

השפעת טיפולי העשרה באוויר ובמי חמצן על ריכוזי החמצן בבית השורשים ועל יבול הפירות בפלפל בתחנות יאיר בערבה וגלגל בבקעה

אביתר איתיאל, דיויד סילברמן - שה"מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר

כתובת המחבר: Eviatare12014@gmail.com

שמואל פרידמן - המכון לקרקע ומים בית דגן, מנהל המחקר החקלאי

אבי אושרוביץ, שבתאי כהן, רבקה אופנבך, יורם צביאלי, יובל ברזילי, דורית חשמונאי, רמי גולן - מו"פ ערבה תיכונה וצפונית-תמר

זיוה גלעד, מאיר אחיעם (צומי), אפרים ציפליביץ, אורי אדלר - מו"פ בקעת הירדן

תקציר

מצבי מחסור חמצן בבית השורשים קורים בתנאי טמפרטורת שורש גבוהים במיוחד (מעל 30 מ"צ), כאשר קצב נשימת השורש גבוהה משטף החמצן המגיע. בפלפל נמצאה רגישות גבוהה במספר הפירות לריכוזי החמצן המומס בטווח שבין 6-16 ח"מ. בניסויים שהתבצעו בתחנת יאיר בערבה בשנים 2010-2012, נמצאה תגובה שלילית של 1% ביבול הביומסה של פלפל שנחשף לריכוזי חמצן נמוכים ב 700 ח"מ מהביקורת. בעונת 2012/13 נבחנו בתחנת יאיר בפעם הראשונה טיפולי העשרה באוויר אטמוספרי באמצעות טפטוף טמון בתחתית בית השורשים עם טפטפת כל 20 ס"מ על השלוחה. באותו הניסוי לא נמצאה השפעה על ריכוזי החמצן בקרקע ולא על יבול הפירות והביומסה. באותה עונה נערכו בדיקת היתכנות לצינור מזיע (טרפלס, רשפים, ישראל) ונמצא שבהזרמת אוויר לקרקע (ללא צמחים) באמצעות צינור זה ישנה אחידות בספיקה האורכית והשפעה תוספתית לריכוזי החמצן במרחק רדיאלי של עד 10 ס"מ, בשיעור פוחת, ובממוצע של כ 15%. בעונת 2013/14 נבחנו בשני אתרים, תחנת יאיר - מו"פ ערבה תיכונה ותחנת צבי - מו"פ בקעת הירדן, שלושה טיפולי העשרה וטיפול ביקורת בשתי תשתיות בית שורשים: א. נש"מ במעטפת פלריג, ב. נש"מ במעטפת פוליאטילן בערבה, ואילו בבקעת הירדן א. נש"מ אפר פחס, ב. קרקע מקומית. טיפולי העשרה כללו: 1. ביקורת ללא העשרה, 2. העשרה באמצעות מי חמצן שהוזרקו למי ההשקיה בריכוז של 350 ח"מ, 3. העשרה באוויר אטמוספרי באמצעות שלוחת טרפלס מוטמנת בעומק 20 ס"מ במרכז בית השורשים, 4. שתי שלוחות טרפלס מוטמנות בעומק 20 ס"מ, 10 ס"מ הצידה מהמרכז. בהנחה שתכולת אוויר ממוצעת בקרקע היא 20% התקבלו בניסוי בתחנת יאיר 88 חילופי אוויר לשעה בשלוחה בודדת, וכפול מזה (176) בשתי שלוחות. הטיפולים הופעלו באופן רציף, מ- 25/7 ועד 1/12, סה"כ 126 ימים. בתחנת צבי לא נמצאה תגובה לאף לא אחד מגורמי הניסוי, ואילו בתחנת יאיר, בהשקיה במים מליחים, יבול הפירות ומספרם הושפעו מטיפולי העשרה בחמצן. טיפול העשרה באוויר אטמוספרי באמצעות שתי שלוחות טרפלס הניב בניסוי בתחנת יאיר תוספת מובהקת יחסית לביקורת של 20 ו- 17% במספר וביבול הפירות, בהתאמה. השפעה זו באה לידי ביטוי מלא כבר בקטיף של ה- 2/12, מפירות שנוצרו בתחילת חודש אוקטובר. ריכוזי החמצן השעתיים בטיפול זה נמצאו גבוהים מאלו שבביקורת בכ- 2% (ריכוז מוחלט) בעומק 20 ס"מ, סמוך לשלוחת הטרפלס וכ- 0.5% בעומק 10 ס"מ. ריכוזי החמצן היממתי בטיפול זה נמצא יציב ולא הושפע מטמפרטורת הקרקע.

מבוא

מצבי מחסור בחמצן בבית השורשים מתקיימים בתנאי טמפרטורת שורש גבוהים במיוחד, כאשר קצב נשימת השורש עולה ושטף החמצן המגיע לשורשים נמוך מהנדרש. 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. Goorahoo et al. (2001) דיווחו על תוספת ביבול פירות בשיעור 39% בצמחי פלפל שקיבלו הזרקת אוויר במערכת טפטוף טמון. אך למרות דיווחים אלו העשרה מלאכותית של ריכוזי החמצן לא מקובלת עדיין באופן מסחרי. בניסויים שהתבצעו בתחנת יאיר בערבה בשנים 2008-2010, מדווחים Ityel et al. (2014) על תגובה שלילית של 1% ביבול הביומסה של פלפל שנחשף לטיפול הפחתת ריכוזי החמצן בבית השורשים, בשיעור של 700 ח"מ. בעונת 2012/13 בחנו איתאל וחוב' טיפולי העשרה באוויר אטמוספרי שיושם בתחתית בית השורשים באמצעות טפטוף טמון - פס טפטוף, טפטפת כל 20 ס"מ על השלוחה. בסיכום הניסוי לא נמצאה השפעה של הזרקת אוויר אטמוספרי על ריכוזי החמצן בקרקע ולא על יבול הפירות והביומסה. באותה עונה נערכו בדיקת היתכנות לצינור מזיע (טרפלס, רשפים, ישראל) מהם למדנו שבהזרמת אוויר לקרקע (ללא צמחים) דרך צינור זה ישנה אחידות בספיקה האורכית והשפעה תוספתית לריכוז החמצן במרחק רדיאלי של 10 ס"מ מפני הצינור, בשיעור של כ-15%. הנחת המחקר גורסת שצמחי הפלפל יגיבו בתוספת פירות לטיפול העשרה, במיוחד אלו המושקים במים מליחים. מטרת המחקר - לבחון בחינת תגובת צמחי פלפל הגדלים בתשתיות בית שורשים שונות, ותחת טיפולי העשרה, לריכוזי חמצן בבית השורשים, וזאת בשני אתרי גידול, כשבכל אתר איכות מים שונה.

שיטות

נערכו במקביל שני ניסויים, תחנת יאיר: בבית רשת 25 מש, תחנת צבי, במנהרה עבירה המכוסה ברשת 50 מש עד תחילת נובמבר שהוחלפה ביריעת פוליאאתילן בתאריך זה.

א. ניסוי בתחנת יאיר:

על גבי ציפוי חול נבחנו שתי תשתיות בית שורשים וארבע טיפולי העשרה: 1. ביקורת ללא העשרה, 2. העשרה באמצעות מי חמצן שהוזרקו למי ההשקיה בריכוז של 350 ח"מ, 3. העשרה באוויר אטמוספרי באמצעות שלוחת טרפלס (רשפים, ישראל) מוטמנת בעומק 20 ס"מ במרכז בית השורשים, ו-4. כמו טיפול שלוש אבל 2 שלוחות מוטמנות. שתי התשתיות היוו תשתית נש"מ א. במעטפת פלריג, ב. במעטפת פוליאאתילן. טיפולים 2, 3, 4 הופעלו באופן רציף, מה-25/7 ועד ה-1/12, סה"כ 126 ימים.

ספיקת המפוח נמדדה להיות כ-200 מ"ק אוויר לשעה. בחלוקת הספיקה באורך הכולל של שלוחות הטרפלס מתקבלת ספיקה אורכית של 1.4 קוב שעה¹ מ¹. בחישוב נפח המצע הארוז במעטפת היריעה ניתן לחשב את הספיקה הממוצעת של האוויר לקוב מצע בשלוחה בודדת 18 מ³ שעה¹ אוויר מ³ קרקע. בשתי שלוחות הספיקה כפולה ועומדת על 36 מ³ שעה¹ אוויר מ³ קרקע. בהנחה שתכולת אוויר ממוצעת בקרקע היא 20% התקבלו 88 חילופי אוויר לשעה בשלוחה בודדת, וכפול מזה (176) בשתי שלוחות.

צמחי פלפל מהזן סובק (זרעים גדרה) נשתלו (24/7/2013) בצמד שורות לערוגה, במרווח בין שורות הצמד של 20 ס"מ ומרווח בין הצמחים בתוך השורה של 40 ס"מ. מפסק הערוגות היה 1.6 מטר, כך שהתקבל עומד צמחים של 3.1 צמח/מ"ר. הצמחים הודלו בשיטה הספרדית. בתחנת יאיר ציפוי החול היה בגובה של 50 ס"מ על גבי החמדה ועליו הוכנו תשתיות בית שורשים.

ב. ניסוי בתחנת צבי:

1. גידול בקרקע מקומית, 2. גידול ע"ג נש"מ: תעלה ברוחב 40 ס"מ, עומק 25 ס"מ. כיסוי התעלה ביריעת פלריג, על הפלריג 5 ס"מ חצץ גס. מעליו רשת 50 מש ומעל הרשת מצע אפר פחם + 25% זבל מפרדה.

בכל תשתית הופעלו הטיפולים 1. ביקורת ללא העשרה, 2. העשרה באמצעות מי חמצן שהוזרקו למי ההשקיה בריכוז של 350 ח"מ, 3. העשרה באוויר אטמוספרי באמצעות שלוחת טרפלקס (רשפים, ישראל) מוטמנת בעומק 20 ס"מ במרכז בית השורשים, 4. שתי שלוחות טרפלקס מוטמנות בעומק 20 ס"מ, 10 ס"מ הצידה מהמרכז. הטיפולים הופעלו באופן רציף, מה- 25/7 ועד 1/12, בסה"כ 126 ימים.

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. דשן מסוג "שפר 7-3-7" (דשנים וחומרים כימיים) ששימש לגידול, הוזרק למיכל ששימש כתמיסה סופית להשקיה, במינון של 1 ליטר/מ"ק. ההשקיה בוצעה באמצעות משאבת לחץ ממיכל בתמיסה סופית. בתחנת יאיר תקופת הקטיף נמשכה על פני 146 ימים, החל מהשבוע הראשון של חודש נובמבר ועד לשבוע האחרון של חודש מרץ. בסה"כ נערכו 9 קטיפים. בתחנת צבי נערכו 13 קטיפים ותקופת הקטיף נמשכה 154 ימים החל מ- 3/11 ועד ל- 7/4.

שלושה צמחים מכל חלקה (תחנת יאיר) נדגמו לאחר סיום הקטיפים, לקביעת משקל רטוב ויבש. הצמחים הופרדו למקטעי נוף ופירות. ריכוז החומר היבש בנוף ובפרי נקבע עוד בעונת 2005/6 לפי: 7% בפרי הקטוף, 12% בפרי הירוק הנותר על השיח בסיום, ו- 24% בנוף בסיום הגידול (איתאל וחובי, 2006).

נמדדו יבול הפירות, יבול חומר יבש וריכוז חמצן בקרקע. ריכוזי חמצן אווירוני בקרקע נמדדו באמצעות חיישני חמצן מסוג KE-25 (Figaro, יפן) הפועלים על בסיס תא אלקטרוכימי בו מתחזר החמצן על קטודת זהב וקצב הריאקציה נמצא ביחס ישיר למתח החשמלי שנוצר. טמפרטורת קרקע נמדדה ע"י צמד חומני הפועל על בסיס של שני חוטים האחד טונגסטן והשני נחושת המחוברים בקצה. המתח החשמלי הנוצר בנקודת החיבור נמצא ביחס ישיר לטמפרטורה. חיישני החמצן והטרמוקפלים הוכנסו לתוך מבחנה והוחדרו לעומק של 20 ס"מ.

תיקון טמפרטורה לקריאות ריכוזי החמצן: ככל שכמות מולקולות המים באוויר גבוהה יותר ריכוז החמצן היחסי פוחת ביחס ישיר למנה: מולים חמצן/מולים מים. כמות אדי המים בנפח אוויר ברוויה הינה תלויה טמפרטורה. ככל שזו גבוהה יותר כך גדל קיבול האוויר לאדי מים במצב רוויה. על מנת לנטרל השפעה זו שאינה מבטאת שינוי בתכולת החמצן, יש לבצע תיקון טמפרטורה כאשר המדידה מתבצעת בקרקע מושקית, וזאת משום שאוויר קרקע מושקת נמצא ברוויה באופן מתמיד. התיקון אינו קווי אך בקירוב ניתן להוסיף לערך ריכוז החמצן היחסי 0.05% לכל מעלה בטמפרטורת קרקע בטווח של 20-35 מעלות צלזיוס (מ"צ).

תוצאות

א. תחנת יאיר – מו"פ ערבה

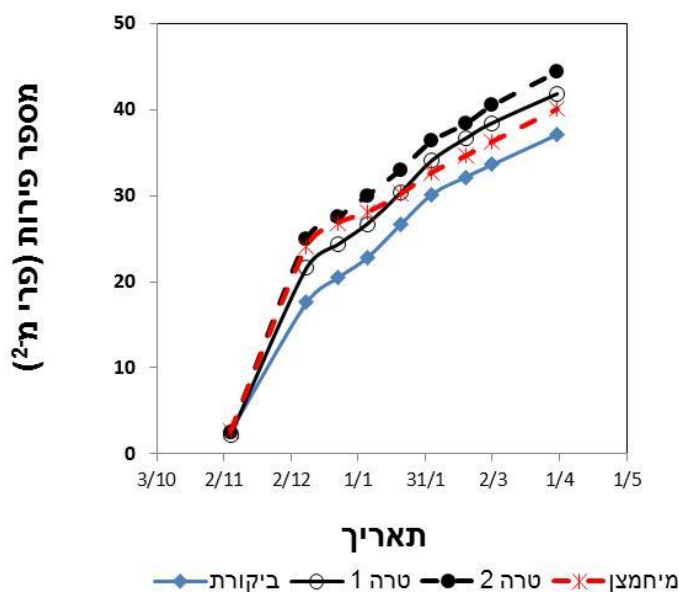
יבול הפירות ומספרם הושפעו רק מטיפולי העשרה בחמצן (טבלה 1). טיפול העשרה באוויר אטמוספרי באמצעות שתי שלוחות טרפלקס הניב תוספת של 20% ו- 17% במספר וביבול הפירות, בהתאמה. השפעת טיפולי העשרה על מספר הפירות (איור 1) בא לידי ביטוי כבר בקטיף של ה- 2/11, משמע אלו פירות שנוצרו בתחילת חודש ספטמבר.

יבול חומר יבש

יבול החומר היבש של כלל הצמח לא הושפע מהטיפולים (טבלה 2). משקל החומר היבש של הפרי הקטוף הושפע מטיפולי העשרה בדומה למשקל הטרי. הטיפול טרפלקס 2 עלה באופן מובהק על הביקורת ב- 17%.

טבלה 1. ניתוח מרכיבי השונות ליבול הפירות בתבנית של בלוקים באקראי בחלקות מפוצלות. 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	מסי פירות למ"ר	יבול כולל (ק"ג למ"ר)	יבול ייצוא (ק"ג למ"ר)
בלוק (אקראי)	3	0.05	0.11	0.05
בלוק*תשתית (אקראי)	3	0.5	0.28	0.34
תשתית	1	0.08	0.12	0.13
העשרה	3	0.02	0.04	0.04
תשתית*העשרה	3	0.32	0.74	0.49
ללא העשרה בחמצן		B 37	B 6.4	5.8
טיפול העשרה בחמצן טרפלקס 1		AB 42	AB 7.2	6.4
טיפול העשרה בחמצן טרפלקס 2		A 44	A 7.5	6.7
טיפול העשרה במי חמצן		AB 40	AB 6.8	5.9



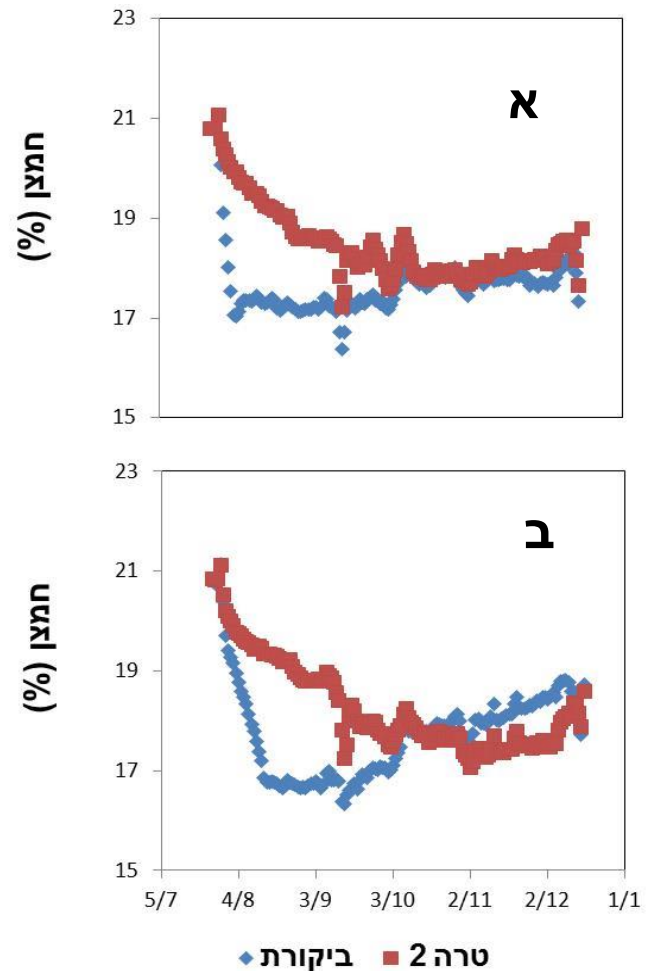
איור 1. צבירת הפירות בטיפול העשרה.

טבלה 2. ניתוח מרכיבי השונות ליבול החומר היבש בתבנית של בלוקים באקראי בחלקות מפוצלות. 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	יבול פרי קטוף (ק"ג למ"ר)	משקל כוללי של הצמח (ק"ג למ"ר)	משקל פירות (ק"ג למ"ר)	יחס פרי נוף
בלוק (אקראי)	3	0.11	0.14	0.1	0.49
בלוק*תשתית (אקראי)	3	0.28	0.32	0.42	0.71
תשתית	1	0.12	0.15	0.14	0.07
העשרה	3	0.04	0.25	0.04	0.58
תשתית*העשרה	3	0.74	0.21	0.88	0.92
ללא העשרה בחמצן		B 0.45	1.66	B 0.62	0.38
טיפול העשרה בחמצן טרפלקס 1		AB 0.50	1.84	AB 0.74	0.41
טיפול העשרה בחמצן טרפלקס 2		A 0.52	1.79	AB 0.70	0.42
טיפול העשרה במי חמצן		AB 0.48	1.75	A 0.78	0.41

ריכוזי חמצן בקרקע

ריכוזי החמצן בשני העומקים התנהגו באופן דומה (איור 2) בביקורת ניתן להבחין בשלושה שלבים. בשלב הראשון פחיתה מהירה בריכוז בשיעור של כ- 4% ממועד השתילה ועד כ- 20 ימים לאחר מיכן. בשלב השני הריכוז התייצב למשך כ- 50 ימים, ובשלב השלישי עלייה בריכוז עד לסיום המדידות ב- 15/12. בטיפול רמת האוויר נמצא בשני שלבים: בראשון פחיתה בריכוז בשיעור של כ- 3% ממועד השתילה ועד 70 ימים לאחר מכן ומשלב זה חלה התייצבות עד לסיום המדידות.



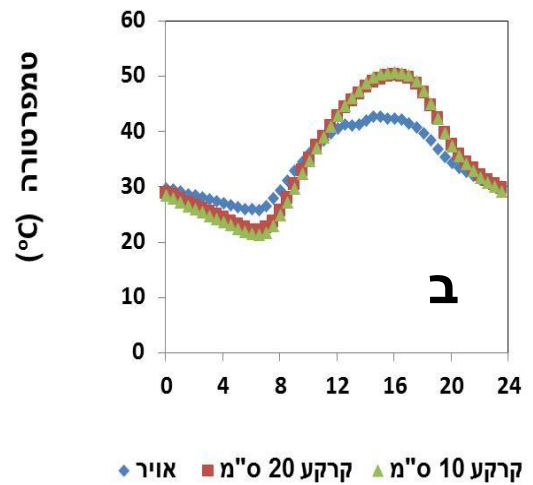
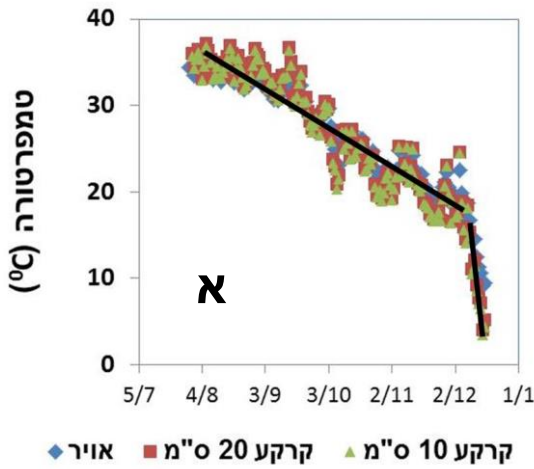
איור 2. ריכוזי החמצן בביקורת ובטיפול הזרמת אוויר (טרפלקס 2). א. עומק 10 ס"מ, ב. עומק 20 ס"מ קרוב לצינור הטרפלקס.

טמפרטורת האוויר והקרקע

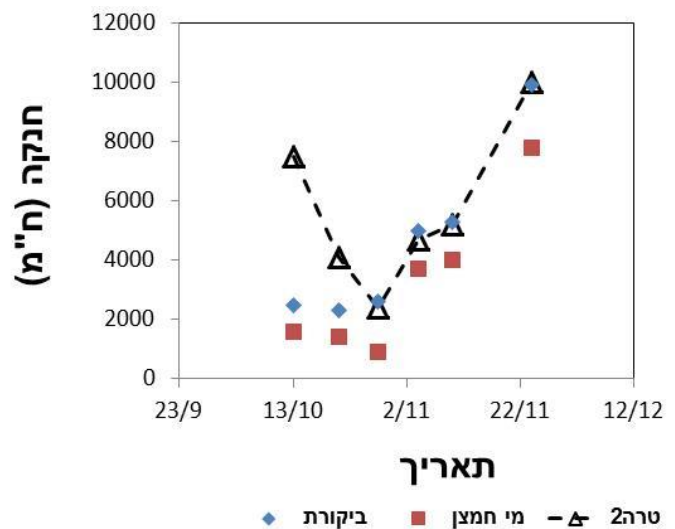
ממוצעי היממה באוויר ובקרקע זהים (איור 3 א). בתחילת חודש דצמבר ניתן להבחין בנפילה הדרמטית בטמפרטורות אשר צנחו בכ-15 מ"צ בטווח של ימים. בתחילת העונה טמפרטורת הקרקע הגיע עד ל-50 מ"צ (איור 3 ב) בשעות אחה"צ בעוד שטמפרטורת האוויר הגיע לכדי 42 מ"צ.

ריכוז חנקן בפטוטרת

ריכוז החנקן בפטוטרת במהלך חודש אוקטובר היה גבוהה בטיפול העשרה באוויר (טרפלקס 2), פי שלוש ופי שתיים מערכי הביקורת. בטיפול מי החמצן הצמחים היו בהירים יותר וריכוזי החנקן בפטוטרת נמוכים מיתר הטיפולים (איור 4).



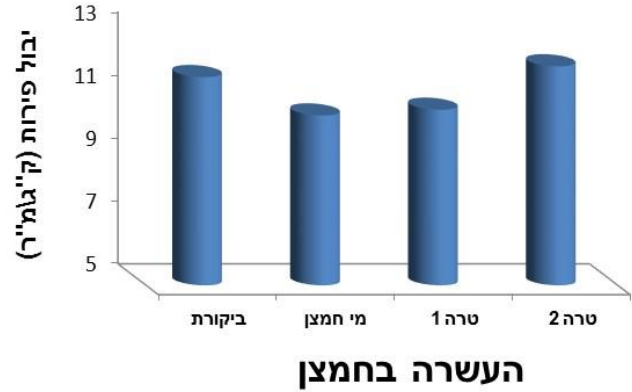
איור 3. א. ממוצע יממתי לטמפרטורת הקרקע בעומק 10 ו 20 ס"מ וטמפרטורת האוויר. ב. ממוצע שעתי לתקופה בין 29/7-17/8.



איור 4. ריכוז חנקן בפטוטרת בשלושה טיפולי העשרה

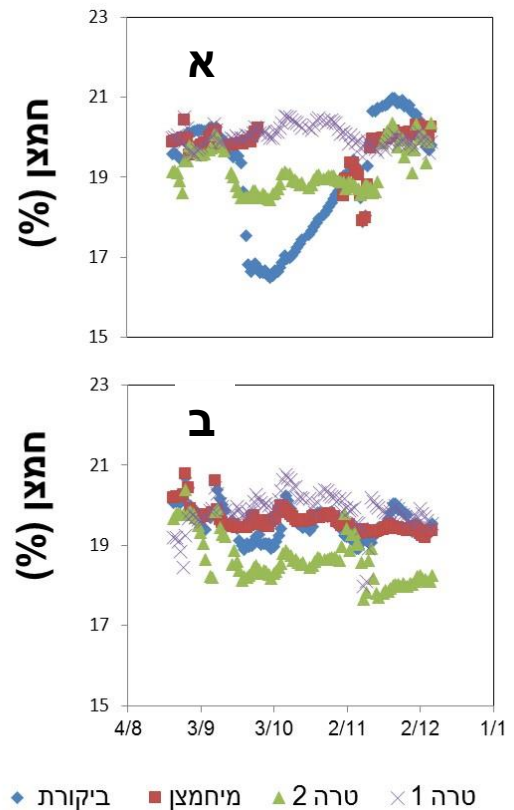
ב. תחנת צבי - מו"פ בקעת הירדן

יבול הפירות: לא הושפע מאף לא אחד מגורמי הניסוי (איור 5, טבלה 3). מספר הפירות: הושפע רק מטיפולי התשתית. תוספת של 11% במספר הפירות התקבלה בנש"מ בהשוואה לקרקע המקומית (טבלה 3).



איור 5. יבול הפירות בארבעת טיפולי העשרה בממוצע לקרקע ולנש"מ.

ריכוז החמצן בבית השורשים: ריכוז החמצן בקרקע הושפע משני טיפולי הזרמת האוויר ומתוספת מי חמצן (איור 5 א) אך לא כן בתשתית נש"מ עם מצע של אפר פחם (איור 6 ב).



איור 6. ריכוזי חמצן בבית השורשים בארבעת טיפולי העשרה בעומק 10 ס"מ, א. בקרקע, ב. בנש"מ

טבלה 3. ניתוח מרכיבי השונות ליבול הפירות בתבנית של בלוקים באקראי בחלקות מפוצלות. 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	פירות (מספר למ"ר)	יבול פירות (ק"ג למ"ר)	יבול יצוא (ק"ג למ"ר)
בלוק (אקראי)	4	0.12	0.44	0.36
בלוק*תשתית(אקראי)	4	0.82	0.37	0.59
תשתית	1	0.04	0.69	0.73
העשרה	3	0.1	0.05	0.08
תשתית*העשרה	3	0.13	0.16	0.12
תשתית נש"מ		A 64.6	11.2	10.1
תשתית קרקע		B 59.8	11	10
העשרה במי חמצן		57.5	10.4	9.3
העשרה ביקורת		64.5	11.6	10.5
העשרה טרפלקס 1		61	10.6	9.6
העשרה טרפלקס 2		65.8	12	10.7

דיון

בניסוי בערבה ניתן ליחס את העלייה במספר הפירות וביבול הכללי לתוספת ריכוזי החמצן בבית השורשים. שיעור התוספת בחמצן אינו אחיד, (איור 2 ב) גבוה בסמוך לשלוחת הטרפלקס ויורד עם העלייה במרחק מהשלוחה. בבדיקות פירוס החמצן מסביב לשלוחה נמצאה השפעה עד רדיוס של 10 ס"מ מהשלוחה (איתאל וחובי, 2013). ייתכן שימצא יתרון להטמנת שתי השלוחות באופן אנכי כך שהראשונה תהיה בעומק 10 ס"מ והשנייה בעומק 20 ס"מ. טיפולי העשרה באוויר ובמי חמצן הופעלו במהלך התקופה מאוגוסט עד דצמבר. על פי עקום צבירת היבול (איור 1) תוספת הפירות בטיפול טרפלקס 2 באה לידי ביטוי רק בקטיף של תחילת דצמבר, כלומר, פירות שחנטו כ- 60 ימים לפני כן, במהלך ספטמבר. אפשרי שכל ההשפעה מוגבלת ל- 60 ימים הראשונים שלאחר השתילה והמשך העשרה מעבר למועד זה לא תרם מאומה. ריכוזי החנקן הגבוהים יותר שנמדדו בפטוטורות (איור 4) מצביעים על אפשרות למעורבות של חיידקי הניטריפיקציה. בשלב המוקדם של תחילת חודש אוקטובר נצפה פיגור בכניסה לחנטה בשני טיפולי הטרפלקס ועל כן הופסק הדישון למשך כ- 20 ימים, למעט בטיפול מי החמצן שהיה בהפעלה נפרדת וכאמור הראה ריכוזי חנקן נמוכים. תגובת יבול הפירות לתוספת בריכוזי החמצן תואמת את הממצאים בניסויי הפחתת ריכוזי החמצן (Ityel et al., 2014) ומחזקת את ההנחה שיבול הפירות בפלפל מגיב לשינויים בתכולת החמצן בבית השורשים על כל טווח הריכוזים ואינו מוגבל לריכוזי חמצן קריטיים בלבד. בגלגל נמדדה תגובת ריכוזי חמצן רק בקרקע המקומית, אך ללא תגובה מקבילה ביבול פירות. הנחת המחקר גרסה שצפויה תגובת יבול משמעותית יותר בתנאי מליחות כפי שאכן נמצא.

הבעת תודה

תודתנו נתונה למועצת הצמחים על עזרתה במימון הניסוי.

ספרות

איתיאל א', כהן ש', אופנבך ר', גולן ר', צברי י', צביאלי י', בן גל א', 2006. מנת השקיה, איכות המים, ותשתית הגידול בפלפל סיכום עונת מחקרים 2005/6, מו"פ ערבה תיכונה וצפונית-תמר.

איתיאל א', צעירי, א', אושרוביץ, א', כהן ש', אופנבך ר', צביאלי י', צברי י' 2013. השפעת טיפולי העשרה באוויר על ריכוזי החמצן בבית השורשים ועל יכול פירות בפלפל. סיכום עונת מחקרים 2012/13, מו"פ ערבה תיכונה וצפונית-תמר.

Goorahoo D., Carstensen, G., Zoldoske, D.F., Norum, E., Mazzei, A. 2001. Using air in subsurface drip irrigation (SDI) to increase yields in bell pepper. In Proceedings of the Irrigation Association Technical Conference, San Antonio, Texas, pp. 95-102.

Ityel, E., Ben-Gal, A., Silberbush, M., and Lazarovitch N. 2014. Increased root zone oxygen by a capillary barrier is beneficial to bell pepper irrigated with brackish water in an arid region. Agriculture and Water Management 131: 108–114.

Marfa, O., Cáceres R. and Guri S. 2005. Oxyfertigation: A New Technique for Soilless Culture under Mediterranean Conditions. Acta Hort. No. 697: 65-72.

פרטי הדו"ח באנגלית

Effect of air application and root-zone format on pepper plants. 2014.

Ityel E., Silverman D. – Extension Service, Ministry of Agriculture and Rural Development

Writer address: Eviatarel2014@gmail.com

Oshoroviz A. Offenbach R., Cohen S., Zvieli Y., Golan R. – Central and Northern Arava R&D

Fridman S. – Soil and Water Institute, ARO

Gilad Z., Ahiam M., Tsipilevich E., Adler U. – Jordan Valley R&D