

שימוש חקלאי בבוצות שפכים מיוצבות באפר-פחם מרחף ובסיד

טיוטת דו"ח לשנת 2006 למנהלת אפר הפחם

מוגש ע"י

פנחס פיין, אורי מינגלגרין, אריה בוסק, רבקה רוזנברג, אנה בריוזקין, שושי סוריאנו, אילן דרור
המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני,

ת"ד 6, בית דגן 50250

finep@volcani.agri.gov.il

תקציר הדו"ח

תכשירי בוצה מיוצבת בסיד (במ"ס) הוכנו מבוצות מביית-שמש או אשדוד בתערובות עם סיד חי או CKD ועם אפר פחם מרחף או חרסיות כמלאנים. סה"כ נבדקו התכונות של 6 תערובות שונות. התערובות עורבבו בחול דיונה ב-10 הרכבים שונים ותכונות ההזנה שלהן, והשפעתן על ההרכב הכימי של צמחים נבחנו בניסוי עציצים בחממה, עם תירס כגידול בוחן, ובהשוואה לעציצים עם בוצת בית-שמש או עם דישון כטיפול ביקורת. יחסי הערבוב של התוספים עם החול היו לפי תכולת החומר האורגני בהם (בין 0.6 ל-3.3 טון/ד'), והעומס הכולל של הבוצה המיוצבת בקרקע היה בין 6.5 ל-26 טון/ד'. השתמשנו בחול ולא בקרקע כדי להשיא את השפעת התוספים. ה-pH ההתחלתי של התערובות היה סביב 12.5, והוא נשאר כזה במשך שבוע לפחות לאחר ההכנה. קרבונציה של עודפי ההידרוקסיל לאחר הערבוב עם החול והרטבה, הורידה את ה-pH ל-9 לאחר כ-10 ימים, ובתום תקופת הניסוי (115 יום לאחר הערבוב), ה-pH היה 8 או פחות מזה (גם בעומסי יישום שהיו שקולים ל-26 טון/ד').

שיעור המינרליזציה הממוצע של החנקן האורגני בבמ"ס היה גבוה, כ-60% מהתוספת, בשני סוגי הבוצה ועם אפר פחם או חרסיות כמלאן. הדבר מעיד כי התיפקוד הביולוגי של הקרקע לא נפגע. עם זאת, נראה כי איבודי חנקן במערכת הקטינו את זמינות החנקן והגבילו את הצימוח. תשומות האשלגן בתערובות בוצה-קרקע הספיקו לצימוח תקין רק בטיפול הבמ"ס עם חרסיות כמלאן. מעניינת התנהגות הזרחן במערכת. זמינות הזרחן לא הייתה גורם מגביל בכל הטיפולים, כפי שניתן להקיש מהגורמים הבאים: (א) הזמינות הפוטנציאלית של הזרחן בקרקע (לפי מיצוי בדו-פחמה) פחתה רק בכ-10%-40% במהלך כ-115 ימי ההדגרה בעציצים (למרות השימויים המפליגים ב-pH, לעיתים מ-12.5 עד >8), (ב) הזרחן הזמין בסיום עדיין היווה כ-20%-30% מכלל תוספת הזרחן שנותרה בקרקע, (ג) קליטת זרחן בצמחים הייתה בד"כ בשיעור נמוך (עד 5% מכלל הכמות שהוספה לקרקע). תכולת הזרחן בבוצה עצמה (הרבה יותר בבוצת אשדוד מבבוצת בית שמש) ובמלאן (יותר באפר הפחם) השפיעו על זמינות הזרחן.

כל התערובות עמדו בתקן הישראלי למתכות כבדות. אפר הפחם הגדיל במעט את ריכוז הניקל בבוצות, לא השפיע על ריכוז הכרום, והקטין מאד את ריכוזי הקדמיום, העופרת, האבץ והנחושת. התוספת לקרקע של מרבית היסודות המנוטרים (כספית לא נבדקה) עם הבמ"ס השונות הייתה בין מאיות מ"ג/ק"ג קרקע (קדמיום), למ"ג בודדים לק"ג (עופרת, נחושת, כרום וניקל) לכ-15 מ"ג/ק"ג (אבץ), והייתה מתחת לסף הרגישות של

המדידה עבור מרבית היסודות והטיפולים. גם ריכוזי יסודות הקורט והמתכות הכבדות בצמחים כמעט לא הושפעו בטיפולי הבמ"ס בהשוואה לטיפולי ההיקש (דשן כימי או בוצה לא מיוצבת). ריכוזי עופרת וקדמיום בצמחים היו מתחת לסף המדידה או בסף. ריכוזי יסודות הקורט החיוניים ברזל, נחושת ומנגן היו אחידים למדי בכל הטיפולים. ריכוזי אבץ היו גבוהים למדי אך במרבית הטיפולים השונות הייתה גבוהה מאד. ריכוזי בורון היו גבוהים יותר בצמחים שגדלו על תוספים שהכילו אפר פחם אולם כל הריכוזים היו נמוכים (עד כ-40 מ"ג/ק"ג). ריכוזי מוליבדן וליתיום בצמחים בטיפולי הבמ"ס (בעיקר אלה שהכילו אפר פחם) היו גבוהים במידה ניכרת בהשוואה לצמחי ההיקש ובהשוואה לריכוזים מדווחים, אך אין ביסודות אלה משום סיכון סביבתי או סיכון לשרשרת המזון. ריכוזי יסודות אחדים (כרום, קובלט, בורון, סטרונציום) היו בתחום הרגיל. שני ניסויי שדה (חיטה בשלחין) בבמ"ס על בסיס אפר פחם מצויים בביצוע, וניסוי שלישי (תפוא"א, שלחין) מתוכנן להתבצע בראשית ינואר 2007.

לסיכום, נראה שאין סיכון לצמח, לקרקע, לשרשרת המזון ולסביבה משימוש בבוצת שפכים מיוצבת בסיד ובחריסיות או באפר פחם, ואין שינוי משמעותי בתכונות הביולוגיות או ההזנתיות של הקרקע.

כללי

נבדקת ההשפעה של בוצת שפכים מיוצבת בסיד ובאפר פחם (במס"א) על גידולים חקלאיים. מאחר שלא הגיעה לידינו במס"א מהשפד"ן, התמקדנו בשלב זה בבמס"א מבית-שמש. בוצת בית-שמש אינה עוברת ייצוב, והיא דומה בכך לבוצת השפד"ן. הבוצה נלקחה ישירות מה- belt press במט"ש בית שמש. נבדקת גם האפשרות להשתמש באפר פחם ובסיד כתחליף מלא או חלקי ל'מלאנים' ול-CKD בייצור אקוסויל (בוצה מיוצבת בסיד – במ"ס) בבית שמש. השתמשנו גם בבוצת אשדוד, המייצגת בוצה מתהליך טיפול שונה הכולל גם ייצוב אל-אווירני. הבמס"א מבוצת בית-שמש ששימשה בניסוי השדה ובסימולציה בחממה הועשרה בבוצת אשדוד, כחיקוי ליחסי המרכיבים (בוצה : אפר פחם : סיד חי) האמור להיות לפי דברי היצרנים (כר"ם טכנולוגיות) בבמס"א מבוצת השפדן.

ניתן לייצב בוצת שפכים לפי אלטרנטיבה #1 (עם חימום) או לפי אלטרנטיבה #2 (ללא חימום). באלטרנטיבה #1, הדרישה היא לקבל pH 12 בתערובת למשך 72 שעות לפחות, וטמפרטורה $52 \leq$ מ"צ ל-12 שעות. באלטרנטיבה #2, הדרישה היא לקבל pH 12 בתערובת למשך 7 ימים לפחות, ולקיים את ה-pH הזה בערימה למשך חודש ימים. בשתי האלטרנטיבות יש דרישה לייבוש החומר, ל-50% ול-65% חומר יבש לפחות, בהתאמה. הדרישה ל-65% באלטרנטיבה #2 נראית מיותרת ומזיקה לאיכות האגרונומית של החומר שיתקבל.

שיטות

ניסוי עציצים:

מטרת הניסוי הייתה להעריך באופן יחסי את הערך הדישוני ואת הזמינות לצמח של יסודות קורט ומתכות כבדות מהבוצות המיוצבות באפר פחם מרחף ובסיד. היו 3 אופני הכנה: (א) בוצת מט"ש אשדוד או בוצת מט"ש בית-שמש עורבבו במעבדה (בוולקני או בבית שמש) עם אפר פחם מרחף וסיד, (ב) הוכן אקוסויל בבית שמש במתקן בשיטה הרגילה (עם חריסיות כמלאן ועם CKD) או עם אפר פחם כתחליף לחריסיות (במס"א). החומר שימש לניסויי שדה ונבדק גם בניסוי העציצים, (ג) במס"א עורבבה עם בוצת אשדוד ביחס ערבוב 1:1 במטרה לחקות נוהג שהשתרש להעשיר את האקוסויל בבוצה. נוהג זה יתבטל עם הכניסה לתוקף של התקנות

המונעות יישום בוצה סוג ב'. בכל התערובות שהוכנו במעבדה נבדק ה-pH ונבדק קצב השינוי בו. הדבר דווח בהרחבה בדו"ח הביניים. בניסוי הנוכחי נבדקו תערובות אחרות ועל כן לא נחזור על נתוני דו"ח הביניים. בכל מקרה, הדגש היה על עלייה ב-pH של התערובת לערך ≤ 12 , והשארות שלו למשך שבוע לפחות (מדווח בהמשך, איור 2).

הטיפולים מוצגים בטבלה 1. כל יחסי הערבוב היו על בסיס המשקל הלח של הבוצה. סמל הטיפול מורכב ממקור הבוצה (אשדוד ו/או בית שמש), החלק היחסי בתערובת של הבוצה, האפר, המלאן והסיד, אלה מופרדים בקו נטוי מהכמות (גר') שהוספה לעציץ. החומר לטיפול 9-10 הוא האקוסויל המיוצר באופן שגרתי במט"ש בית-שמש. החומר לטיפול 12 הוא תערובת של במס"א (במשקל כולל של 44.5 טון), שהוכנה בבית-שמש ביולי 2006 מאפר פחם ו-CKD לפיזור בשדה. טיפול 12 הוא דוגמה מהבמס"א לעיל, שהועשרה בבוצת ממט"ש אשדוד. יחס הערבוב היה אמור לחקות את ההרכב של במס"א מבוצת השפד". טיפול 13 הוא טיפול ביקורת ללא בוצה עם דשן "שפר 7-3-7" הכולל יסודות קורט.

טבלה 1: הטיפולים בניסוי העציצים.

קוד הטיפול מורכב ממקור הבוצה (מט"ש בית שמש או אשדוד), יחסי המרכיבים שעורבבו להכנתו, ומעומס הבוצה (טון חומר יבש לדונם) (מחושב ממשקל התערובת שעורבבה בעציץ בנפח 3.8 ל' עם כ- 4.4 ק"ג חול/עציץ).

מס' טיפול	סמל הטיפול	מקור הבוצה	מרכיבי התערובת (גרם)				עומסי יישום (לפי כמות הבוצה בתערובת)	
			בוצה לחה	אפר פחם	סיד חי	תוסף לח	בוצה יבשה	אחוז מהמנה המותרת
1	Ashd100:50:0:8/ 8(65)	אשדוד	100	50	8	6.5	0.8	55
2	Ashd100:50:0:8/ 17(129)	אשדוד	100	50	8	12.9	1.7	111
3	Ashd100:50:0:8/ 33(259)	אשדוד	100	50	8	25.9	3.3	222
4	BS100:50:0:8/ 8(65)	בית שמש	100	50	8	6.5	0.8	53
5	BS100:50:0:8/ 16(129)	בית שמש	100	50	8	12.9	1.6	105
6	BS100:50:0:8/ 32(259)	בית שמש	100	50	8	25.9	3.2	211
7	BS500:500:0:40/ 9(129)	בית שמש	50	50	4	12.9	0.9	62
8	BS500:0:500:40/ 10(129)	בית שמש	50	50	4	12.9	1.0	67
9	Ecos/ 6(101)	בית שמש				10.1	0.6	43
10	Ecos/ 14(213)	בית שמש				21.3	1.4	91
11	BS/ 6(29)	בית שמש				2.9	0.6	41
12	BS-Ecos-FA : Ashd=1:1 / 17(103)	בית שמש + אשדוד	14.5 +44.5	28	2	10.3	1.7	111
13	Fertilizer							-

העציצים היו בנפח 3.8 ל' עם כ- 4.375 ק"ג חול/עציץ. התערובות בוצה-חול הוכנו ביד, ונארזו בעציצים ב-5 חזרות (ב-22/6/06). עומס התערובת בקרקע חושב לפי כמות החומר האורגני במרכיב הבוצה בתערובת. על פי התקנות לשימוש חקלאי בבוצות שפכים, הכמות המותרת להוספה היא 1.5 טון בוצה יבשה/ד'שנה או 1.1 טון חומר אורגני/ד'שנה. עומס כזה של חומר אורגני שקול ל-2.75% מהמשקל היבש של הקרקע בשכבת החריש (לפי 20 ס"מ עובי וצפיפות נפחית 1.25 טון/מ"ק). להמחשה, כשתכולת החומר האורגני הבוצתי בתערובת היא 13% (כגון, באקוסויל רגיל) עומס היישום המותר ע"פ גורם זה הוא כ-8.5 טון חומר יבש/ד' שהם כ-12 טון/ד' אקוסויל לח (לפי 70% חומר יבש באקוסויל). לפי גורם זה, עומס היישום של תערובת לחה היה 3-26 ט'ד' שהיוו 40%-300% מהעומס המותר. משתנה אחר לפיו נקבע עומס הבוצה בקרקע הוא תשומה מרבית של 50 ק"ג חנקן כללי/דונם/שנה. בהמשך, נחזור לדון בעומסי היישום לפי מדד זה.

הקרקעות הורטבו ונערך מעקב אחר ה-pH והמוליכות החשמלית של מיצוי הקרקע. ב-4/7/06 נזרע תירס מתוק (4 זרעים/עציץ). הנביטה הייתה חלקית, וגם הצמחים שנבטו התמוטטו במרבית הטיפולים. סיבה אפשרית יכלה להיות החום הכבד (מעל 40 מ"צ שהיה בחממה עקב תנאי מזג האוויר ובגלל כשל במיזוג. ב-16/8/06 נקצרו כל הצמחים ששרדו, ולמחרת נזרע מחזור שני של תירס, זן 'דרכמה' למספוא. טיפולים 12 ו-13 הוכללו רק במחזור השני. הצמחים נקצרו ב-15/10/06 (59 ימים לאחר הזריעה), והקרקע נדגמה. בחלק מהעציצים הופרדו השורשים מהקרקע לאחר קציר הנוף.

ההשקיה הייתה במי-ברז. בתחילה היא הייתה ידנית, ובהמשך הותקן מחשב השקיה, וההשקיה הייתה בטפטפות בספיקה של 2.5 ל"שעה, פעמים ביום, בכמות של 200 עד 400 מ"ל/עציץ/יום. ההשקיה הייתה ללא נקז, ובמידה שהיה נקז, הוא נאסף במלואו והוחזרו לעציץ. בימים 42, 49 ו-56 לאחר הזריעה ניתן אשלג במים במנה כוללת של 156 מ"ג/עציץ (שהנם שקולים לכ-9 ק"ג/ד'). ההשקיה בביקורת הייתה יחד עם יתר העציצים. פעמיים בשבוע נותקה מערכת ההשקיה בביקורת ובעציצים אלה ניתנה השקיה ידנית בתמיסת דשן (אלפית ריכוז של "שפר 7-3-7, עם יסודות קורט"; שקול לכ-32, 6, ו-27 יחידות חנקן, זרחן ואשלגן, בהתאמה).

בדיקות כימיות:

בוצות וקרקע: חנקן מינרלי נבדק ע"י מיצוי ב-1N KCl ביחס 1 ל 8 מוצק לנוזל. המבחנות טולטלו במשך שעה, סורכזו, והנוזל העליון נבדק באוטואנלייזר תוצ' Lachat. זרחה ואשלגן נבדקו במיצויים ב-0.5 N NaHCO₃ ב-pH 8.5 ביחס מוצק:נוזל 1 ל-20 לאחר שעה טלטול במבחנה. המבחנות סורכזו, והנוזל העליון סונן והוחמץ (לסילוק הדו-פחמה). זרחן נבדק באוטואנלייזר לעיל, אשלגן נבדק בפוטומטר להבה. מוליכות חשמלית ו-pH של המדגמים נקבעו במיצוי מימי ביחס מוצק:מים 1:2. פחמן וחנקן כלליים בבוצות נקבעו באמצעות C-N Analyzer תוצ' Thermo-Finnigan. חנקן וזרחן כלליים במדגמי קרקע נקבעו לאחר עיכול מדגמים בשיטת קיילדאל ומינרליזציה של החנקן (לאמוניום) והזרחן (לזרחה), מיהול של החומר המעוכל במים מזוקקים, ובדיקה של הנוזל באוטואנלייזר לעיל.

סריקת יסודות כללית במדגמי בוצה נעשתה באמצעות ICP-AES. מדגמים במשקל 0.5 ג' עוכלו ב-4 מ"ל חומצה חנקתית מרוכזת בתוך מכלי טפלון אטומים, בחימום ל-8 שעות ב-150 מ"צ. לאחר קירור, החומצה נמהלה פי 4, וריכוזי היסודות נמדדו ב-ICP-AES.

צמחים: מדגמי נוף של צמחי התירס נשטפו היטב במעבדה (בתמיסת 1% טריטון 100 ובמים מזוקקים). הצמחים יובשו ונטחנו. מדגמים במשקל 0.1 גרם עוכלו ב-4 מ"ל חומצה גופרתית מרוכזת רותחת עם הוספות עתיות של מי-חמצן לחומצה (לאחר קירורה לטמפרטורת החדר). העיכול היה במבחנות בנפח 100 מ"ל בבלוק אלומיניום. לאחר מיהול מתאים במים חסרי יונים, נקבע ריכוז החנקן (כאמוניום) באוטואנלייזר לעיל. מדגמי צמח דומים עוכלו בצורה דומה ב-4 מ"ל חומצה חנקתית מרוכזת ונבדקו בצורה דומה. דוגמאות פקעת יבשות טחונות במשקל חצי גרם עוכלו בחומצה חנקתית רותחת עד להתבהרות התמיסה, וסריקת יסודות בוצה באמצעות ICP-AES.

ניסויי שדה:

ניסוי 1: הניסוי מבוצע בשטחי קיבוץ 'רבדים' על קרקע ורטיסול. הטיפולים בניסוי וריכוזי היסודות העיקריים בבוצות ניתנים בטבלה 2. הטיפולים בניסוי הם בחמש חזרות בבלוקים באקראי, סה"כ 30 חלקות. כל חלקה היא בשטח 480 מ"ר (12 X 40), והחלקות והשטח מסומנים היטב באמצעות סימני שטח ברורים וב-GPS. חיטה נזרעה לקראת סוף נובמבר. טיפולים ה' ו' הועשרו בבוצת אשדוד כדי לדמות במס"א עם תכולת בוצה

גבוהה יותר.

ניסוי 2: הניסוי מבוצע בשטחי המושב השיתופי 'בני-דרום' על קרקע חול. הניסוי מיועד בעיקרו לבחון שיפור תכונות המצע באמצעות אפר פחם מרחף, והסמכנו לו טיפול נוסף בבמס"א ממט"ש בית שמש. הטיפולים בניסוי ניתנים בטבלה 3 (החומרים נמצאים בבדיקה), והם בחמש חזרות בבלוקים באקראי, סה"כ 20 חלקות. הפיזור בוצע ב-1 בנובמבר 2006. כל חלקה היא באורך 12 מטר וברוחב כ-7 מטר. החלקות והשטח מסומנים היטב באמצעות סימני שטח ברורים וב-GPS. חיטה נזרעה באמצע נובמבר.

טבלה 2: הטיפולים בניסוי השדה ברבדים

מס' טיפול	סוג הטיפול
א	דישון כימי*
ב	5 מ"ק"ד' בוצת אשדוד
ג	5 מ"ק"ד' במס"א מבית שמש
ד	10 מ"ק"ד' במס"א מבית שמש
ה	טיפול ג' + 2.5 מ"ק"ד' ב' אשדוד
ו	טיפול ד' + 5 מ"ק"ד' ב' אשדוד

(* ב-19/9/06 ניתן דשן בטיפול א': אוריאה 22 ק"ג/ד' = 10 יחידות חנקן, ו-17 ק"ג/ד' סופר פוספט = 10 יחידות זרחן. פיזור הזבלים בוצע ע"י אהוד בן-יעקב ב-20/21 בספטמבר.

טבלה 3: הטיפולים בניסוי השדה בבני דרום, והרכב הזבלים.

סוג הטיפול										מס' טיפול
Ni mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Pb mg/kg	Cd mg/kg	C %	K %	P %	N %	דישון כימי
43	74	45	39	20	0.20	3.5	0.17	0.63	0.02	אפר מרחף 10 טון/ד
29	42	48	128	43	0.43	9.1	0.46	0.36	0.79	אפר מרחף 30 טון/ד במס"א 10 טון/ד

ניסוי 3: מתוכנן ניסוי שדה בשלחין בגידול תפוז"א (זרעית ינואר) בקרקע חמרה חולית באתר מדרום מזרח לאשדוד. יושו בו במס"א, קומפוסט בוצה, קומפ' זבל בקר, קומפ' זבל פטמים ודישון רגיל.

תוצאות

ניסוי עציצים:

ההרכב הכימי של תערובות בוצה-אפר: ההרכב הכימי של תערובות הבוצה שנבדקו בניסוי העציצים מוצג בטבלה 4. להשוואה מובאים גם הרכבי בוצת אשדוד ואפר הפחם ששימשו להכנת התערובות, וכן בוצת השפד"ן והתקן הישראלי ליסודות קורט בבוצות המשמשות ליישום חקלאי. בוצת טיפול 8 לא נבדקה אולם הרכבה צריך להיות דומה מאד להרכב של התערובות בטיפולים 9 ו-10, שהיא האקוסויל הרגיל. טווח ריכוזי הפחמן בתערובות היה בין 13 ל-29% מהמשקל היבש, החנקן: 0.8%-5% והזרחן: 1%-2.4%. ריכוזי האשלגן בתערובות היו בד"כ דומים. ריכוזי יסודות הקורט (כספית לא נבדקה) היו מתחת לריכוז המרבי המותר בתקן הישראלי, חוץ מריכוז עופרת חריג בבוצת בית-שמש (טיפול 11), ובתערובת שהכילה ריכוז גבוה יחסית של בוצה זאת (טיפולים 4-6). הערבוב של הבוצות עם אפר פחם לא השפיע על התכולה של חלק מיסודות הקורט (ניקל וכרום) בתערובת בגלל דמיון בריכוז המצוי בבוצה, ומהל את הריכוז של יסודות קורט אחרים (עופרת, קדמיום). התכולה הנמוכה באפר הפחם יחסית לבוצות של אבץ, עופרת, נחושת וקדמיום, וכן של פחמן, חנקן וזרחן גרמה לירידה בריכוזים שלהם בתערובות הבוצה עם האפר. שיעור המשקל היבש (DM) בבוצה היה 21%, ובבמס"א בין 48% ל-68%.

השפעת הבוצות על תכולת יסודות בקרקע: הריכוז הממוצע של היסודות השונים בתערובות זבל-חול חושב

לפי ההרכב המדוד של כל אחת מהתערובות (שנקבע ע"י יחס בוצה: אפר: מלאן : סיד) ולפי יחס הערבוב של התערובות עם החול. טבלה 5 מציגה את תרומת הבוצות לריכוז היסודות בקרקע. ניתן לראות, כי גם ביחסי היישום הגבוהים (4.7 טון בוצה יבשה/ד', פי 3 בערך מהעומס המותר) תוספת קדמיום הייתה בלתי מדידה, והתוספת של מרבית יסודות הקורט האחרים הייתה קטנה (ובתחום שגיאת המדידה). עומסי החנקן הכללי בקרקע היו בין 30 ל-177 ק"ג/ד', הערך הגבוה הוא פי 3.5 מהערך העליון המותר ליישום ע"פ התקן (50 ק"ג/ד'/שנה).

טבלה 4: הרכב כימי של הזבלים ששימשו לניסוי העציצים. בטיפולים 1-12 הריכוזים מובעים על בסיס המשקל הלח של החומרים. זיהוי התערובות הוא ע"פ מס' הטיפול ו/או הסימול מוצג בטבלה 1. בחלק השני של הטבלה הריכוזים הם על בסיס במשקל היבש של הבוצות.

§ האקוסויל ששימש בניסוי היה בעל תכולה גבוהה יותר מהמקובל של מרכיב הבוצה (18.4% מהמשקל היבש), מה שהתבטא בתכולות פחמן, חנקן וזרחן גבוהות יחסית. לעומת זאת, תכולת הזרחן בבוצת בית שמש הייתה נמוכה יחסית (כ-1.4%).

מס' הטיפול	סמל הטיפול	1 – 3	4 – 6	7	8 & 9- 10	11	12	Ashdod sludge	Fly ash	N-Viro- Shafdan- fly ash	Ecosoil- Revadim- fly ash	Israel Max
		Ashd 100:50:0 :8	BS 100:50: 0:8	BS 500:0: 500:40	BS- Ecosoil	BS sludge	BS-FA : Ashd = 1:1					
N	%	1.40	1.29	0.80	0.51	5.00	0.86	5.50	0.02	1.61	0.79	
P	%	1.30	0.92	0.80	0.52	2.10	0.74	3.50	0.63	0.97	0.36	
K	%	0.19	0.20	0.19	0.12	0.39	0.12	0.31	0.17	0.22	0.46	
C	%	10.6	9.6	7.2	4.6	29.4	6.5	33.0	3.5	12.5	9.1	
OM	%	18.3	16.6	12.4	7.9	50.7	11.2	56.9	6.0	21.5	15.7	
DM	kg/kg	0.52	0.52	0.65	0.68	0.21	0.39	0.19	1.00		0.62	
B	mg/kg	123	149	161	41	138	129	43	188	130	83	
Ba	mg/kg	967	1,051	1,188	189	636	979	349	1,465	1,119	887	
Ca	%	4.57	5.43	5.54	32.28	7.17	4.78	4.24	5.95	11.22	4.24	
Cd	mg/kg	0.42	0.28	0.24	0.59	0.62	0.39	1.32	0.20	0.30	0.43	20
Co	mg/kg	12	12	14	4	5	12	5	18	11	12	
Cr	mg/kg	66	54	61	52	34	63	91	74	50	42	400
Cu	mg/kg	82	76	63	69	190	82	236	45	77	48	600
Fe	mg/kg	11,527	9,814	11,105	9,318	5,892	11,099	14,069	13,705	9,413	8,964	
K	mg/kg	1,743	2,040	1,887	5,558	3,931	1,831	3,072	1,713	2,216	4,595	
Li	mg/kg	89	93	111	10	15	89	2	147	81	66	
Mg	mg/kg	8,542	7,625	8,436	3,469	5,810	8,315	10,490	10,131	8,148	2,544	
Mn	mg/kg	196	202	226	92	140	196	129	274	188	83	
Mo	mg/kg	3.3	3.3	3.2	2.9	5.7	3.3	6.3	3.1	3.3	3.6	
Na	mg/kg	1,085	1,183	1,114	1,470	2,146	1,118	1,959	1,048	1,004	839	
Ni	mg/kg	34	33	36	29	26	34	36	43	31	29	90
P	mg/kg	11,906	7,431	6,906	3,655	14,094	11,024	35,117	6,332	9,681	3,591	
Pb	mg/kg	29	93	64	58	315	46	72	20	15	43	200
S	mg/kg	4,693	3,776	3,130	5,928	9,594	4,571	14,628	2,197	5,138	3,636	
Sn	mg/kg	41	2	2	2	6	33	175	1	2	1	
Sr	mg/kg	1,541	1,528	1,841	299	197	1,519	293	2,436	1,513	761	
Ti	mg/kg	58	68	65	194	117	61	86	63	87	87	
V	mg/kg	76	74	86	48	30	75	43	109	72	76	
Zn	mg/kg	235	265	177	212	947	251	921	39	260	128	2500

טבלה 5: תרומה מחושבת מהזבלים לקרקע של יסודות הזנה ומתכות כבדות מנוטרות בניסוי העציצים. זיהוי הבוצות ע"פ מס' הטיפול ו/או הסימול בטבלה 1.

מס' טיפול	סמל הטיפול	עומס בוצה ח"ד'	עומס חנקן ק"ג/ד'	N mg/kg	P mg/kg	K mg/kg	C %	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg	Cr Mg/kg	Ni mg/kg
1	Ashd100:50:0:8/ 8(65)	1.2	43	173	160	59	0.13	0.006	0.39	3.18	1.10	0.89	0.46
2	Ashd100:50:0:8/ 17(129)	2.3	86	345	321	83	0.26	0.011	0.78	6.36	2.21	1.78	0.93
3	Ashd100:50:0:8/ 33(259)	4.7	173	692	643	130	0.53	0.023	1.57	12.74	4.43	3.57	1.86
4	BS100:50:0:8/ 8(65)	1.2	43	173	124	63	0.13	0.004	1.25	3.57	1.02	0.72	0.44
5	BS100:50:0:8/ 16(129)	2.3	87	347	247	91	0.26	0.007	2.49	7.14	2.05	1.45	0.89
7	BS500:500:0:40/ 9(129)	0.9	66	265	265	98	0.24	0.008	2.14	5.88	2.11	2.02	1.20
8	BS500:0:500:40/ 10(129)	1.0	76	305	133	239	0.46	0.022	2.12	7.76	2.51	1.91	1.06
6	BS100:50:0:8/ 32(259)	4.7	174	695	496	146	0.52	0.015	5.00	14.30	4.11	2.90	1.78
9	BS Ecosoil / 6(101)	1.3	84	265	265	98	0.24	0.008	2.14	5.88	2.11	2.02	1.20
10	BS Ecosoil/ 14(213)	2.6	177	305	133	239	0.46	0.022	2.12	7.76	2.51	1.91	1.06
11	BS sludge/ 6(29)	0.6	30	238	104	194	0.36	0.017	1.66	6.07	1.96	1.49	0.83
12	BS-Ecos-FA : Ashd=1:1 / 17(103)	1.7	72	503	221	371	0.77	0.036	3.51	12.83	4.15	3.15	1.76

יבול צמחי התירס:

להלן, נדווח על תוצאות המחזור השני של ניסוי הגידול בעציצים. מחזור זה נמשך כחודשיים, הזריעה הייתה ב-16/08/06, 55 ימים לאחר ערבוב הבוצות בקרקע (ערבוב הבוצות בטיפולים 11 ו-12 בוצע סמוך לזריעה). הקציר היה ב-15/10/06, והוא בוצע בעיקר בגלל עצירת הצמיחה. כפי שנאמר לעיל, המחזור הראשון הסתיים לאחר שמרבית הצמחים מתו, כנראה עקב החום הכבד ששרר בחממה. האנליזות הכימיות בוצעו בצמחים משני מחזורי הצמיחה יחד.

ראשית, יש לשים לב שהיישום לא היה לפי העומס הכולל של החומר המיושם אלא על בסיס עומס מרכיב החומר האורגני בבוצה במס"א (או בזבלים האחרים). לפיכך, עומסי יישום הזבלים היו 6.5-29 ט"ד' (על בסיס חומר לח), ועומסי יישום הבוצות עצמן היו 0.6-3.3 טון/ד' (על בסיס חומר יבש). טיפול 11 היה בבוצת בית-שמש לא-מיוצבת, ועומס היישום היה 0.6 טון בוצה יבשה/ד' (2.9 טון בוצה לחה/ד'), עומס זהה לעומס הבוצה בטיפול 9 (אקוסויל מבית-שמש).

נחזור בקצרה על הטיפולים (טבלה 1): במס"א בטיפולים 1-3 ובטיפולים 4-6 היו סימולציה מעבדתית עם בוצת אשדוד ובוצת בית-שמש, בהתאמה. עומסי הבוצה (על בסיס משקל יבש של הבוצה עצמה) היו בין 1.2 ל-4.7 טון/ד'. בהתאמה, עומסי החנקן הכללי היו בין 43 ל-173 ק"ג/ד'. עומסי זבל (ע"ב המשקל הלח) היו 6.5-26 טון/ד'. טיפולים 9 ו-10 היו באקוסויל המסחרי המיוצר בבית שמש במינון שקול ל-0.6 ו-1.4 טון/ד'. תכולת מרכיב הבוצה באקוסויל המסוים בו השתמשנו הייתה נמוכה במיוחד - רק 9% מהמשקל היבש של החומר. טיפול 12 היה תערובת של במס"א מבוצת בית שמש עם אותה כמות משקלית של בוצת אשדוד. ערבוב כזה נהוג לעיתים בפיזור חקלאי של "אקוסויל" כדי לפצות על תכולת הבוצה הנמוכה בו. טיפול 11 היה, כאמור, בוצת בית-שמש עצמה. טיפול 13 היה דישון בתמיסה מהולה (1:1000) של שפר 7-3-7 עם יסודות קורט ללא

תוספת זבל. טיפולים 7-8 אינם נדונים הואיל והם אינם מוספים כל מידע על טיפולים דומים.

המשקל היבש הממוצע של הצמחים לעציץ היה בין 15 ל-37 גרם (איור 1). ההבדלים בין הטיפולים היו משמעותיים (מובהקות סטטיסטית טרם נבדקה). בעיקר בולטת התגובה לעלייה בעומס היישום של הבמס"א מבוצת בית-שמש (טיפולים 1-3), ושל האקוסויל (טיפולים 9 ו-10). התגובה לעלייה בעומס היישום בלטה פחות בבמס"א מבוצת אשדוד. ככלל, לא היה הבדל בין ההיקש המדושן לבין טיפולי הבוצה, עומס האקוסויל הגבוה, ותערובת הבמס"א עם בוצת אשדוד.

חשוב להדגיש, כי לעומסי יישום חריגים בחלק מהטיפולים (אף מעל 20 טון/ד') לא הייתה השפעה שלילית על היבול. ההיפך הוא הנכון, הייתה תגובה חיובית ברורה של היבול לעלייה בעומס היישום בטיפולים אלה (טיפולים מספר 1-3, 4-6, ו-9-10).

תמיסת הקרקע:

איורים 2 ו-3 מציגים את ה-pH ואת המוליכות החשמלית של מיצוי קרקע (ביחס מיצוי 1:2, קרקע:מים). ה-pH בתכשירי הבמס"א עצמם (איור 2A) היה גבוה מ-12 למשך זמן ארוך משבוע. ה-pH בתערובות בוצה-חול בחלק מהטיפולים (בעיקר טיפולים 3 ו-6 עם עומס היישום הגבוה) היה גבוה מ-12 אולם בכל התערובות הוא ירד ל-9 בערך בתוך כ-10 ימים מהערבוב. ממועד זה ואילך, ה-pH בכל הטיפולים היה דומה למדי. בסיום הניסוי (115 יום לאחר הערבוב), ה-pH בכל הטיפולים התייצב על 8 או פחות מזה, כולל בעומסי יישום שהיו שקולים ל-26 טון/ד'. המוליכות החשמלית של מיצוי הקרקע הייתה נמוכה בכל הטיפולים (איור 3), והיא עלתה בהדרגה בגלל משטר ההשקיה שהיה ללא שטיפה. גם בסיום המוליכות דל המיצוי הייתה עדיין נמוכה למדי (< 1 ד"ס/מ')

ריכוזי יסודות הזנה מינרליים בקרקע ובצמח:

חנקן:

כמויות החנקן הכללי שניתנו בזבלים היו שקולות ל-30 עד 177 ק"ג/ד' (טבלה 1). עם זאת, ריכוזי החנקן המינרלי בקרקע לא עלו על 32 מ"ג/ק"ג במהלך תקופת הגידול, ובסיום הם היו נמוכים מאד (4 מ"ג/ק"ג בממוצע לכל החזרות בניסוי) (איור 4). הריכוזים בטיפולים 4-6 (במס"א מבית-שמש) היו נמוכים מכל היתר, גם במנת חנקן כללי של 174 ק"ג/ד'. הריכוזים הנמוכים בסיום הניסוי יכולים אולי להסביר את העצירה שחלה בצמיחה.

ריכוזי החנקן בצמחים היו דומים מאד בכל הטיפולים, עם יתרון מובהק (ככל הנראה) לטיפול הדישון (איור 5-A). בכל מקרה, הגם שאין לנו מידע לגבי הזן הספציפי, הריכוזים בכל הטיפולים היו נמוכים בהשוואה לריכוזים רגילים (שהם בתחום 1.5 – 2% מהמשקל היבש). הן הריכוזים הנמוכים והן היתרון של טיפול הדישון מחזקים את האפשרות שהיה מחסור בחנקן בכל הטיפולים. מאחר שהריכוזי החנקן בצמחים היו דומים למדי, גם דגם ההתפלגות של ס"כ כמות החנקן שנקלטה בצמחים (איור 5-B) היה דומה לדגם התפלגות של יבולי החומר היבש (איור 1).

זמינות פוטנציאלית של החנקן בקרקע בטיפולי במס"א: באיור 6 מוצגי נתוני שיעור המינרליזציה של החנקן האורגני בטיפולים השונים וכמויות החנקן שנמצאו בנוף של הצמחים. שיעורי המינרליזציה חושבו לפי ההפרש בין תכולת החנקן הכללי ההתחלתית בקרקע לבין תכולת החנקן הכללי בקרקע בסיום הניסוי. התכולה ההתחלתית חושבה לפי תכולת החנקן בזבל ועומס היישום שלו בקרקע בתוספת ריכוז החנקן הכללי בחול עצמו. הריכוז הסופי של החנקן הכללי בקרקע (בניפוי שורשי הצמחים) נמדד בבדיקת קילדאל. הירידה בריכוז

החנקן הכללי בקרקע (בתיקון השינוי בריכוז החנקן המינרלי בקרקע) היא אומדן טוב לשיעור המינרליזציה של החנקן האורגני שהוסף לקרקע. שיעורי המינרליזציה שהתקבלו היו גבוהים בכל הטיפולים, $59\% \pm 14$ מס"כ החנקן האורגני שהוסף, והבדלים בין מרבית הטיפולים היו קטנים למדי (איור 6). חשוב לציין, כי לעומס הבוצה בקרקע הייתה השפעה קטנה בדרך כלל על שיעור המינרליזציה, והיכן שהייתה השפעה כזאת (טיפולים 1-3, הבמס"א מאשדוד) – שיעור המינרליזציה היה נמוך יותר דווקא בעומסי היישום הנמוכים (ההיפך מהצפוי). לעומת זאת, שיעורי ההחזר (recovery) של החנקן בנוף של הצמחים בטיפולי הבוצה המיוצבת היו רק 5 עד 14% מהכמות הכללית שיושמה בקרקע, והם ירדו עם עלייה בעומס היישום (איור 6). בטיפולים 11 (בוצת בית-שמש) ו-12 (במס"א מועשרת בבוצת אשדוד) ההחזר בנוף היה גבוה יחסית, כ-20%-30% מתשומת החנקן. הדבר מעיד, לכאורה, על שיעורי מינרליזציה נמוכים ועל עיכוב במינרליזציה בטיפולי במס"א בהשוואה לבוצה עצמה.

לאור המדידות הישירות לעיל, ברור שהחזר החנקן הנמוך בצמחים לא היה תוצאה של עיכוב במינרליזציה אלא של איבודי חנקן. נראה לפיכך, כי למרות ניסיונו למנוע איבודי חנקן מינרלי, חלו כנראה איבודים ניכרים (בשטיפה מהקרקע, בנידוף אמון או בדניטריפיקציה), שהפחיתו את זמינות החנקן לצמחים, וביבול הצמחי. ייתכן שחלק מהאיבודים הללו היו ב-55 הימים הראשונים לפני הזריעה, בהם ניטור הקרקע היה פחות מדוקדק.

זרחה:

כמויות הזרחן שיושמו בקרקע (חול) בטיפולי הבוצה השונים היו שקולות ל-8.5 עד 206 ק"ג/ד' (טבלה 1, איור 7). גם עומס הזרחן הנמוך הנו גבוה מהנדרש ע"י הגידול (עד 5 ק"ג/ד'). תכולת הזרחן בבוצת בית-שמש היא כ-1.4% מהמשקל היבש, נמוך יחסית לבוצת אשדוד (3.5% מהמשקל היבש) והשפד"ן (עד כ-4% מהמשקל היבש). ראוי לציין, שתרומת מרכיב האפר לזרחן הכללי בבמס"א יכולה להיות משמעותית בגלל ריכוז הגבוה יחסית של זרחן באפר (כ-0.63% מהמשקל היבש) ובגלל התכולה הגבוהה יחסית של אפר בבמס"א (-70% 60 מהמשקל היבש הסופי). זמינות הזרחן מהאפר נמצאת בבדיקה.

זמינות פוטנציאלית של הזרחן בקרקע בטיפולי במס"א: עומסי היישום הגבוהים בחול התבטאו גם בריכוזי 'זרחן זמין' (הערכה לפי המיצוי בדו-פחמה) בתערובות חול-בוצה, שנותרו גבוהים במהלך כל 4 חודשי הניסוי (איור 7). ברוב הטיפולים ריכוזי הזרחן 'הזמין' בקרקע היו מעל 50 מ"ג/ק"ג. יוצאים מכלל זה היו העומסים הנמוכים של במס"א (0.8 טון בוצה/ד'; טיפול 4), אקוסויל מבית-שמש (0.6 טון בוצה/ד'; טיפול 9) ובוצת בית שמש לא-מיוצבת (0.6 טון בוצה/ד'; טיפול 11) בהם ריכוזי הזרחן "הזמין" היו נמוכים מ-50 ואף מ-40 מ"ג/ק"ג. בסיום הניסוי, ריכוז הזרחן הזמין פוטנציאלית בקרקע ירד בשיעור 10%-40% בלבד ברוב הטיפולים (איור 8A). רק בטיפול בבוצת בית-שמש (מס' 11) הוא ירד בשיעור של כ-60% (בטיפולים 12 ו-13 לא הייתה מדידה בזמן אפס). בסיום, שיעור הזרחן הזמין היה עדיין גבוה למדי, בד"כ 20%-30% מכלל הזרחן שנותר בקרקע מהתוספת (ס"כ הזרחן בסיום בניכוי הזרחן הכללי שהיה בחול עצמו) איור 8B). בטיפולי הבוצה והדשן רק כ-10% מהזרחן הנותר היו זמינים פוטנציאלית.

שתי תופעות בולטות ראויות לציין:

- (א) השפעת תכונות הבוצה על זמינות הזרחן: ציינו לעיל כי בוצת אשדוד עשירה בזרחן בהשוואה לבוצת בית שמש. הדבר התבטא גם בריכוזי הזרחן הזמין בקרקע, שבאותם שיעורי יישום היו גבוהים במידה ניכרת בבמס"א מאשדוד בהשוואה לבמס"א מבית שמש (איור 7A-B).

(ב) השפעת סוג המלאן: במערכת הנבדקת נבחנו שני תוספים מייצבים: אפר פחם + סיד (טיפולים 1-6), ומלאן + CKD (טיפולים 9-10). בעומסים דומים של אותה בוצה (טיפולים 5 ו-10 בבוצת בית שמש), חרסיות ו-CKD (טיפולים 10) הפחיתו את זמינות הזרחן פי 2 כמעט בהשוואה לאפר פחם (טיפולים 5). עם זאת, ההשוואה אולי אינה לגיטימית הואיל והעומס הכולל של תוספים באקוסויל (טיפולים 10) היה כ-10 טון/ד' יותר מאשר בבמס"א (טיפולים 5). להדגים זאת, אנו מציגים גם את טיפולים 7 ו-8 (איור 9). שניהם עם כמות שווה של סיד חי ושל מלאנים; טיפול 7 עם מלאן אפר פחם וטיפול 8 עם מלאן חרסיות (טבלה 1). כמויות הזרחן השונות בשני הטיפולים הן תוצאה של תרומת אפר הפחם, שהזכרנו לעיל. ההבדל בזמינות הפוטנציאלית של הזרחן יכול להיות בגלל השפעה שונה של החרסיות לעומת אפר הפחם ו/או בגלל תוספת זרחן זמין מהאפר עצמו. ריכוז הזרחן הזמין בדוגמאות אפר שונות שבדקנו היה 325-630 מ"ג/ק"ג.

זרחן בצמחים: ריכוזי הזרחן בצמחים היו דומים למדי במרבית הטיפולים, סביב 0.1% מהמשקל היבש (איור 10A), והיו נמוכים למדי לגבי מה הרגיל בצמחי תירס (0.2%-0.35%). הריכוזים הגבוהים יחסית בטיפולים 1 ו-4 היו כנראה עקב היבול הנמוך של חומר צמחי בהם (איור 1) (לא בדקנו מובהקות סטטיסטית). בכל מקרה, בטיפולים 1, 4, ו-11 עם ריכוזי זרחן מרביים בצמחים, הזמינות הפוטנציאלית של הזרחן בקרקע הייתה הנמוכה מבין כל הטיפולים בניסוי (איור 7). הן ריכוזי הזרחן והן כמויות הזרחן הכלליות שהיו בצמחים (איור 10B) לא היו במתאם כלשהו עם כמויות הזרחן שהוספו לקרקע (בין 6 ל-160 ק"ג/ד'; המקרא לאיור 7). שיעור הזרחן שנקלט בנוף הצמחים היה בד"כ פחות מ-5% מכלל הזרחן שהיה בקרקע, ורק בטיפולי הבוצה והדישון הוא הגיע לכ-18% ו-30%, בהתאמה (איור 10C). בטיפולים אלה עומסי הזרחן היו הנמוכים ביותר בניסוי. לסיכום קטע זה, די ברור שזרחן לא הגביל את הצמיחה. הזרחן בצמחים בטיפולי הבמס"א והאקוסויל היווה רק חלק קטן מהזרחן שהוסף לקרקע (בד"כ פחות מ-5% ממנו) או מהזרחן שהיה זמין פוטנציאלית לצמח בראשית (עד 15% ממנו). ריכוזי הזרחן הזמין בקרקע היו גבוהים בכל הטיפולים לאורך כל הניסוי (115 יום), ובסיומו הם נותרו בשיעור גבוה מהריכוזים ההתחלתיים (כ-60%-90%), והם היוו מרכיב משמעותי מריכוז הזרחן הכללי הסופי בקרקע (15%-28%). דווקא בטיפול הבוצה, ריכוז הזרחן הזמין בקרקע ירד בשיעור ניכר (בכ-60%) בהשוואה לריכוזו ההתחלתי. נראה לכן, כי הריכוזים הנמוכים של הזרחן בנוף של צמחי התירס היו תוצאה של הגבלה אחרת כלשהי לצמיחה.

אשלגן:

כמויות האשלגן שיושמו בקרקע (חול) בטיפולי הבוצה היו שקולות ל-11 עד 93 ק"ג/ד' (איור 11). בחלק מהטיפולים, כמויות האשלגן היו נמוכות מהדרוש לגידול (30-40 ק"ג/ד'). תכולת האשלגן בבוצות נמוכה בד"כ, ובבוצות בית-שמש ואשדוד היא כ-0.4% וכ-0.3% מהמשקל היבש, בהתאמה. באפר המרחף ריכוז האשלגן נמוך (כ-0.17%) ותרומתו לבמס"א נמוכה, אולם בתוספים לאקוסויל (חרסיות ו-CKD) ריכוזו גבוה, מה שמביא את ריכוז האשלגן הכללי בבוצה זאת לכ-0.55% מהמשקל היבש. ההבדל בתרומת האשלגן מאפר הפחם לבין התוספים לאקוסויל בולט בהשוואה בין טיפולי במס"א (1-6), עם 33 ק"ג K/ד' בעומס יישום שקול לכ-26 טון/ד', לבין טיפולי האקוסויל (9-10) עם 49 ק"ג K/ד' בעומס יישום שקול לכ-10 טון/ד' (המקרא לאיור 11). כאן כללנו גם את טיפולים 7 ו-8 שהוכנו בצורה דומה, האחד עם אפר פחם והשני עם חרסיות. תרומת האשלגן הכללי לקרקע הייתה 25 ו-60 ק"ג/ד', בהתאמה.

זמינות פוטנציאלית של האשלגן בקרקע בטיפולי במס"א: עומסי היישום הגבוהים בחול התבטאו בריכוזי 'האשלגן הזמין' (הערכה לפי מיצוי בדו-פחמה) בתערובות חול-בוצה (איור 11). הריכוזים הגבוהים ירדו בצורה

חדה במהלך מחזור הגידול הראשון. ביום ה-55 לאחר הערבוב הערכים היו בד"כ בין 1 ל-5 מ"ג/ק"ג, ורק בטיפולים 9, 10 (אקוסויל) ו-11 (בוצת בית-שמש) הם היו גבוהים יותר (11-25 מ"ג/ק"ג). בסיום הניסוי ריכוז האשלגן הממוצע בקרקע בכל החזרות היה 1.3 מ"ג/ק"ג ובטיפול 10 הוא היה 4.4 מ"ג/ק"ג. לא היה הבדל באשלגן הזמין בקרקע בין טיפולים 7 ו-8, למרות ההבדל הניכר ביניהם בכמות האשלגן הכללי שהוספה לקרקע. גם בטיפול ההיקש המדושן, ריכוז האשלגן בקרקע בסיום הניסוי היה מזערי (בממוצע 0.04 מ"ג/ק"ג).

אשלגן בצמחים: ריכוזי האשלגן בצמחים בטיפולים ללא אקוסויל היו נמוכים (0.96%-1.4%) מהרגיל לתיירס, והם היו תקינים (2.1%-2.55%) רק בטיפולי האקוסויל (מס' 8-10) ובטיפול הבוצה (מס' 11) (איור 12A). עם זאת, בטיפול 8 ו-10, ריכוזי האשלגן בקרקע היו נמוכים מאד, והם לא היוו כל אינדיקציה לזמינות גבוהה יותר ולאפשרות של ריכוז גבוה יותר בצמחים. אכן, כמויות האשלגן בצמחי טיפול 8 היו נמוכות, בדומה לכמויות בטיפולים עם מגבלת האשלגן (1, 7, 12, 13).

הריכוזים הנמוכים מעידים על מחסור באשלגן, וסביר להניח כי מחסור זה גרם לעיכוב בצמיחה. בטיפול 10 היה היבול הצמחי הגבוה ביותר בניסוי (איור 1), והוא גם היה גם עם התכולות הגבוהות ביותר של אשלגן (איור 12B) וחנקן (איור 5). בנוסף למחסור באשלגן היה כנראה גם מחסור בחנקן. הדבר בולט בטיפול 8: ס"כ כמות האשלגן שנקלטה בצמחים הייתה נמוכה (איור 12) למרות הכמות הגדולה שיושמה והריכוז הגבוה יחסית בקרקע (איור 11), והדבר נבע כנראה ממגבלת חנקן (לא הוצג). בעת המזרע השני (55 ימים מההתחלה) לא היה למעשה אשלגן זמין בקרקע במרבית הטיפולים (איור 11). ע"כ לא ברור מהיכן נלקח האשלגן שנקלט הגידול. איור 12C, מציג את החזר האשלגן בצמחים כתלות בתשומת האשלגן עם הזבל. לא ברור מהיכן הגיעו כמויות האשלגן שנמצאו בצמחים טיפול 11 (בוצת בית שמש).

ריכוזי יסודות קורט בצמחים:

ריכוזי יסודות שונים בצמחים מוצג להלן בדגש על יסודות קורט ומתכות כבדות. התוצאות הן ממוצעים וסטיות תקן של 5 החזרות בכל אחד מ-13 הטיפולים בניסוי. ההשוואה בין הטיפולים תהיה בדרך כלל גם תוך התייחסות לריכוזים הממוצעים שמצאנו בנוף של צמחי תירס בוגרים בטיפולי ביקורת (דשן בלבד) בניסוי שבצענו ברבדים ב-2005.

נציין, כי המערכת הנבדקת תוכננה להיות רגישה ביותר לזמינות מתכות לצמח. המצע הוא חול, שמגיב עם היסודות הללו פחות מכל קרקע וצפיפות הצמחים והשורשים בקרקע הייתה גבוהה (4 צמחים לעציץ).

קדמיום (Cd) ועופרת (Pb) (איור 13): במתכות כבדות אלו יש עניין מיוחד בגלל רעילותן לשרשרת המזון. ריכוזיהן בצמחים במרבית הטיפולים (Cd) או ככולם (Pb) היו נמוכים מסף המדידה (הקו המקוון לרוחב האיור).

באיור מוצג גם ריכוז בדיל (Sn) בצמחים, יותר כקוריוז, הואיל ומתכת זאת אינה נחשבת רעילה גם בריכוזים של מאות מ"ג/ק"ג במזון, והריכוזים שלה בצמחי בוחן בניסויים דומים הנם כמעט תמיד מתחת לסף המדידה. במקרה הנוכחי, דווקא טיפול ההיקש המדושן, הטיפול בבוצת בית שמש והאקוסויל במינון הנמוך נתנו ערכים גבוהים יחסית ליתר הטיפולים. למרות היות הערכים הללו משמעותיים, הם עדיין נמוכים ביותר, ובכל מקרה אין לנו הסבר להופעתם.

יסודות קורט חיוניים: **ברזל (Fe)**, **מנגן (Mn)** ו**אבץ (Zn)** (איור 14): ריכוזי הברזל היו דומים למדי במרבית הטיפולים, בד"כ גבוהים בהשוואה להיקש המדושן (#13) ודומים לבוצה עצמה (#11). הם לא הושפעו מעומס

היישום (בקבוצות 3-1, 6-4, 9-10). הריכוזים בכל הטיפולים רגילים לעלים (30-150 מ"ג/ק"ג), ועם זאת כולם היו בערך רבע מהריכוזים שנמצאו בצמחי התירס בניסוי ברבדים. הדמיון בין הטיפולים מעיד כנראה על תנאי הניסוי (ואולי מצב הצמחים) כגורם העיקרי ולא זמינות הברזל בקרקע.

ריכוזי האבץ בצמחים היו מאד ואריאביליים, ובד"כ השונות בתוך הטיפולים הייתה גבוהה ביותר, ורק ב-4 מבין 13 הטיפולים הייתה שונות נמוכה. ממוצע ריכוז האבץ בכל הטיפולים היה גבוה במידה ניכרת מאשר בצמחים מרבדים (בהם היו הריכוזים נמוכים מהנורמה שהיא 25-150 מ"ג/ק"ג). ריכוזי מנגן בצמחים היו סביב התחום של הצמחים מרבדים. בטיפולים 5 ו-6 (מבוצת בית שמש עם 129 מ"ג Mn/ק"ג בוצה) הריכוזים היו נמוכים יחסית. ניתן היה אולי לייחס זאת ל-pH הגבוה שהיה בקרקע ב-10 ימים הראשונים (איור 2), אולם בטיפולים 3 ו-4 המקבילים בבוצת אשדוד (140 מ"ג Mn/ק"ג בוצה), ריכוזי המנגן היו רגילים. בכל מקרה, כל התוספים עברו שלב של pH גבוה במהלך הכנתם. בנוסף, שתי התערובות לעיל היו עם אפר פחם (275 מ"ג Mn/ק"ג), שהגדיל את ריכוז המנגן הכללי בתערובות.

נחושת (Cu), ניקל (Ni) ומוליבדן (איור 15): ריכוזי הנחושת היו דומים בד"כ בכל הטיפולים ונמוכים במידה ניכרת (כ-20%) בהשוואה לצמחים מרבדים (ובהשוואה לנורמה שהיא 4-20 מ"ג/ק"ג). במקרה זה הריכוזים בטיפולי הדשן (13) והבוצה (11) היו הנמוכים מבין כל הטיפולים. ממוצעי ריכוז ניקל בצמחים היו בין 4-7 מ"ג/ק"ג, בדומה לצמחים מרבדים. ריכוזי מוליבדן הושפעו מאד ע"י הטיפולים באופן יחסי ישר לעומס היישום (בקבוצות 3-1, 6-4 ו-9-10), ובטיפול 7 (מלאן אפר פחם) יותר מאשר בטיפול 8 (מלאן חרסיות). בכל הטיפולים הללו הריכוזים היו גבוהים במידה משמעותית בהשוואה לריכוז בצמחים מרבדים (כ-1 מ"ג/ק"ג שהוא הריכוז הנורמטיבי). לעומת זאת, בטיפולי הדישון (הדשן הכיל מוליבדן) והבוצה הריכוזים היו נמוכים במידה ניכרת מאלה של התירס מרבדים.

כרום (Cr), ונדיום (V), וקובלט (Co) (איור 16): יסודות אלה אינם חיוניים לצמח אולם הם אינם רעילים בריכוזים סביבתיים. כרום, ובמידה פחותה גם ונדיום, חיוניים בהזנת האדם. בכל מקרה, הריכוזים שנמצאו בצמחים הם רגילים ליסודות אלה ודומים בד"כ למה שמצאנו בצמחי התירס ברבדים. קשה להצביע על מגמה מסוימת לגבי השפעת הטיפולים על זמינותם, חוץ מהעובדה שהריכוזים בצמחי טיפול הדישון (ויסודות אלה לא הוספו במכוון לדשן) היו בתחום הנמוך של הריכוזים בניסוי.

בורן (B), אלומיניום (Al) וליתיום (איור 17): ריכוזי בורן בצמחי הניסוי היו בתחום שהיה בצמחים מהשדה. ריכוזי בורן בצמח מושפעים מהריכוזים במי ההשקיה ובקרקע ועולים עם גיל הצמח לכן הבסיס להשוואה לצמחים מרבדים הנו רופף למדי. בכל מקרה, בוצת בית-שמש עשירה בבורן יחסית לבוצת אשדוד, ואפר פחם עשיר יחסית לחרסיות. באופן יחסי, זמינות הבורן בטיפולי חרסיות כמלאן (טיפולים 8-10) הייתה נמוכה יחסית לזמינותו בטיפולי אפר הפחם. ריכוזי ליתיום בצמחים התנהגו בצורה דומה, תוך תגובה ברורה לנוכחות אפר פחם (עם 150 מ"ג/ק"ג, פי 10-70 בהשוואה לבוצות) בתערובות. ריכוזי אלומיניום היו אחידים למדי בכל הטיפולים.

ריכוזי היסודות העיקריים:

איור 18 מציג במרכז את הריכוזים של חנקן, זרחן ואשלגן, שנדונו לעיל, ואת ריכוזי הגפרית (S), ואיור 19 מציג את ריכוזי הסיידן (Ca) והמגניון (Mg), וכן את ריכוזי הסטרונציום (Sr) והבריום (Ba). לא נחזור על הדיון לגבי שלושת היסודות הראשונים, אולם האיור מאפשר מבט מרוכז בשלושתם יחד, והוא את האחידות בריכוזי החנקן בצמחים, את האחידות היחסית בריכוזי הזרחן ואת התרומה של התערובות עם חרסיות כמלאן להזנה

האשלגנית. ברוב הטיפולים היו כנראה מחסורים ב-3 היסודות האלה, חוץ מתוספת האשלגן שצויינה לעיל. הניצול הנמוך של זרחן מהקרקע, והזמינות השאריתית הגבוהה של זרחן בכל הטיפולים מעידה כי זרחן לא היה גורם שהגביל את הצמיחה, אלא כנראה הריכוזים הנמוכים שלו בצמחים היו תוצאה של עיכוב שנגרם ע"י גורמים אחרים.

ריכוז הגפרית בצמח מושפע במידה רבה מהרכב המים ומשך הגידול ולכן קשה להשוות בין הצמחים מרבדים (השקיה במי-קולחים, משך גידול מלא) לתנאי הניסוי בחממה. אולם גם ריכוזי הסיידן והמגנין (איור 19) מושפעים מאותם גורמים אע"פ שהאינטראקציה שלהם עם מרכיבי הקרקע, ושינוי המשקל שלהם בתמיסת הקרקע הנם משמעותית הרבה יותר מאלה של גופרה. תכשירי האקוסויל בלטו בריכוזי סיידן גבוהים יותר בצמחים בהשוואה לתכשירי אפר הפחם (אך לא לבוצה). קליטת המגנין הושפעה כנראה באופן תחרותי מקליטת הסיידן ובדומה לו גם שני היסודות הכבדים יותר בטור ה-alkali-earth, סטרונציום ובריום (איור 19).

סיכום ניסויי המעבדה

בדקנו תכשירי בוצה מיוצבת בסייד (במ"ס) שהוכנו מבוצות מבית-שמש ואשדוד בתערובות עם סיד חי או CKD ועם אפר פחם מרחף או חרסיות כמלאנים. סה"כ נבדקו התכונות של 6 תערובות שונות. תערובות אלו עורבבו בחול דיונה ב-10 הרכבים שונים ותכונות ההזנה שלהן, והשפעתן על ההרכב הכימי של צמחים נבחנו בניסוי עציצים בחממה, עם תירס (מספוא מהזן דרכמה) כגידול בוחן. ניסוי זה נערך עם בוצת בית-שמש ודישון כטיפולי היקש. יחסי הערבוב של התוספים עם החול היו לפי תכולת החומר האורגני בהם (בין 0.6 ל-3.3 טון/ד') ולא לפי העומס הכולל של הבוצה המיוצבת (בין 6.5 ל-26 טון/ד'). השתמשנו בחחול ולא בקרקע כדי לקבל את ההשפעה המרבית של התוספים ללא סיכוך. להלן התוצאות העיקריות:

(א) השפעת במ"ס על ה-pH של תערובות בחול: ה-pH ההתחלתי יכול היה להיות מעל 12, כתלות בתכונות התוסף ובעומס היישום. תוך כ-10 ימים מהערבוב ה-pH בכל הטיפולים ירד ל-9 בערך, ובסיום הניסוי (115 יום לאחר הערבוב), הוא היה 8 או פחות מזה (כולל בעומסי יישום שהיו שקולים ל-26 טון/ד'). הסיבה לירידה ב-pH הייתה קרבונציה של עודפי ההידרוקסיל שהיה בבמ"ס.

(ב) השפעת במ"ס על תכולת מתכות כבדות ויסודות אחרים בתערובות בחול: כל התכשירים שנבדקו עמדו בתקן הישראלי ליישום חקלאי של בוצות שפכים. השפעת האפר על תכולת היסודות בתערובת תלויה ביסוד: ריכוז ניקל באפר גבוה מריכוזו בבוצות (אולם הריכוז הוא כמחצית מהריכוז המותר בתקן). ריכוז כרום באפר הנו בתחום המצוי בבוצות, וריכוזי קדמיום, עופרת, אבץ ונחושת נמוכים בצורה משמעותית בהשוואה לריכוזיהם בבוצות. מספר יסודות אחרים (V, Sr, Mn, Li, Co, Ba, B) היו בריכוז גבוה יותר באפר הפחם בהשוואה לבוצות אולם הם אינם מנוטרים. לפיכך, מבחינת התקן אין בעיה להשתמש באפר פחם מרחף לייצוב בוצות שפכים. התוספת לקרקע של מרבית היסודות המנוטרים (כספית לא נבדקה) הייתה בסדר גודל של מאיות מ"ג/ק"ג (קדמיום), מ"ג בודדים לק"ג (עופרת, נחושת, כרום וניקל), או עד כ-15 מ"ג/ק"ג (אבץ). במרבית היסודות והטיפולים, תוספת כזאת הנה מתחת לסף הרגישות של שיטות המדידה.

(ג) מתכות כבדות ויסודות קורט בצמחים: הבסיס להשוואה היה הריכוז בהיקש ללא בוצה (עם תמיסת דשן), תחום ריכוזים מקובל בצמחים וריכוזים בצמחי תירס בטיפולי ביקורת בניסוי ברבדים. ריכוזי עופרת וקדמיום בצמחים היו בגבול או מתחת לסף המדידה. ריכוזי יסודות הקורט החיוניים ברזל, נחושת ומנגן היו אחידים למדי בכל הטיפולים, ובתחום הנורמטיבי. ריכוזי ברזל, נחושת היו נמוכים במידה ניכרת בהשוואה לצמחים

מרבדים, וריכוזי מנגן היו בתוך התחום. ריכוזי אבץ היו גבוהים במידה ניכרת מהריכוזים בתירס מרבדים, אך במרבית הטיפולים השונות הייתה גבוהה מאד. ריכוזי מוליבדן בצמחים בטיפולי הבמ"ס היו גבוהים במידה ניכרת בהשוואה לצמחי ההיקש (טיפול דשן וטיפול בוצה לא מטופלת מבית-שמש), וכן בהשוואה לריכוז הנורמטיבי או לריכוז בתירס מרבדים. ריכוזי יסודות אחדים (כרום, קובלט, בורון, סטרונציום) היו בתחום שנמצא בתירס מרבדים, יסודות אחרים (ונדיום, אלומיניום, גופרית ובריום) היו נמוכים יותר, וריכוז ליתיום היעה גבוה יותר מהריכוז שהיה בצמחים בניסוי ברבדים. ריכוזי מוליבדן וליתיום בצמחים היו גבוהים אך אין ביסודות אלה משום סיכון סביבתי או סיכון לשרשרת המזון.

(ד) יסודות הזנה בבוצות מיוצבות בסייד: בעומסי היישום שנקטנו עומסי יסודות ההזנה בתערובות בוצה-חול היו שקולים ל- 177-30 ק"ג חנקן/ד', ל- 206-8.5 ק"ג זרחן/ד' ול- 93-11 ק"ג אשלגן/ד'. שיעור המינרליזציה הממוצע של החנקן האורגני בתכשירי הבוצה היה כ-60% במרבית עומסי החנקן, אולם שיעורי ההחזר בנוף של הצמחים (כלומר, כמויות חנקן בצמח כאחוז מכלל החנקן שהוסף לקרקע) במערכת שנבדקה היו נמוכים, וזמינות חנקן הגבילה כנראה את הצימוח. בדומה, גם תכולות האשלגן בתערובות בוצה-קרקע הספיקו לצימוח תקין רק בחלק קטן מהטיפולים (בעיקר בטיפולי הבמ"ס עם חרסיות כמלאן). לעומת זאת, זרחן לא היה גורם שהגביל צמיחה בכל הטיפולים. קליטת זרחן בצמחים הייתה בד"כ בשיעור של עד 5% מכלל הכמות שהוספה לקרקע. במרבית הטיפולים הזמינות הפוטנציאלית של הזרחן בקרקע (לפי מיצוי בדו-פחמה) פחתה בכ-10%-40% בלבד במהלך 4 חודשי הגידול, והזרחן הזמין בסיום היווה כ-20%-30% מכלל תוספת הזרחן שנותרה בקרקע. תכולת הזרחן בבוצה עצמה (בבוצת אשדוד גבוהה פי 2 בערך מבוצת בית שמש) השפיעה במידה ניכרת על זמינות הזרחן בקרקע, וגם אפר הפחם תרם להעלאת זמינות הזרחן.

ניסויי שדה:

בשלב זה אין תוצאות מהותיות לדיווח. המצב בשדה בבני דרום ביום 06-11-30 מתואר להלן:

חלקה	בלוק	טיפול	טיפול	מצב הצמחים
2	1	א	בקורת	חלק מרכזי ובכלל בהיר ופחות מפותח
5	2	א	בקורת	אין חריגות
9	3	א	בקורת	בהיר
13	4	א	בקורת	בהיר קרחת במרכז
17	5	א	בקורת	כהה
3	1	ב	אפר 10 טון/ד	דומה לחלקה 2
8	2	ב	אפר 10 טון/ד	מפותח באופן בינוני ובהיר
10	3	ב	אפר 10 טון/ד	בהיר
16	4	ב	אפר 10 טון/ד	בהיר
19	5	ב	אפר 10 טון/ד	בהיר, עומד
4	1	ג	אפר 30 טון/ד	כמו חלקה 2 עומד טוב יותר
7	2	ג	אפר 30 טון/ד	מפותח באופן בינוני ובהיר
11	3	ג	אפר 30 טון/ד	בהיר
15	4	ג	אפר 30 טון/ד	כהה
18	5	ג	אפר 30 טון/ד	קרחת במרכז
1	1	ד	במס"א 10 טון/ד	חלק מרכזי מפותח וירוק מאוד
6	2	ד	במס"א 10 טון/ד	צמח קצת יותר כהה (גם הקרקע כהה)
12	3	ד	במס"א 10 טון/ד	קצת יותר כהה
14	4	ד	במס"א 10 טון/ד	בהיר
20	5	ד	במס"א 10 טון/ד	בהיר (מפרץ חומר כהה בדרום מערב)

ב- 30-11-06 לעיל בוצע דגום קרקע וב-15 חלקות (לא בטיפול הבמס"א) פוזרה (ידינית) אוריאה - 2.4 ק"ג לחלקה. לפי שטח חלקה $84=12*7$ מ"ר, המנה שקולה לכ-13 יחידות חנקן (ק"ג/ד'). לפני הוספת הדשן ניתן היה לראות כי חלקות הבמס"א ירוקות יותר מחלקות אפר הפחם ומהביקורת.

המצב בשדה ברבדים ביום 5/12/06 היה כלהלן:

מצב	טיפול	בלוק	טיפול	חלקה
בסדר גמור	דישון כימי	4	א	4
ההצצה בסדר	דישון כימי	1	א	10
תקין	דישון כימי	3	א	13
תקין	דישון כימי	5	א	16
בסדר אפילו יפה	דישון כימי	2	א	22
בסדר, קצת פחות מפותח מחלקה 2	בוצה 5 מ"קד	3	ב	3
תקין	בוצה 5 מ"קד	2	ב	9
תקין	בוצה 5 מ"קד	5	ב	15
תקין	בוצה 5 מ"קד	4	ב	17
תקין	בוצה 5 מ"קד	1	ב	30
סביר-קצת איטי במחשופי חומר ע"פ הקרקע	במס"א 5 מ"קד	2	ג	2
סביר	במס"א 5 מ"קד	4	ג	14
תקין, אולי קצת פחות מפותח	במס"א 5 מ"קד	3	ג	18
תקין	במס"א 5 מ"קד	1	ג	21
בסדר התפתחות קצת איטית	במס"א 5 מ"קד	5	ג	25
הצצה טובה, צמח בהיר במקומות בהם יש חומר אפור על פני השטח	במס"א 10 מ"קד	1	ד	1
במחשופי חומר אפור התפתחות איטית ופגיעה מסוימת בעומד	במס"א 10 מ"קד	5	ד	6
בסדר גמור	במס"א 10 מ"קד	4	ד	7
תקין	במס"א 10 מ"קד	2	ד	12
בסדר, אולי קצת פחות מפותח	במס"א 10 מ"קד	3	ד	28
תקין, אולי קצת פחות מפותח	במס"א 5 מ"קד+2.5 מ"קד	3	ה	8
במרביית השטח ההצצה בסדר	במס"א 5 מ"קד+2.5 מ"קד	1	ה	20
תקין	במס"א 5 מ"קד+2.5 מ"קד	4	ה	24
בסדר התפתחות קצת איטית	במס"א 5 מ"קד+2.5 מ"קד	5	ה	26
תקין	במס"א 5 מ"קד+2.5 מ"קד	2	ה	29
חומר אפור על הקרקע פגיעה בעומד ובהתפצחות הצמח	במס"א 10 מ"קד+5 מ"קד	5	ו	5
הצצה איטית, צמח בהיר יותר כשהחומר האפור על פני השטח	במס"א 10 מ"קד+5 מ"קד	1	ו	11
התפתחות איטית וירידה בעומד כשהחומר ע"פ הקרקע	במס"א 10 מ"קד+5 מ"קד	2	ו	19
סביר, פחות מפותח ובהיר יותר מחלקה 22	במס"א 10 מ"קד+5 מ"קד	3	ו	23
פחות מפותח ועומד פחות טוב	במס"א 10 מ"קד+5 מ"קד	4	ו	27

ביום ו', 1/12/06, בוצע דיגום קרקע בכל החלקות ברבדים (בכל חלקה נדגמו 4 נקודות) בעומק של 0-20 ס"מ. בשדה ברבדים נראתה הצצה חלקית. בקטעים עם הרבה מאוד חומר אפור על פני הקרקע (כמו חלקה מס' 5) לא הייתה הצצה. ביום ג', 5/12/06, נדגמה שכבה הקרקע העליונה (4-6 ס"מ) במקומות בהם לא הייתה הצצה או שהייתה הצצה חלקית.

רשימת איורים

- איור 1:** יבול נוף צמחי תירס (מספוא זן דרכמה) בעצצים. מצע הגידול היה חול דיונה שעורבב עם בוצה מיוצבת בסיד. הרכב הבוצה, עומס יישום הבוצה (לפי העומס בכולל ולפי מרכיב החומר האורגני שבבוצה) ועומס יישום חנקן כללי (משוקללים ליישום בשדה) ניתנים במקרא.
- איור 2:** (A) ערכי pH של המיצי המימי (יחס 2:1 מוצק:מים) של תכשירי בוצה לאחר ייצורם ולפני יישום הערבוב עם החול, (B-E) ערכי pH כנ"ל של תערובות בוצה-חול בטיפולים השונים במהלך הגידול של תירס בעצצים. הטיפולים הם כמו במקרא לאיור 1.
- איור 3:** ערכי pH של המיצי המימי (יחס 2:1 מוצק:מים) של תערובות בוצה-חול בטיפולים השונים במהלך הגידול של תירס בעצצים. הטיפולים הם כמו במקרא לאיור 1.
- איור 4:** ריכוזי חנקן מינרלי בתערובות בוצה-חול במהלך הגידול של תירס בעצצים. עומס החנקן הכולל בתערובת (משוקלל לתנאי שדה) מוצג במקרא לאיור.
- איור 5:** קליטת חנקן ע"י צמחי התירס: (A) ריכוזי חנקן הנוף של צמחי התירס בניסוי העצצים, ו-(B) כמויות החנקן שנקלטו בנוף של הצמחים.
- איור 6:** מאזן חנקן בניסוי העצצים: (א) כמויות חנקן שנקלטו בנוף של הצמחים, ו-(ב) החנקן האורגני שנעלם מהקרקע (עבר מינרליזציה) במהלך תקופת הניסוי – שניהם כאחוז מס"כ החנקן שהוסף לקרקע.
- איור 7:** ריכוזי זרחן מינרלי זמין פוטנציאלית לצמח (לפי מיצי בשיטת אולסן) בתערובות בוצה-חול במהלך הגידול של תירס בעצצים. עומס הזרחן הכולל בקרקע (משוקלל לתנאי שדה) מוצג במקרא לאיור.
- איור 8:** מצב הזרחן הזמין פוטנציאלית לצמח (ראה הגדרה במקרא לאיור 7) בתערובת בוצה-חול בניסוי העצצים: (A) שיעור השינוי בריכוז 'הזרחן הזמין' בקרקע במהלך 115 ימי הניסוי, (B) תכולת הזרחן הזמין פוטנציאלית לצמח בקרקע בסיום הניסוי כאחוז מכלל הזרחן שנותר בקרקע מתוספת הזרחן עם הבוצה. ההנחה היא שהזרחן שהיה בחול מלכתחילה נותר ללא שינוי במהלך 115 ימי הניסוי.
- איור 9:** ריכוזי זרחן מינרלי זמין פוטנציאלית לצמח (לפי מיצי בשיטת אולסן) בקרקע במהלך הגידול של תירס בעצצים בתערובות של שתי בוצות - קרקע. עומס הזרחן הכולל בתערובות (משוקלל לתנאי שדה) מוצג במקרא לאיור.
- איור 10:** קליטת זרחן ע"י צמחי התירס ומאזן זרחן: (A) ריכוזי זרחן הנוף של צמחי התירס בניסוי העצצים, (B) כמויות הזרחן שנקלטו בנוף של הצמחים, (C) כמויות זרחן שנקלטו בנוף של הצמחים כאחוז מס"כ הזרחן שהוסף לקרקע (P_{Total}), וכאחוז מהזרחן הזמין פוטנציאלית לצמח (P_{Olsen}) בקרקע בראשית הניסוי.
- איור 11:** ריכוזי אשלגן מינרלי זמין בקרקע (לפי מיצי בד-פחמה) במהלך הגידול של תירס בעצצים בתערובות בוצה – חול דיונה. עומס האשלגן הכולל בתערובות (משוקלל לתנאי שדה) מוצג במקרא לאיור.
- איור 12:** קליטת אשלגן בנוף צמחי התירס בניסוי העצצים: (A) ריכוזי אשלגן בנוף של הצמחים, (B) כמויות האשלגן שנקלטו בנוף, (C) כמויות אשלגן שנקלטו בנוף של הצמחים כאחוז מס"כ האשלגן שהוסף לקרקע.
- איור 13:** ריכוזי קדמיום (Cd), עופרת (Pb) ובדיל (Sn) בנוף של צמחי התירס בניסוי העצצים. הקו המקוון בניצב לעמודות מסמן את גבול האמינות של המדידה.
- איור 14:** ברזל (Fe), מנגן (Mn) ואבץ (Zn) בנוף של צמחי התירס בניסוי העצצים. הקו העובר בניצב לעמודות מראה את הריכוז הממוצע של היסוד שנמדד בנוף של צמחי תירס בוגרים בטיפולי ביקורת עם דשן כימי בלבד בניסוי ברבדים ב-2005.
- איור 15:** נחושת (Cu), ניקל (Ni) ומוליבדן (Mo) בנוף של צמחי התירס בניסוי העצצים. הקו העובר בניצב

לעמודות מראה את הריכוז הממוצע של היסוד שנמדד בנוף של צמחי תירס בוגרים בטיפולי ביקורת עם דשן כימי בלבד בניסוי ברבדים ב-2005.

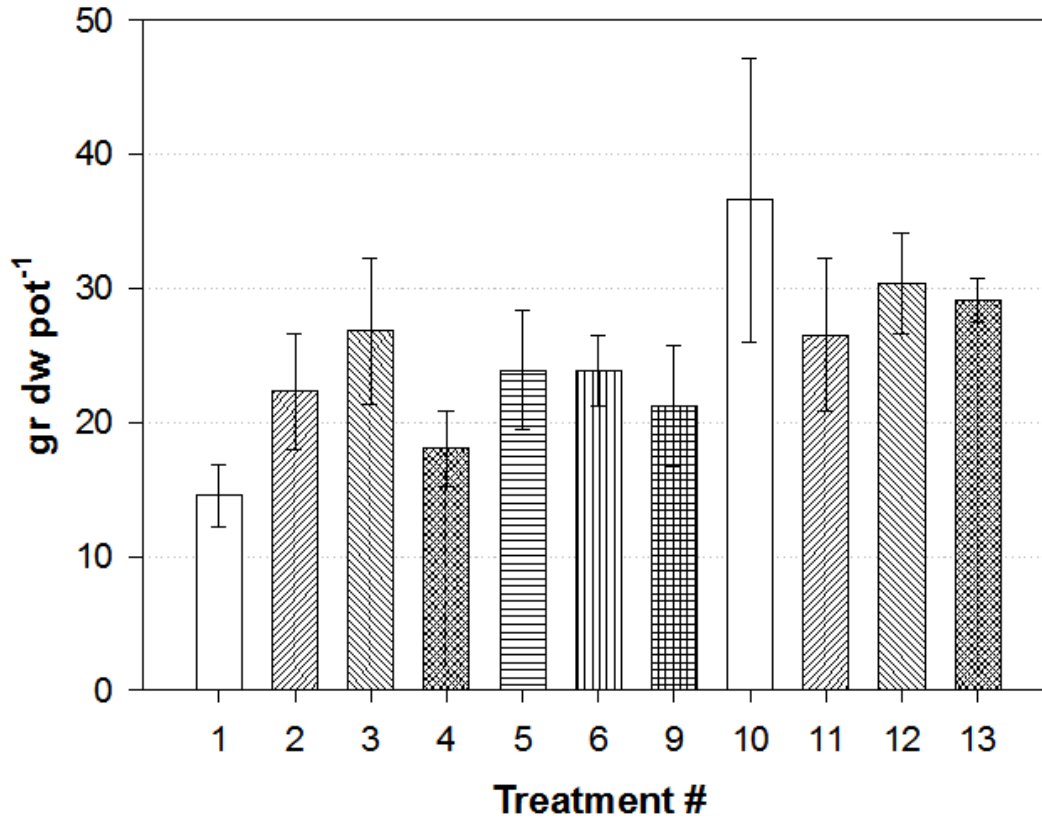
איור 16: כרום (Cr), ונדיום (V), וקובלט (Co) בנוף של צמחי התירס בניסוי העציצים. הקו העובר בניצב לעמודות מראה את הריכוז הממוצע של היסוד שנמדד בנוף של צמחי תירס בוגרים בטיפולי ביקורת עם דשן כימי בלבד בניסוי ברבדים ב-2005.

איור 17: בורון (B), אלומיניום (Al) וליתיום (Li) בנוף של צמחי התירס בניסוי העציצים. הקו העובר בניצב לעמודות מראה את הריכוז הממוצע של היסוד שנמדד בנוף של צמחי תירס בוגרים בטיפולי ביקורת עם דשן כימי בלבד בניסוי ברבדים ב-2005.

איור 18: ריכוזי חנקן (N), זרחן (P), אשלגן (K) וגפרית (S) בנוף של צמחי התירס בניסוי העציצים. הקו העובר בניצב לעמודות מראה את הריכוז הממוצע של היסוד שנמדד בנוף של צמחי תירס בוגרים בטיפולי ביקורת עם דשן כימי בלבד בניסוי ברבדים ב-2005.

איור 19: ריכוזי סידן (Ca), מגניזיום (Mg), סטרונציום (Sr) ובריום (Ba) בנוף של צמחי התירס בניסוי העציצים. הקו העובר בניצב לעמודות מראה את הריכוז הממוצע של היסוד שנמדד בנוף של צמחי תירס בוגרים בטיפולי ביקורת עם דשן כימי בלבד בניסוי ברבדים ב-2005.

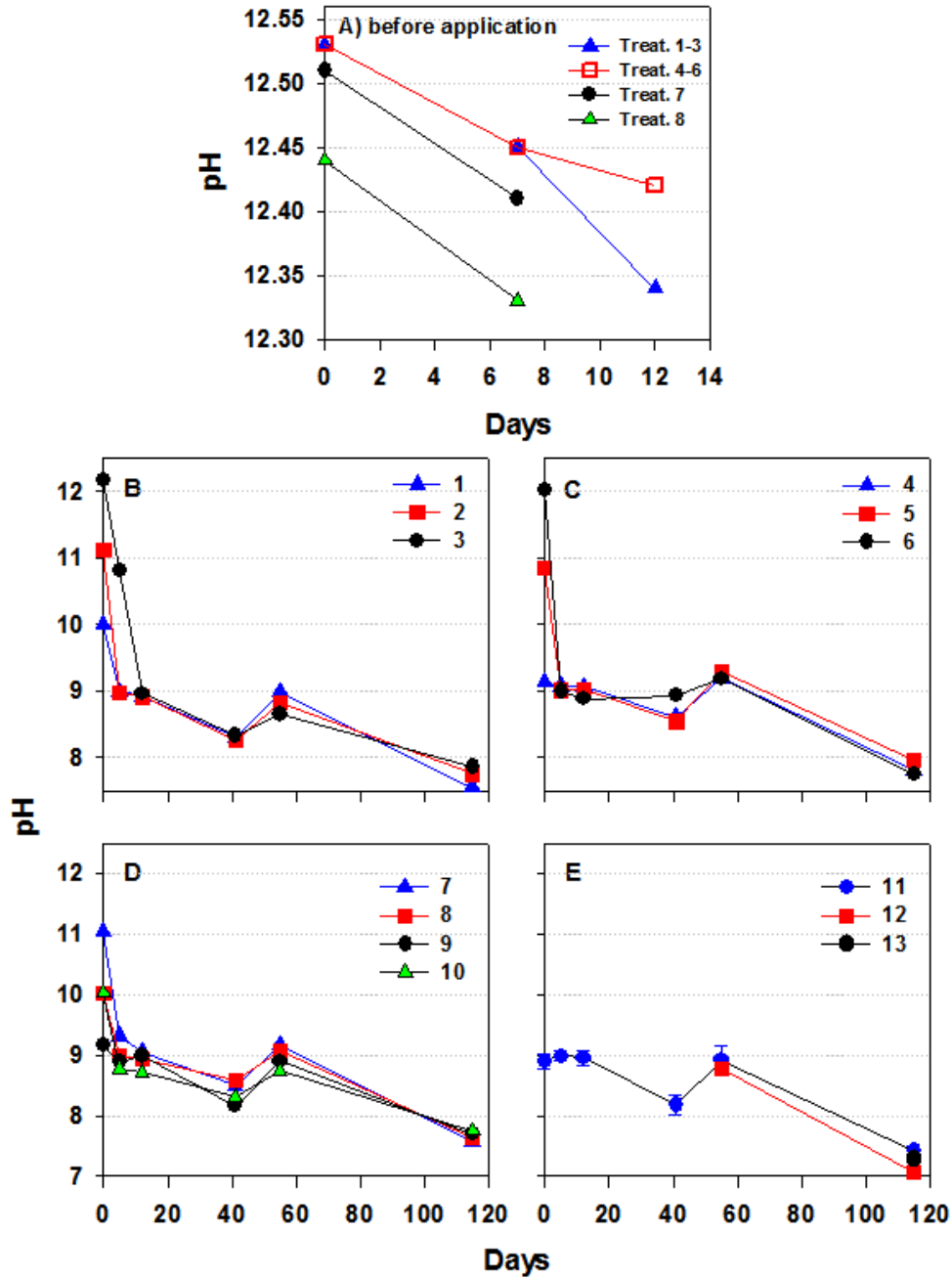
איור 1



#	Type	Sl/dry	FA	Clay	Lime	t/ha	t SI/ha	N kg/ha
1	Ashd	20	50		8	65	8	432
2	Ashd	20	50		8	129	17	863
3	Ashd	20	50		8	259	33	1,730
4	BS	20	50		8	65	8	433
5	BS	20	50		8	129	17	866
6	BS	20	50		8	259	33	1,737
9	BS	20		105	45	101	6	839
10	BS	20		105	45	213	14	1,773
11	BS	20				29	6	300
12	B+Ashd	20+50		105	45	103	17	539
13	Fert							320

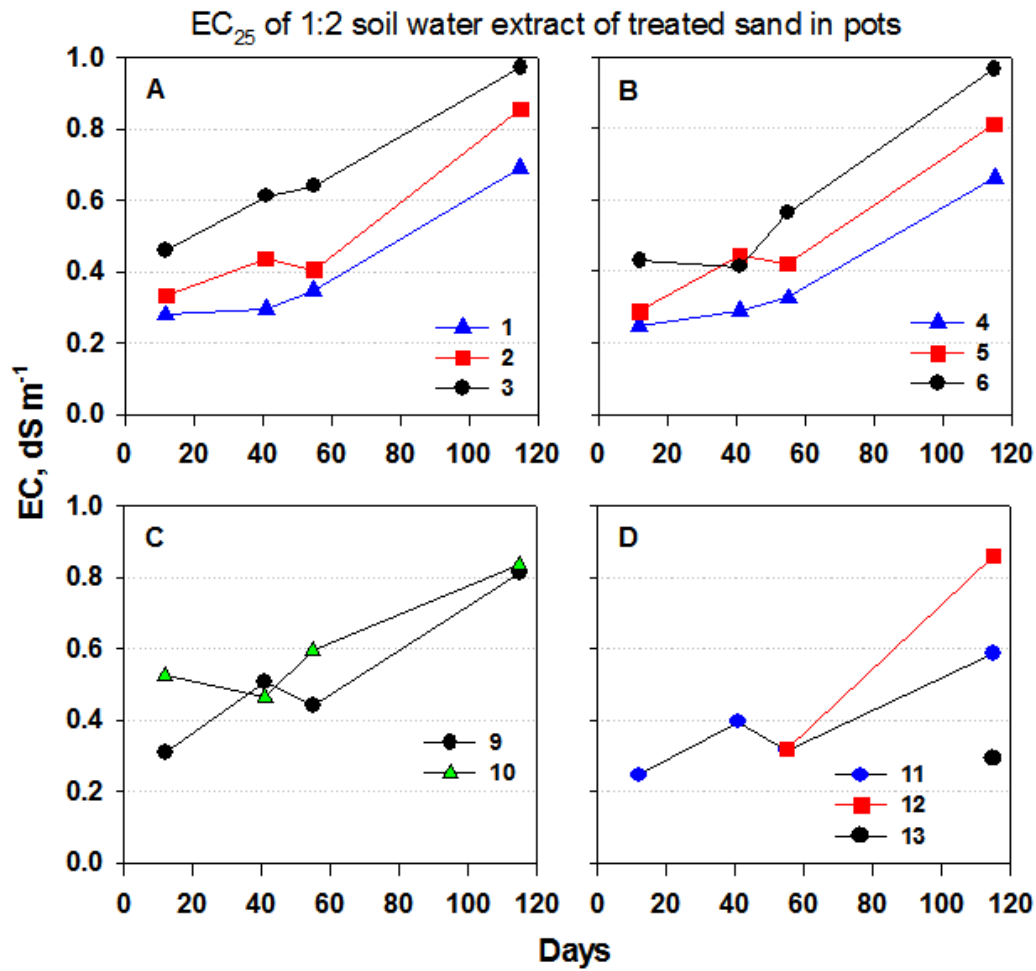
איור 1: יבול נוף צמחי תירס (מספוא זן דרכמה) בעציצים. מצע הגידול היה חול דיונה שעורבב עם בוצה מיוצבת בסיד. הרכב הבוצה, עומס יישום הבוצה (לפי העומס בכולל ולפי מרכיב החומר האורגני שבבוצה) ועומס יישום חנקן כללי (משוקללים ליישום בשדה) ניתנים במקרא.

איור 2



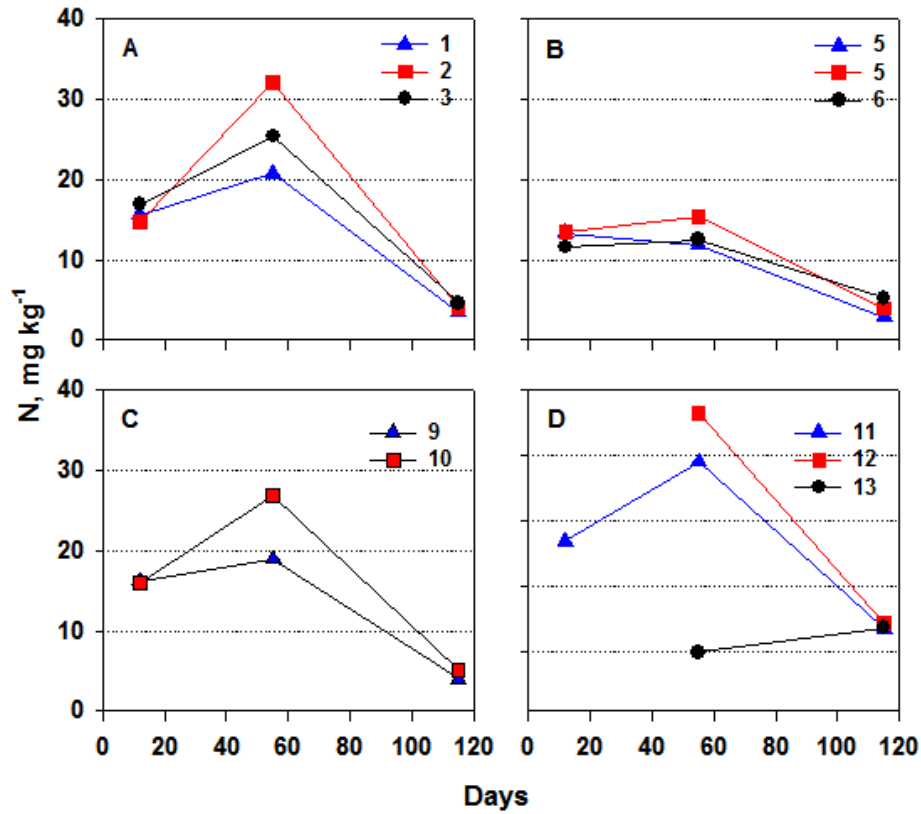
איור 2: (A) ערכי pH של המיצוי המימי (יחס 2:1 מוצק:מים) של תכשירי בוצה לאחר ייצורם ולפני יישום הערבוב עם החול, (B-E) ערכי pH כנ"ל של תערובות בוצה-חול בטיפולים השונים במהלך הגידול של תירס בעציצים. הטיפולים הם כמו במקרא לאיור 1.

איור 3



איור 3: ערכי pH של המיצוי המימי (יחס 2:1 מוצק:מים) של תערובות בוצה-חול בטיפולים השונים במהלך הגידול של תירס בעציצים. הטיפולים הם כמו במקרא לאיור 1.

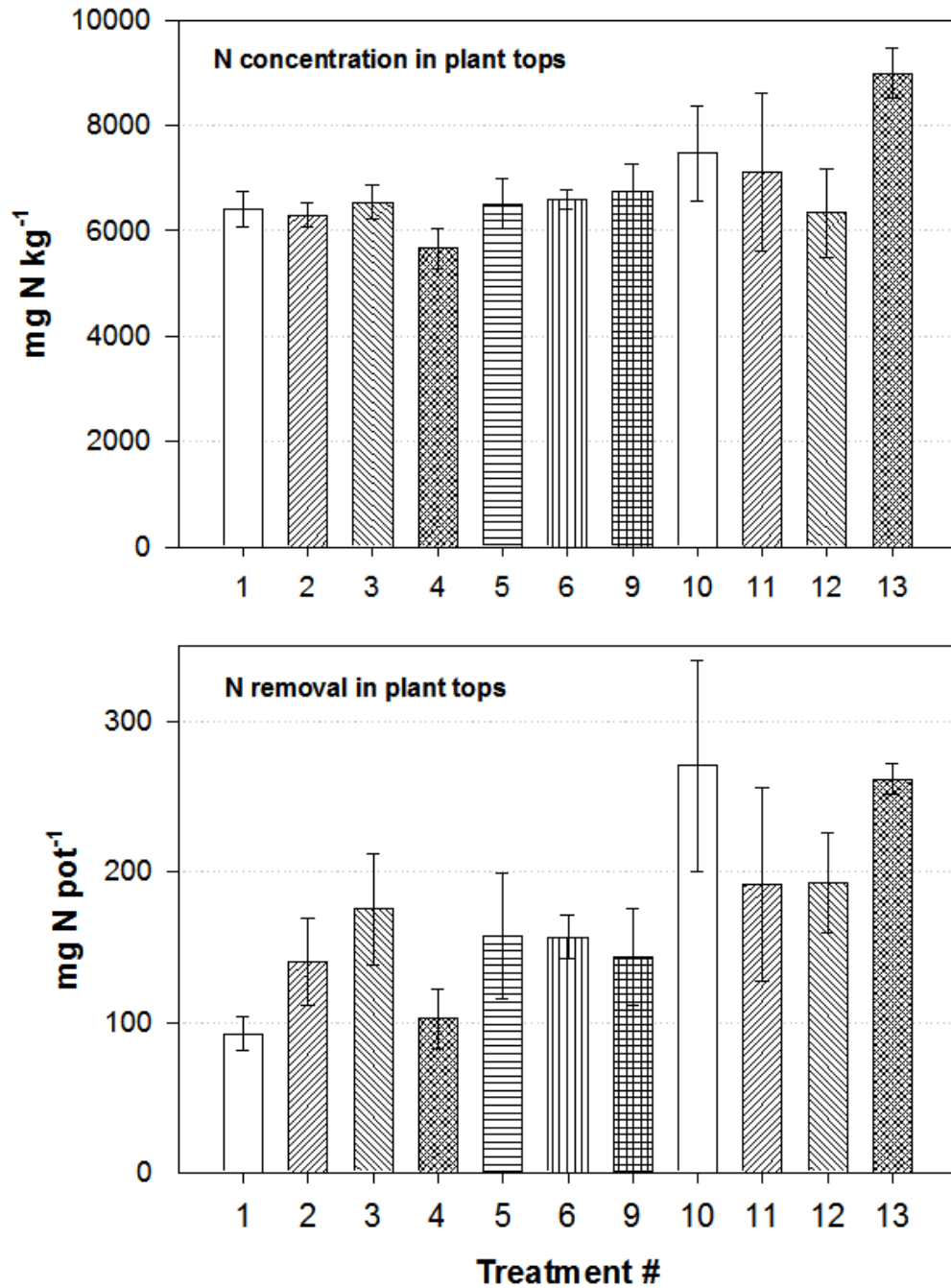
איור 4



#	Type	N kg/ha
1	Ashd100:50:0:8/ 8(65)	432
2	Ashd100:50:0:8/ 17(129)	863
3	Ashd100:50:0:8/ 33(259)	1,730
4	BS100:50:0:8/ 8(65)	433
5	BS100:50:0:8/ 16(129)	866
6	BS100:50:0:8/ 32(259)	1,737
9	Ecos/ 6(101)	839
10	Ecos/ 14(213)	1,773
11	BS/ 6(29)	300
12	Ecos:Ashd=1:1/ 17(103)	539
13	Fertilizer	320

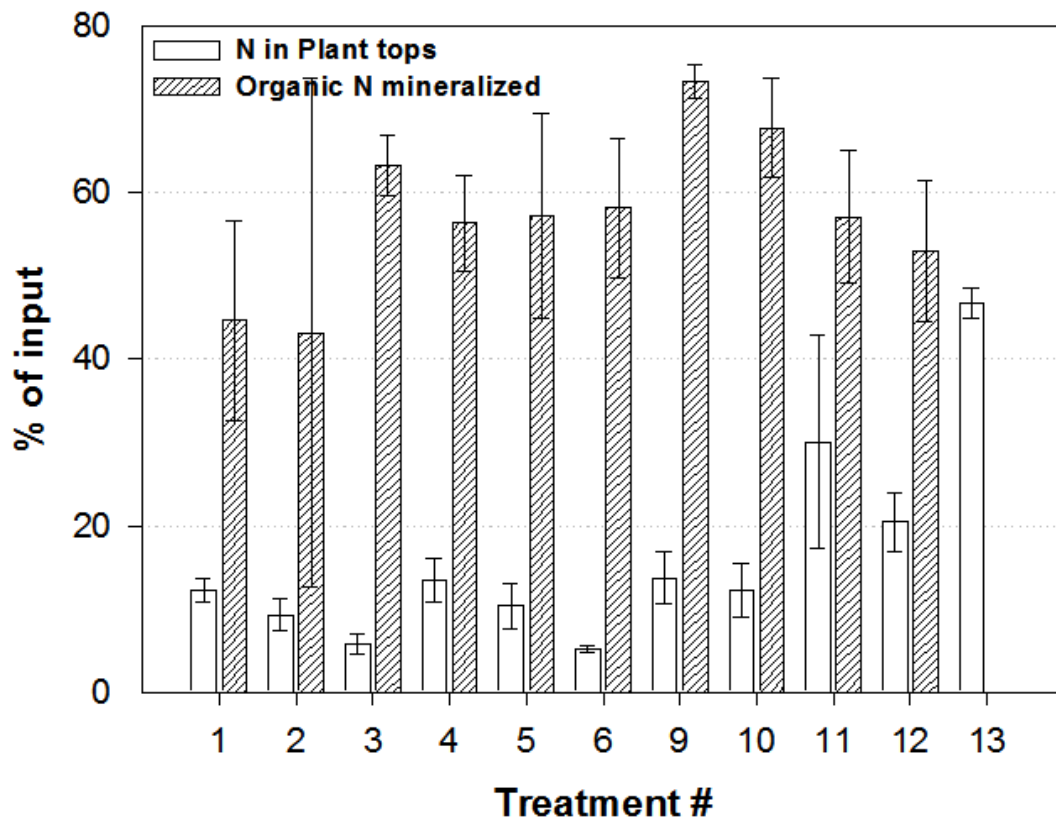
איור 4: ריכוזי חנקן מינרלי בתערובות בוצה-חול במהלך הגידול של תירס בעציצים. עומס החנקן הכולל בתערובת (משוקלל לתנאי שדה) מוצג במקרא לאיור.

איור 5



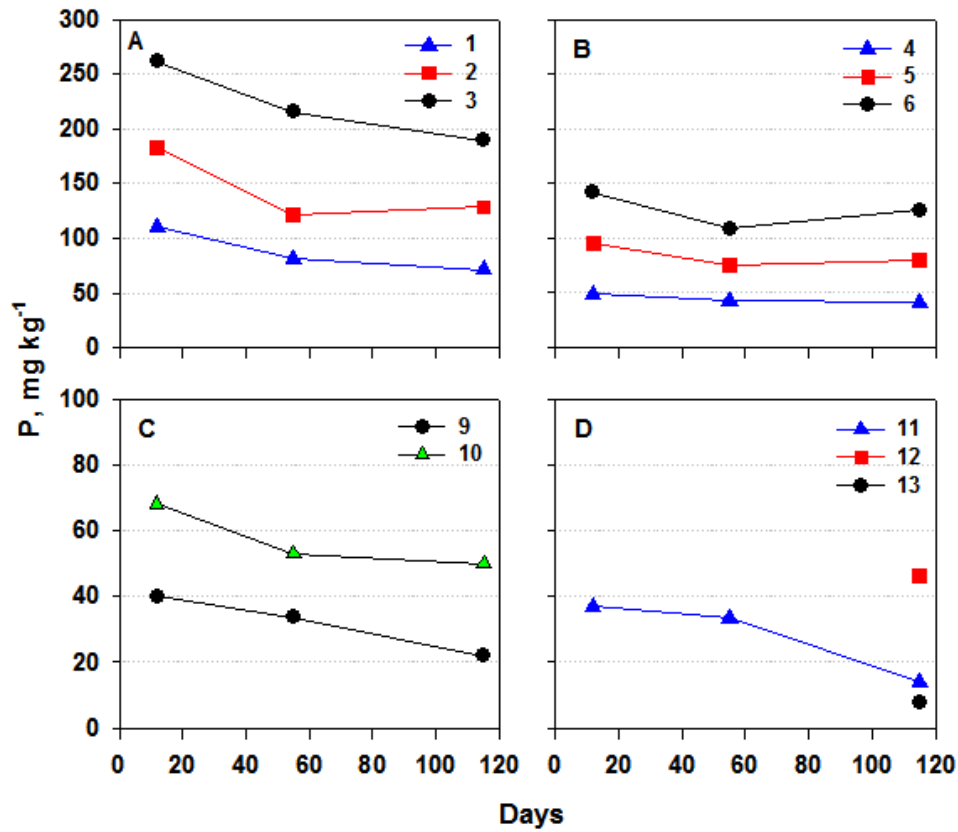
איור 5: קליטת חנקן ע"י צמחי התירס: (A) ריכוזי חנקן הנוף של צמחי התירס בניסוי העציצים, ו-(B) כמות החנקן שנקלטו בנוף של הצמחים.

איור 6



איור 6: מאזן חנקן בניסוי העציצים: (א) כמויות חנקן שנקלטו בנוף של הצמחים, ו-(ב) החנקן האורגני שנעלם מהקרקע (עבר מינרליזציה) במהלך תקופת הניסוי – שניהם כאחוז מס"כ החנקן שהוסף לקרקע.

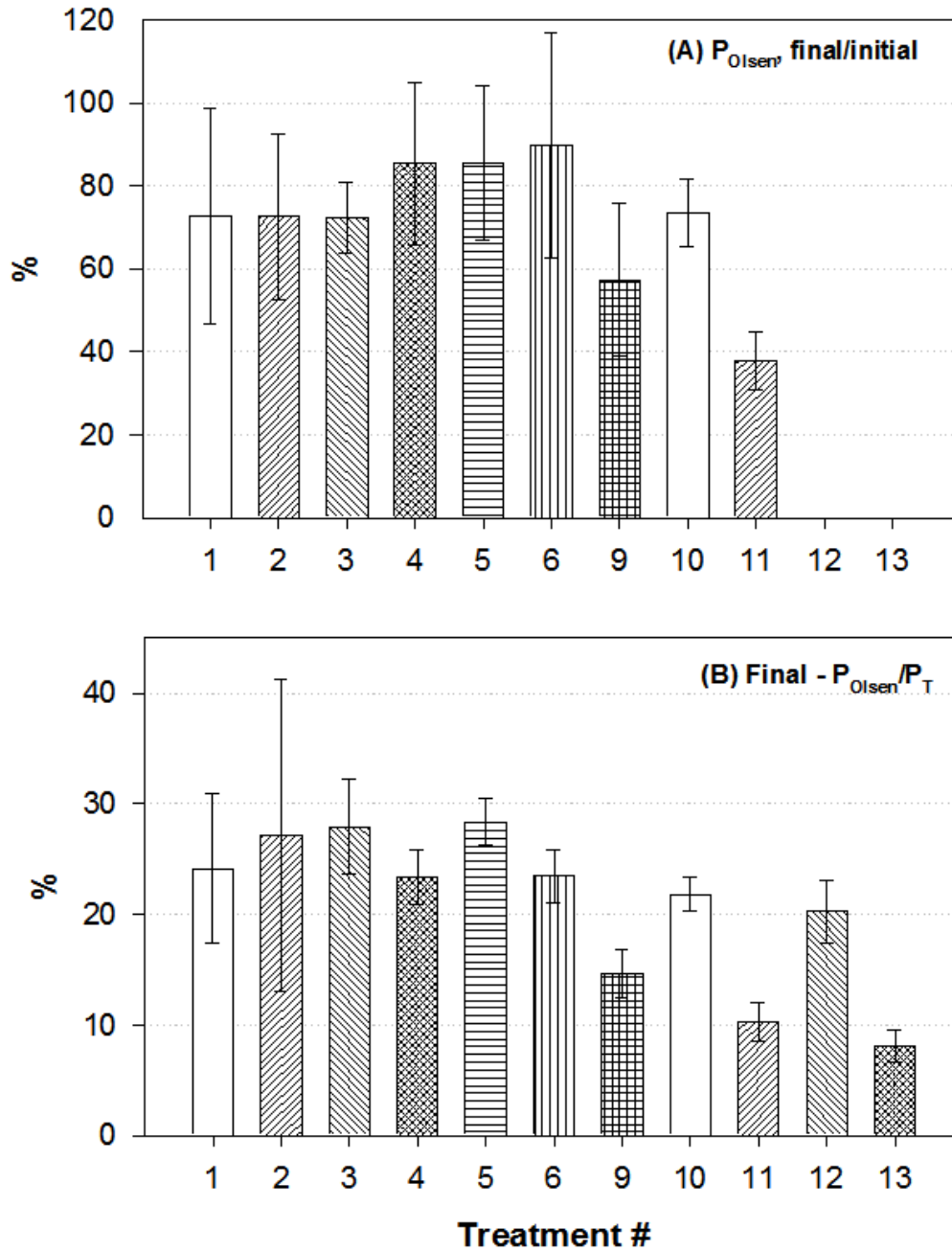
איור 7



#	Type	P kg/ha
1	Ashd100:50:0:8/ 8(65)	401
2	Ashd100:50:0:8/ 17(129)	802
3	Ashd100:50:0:8/ 33(259)	1,608
4	BS100:50:0:8/ 8(65)	250
5	BS100:50:0:8/ 16(129)	501
6	BS100:50:0:8/ 32(259)	1,004
9	Ecos/ 6(101)	261
10	Ecos/ 14(213)	552
11	BS/ 6(29)	85
12	Ecos:Ashd=1:1/ 17(103)	446
13	Fertilizer	60

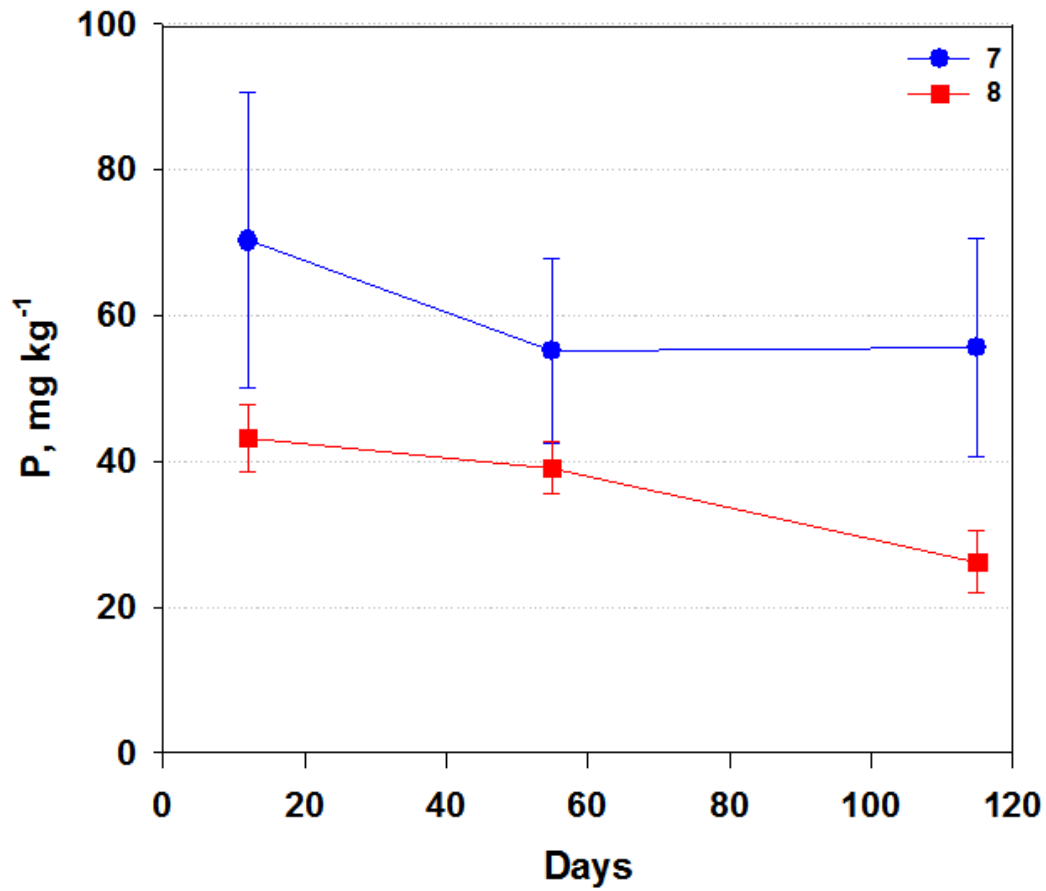
איור 7: ריכוזי זרחן מינרלי זמין פוטנציאלית לצמח (לפי מיצוי בשיטת אולסן) בתערובות בוצה-חול במהלך הגידול של תירס בעציצים. עומס הזרחן הכולל בקרקע (משוקלל לתנאי שדה) מוצג במקרא לאיור.

איור 8



איור 8: מצב הזרחן הזמין פוטנציאלית לצמח (ראה הגדרה במקרא לאיור 7) בתערובת בוצה-חול בניסוי העצמים: (A) שיעור השינוי בריכוז 'הזרחן הזמין' בקרקע במהלך 115 ימי הניסוי, (B) תכולת הזרחן הזמין פוטנציאלית לצמח בקרקע בסיום הניסוי כאחוז מכלל הזרחן שנותר בקרקע מתוספת הזרחן עם הבוצה. ההנחה היא שהזרחן שהיה בחול מלכתחילה נותר ללא שינוי במהלך 115 ימי הניסוי.

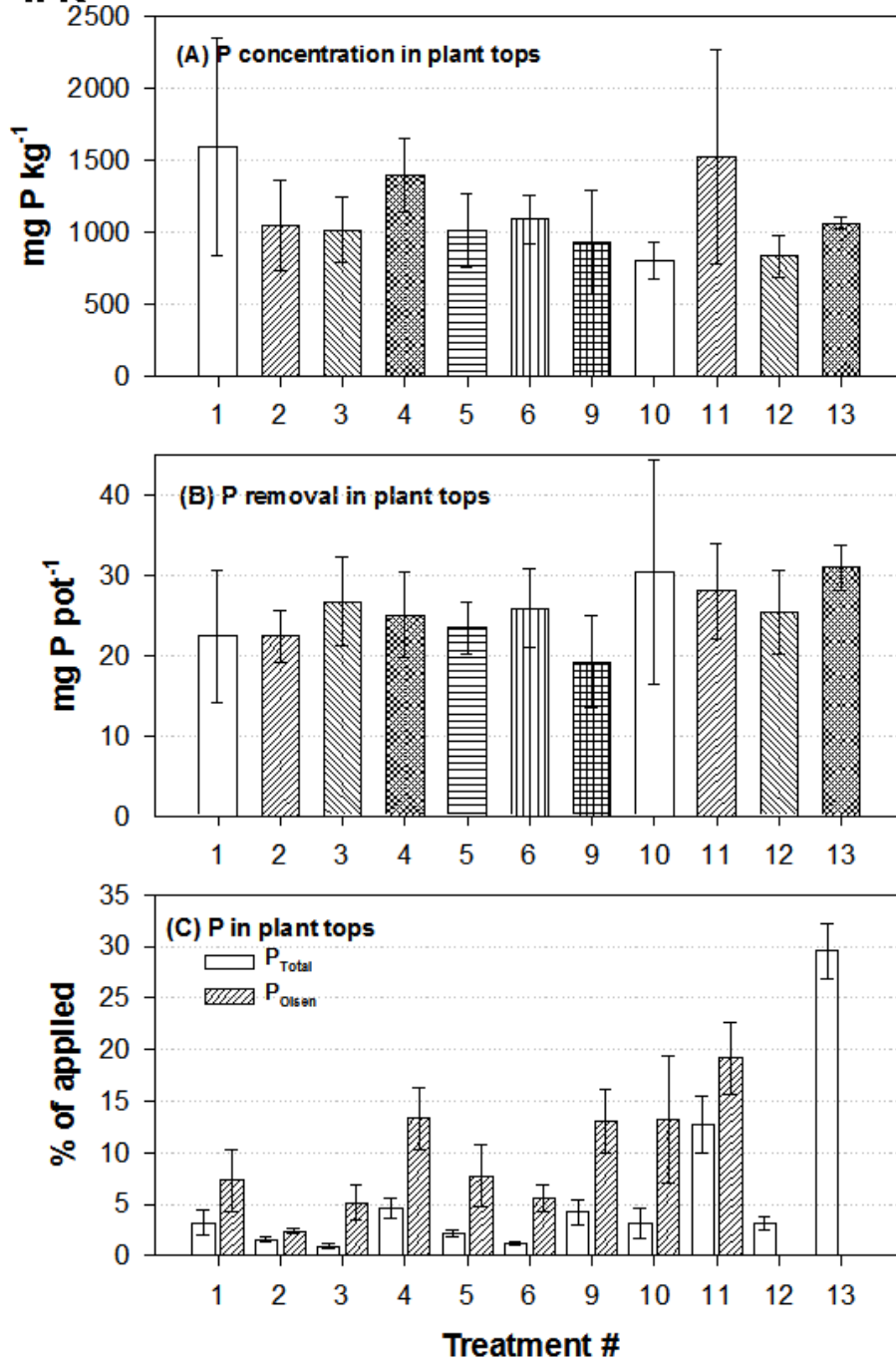
איור 9



#	Type	P kg/ha
7	BS500:500:0:40/ 9(129)	574
8	BS500:0:500:40/ 10(129)	334

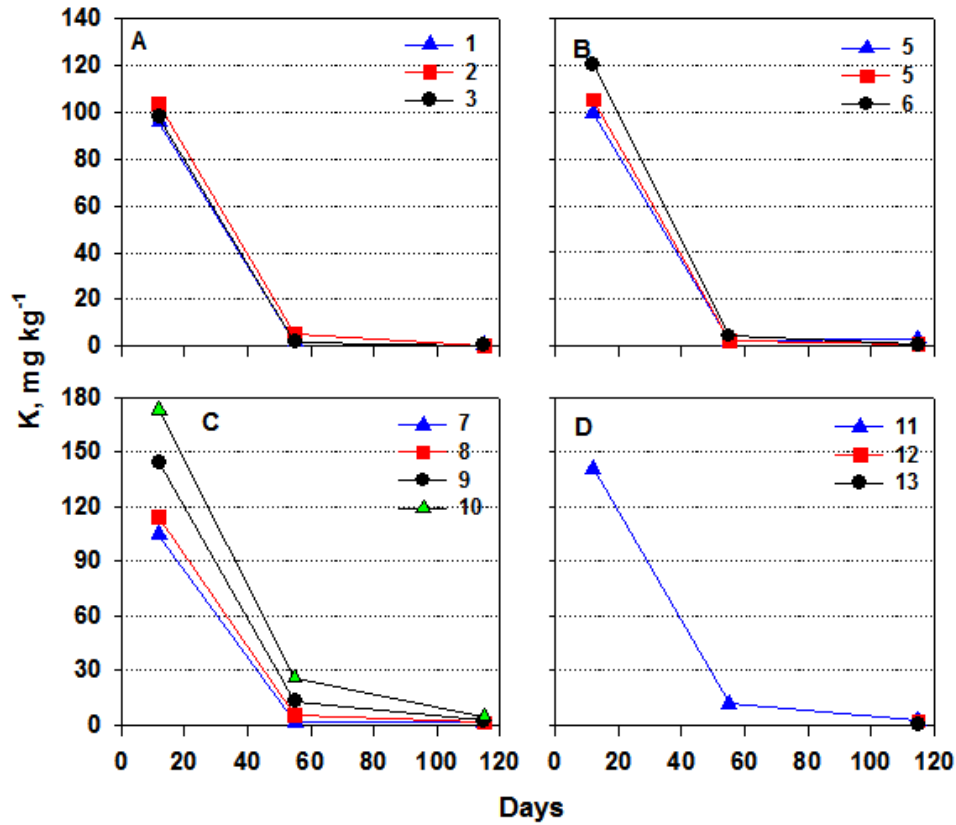
איור 9: ריכוזי זרחן מינרלי זמין פוטנציאלית לצמח (לפי מיצוי בשיטת אולסן) בקרקע במהלך הגידול של תירס בעציצים בתערובות של שתי בוצות - קרקע. עומס הזרחן הכולל בתערובות (משוקלל לתנאי שדה) מוצג במקרא לאיור.

איור 10



איור 10: קליטת זרחן ע"י צמחי התירס ומאזן זרחן: (A) ריכוזי זרחן הנוף של צמחי התירס בניסוי העציצים, (B) כמויות הזרחן שנקלטו בנוף של הצמחים, (C) כמויות זרחן שנקלטו בנוף של הצמחים כאחוז מס"כ הזרחן שהוסף לקרקע (P_{Total}), וכאחוז מהזרחן הזמין פוטנציאלית לצמח (P_{Olsen}) בקרקע בראשית הניסוי.

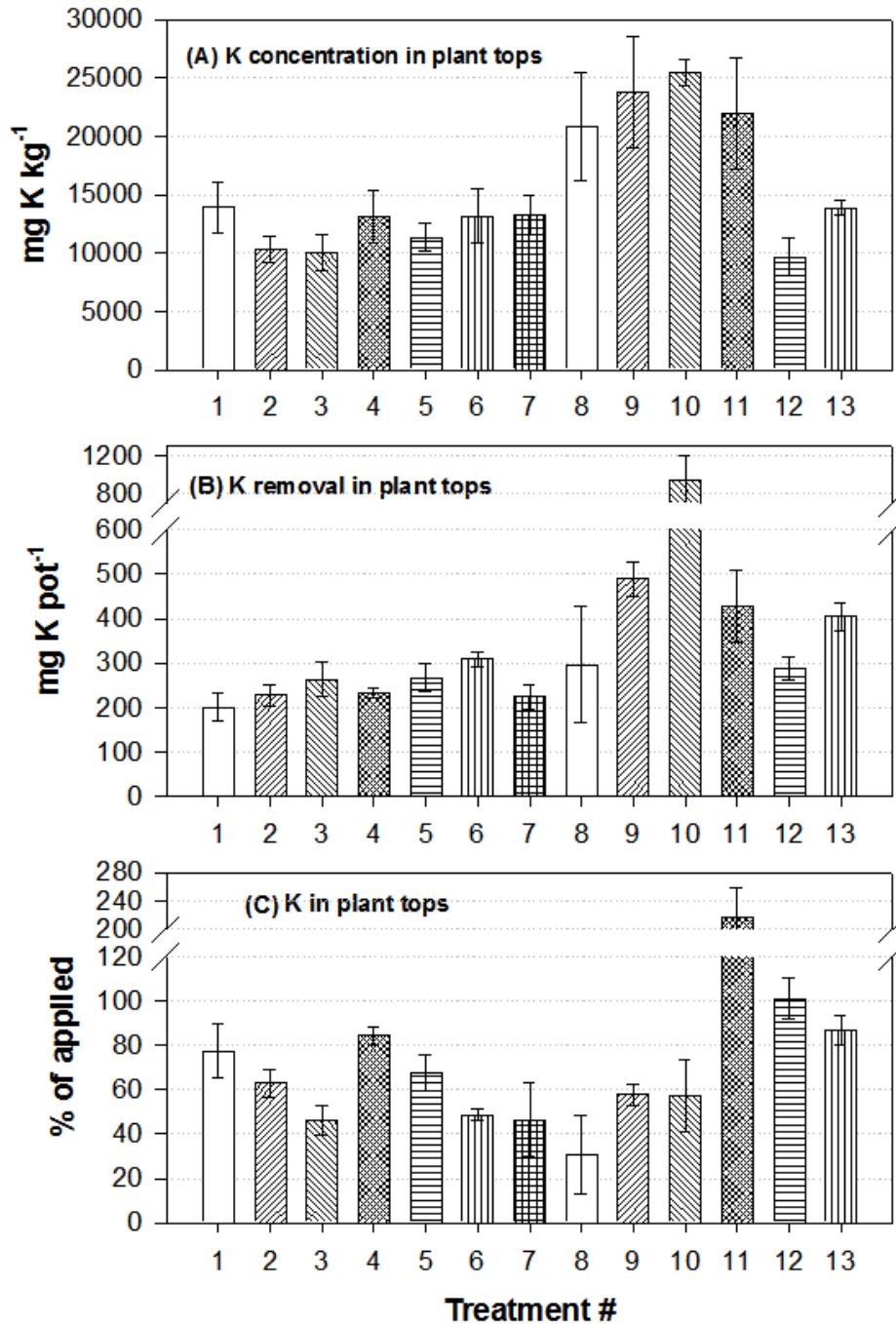
איור 11



#	Type	K kg/ha
1	Ashd100:50:0:8/ 8(65)	148
2	Ashd100:50:0:8/ 17(129)	207
3	Ashd100:50:0:8/ 33(259)	326
4	BS100:50:0:8/ 8(65)	158
5	BS100:50:0:8/ 16(129)	227
6	BS100:50:0:8/ 32(259)	365
7	BS500:500:0:40/ 9(129)	246
8	BS500:0:500:40/ 10(129)	596
9	Ecos/ 6(101)	486
10	Ecos/ 14(213)	928
11	BS/ 6(29)	113
12	Ecos:Ashd=1:1/ 17(103)	164
13	Fertilizer	267

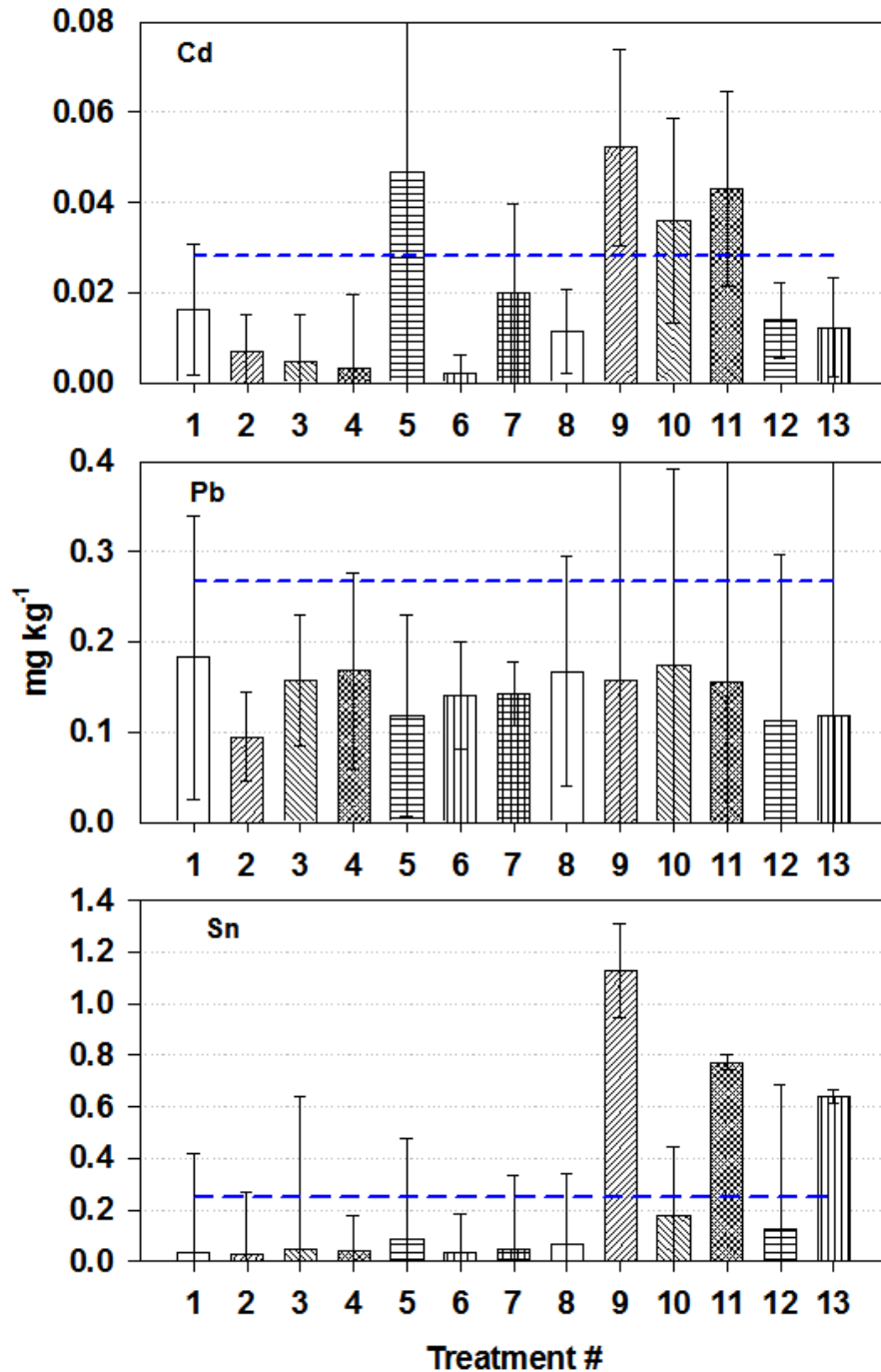
איור 11: ריכוזי אשלגן מינרלי זמין בקרקע (לפי מיצוי בד-פחמה) במהלך הגידול של תירס בעציצים בתערובות בוצה – חול דיונה. עומס האשלגן הכולל בתערובות (משוקלל לתנאי שדה) מוצג במקרא לאיור.

איור 12



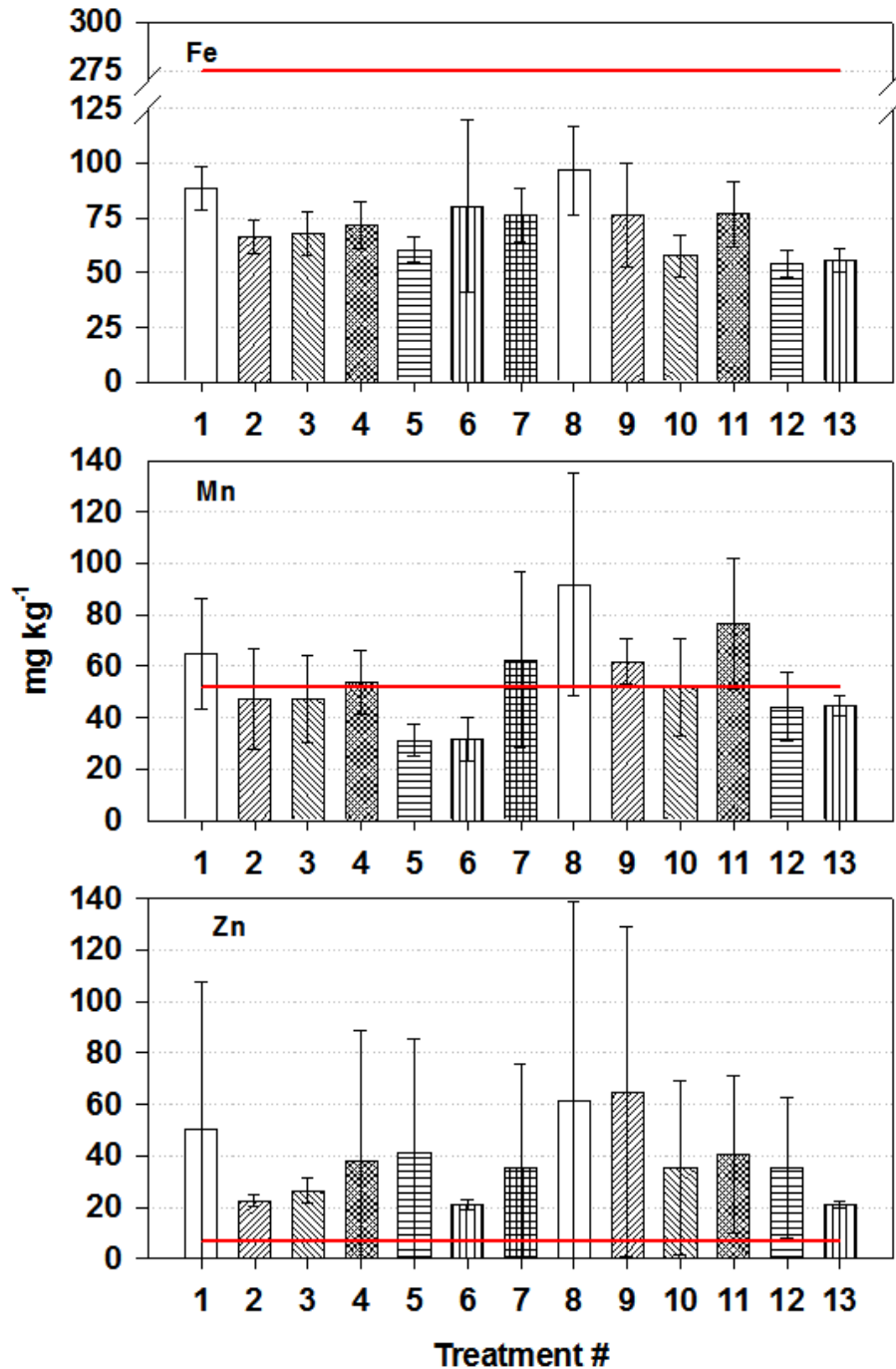
איור 12: קליטת אשלגן בנוף צמחי התירס בניסוי העציצים: (A) ריכוזי אשלגן בנוף של הצמחים, (B) כמויות האשלגן שנקלטו בנוף, (C) כמויות אשלגן שנקלטו בנוף של הצמחים כאחוז מס"כ האשלגן שהוסף לקרקע.

איור 13



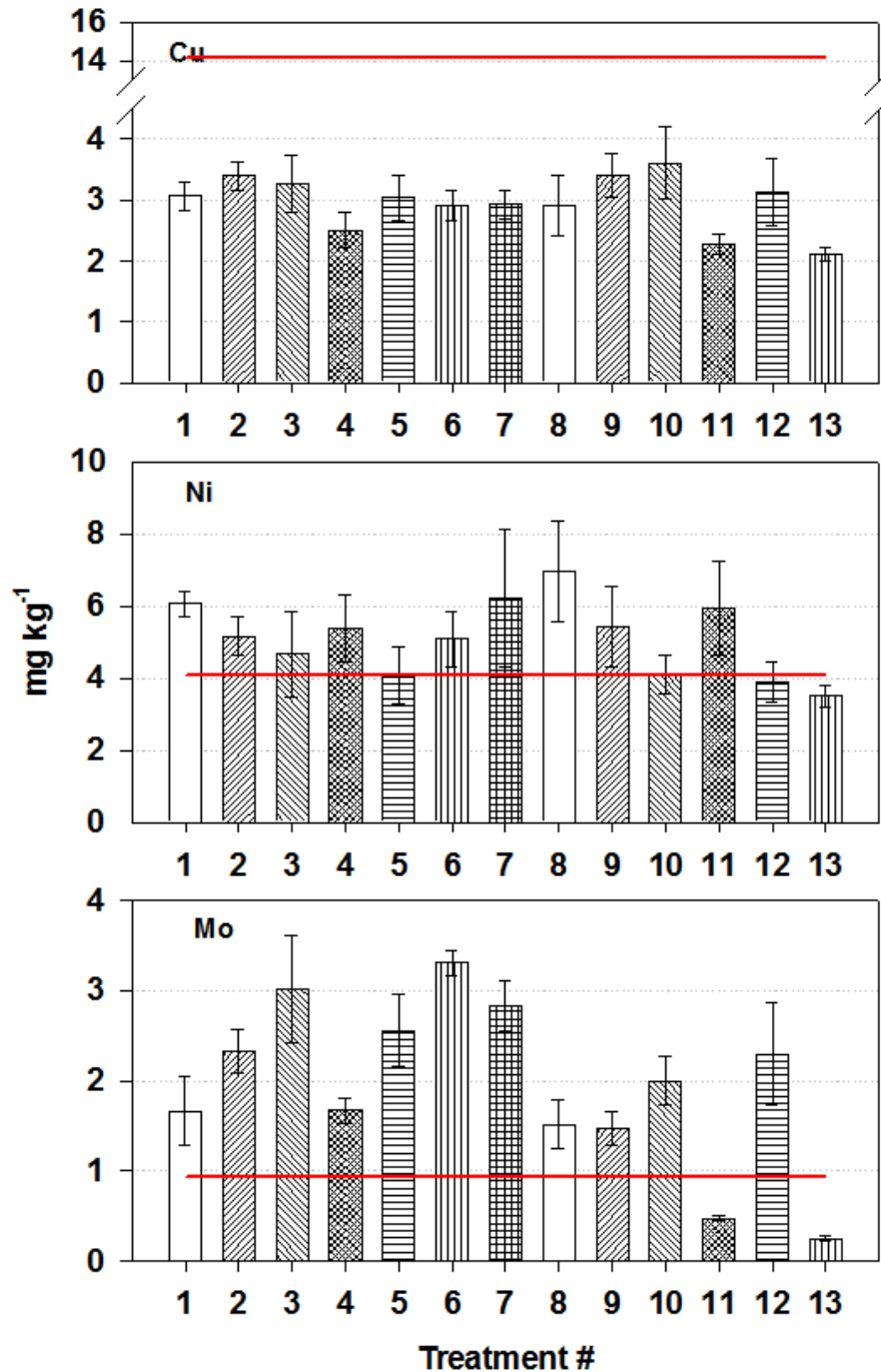
איור 13: ריכוזי קדמיום (Cd), עופרת (Pb) ובידיל (Sn) בנוף של צמחי התירס בניסוי העציצים. הקו המקוון בניצב לעמודות מסמן את גבול האמינות של המדידה.

איור 14



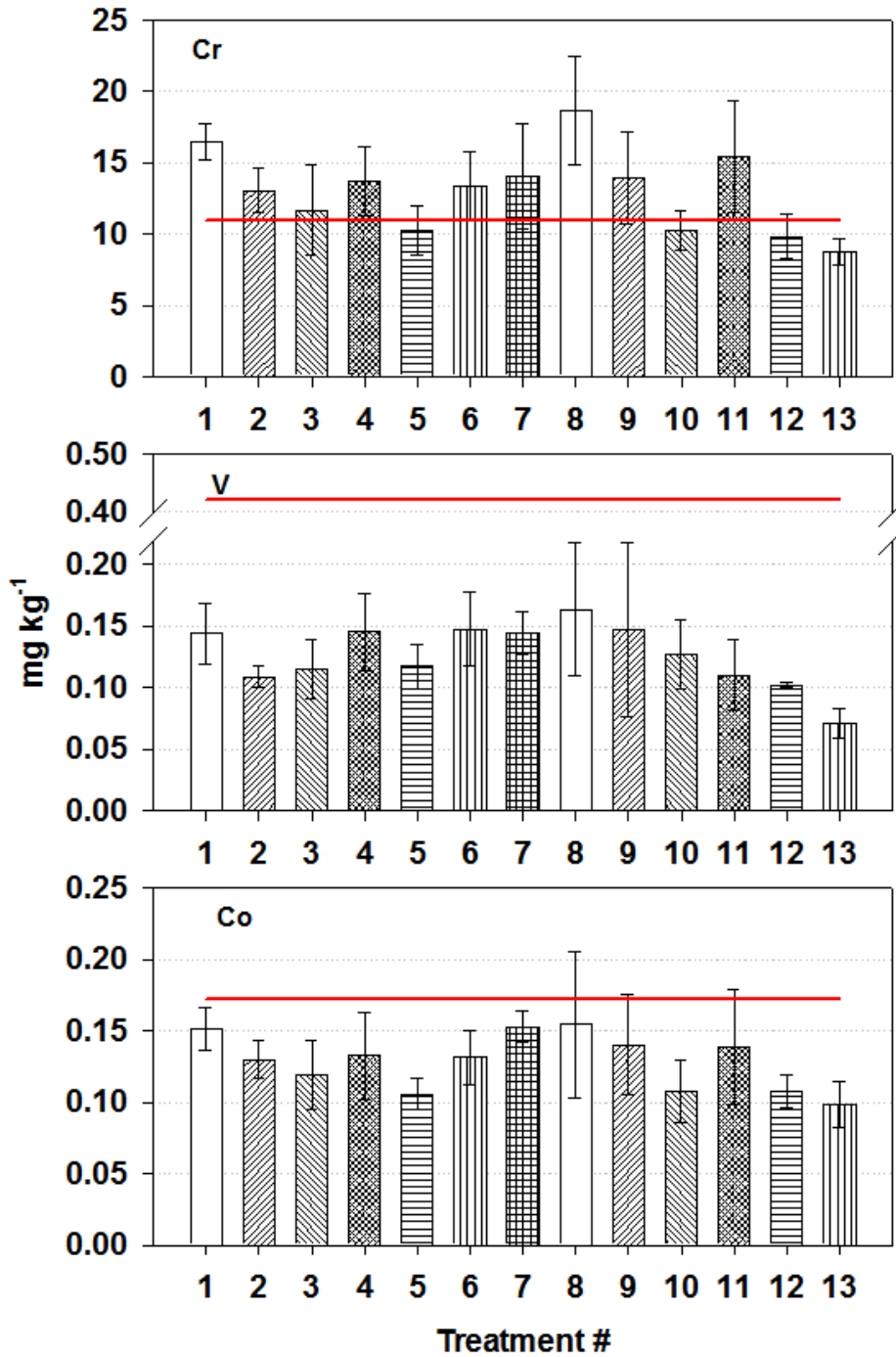
איור 14: ברזל (Fe), מנגן (Mn) ואבץ (Zn) בנוף של צמחי התירס בניסוי העציצים. הקו העובר בניצב לעמודות מראה את הריכוז הממוצע של היסוד שנמדד בנוף של צמחי תירס בוגרים בטיפול ביקורת עם דשן כימי בלבד בניסוי ברבדים ב-2005.

איור 15



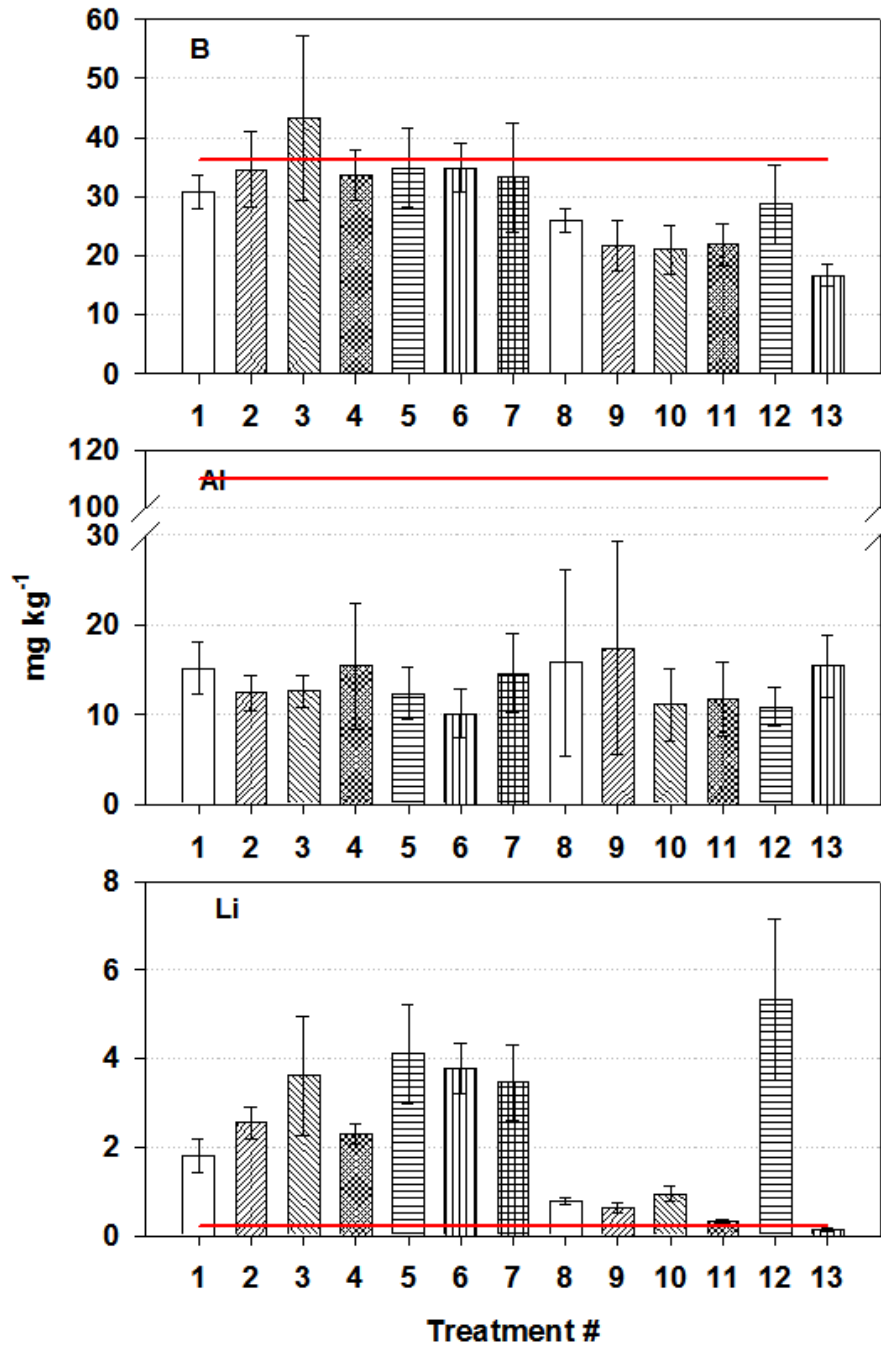
איור 15: נחושת (Cu), ניקל (Ni) ומוליבדן (Mo) בנוף של צמחי התירס בניסוי העציצים. הקו העובר בניצב לעמודות מראה את הריכוז הממוצע של היסוד שנמדד בנוף של צמחי תירס בוגרים בטיפול ביקורת עם דשן כימי בלבד בניסוי ברבדים ב-2005.

איור 16



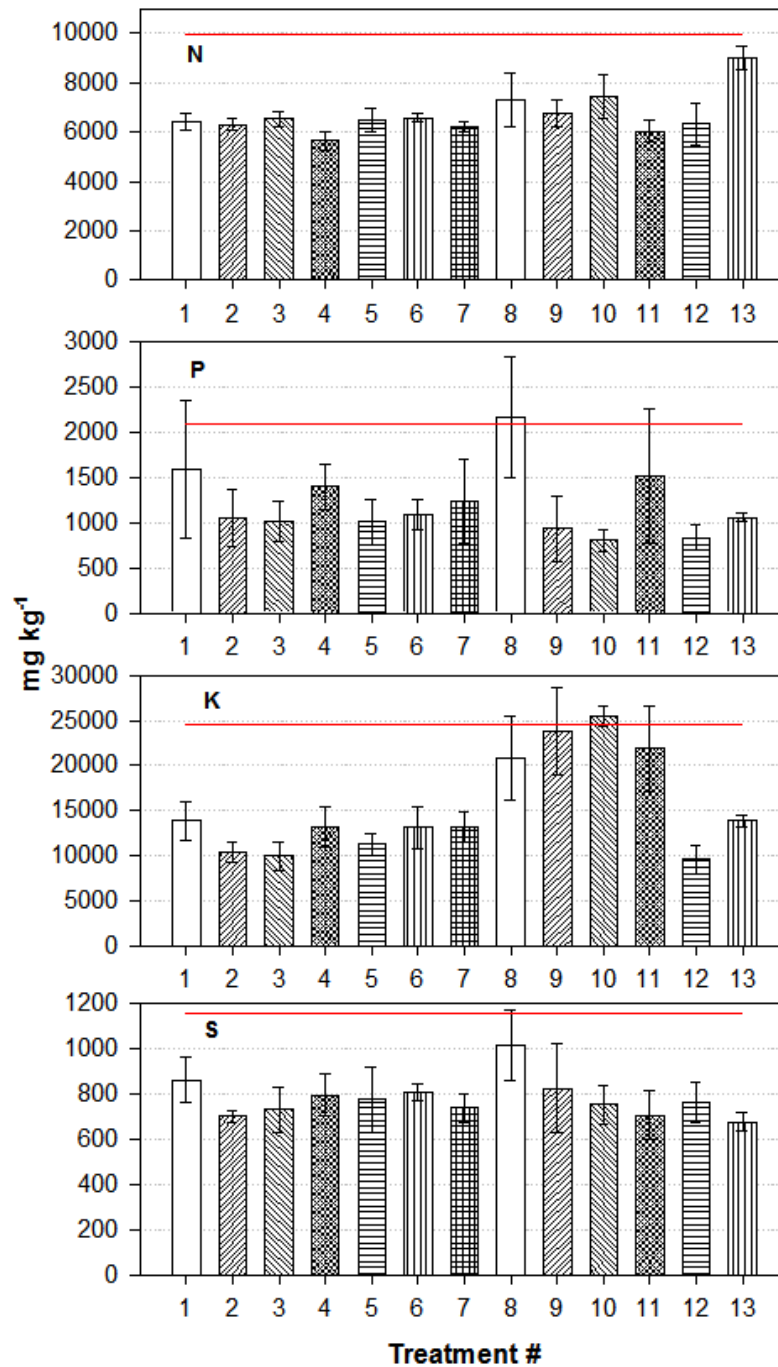
איור 16: כרום (Cr), ונדיום (V), וקובלט (Co) בנוף של צמחי התירס בניסוי העציצים. הקו העובר בניצב לעמודות מראה את הריכוז הממוצע של היסוד שנמדד בנוף של צמחי תירס בוגרים בטיפול ביקורת עם דשן כימי בלבד בניסוי ברבדים ב-2005.

איור 17



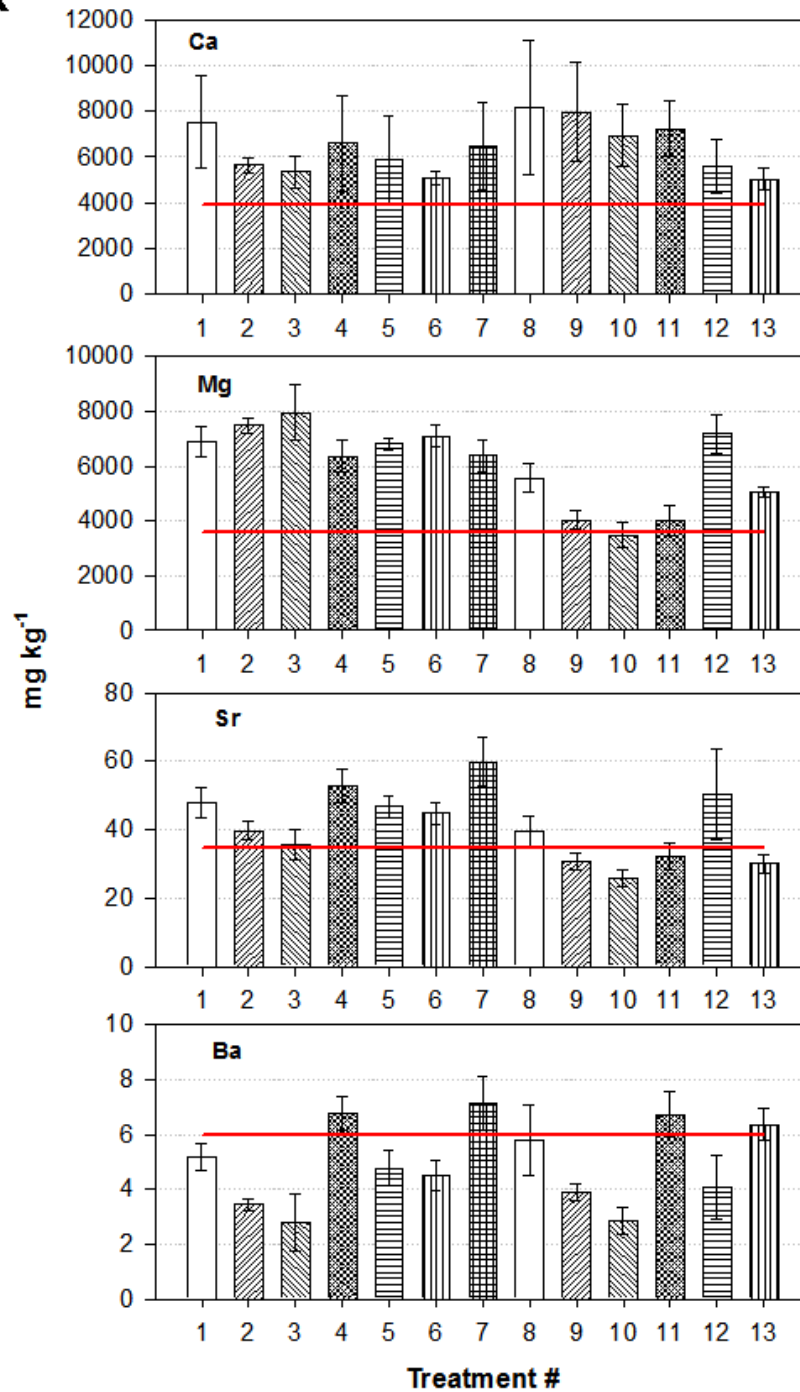
איור 17: בורון (B), אלומיניום (Al) וליתיום (Li) בנוף של צמחי התירס בניסוי העציצים. הקו העובר בניצב לעמודות מראה את הריכוז הממוצע של היסוד שנמדד בנוף של צמחי תירס בוגרים בטיפול ביקורת עם דשן כימי בלבד בניסוי ברבדים ב-2005.

איור 18



איור 18: ריכוזי חנקן (N), זרחן (P), אשלגן (K) וגפרית (S) בנוף של צמחי התירס בניסוי העציצים. הקו העובר בניצב לעמודות מראה את הריכוז הממוצע של היסוד שנמדד בנוף של צמחי תירס בוגרים בטיפול ביקורת עם דשן כימי בלבד בניסוי ברבדים ב-2005.

איור 19



איור 19: ריכוזי סידן (Ca), מגניזיום (Mg), סטרונציום (Sr) ובריום (Ba) בנזף של צמחי התירס בניסוי העציצים. הקו העובר בניצב לעמודות מראה את הריכוז הממוצע של היסוד שנמדד בנזף של צמחי תירס בוגרים בטיפול ביקורת עם דשן כימי בלבד בניסוי ברבדים ב-2005.

יישום אקוסויל ובוצה בגידול חיטה ברבדים - סיכום התוצאות

טבלת טיפולים:

מס'	סמל הטיפול	טיפול	מ"ק/ד	תוספת בוצת אשדוד (מ"ק/ד)
1	Cont	בקורת – חנקן, זרחן 10 יח' כ"א		
2	Cont -P	טיפול משקי – חנקן, ללא זרחן		
3	Biosolids-50	בוצת אשדוד	5	
4	ASB-50	אקוסויל אפר פחם	5	
5	ASB-100	אקוסויל אפר פחם	10	
6	ASB-50+B20	אקוסויל אפר פחם + בוצה	5	2
7	ASB-100+B40	אקוסויל אפר פחם + בוצה	10	4

הניסוי היה במתכונת של בלוקים באקראי חוץ מטיפול 7, שניתן כפס בשולי השטח. טיפולים 5 ו-6 ניתנו על פי התחזית (שנתממשה) שמט"ש בית-שמש יוכל להכפיל את תכולת מרכיב הבוצה באקוסויל. אין הבדל בתכולת החנקן בין בוצות בית-שמש ואשדוד (כ-5% מהמשקל היבש). יש הבדל ביניהן בתכולת הזרחן: כ-1% וכ-1.5% (מהמשקל היבש) בבוצות בית-שמש ואשדוד, בהתאמה.

סיכום התוצאות:

יבול חיטה – הן שחת והן גרגרים – יש גידול בגידול בטיפולי הבוצה ביחס לטיפול הביקורת, אולם היא משמעותית או מובהקת רק בהשוואה לטיפול שלא קיבל דישון זרחני.

למעשה, לבדיקת המובהקות אין משמעות הואיל והטיפול ללא זרחן לא היה במסגרת הניסוי, אלא כתצפית בשולי השטח.

איור 1a: יבול שחת (יבש).

איור 1b: יבול שחת (יבש) - % השינוי בהשוואה לטיפול שלא קיבל דשן זרחני.

איור 2: יבול גרגרים.

יבול חיטה – רבדים 2006/7

