

השפעת מנת השקיה, הבסיס הקרקעי, ותשתית בית השורשים בפלפל 2009/10

אביתר איתאל - שה"מ, משרד החקלאות
דורית חשמונאי, אבי אושורוביץ, שבתאי כהן, רבקה אופנבך, יורם צביאלי, ישראל צברי - מו"פ ערבה
תיכונה וצפונית

אלון בן גל - המחלקה לפיזיקה סביבתית והשקיה, מרכז מחקר גילת, מינהל המחקר החקלאי
נפתלי לזרוביץ - מחלקה לחקלאות באזורים צחיחים, שדה בוקר, אוניברסיטת בן גוריון

תקציר

עבודה זו מהווה המשך לעבודות שבוצעו בעונות הקודמת העוסקת בפיתוח תשתית בית שורשים לגידולי ירקות בתנאי הערבה. תגובת צמחי פלפל לתנאים השוררים בבית השורשים נלמדה בטווח של מנות השקיה במים מליחים (2.3 dSm^{-1}) ועל רקע של שני בסיסי קרקע בעלי מאפיינים הידראוליים שונים באופן קיצוני. קרקע חמדה - בעלת מוליכות מים נמוכה, וציפוי חול עם מוליכות גבוהה. צמחי פלפל מהזן 7187 (זרעים גדרה) נשתלו בבית רשת 50 מש בתחנת יאיר שבערבה ב - 10/8/09 והושקו בארבע מנות מים החל מ 27 ימים לאחר השתילה ועד לסיום הניסוי. המנות היו קבועות לכל משך תקופת הניסוי: 3.1, 4.4, 5.5 ו- 7.5 מ"מ ליום. בסיום העונה, לאחר 225 ימים הסתכמו מנות ההשקיה ב: 1,200, 977, 713 ו- 1,566 מ"מ. בשתי הקרקעות יושמו שתי תשתיות בית שורשים השונות רק בסוג יריעת הצד (ממוקמת בין בית השורשים לקרקע המעטפת): האחת מסוג פלריג, העבירה למים, והשנייה פוליאיתילן - אטומה. עם הסתייגות לגבי אופן ביצוע ההשוואות בין שני סוגי הקרקעות בשל אופן ההצבה בשטח, ניתן להתרשם שלסוג קרקע המעטפת הייתה השפעה. יכול הפירות ויכול כלל החומר היבש, בממוצע לכול מנות ההשקיה, נמצאו גבוהים בחמדה מאשר בציפוי החול ב-8% ו-20% בהתאמה, תוצאה שחוזרת בקירוב רב זה שנה שלישית. ליריעת הצד מהסוג פוליאיתילן נמצאה השפעה שלילית על יכול הפירות שנמצא נמוך מזה שביריעת הפלריג בשתי הקרקעות, ובכל מנות ההשקיה, בשיעור ממוצע של 25%. את הסיבה לכך לא הצלחנו למדוד ישירות בשל איחור בהצבת רגשי החמצן במצע, אולם את תגובת הכמיסה שנצפתה וכן את עליית ריכוזי הכלוריד בעלים בטיפול זה בסמוך לעיתוי העקה ניתן לקשור למחסורי חמצן שכנראה שררו באותה העת.

מילות מפתח: פלפל, השקיה, בית שורשים, מליחות, חמצן.

מבוא

בתגובה לעקות שונות בבית השורשים (מחסור במינרלים, יובש, מליחות, מחסור בחמצן, וטמפרטורה) מוליכות המים בשורש תעבור התאמה בטווח של שעות (Javot and Murrel, 2002), ובכך יתאפשר שינויים בקצב צריכת המים. במידה רבה חלבוני תעלות המים בשורש הם אלו שאחראים לשינויים מהירים אלן במוליכות השורש למים.

השרית עקת יובש תכול כאשר זמינות המים (כמות ומוליכות המים) במצע בית השורשים אינה מספקת על מנת לתמוך באופן מלא בשטף הדיות הפוטנציאלי אשר כשלעצמו נקבע על ידי משתנים אקלימיים המבוטאים בגרעון לחץ האדים (Jones, 1992). בתקופת גדילתם חווים הצמחים עקות יובש בעוצמות

ובמשכי זמן משתנים אשר מבוטאים כמותית ביחס העונתי בין הדיות בפועל לדיות הפוטנציאלי. היה זה De Wit (1958) שקבע את הקשר החד חד ערכי בין יחסי הדיות ליחסי הביו-מסה (משוואה 1).

$$\frac{Y_I}{Y_P} = \frac{T_I}{T_P} \quad [1]$$

כאשר: Y_I הינו יבול הביו מסה בפועל, Y_P הינו יבול הביו מסה הפוטנציאלי, T_I הינו מנת המים שנצרכה בפועל, ו T_P הינו מנת המים הפוטנציאלית לדיות. מתוך משוואה זו ניתן להסיק שעל מנת להשיא את יבול הביו מסה, על הצמח לדיית את הכמות הפוטנציאלית, ומכאן שזמינות המים בבית השורשים צריכה להיות מסונכרנת עם גרעון לחץ האדים בכל עת. התאוששות צמחים מעקת יובש ארוכה יחסית וזאת משום שבעת העקה חלים שינויים מבניים ברקמות השורש המפנים את המים הנקלטים למסלול האפופלסטי ועל הצמח ליצר שורשים חדשים על מנת שתחול ההתאמה (Zimmerman and Steudle. 1998). Luu and Maurel, (2005). 1998). הניחו שהירידה במוליכות השורשים למים בעת עקת מלח הינה אסטרטגית הצמח להפחית חדירה אפשרית של יונים בזרם הדיות. מרבית צמחי הירקות אותם אנו מגדלים שיכים לקבוצת "דוחי המלח" להם מנגנונים למניעת חדירת יוני נתרן וכלוריד אל תוך השורש ובכך נגרמת עלייה בריכוזם בפני השורש. כאמור, צמחים אלו מגיבים לעקה אוסמוטית באמצעות ירידה במוליכות השורש למים ביחס ישר לעומד האוסמוטי בטווח זמן של דקות (Munns *et al.* 1982). מחקרים מצביעים על כך שמחסור זמני בחמצן מומס בתמיסת בית השורשים משרה סגירת פיוניות ובשל כך פוחתת קליטת המים והמינרלים וחלה פגיעה בקצב הגדילה של הנוף וביצירת שורשים חדשים (Soffer *et al.*, 1991; Morard *et al.*, 2000). מחסורי חמצן מומס אפשריים גם במצעים מנותקים למרות היותם בעלי נקבוביות גבוהה וזאת כאשר מדיניות ההשקיה אינה נכונה, או בתנאי טמפרטורת שורש גבוהים, כאשר קצב נשימת השורש עולה ושטף החמצן המגיע לשורשים נמוך מהנדרש. Atwell *et al.* (1985) שחקרו גדילת שורשים בנבטי תירס מצאו שבריכוזי חמצן מומס של כ-1 ח"מ, נפל קצב התפתחות השורשים בהשוואה לטיפולים בהם ריכוז החמצן המומס היה מעל 3 ח"מ. ריכוז החמצן בתמיסה שהייתה בשיווי משקל עם האוויר בתנאי הניסוי הגיע לכדי 5 ח"מ. בפלפל נמצאה רגישות גבוהה במספר הפירות לריכוזי החמצן המומס בטווח שבין 6-16 ח"מ. כאשר העלו Marfa *et al.* (2005) את ריכוזי החמצן בתמיסה לריכוז על רוויה של 16 ח"מ מדדו עלייה של 15% במספר הפירות בהשוואה לביקורת שלא קיבלה העשרה בחמצן. מעניינת תגובת הצמח לעקה משולבת של מליחות ומחסור בחמצן. Bhattarai *et al.* (2005a) שבדקו ריכוזי כלוריד בעלים בעת מחסור בחמצן בתמיסת קרקע מלוחה מצאו עלייה בחדירות השורש ליונים אלו וריכוזים גבוהים בהשוואה לאלו שהתקבלו בריכוזי חמצן גבוהים יותר. מכאן שבתנאי השקיה במים מליחים, ריכוזי הכלוריד בעלה יכולים להוות סמן למחסורי חמצן. מטרת המחקר לחשוף את הצמח לעקות יובש, מליחות וחמצן בבית השורשים באמצעות טיפולי תשתית ומנות מים בהשקיה במים מליחים על מנת לכמת השפעתם של שלושת הגורמים על יבול הפירות והביו מסה.

מטרות המחקר הייחודיות בעונה זו היו:

- בחינת השפעת סוג יריעת הצד: פלריג או פוליאיתלן
- בחינת השפעת החיפוי העליון: טוף או אגריל
- בחינת השפעת מנות המים.

הנחות המחקר : לסוג יריעת הצד תהיה השפעה על רטיבות המצע ופירוסו.
לחיפוי הקרקע תהיה השפעה מיטיבה על הצמח עקב הפחתת המליחות בשכבה העליונה.

שיטות

הניסוי נערך בבית רשת 50 מש בתחנת יאיר. כל בסיס קרקע היווה מסגרת ניסויית נפרדת. על פני החמדה נבחנו ארבע תשתיות בארבע מנות השקיה שהיוו 16 טיפולים במבנה פקטוריאלי מלא ועל גבי ציפוי החול נבחנו שתי תשתיות בית שורשים בארבע מנות השקיה שהיוו שמונה טיפולים במבנה פקטוריאלי מלא. גורמי הניסוי והטיפולים :

- תשתיות בית שורשים
- בסיס הקרקע : חמדה, וציפוי חול על גבי החמדה לגובה של 40 ס"מ.
- מנות ההשקיה יומיות : 3.1, 4.4, 5.5 ו-7.5 מ"מ ליום.

טבלה 1 : כל בסיס קרקע היווה מסגרת ניסויית נפרדת. מוצגים המודל הסטטיסטי ודרגות החופש (ד"ח) בשני בסיסי הקרקע.

מקור השונות	ציפוי ד"ח	חמדה ד"ח
בלוק אקראי	3	3
בלוק*תשתית אקראי	3	3
תשתית	1	3
מנת ההשקיה	3	3
תשתית*מנה	3	3

בתאריך 10/8/09 נשתלו צמחי פלפל מהזן 7187 (זרעים גדרה) בצמד שורות לערוגה. המרווח בין שורות הצמד היה 20 ס"מ והמרווח בין הצמחים בתוך השורה 40 ס"מ. מפסק הערוגות היה 1.6 מטר, כך שהתקבל עומד צמחים של 3.1 צמח/מ"ר. הצמחים הודלו בשיטה הספרדית. על גבי קרקע מסוג חמדה (טבלה 3) נחפרו תעלות ברוחב 40 ובעומק משתנה על פי ארבעת טיפולי תשתית בית השורשים המפורטים למטה. ציפוי החול היה בגובה של 40 ס"מ על גבי החמדה ועליו הוכנו תשתיות בית שורשים 1 ו-2. תשתיות בית השורשים הוכנו ע"פ הפרוט הבא :

תשתית 1 - נש"מ עם דופן פלריג בעל הרכב מצע של 20 ס"מ חול ועליו 10 ס"מ טוף (תמונה A 1) (נש"מ – נפח שורשים מתוחם)

תשתית 2 - נש"מ עם דופן פוליאאתילן בעל הרכב מצע של 20 ס"מ חול ועליו 10 ס"מ טוף 0 - 8 מ"מ (חברת טוף מרום גולן, תמונה B 1)

תשתית 3 נש"מ עם דופן פלריג בעל הרכב מצע של 20 ס"מ חול ועליו 10 ס"מ טוף ומעליו יריעת אגרייל.

תשתית 4 - נש"מ בהרכב מצע של 30 ס"מ חול ללא חיפוי.

ציוד ההשקיה והדישון היווה שתי שלוחות טפטוף אל נגר (נטפים) בספיקה של 1.6 ליטר/שעה, ובמרווח טפטפות של 20 ס"מ בשלוחה, שהונחו על פני הערוגה במרווח של 20 ס"מ בין שתי השלוחות. סוג הדשן ששימש בגידול היה "מור" שהוזרק למיכל ששימש כתמיסה סופית להשקיה, ביחס של 2 ליטר/מ"ק. ההשקיה בוצעה באמצעות משאבת לחץ ממיכל בתמיסה סופית.

טבלה 2: איכות מי הקו בתחנת יאיר כפי שנמדדו ב- 2/6/10

מדד, יסוד	יחידה	מי קו יאיר
EC	ds/m	2.28
pH		6.99
דו פחמה	מ"ג/ל'	205
SAR	יחס	3
כלוריד	מ"ג/ל'	359
נתרן	מא"ק/ל'	9.6
חנקתי-N	מ"ג/ל'	1.5
אמנוניקאלי-N	מ"ג/ל'	2.3
זרחן מסיס	מ"ג/ל'	<1.0
אשלגן מסיס	מ"ג/ל'	10.7
סידן	מ"ג/ל'	195
מגנזיום	מ"ג/ל'	108
גפרית	מ"ג/ל'	208
ברזל	מ"ג/ל'	0.007
אבץ	מ"ג/ל'	0.021
מנגן	מ"ג/ל'	0.006
נחושת	מ"ג/ל'	0.006
סטרונטציום	מ"ג/ל'	6.5
צורן	מ"ג/ל'	10.8
ניקל	מ"ג/ל'	<0.015
קדמיום	מ"ג/ל'	0.006
עופרת	מ"ג/ל'	0.04
מוליבדן	מ"ג/ל'	0.008
וונדיום	מ"ג/ל'	0.008
כרום	מ"ג/ל'	0.008
קובלט	מ"ג/ל'	0.007
בריום	מ"ג/ל'	0.016
כסף	מ"ג/ל'	<0.01
ליתיום	מ"ג/ל'	<0.1

מנות המים היומיות היו קבועות במהלך כול עונת הגידול והסתכמו לערכים המוצגים באיור 3 א. לזימטר מקסימום בו גדלו שישה צמחים שימש לאומדן ההתאדות (evapo-transpiration) ובמקביל נערכו מדידות יומיות של התאדות מגיית A שהוצבה מחוץ לבית הגידול (איור 3 ב).
איור 3: א. התאדות מגיית ומנות המים המצטברות לטיפולים. ב. התאדות וצריכה יומית מרבית (ET_{max}).

מדידות

דיגומי קרקע לריכוזי מלחים ותכולת רטיבות: מצע החול נדגם ארבע פעמים במהלך העונה: ב- 30/9, 27/10, 30/11 ו- 10/04/2010 לאחר הוצאת הצמחים בציפוי בלבד במנת השקיה אחידה לכל החלקות. מיצויי החול נעשו במים מזוקקים ביחס משקלי של 1:1. הדיגום נעשה 24 שעות לאחר ההשקיה, מכל חלקה נלקחו שני מדגמים שעורבבו יחד ומהם נלקח תת מדגם יחיד. הדיגום נעשה באמצעות מקדח קרקע לעומק 10-30 ס"מ במרכז הערוגה. תכולת הרטיבות המשקלית נקבעה לאחר יבוש בתנור ב- 105 מ"צ.



מדידות ריכוזי חמצן אווירוני בקרקע: באמצעות חיישני חמצן תוצרת Figaro יפן מסוג KE-25 (תמונה 3) הפועלים על בסיס תא אלקטרוכימי בו מתחזר החמצן על קטודת זהב, וקצב הריאקציה נמצא ביחס ישיר למתח החשמלי שנוצר המדידות התבצעו בתקופה 25/10-5/4/2010 בשני בסיסי הקרקע במנת השקיה 4 בתשתיות בעלות יריעת צד שונה, פלריג ופוליאטילן.

מדידות טמפרטורת קרקע: צמד חומני הפועל על בסיס של שני חוטים תמונה 3. חישן חמצן KE-25 האחד טונגסטן והשני נחושת המחוברים בקצה. המתח החשמלי הנוצר בנקודת החיבור נמצא ביחס ישיר לטמפרטורה. חישני החמצן והטרמוקפלים הוכנסו לתוך מבחנה (תמונה 4) והוחדרו לעומק של-20 ס"מ. בנוסף נבדקה טמפרטורת הקרקע בעומק 10 ס"מ בטיפולי החיפוי.

ריכוזי כלוריד בעלים: דיגום העלים לריכוזי כלוריד התבצע בעיתוי מקביל לדיגומי הקרקע. מכל חלקה נדגמו כ-20 עלים שווי גיל במיקום של עלה רביעי מהקודקוד. העלים נשטפו במים מזוקקים ויובשו בתנור ב- 60 מ"צ. לאחר מכן נטחנו, הוכנסו לשקיות אטומות ואוחסנו בקירור למספר חודשים. מיצוי הכלוריד מהחומר הטחון נעשה במים מזוקקים. ריכוזי הכלוריד במיצוי המימי נמדדו באמצעות כלורידומטר.

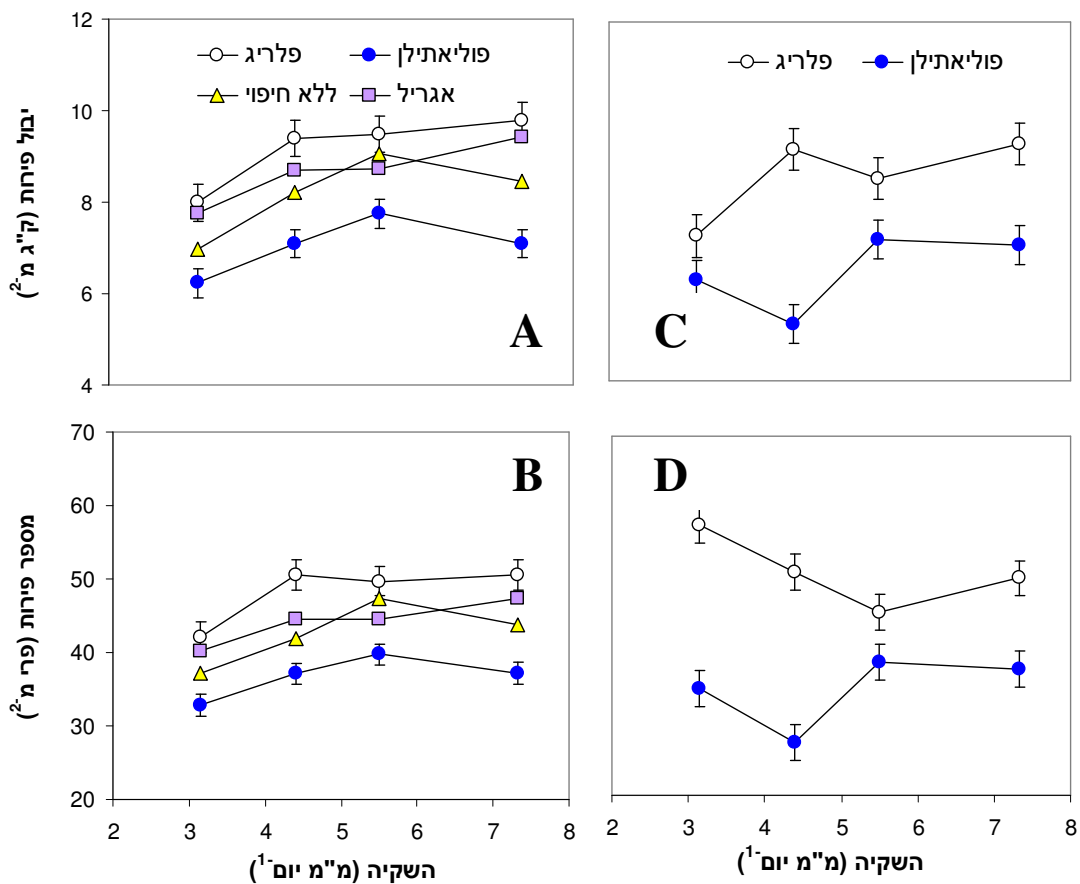
יבול הפירות: תקופת הקטיף נמשכה על פני 110 ימים, החל מהשבוע הראשון של חודש דצמבר ועד לשבוע השלישי של חודש מרץ. בסה"כ נערכו 10 קטיפים. נקטפו פירות בצבע מלא. **יבול החומר היבש:** שלושה צמחים מכל חלקה נדגמו לאחר סיום הקטיפים, לקביעת משקל רטוב ויבש. הצמחים הופרדו למקטעי נוף, ופירות. ריכוזי החומר היבש בנוף ובפרי נקבע עוד בעונת 2005 לפי: 7% בפרי הקטוף, 12% בפרי הירוק הנותר על השיח בסיום, ו- 24% בנוף בסיום הגידול.

משקל שורשים בשכבת החצץ: בסיום הגידול לאחר עקירת הצמחים נדגמו ארבע חלקות מכל תשתית: פלריג ופוליאטילן בציפוי החול בלבד במנת ההשקיה 7.3 מ"מ ליום. נחשפה רשת ההפרדה המצויה בין שכבת החצץ ומצע החול, ונחתכה במידות של 20*20 סמ"ר וכל החצץ עם השורשים שנמצאו בתוכו נאספו לשקית. השורשים הופרדו באמצעות הצפה במים יובשו בניר סופג ונשקלו משקל טרי.

תוצאות

יבול הפירות

השפעת יריעת הצד: (טבלה 5, איור 1): לסוג יריעת הצד נמצאה השפעה מובהקת ($p < 0.05$) בה יבול הפירות פחת בהשפעת יריעת הפוליאתילן ב כ- 25% יחסית ליריעת הפלריג. לא נמצאה השפעה לסוג החיפוי (טבלה 5, איור 1C). השפעת סוג קרקע המעטפת (איור 1): היבול בקרקע החמדה נמצא גבוה מזה שבציפוי החול בכל מנות ההשקיה ב 10-3%. השפעת מנת ההשקיה בשני בסיסי הקרקע: בטווח מנות ההשקיה 3.1-4.4 מ"מ יום¹, עלה היבול ב כ-20%, מנות השקיה גבוהות יותר: 5.5 ו-7.3 מ"מ יום¹, לא תרמו לעליה נוספת ביבול.

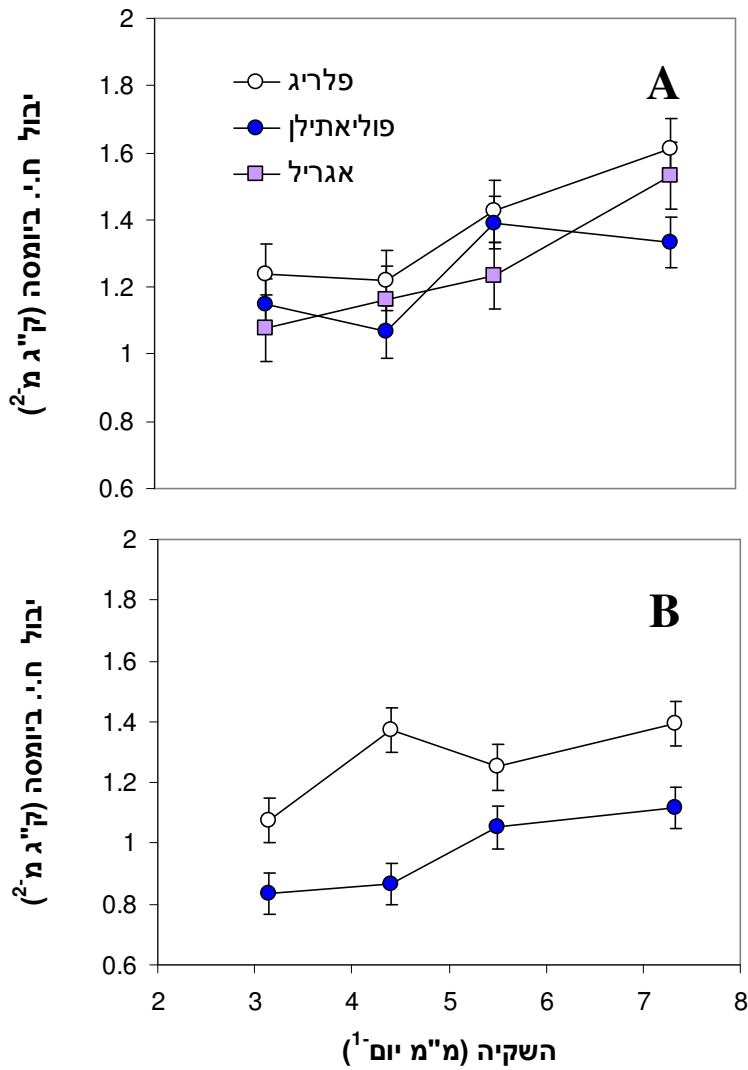


איור 1. יבול פירות בחמדה A, ובציפוי C. מספר הפירות בחמדה B, ובציפוי D.

יבול חומר יבש

כלל ייצור החומר היבש הושפע מבסיס הקרקע, וממנת ההשקיה. בשתי הקרקעות עלה יבול החומר היבש (איור 2) בשיעור של כ-40% בטווח מנות ההשקיה 3.3-7.3 מ"מ יום⁻¹.

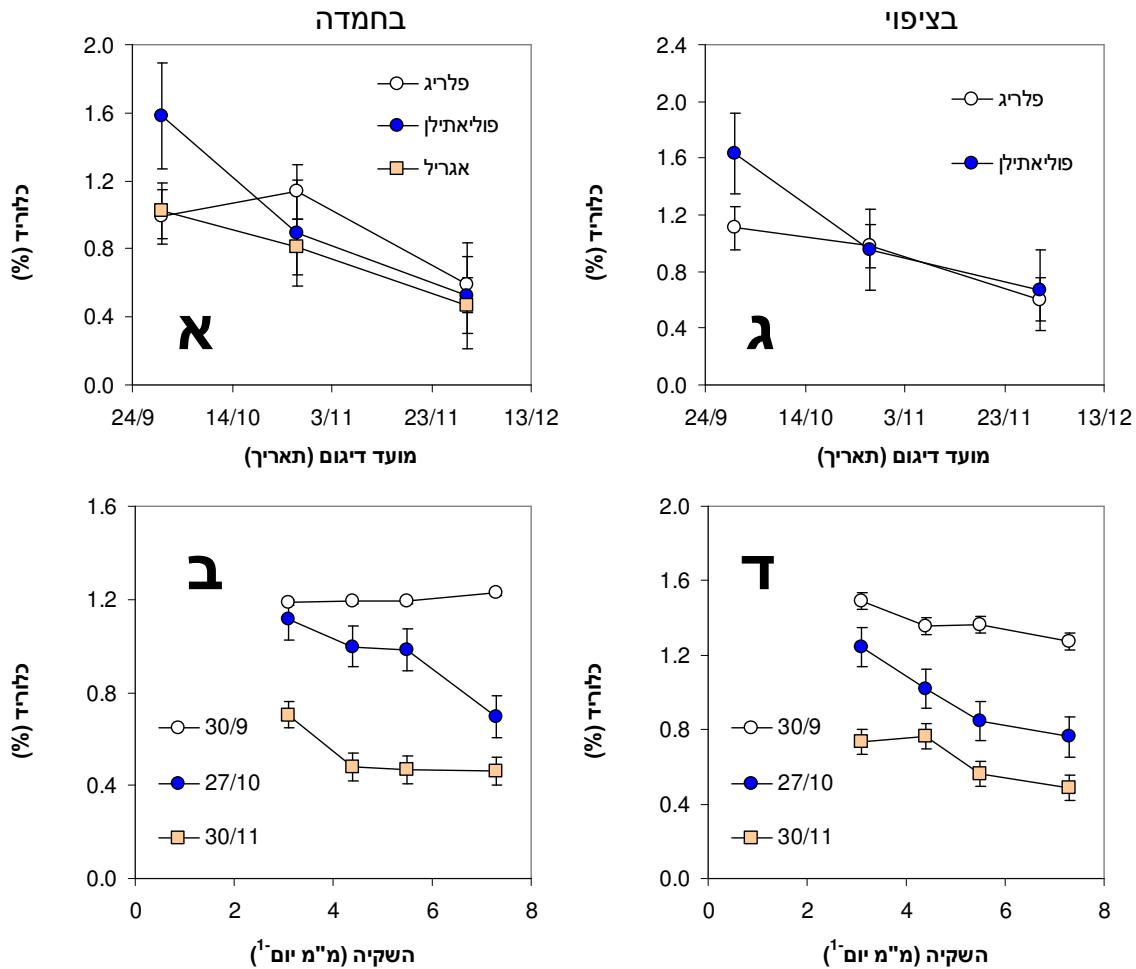
בקרקע המעטפת "חמדה" (איור 2 A) עלה יבול החומר היבש על זה שבציפוי החול בכל טווח מנות ההשקיה ב-15% במוצע. ההשוואה בין שתי הקרקעות אינה מבוססת סטטיסטית.



איור 2. יבול חומר יבש של כלל הצמח בשלוש תשתיות (A) בחמדה, ובשתי תשתיות (B) בציפוי חול.

כלוריד בעלה

בניסוי בחמדה (איור 3 א ו-ב), נמצאו רק השפעות גומלין. השפעת התשתית: ריכוז הכלוריד בעלה בתשתית הפוליאתילן נמצאה גבוהה מזו שבשתי התשתיות האחרות רק במועד הדיגום הראשון בשני סוגי הקרקעות ובכל מנות ההשקיה (איור 3 א, ג: איור 8) השפעת מנת ההשקיה: לגובה מנת ההשקיה נמצאה השפעה מפחיתה על ריכוז הכלוריד למעט במועד הדיגום הראשון.



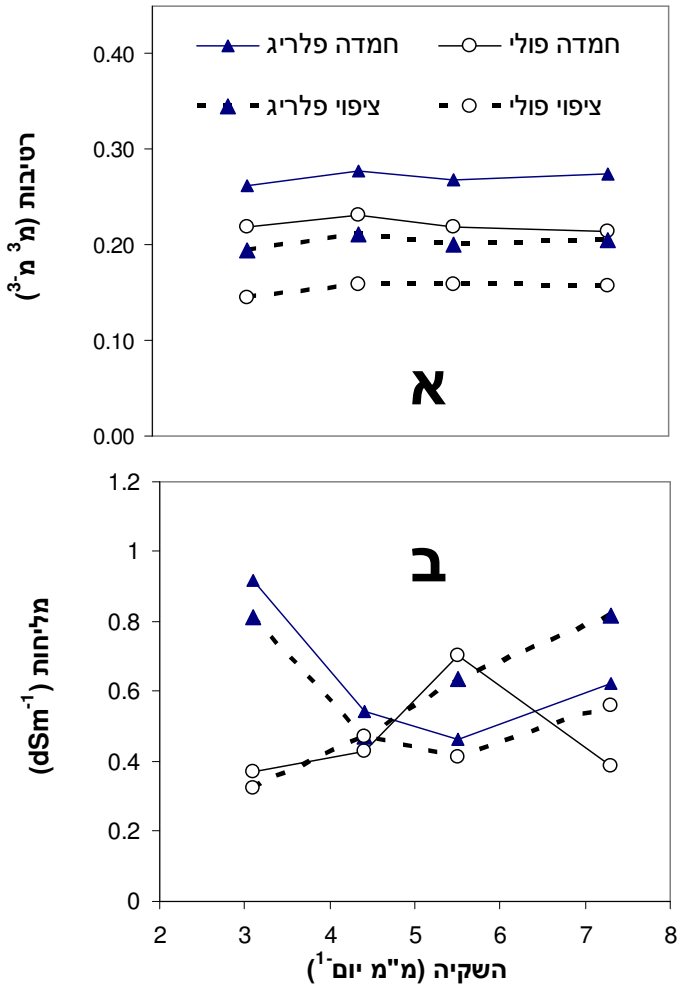
איור 3. ריכוז כלוריד בעלים בניסוי בחמדה: א. בשלושת התשתיות, ב. בשלושת המועדים ובניסוי בציפוי: ג. בשלושת התשתיות, ד. בשלושת המועדים

רטיבות במצע החול בשכבה 10-30 ס"מ

השפעת התשתית : רטיבות מצע החול בשני סוגי הקרקע הייתה גבוהה ביריעת הצד פלריג ב-כ- 25% מעל זו שבפוליאתילן (טבלאות 9,10 ואיור 4א). גם כאשר נדגם המצע בסוף הניסוי ללא נוכחות צמחים במנת השקיה אחידה (טבלא 11) נמצאה רטיבות גבוהה ב- 36% בטיפול הפלריג על פני הפוליאתילן.

השפעת סוג הקרקע : הרטיבות בחמדה נמצאה גבוה מזו שבציפוי בכל מנות ההשקיה ובשתי התשתיות (איור 4א).

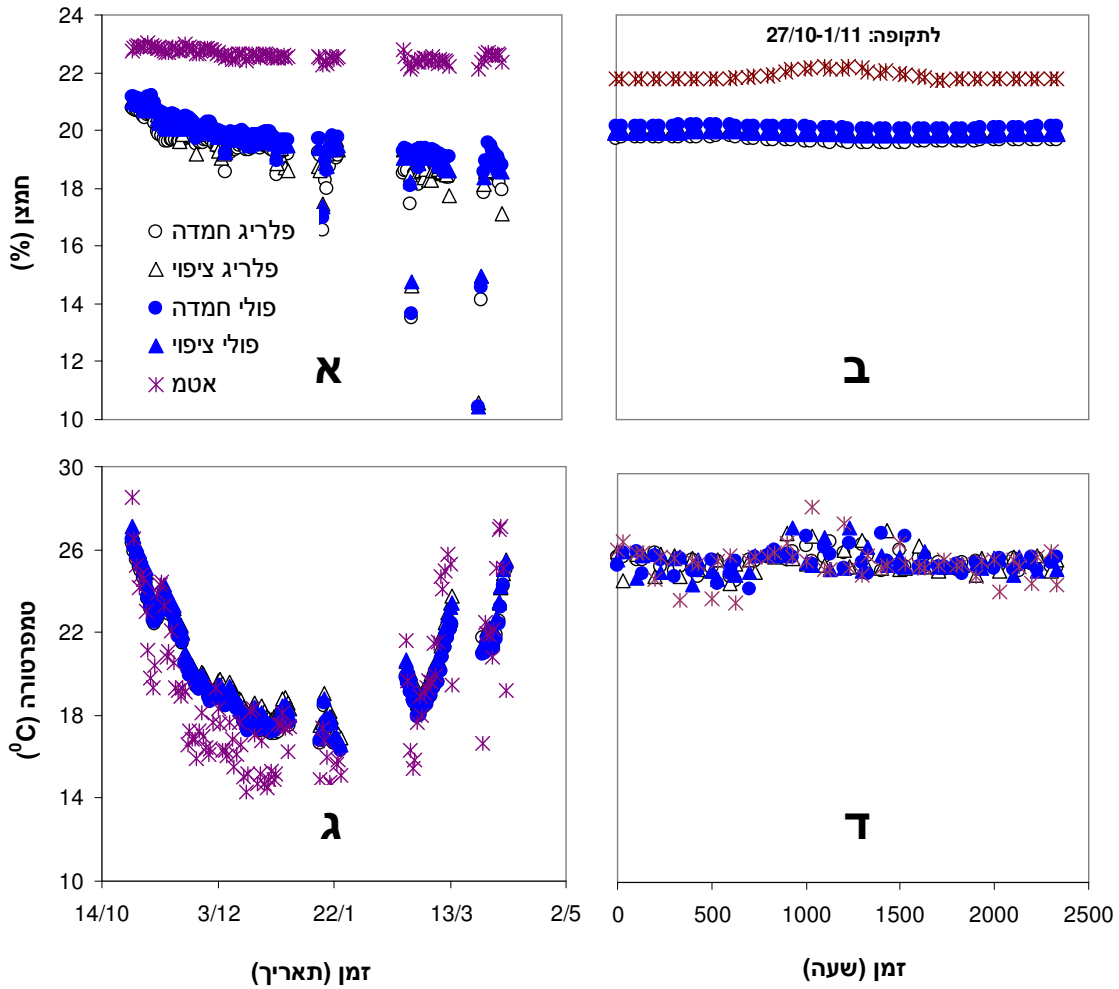
השפעת מנת ההשקיה : למנת ההשקיה לא נמצאה השפעה על מידת הרטיבות (טבלאות 9,10 ואיור 4א).



איור 4. רטיבות (א) ומליחות (ב) בשתי התשתיות ובשתי הקרקעות. ממוצע לשלושה מועדי דיגום.

טמפרטורה וריכוזי חמצן בבית השורשים בעומק 20 ס"מ

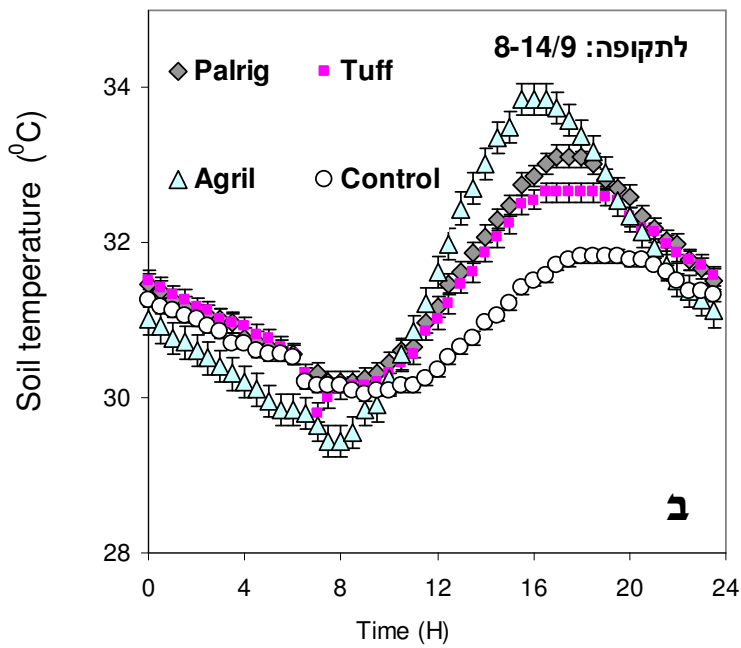
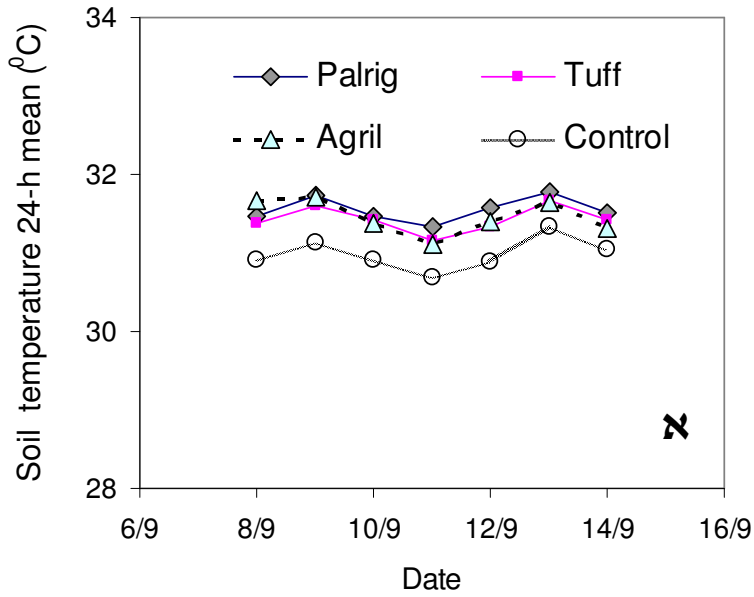
לא נמצאו השפעות משמעותיות לסוג התשתית והקרקע על טמפרטורת המצע וריכוזי החמצן במהלך כל 200 ימי המדידה (איור 5).



איור 5. ריכוז החמצן האווירני א. בממוצע ליממה, ב. בממוצע לשעה לתקופה 27/10-1/11. טמפרטורה ג. בממוצע ליממה, ד. בממוצע לשעה לתקופה 27/10-1/11.

טמפרטורת טיפולי חיפויי הקרקע בעומק 10 ס"מ

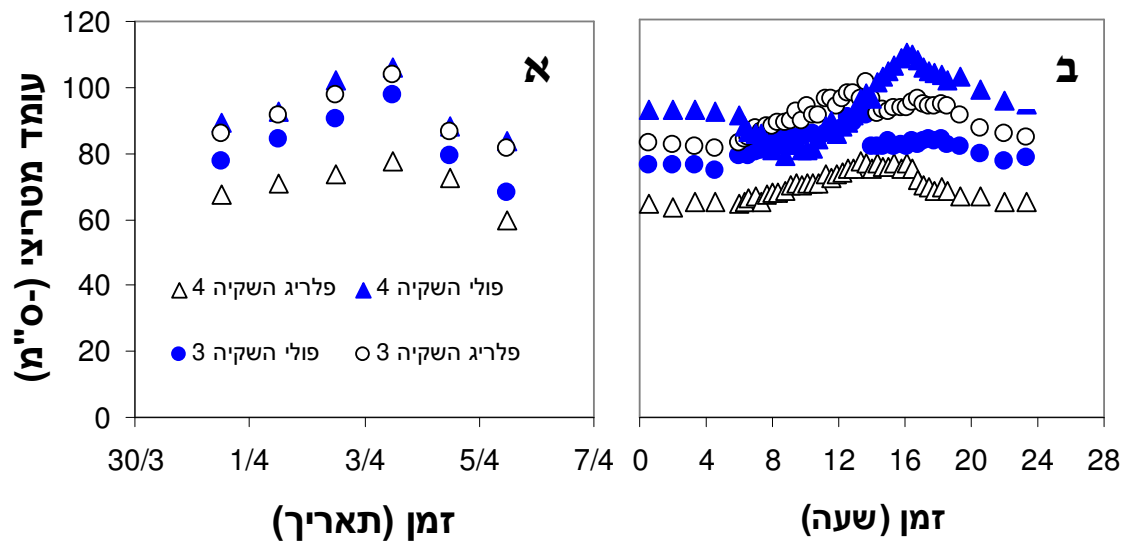
בטמפרטורה הממוצעת ליממה שלושת טיפולי החיפוי: טוף, אגריל, ופאריג השיגו טמפרטורה גבוהה מהביקורת ב-1 מעלה ליממה (איור 6 א). טיפול האגריל היה הנמוך ביותר בשעות הלילה והגבוהה ביותר בשעות היום אחרי השעה 12 בצהריים (איור 6 ב).



איור 6. טמפרטורת מצע החול בעומק 10 ס"מ תחת חיפויים של אגריל, טוף, פאריג וביקורת ללא חיפוי. א. בממוצע יממתי, ב. בממוצע שעותי.

עומד מטריצי בטנסיומטרים

העומד שנמדד בטנסיומטרים בשתי רמות ההשקיה : 5.5 ו-7.3 מ"מ יום⁻¹, היה דומה במנה הנמוכה ואילו במנת ההשקיה הגבוהה נמדד עומד גבוהה יותר ביריעת הפלריג ב-25% בהשוואה ליריעת הפוליאתילן (איור 1 א, ב).



איור 7. קריאות טנסיומטרים בתשתית בהן היו יריעות צד פלריג ופוליאתילן בשתי מנות השקיה. א. בממוצע ליממה. ב. בממוצע לשעה.

משקל שורשים בשכבת החצץ

לא נמצא הבדל בין תשתית הפלריג לתשתית הפוליאתילן במשקל השורשים שהתפתחו בשכבת החצץ (טבלה 12).

דיון וסיכום

בחינת השפעת סוג יריעת הצד עמדה במרכז הניסוי. התחזית (על סמך ניסוי שהתבצע בתחנת זהר) שיריעה



תמונה 1. א. יריעת הצד פוליאתילן בציפוי כ-20 ימים משתילה. ב. משמאל חיפוי אגריל ומימין חיפוי טוף כ-60 ימים משתילה. ג. חיפוי אגריל.

מסוג פוליאתילן אטומה תעלה את רטיבות המצע לא התממשה, ולמעשה התקבלה תוצאה הפוכה. את הסיבה יש ליחס למצע החול. בבדיקת מעבדה שנערכה עם סיום הניסוי נמצא שבשתי התשתיות מצוי היה חול בעל תכולת רטיבות-ברוויה שונה (איור 9). למרות

שרטיבות המצע ביריעת הפוליאתילן נמצאה נמוכה מזו שביריעת הפלריג בכל מנות ההשקיה ובשתי הקרקעות בשיעור ממוצע של כ-25%, כשבועיים לאחר השתילה כאשר מנת ההשקיה היומית הייתה אחידה ועמדה על 2 מ"מ ליום נכנסו צמחי הפוליאתילן לכמישה במהלך כל שעות היום (תמונה 1 א, ב) תופעה זו נמשכה כ-40 ימים אך משך שעות הכמישה במהלך היום הלך ופחת עד שחלף לחלוטין.

בשלב זה הנחנו שהכמישה נובעת ממחסור בחמצן, אך מדידות החמצן החלו רק 80 ימים משתילה בשל עיקוב שחל בהתקנת המערכת ועל כן לא הייתה דרך לאושש את ההשערה (איור 5 א). מדידות הרטיבות הראשונות התבצעו רק בסוף חודש ספטמבר, כ-52 ימים משתילה בחלוף התופעה והצביעו על רטיבות גבוהה יותר בפלריג (טבלאות 9, 10). ממדידות

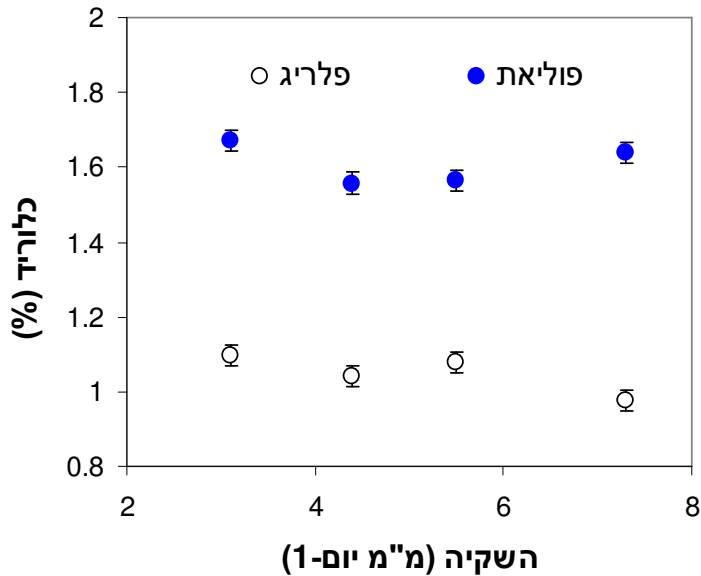
הכלוריד בעלה נמצא שבדיגום הראשון שהתבצע 52 ימים משתילה ריכוז הכלוריד בצמחי הפוליאתילן היה גבוה ביותר מ-50% מאשר בחלקות הפלריג. למנת ההשקיה, כאמור, לא נמצאה השפעה בעת זו מאחר ועברו רק כ-24 ימים מהפעלת טיפולי ההשקיה (איור 8). העובדה שבעלי הצמחים שגדלו בתשתית הפוליאתילן נמצאו ריכוזי כלוריד גבוהים יותר מתקשרת למחסור בחמצן ומחזקת את הנחת המחקר.

בעבודות קודמות שעסקו באינטראקציה של ריכוזי חמצן עם מליחות נמצא שבמחסור בחמצן בנוכחות יוני כלוריד ונתרן בתמיסת הקרקע גורם לעלייה

בחדירת השורש ליונים אלו (Bhattarai et al., 2005a).

לטיפול החיפוי, אגריל או טוף לא נמצאה השפעה על יבול הביו מסה והפירות (טבלה 4), אך

למרות תוצאה זו הצמחים בחיפוי האגריל הראו סימני עקה שבאה לידי ביטוי בפיגור בהתפתחות ובצבע עלווה בהירה במהלך תקופה של כ-120 ימים (תמונה 1 ב). בחודש דצמבר התאוששו הצמחים ובסופו של דבר והשלימו את הפער שניפתח יחסית לחיפוי בטוף. ריכוזי הכלוריד בעלה לא הצביעו על ערכים גבוהים יותר בטיפול זה בשל הטמפרטורה הגבוהה יותר. טמפרטורת המצע בעומק -10 ס"מ מתחת לשכבת החיפוי נמצאה גבוהה בחיפוי האגריל במרבית שעות היום מזו שביתר הטיפולים, בזמן שזו של הביקורת נמצאה הנמוכה ביותר (איור 6).

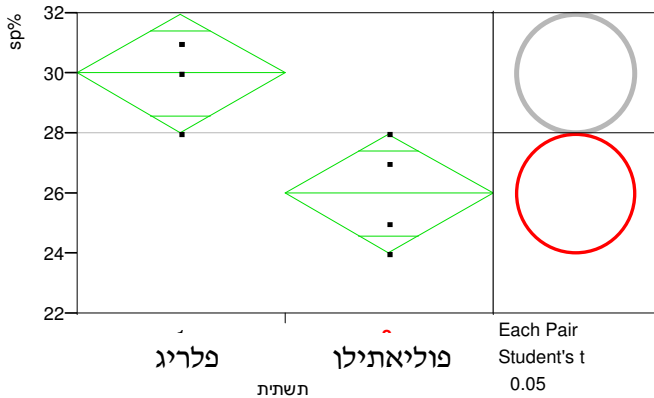


לסיכום

עקות החמצן, המלח, והיובש אליהם נחשפו צמחי הפלפל נמדדו רק בחלקם. בעונה הקרובה בכוונתנו לחזור שנית על מרבית טיפולי הניסוי על מנת לבצע מדידות לשלושת העקות תוך שיפור עיתוי המדידות על מנת לבטא טוב יותר את תגובת הצמחים. המחסור בחמצן היווה את הגורם המשפיע ביותר על יבול הפירות והביו מסה והשפעת המליחות בסדר חשיבות שני.

איור 8. ריכוז הכלוריד בעלה בממוצע לשני בסיסי הקרקע, בדיגום הראשון כ-52 ימים משתילה, (24 ימים מפיצול טיפולי ההשקיה).

לתכולת רטיבות משקלית ברוויה (%)



איור 9. מבחן שונות בין שני סוגי החול לתכולת רטיבות משקלית

טבלה 3. ניתוח מרכיבי השוונות ליבול הפירות בתבנית של בלוקים באקראי בחלקות מפוצלות בניסוי **בציפוי**. בחלק העליון המודל הסטטיסטי וניתוח השוונות למשתני היבול. ערכים נמוכים מ 0.05 הינם מובהקים. בחלק התחתון ממוצעי תוצאות היבול. ערכים להם אותיות זהות אינם נבדלים ברמת הסתברות של 5%.

מספר יצוא	יבול יצוא	מספר כולל	יבול כולל	ד"ח	מקור השוונות
Prob > F	Prob > F	Prob > F	Prob > F		
0.60	0.55	0.52	0.67	3	בלוק (אקראי)
0.05	0.12	0.01	0.01	3	בלוק *תשתית (אקראי)
0.06	0.10	0.12	0.11	1	תשתית
0.08	0.02	0.46	0.11	3	השקיה
0.28	0.27	0.22	0.09	3	תשתית*השקיה
	קייג מ ²				השקיה - מ"מ יום¹
	B-3.4				3.1
	BA-3.9				4.4
	A-4.5				5.5
	A-4.5				7.3

טבלה 4. ניתוח מרכיבי השונות ליבול הפירות בתבנית של בלוקים באקראי בחלקות מפוצלות בניסוי **בחמדה**. בחלק העליון המודל הסטטיסטי וניתוח השונות למשתני היבול. ערכים נמוכים מ 0.05 הינם מובהקים. בחלק התחתון ממוצעי תוצאות היבול. ערכים להם אותיות זהות אינם נבדלים ברמת הסתברות של 5%.

מספר יצוא Prob > F	יבול יצוא Prob > F	מספר כולל Prob > F	יבול כולל Prob > F	ד"ח	מקור השונות
0.01	0.01	0.21	0.25	3	בלוק (אקראי)
0.58	0.52	0.15	0.13	9	בלוק*תשתית (אקראי)
0.00	0.01	0.03	0.02	3	תשתית
0.00	0.00	0.02	0.00	3	השקיה
0.71	0.80	0.71	0.72	9	תשתית*השקיה
²⁻ פרי מ	²⁻ ק"ג מ	²⁻ פרי מ	²⁻ ק"ג מ		תשתית
A-28.4	A-5.7	A-48.2	A-9.2		פריג
B-21.6	B-4.4	B-36.7	B-7.0		פוליאתילן
A-26.3	A-5.4	AB-42.6	AB-8.2		ללא חיפוי
A-26.7	A-5.6	AB-44.2	AB-8.7		אגריל
					השקיה- מ"מ יום¹⁻
B-22.3	B-4.5	B-38.1	B-7.2		3.1
A-26.5	A-5.3	AB-43.5	AB-8.3		4.4
A-27.4	A-5.7	A-45.4	A-8.8		5.5
A-26.8	A-5.7	A-44.7	A-8.7		7.3

טבלה 5. ניתוח מרכיבי השונות ליבול החומר היבש בתבנית של בלוקים באקראי בחלקות מפוצלות בניסוי בחמדה. בחלק העליון המודל הסטטיסטי וניתוח השונות למשתני היבול. ערכים נמוכים מ 0.05 הינם מובהקים. בחלק התחתון ממוצעי תוצאות היבול. ערכים להם אותיות זהות אינם נבדלים ברמת הסתברות של 5%.

מקור השונות	ד"ח	סה"כ ח. יבש Prob > F	פרי ח. יבש Prob > F	נוף ח. יבש Prob > F
בלוק (אקראי)	3	0.08	0.11	0.04
בלוק *תשתית (אקראי)	6	0.72	0.37	0.95
תשתית	2	0.09	0.09	0.03
השקיה	3	0.00	0.02	0.00
תשתית*השקיה	6	0.66	1.00	0.35
תשתית		ק"ג מ ²	ק"ג מ ²	ק"ג מ ²
פלריג				A-0.68
פוליאתימן				AB-0.63
אגריל				B-0.59
השקיה- מ"מ יום¹				
3.1		B-1.15	B-0.59	B-0.57
4.4		B-1.15	BA-0.64	B-0.51
5.5		BA-1.36	BA-0.68	BA-0.67
7.3		A-1.49	A-0.71	A-0.78

טבלה 6. ניתוח מרכיבי השונות ליבול החומר היבש בתבנית של בלוקים באקראי בחלקות מפוצלות בניסוי בציפוי. בחלק העליון המודל הסטטיסטי וניתוח השונות למשתני היבול. ערכים נמוכים מ 0.05 הינם מובהקים. בחלק התחתון ממוצעי תוצאות היבול. ערכים להם אותיות זהות אינם נבדלים ברמת הסתברות של 5%.

מקור השונות	ד"ח	סה"כ ח. יבש Prob > F	פרי ח. יבש Prob > F	נוף ח. יבש Prob > F
בלוק (אקראי)	3	0.15	0.34	0.11
בלוק *תשתית (אקראי)	3	0.028	0.05	0.09
תשתית	1	0.074	0.08	0.09
השקיה	3	0.01	0.11	0.02
תשתית*השקיה	3	0.23	0.21	0.68
השקיה - מ"מ יום¹		ק"ג מ²		ק"ג מ²
3.1		B-0.95		B-0.45
4.4		BA-1.12		BA-0.57
5.5		BA-1.15		BA-0.55
7.3		A-1.26		A-0.64

טבלה 7. ניתוח מרכיבי השונות לריכוז הכלוריד בעלה בחמדה.

מקור השונות	ד"ח	Prob > F (כלוריד)
בלוק (אקראי)	3	.
בלוק*תשתית (אקראי)	6	0.89
בלוק*מועד (אקראי)	6	0.86
מועד	2	<.01
תשתית	2	0.00
מועד*תשתית	4	<.01
השקיה	3	0.01
השקיה*מועד	6	0.03
השקיה*תשתית	6	0.14
תשתית*מועד*השקיה	12	0.60

טבלה 8. ניתוח מרכיבי השונות לריכוז הכלוריד בעלה "בקרקע ציפוי". בחלק העליון המודל הסטטיסטי וניתוח השונות למשתני היבול. ערכים נמוכים מ 0.05 הינם מובהקים. בחלק התחתון ממוצעי תוצאות היבול. ערכים להם אותיות זהות אינם נבדלים ברמת הסתברות של 5%.

מקור השונות	ד"ח	Prob > F (כלוריד)
בלוק (אקראי)	3	0.98
בלוק*תשתית (אקראי)	3	0.03
בלוק*מועד (אקראי)	6	0.12
מועד	2	0.00
תשתית	1	0.091
מועד*תשתית	2	<.01
השקיה	3	<.01
השקיה*מועד	6	0.27
השקיה*תשתית	3	0.67
תשתית*מועד*השקיה	6	0.13

השקיה - מ"מ יום ¹	כלוריד-%
3.1	A-1.16
4.4	BA-1.05
5.5	BA-0.92
7.3	C-0.84

טבלה 9. ניתוח מרכיבי השונות לרטיבות המצע בחמדה. בחלק העליון המודל הסטטיסטי וניתוח השונות למשתני היבול. ערכים נמוכים מ 0.05 הינם מובהקים. בחלק התחתון ממוצעי תוצאות היבול. ערכים להם אותיות זהות אינם נבדלים ברמת הסתברות של 5%.

מקור השונות	ד"ח	Prob > F (רטיבות)
בלוק (אקראי)	3	0.33
בלוק*תשתית (אקראי)	6	0.75
בלוק*מועד (אקראי)	9	0.30
מועד	2	0.01
תשתית	2	<.01
מועד*תשתית	4	0.36
השקיה	3	0.38
השקיה*מועד	6	0.47
השקיה*תשתית	6	0.74
תשתית*מועד*השקיה	12	0.37
מועד דיגום		ס"מ ³ ס"מ ⁻³
		A-0.15 30/9
		B-0.12 27/10
		A-0.16 30/11
תשתית		
		A-0.18 פלריג
		B-0.14 פוליאתיילן
		B-0.12 אגריל

טבלה 10. ניתוח מרכיבי השונות לרטיבות המצע **בציפוי החול**. בחלק העליון המודל הסטטיסטי וניתוח השונות למשתני היבול. ערכים נמוכים מ 0.05 הינם מובהקים. בחלק התחתון ממוצעי תוצאות היבול. ערכים להם אותיות זהות אינם נבדלים ברמת הסתברות של 5%.

מקור השונות	ד"ח	Prob. > F (רטיבות)
בלוק (אקראי)	3	0.03
בלוק*תשתית (אקראי)	6	<.01
בלוק*מועד (אקראי)	9	0.32
מועד	2	0.02
תשתית	1	<.01
מועד*תשתית	2	0.07
השקיה	3	0.23
השקיה*מועד	6	0.74
השקיה*תשתית	3	0.94
תשתית*מועד*השקיה	6	0.93

ס"מ ³ ס"מ ³	מועד
A-0.13	30/9
B-0.10	27/10
A-0.13	30/11

-	תשתית
A-0.13	פלריג
B-0.10	פוליאתילן

טבלה 11. ניתוח מרכיבי השונות לרטיבות המצע בציפוי החול בסיום הגידול ללא צמחים. ניתנה השקיה אחידה בשיעור של 40 מ"מ ועשרים וארבע שעות לאחר מיכן נדגמו החלקות. בחלק העליון המודל הסטטיסטי וניתוח השונות למשתני היבול. ערכים נמוכים מ 0.05 הינם מובהקים. בחלק התחתון ממוצעי תוצאות היבול. ערכים להם אותיות זהות אינם נבדלים ברמת הסתברות של 5%.

מקור השונות	ד"ח	Prob. > F (רטיבות)
בלוק (אקראי)	3	0.66
בלוק *תשתית (אקראי)	3	0.01
תשתית	1	0.05
השקיה	3	0.19
תשתית*השקיה	3	0.43
תשתית		ס"מ ³ ס"מ ⁻³
פריג		A-0.24
פוליאתילן		B-0.18

טבלה 12. ניתוח מרכיבי השונות לריכוז השורשים בשכבת החצץ. נבחנו שתי התשתיות: יריעת צד פלריג ויריעת צד פוליאטילן. בחלק העליון המודל הסטטיסטי וניתוח השונות למשתני המודל. ערכים נמוכים מ 0.05 הינם מובהקים.

מקור השונות	ד"ח	Prob > F (שורשים)
תשתית	1	0.6236
שגיאה	6	
סה"כ	7	

תודות

למועצה הצמחית שתמכה במימון הניסוי, לחברת זרעים גדרה על תרומת הזרעים, ולכל העוסקים במלאכה, תודה מקרב לב.

ספרות

- Atwell, B.J., C.J Thomson., H. Greenway, G. Ward and I. Waters. 1985. A study of the impaired growth of roots of *Zea mays* seedlings at low oxygen concentrations. *Plant Cell and Environment* 8; 179–188.
- Bhattacharai, S. P., McHugh, A. D., Lotz, G., and Midmore, D. J. (2005a). Cotton under subsurface drip and furrow irrigation in a heavy clay soil. *Experimental griculture*. Submitted.
- De Wit, C.T. 1958. Transpiration and crop yields. Versl. Landbouwk. Onderz. 64, 6. Inst. Of Biol. And Chem. Res. On Field Crops and Herbage, Wageningen, the Netherlands.
- Javot, H., Maurel, C. 2002. The role of aquaporins in root water uptake. *Ann. Bot.* (Lond) 90: 301–313.
- Jones, H.G. 1992. Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology. Second edition.
- Luu, D.T. and C. Maurel. 2005. Aquaporins in a challenging environment: molecular gears for adjusting plant water status. *Plant, Cell and Environment* 28; 85–96.
- Marfa, O., R. Cáceres and S. Guri. 2005. Oxyfertigation: A New Technique for Soilless Culture under Mediterranean Conditions. *Acta Hort.* 697; 65-72.
- Morard, P., L. Lacoste and J. Silvestre. 2000. Effect of oxygen deficiency on uptake of water and mineral nutrients by tomato plants in soilless culture. *J. of Plant Nutrition* 23; 1063-1078.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell Environ.* 25; 239-250.
- Soffer, H., D.W. Burger and J.H Lieth. 1991. Plant growth and development of *Chrysanthemum* and *Ficus* in aero-hydroponics: response to low dissolved oxygen concentrations. *Sci. Hort.* 45; 287-294.
- Zimmerman, H.M. and steudle E. 1998. apoplastic transport across young Maize roots: effect of the exodermis. *Planta* 206; 7-19.

Effect of water application, soil type and root-zone format on pepper plants

Ityel E., Chashmonai D., Oshoroviz A. Offenbach R., Cohen S., Zvieli Y., Tsabari I., Ben Gal A. and Lazarovich N.

Keywords: oxygen demand of plants, irrigation, root zone, salinity, capsicum, net house, greenhouse, Arava, reg soil