

ממוצע טמפרטורה יומי ולחות יחסית כגורמים המשפיעים על יבולי העגבניות בבית רשת 50 מש בעונת הקיץ.

דני הראל, הדר פדידה, אליק סלפוי, ליאנה גנות, שלומי סלע, אבנר שלם, עמית שלו ומירון סופר -

מו"פ דרום

שלי גנץ, ליאור אברהם - שה"מ

שלמה אילני - מועצת הצמחים

קובי שלה - נען דן גיין

1. תקציר

צמחי עגבניה המגודלים במהלך הקיץ בגידול חסוי באזור הבשור סובלים פעמים רבות מעקת חום מתונה ומתמשכת הגורמת לפגיעה בתהליך החנטה ומכאן גם לפחיתה בכמות היבול וברווחי המגדל. לטמפרטורה יומית ממוצעת השפעה מכרעת בכל הקשור להתפתחות ותפקוד תקינים של האבקן וגרגרי האבקה בעגבניה. להפחתה, אפילו מתונה, של הטמפרטורה היומית הממוצעת יכולה להיות השפעה חיובית על תהליך החנטה וכמות היבול המתקבל. בניסוי זה מסוכמים נתונים משתי עונות ניסוי בהם נבחנה פעולת מערכת צינון בערפול על גידול עגבניות קיצי בבשור. מתוצאות הניסוי עולה כי טמפרטורה יומית ממוצעת של 26°C נמצאה כסף העליון להתפתחות תקינה של אבקה, חנטה ויבול בעגבניות הגדלות בבית רשת מסחרי במהלך חודשי הקיץ (יוני-אוגוסט) עליה של רמת הלחות היחסית מ-50% ל-70% השפיעה ככל הנראה באופן חיובי על חיוניות גרגרי האבקה. השפעת פעולת מערכת הערפול על נתוני האקלים בבית הרשת במהלך קיץ 2013 דומות מאוד לאילו שהתקבלו בקיץ 2012 עם הפחתה של $2-3^{\circ}\text{C}$ במהלך היום ביחס לטיפול הביקורת, מה שהביא להפחתה של כ- 1.5°C בערכי ממוצע הטמפרטורה היומי ועליה של 10%-40% בלחות היחסית לביקורת. אפשרות ליעול אופן ההפעלה של מערכת הצינון נידונה בחלקו האחרון של המאמר.

2. מבוא

טמפרטורה יומית ממוצעת מהווה ככל הנראה גורם בעל השפעה מכרעת בכל הקשור להתפתחות ותפקוד תקינים של האבקן וגרגרי האבקה בעגבניה. עבודות שבחנו את הקשר בין טמפרטורה יומית ממוצעת להנבת עגבניות מצאו כי בטמפ' ממוצעת של 29°C מספר הפירות, אחוז החנטה ומשקל הפרי פוחת ביחס לטמפ' ממוצעת של 25°C וזאת עקב פגיעה התפתחות האבקנים ובחיוניות האבקה (Sato et al. 2002, 2006; Pressman et al. 2002). פגיעה זו בשלב הרפרודוקטיבי עלולה לגרום לפחיתה בהנבה במהלך גידול מסחרי קיצי ומכאן גם לפגיעה ברווחי המגדל. משתנה אקלימי נוסף המשפיע על תפקוד גרגרי האבקה ומכאן גם על כמות היבול הוא הלחות היחסית (RH%). לחות יחסית בטווח של 50%-70% נחשבת אופטימלית להאבקת עגבניות בעוד עליה של ערכי הלחות היחסית אל מעבר ל-90% מגדילה את רגישות גרגרי האבקה לעקת חום (Peet et al. 2002).

למרות ששטחי עגבנייה נרחבים גדלים במהלך הקיץ במבנים בתנאי עקת חום תוך פגיעה בתהליך ההפריה, רובם המוחלט של הניסויים שבחנו את הנושא נערכו בתנאי מעבדה ותאי גידול עם צמחים שגודלו בד"כ במשך זמן קצר יחסית. עובדה זו מעלה את חשיבותם של ביצוע ניסויי שדה בתנאי גידול מסחריים במהלכם יבחנו אמצעי צינון הנגישים כיום למגדלים תוך הדגשת תפקודו של הצמח ויכולתו להניב בתנאים אלה. כיום מוצעות ע"י מספר יצרנים מערכות לצינון חלל בית הצמיחה באמצעות ערפול (צינון התנדפותי). מערכות אלו עושות שימוש במערפלים המפזרים טיפות בגודל 30-90 מיקרון

בלחץ הפעלה של 4 אטמוספרות והן זולות יחסית לרכישה וכוללות רכיבים פשוטים המיועדים לעבודה בלחצי קו רגילים.

מתוצאות ניסוי שנערך במהלך קיץ 2012 בחבל הבשור עולה כי מערכת ערפול בלחץ נמוך המותקנת בבית רשת הפועלת על רקע איוורור טיבעי בלבד, מסוגלת להפחית את עוצמת עקת החום המופעלת על צמחים ע"י הפחתת ממוצע הטמפ. היומי בכ- 1.5°C במהלך החודשים יולי אוגוסט, תוך שיפור איכות גרגרי האבקה ואחוזי החנטה ובתנאי שהלחות היחסית ההתחלתית בבית הגידול לא גבוהה מ-65% -60% (Harel et al. 2013; הראל וחוב' 2013)

במאמר זה מסוכמות שתי עונות ניסוי צינון ע"י מערכות ערפול של גידול עגבניות קיצי בבית רשת באזור הבשור תוך מתן דגש להשפעת הטמפרטורה היומית הממוצעת והלחות היחסית על איכות האבקה, החנטה והיבול.

3. חומרים ושיטות

3.1 גידול הצמחים

הניסוי בוצע בחוות הבשור (104 מ' מעל פני הים, $31^{\circ} 16' \text{ E}$, $34^{\circ} 23' \text{ N}$). נשתלו שתילי עגבניה (*Lycopersicon esculentum* Mil.) מזן 1125 באדמת חול מקומית, בתוך בית רשת מכוסה רשת נגד חרקים 50 מש. שתילת עונת 2012 בוצעה ב-15/5/12 ושתילת עונת 2013 בוצעה ב-25/5/13. בית הרשת בו נערך הניסוי נבנה עם גגות בעלי שיפועים כפולים ומרזבים בגובה 4 מטרים. עומד השתילה 2,200 צמחים/דונם. ההדשיה בוצעה כמקובל באזור, באמצעות מערכת טפטוף (1.6 ל"ש/ש), שתי שלוחות לערוגה ודשן מינרלי מורכב (שפר 8: 2: 4). הצמחים בשטח המצונן הושקו במנת מים קטנה בכ- 20% יחסית לצמחי חלקת הביקורת, בגלל תוספת המים שניתנה במהלך הפעלת הערפול. הניסוי כלל שני טיפולים: חלקה מצוננת כמתואר להלן וחלקת ביקורת, שגודלה באותם תנאים אולם ללא שימוש באמצעי צינון כלשהו. כל חלקה בגודל כ- 700 מ"ר. משך הזמן מחנטה ועד קטיף 40 ימים בממוצע.

3.2 מערכת הערפול

צינון המבנה בוצע בעזרת מערכת ערפול בלחץ נמוך מתוצרת "נען-דן-גיין". המערכת כללה בקר ייעודי (טל גיל ישראל -Fog-control), מיכל, משאבה שייצרה לחץ קו של 4 אטמוספרות ומערכת שלוחות ומערפלים (נען-דן-גיין Super fogger) המייצרים טיפות בטווח הגדלים 30-90 מיקרון, שהותקנו בבית הרשת. המרחק בין שלוחות הערפול היה 2.66 מ', והמרחק בין המערפלים בתוך שלוחה 1.5 מ'. ספיקת כל מערפל 13 ל"ש/ש.

המערכת השתמשה במי שתייה ממערכת הספקת המים של מקורות, המורכבים ממים מותפלים בתוספת מי קידוחים (טבלה 1). הערפול הופעל בשעות היום בלבד ונקודת הסף להפעלת המערפלים נקבעה ל- 30°C בעונת 2012 ול- 32°C בעונת 2013 (טמפרטורת אוויר בגובה נוף הצמחים). טמפרטורה של 28 מ"צ נקבעה כסף תחתון שבו הופסק הערפול במבנה. בעונת 2012 הופעלה המערכת החל מ-1.6.12, כשבועיים לאחר השתילה. פעולתה הופסקה ב-11.9.12. בעונת 2013 הופעלה המערכת החל מ-2.6.13, כשבועיים לאחר השתילה. פעולתה הופסקה ב-11.9.13. בהתאם לתנאי הסף, ועל בסיס ניסוי טעייה ונתוני לחות יחסית שנמדדו בתוך המבנה הופעלו פולסים של ערפול באורך 3 שניות, במרווחים של 15 שניות בין הפולסים בעונת 2012 ו 12 שניות הפרש בין הפולסים בעונת 2013. תנועת האוויר בשני הטיפולים הייתה פסיבית, ללא שימוש במאווררים או מסחררים.

טבלה מס' 1 : איכות מי מערכת הצינון

EC	PH	Cl	Ca	CaCO3	Mg
(ds/m)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0.5	7.2	68	32	110	7.31

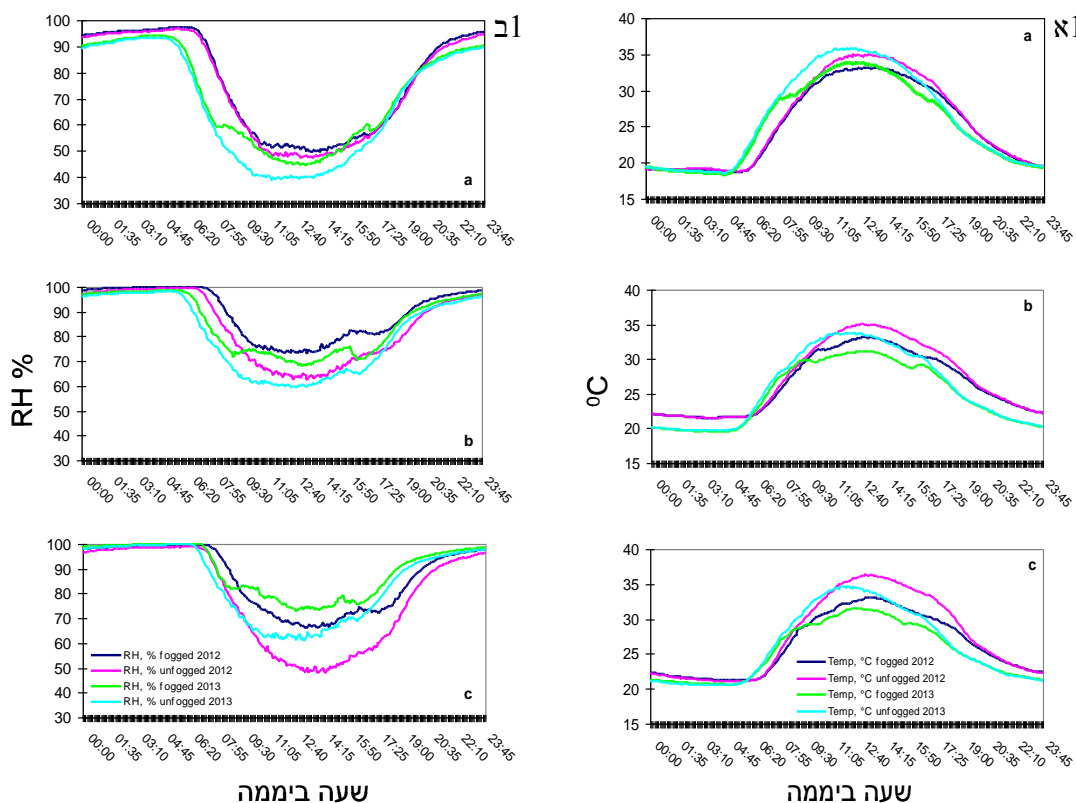
3.3 איסוף אקלים נתוני צמח, יבול וניתוח הנתונים

נתוני טמפרטורת אוויר ולחות יחסית בבית הגידול בגובה 1.5 מ' מהקרקע (גובה הנוף או מעט מעליו) נמדדו באמצעות חישני "הובו" ZW-003 RH/Temp data loggers (Onset Computer Corporation, Bourne, MA). במהלך הניסוי נאספו נתוני כמות ואיכות פרי כללי ובאיכות יצוא, גודל פרי, שחור פיטם, סדקים ואיכות חיי מדף של הפרי לאחר הדמיית אחסון. בנוסף, נאספו במהלך הגידול נתוני איכות האבקה ואחוזי חנטה. הבדלים באיכות גרגרי האבקה בין הטיפול הצינון והביקורת נבחנו במבחן t ברמת מובהקות $p=0.05$. המתאם בין ערכי הלחות היחסית למדדי איכות האבקה נבחנו במבחן F ברמת מובהקות $p=0.05$. (תוכנת JMP 8).

4. תוצאות

4.1 ממוצע חודשי טמפרטורות ולחות יחסית לאורך היממה.

טמפרטורת אוויר חודשית ממוצעת לאורך היממה בכל אחד מהטיפולים מוצגת באיור 1: (a) נתוני יוני, (b) נתוני יולי, (c) נתוני אוגוסט. השוואה של נתוני הטמפרטורה בין שתי הטיפולים מראה הפחתה של $2-4^{\circ}\text{C}$ בהשפעת מערכת הערפול בשעות היום בשתי עונות הניסוי. טמפרטורות שעות הלילה זהות בשתי הטיפולים.



איור 1.1 (א) טמפרטורת אוויר חודשית ממוצעת לאורך היממה בכל אחד מהטיפולים. (ב) לחות יחסית חודשית ממוצעת לאורך שעות היממה (a) נתוני יוני, (b) נתוני יולי, (c) נתוני אוגוסט. Unfogged - צינון. Fogged - ביקורת.

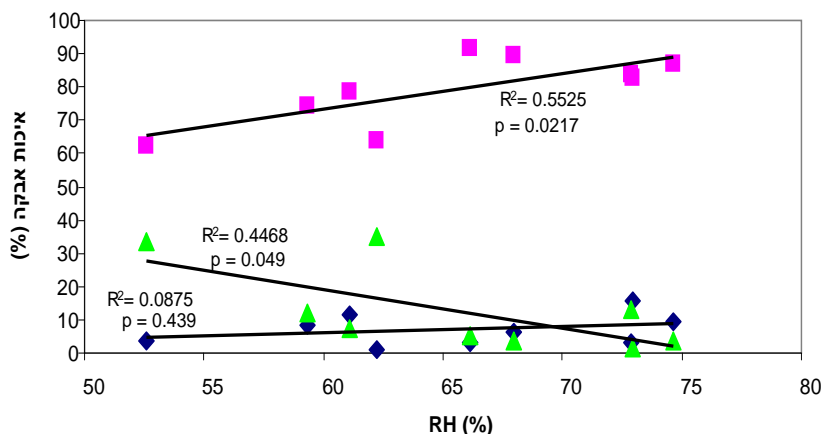
איור 1ב מציג את נתוני הלחות היחסית בתוך בית הגידול בשתי הטיפולים. הערכים הם ממוצע חודשי לאורך שעות היממה בחודשים: (a) יוני, (b) יולי (c) אוגוסט. בחלקות המצוננות העלתה מערכת הערפול את ערכי הלחות היחסית ב-10% במהלך יוני ועד בכ-40% באוגוסט בהשוואה לחלקות הלא מצוננות.

4.2 השפעת הלחות היחסית על ממדי איכות אבקה
 בטבלה 2 מוצגים תוצאות בדיקות איכות האבקה ממועדים שונים במהלך שתי עונות הניסוי. קבוצת הגרגרים החיוניים והגרגרים שנבטו כוללות גרגרי אבקה חיים שנבטו או בעלי פוטנציאל לנבוט. גרגרי אבקה לא חיוניים הם למעשה גרגרי אבקה מתים. תחת טיפולי הצינור שופרה חיוניות האבקה בהשוואה לטיפול הביקורת בחודשים יולי 2012 ($p=0.0018$), אוגוסט 2012 ($p=0.0002$), ספטמבר 2012 ($p=0.0001$) ויולי 2013 ($p=0.0057$). כמות האבקה הלא חיונית פחתה במקביל. אחוזי נביטת האבקה לא הושפעו ברוב המקרים מהטיפול.

טבלה 2. השוואת נתוני איכות אבקה בין הטיפולים. אותיות שונות מראות שונות מובהקות בין הנתונים ($p>0.05$).

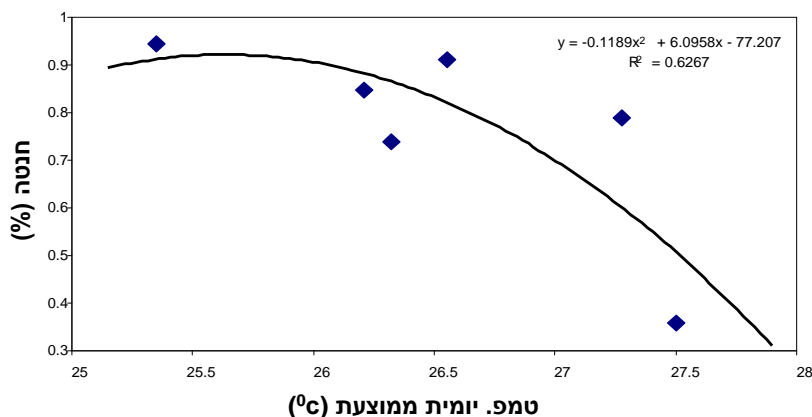
טיפול	תאריך דיגום	טמפ. יומי ($^{\circ}\text{C}$)	נבט (%)	חיוני (%)	לא חיוני (%)
ביקורת צינור	7/2012	27.3	1.24 ± 0.9	63.68 ± 4.6a	35.08 ± 4.5a
		26.5	3.14 ± 1.4	83.65 ± 2.8b	13.21 ± 3.1b
ביקורת צינור	8/2012	27.5	5.47 ± 1.7	59.58 ± 6.8a	34.95 ± 7.1a
		26.3	3.12 ± 0.5	91.46 ± 1.5b	5.42 ± 1.8b
ביקורת צינור	9/2012	26.3	3.79 ± 0.7a	62.5 ± 4.3a	33.71 ± 4.1a
		25.2	9.33 ± 0.8b	86.92 ± 1b	3.75 ± 1b
ביקורת צינור	7/2013	25.9	8.63 ± 3.4	74.33 ± 4.3a	12.09 ± 2.3a
		25	6.23 ± 1.5	83.45 ± 1.9b	3.71 ± 0.9b
ביקורת צינור	8/2013	26.3	11.61 ± 3.4	78.33 ± 4.1	7.32 ± 1.9a
		25.3	18.57 ± 2.3	82.7 ± 1.8	1.75 ± 0.6b

קורלציה בין נתוני איכות אבקה (נביטה, חיוניים ולא חיוניים בשתי הטיפולים) מכלל הדגימות שנלקחו ובין נתוני הלחות היחסית במהלך היום במבנה בשתי הטיפולים בתקופת התפתחות האבקה מוצגת באיור 3. קשר ליניארי חיובי ומובהק נמצא בין הלחות היחסית ובין חיוניות האבקה (איור 3). נביטת גרגר האבקה לא הושפע מעליית הלחות.
 מכון שבניסוי שדה מסוג זה קשה להפריד את ההשפעה של משתנים כגון טמפרטורת אוויר ולחות יחסית שיכולים להיות קשורים בדקנו את חוזקו של המתאם בין משתנים אלה בסדרת הנתונים ששמשה לביצוע הניתוח המוצג באיור 3 ומצאנו אותו לא מובהק ($p=0.0721$), כלומר שלגבי המדידות הספציפיות המוצגות כאן ניתן להניח כי לפחות חלק מהשפעות תנאי הגידול על תהליך חנטת העגבניות בבתי צמיחה בתקופת הקיץ אפשר לייחס לערכי הלחות היחסית במבנה.



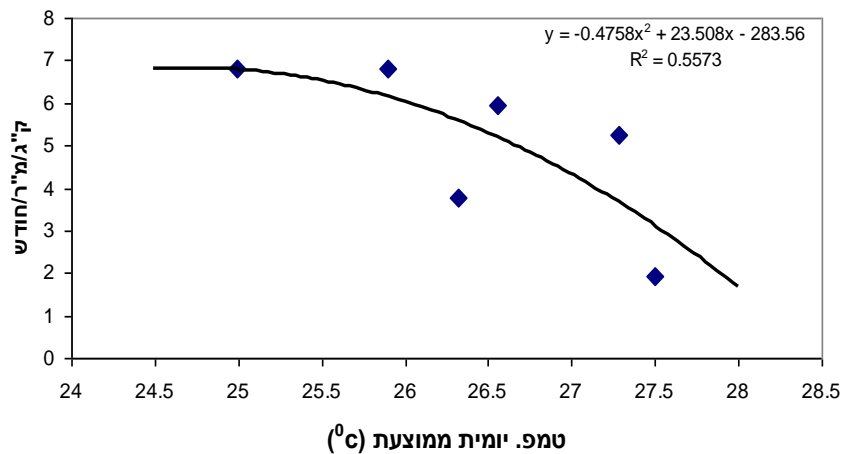
איור 3. קורלציה בין הלחות היחסית במהלך שעות היום ובין מדדי איכות האבקה (**מקרא- נביטה: מעוין כחול, חיוניים: מרובע ורוד, לא חיוניים: משולש ירוק**). תוצאות מבחן F לבחינת מובהקות הקשר וערכי R^2 עבור משוואת רגרסיה ממעלה ראשונה מוצגים באיור עבור כל אחד מהמדדים שנבדקו.

4.3 מתאם בין אחוזי חנטה, כמות יבול חודשית וטמפרטורה יומית ממוצעת באיור 4 מוצג המתאם בין אחוזי חנטה ובין טמפרטורה יומית ממוצעת כפי שנמדדה בתקופה בה נאספו נתוני החנטה (שילוב נתוני שתי הטיפולים משתי העונות). ניתן לראות כי אחוזי החנטה הגבוהים ביותר (<90%) התקבלו בתנאי טמפרטורה יומית ממוצעת של $25-26^{\circ}\text{C}$. עליה אפילו קלה מעבר לערכים אלה מביאה לירידה משמעותית באחוזי הפרי שחנט.



איור 4. מתאם בין ממוצע טמפרטורות יומי בחלל בית הגידול (ציר X) לבין אחוזי חנטה (ציר Y). משוואת קו מסדר שני ומקדם המתאם מוצגים באיור.

בדומה לתוצאות שהתקבלו לגבי אחוזי החנטה גם תוצאות כמות היבול מראות מתאם גבוהה לנתוני טמפרטורה ממוצעת יומית בבית הגידול עם שיא במתן היבול בטמפרטורה של $25-26^{\circ}\text{C}$ (איור 5). פחיתה משמעותית בכמות היבול מתקבלת בטמפרטורה יומית ממוצעת $<27^{\circ}\text{C}$. שילוב נתוני שתי הטיפולים משתי העונות שימשו גם כאן לבסיס לבדיקת הקורלציה.



איור 5. מתאם בין ממוצע טמפרטורות יומי בחלל בית הגידול לבין כמות היבול המתקבל בחודש (ק"ג/מ"ר/חודש). משוואת קו מסדר שני ומקדם המתאם מוצגים באיור.

5. דיון

טמפרטורה יומית ממוצעת של $25-26^{\circ}\text{C}$ נמצאה כסף העליון להתפתחות תקינה של אבקה, חנטה ויבול בעגבניות הגדלות בבית רשת מסחרי במהלך חודשי הקיץ (יוני-אוגוסט), תוצאות אלה תואמות לתוצאות שהתקבלו בעבר מניסויים שנערכו בתנאים מבוקרים ולמשך גידול קצר יחסית (Peet et al. 1997; Sato et al. 2006). עליה של רמת הלחות היחסית מ-50% ל-70% השפיעה ככל הנראה באופן חיובי על חיוניות גרגרי האבקה, נתון שגם הוא בהתאמה לתוצאות שהתקבלו בעבר בניסויים שונים (Huang et al. 2011; Peet et al. 2002).

השפעת פעולת מערכת הערפול על נתוני האקלים בבית הרשת במהלך קיץ 2013 דומות מאוד לאילו שהתקבלו בקיץ 2012 עם הפחתה של $2-3^{\circ}\text{C}$ במהלך היום ביחס לטיפול הביקורת, מה שהביא להפחתה של כ- 1.5°C בערכי ממוצע הטמפרטורה היומי ועליה של 10%-40% בלחות היחסית ביחס לביקורת. הפעלת המערכת במהלך קיץ 2012 הוסיפה כ-30% לכמות היבול הראוי לשיווק במהלך קטיפי ספטמבר כלומר פרי שחנט במהלך אמצע יולי-אמצע אוגוסט (הראל וחובי 2013). הטמפרטורות בקיץ 2013 היו מתונות יחסית מה שאיפשר חנטה טובה גם בתנאי טיפול הביקורת. יש לזכור כי בתנאי הגידול המסחרי ישנם גורמים נוספים כגון גיל הצמח וטיפול הפרי אשר משפיעים על יכולת החנטה בתנאי עקת חום ומכאן גם על כמויות היבול המתקבלות. בגלל אופן פעולתה של מערכת הערפול הכרוך בהעלאת הלחות היחסית במקביל להפחתה בטמפרטורות יש להניח שבאזורים חמים עם לחות יחסית נמוכה יותר מאשר באזור הבשור יעילות המערכת תגדל משמעותית. צריכת המים היומית הממוצעת שחושבה על בסיס שתי עונות הניסוי הינה כ-3.5 מ"ק/דונם/יום, מה שמחייב התחשבות בהקצאת המים העומדת לרשות החקלאי המעוניין להפעיל מערכת כזו. בחלקות בהם הופעלה מערכת הערפול הופחתה מנת ההשקיה בכ-20% ביחס לחלקות הביקורת. לא נצפו בחלקות הצינון בעיות של הגנת הצומח בכלל ומחלות עלים בפרט.

5.1 בקרה על מערכת הערפול באמצעות בקר המחשב ערכי סף הפעלה יומיים.

השוואה בין נתוני הטמפרטורה של עונות קיץ בשנים שונות תראה שונות גבוהה למדי בין השנים ובין החודשים באותה שנה. כיום בקרי ההפעלה המוצעים ע"י יצרני מערכות הערפול מסוגלים לקבל

בד"כ נתון אחד בד"כ טמפרטורה, לעיתים גם לחות או גרעון לחץ אדים (VPD- Vapour Pressure Deficit) הנמדד בתוך המבנה ומשמש כסף להפעלת מערכת הצינון ברגע שהערכים הנמדדים במבנה חצו אותו (בניסוי זה לדוגמה טמפרטורה של 32°C היה סף להפעלת המערכת). נתון זה של סף הפעלה למערכת הצינון בד"כ יוכנס בתחילת העונה וישמש להפעלת המערכת עד סופה. על רקע הממצאים מניסוי זה ואחרים לגבי חשיבות ממוצע הטמפרטורה היומי לביצועי צמח העגבניה בתנאי עקת חום מתונה, אנו מציעים מערכת שבא יחושב כל בוקר סף הפעלה חדש כאשר המטרה היא להגיע לטמפ. ממוצעת יום/לילה של 26°C . חישוב זה ניתן לביצוע בקלות בתנאי שידועה הטמפרטורה המינימלית (או הממוצעת) ששררה בבית הגידול בלילה הקודם. חישוב כזה של סף הפעלת המערכת עפ"י טמפ. סף המתעדכנת מדי בוקר יכול להיות מבוצע על ידי בקרי PLC (Programmable Logic Controllers) הזמינים היום בשוק במחירים נמוכים יחסית. מובן כי במקביל לטמפרטורת סף להפעלה כדאי להביא בחשבון גם לחות יחסית מרבית שבא תופסק פעולת המערכת (לדוגמה $\text{RH } 90\%$). באופן זה ניתן להערכתנו (אם כי הנושא דורש עדיין בחינה בתנאי שדה) לייעל את פעולת מערכת הערפול תוך חסכון במים והקטנת משכי הזמן בהן נוף הצמחים רטוב בגלל פעולת מערכת הערפול.

תודות

למועצת הצמחים על עזרתה במימון ניסוי זה, לחברת נען-דן-גיין עבור עזרתה הטכנית בביצוע הניסוי ולד"ר חגי יסעור ממנהל המחקר החקלאי.

ספרות

1. הראל, ד., סלפוי, א., פדידה, ה., גנות, ל., אלבז, מ., גולן, ר., צהר, ד., סופר, מ., גנץ, ש., אברהם, ל., אילני, ש., שלה, ק. ואורשחובסקי, ל. (2013) שיפור חנטה והגדלת היבול באמצעות מערכות ערפול בלחץ נמוך בגידול קיצי של עגבניות חסויות באזור הבשור. מבזק ירקות- שדה וירק, 25-31 255.
2. Harel, D.; Fadida, H.; Gantz, S.; Shilo, K.; Yasuor, H. Evaluation of Low Pressure Fogging System for Improving Crop Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): Grown under Heat Stress Conditions. *Agronomy* **2013**, *3*, 497-507.
3. Huang, Y.; Li, Y.; Wen, X. (2011). The effect of relative humidity on pollen vigor and fruit setting rate of greenhouse tomato under high temperature Condition. *Acta Agri. Boreali-Occidentalis Sinica*. **2011**, *11*, 020.
4. Pressman, E.; Peet, M.M.; Pharr, D.M. The effect of heat stress on tomato pollen characteristics is associated with changes in carbohydrate concentration in the developing anthers. *Ann. Bot.* **2002**, *90*, 631-636.
5. Peet, M.; Sato, S.; Clément, C.; Pressman, E. Heat stress increases sensitivity of pollen, fruit and seed production in tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) to non-optimal vapor pressure deficits. In *XXVI International Horticultural Congress: Environmental Stress and Horticulture Crops*. **2002**, *618*, 209-215.
6. Peet, M.M.; Willits, D.H.; Gardner, R. Response of development and post-pollen production processes in sterile tomatoes to chronic sub-acute high temperature stress. *J. Ex. Bot.* **1997**, *48*, 101-111.

7. Sato, S.; Peet, M.M.; Thomas, J.F. Determining critical pre-and post-anthesis periods and physiological processes in *Lycopersicon esculentum* Mill. exposed to moderately elevated temperatures. *J. Ex. Bot.* **2002**, *53*, 1187–1195.
8. Sato, S.; Kamiyama, M.; Iwata, T.; Makita, N.; Furukawa, H.; Ikeda, H. Moderate increase of mean daily temperature adversely affects fruit set of *Lycopersicon esculentum* by disrupting specific physiological processes in male reproductive development. *Ann. Bot.* **2006**, *97*, 731–738.