסחרי.

התוצאות נותחו בעזרת תוכנת JMP pro -15.0.0, כל חלקה היוותה חזרה, ערך ה P בו בחנו את מובהקות ההבדלים היה 0.05 וההשוואה בין הטיפולים נעשתה במבחן Tukey-HSD test.

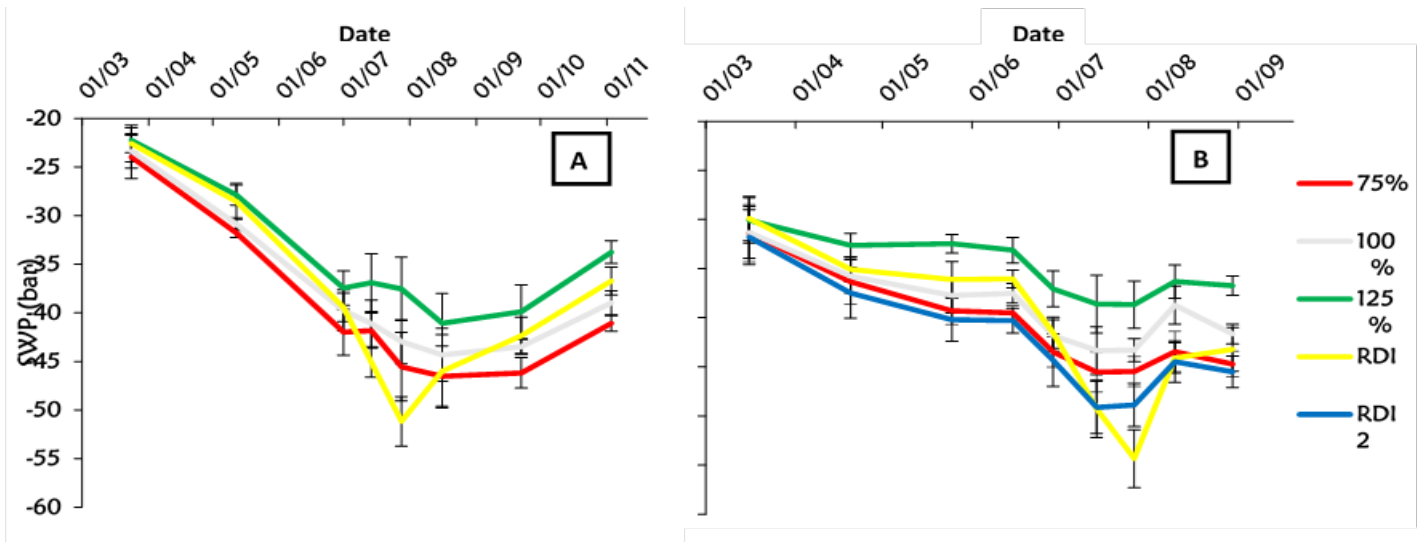
תוצאות

בכדי להציג תמונה שלמה ורחבה ככל הניתן של השפעת טיפולי הניסוי, מוצגות בדוח התוצאות של המחקר על כל שנותיו (כולל השנים טרם הפרוייקט הנוכחי), התוצאות מחולקות לניסוי ההשקיה, ניסוי ההזנה וההשפעות על איכות השעווה.

השקיה

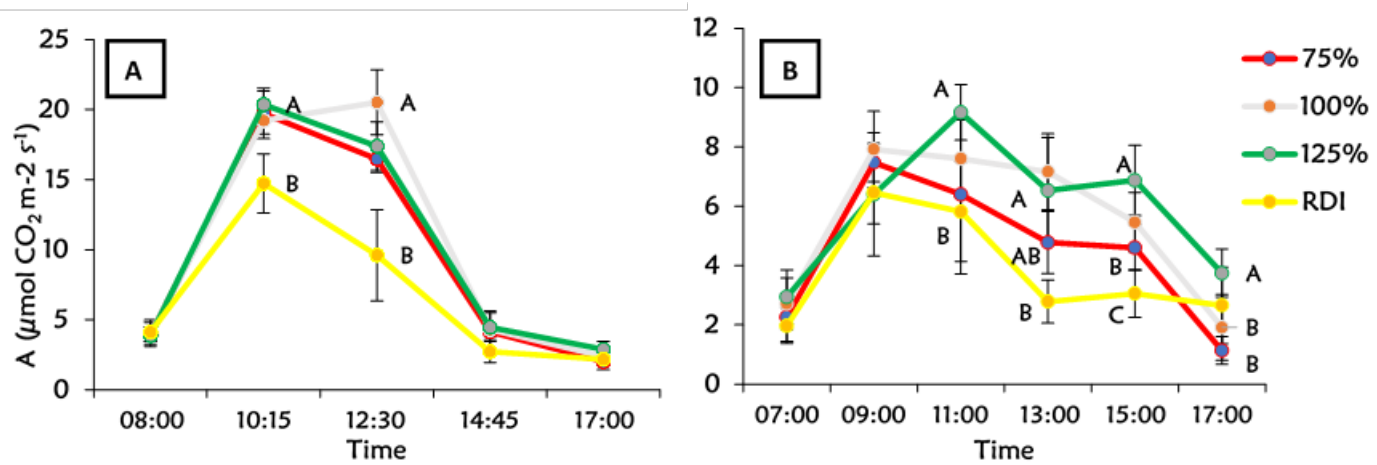


איור מס' 1; ערכי פוטנציאל המים הממוצעים ($\pm$ סטיית תקן) בטיפול ההשקיה בשנים 2017-2019.



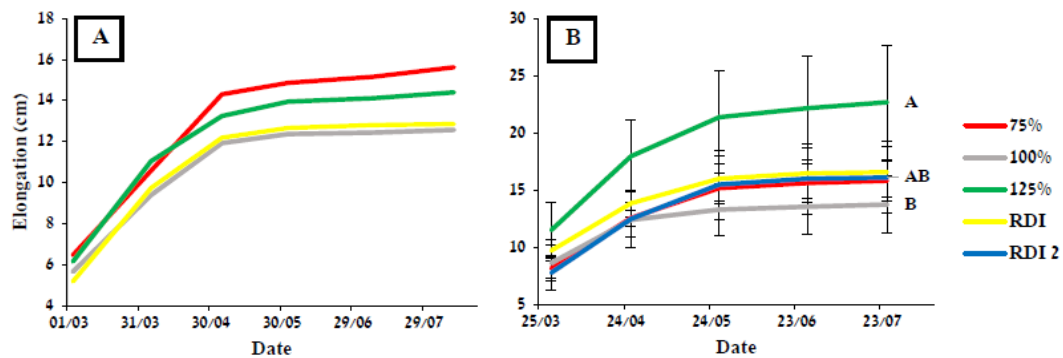
איור מס' 2; מהלך שנתי על ערכי פוטנציאל מים הממוצעים ($\pm$ סטיית תקן) בטיפול ההשקיה בשנים 2020 (שמאל) ו 2021 (ימין).

מאיורים 1 ו 2 ניתן לראות שפוטנציאל המים בגזע נמצא בהתאמה יפה למנת ההשקיה.

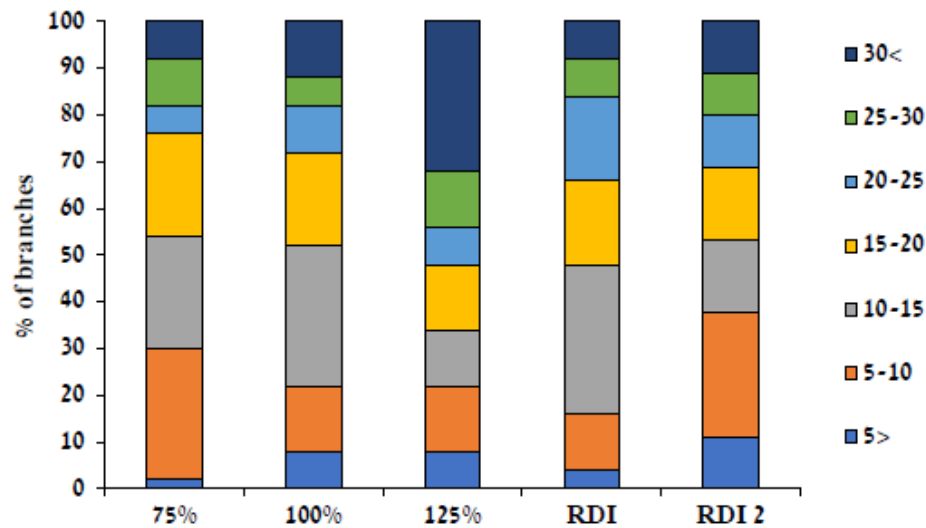


איור מס' 3; השפעת טיפולי ההשקיה על רמת הפוטוסינתזה הממוצעת ($\pm$ סטיית תקן) בטיפול הניסוי 19.7.20 (שמאל) ו-4.8.20 (ימין) אותיות שונות מעידות על הבדלים מובהקים בין הטיפולים ($P < 0.05$).

איור 3 מראה כי טיפול ה-RDI הביא לירידה בהטמעת הפד"ח, ירידה מסויימת נמצאה גם בטיפול ה-75%.

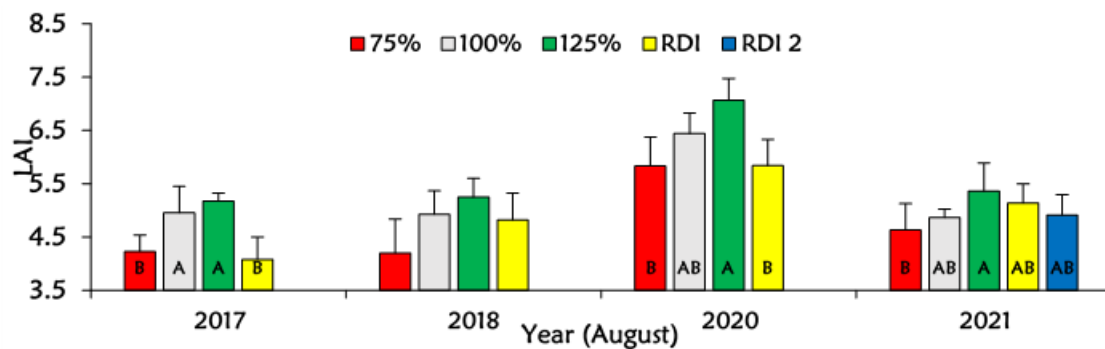


איור מס' 4; השפעת טיפולי ההשקיה על ההתארכות העונתית של הענפים (ממוצעים $\pm$ סטיית תקן) כפי שנמדד ב-2020 (A) וב-2021 (B). ב-2020 לא היו הבדלים מובהקים בין הטיפולים, ב-2021 היו הבדלים כפי שמצוין בגרף כאשר טיפולים המצוינים באותיות שונות נבדלים באופן מובהק זה מזה ($p < 0.05$).



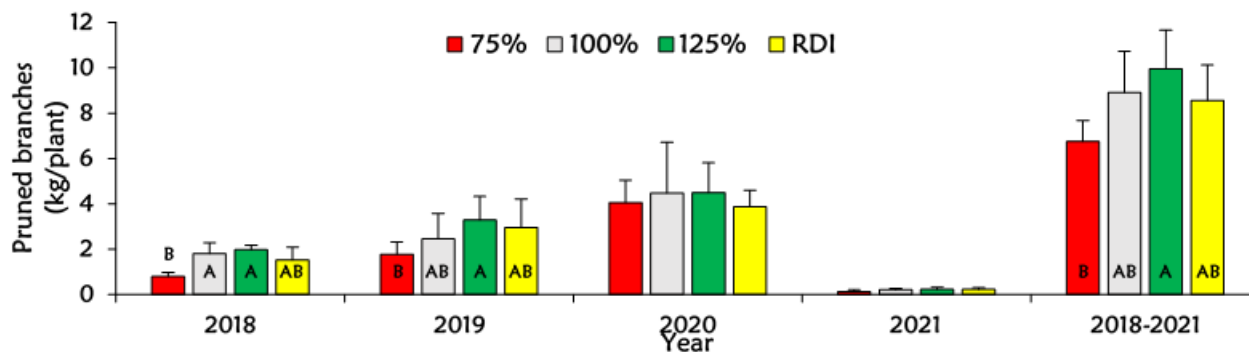
איור מס' 5; התפתחות עונתית של הענפים בטיפולי ההשקיה. החלוקה בכל טיפול היא לפי התפלגות אורכי הענפים שהתקבלו

ניתן לראות כי השקיה מוגברת (125%) הביאה לעליה בעוצמת הצימוח בשנת 2021, תופעה זו לא נמצאה ב 2020 (איור 4).



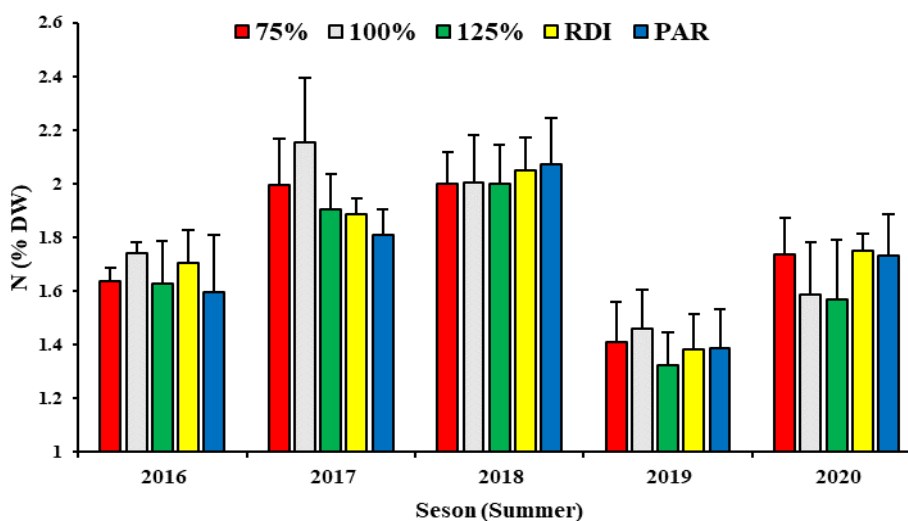
איור מס' 6; השפעת טיפולי ההשקיה על ערכי הLAI (Leaf Area Index) הממוצעים $\pm$ סטיית תקן), אותיות שונות מעידות על הבדלים מובהקים ($P < 0.05$).

מאיור מס' 6 ניתן לראות את הקשר החיובי בין מנת ההשקיה לאינדקס שטח העלווה.



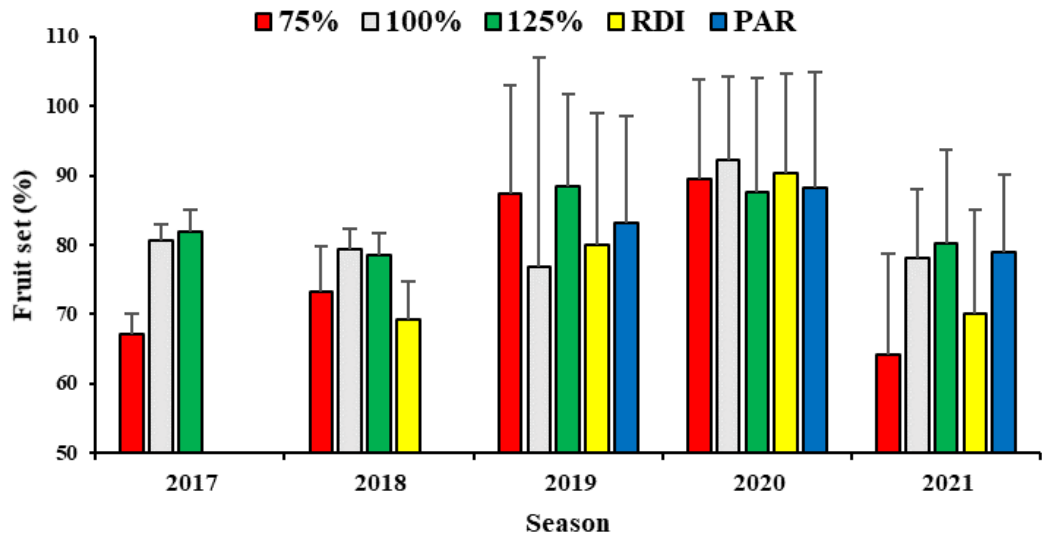
איור מס' 7; השפעת טיפולי ההשקיה על משקל הגזם הממוצע ($\pm$ סטיית תקן), אותיות שונות מעידות על הבדלים מובהקים $P < 0.05$ בין הטיפולים באותה שנה.

מאיור מספר 7 ניתן לראות כי ככל שמנת ההשקיה עלתה כך כמות הגזם עלתה, דבר המצביע על עלייה בצימוח.



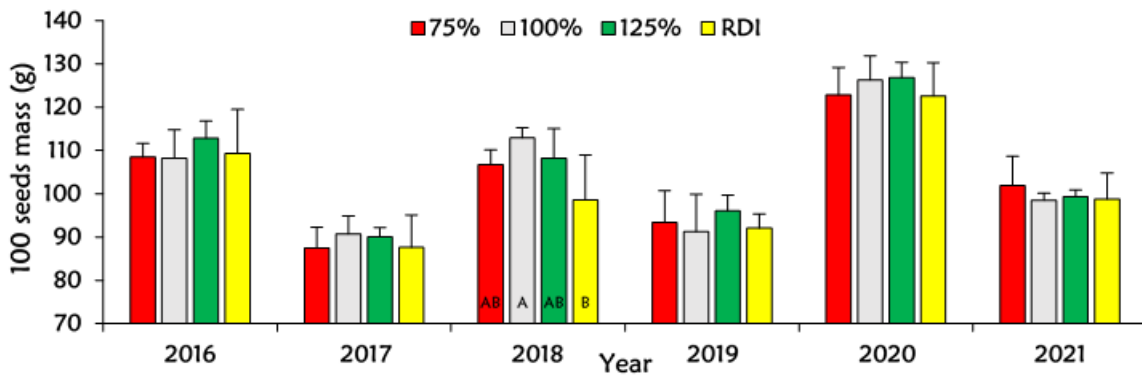
איור מס' 8; השפעת טיפולי ההשקיה על תכולת החנקן בעלים (דיגום קיץ), הממוצעים ($\pm$ סטיית תקן).

מאיור 8 ניתן לראות כי אין קשר עקבי בין מנת ההשקיה לתכולת החנקן בעלים.

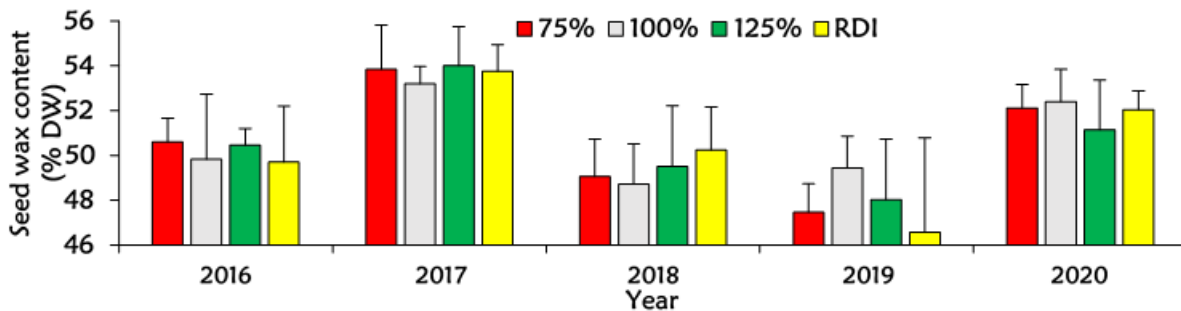


איור מס' 9; השפעת טיפולי ההשקיה על שיעור החנטה (מוצעים $\pm$ סטיית תקן)

מהנתונים המוצגים באיור 9 לא נראה כי היתה השפעה מובהקת לטיפול ההשקיה על שיעור החנטה.

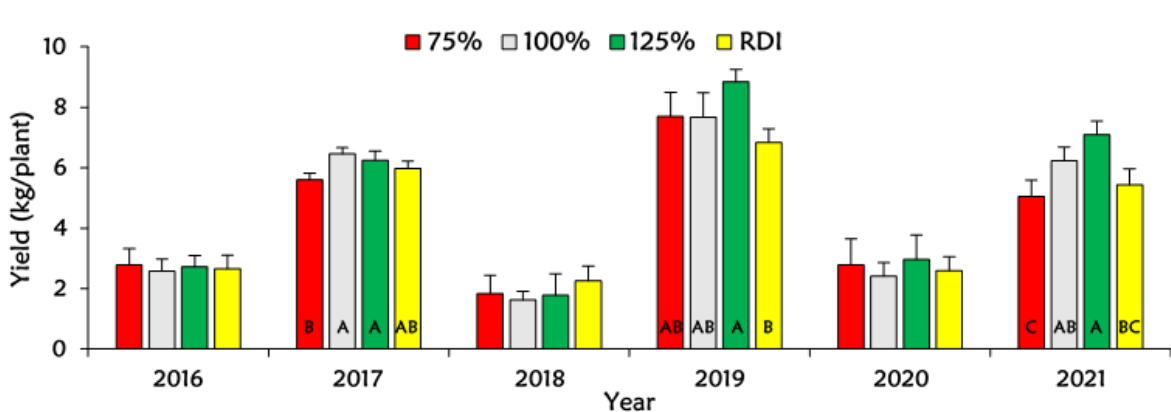


איור מס' 10; השפעת טיפולי ההשקיה על משקל הזרע הממוצע ($\pm$ סטיית תקן), אותיות שונות מעידות על הבדלים מובהקים, $P < 0.05$.



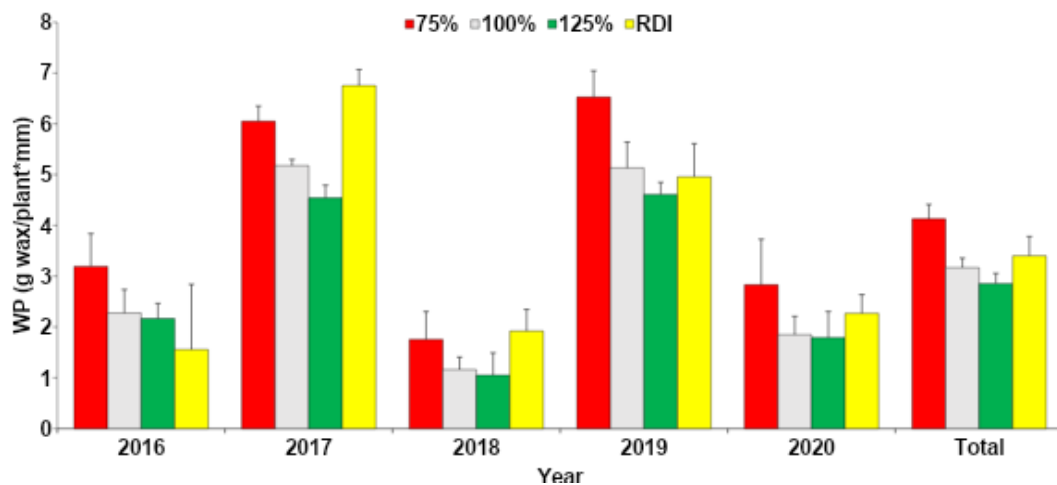
איור מס' 11 ; השפעת טיפולי ההשקיה על תכולת השעווה בזרע, מוצגים הממוצעים $\pm$ סטיית תקן).

מאיורים מס' 10 ו-11 ניתן לראות כי קיים הבדל בגודל הזרע ובתכולת השעווה בזרעים בין השנים אולם לא ניכרת השפעה למנת ההשקיה על מדדים אלו.



איור מס' 12; השפעת טיפולי ההשקיה על יבול הזרעים, מוצגים הממוצעים $\pm$ סטיית תקן), אותיות שונות מעידות על הבדלים מובהקים $P < 0.05$.

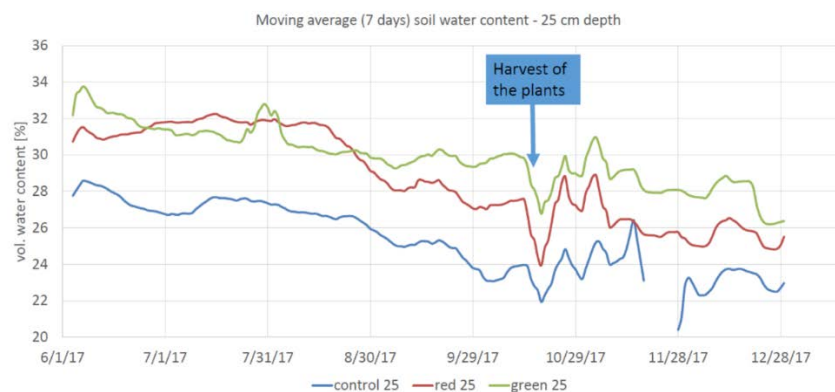
מאיור מס' 12 ניתן ללמוד שמנת ההשקיה השפיעה על היבול בשנות On אבל לא בשנות Off, דבר זה מרמז על הצורך להעלות את מנות ההשקיה בשנות On כפי שנמצא על ידינו במחקרים קודמים בזית. ההבדלים ביבול היו פחותים מהחיסכון במים (איור מס' 13). לטיפול ה-25% וטיפול ה-RDI תמורה גבוהה יותר ליחידת מי ההשקיה. התחשבות בהשפעות של פריון המים לגבי יבול מספקת למקבלי החלטות כלים לחשב את הכדאיות של הטיפולים על רקע של משאבי מים מוגבלים ובהתחשבות של מחירי המים להשקיה.



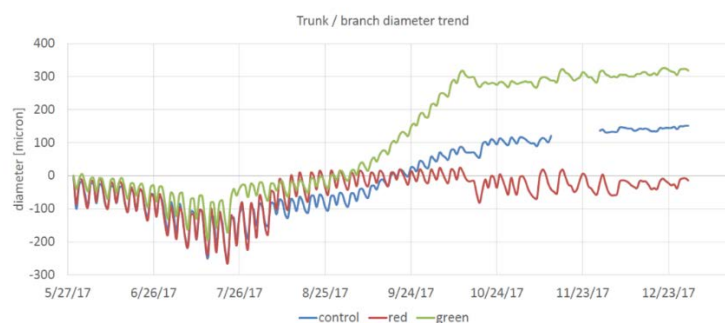
איור מס' 13; השפעת טיפולי ההשקיה על יעילות שימוש מי ההשקיה ($WP = \text{פיריון מים}$ = $\text{water productivity}$) מוצגים הממוצעים ($\pm$ סטיית תקן).

השקיה לפי ניטור

בוצעה תצפית של רטיבות קרקע (נפחית) ושינויים בקוטר הגזע (דנדרומטרים) על ידי 3 תחנות של חברת פייטק ב-2017 ו-2018 (איורים 14-15). תחנה אחת עם שני חיישני רטיבות קרקע, מד שלוחת טפטוף ו-3 דנדרומטרים הוצבה בכל אחד מ-3 הטיפולים 1, 2 ו-3 (מסחרי, 25%+, 25%-) על מנת לבחון את התאמתם להערכת מצב המים בצמחים. מדי הרטיבות ניטרו את יבוש הקרקע בחודשי הקיץ, במיוחד בטיפול 25%-. הדנדרומטרים הצליחו לתאר הבדלים בין הטיפולים במצב המים גם לפי מדד של קצב הגידול של הגזע הנמדד וגם בבמדד של רמת ההתכווצות היומית. ב-2018, שנת שפל (Off), תגובות הדנדרומטרים בעצים היתה שונה, חלשה יותר.



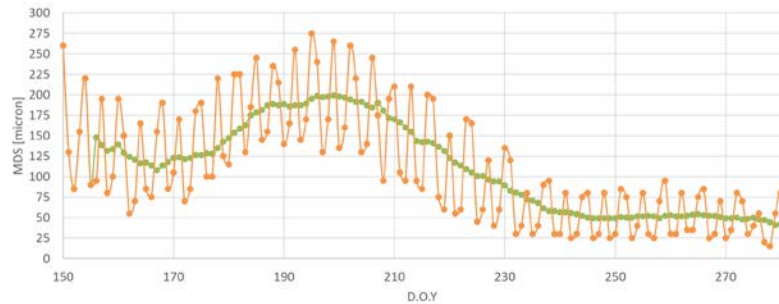
איור מס' 14; רטיבות מים בקרקע בעומק 25 ס"מ כפי שנמדד בין שורת הצמחים ושלוחת ההשקיה. כחול ביקורת, אדום 25%-, ירוק 25%+



איור מס' 15; קריאות דנדרומטרים (מדי עובי גזע) בשלוש טיפולים. כחול- ביקורת, אדום 25%-, ירוק 25%+ מיוני עד דצמבר 2017

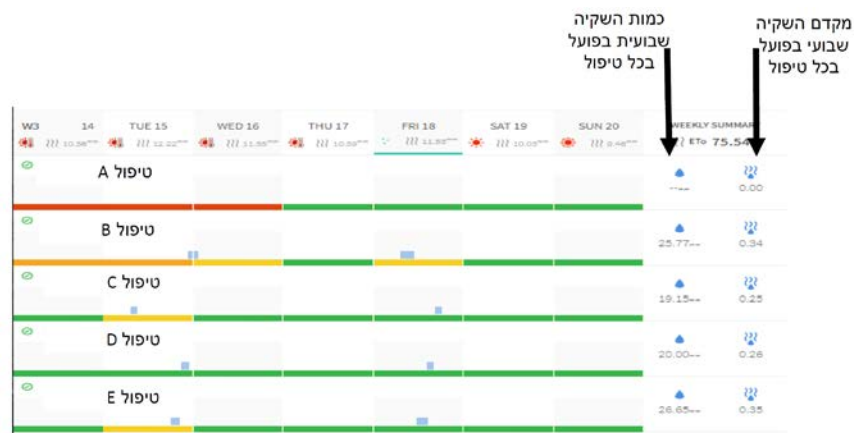
אלגוריתם מוצע לזיהוי רמת החומרה של עקת חוסר מים על בסיס פרמטר ההתכווצות היומית המקסימאלית (maximum daily shrinkage - MDS) של גזעי \ ענפי הצמחים לאורך הקיץ והסתיו מוצג באיור מס' 16. כאשר הערך הנמדד ביום נתון נחשב חריג לעומת הערך הרצוי, האלגוריתם ידע לאותת על כך בצורת מתן צבע אינדקטיבי. דוגמא : קו ירוק =

ערכי MDS רצויים בתקופת הקיץ והסתיו. קו כתום = ערכים ממוצעים של קבוצת צמחים, קו ירוק = ערכים חריגים המעידים על עקת מים. בכל יום ניתן צבע אינדיקטיבי לרמת העקה על סמך ההבדל בין הערכים.



איור מס' 16; התכונות יומית מקסימאלית המחושבת על פי מדידות הדנדרומטרים.

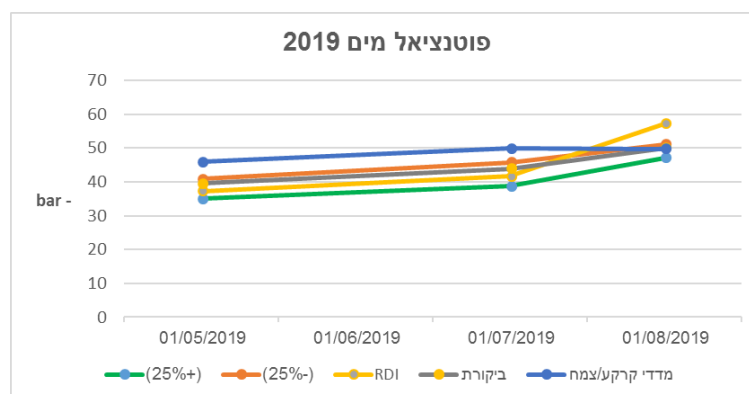
המטרה היתה לשמור על טיפול 5 (הטיפול בו ההשקיה מוכוונת על פי ניטור מצב המים) במצב של מינימום עקת מים, כלומר מינימום ימים שבהם הצבע המתקבל דרך האלגוריתם אינו ירוק או צהוב (איור מס' 17). כאשר נזהה בשבוע מסוים עליה בחומרת עקת המים, נקבל החלטה באשר לשינוי ההשקיה בשבוע העוקב.



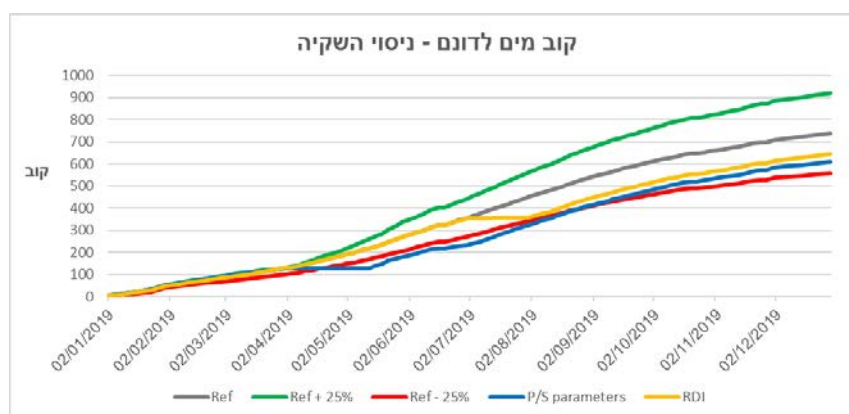
איור מס' 17; דוגמה של פלט תוצאות מצב המים לפי חיישני דנדרומטרים. חברת פיטק.

בעונת האביב 2019 נבחן האלגוריתם שפותח עם חברת פיטק על סמך תוצאות ומדידות של הדנדרומטרים מ-2017 כאשר גם 2017 וגם 2019 היו שנות ON. על מנת לעשות זאת, 4 תחנות של דנדרומטרים הוצבו בחזרות של טיפול 5. לדאבוננו, כבר באביב ראינו שהאלגוריתם לא התאים ולא הצליח. זאת אומרת שלא הגענו אף פעם לערכי הצף הצפויים המצביעים על הערך התחתון של מצב המים הרצוי ולכן הפסקנו את ההשקיה. הבעיה המשיכה כאשר, לא לפי הצפוי, המדדים של הדנדרומטרים (MDS) החשובים לא התנהגו לפי הצפוי או לפי הנסיון ב-2017 ולא עלו גם כאשר לא הושקו הצמחים רוב חודש אפריל.

כאשר מדדנו בטיפול זה ירידה חדה בפוטנציאל מים על ידי תא הלחץ (איור 5), עד כדי סימן של עקה חריפה, הפסקנו את הטיפול ואת הנסיון לשימוש באלגוריתם לפי החיישנים לבקרת ההשקיה. בשל עקת מים חמורה, הטיפול הושקו בהמשך העונה ברמה של 100% (איור 19). עקת המים כפי שנוטרה על ידי מדידת פוטנציאל מים בגזע המשיכה גם אחרי החזרתה של ההשקיה לרמה סבירה (איורים 18, 19).



איור מס' 18; ערכי פוטנציאל המים של טיפולי ההשקיה בניסוי בחחובה בחצרים 2019.

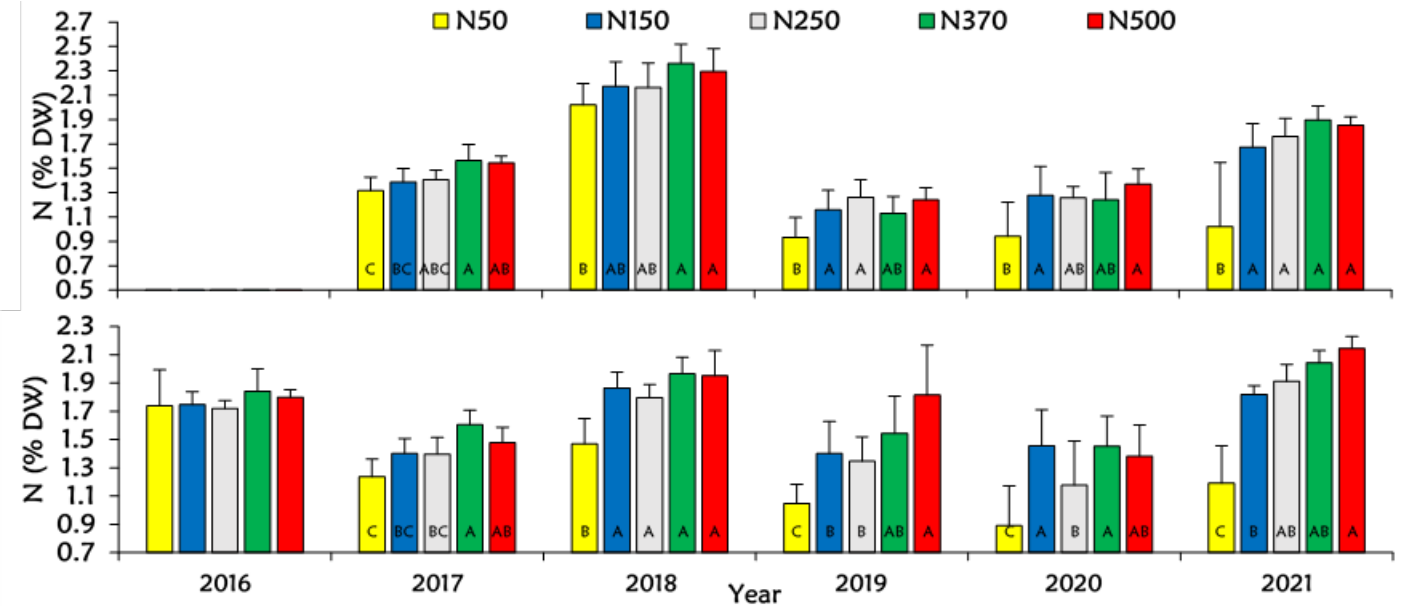


איור מס' 19. השקיה מצטברת לפי טיפולי השקיה בחחובה בחצרים 2019.

המשכנו בתצפית עם החיישנים גם ב-2020 וגם בשנה זאת לא חזרו תוצאות או מגמות מהשנים הקודמות ולא קיבלנו נתונים או מגמות אחידות מספיק על מנת להציע אלגוריתם (או שימוש אחר) חדש איתם.

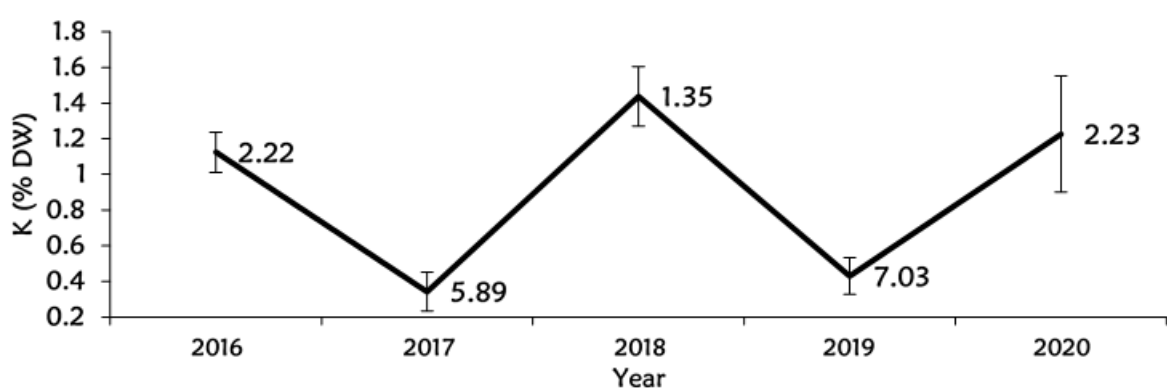
התברר שדמיון ההתנהגות של הדנדרומטרים וההצלחה הנראית ב-2017 לא חזר בין עונות, לא כתלות עומס הפרי ולא בכלל. בעונות 2018 ו-2019 השונות בין חיישן וחיישן, גם באותו הטיפול היתה כל כך גדולה כך שנפסלה האפשרות להציג בעזרתם את התנהגות (מצב המים) של צמחי החחובה בניסוי. המסקנה שלנו לכן הייתה שהם לא מתאימים להכוונת וקבלת החלטות לגבי השקיה במטע.

הזנה



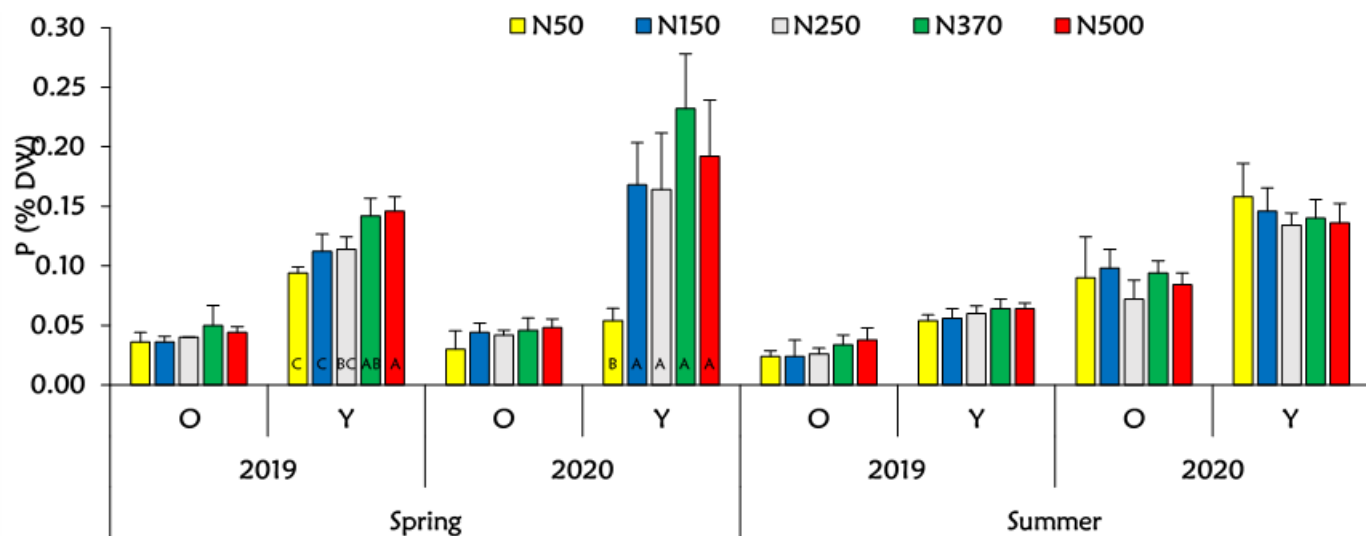
איור מס' 20; השפעת טיפולי ההזנה על ריכוז החנקן בעלים, הממוצעים ($\pm$ סטיית תקן) באביב (למעלה) ובקיץ (למטה), אותיות שונות בעמודת באותה שנה ואותו מועד דיגום עלים מעידות על הבדלים מובהקים ($P < 0.05$) בין הטיפולים.

טיפול ההזנה בחנקן באים לידי ביטוי בבדיקות העלים בעיקר בטיפול ההזנה במנות הנמוכות של החנקן, פחות ניתן לראות עודפים. ההבדלים ניכרים הן בדיגום האביב והן בדיגום הקיץ (איור מס' 20).



איור מס' 21; ריכוז האשלגן בעלים בקיץ במהלך שנות הניסוי, הממוצעים ($\pm$ סטיית תקן) (המספרים ליד כל נקודה מציגים את היבול של אותה שנה).

נושא האשלגן לא עמד במוקד המחקר הנוכחי אולם בכל זאת בחנו להציג את הנתונים על השפעת עומס היבול על רמת האשלגן בעלים בכדי להראות עד כמה עומס היבול משמעותי בהקשר למדד זה (איור מס' 21).



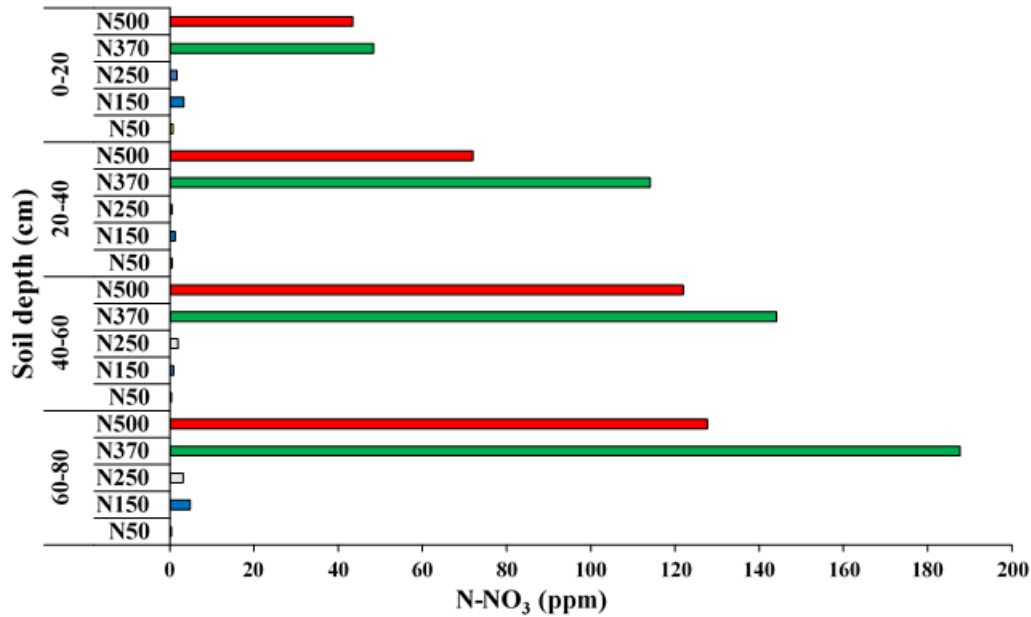
איור מס' 22; ריכוז הזרחן בעלים בקיץ במהלך שנות הניסוי (O עלים בוגרים, Y עלים צעירים), הממוצעים ($\pm$ סטיית תקן), אותיות שונות מעידות על הבדלים מובהקים $P < 0.05$ בין הטיפולים.

מנות הזרחן שהצמחים קיבלו בטיפולים השונים היו דומות. אף על פי כן, ניתן לראות הבדלים ברמת הזרחן בעלים בין הטיפולים, כאשר על פי רוב, רמות חנקן נמוכות בעלים צעירים מלוות ברמות זרחן נמוכות (איור מס' 22).

טבלה מס' 2. השפעת טיפולי ההזנה בחנקן על תכולת המינרלים בעלים בוגרים (O) וצעירים (Y). אותיות שונות מעידות על הבדלים מובהקים ($p < 0.05$) בין הטיפולים

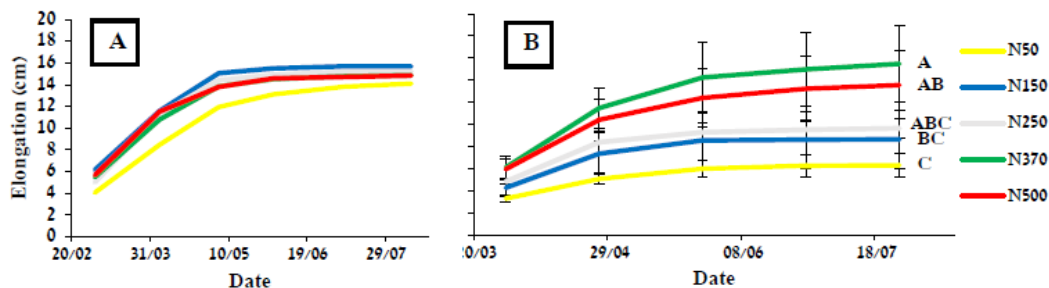
Treatment	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo	
			%					mg/kg (ppm)				
2016 O												
N50	0.73	0.88	0.06	1.82	/	81.43	4.34	69.76	68.46	/	/	
N150	0.79	0.89	0.06	1.87	/	79.32	4.00	60.53	57.98	/	/	
N250	0.79	0.84	0.06	1.75	/	81.77	4.10	72.37	53.10	/	/	
N370	0.77	0.86	0.06	1.84	/	76.86	3.74	67.65	74.29	/	/	
N500	0.72	0.88	0.07	1.74	/	83.25	3.99	66.95	62.56	/	/	
p<0.05	NS	NS	NS	NS		NS	NS	NS	NS			
2018 O												
N50	0.98	0.90	0.12	1.57	0.20	570.44	7.24	117.20	94.62 A	11.39	/	
N150	0.93	0.84	0.09	1.58	0.21	507.45	6.43	117.30	73.91 AB	9.67	/	
N250	0.96	0.84	0.11	1.51	0.22	486.17	8.00	122.04	83.08 AB	11.07	/	
N370	1.11	0.79	0.15	1.41	0.23	508.77	6.74	116.89	57.32 B	10.12	/	
N500	0.93	0.78	0.10	1.44	0.23	577.00	6.46	105.28	76.34 AB	9.60	/	
p<0.05	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS		
2018 Y												
N50	0.68 C	0.80	0.05	1.87 A	0.19	332.25	4.06 A	40.61	93.71 A	17.47	/	
N150	0.79 BC	0.79	0.04	1.75 AB	0.19	429.95	3.24 AB	42.47	75.72 AB	13.82	/	
N250	0.80 B	0.81	0.04	1.83 AB	0.20	475.58	3.92 AB	38.26	87.88 AB	15.96	/	
N370	0.94 A	0.74	0.05	1.59 B	0.20	490.60	3.47 AB	36.89	56.94 B	15.91	/	
N500	0.84 AB	0.76	0.04	1.74 AB	0.20	429.18	3.04 B	37.57	78.38 AB	13.91	/	
p<0.05	*	NS	NS	*	NS	NS	*	NS	*	NS		
2020 O												
N50	1.12	1.00	0.19	1.57	0.17 B	89.30	7.54 A	91.47	116.11	11.94	2.24 A	
N150	1.12	0.92	0.18	1.57	0.21 A	82.41	6.95 A	81.59	85.60	12.58	1.86 AB	
N250	1.29	1.01	0.18	1.45	0.19 AB	90.76	6.91 A	95.11	106.79	11.92	1.47 BC	
N370	1.38	0.98	0.19	1.53	0.2 AB	81.45	5.29 B	72.77	95.10	10.45	1.16 C	
N500	1.33	0.98	0.15	1.60	0.22 A	80.82	4.87 B	75.68	106.55	13.06	1.26 C	
p<0.05	NS	NS	NS	NS	*	NS	*	NS	NS	NS	*	
2020 Y												
N50	0.79 B	0.75	0.07 A	1.91	0.21 B	50.73	4.79 A	36.14	54.89 B	21.89	1.93 A	
N150	0.89 AB	0.81	0.05 B	1.99	0.26 A	41.45	3.56 B	37.92	50.17 B	22.91	1.71 AB	
N250	0.92 AB	0.83	0.04 B	2.13	0.22 AB	44.25	3.79 B	36.54	73.8 AB	20.91	1.41 BC	
N370	1.02 A	0.84	0.04 B	2.00	0.22 AB	42.70	3.06 BC	32.06	99.8 A	19.65	1.14 C	
N500	0.95 AB	0.81	0.04 B	2.25	0.23 AB	39.27	2.62 C	33.60	76.27 AB	19.58	1.27 C	
p<0.05	*	NS	*	NS	*	NS	*	NS	*	NS	*	

מטבולה 2 ניתן לראות שהסידן בעלים, הכלוריד, הגופרית, הנחושת, המגן והמוליבדן הושפעו מטיפול החנקן

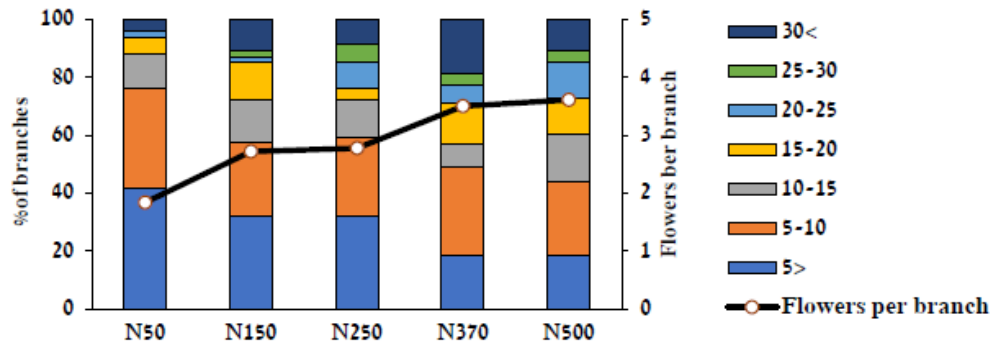


איור מס' 23; ריכוז הניטרט בקרקע בדיגום ממועד 14.9.21 יחידות מבטאות ריכוז חנקן כחנקה במיצוי עיסה רוויה.

הממצאים המוצגים באיור מס' 13 מראים כי בטיפולים N5-N250 הצמחים צרכו כמעט את כל החנקן בתום עונת ההשקיה, בעוד שהטיפולים N500 ו N370 נותרו כמות לא מבוטלת של חנקן בסוף העונה והכמות הלכה ועלתה עם העומק, מה שמצביע על עודפי חנקן נשטפו מתחת לעומק הנמדד.

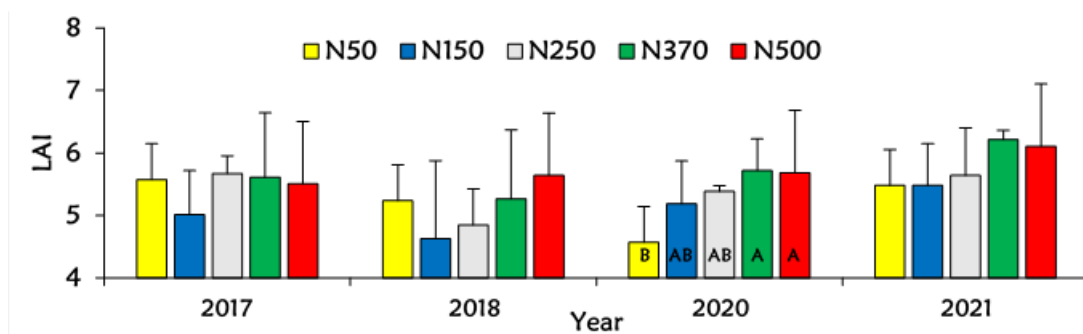


איור מס' 24; השפעת טיפולי החנקן על ההתארכות העונתית של הענפים כפי שנמדד ב 2020 (A) וב 2021 (B). ב 2020 לא היו הבדלים מובהקים בין הטיפולים, ב 2021 היו הבדלים כפי שמצויין בגרף כאשר טיפולים המצויינים באותיות שונות נבדלים באופן מובהק זה מזה ($p < 0.05$).



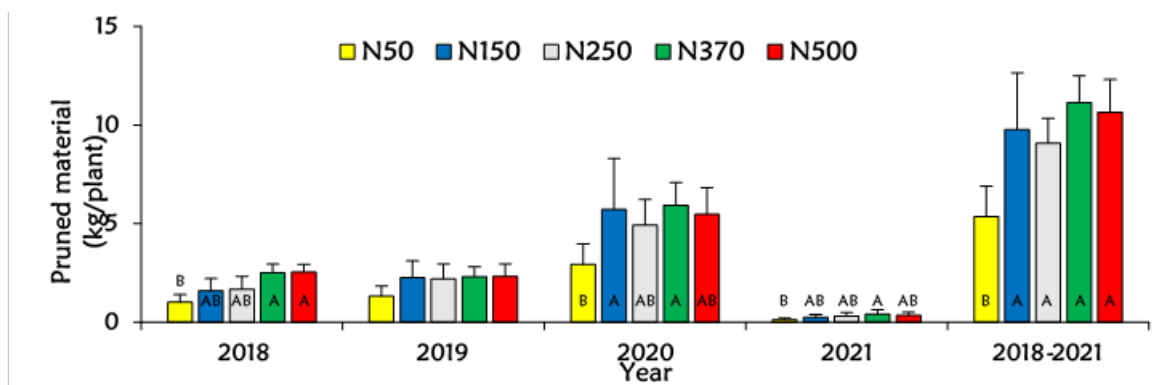
איור מס' 25; התפתחות עונתית של הענפים בטיפול החנקן. החלוקה בכל טיפול היא לפי התפלגות אורכי הענפים שהתקבלו

מסתמנת אם כן תגובה (בשנה אחת) לרמת ההזנה בחנקן, ככל שהיא עלתה כך הצימוח עלה וכך גם מספר הפרחים לענף כלומר יש קשר בין רמת ההזנה בחנקן לפוטנציאל הפריחה של הצמח.



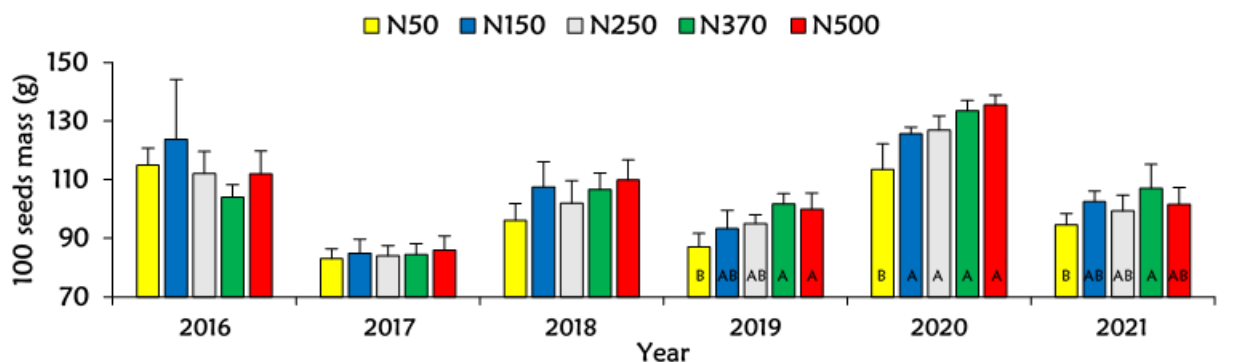
איור מס' 26; השפעת טיפולי החנקן על ערכי LAI (Leaf Area Index) הממוצעים (± סטיית תקן), אותיות שונות המופיעות ב-2020 מעידות על הבדלים מובהקים $P < 0.05$ בין הטיפולים.

מאיור מס' 26 ניתן לראות בשנים 2018-2021 מגמה של עליה בערכי LAI עם העליה במנת ההזנה בחנקן דבר הצביע על הקשר בין מנת החנקן לבין עוצמת הצימוח.

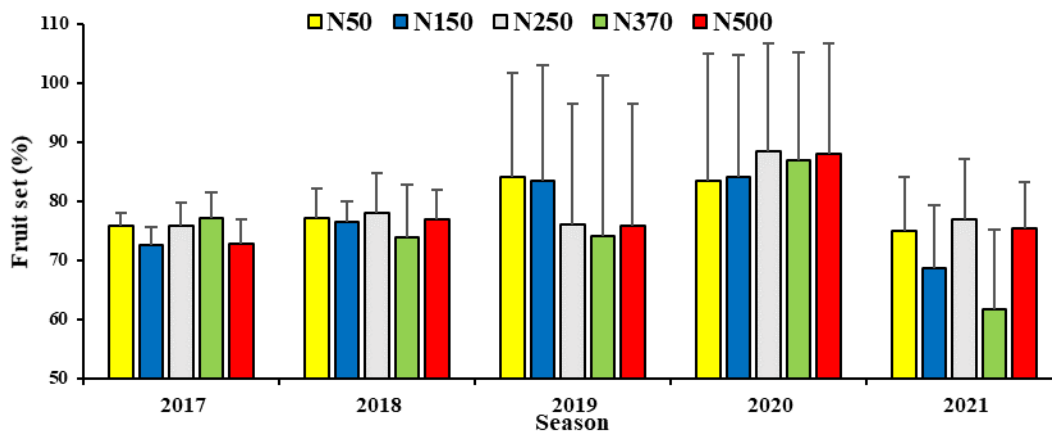


איור מס' 27; השפעת טיפולי ההזנה בחנקן על הביומסה של הגזם, מוצגים הממוצעים ($\pm$ סטיית תקן), אותיות שונות באותה שנה מעידות על הבדלים מובהקים, $P < 0.05$ בין הטיפולים.

מאיור מס' 27 ניתן לראות ירידה רבה במשקל הגזם בטיפול ההזנה הנמוך של 5 ק"ג / דונם חנקן צרוף ביחס ליתר הטיפולים.



איור מס' 28; השפעת טיפולי החנקן על משקל 100 זרעים, מוצגים הממוצעים ($\pm$ סטיית תקן), אותיות שונות באותה שנה מעידות על הבדלים מובהקים, $P < 0.05$ בין הטיפולים.

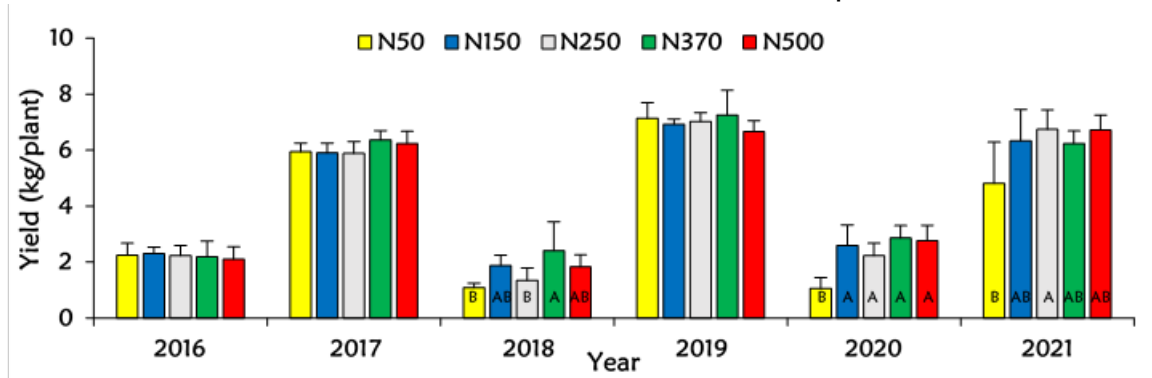


איור מס' 29; השפעת טיפולי ההזנה על שיעור החנטה (ממוצעים $\pm$ סטיית תקן)

מאיור 29 ניתן לראות כי שיעורי החנטה בטיפולי ההזנה השונים נעו בסביבות 75-85% בממוצע. לא ניכרת השפעה ברורה לאחד מהטיפולים על שיעור החנטה.

מאיור מס' 28 ניתן לראות כי החל משנת 2018 מופיעה מגמה של עליה במשקל הזרע עם העליה במנת החנקן, אם כי לשנים ועומס היבול השפעה רבה יותר על מדד זה.

שיעור החנטה לא הושפע ממנות החנקן ועמד בממוצע על 74.8, 76.5, 78.7, 86.2 ו-71.5 אחוז בממוצע לעונה במהלך שנות הניסוי.

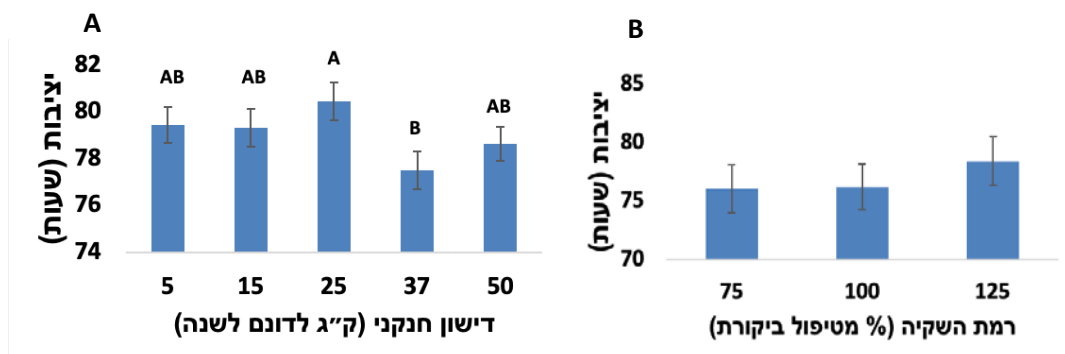


איור מס' 30; השפעת טיפולי ההזנה בחנקן על יבול הזרעים לצמח, מוצגים הממוצעים $\pm$ סטיית תקן, אותיות שונות באותה שנה מעידות על הבדלים מובהקים, $P < 0.05$, בין הטיפולים.

בבחינת יבול הזרעים לצמח (איור מס' 30) ניתן לראות כי הצמחים אשר קיבלו את טיפול החנקן הנמוך הניבו במרבית השנים יבול זרעים נמוך מיתר הטיפולים, אולם כבר ב-150 ק"ג חנקן להקטר, הצמחים הגיעו למימוש פוטנציאל היבול ותוספת חנקן מעבר לערך זה לא העלתה את היבול.

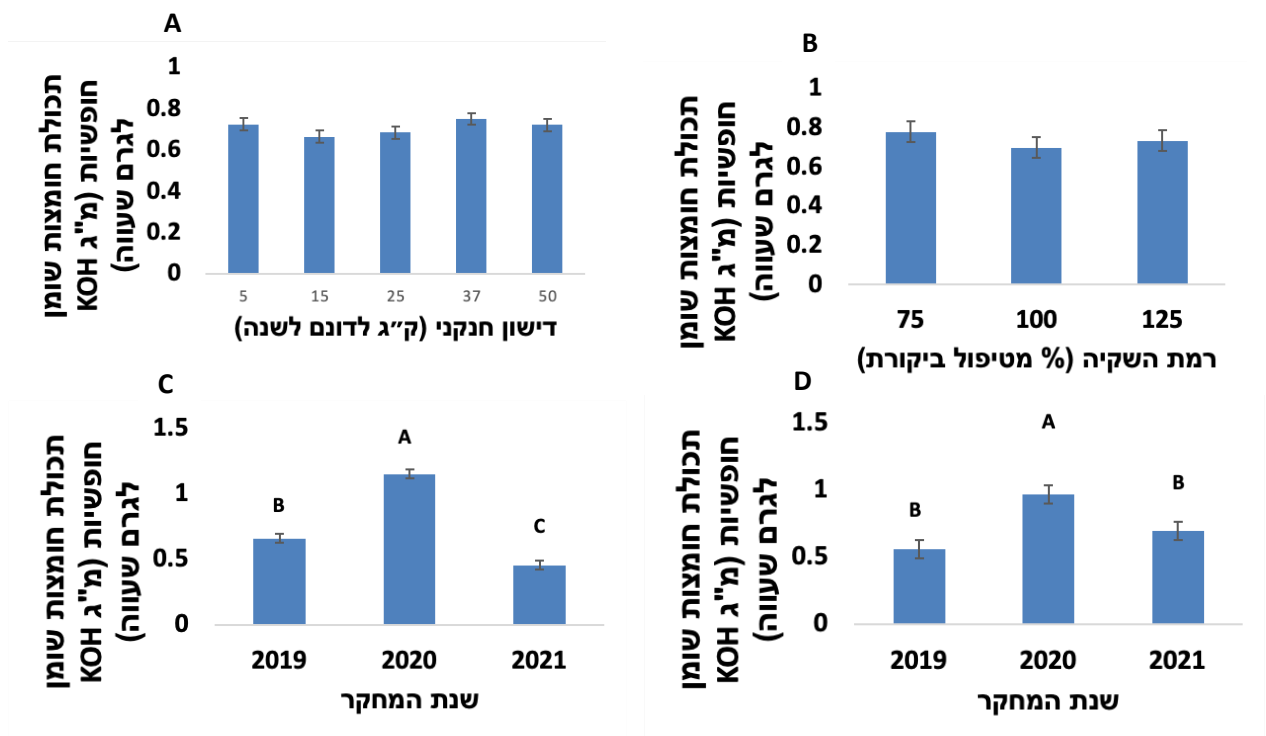
איכות השעווה

היציבות החמצונית של שעוות חוחובה גבוהה מאוד ביחס לסוגי שמן אחרים, ונעה בין 77.5-80.4 שעות על בסיס בדיקת רנסימט. מניתוח נתוני שלוש השנים עולה כי לממשק הדישון לא נמצאה השפעה על היציבות החמצונית של השעווה, למעט הבדל מובהק בין טיפול 37 ק"ג לטיפול 25 ק"ג (איור 31A). גם לממשק ההשקיה לא נמצאה השפעה על ערכי היציבות החמצונית שהתקבלו, על סמך נתוני שלוש השנים (איור 31B).



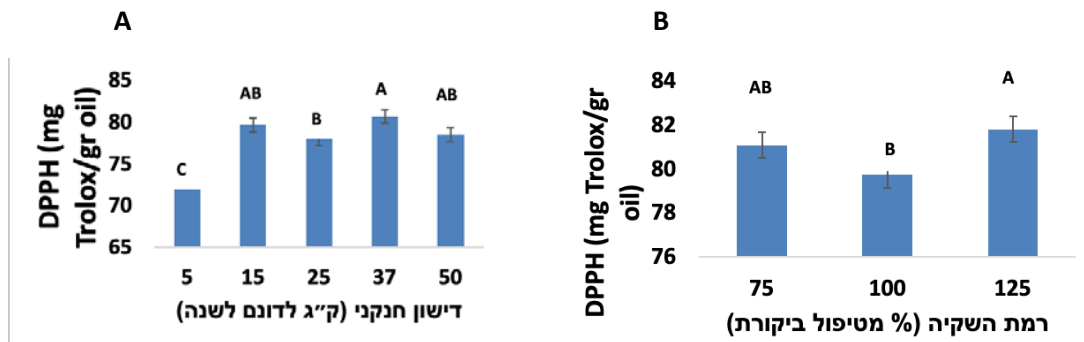
איור מס' 31; השפעת ממשק הדישון (A) וההשקיה (B) על היציבות החמצונית של שעוות החוחובה. טיפולים המצויינים באותיות שונות שונים באופן מובהק ($p < 0.05$) זה מזה במבחן t (ממוצעי 5 חזרות לשנה במשך שלוש שנות המחקר $\pm$ ש.ת.).

לא נצפתה השפעה לרמת הדישון על תכולת חומצות שומן חופשיות בשעווה (איור 32A), שנעה בין 0.66-0.75 מ"ג KOH לגרם שעווה. גם טיפולי ההשקיה השונים לא נבדלו בתכולת חומצות השומן החופשיות בשעווה (איור 32B). עם זאת, לגורם השנה נצפתה השפעה מובהקת, עם ערכים גבוהים משמעותית בשנת ה-Off (2020) לעומת שנות ה-On (2019, 2021), הן בניסוי הדישון (איור 32C) והן הניסוי ההשקיה (איור 32D).



איור מס' 32; השפעת ממשק הדישון (A) וההשקיה (B) והשפעת השנה בניסויי דישון (C) והשקיה (D) על תכולת חומצות שומן חופשיות בשעוות חוחובה. טיפולים המצויינים באותיות שונות שונים באופן מובהק ($p < 0.05$) זה מזה במבחן t (ממוצעי 5 חזרות לשנה במשך שלוש שנות המחקר $\pm$ ש.ת.).

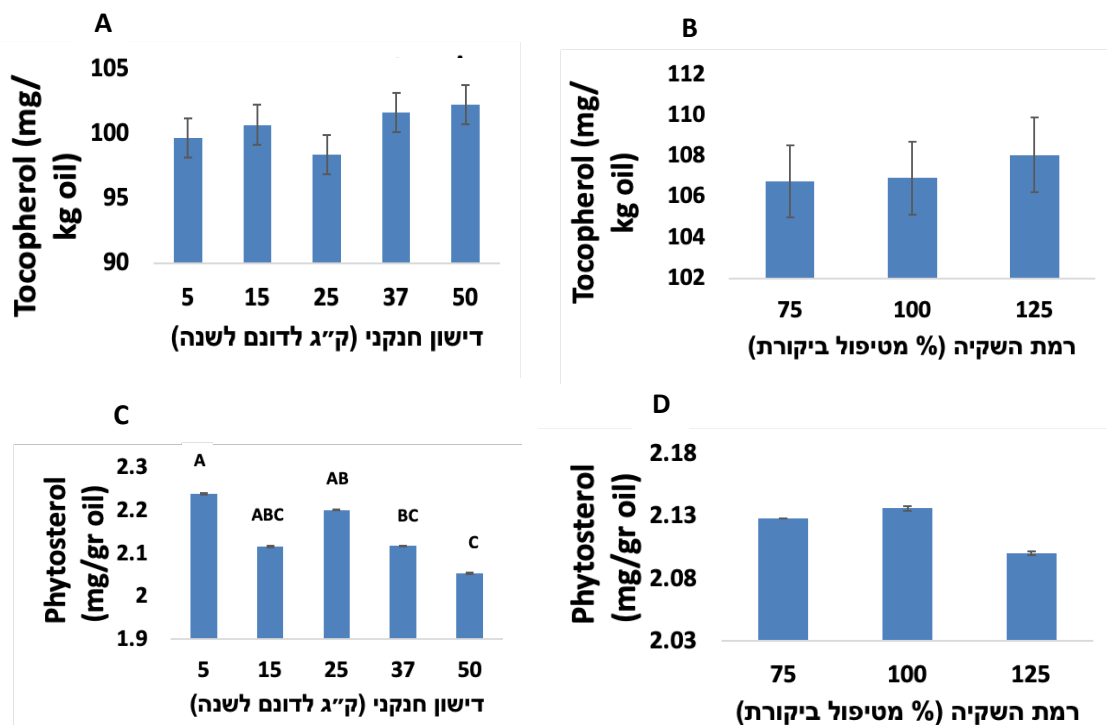
רמת הדישון השפיעה על הפעילות נוגדת החמצון של השעווה, לשעווה מטיפול חנקן 5 ק"ג/ד' פעילות נוגדת חמצון נמוכה משמעותית משל הטיפולים האחרים (73.34 מ"ג טרולוקס לגרם שעווה), וכמו כן נצפה הבדל מובהק בין טיפול 37 ק"ג לטיפול 25 ק"ג (איור 33A). גם לטיפולי ההשקיה נצפתה השפעה, ולשעווה מטיפול הביקורת (100% השקיה) פעילות נוגדת חמצון נמוכה מזו של טיפול 125% השקיה (ביקורת + 25%) (איור 33B).



איור מס' 33; השפעת ממשק הדישון (A) וההשקיה (B) על הפעילות נוגדת החמצון של שעוות חוחובה. טיפולים המצויינים באותיות שונות שונים באופן מובהק ($p < 0.05$) זה מזה במבחן t (ממוצעי 5 חזרות לשנה במשך שלוש שנות המחקר $\pm$ ש.ת.).

טיפול הדישון וההשקיה לא השפיעו על תכולת הטוקופרולים של השעווה, שנעה בטווח 99.7-102.3 ו-106.7-108.1 מ"ג לק"ג שעווה, בהתאמה (איור 34A, 34B).

לרמת הדישון בחנקן המיושם השפעה מובהקת על תכולת הפיטוסטרולים בשעווה, ונצפתה מגמה של ירידה בתכולת הפיטוסטרולים עם העליה במנת החנקן (איור 34C), וכן תוצאה חריגה בטיפול של 15 ק"ג. עם זאת, לא נמצאה השפעה של טיפולי ההשקיה שנבדקו על תכולת הפיטוסטרולים (איור 34D).



איור מס' 34; השפעת טיפולי הדישון בחנקן (A) וההשקיה (B) על תכולת הטוקופרולים, והשפעת טיפולי הדישון (C) וההשקיה (D) על תכולת הפיטוסטרולים בשעוות חחובה. טיפולים המצויינים באותיות שונות שונים באופן מובהק ($p < 0.05$) זה מזה במבחן t (ממוצעי 5 חזרות לשנה במשך שלוש שנות המחקר $\pm$ ש.ת.).

הן בניסוי דישון והן בניסוי השקיה לא נצפתה השפעה של הטיפול על פרופיל חומצות השומן וכהלי השומן של השעווה, הערכים נעו סביב 11-15C18.

טבלה 1. הרכב חומצות וכהלי שומן עיקריים בשעוות חחובה בניסויי דישון והשקיה (ממוצעי שלוש שנים באחוזים). $\pm$ שגיאת תקן).

C22:1 OH	C20:1 OH	C22:1	C20:1	C18:1	דישון (ק"ג N / דונם)
40.3-45.0	48.8-52.3	11.3-13.6	67.9-71.6	10.6-15.5	

דיון

מנת ההשקיה השפיעה על עוצמת הצימוח וככל שהצימוח גבר, כך יש יותר מפרקים ופוטנציאל פריחה ויבול גבוה (Perry et al., 2021). אף על פי כן, אנחנו לא רואים באופן עקבי עלייה ביבול עם העלייה במנת ההשקיה, נראה לנו כי אחת הסיבות המרכזיות לכך הוא הגיזום הממוכן שנעשה בכדי לאפשר מעבר כלים למעשה עושה מעין reset לטיפולים ומאחד אותם. ההשפעה הניכרת של הגיזום על ויסות היבול תוארה במחקר קודם שלנו (Lazare et al., 2021). העלייה ביבול במנת ההשקיה הגבוהה, ניכרה בשנת On. אנו מניחים שתחת עומס יבול גבוה ומבלעים חזקים של הפרי המפתח, הצמח נוטה לפתוח יותר את הפיוניות בכדי לבצע יותר פוטוסינתזה וכך הוא צורך יותר מים. ממצאים דומים המצביעים על צריכת מים מוגברת בשנות On נמצאו במחקרים קודמים שלנו בגידול שמן אחר, בזית (Bustan et al., 2013; Naor et al., 2016; al.). ערכי פוטנציאל המים היו בהלימה למנות ההשקיה והלכו וירדו עם התקדמות הקיץ. תופעה דומה של ירידה בערכי פוטנציאל המים נמצאה גם בזית (Ben Gal et al., 2011). ערכי פוטנציאל המים שנמדדו בעבודה הנוכחית היו מאד נמוכים יחסית למקובל בגידולים אחרים ואף על פי כן, הצמחים יכלו לפתוח פיוניות ולקבע פחמימות. על יכולת מיוחדת זו של החחובה, לבצע פוטוסינתזה גם בערכי פוטנציאל מים מאד נמוכים, דווח כבר בעבר (Adams et al., 1978; Glat et al., 1983). התוצאות שלנו מראות שבחחובה, כמו בגידולים אחרים, זמינות המים משפיעה על פתיחת הפ[יוניות וזו משפיעה על קיבוע הפד"ח (Downton et al., 1998; Cochard et al., 2002).

לגבי הזנה בחנקן, העליה ברמת החנקן בעלה דיאגנוסטי עם העליה במנת ההזנה בחנקן – היא צפוייה, אולם בדיקות אלו הן אינדיקציה טובה למחסור בחנקן ופחות לעודפי חנקן וזאת משום שעקום התגובה להזנה בחנקן הוא עקומת רוויה, כלומר עליה רבה ברמות הנמוכות וכמעט ללא שינוי ברמות הגבוהות, בדומה לגידולי מטע אחרים (Erel et al., 2008 Lazare et al., 2020)

במחקרים קודמים בחוברה (Osman and Abohassan, 1998 and Nelson and Watson, 2001) רמות החנקן בבדיקות העלים היו גבוהות מהערכים אשר קיבלנו בניסוי הנוכחי בטיפול הגבוה, N500. התוצאות מצביעות באופן ברור כי טיפול N5 הוא טיפול מחסור ותפקוד הצמחים נפגע. פגיעה בתפקוד חוברה על רקע של מחסור בחנקן, דווחה כבר בעבר (Benzioni, 2006). אולם מסתמן כי כבר בטיפול N15 מגיע הצמח למיצוי פוטנציאל היבול ואין תועלת בהעלאה נוספת של מנת החנקן. המועד בו בדיקות העלים ייצגו באופן טוב יותר את טיפולי ההזנה בחנקן היו בקיץ ביולי. כאשר מסתמן כי 0.8% חנקן ומטה (כפי שהיה בטיפול N5) מעיד על מחסור. ערך זה נמוך משמעותית מהערך שדווח בעבר בזמנו לחוברה, של 2% חנקן בעלים כערך סף למחסור (Nelson and Watson, 2001). הדינמיקה של תכולת חנקן בצמח הושפעה מרמת ההזנה; ברמת הזנה נמוכה (N50), רמות החנקן בעלים בוגרים וצעירים היו דומות. לעומת זאת, ברמות ההזנה הגבוהות יותר, רמות החנקן בעלים צעירים היו נמוכות מאלו שבעלים בוגרים, זאת בשנת On לעומת זאת בשנת Off, המגמה היתה הפוכה והרמות בעלים הצעירים היו גבוהות יותר עם העליה ברמת ההזנה בחנקן.

בהקשר למדדי האיכות- תוצאות שנת המחקר השניה מראות כי לטיפול ההשקיה והדישון השפעה על איכות השעווה המתקבלת, ומחזקות את הצורך בחקר השפעה זו על מנת להבין את השלכותיה עבור המגדלים. עם זאת, בהשוואת התוצאות בין שנות המחקר הנוכחי יש לקחת בחשבון אף את השפעת הסרוגיות, אשר השפעתה על האיכות ניכרת. נראה שמשטר ההשקיה הנהוג כיום (ביקורת) מהווה ערך ביניים אשר אינו נבדל משני הטיפולים האחרים במחקר זה, גם כאשר הם נבדלים זה מזה. עם זאת, התוצאות טרם מבוססות דיין על מנת להסיק מה עשויה להיות ההשפעה של ירידה בכמות ההשקיה על איכות השעווה. מבחינת משטר הדישון, משטרי הדישון נבדלים בהשפעתם על מדדי האיכות בשעווה. עם זאת, נראה כי למעט ההשפעה השלילית על תכולת פיטוסטרולים, מנת דישון חנקני של 15 ק"ג לדונם מקנה איכות אופטימלית, יבול מיטבי, חסכון בדשן ומניעת זליגת חנקן מתחת לבית השורשים.

Badichi S. (2022) Optimizing irrigation and fertilization of jojoba. M. Sc. Thesis submitted to the Hebrew University of Jerusalem.

Perri A. (2019) Vegetative and reproductive development of jojoba in response to fruit load, irrigation and fertilization. M. Sc. Thesis submitted to Ben-Gurion University of the Negev.

פירוט

- Ben-Gal, A., Yermiyahu, U., Zipori, I., Presnov, E., Hanoch, E., & Dag, A. (2011). The influence of bearing cycles on olive oil production response to irrigation. *Irrigation Science*, 29(3), 253-263.
- Ben-Gal, A., Ron, Y., Yermiyahu, U., Zipori, I., Naoum, S., & Dag, A. (2021). Evaluation of regulated deficit irrigation strategies for oil olives: A case study for two modern Israeli cultivars. *Agricultural Water Management*, 245, 106577.
- Benzioni A (2006) Jojoba research as basis for domestication of jojoba in Israel. *Isr J Plant Sci* 54: 157–167.
- Benzioni A, Dunstone RL (1988) Effect of air and soil temperature on water balance of jojoba growing under controlled conditions. *Physiol Plant* 74: 107–112
- Benzioni A, Nerd A. (1985) Effect of irrigation and fertilization on vegetative growth and yield of jojoba in relation to water stress of the plants. *Proceedings of the 6th International Conference on Jojoba and Its Uses*. Beer-Sheva, Israel, Ben-Gurion University of the Negev, pp. 201-212
- Bustan, A., Dag, A., Yermiyahu, U., Erel, R., Presnov, E., Agam, N., ... & Ben-Gal, A. (2016). Fruit load governs transpiration of olive trees. *Tree Physiology*, 36(3), 380-391.
- Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H. L., Waskom, R. M., Niu, Y., & Siddique, K. H. (2016). Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for sustainable development*, 36(1), 1-21.
- Cochard, H., Coll, L., Le Roux, X., & Améglio, T. (2002). Unraveling the effects of plant hydraulics on stomatal closure during water stress in walnut. *Plant Physiology*, 128(1), 282–290.
- Downton, W. J. S., Loveys, B. R., & Grant, W. J. R. (1988). Non-uniform stomatal closure induced by water stress causes putative non-stomatal inhibition of photosynthesis. *New Phytologist*, 110(4), 503–509.
- Erel, R., Dag, A., Ben-Gal, A., Schwartz, A., & Yermiyahu, U. (2008). Flowering and fruit set of olive trees in response to nitrogen, phosphorus, and potassium. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133(5), 639-647.
- Gentry HS (1958) The natural history of Jojoba (*Simmondsia chinensis*) and its cultural aspects. *Econ Bot* 12: 261–295
- Glat, D., Dobrenz, A. K., & Palzkill, D. (1983). Carbon dioxide exchange processes in jojoba. CALS Publications Archive. The University of Arizona.
- Lazare, S., Lyu, Y., Yermiyahu, U., Heler, Y., Ben-Gal, A., Holland, D., & Dag, A. (2020). Optimizing nitrogen application for growth and productivity of pomegranates. *Agronomy*, 10(3), 366.
- Lazare, S., Zipori, I., Cohen, Y., Haberman, A., Goldshtein, E., Ron, Y., ... & Dag, A. (2021). Jojoba pruning: New practices to rejuvenate the plant, improve yield and reduce alternate bearing. *Scientia Horticulturae*, 277, 109793.

- Naor, A., Schneider, D., Ben-Gal, A., Zipori, I., Dag, A., Kerem, Z., ... & Gal, Y. (2013). The effects of crop load and irrigation rate in the oil accumulation stage on oil yield and water relations of 'Koroneiki' olives. *Irrigation Science*, 31(4), 781-791.
- Nelson J., Watson J. (2001) Nitrogen fertilization effects on jojoba seed production. *Ind Crops Prod* 13: 145–154
- Osman, H. E., & Abo Hassan, A. A. (1998). Jojoba (*Simmondsia chinensis*): a potential shrub in the Arabian Desert. II. Effect of saline irrigation on vegetative growth, nutritive values and soil properties. *JKAU Metr. Environ. Arid Land Agric. Sci*, 9, 71-83.
- Perry, A., Tel-Zur, N., & Dag, A. (2021). Vegetative and Reproductive Response to Fruit Load in Two Jojoba (*Simmondsia chinensis*) Cultivars. *Agronomy*, 11(5), 889.
- Wisniak J (1977) Jojoba oil and derivatives. *Prog Chem Fats Lipids* 15: 167–218