



## שימוש באפר פחם תחתית (פסולת תחנות כוח של חברת החשמל) כמצע

### לגידול עירית

רוחי רבינוביץ<sup>1</sup> אריה יצחק<sup>2</sup> וציון דקור<sup>1</sup>

<sup>1</sup>מו"פ בקעת בית שאן, תחנת ניסיונות חוות עדן. <sup>2</sup>שירות שדה, שה"מ עמקים.

#### מבוא

תבלינים טריים הינם קבוצת גידולים מרכזית בענף הירקות והם מרכיב חשוב ביצוא החקלאי מישראל. העירית (*Allium schoenoprasum*) היא בין הגידולים המרכזיים בסל היצוא של ענף התבלינים. גידול העירית נמשך בין שנה לשנתיים עם מחזורי קציר במרווחים של כ- 4-5 שבועות (מנור, 2001). גידול העירית מהווה כיום כ- 20% מכלל המינים המשווקים בסל. כיום מגדלים עירית על גבי מצעים מנותקים שונים (בעיקר טוף) ועל גבי קרקע מקומית. היבולים המתקבלים הם בין 2 ל-3 טון/ד"שנה בגידול על גבי מצע טוף, ובין 1.5-2.5 טון/ד"שנה בגידול על קרקע מקומית. העירית היא גידול עתיר עבודה במיוחד: מספר גבוה של ימי עבודה מושקע בעיקר במיון התוצרת, הרגישה לנזקים הנובעים מעקות פיזיולוגיות (מחסורים/עודפים), מהמשך גידול של עלים קצורים ("עלים קטומים") ומנזקי מחלות ומזיקים (מנור, 2001). רגישות העירית לעקות ונטיית העלים להמשיך לגדול לאחר הקציר (עלה כזה פסול לשיווק) מחייבת שליטה מיטבית בממשק ההשקיה והדישון. דבר זה מתאפשר בגידול במצע מנותק. המצעים המקובלים לגידול עירית הם טוף ופרלייט (יצחק, 2004)

טוף ופרלייט הם מחצבים, שהם בחזקת משאבים מתכלים. מקור הטוף המקובל לשימוש בארץ הוא בתל פארס ותל חרמונית ברמת הגולן. פרלייט הוא מינרל וולקני הנוצר במפגש בין לבה למי-ים. מינרל זה עובר עיבוד בחום גבוה לפני היותו מוכן לשימוש, לכן עלותו תלויה בצורה ישירה בעלות הדלק. מקור הפרלייט המקובל לשימוש בארץ הוא בחו"ל. עלות הטוף 100-150 ₪/מ<sup>3</sup>. עלות הפרלייט כ-150 ₪/מ<sup>3</sup> (יודוביץ, 2006). לגידול דונם עירית במאוזנים מקובל להשתמש ב-120 מ<sup>3</sup> טוף או פרלייט. יש יתרון למציאת מצע חלופי זול משני מצעים אלו, וזאת בתנאי שלא תיגרם פגיעה באיכות ובכמות היבול.

אפר פחם הוא השארית המתקבלת לאחר שריפת הפחם בתחנות הכוח של חברת החשמל. פסולת זו יכולה להוות בעיה סביבתית או להיות מנוצלת למטרות שונות. בין השאר נבדקה כבר לפני כ-10 שנים התאמתה לשימוש כמצע מנותק לגידול ירקות ופרחים (חן, 1997). בניסויים אלו נמצא שהדבר יתכן אך מתחייבת השקעה נוספת במיון טוב של החומר. בשנים האחרונות נמצאה שיטת מיון הולמת, ונעשים ניסויים נוספים בתחום. במסגרת זו הוצב ניסוי זה, שמטרתו לבחון את התאמת המקטע התחתון של פסולת אפר פחם לשמש כמצע מנותק לגידול עירית, בהשוואה למצע טוף M 0-8. מטרות הניסוי וההיבטים שנבחנו היו:

א. היבול ואיכותו (כפי שהתבטאה באחוז העלים עם קצוות צרובים או קטומים)

ב. מידת הקליטה של מתכות כבדות אל העירית במצע טוף ובמצע אפר פחם.

בניסויים שונים של בחינת מצעי גידול לעירית נבחן שימוש במצע פרלייט מוכל בשרוולי בד לא ארוג מתוצרת חברת עופרטקס = "בד גיאוטכני". בניסויים אלו נמצאו סימנים לכך שיש שליטה השפעה לטובה על הקטנת אוכלוסיות המזיק תריפס בעירית (אליאנה רבינוביץ, מידע אישי).



## שיטות וחומרים

עירית מזן פרגו- דנפלד משופר (המקובל באזור) נשתלה ב-2.11.05 בעומד מקובל (60 גושים/מ"ר) על מצע אפר פחם ומצע טוף. המצעים מוכלים במארזי פוליבוטילן רציף (תוצרת "מפל", מבוא חמה) ליצירת ערוגות בגודל 0.17X1X20 מטר. לכל טיפול ארבע חזרות. כל ערוגה היא חלקת טיפול המפוצלת לשניים- עם וללא חיפוי בד גיאוטכני (מתכונת ניסוי דו-גורמית, אקראיות גמורה x חלקות מפוצלות).

השקיה נעשתה בציוד טפטוף, צינור של 12 מ"מ תוצרת נטפים, 5 שלוחות לערוגה עם טפטפות לא מתווספות בספיקה של 1.3 ליטר/שעה.

### מנות מים ודשן

עד הקציר הראשון ניתנה השקיה שווה לשני המצעים. מנת ההשקיה ניתנה כמקובל לטוף, לקבלת 50%-30 נקז. לאחר שלב ההקלטה נתנו 1-3 השקיות יומיות (בתלות במזג האוויר ובשלב הגידול) עם דישון כמקובל באזור למצע טוף: 1.5 ליטר דשן שפראשפיר 8+6:3:5 לכל מ<sup>3</sup> מים. לקראת הקציר הועלתה רמת הדישון ל-2.5 ליטר דשן/קוב מים. באפר הפחם נמדדה בתדירות השקיה זו רמת נקז של 70%-90. בהגיע העירית במצע הטוף לגודל המתאים לקציר, בוצע קציר בכל הניסוי. בשלב גידול זה היתה העירית במצע האפר פחם בגודל פחות מאופטימלי לקציר. נשקל יבול למטר ערוגה בכל חזרה. לאור ההבדל הגדול במשקל היבול הכולל בין הטיפולים לא נבחנה השפעת המצע על כמות היבול לשיווק.

לאחר קציר ראשון נלקח מדגם אפר פחם לבדיקת עקום תאחיזת מים ולבדיקת מקטעים. כמו כן נעשתה בדיקה במעבדה ליסודות הזנה במי הטפטפת ובמי הנקז של שני המצעים. לאור תוצאות בדיקות אלו נעשו שינויים במשטרי הדישון וההשקיה של מצע אפר הפחם, לפי הנוסחה הבאה (לאחר הקציר הראשון ואילך):

טוף: 100% החזר מגיגית (כולל נקז) עם 1.5 עד 2 ליטר דשן למ<sup>3</sup>, בתלות בהתאדות היומית ובגודל הצמחים. החמצת מי ההשקיה נעשתה בחומצה גופרתית (pH 6).

אפר: כל מנת השקיה של הטוף חולקה ל-2-3 השקיות של אפר הפחם, בתוספת 10% דהיינו- אם הטוף קיבל 3 השקיות של 2 מ<sup>3</sup>ד', האפר קיבל 6 השקיות של 1.1 מ<sup>3</sup>ד'. רמת הדישון- כמקובל בטוף. בגלל מחסור גדול בזרחן (על פי בדיקת מי הנקז), החמצת מי ההשקיה נעשתה בחומצה זרחתית (pH 6). בצורת השקיה זו נמדדה במצע אפר הפחם רמת נקז של 30%-40.

דיגום לבדיקות עלים: נעשה מכל אחת מהחזרות, מכל חזרה 5 צברים באקראי. כל הדגימות של כל אחד מהטיפולים עורבבו יחד ונשלחו לבדיקה במעבדת שירות שדה בנווה יער.

איסוף מי טפטפת ונקז. מי טפטפת- נאספו לתוך כוס הממוקמת בבור מתחת לטפטפת. מי נקז נאספו בליזימטר שגודלו 1x1 מ"ר, שמוקם על הערוגה ובו עירית שתולה בתנאים זהים לערוגה.

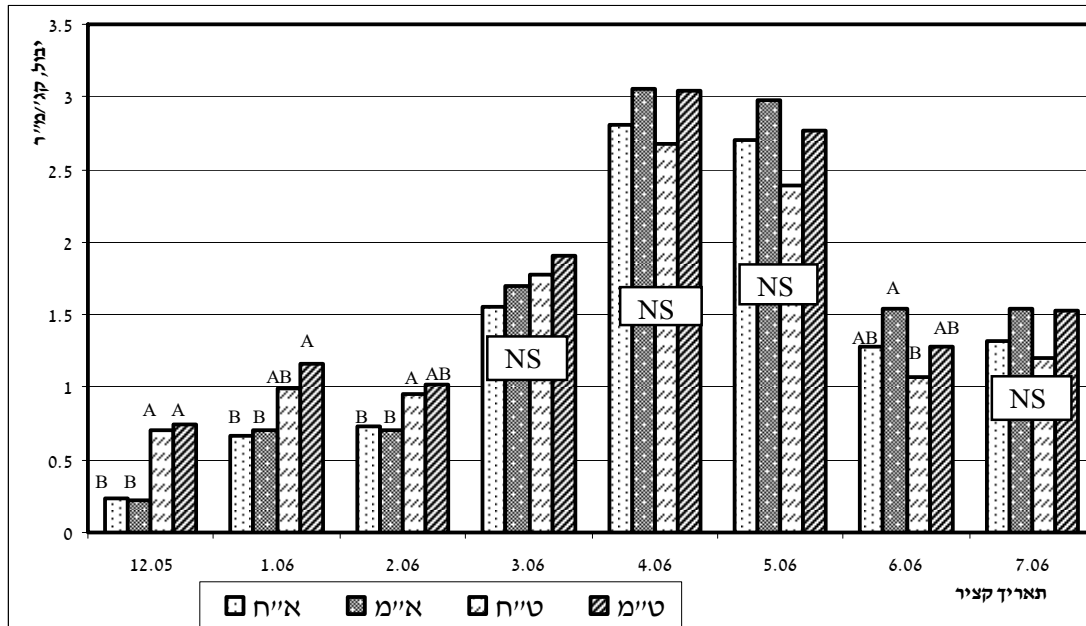
דגימות לנזקי תריפס: בקציר נדגמו באקראי מכל חזרה 5 גושים של עירית מתוכם נבדקו באקראי 100 עלים לנזקי עירית. ההערכה- בשיטה מוחלטת (נגועלא נגוע). לאחר הקציר נעשה טיפול נגד תריפס בפרוקליים (אמאמקטין) במינון 60 סמ"ק/ד'.



דיגום לבדיקת מתכות כבדות ויסודות רדיואקטיביים: בוצע בקציר מרץ, לאחר 6 חודשי גידול, לפי הנחיות מעבדת פרופי יונה חן מהפקולטה לחקלאות ברחובות. האנליזה לבדיקת מתכות כבדות בחומר הצמחי נעשתה במכון הגיאולוגי בירושלים. האנליזה לבדיקת יסודות רדיואקטיביים נעשתה במרכז מחקר גרעיני – נחל שורק. הערכת יבול לשיווק: נעשתה באופן מסחרי בקציר יוני, ע"י צוות משק נחום כהן מתל תאומים.

## תוצאות

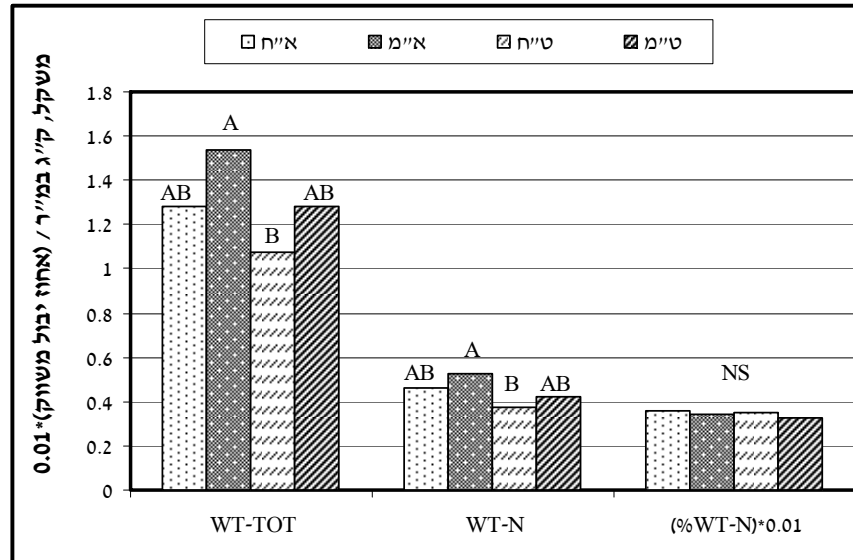
איור 1: השפעת סוג המצע וחיפוי פני הערוגה על משקל כולל של תוצרת, יבול חודשי בק"ג/מ"ר



ט"מ = טוף מכוסה. ט"ח = טוף חשוף. א"מ = אפר מכוסה. א"ח = אפר חשוף  
ערכי עמודות המופיעים באותו תאריך קציר ומלווים באותה אות אינם נבדלים סטטיסטית  
=NS הערכים אינם נבדלים סטטיסטית

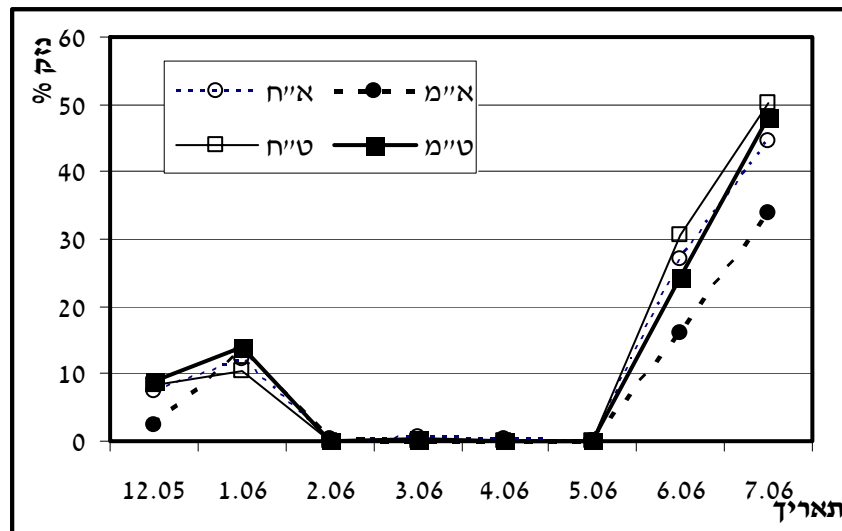
לאחר הקציר הראשון (יתרון לטוף לעומת אפר) שונתה שיטת ההשקיה באפר פחם. ההבדלים בין יבולי הטיפולים השונים קטנים ואף נעלמים (למעט קציר שביעי בו שוב מופיעים הבדלים, עם יתרון לאפר מכוסה לעומת טוף חשוף).

איור 2: התפלגות יבול (כולל ומשווק) למטר ערוגה בקציר יוני 2006



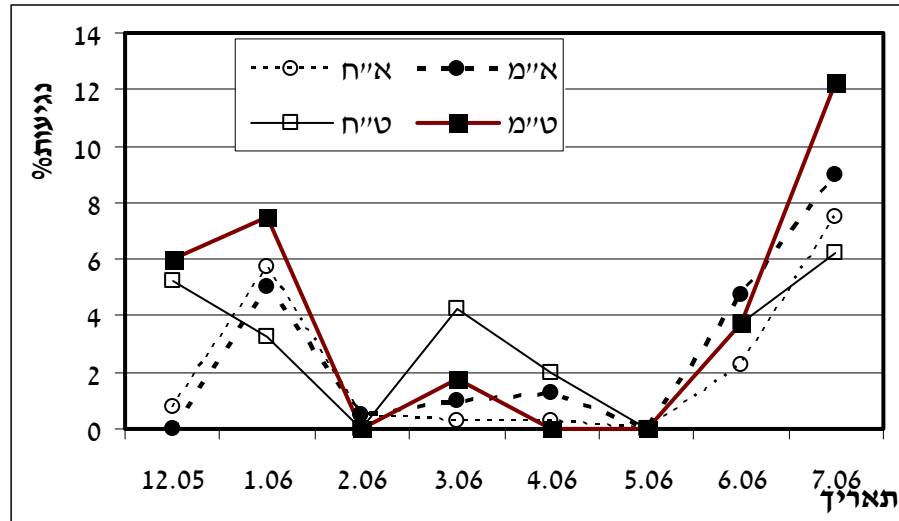
ט"מ = טוף מכוסה. ט"ח = טוף חשוף. א"מ = אפר מכוסה. א"ח = אפר חשוף.  
WT-TOT = משקל נטו. WT-N = משקל כולל. ערכי עמודות המופיעים באותו סוג משקל ומלווים באותה אות אינם נבדלים סטטיסטית. NS = לא נבדל סטטיסטית.

איור 3 : השפעת המצע וחיפוי פני הערוגה על נזקי תריפס במהלך העונה



כל ההבדלים בין הטיפולים אינם מובהקים.

איור 4 : השפעת המצע וחיפוי פני הערוגה על נזקי צריבות במהלך העונה



כל ההבדלים בין הטיפולים אינם מובהקים.

כפי שניתן לראות באיורים 3 ו-4, עיקר הפחת המופיע ביבול העירית המודגם באיור 2 (יבול משווק ויבול כולל של קציר חודש יוני) מוסבר על ידי פגיעת של תריפס (בין 15 ועד 30 אחוזי פחת. איור 3) ומיעוטו מוסבר על ידי צריבות (בין 2 ועד 5 אחוזי פחת. איור 4). הפחת המצטבר משני גורמים אלו נע בין 17% ועד 35%.

טבלה 1: התפלגות (משקלית) באחוזים של מקטעי חלקיקי הטוף (גודל חלקיק במ"מ)

התפלגות משקלית לפי גודל חלקיקים (מ"מ)									מצע
9.5<	9.5-4.8	4.8-2.4	2.4-2.0	2.0-1.7	1.7-1.2	1.2-0.84	0.84-0.177	0.177>	
16.8%	29.4%	26.1%	2.6%	2.6%	3.2%	2.2%	7.1%	10%	אפר פחם
0.0%	14.0%	33.1%	5.9%	6.2%	8.3%	6.3%	18.0%	8.4%	טוף 0-

יש הבדל בין הטוף לאפר באחוז החלקיקים בתחום שבין 0.177 ועד 2.4. באפר הוא 17.7% ובטוף- 44.7%. באופן משלים, יש הבדל בתחום החלקיקים שבין 4.8 ועד 9.5. באפר הוא 46.2% ובטוף- 14%. בתחום החלקיקים 2.4-4.8 מ"מ יש דמיון בין שני המצעים- 26.1% באפר ו- 33.1% בטוף. בסה"כ מתקבל שכמות החלקיקים הדקים ( $0.84 < \text{מ"מ}$ ) גבוהה יותר בטוף (26.4%) מאשר באפר הפחם (< 17.1%).

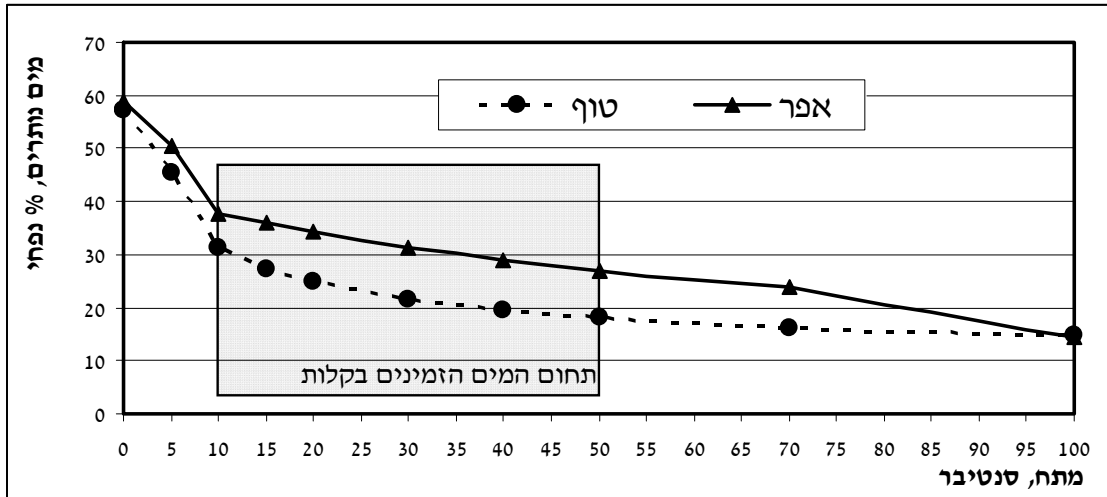
טבלה 2: התפלגות המים במצעים טוף M0-8 ואפר פחם תחתי

מקטע	מים שירדו במתח שבין	אפר	טוף
קיבול אוויר (%)	0-10 סנטיבר	21.4	25.71
מים זמינים בקלות (%)	10-50 סנטיבר	10.8	13.07
מי רזרבה (%)	50-100 סנטיבר	12.4	3.70
מים שאריתיים (%)	מים שנותרו	14.4	14.66
נקבוביות כללית (%)	סה"כ המים במצע	59.0	57.14
צפיפות גושית (ג' וס"מ <sup>3</sup> )		0.699	1.21



כפי שניתן לראות, אין הבדל בין הנקבוביות הכללית של אפר הפחם (מעט גבוהה יותר) ובין הנקבוביות הכללית של הטוף. יש הבדל קל בקיבול האוויר ובאחוז המים הזמינים בקלות. הבדלים משמעותיים יותר יש בין מי הרזרבה בטוף (3.7%) למי הרזרבה באפר (12.4) בצפיפות הגושיה. לעומת זאת ניתן לראות שבטוף רבים יותר הנקבובים הדקים מאשר באפר הפחם.

איור 5: עקומי תאחיזה של מים בדוגמאות טוף ואפר פחם



ניכר כי בתחום המים הזמינים בקלות (המים העומדים לרשות הצמח, 10-50 סנטיבר) יש הבדל משמעותי בין דגימת הטוף ובין דגימת אפר הפחם. הבדל זה נובע מתאחיזה שונה של המים במצע האפר בהשוואה לטוף (למשל 29% באפר לעומת 19% בטוף בנקודה 40 סנטיבר). טבלה 3 - כמות רמות היסודות הנדירים (מודגשים אלו הנחשבים רעילים) בעירית שגדלה על מצע טוף ואפר פחם. לאחר 6 חודשי גידול (חן 2006).

היסוד	כמות מכסימלית מותרת, מ"ג/ק"ג מזון	כמות בעירית על טוף מ"ג/ק"ג מזון טרי	כמות בעירית על אפר פחם מ"ג/ק"ג מזון טרי
בורון (B)		2.5	2.4
קדמיום (Cd)	0.2	0.003	0.002
קובלט (Co)		0.043	0.021
כרום (Cr)		1.08	1.06
מוליבדן (Mo)		0.52	0.28
ניקל (Ni)		1.17	1.1
עופרת (Pb)	0.3	0.017	0.017
סטרונציום (Sr)		4.08	5.84
כספית (Hg)	0.05	נמוך מסף המדידה	יש. נמוך מסף המדידה
ארסן (As)	0.02	נמוך מסף המדידה	יש. נמוך מסף המדידה
בדיל (Sn)		יש. נמוך מסף המדידה	יש. נמוך מסף המדידה
סלניום (Se)		יש. נמוך מסף המדידה	יש. נמוך מסף המדידה

טבלה 4: תוצאות ריכוז רדיונוקלידים בתוצרת חקלאית (חקין, 2006).

מס' מעבדה	גידול	מצע	<sup>226</sup> Ra (בקרלוק"ג)	<sup>232</sup> Th (בקרלוק"ג)	<sup>40</sup> K (בקרלוק"ג)
S4362	עירית	אפר פחם חלקה 12	0.25 <	<0.17	129.3±4.5
S4363	עירית	אפר פחם חלקה 1	<0.27	<0.15	119.8±4.3
S4364	עירית	אפר פחם חלקה 11	<0.27	<0.15	113.7±4.4



מס' מעבדה	גידול	מצע	$^{226}\text{Ra}$ (בקרלוק"ג)	$^{232}\text{Th}$ (בקרלוק"ג)	$^{40}\text{K}$ (בקרלוק"ג)
S4365	עירית	אפר פחם חלקה 16	<0.24	<0.13	115.3±4.0
S4366	עירית	טוף חלקה 4	<0.25	<0.14	128.3±4.6
S4367	עירית	טוף חלקה 7	<0.23	<0.09	135.3±4.8
S4368	עירית	טוף חלקה 10	<0.25	<0.13	126.9±4.5
S4369	עירית	טוף חלקה 13	<0.29	<0.19	136.0±5.0

לא נמצאה תוספת לריכוז הרדיונוקלידים הטבעיים בתוצרת חקלאית שגודלה על מצע של אפר פחם לעומת תוצרת חקלאית מאותו סוג שגודלה על מצע טוף. גבול הגילוי של המדידה מבטיח כי התוצרת החקלאית אינה מכילה ריכוזי רדיואקטיביות טבעית העולה על הנחיות משרד הבריאות. ריכוז ה- $^{40}\text{K}$  בתוצרת החקלאית אינה מהווה בעיה מבחינה בטיחות קרינה. לדעת ממ"ג-שורק, אין מניעה, מבחינת בטיחות הקרינה, להשתמש במצע של אפר פחם לגידול תוצרת חקלאית מהסוג הנ"ל.

## דיון ומסקנות

### יבול כולל ומשווק

יבול כולל. בתחילת הניסוי נקבע כי צורת ההשקיה בשני המצעים תהייה זהה, וזאת בהתבסס על הדמיון בהתפלגות גודל החלקיקים בשני המצעים (טבלה 1). בקציר ראשון נמצא הבדל ניכר ומובהק בין הגידול על מצע אפר והגידול על מצע פחם, ללא קשר לחיפוי או אי-חיפוי של פני המצע (איור 1). הבדל זה נראה בד בבד עם פער ניכר באחוזי הנקז בטוף (50-30%) ובאפר (90-70%). ראה שיטות וחומרים). בעקבות זאת בוצע שינוי מידי בצורת ההשקיה: מנת ההשקיה של הטוף חולקה ל- 2-3 מנות חלקיות באפר הפחם, ללא שינוי בדישון. שינוי זה הביא לאחוזי נקז תקינים במצע אפר הפחם (40-30%). בנוסף, נעשו בדיקות מי נקז מלאות ובדיקת עקום תאחיזה. בעקבות עדות למחסור זרחן בבדיקת מי הנקז (תוצאות לא מצורפות) שונתה ההחמצה של מצע אפר הפחם מחומצה גופרתית לחומצה זרחתית. בעקבות שינויים אלו הפערים בין היבול הכולל של טיפולי אפר הפחם וטיפולי הטוף הצטמצמו בקצירים שני ושלישי ובקצירים רביעי עד שמיני אף נעלמו כליל (למעט קציר שביעי, בו היה יתרון קל לאפר, איור 1). לא ברור מעיון בטבלה 2 (התפלגות המים, מקטע 0-10, קיבול אוויר כמעט זהה בין הטוף לאפר) מדוע אפר הפחם מגיר את המים מתוכו במהירות גבוהה ובכמות גדולה. יתכן והדבר נובע מכמות החלקיקים הגבוהה ביחס של מקטע 4.6-9.5 מ"מ (46.2% באפר בהשוואה לטוף- 14.0%, טבלה 1). יתכן כי גם כמות המים הנשארת אגורה במצע (מי רזרבה, תחום 50-100 סנטימטר, איור 5) נובעת מהתפלגות שונה של גודל החלקיקים בשני המצעים- 17.7% חלקיקים בתחום שבין 0.177 מ"מ ועד 2.4 מ"מ בטוף לעומת 44.7% בתחום מקטעים אלו באפר הפחם.

יבול משווק. פחיתה ביבול נגרמת כאמור על ידי מספר גורמים: 1. התארכות עלים קצורים ("עלים קטומים"); 2. נזקי פגעים (בעיקר תריפס); 3. תגובות פיזיולוגיות (צריבות, "ברך לבנה"). בבדיקות שנערכו במהלך העונה לא נמצא שיש למצע או לחיפוי בבד גיאוטכני על גבי המצע השפעה על איכות היבול ועל אחוז היבול המשווק (איורים 2, 3, 4. תוצאות "עלים קטומים" לא מצורפות).





השפעת חיפוי פני הערוגה על היבול. טיפול זה, שמטרתו הייתה להקטין נזקי תריפס, גרם בצורה עקבית (אך לרוב לא מובהקת) לתוספת יבול הן במצע הטוף והן במצע אפר הפחם. הסיבה לתרומה זו (כגון שמירה על רטיבות, חימום בית השורשים, קירור בית השורשים) לא נבחנה.

### **מתכות כבדות ורדיונוקלידים**

קליטת מתכות כבדות ורדיונוקלידים על ידי העירית יכולה הייתה לפסול את האפשרות להשתמש באפר הפחם כמצע גידול. כפי שניתן לראות (טבלאות 3 ו-4), גם ריכוז העופרת, המצויה בריכוז יחסית גבוה (0.017 מ"ג/ק"ג) נמוך מהריכוז המכסימלי המותר (0.3 מ"ג/ק"ג). יתר על כן- ריכוז העופרת באפר הפחם זהה לזה שבטוף. חלק מהרדיו נוקלידים מצויים בריכוז הנמוך מסף הגילוי וריכוז השאר נמוך מהמותר. מכאן שניתן, ללא חשש, להשתמש באפר פחם כמצע לגידול עירית.

### **ולסיכום:**

1. לא נמצא שיש למצע השפעה על כמות היבול ועל איכותו. עם זאת נמצא שיש לנקוט במשטר השקיה שונה עבור כל מצע: את מצע אפר הפחם יש להשקות בכמויות קטנות ובתדירות גבוהה בהשוואה למצע הטוף, וכתוצאה מכך מנת המים היומית הניתנת לעירית במצע אפר הפחם גבוהה לעיתים עד כדי 10% בהשוואה לטוף.
2. לא נמצא שיש למצע או לחיפוי בבד גיאוטכני השפעה על נגיעות תריפס בעירית.
3. קליטת מתכות כבדות ורדיונוקלידים בעירית הגדלה על אפר פחם דומה ביותר לזו שבעירית הגדלה על טוף, ובשני המצעים נופלת בהרבה מהרמה המכסימלית המותרת בעירית.

### **ספרות**

- חן יונה וצילה אביעד, 2006. בדיקת מתכות כבדות בחלקים הנאכלים של פלפל ועירית. דו"ח עבור מנהלת אפר הפחם לצורך הגשה למשרד הבריאות.
- חן יונה וצילה אביעד, 1997. אפר תחתי במצע גידול. "גן ונוף" חוברת ה', עמ' 19-20.
- חקין גוסטבו, 2006. בדיקת תכולת רדיונוקלידים בתוצרת חקלאית. דו"ח ממ"ג שורק עבור מנהלת אפר הפחם לצורך הגשה למשרד הבריאות.
- יודוביץ שמחה, 2006. תכנית הפיתוח לשנת 2006. מנהלת ההשקעות, משרד החקלאות. ע' 54.
- יצחק אריה, 2004. תשתית לחממות ולמצעי גידול בתבלינים. בתוך- ד. סילברמן, עורך, סיכום מחקרים וניסויי שדה בתבלינים, שה"מ, ארגון מגדל ירקות והמועצה לייצור ירקות עמ' 44-46.
- מנור הלל, 2001. דפון לגידול עירית. בתוך- מנור ה., עורך, סיכום מחקרים וניסויי שדה בתבלינים, שה"מ משרד החקלאות, ארגון מגדל ירקות והמועצה לייצור ירקות, עמ' 46-41.

### **תודות:**

לפרופסור יונה חן ולצילה אביעד על הליווי ועל האפשרות לבצע את בדיקת המתכות הכבדות. לעומרי לולב ולמנהלת אפר הפחם על מימון מחקר זה.





לאמרי רן ושלמה מנוח ולחברת מצעים חקלאיים על הליווי ועל תרומת מצע אפר הפחם.  
לרוב ולמפעל "מפלי" מבוא חמה על תרומת המארזים