

השפעת טיפולי העשרה באוויר על ריכוזי החמצן בבית השורשים

ועל יבול פירות בפלפל

אביתר איתאל - שה"מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
אורי צעירי, אבי אושרוביץ, שבתאי כהן, רבקה אופנבך, יורם צביאלי, ישראל צברי - מו"פ ערבה תיכונה
וצפונית-תמר

כתובת המחבר: Eviatar@arava.co.il

תקציר

מחסורי חמצן בבית השורשים הגורמים לעיכוב בגידול, צפויים בטמפרטורות קרקע גבוהות בשל קצב נשימה מוגבר. על מנת לבחון השפעת אלו נשתלו צמחי פלפל בשתי תשתיות נש"מ בתחנת יאיר בערבה ב 13/8/12. מטרת המחקר הייתה לחשוף צמחי פלפל לעקת חמצן בבית השורשים באמצעות שני טיפולי תשתיות השונים רק בסוג יריעת הצד: פלריג או פוליאטילן, ושמונה טיפולי רמות שונות של חילופי אוויר מאולצים באמצעות הזרקת אוויר אטמוספרי לקרקע, ולאמוד השפעתם של שני הגורמים על ריכוזי החמצן בקרקע, יבול הפירות והביומסה. אוויר אטמוספרי הוזרק לקרקע בלחץ מפורח ובאמצעות שלוחות טפטוף טמונות בקרקע אשר יצרו שמונה מדרגים של הזרקת אוויר (בין 0 ל- 187 חילופי אוויר לשעה).

ריכוזי חמצן אווירוני בקרקע נמדדו באמצעות חיישני חמצן (KE-25, תוצרת חברת Figaro, יפן). תקופת הקטיף נמשכה על פני 126 ימים, החל מהשבוע האחרון של חודש נובמבר ועד לשבוע הראשון של חודש אפריל. בסה"כ נערכו 10 קטיפים.

בסיכום הניסוי לא נמצאה השפעה של שני גורמי הניסוי: סוג יריעת הצד, והזרקת אוויר אטמוספרי על ריכוזי החמצן בקרקע וממילא גם לא על יבול הפירות והביומסה.

בבדיקת ייתכנות לצינור מזיע (טרפלסק) למדנו שבהזרמת אוויר לקרקע (ללא צמחים) דרך צינור זה ישנה אחידות בספיקה האורכית והשפעות על ריכוזי החמצן בקרקע בפרוס נתון.

בבדיקת ייתכנות להשפעת הזרמת אוויר בקרקע (ללא צמחים) למדנו שקיימת השפעה תוספתית לריכוז החמצן במרחק אנכי של 10 ס"מ מנקודת יציאת האוויר בשיעור של כ- 15%. כמו כן נמצא, שקצב דעיכת הריכוז לאחר סגירת המפוח הינו כ- 10% לשעה.

מבוא

מחסורי חמצן אפשריים על פי רוב בתנאי טמפרטורת שורש גבוהים במיוחד (מעל 30 מ"צ), 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 של 39% ביבול פירות בפלפל בטיפול שקיבל הזרקת אוויר במערכת טפטוף טמון. אך למרות דיווחים אלו העשרה מלאכותית של ריכוזי החמצן לא מקובלת באופן מסחרי.

מטרת המחקר הינה חשיפה של הצמח לריכוזי חמצן שונים בבית השורשים באמצעות טיפולי תשתיות- סוג יריעת הצד בתשתית נש"מ: פלריג או פוליאטילן, וחילופי אוויר בין הקרקע לאטמוספירה באמצעות הזרקת אוויר לקרקע, על מנת לאמוד השפעתם של שני הגורמים על ריכוזי החמצן בקרקע, יבול הפירות והביומסה.

שיטות

הניסוי נערך בבית רשת 50 מש בתחנת יאיר. על גבי ציפוי החול נבחנו שתי תשתיות בית שורשים ושמונה טיפולי חילופי אוויר (טבלה 1) גורמי הניסוי והטיפולים:

- תשתיות בית שורשים-נש"מ עם (1) יריעת צד מסוג פלריג או (2) פוליאתיילן.
- קצב חילופי אוויר הקרקע המחושב לפי תחולת רטיבות ממוצעת של החול (20%) נע בתחום בין 0 ל-187 חילופי אוויר הקרקע לשעה, בהתאם למיקום החלקה. שמונה חלקות כל אחת בת שלושה מטרים סומנו לאורך ערוגת הגידול. בחלקה הראשונה הוטמנו 6 שלוחות טפטוף (נטפים) עם טפטפת כל 20 ס"מ בספיקת מים נומינלית של 1.6 ליטר שעה. בחלקה השנייה הוטמנו 4 שלוחות ובחלקות 3 עד 7, שתי שלוחות. השלוחות הוטמנו בעומק של 20 ס"מ. בירזונים בהם ניתן לשלוט על ספיקת האוויר הותקנו לפני כל חלקה ובתהליך כיוול באמצעות מדידת ספיקת טפטפת נעץ על ידי ניפוח שקית אינפוזיה נקבע מצבם (תמונה 1).

טבלה 1. ספיקת המפוח ואופן חלוקת האוויר לאורך מקטעי החלקות.

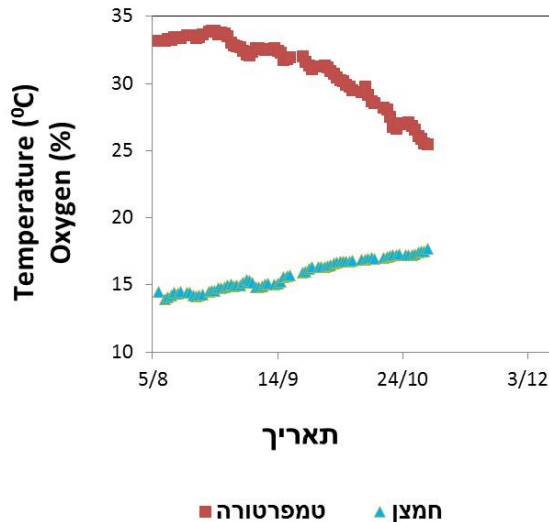
plot	Q-relative	Q-abs. $m^3 h^{-1}$	$m^3_{air} m^{-3}_{soil} h^{-1}$	soil air change $v_{soil} h^{-1}$
1	3	54	37	187
2	2	36	25	124
3	1	18	12	62
4	0.96	17	12	60
5	0.95	17	12	59
6	0.94	17	12	59
7	0.92	16	11	57
8	0	0	0	0
	9.8	175		



תמונה 1. כיוול בירזונים לספיקות שונות.

חישוב תצרוכת החמצן

קצב נשימת הקרקע (צמח+מיקרופלורה) ב-25 מעלות צלסיוס מוערך בכ-15 גרם חמצן למ"ר ליום (Hodgson and Macleod, 1989). ככל שטמפרטורת הקרקע גבוה יותר עולה קצב צריכת החמצן. בתחילת העונה טמפרטורת הקרקע בחצבה הינה בקירוב 34 מעלות (איור 1). ניתן להניח Q_{10} של 3, כלומר, הכפלת הצריכה פי 3 לכל 10 מ"צ (איתיאל, 2012). מכאן ניתן להניח קצב צריכה יומית בתקופה זו של כ-45 גרם מ² יום¹.



הריכוז הנפחי של החמצן האטמוספרי הינו בקרוב 21% וריכוזו בתחילת העונה בקרקע בעומק 20 ס"מ כ-15%. במצב אידיאלי האוויר האטמוספרי המוזרם לקרקע ישתווה בריכוזו לזה של הקרקע, כלומר יאבד כ-6% בערך המוחלט וירד ל-15%. משקל החמצן בקוב אחד של אוויר אטמוספרי ביובש מוחלט הינו בקרוב 300 גרם לקוב אוויר. ירידה של 6% בערך המוחלט הינה ירידה יחסית של 28.5% שהינה שוות ערך ל-86 גרם חמצן לקוב אוויר. מכאן שבאופן אידיאלי הזרמת חצי קוב אוויר למ² ליום יכולה לספק את הדרישה היומית. גם אם נניח 50% יעילות, הרי הכמות אינה עולה על **1 קוב למ² יום¹**.

איור 1. טמפרטורה וריכוז החמצן בעומק 20 ס"מ.

נחזור לטבלה 1 בה מופיע בטור השני הספיקות המוחלטות לכל טיפול. בטיפול 1 מופיע הערך 54 קוב שעה¹. כמות זו ניתנה לקטע באורך 12 מטר וברחב 0.4 מטר שהם פני שטח של כ-5 מ². כלומר כמות האוויר שסופקה למ² הייתה כ-10 קוב למ² לשעה במשך 24 שעות, שהם 240 קוב למ² ליום. ערך זה גבוה פי 240 מהכמות הנדרשת שחושבה. באותה מידה, טיפול הספיקה הנמוך ביותר של 16 קוב לשעה אמור לספק פי 70 מהדרישה הפוטנציאלית.

בתאריך 13/08/2012 נשתלו צמחי פלפל מהזן האדום סובק (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. ציפוי החול היה בגובה של 50 ס"מ על גבי החמדה ועליו הוכנו תשתיות בית שורשים 1 ו-2:

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 "שפר 7-3-7" (דשנים וחומרים כימיים) שהוזרק למיכל ששימש כתמיסה סופית להשקיה, ביחס של 1 ליטר/מ"ק. ההשקיה בוצעה באמצעות משאבת לחץ ממיכל בתמיסה סופית.

מדירות

יבול הפירות: תקופת הקטיף נמשכה על פני 126 ימים, החל מהשבוע האחרון של חודש נובמבר ועד לשבוע הראשון של חודש אפריל. בשה"כ נערכו 10 קטיפים.

ריכוזי חמצן אווירוני בקרקע נמדדו באמצעות חיישני חמצן מסוג KE-25 (תוצרת 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 לריכוזי 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 תלויות טמפרטורה. ככל שזו גבוהה יותר כך גדל קיבול האוויר לאדי מים במצב רוויה (איור 2, ב). על מנת לנטרל השפעה זו שאינה מבטאת שינוי בתכולת החמצן, יש לבצע תיקון טמפרטורה כאשר המדידה מתבצעת בקרקע מושקת, 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.

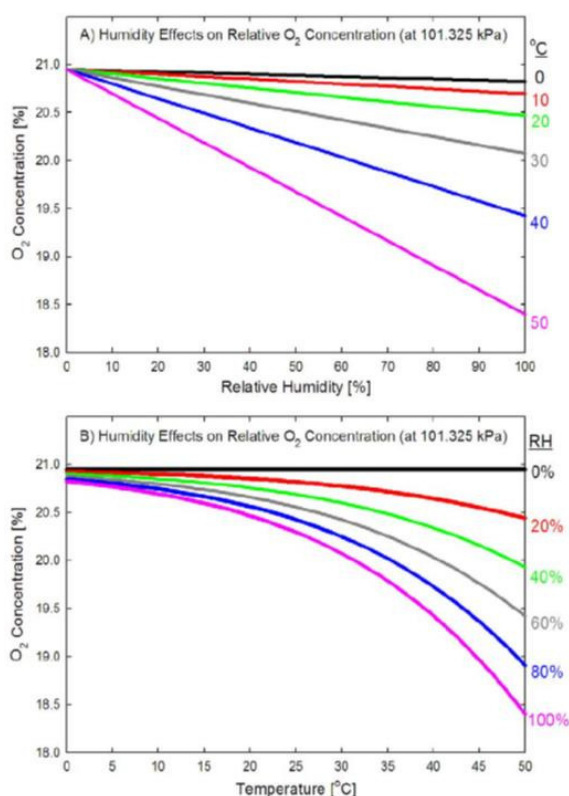


Figure 3: A) Relative humidity (RH) effects on relative O₂ concentration shown as a function of RH at temperatures increments of 10 °C and B) as a function of temperature at RH increments of 20 %. The air in soil is generally always saturated with water vapor unless the soil is very dry.

איור 2. א. השפעת הלחות היחסית על ריכוז החמצן היחסי בטמפרטורות אוויר שונות, ב. השפעת הטמפרטורה על ריכוז החמצן היחסי ברמות שונות של לחות אוויר יחסית.

הזרמת אוויר לקרקע בדלי ללא צמח

על מנת לאמוד השפעת הזרקת אוויר אטמוספרי על ריכוזי החמצן בקרקע נערכה סימולציה באמצעות מפוח בעל ספיקה של 1 ליטר שעה¹ שהזריק אוויר לתחתית של דלי מלא בחול בנפח של 10 ליטר עם נקודת יציאת אוויר אחת. חיישן החמצן הוטמן בחצי גובה הקרקע בדלי, כ- 10 ס"מ מנקודת יציאת האוויר. החול שהוכנס לדלי היה ברטיבות של 20% כאשר תכולת המים ברוויה של החול הינה 40%. נפח האוויר בקרקע נאמד ב כ-2 ליטר אוויר כאשר קצב חילופי האוויר עמד על 0.5 חילופים לשעה. המפוח הופעל למשך 5 שעות ובמשך 12 שעות לאחר סגירתו נמדדו ערכי החמצן (איור 3).

פירוס חמצן בהשפעת הזרמת אוויר בצינור מזיע (טרפלקס)

לאור המידע שהצטבר מיישום האוויר באמצעות שלוחת טיפוח עם טפטפת כל 20 ס"מ נבדקה האפשרות ליישם את האוויר מצינור מזיע שיתרוננו בחלוקת האוויר לכל אורכו (תמונה 2 ב). נערכו שתי בדיקות פיזור 1: פירוס אורכי באמצעות ניפוח שקיות, 2, פיזור במישור YZ באמצעות חיישני חמצן (תמונה 2 א).

מרחק \ גובה	5	10	15	20
5	*	*	*	*
10	*	*	*	*
15	*	*	*	*
20	*	*	*	*
מיקום טרפלקס				



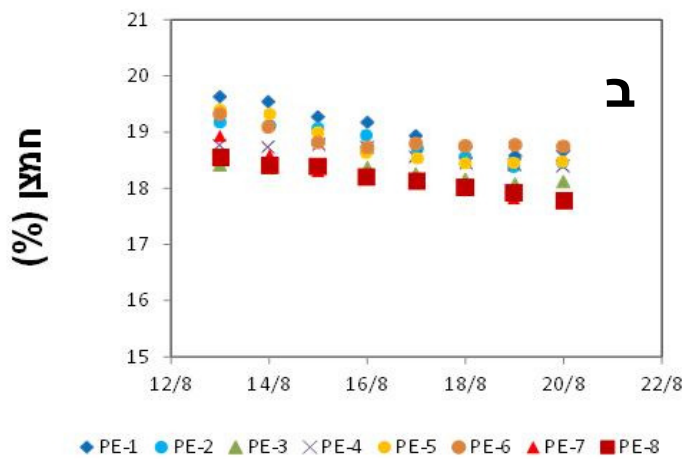
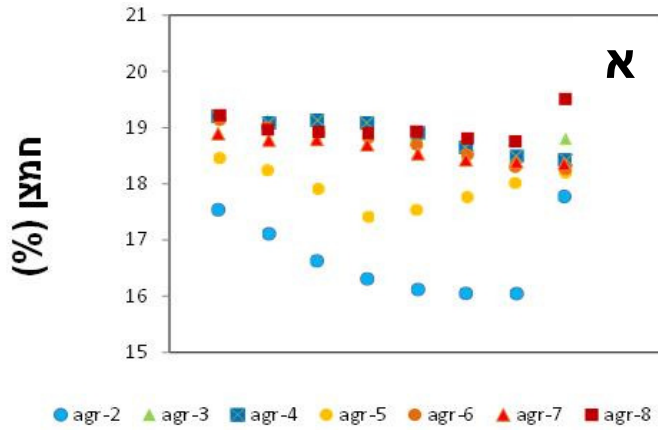
תמונה 2. א. מיקום החיישנים במישור YZ, ב. בדיקת ספיקה אורכית באמצעות ניפוח.

תוצאות

ניסוי עם צמחים

סוג יריעת הצד : לא נמצאה השפעה על אף לא אחד ממשתני היבול (טבלה 1).

העשרה באוויר : לא נמצאה השפעה לטיפול האוויר.



איור 3. ריכוזי החמצן הממוצעים ליממה בעומק 20 ס"מ בשמונה טיפולי העשרה, א. ביריעת צד אגריל, ב. בפוליאאתילן

טבלה 1. ממוצעי יבול ומספר הפירות בטיפולי התשתית והעשרה. בתחתית הטבלה השפעות הגורמים הראשיים.

מספר פירות יצוא פרי מ ²	יבול יצוא ק"ג מ ²	מספר פירות פרי מ ²	יבול כולל ק"ג מ ²	מיקום	תשתית
45	8.0	53	8.7	1	פלריג
40	7.3	48	8.1	2	פלריג
45	8.0	52	8.7	3	פלריג
38	7.1	44	7.6	4	פלריג
35	6.0	42	6.7	5	פלריג
46	8.1	50	8.5	6	פלריג
42	7.3	48	7.9	7	פלריג
37	6.5	41	6.9	8	פלריג
40	7.4	45	7.9	1	פוליאטילן
45	8.3	52	9.0	2	פוליאטילן
25	4.6	27	4.9	3	פוליאטילן
40	7.1	44	7.5	4	פוליאטילן
49	8.9	57	9.7	5	פוליאטילן
40	7.1	46	7.7	6	פוליאטילן
31	5.4	35	5.8	7	פוליאטילן
49	8.6	53	9.0	8	פוליאטילן
					תשתית
			7.9		פלריג
			7.7		פוליאטילן
					העשרה
			8.3		1
			8.6		2
			6.8		3
			7.6		4
			8.2		5
			8.1		6
			6.8		7
			7.9		8

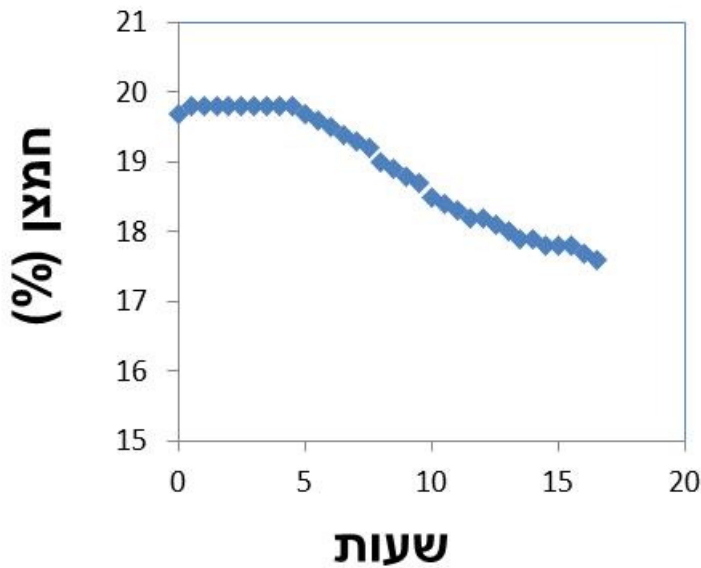
טבלה 2. ממוצעי טיפולי התשתית והעשרה על ריכוזי החמצן בבית השורשים

חמצן %	יריעת הצד
18.6	פוליאטילן
18.4	אגריל
	מיקום
19.1	1
17.7	2
18.6	3
18.7	4
18.4	5
18.8	6
18.4	7
18.6	8

הזרמת אוויר לקרקע בדלי ללא צמח

מתוצאות ריכוזי החמצן שנמדדו בקרקע העציץ (איור 4) ניתן להעריך שקצב דעיכת ריכוזי החמצן הינו

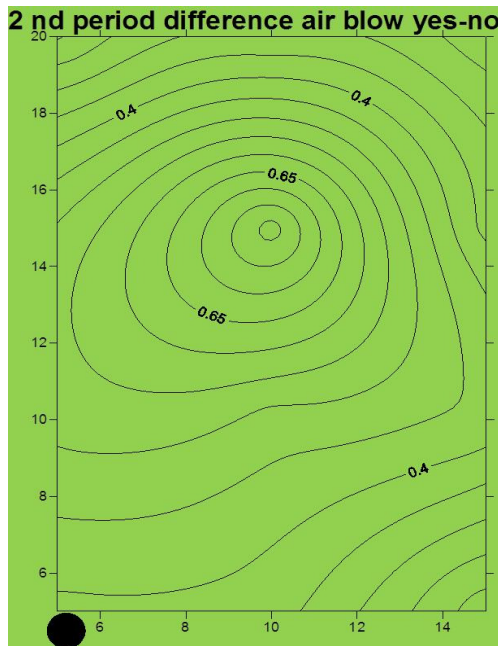
בקיורב $0.2\% \text{ h}^{-1}$ שהם כ- 10% ירידה יחסית לשעה, ושתרומת הזרקת האוויר לריכוז החמצן הגיע לכדי 2.5% בערכים מוחלטים, שהם תוספת של כ- 15% יחסיים לריכוז החמצן בקרקע.



איור 4. ריכוז חמצן בקרקע במהלך הזרקת אוויר למשך חמש שעות ושתים עשרה שעות נוספות לאחר הפסקת המפוח.

פירוס חמצן בהשפעת הזרמת אוויר בצינור מזיע (טרפלקס)

מתוצאות הפרשי ריכוזי החמצן בין מצב מופעל ללא מופעל (איור 5) ניתן להעריך כי עיקר ההשפעה הינה במרחק של עד 10 ס"מ מהשלוחה ימינה, שמאלה, וכלפי מעלה. בבדיקה זו התוספת המרבית הממוצעת למצב בו המפוח פעל הגיע לכדי 8,500 ח"מ (0.85% מוחלט) חמצן (איור 5).



איור 5. הפרש ריכוזי החמצן (% מוחלט) במישור YZ בין מצב בו הופעל המפוח לבין מצב שלא הופעל. העיגול השחור למטה משמאל מסמן את מיקום השלוחה.

דיון וסיכום

חסימת מסלולי הצד לדיפוזיית החמצן באמצעות יריעת פוליאתיילן לא השפיע על ריכוזי החמצן בבית השורשים (טבלה 2). ייתכן והסיבה ולכך נעוצה בשינוי סוג החול בתשתית. בעונה זו הוחלף החול לסוג "חול ערד" בעל גרגר גס יותר. טיפולי העשרה באמצעות החלפת אוויר אף הם לא תרמו לתוספת חמצן. בבדיקת הייתכנות לצינור מזיע למדנו שבהזרמת אוויר לקרקע דרך צינור מזיע ישנה אחידות בספיקה האורכית והשפעות על ריכוז החמצן בקרקע בפרוס נתון. בבדיקת הייתכנות להשפעת הזרמת אוויר בקרקע למדנו שקיימת השפעה תוספתית לריכוז החמצן במרחק אנכי של 10 ס"מ מנקודת יציאת האוויר בשיעור של כ- 15%. כמו כן, שקצב דעיכת הריכוז לאחר סגירת המפוח הינו כ- 10% לשעה.

הבעת תודה

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

ספרות

איתאל א', חשמונאי ד', אושרוביץ א', כהן ש', אופנבך ר', צביאלי י' 2010. השפעת מנת השקיה, הבסיס הקרקעי, ותשתית בית השורשים בפלפל. סיכום עונת מחקרים, מו"פ ערבה תיכונה וצפונית תמר 2009/10

Ityel Eviatar. 2013. Modifying the root zone for horticultural crops with a capillary barrier. PhD dissertation. Ben Gurion university, Israel.

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.

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

Hodgson, A.S., Macleod, D.A. 1989. Use of oxygen flux density to estimate critical air-filled porosity of a vertisol. Soil Science Society of America Journal 53: 355-361.

פרטי הדו"ח באנגלית

Effect of air application and root-zone format on pepper plants. 2012.

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



ב



א



ד



ג



ו



ה

תמונה 3. א. מפוח האוויר, ב. בירזונים שהתקנו על צינור האוויר, ג. מראה הצמחים החץ מראה את כיוון טיפולי העשרה, ד. ה, ו כנ"ל.