תגובת פלפל למחזור מים במשטרי אקלים ונפחי מצע שונים בחממה באזור הבשור

חוקרים שותפים:

בניהו בר-יוסף, יחזקאל כהן, מרסל פוקס, אירה דינקין, אירית לבקוביץ, שושנה סוריאנו - המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי.
אלי מתן, חנה יחזקאל, דוד שמואל, אליק סלפוי, אהוד דיין - מו"פ דרום.
משה ברונר, גיא רשף - שה"מ משרד החקלאות.

תקציר:

הבעיה: יחסי הגומלין מליחות-אקלים-נפח מצע משפיעים על תגובת צמחים למיחזור תמיסות בחממה.

מטרות: לבחון יחסי גומלין אלה בפלפל בתמיסה מסוחררת ולכמת השפעות של לחות יחסית, מליחות התמיסה ונפח בית השורשים על יבול פירות והתפתחות הצמח במהלך עונת הגידול. *שיטות:* המחקר בוצע ב"חממת האקלים" בחוות הבשור. נבחנו אוורור גג (RV), RV + מזרן לח (WP) ו- RV + התזה (FG), כל אחד בסף EC להדחת תמיסה של 2.7 ו- 4.0 דצ"ס/מ'. בטיפול RV נבחן גם סף EC של 5.5 דצ"ס/מ'. נמדדו יבול, איכות, תצרוכת מים והרכב כימי של צמחים ותמיסות.

תוצאות: ההיפוטזה שהגדלת הלחות בחממה מקטינה דיות תוך פגיעה מזערית בייצור החומר היבש (DM) וביבול אומתה בעיקרה. השפעת הגדלת הלחות בעזרת WP (בהשוואה ל- RV בלבד) על היבול הכללי היתה חזקה יותר בטיפול סף EC של 4.0 דצ"ס/מ' מאשר בטיפול של 2.7 דצ"ס/מ' (תוספת יבול של 11% לעומת 1% , בהתאמה). השימוש ב- WP הביא גם לחיסכון בתשומות מים (516 לעומת 623 מ"מ בסף EC 4 דצ"ס/מ') ולהקטנת כמות המים שהודחה לסביבה (80 לעומת 130 מ"מ). כמות המים שהתנדפה בטיפול WP עדיין אינה ידועה. הגדלת סף ה- EC מ- 2.7 ל- 4.0 דצ"ס/מ' גרמה לירידה ביבול אך גם לחסכון משמעותי בתשומות מים ודשן ולהפחתה בהדחת מים ומזינים לסביבה. צמצום נפח מצע הגידול מ- 16 ל- 6.6 או- 3.3 ל'/צמח היה מלווה בירידה מובהקת ביבול. נמצא שמשקל השורשים הקולטים לצמח ירד בנפחים אלה מ- 21 ל- 17 ול- 9 ג' חומר יבש לצמח, בהתאמה. הגדלת סף ה- EC ושינוי משטר הצינון לא השפיעו על משקל השורשים לצמח. הגדלת משקל השורשים יכולה להסביר את הירידה שנמצאה ביבול עם הקטנת נפח המצע. בעיה אפשרית בזמינות המים באמצע היום בעונה החמה בטיפול הנפח המזערי צריכה להילקח בחשבון אף היא בתכנון נפח מצע הגידול.

מסקנות: ניתן למתן עקות מלח בתמיסה המסוחררת על ידי העלאת הלחות היחסית בחממה בעזרת מזרן לח או על ידי הגדלת נפח מצע הגידול. הגדלת סף ה- EC מ- 2.7 ל- 4.0 פגעה אך מעט ביבול אך הביאה להפחתה משמעותית בתשומות המים ובזיהום הסביבה. צינון בהתזה ישירה על העלים ומצע ברוחב 10 ס"מ נמצאו כאופציות בלתי ריאליות בגידול פלפל במערכות השקיה סגורות.

מבוא:

תגובת פלפל למשטרי השקיה, דישון ומליחות נחקרה באופן די אינטנסיבי בארץ ובעולם. בעשור האחרון החלו לגדל פלפל חממה במערכות השקיה סגורות ונערכו מספר מחקרים בהם נבחנה תגובת הגידול למליחות המצטברת בתמיסה ולהשלכות שיש לכך על הדיות, קליטת מזינים ומימשק ההשקיה והדישון (בר-יוסף וחוב', 1999, 2000 כהן וחוב' 2002). עבודות ללימוד תגובת פלפל למיחזור מים במשטרי אוורור/צינון ונפחי מצע שונים לא נערכו לפי שעה. עובדה זאת מפתיעה שכן הקטנת הדיות מפחיתה תוספת מלחים למערכת ומקטינה את העומס האוסמוטי על הצמח, והגדלת נפח בית השורשים מגבירה קליטה ומאפשרת לגידול לקלוט מים ומזינים בקצב הנדרש גם כאשר המליחות בתמיסה עולה.

השערות העבודה היו שתיים: (א) הגדלת הלחות היחסית בחממה תקטין את הדיות ללא פגיעה משמעותית במוליכות הפיוניות ובהטמעה. הפחתת הדיות תחסוך מים ותקטין את נפח התמיסה המודחת לצורך שמירה על EC רצוי במערכת; (ב) הקטנת נפח בית השורשים בתנאים של מבלע אטמוספרי חזק לאדי מים תגדיל את עקת המים בצמח, תקטין את קצב קליטת המזינים ותגרום לירידה ביבול בהשוואה לנפח בית שורשים גדול יותר.

מטרת העבודה היתה לבדוק את ההשערות הנ"ל באזור הבשור ולהמליץ על משטר צינון, נפח מצע ומליחות סף מותרת שיאפשרו קבלת יבול גבוה במינימום הוצאות בתמיסות ממוחזרות.

חומרים ושיטות:

שתילים מזן סליקה נשתלו במצע פרלייט 2 לחקלאות ביום 14/9/03 ב"חממת האקלים" בחוות הבשור. שטח כל תא היה 150 מ"ר, רוחבו 7.5 מ' והיו בו 4 ערוגות ברוחב 1.875 מ'. עומד הצמחים היה 6 למ' רץ ערוגה (3200 לדונם חממה ב- 100% ניצול שטח, או 2900 לדונם ב- 90% ניצול שטח, כפי שהיה בניסוי). הקטיף בוצע אחת לשבוע והפירות נספרו, נשקלו ומוינו לפי קריטריונים מסחריים. פעמיים במהלך העונה נדגמו צמחים שלמים ובעלים, בגבעולים ובפירות שהיו על השיחים נבדקה תכולת החומר היבש וריכוזי היסודות העיקריים. פירות בשלים ועלים דאגנוסטיים נדגמו אף הם במהלך הגידול והרכבם הכימי נבדק אף הוא. בזמן כתיבת סיכום זה לא הסתיימה עדיין עבודת המעבדה ורק חלק מהתוצאות יוצגו.

הטיפולים (טבלה 1) כללו שלושה ערכי סף EC להדחת תמיסות (2.7, 4.0, 5.5 דצ"ס/מ') במשטר אוורור גג (RV), ושני ערכי סף (2.7, 4.0 דצ"ס/מ') במשטר מזרן לח (WP) + RV ובמשטר RV + התזה (FG) (סה"כ 7 חדרים). בכל צרוף אקלים-EC נבדקו שלושה נפחי מצע ברוחב 50, 20 ו- 10 ס"מ (שלושתם בגובה 20 ס"מ) (איור 1). טיפול EC 5.5 דצ"ס/מ' נבחן ברוחב מצע של 50 ס"מ בלבד. התמיסות המסוחררות לא חוטאו ולמרות זאת לא נמצאו צמחים שנפגעו מגורמי מחלות שורש במהלך הניסוי. כל החדרים חוממו ל- 18 מ"צ.

ריכוזי המטרה של המזינים היו 140 מ״ג N/ל׳ (יחס אמון/חנקה בתמיסת המילוי בין 3/1 ל- 4/1, תלוי ב- pH התמיסה המסוחררת), 30 מ״ג P/ל׳, 160 מ״ג K/ל׳, 1 מ״ג Fe/ל, 0.5 מ״ג Mn/ל׳ ו- 0.25 מ״ג Zn/ל׳.

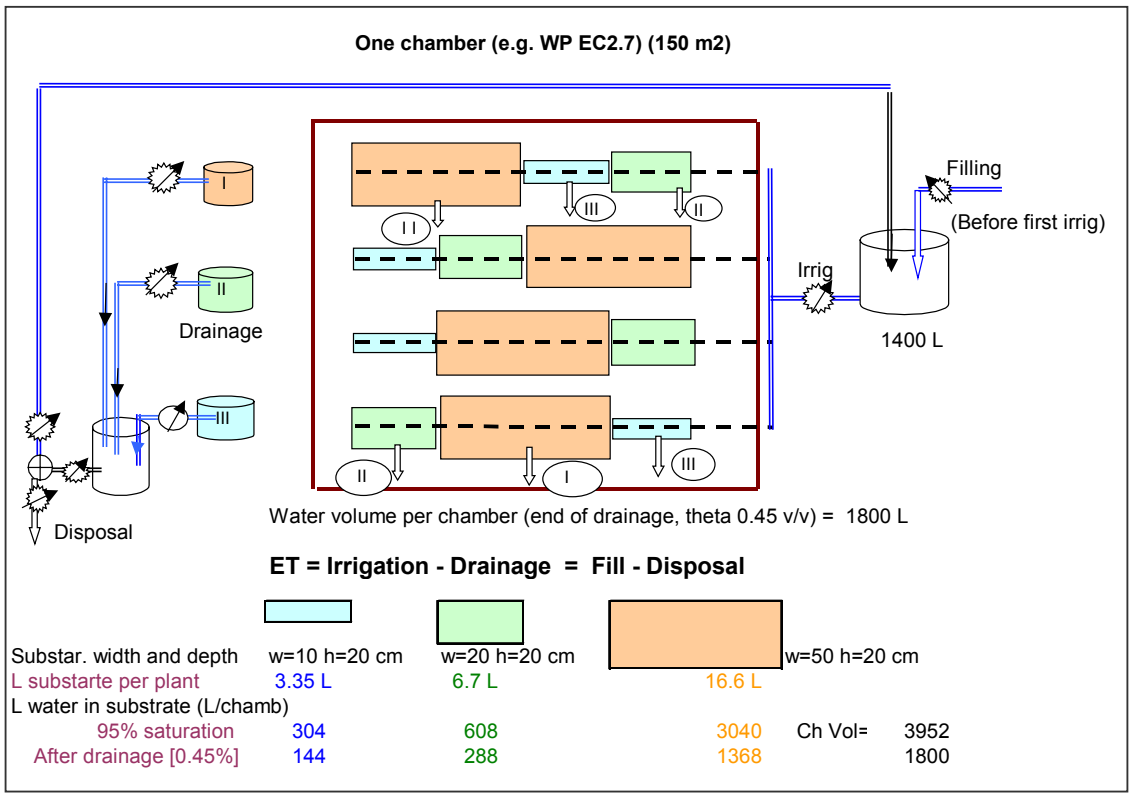
נפח המים לחדר היה 3.4 מ״ק (1.4 במיכל תפעול חיצוני ו- 2.0 מ״ק במצע לאחר גמר הניקוז הלילי) [ערך θ במצע לאחר גמר ניקוז {12 ש׳} היה 0.45 v/v וב- 95% רוויה - 0.95 v/v]. מערכת ההשקיה כללה שתי שלוחות לערוגה בכל הטיפולים. הטפטפות היו אל נגר מווסת, 0.15 מ׳ בין הטפטפות וספיקה 1.6 ל׳/ש׳. מי הנקז בכל טיפול נאספו באמצעות מרזב פוליפרופילן במיכל איסוף שקוע בנפח 200 ל׳. משאבות טבולות שהופעלו על ידי מצוף הזרימו את מי נקז למיכל התפעול, או בשעת הדחה, אל מחוץ למערכת (מי הדחה). מדי מים מדדו את נפח מי ההשקיה (מי טפטפת), מי הנקז, מי ההדחה ותמיסת המילוי (מי רשת בתוספת דשן) (איור 1). תמיסת

טבלה 1. פרוט הטיפולים והערכים הממוצעים של הטמפרטורה, הלחות היחסית והקרינה הגלובלית היומית במשך שעות האור (בלבד) על פני כל תקופת הניסוי. הערכים המובאים הם ממוצעי מדידות מעל גובה הנוף ובגובה מרכז השיחים
(RV = Roof ventilation; FG = Fogging [leaf wetting]; WP = Wet pad)

Tr Ch Clim EC Sub	Clim. regime	Thres EC (dS/m)	Subs width (cm)	Air T (^oC)	RH (%)	Daily radiat. (MJ/m^2)
1 RV 5.5 50	RV	5.5	50	22.9	65	-
2 FG 2.7 50 2 FG 2.7 20 2 FG 2.7 10	FG	2.7	50 20 10	22.9	69	9.25
3 RV 2.7 50 3 RV 2.7 20 3 RV 2.7 10	RV	2.7	50 20 10	22.9	68	10.01
4 FG 4.0 50 4 FG 4.0 20 4 FG 4.0 10	SH	4.0	50 20 10	23.2	69	9.95
5 RV 4.0 50 5 RV 4.0 20 5 RV 4.0 10	RV	4.0	50 20 10	22.9	66	9.67
6 WP 2.7 50 6 WP 2.7 20 6 WP 2.7 10	WP	2.7	50 20 10	22.5	69	9.94
7 WP 4.0 50 7 WP 4.0 50 7 WP 4.0 50	WP	4.0	50 20 10	22.6	69	9.79

המילוי הוספה למיכל התפעול מדי יום לפני ההשקיה הראשונה, לאחר שכל הנקז הלילי הוחזר אליו. ההחזר בתנאים אלה היה שווה ל- ET פלוס נפח המים שהודחו ביום הקודם. ריכוז המזינים בתמיסת המילוי הותאם לתצרוכת ביום הקודם גם הוא. אחת לשבוע בוצע תיקון בריכוזי המזינים בתמיסה על סמך תוצאות בדיקות המעבדה. מנת ההשקיה היומית היתה שווה לחמש פעמים ET נמדדת; מספר ההשקיות ליום נקבע כמנת ההשקיה

היומית (מבוטאת ב- מ״מ) חלקי 2 מ״מ (מנת מים להשקיה בודדת המבטיחה שטיפת מלחים מכל נפח המצע). תדירות ההשקיה בפועל נעה בין 8 ל- 15 השקיות ליום, מפוזרות בין הזריחה לשקיעה. מי טפטפת , מי נקז ותמיסת המילוי נדגמו בכל הטיפולים מדי יום במשך 24 ש׳ לתוך כלי סגור שחור ולמחרת נמדדו בהם ה- pH וה-



איור 1. תאור סכמטי של מערכת המיחזור בכל אחד משבעת התאים בחממת האקלים

EC. פעם בשבוע נעשתה בתמיסה אנליזה לקביעת הריכוז של כל היונים הרלבנטיים. N (אמוניקלי וחנקתי), P ו- SO_4 נבדקו באוטואנלייזר; Cl בכלורידומטר; B, Ca, Mg, Fe, Zn ו- Mn בבליעה אטומית, Na ו- K בפוטומטר להבה ודו-פחמה בטיטרציה. אנליזות כימיות של חומר צמחי (עלים,

גבעולים ופרחים) בוצעו לאחר יבוש, טחינה ועיכול של החומר היבש בחומצה (קטיונים בחומצה חנקתית + ח׳ פרכלורית, השאר בחומצה גופרתית + מי חמצן); ה- Cl באברי הצמח נמדד במיצוי מימי של הרקמה היבשה.

תוצאות ודיון:

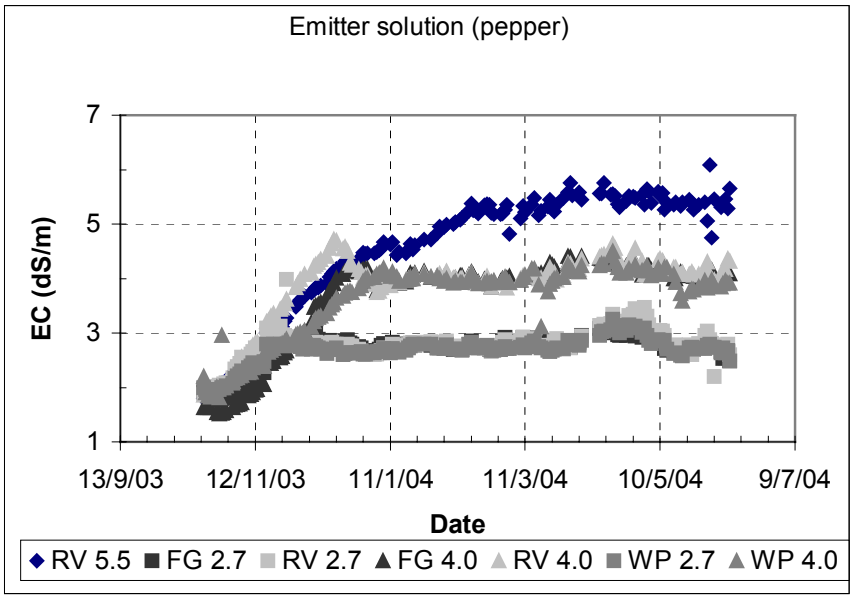
תנאי האקלים בטיפולים השונים.

טיפולי ה- EC לא השפיעו באופן משמעותי על הלחות היחסית או על טמפרטורת האויר (נתונים מפורטים אינם מוצגים). מיצוע כל הנתונים הראה שהלחות היחסית הממוצעת לעונה כלה בטיפול אוורור גג (RV) ירדה עם עלית סף ה- EC (68%, 66%, 65% בטיפולים 2.7, 4.0 ו- 5.5 דצ״ס/מ׳ בהתאמה, טבלה 1) בעוד שבמזרן לח (WP) ובהתזה (FG) ה- EC לא השפיע כלל והלחות הממוצעת במשך שעות האור היתה 69%. השוואת טיפולי האקלים מראה שבמשטר RV הלחות היחסית היתה נמוכה יחסית לטיפולי FG ו- WP והערכים הממוצעים היו 66.5%, 69 ו- 69%, בהתאמה. השפעת משטר הצינון על טמפרטורת האויר הממוצעת היתה זניחה (טבלה 1). הקרינה הגלובלית בכל החדרים היתה זהה עם ממוצע עונתי של 9.7 $MJ\ m^{-2}$ ליום.

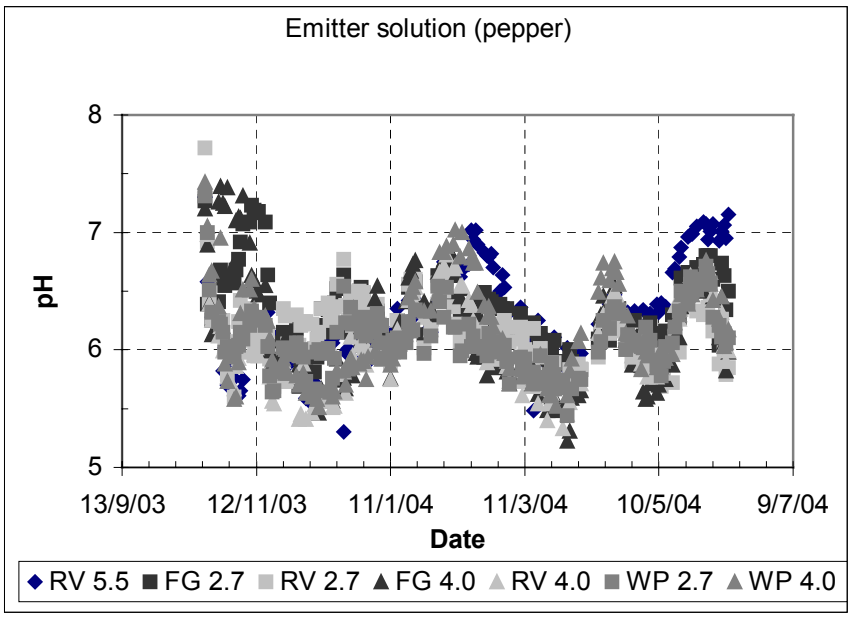
איפיון התמיסות המסוחררות.

ערך הסף להדחת תמיסות בטיפול 2.7 EC דצ״ס/מ׳ נשמר החל מאמצע דצמ׳ 2003 ועד לסיום הניסוי עם סטיות של ±0.3 דצ״ס/מ׳ מערך המטרה. בטיפול 4.0 EC דצ״ס/מ׳ ערך הסף התייצב בתחילת ינואר 2004 והסטיות היו ±0.3 דצ״ס/מ׳. בטיפול 5.5 EC דצ״ס/מ׳ ערך הסף הושג באמצע פברואר 2004 והתנודות ב- EC היו ± 0.5 דצ״ס/מ׳ (איור 2). ההפרש בין ה- EC בטפטפת ובנקז בטיפולים השונים לא עלה על 0.5 דצ״ס/מ׳, עובדה המעידה על השקיה מספיקה שמנעה הצטברות מלחים במצע. המחזוריות ב- pH (איור 3) נבעה מתנודות עונתיות בריכוז האמון והחנקה בתמיסה המסוחררת (תוצאות מפורטות אינן מוצגות): כאשר ה- ET היתה נמוכה (נובמבר-ינואר) קצב העליה ב- EC ירד, התמיסות הוחלפו לעתים רחוקות יותר, משך הזמן לניטריפיקציה לפני חידוש האמון עלה, ריכוז האמון בתמיסה ירד וריכוז החנקה עלה. עליות ב- pH מעל 7 גרמו לירידות בשיעור של כ- 30% ו- 70% בריכוזי P ו- Mn, בהתאמה, בהשוואה לריכוזי המטרה; בשאר המזינים ריכוזי המטרה נשמרו קבועים עם הזמן (תוצאות מפורטות אינן מוצגות). בכל טיפול אקלים ריכוז האמון בתמיסה המסוחררת עלה עם ירידת סף ה- EC וה- pH ירד (איור 3). הדבר נבע מכך שכל שסף ה- EC היה גבוה יותר תדירות הוספת התמיסות הטריות (המכילות ריכוז גבוה של אמון) יורדת, חלק האמון העובר ניטריפיקציה גדל, וריכוזו הממוצע עם הזמן בתמיסה יורד.

היונים העיקריים שהצטברו בתמיסה ושגרמו לעליה במליחות היו Na ו- Cl (טבלה 2). ריכוזיהם בטיפול סף 5.5 דצ"ס/מ' במשך ארבעת החודשים האחרונים לגידול היו 640 ו- 1180 מ"ג/ל', בהתאמה. הצטברו גם Ca, Mg, SO_4 ו- B. יונים אלה לא צריך איפה להוסיף בדשן.



איור 2. EC במי הטפטפת כתלות בטיפול ובזמן. מדידות יום-יומיות בתמיסות שנאספו במשך 24 שעות. ההבדל בין ה- EC במי הטפטפת והנקז היה קטן צמיד מ- 0.5 דצ"ס/מ'



איור 3. pH במי הטפטפת כתלות בטיפול ובזמן. מדידות יום-יומיות בתמיסות שנאספו במשך 24 שעות

טבלה 2. ריכוז היונים שהצטברו בתמיסה בטיפולי סף ה- EC (ממוצעי שלושת טיפולי הצינון). התוצאות הן מיום 18/5/04. הריכוזים במי ברז מוצגים אף הם.

Threshold EC (dS/m)	Elements accumulating in recycled solutions					
	Cl	SO_4	B	Na	Ca	Mg
	Last 4 months means, mg/L					
2.7	455	85	0.20	263	76	40
4.0	775	165	0.23	510	112	57
5.5	1180	216	0.23	640	142	78
Fresh water	180	45	0.1	124	48	26

יבול ואיכות.

צינון במזרן לח (WP) נתן יבול כללי ויבול סוג **A** שהיו גבוהים ב- 5% וב- 10% מאלה שהתקבלו בטיפול אוורור גג (RV) בלבד (ממוצע נפחי המצע וה- EC). תוספת היבול בהשוואה לטיפול ההתזה (FG) היתה 15% ו- 26%, בהתאמה. הגדלת היבול הושגה הודות לעליה בגודל הפרי הממוצע. המזרן הלח הוריד את אחוז הפירות שהיו נגועים בשחור פיטם בהשוואה לטיפול אוורור גג בלבד (טבלה 3).
מצע ברוחב 50 ס"מ (16.6 ל'/צמח) נתן יבול מצטבר גבוה יותר מאשר מצע ברוחב 20 או 10 ס"מ (6.7 ו- 3.3 ל'/צמח), שלא נבדלו זה מזה. במקרה זה תוספת היבול הושגה הודות להגדלה במספר הפירות כך שגודלם לא השתנה. נפח המצע לא השפיע על שיעור הנגיעות בשחור פיטם (טבלה 3).
העלאת סף ה- EC מ- 2.7 ל- 4.0 דצ"ס/מ' (ממוצע משטרי האקלים והנפחים) גרמה לירידה של 7% ביבול הכללי אך לא השפיעה על יבול סוג A או על גודל הפרי הממוצע בתאריך נתון. מעניין שהעלאת ה- EC הורידה באופן מובהק את שיעור הנגיעות בשחור פיטם (טבלה 3). הרחבת תחום ה- EC ל- 5.5 דצ"ס/מ' לא גרמה לירידה מובהקת ביבול או בגודל הפרי בהשוואה ל- 4.0 EC דצ"ס/מ' וגם לא השפיעה על הנגיעות בשחור פיטם. השוואה זאת אפשרית רק בתנאים של אוורור גג וברוחב מצע של 50 ס"מ. סביר להניח שבנפח מצע קטן יותר ההשפעה השלילית של סף 5.5 EC על היבול היתה באה לידי ביטוי. היבול המרבי בניסוי התקבל בטיפול בעל נפח מצע 50 ס"מ וסף EC של 2.7 dS/m (טבלה

3). בתנאים אלה לא היה הבדל משמעותי ביבול בין טיפול מזרן לח וטיפול אוורור גג בלבד (תוצאות מפורטות אינן מוצגות).

פונקצית היבול הכללי כתלות בזמן מלמדת שהיתרון של נפח המצע הגדול החל להתבטא כבר באמצע פברואר (כ- 60 יום מתחילת הקטיף), בעוד שהירידה ביבול בטיפול ההתזה בהשוואה למזרן לח או אוורור גג החלה בסוף חודש מרץ (איור 4). השפעת טיפולי ההצינון והזמן על יבול סוג A (איור 5) היתה דומה להשפעתם על היבול הכללי. המשקל המצטבר של פרי בגודל מתאים לשווק והנגוע בשחור פיטם זינק מ- 80 ג'/צמח ב- 27.4 ל- 280

טבלה 3. יבול פלפל ומרכיביו כתלות במשטר הצינון, רוחב מצע הגידול וה- EC. התוצאות מציינות יבול כללי, יבול סוג A ומשקל פירות שהיו נגועים בשחור פיטם [BER] בגודל מתאים לשווק [M] (ערכים מצטברים לכל אורך תקופת הקטיף 16.12.03 - 1.6.04); נתוני משקל פרי סוג A ו- % פירות נגועים בשחור פיטם מתיחסים לקטיף מיום 1.6.04. התוצאות המלאות מהן חושבו הממוצעים שבטבלה אינן מוצגות, אך ניתנים הערכים שהתקבלו בטיפול שנתן את היבול המירבי בניסוי (Max).

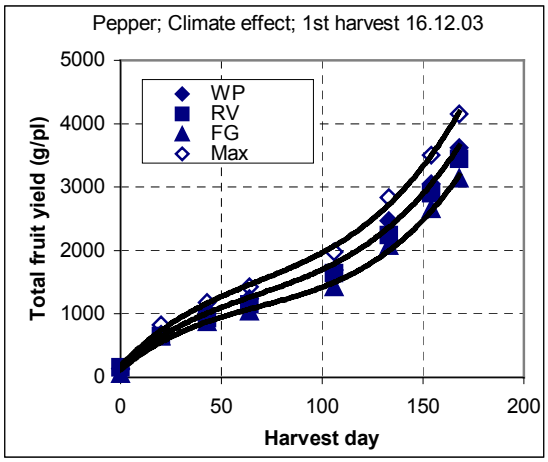
Main factor effects		Cumulative			1.6.04	
Variable average		Total Yld	A yield	M size BER	A Frt wt	BER
		g/pl			g/fruit	% total num
Climate	WP	3622 a	2559 a	381 b	176 a	32 c
	RV	3446 b	2324 b	498 a	157 b	47 a
	FG	3138 c	2030 c	417 b	159 b	41 b
Subst. width	*50*	*3774 a*	*2676 a*	*446 ns*	*164 ns*	*39 ns*
	20	*3227 b*	*2077 b*	*439 ns*	*162 ns*	*41 ns*
	10	*3151 b*	*2100 b*	*420 ns*	*164 ns*	*41 ns*
EC	2.7	3517 a	2291 ns	481 a	167 ns	50 a
	4.0	3277 b	2305 ns	379 b	162 ns	31 b
EC RV 50	*2.7*	*4087 a*	*2951 a*	*512*	*164 ns*	*51 ns*
	4.0	*3553 b*	*2492 b*	*437*	*157 ns*	*39 ns*
	5.5	*3537 b*	*2334 b*	*536*	*149 ns*	*40 ns*
Max WP 50 2.7		4151	2924	475	178	33

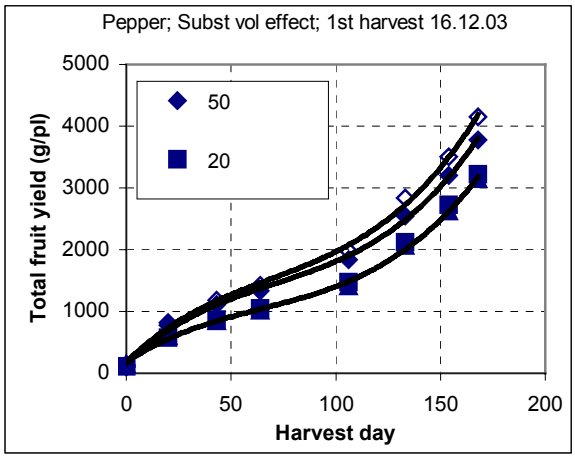
ג'/צמח ב- 18.5.04. העליה במשקל הפרי הנגוע ב- BER המשיכה בקצב דומה עד תחילת יוני (איור 5). הקפיצה בשיעור הנגיעות קשורה לעליה חזקה בטמפרטורה וירידה בלחות היחסית למשך 10 רצופים ימים החל ב- 29/4/04 (נתוני אקלים מפורטים אינם מוצגים). הגורם העיקרי שהשפיע על הנגיעות

בשחור פיטם היה משטר הצינון (הנגיעות המזערית היתה בטיפול WP) ולכן מוצגת בזאת השפעת גורם זה כתלות בזמן בלבד.

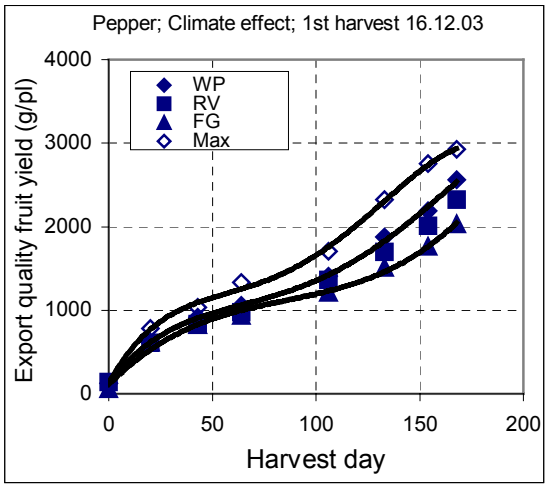
ריכוז יסודות בעלים.

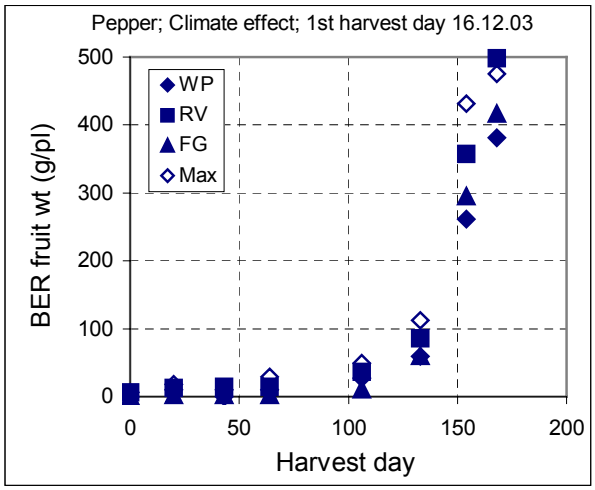
משטר הצינון השפיע על ריכוז כל היסודות שנבדקו בעלים זולת N. מזרן לח העלה ריכוז P, Ca, Mg, Zn בהשוואה לאוורור גג (טבלה 4). תנועת יסודות אלה אל פני השורש מבוססת במידה רבה על דיפוסיה, וזו תלויה





איור 4. יבול פירות כללי כתלות בזמן. מימין: השפעת נפח המצע (ממוצעי אקלים ו- EC). משמאל: השפעת
משטר האקלים (ממוצעי נפח מצע ו- EC). כרפרנס ניתן גם הטיפול שנתן את היבול המרבי בניסוי (WP 50 cm 2.7 dS/m).





איור 5. השפעת הזמן (ממועד הקטיף הראשון, 16.12.03) וטיפולי האקלים (ממוצע נפחי מצע ו- EC) על יבול סוג A (שמאל) ומשקל הפירות הנגועים בשחור פיטם (ימין). כרפרנס ניתן גם הטיפול שנתן את היבול המרבי בניסוי (WP 50 cm 2.7 dS/m).

בתכולת הרטיבות (θ) במצע. הקטנת הדיות על ידי מזרן לח שומרת על θ ממוצעת גבוהה יותר עם הזמן וזו אולי הסיבה לעליה בקליטה. טיפול התזה העלה ריכוז Na והוריד ריכוז K בעלים; הקטנת נפח המצע העלתה את ריכוז K והורידה את ריכוז Zn בעלים. העלאת סף ה- EC הורידה את ריכוז K בעלים והעלתה את ריכוז ה- Ca וה- Mg בהם (טבלה 4). ריכוז היסודות בסוף מרץ בטיפול שנתן יבול כללי מרבי לא היו שונים באופן משמעותי מהריכוזים הממוצעים המסוכמים בטבלה 4. יוצא הדופן הוא K שריכוזו (8.6%) בטיפול המיטבי היה גבוה באופן משמעותי מהריכוזים האחרים בטבלה (7.2 עד 8.2%).

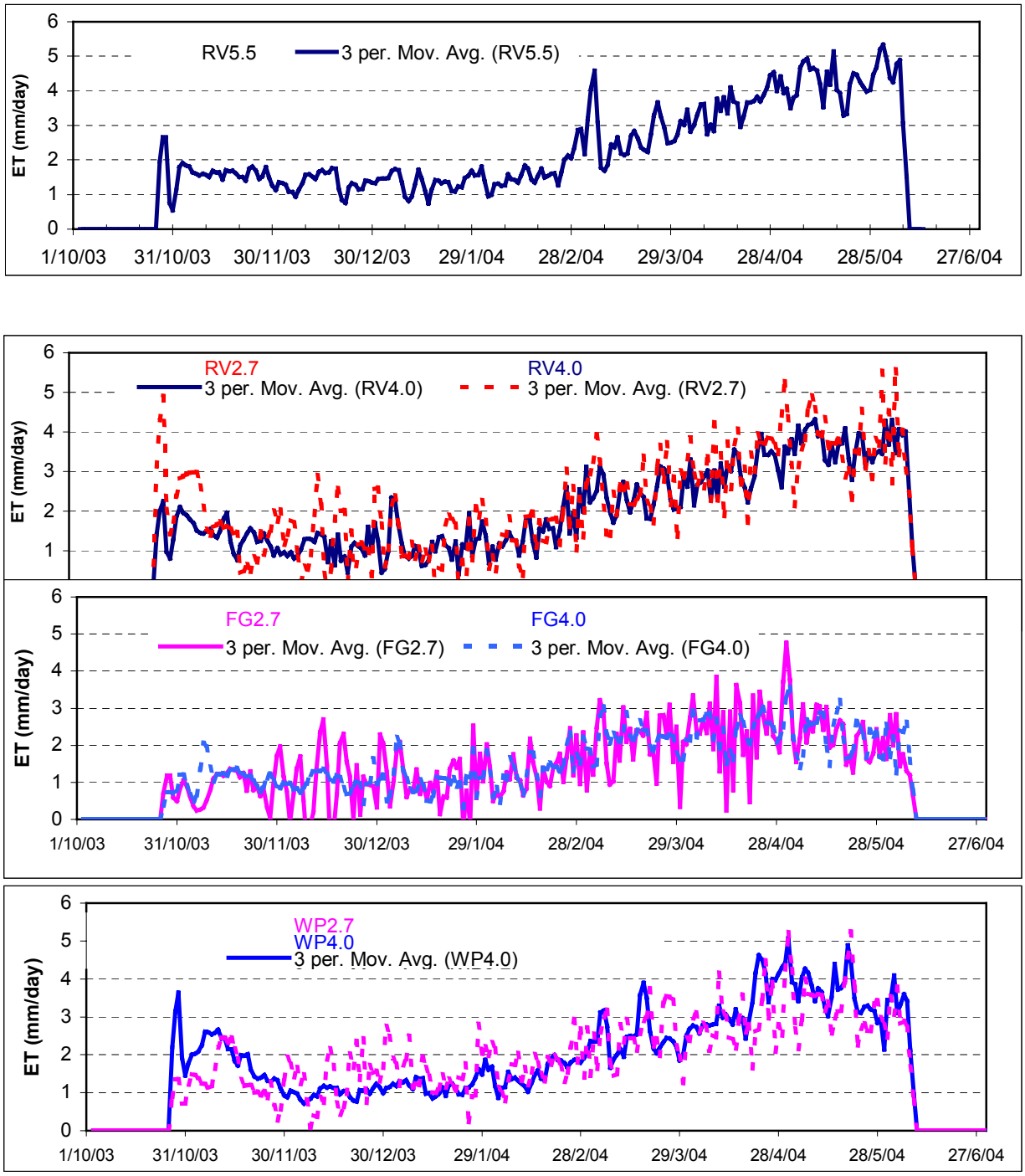
טבלה 4. ריכוז יסודות בעלי צמח פלפל בסוף חודש מרץ (כלל העלים). מוצגים ממוצעי הטיפולים והניתוח הסטטיסטי. היבול המרבי התקבל בטיפול WP, 2.7 דצ"ס/מ', 50 ס"מ רוחב מצע.

		%N	%P	%K	%Ca	%Mg	%Na	%Cl	Fe	Zn	Mn
										mg/kg	
Clim	WP	3.7	0.37 a	8.2 a	3.4 a	1.1 a	1.05 b		466 c	115 a	348
	RV	3.8	0.34 b	8.2 a	3.1 b	1.01 b	1.07 b	Not	754 a	107 c	344
	FG	3.9	0.34 b	7.3 b	3.1 a	1.12 a	1.2 a	anal-	528 b	110 b	335
Vol	50	3.7	0.35 *ns*	7.7 *b*	3.3 *a*	1.09 *ns*	1.07 *b*	*yzed*	615 *ns*	121 *a*	346
	20	3.8	0.36 *ns*	7.9 *ab*	3.1 *b*	1.06 *ns*	1.1 *a*	*yet*	592 *ns*	102 *b*	334
	10	3.8	0.35 *ns*	8.2 *a*	3.2 *ab*	1.06 *ns*	1.14 *a*		564 *ns*	107 *b*	346
EC	2.7	3.8	0.34 ns	8.1 a	3.1 b	1.03 b	1.13 a		594 ns	100 c	343
	4	3.8	0.36 ns	7.8 ab	3.3 ab	1.11 a	1.09 ab		577 ns	119 b	339
	5.5	3.6	0.33 ns	7.3 b	3.4 a	1.13 a	0.95 b		704 ns	127 a	369
Max yield		3.7	0.37	8.6	3.3	1.05	1.05		500	111	347
		Anova									
Av all		3.8	0.35	7.9	3.2	1.07	1.1		592	110	342
F Clim		ns	5.5**	31***	5.3**	11.8***	21***		35.8***	3*	ns
F Vol		ns	ns	7.6**	3.2*	ns	4.8*		ns	11***	ns
F EC		ns	ns	5.8**	7.2**	7.7**	8**		ns	16***	ns
F Clim*EC		ns	ns	ns	6.1**	3.1*	ns		ns	9.3***	ns
F Vol*EC		ns	ns	3.3*	ns	ns	ns		ns	ns	ns
F Clim*Vol		ns	ns	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns
F Cl*Vo*EC		ns	ns	ns	ns	ns	ns		ns	ns	ns

אבפוטרנספירציה (ET).

ה- ET נעה בין 1 מ"מ/יום בדצמ'-ינו' (ללא הבדל בין הטיפולים) ל- 4-4.5 מ"מ/יום במאי-יוני (איור 6). יש לזכור שבכל הטיפולים המוצגים באיור 50% משטח החדר היה תחת מצע ברוחב 50 ס"מ, 25% תחת מצע ברוחב 20 ס"מ ו- 25% תחת מצע ברוחב 10 ס"מ. בטיפולי אקלים RV ו- WP ה- ET המצטברת ב- 4.0 EC היתה נמוכה מה- ET המצטברת ב- 2.7 EC דצ"ס/מ'. שיעור הירידה היה 11% ו- 14% מהערך הממוצע, בהתאמה. מזרן לח הוריד את ה- ET המצטברת בהשוואה ל- RV (522

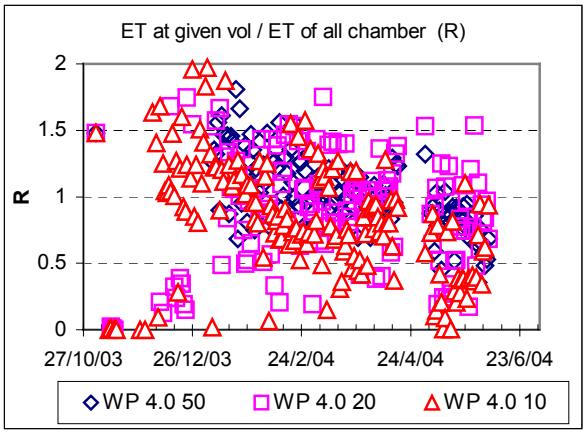
לעומת 469 מ״מ, ממוצע שתי רמות ה- EC) (טבלה 5). בטיפול ההתזה (FG) ה- ET המצטברת הממוצעת היתה 412 מ״מ אולם במקרה זה הירידה ב- ET נבעה לא רק משינויי האקלים בחדר אלא גם מירידה בגודל הצמחים כפי שניתן ללמוד ממשקל החומר היבש שלהם (טבלה 5). התוצאה לפיה ה- ET בטיפול EC 5.5 דצ״ס/מ׳ היתה המרבית בניסוי (איור 6 וטבלה 5)

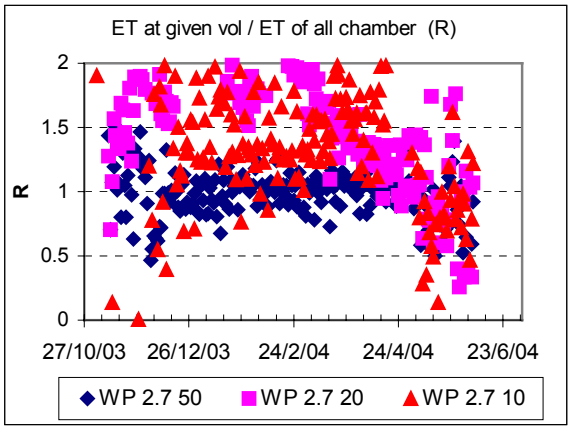


איור 6. אבפוטרנספירציה יומית בטיפולי האקלים וה- EC השונים.

נמצאת בהתאמה עם סך ייצור החומר היבש בטיפול זה בהשוואה לטיפולים האחרים (טבלה 5). יש לציין שבטיפול זה בלבד כל שטח החדר היה תחת מצע ברוחב 50 ס״מ, כך שבהשוואה לחדרים האחרים ה- ET מוטית כלפי מעלה.

השפעת נפח המצע על ה- ET היתה תלויה בסף ה- EC ובחודש הגידול: עד סוף מרץ, ה- ET בסף EC 2.7 דצ״ס/מ׳ ובמצע 20 ס״מ היתה גדולה בהשוואה למצע 10 ס״מ והאחרונה עלתה על ה- ET במצע 50 ס״מ. לאחר מועד זה ה- ET במצעים הצרים ירדה בהשוואה למצע 50 ס״מ, כנראה בגלל חוסר יכולת מערכת השורשים לספק לצמח מים בהתאם לדרישות המבלע האטמוספרי בעונה החמה (איור 7). באותו משטר אקלים (WP) אך בסף EC של 4.0 דצ״ס/מ׳ לא היה בשום שלב יתרון לנפחים





הקטנים; גם במקרה זה היתרון למצע 50 ס״מ החל

איור 7. השפעת נפח מצע הגידול (רוחב 10, 20 או 50 ס״מ, עומק 20 ס״מ) על ה- ET במהלך הניסוי. ההשפעה מבוטאת כיחס (R) בין ה- ET היומית בנפח מצע נתון חלקי ה- ET בחדר השלם, הכולל את שלושת הנפחים. כאשר R>1 ה- ET בנפח המסוים גדולה מה- ET המשולבת (המשמשת כאן כרפרנס) וכאשר R<1 ה- ET קטנה מהרפרנס. ערכי R בנפחי המצע השונים מאפינים את ה- ET היחסיים שלהם. ההשוואה נעשתה בטיפול מזרן לח (WP) ב- EC 2.7 דצ״ס/מ׳ (חדר מס׳ 6, מצד שמאל) וב- EC 4.0 דצ״ס/מ׳ (חדר מס׳ 7, צד ימין).

בסוף חודש מרץ.

מנת המים לייצור ק״ג חומר יבש (WUE, טבלה 5) היתה גבוהה יותר בטיפול RV (438 ל׳/ק״ג DM, ממוצע טיפולי ה- EC ונפחי המצע) מאשר בטיפולים WP ו- FG (394 ו- 385 ל׳/ק״ג, בהתאמה). תוצאות אלו מאששות את השערתנו שהגדלת הלחות בחממה (טיפולי WP ו- FG) מורידה דיות ללא פגיעה ממשית בייצור החומר היבש. הגדלת ה- EC מ- 2.7 ל- 4.0 דצ״ס/מ׳ בטיפול WP הקטינה ET ללא פגיעה בייצור סך החומר היבש (טבלה 5) ותוך פגיעה קטנה ובלתי מובהקת ביבול הפירות (תוצאות מפורטות אינן מוצגות). ה- WUE שהתקבל היה 363 ל׳/ק״ג DM.

צינון בהתזה גרם לירידה משמעותית ביבול כלל הפירות וביבול סוג A בהשוואה לטיפולי RV ו- WP (טבלה 3). מהסתכלות בצמחים הסתבר שהנזק נגרם כתוצאה מהצטברות מים בעלים ששוליהם

התקפלו כלפי מעלה. המים שנאצרו התאדו וריכוז המלחים הגבוה שנוצר יצר נקרוזות קשות שגרמו לתמותת עלים. עלים ישרים ללא קיפול לא ניזוקו מההתזה. טיפול ההתזה גם לא הביא לחיסכון משמעותי במים ולכן בזן שנבדק הוא לא מהווה אופצית צינון ריאלית.

טבלה 5. מאזן מים (ET מצטברת, סך תוספת מים וסך הדחת תמיסות) בטיפולים השונים, ייצור חומר יבש כללי ויעילות ניצול המים על ידי הצמחים (WUE) בתקופת הניסוי (28/10/03- 1/6/04).

Treatment	Cumulative ET mm	Fresh water Added mm	Disposed Water mm	Total DM[a] g/m^2	WUE[b] L/kg DM
1RV5.5	572	625	53	1290	443
5RV4.0	493	623	130	1109	444
3RV2.7	550	967	417	1285	428
7WP4.0	436	516	80	1202	363
6WP2.7	501	770	269	1178	425
4FG4.0	455	560	105	1040	437
2FG2.7	368	773	405	1100	334

[a] Leaves, stems and unripe fruits on bush on 30/3/04 plus all season (up to 1.6.04) cumulative harvested fruits. Harvested dry matter fruit wt was estimated as fresh fruit weight * fruit dry matter percentage which was assumed constant for all treatments (5.4%).
[b] Cumulative ET (Lm^{-2} ground until 10/6/04) divided by total DM production (kg m^{-2} ground)

צינון במזרן לח הביא לחיסכון בתשומות מים בהשוואה לצנון באוורור גג (516 לעומת 623 מ״מ בסף EC 4 דצ״ס/מ׳) ולהקטנת כמות המים שהודחה (80 לעומת 130 מ״מ) (טבלה 5). השוואה זאת אינה מביאה בחשבון את נפח המים שהתנדף בטיפול המזרן הלח (לא נותח לפי שעה).

העלאת סף ה- EC מ- 2.7 ל- 4.0 דצ״ס/מ׳ הביאה לחסכון משמעותי בתשומות המים (623 בהשוואה ל- 967 מ״מ בטיפול RV ו- 516 בהשוואה ל- 770 מ״מ בטיפול WP) ובתשומות החנקן (עדיין לא סוכם) ולהפחתה רצינית בהדחת תמיסה לסביבה (130 לעומת 417 ו- 80 בהשוואה ל- 269 מ״מ בטיפולים RV ו- WP, בהתאמה). לאור נתונים אלה יש לעשות ניתוח כלכלי מעמיק כדי לקבוע מהם תנאי העבודה האופטימליים במערכות למיחזור מים שיביאו בחשבון את היבול ואיכותו מחד ואת החיסכון במים ודשן מאידך.

חשיפות שורשים.

כזכור, צמצום נפח מצע הגידול מ- 16 ל- 6.6 או- 3.3 ל׳/צמח (50, 20 ו- 10 ס״מ רוחב מצע) היה מלווה בירידה מובהקת ביבול (ממוצעי טיפולי הצינון וה- EC). בבדיקת שורשים שנעשתה ביום 10/6/04 (טבלה 6) נמצא שמשקל השורשים הקולטים לצמח (ללא שורשים מעוצים) בטיפולים אלה ירד מ- 21

ל- 17 ול- 9 ג' חומר יבש לצמח, בהתאמה. הגדלת סף ה- EC לא השפיעה, ואולי אף הגדילה במשהו את משקל השורשים בעוד שמשטר הצינון לא השפיע על משקל השורשים לצמח. הגדלת משקל השורשים הקולטים עקב הגדלת נפח המצע יכולה להסביר את הירידה שנמצאה ביבול עם הקטנת נפח המצע מ- 16 ל- 6.6 ל'/צמח וכן את העובדה שהיבול בטיפול EC 5.5 דצ"ס/מ' בנפח 16 ל'/צמח לא נפל מהיבול בכל צרוף טיפולים אחר (טבלה 3). היתרון של הנפח הגדול משמעותי בעיקר בעונת הקיץ וכשיהיו בידינו כל התוצאות נוכל לכמת ממצא זה.

הגדלת תדירות ההשקיה יכולה לשפר קליטת מים ומזינים בצמחים שגדלים בתנאי עקה בנפח מצע מוגבל, אולם בניסוי הנוכחי תדירות ההשקיה באביב ובקיץ היתה כמעט המרבית האפשרית (כ- 15 השקיות ליום) ובכל זאת היה יתרון ברור לנפח המצע הגדול.

טבלה 6. משקל שורשים יבשים בטיפולים השונים ביום 1/6/04. היכן שה- s.d. אינו מצויין נבדקה חזרה אחת בלבד. טיפולי התזה (FG) לא נבדקו כלל.

Treatment	Dry root wt (g/pl) ± s.d.	Treatment	Dry root wt (g/pl) ± s.d.
WP 2.7 10	11.5 ± 0.5	RV 2.7 10	9
WP 2.7 20	14 ± 2.9	RV 2.7 20	10.5
WP 2.7 50	21.6 ± 1.7	RV 2.7 50	23.3 ± 3.8
WP 4.0 10	8.5	RV 4.0 10	9.3 ± 1.4
WP 4.0 20	23.7	RV 4.0 20	21.8 ± 0.5
WP 4.0 50	16.3	RV 4.0 50	23.1 ± 0.4
		RV 5.5 50	24.5
Means			
WP	15.9	2.7 dS/m	15.0
RV	17.4	4.0 dS/m	17.1
		5.5 dS/m	24.5
50 cm	21.1		
20 cm	17.5		
10 cm	9.5		

בתנאי הדיות המירבית (6 מ"מ ליום) קצב הקליטה הוא כ- 2 ל'/(צמח יום). אם הקליטה העיקרית נעשית במשך 4 ש' מקבלים קצב קליטה של 0.5 ל' לצמח לשעה. בפרלייט, θ לאחר סיום הניקוז המהיר (כחצי שעה מסיום ההשקיה) = 0.45 v/v. בטיפול מצע ברוחב 10 ס"מ (3.3 ל' לצמח) מלאי המים לצמח ברטיבות זאת הוא 1.5 ל'. הוצאת 0.5 ל' מים יכולה להוריד את θ באופן מאד משמעותי, לגרום לירידה חזקה במקדם המוליכות ההידראולית של המצע ולהאט את שטף תנועת המים והמזינים בכוון השורשים. במצע ברוחב כפול הבעיה פחותה אך בשעות שיא בקליטה יכולה להתעורר בעיה דומה גם שם. חישוב זה ומגבלת גידול השורשים פוסלים תעלת גידול ברוחב 10 ס"מ כאופציה בגידול פלפל בפרלייט בחממות בעלות מערכות השקיה סגורות.

ספרות:

בר-יוסף, ב., אירית לבקוביץ, ט. מרקוביץ. 2000. תגובת פלפל למיחזור מים ודשן בחממה. גן שדה ומשק אוקטובר עמ' 45-51.

כהן ש. וחובריו. 2002. מחזור מים בפלפל בתנאי הערבה, תחנת זוהר ותחנת יאיר. סיכום עונת 2001/2002, מו"פ ערבה. 10 עמ' (פורסם בדיסק)

Bar-Yosef, B., T. Markovich, Irit Levkovich. 1999. Pepper response to leachate recycling in a greenhouse in Israel. Acta Hortic 548:357-364.