

## פיצוי בקליטת חמצן והעשרה במי חמצן בתמיסת ההשקיה

אביתר איתיאל - שה"מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר  
אורי צעירי, רבקה אופנבך, יורם צביאלי - מו"פ ערבה תיכונה וצפונית-תמר

כתובת המחבר: [Eviatar@arava.co.il](mailto:Eviatar@arava.co.il)

### תקציר

כחלק מהערכות לניסוי שדה בטיפולי העשרת חמצן, נערכו ניסויים בעציצים בהם נחשפו צמחי פלפל לריכוזי חמצן שונים באמצעות במערכת שורשים מפוצלת. צמחי פלפל גודלו בעציץ מחולק לשני חצאים עם מחיצה אטומה כשמערכת השורשים מפוצלת בין שני החצאים. הצמחים גודלו בחדר בו שררה טמפרטורת יום של 25 מעלות והועברו לאחר כשבועיים לחדר של 40 מעלות. עליית הטמפרטורה הורידה את ריכוז החמצן בשני חצאי העציץ אך במידה רבה יותר במצע הקומפוסט. מספר ימים לאחר העברתם לחדר החם הופיע הצהבת עלים בכול הטיפולים למעט בטיפול הביקורת בו בשני הצדדים נמצא מצע חול. מכאן ניתן להניח שתופעת ההצהבה קשורה למחסור חמצן שאינו בר פיצוי. יתכן וישנה הפרשת הורמון בשורשים (כגון ACC) הנחשפים לריכוזי חמצן בתחום 11-13%. בניסויי העשרה בנוכחות צמחי פלפל באמצעות מי חמצן נמצא שהעשרה בריכוז של 350 ח"מ אינה מסכנת את הצמח ומעלה את ריכוז החמצן באווירת הקרקע באופן משמעותי (עד 2% בריכוז מוחלט) ולטווח זמן של מספר שעות. נמצא שמי חמצן הגיבו עם קומפוסט וגרמו לשחרור מואץ של חמצן לאוויר האטמוספרי עוד לפני חדירתו לקרקע. שילוב מי חמצן עם הדשן "שפר" לא השפיע על קצב שחרור החמצן.

### מבוא

ירקות הגדלים בבתי צמיחה בטמפרטורות על מיטביות עלולים לסבול ממחסורי חמצן בבית השורשים (איתיאל



תמונה 1. מחסור בחמצן בפלפל

וחוב', 2011). ככל שמערכת השורשים עמוקה יותר, הקרקע חמה יותר, במרקם עדין יותר, ורטובה יותר, כך צפוי המחסור להיות חמור ולמשכי זמן ארוכים יותר. גידול צמחים בתקופות החמות במים מליחים, כפי שקיים בערבה, מחייב השקיה במנות גבוהות על מנת לספק את: (1) דרישות הדיות, (2) שמירה על מאזן מלחים קבוע (3) זמינות מים גבוהה. מצב זה מתנגש עם השגת תנאי איזור מיטביים. קצב גבוה של נשימת הקרקע (שורשים + מיקרואורגניזם) בעקבות טמפרטורות קרקע גבוהה, גורם לריכוזי חמצן נמוכים מהמיטבי. בתחילת חודש אוגוסט, כאשר מתבצעות מרבית שתילות הפלפל בערבה ובבקעה,

טמפרטורת הקרקע היממתית הממוצעת בעומק של 10-20 ס"מ גבוהה מ 35 מעלות. בתקופה זו ריכוזי החמצן בבית השורשים בעומק של 20 ס"מ הינם כ- 13-14% בלבד (איתיאל וחוב', 2011). מחסורי חמצן אפשריים גם במצעים מנותקים למרות היותם בעלי נקבוביות גבוהה וזאת כאשר מדיניות ההשקיה אינה נכונה, או בתנאי

טמפרטורת שורש גבוהים במיוחד, כאשר קצב נשימת השורש עולה ושטף החמצן המגיע לשורשים נמוך מהנדרש על מנת לאזן את הצריכה. 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. הצהבת עלים בפלפל בתקופה שלאחר השתילה בחודש אוגוסט נצפתה לעיתים בערבה ויוחסה בדרך כלל למחסורי ברזל הנגרמים עקב מחסורי חמצן. בשונה מיתר היסודות הנקלטים על ידי השורשים, חמצן נצרך על ידי תאי השורש ואינו מועבר לנף בד"כ. לגבי חלק מיסודות ההזנה כמו: חנקן וזרחן הוכחה יכולת פיצוי בה חלק מסוים מהשורשים הנמצאים במיקום בו מצוי היסוד בריכוז גבוה מבצעים את מרבית הקליטה יחסית לשורשים הנמצאים בסביבה עם ריכוז נמוך. אין עדיין מספיק נתונים לגבי אותה התכונה ביחס לקליטת חמצן.

מטרות הניסויים היו: (1) לבחון את יכולת הפיצוי של השורשים ביחס לקליטת חמצן באמצעות מערכת שורשים מפוצלת בה צד אחד מצוי בריכוז חמצן גבוהה יחסית לתא השני. (2) לבחון תגובת ריכוזי החמצן בבית השורשים לטמפרטורת מצע במצעים שונים, ו (3) לאמוד את ההשפעה על ריכוזי החמצן האווירני בבית השורשים בתגובה לתוספת מי חמצן בתמיסת ההשקיה.

## שיטות

### ניסוי 1. חשיפת צמחי פלפל לטמפרטורה משתנה במערכת שורשים מפוצלת

הניסוי נערך בחדר גידול בתחנת יאיר. בעשרה עציצים בנפח של 10 ליטר כ"א הוכנה מחיצה אטומה שיצרה שני



תאים מופרדים לחלוטין (תמונה 2). הדליים מולאו בחול בצד אחד ובקומפוסט (שדה אליהו) בצד שני. בשני עציצים ששימשו לביקורת הוכנס חול בשני התאים.

תמונה 2. עציץ עם מערכת שורשים מפוצלת. צד א' חול בלבד, צד ב' קומפוסט עד גובה 20 ס"מ + 4 ס"מ חול מעל לקומפוסט.

### שלבי הניסוי

1. 20-28/11 השרשה בעציצונים במצע כבול בטמפרטורה של 25 מעלות.
2. 29/11 הטמנת חישה חמצן וטמפרטורה משני צידי ההפרדה בעומק של 15 ס"מ. שתילת שני צמחים לעציץ ופיצול השורשים בין שני צידי המחסום.
3. 10/12 תספורת לשורשים בשכבת הקומפוסט בטיפולים 3, 4 השקיית הרוויה והעברה לחדר 40 מעלות.
4. 19/12 כיסוי פני הקרקע בפוליאאתילן בצד ב'.
5. 10/12-1/1 גידול בחדר 40 מעלות בקרינה של 400 מיקרומול למשך 16 שעות ביממה.

## טיפולים

1. שני צידי העציץ חול.
  2. צד א' חול וצד ב' קומפוסט+ חול- בצד ב', השארת כל השורשים.
  3. צד א' חול וצד ב' קומפוסט+ חול- בצד ב' השארת פחות שורשים.
  4. צד א' חול וצד ב' קומפוסט+ חול- בצד ב' השארת מעט שורשים צד.
  5. ביקורת, כמו טיפול 2 השארה בחדר 25 מעלות.
  6. ביקורת, כמו טיפול 2 עם חסימה בין החול לקומפוסט, באופן בו רק שורש אחד עובר לשכבת הקומפוסט
- חיישני חמצן וטמפרטורה:** בכל מחיצה הוטמן חישן בעומק 15 ס"מ מהרצפה שהם 10 ס"מ מפני השטח במהלך הניסוי הצמחים הושקו בתדירות של אחת לשלושה ימים בתמיסה המכילה דשן.

### **ניסוי 2. השקיית צמחי פלפל במי השקיה המכילים מי חמצן בריכוזי חמצן שונים.**

נבדקו ריכוזי חמצן החל מ-700 ועד 175 ח"מ מעורבבים במי ההשקיה אשר ניתנה בטפטוף למשך כשעה בכל יום. ריכוזי החמצן נבדקו בצמחים בני 50-60 ימים שגדלו בעציצים, כמתואר בניסוי 1 כאן.

הניסוי נערך בחדר גידול בו ניתן לקבוע את הטמפרטורה ומצויד בתאורת ניאון המספקת עוצמת קרינה של 400 מיקרומול במרחק של 20 ס"מ מהנורות. צמחי פלפל שגודלו בעציצים הושקו בתמיסה שהכילה מי חמצן (35% Hydrogen Peroxide).

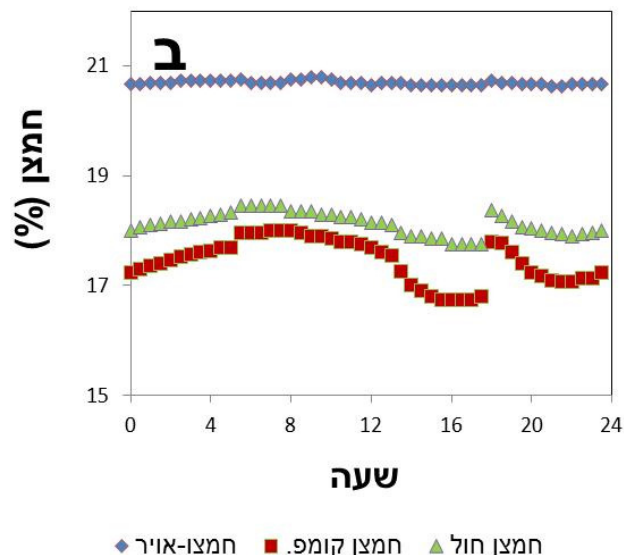
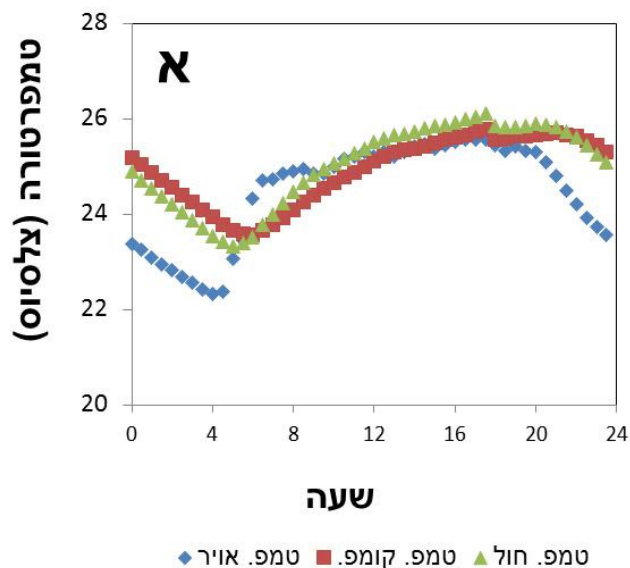
### **ניסוי 3. טפטוף מי השקיה מועשרים במי חמצן על גבי שכבת קומפוסט ושילוב דשן מסוג שפר (7:3:7) במי השקיה מועשרים במי חמצן.**

תמיסת מי השקיה מועשרת במי חמצן בריכוז 375 ח"מ חמצן טופטפה על עציצים שהחילו (1) חול בלבד או (2) חול המכוסה בשכבת קומפוסט. נבחנו שתי תמיסות השקיה, האחת עם דשן שפר 7:3:7 והשנייה ללא דשן. נמדדו ריכוזי החמצן בעומקים של 5 ו-10 ס"מ בעציץ, כמתואר בניסוי 1 כאן.

## תוצאות

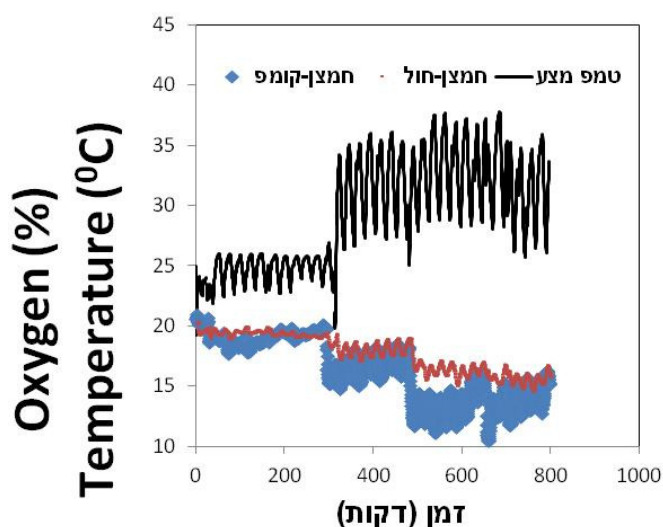
### ניסוי 1. חשיפת צמחי פלפל לטמפרטורה משתנה במערכת שורשים מפוצלת

חדר גידול 25 מעלות: בשלב הראשון בו שהו הצמחים בחדר של 25 מעלות (איור 1). טמפרטורת האוויר נעה בתחום 22-26 מעלות, בעוד שריכוזי החמצן בשני תאי הגידול בדלי היו בתחום 16-18%. הפער בריכוזי החמצן הנומינליים בין שני התאים היה בטווח 0.5-1%.



איור 1. א. טמפרטורה, ב. ריכוז החמצן באויר ובמצעי הקומפוסט והחול

במעבר הצמחים לחדר 40 מעלות חלה ירידה בריכוזי החמצן (איור 2) בשני צידי העציץ ובנוסף גדל הפער בין שני הצדדים לכדי ערך ממוצע של 1.5%, בערכים מוחלטים. כמו כן ניתן לקבוע שהתנודות בפער נבעו משינויי הרטיבות בעציץ. לאחר ההשקיה הגיע הפער לכדי 3.5% והצטמצם באופן הדרגתי עד להשקיה הבאה. ימים בודדים אחרי שהועברו הצמחים לחדר 40 מעלות נראו סימני הצהבת שולים (תמונה 3) בעלים עליונים בכל הטיפולים למעט טיפול הביקורת.



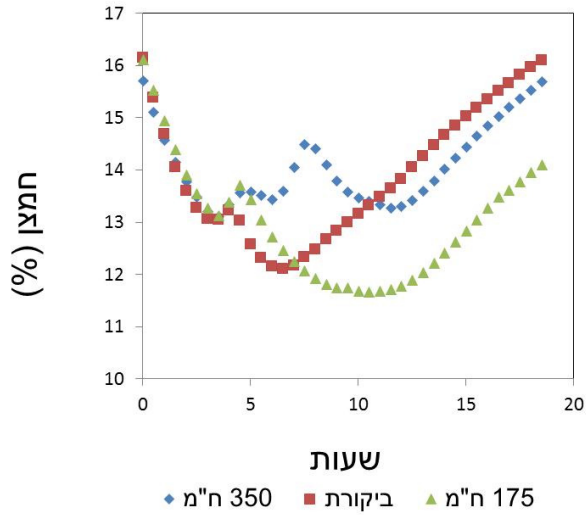
איור 2. מהלך רציף של: א. ריכוז החמצן בחול ובקומפוסט. בזמן 300 הועבר העציץ לחדר 40 מעלות.



תמונה 3. הצהבת עלים בטיפולי הקומפוסט

**ניסוי 2. העשרת ריכוזי חמצן במי ההשקיה באמצעות מי חמצן 35% חמצן**

בריכוז הגבוהה של 700 ח"מ חמצן נצפתה פגיעה בצמחים (תמונה 4). בריכוז הנמוך לא נצפתה פגיעה בצמח אך ריכוז החמצן במצע היה נמוך מזה שבריכוז הגבוהה ב כ- 1-2% (איור 3).



איור 3. השפעת שני ריכוזי מי חמצן במי ההשקיה על ריכוז החמצן האווירני במצע.

תמונה 4. צמחי פלפל שהושקו בתמיסה המכילה מי חמצן בריכוז 700 ח"מ חמצן.

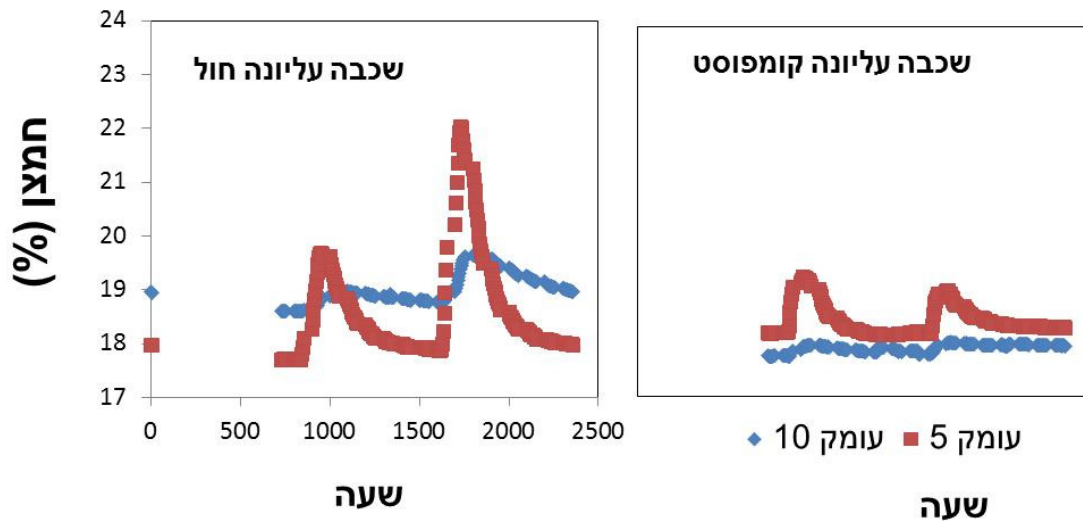


ניסוי 3. טפטוף מי השקיה מעושרים במי חמצן על קומפוסט ושילוב דשן מסוג (7-3-7) שפר במי השקיה מועשרים במי חמצן.

בעציץ המכיל קומפוסט כשכבה העליונה השתחרר חלק משמעותי מהחמצן מיד עם ההשקיה כתוצאה מחמצון החומר האורגני (תמונה 5). מרבית החמצן השתחרר לפני שהגיע לעומק 10 ס"מ (איור 4).

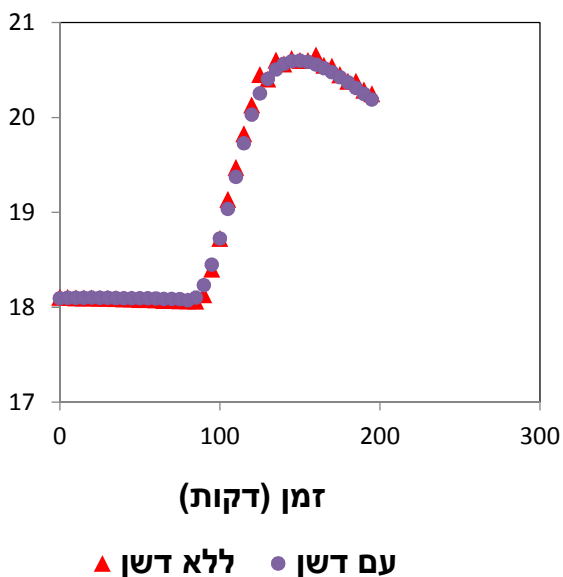


תמונה 5. בעבוע חמצן בתגובת תמיסת השקיה המכילה מי חמצן בטפטוף על קומפוסט.



איור 4. ריכוז החמצן האווירני בקרקע בשני עומקים כאשר השכבה העליונה חול או קומפוסט

שילוב מי חמצן עם דשן 7:3:7, כאשר ריכוזי מי חמצן וריכוזי הדשן היו 0.1%: לא נמצאה כל השפעה על שחרור החמצן בקרקע כתוצאה מערבוב מי החמצן עם מים המכילים דשן (איור 5).



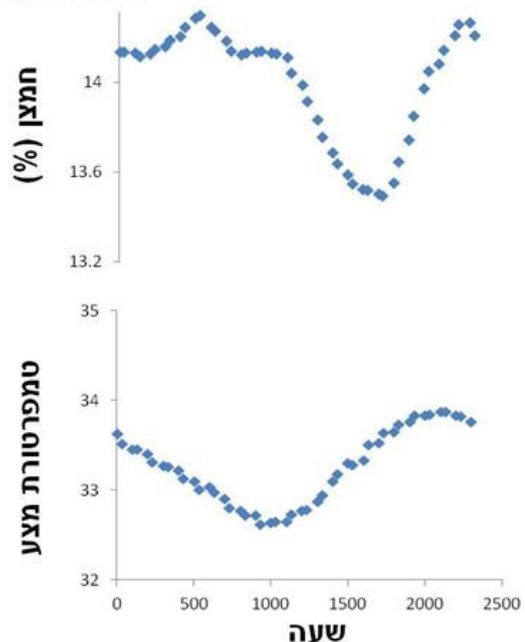
איור 5. השקיה בתמיסת המכילה מי חמצן בריכוז חמצן של 350 ח"מ, עם וללא דשן

## דיון

טמפרטורה הקרקע בתחילת חודש אוגוסט בחצבה (איור 6) בעומק 20 מגיעה לערך מרבי של 34 מעלות בשעה 21.00 ולמינימום בשעה 10.00. ריכוזי החמצן השעתיים פוחתים החל מהשעה 10.00, ומגיעים לערך מינימום של 13.5% בשעה 18.00 ולערך מרבי בשעה 24.00.

מטרת שני חצאי העציץ הייתה לחשוף את הצמח לריכוזי חמצן שונים בו זמנית במערכת שורשים מפוצלת כאשר בתא אחד המצע חול בעל מקדם דיפוזיה גזית גבוהה ובצד השני קומפוסט בעל מקדם נמוך. עליית הטמפרטורה (איור 2) מערך ממוצע של כ- 25 ל- 32 מעלות הורידה את ריכוז החמצן בשני חצאי העציץ אך במידה רבה יותר במצע הקומפוסט. הצהבת העלים (תמונה 1) הופיעה בכול הטיפולים: 2-6 בהם היה מצע קומפוסט בצד אחד של העציץ, אך לא בטיפול הביקורת (1) בו היה מצע חול בשני הצדדים. ניתן להסיק מכך שתופעת ההצהבה קשורה למחסור שאינו בר פיצוי מאזור עשיר יותר בחמצן. יתכן וישנה הפרשת הורמון בשורשים (כגון ACC) הנחשפים לריכוזי חמצן

ריכוזי חמצן במצע-7/8



איור 6. מהלך יומי של: א. ריכוז החמצן במצע ו ב. טמפרטורת המצע בתחילת אוגוסט בחצבה.

בתחום 11-13%. מניסוי זה ניתן להעריך שקיימת אפשרות להעלות את ריכוזי החמצן האווירני בקרקע באמצעות הוספת מי חמצן למי ההשקיה. כאשר משך ההשקיה של פולס היה כשעה נמשכה ההשפעה על ריכוז החמצן

כחמש שעות. לכן בשיעור השקיה של 10 מ"מ/שעה, כאשר משך כל פולס הינו כ-12 דקות צפויה ההשפעה להימשך כשעה. בחול התוספת המרבית בריכוז החמצן של 2% (בערך המוחלט). בתחום הריכוזים 175-700 ח"מ חמצן במי ההשקיה נמצא שהריכוז הגבוה פגע בשורשי הצמחים בעוד שריכוז של 175 ח"מ לא היה יעיל בהעלאת ריכוז החמצן באווירת הקרקע, ואילו ריכוז של 375 ח"מ נמצא יעיל ובטוח לשימוש. שילוב דשן מסוג שפר לא השפיע על שחרור החמצן ממי ההשקיה בעוד שטפטוף על גבי קומפוסט שחרר את החמצן מיד עוד לפני הגעתו לעומק.

## הבעת תודה

לרחל לוויטה על עזרתה בחדרי הגידול, למו"פ ערבה תחנת יאיר - עזרה בציווד ותמיכה לוגיסטית, למועצת הצמחים על תמיכת במימון הניסוי.

## ספרות

אביתר איתיאל, שבתאי כהן, רבקה אופנבך, רמי גולן, ישראל צברי, יורם צביאלי, 2011. השפעת מנת השקיה, הבסיס הקרקעי, ומחסורי חמצן בבית השורשים בפלפל, תחנת יאיר 2010/11. סיכום מחקרים לעונת 2010/11, מו"פ ערבה תיכונה וצפונית <http://www.arava.co.il/haklaut/mop/sumnsu/sumnsu1011/sum/yrk/y8.pdf>

Marfa, O., R. Cáceres and S. Guri. 2005. Oxyfertigation: A New Technique for Soilless Culture under Mediterranean Conditions. *Acta Hort.* 697; 65-72.

## **Inducing hypoxia in young pepper transplants and evaluation of oxygen enrichment by mixing of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) in the irrigation solution**

Ityel Eviatar - Extension Service (Shaham), Ministry of Agriculture and Rural Development  
Tsairi Uri, Offenbach Rivka, Zvieli Yoram - Central and Northern Arava R&D

Writer address: [Eviatar@arava.co.il](mailto:Eviatar@arava.co.il)