

תוכן העניינים

2	דף שער
3	שאלות מנחות
4	תקציר
5	מבוא כללי
5	הנחות ומטרות
6	הפעלת המחקר בניסוי השדה
7	תוצאות ודין
9	איורים

אופטימיזציה של השימוש בבוצות שפכים בגד"ש

דו"ח לתכנית מחקר מספר 14-0794-301

מוגש ע"י

פנחס פיין מדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי
 אשר בר-טל מדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי
 אשר אייזנקוט מדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי
 אריה בוסק אגודת מגדלי דרום יהודה

בהשתתפות:

טיבור מרקוביץ', אנה בריוזקין, שושי סואריאנו

Pinchas Fine, Institute of Soil, Water & Environmental Sciences, Volcani Center, POB 6, Bet Dagan 50250. E-mail: finep@agri.gov.il

Asher Br-Tal Institute of Soil, Water & Environmental Sciences, Volcani Center, POB 6, Bet Dagan 50250. E-mail: abartal@volcani.agri.gov.il

Asher Azenkot, Sherut HaSadeh, MOAG, .E-mail: azasher@gmail.com

Aryeh Bosik, South Yehuda Growers Cooperative Society Ltd. E-mail: bosak@bezeqint.net

.....
הצהרת החוקר הראשי:

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים ואינם מהווים המלצות לחקלאים

תאריך: 24/3/2015



חתימת החוקר

סיכום עם שאלות מנחות

<p><u>מטרות המחקר:</u> גיבוש המלצות ליישום בוצות וזבלים בקרקעות חקלאיות בהתאם להרכבן, לקרקע, לגידול ולתנאי הסביבה.</p>
<p><u>שיטות:</u> באביב 2011 הוצב ניסוי חלקות 'קבועות' בקיבוץ רבדים (קרקע גרומוסול) עם 16 טיפולים ב-6 בלוקים באקראי. נבחנו 4 סוגי זבל: בוצה סוג ב', קומפוסט בוצה, בוצת שפד"ן מטופלת בסיד ובאפר פחם (במס"א) וקומפוסט מהרקבובית של אשפת ערים. כל זבל נבחן ב-3 טיפולים: שניים בעומס שקול ל-50 ק"ג נ"ד', בשלושה יישומים אביביים, וטיפול שלישי שניתן רק ב-2011 לפי 150 ק"ג נ"ד'. הטיפולים החליפו את דישונני היסוד, ורק טיפול אחד מהזוג לעיל קיבל דשן חנקני בראש. טיפולי ההיקש הנם: (1) דישון 10 ק"ג נ"ד' ביסוד; (2) 15 ק"ג נ"ד' בראש; (3) טיפול 'משקי' עם חנקן ביסוד ובראש (25 יח'); (4) ללא תוספת. ב-3 השנים נזרע תירס לתחמיץ באביב, וב-2 החורפים האחרונים נזרעה חיטה. בשנה הנוכחית (ה-4-ית) השטח זובל מחדש במנה הרגילה וגם במנה הגבוהה, כשזו הוקטנה לכפל המנה הרגילה (ולא פי 3 כבתחילה). בשלב זה הדיווח הוא רק לגבי יבול התירס. החיטה אמורה להיקצר בקרוב. הקרקע נדגמה לאחר הפיזור (מאי 2014) אך לא נדגמה עדיין לאחר מחזור הצימוח.</p>
<p><u>מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר. האם הושגו מטרות המחקר?</u> הזיבול במנה המומלצת (50 ק"ג נ"ד/דונם/שנה) אינו משמר את פוריות הקרקע במלואה. בשנים ה-3 וה-4 היה הבדל מובהק ומשמעותי בין הטיפולים ויש להמשיך בבדיקה. מנת זיבול כנ"ל בגד"ש מחייבת דישון ראש בגידול דורש-דשן כתירס מספוא אולם מאפשרת ויתור על דישון היסוד בתירס ובחיטה הבאה אחריו במחזור. עי"כ נחסך היישום בדשן של כ-20 יחידות חנקן, כל הזרחן ומרבית האשלגן. (2) לא נראתה בעיה של קליטת יתר של מתכות כבדות בצמחים או דליפתם לעומק הקרקע. וסביר שזה יהיה המצב גם בהמשך. (3) עודפים גדולים של זרחן זמין מצטברים בחתך הקרקע ביישום קומפוסט בוצה אך לא ביישום בוצה מעוכלת. הדבר נובע מיחסי N/P בבוצות. (4) הזיבול בבוצה מיוצבת באפר פחם ובסיד (במס"א) ובקומפוסט בוצה היו דומים בד"כ. במס"א לא יצרה כל בעיה מבחינת הכימיה של יסודות ההזנה והקורט בקרקע, ונתנה יבולים גבוהים, בדומה ליבולי ההיקש המסחרי, אולם בעלות נמוכה במידה רבה (מאמר בנושא נמצא בתהליך פרסום ב"נר ותלם" גיליון 59).</p> <p><u>בעיות שנתרו לפתרון:</u> מרבית הנושאים דורשים המשך מחקר, בעיקר בהיבטים ארוכי הטווח: ממשק החומר האורגני בקרקע; זמינות מתכות כבדות ביישומים חוזרים; זמינות עודפת של הזרחה והכימיה של הזרחן בקרקע; מדדים להערכת זמינות חנקן לתירס. לא נבדקה השפעת הזבלים על תכונות פיסיקליות של הקרקע.</p>
<p><u>הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח:</u> הרצאות בכנסי חקלאים (כולל האגודה הישראלית לגד"ש, הפק' לחק', רחובות, פבר' 2014). הנחייה ישירה של איגודי מגדלים (צב"ר קמ"ה, 'מגדלי דרום יהודה', 'משקי הנגב', 'כותנה-נגב'), ליווי צמוד ל-GES, יצרני ומשווקי במס"א בדרום הארץ ול"דשן-אור" יצרני ומשווקי קומפוסט בוצה. ניירות עמדה למשרדי החקלאות והגה"ס.</p> <p><u>פרסומים:</u> פיין וחובי, 2014. "הערכת איכות בוצות ואשפה עירונית כתחליפי דשן כימי בגד"ש". "נר ותלם" גיליון 56, עמ' 27-35. פיין פ', 2015. "הערכת הכדאיות של יישום זבלים כתחליף דשן בגד"ש". "נר ותלם" גיליון 59, (בדפוס).</p>
<p><u>פרסום הדו"ח:</u> אפשרי. <</p>

תקציר

שימוש בבוצות בגד"ש מיועד להחליף דישון רגיל, לטייב הקרקע ולהגדיל הרווחיות. נדרשת ידיעה של התועלות והמגבלות הכרוכות בשימוש בסוגיהן השונים.

שיטות: מדווחת כאן שנה רביעית של מחקר שהחל באביב 2011. אז הוצב ניסוי חלקות 'קבועות' בקיבוץ רבדים (קרקע גרומוסול) עם 16 טיפולים ב-6 בלוקים באקראי. נבחנו 4 סוגי זבל: בוצה סוג ב', קומפוסט בוצה, בוצת שפד"ן מטופלת בסיד ובאפר פחם (במס"א) וקומפוסט מהרקבובית של אשפת ערים. כל זבל נבחן ב-3 טיפולים: שניים בעומס שקול ל-50 ק"ג נ"ד, בשלושה יישומים אביביים, וטיפול שלישי שנתי רק ב-2011 לפי 150 ק"ג נ"ד. הטיפולים החליפו את דישוני היסוד, ורק טיפול אחד מהזוג לעיל קיבל דשן חנקני בראש. טיפולי ההיקש היו: (1) דישון 10 ק"ג נ"ד ביסוד; (2) 15 ק"ג נ"ד בראש; (3) טיפול 'משקי' עם חנקן ביסוד ובראש (25 יח'); (4) ללא תוספת. ב-4 השנים נזרע תירס לתחמיץ באביב, וב-3 החורפים האחרונים נזרעה חיטה (חיטת 2014/15 טרם נקצרה).

יבול התירס ב-2014: יבולי התירס בשנה הרביעית (2014) הראו החרפה של המגמה שנצפתה לראשונה בשנה השלישית (2013): תגובה מובהקת לטיפול הזיבול. אלה היו גבוהים יותר בטיפול המשקי ובטיפול הזיבול (לפי 50 ק"ג נ"ד לשנה) עם דישון הראש. בטיפול הזיבול החוזרים ללא דישון ראש ובזיבול החד-פעמי ללא דישון ראש (במנה משולשת ב-2011, שהוחלפה במנה כפולה ב-2014) היבול היה נמוך בכ-50% במוצע בהשוואה להיקש המשקי. רק בטיפול קומפוסט הבוצה והבמס"א במנה הכפולה היבול היה גבוה יותר (אך נמוך מהמשקי בכ-205). בהיקש ללא תוספת דשן ב-4 השנים היבול ירד לכ-25% מהיבול בטיפול המשקי.

לסיכום: הגורם המגביל יבולים בגד"ש בקרקע רבדים בהשקיה במי-קולחים משודרגים הוא זמינות החנקן. בעומס שקול ל-50 או 150 ק"ג נ"ד כלילי' הזבלים חסכו 10 יחידות חנקן ואת כל הזרחן והאשלגן. למעשה, לא היה מחסור בזרחן ובאשלגן בקרקע גם ללא דישון או זיבול. זמינות חנקן אורגני בקרקע מסכה בשנתיים הראשונות את השפעת הטיפולים אולם השפעה זמינות החנקן האורגני של הקרקע פחתה מאד החל מהשנה השלישית. עתה ניתן יהיה לראות האם מנת הבוצה המרבית המותרת ליישום לפי חוק המים (לא יותר ממנה השקולה ל-50 ק"ג נ"ד כלילי' לשנה) מספיקה לקיים את פוריות הקרקע. הדבר דורש בדיקה של תכולות החנקן והפחמן האורגניים בקרקע ופוטנציאלי המינרליזציה שלהם; בדיקות שלא היה באפשרותנו לבצע בשל המימון החלקי וסיום המחקר.

בכל מקרה, להערכתנו (א) אין לזבל במנה גדולה מהמומלצת כאשר לא ניתן למנוע את דליפת עודפי החנקה בראשית העונה; (ב) אין סיכון משמעותי לשרשרת המזון עקב הצטברות מתכות כבדות בחתך הקרקע בכל אחד מהטיפולים (כולל במס"א); (ג) פליטת גזי חממה (מתאן וחנקן תת-חמצני) הנה מזערית בכל טיפולי הזיבול והדישון כולל ביישום בוצות פחות מיוצבות. (ד) מבין הזבלים, הקומפוסט מאשפת ערים היה נחות בביצועיו יחסית לזבלים האחרים; (ה) ההחזר לחקלאי מהחיסכון בדשן ביישום זבלים (במרחק הובלה מסוים וקבוע) הנו מרבי ביישום במס"א (תוספת לרווח של כ-200 ש"ד), חיובי ביישום קומפ' אשפת ערים (תוספת לרווח של כ-20 ש"ד), ושילי ביישום קומפוסט בוצה (הפסד של כ-

50 שאלה). נתונים אלה יכולים להשתנות בהתאם להרכב הכימי והזמינות הביולוגית של יסודות ההזנה ובעיקר החנקן. הדבר נכון בעיקר לגבי קומפוסט הבוצה, שהרכבו וזמינות החנקן בו נתונים לשינויים בגלל הבדלים במקורותיו ובעיקר בגלל הבדלים במשך הקומפוסטציה ובמידת בשלות הקומפוסט.

מבוא כללי

תפיסת הציבור את רעיון מיחזור הבוצה יכולה להיות מכרעת, ובמדינות המפותחות יש עיסוק רב בנושא "מקובלות" הבוצה. הדרך הנכונה להתמודד עם נושא זה היא באמצעות מחקר אובייקטיבי, שקיפות מלאה והסברה. חלק מגופי הרגולציה בארץ מסתייגים (או אף מתנגדים) ליישום בוצה מיוצבת בסיד ובאפר פחם (במס"א) בגלל תכולה גבוהה של מרכיב מינרלי (אפר הפחם) המשמש לייצור בוצה זאת. מחקרנו, כולל המחקר הנוכחי, הראו כי החששות אינם מעוגנים בעובדות, וכי התוצאות עד כה הן מעודדות מבחינת ההשפעה האפשרית על בטיחות השימוש בתוצרת החקלאית, על הרכב ותכונות הקרקע ועל רווחיות החקלאי. תוצרת חקלאית מישראל שגדלה על בוצה כלשהי אסורה בשיווק באירופה עקב תקנות ה-GlobalGAP, והשימוש בבוצה מוגבל לייצור מזון לשוק המקומי וכן לגידולים מספוא ותעשייה. אחת התוצאות של המחקר המוצע אמורה להיות בסיס מידע עדכני לגבי הבטיחות בשימוש בבוצות בגידולים חקלאיים כאמצעי לעידוד שיווק התוצרת בארץ ובחו"ל.

במחקר הנוכחי נבחנו גם ההזנה המינרלית לאחר יישום קומפוסט מאשפת ערים (החלק האורגני לאחר הפרדתו במקור). זאת מאחר שאין ידע לגבי הרכבו וערכו החקלאי, מאחר שכמותו תגדל מאד בעתיד, ומאחר שהוא הנו זול מאד יחסית לקומפוסטים וזבלים מקובלים. המסקנה של המחקר הקודם לא הייתה מעודדת לגבי ערכו החקלאי. ככלל, הנחנו שקומפוסטים הנם אמנם אמצעי בטוח ונוח יחסית לסילוק זבלים ובוצות אולם ערכם כספקי חנקן מינרלי קטן מאד (שלא לדבר על הנזקים לסביבה בעצם הכנתם). לדוגמה במהלך הקומפוסטציה של בוצות מתנדפים כאמוניה כ-40 ק"ג N\טון בוצה יבשה, כמעט ¼ מכלל החנקן בבוצה. במ"ס בעייתי יותר לכאורה, אולם יש בו פוטנציאל רב לתועלת, ואולי אף להתקבלות ע"י ה-GlobalGAP כראוי להוות תוסף לגידולים למאכל אדם המאושרים לשיווק באירופה באמצעות גוף פיקוח זה.

הנחות המחקר ומטרותיו

הנחות: ניתן להשתמש בסוגי בוצה (וזבל) שונים בצורה בטוחה לרווחת כל המגזרים המעורבים (סביבה, עיר, חקלאות). ניתן לאמוד ולמזער סיכונים לטווח המידי והארוך. יחד עם היצרנים, ניתן לשפר את הרכב הבוצות (והזבלים) ואת התאמתן לשימוש. לדעתנו יש בעייתיות (והיעדר בסיס מדעי) בהיבטים שונים של התקנות המסדירות את השימוש החקלאי בבוצות, וניתן ורצוי לשפרן.

המטרה העיקריות של המחקר הייתה להמשיך לבחון יישום בוצות בצורה שיטתית וארוכת-טווח בשדה ובמעבדה ולגבש המלצות לחקלאים, בהקשר לשימוש הראוי במצאי הבוצות במסגרת התקינה הקיימת, ליצרנים, לגבי תהליכי ייצור וייצוב והשפעתם על איכות המוצר, ולרגולטורים, לגבי אפשרות להתאמה או שינוי של תקנות השימוש בבוצות שפכים בחקלאות.

המטרות הפרטניות הן:

א) לימוד תהליכים כימיים וביולוגיים המתרחשים בקרקעות מטופלות בבוצות סוג ב' וסוג א' (קומפוסט,

במ"ס) ובקומפ' אשפת ערים, ומדידה וחיזוי של השפעתן על קצבי המינרליזציה של החומר האורגני וזמינות פוטנציאלית של החנקן לצמח ומסיסות וזמינות הזרחן, יסודות הקורט והמתכות הכבדות. (ב) גיבוש המלצות ליישום בוצות בקרקעות חקלאיות בהתאם להרכבן, לקרקע, לגידול ולתנאי הסביבה.

תיאור מקיף של הפעלת המחקר

בוצות

נבחנו 3 בוצות המייצגות מגוון רחב של תכונות כימיות ופיסיקליות (טבלה 1) כפי שנובע מאופן הכנתן, והן: (א) בוצה בלתי-מפוסטרת שעברה עיכול אל-אווירני ("סוג ב") (מקור: מט"ש חיפה); (ב) קומפוסט מבוצה שעברה עיכול אל-אווירני (מקור: "דשן אור"- אתר טובלן); (ג) בוצת שפד"ן מטופלת בסיד ובאפר פחם מרחף (במס"א) (מקור: חברת דן-ויר, אתר השפד"ן); (ד) קומפוסט מאשפת ערים מופרדת (מקור: ויאוליה – אתר טובלן). בולט שהטיפול בבוצה וייצובה, בקומפוסטציה או בסיד ובאפר פחם, מפחית מאד את תכולת החומר האורגני (עליה ב- LOI), הפחמן האורגני, החנקן והזרחן. תכולת יסודות הקורט והמתכות הכבדות נקבעת הן ע"י המקור והן ע"י החומרים המוספים לשם הייצוב (טבלה 1). לדוגמה, בוצת חיפה עשירה ב-priority pollutants, וריכוזי ניקל ואבץ אף עברו את הערך המרבי המותר. הוספת אפר פחם לבוצה העשירה את התערובת ביסודות אוקסיאניוניים (As, B, Co, V אך לא ב- Cr) והפחית ריכוזי מתכות אחרות (Cd, Cu, Zn, Ag).

ניסוי השדה

בוצעה שנה רביעית בניסוי השדה בקיבוץ רבדים (חלקה 20, קרקע ורטיסול) בדו-גידול תירס (שלחין) וחיטה (בעל). בניסוי 16 טיפולים ב-6 בלוקים באקראי: ארבעה טיפולי היקש במשטרי דישון שונים: ללא דשן כלל, חנקן ביסוד בלבד (10 ק"ג N/ד'), חנקן בראש בלבד (15 ק"ג N/ד'), דישון משקי מלא (25 ק"ג N/ד'). טיפולי זיבול בבמס"א, קומפוסט בוצה, בוצה מעוכלת וקומפוסט אשפת ערים, כל זבל ב-3 טיפולים: (א) יישום במינן שקול ל-50 ק"ג N/ד' בתוספת חנקן בראש, (ב) כנ"ל ללא חנקן בראש, (ג) זבל במנה שקולה ל-150 או 100 ק"ג N/ד' ללא חנקן ראש. היישום במנה הנמוכה חזר בכל אביב, היישום השקול ל-150 יחידות N ניתן ב-2011 ובאביב 2014 ניתנו בטיפולים אלה זבלים במינן השקול ליישום 100 יחידות חנקן. כל חלקה הנה בשטח 72 מ"ר. יישום הזבלים היה ביד, באשפתונים בנפח 50 ל' שהוסעו לחלקות על פלטפורמה של טרקטור. הבוצות פוזרו במגרפות והוצנעו בדיסק כבד. בדיקות קרקע לפני כל עונת גידול בטיפולי ההיקש (חוץ מהטיפול ללא דשן בכלל) הראו כי אין צורך בדישון P ו-K. ההשקיה הייתה במי-קולחים שהוסיפו עוד כ-2.5 ק"ג N/ד'.

בקורות בניסוי השדה:

קרקע: הקרקע נדגמה לעומק 60 ס"מ כל חצי שנה בערך מאז מאי 2011. בתקופת המחקר הנוכחי היא נדגמה במאי 2014, לאחר פיזור הזבלים, והיא הייתה אמורה להידגם שוב באפריל 2015, לאחר קציר החיטה לתחמיץ. הדיגום היה ב-3 מקטעי עומק ונבדקו בהם תכולות חנקן, זרחן ואשלגן זמינים לצמח. מדגמי הקרקע יובשו ונכתשו לגודל קטן מ-2 מ"מ. נבדקו בהם ריכוזי האמון והחנקה (במיצוי 1 N KCl, יחס 1 קרקע ל-8 נוזל, טלטול לשעה וסרכוז), זרחה ואשלגן (מיצוי בנתרן דו-פחמתי ב-8.5 pH, יחס 1 קרקע ל-20 נוזל, טלטול 3 שעות, סרכוז, הורדת ה-pH ל-2, וסינון).

אפיון כימי של הזרחן בזבלים ובקרקע: המבחנות טולטלו ב-25 מ"צ, במהירות 110 rpm. לאחר 48 ש' הן סרכוז במשך 7 דקות במהירות 4500 סל"ד, הנוזל העליון סונן במסנן ניילון 0.45 µm (מורכב על מזרק). בתסנין נבדקו EC, pH, IC ו-OC, ואזי הוא הוחמץ קלות ונבדקו בו הזרחה (אורטו), הסידן הכללי והמגניון. מתוך הרכב המיצוי חושבה האקטיביות של צורוני הזרחה והסידן באמצעות תוכנת MINTeq, מהם הורכבה דיאגרמת פאזות בהתאמה למסיסות מלחי זרחן יציבים בתחום ה-pH המצוי בקרקעות (לפי Lindsay, 1979): די-קלציום פוספט דיהדראט (DCPD); אוקטה-קלציום פוספט (OCP); בטא-טרי-קלציום פוספט (β TCF); והידרוקסי אפטיט (HAP).

צמח: צמחי התירס נדגמו מספר פעמים במהלך העונה: בגיל 5 עלים (2/6/14), לעת הפריחה הזכרית (2/7/14) ובסיום. בדיגומים המוקדמים נקצר צמח אחד בכל חלקה, נשקל להערכת היבול היחסי ונמדדה בו תכולת ה-NPK. בסיום, נקצרו הצמחים לאורך 3 מ' שורה. הצמחים נספרו, הופרדו לנוף ולקלחים (שנספרו אף הם), כלל הנוף והקלחים נשקלו בשדה, ונלקחו מדגמים לקביעת המשקל היבש (80 מ"צ)

ולאנליזות כימיות. הגרגרים נבדקו לאחר הפרדתם מהאשכול, והאשכול צורף לנוף ונטחן אתו לבדיקה הכימית. בגרגרים ובנוף נבדקה תכולת יסודות כללית (חנקן, זרחן, אשלגן, יסודות מאקרו אחרים, יסודות קורט ומתכות כבדות).

ניתוח סטטיסטי: מבחיני שונות ומבחן תחום מרובה בוצעו באמצעות JMP 10.

תוצאות ודין

יבולי תירס:

היבול הממוצע ב-2014 לכל חלקות הניסוי היה 4.2 ט' ח"י"ד' (איור 1). היבול הגיב לטיפול היבול באופן מובהק, בהמשך למגמה שנראתה לראשונה בשנה השלישית (2013) לניסוי בשדה. היבול בהיקש ללא תוספת דשן (טיפול 1) היה נמוך ב-60% ביחס להיקש המשקי (טיפול 4), כמו בשנה הקודמת. בטיפול המשקי ובטיפול היבול בתוספת 15 יח' חנקן בראש (טיפולים 5 – 8) היבולים היו גבוהים יחסית ליתר הטיפולים, בטיפול היבול הנמוך ללא דישון ראש (מס' 9-12) היבול היה נמוך ב-30% עד 45% מההיקש המשקי. בטיפולים שקיבלו ב-2014 זבל במנה כפולה (לפי 100 יח' N; מס' 13-16) על-גב מנת זבל משולשת שניתנה ב-2011 היה יבול גבוה יחסית בטיפול קומפוסט הבוצה והבמס"א, ויבולים נמוכים בטיפול הבוצה המעוכלת והאשפה. נזכיר כי בשנה הקודמת (2013) היבול בכל הטיפולים הללו היה נמוך בכ-50% בממוצע מההיקש המשקי: בטיפול הדישון החלקי (יסוד בלבד #2) או ראש בלבד (#3) היבול היה נמוך בכ-20% מההיקש המשקי בדומה לשנה הקודמת.

יבולי קלחים הממוצע היה 1.8 ט' ח"י"ד' ויבול הקנים 2.4 ט' ח"י"ד' והם לא היו שונים בהתנהגותם מהיבול הכללי (איור 1). ההבדלים העיקריים הם שיבול הקלחים בהיקש ללא כל תוספת היה 30% בלבד מההיקש המסחרי, והיבול במנה הכפולה של קומפוסט הבוצה (של הקלחים אך לא הקנים) היה כמו במנה הרגילה בתוספת דשן הראש (10% יותר מההיקש המסחרי).

בכל קבוצה של טיפולי זיבול, קומפוסט אשפת הערים נתן יבולים נמוכים בכ-20% יחסית לטיפולים האחרים, תופעה שכבר ראינו בשנים הקודמות. עם זאת, גם טיפולי הבוצה המעוכלת ללא תוספת דשן ראש הניבו יבולים ירודים יחסית לטיפול הבוצה האחרים. שתי התופעות הללו נובעות כנראה מסיבות הפוכות: שיעור המינרליזציה של החנקן האורגני בקומפוסט אשפת הערים נמוך מכדי לספק את תצרוכת הצמח בחנקן והוא אף גורם לאימוביליזציה (לכן יבול נמוך יחסית גם בטיפול עם דשן ראש). לעומת זאת, קצב המינרליזציה של החנקן האורגני בבוצה המעוכלת הנו גבוה מאד, והחנקן האורגני כלה לפני שעקום קליטת החנקן בצמח מגיע לשיאו. לכן, כשניתן דשן ראש, היבול תקין, וכשלא ניתן דשן ראש היבול נמוך יחסית גם בעומס היישום הכפול.

ריכוזי יסודות עיקריים בגרגרים ובנוף:

ריכוזי החנקן, הזרחן והאשלגן בגרגרים לא הושפעו ע"י הטיפולים, והיו בממוצע 1.0%, 0.26% ו-0.32% מהמשקל היבש שלהם, בהתאמה (איור 2). לעומת זאת, ריכוזי יסודות אלה בקנים הושפעו מאד ובמובהק ע"י הטיפולים. ריכוזי החנקן בנוף (בממוצע 0.31%-0.65% מהמשקל היבש; 47%-99% מההיקש המשקי) היו גבוהים יותר בטיפולים שקיבלו דשן ראש, ולא היה הבדל בין יישום הזבלים במנה הרגילה (לפי 50 ק"ג נ"ד') ליישום במנה הכפולה (איור 3). עדיפות הדישון בראש ע"פ הדישון ביסוד מודגמת גם בהבדל בין טיפולים 3 ו-2 בהתאמה. ריכוזי הזרחן בנוף (בממוצע 0.06%-0.32%) היו

גבוהים יותר בכל הטיפולים (120%-560%) מאשר בהיקש המשקי. ריכוז הזרחן היה הופכי לריכוז החנקן, ובעיקר בלטו ריכוזיו הגבוהים בטיפולים דלי החנקן והיבול (ההיקש ללא תוספת, מס' 1, וטיפולי קומפ' אשפת הערים ללא חנקן בראש, מס' 12 ו-16). ריכוזי האשלגן בנוף היו אחידים למדי (בממוצע 1.5%-1.9%; 84%-100% מההיקש המשקי). נזכיר, כי בהתאם לתוצאות בדיקות הקרקע לא ניתן כל דישון בזרחן ובאשלגן ב-4 טיפולי ההיקש ב-4 שנות המחקר.

הקשר בין ריכוזי היסודות בקנים לבין היבול מוצג באיור 4. בולטים היחס הישר בין ריכוזי החנקן והאשלגן לבין היבול התירס הכולל, והיחס המעריכי הפוחת בין ריכוז הזרחן בקנים ליבול הכולל.

תכולת יסודות בבביומסה הצמחית:

כמות החנקן הכללית שהורחקה ביבול התירס בהיקש המשקי הייתה בממוצע 40 ק"ג N\ד', הקליטה הרבה ביותר שנמצאה בכל 4 שנות המחקר. הקליטה בטיפולים השונים הייתה בממוצע 10-42 ק"ג N\ד' (איור 5). כמויות החנקן שנקלטו בצמחי התירס הגיבו במובהק לטיפולים בצורה דומה למדי לתגובת ריכוזי החנקן בקנים. תגובה זאת הייתה דומה לזו שהייתה בשנת המחקר השלישית אך חריפה ממנה. כמות החנקן בצמחי ההיקש ללא תוספת הייתה רק 26% מההיקש המסחרי (כמחצית מהערך שהיה בשנה השלישית). הכמות בטיפולי הזיבול ללא חנקן בראש היא הייתה 40% - 57% ממנו, למרות שהזיבול ניתן בכל שנה עד כה במנה המרבית המותר (50 ק"ג N\ד'), ובטיפולים 13-16 הוא ניתן במנה אחת גדולה פי 3 בראשית הניסוי ובמנה כפולה לפני השנה הנוכחית (הרביעית). רק בטיפולי קומפ' הבוצה והבמס"א במנה המוגדלת כמות החנקן ביבול הייתה גבוהה יותר: 84% ו-73% מההיקש המסחרי. המעניין הוא שדווקא בטיפולי הבוצה המעוכלת (שהנה בעלת שיעורי המינרליזציה הגבוהים ביותר של חנקן אורגני), ס"כ קליטת החנקן ביבול הייתה נמוכה יחסית, ולא היה הבדל בכמות שנקלטה בין שני שיעורי היישום (טיפולים 9 ו-13).

כמות הזרחן הכללית שהורחקה ביבול התירס בהיקש המשקי הייתה בממוצע 6.7 ק"ג P\ד'; הקליטה הרבה ביותר שנמצאה בכל 4 שנות המחקר, וקליטת הזרחן בטיפולים השונים הייתה 5.5-9.5 ק"ג P\ד' בממוצע, כשבטיפולי קומפוסט הבוצה הקליטה הייתה מרבית. עם זאת, ההבדלים בין הטיפולים בס"כ קליטת הזרחן לא היו מובהקים.

כמות האשלגן הכללית שהורחקה ביבול התירס בהיקש המשקי הייתה כ-69 ק"ג K\ד'. היו הבדלים מובהקים בין טיפולים בדגם דומה מאד להבדלים בין כמויות החנקן ולהבדלים ביבולי החומר היבש, וככל הנראה כפועל יוצא של צבירת החנקן ושל היבולים. ניתן גם לראות זאת במתאם הגבוה בין ס"כ הרחקת האשלגן בנוף לבין ס"כ הרחקת החנקן (איור 6). קשר דומה נמצא (ודווח) בכל אחת מ-3 השנים הראשונות, והוא מיוחס לאיזון החשמלי של החנקן בתמיסה הנקלטת בשורש. המעניין הוא שהיחס K/N בנוף עלה בהתמדה משנה לשנה.

הקשר בין כמות היסודות שהורחקו בביומסה לבין היבול מוצג באיור 7. בולטים המתאם הגבוה והיחס הישר בין כמויות החנקן והאשלגן בצמחים לבין יבול התירס הכולל, ולעומתם המתאם הנמוך היחס הקבוע למדי בין ס"כ הרחקת הזרחן בנוף צמחי התירס לבין יבול התירס.

הנתון האחרון מאשש את צריכת הזרחן הנמוכה של הגידול ולפיכך את העדר הקשר הברור בין תכולתו בצמח לבין היבול הכללי. זמינות בקרקע, גם לאחר 4 שנים ללא דישון הייתה גבוהה דיה לקבלת יבול תקין (טיפול 4, ההיקש המסחרי), למרות הירידה בריכוז בצמחים ובתכולה הכללית.

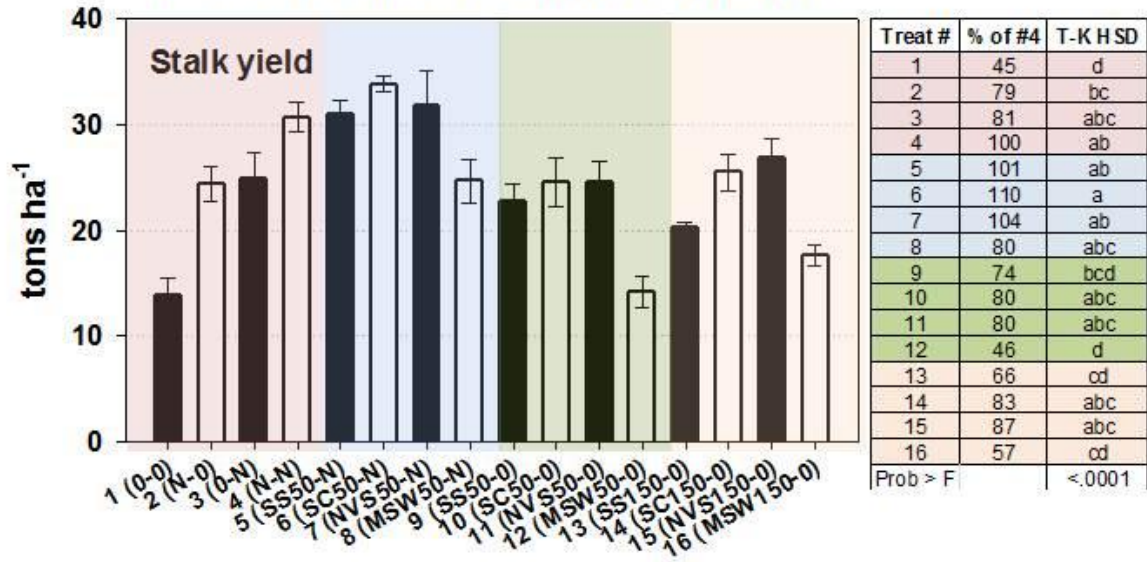
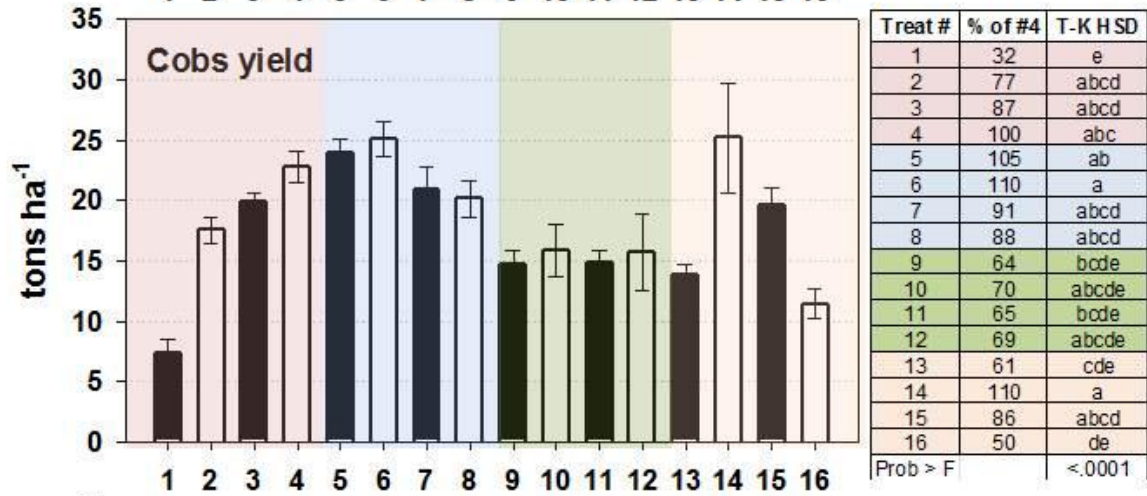
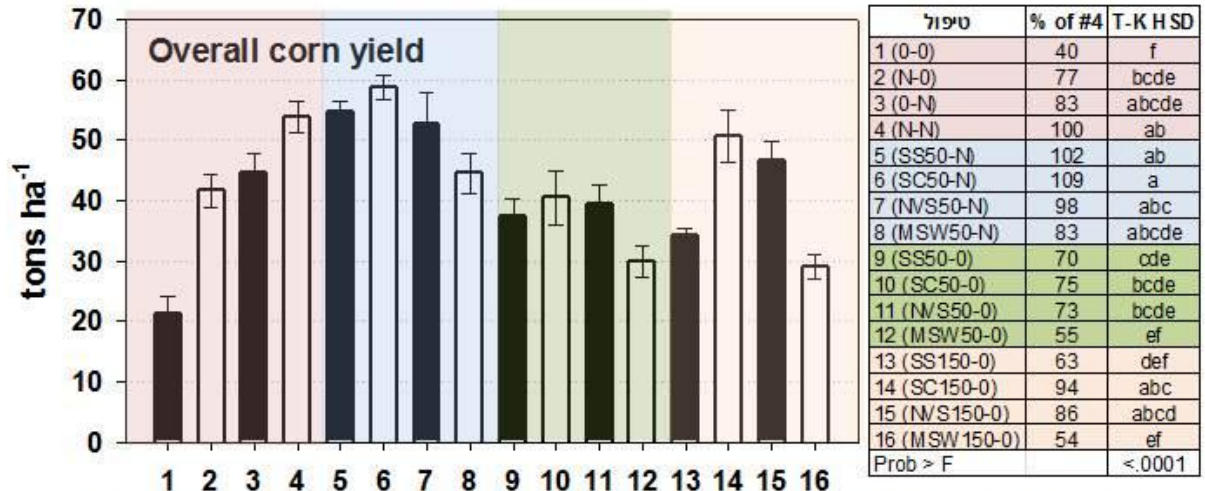
תכולת חנקן בצמחי התירס חודש וחודשיים לאחר הנביטה:
איור 8 מציג את הקשר בין יבול התירס לבין ריכוז החנקן הכללי בצמחי התירס ב-2/6/14 (כחודש לאחר הנביטה) וב-2/7/14 (לעת הפריחה הזכרית). מדדים אלה אינם רגישים דיים לחזות את יבול התירס.

תכולת יסודות הזנה (K, P, N) זמינים לצמח בחתך הקרקע:
הנושא נמצא עדיין בבדיקה.

מאזני פחמן וחנקן אורגניים בשכבת הקרקע העליונה:
הנושא נמצא עדיין בבדיקה. מסתמנות תוצאות מעניינות.

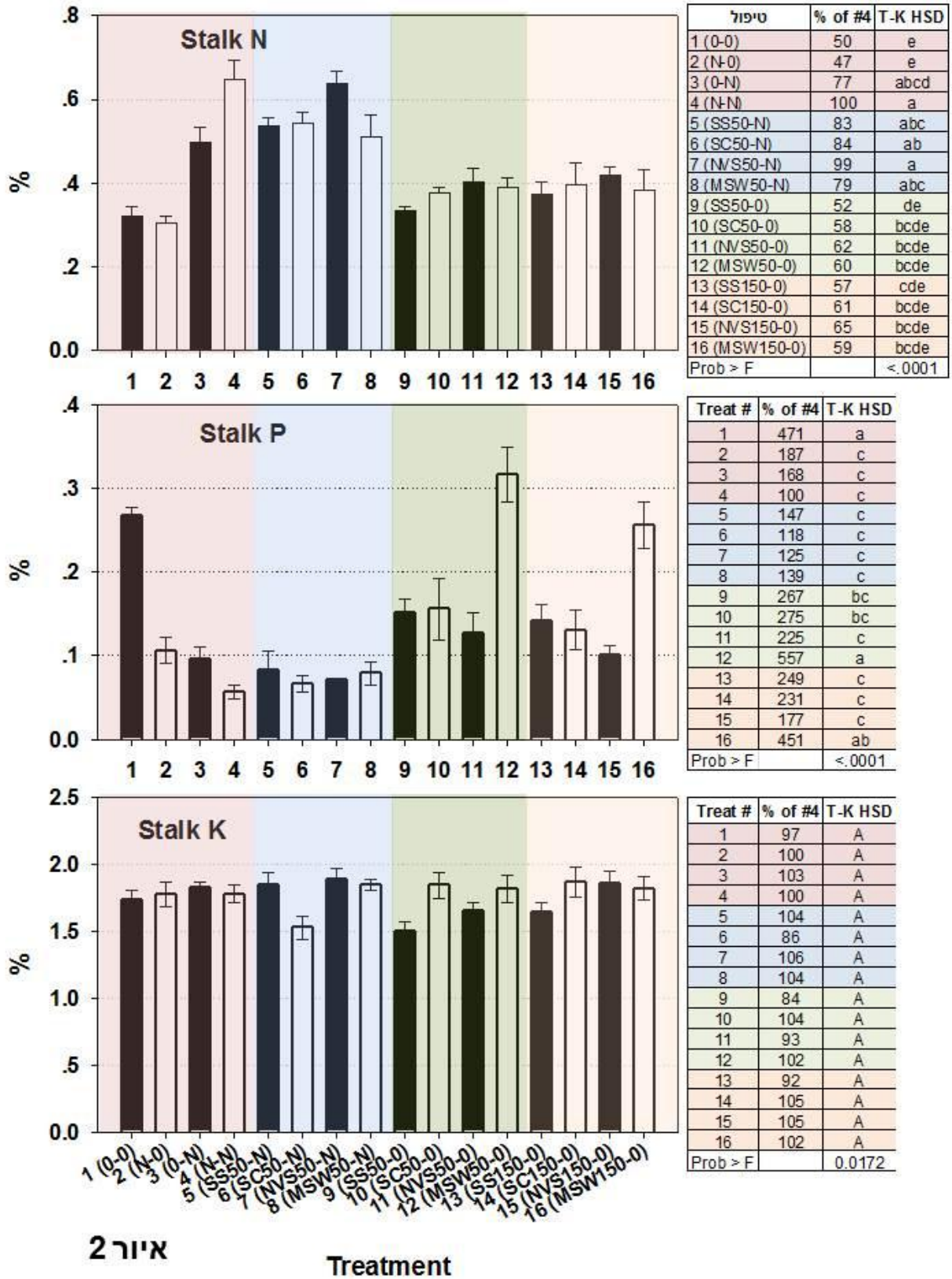
איורים

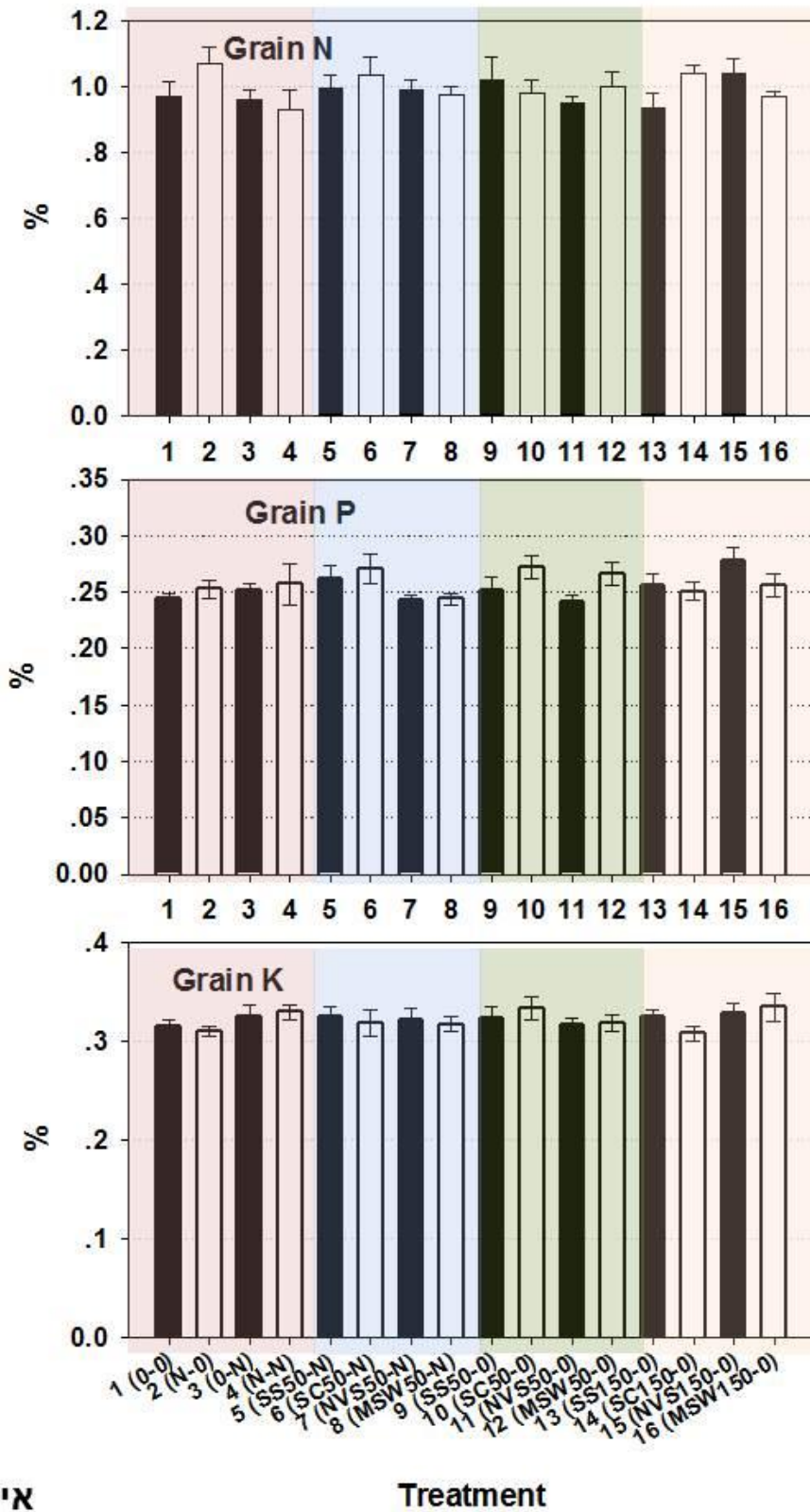
- איור 1:** יבולי תירס (כולל, קלחים וקנים) בשנה ה-4 בניסוי ברבדים.
- איור 2:** ריכוזי חנקן, זרחן ואשלגן בגרגרי התירס בשנה ה-4 בניסוי ברבדים.
- איור 3:** ריכוזי חנקן, זרחן ואשלגן בקנים של התירס בשנה ה-4 בניסוי ברבדים.
- איור 4:** הקשר בין ריכוזי היסודות בקנים לבין יבול התירס בשנה ה-4 בניסוי ברבדים.
- איור 5:** הקשר בין ס"כ כמות היסודות שהורחקה בצמחי התירס לבין יבולי התירס בשנה ה-4 בניסוי ברבדים.
- איור 6:** הקשר בין ס"כ הרחקת האשלגן בנוף לבין ס"כ הרחקת החנקן בשנה ה-4 בניסוי ברבדים.
- איור 7:** הקשר בין הכמויות של היסודות שהורחקו בביומאסה לבין יבול התירס הכולל בשנה ה-4 בניסוי ברבדים.
- איור 8:** הקשר בין יבול התירס לבין ריכוז החנקן הכללי בצמחי התירס בשני מועדים: ב-2/6/14 (כחודש לאחר הנביטה) וב-2/7/14 (לעת הפריחה הזכרית).



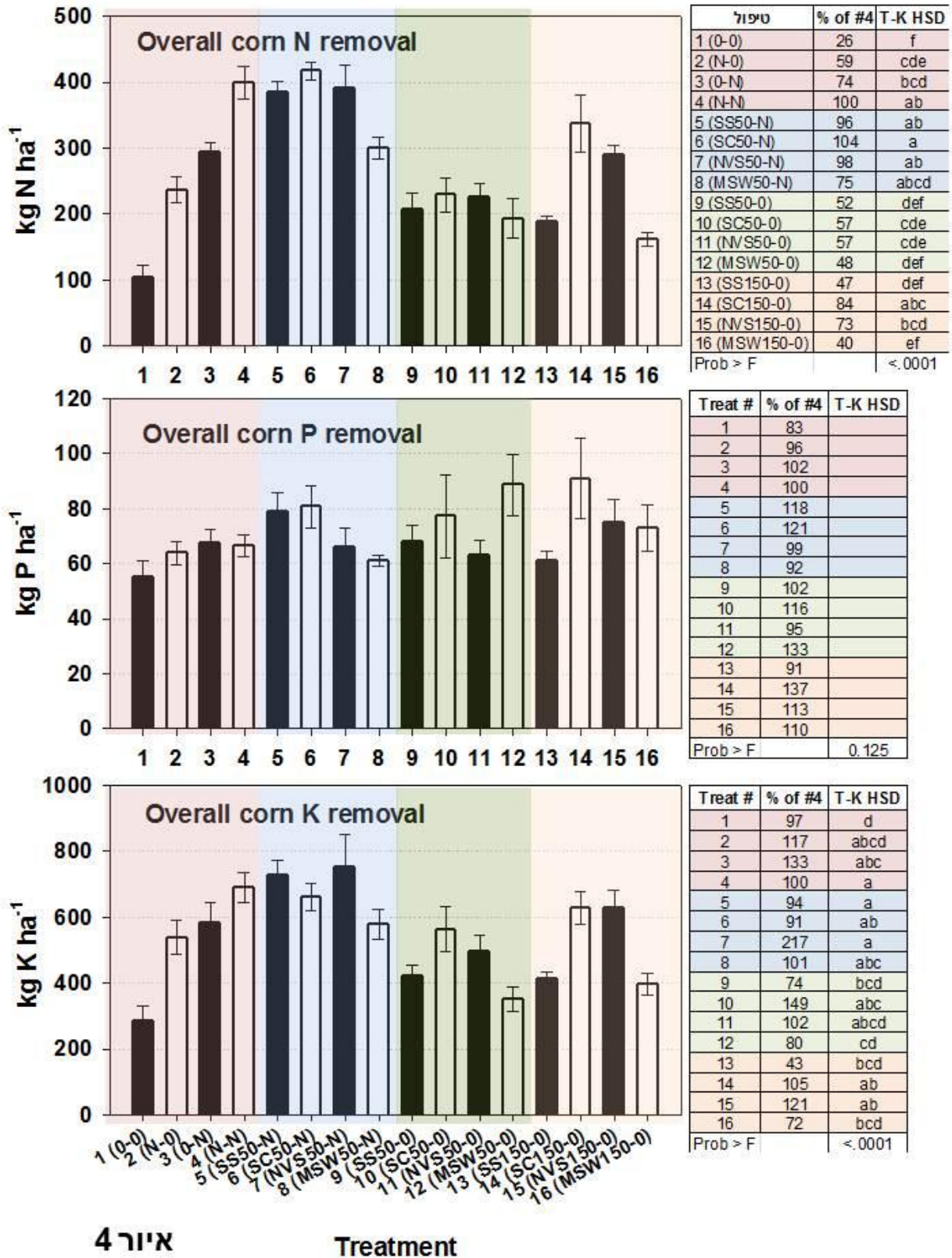
איור 1

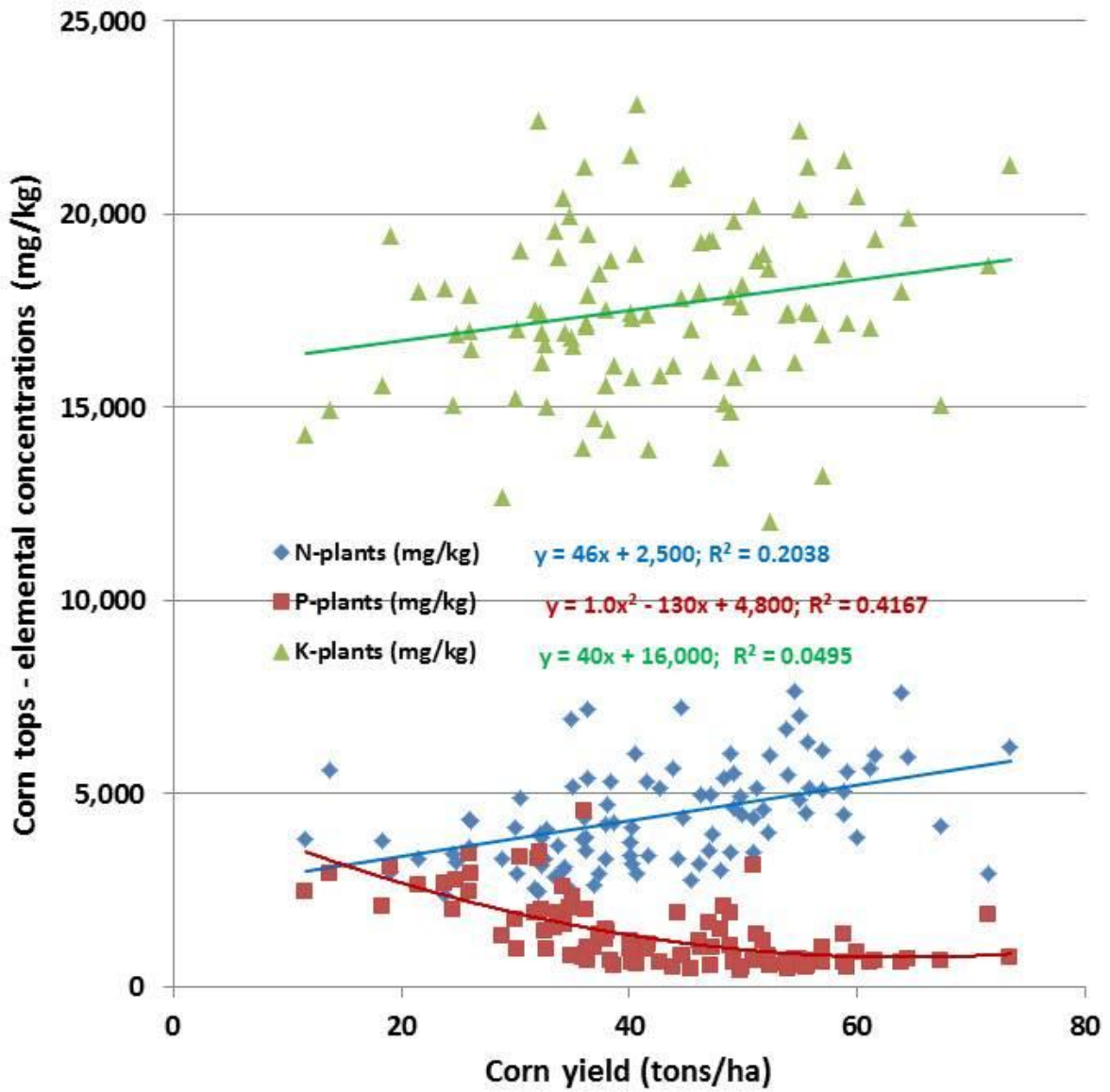
Treatment



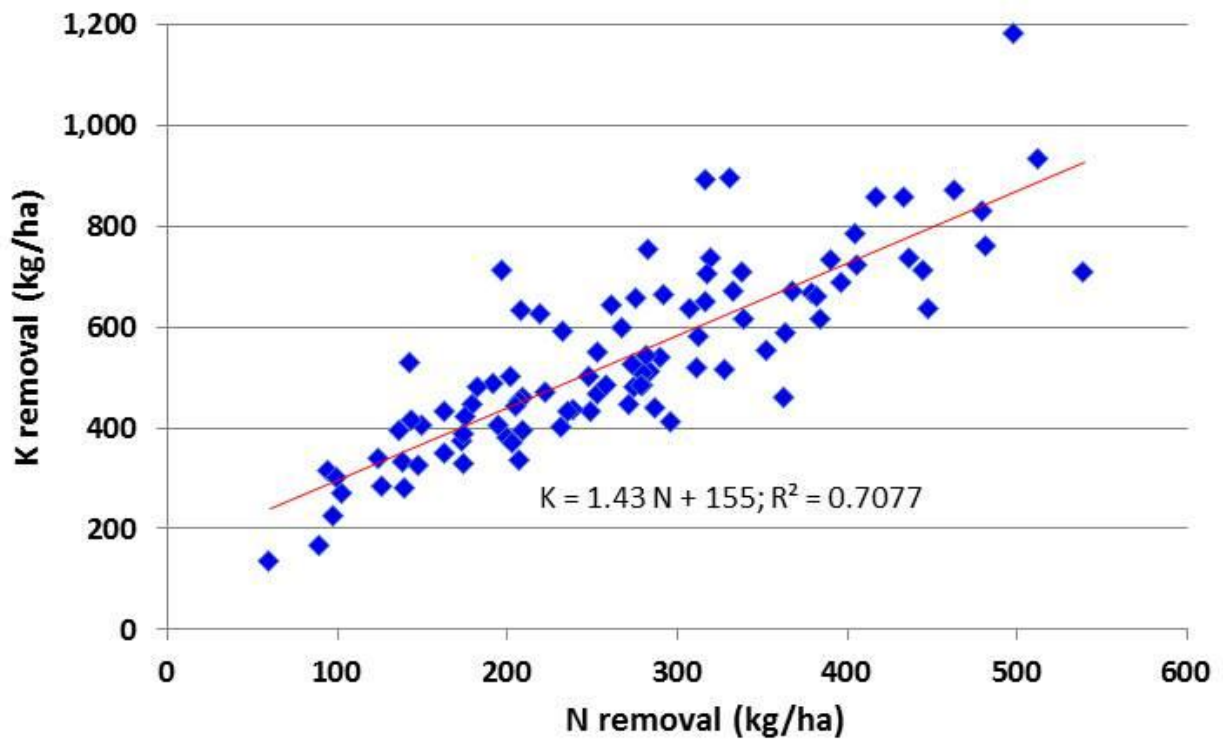


איור 3

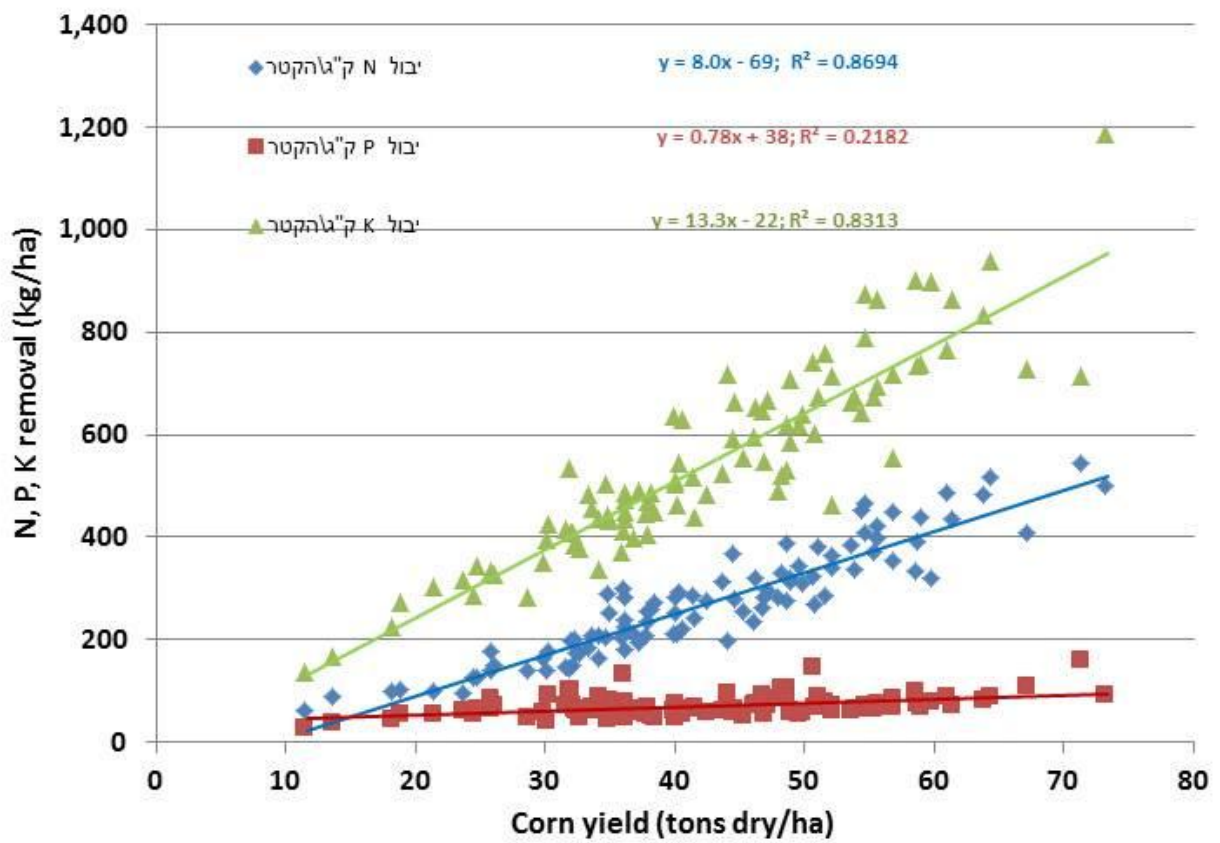




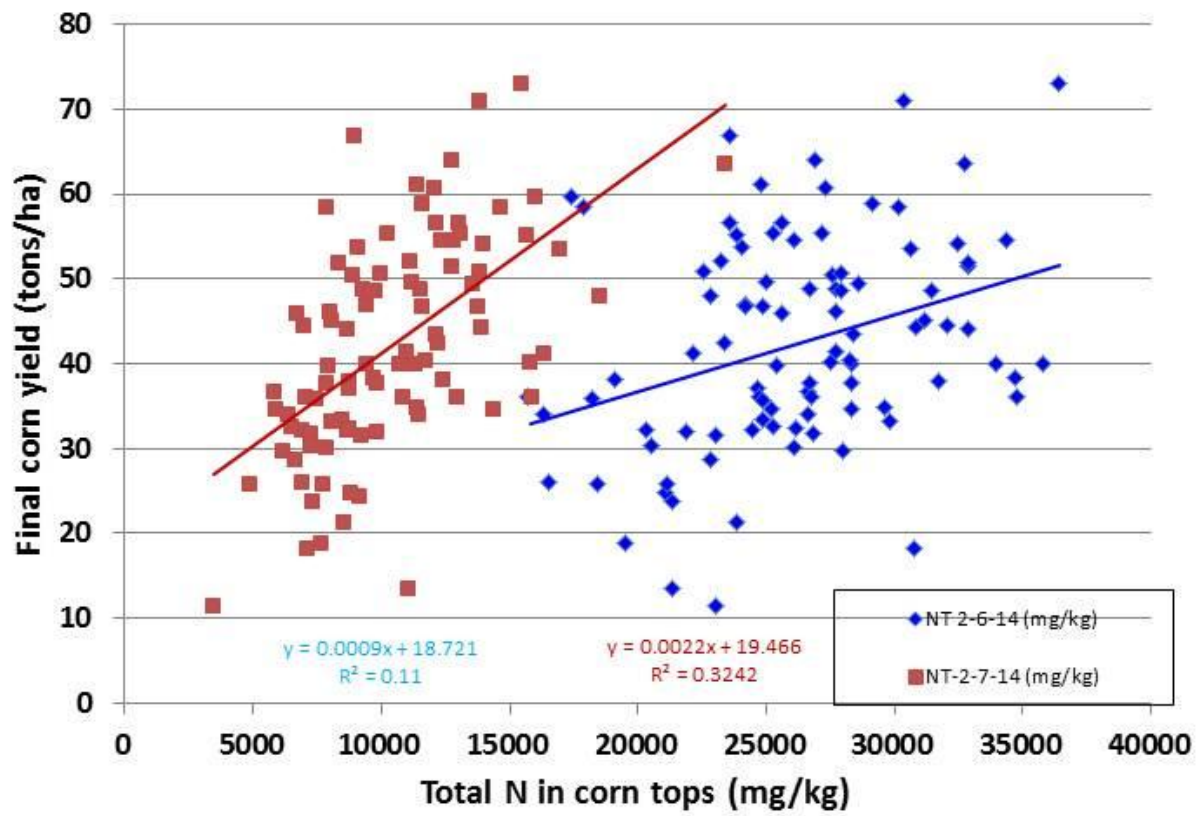
איור 5



איור 6



איור 7



איור 8