

דו"ח סופי לתוכנית מחקר מספר 301-0789-14

שנת המחקר הרביעית מתוך ארבע שנים

ממשק הזנה בחנקן בזיתים לשמן: שיקולים אגרונומיים וסביבתיים

Management of nitrogen in oil olives: agronomic and environmental considerations

מוגש לקרן המדען הראשי של משרד החקלאות

ע"י

אורי ירמיהו, ארנון דג, אלון בן-גל, יצחק ציפורי ואינה פיינגולד - מרכז מחקר גילת, מינהל המחקר החקלאי, אבי שביב - הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית, טכניון, חיפה
זהר כרם - פקולטה לחקלאות ומדעי המזון, האונ' העברית, רחובות
אהוד חנוך - שה"מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
שושנה סוריאנו - מכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי, בית דגן

U. Yermiyahu, A. Dag, A. Ben-Gal, I. Zipori, I. Fingold - Gilat Research Center, ARO, Gilat;

uri4@volcani.agri.gov.il

A. Shaviv, Faculty of Civil and Environmental Engineering - Technion City, Haifa

Z. Kerem, Faculty of Agriculture, Food and Environment - Rehovot

H. Hanoch, Extension Service, Bet Dagan

S. Soriano - ARO, Bet Dagan

תקציר

הצגת הבעיה - הידע על תגובת הזית להזנה בכלל וכולל הזנה בחנקן מוגבל ומרביתו מבוסס על מימשק בעל. ממצאים שהתקבלו בניסוי מיכלים הצביעו על תרומה שלילית להזנה חנקנית עודפת שהתבטאה בפחיתה משמעותית ביבול ובאיכות שמן הזית. עודפי חנקן בדישון ביתר מזהמים את מי התהום. **מטרת המחקר** - מטרת המחקר היא להתאים ממשק הזנה חנקני מיטבי למטע זיתים אינטנסיבי לשמן תוך מזעור מרבי של דליפת חנקות למי התהום. המחקר הנוכחי נמשך 4 שנים נוספות על ניסוי שדה קיים בו יושמו טיפולי החנקן 3 שנים. **שיטות עבודה** - העבודה מתבססת על ניסוי שדה בו נבחנו 2 משתנים: מנת חנקן (4 רמות) ויחסי אמון/חנקן (3 יחסים). במהלך המחקר נאספו נתונים על התפלגות החנקן בחתך הקרקע ותגובת העצים (וגסטיבית, רפרודוקטיבית ואיכות שמן) לטיפולים השונים. בנוסף בניסוי אינקובציה במעבדה נלמדו תהליכי מעבר החנקן. **תוצאות עיקריות** - ריכוז החנקן בחתך הקרקע בסתיו, בתום יישום הדשן, עלה עם העליה במנת הקרקע. באביב, ריכוז החנקן פחת משמעותית בגלל שטיפת החורף. רק בטיפול הגבוה ביותר נמצא חנקן בחתך הקרקע. דישון מיטבי של חנקן הינו בתחום של 10-15 ק"ג לדונם לשנה שניתן עם המים במהלך עונת ההשקיה. דישון בחסר גרם לפחיתה בצימוח וירידה ביבול. דישון עודף בחנקן (30 ק"ג לדונם) גרם לצימוח נמרץ ופחיתה ביבול. איכות השמן נפגעה עם העליה במנת החנקן דבר שהתבטא בעליה בחומצות השומן החופשיות וירידה בתכולת הפוליפנולים. מנת החנקן משפיעה על הסירוגיות ובאופן כללי יישום חנקן הפחית את עוצמת הסירוגיות. דישון ביחסי אמון/חנקן שונים לא השפיע על הצימוח הווגטטיבי, על היבול ואיכות השמן. לא אותרו כלים לאבחון דישון חנקני עודף בזית. **מסקנות והמלצות**. מומלץ לדשן חנקן במנה נמוכה מהמקובל כיום, כ-10-15 ק"ג לדונם לשנה ולהפסיק את הדישון 4-6 שבועות לפני כניסה לעונת הגשמים. יש לוודא שאין דישון יתר בחנקן כאשר יש לקחת בחשבון את כל מקורות החנקן הזמינים לעץ.

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים. הניסויים לא מהווים המלצות לחקלאים.

נובמבר 2018

חתימת החוקר הראשי:

אורי ירמיהו

רשימת פרסומים והרצאות שנבעו מהמחקר

ממחקר זה נבעו:

פרסום מדעי :

Haberman, A., Dag, A., Shtern, N., Zipori, I., Erel, R., Ben-Gal, A. Yermiyahu, U. 2019
Significance of proper nitrogen fertilization for olive productivity in intensive cultivation
Sci. Hort. 246:710-717.

פרסום בעיתון בעברית – הברמן, א., דג, א., ציפורי, י., אראל, ר., ירמיהו, א. תגובת עצי זית לשמן בממשק
אינטנסיבי לדישון חנקני. 2017, עלון הנוטע, 71:38-41.
הרצאות - כינוס השנתי של מגדלי הזיתים 2017, 2019.

תוכן העניינים

<u>עמוד</u>	
3	מבוא
4	מטרות המחקר
4	תיאור הניסויים
7	תוצאות ודיון
30	סיכום
	פרסומים מדעיים שנבעו מהמחקר
	ביבליוגרפיה

מבוא

ענף הזית הינו גידול המטע הנרחב ביותר בישראל עם כ- 250,000 דונם בבעל של מטעים מסורתיים וכ- 50,000 דונם של מטעי שלחין מודרניים. העץ מגיב היטב להשקיה והיבולים במטע מושקה עשויים לעלות עד פי 4 בהשוואה למטע הבעל. בשל כך, לגידול האינטנסיבי (צפוף, מושקה, מדושן ומעוצב למסיק ממוכן) משקל רב ביבול הארצי למרות חלקו הקטן מכלל השטח. בשל הזמן הקצר יחסית בו מגדלים זיתים לשמן בשלחין, מרבית המידע שפורסם עד כה בנושא דישון בכלל ודישון חנקני בפרט, מתייחס לגידול בעל. מאחר והגורם המגביל בגידול הוא מים, התגובה של הזית לדישון בגידול אינטנסיבי עשויה להיות שונה. ההבדלים משמעותיים משום שבגידול הבעל, שיטות היישום, יעילות הקליטה והכמויות הדרושות שונות ממטעי שלחין. בעולם (ככל הידוע לנו) ובארץ לא נלמדה התגובה של זית להזנה בגידול אינטנסיבי ובארץ מדשנים על פי המלצות שהתגבשו למטעים של זית למאכל, גידול השונה באופיו מהגידול לשמן. חנקן מיושם ברמה גבוהה יחסית במטעי זית בשלחין בגלל צריכת החנקן הגבוהה בתקופת הגידול. בארץ היה מקובל עד לשנים האחרונות ליישם עד 25 ק"ג חנקן צרוף לדונם לשנה. במנת מים מקובלת של 500 מ"מ בשנה ריכוז החנקן המוסף במי ההשקיה הינו כ-50 ח"מ. לריכוז זה יש להוסיף גם את החנקן שנמצא במים שנע בטווח של בין 5 ח"מ (שפירים) עד ל-30 ח"מ ואף יותר (קולחים). חשוב לקחת בחשבון גם את התרומה (בעיקר המצטברת) של מינרליזציה של החנקן האורגני. בפועל, אין לזה התייחסות בקביעת מנת החנקן השנתית. בניסוי שהתקיים במרכז מחקר גילת נלמדה במשך ארבע שנים תגובת זיתים מזן ברנע שגדלו בפרליות להזנה. עם העליה בחנקן יש עליה ביבול עד לערך מרבי ולאחר מכן חלה פחיתה משמעותית (אראל וחובריו, 2008) עליה בריכוז החנקן גרמה לנשירת הפירות ולירידה באיכות השמן (Dag et., 2008). כמו כן, נמצא שלא ניתן לאתר דישון עודף בחנקן ע"י הבדיקות המקובלות של עלים דיאגנוסטיים (אראל וחובריו, 2008). תוצאות ניסוי זה מצביעות על כך שלדישון מושכל בחנקן השפעה ניכרת על פוריות הזית ועל כמות השמן ואיכותו. החנקן נקלט על ידי הזית כאמון וכחנקה. בזית, כמו בגידולים רבים אחרים יש העדפה לקליטת אמון על פני חנקה. לתהליכי מעברי החנקן בקרקע בין הצורות השונות חשיבות בזמינות לצמח ובכמות החנקן שיכול להשטף אל מי התהום. מהנאמר לעיל ברור שממשק הזנה חנקני מיטבי בזית חייב להתחשב בצורכי העץ לקבלת יבול ואיכות שמן מיטביים תוך התחשבות בתהליכים שעובר החנקן בקרקע. דישון חנקני בחסר יגרום לפגיעה בגידול וביבול, ומאידך דישון בעודף יגרום לפחיתה בכמות השמן ואיכותו ולנזק סביבתי עקב שטיפה של עודפי החנקן כחנקה.

בתוכנית הנוכחית מוצע לפתח ממשק הזנה אופטימלי של חנקן במטע זיתים לקבלת יבול שמן מיטבי עם שטיפה מינימאלית של חנקות למי תהום. התוכנית מבוססת על ניסוי קיים באזור נגבה בו קיבלו עצי זית ארבע רמות חנקן במשך שלוש עונות השקיה (2011-2013). הידע שיתקבל מכל שנות הניסוי יאפשר הבנת התהליכים שעובר החנקן בקרקע והערכת כמות החנקן הנצרכת ע"י העץ והכמות היוצאת מבית השורשים. תלמד ההשפעה של חנקן ואופן יישומו על קצב גידולו של העץ, על הצטברות המינרלים והקשר שלהם לגובה היבול ואיכותו בתנאי

שדה. יפותח כלי שבעזרתו ניתן יהיה להעריך דישון יתר בחנקן במטעי זית. ממצאי המחקר יאפשרו שימוש יעיל ולא בזבזני בדשן ומניעת זיהום מי תהום ויכלול לשמש דוגמא לגידולי מטע נוספים.

מטרות המחקר

מטרת המחקר היא להתאים ממשק הזנה חנקני מיטבי למטע זיתים אינטנסיבי לשמן תוך מזעור מירבי של דליפת חנקות למי התהום. מטרות משנה: 1. לכמת את השינויים שעובר החנקן בקרקע במטע זיתים המושקה בריכוזים וביחסי אמון חנקה שונים. 2. לבחון את התגובה (וגטטיבית, רפרודוקטיבית ואיכות שמן) של עץ הזית לחנקן (ריכוז וצורוני אמון/חנקה), בתנאי שדה. 3. לערוך מאזן של חנקן במטע המושקה בריכוזי חנקן וביחסי אמון חנקה שונים. 4. למצוא כלים לאבחון דישון חנקני עודף בזית.

תיאור הניסויים

ניסויים בשדה

המחקר מבוסס על ניסוי שדה במטע זיתים בשטחי קיבוץ נגבה ומתופעל ע"י גד"ש דגנים. בתוך משבצת של כ-100 דונם נבחרו כ-30 דונם הנטועים עם הזן ברנע ומשמשים לניסוי. המטע ניטע בשנת 2007. העצים הושקו בשנים הראשונות במי קולחים לאחר טיפול שניוני ובמים מליחים, לסירוגין, לפי זמינות סוגי המים ומחיריהם. החל משנת 2010 החלקה מושקית במים שפירים במסגרת ניסוי הזנה (תכנית מדען מס. 09-0690-301). בניסוי הנוכחי נבחנו 2 משתנים: רמת חנקן (4 טיפולים) ויחסי אמון חנקה (3 טיפולים). בסה"כ 6 טיפולים כמתואר בטבלה 1. טיפולים 1-4 הינם המשך לטיפולים ממערך הניסוי הקודם, טיפולים 5 ו-6 היו זהים לטיפול 3 בעבר והחל משנת 2014 מיושמים הטיפולים של תוכנית המחקר הנוכחית. השינוי בפועל הינו ביחסי אמון/חנקה כאשר מנת החנקן השנתית החל מ-2010 נשמרה קבועה. טיפול 1, אשר בעבר לא קיבל חנקן כלל, קיבל, החל מעונת 2015 3.5 ק"ג חנקן לדונם לשנה. הסיבה לכך היתה שבמהלך השנים בהן העצים בטיפול זה לא קיבלו חנקן, חלה התדרדרות במצבם הווגטטיבי של העצים והתעורר חשש לשרידותם. אי לכך, הוחלט לספק להם דשן ברמה מינימלית שתבטיח את קיומם ועדיין לשמור על העיקרון של רמת חנקן נמוכה מאד. כמויות הזרחן והאשלגן המיושמים היו 3.5 ו-24 ק"ג לדונם, בהתאמה. דשנים הוכנו במיוחד ע"י חברת דשנים וחומרים כימיים בע"מ. הדשן הוסף באופן פרופורציונאלי למים. עונת הדישון נמשכה מתחילת עונת ההשקיה (כשלושה שבועות לאחר גשם משמעותי אחרון) עד ספטמבר של אותה שנה. עונת ההשקיה נמשכה עד הגשם המשמעותי הראשון. החודשים האחרונים של עונת ההשקיה ניתנו ללא דשן משיקולי איכות שמן. טווח מנות החנקן/ריכוז החנקן במי ההשקיה נבחר על בסיס התוצאות שהתקבלו מניסוי המיכלים. מיקרואלמנטים סופקו באופן רציף. טיפול החנקן של 15 ק"ג נבחר לבחינת יחסי אמון/חנקה מאחר וזה ריכוז החנקן המומלץ כיום. יישום כמויות הדשן השנתיות היו בהתאם למתוכנן כפי שניתן לראות באיור 1 בו מוצגים נתוני שנת 2016 של יישום חנקן, זרחן ואשלגן בטיפול הניסוי. ביצוע מול תכנון. הכמויות שניתנו תאמו את התכנון באופן מדויק למדי. כמויות החנקן יצרו את המידרג המתוכנן וכמויות הזרחן והאשלגן היו דומות בכל טיפולי הניסוי, כפי שתוכנן מראש.

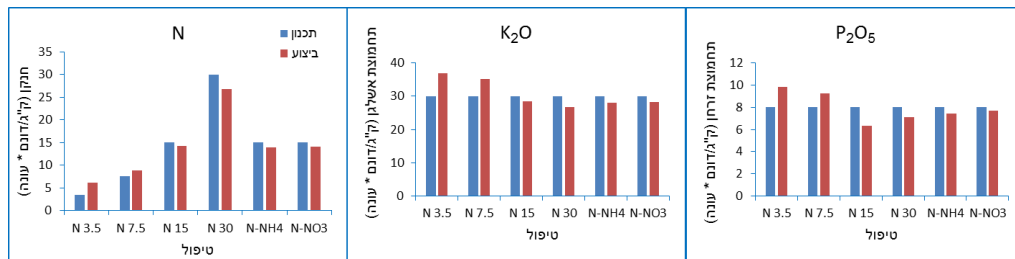
בכל חלקה 12 עצים במבנה של 4X3 כאשר למדידה נלקחים 2 העצים במרכז החלקה, כך שעצי הדיגום מוקפים בעצי שוליים המקבלים טיפול זהה. הניסוי מוצב במבנה של בלוקים באקראי ב-7 חזרות.

טבלה 1: כמויות חנקן (ק"ג לדונם לשנה) שניתנו במהלך הניסוי. בטיפולים השונים וריכוזי חנקן צפויים במי ההשקיה בהנחה של מנת מים שנתית של 500 מ"מ.

טיפול מספר	שם הטיפול	כמות שנתית מוספת של חנקן (ק"ג)	ריכוז חנקן צפוי במי ההשקיה (ח"מ)	אמון/חנקן יחסי	שיעור חנקן מכלל החנקן (%)
1	חנקן נמוך מאד	3.5, 0*	8, 0	1/1	50
2	חנקן נמוך	7.5	15	1/1	50
3	חנקן בינוני	15	30	1/1	50
4	חנקן גבוה	30	60	1/1	50
5	אמוניאקלי	15	30	1/4	20
6	חנקתי	15	30	1/0	100

*

עד שנת 2015 טיפול ללא תוספת חנקן במים החל מ-2016 ניתנה מנה של 3.5 ק"ג לשנה.



איור 1: כמויות חנקן, זרחן ואשלגן שניתנו בטיפולי הניסוי – ביצוע בהשוואה לתכנון.

לפני תחילת הטיפולים עצי הדיגום נבחרו בקפידה על פי גודל אחיד ככל שניתן, ברוב החלקות עצי הדיגום צמודים. במהלך העונה נלקחו מי טפטפת אחת לשבועיים למעקב אחרי ריכוז יסודות ההזנה במי ההשקיה. דגימות קרקע נלקחו פעמיים בשנה, באביב ובסתיו לאפיין תכולת המינרלים בקרקע עם תום עונת הגשמים (באביב) וטרם תחילת העונה הבאה (בסתיו). אפיין כימי ופיסיקלי של הקרקע מוצג בטבלה 2.

טבלה 2: מרקם קרקע ותכונות כימיות של קרקע מחלקת הניסוי בשלושה עומקים. קרקע נדגמה לפני תחילת הניסוי (פברואר 2010). ערך מיצג ממוצע מ-5 חזרות ± שגיאת תקן.

Soil depth (cm)	Soil properties								
	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	SP ^a (%)	CEC ^b (meq100 g ⁻¹)	K ^c (mg kg ⁻¹)	P ^d (mg kg ⁻¹)	CaCO ₃ (%)	O.M. ^e (%)
0-30	46.0±3.3	26.0±0.8	28.0±3.4	48.2±6.0	27.7±3.7	53.2±4.2	12.6±2.8	21.8±2.5	0.56±0.03
30-60	43.8±5.0	26.8±2.3	29.4±5.5	47.2±6.0	26.9±4.8	43.2±2.6	6.5±1.5	25.2±4.1	0.45±0.04
60-90	43.4±7.6	23.6±1.2	33.0±6.8	47.6±6.0	28.0±5.4	45.9±2.6	3.7±0.5	25.4±4.6	0.39±0.03

a - תכולת רטיבות ברוויה, b - קיבול קטיונים חליפיים (נקבעו במיצוי של נתרן אצטט), c - מיצוי בסידן כלורי, d - מיצוי בשיטת אולסן, e - תכולת חומר אורגני.

בחודש יולי בכל שנה משנות הניסוי נדגמו עלים דיאגנוסטיים (העלים הצעירים ביותר שהגיעו לגודלם המלא) לקביעת ריכוז המינרלים בהם. ביולי 2016 נדגמו בנוסף עלים בוגרים בני שנה מאותם הענפים בהם נדגמו העלים הדיאגנוסטיים. ריכוז מינרלים באבקת העלים נקבע בשיטות המקובלות אחרי שטיפה, ייבוש וטחינה. כימות תפוחות, שיעורי חנטה וקביעת אחוז הפרחים הדו-מיניים מתוך כלל הפרחים נעשה בכל שנה. היקף גזע העץ שמבטא את עוצמת הצימוח נמדד בכל שנה בעשרת הימים הראשונים הראשון של חודש מרץ. המסיק התבצע בעזרת מנערת גזע וחובטים לרשתות. עצי הניסוי נמסקו בכל עונה בשני מועדים. בשנת 2014, העצים בעלי עומס יבול נמוך (<30 ק"ג/עץ) נמסקו ב-1.10.14 והעצים בעלי עומס יבול גבוה נמסקו ב-9.11.14. בשנת 2015, העצים בעלי עומס יבול נמוך נמסקו ב-25.10.15 והעצים בעלי עומס יבול גבוה נמסקו ב-6.12.15. בשנת 2016 העצים בעלי עומס יבול נמוך (>15 ק"ג/עץ) נמסקו ב-6.10.16 והעצים בעלי עומס יבול גבוה נמסקו ב-2.11.16. באביב 2017 נאספו נתוני פריחה וחנטה כמו גם דיגום קרקע בחתך הקרקע ודיגום קרקע ששימש לניסוי האינקובציה. יישום הטיפולים לא בוצע לאחר גנבה של מיכלי הדישון וחלק מהציוד ופגיעה בחלק אחר. כל הפרי נשקל ברמת העץ ותת מדגם נלקח לבדיקות מעבדה. בשנת 2016 בלבד, עצי העומס הנמוך נלקח מידגם בלבד, ללא מסיק, והיבול לעץ הוערך בכ-5 ק"ג. שמן הופק מהמידגם בכבישה קרה באמצעות מערכת בית בד מעבדתית לבדיקת איכותו (חמיצות, תכולת פוליפנולים, וערך הפראוקסיד). דגימת עיסת זיתים מבית הבד נלקחה לבדיקת תכולת מינרלים בפרי. ב-21.2.16 התבצע גיזום העצים. גזם מכל עץ נמדד נאסף ונשקל. לאחר מכן קוצץ ותת מדגם נלקח לקביעת תכולת רטיבות ובדיקות מינרלים.

ניסויים במעבדה - הדגרות קרקעות בטיפול הדישון החנקני ואיפיון

בכל שנה שנות המחקר 2014-2017, נדגמה קרקע משכבת 0-30 של הדיגום הסתווי שהועברה לקבוצת המחקר בטכניון לאפיון מפורט של צורני החנקן בקרקע: אמון (מסיס וספוח), ניטרט וניטריט ולביצוע ניסוי הדגרה. ההדגרות בוצעו על קרקעות משכבת 0-30 של הדיגום הסתווי בהנחה שזהו האזור שבו עשויים לחול השינויים היותר משמעותיים בתהליכי החנקן בגין גישות הדישון וטיפול הקרקע. הקרקעות עברו יבוש אויר וניפוי לקראת ניסוי ההדגרה. בשנת 2016 התקיימו ניסויי הדגרה לאחר שהקרקעות הורטבו לקיבול שדה – תוך הוספה לכל דוגמת קרקע רמה של 30 ח"מ חנקן כאמון חנקתי (כלומר תוספת של 15 ח"מ חנקן צרוף של אמון וחנקנה). במהלך ההדגרה נקבעו רמות החנקנה, חנקית ואמון בעזרת מיצוי $1N\ KCL$ ובדיקות במכשיר אאוטו-אנלייזר. בנוסף בוצעו מיצויי מים קרים ($25^{\circ}C$) בתמיסת סידן כלורי $0.01N$ ובהם בוצעו בדיקות חנקן כללי, TN (Total Nitrogen) ופחמן אורגני $NPOC$ (Non-Purgeable Organic Carbon) בדגש איפיון פחמן מסיס במים קרים שבעצם הינו מדד טוב לפחמן אורגני זמין פוטנציאלית בקרקע. כמו כן בוצעו בדיקות ערכי הגבה במיצוי 2:1 (קרקע:מים) בדגימות הקרקע לאפיין pH הקרקעות. ניסוי ההדגרה התבצע על כל הקרקעות כפי שנאספו מכל הטיפולים שמוצגים בטבלה 1. בכל הטיפולים היו 3 חזרות לטיפול מלבד טיפול 6 בו קרתה תקלה בעת ביצוע ההדגרה ונותרה חזרה אחת בלבד.

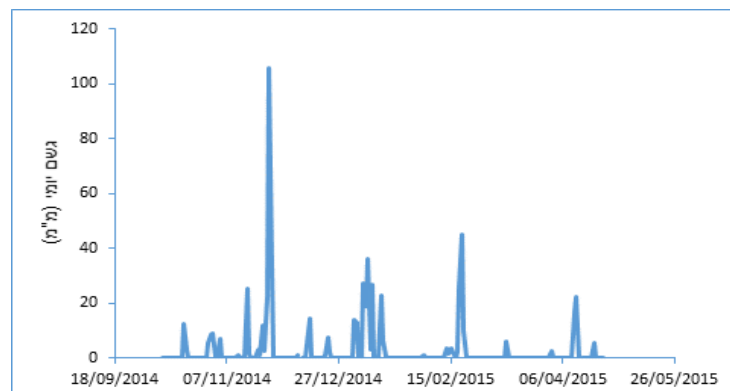
ניסויי התגרה בשנת 2017 התבצעו במסגרת המאמץ לכמת ולהבין יותר לעומק את משמעות רמות הדישון החנקני והשינויים ביחסי אמון – חנקה בטיפול הדישון השונים בניסוי. הניסויים התקיימו בדומה לניסויים הקודמים תוך הדגשת הבחינה של שינויים אפשריים בקצבי הניטרפיקציה, בחינת המגמה של יצירת חנקית, וכן השפעות אפשריות על הדינמיקה של חנקן אורגני זמין ופחמן אורגני זמין בקרקע כתלות בדישון החנקני. בכל הניסויים הוספה לכל דוגמת קרקע תמיסה בריכוז של 25 ח"מ חנקן צרוף (כאמון גופרתי). נערך מעקב אחר שינויים בצורוני החנקן עם הזמן, וכן מעקב אחר השינויים בפחמן האורגני הזמין NOPC וגם שינויים בחנקן הזמין TN (מינרלי ואורגני זמינים במיצוי סידן כלורי).

ניתוח סטטיסטי – נעשה בעזרת תוכנית JMP12. הבדל בין הטיפולים נבחנו בעזרת ניתוח שונות חד כיווני ($\alpha < 0.05$).

תוצאות ודיון

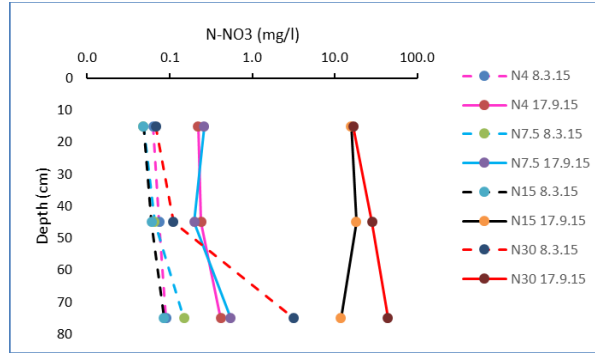
השפעת הטיפולים על ריכוזי החנקן בקרקע

התנהגות חנקן בקרקע היתה דומה בכל שנות הניסוי בדוח הנוכחי יוצגו תוצאות מייצגות. באירועים 2 ו-3 מוצגים ריכוזי החנקה בתמיסת מיצוי העיסה הרוויה בקרקעות שנדגמו באביב 2015, טרם תחילת עונת ההשקיה והדישון ובסתיו 2015, לאחר סיום עונת הדישון וטרם תחילת גשמי החורף. בסה"כ בכל בדיקות הקרקע ריכוז החנקה אחרי עונת הגשמים היה נמוך מאוד, בשיעור של פחות מ-1 ח"מ. יוצא דופן הינו טיפול החנקן הגבוה שבו ריכוז החנקן בשכבת הקרקע 60-90 היה כ-5 ח"מ (איור 2). ריכוזי החנקה בקרקע במועד זה הינם תוצאה של טיפולי עונת ההשקיה 2014 וכמויות הגשם שירדו בעונת הגשמים 2014-2015. באיור 1 מוצגת פרישת הגשמים בחורף 2014/15, שזו תקופת הגשמים הרלוונטית לעונת 2015. כמות הגשם הכללית היתה 610 מ"מ, ובפיזור טוב. המשמעות של גשמים אלו היא שטיפה יסודית של חתך הקרקע במהלך החורף וריכוזי חנקן מאד נמוכים לפני תחילת עונת ההשקיה והדישון של 2015 (איור 3).

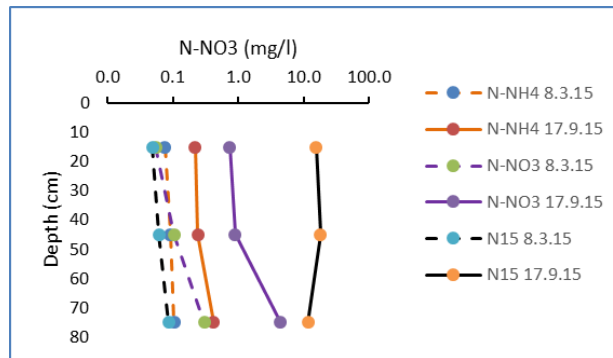


איור 2: פרישת הגשמים (כמויות ומועדים) בחורף 2014/15.

בסתיו 2015, עם תום עונת הדישון ולפני תחילת עונת הגשמים, ריכוזי החנקן בקרקע משקפים את מנות הדישון בטיפולים השונים. בדומה לשנים הקודמות. ממצאים אלו מצביעים על כך שאם נותרת חנקה בסוף עונת ההשקיה היא נשטפת במהלך עונת הגשמים אל מתחת לשכבת בית השורשים כפי שהתבטא בטיפולי החנקן הגבוהים (איור 3). ראוי לציין כי בטיפולי החנקן הנמוכים ($N4$ ו- $N7.5$), ריכוז החנקן בתמיסת הקרקע נמוך מאוד גם בסוף עונת הדישון. ניתן להניח כי מאחר ובזית ההשקיה גרעונית ויש תנועה מעטה מאד של מים אל מתחת לבית השורשים, רוב החנקן שניתן בטיפולים אלו נקלט ע"י הצמחים והכמות שהיתה עלולה להישטף אל מתחת לבית השורשים היתה קטנה או זניחה. לעומת זאת, בשני יישומי החנקן הגבוהים נותר חנקן חנקתי בקרקע בסוף עונת ההשקיה. בולט טיפול N30 שבו ניתן לראות הצטברות חנקן חנקתי עם העומק שמגיע לשיעור של כ-50 ח"מ בעיסה רוויה. באיור 4 מוצגים ריכוזי החנקה בקרקע בתחילת עונת ההשקיה ובסופה בטיפולים בהם ניתן החנקן בצורות שונות: חנקתי, אמוניקלי או 50:50 כאשר מנת החנקן הכללית היתה ברמה של 15 ק"ג לדונם לעונה והיתה זהה בכל הטיפולים. גם במקרה זה ריכוזי החנקן בקרקע נמוכים מאד לאחר עונת הגשמים אולם ניכרים הבדלים ברמות החנקן השאריתי בקרקע עם תום עונת הדישון כאשר כמצופה ריכוז החנקה הנמוך ביותר נמדד בטיפול החנקן האמוניקלי. הערכה היא שחלק מהחנקן האמוניקלי נספח לקרקע עוד לפני שהופך לניטרט ולכן ריכוז הניטרט השאריתי נמוך יותר. רמת ביניים נמדדה בטיפול החנקן הניטרטי והרמה הגבוהה ביותר נמדדה בטיפול בו הדשן היה מורכב מ-50% חנקן ניטרטי ו-50% חנקן אמוניקלי. ככלל תוצאות ריכוז החנקה בקרקע בעונת 16-2015 דומות לאלו מהשנים הקודמות כאשר עם תום עונת ההשקיה, ריכוז החנקה בקרקע בטיפולי החנקן הנמוכים (0 ו- 7.5 ק"ג חנקן לדונם לעונה) נמוך ביותר ונראה כי כל החנקן המוסף כדשן או זה הנוצר בתהליכי מינרליזציה של חומר אורגני נצרך ע"י העצים. בטיפולי החנקן הגבוהים יותר מתקבלות רמות חנקה גבוהות יותר, בעיקר בשכבות הקרקע העמוקות. לאור תוצאות השנים הקודמות, יושם גם בשנת 2015 מימשק דישון בו הופסק הדישון כחודשיים לפני תום עונת ההשקיה. במשך חודשיים החלקות הושקו במים ללא דשן והחנקה שהיתה בשכבת בית השורשים נצרכה ע"י העצים או נשטפה עם מי ההשקיה לשכבות עמוקות יותר. תהליך השטיפה בתקופה זאת מתרחש באופן מוגבל היות וההשקיה במטע גרעונית בהגדרתה כך שמידת השטיפה, מוגבלת. למרות ההשקיה הגרעונית ניתן לראות בטיפול החנקן הגבוה חנקה בעומק הקרקע דבר שמעיד על תנועת חנקה לעומק ועל כך שדישון עודף עלול לגרום לזיהום מי תהום בחנקה. בהתבסס על אנאליזות הקרקע בסתיו נראה שלצורוני החנקן המיושמים השפעה על תנועת החנקה בקרקע (איור 4). בטיפול בו יישום החנקן הינו רק בצורה של חנקן חנקתי נמצא חנקן בעומק הקרקע בעוד בשני הטיפולים האחרים בו מרכיב משמעותי של אמון, ריכוז החנקה בשכבה התחתונה נמוך ביותר. החנקן המוסף כאמון יכול להספח אל הקרקע או להפך לחנקה בתהליך הניטריפיקציה. נראה שיישום חלק מהחנקן כאמון מונע את שטיפתו.

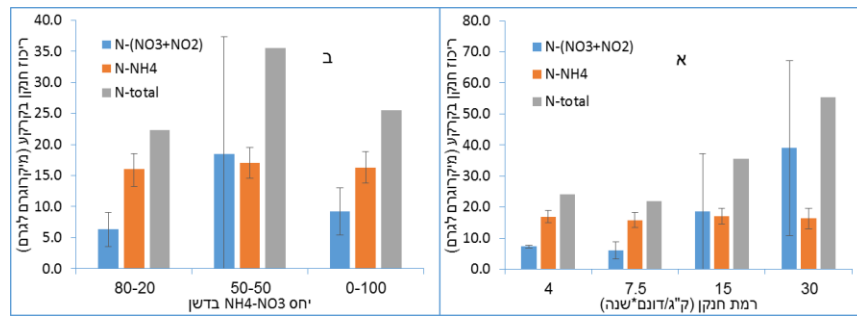


איור 3: ריכוז חנקן במיצוי עיסה רוויה בחתך הקרקע באביב 2015 (לפני תחילת עונת ההשקיה) ובסתיו 2015 (בתום עונת ההשקיה) בטיפול מנת חנקן. שיעור החנקן 50%. הערכים מייצגים את ממוצעי החלקות.



איור 4: ריכוז חנקן במיצוי עיסה רוויה של הקרקע באביב 2015 (לפני תחילת עונת ההשקיה) ובסתיו 2015 (בתום עונת ההשקיה) בטיפול מנת חנקן. שיעור חנקן במי ההשקיה. הערכים מייצגים את ממוצעי החלקות.

במטרה לאפיין את צורוני החנקן בקרקע נעשה דיגום נוסף של קרקע משכבת הקרקע העליונה 0-30 במועד הדיגום הסתווי (17.9.15). מיצוי הקרקע נעשה בתמיסת אשלגן כלורי 1N שמאפשרת כימות של אמון (חליף ובתמיסת הקרקע) ושל ריכוזי חנקן וחנקית. הדיגום הסתווי ב- 30.9.15 כך שדיגום זה משקף בצורה נאמנה למדי את רמות הדשן שהיו בקרקע עם תום עונת הדיגום. ההשקיה ללא דשן נמשכה עד 7.10.15 (גשם משמעותי ראשון) וסביר להניח שבמהלך תקופה זו המשיכו העצים לצרוך חנקן ממלאי החנקן שנותר בקרקע. כפי שניתן לראות באיור 5, החל מטיפול החנקן הנמוך (7.5 ק"ג) עם העליה ברמת החנקן המיושם עולה ריכוז החנקן הכללי בקרקע (איור 5א). הגורם לעליה בריכוז החנקן בקרקע הינו החנקן שעולה עד לערך של 39 מיקרוגרם חנקן לגרם קרקע בטיפול החנקן הגבוה (30 ק"ג חנקן לדונם לשנה). ריכוז האמון נשמר קבוע ללא תלות בטיפולים למרות שכמותו המיושמת שונה בין הטיפולים. נראה האמון שמיושם לקרקע נקלט ע"י הצמח ו/או עובר ניטריפיקציה תוך זמן קצר. רמות האמון שנמדדו בבדיקות הקרקע מייצגות ברובן את האמון החליף. ליחס אמון: חנקן לא היתה השפעה על ריכוז האמון בקרקע (איור 5ב) ובדומה לטיפול החנקן רוב רובו של האמון שנמדד הוא אמון ספוח שאינו מועשר עם העליה ביישום. מעניין לציין כי בטיפול שקיבל 100% חנקן חנקתי, ריכוז החנקן בקרקע נמוך מזה של הטיפול שקיבל 50% אמון ו-50% חנקן בדשן. ההבדלים אינם מובהקים בגלל השונות הגבוהה הנובעת מחוסר האחידות של הקרקע אולם ייתכן כי חלק מהדשן החנקני שניתן לטיפול 100% חנקן נשטף עם מי ההשקיה במהלך העונה ולכן ריכוזו נמוך בבדיקות הקרקע.

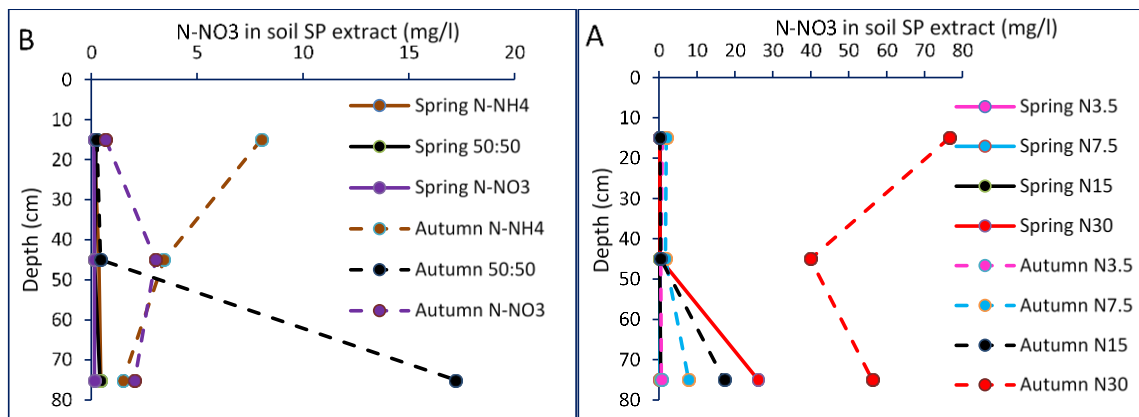


איור 5: ריכוז צורוני החנקן בקרקע כתלות בטיפול מנת חנקן (א) ויחס אמון-חנקן במי ההשקיה (ב). בטיפול מנת החנקן שיעור החנקן 50% בטיפול יחס אמון-חנקן מנת החנקן בינונית. ערכים מייצגים את ממוצעי החלקות. דיגום בסתיו 2015 אחרי עונת ההשקיה.

מגמות שהתקבלו בשנת 2016 ביחס להשפעת הטיפולים על ריכוזי החנקן בקרקע דמו לאלו של השנה הקודמת כפי שניתן לראות באיור 6 בו מוצגים ריכוזי החנקן בתמיסת מיצוי העיסה הרוויה בקרקעות שנדגמו באביב 2016, טרם תחילת עונת ההשקיה והדישון ובסתיו 2016, לאחר סיום עונת הדישון וטרם תחילת גשמי החורף. בטיפול רמות החנקן (6A) ריכוזי החנקן בשכבת 0-60 ס"מ היו נמוכים בכל הטיפולים, הן באביב והן בסתיו, פרט לטיפול N30, בו נמצאו ריכוזי חנקן גבוהים מאד בכל החתך, בדיגום הסתווי. ריכוזי חנקן גבוהים יחסית נמצאו בשכבת 60-90 ס"מ, בדיגום הסתווי בלבד, בכל הטיפולים. נראה כי בכל טיפולי החנקן, פרט לטיפול N30, רוב החנקן שניתן נקלט ע"י הצמחים וחלק קטן ממנו נדד לשכבת 60-90 ס"מ, בה פעילות השורשים נמוכה יותר ולכן גם ישנה פחות קליטה ומופיעה הצטברות לקראת הסתיו. במנת החנקן הגבוהה, N30, חלק גדול מהחנקן לא נקלט ע"י הצמחים, נצבר בקרקע, והיה בעל פוטנציאל נדידה לשכבות עמוקות יותר במהלך עונת הגשמים העוקבת, כפי שניתן להסיק מנתוני הדיגום האביבי ומהתפלגות הגשמים הטובה (תוצאות לא מוצגות). המשמעות של גשמים אלו היא שטיפה יסודית של חתך הקרקע במהלך החורף וריכוזי חנקן מאד נמוכים לפני תחילת עונת ההשקיה והדישון של 2016 (איור 6).

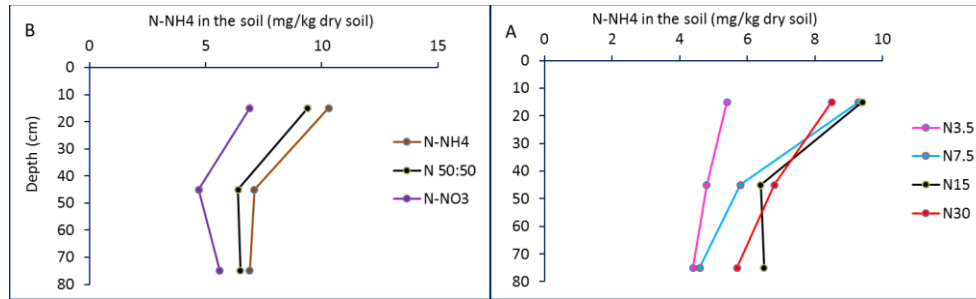
בסתיו, עם תום עונת הדישון ולפני תחילת עונת הגשמים 2015-16, ריכוזי החנקן בקרקע משקפים את מנות הדישון בטיפולים השונים, במיוחד בשכבת 60-90 ס"מ. בדומה לשנים הקודמות. ממצאים אלו מחזקים את תוצאות השנים הקודמות ומצביעים על כך שאם נותרת חנקן בסוף עונת ההשקיה היא נשטפת במהלך עונת הגשמים אל מתחת לשכבת בית השורשים כפי שהתבטא בטיפול החנקן הגבוהים (איור 6). ראוי לציין כי בשלושת טיפולי החנקן הנמוכים (N3.5, N7.5 ו-N15), ריכוז החנקן בתמיסת הקרקע נמוך גם בסוף עונת הדישון. ניתן להניח כי מאחר ובזית ההשקיה גרעונית ויש תנועה מעטה מאד של מים אל מתחת לבית השורשים, רוב החנקן שניתן בטיפולים אלו נקלט ע"י הצמחים והכמות שהיתה עלולה להישטף אל מתחת לבית השורשים היתה קטנה או זניחה. לעומת זאת, בטיפול החנקן הגבוה, נותר חנקן חנקתי בקרקע בסוף עונת ההשקיה. באיור B6 מוצגים ריכוזי החנקן בקרקע בתחילת עונת ההשקיה ובסופה בטיפולים בהם ניתן החנקן בצורות שונות:

חנקתי, אמוניאקלי או 50:50 כאשר מנת החנקן הכללית היתה ברמה של 15 ק"ג לדונם לעונה והיתה זהה בכל הטיפולים. גם במקרה זה ריכוזי החנקן בקרקע נמוכים מאד לאחר עונת הגשמים אולם ניכרים הבדלים ברמות החנקן השאריתי בקרקע עם תום עונת הדישון כאשר ריכוז החנקה הנמוך ביותר נמדד בטיפול 50:50. ההערכה היא שחלק מהחנקן האמוניאקלי נספח לקרקע עוד לפני שהופך לניטרט ולכן ריכוז הניטרט השאריתי נמוך יותר. רמת ביניים נמדדה בטיפול החנקן הניטרטי והרמה הגבוהה ביותר נמדדה בטיפול בו הדשן היה אמוניאקאלי. לאור תוצאות השנים הקודמות, יושם גם בשנת 2016 מימשק דישון בו הופסק הדישון כחודשיים לפני תום עונת ההשקיה. במשך חודשיים החלקות הושקו במים ללא דשן והחנקה שהיתה בשכבת בית השורשים נצרכה ע"י העצים ו/או נשטפה עם מי ההשקיה לשכבות עמוקות יותר. תהליך השטיפה בתקופה זאת מתרחש באופן מוגבל היות וההשקיה במטע גרעונית בהגדרתה כך שמידת השטיפה מוגבלת. למרות ההשקיה הגרעונית ניתן לראות בטיפול החנקן הגבוה חנקה בעומק הקרקע דבר שמעיד על תנועת חנקה לעומק ועל כך שדישון עודף עלול לגרום לזיהום מי תהום בחנקה. בהתבסס על אנאליזות הקרקע בסתיו נראה שלצורוני החנקן המיושמים אין השפעה חד משמעית על תנועת החנקה בקרקע (איור B6) והיא מושפעת הן מתהליכי ספיחת אמון והן מתהליכי ניטריפיקציה של אמון לניטרט.



איור 6: ריכוז חנקה במיצוי עיסה רוויה בחתך הקרקע באביב 2016 (לפני תחילת עונת ההשקיה) ובסתיו 2016 כתלות בטיפול מנת חנקן (A) וביחסי אמון:חנקה בדשן (B). הערכים מייצגים את ממוצעי החלקות.

על מנת לאמוד את הצטברות החנקן בקרקע הנצבר כאמון נקבעה כמותו בקרקע באביב 2017 במיצוי באשלגן כלורי המבטא בעיקר את האמון הספוח לקרקע. ככלל, עם עליה במנת החנקן השנתית ישנה עליה בכמות האמון בקרקע (A7). בולטת יותר השפעת יחסי אמון:חנקה כאשר עם העליה בשיעור האמון מכלל החנקן כמותו בקרקע בכל החתך גבוהה יותר (B7). ככל כמות האמון בשכבת הקרקע העליונה (0-30 ס"מ) הינה הגבוהה ביותר.



איור 7: ריכוז אמון במיצוי עיסה רוויה בחתך הקרקע באביב 2017 (לפני תחילת עונת ההשקיה) כתלות בטיפול מנת חנקן (A) וביחסי אמון:חנקן בדשן (B). הערכים מייצגים את ממוצעי החלקות.

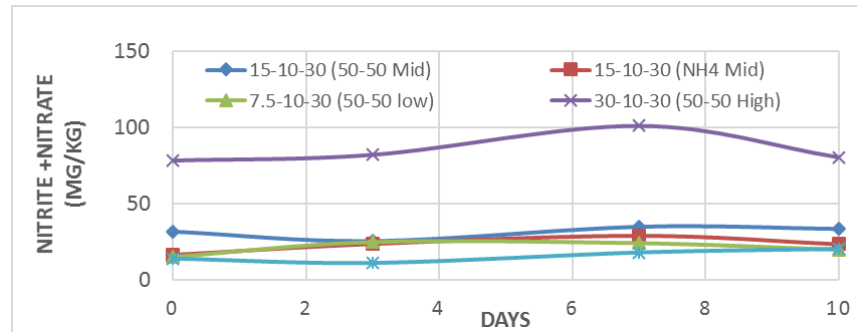
תוצאות ניסויי הדגרת קרקעות בטיפול הדישון החנקני

תוצאות 2016 - איורים 8-11 מציגים שינויים בדינמיקת החנקן במהלך ההדגרה של הקרקעות שנבדקו. ככלל ריכוזי החנקן גבוהים משמעותית מריכוזי החנקית (איורים 8-9). בולטת העובדה שריכוזם יחד שמבטא בעיקר את ריכוז החנקן גבוה משמעותית (כ-80 ח"מ, בתחילת ההדגרה) בטיפול בו יושמה רמת החנקן הגבוה ביותר (30 ק"ג לדונם) בהשוואה לשאר הטיפולים (כ-15-30 ח"מ). תופעה חשובה נוספת היא השינוי בריכוז החנקית במהלך ההדגרה – מסתמנת מגמה בה ערכי חנקית גבוהים מופיעים ב-2-3 ימים ראשונים בטיפול הדישון הגבוה (טיפול 4). מאידך, בטיפול עם רמת החנקן הנמוכה ביותר (טיפול 1) – ערכי החנקית נמוכים בימים הראשונים אבל עולים ביום השביעי (איור 9). בכל הטיפולים המגמה הכללית והמוכרת בקרקעות ישראל היא עלייה מתונה וירידת בערכים לאחר כ-3 עד 7 ימים. באיור 10 מוצגים ריכוזי האמון במהלך ההדגרה בולטת הירידה בריכוז מערך ממוצע של 25 ח"מ ל-15 ח"מ תוך יום אחד והתייצבות בערך זה במהלך שאר ימי ההדגרה. באיור 11 מוצג ריכוז החנקן המינרלי. ובדומה לאיור 8 ריכוז החנקן בתחילת הניסוי בטיפול 4 עומד על ערך של כ-100 ח"מ ובשאר הטיפולים על ערכים שבין 40 ל-60 ח"מ. חשוב לציין שערכים אלו אינם מבטאים את הערכים בשדה מאחר ובניסוי ההדגרה שהוספו 15 ח"מ חנקן אמוניאקלי ו-15 ח"מ חנקן חנקתי.

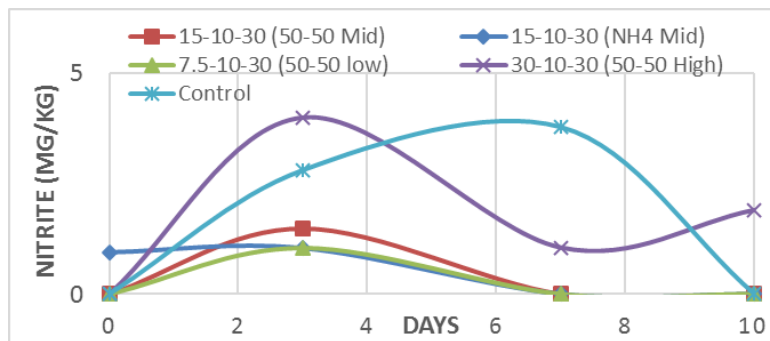
בטבלה 3 מוצגים ממוצעי החנקן הכללי, TN, הפחמן האורגני הזמין (מיצוי מים קרים) NPOC וערכי ההגבה בזמן אפס של ניסוי ההדגרה (כלומר מיד לאחר הוספת האמון והחנקת). ערכי החנקן הכללי פחות או יותר תאומים את החנקן הכללי שמתקבל בזמן אפס במדידות האוטואנלייזר לאחר המיצוי ב-1N KCl. הערך שמתקבל כ-101 ח"מ חנקן בטיפול 4 (רמת החנקן הגבוה) וערכים שנעים בין 26 ל-43 ח"מ בשאר הטיפולים. ערכים אלו קרובים לריכוזי החנקן שהוסף לכל הקרקעות: 30 ח"מ חנקן לפני תחילת הניסוי. ערכי הפחמן הזמין (NPOC) היו בטווח שבין 78 ל-85 מג"ר פחמן לק"ג קרקע יבשה לטיפול הדישון הגבוהים בהשוואה לערך של 69.7 מג"ר פחמן לק"ג קרקע שהתקבל בטיפול 1.

ערכי ההגבה עבור זמן אפס נעו בתיום של בין 7.5 ל-7.8. ככלל לטיפולים לא היתה השפעה על ערכי ההגבה וזה צפוי בהתחשב בריכוז הגבוה של הגיר בקרקע. מסתמנת מגמה מסויימת של רמת pH מעט גבוה במעט

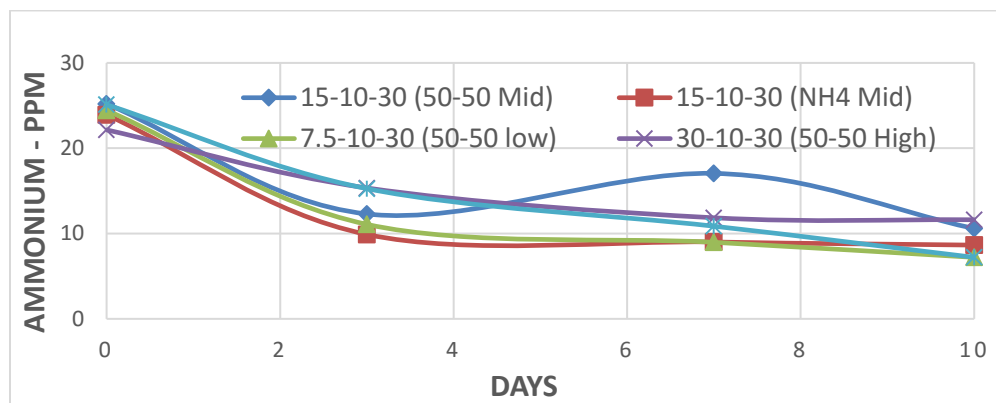
בטיפול החנקן הנמוכים (7.76 – ו-7.79) בהשוואה לערך של 7.50 ברמת הדישון הגבוה ביותר. רמות pH גבוהות עשויות להשפיע על היווצרות חנקית וגם אובדני אמוניה שראוי לקחת בחשבון.



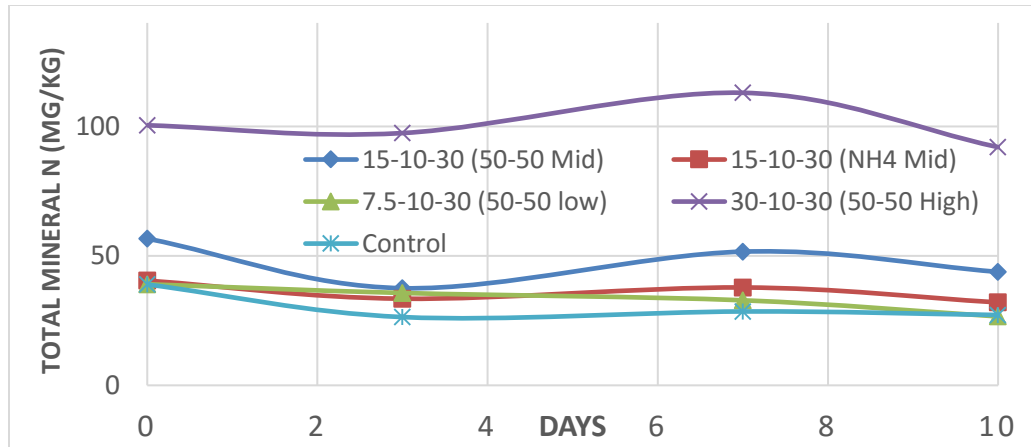
איור 8: ריכוזי חנקית וחנקת (מ"ג חנקן לק"ג קרקע יבשה) כתלות בזמן הדגרה, עבור טיפולי הדישון (טבלה 1) וטיפול הביקורת (N3.5).



איור 9: ריכוז חנקית (מ"ג חנקן לק"ג קרקע יבשה) כתלות בזמן הדגרה בטיפולי הדישון (טבלה 1) וטיפול הביקורת (N3.5).



איור 10: ריכוזי האמוני (מ"ג חנקן לק"ג קרקע יבשה) כתלות בזמן הדגרה, עבור טיפולי הדישון (טבלה 1) וטיפול הביקורת (N3.5).



איור 11: ריכוזי החנקן המינרלי הכללי (מ"ג חנקן לק"ג קרקע יבשה) כתלות בזמן הדגרה, עבור טיפולי הדישון (טבלה 1) וטיפול הביקורת (N3.5).

טבלה 3: ממוצעי חנקן כללי במיצוי מים קרים - TN מג"ר חנקן לק"ג קרקע וסטיות התקן (sd), ממוצעי פחמן אורגני זמין במיצוי מים קרים NPOC במג"ר פחמן לק"ג קרקע, וסטיות התקן (sd), וגם ערכי ההגבה וסטיות התקן עבור הטיפולים שנבדקו. * בגלל תקלה במערכת הניסוי לטיפול 6 נותרה חזרה 1 בלבד.

טיפול מספר	שם הטיפול	כמות שנתית מוספת של חנקן (ק"ג)	pH ± sd	NT ± sd	NPOC ± sd.
1	חנקן נמוך מאד	3.5	7.76 ± 0.07	26.7 ± 2.8	67.9 ± 6.4
2	חנקן נמוך	7.5	7.79 ± 0.16	27.7 ± 4.8	82.2 ± 17.6
3	חנקן בינוני	15	7.47 ± 0.15	43.7 ± 12.6	85.2 ± 14.0
4	חנקן גבוה	30	7.50 ± 0.16	101.0 ± 35.7	81.0 ± 8.9
5	אמוניאקלי	15	7.63 ± 0.16	33.1 ± 4.1	78.5 ± 11.5
6	חנקתי	15	7.65	40.1	78.6

תוצאות 2017 – באיור 12 מוצגים ריכוזי צורוני החנקן המינרלי השונים בשש מערכות ניסוי הדגרה שבוצעו עבור

טיפול החנקן השונים. הקרקע נדגמה באביב 2017 משכבה של 0-30 ס"מ. מאיור 12 ניתן לראות ש:

א. קצב הניטריפיקציה בטיפול ללא דישון חנקני (טפול 8) איטי משמעותית הן בחימצון האמון והן ביצירת

החנקה ביחס לשאר הטיפולים. מה שמעיד על השפעת הדישון החנקני את הפעילות המיקרוביאלית של חיידקי

הניטריפיקציה בקרקעות הניסוי.

ב. מסתמנת מגמה של פרוק התחלתי איטי של 4-5 ימים, של האמון בעיקר בטיפול 4 (הדישון הגבוה – של אמון

וחנקה) וגם בטיפול 3. מגמה זו יכולה לנבוע מקיום מקביל של חימצון האמון בניטריפיקציה והיווצרותו

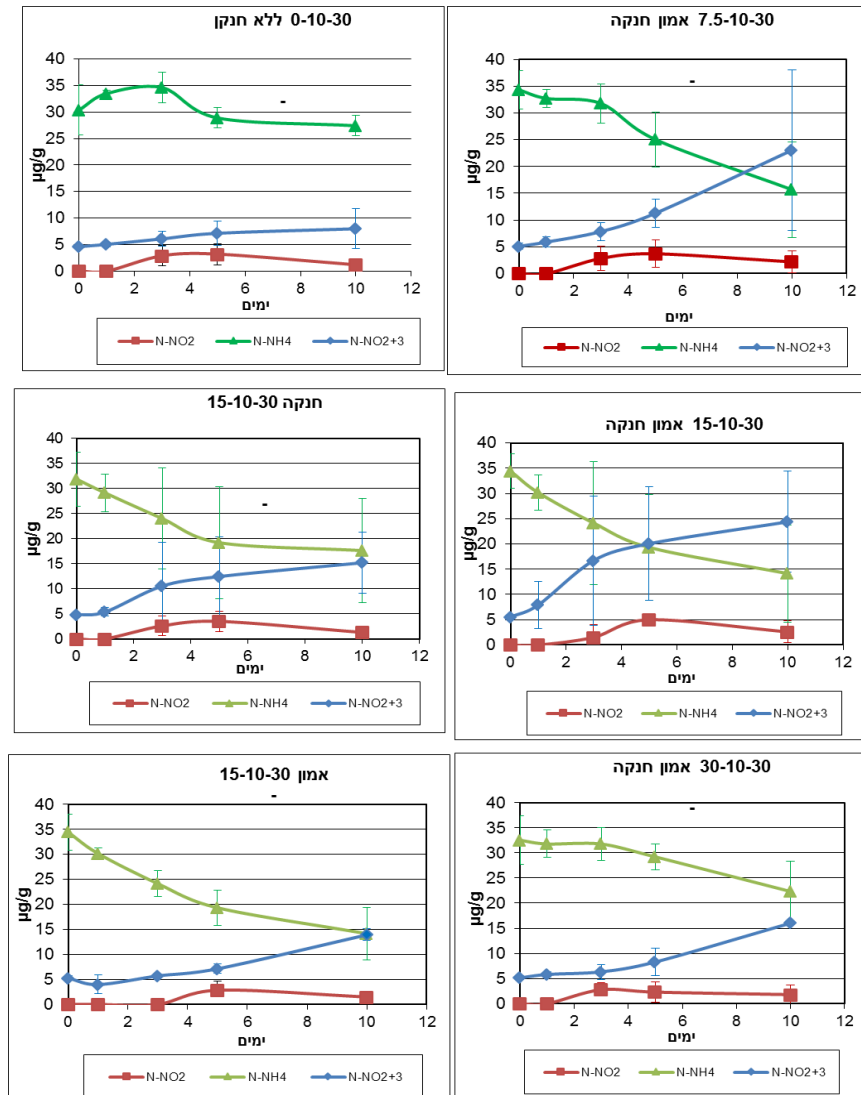
ממינרליזציה, או מהשהייה מסויימת של תהליך החימצון עצמו.

ג. שלא כמו בניסויי ההדגרה הקודמים ערכי החנקית בכל הקרקעות דומים ואינם חורגים מרמה של 5 ח"מ.

ד. ניתוח מגמות מאזני העלמות הנטו של האמון מול היווצרות החנקה + החנקית, מלמד שבכל ניסויי ההדגרה

מתקבלים מאזנים שליליים קלים, להוציא את הדישון החנקני הנמוך (טפול - 3) שבו מאזן חיובי קל מאד של 0.7

ח"מ חנקן (או 0.7 ג"ר חנקן לטון קרקע יבשה). שהוא פחות מאחוז מהחנקן המיושם בטיפול זה. הערכים השליליים שנמדדים בניסוי מעידים בד"כ על אובדני חנקן גאזי או של N_2 שמקורו בדניטריפיקציה, או N_2O שמקורו עשוי להיות ניטריקפיקציה או דניטריפיקציה. בכל מקרה הערכים הם נמוכים יחסית ועומדים על אובדנים של עד כ-5-7% מהחנקן המינרלי שהיה בתחילת הניסוי.



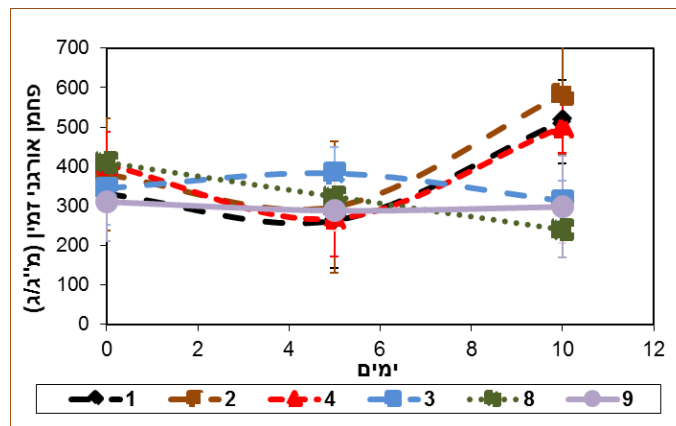
איור 12: שינויים בריכוז אמן, חנקת וחנקית בלבד, בניסויי הדגרה של קרקעות שנדגמו מניסוי השדה כתלות בזמן.

באיור 13. מוצגים תוצאות ריכוזי פחמן אורגני זמין שהתקבל במיצוי בתמיסת סידן כלורי במים קרים, ומהוה אינדיקציה לפחמן היותר פעיל והיותר זמין בקרקע. מגמות שנתקבלו:

א. רמות הפחמן האורגני הזמין שהתקבל בזמן אפס גבוהות בפקטור 4-5 מאלו שהתקבלו במיצוי דומה בדגימות השנה הקודמת. כמו כן, למרות שסטיות התקן הן בטווח של 10-20% מהערכים שהתקבלו יש מגמה

שדווקא הערכים של NPOC שהתקבלו לטיפול ללא דיזון חנקני וטיפול 4 (דיזון חנקני מירבי -30 ד"ג לדונם) היו הגבוהים ביותר בסביבות 405-410 מג"ר פחמן לק"ג קרקע.

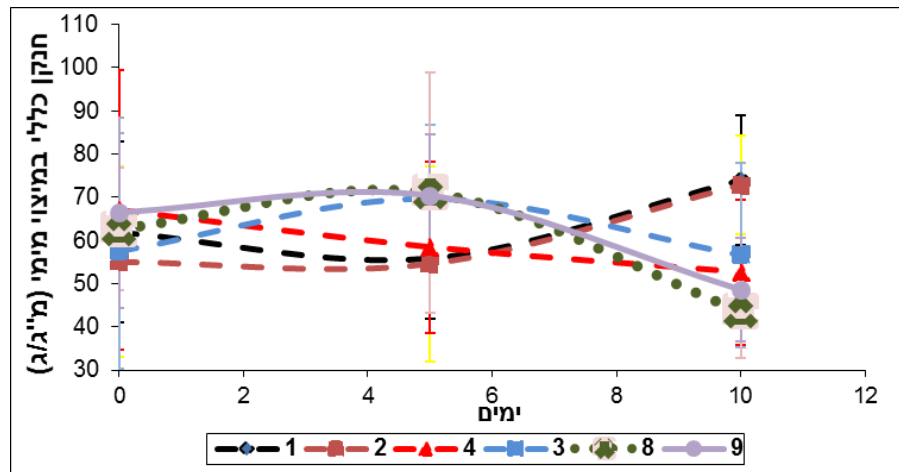
ב. השינויים ב-NPOC בציר הזמן מציגים מגמה ברורה של ירידה קלה (מינרליזציה) ואחריה עלייה משמעותית בערכי הפחמן הזמין בכל טיפולי הדיזון החנקני שהכילו אמון או אמון חנקן ברמות של 15 ו-30 ק"ג לדונם. העלייה היתה בתחום שבים 35% ל-60% מהערכים שהתקבלו בזמן אפס. בעצם זהו נתון שמרמז על פעילות מיקרוביאלית משמעותית של האוכלוסיות מפרקות הפחמן האורגני היציב יותר, או הימצאות אחוז גבוה יחסית של אוגר פחמן אורגני שהוא זמין יחסית לפרוק מהיר. מאידך, בטפול שלא קיבל דיזון חנקני – ישנה ירידה ברורה לאורך ציר הזמן שמציגה מצג שונה לחלוטין של זמינות נמוכה של חומר אורגני להמשך תהליכי פרוק. טיפול הדיזון החנקני מציג מגמה של אי-שינוי בציר הזמן – שגם היא מהווה אינדיקציה לפרוק זניח של פחמן אורגני בציר הזמן. זוהי מגמה משמעותית שבהחלט ראוייה לתשומת לב בניסויי המשך. עלייה בערכי הפחמן הזמין לפרוק מהיר בציר הזמן הינה אינדיקציה לפוטנציאל צריכה מוגברת של חמצן שמשמעותה שבתנאים של אוורור מוגבל או לקוי תופעת הדניטריפיקציה יכולה להתגבר.



איור 13: ריכוז פחמן אורגני זמין NPOC במיצוי מימי בקרקעות שקיבול טיפולי דיזון החנקני כתלות בזמן ההדגרה.

באיור 14 מוצגים ריכוזי החנקן הכולל TN שמוצה במים קרים בתמיסת סידן כלורי. ערכי החנקן הכללי בזמן אפס הינם בטווח שבין 55 ל-65 ח"מ. מכאן שיטת תוספת של בין 20 ל-30 ח"מ חנקן מעבר לצורונים המינרליים שהוספו בתחילת ניסוי ההדגרה. כלומר, חנקן שהגיע בעיקר ממקור אורגני בעל זמינות רבה. בעוד שבזמן אפס קשה לאתר הבדלים משמעותיים בין הטיפולים השונים, ניתן בהחלט להבחין במגמות שונות לגבי של החנקן הכללי עם משך ההדגרה. בטיפולים שהכילו אמון או אמון חנקן ורמת החנקן שניתנה הייתה 15 ק"ג לדונם (טיפולים 1 ו-2), ניכרת עלייה בחנקן הזמין הכללי בציר הזמן, שמצביע על אינדיקציה לעלייה אפשרית בפוטנציאל המינרליזציה. יש לציין את העלייה ביום העשירי שיתכן שביצוע הדגרות לשמנים ממושכים יותר עשויות לתת תוצאות שונות. נושא שראוי להבדק בהמשך. בולטת גם הירידה הברורה בערכי החנקן הכללי בטיפול הדיזון הגבוה (טיפול 4). ייתכן וכאן יש השפעה של העומס הגבוה יחסית של הדשן על פעילות החיידקים. בשאר הטיפולים ישנה דינמיקה מורכבת של עלייה מתונה בערכים ואחריה ירידה חזקה. כל אלו

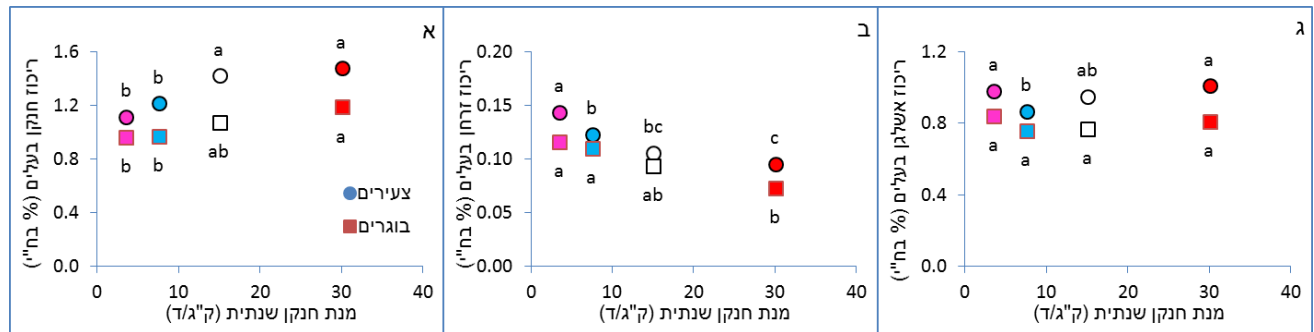
מעידים על מורכבות התהליכים של הפרוק המיקרוביאלי האפשרי של החנקן ובשלב זה קשה לקבל מימצאים ומגמות חד משמעויות לגבי השינויים שהתחללו במערכות זו בגין טיפולי הדישון החנקני.



איור 14: ריכוזי חנקן מינרלי כללי במיצוי מים קרים עבור קרקעות שהתקבלו מטיפול הדישון החנקני, כתלות בזמן ההדגרה.

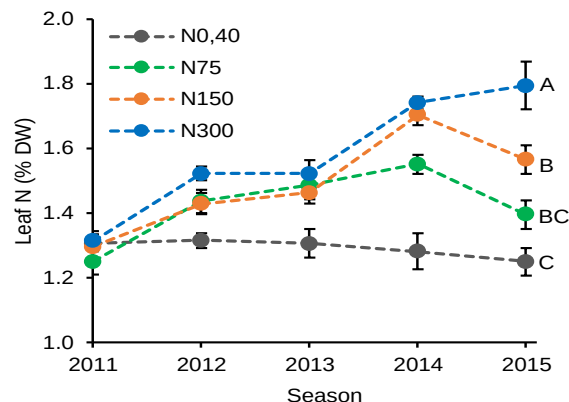
השפעת הטיפולים על ריכוזי מינרלים בצמח

בכל שנה נקבעו ריכוזי החנקן, זרחן ואשלגן בעלים ובגזם בחלק מהשנים נקבעו המינרלים בעלים בני גילים שונים ובעיסת הפרי. באיור 15 מוצגים תוצאות אנליזה משנת 2016 של ריכוזי חנקן, זרחן ואשלגן כתלות ברמות הדישון החנקני בעלים דיאגנוסטיים (צעירים) ובעלים בוגרים, מצימוח של השנה הקודמת. בכל שלושת המינרלים, ריכוזם בעלים הצעירים גבוה מזה שבעלים הבוגרים, כאשר הפרש הריכוזים גדול במקרה של יסודות בעלי ניידות גבוהה בצמח, כמו חנקן ואשלגן וקטן יותר במקרה של יסוד בעל ניידות נמוכה בצמח, כמו זרחן. הפרשים אלו בין עלים צעירים לבוגרים נובעים מהעברת יסודות הזנה מהעלים הבוגרים לצימוח הצעיר כחלק מתהליך ההזדקנות שלהם. בהמשך, יתייחס הדיון לריכוז המינרלים בעלים הדיאגנוסטיים (הצעירים) בלבד. ריכוז החנקן בעלים עלה עם העליה במנת החנקן השנתית (איור 15א). ברמות החנקן של 3.5 ו-7.5 ק"ג/ד לשנה היו הצמחים במחסור וריכוז החנקן בעלים היה 1.1% ו-1.2%, בהתאמה. ברמת החנקן של 15 ק"ג/ד לשנה ריכוז החנקן בעלים הגיע לערך הנחשב תקין, 1.4%. הכפלת מנת החנקן ל-30 ק"ג/ד לשנה לא גרמה לעליה משמעותית בריכוז החנקן בעלים. נתון זה מוכיח שוב את מה שנמצא בניסוי המיכלים, כי ניתן לזהות מחסורי הזנה באמצעות בדיקות עלים אך קשה לאתר דישון עודף בבדיקות אלו. רמת הדישון החנקני לא השפיעה על קליטת אשלגן (איור 15ג) וריכוזו בעלים היה תקין, 0.8% ומעלה. לרמת הדישון החנקני היתה השפעה דרמטית על קליטת הזרחן (איור 15ב). ככל שעלתה רמת הדישון החנקני, ירד ריכוז הזרחן בעלים והגיע אף לערכים הנחשבים למחסור, פחות מ-0.1%, ברמת הדישון הגבוהה. ככלל, בטיפול הדישון ביחסי אמון: חנקן היתה רמת הדישון זהה בכולם והיחס אמון: חנקן לא השפיע על ריכוזי חנקן, זרחן ואשלגן בעלים תוצאות לא מוצגות).



איור 15: השפעת רמת הדישון החנקני על הצטברות חנקן, זרחן ואשלגן הצמחים בעלים בוגרים וצעירים. אותיות שונות מציינות הבדל מובהק בין הטיפולים לכל גיל עלה בנפרד. אותיות שונות מבטאות הבדל מובהק ברמת מובהקות של 0.05.

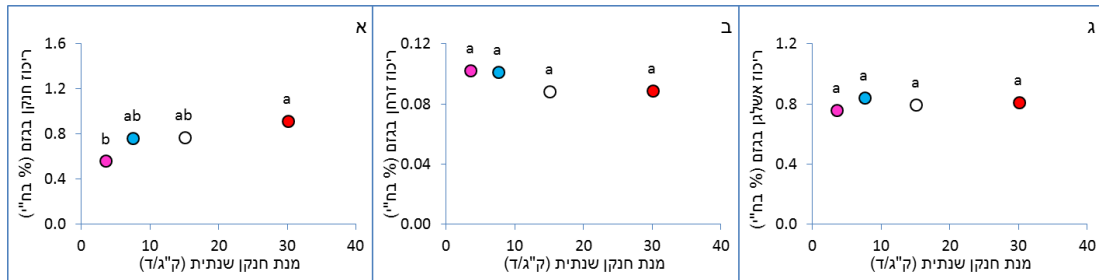
שינוי בריכוז החנקן בעלים דיאגנוסטיים לאורך שנות הניסוי מופיע באיור 16. בתחילת הניסוי ריכוז החנקן בכל הטיפולים היה דומה וכבר אחרי שנה של יישום החלו לראות את השפעת הטיפולים. ככלל, ריכוז החנקן בעלים עלה עם העליה במנת החנקן שיושמה כאשר בטיפול החנקן הנמוך ביותר ריכוזו בעלים היה הנמוך ביותר בכל עונה ונשמר סביב ערך של כ-1.3%. בשאר הטיפולים ריכוז החנקן היה במגמת עליה עם השנים. ריכוז החנקן בעלים מושפע מעומס הפרי וככל שהוא עולה ריכוזו בעלים פוחת מה שיכול להסביר את השינויים במגמה לאורך השנים. בשנת 2015 ישנו דרוג מובהק בין הטיפולים כאשר ריכוזי החנקן בעלים בטיפול החנקן הנמוך ביותר והגבוה ביותר היו 1.25% ו-1.80%, בהתאמה. תוצאות אלו מצביעות על הצלחה בהפעלת טיפולי החנקן כמו גם בחירה נכונה של טיפולי חנקן.



איור 16: ריכוזי חנקן בעלים דיאגנוסטיים (דיגום יולי) במהלך השנים בטיפולי החנקן השונים. כל ערך מייצג 14 חזרות $\pm$ שגיאת תקן. אותיות שונות בדיגום 2015 מצביעים על הבדל מובהק בין הטיפולים במבחן Tukey Kramer ברמת מובהקות של 0.05.

ריכוזי המינרלים בגזם (איור 17) מציגים תמונה דומה לזו של הריכוזים בעלים מבחינת דגם התגובה לרמות החנקן, כאשר הבדיקה בגזם מבטאת למעשה את ההשפעה הרב-שנתית של טיפולי הניסוי. בדומה לעלים עלה ריכוז החנקן בגזם עם העליה ברמת הדישון החנקני (איור 17א). רמת הדישון החנקני לא השפיעה על ריכוז האשלגן בגזם אולם עם העליה בכמות החנקן שניתנה נמצאה ירידה בריכוז הזרחן בגזם. נתונים אלו מצביעים

על ההשפעה הרב שנתית של טיפולי הניסוי. בטיפול הדישון ביחסי אמון: חנקת היתה רמת הדישון זהה בכולם והיחס אמון: חנקת לא השפיע על ריכוזי חנקן, זרחן ואשלגן בעלים תוצאות לא מוצגות).



איור 17: השפעת רמת הדישון החנקני על ריכוזי חנקן, זרחן ואשלגן בגזם, דיגום שנת 2016. אותיות שונות מבטאות הבדל מובהק ברמת מובהקות של 0.05.

ריכוז מינרלים בעלים בני גלאים שונים, ועיסת פרי – ביולי 2014 ו-2015 (4 ו-5 שנים מתחילת יישום טיפולי

החנקן, בהתאמה) נלקחו דוגמאות עלים דיאגנוסטיים שהינם עלים שגדלו מספר חודשים לפני הדיגום (עלים צעירים) ועלים שגדלו בעונה הקודמת כבני שנה (עלים בוגרים). העלים מהגילאים השונים נאספו מאותם ענפים. דיגום זה נעשה על מנת לבחון את ההשערה שניתן בעזרת דיגום עלים בגילאים שונים לאתר דישון עודף בחנקן. מאותה סיבה נקבע גם ריכוז המינרלים בעיסת פרי. בשני המועדים עם העליה במנת החנקן עולה באופן מובהק ומשמעותי ריכוז החנקן בעיסת הפרי בממוצע מערך של 0.5% עד לערך של 0.9% מגמות דומות התקבלו גם בעלים צעירים ובוגרים. ריכוז החנקן בעיסת הפרי נמוך משמעותית מריכוזו בעלים כאשר הריכוז בעלים בוגרים נמוך משמעותית מעלים צעירים. באופן כללי בשתי העונות קצב השינוי בריכוז החנקן עם העליה במנה המיושמת דומה בשלושת האיברים שנמדדו והוא הולך ופוחת עם העליה במנה המיושמת כאשר העליה בריכוז החנקן באיבר בין הטיפול החנקן הבינוני לגבוה זניחה (איור 18). יוצא דופן הינו בדיקה בעיסת הפרי בשנת 2015 שם ישנה עליה קבוע גם בישום החנקן הגבוה (איור B18). מתוצאות שהתקבלו בעבר בניסוי המיכלים נמצא שעץ נמצא במחסור חנקן ריכוז החנקן בעלים הצעירים גבוה בהשוואה לריכוזו בעלים הבוגרים וכאשר יש דישון ביתר המגמה הפוכה. התוצאות אלו מצביעות על כך שבממוצע ריכוז בעלים הבוגרים היה גבוה מהעלים הצעירים (איור 19) אך שמטפלים בתוצאות ברמת העץ ריכוז החנקן בעלים הצעירים היה גבוה מזה של העלים הבוגרים (איור A19). בעונת 2015 ההתפלגות היתה סביב עקום המתאם המושלם (1:1) ללא ביטוי יתר לאחד מטיפולי החנקן. ממצא זה אינו בהתאמה לניסוי המיכלים ויכול להיות מוסבר מתנאי הגידול השונים במיכלים השונה מעצים שגדלים בקרקע. טיפולי יחסי אמון/חנקת לא השפיעו על ריכוז החנקן בעלים או בעיסת הפרי (טבלה 5). תוצאות אנליזת המינרלים בעיסת פרי ובעלים מסוכמים בטבלאות 4 ו-5. השפעת טיפול החנקן על ריכוזי המינרלים (מלבד החנקן) משתנה כתלות במינרל ובאיבר. כך לדוגמא. העליה במנת החנקן לא השפיעה על ריכוז הזרחן בעיסת הפרי ובעלים הצעירים אך ריכוז הזרחן בעלים הבוגרים ירד בשיעור של 20% עם העליה בין הטיפול ללא חנקן לטיפול חנקן גבוה (טבלה 4). המגמות בריכוז הזרחן בין האיברים השונים היו כמו לריכוזי החנקן. שלא כמו בחנקן וזרחן, ריכוז האשלגן בעיסת הפרי גבוהה משמעותית מאשר בעלים והשפעת טיפולי החנקן נמצאה רק בעלים צעירים כאשר עם העליה במנת החנקן עולה ריכוז האשלגן בעלים. הצטברות אשלגן

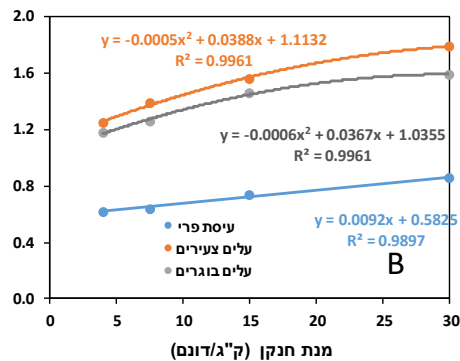
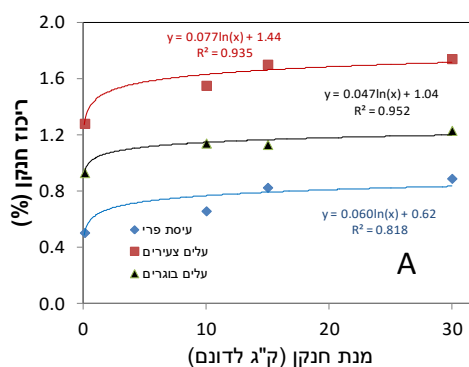
בזיתים הינה תופעה ידועה ומתועדת אם כי נראה שהצטברות זאת אינה נחוצה לקבלת יבול גבוה יותר ואף לא לשיפור באיכות השמן. באופן כללי השפעת טיפולי החנקן על סידן ומגנזיום היתה דומה מאוד (טבלה 5). כאשר ריכוזם בעלים בוגרים גבוה משמעותית בהשוואה לעלים צעירים. בנוסף, ריכוז הסידן והאשלגן בעלים טיפולי בקצוות היה נמוך בהשוואה לשני הטיפולים האמצעיים. מגמה זאת הפוכה למגמת היבול שהיה גבוהה בשני הטיפולים האמצעיים. אכן, הצבת הקשר בין רמת היבול לריכוז הסידן בעלים צעירים מצביעה על קשר חיובי ומובהק (איור 20). תוצאות דומות התקבלו גם עבור מגנזיום (תוצאות לא מוצגות). תוצאות אלו מצביעות על כך שריכוז המינרלים בעץ תלוי ביבול. ריכוז הסידן והמגנזיום בעלים צעירים בעץ שנושא יבול גבוה נמוך בהשוואה לעץ שנושא יבול נמוך. במקרים קיצוניים ההבדל ניכר מריכוז של 0.5% לכ-1.5%. שלא כמו עלים צעירים בעלים בוגרים אין קשר בין ריכוזי סידן ומגנזיום ליבול. העלים הבוגרים הינם בני שנה ולא נמצא קשר ביניהם ליבול השנה הקודמת (תוצאות לא מוצגות). למרות שממצאים אלו אינם חלק מהמטרה העיקרית של הניסוי יש להם תרומה בקביעת ממשקי דישון. תנועת הסידן בעץ הינה בקסילים וריכוזו בפירות נמוך. לכן, ככל שהעלה עושה יותר טרנספירציה ריכוז הסידן בו הולך ועולה. בעצים בעלי עומס פרי גבוה קצב הצימוח נמוך יותר וצבירת הסידן ליח' מסה של העלה גבוה בהשוואה לעלים בעצים בעלי עומס פרי נמוך בהם קצב הצימוח גבוה.

טבלה 4: ריכוזי מינרלים בעיסת פרי דיגום 2014, עלים צעירים ועלים בוגרים בטיפולי מנות החנקן. שיעור החנקן מכלל החנקן בכל הטיפולים 50%. תוצאות מסיק 2014. אותיות שונות מבטאות הבדל משמעותי בן ערכי הממוצעים ($\alpha \leq 0.05$).

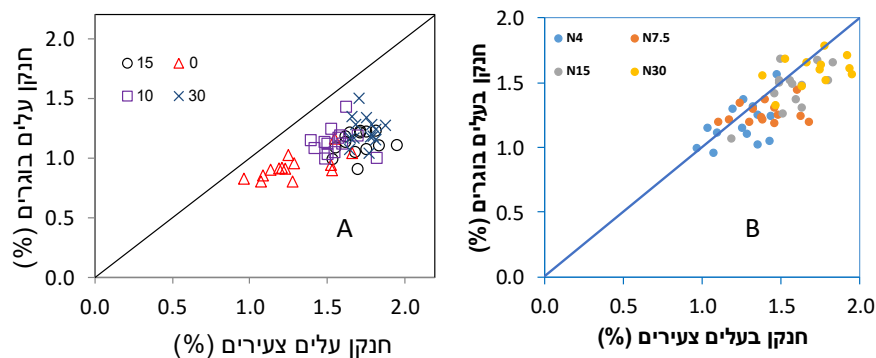
טיפולי חנקן				טיפולי חנקן				מינרל נמדד
גבוה	בנוני	נמוך	ללא	גבוה	בנוני	נמוך	ללא	
				עיסת פירות				
				0.889 A	0.825 AB	0.658 BC	0.504 C	(%) חנקן
				0.095 A	0.086 A	0.086 A	0.085 A	(%) זרחן
				1.37 A	1.42 A	1.36 A	1.41 A	(%) אשלגן
עלים בוגרים				עלים צעירים				
1.23 a	1.13 a	1.14 a	0.93 b	1.74 A	1.70 A	1.55 B	1.28 C	(%) חנקן
0.082 b	0.086 b	0.105 a	0.103 a	0.120 B	0.125 AB	0.133 A	0.136 A	(%) זרחן
0.776 a	0.690 a	0.672 a	0.704 a	1.16 A	1.11 AB	1.03 AB	1.08 B	(%) אשלגן
1.735 a	1.815 a	1.809 a	1.769 a	0.805 B	0.837 AB	0.950 A	0.808 B	(%) סידן
0.137 a	0.143 a	0.142 a	0.132 a	0.088 AB	0.089 A	0.092 A	0.076 B	(%) מגנזיום
0.162 a	0.162 a	0.167 a	0.156 a	0.247 A	0.262 A	0.238 A	0.245 A	(%) כלוריד
0.039 a	0.038 a	0.035 ab	0.029 b	0.023 A	0.021 A	0.023 A	0.038 A	(%) נתרן
40.9 b	39.4 b	47.5 a	39.2 b	41.3 AB	39.6 AB	45.4 A	38.4 B	(ח"מ) ברזל
15.6 a	16.4 a	15.7 a	15.4 a	14.9 A	13.9 A	23.2 A	14.8 A	(ח"מ) בורון
3.57 a	5.58 a	4.08 a	4.04 a	5.27 A	5.67 A	5.63 A	5.43 A	(ח"מ) אבץ
41.8 a	39.8 a	40.6 a	33.5 b	26.1 A	28.1 A	29.7 A	26.5 A	(ח"מ) מנגן
5.40 a	5.52 a	5.90 a	5.60 a	1.86 A	1.98 A	2.26 A	2.20 A	נחושת (ח"מ)

טבלה 5: ריכוזי מינרלים בעיסת פרי דיגום 2014, עלים צעירים ועלים בוגרים בטיפולי יחסי אמון/חנקן שונים. מנת חנקן שנתית בכל הטיפולים 15 ק"ג לדונם. תוצאות מסיק 2014. אותיות שונות מבטאות הבדל משמעותי בן ערכי הממוצעים ($\alpha \leq 0.05$).

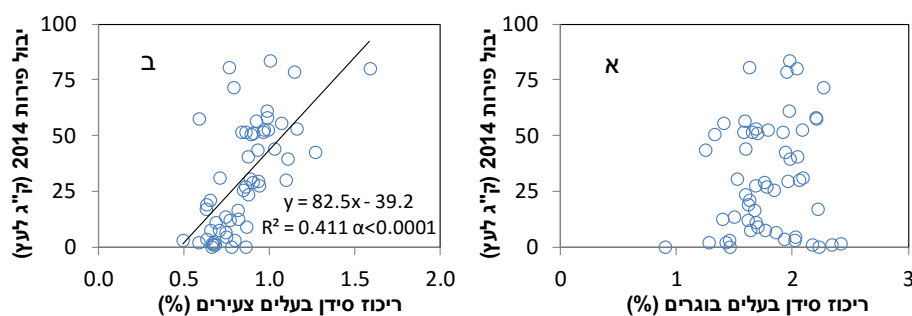
שיעור חנקן מכלל החנקן (%)			שיעור חנקן מכלל החנקן (%)			מינרל נמדד
100	50	20	100	50	20	
			עיסת פירות			
			0.854 A	0.825 A	0.705 A	חנקן (%)
			0.095 A	0.086 A	0.075 A	זרחן (%)
			1.39 A	1.42 A	1.35 A	אשלגן (%)
עלים בוגרים			עלים צעירים			
1.18 a	1.13 a	1.17 a	1.57 A	1.70 A	1.66 A	חנקן (%)
0.087 a	0.086 a	0.088 a	0.125 A	0.125 A	0.129 A	זרחן (%)
0.708 a	0.690 a	0.720 a	1.07 A	1.11 A	1.30 A	אשלגן (%)
1.761 a	1.815 a	1.809 a	0.870 A	0.837 A	0.837 A	סידן (%)
0.149 a	0.143 a	0.185 a	0.093 A	0.089 A	0.089 A	מגנזיום (%)
0.172 a	0.162 a	0.150 a	0.248 A	0.262 A	0.259 A	כלוריד (%)
0.033 a	0.038 a	0.036 a	0.024 A	0.021 A	0.023 A	נתרן (%)
55.1 a	39.4 b	43.5 ab	39.0 A	39.6 A	44.1 A	ברזל (ח"מ)
15.6 a	16.4 a	17.0 a	14.6 AB	13.9 B	15.9 A	בורון (ח"מ)
3.71 a	5.58 a	4.60 a	5.79 A	5.67 A	5.75 A	אבץ (ח"מ)
37.7 b	39.8 ab	46.9 a	29.6 A	28.1 A	30.0 A	מנגן (ח"מ)
5.69 a	5.52 a	6.49 a	2.80 A	1.98 B	2.07 B	נחושת (ח"מ)



איור 18. ריכוז חנקן בעיסת פרי ועלים בגלאים שונים כתלות במנות חנקן שיושמו. דיגום 2014 (A) ו-2015 (B).



איור 19. ריכוז חנקן בעלים בוגרים כנגד ריכוזם בעלים צעירים בטיפול מנות החנקן. ערכים מייצגים תוצאות מעץ בודד. דיגום 2014 (A) ו-2015 (B). קו רציף מייצג מתאם מושלם (1:1) בין עלים בוגרים לעלים צעירים.

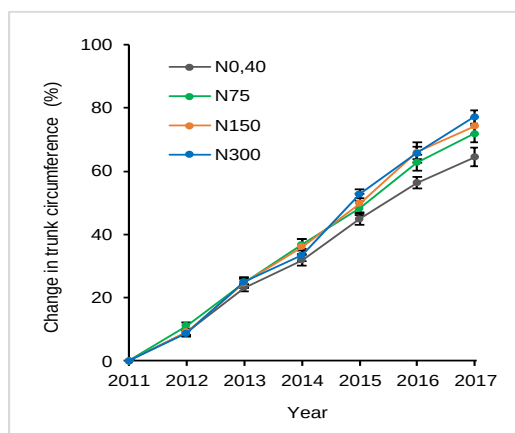


איור 20. תלות בין יבול פירות לריכוז החנקן בעלים צעירים (א) ועלים בוגרים (ב). כל ערך מייצג תוצאות של עץ בודד.

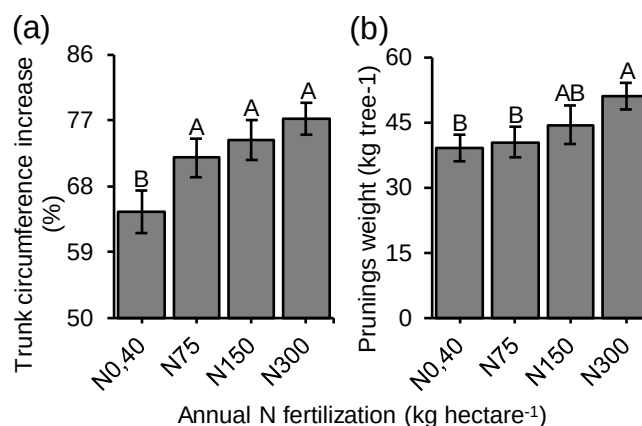
ככלל, ריכוזי המיקרואלמנטים בעלים לא הושפעו מהטיפולים השונים. יוצא דופן ועקבי הוא ריכוז הברזל בעלים הצעירים והבוגרים שבו ריכוז הברזל בעלים בעץ שלא דושן בחנקן היו נמוך בהשוואה לשאר הטיפולים (טבלה 5). גם ליחסים השונים של אמון וחנקה היתה השפעה על הברזל בעלים הבוגרים בו הריכוז בטיפול החנקה היה גבוה משמעותית מהטיפול האמוניקלי. הצבת היבול כנגד ריכוז המינרל בעלים ברמת העץ מצביעה על קשר ישר וחיובי בין היבול לריכוז הברזל והמנגן בעלים הצעירים מגמה דומה לסידן ומגנזיום. בשאר מיקרואלמנטים לא נמצא קשר בין עומס היבול לריכוזם בעלים (תוצאות אינם מוצגות).

גידול וגטטיבי - אומדן לגידול הוגטטיבי נעשה בעזרת מדידת היקף הגזע הנעשית כל שנה באביב וקביעת משקל הגזם. ממצאי העבר הראו שישנו קשר שלילי בין הגידול הוגטטיבי לבין עומס היבול בכל שנה. תופעה זאת אופיינית לזית והיא אחד הגורמים העיקריים לסירווגיות (העדר צימוח שישא עליו פריחה בשנה העוקבת בעקבות עומס יבול גבוה) ומצביעה על החשיבות של איסוף הנתונים ברמה של עץ בודד וניתוח חלק מהממדים ברמה דו שנתית, במיוחד לאור העובדה כי כמחצית מהעצים בניסוי נמצאים בסירווגיות הפוכה בהשוואה למחצית האחרת. באיור 21 מוצג השינוי בהיקף הגזע לאורך שנות הניסוי בטיפול החנקן השונים. ההבדל בהיקף הגזע

התחיל להתבטא החל מהשנה השלישית והלך והתחזק כאשר לאחר 6 שנות יישום התקבל פער משמעותי (איור 22a). ביטוי דומה להשפעת הטיפול על הגידול התבטא במשקל הגזם שהורחק מהעצים כאשר הבדל משמעותי ומובהק התקבל בין טיפול החנקן הגבוה ביותר לשני טיפולי החנקן הנמוכים (איור 22b). דישון ביחסי אמון/חנקה שונים לא השפיע על הצימוח הווגטיבי ולא היו הבדלים בין הטיפולים (תוצאות לא מוצגות). ראוי לציין שטיפולים אלו הופעלו רק 4 שנים בהשוואה לטיפול החנקן שהופעלו למשך רב יותר של שנים.



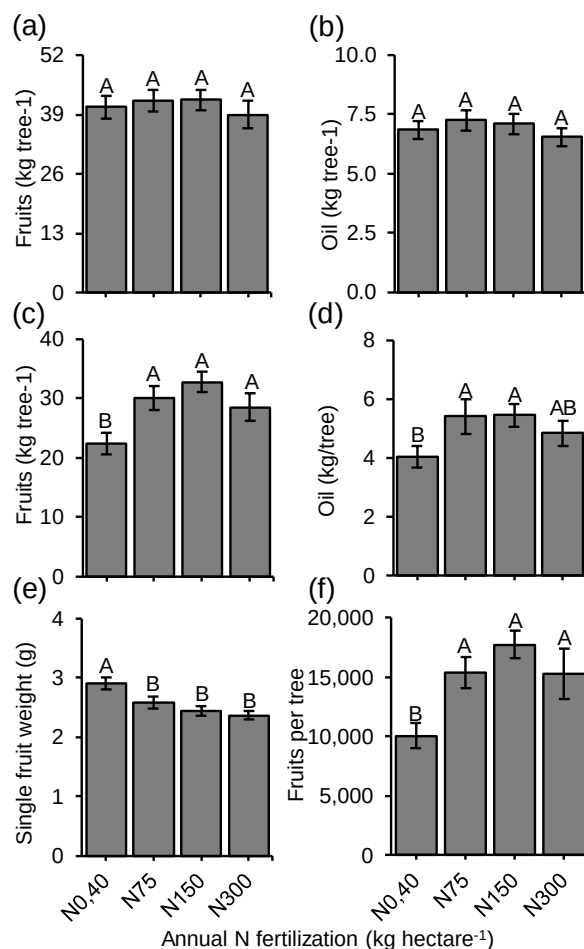
איור 21: שינוי בהיקף הגזע מאביב 2011 עד אביב 2017. כל ערך מייצג 14 חזרות $\pm$ שגיאת תקן.



איור 22: שינוי בהיקף הגזע במשך 6 שנות ניסוי מאביב 2011 עד אביב 2017 בטיפולי החנקן השונים (a). משקל גזם לעץ בעונת 2014-15 בטיפולי החנקן השונים. כל ערך מייצג 14 חזרות $\pm$ שגיאת תקן. אותיות שונות מבטאות הבדל מובהק ברמת מובהקות של 0.05.

יבול פרי ושמן - יבול משקל פרי ושמן שנאסף משש שנות יבול לא הושפע מטיפול דיִשון החנקן (איורים 23a,b). משקל ממוצע של פרי לעץ היה כ-40 ק"ג שממנו הופקו כ-7.5 ק"ג שמן. איסוף הנתונים מ-4 שנות ניסוי מתקבלת מגמה ברורה בה יבול מטיפול החנקן הנמוך ביותר נמוך במובהק משלושת הטיפולים הגבוהים יותר. ניתן לראות את מגמת הפחיתה ביבול בטיפול החנקן הגבוה ביותר שאינו מובהק מבחינה סטטיסטית. אסוף נתוני יבול נעשה בשנים זוגיות לאור תופעת סירוּגיות. נראה שהשפעת הטיפולים החלה להתבטא מספר שנים אחרי התחלת יישום הטיפולים מה שמחזק את הטענה שבניסוי שדה חשיבות רבה לניסויי רב שנתי. תוצאות אלו

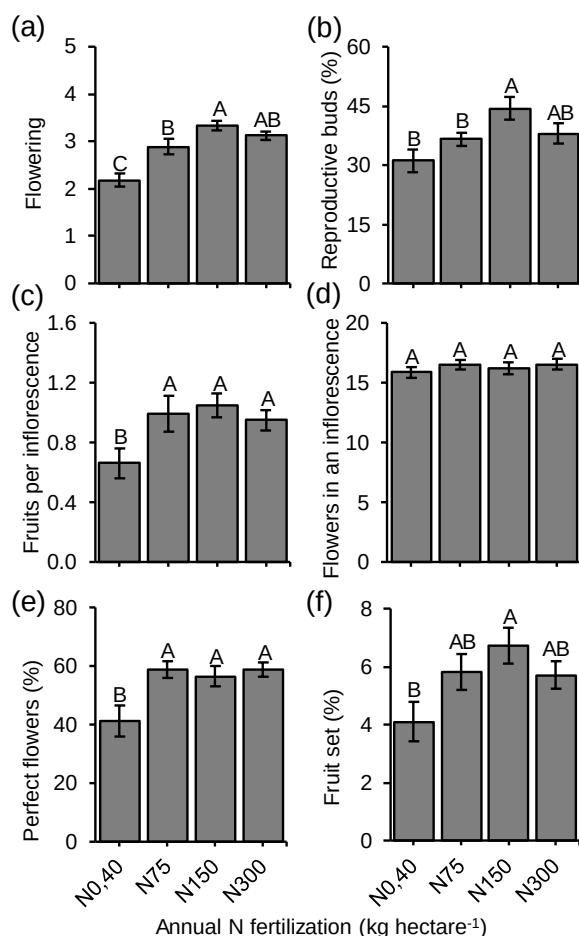
מתאימות לניסוי המיכלים בה נמצא שדישון מופחת או עודף בחנקן יכול לגרום לפחיתה ביבול הפרי והשמן. מספר הפירות מצטבר בארבע שנים לעץ נע בין 10,000 ל-18,000 עם מגמה זהה ליבול (איור 23f). משקל פרי ממוצע לארבע שנות הניסוי האחרונות הלך ופחת עם העליה במנת החנקן כאשר משקל פרי ממוצע בטיפול החנקן הנמוך ביותר היה גבוה באופן מובהק משאר הטיפולים תוצאה של מספר פירות נמוך (איור 23e).



איור 23: השפעת טיפולי החנקן על יבול. משקל פרי לעץ (a, c) ומשקל שמן לעץ (b, d). יבול לשנים 2011-2012 (שתי שנות ניסוי הראשונות: a, c) ושנים 2013-2016 (d, c). משקל פרי ממוצע עבור שנים 2013-2016 (e). משקל פרי לעץ ממוצע שנים 2013-2016 (f). כל ערך מייצג $\pm$ שגיאת תקן. אותיות שונות מבטאות הבדל מובהק ברמת מובהקות של 0.05.

בכל שנה באביב נערכה הערכה לעוצמת פריחה (סקלה 1-5) ונאספו נתונים רפרודוקטיביים כגון חנטה, מספר תפרחות ומספר פירות בתפרחת. תוצאות ממוצע ארבעת השנים האחרונות מתקבלת מגמה של עליה בעוצמת הפריחה עם העליה במנת החנקן על לרמה מיטבית ביישום 15 ק"ג לדונם. ברמת החנקן ישנה פחיתה מסויימת בעוצמת הפריחה אם כי היא אינה מובהקת (24a). מגמה דומה התקבלה עבור פקעי פריחה (24b). ניתוח מפורט יותר למדדים הרפרודוקטיביים נעשה רק לעצים בהם עוצמת הפריחה הייתה גבוהה (24c-f). מספר פירות

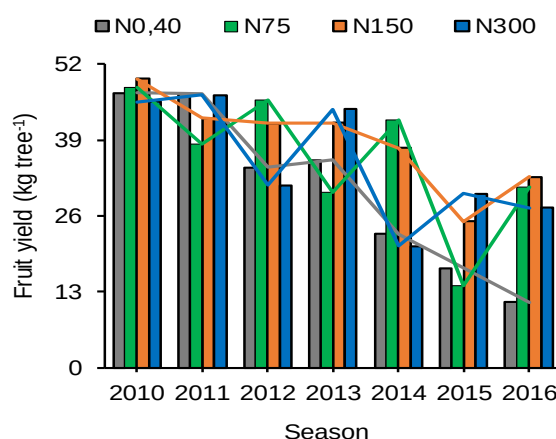
לתפרכת כתגובה לטיפול החנקן היתה זהה לעוצמת הפריחה (24c) שלא כמו מספר הפרחים לתפרכת שלא הושפע מהטיפולים (24d). שיעור הפרחים השלמים היה נמוך באופן משמעותי ומובהק רק בטיפול החנקן הנמוך משאר הטיפולים (24e). מאידך, שיעור החנטה הושפע מהטיפולים בדומה לעוצמת הפריחה (24f). ממצאים אלו מתאימים ליבול הכללי שהתקבל ונראה שמחסור בחנקן מעכב התפתחות צימוח ווגטיבי שהיא הבסיס להיווצרות של תפרחות. עודף דישון חנקני מעודד צמיחה ווגטיבית נמרצת הבאה על חשבון התמיינות לפקעי פריחה. כאשר רמת הדשן החנקני מאוזנת, מתקבלים ערכים מיטביים של עוצמת פריחה. לדישון בצורני חנקן שונים לא היתה השפעה על עוצמת הפריחה ולמדדים האחרים שנאספו (תוצאות לא מוצגות).



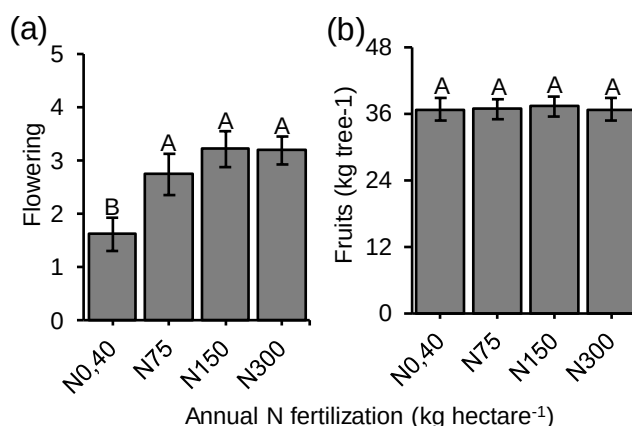
איור 24: השפעת טיפולי החנקן על פריחה וחנטה. ממוצע עוצמת פריחה בסקלה של 1-5 לשנות ניסוי 2014-2017 (a). ממוצע שיעור פורה פקעי פריחה לשנות ניסוי 2014-2015 (b). תוצאות עבור עצים בעלי עוצמת פריחה בנונית וגבוה (c-f), סקלה 3-5 שנות ניסוי 2014-2017. מספר פירות לתפרכת (c). מספר פרחים לתפרכת (d) שיעור פרחים שלמים (e), שיעור חנטה (f).

סירווגיות - יבול משבע שנות ניסוי מוצג באיור 25. ניתן לראות שבשנה הראשונה בה יושמו הטיפולים באופן חלקי לראשונה היבול הממוצע בים העצים בכל הטיפולים היה דומה. ככלל, יבול לאורך השנים בכל הטיפולים ירד, תופעת שיני המשור לאורך שנות הניסוי מייצגת את הסירווגיות. טיפול החנקן הנמוך (קו אפור, איור 25)

ישנה סירוגיות בשנים הראשונות ולאחר מכן עם המחסור בחנקן הפחיתה ביבול נשמרת קבועה ללא סירוגיות בין השנים. השפעת טיפולי החנקן בולטת בין שתי רמות החנקן האמצעיות כאשר סך כל היבול אינו שונה בניהן משמעותית (איורים 23, 24) אך עוצמת ההבדלים בין השנים (גובה שיני המסור) נמוך משמעותית ברמת חנקן של 7.5 לעומת 15 ק"ג לדונם לשנה (קיום ירוק וכתום, איור 25, בהתאמה). חיזוק למגמה זאת ניתן באיור 26 בו מוצגת עוצמת הפריחה בשנים 2013-2016 בהן השפעת הטיפולים החלה להתבטא. העצים ששימשו להשוואה היו עצים עם יבול בינוני של בין 24 ל-50 ק"ג לעץ. בעוד שהיבול הממוצע בכל הטיפולים היה כ-36 ק"ג לעץ (איור 26b) שיעור הפריחה בשנה העוקבת נבדל בין הטיפולים (איור 26a) כאשר בטיפול שקיבל את מנת החנקן הנמוכה ביותר שיעור הפריחה היה נמוך משמעותית משאר הטיפולים.

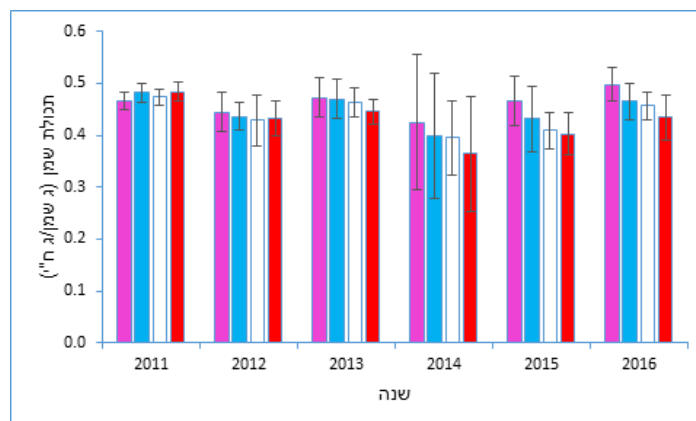


איור 25: השפעת טיפולי החנקן על היבול בשנות הניסוי. יבול מבוטא במשקל פרי לעץ. כל ערך מייצג 14 חזרות $\pm$ שגיאת תקן.



איור 26: השפעת טיפולי החנקן על סירוגיות תוצאות ממוצעות שנים 2013-2016. עוצמת פריחה בשנה העוקבת (a) ויבול (b) בעצים בעלי יבול של 24-50 ק"ג לעץ. ערכים מייצגים ממוצע של ערכים בין 15-20 חזרות (עצים) $\pm$ שגיאת תקן. אותיות שונות מבטאות הבדל מובהק ברמת מובהקות של 0.05.

איכות שמן - בכל שנות הניסוי, כל עץ שמשתתף בניסוי נמסק, מדגם של מספר ק"ג נלקח הופק שמן ונקבעו בו תכונותיו. בכל עונה המסיק נעשה בשני מועדים בהתאם לרמת ההבשלה של הפירות. לאור תוצאות רבות של נתונים יוצגו נתונים נבחרים. השפעת רמת הדישון החנקני על תכולת השמן בפרי מוצגת באיור 27. התוצאות מבוטאות על בסיס משקל ח"י על מנת לנטרל את תכולת הרטיבות. בשנה הראשונה אין השפעה כלל לטיפול החנקן. בשנה השנייה והשלישית ניכרת השפעה קלה מאוד. בשנים הרביעית, החמישית והשישית רואים ירידה משמעותית בתכולת השמן בפרי ככל שרמת הדישון החנקני עולה. תוצאה זאת מחזקת תוצאות דומות שקבלנו בניסוי המיכלים (תוצאות לא פורסמו). לתכולת השמן חשיבות רבה הן מההיבט של כמות היבול והן מהיבט של הבנת המנגנונים שיכולים להסביר את השפעת החנקן על תהליכי יצירת השמן. ככל שידוע לנו אין בספרות דיווח על הממצא.

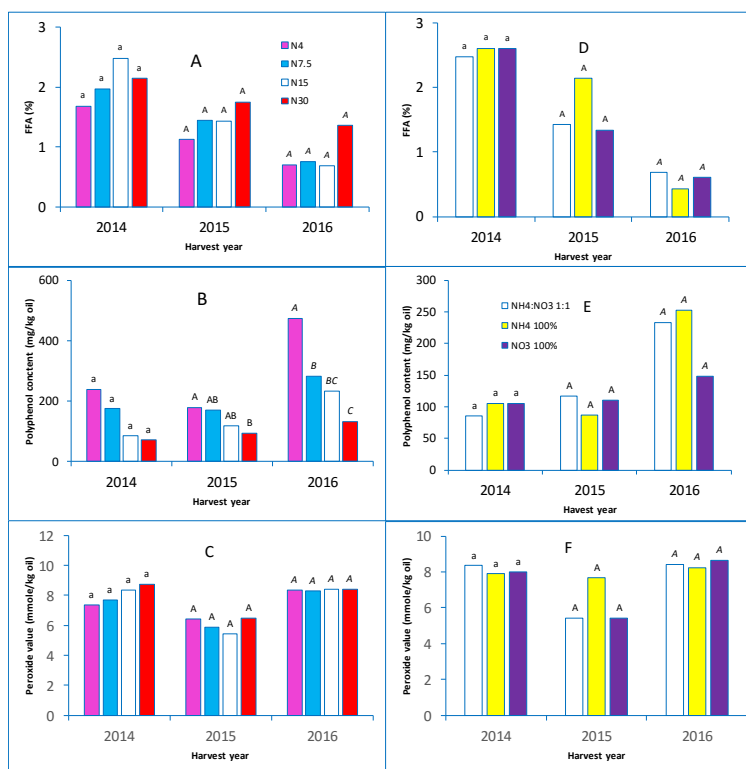


איור 27: השפעת טיפולי החנקן על תכולת השמן בפרי במהלך שנות הניסוי. ערכים מייצגים ממוצע של 14 חזרות (עצים) $\pm$ שגיאת תקן. אותיות שונות מבטאות הבדל מובהק ברמת מובהקות של 0.05.

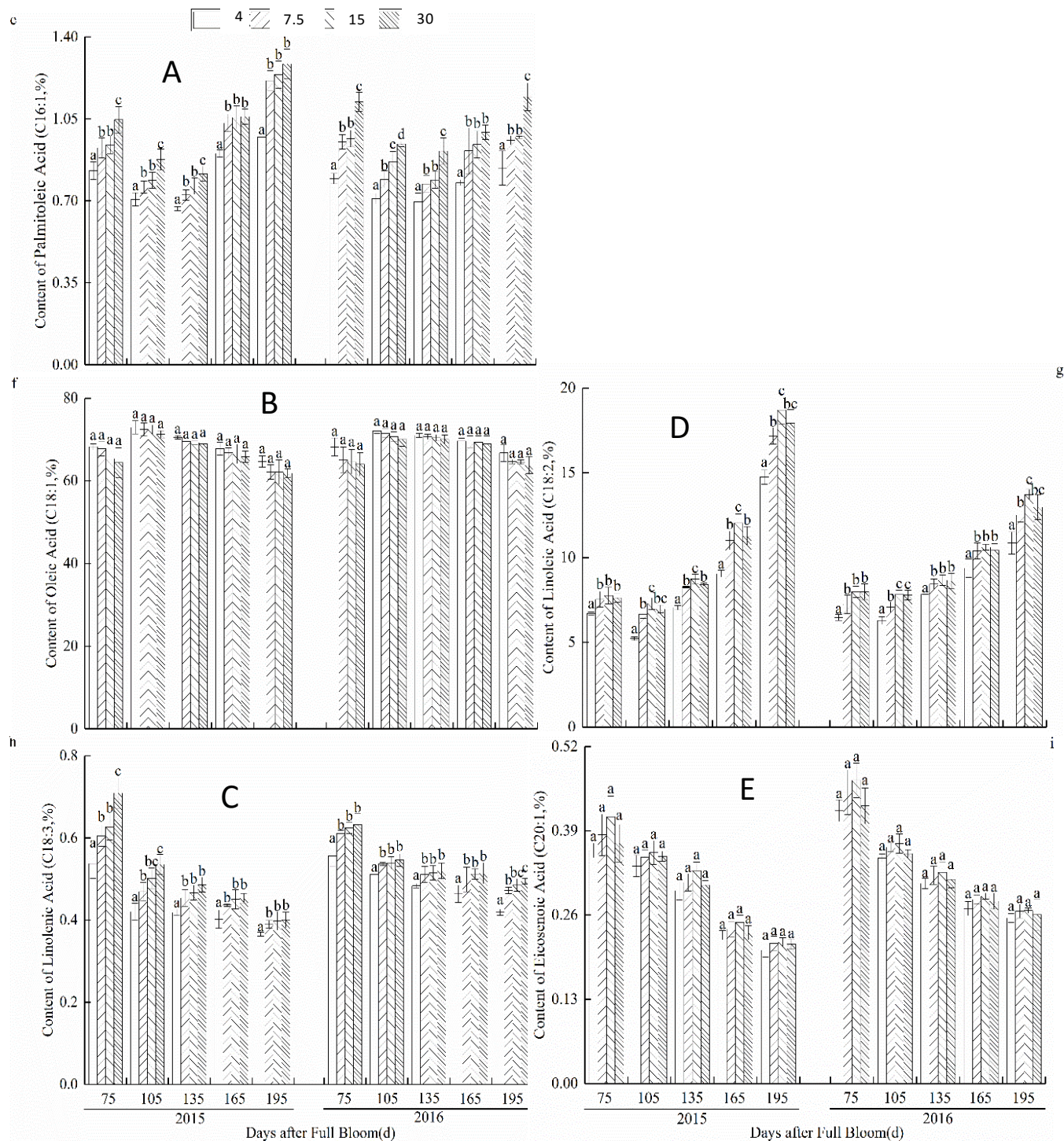
תוצאות מדדי איכות השמן בטיפולי הניסוי השונים של רמות חנקן והשפעת צורוני חנקן עבור 3 שנות המסיק האחרונות מוצגות באיור 28. ככלל, השפעת רמות החנקן על תכולת חומצות שומן (חמיצות) הינה במגמה של עליה כאשר ההבדלים אינם מובהקים (איור A28). למרות שההבדלים לא היו מובהקים סטטיסטית כנראה בגלל השונות הגדולה בשטח. עליה במנת החנקן גרמה לפחיתה משמעותית בריכוז הפוליפנולים ולא השפיעה על תכולת הפראוקסיד. מגמות התגובה של שלושת מדדי האיכות הללו מאששת את התוצאות שהתקבלו בניסוי הגידול בכלים שקדם לניסוי השדה ומצביעה על ירידה באיכות השמן (עליה בחמיצות וירידה בתכולת הפוליפנולים) עם העליה במנת הדשן שמיושם (Dag et al., 2008). טיפולי יחסי אמן/חנקן (צורוני חנקן) לא השפיעו באופן מובהק על מדדי היבול (איורים 28D-F).

הרכב חומצות שומן בשמן נמדד בשני מועדים מסיק 2015 ומסיק 2016. בדו"ח הנוכחי נתרכז בחומצות השומן הבלתי רוויות (איור 29). באיור 29 מוצגים תוצאות חומצות שומן ב-5 מועדים לאורך עונת הגידול של מסיק 2016. מטרת הבדיקות הייתה לבחון את הדינמיקה של השינויים והשפעת הטיפולים על תכולת חומצות השומן במהלך עונת הגידול. מועד האחרון הינו מועד המסיק והוא שקובע את איכות השמן לשיווק. באופן כללי במהלך הגידול תכולת חומצות השומן השונות אינן קבועות כך לדוגמה החומצה האוליאית יורדת בעוד שהח' הלינולאית עולה. טיפולי החנקן השפיעו על מספר חומצות שונות השומן במגמות שונות. כאשר בולטת העובדה שהשפעת

הטיפולים החלה במועדי הבדיקה הראשונים והמגמות נשמרו עד למועד המסיק. ככלל, תכולת החומצה האוליאית שהינה חומצת השומן העיקרית והחשובה בשמן פחתה עם העליה במנת החנקן. למרות שההבדל אינו מובהק סטטיסטית הוא נשמר בכל המועדים שנבדקו. החומצות לינולאית ולינולנית הושפעו כאשר הראשונה עולה באופן משמעותי והשניה ירדה עם עליה במנת החנקן.



איור 28: השפעת טיפולי החנקן (A-C) ויחסי אמון חנקן (D-F) על חמיצות שמן (D,A) תכולת פוליפנולים (E,B) תכולת פראוקסיד (C,F) בשנים השונות. ערכים מייצגים ממוצע של 14 חזרות (עצים). אותיות שונות מבטאות הבדל מובהק ברמת מובהקות של 0.05.



איור 29: השפעת דיזון ברמות חנקן שונות הרכב חומצות שומן בלתי רוויות. מועד דיגום 2016. אותיות שונות מציינות הבדל מובהק בין הטיפולים ברמת מובהקות של 0.05.

5. סיכום

במחקר הנוכחי נבחנה השפעת טיפולי רמות החנקן (7 שנים) וטיפול יחסי אמון/חנקן במי ההשקיה (4 שנים). ככלל, יישום הטיפולים היה כמתוכנן כאשר בחודשיים האחרונים של ההשקיה המטע לא דושן. לאורך השנים ריכוזי החנקן בקרקע בתום עונת החורף היו נמוכים מלבד ברמת החנקן הגבוהה בה נמצאה חנקן רק בעומק הקרקע. ממצאים אלו הינם עקביים ומצביעים על שטיפה של החנקן שנותר בקרקע בתום עונת ההשקיה. ריכוז החנקן בתום עונת ההשקיה הושפע מהטיפולים כאשר בכל טיפולי החנקן, מלבד הטיפול בו יושמה המנה הגבוהה, ריכוז החנקן בכל חתך הקרקע היה נמוך מאוד. בטיפול בו יושמה מנת החנקן הגבוהה נמצא ריכוז גבוה של חנקן בכל החתך. נראה שהפסקת הדישון לקראת תום עונת ההשקיה מקטינה משמעותית את ריכוז החנקן בקרקע וע"י כך מקטינה את כמות החנקן הפוטנציאלית לשטיפה בחורף.

חיזוק לממצאים שהתקבלו בבדיקות החנקן בחתך הקרקע התקבלו גם בניסוי ההדגרה של הקרקעות שנלקחו משכבת הקרקע העליונה. נמצא שריכוז החנקן והחנקן הכללי בשל כך, היה גבוה משמעותית בטיפול הגבוה ביותר (30 ק"ג לדונם) בהשוואה לשאר הטיפולים. דינמיקת השינוי של החנקית בציר הזמן התנהג כמקובל ולפי הטיפולים עם מגמה של רמת חנקית הכי גבוהה שמופיעה ביומיים שלושה הראשונים בטיפול הדישון הגבוה. בחינת סך השינוי בחנקן המינרלי הכללי לאורך 10 ימי ההדגרה אינן מציגות באף מקרה מינרליזציה "נטו" חיובית. בדיקות הפחמן מצביעות על מגמה ברורה של העלאת רמת הפחמן הזמין בטיפול הדישון הגבוהים מהרמה הנמוכה ביותר. כמו כן נמצא, שקצב הניטריפיקציה בטיפול ללא דישון חנקני איטי משמעותית הן בחימוץ האמון והן ביצירת החנקן ביחס לשאר הטיפולים. מה שמעיד על השפעת הדישון החנקני את הפעילות המיקרוביאלית של חיידקי הניטריפיקציה בקרקעות הניסוי.

ביטוי לטיפול החנקן התקבל גם בדיגומי עלים מגילאים שונים ובפרי. ריכוז החנקן בעלים דיאגנוסטיים לאחר ארבע שנים ללא דישון ושלוש עם דישון מועט מאד (3.5 ק"ג לדונם) היה נמוך ואף ירד מתחת לערך שנחשב למחסור. טיפולי יחסי אמון/חנקן לא השפיעו על ריכוז החנקן בעלים. בדיקות עלים צעירים ובוגרים ועיסה של פרי לא נמצאו מתאימים לשיטה של אבחון עודף של חנקן בצמח.

אומדן לגידול הווגטטיבי נעשה בעזרת מדידת היקף הגזע הנעשית כל שנה באביב וקביעת משקל הגזם. הצימוח הווגטטיבי כפי שהתבטא בהיקף הגזע התחיל החל מהשנה השלישית והלך והתחזק כאשר לאחר 6 שנות יישום התקבל פער משמעותי (איור 22a). ביטוי דומה להשפעת הטיפולים על הגידול התבטא במשקל הגזם שהורחק מהעצים כאשר הבדל משמעותי ומובהק התקבל בין טיפול החנקן הגבוה ביותר לשני טיפולי החנקן הנמוכים (איור 22b). דישון ביחסי אמון/חנקן שונים לא השפיע על הצימוח הווגטטיבי ולא היו הבדלים בין הטיפולים (תוצאות לא מוצגות).

השפעת הטיפולים על היבול החלו להתקבל אחרי 2-3 שנים מתחילת יישום טיפולי החנקן. נתוני ארבע שנות ניסוי (2 מחזורי שפע ושפל) מתקבלת מגמה ברורה בה היבול מטיפול החנקן הנמוך ביותר נמוך במובהק משלושת הטיפולים הגבוהים יותר. ניתן לראות את מגמת הפחיתה ביבול בטיפול החנקן הגבוה ביותר שאינו

מובהק מבחינה סטטיסטית (איור 22). מספר הפירות מצטבר בארבע שנים לעץ נע בין 10,000 ל-18,000 עם מגמה זהה ליבול (איור 23f). משקל פרי ממוצע לארבע שנות הניסוי האחרונות הלך ופחת עם העליה במנת החנקן כאשר משקל פרי ממוצע בטיפול החנקן הנמוך ביותר היה גבוה באופן מובהק משאר הטיפולים תוצאה של מספר פירות נמוך (איור 23e). איסוף נתונים רפרודוקטיביים כגון שיעור פריחה, חנטה, מספר תפרחות ומספר פירות בתפרחת באביב של כל שנה (בעיקר בשנות המחקר האחרונות) מחזק את תוצאות היבול הכללי כאשר מתקבלת מגמה של עליה בעוצמת הפריחה עם העליה במנת החנקן על לרמה מיטבית ביישום 15 ק"ג לדונם. נראה שמחסור בחנקן מעכב התפתחות צימוח ווגטטיבי שהיא הבסיס להיווצרות של תפרחות. עודף דישון חנקני מעודד צמיחה ווגטטיבית נמרצת הבאה על חשבון התמיינות לפקעי פריחה. כאשר רמת הדשן החנקני מאוזנת, מתקבלים ערכים מיטביים של עוצמת פריחה. ממצאים אלו תומכים בהנחה שיש רמה מיטבית לדישון שבתנאי הניסוי הנוכחיים הינה בשיעור של 15 ק"ג לדונם חנקן לשנה שמעליה ומתחתיה מתקבלת פחיתה ביבול. לדישון בצורני חנקן שונים לא היתה השפעה על עוצמת הפריחה ולמדדים האחרים שנאספו. מנת החנקן משפיעה על הסירוגיות ובאופן כללי יישום חנקן הפחית את עוצמת הסירוגיות (איורים 25 ו-26). איכות השמן נפגעה עם העליה במנת החנקן דבר שהתבטא בעליה בחומצות השומן החופשיות וירידה בתכולת הפוליפנולים. דישון ביחסי אמון/חנקן שונים לא השפיע על הצימוח הווגטטיבי, על היבול ועל איכות השמן.

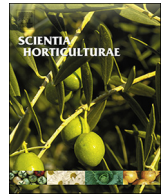
תודות לחברת דשנים וחומרים כימיים בע"מ על הכנת הדשנים לניסוי ואספקתם.

ביבליוגרפיה

אראל, ר., **ירמיהו, א., דג, א., בן גל א.** ושוורץ א. (2008) תגובת פריחה וחנטה בעצי זית לחנקן אשלגן וזרחן. עלון הנוטע 62 : 378-380.

Dag, A., Ben-David, E., Kerem, Z., Ben-Gal, A., Erel, R., Basheer, L. and Yermiyahu, U. (2009). Olive oil composition as a function of nitrogen, phosphorus and potassium plant nutrition. J. Sci. Food Agric. 89: 1871-1878.

Erel, R., **Dag, A., Ben Gal, A., Schwartz, A. and Yermiyahu, U.** (2008). Flowering and fruit set of olive trees is response to nitrogen, phosphorus and potassium. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 133: 639-647.



Significance of proper nitrogen fertilization for olive productivity in intensive cultivation

Amnon Haberman, Arnon Dag, Nerya Shtern, Isaac Zipori, Ran Erel, Alon Ben-Gal, Uri Yermiyahu*

Gilat Research Center, Agricultural Research Organization, M.P. Negev 85280, Gilat, Israel

ARTICLE INFO

Keywords:

Nitrogen
Fertilization
Fertigation
Olive
Fruit set
Flowering

ABSTRACT

Current trends of intensification of olive cultivation including irrigation and fertigation have dictated a need to reconsider fertilization management practices. We evaluated the long-term effect of nitrogen (N) fertilization level on the productivity of field grown olive trees in an intensively cultivated orchard in order to optimize N fertilization and achieve maximum yields and profits with minimal negative environmental impact. Deficient N fertilization reduced vegetative growth and lowered fruit and oil yields, attributed to down-regulation of flowering intensity and reduced rate of perfect flowers and fruit set. In addition, under low N availability trees appeared to be more susceptible to alternate bearing. The highest N level was the most effective in promoting vegetative growth, but did not induce an increase in yield. An intermediate annual level of 150 kg N hectare⁻¹ was optimal for maintaining highest long-term yield and reducing alternate bearing. The results correspond to previous findings from container-grown trees that N availability significantly affects tree reproductive traits. Proper N fertilization is concluded to be fundamental to successful management of intensive cultivated olive orchards.

1. Introduction

The popularity of olive (*Olea europaea* L.) oil consumption has soared over the last two decades, promoted by public awareness regarding the gastronomic and health benefits of olive oil (Covas et al., 2006; López-Miranda et al., 2010), and the production of olive oil constantly increasing (International Olive Oil Council, 2017). Traditional olive cultivation is typically involves low-intensity management characterized by old trees planted at low density on marginal soils without irrigation, producing low yields (Duarte et al., 2008; Vossen, 2007). Elevated demand and desire to increase profitability have led to intensification of olive cultivation. New densely planted olive orchards grown on deep and fertile soils, using modern varieties are characterized by vigorous growth and high productivity (Lavee, 1989; León et al., 2007). In addition, micro-irrigation and fertigation systems (Bar-Yosef, 1999) have been integrated into olive orchard management. As intended, the shift to intensive cultivation led to a substantial increase in orchard productivity (European Commission, 2012; Vossen, 2007).

The olive tree reproductive cycle normally begins with initiation of inflorescences from lateral buds at leaf axils of previous season

vegetative growth at the end of winter (Haberman et al., 2017; Lavee, 1996). Hence, current season vegetative growth is the platform for the following season flowering and its extent sets the flowering potential (Dag et al., 2010). The magnitude of olive annual flowering and yield varies greatly. In most cases, this is attributed to the alternate bearing pattern of olive (Lavee, 2007), in which fruit load inhibits both flowering and vegetative growth (Dag et al., 2010; Samach and Smith, 2013). In "on"-years, trees tend to produce vast numbers of flowers (Martin, 1990). However, only about 1–2% of flowers normally set fruits (Lavee, 1996).

Olive flowers are organized in branched inflorescences (panicles), containing roughly an average of 12–21 flowers (Griggs et al., 1975; Lavee et al., 1996). This number varies according to cultivar, physiological and environmental conditions (Lavee, 2007; Lavee et al., 1996). Flowers can be either perfect (hermaphrodite) or male (staminate), which form due to abortion of the pistil at primordial stages (Griggs et al., 1975). Both perfect and male flowers produce viable pollen grains (Reale et al., 2006), but only perfect flowers set fruit. The rate of perfect flowers in the inflorescence is genetically determined (Seifi et al., 2011; Vuletin Selak et al., 2012), but is also affected by

* Corresponding author.

E-mail addresses: amnon.haberman@mail.huji.ac.il (A. Haberman), arnondag@volcani.agri.gov.il (A. Dag), matabsor@volcani.agri.gov.il (I. Zipori), ranerel@volcani.agri.gov.il (R. Erel), bengal@volcani.agri.gov.il (A. Ben-Gal), uri4@volcani.agri.gov.il (U. Yermiyahu).

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.055>

Received 22 April 2018; Received in revised form 6 October 2018; Accepted 16 November 2018

0304-4238/ © 2018 Elsevier B.V. All rights reserved.

physiological and environmental conditions, such as water stress during inflorescence development (Hartmann and Panetsos, 1961; Rapoport et al., 2012).

Olive productivity depends highly on water availability (Ben-Gal et al., 2011; Moriana et al., 2003; Naor et al., 2013). In traditional cultivation, where water availability relies solely on rainfall, it is likely a predominant limiting factor for productivity. This is particularly true in the Mediterranean Basin, where the majority of the globe's olive orchards are cultivated (Vossen, 2007) and which is characterized by dry summers and mild winters (Lionello et al., 2006). Integration of irrigation systems into olive cultivation remove water availability as the limiting factor for productivity allowing for other factors, such as mineral nutrition to become limiting. The increase in tree density and vigor under irrigation (Ben-Gal et al., 2011) should lead to higher demand of mineral nutrients. In addition, nutrient availability under irrigation may change compared to traditional dryland cultivation (Zipori et al., 2015).

Nitrogen (N) is a major essential plant nutrient and the most applied mineral in fertilization programs of horticultural crops (Kirkby, 2012). There is a debate regarding the significance of annual application of N for olive productivity as part of olive orchard management including claims that N is generally supplied in excess (Fernández-Escobar, 2011). This claim was supported by a long-term (13 year) experiment in rain-fed olive orchards in which N fertilization did not affect tree performance (Fernández-Escobar et al., 2009a) and validated in a recent study (Centeno et al., 2017). Hartmann (1958), found a positive effect for N fertilization only in orchards growing in shallow infertile soils, while Ferreira et al. (1986) found a positive response only when trees were under high fruit loads. Morales-Sillero et al. (2009) did find increase in fruit yield as a result of N applied by fertigation. Olive tree nutritional N status is commonly diagnosed by measuring leaf N concentration during July with concentration below 1.2–1.4% considered deficient (Fernández-Escobar et al., 2009b; López-Villalta and Muñoz-Cobo, 1996; Therios, 2009).

Erel et al. (2013b, 2008) demonstrated in experiments with container-grown olive trees that N availability significantly affects tree performance. Low N availability led to reduced vegetative growth, flowering, fruit set, and subsequent fruit yield, while high levels of N impaired fruit set and yield. The conclusion from these experiments was that optimum fruit production corresponds to an intermediate N level. In addition, high levels of exposure to and accumulation of N were found to negatively influence oil quality (Dag et al., 2009; Erel et al., 2013a).

In modern intensive cultivation, adjusting N fertilization is essential to maximize long-term yields and avoid excessive fertilization. Guidelines for N fertilization of olive orchards are few and founded mainly on studies conducted in traditional rain-fed agro-systems and available experimentally based knowledge for fertilization of olives in intensive cultivation is lacking. The objectives of this study were to evaluate the long-term effect of different N fertilization levels on productivity of field grown olive trees in intensive cultivation and to verify the insights from previous controlled experiments conducted on container-grown trees (Erel et al., 2013b, 2008).

2. Materials and methods

2.1. Experimental design

The experiment was conducted in a commercial intensive cultivated olive orchard, located in the southern coastal plain of Israel at an elevation of 80 m above sea level, near Kibbutz Negba (31°39'7.50"N 34°40'54.00"E). Orchard soil texture varied between loam to clay loam and average soil saturated paste extract was 7.6. Soil texture, saturation percentage, CEC, extractable P and K, CaCO₃ and organic matter content are presented as supplementary material (Table S1). The orchard was planted in 2007 with trees of the cultivar Barnea (Lavee et al.,

1986), at distances of 4 m × 7 m, producing a density of 360 trees hectare⁻¹. Trees were generally trained to form a cup-shape suitable for a mechanical trunk-shaker, with a single trunk about 70 cm tall and 3–5 leaders per tree. The orchard was monitored and treated regularly for pests. *Bactrocer oleae* levels of infestation throughout the experiment were moderate and relatively homogeneous in the orchard. Three hectares of the orchard were divided into plots, each plot consisting of at least 12 trees (three rows × four trees in the rows). Two uniform trees in the center of each plot were selected for sampling and measurements. The experimental set up was randomized blocks with seven plots per treatment level, producing 14 trees per level (replications).

Trees were irrigated twice a week through a drip system, (one drip line per row of trees with 1.3 L h⁻¹ drippers spaced at 0.75 cm) with fresh water (electrical conductivity = 0.4–0.5 dS m⁻¹). Seasonal irrigation started after three consecutive weeks with no precipitation (usually during March – April) and ceased after the first significant rainfall (at least 20 mm, usually occurring in October – November). Weekly irrigation quantity was according to local commercial practice, determined according to return the potential evapotranspiration, calculated by a modified Penman-Monteith method (Allen et al., 1998), multiplied by a crop coefficient ranging within the season between 0.27–0.70. Meteorological data was obtained from a nearby station (Negba) of the Israeli Ministry of Agriculture and Rural Development. Annual irrigation amounts varied from 480 to 620 mm. Average winter precipitation was 487 mm, falling mainly between October to April. Additional precipitation and temperature data is presented as supplementary material (Figure S1). Fertilizers were applied continuously through the irrigation system (fertigation), starting at the beginning of the seasonal irrigation and during each irrigation until annual target application levels were completed at the end of August.

Differential annual amounts of N fertilization, 0, 75, 150 and 300 kg N hectare⁻¹ season⁻¹ (designated: N0,40, N75, N150, N300, respectively), began in June 2011 and were implemented over a period of six consecutive years until 2016 season (including). During the experiment, trees in the plots receiving the 0 kg N hectare⁻¹ treatment appeared to be in poor condition, exhibiting severe N deficiency symptoms. Therefore, in the 2015 and 2016 seasons their N fertilization was adjusted to 40 kg hectare⁻¹ and the treatment was designated N0,40. Each fertilization level (treatment) had a separate computer controlled and monitored irrigation and fertilization (fertigation) system including a unique liquid fertilizer container. The liquid fertilizers were prepared according to each treatment's specifications and supplied by Israel Chemicals Ltd (ICL). Each fertilizer was compiled such that annual application per hectare included, in addition to the N portion, 250 kg potassium (K), 35 kg phosphorus (P), 3.8 kg iron (Fe), 1.9 kg zinc (Zn), 940 g manganese (Mn), 140 g copper (Cu) and 100 g molybdenum (Mo). The ratios between nutrients were constant except N, which was the tested variable and was provided as 50% ammonium and 50% nitrate.

Based on the amounts of fertilizer and water applied, average K and P concentrations in the irrigation water were about 50 and 7 ppm, respectively. Nitrogen concentrations were about 8 (in the seasons 2014–2016), 15, 30 and 60 ppm for the N0,40, N75, N150 and N300 treatments, respectively. To ensure accuracy, irrigation solution was sampled from drippers every two weeks, from two plots of each N level and nutrient concentrations were validated. In the season prior to the initiation of the experiment (2010), the orchard was fertilized constantly by fertigation during the irrigation season with annual amounts of 250 kg N, 175 kg K hectare⁻¹, and no P.

2.2. Measurements

2.2.1. Leaf N concentration

Each July, about 100 fully developed leaves from current season growth of shoots with no fruit were sampled per tree. Leaves were rinsed in distilled water, dried at 70 °C and ground to powder in a mill.

Powder (0.1 g) was digested with sulfuric acid and hydrogen peroxide (Merck, Darmstadt, Germany; Snell and Cornelia Snell, 1954). Nitrogen concentration in the aquatic extraction was determined colorimetrically (Gallery Plus Automated Photometric Analyzer, Thermo Scientific), and percentage of N in leaf dry matter was calculated.

2.2.2. Vegetative growth

Every spring from 2011 to 2017 tree trunk circumference was measured at a marked point about 50 cm above ground. Increase in circumference from spring 2011 to spring 2017 was divided by the initial circumference measured in spring 2011 and transformed to percentage to express the relative increase over the six years. Following harvests in the 2014–2015 seasons (January–February 2015–2016), a professional crew pruned the trees. Pruning material of each tree was shredded and weighed.

2.2.3. Flowering and fruit set

At flowering time, trees were given a visual score ranging from 0 to 5, with '5' representing the highest flowering intensity. In the 2014–2015 seasons, flowering was also assessed as the rate of reproductive buds in pre-selected shoots. Before flowering initiation, six shoots per tree were selected and marked for the survey. At flowering, the total number of buds in the shoot section that grew over the previous season and the number of buds that initiated reproductively were determined. The number of reproductive buds was divided by the total number of buds in the shoot section to produce the rate of reproductive buds.

To characterize flowering quality, a sample of ten inflorescences was collected from each tree. In each inflorescence, the numbers of flowers and perfect flowers were counted and used to calculate the average number of flowers per inflorescence and rate of perfect flowers. To determine the rate of fruit set, six shoots were selected per tree and the number of inflorescences in each shoot was recorded. Three months later (July), shoots were further surveyed and the number of fruit per inflorescence was calculated. The number of inflorescences in the shoot was converted to number of flowers, and percentage of fruit set was calculated.

2.2.4. Yields

Under low fruit load, fruit tends to ripen earlier (Dag et al., 2011). Therefore, in order to harvest the fruit at the most uniform maturity level, trees were divided into categories of high or low fruit load before harvest and the low fruit load trees were harvested at an earlier date. Each fruit load category was harvested when 50% of the fruit started to turn from green to purple. Fruit was removed from individual trees by a mechanical trunk-shaker with simultaneous rod beating. Average weight of a single fruit was calculated from a sample of 100 fruit per tree. Estimated number of fruit per tree was calculated by dividing fruit yield weight by the average single fruit weight. Fruit oil content was determined for each tree from a sample of fruit taken at harvest and crushed to paste in a laboratory mill (Abencor System; mc2, Ingenieria y sistemas, Seville, Spain). The olive paste oil content was measured by a calibrated NIR system (Near Infrared analysis; OliveScan, Foss, Hilleroed, Denmark; Zipori et al., 2016). Tree-scale oil yields were calculated by multiplying fruit yield weight with specific fruit oil content.

2.3. Data analysis

To overcome possible delayed effects of treatments due to initial N in the trees and soil, the effect of the N fertilization level was studied following two consecutive years of treatment application (2011–2012). In order to normalize effects of biannual bearing and reduce the resulting variance, means of pruning material weight, yields, fruit size and flowering intensity were calculated with data of two or four consecutive seasons. In order to overcome variance due to flowering intensity, only trees that flowered at medium to high intensities were

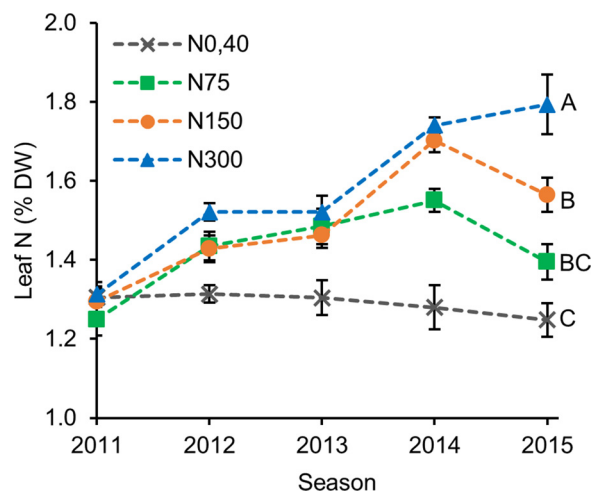


Fig. 1. Effect of N fertilization on leaf N concentration. Experiment plots were fertilized with annual amounts of 0 (40 in 2015–2016 seasons), 70, 150 or 300 kg N hectare⁻¹. Leaf N concentration was determined as percentage of leaf dry weight (DW) sampled during July. Numbers are mean values of 14 replicates (trees) $\pm$ standard error of the mean (bars). Different letters indicate a statistical significant difference between N levels in July 2015 according to Tukey-Kramer HSD test ($P \leq 0.05$).

analyzed for number of flowers in an inflorescence, rate of perfect flowers and rate of fruit set.

Data was analyzed by one-way analysis of variance (ANOVA), using JMP software version 13 (SAS Institute, Cary, NC, USA). Significant differences were determined by Tukey-Kramer honest significant difference (HSD) or Hsu's multiple comparisons with the best (MCB) test, at $P \leq 0.05$.

3. Results

3.1. Leaf N concentration

At the beginning of the experiment (July 2011), leaf N concentration was similar for all treatments (1.3%; Fig. 1). A year later (July 2012), leaf N concentration had responded to the N fertilization treatments. Highest concentration of N in leaves was found in response to the highest fertilization level (N300) and lowest where N was not applied (N0,40; Fig. 1). As the experiment progressed, differences increased and concentrations reflected the levels of N fertilization. After four consecutive years of the fertilization treatment, mean concentration in the N300 level reached 1.79% while in the N0,40 level mean concentration decreased to 1.25% (Fig. 1).

3.2. Vegetative growth

During the six years, from the beginning of the experiment till spring 2017, the mean relative increase in trunk circumference for the N0,40 level was the lowest (64%; Fig. 2a), and was respectively higher for trees receiving the higher N levels, reaching a mean of 77% in the N300 level (Fig. 2a). The mean pruning material weight corresponded to the N fertilization levels (Fig. 2b), similar to the increase in trunk circumference. Differences between pruning weights are not statistically significant due to high variance.

3.3. Yields

In the first two seasons of the treatment application, fruit and oil yields were similar among the N fertilization levels (Fig. 3a, b). In the subsequent four seasons, tree mean fruit and oil yields were lowest for the N0,40 level and highest for the two intermediate N levels (Fig. 3c,

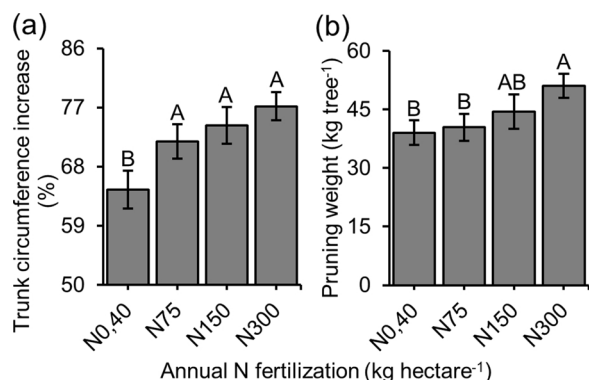


Fig. 2. Effect of N fertilization on vegetative growth. Experiment plots were fertilized with annual amounts of 0 (40 in 2015–2016 seasons), 70, 150 or 300 kg N hectare⁻¹. (a) Relative increase in trunk circumference over six years, from spring 2011 (before initiation of the treatment) to spring 2017. (b) Mean annual pruning material weight following 2014–2015 seasons. Numbers are mean values of 14 replicates (trees) $\pm$ standard error of the mean (bars). Different letters indicate a statistical significant difference according to Hsu's MCB test ($P \leq 0.05$).

d). Fruit yield of the N150 level was 47% higher than for the lowest N level (Fig. 3c). Unlike the vegetative growth, in the N300 level there was a reduction of 15% in fruit yield relative to the N150 level, however that decrease was not statistically significant (P -value = 0.13; Fig. 3c). In contrast, the average weight of a single fruit was highest for the N0,40 level (Fig. 3e). Fruit number per tree was affected by N treatment in a trend similar to that found for yield, with a peak for the N150 trees (Fig. 3f). Seasonal fruit yields are presented as supplementary material (Table S2).

3.4. Flowering and fruit set

The effect of N fertilization on flowering was similar in both assays conducted, the visual estimate (Fig. 4a) and the rate of reproductive buds (Fig. 4b). Trees at the N0,40 level flowered at the lowest intensity (Fig. 4a, b) while, for the intermediate N150 level, trees produced the highest flowering (Fig. 4a, b). Similar to the yield components, the N300 level generated a non-significant reduction in flowering (Fig. 4a, b).

The number of fruit generated in an inflorescence was the highest for the intermediate N levels, reaching an average of 1.05 fruit per inflorescence at the N150 level (Fig. 4c). For the N0,40 level the reduction was the most severe, with an average of 0.66 fruit per inflorescence and the trend of a slight reduction at the N300 level once again observed (Fig. 4c). These differences cannot be explained by different numbers of flowers in the inflorescences, as this number did not vary much among N levels (Fig. 4d). However, the rate of perfect flowers was reduced significantly by the N0,40 level (Fig. 4e), leading to a smaller number of fertile flowers in inflorescences. The same recurring trend was found for general fruit set, with the lowest performance in the N0,40 level, N150 having a superior level, and the N300 level inducing a slight reduction (Fig. 4f).

3.5. Alternate bearing

Among trees producing non-varied medium fruit load (24–50 kg tree⁻¹; on-year; Fig. 5a), following-season flowering was significantly different between treatments (Fig. 5b). Trees receiving the two higher N levels (N150 and N300) produced the highest flowering intensity in the following season and flowering was lower in the two lower N levels, with the N0,40 level generating a significant reduction in flowering (Fig. 5b). It appears that trees receiving higher levels of N fertilization were less susceptible to the inhibitory effect of fruit load on following

season flowering, and thus less susceptible to alternate bearing.

4. Discussion

In a study with container-grown olive trees, Erel et al. (2008) found a solid positive correlation between N concentration in the irrigation solution and leaf N concentration. In our experiment, mean leaf N concentration increasingly corresponded to the level of N fertilization over time (Fig. 1), indicating that the fertilization treatments indeed affected N availability and tree nutritional status. In trees where leaf N concentration was below 1.3% productivity decreased substantially, whereas above 1.75% there was no increase recorded (Fig. 6). These values correspond to the values found for container-grown olive trees (Erel et al., 2013b) and in the literature for olive (López-Villalta and Muñoz-Cobo, 1996; Therios, 2009). Nevertheless, the coefficient of the correlation between tree productivity and leaf N was relatively low (Fig. 6). In our experimental layout of field-grown trees, factors other than N may have limited performance and thus masked the effects of N availability on tree productivity.

Vegetative growth is the platform for the following season productivity, thus its promotion is in general positive. The quantification of vegetative growth vigor by the increase in tree trunk circumference and pruning material in the current experiment indicates that higher N availability promotes vegetative development, similar to findings of previous studies in olive and other plant species (Erel et al., 2013b; Hawkesford et al., 2012; Therios and Sakellariadis, 1988). This is not surprising, as N availability to roots is considered a decisive factor for plant growth (Hawkesford et al., 2012).

Nitrogen availability also affected tree productivity and increased fruit yield by as much as 47% (Fig. 3c). This demonstrates the importance of N fertilization in intensive olive cultivation, as opposed to previous reporting regarding olive cultivation under traditional management conditions (Fernández-Escobar, 2011; Fernández-Escobar et al., 2009a; Fernández-Escobar and Marin, 1997). In the first two seasons of our experiment, fruit and oil yields were similar regardless of the N fertilization (Fig. 3a, b). Thus, even with no N fertilization, tree and soil N pools were apparently sufficient to support productivity for two seasons. This delayed response of the trees to the fertilization demonstrates the importance of long-term field experiments.

Effect on fruit development cannot explain the differences in yields since fruit size was highest for the N level producing the lowest yields (N0,40; Fig. 3e). Differences can however be attributed to the number of fruit per tree, with differences between N levels reaching 76% (Fig. 3f). Both flowering intensity and fruit set were affected by N level in a similar trend to yield (Fig. 4a, f), suggesting that these were the major attributers to the yield response. The number of flowers in an inflorescence in our study was not affected (Fig. 4d), and thus cannot be accountable for the significant difference in fruits per inflorescence. The significantly reduced rate of the fruit-producing perfect flowers at the N0,40 level (Fig. 4e) compared to the other N levels indeed does explain the general response.

Our results suggest that the combination of a significant lower rate of fruit set with a reduction in the general number of flowers and in perfect flowers is accountable for the effect of N availability on the number of fruit per tree and subsequent yields. Nitrogen is a basic component in nucleic-acids, amino-acids and hence proteins, enzymes and chlorophyll (Raven et al., 2004), and therefore essential to most biological processes. Nitrogen deficiency can impair various physiological processes in the tree, lowering its fitness (Hawkesford et al., 2012). Trees may respond to N deficiency stress by down-regulating productivity, possibly as a means to economize resources. Such economizing of resources is demonstrated in olive through the effect of flowering density and distribution on the rate of fruit set (Lavee et al., 1999; Suarez et al., 1984).

Under low N availability, subsequent-season flowering among trees with similar fruit loads was relatively lower and hence alternate bearing

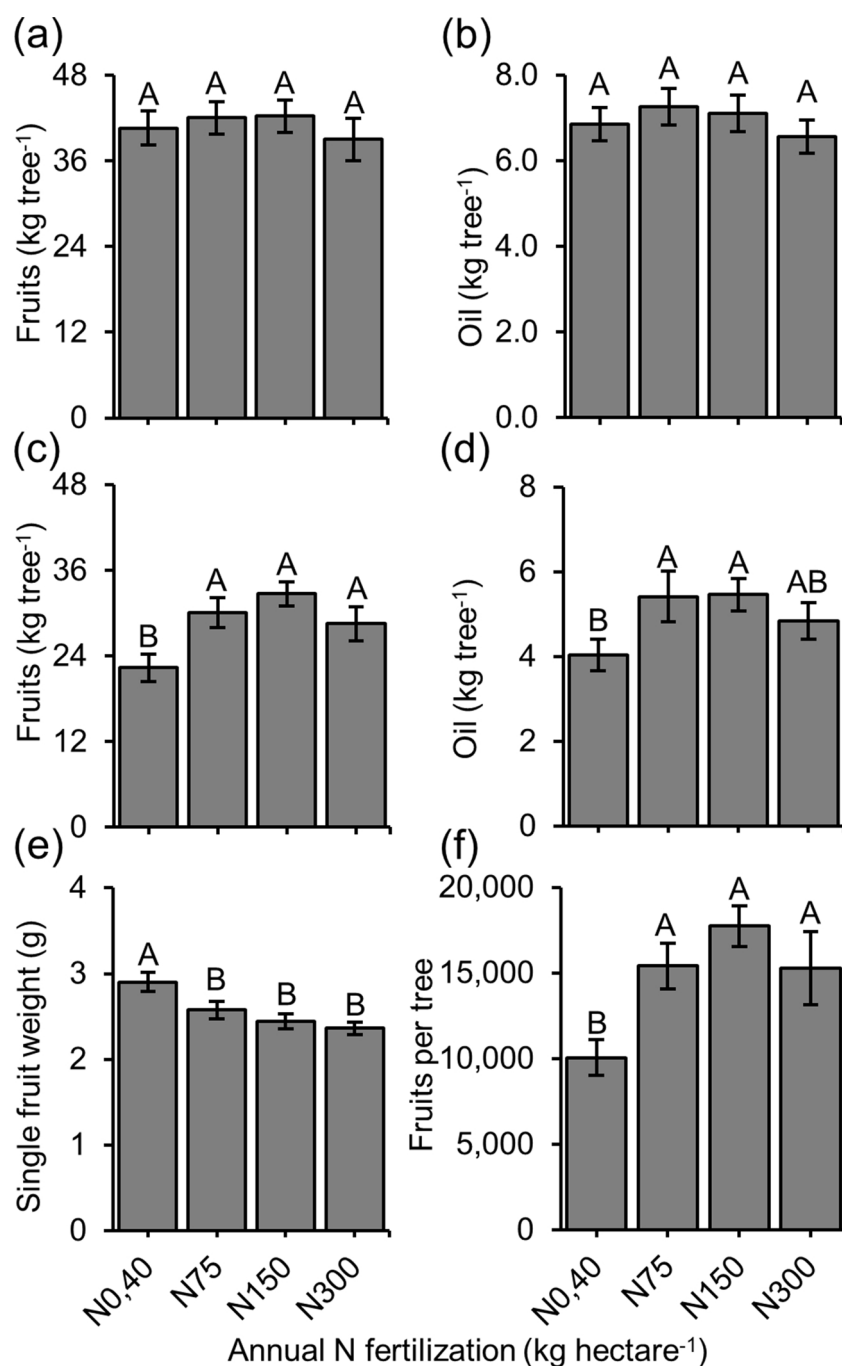


Fig. 3. Effect of N fertilization on yields. Experiment plots were fertilized with annual amounts of 0 (40 in 2015–2016 seasons), 70, 150 or 300 kg N hectare⁻¹. Mean annual fruit (a, c) and estimated oil (b, d) yield, in 2011–2012 (first two seasons of the experiment; a–b) and 2013–2016 (c–d) seasons. (e) Average single fruit weight, in 2013–2016 seasons. (f) Estimated annual number of fruit per tree for 2013–2016 seasons. Numbers are mean values of 14 replicates (trees) $\pm$ standard error of the mean (bars). Different letters indicate a statistical significant difference according to Hsu's MCB test ($P \leq 0.05$).

intensity was stronger (Figure 5). In a study on the interaction between fruit load and macro-element concentrations in fertiligated olive trees, [Bustan et al. \(2013\)](#) found that N concentrations in trees were generally unaffected by fruit load. Perhaps tree fitness and thus reproductive proficiency are reduced by both low N availability and high fruit load. This may be an example of a synergetic impact of the two on reproductive regulation. Overall, well-fertilized trees appear to be less susceptible to alternate bearing.

The N300 level was the most favorable for vegetative growth ([Fig. 2](#)). However, yields at this level were slightly lower than for the N150 treatment. A similar phenomenon was reported for container-grown trees, where a significant reduction in fruit number was observed

in response to the highest N level (14 mM N; [Erel et al., 2013b, 2008](#)). In addition to reducing yields, excessive N fertilization contributes to groundwater contamination ([Hallberg, 1987](#)) and can negatively affect olive oil quality ([Dag et al., 2009](#); [Erel et al., 2013a](#); [Fernández-Escobar et al., 2006](#)).

The recurring trend of the N level influence on various measures of tree productivity is in accordance to the classic description of relationships between plant performance and nutrient supply, characterized by deficient, adequate and toxic ranges ([Römheld, 2012](#)). The N300 level might be in the toxic range and thus reduce yields. Possibly, this toxicity led to down-regulation of flowering and fruit set ([Fig. 4a, f](#)). [Fernández-Escobar et al. \(2008\)](#) reported that excess N led to

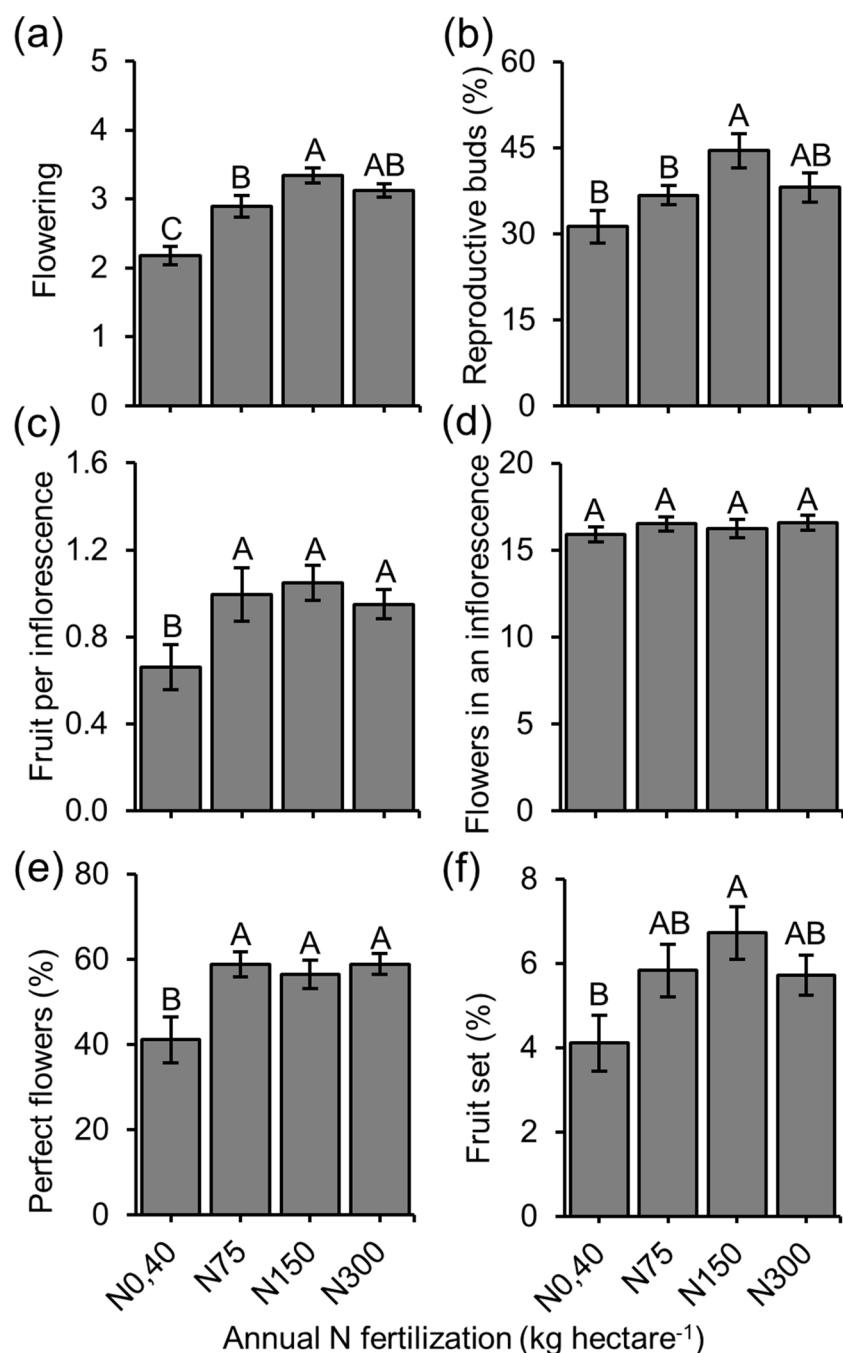


Fig. 4. Effect of N fertilization on flowering and fruit set. Experiment plots were fertilized with annual amounts of 0 (40 on 2015–2016 seasons), 70, 150 or 300 kg N hectare⁻¹. (a) Mean seasonal flowering intensity estimate (on a scale of 0–5, ‘5’ representing the highest flowering intensity), for 2014–2017 seasons. (b) Mean rate of reproductive buds in 2014–2015 seasons. (c–f) Trees that flowered at medium to high intensities (index of 3–5) on seasons 2014–2017. (c) Number of fruits produced per inflorescence. (d) Number of flowers in an inflorescence. (e) Rate of perfect flowers. (f) Rate of fruit set. Numbers are mean values of 14 (a–b) or 17–28 (c–f) replicates (trees) $\pm$ standard error of the mean (bars). Different letters indicate a statistical significant difference according to Hsu's MCB test ($P \leq 0.05$).

reduced ovule longevity that may impair fruit set. The mechanism of plant reaction to N surplus is not clear (Hawkesford et al., 2012). Hypothetically, the toxicity may be in part the result of excessive consumption of carbohydrates in the roots for N assimilation and translocation causing energetic limitations (Finnemann and Schjoerring, 1999).

Regardless of the N fertilization level, tree-level seasonal fruit yields appeared to have decreased over the duration of the experiment (Fig. 3a, c and Table S2). Evaluating the yields in the first seasons of the experiment (2011–2012), we find that yields were high (14.8 ton hectare⁻¹) relative to the average yield of Barnea olives cultivated in Israel (~11 ton hectare⁻¹). Trees in the experiment were planted in 2007, so in seasons 2011–2012 the orchard was four-five years old, an age when Barnea olives orchards in Israel usually reach their maximum productivity. In the following seasons, yields were lower and similar to average yields in Israel. This decrease in yield throughout the

experiment's seasons can probably be attributed to the entering of the trees to alternate bearing.

Olive trees have an exceptional ability to grow and survive in marginal infertile soils under arid conditions (Fernández, 2014; Therios, 2009). In accordance, traditional olive cultivation management is characterized by minimal intervention. In a long-term experiment in traditionally grown rain-fed orchards, N fertilization had no effect on the trees (Fernández-Escobar et al., 2009a), supporting the common notion that annual application of N is unnecessary for maintaining olive orchard productivity (Fernández-Escobar, 2011). Perhaps in traditional cultivation management tree performance is down-regulated due to other limiting factors, such as water availability. Under intensive cultivation, where the management includes irrigation, the contribution of fertilization, as reported here, becomes pertinent and valuable.

The highest mean yields in our experiment, where N was applied

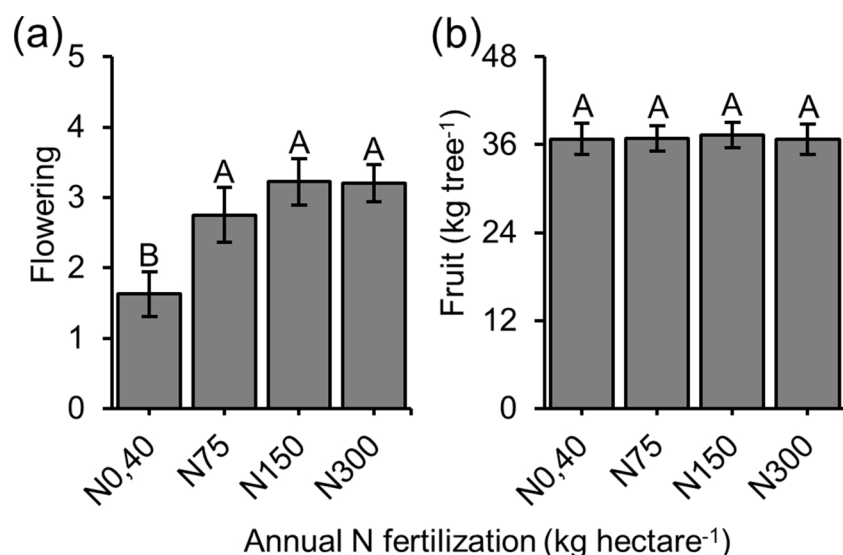


Fig. 5. Effect of N fertilization on alternate bearing. Experiment plots were fertilized with annual amounts of 0 (40 in 2015–2016 seasons), 70, 150 or 300 kg N hectare⁻¹. Following season flowering intensity (a) in trees that bore in 2013–2016 seasons a medium fruit load (24–50 kg tree⁻¹); b). Numbers are mean values of 15–20 replicates (trees) $\pm$ standard error of the mean (bars). Different letters indicate a statistical significant difference according to Hsu's MCB test ($P \leq 0.05$).

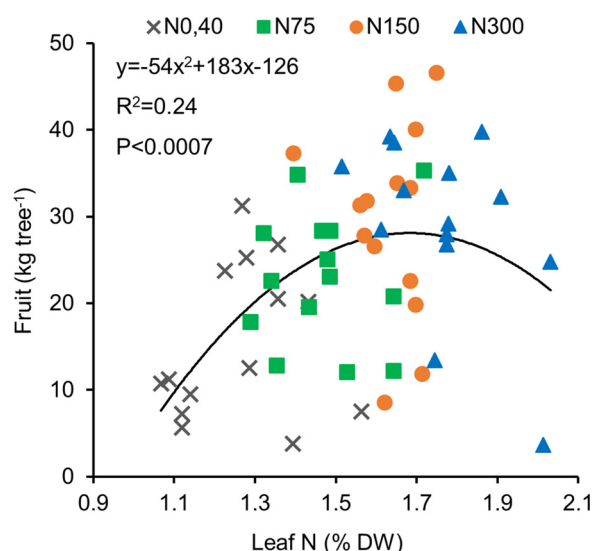


Fig. 6. Correlation of fruit yield to leaf N concentration. Mean leaf N concentration for 2014–2015 seasons per tree, determined as percentage from leaves dry weight (DW) sampled during July. Mean annual fruit yield of 2015–2016 seasons. Each marker represents a single tree.

constantly by fertigation during the irrigation season, were produced at the N150 level (Fig. 3c). On one hand, under lower inadequate N fertilization, long-term yields might be reduced significantly. On the other hand, excess N fertilization might damage oil quality (Dag et al., 2009; Erel et al., 2013a; Fernández-Escobar et al., 2006), generate excessive spending on fertilizer, lead to groundwater contamination (Hallberg, 1987), and perhaps even reduce yields. Optimal fertilization levels likely will be site-specific and proper fertilization should be adjusted to an orchard's characteristics, including planting density, soil type and water properties.

5. Conclusions

The results of this study, showing a clear optimal level of N fertilization for maximizing olive yield of field-grown trees in a commercial orchard, tender N fertilization recommendations for olive in intensive cultivation. In addition, the current results support previous findings from container-grown olive trees (Erel et al., 2013b, 2008). Together, the studies validate the ability of fine-tuned, controlled experimental

systems to simulate relevant growing parameters and reinforce the importance of intelligent N fertilization as an integral part of orchard management in intensive cultivation.

Funding

This work was supported by The Chief Scientist of Israeli's Ministry of Agriculture and Rural Development (projects #301-0690 and #301-0789).

Declarations of interest

None.

Acknowledgements

We thank the staff at the Gilat Research Center, Inna Faingold, Yulia Subbotin, Ludmila Yusupov, Eugene Presnov (RIP), Talal Huashla, Moshe Aharon and Ameer Al-Krenawi for technical support in the lab and field. Special thanks to Gadash Deganim for providing the orchard management, to Israel Chemicals Ltd (ICL) for providing the fertilizers and to Uri Mezuman (ICL) for composing the fertilizer solutions.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary material related to this article can be found, in the online version, at doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.055>.

References

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines For Computing Crop Water Requirements-Fao Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome 300, D05109.
- Bar-Yosef, B., 1999. Advances in fertigation. Adv. Agron. 65, 1–77. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60910-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60910-4).
- Ben-Gal, A., Yermiyahu, U., Zipori, I., Presnov, E., Hanoch, E., Dag, A., 2011. The influence of bearing cycles on olive oil quality response to irrigation. Irrig. Sci. 29, 253–263.
- Bustan, A., Avni, A., Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., Riov, J., Erel, R., Zipori, I., Dag, A., 2013. Interactions between fruit load and macroelement concentrations in fertigated olive (*Olea europaea* L.) trees under arid saline conditions. Sci. Hortic. (Amst.) 152, 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.013>.
- Centeno, A., García, J.M., Gómez-del-campo, M., 2017. Effects of nitrogen fertilization and nitrification inhibitor product on vegetative growth, production and oil quality in 'Arbequina' hedgerow and 'Picual' vase-trained orchards. Grasas Y Aceites 68, 1–13. <https://doi.org/10.3989/gya.0441171>.
- Covas, M.-I., Ruiz-Gutiérrez, V., De La Torre, R., Kafatos, A., Lamuela-Raventós, R.M., Osada, J., Owen, R.W., Visioli, F., 2006. Minor components of olive oil: evidence to

- date of health benefits in humans. *Nutr. Rev.* 64, 20–30. <https://doi.org/10.1301/nr.2006.oct.S20-S30>.
- Dag, A., Ben-David, E., Kerem, Z., Ben-Gal, A., Erel, R., Basheer, L., Yermiyahu, U., 2009. Olive oil composition as a function of nitrogen, phosphorus and potassium plant nutrition. *J. Sci. Food Agric.* 89, 1871–1878. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3664>.
- Dag, A., Bustan, A., Avni, A., Zipori, I., Lavee, S., Riov, J., 2010. Timing of fruit removal affects concurrent vegetative growth and subsequent return bloom and yield in olive (*Olea europaea* L.). *Sci. Hort.* 123, 469–472. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.11.014>.
- Dag, A., Kerem, Z., Yogev, N., Zipori, I., Lavee, S., Ben-David, E., 2011. Influence of time of harvest and maturity index on olive oil yield and quality. *Sci. Hort.* (Amst.) 127, 358–366. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.11.008>.
- Duarte, F., Jones, N., Fleskens, L., 2008. Traditional olive orchards on sloping land: sustainability or abandonment? *J. Environ. Manage.* 89, 86–98. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.05.024>.
- Erel, R., Dag, A., Ben-gal, A., Box, P.O., Yermiyahu, U., Negev, M.P., 2008. Flowering and fruit set of olive trees in response to nitrogen, phosphorus, and potassium. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 133, 639–647.
- Erel, R., Kerem, Z., Ben-Gal, A., Dag, A., Schwartz, A., Zipori, I., Basheer, L., Yermiyahu, U., 2013a. Olive (*Olea europaea* L.) tree nitrogen status is a key factor for olive oil quality. *J. Agric. Food Chem.* 61, 11261–11272. <https://doi.org/10.1021/jf4031585>.
- Erel, R., Yermiyahu, U., Van Opstal, J., Ben-Gal, A., Schwartz, A., Dag, A., 2013b. The importance of olive (*Olea europaea* L.) tree nutritional status on its productivity. *Sci. Hort.* (Amst.) 159, 8–18. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.04.036>.
- European Commission, 2012. Economic Analysis of The Olive Sector. Directorate-General for Agriculture and Rural Development.
- Fernández-Escobar, R., 2011. Use and abuse of nitrogen in olive fertilization. *Acta Hort.* 888, 249–258. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.888.28>.
- Fernández-Escobar, R., Beltrán, G., Sánchez-Zamora, M.A., García-Novelo, J., Aguilera, M.P., Uceda, M., 2006. Olive oil quality decreases with nitrogen over-fertilization. *HortScience* 41, 215–219.
- Fernández-Escobar, R., Marin, L., 1997. Nitrogen fertilization in olive orchards. III International Symposium on Olive Growing 474. pp. 333–336.
- Fernández-Escobar, R., Marin, L., Sánchez-Zamora, M.A., García-Novelo, J.M., Molina-Soria, C., Parra, M.A., 2009a. Long-term effects of N fertilization on cropping and growth of olive trees and on N accumulation in soil profile. *Eur. J. Agron.* 31, 223–232. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.08.001>.
- Fernández-Escobar, R., Ortiz-Urquiza, A., Prado, M., Rapoport, H.F., 2008. Nitrogen status influence on olive tree flower quality and ovule longevity. *Environ. Exp. Bot.* 64, 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.04.007>.
- Fernández-Escobar, R., Parra, M.A., Navarro, C., Arquerio, O., 2009b. Foliar diagnosis as a guide to olive fertilization. *Span. J. Agric. Res.* 7, 212–223. <https://doi.org/10.5424/sjar/2009071-413>.
- Fernández, J.E., 2014. Understanding olive adaptation to abiotic stresses as a tool to increase crop performance. *Environ. Exp. Bot.* 103, 158–179. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.12.003>.
- Ferreira, J., García-Ortiz, A., Frias, L., Fernández, A., 1986. Los nutrientes N, P, K en la fertilización del olivar. *Olea* 17, 141–152.
- Finnemann, J., Schjoerring, J.K., 1999. Translocation of NH₄ in oilseed rape plants in relation to glutamine synthetase isogene expression and activity. *Physiol. Plant.* 469–477.
- Griggs, W.H., Hartmann, H.T., Bradley, M.V., Iwakiri, B.T., Whisler, J.E., 1975. Olive pollination in California. *Bull. Calif. Agric. Exp. Stn.* 869.
- Haberman, A., Bakhshian, O., Cerezo-Medina, S., Paltiel, J., Adler, C., Ben-Ari, G., Mercado, J.A., Pliego-Alfaro, F., Lavee, S., Samach, A., 2017. A possible role for flowering locus T-encoding genes in interpreting environmental and internal cues affecting olive (*Olea europaea* L.) flower induction. *Plant Cell Environ.* 40, 1263–1280. <https://doi.org/10.1111/pce.12922>.
- Hallbrg, G.R., 1987. The impacts of agricultural chemicals on ground water quality. *GeoJournal* 15, 283–295. <https://doi.org/10.1007/BF00213456>.
- Hartmann, H.T., 1958. Some responses of the olive to nitrogen fertilizers. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 257–266.
- Hartmann, H.T., Panetsos, C., 1961. Effect of soil moisture deficiency during floral development on fruitfulness in the olive. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 209–217.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Möller, I.S., White, P., 2012. Functions of macronutrients, in: *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3rd Ed. Elsevier, pp. 135–189.
- International Olive Oil Council, 2017. Market Newsletter No 121. November 2017. .
- Kirkby, E., 2012. Introduction, Definition and Classification of Nutrients, in: *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3rd Ed. Elsevier Ltd, pp. 3–5. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00001-7>.
- Lavee, S., 2007. Biennial bearing in olive (*Olea europaea*). *Ann. Ser. Hist. Nat.* 17, 101–112.
- Lavee, S., 1996. Biology and physiology of the olive, in: *World Olive Encyclopaedia*. International Olive Oil Council, Madrid, pp. 59–110.
- Lavee, S., 1989. Aims, methods and advances in breeding of new olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Acta Horticulturae* 23–40.
- Lavee, S., Haskal, A., Wodner, M., 1986. Barnea' a new olive cultivar from first breeding generation. *Olea* 17, 95–99.
- Lavee, S., Rallo, L., Rapoport, H.F., Troncoso, A., 1999. The floral biology of the olive II. The effect of inflorescence load and distribution per shoot on fruit set and load. *Sci. Hort.* (Amst.) 82, 181–192. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00057-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00057-6).
- Lavee, S., Rallo, L., Rapoport, H.F., Troncoso, A., 1996. The floral biology of the olive: effect of flower number, type and distribution on fruitset. *Sci. Hort.* (Amst.) 66, 149–158. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(96\)00941-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(96)00941-7).
- León, L., De La Rosa, R., Barranco, D., Rallo, L., 2007. Breeding for early bearing in olive. *HortScience* 42, 499–502.
- Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R., Alpert, P., Artale, V., Li, L., Luterbacher, J., May, W., Trigo, R., Tsimplis, M., Ulbrich, U., Xoplaki, E., 2006. The Mediterranean climate: an overview of the main characteristics and issues. In: Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R. (Eds.), *Mediterranean Climate Variability. Developments in Earth and Environmental Sciences*. Elsevier, Amsterdam, pp. 1–26.
- López-Miranda, J., Pérez-Jiménez, F., Ros, E., De Caterina, R., Badimón, L., Covas, M.I., Escrich, E., Ordovás, J.M., Soriguer, F., Abiá, R., et al., 2010. Nutr. Metab. Cardiovasc. DisOlive Oil and Health: Summary of the II International Conference on Olive Oil and Health Consensus Report, Jaén and Córdoba (Spain) 2008/202010. Olive Oil and Health: Summary of the II International Conference on Olive Oil and Health Consensus Report, Jaén and Córdoba (Spain) 2008 20, 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2009.12.007>.
- López-Villalta, L.C., Muñoz-Cobo, M.P., 1996. Production techniques. *World Olive Encyclopedia*. International Olive Oil Council, Madrid, pp. 145–190.
- Martin, G., 1990. Olive flower and fruit population dynamics. *Acta Hort.* 286, 141–154.
- Morales-Sillero, A., Fernández, J.E., Ordovás, J., Suárez, M.P., Pérez, J.A., Liñán, J., López, E.P., Girón, I., Troncoso, A., 2009. Plant-soil interactions in a fertigated "Manzanilla de Sevilla" olive orchard. *Plant Soil* 319, 147–162. <https://doi.org/10.1007/s11004-008-9857-0>.
- Moriana, A., Orgaz, F., Pastor, M., Fereres, E., 2003. Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 128, 425–431.
- Naor, A., Schneider, D., Ben-Gal, A., Zipori, I., Dag, A., Kerem, Z., Birger, R., Peres, M., 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. *Irrig. Sci.* 31, 781–791. <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0363-z>.
- Rapoport, H.F., Hammami, S.B.M., Martins, P., Pérez-Priego, O., Orgaz, F., 2012. Influence of water deficits at different times during olive tree inflorescence and flower development. *Environ. Exp. Bot.* 77, 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.11.021>.
- Raven, J.A., Handley, L.L., Andrews, M., 2004. Global aspects of C/N interactions determining plant-environment interactions. *J. Exp. Bot.* 55, 11–25. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh011>.
- Reale, L., Sgromo, C., Bonofiglio, T., Orlandi, F., Fornaciari, M., Ferranti, F., Romano, B., 2006. Reproductive biology of olive (*Olea europaea* L.) DOP Umbria cultivars. *Sex. Plant Reprod.* 19, 151–161. <https://doi.org/10.1007/s00497-006-0032-6>.
- Römheld, V., 2012. Diagnosis of Deficiency and Toxicity of Nutrients, in: *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Elsevier, pp. 299–312.
- Samach, A., Smith, H., 2013. Constraints to obtaining consistent annual yields in perennials. II: environment and fruit load affect induction of flowering. *Plant Sci.* 207, 168–176.
- Seifi, E., Guerin, J., Kaiser, B., Sedgley, M., 2011. Sexual compatibility and floral biology of some olive cultivars. *New Zeal. J. Crop Hort.* 39, 141–151. <https://doi.org/10.1080/01140671.2011.560165>.
- Snell, F.D., Cornelia Snell, T., 1954. *Colorimetric Methods of Analysis*. D. Van Nostrand Company, Inc, New York.
- Suarez, M.P., Fernandez-Escobar, R., Rallo, L., 1984. Competition among fruits in olive II. Influence of inflorescence or fruit thinning and cross-pollination on fruit set components and crop efficiency. *Acta Hort.* 131–144.
- Therios, I., 2009. *Olive, Crop Production Science in Horticulture*. CAB.
- Therios, I.N., Sakellariadis, S.D., 1988. Effects of nitrogen form on growth and mineral composition of olive plants (*Olea europaea* L.). *Sci. Hort.* (Amst.) 35, 167–177. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(88\)90110-0](https://doi.org/10.1016/0304-4238(88)90110-0).
- Vossen, P., 2007. Olive oil: history, production, and characteristics of the world's classic oils. *HortScience* 42, 1093–1100.
- Vuletin Selak, G., Perica, S., Goreta Ban, S., Bucan, L., Poljak, M., 2012. Flower sterility and the germination ability of pollen as genetic traits of seven olive (*Olea europaea* L.) cultivars grown in Croatia. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 87, 237–242. <https://doi.org/10.1080/14620316.2012.11512858>.
- Zipori, I., Bustan, A., Kerem, Z., Dag, A., 2016. Olive paste oil content on a dry weight basis (OPDW): an indicator for optimal harvesting time in modern olive orchards. *Grasas Y Aceites* 67, 137. <https://doi.org/10.3989/gya.0764152>.
- Zipori, I., Yermiyahu, U., Erel, R., Presnov, E., Faingold, I., Ben-Gal, A., Dag, A., 2015. The influence of irrigation level on olive tree nutritional status. *Irrig. Sci.* 33, 277–287. <https://doi.org/10.1007/s00271-015-0465-5>.



אמנון הברמן

תגובת עצי זית לשמן בממשק אינטנסיבי לדישון חנקני

אמנון הברמן (amnonh@volcani.agri.gov.il), ארנון דג,
יצחק צפורי, נריה שטרן, רן אראל, אלון בן-גל, אורי ירמיהו /
מרכז מחקר גילת, מינהל המחקר החקלאי



צילום: אמנון הברמן

שלחין אינטנסיבי הכולל השקיה ודישון. מטעים בממשק אינטנסיבי מניבים עד פי 4 יותר ביחס למטעים מסורתיים, כך שרוב יכול השמן המסחרי בארץ מקורו ממטעים אינטנסיביים למרות חלקם הקטן מכלל השטח.

מרבית המידע שפורסם עד כה בנושא דישון בזית מתייחס לממשק בעל מסורתי, בו זמינות מים מהווה גורם מגביל מרכזי. בממשק אינטינסיבי, בו נהוג להשקות ולדשן לאורך כל עונת הגידול, התגובה לדישון עשויה להיות שונה. השפעת דישון על מטעי זית בממשק אינטנסיבי לא נלמדה עד כה בצורה מקיפה, אם כי נמצא שתחת השקיה זמינות יסודות ההזנה בקרקע עשויה להשתנות (1).

חנקן מיושם במטעי הזית בישראל ברמה גבוהה יחסית. בשנים קודמות, הנוחיות הדישון לממשק אינטנסיבי עמדו על כ-25 ק"ג חנקן צרוף/ד' לעונה. כמות זו מתורגמת במנת השקיה שנתית של 500 מ"מ לריכוז של כ-50 ח"מ במי ההשקיה. לריכוז זה מתווסף החנקן שנמצא במים, בטווח של 5 ח"מ במים שפירים ועד ל-30 ח"מ ויותר בקולחים.

במחקר קודם שנערך במרכז המחקר גילת בעצי זית במצע אינטינסי (פרלייט) במכלים, נמצא שעלייה בזמינות החנקן הובילה לעלייה משמעותית ביבול עד ערך אופטימלי שמעליו התקבלה פחיתה. השיעור זה הוסברה בעיקר בעוצמת הפריחה והחנטה ובעלייה בנשירת

ה תקציר

ידע הקיים בנושא תגובת עצי זית (*Olea europaea* L.) להזנה מינרלית בממשק שלחין אינטנסיבי מצומצם מאוד ומרביתו מבוסס על ממשק בעל מסורתי. במחקרים שנערכו עם עצי זית במכלים נמצא שלזמינות חנקן השפעה רבה על פוריות העצים, כאשר דישון בחוסר או בעודף הוביל לפחיתה ביבול. בעבודת המחקר הנוכחית נבדקה תגובת עצי זית במטע מסחרי אינטנסיבי לרמות שונות של דישון חנקן במהלך שש שנים, בהן סופק הדשן במי ההשקיה לאורך עונת הגידול. תוצאות ניסוי השדה תואמות לממצאים שהתקבלו בניסוי במכלים. אספקת חנקן במנה של כ-15 ק"ג/ד' לשנה לאורך עונת הגידול נמצאה מיטבית הן מבחינת היבול והן מבחינת צמצום הסירוגיות. דישון ביתר, יחד עם פגיעה באיכות השמן וזקק סביבתי, עלול להוביל לירידה ביבול.

מבוא

ענף הזית לשמן היווה גידול המטע הנרחב ביותר בישראל, כאשר כ-75% מהמטעים גדלים בממשק בעל מסורתי וכ-25% בממשק

בתמונה למעלה: תפוחות זית

חומרים כימיים בע"מ). לאחר שלוש עונות של טיפול הדישון, הע" צים שכלל לא דושונו בחנקן נראו במצב עקה חמור, אי לכך בעונות 2015/16 עודכנה רמת החנקן ל-4 ק"ג/ד' לעונה (רמת הטיפול הוג' דרה כ-0.4). לכל רמת טיפול נפרסה בשטח מערכת השקיה (טפ' טוף) נפרדת, שסיפקה יחד עם מי ההשקיה את מנת הדשן הרצויה (הדשיה) לשבע חלקות בכל טיפול. הניסוי הוצב בתבנית של בלוקים באקראי. מנת הדישון הוספה באופן פרופורציונלי למי ההשקיה, כך שריכוז המינרלים יהיה אחיד ורציף לאורך מרבית עונה ההשקיה. בכל אחת משש שנות הניסוי נאסף במהלך חודש יולי מעצי הדיגום בחלקות הניסוי מדגם של כ-100 עלים דיאגנוסטיים (העלים הצעיר' רים ביותר שהגיעו לגודל מלא, מעופים ללא פרי) ונקבע ריכוז החנקן בעלים. כל שנה באביב נמדד היקף הגזע של העצים וחושב הגידול במהלך הניסוי. בתקופת הפריחה בוצע אומדן חזותי של עוצמת הפ' ריחה לפי סקלה של 0 עד 5: 5 = עוצמת הפריחה הגבוהה ביותר. בנוסף נקבע מספר הפרחים בתפרחת ושיעור הפרחים השלמים במדגם של עשר תפרחות לעץ. כעבור כשלושה חודשים נקבע שי' עור החנסה במדגם של שישה ענפים לעץ שנבחרו וסומנו בזמן פרי' חה. העצים נמסקו בעזרת מנערת גזע מאספת, הפרי נשקל ברמת עץ בודד ונלקח מדגם לבדיקה של תכולת מיס ושמן בפרי במערכת NIR מכילת (אנליזה בספקטרום קרינה אינפרא אדום קרוב) (6).

תוצאות ודין

נהוג להעריך את מצב ההזנה בחנקן באמצעות בדיקת ריכוזו בע' לים דיאגנוסטיים במהלך חודש יולי. בתחילת הניסוי (יולי 2011) ריכוז החנקן בעלים דיאגנוסטיים מחלקות הניסוי השונות היה דומה (ראה טבלה). לאחר עונה אחת של טיפול הדישון ניתן היה לזהות הבדלים בריכוז החנקן בעלים בין רמות הדישון, כאשר בהמשך הניסוי ההב' דלים גדלו ושיקפו את רמת החנקן (טבלה). בעונות 2015 ריכוז החני קן בעלים מרמת הדישון הגבוהה ביותר (30 ק"ג/ד') הגיע לערך של 1.79%, בעוד שברמה הנמוכה ביותר (ללא תוספת חנקן עד 2014 ויישום של 4 ק"ג/ד' בעונות 2015/16) ירד לערך של 1.25% (טבלה). ערך זה נמצא מתחת לסף הרצוי ומעיד על מחסור בחנקן (7). ריכוזי החנקן שנמצאו בעלים העידו שזמינות החנקן לעצים אכן השתנתה בעקבות טיפול הדישון ובהתאם לרמות שניתנו.

טבלה מוצגת השפעת רמת הדישון בחנקן על ריכוז החנקן בעלים דיאגנוסטיים (%) מחומר יבש)

מנת חנקן שנתית (ק"ג/ד')	2011	2012	2013	2014	2015
0.4	1.30a	1.31b	1.30b	1.28a	1.25c
75	1.25a	1.43ab	1.48ab	1.55a	1.39bc
150	1.29a	1.43ab	1.46ab	1.70a	1.56b
300	1.31a	1.52a	1.52a	1.74a	1.79a

גידול נוף העץ נמצא במתאם גבוה לגידול בהיקף הגזע (8). בהתאם לכך, על מנת לאמוד את השפעת הדישון על הצימוח הוונטיבי, נמדד וחושב הגידול בהיקף הגזע של העצים. עם העלייה ברמת

פרי (2). בנוסף, בריכוזי החנקן הגבוהים נמצאה ירידה באיכות השמן (3). דישון חנקן עודף לא ניתן לאיתור בבדיקות מקובלות של עלים דיאגנוסטיים (2). תוצאות המחקר במכלים מעידות שלדישון בחנקן השפעה משמעותית על פוריות העץ ואיכות השמן (2, 3). מטרת המחקר הנוכחי הייתה להניח תשתית ידע לפיתוח ממשק הזנה מושכל לחנקן במטעי זית אינטנסיביים, כמו גם אימות תוצאות המחקר בעצים שגודלו במכלים, זאת כחלק מהמאמץ למקסם יכו' לים לאורך זמן, תוך צמצום פגיעה באיכות השמן ונוקים סביבתיים עקב שטיפת חנקות למי תהום (4). בדיווח הנוכחי מוצגות תוצאות היבול ומרכיבי הפוריות בלבד.



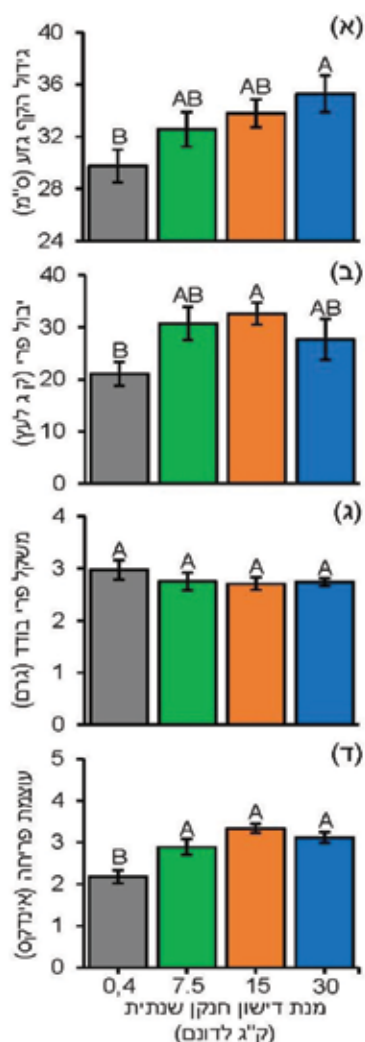
בתמונה:
ראש מערכת
ההשקיה בניסוי

צילום: נירה שטרן

שיטות וחומרים

המחקר נערך במטע זית מסחרי אינטנסיבי שניטע ב-2007 עם עצי 'ברנו' בשטחים של קיבוץ וגבה וסופל על ידי ג"ש דגנים (שותפות ג' דולי שדה של קיבוץ וגבה ומשואות יצחק). בתוך משבצת של כ-100 ד' נבחרו כ-30 ד' שחולקו לחלקות בנות 12 עצים (4X3), כאשר שני עצים במרכז החלקה, המוקפים בעצי שוליים, שימשו לדיגום ומדי' דות. במהלך עונת ההשקיה המטע הושקה פעמיים בשבוע במים שפירים. מנת ההשקיה נקבעה לפי החזר התאדות פוטנציאלית שחור' שב בשיטת פנמן-מונטיס (5) עם פקטור הגידול שמסופק על ידי שה"מ. מנת ההשקיה העונתית עמדה על ממוצע של כ-550 מ"מ. ניסוי הדישון החל ביוני 2011 וכלל ארבע רמות חנקן: 0, 7.5, 15 ו-30 ק"ג חנקן צרופ/ד' בעונה. מנת הדישון העונתית כללה בנוסף 8 ק"ג זרחן (P₂O₅) 30 ק"ג אשלגן (K₂O) ומיקרו-אלמנטים (קורטין), דשנים

איור 1: השפעת רמת הדישון בחנקן על גידול וגוטיבי ורפי הדוקטיבי



הערות:

- חלקות הניסוי דושו בארבע רמות חנקן שונות: 0,4 (ללא חנקן עד 2014, 4 ק"ג בעונות 2015/16), 7,5, 15 או 30 ק"ג חנקן צרופ/ד' בעונה;
א - גידול בהיקף גזע (ס"מ) מאביב 2011 ועד אביב 2017;
ב - ממוצע ארבע שנות (2013 עד 2016) של משקל היבול/עץ בעונה (ק"ג);
ג - משקל ממוצע של פרי בודד (ג') לפי מדגם של 100 פירות/עץ בעונות 2014/15;
ד - אומדן חזותי לרמת הפריחה של העצים לפי מדד של 0 עד 5 (= 5 = עוצמת הפריחה גבוהה ביותר);
- המספרים הם ממוצעים של שבע חזרות ביולוגיות (חלקות) $\pm$ שגיאת התקן של הממוצע (קווים אנכיים);
- אותיות לעזיות שונות מצביעות על הבדל מובהק סטטיסטי בין רמות הטיפול לפי מבחן Tukey-Kramer HSD ($P \leq 0.05$).

הדישון חלה עלייה בגידול היקף הגזע (איור 1א), נתון שמצביע על עלייה בצימוח הווגטיבי עם העלייה בזמיונות החנקן. ממוצע היבול העונתי שחושב מארבע עונות (2013 עד 2016) נמצא נמוך משמעותית ברמת הדישון הנמוכה ביותר (0,4), פחיתה של כ-35% ביחס לרמת הביניים של 15 ק"ג חנקן/ד' לעונה, שנמצאה כרמה המיטבית (איור 2ב). גם ברמת הדישון הגבוהה ביותר נמצאה פחיתה ביבול ביחס לרמה המיטבית (15%; איור 2ב), אם כי פחיתה זו אינה מובהקת סטטיסטית. מוגמה זאת תואמת לזו שהתקבלה בניסוי המכלים, שם התגובה לרמות הגבוהות של חנקן הובילה לפחיתה משמעותית ומובהקת ביבול (2, 8). תוצאות ניסוי השדה מצביעות על כך שלחנקן השפעה משמעותית על היבול, ודרושה מנה בטווח מתאים על מנת להבטיח יבול מיטבי, מתחת ומעל לטווח זה תיתכן פגיעה ברמת היבול.

לא נמצא הבדל משמעותי במשקל פרי בודד בין רמות הדישון (איור 1ג), כך שלא ניתן להסביר את ההבדלים ביבול עקב הבדלים בהתפתחות וגדילת הפירות. לעומת זאת, עוצמת הפריחה הושפעה מהטיפול ונמצאו הבדלים משמעותיים ובמגמה דומה להשפעה על היבול (איור 1ד). כך שניתן ליחס לעוצמת הפריחה חלק מהאחריות להבדלים ביבול. עוצמת פריחה היא למי עשה צפיפות התפרחות בעץ; מספר הפרחים בתפרחת לא נמצא שונה בין רמות הדישון (איור 2א). הפרחים בזית יכולים להיות שלמים (דו-מיניים) או זכריים שנוצרים בעקבות התנוונות עלי הפרח (האיבר הנקיב) (9). פרחים שלמים וזכריים מייצרים אבקה חיונית (10), אך כמובן שרק פרחים שלמים יכולים לחנוט פרי. שיעור הפרחים השלמים בעצים מרמת הדישון הנמוכה ביותר (0,4) היה נמוך משמעותית (איור 2ב). אם כן, מספר הפרחים שיכולים לחנוט פרי נמוך מאשר ברמות הדישון האחרות. שיעור הפרחים שחנוטו פרי הושפע משמעותית מרמות הדישון ושוב במגמה דומה להשפעה על היבול (איור 1ג). מכאן, שבנוסף להבדלים במספר הפרחים עקב עוצמת הפריחה ושיעור הפרחים השלמים, ניתן ליחס גם לשיעור החנוטה חלק בהשפעת הדישון על היבול, בדומה לתוצאות שהתקבלו בניסוי המכלים (2, 7).

לרמת הדישון בחנקן השפעה על ויסות הפוריות בעצים, שהתבטאה בעוצמת הפריחה, החנוטה ושיעור הפרחים השלמים. דוגמה נוספת לוויסות פוריות בזית היא תופעת הסירוגיות, בה עומס פרי בשנה אחת מעכב צימוח וגוטיבי ופריחה בשנה העוקבת (11). בעצים עם עומס פרי ביוני ואחיד בין רמות הדישון (24-50 ק"ג/גזע), עוצמת הפריחה באיב העוקב הייתה נמוכה משמעותית בעצים מרמות הדישון בהן זמיונות החנקן הייתה נמוכה (איור 2ד). נראה שעצים תחת עקה של מחסור בחנקן מראים נטייה גבוהה יותר לסירוגיות.

מסקנות

תוצאות המחקר בתנאי שדה מאששות את תוצאות המחקר שנערך עם עצים במכלים (2, 8). בניית תכנית דישון חנקן מתאימה היא תנאי הכרחי למימוש פוטנציאל היבול ולמיתון הנטייה לסירוגיות בגידול זית בממשק אינטיבי. דישון בחסר עלול להוביל לפחיתה בצימוח וביבול, ואילו דישון בעודף אף הוא עלול להוביל לירידה ביבול יחד עם פגיעה באיכות השמן (3) וזנק סביבתי (4). מנה של כ-15 ק"ג חנקן/ד' המסופקת בהדשה לאורך עונת הגידול נמצאה מתאימה ביותר לתנאי ממשק אינטנסיבי בישראל. יש להתאים מנה זו לאפייני המטע, כדוגמת סוג הקרקע ותרומת החנקן במי ההשקיה הזמין, ולבצע בקרה באמצעות דיגום עלים.

תודות

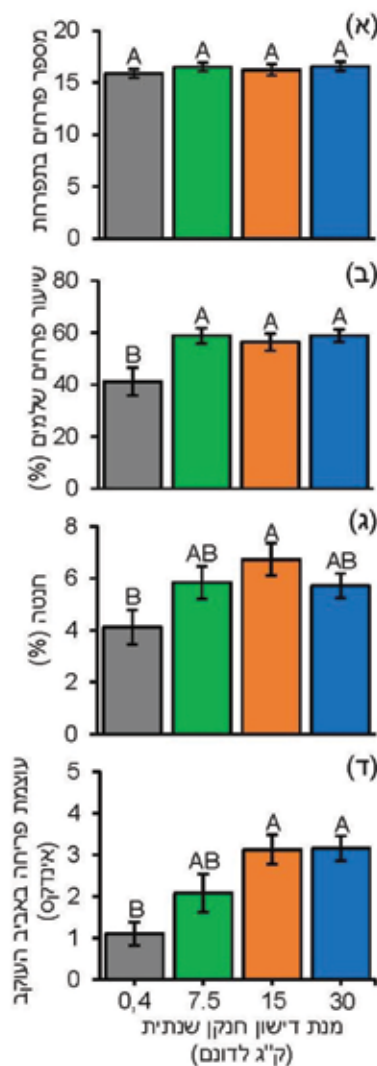
לגד"ש דגנים ובמיוחד ליוכל תור תודה על הטיפול במסע; לחב' דש' נים וחומרים כימיים בע"מ' תודה על אספקת הדשן; תודות ליליה סובוטין, אחמד הואשלה, יבגני פרסנוב ז"ל, אינה פיינגולד, לודמילה יוסופוב, משה אהרון, טלאל הואשלה ואמיר אלקרנאוי ממרכז המחקר גילת שנטלו חלק בעבודת השדה והמעבדה.
- המחקר בוצע במימון קרן המדען הראשי של משרד החקלאות.

רשימת ספרות

1. Zipori I., Yermiyahu U., Erel R., Presnov E., Faingold I., Ben-Gal A., Dag A. (2015): The influence of irrigation level on olive tree nutritional status. *Irrig. Sci* 33: 277-287.
2. Erel R., Yermiyahu U., Van Opstal J., Ben-Gal A., Schwartz A., Dag A. (2013): The importance of olive (*Olea europaea* L.) tree nutritional status on its productivity. *Sci. Hortic* 159: 8-18.
3. Dag A., Ben-David E., Kerem Z., Ben-Gal A., Erel R., Bashsheer L., Yermiyahu U. (2009): Olive oil composition as a function of nitrogen, phosphorus and potassium plant nutrition. *J. Sci. Food Agric* 89: 1871-1878.
4. Hallbrg G.R. (1987): The impacts of agricultural chemicals on ground water quality. *GeoJournal* 15: 283-295.
5. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998): Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and drainage paper* 56. FAO, Rome 300: D05109.
6. Zipori, I., Bustan, A., Kerem, Z., Dag, A. (2016): Olive paste oil content on a dry weight basis (OPDW): an indicator for optimal harvesting time in modern olive orchards. *Grasas y Aceites* 67.
7. López-Villalta L.C., Muñoz-Cobo M.P. (1996): Production techniques. In *World Olive Encyclopedia*. EGEDSA, Sabadell, Spain: 145-190.
8. Erel R. (2009): The effect of nitrogen, phosphorus and potassium nutrition on growth, yield and oil quality of olive (*Olea europaea*) growing under intensive regime. Master thesis, Hebrew University of Jerusalem.
9. Griggs W.H., Hartmann H.T., Bradley M.V., Iwakiri B.T., Whisler J.E. (1975): Olive pollination in California. *Bull. Calif. Agric. Exp. Stn* 869.
10. Reale L., Sgromo C., Bonofiglio T., Orlandi F., Fornaciari M., Ferranti F., Romano B. (2006): Reproductive biology of Olive (*Olea europaea* L.) DOP Umbria cultivars. *Sex. Plant Reprod* 19: 151-161.
11. Lavee S. (1996): Biology and physiology of the olive. In *World Olive Encyclopaedia*. EGEDSA, Sabadell, Spain: 61-110. ■

איור 2:

השפעת רמת הדישון בחנקן על איכות הפריחה, החי' נטה והפריחה באביב העוקב



הערות:

- חלקות הניסוי דושנו בארבע רמות חנקן שונות: 0.4 (ללא חנקן עד 2014, 4 ק"ג בעונות 2015/16), 7.5, 15 או 30 ק"ג חנקן צרור/ד' בעונה;
א-ג = מוצגים רק עצים שפרחו ברמה בינונית-גבוהה (5-3) בעונות 2014 עד 2016;
א = מספר הפרחים בתפרחת;
ב = שיעור הפרחים השלמים;
ג = שיעור החנוטה;
ד = אומדן חזותי לרמת הפריחה באביב העוקב של עצים עם עומס פרי בינוני (24-50 ק"ג/עץ), לפי מדד של 0 עד 5 (5 = עוצמת הפריחה הגבוהה ביותר);
- המספרים מציגים ממוצעים של 17-28 חזרות ביולוגיות (עצים) ± שגיאת תקן של הממוצע (קווים אנכיים);
- אותיות לעוויות שונות מצביעות על הבדל מובהק סטטיסטית בין רמות הטיפול לפי מבחן Tukey-Kramer HSD ($P \leq 0.05$).