

650-0236-99

קוד מחקר:

נושא: ההשפעה המשולבת של העשרה בפד"ח וחימום לילה על גידול מילונים מודלים בחממות

מוסד: מו"פ ערבה, ד.ג. אילות 88820

חוקר ראשי: דר' אריה קניג

חוקרים שותפים: 3

תקופת מחקר: 1998-1999

מאמרים: 2

תקציר

גידולים רבים מגיבים בחיוב לתנאי ההעשרה בפחמן דו-חמצני (פד"ח). בעבודה קודמת, שבוצעה בתחנת ניסיונות ערבה, נמצא כי שילוב של העשרה בפד"ח עם חימום לילה של אויר החממה הינו בעל יתרון על פני העשרה בפד"ח בלבד. מעבודות שונות שנערכו בארץ ובעולם עולה כי גורם מגביל אפשרי בשילוב כזה הינו הצטברות של תרכובות לא מבניות בעלים (מאגר הפחמימות), אשר עלולות לעכב את גידול הנוף והפרי. בכדי להגיע לקביעה אובייקטיבית של טמפרטורת החימום בלילה נוסח מודל דינמי המתאר את מאזן הפחמן בצמחי מלון (MelGro). המודל בוחן את קצב הבנייה והדלדול של מאגר הפחמימות בעלים ואת השפעת תהליכים אלה על הטמפרטורה הרצויה לחימום בלילה. תוצאות המודל מצביעות על הצורך להפחית את טמפרטורת החימום מ- 18°C לקראת קבלת גל הפירות השני, באופן הדרגתי עד ל- 12°C עם קבלת גל הפירות השני. ככל שרמת ההעשרה הייתה נמוכה יותר כן היה צורך להפחית את הטמפרטורה בשלב מוקדם יותר. בשנה השנייה נבחנה גם אפשרות של חימום בוקר בנוסף לחימום לילה. התוצאות מצביעות על יתרון בחימום הבוקר, הנוסף לחימום הלילה, בתנאים של העשרה מתמשכת בפד"ח.

ההשפעה המשולבת של העשרה בפד"ח וחימום לילה על גידול מלונים מודלים בחממות

דו"ח מסכם של מחקר 650-0236-99 : 1997-1999. פברואר 2000.

מוגש על-ידי: **אריה קניג** - תחנת ניסיונות ערבה, מו"פ נגב-ערבה
שלמה קרמר - לשכת הדרכה נגב, שירות שדה
אילן שומר - אנטומיה ואולטרסטרקטורה, המחלקה למדעי המזון, מנהל המחקר
החקלאי
נאורי חמוטל - תחנת ניסיונות ערבה, מו"פ ערבה

תקציר

גידולים רבים מגיבים בחיוב לתנאי ההעשרה בפחמן דו-חמצני (פד"ח). בעבודה קודמת, שבוצעה בתחנת ניסיונות ערבה, נמצא כי שילוב של העשרה בפד"ח עם חימום לילה של אויר החממה הינו בעל יתרון על פני העשרה בפד"ח בלבד. מעבודות שונות שנערכו בארץ ובעולם עולה כי גורם מגביל אפשרי בשילוב כזה הינו הצטברות של תרכובות לא מבניות בעלים (מאגר הפחמימות), אשר עלולות לעכב את גידול הנוף והפרי. בכדי להגיע לקביעה אובייקטיבית של טמפרטורת החימום בלילה נוסח מודל דינמי המתאר את מאזן הפחמן בצמחי מלון (MelGro). המודל בוחן את קצב הבנייה והדלדול של מאגר הפחמימות בעלים ואת השפעת תהליכים אלה על הטמפרטורה הרצויה לחימום בלילה. תוצאות המודל מצביעות על הצורך להפחית את טמפרטורת החימום מ- 18°C לקראת קבלת גל הפירות השני, באופן הדרגתי עד ל- 12°C עם קבלת גל הפירות השני. ככל שרמת ההעשרה הייתה נמוכה יותר כן היה צורך להפחית את הטמפרטורה בשלב מוקדם יותר. בשנה השנייה נבחנה גם אפשרות של חימום בוקר בנוסף לחימום לילה. התוצאות מצביעות על יתרון בחימום הבוקר, הנוסף לחימום הלילה, בתנאים של העשרה מתמשכת בפד"ח.

1. רקע

הקו המנחה בטיפול המלחת מקורות המים בערבה הינו הגברת יעילות השימוש במים, אשר פירושו הגדלת התפוקה ליחידת מים. נראה כי הדרך היעילה ביותר לכך במצב הידע הקיים הינה גידול בבתי צמיחה. דרך זו משתלבת גם במטרות נוספות של הגדלת כמויות הפרי הראויות ליצוא וזאת על-ידי הכוונת העונה ושיפור איכות הפרי. רוב החממות במדינת ישראל גדלות תחת תנאים פסיביים. כלומר, החממה מהווה רק חץ אקלימי בין הגידול לסביבתו החיצונית ואין אמצעים אקטיביים אשר משנים את התנאים הפנימיים בחממה עצמה. הסיבה לכך נעוצה בדרך כלל בעלות הגבוהה הכרוכה בהשקעות של אמצעים אקטיביים כאלה. בכדי להגדיל את יכולת התפוקה של יחידת חממה יש להבין את יחסי הגומלין בין הגידול לתנאים החיצוניים לו במטרה לשפר את ביצועיו. המחקר הנוכחי יתמקד בבחינה של ההשפעה המשולבת של העשרה של אוויר החממה בפחמן דו-חמצני, פד"ח (CO_2) וחימום לילה של אויר החממה. למרות העלויות הגבוהות הכרוכות בבקרת משתנים אלה, מצביע מחקר מקדים כי מערכת גידול כזאת הינה רווחית הן למגדל והן למשק הלאומי.

גידולים רבים מגיבים להעשרה בפחמן דו-חמצני, פד"ח (Enoch et al., 1973; Enoch, CO_2)

(Enoch and Honour, 1993; Porter and Grodzinski, 1985; 1990). בעקבות ניסויים שנערכו בערבה נמצא כי העשרת מלונים הגדלים במנהרות עבירות בפד"ח מביאה לתוספת יבול עד כדי הכפלתו (דיין וחוברין, 1991). במחקר שנערך בערבה על-ידי קניג וסגין, 1993 דווח על תוספת של כ- 80% ביבול בתגובה להעשרה בפד"ח לרמה של 1000 ppm. לתוספת פד"ח הייתה השפעה ניכרת גם על הבכרת הפרי. התוצאות מראות על הבכרה של כ- 10 ימים בטיפול ההעשרה לעומת הביקורת. תוצאות בכיוון דומה התקבלו גם בצפיפויות צמחים גדולות כאשר עיקר השפעת הפרי בצפיפויות אלה היה על הבכרה ניכרת בהבשלת הפרי (קניג, 1994).

ניסיונות רבים הראו כי הטמפרטורה משפיעה על תהליכי גידול בצמח ועל ביצועיו. הכללה של מגוון השפעות הטמפרטורה על תהליכי גידול והתפתחות מעלה שניתן להבחין בשלוש רמות של קבועות זמן מבחינת תגובת הגידול:

- השפעה בטווח זמן קצר - דקות, הקשורה ליעילות תהליך הפוטוסינטזה.
- השפעת הטמפרטורה בטווח זמן בינוני - יממה, המשפיעה על ניצול עודפי פחמימות לא מבניות בצמח.
- השפעה בטווח זמן ארוך, הקובעת במידה רבה את קצב ההתפתחות של הצמח.

בטווח הזמן הקצר, העלאה של מספר מעלות (כ- 3°C) גורמת בדרך כלל לשיפור בביצועי הגידול (Hanan et al., 1978), כנראה משום שמשך זמן ההעשרה ביום גדל ולכן הצמח מסוגל לקבע כמות גדולה יותר של פד"ח (Seginer et al., 1986). בנוסף, העשרה בפד"ח מפחיתה את קצב הפוטורספירציה ובכך מעלה את הטמפרטורה האופטימלית לגידול (Bunce, 1994; Enoch and Hurd, 1977; Ogren, 1984; Zeroni et al., 1991).

לעומת השפעה ישירה זו של הטמפרטורה על יעילות הפוטוסינטזה, ניתן להבחין גם ביחסי גומלין בין העשרה בפד"ח וטמפרטורה בטווח זמן של כיממה. העבודה הנוכחית באה לחקור את ההיבט הזה של השפעת הטמפרטורה על הגידול, ובהתאם ימוקד הדיון מכאן בנושא זה. מספר חוקרים הראו כי ניתן לייחס תופעה זו לקיומו של מאגר עודפים של פחמימות בצמח (בעלים). מאגר עודפי הפחמימות מוגדר כהצטברות של תרכובות לא מבניות בעלי הצמח, אשר בעיקרן הן פחמימות מסיסות ועמילן. מאגר עודפי פחמימות בצמח דווח עבור מספר ירקות חממה, במלונים (Acock et al., 1990), מלפפונים (Challa, 1988), פלפל (Grange, 1985) ועגבנייה (Shishido et al., 1989). תפקיד מאגר העודפים לשמש כבופר המאזן בין המקורות המסנטיים פחמימות (תהליך הפוטוסינטזה בעלים), לבין דרישת המבלעים לפחמימות לשם ייצור תרכובות מבניות (תהליכי הנשימה וההטמעה (assimilation) של הפחמימות).

מכאן שמאגר העודפים גדל, אם בכלל, בשעות האור כאשר תהליך הפוטוסינטזה יוצא לפועל, ומדלדל בשעות הלילה בשעה שתהליכי הנשימה וההטמעה מתרחשים. קצב גידול המאגר בשעות האור יכול להיות חיובי, שלילי או שווה לאפס בהתאם לקצב תהליכי ההטמעה והנשימה יחסית לפעילות הפוטוסינטזה באותן שעות. ברור מכאן שביצועים נאותים של הצמח תלויים במידה רבה באיזון בין

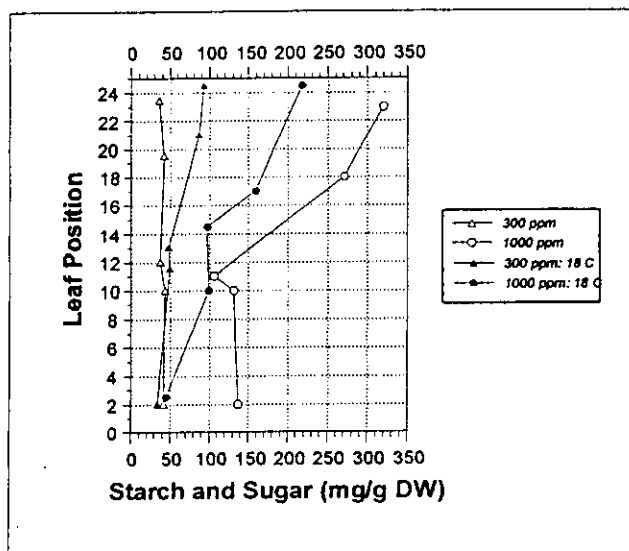
תהליכים אלה. פעילות המקורות של הצמח השלם תלויה בעיקרה בשטף קרינת האור (Photosynthesis – PAR) וריכוז הפד"ח, לעומת תלות בטמפרטורה של פעילות המבלעים בצמח. לכן יש לחתור לאיזון בין שלושת גורמים אלה כך שמאזן הפחמן של הצמח ייצא נשכר. לדוגמא, כאשר מאגר העודפים ריק גידול תחת טמפרטורות גבוהות יגרום לקצב גידול שלילי של הצמח כתוצאה מפעילות מוגברת של נשימה קיומית (maintenance respiration). לעומת זאת, גידול בטמפרטורות נמוכות מידי עלול לגרום להפחתה בפעילות הפוטוסינתטית (Porter and Grodzinski, 1985; Bunce, 1994), או לחילופין לנזק בלתי הפיך לעלי הצמח. קניג וחוברין, 1995 מצאו כי גידול צמחי מלון בטמפרטורות נמוכות מ- 12°C בשילוב עם רמות גבוהות של פד"ח גרם לפגיעה בעלים ולעיכוב בגידול הפירות.

מספר חוקרים מצאו כי גידול צמחים תחת תנאים מתמשכים של ריכוז פד"ח גבוה עלול לפגוע בגידול (Ito, 1978; Tripp et al., 1991; Van Berkel and Van Uffelen, 1975; קניג וחוברין, 1995; חלק ניכר מהמחקרים מייחסים פגיעה בעלווה תחת ריכוז פד"ח גבוה להצטברות עמילן בעלים (Holbrook et al., 1993; Madsen, 1971), הגורם להרס הכלורופלסטים (Madsen, 1974). עמילן הינו מרכיב עיקרי של מאגר הפחמימות בעלים. לכן, הצטברות עמילן בעלים הינה תוצאה של ייצור מוגבר של פחמימות, בתנאים של ריכוז פד"ח גבוה, שאינו מאוזן על-ידי קצב ההטמעה. נראה, כי לשם פעילות נאותה של הצמח, יש לרוקן את מאגר המוטמעים בסוף היממה. Acock et al 1990 מצאו כי בצמחי מלון (Net Assimilation Rate) NAR היה במתאם שלילי עם כמות הפחמימות הלא מבניות בסוף הלילה. בחינה של מאפייני מאגר הפחמימות עשויה להסביר את ההסתגלות ארוכת הטווח של צמחים להעשרה מתמשכת בפד"ח (Porter and Grodzinski, 1985; Ziskza and Bunce, 1994; Bunce, 1994).

קניג וחוברין, 1996 ביצעו ניסוי עם מלוני חממה מזן ערבה בעונת האביב, במטרה לבחון את השפעת חימום לילה בנוסף להעשרה בפד"ח על ביצועי הגידול. ציור מס. 1 מראה את מפל ריכוזי התרכובות הלא מבניות בעלווה, כאשר עלה מס. 1 הינו העלה התחתון ביותר. המדידות נעשו כשלושה שבועות לאחר חנטה של גל הפירות הראשון, כאשר הפירות היו בתחילת רישות. המדידות נערכו בשעה 7:00 בבוקר בכדי לאפיין את רמת עודפי הפחמימות לאחר פעילות ההטמעה של הלילה הקודם. גל הפירות הראשון נמצא בין עלים 10 ו-14, והעלה העליון ביותר (23-24) נמצא מתחת לגל הפירות השני. כפי שניתן לראות חימום ל- 18°C גרם להצטברות תרכובות לא מבניות (סוכרים מסיסים ועמילן) עד לרמה של יותר מ- 30% בעלים העליונים לעומת כ- 14% בעלים התחתונים כאשר הצמחים הועשרו בפד"ח לרמה של 1000 ppm ללא חימום. אותו טיפול פד"ח אך בתוספת חימום בלילה לטמפרטורה של 18°C הוריד את רמת מאגר הפחמימות לכ- 20% בעלים העליונים ול- 5-10% בעלים התחתונים. כלומר, החימום מנע חלקית את הגידול במאגר הפחמימות.

פרט לטיפול הביקורת, מאגר הפחמימות בעלי גל הפירות הראשון (10-14) תמיד היה קטן יותר מאשר בעלים העליונים. ניתן להסביר תופעה זו בכך שלעלים העליונים לא היה מבלעים סמוכים שיכלו לצרוך את עודף הפחמימות שנוצרו בתהליך הפוטוסינטזה. משום כך ניבנה בעלים אלה מאגר פחמימות גדול יותר מאשר בעלים המרכזיים הסמוכים לצרכני הפחמימות, פירות הגל הראשון. כללית, רואים

בציור מס. 1 כי בעלי גל הפירות הראשון של הטיפולים המועשרים בפד"ת, רמת מאגר הפחמימות כפולה מהטיפולים שלא הועשרו בפד"ת. עבודה זאת התבצעה כתצפית ראשונית וברור מהתוצאות כי הטמפרטורה של הטיפול אינה אופטימלית לתנאים אלה של העשרה בגידול הצמחים. אמנם, כאשר בוחנים את ביצועי הגידול בסוף העונה (ציור מס. 2) רואים כי טמפרטורה של 18°C הייתה גבוהה מידי וגידול תחת תנאים של העשרה בפד"ת וחימום לילה ל- 12°C הניב יכול גבוה יותר. תוצאות אלה עומדות בניגוד לעבודה התיאורטית של Seginer et al., 1994 אשר הציעו שיש להעלות את טמפרטורת הלילה של צמחי עגבנייה עם התארכות העונה לכיוון הקיץ.

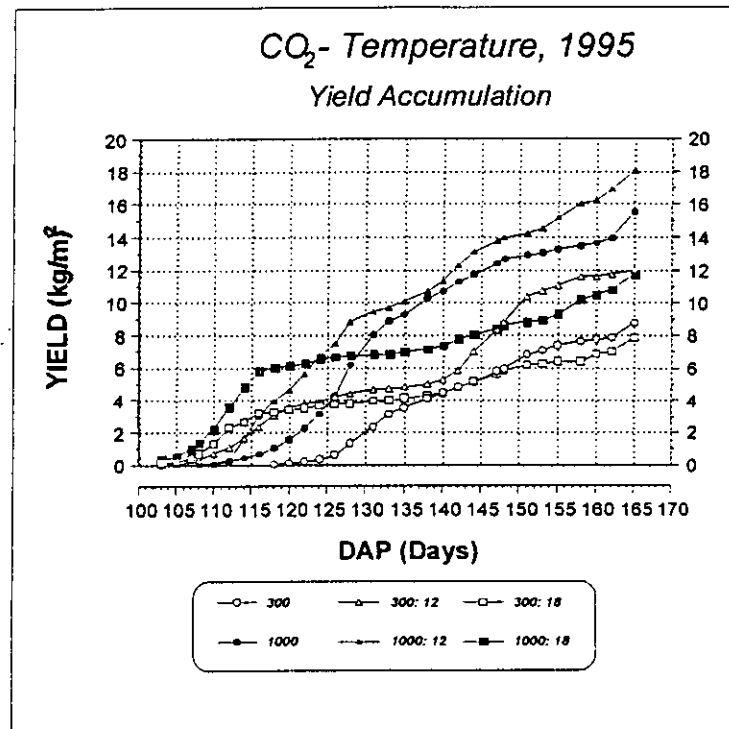


ציור מס. 1:

מפל ריכוז (על בסיס חומר יבש) של תרכובות לא מבניות בנוף צמחי מלון מזן ערבה. הבדיקות נלקחו ב- 7:00 בבוקר כשלושה שבועות לאחר חנטה של גל הפירות הראשון. הצמחים שגודלו בתנאים של העשרה בפד"ת בריכוז של 1000 ppm וחוממו בלילה לטמפרטורת אוויר שלא נפלה מ- 18°C (1000 ppm: 18°C), מושווים לצמחים שלא הועשרו בפד"ת ואשר חוממו ($300\text{ ppm: }18^{\circ}\text{C}$) ולצמחים שלא הועשרו וללא חוממו בלילה (300 ppm), (קניג וחוברין, 1996).

המטרה העיקרית של המחקר הנוכחי הייתה לפתח מערכת גידול אשר תגדיל את התועלת הכלכלית מהעשרה בפד"ת בתוספת חימום לילה בחממות מלונים, בתנאי האקלים של הערבה. השערת המחקר היא כי שליטה על חימום לילה יכול לבקר על רמת עודפי הפחמימות ובכך להגביר את יעילות הצמח תחת תנאי העשרה בפד"ת. כלומר, יש ללמוד כיצד לנצל את מאגר עודפי פחמימות באמצעות בקרה של חימום הלילה.

בכדי להעריך את הטמפרטורה הרצויה לגידול בשעות הלילה, יש לנסח כמותית את מאזן הפחמימות של הצמח השלם. אלוני וחוברין, 1997 הציעו לקבוע את טמפרטורת הלילה בהתאם לרמת הקרינה ביום הקודם, עבור גידול פלפל בחממות. פתרון הבעיה בדרך זו חסר משום שאינו לוקח בחשבון את השפעת הטמפרטורה על מנגנוני הגדילה של הצמח, כמו נשימה קיומית. בדרך כלל, נהוג להניח כי הנשימה הקיומית אינה צרכן גדול של משאבי פחמימות בצמח. לעומת זאת, בעבודה מקיפה עם צמחי



ציור מס. 2: המהלך העונתי של הצטברות יבול של מלון אביבי מזן ערבה בעונת 1995 (קניג וחוברין, 1996). ראה פירוט בטקסט ובציור מס. 1.

מלפפון הראה Marcelis, 1994 כי נשימה קיומית עלולה לגזול מעל 70% ממשאבי הפחמימות המופנים לכלל הנשימה, עבור פירות מלפפון בני יותר מ- 20 יום. Seginer et al., 1994 הסתמכו בתיאור הדינמי של צמח העגבנייה על נתונים ניסיוניים שנאספו עבור צמחי עגבנייה צעירים. בכדי לקבל תמונה אמינה של ביצועי הגידול יש להסתמך על נתונים המתארים את גידול הצמח על פני כל עונת הגידול. שימוש בנתונים כאלה ובתיאור כמותי של מאזן הפחמימות עשוי לתת מענה אובייקטיבי להכוונת טמפרטורת החימום בלילה בגידול צמחי חממה למיניהם.

שיטות וחומרים

2.1 פיתוח מודל

לשם בחינה של ביצועי הגידול בתנאים של העשרה בפד"ח וחימום לילה נוסח מודל מתמטי לתיאור מאזן הפחמן של צמחי מלון. המודל התבסס על עבודתם של Kenig and Jones, 1997a עבור גידול עגבניות חממה.

במודל, המכונה MelGro הושם דגש על מאזן הפחמן הכולל את תהליך הפוטוסינתזה המקבע פד"ח מהאטמוספירה לשם ייצור גלוקוז מצד אחד, ותהליך הנשימה מאידך. בתהליך הנשימה מבחין המודל בין נשימה קיומית (Maintenance Respiration) ונשימה לצורכי גידול (Growth Respiration).

קצב ייצור יומי של חומר יבש מחושב כהפרש בין ייצור גלוקוז בתהליך הפוטוסינתזה לצריכתו

בתהליך הנשימה הקיומית. כמות זו מתורגמת על-ידי המודל לגידול היומי הפוטנציאלי של הצמח. מכמות זו מופחת שטף הפוטוסינטטים המופנים לגידול השורשים, בכדי לחשב את קצב הגידול היומי של נוף הצמח. קצב הגידול הפוטנציאלי מופחת בהתאם לתגובת הגידול לטמפרטורה ונותן את הגידול היומי הממשי. ההפרש בין קצב הגידול הפוטנציאלי לקצב הממשי ולצריכת גלוקוז בתהליך הנשימה לצורכי הגידול הממשי, נותן את שטף הפחמימות המופנה למאגר העודפים. המודל מניח כי מאגר העודפים אינו יכול לעלות על 10% מסך החומר היבש בנוף הצמח. במידה ומאגר העודפים גדל מעבר לשיעור זה המודל מניח כי קיים משוב שלילי המפחית את שטף תהליך הפוטוסינטזה, ובהתאם קצב הגידול הפוטנציאלי והממשי מופחתים אף הם.

בהתאם למטרת המודל, חייב המודל לתת מענה על הטמפרטורה הרצויה לחימום לילה אשר תניב את היבול המיטבי תחת תנאי העשרה בפד"ת. לפיכך, לאחר שהמודל מחשב את כמות מאגר עודפי הפחמימות שנצברה במשך היום, הוא ממשיך ומחשב את ניצול המאגר במשך הלילה, המוטמע לתרכובות מבניות בתהליך הנשימה לצורכי גידול. המאגר הולך ופוחת כתוצאה מתהליך הגידול, הנשימה הקיומית והנשימה לצורכי גידול, כתלות בטמפרטורת האוויר. תוצאות הניסויים בשנים הקודמות של המחקר מלמדות כי הטמפרטורה האופטימלית לגידול צמחי המלון נעה בין 12°C ל- 18°C . בכדי לחשב את קצב הגידול המיטבי בלילה בוחן המודל את התוצאות בתחום זה בקפיצות של מעלה אחת ובוחר את קצב הגידול המרבי בתחום זה.

בהתאם לניסוח התהליכים במודל יש לספק למודל נתוני אקלים שעתיים של טמפרטורת אוויר, קרינה פוטוסינטטית ביחידות של $\mu\text{E}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ וריכוז פד"ת באוויר ב- ppm.

המודל נכתב בשפת FORTRAN לפי הכללים המבניים שהוצעו על-ידי Kenig and Jones 1997b. בהתאם, הרצת המודל מנוהלת על-ידי מנוע מרכזי המנוסח בקובץ MELSHELL.FOR. מנוע זה מגדיר 3 מצבי סימולציה. המצב הראשון מחשב את תנאי ההתחלה של הסימולציה ומוגדר במודל כ- 'INITIAL' = DYNAMICS. המצב השני מחשב את התהליכים השעתיים במודל ומוגדר כ- 'RATE' = DYNAMICS. המצב השלישי מחשב את מצב הצמח בסיום הסימולציה ומוגדר כ- 'TERMINAL' = DYNAMICS.

במצב INITIAL קורא המנוע המרכזי לשגרה CNTRL.FOR המגדירה את תנאי ההתחלה והסיום של הניסוי והסימולציה. לאחר מכן, קורא המנוע לשגרה CERSMP.FOR ומגדיר את מצב הצמח בתחילת הסימולציה. במצב RATE מחשב המודל את כל החישובים השעתיים ומבצע אינטגרציה של משתני המצב על פני התקופה המבוקשת. בשלב זה מגדיר גם המודל את גודל הצמח בהתאם למספר המפרקים של הגבעול המרכזי. במצב TERMINAL בוחן המודל את טמפרטורת הלילה הרצויה לגידול בכדי להשיג ביצועים מיטביים.

במהלך המחקר, נבחנה יכולתו של המודל לחזות את טמפרטורת הלילה האופטימלית בגידול

צמחי מלון. בהתאם, המודל הורץ כל 3 ימים עם נתוני אקלים שעתיים של 3 הימים הקודמים למועד הרצת המודל. הטמפרטורה האופטימלית, כפי שנחזתה על-ידי המודל נקבעה כערך הסף לחימום לילה בטיפולים המתאימים, למשך 3 הימים הבאים. מהלך זה נבחן לאורך 2 עונות רצופות והתוצאות מובאות בפרק 3 של הדיווח.

2.2 ניסויי מלונים

יכולתו של המודל נבחנה במערך ניסויי בתחנת הניסיונות ערבה. המערך הניסויי כלל 8 מבנים (מנהרות עבירות) בגודל $12\text{ m} \times 8.5\text{ m}$. צמחי מלון מזן ערבה נזרעו ב- 20 בנובמבר בעומד של 2.7 צמחים למ"ר: 4 צמחים למ' רץ ומרווח של 1.5 מ' בין השורות. הצמחים הודלו עם גבעול ראשי, וענפים צדדיים הוסרו מ- 12 המפרקים הראשונים. מגובה זה ענפים צדדיים נקטמו לאחר העלה השני. היבול נאסף כל 2-3 ימים ועבר מבחני איכות כמקובל.

בהתאם לערכי סף לאוורור המנהרות, אשר נקבעו מראש, המבנים הועשרו בפד"ח (CO_2) בשיטת הפעימות. העשרה בפד"ח התבצעה כאשר הטמפרטורה, במשך היום, הייתה בין ערכי סף הטמפרטורה לאוורור. כאשר המבנה אוורר, הספקת הפד"ח הופסקה, עד שפתחי האוורור שבו ונסגרו. הפרוטוקול הבא שימש לקביעת ערכי סף הטמפרטורה והעשרה בפד"ח לאורך העונה:

מזריעה ועד לגמר הסרת ענפים צדדיים (12 מפרקים ראשונים) ערכי הסף לאוורור היו 32°C לסגירת פתחי האוורור ו- 38°C לפתיחת פתחי האוורור. בתקופה זו אין העשרה בפד"ח.

מגמר הסרת ענפים צדדיים ועד למועד תחילת גל הפירות השני ערכי הסף היו 30°C ו- 36°C לסגירה ופתיחה של פתחי האוורור, בהתאמה. מתחילת תקופה זו התבצעה העשרה בפד"ח לרמה שנקבעה בהתאם לטיפול.

ממועד תחילת גל הפירות השני ועד לסוף העונה ערכי הסף היו 28°C ו- 34°C לסגירה ופתיחה של פתחי האוורור, בהתאמה. גם במהלך תקופה זו התבצעה העשרה בפד"ח כמו בשלב הקודם.

עלים נדגמו לבדיקת עמילן וסוכרים חופשיים במהלך העונה הראשונה של המחקר. הדיגום נעשה

ב- 3 חזרות שבועיים לאחר מועד חנטת פירות הגל הראשון. במועד זה צפויה התבטאות של הצטברות פחמימות לא מבניות במאגר הפחמימות, כתוצאה מהעשרה מתמשכת בפד"ח. העלים שנבחרו לדיגום מגדירים את גל הפירות הראשון: העלה השני מהקרקע, העלה הסמוך לצדו התחתון של גל הפירות, העלה במרכז גל הפירות, העלה הסמוך לצדו העליון של הפירות והעלה הסמוך לצדו התחתון של גל הפירות השני.

הצמחים נחשפו לרמות שונות של פד"ח וטמפרטורת לילה כפי שמפורט בטבלה 2. פד"ח לא סופק

לטיפול הביקורת (CONTROL). 2 רמות נוספות של פד"ח נבחנו: 650 ppm ו- 1000 ppm . חימום הלילה כלל מספר טיפולים. בהתאם לתוצאות של קניג וחוברין, 1996 נבחן בשנת 1997, מסלול של חימום לילה של 12°C מנביטה ועד למועד חנטת גל הפירות הראשון ו- 18°C לאחר מכן. בנוסף לכך נבחנה המלצת המודל לחימום לילה ממועד החנטה של גל הפירות הראשון. במהלך 1998 הושוו מסלולי חימום הלילה (טיפול N בטבלה 2) לטיפולים אשר בנוסף כללו חימום בוקר לפי המלצות המודל (טיפול DN

בטבלה 2).

חימום הבוקר בא לענות על מצבים בהם שטף הקרינה גדול מ- $200 \mu E/m^2 \cdot s$ אך הטמפרטורה עדיין נמוכה. חימום האוויר בתנאים אלה, עשוי לשפר את קיבוע הפדי"ח והטמעתו על-ידי הצמח לתרכובות מבניות. בהתאם, חימום הבוקר נקבע על-ידי המודל באופן הבא. לאחר מציאת הטמפרטורה האופטימלית לחימום לילה, מחפש המודל אופטימום לחימום הבוקר בתחום של $12-25^\circ C$, בתנאי ששטף הקרינה גדול מ- $200 \mu E/m^2 \cdot s$. בדומה לתפעול חימום הלילה, המלצת המודל מיושמת בתוכנת בקרת החימום למשך 3 הימים הבאים.

טבלה מס. 1: פירוט האירועים בניסויי העשרה בפדי"ח וחימום לילה בתחנת ניסיונות ערבה, במהלך 1997 ו-1998.

אתר	עונת 1996/7	עונת 1997/8
תחנת ניסיונות ערבה	תחנת ניסיונות ערבה	תחנת ניסיונות ערבה
זן	ערבה	ערבה
תאריך זריעה	20 בנובמבר 1996	23 בנובמבר 1997
עומד צמחים (m^2)	2.7	2.7
שטח טיפול (m^2)	75	75
תחילת חימום לילה	1 בדצמבר 1996	1 בדצמבר 1996
תחילת שינוי חימום לילה	3 בינואר 1997	5 בינואר 1997
שטח קטיף (m^2)	37	37
תחילת קטיף	12 בפברואר 1997	20 בפברואר 1997
סיום קטיף	22 באפריל 1997	7 במאי 1997

3. תוצאות דיון

עונת 1996/7

התוצאות המוצגות בציר 3 וטבלה 3 ממחישות את תגובת הגידול להעשרה של 650 ppm ו- ppm 1000, בהשוואה לטיפול הביקורת. כמו כן, בטיפול ההעשרה הייתה הבכרה רבה יחסית לטיפול הביקורת, (טבלה 3). הבדל זה הינו בעל משמעות כלכלית, משום שתמורות הפרי בתחילת העונה זו גבוהות יותר, (ציר 4). לא נמצאו הבדלים משמעותיים בין הטיפולים בהתפלגות הפרי לגדלים ובחלק הפרי המופנה ליצוא.

לחימום לילה לפי המלצות המודל היה יתרון ברור (טיפול M1000). ל- 2 מסלולי החימום הקבועים (1000-12:18 ו- 650-12:18) היו עדיפים בהבכרת פרי, אשר נפסק לאחר שבועיים מתחילת הקטיף. תוצאות אלה דומות לתוצאות של קניג וחובריו, 1996. טיפול M1000 לעומת זאת, התחיל להניב שבוע מאוחר יותר אך המשך להניב בקצב גדול יותר ובסוף עונה נתן $4 kg/m^2$ יותר מאשר טיפולי החימום הקבועים. תוצאה זו השתקפה גם בנתוני הפדיון שכבר לאחר 30 ימי קטיף פדה טיפול M1000 $4 \$/m^2$ יותר מאשר טיפולי החימום הקבועים, עבור פירות באיכות יצוא בגדלים 5-8, (ציר 4).

טבלה מס. 2: פירוט הטיפולים בניסויי העשרה בפד"ח וחימום לילה בתחנת ניסיונות ערבה, במהלך 1997 ו-1998.

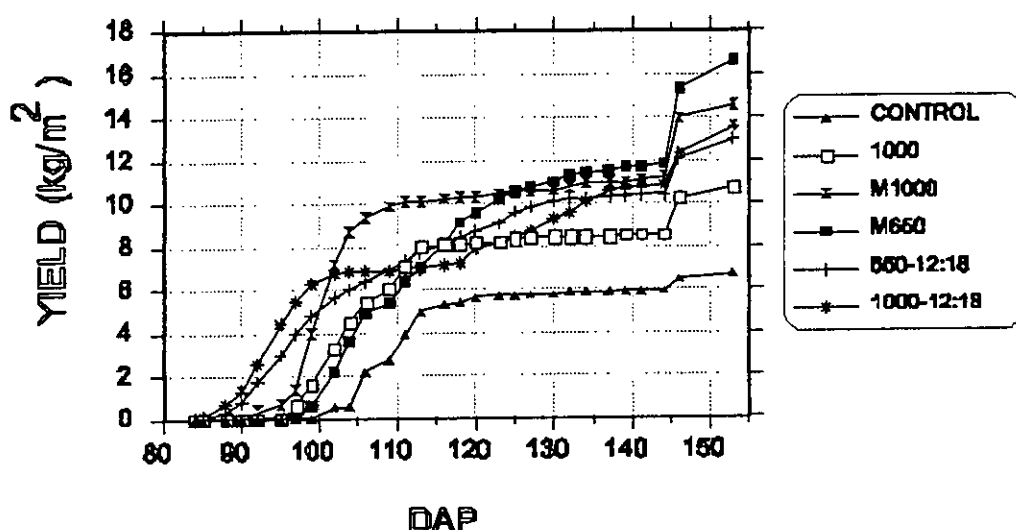
שם הטיפול	עונת גידול	רמת CO ₂ (ppm)	חימום לילה עד לחנטת פירות (°C)	חימום לילה לאחר חנטת פירות (°C)
CONTROL	1996/7	~330	אין	אין
1000	"	1000	אין	אין
M1000	"	1000	12	מודל 12-18
M650	"	650	12	מודל 12-18
1000-12:18	"	1000	12	18
650-12:18	"	1000	12	18
CONTROL	1997/8	~330	אין	אין
N330	"	~330	12	מודל 12-18
DN330	"	~330	12	מודל 12-18 עם חימום בוקר
N650	"	650	12	מודל 12-18
DN650	"	650	12	מודל 12-18 עם חימום בוקר
N1000	"	1000	12	מודל 12-18
DN1000	"	1000	12	מודל 12-18 עם חימום בוקר

המודל המליץ לשמור על טמפרטורה של 18 °C במהלך הלילה עד למפרק 14 ו-17 עבור העשרה ל- 650 ppm ו- 1000 ppm, בהתאמה (ציור 5). מועד זה מציין את תחילת גל הפירות הראשון (ציור 6). המודל המליץ להפחית את טמפרטורת החימום בלילה, בטיפול הביקורת, כבר במפרק 10. המלצה זו לא יושמה בפועל ומובאת רק לצורכי המחשה. ממועד מפרק 24, המציין את תחילתו של גל הפירות השני, המודל המליץ להפחית את טמפרטורת החימום בלילה לערך המינימלי של 12 °C. רמה זו התחילה כאשר הצמחים הגיעו למפרק 21 ו-23, בטיפולים 650 ppm ו- 1000 ppm, בהתאמה, (ציור 5).

במועד זה, פירות הגל הראשון הגיעו לשלב הגידול הליניארי ורמת מאגר הפחמימות, בסוף הלילה, פחתה ל- 45% מהרמה של המאגר בתחילת הגל, (ציור 6). התוצאות מלמדות כי עד לתחילת היווצרות פירות הגל הראשון (מפרק 14), לא היו מספיק מבלעים (פירות) לנצל את הפחמימות שהצטברו במהלך היום. גודל מאגר הפחמימות בסוף הלילה פחת במקביל לירידה בטמפרטורת החימום בלילה. כיוון זה נגרם ככל הנראה בגידול המהיר במשקל הפירות (מבלעים), אשר תלוי פחות בגידול בזמן הלילה.

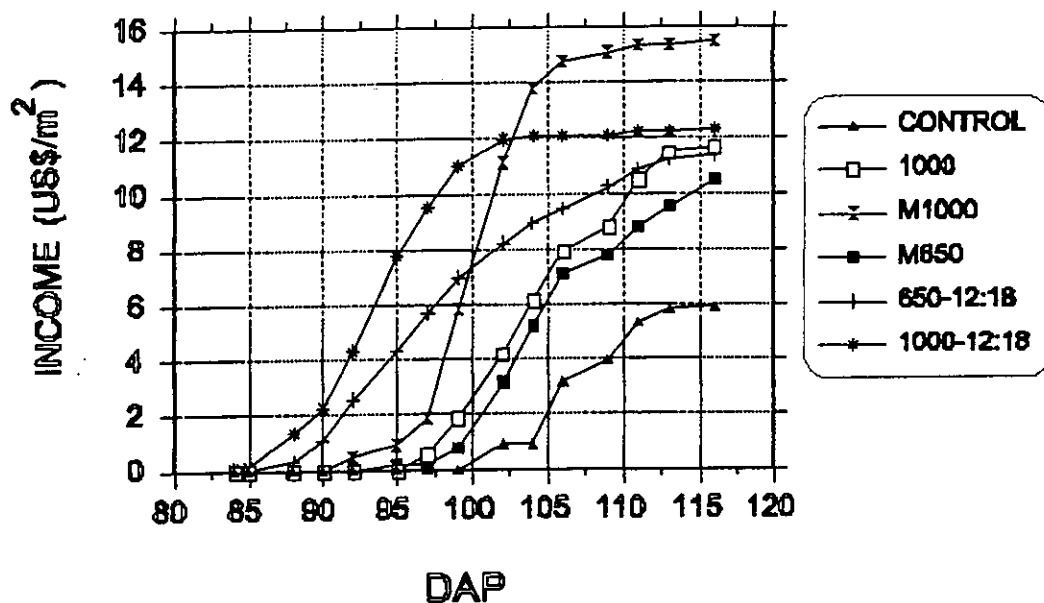
טבלה מס. 3: מרכיבי יבול בגידול מלונים מזן ערבה בניסוי העשרה בפד"ח וחימום לילה, אשר נערך בתחנת ניסיונות ערה בעונת 1996/7.

יבול 21 יום מתחילת קטיף (kg/m ²)	יבול גדלים 5-8 (%)	יבול יצוא (%)	יבול ± סטית תקן (kg/m ²)	טיפול
0.56	59	90	6.69 ± 0.69	CONTROL
4.51	69	72	10.74 ± 0.53	1000
8.74	65	87	14.61 ± 0.36	M1000
3.58	61	74	16.61 ± 1.14	M650
6.84	71	80	13.60 ± 0.04	1000-12:18
6.05	63	82	12.98 ± 0.29	650-12:18



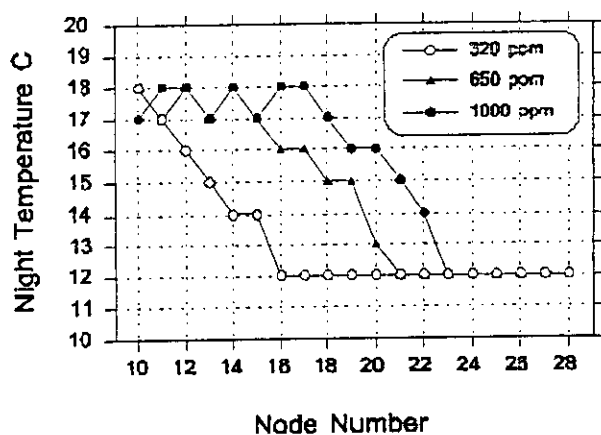
ציור מס. 3: המהלך העונתי של הצטברות יבול של מלון אביבי מזן ערבה, בניסוי שנערך בשנת 1997 בתחנת ניסיונות ערבה.

מציור 7 נראה כי העלאת טמפרטורת החימום בלילה סייעה לניצול טוב יותר של מאגר הפחמימות. בכך, החימום מנע בנייה מסיבית של מאגר הפחמימות בעלים בצמחים שנחשפו להעשרה מתמשכת בפד"ח אך לא חוממו בלילה. תוצאות אלה עולות בקנה אחד עם התוצאות שנידונו לעיל ואשר דווחו על-ידי קניג וחוברין, 1996. שימוש במודל (טיפול M1000) הניב את הרמה הנמוכה ביותר של פחמימות לא מבניות. התוצאות מצביעות כי מאגר הפחמימות בעלים קרובים יותר לגל הפירות הראשון (עלים 10-15) היה קטן יותר מאשר בעלים גבוהים, אשר בסביבתם היו מספר מבלעים קטן יותר ובעלי מסה נמוכה יותר (פירות הגל השני). צמחים שלא הועשרו בפד"ח היו מאוזנים טוב יותר מאשר עלי הצמחים אשר גדלו תחת רמות פד"ח גבוהות.



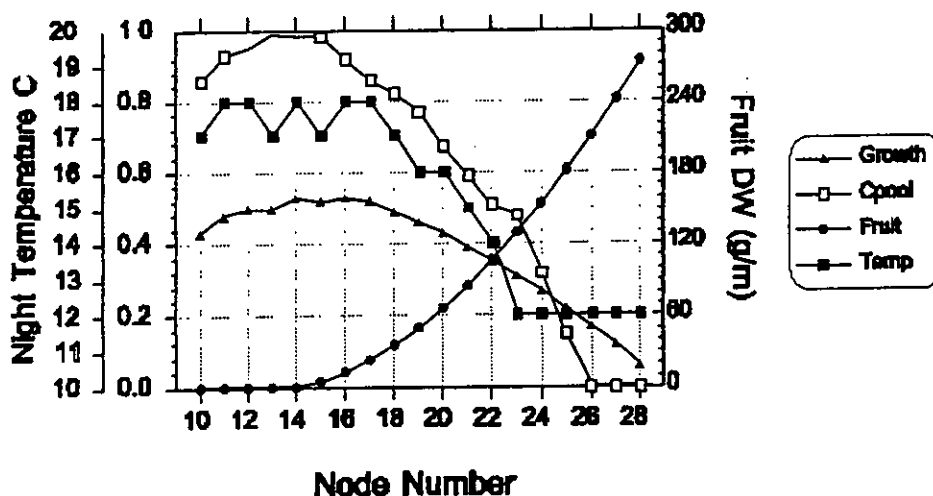
מהלך הצטברות פדיון של מלון אביבי מזן ערבה ב- 30 יום ראשונים של הקטיף, בניסוי שנערך בשנת 1997 בתחנת ניסיונות ערבה.

ציור מס. 4:



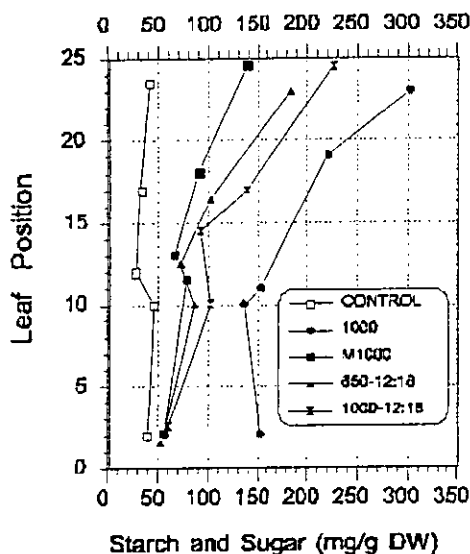
מהלך טמפרטורת לילה בטיפולים שונים בניסוי שנערך בתחנת ניסיונות ערבה בעונת 1997.

ציור מס. 5:



מהלך קצב גידול יחסי בלילה, מאגר פחמימות, טמפרטורת לילה אופטימלית וחומר יבש של פירות בטיפול M1000, בניסוי שנערך בתחנת ניסיונות ערבה בעונת 1997.

ציור מס. 6:

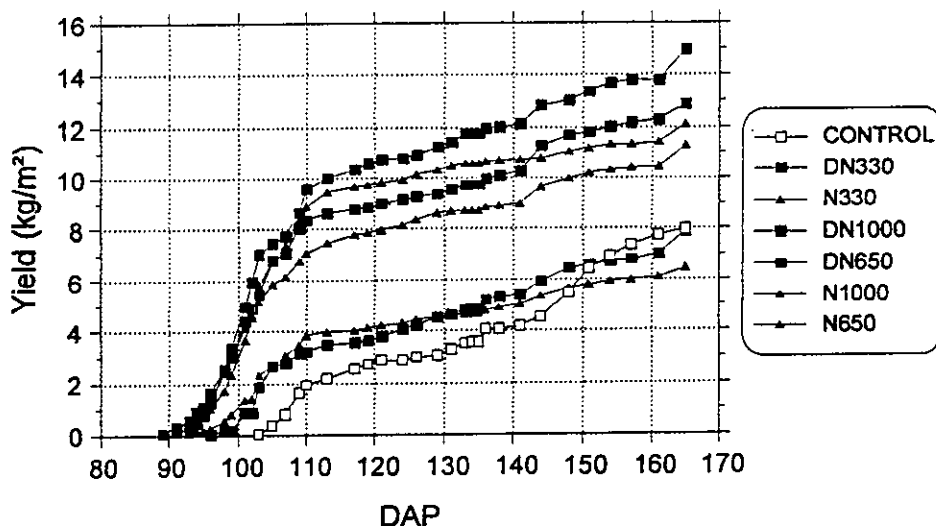


ציר מס. 7: התפלגות עמילן וסוכרים חופשיים בעלי מלוני ערבה, בניסוי שנערך בתחנת ניסיונות ערבה בעונת 1997.

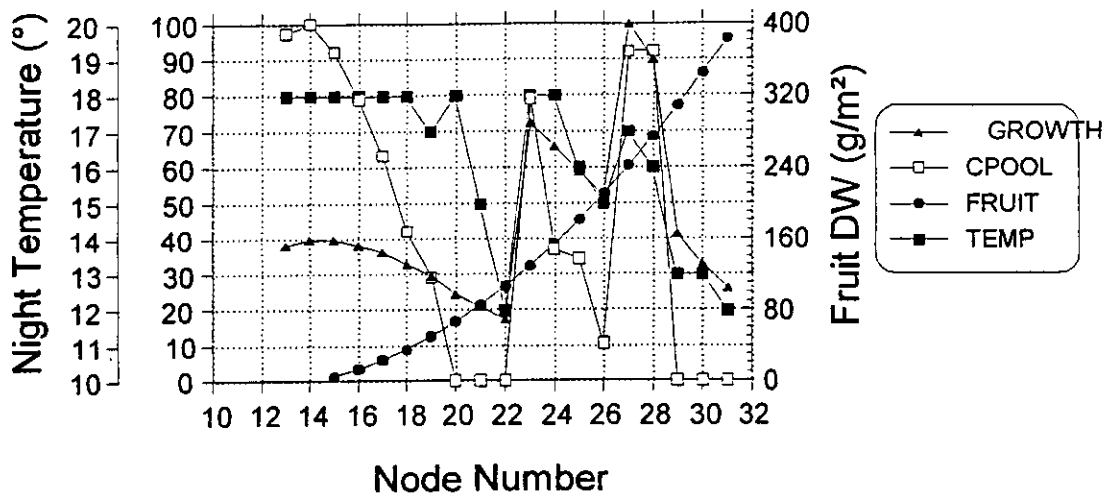
עונת 1997/8

בשנה זו נבחנה, בנוסף לחימום הלילה, ההשפעה של חימום בוקר מוקדם על הגידול. בהתאם, לאחר חישוב הטמפרטורה האופטימלית לחימום לילה, המודל בחן האם רצוי לחמם את אווירת המבנה בשעות הבוקר המוקדמות, כאשר שטף הקרינה גדול מערך של $\mu E/m^2 \cdot s$. הערך המחושב על-ידי המודל נקבע כערך חימום הבוקר למשך 3 הימים הבאים.

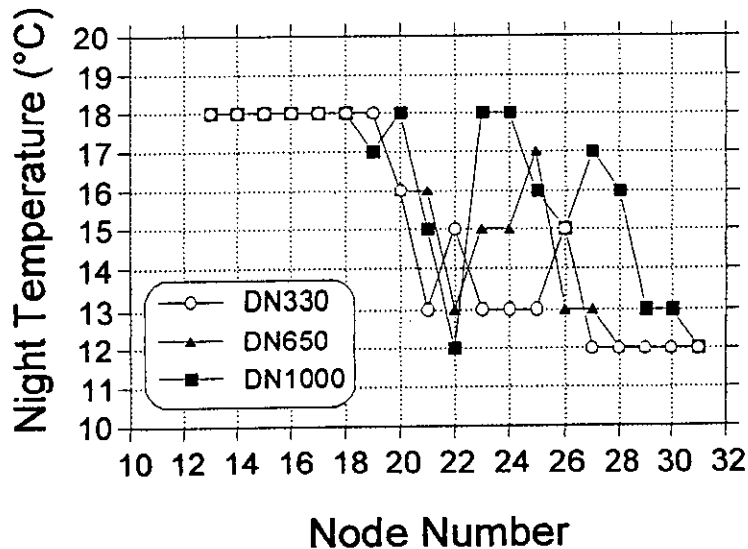
כפי שנראה מציר 8 לטיפול DN1000 היה יתרון על פני שאר הטיפולים. צמחים שגדלו תחת רמת פד"ח של 1000 ppm עם חימום לילה וחימום בוקר, הניבו יכול גבוה ב- 25% מצמחים אשר הועשרו לאותה רמת פד"ח אך חוממו רק בלילה. בדומה לניסוי הקודם, המודל הפחית את טמפרטורת חימום הלילה כתלות בגודל מאגר הפחמימות (ציר 9).



ציר מס. 8: המהלך העונתי של הצטברות יכול של מלון אביבי מזן ערבה, בניסוי שנערך בשנת 1998 בתחנת ניסיונות ערבה.



ציור מס. 9: מהלך קצב גידול יחסי בלילה, מאגר פחמימות, טמפרטורת לילה אופטימלית וחומר יבש של פירות בטיפול DN1000, בניסוי שנערך בתחנת ניסיונות ערבה בעונת 1998.

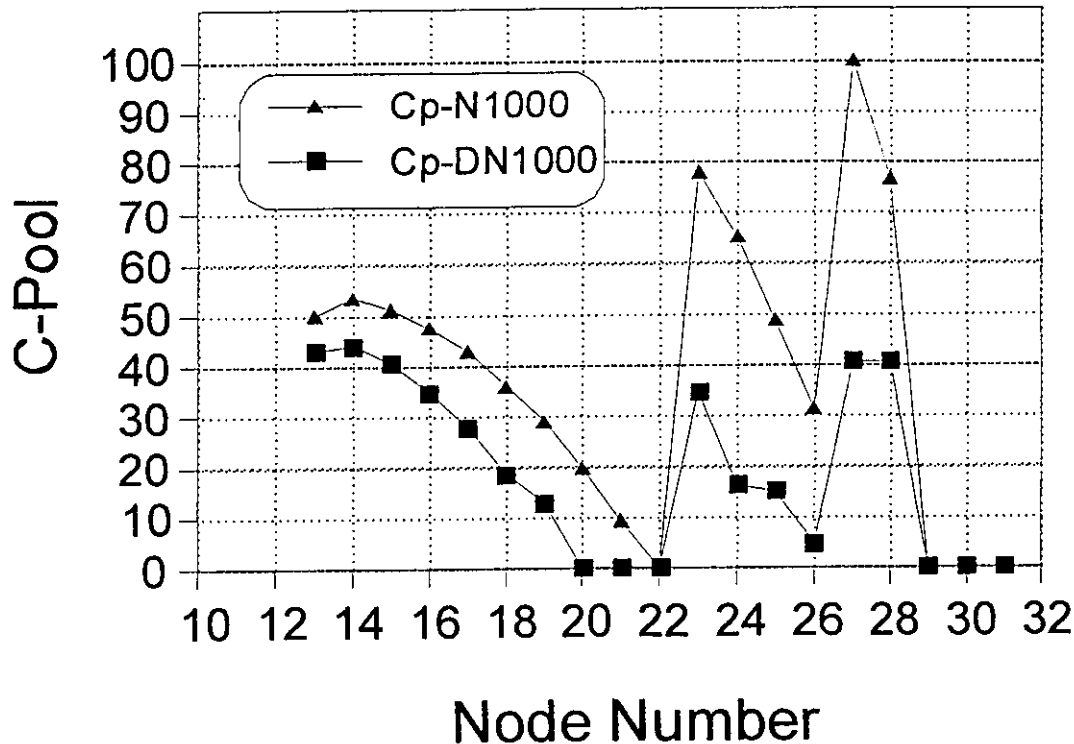


ציור מס. 10: מהלך טמפרטורת לילה בטיפולים שונים בניסוי שנערך בתחנת ניסיונות ערבה בעונת 1998.

בשנה זו, המליץ המודל לשמור על טמפרטורת חימום לילה של 18°C במשך החלק הראשון של גידול פירות הגל הראשון, (ציור 10). טמפרטורת לילה זו נשמרה עד למפרק 20 ו-24 עבור העשרה לרמה

של 650 ppm (DN650) ולרמה של 1000 ppm (DN1000), בהתאמה. מועד זה מציין את תחילת שלב הגידול הליניארי של פירות הגל הראשון, (ציור 9). מפרק 24 מציין את מועד תחילת היווצרות גל הפירות השני. במועד זה המליץ המודל להפחית את טמפרטורת חימום הלילה עד לרמה מינימלית של 12°C במפרק 28 ו-32 עבור העשרה של 650 ppm ו-1000 ppm, בהתאמה. במועד זה פחת גודל מאגר הפחמימות, בסוף הלילה, ל-45% מרמת המאגר בתחילת גל הפירות הראשון. עד לתחילת היווצרות פירות הגל הראשון (מפרק 14), לצמח לא היה מספיק מבלעים (פירות) לצרוך את הפחמימות הלא מבוניות שנוצרו במהלך היום.

בציור 11 נראה השפעת חימום הבוקר על ניצול מאגר הפחמימות. בכל מהלך גידול גל הפירות הראשון היה מאגר הפחמימות בחימום לילה בלבד גבוהה יותר מאשר צמחים שגדלו תחת חימום לילה ובוקר. בשלב גידול גל הפירות השני (ממפרק 24 ואילך) בולט ההבדל עוד יותר, כאשר במהלך שלב זה (מפרק 27) מגיע מאגר הפחמימות, בטיפול חימום לילה, לרמה הגדולה פי 2 מאשר במפרק 14.



ציור מס. 11: מהלך הגודל היחסי של מאגר הפחמימות בטיפולים DN1000 ו-N1000 בניסוי שנערך בתחנת ניסיונות ערבה בעונת 1998.

השוואה בין פרוטוקול חימום הלילה של 2 עונות המחקר מראה כי מהלך טמפרטורת החימום בעונת 1998 (ציור 10) היה יציב פחות מאשר בעונת 1997 (ציור 5). הסיבה נעוצה בהספקת פד"ח למערכת הגידול. בעונת 1998 היו בעיות טכניות בהספקה השוטפת של פד"ח, ובהתאם המודל הגיב לרמות הנמוכות של פד"ח. ניתן לראות את השינויים האלה בטבלה 4.

במועד מפרק 21 הייתה בעיה בהספקת פד"ח בטיפול DN650 ו-DN1000 (טבלה 4: ערכים מודגשים), ובמקביל רואים בציור 10 ירידה חריפה בטמפרטורת חימום הלילה המומלץ על-ידי המודל. תופעה דומה נצפתה במפרק 24 עבור טיפול DN1000, (טבלה 4: ערך מודגש ו- ציור 10).

טבלה מס. 4: ריכוז יומי ממוצע של פד"ח (ppm) במהלך ניסוי העשרה בפד"ח וחימום לילה ובוקר עם מלוני ערבה, שנערך בתחנת ניסיונות ערבה במהלך עונת 1998. ערכים מודגשים מציינים ערכי פד"ח חריגים.

מפרק	חימום לילה ובוקר עם העשרה ל- 1000 ppm פד"ח (DN1000)	חימום לילה ובוקר עם העשרה ל- 650 ppm פד"ח (DN650)	ביקורת (DN330)
20	802	556	294
21	289	246	271
22	664	551	235
23	804	554	254
24	551	642	202
25	741	618	299
26	905	620	146
27	838	639	231

4. מסקנות

תוצאות המחקר מציעות לשלב חימום עם העשרה בפד"ח. בתנאי האקלים של הערבה הדרומית, גידול אביבי של מלוני ערבה בחימום לילה לא גורם לתוספת יכול כלל, (ציור 8). לעומת זאת, העשרה בפד"ח ללא חימום לילה מפחיתה את תועלת ההעשרה בפד"ח, (ציור 3). רק שילוב של חימום והעשרה מתמשכת בחימום הניב את התוצאה הרצויה.

נראה כי חימום ל- 18°C לאחר תחילת היווצרות גל הפירות הראשון עלול לגרום לפחיתת ביבול (ציור 3). המחקר מצא כי קביעת טמפרטורת החימום באמצעות מודל, הבוחן דינמית את מאזן הפחמימות של הצמח, היה בעל יתרון בביצועים האגרונומיים (ציורים 3 ו- 8) והכלכליים (ציור 4) של הגידול.

מתוצאות המחקר עולה בבירור כי יש להפחית את הטמפרטורה המרבית של חימום הלילה לקראת ההתפתחות של גל הפירות השני, בתנאי העשרת פד"ח ל- 1000 ppm (ציורים 5 ו- 10). ככל שרמת ההעשרה יורדת כן יש להפחית את טמפרטורת הלילה מוקדם יותר בכדי לא לפגוע בביצועים של גל הפירות השני.

הורדת טמפרטורת הלילה נובעת מדלדול במאגר הפחמימות כתוצאה מהגידול הנמרץ של גל הפירות הראשון (ציורים 6 ו- 9). כתוצאה מכך יורד קצב הגידול הלילי של הצמחים ולכן יש צורך להפחית את טמפרטורת החימום בלילה, בכדי לשמור על קצב גידול מירבי של פירות הגל השני.

סיכום המחקר לשנת 1999

ההשפעה המשולבת של העשרה בפד"ח וחימום לילה על גידול
מלונים מודלים בחממות

650-0236-99

<p>1. מטרת המחקר לתקופת הדו"ח תוך התייחסות לתוכנית העבודה.</p> <p>במהלך השנה האחרונה הושם דגש על פיתוח נוסף מודל (MELGRO) אשר מטרתו לקבוע את הטמפרטורה האופטימלית לחימום לילה של מלונים הגדלים תחת העשרת פד"ח בערבה. ביצועי המודל נבחנו כנגד ניסוי חימום לילה וחימום בוקר מוקדם והעשרה בפד"ח בגידול מלונים מודלים.</p>
<p>2. עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח.</p> <p>פותח מודל MELGRO לקביעה אופטימלית של טמפרטורת החימום בלילה והחימום ביום בגידול מלונים מועשרים בפד"ח. הביצועים הכלכליים והאגרונומיים של גידול מלונים השתפרו, כאשר טמפרטורת הלילה והבוקר המוקדם נקבעה באמצעות מודל MELGRO. טיפול כזה הניב יכול גבוה מכל שאר הטיפולים. נראה כי שימוש במודל מאפשר הפחתה של ריכוז עמילן בעלים.</p>
<p>3. המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו.</p> <p>מהתוצאות נראה כי העלאה של ריכוז תרכובות לא מבניות בעלים (עמילן וסוכר חופשי) מהווה גורם מגביל בתגובת הצמח להעשרה בפד"ח. שימוש במודל MELGRO בתקופת הגידול הליניארית של גל הפירות הראשון הניב ביצועים משופרים בגידול מלונים מועשר בפד"ח.</p>
<p>4. הבעיות שנותרו לפתרון ו/או השינויים שחלו במהלך העבודה (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים); התייחסות המשך המחקר לגביהן.</p> <p>יש להמשיך ולבחון את משך החימום הלילי הרצוי ואת הזמן הרצוי לביצוע חימום הלילה במהלך הלילה.</p>
<p>5. האם הוחל כבר בהפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח - יש לפרט: פרסומים - כמקובל בביבליוגרפיה.</p> <p>העבודה הוצגה בשני כינוסים מדעיים:</p> <p>Kenig A., and S. Kramer. 1999. Decision model to determine nighttime temperature for muskmelons grown under elevated CO levels. 1st Int Workshop Models for Plant Growth in Greenhouses Feb 1999, The Volcani Center, Israel. To be published in the ISHS Acta Horticulturae.</p> <p>Kenig A., S. Kramer, and B. Lipkind. 1999. Decision model to determine heating temperature for muskmelons grown under elevated CO levels. International Symposium Modelling Cropping Systems. June 1999. Lleida, Spain. pp. 207-208.</p>