

השפעת העשרה ב- CO₂ על פריסת היבול בתות-שדה

חוקרים שותפים:

ד"ר שורץ אמנון, ד"ר קיגל חיים - הפקולטה לחקלאות רחובות.
כהן שבתאי, מתן אלי, יחזקאל חנה, שמואל דוד - מו"פ דרום.

מבוא ותיאור הבעיה:

הבסיס הפיסיולוגי להגדלת היבול בתנאי העשרה ב- CO₂ מקורו בעובדה שאפנייות האנזים RuBP-carboxylase (רוביסקו) ל-CO₂, אינה מיטבית באטמוספירה שבה ריכוז ה-CO₂ עומד על 350 ppm (0.035%). הגדלת הלחץ החלקי של CO₂ מגבירה את יעילות הקישור וכך גדלה זמינות ה-CO₂ לפוטוסינתזה. הגדלת ריכוז ה-CO₂ בכלורופלסטים מפחיתה את קצב "נשימת האור" (פוטורספירציה) אשר מקטינה את קצב הקיבוע הפחמן נטו. כמו כן, ריכוז CO₂ גבוה עשוי להקטין את מפתחי הפיוניות ולהקטין את קצב הטרנספירציה ליחידת שטח עלה מבלי לפגוע באופן משמעותי בדיפוזיה של CO₂ אל תוך העלה (הגדלת יעילות ניצול המים WUE). הגדלת ריכוז ה-CO₂ באוויר החממה עשוי, על כן, להגדיל את קצב הפוטוסינתזה ואת קצב ייצור החומר היבש.

אנו ערים לשוני המהותי בעלות הכלכלית של העשרה ב-CO₂ באזורים בעלי אקלים קר שבהן לא דרוש אוורור תכופ של החממה לצורך הורדת הטמפרטורה לבין האזור שלנו, שבו שטף הקרינה הגבוה מחייב אוורור החממה להורדת הטמפרטורה. החלפת האוויר בחממה במהלך העשרה ב-CO₂ גורמת למעשה "לבזבוז" CO₂, עד כדי העמדת כדאיות הטיפול בספק. בנוסף על כך, עלות ה-CO₂ למגדל בארצות אירופה היא במקרים רבים נמוכה יותר שכן ה-CO₂ הוא תוצר לוואי של שרפת גז טבעי, המשמש באופן ישיר או עקיף לחימום החממה. בחלק מהחממות נוהגים אף לאגור את ה-CO₂ הנפלט במהלך החימום בלילה, ולספקו לחממה בשעות היום. לעומת זאת, יעילות ההעשרה ב-CO₂ בחודשי החורף באירופה מוגבלת בשל הימים הקצרים ושטפי הקרינה הנמוכים (PAR). שטף הקרינה הפוטוסינתטית השוררת בארץ בחודשי החורף עשויה לאפשר ניצול יעיל של ה-CO₂, אלא שיש לדאוג להורדת הטמפרטורה בחממה, ע"י אוורור, כל אימת שזו עולה אל מעבר לסף שנקבע.

גידול תות השדה בארץ עובר בהדרגה אינטנסיפיקציה, המתבטאת בהגדלת החלק היחסי של גידול תות שדה בחממות, במצעים מנותקים ובתנאי בטמפרטורה מבוקרת. שיטת הגידול בחממות, במצעים מנותקים, תלויים, תוארה ע"י שבתאי כהן וחובריו בדו"ח למדען הראשי של משרד החקלאות 1999 וכן בפרסום של שה"ם - "המלצות לגידול תות שדה במצעים מנותקים". מלבד השיפור האגרוטכני, הוכנסו במהלך השנים האחרונות זנים חדשים, ובאחרונה נעשה מאמץ מחקרי מחודש להכוונת הפריחה ולקבלת יבול במועדים מועדפים. בחורף 2000/2001 היקף הגידול במצעים מנותקים בחממות עמד על כ- 130 דונם. בשיטת הגידול הצפוף "במארזים התלויים" מתקבל ניצול מיטבי של שטח החממה. סביר להניח שבשיטת "הגידול הצפוף" קיים ניצול מיטבי (ייתכן מקסימאלי) של שטח החממה, אך לא בהכרח השגנו את מלוא פוטנציאל הניבה של הצמח הבודד. להערכתנו, בחינה של השפעת העשרה ב-CO₂ על היבול, היא שלב מתבקש בחתירה להשגת מלוא פוטנציאל הניבה של הצמח הבודד. הנתונים המופיעים בספרות העולמית מצביעים על התרומה של תוספת CO₂ להגדלת היבול ולשיפור איכותו. להערכתנו התוצאות שהושגו בשתי שנות המחקר האחרונות, למרות השונות הגדולה בין השנים, מצביעות על העובדה שגם ב"העשרה מופסקת", על בסיס רמות סף של טמפרטורה, מתקבלת תוספת יבול.

תיאור מקיף של הפעלת המחקר:

הניסויים בוצעו במו"פ דרום בחוות הבשור בשתי חממות נפרדות שבהן קיימת בקרת אקלים: חממת הטיפול שבה סופק CO₂ "קר" ממיכל שהוצב בסמוך לדופן החממה (חממה מס' 15) וחממת הביקורת (חממה מס' 17) שתנאי הסביבה דומים לאלה של חממת הטיפול, פרט לריכוז ה-CO₂ אשר דמה לזה השורר בחממות תות בעלות נפח דומה. ה-CO₂ הוזרם בלחץ ממיכל החיצוני אל חלל החממה באמצעות

שלוחות טפטוף (זהות לאלו המשמשות להשקיה) שנמתחו במקביל לכיוון השורות בגובה של כ- 1.5 מטר מעל לנוף במרחק של כ- 2 מטר האחת מהשנייה. אוויר החממה הועשר ב- CO_2 , בשעות היום, עד לריכוז מקסימאלי של 900 ppm. ההעשרה ב- CO_2 החלה בשעות הבוקר כאשר שטף הקרינה הפוטוסינתטית בגובה הצמחים עלה על $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ ופסקה בשעות אחה"צ כאשר שטף הקרינה ירד מהערך הנ"ל. במשך היום פסקה הזרמת ה- CO_2 , באופן אוטומטי, כאשר הטמפרטורה עברה את טמפרטורת הסף של 28°C או שהלחות היחסית עלתה על - 90%. כעשר דקות לאחר הפסקת הזרמת ה- CO_2 מתחיל אוורור של החממה להורדת הטמפרטורה. כאשר הטמפרטורה ירדה ל- 25°C בקרוב, פוסקת פעולת המאווררים ואספקת ה- CO_2 מתחדשת (ראה איור 4). בלילות בהן ירדה הטמפרטורה מתחת ל- 14°C הופעלה מערכת החימום שהזרימה לחממה אוויר מחומם. באיור 4 מוצגים תנאי האקלים בשעות היום בחממה שבה בוצעה העשרה ב- CO_2 ביום מדגמי, ב-10.01.2001. ניתן להבחין שההעשרה החלה ב-שעה 6:45 בבוקר, כאשר שטף הקרינה הגיע לסף שנקבע ופסקה ב-15:17. רציפות העשרה נקטעה בכל פעם שהטמפרטורה הגיעה ל- 28°C ולראשונה בשעה 10:30 בקרוב. החל מ-10:30 ועד 15:00 הופעלו המאווררים למשך כ-15 דקות בכל פעם שהטמפרטורה התקרבה ל- 28°C , חמש עשרה פעמים באותו יום. לפני הפעלת המאווררים הופסקה אספקת ה- CO_2 וחודשה שנית כאשר טמפי' החממה ירדה ל- 25°C בקירוב. התנאים ששררו באותו יום מחוץ לחממה מאפיינים רבים מימי החורף באזור הבשור, שבהם העננות מועטה והטמפרטורה גבוה יחסית. ימים ללא עננות ובטמפי' חיצונית נמוכה עשויים להתאים במיוחד להעשרה ב- CO_2 , שכן ניתן לקיים העשרה מתמשכת בלא צורך באוורור.

תות השדה נשתל בערוגות תלויות בשני מועדים 10.9.200 (ב, באיורים המצורפים) ו-21.9.2000 (ג) ובשני מרווחי שתילה שונים 11 ו-15 צמחים למטר שורה בהתאמה (מוצגים באיורים כ-11 ו-15). המרווח בין השורות עמד על 65 ס"מ בכל הטיפולים. השתילה בוצעה במארוזי קל-קר מתוצרת חברת קל-קר קיבוץ עין כרמל. רוחב הערוגה התלויה 10 ס"מ ועומקה 9 ס"מ, נפח מצע הגידול כ-9 ליטר למטר רץ. מצע הגידול כלל 85% קליפות קוקוס ו-15% פוליסטירן. שלוחת הטפטוף נפרסה על גבי המצע לאורך המארוזים. ניתנה השקיה במספר פולסים מדי יום, החל משלושה פולסים של 2 מ"ק לדונם כל אחד בתקופה הסמוכה לשתילה ועד 6 פולסים ליום באביב 2001. הצמחים דושנו בדשן מור 6 : 2.5 : 4 (N.P.K) מתוצרת חברת דשנים וחומרים כימיים בריכוז שבין 80-100 ppm חנקן צרוף. נשתלו שתילים מהזן שמספרו 328 אשר הוכנו במשתלת קדש-ברנע. מספר הצמחים לדונם בחלקה שבה העומד הוא 11 צמחים למטר רץ הוא כ-13,000. מחיר השתילים עמד באותה תקופה על 60 אג' לשתיל. העובדה שהצמחים גדלו במארוזים תלויים אפשרה לרווח את השורות, באופן זמני, לצורך מעבר בזמן הקטיף, ריסוס או הסרת עלים שהזדקנו.

תוצאות:

מעקב רצוף אחר פריסת היבול לאורך העונה מנובמבר ועד אפריל בטיפולים השונים הכוללים שני מועדי שתילה, שתי צפיפויות וכן העשרה ב- CO_2 מוצג בטבלה מס' 2 ובאיורים מס' 1 ו-2. בטבלה מס' 2 מוצג סיכום היבול מסוג א' והיבול הכללי לעונה כולה.

מהתוצאות עולה כי לשתילה המוקדמת לא היה יתרון מבחינת היבול הכולל אך היה לה יתרון מבחינת גודל היבול בחודש נובמבר שהיה גבוה ב-70% ו-56% ביבול סוג א' וביבול הכללי בהתאמה לעומת היבול שנתקבל בשתילה המאוחרת (טבלה 2). להגדלת הצפיפות מ-11 צמחים למטר רץ ל-15 צמחים למטר רץ לא הייתה השפעה על היבול הכללי או על פריסתו.

העשרה ב- CO_2 הגדילה את היבול מסוג א' בכ-35% הן במועד השתילה הראשון והן בשני. השפעתו על היבול הכולל הייתה מעט קטנה יותר והגיע לשיעור של כ-25%.

באיור מס' 3 מוצגת השוואה בין היבול בשנת 99/2000 לבין היבול 2000/01. מוצגים היבול הכללי והיבול ליצוא החל מנובמבר ועד אפריל בשנה הבאה. בעוד שהיבול הכללי היה דומה בשתי השנים, הרי היבול המיועד ליצוא היה נמוך באופן משמעותי ב-00/01 לעומת 99/00. מסיבה בלתי ברורה, בשלב זה, היה אחוז הפרות המעוותים ב-00/01 גבוה באופן מיוחד.

בטבלה מס' 1 מוצגת ההשפעה של העשרה ב- CO_2 על היבול הכללי ועל יבול באיכות יצוא בשני מועדי

השתילה 10.9 ו- 21.9 ובשני העומדים 11 ו- 15 צמחים למטר שורה. בטבלה מס' 2 ובאיוורים 1 ו- 2 מוצגת פריסת היבול בהתאם לחודשי הקטיף.

טבלה מס' 1

השפעת מועד השתילה, הצפיפות והעשרה ב- CO₂ על היבול תות שדה מסוג א' ועל היבול הכללי בתקופה שבין נובמבר לאפריל בעונת הגידול 2001-2000.

יבול סוג א' עונת
2001-2000

מועדי שתילה	מס' צמחים מ' רץ	CO ₂	יבול ק"ג לדונם	תוספת יבול
10.9.2000 ב	11	+	7669	35%
		-	5038	
	15	+	7383	25%
		-	5598	
21.9.2000 ג	11	+	7780	35%
		-	5092	
	15	+	7811	34%
		-	5154	

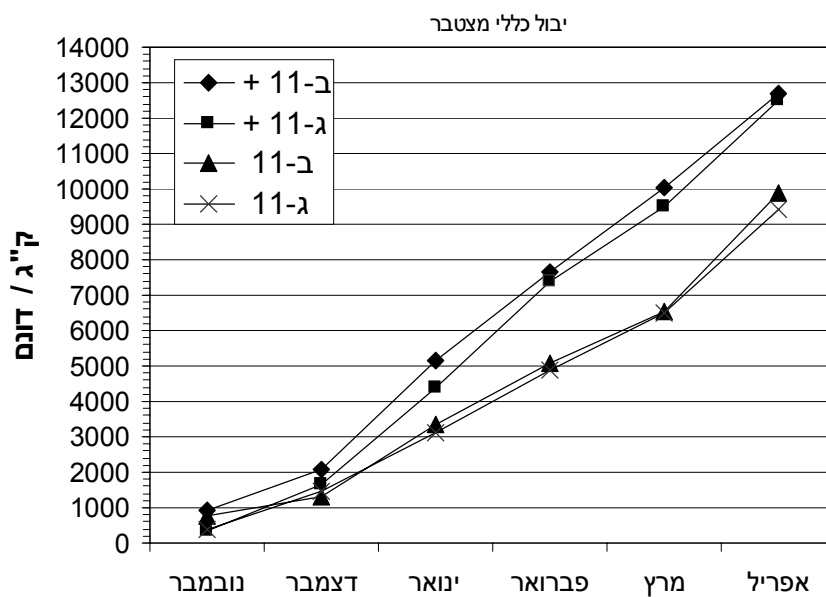
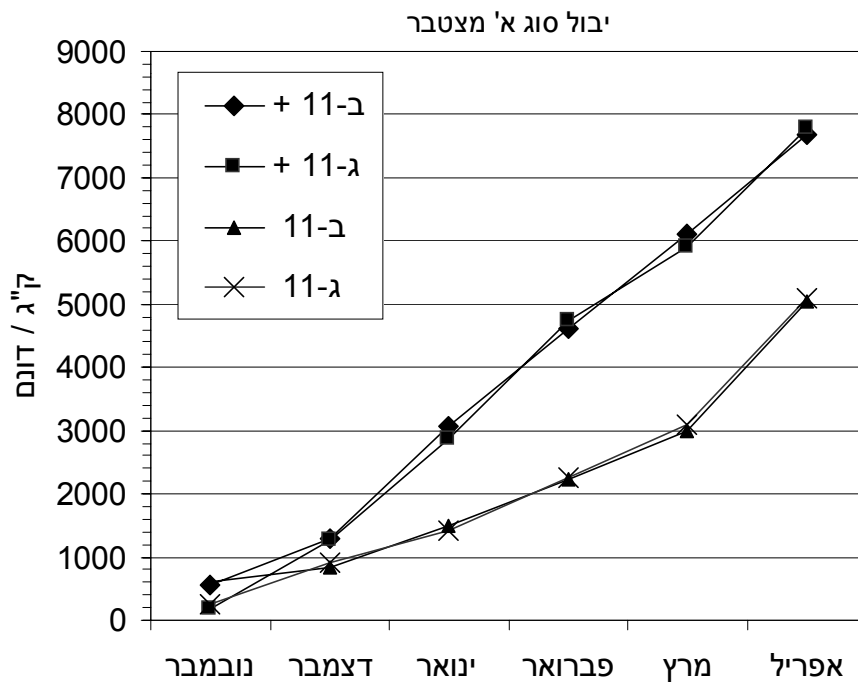
יבול כללי עונת
2001-2000

מועדי שתילה	מס' צמחים מ' רץ	CO ₂	יבול ק"ג לדונם	תוספת יבול
10.9.2000 ב	11	+	12693	22%
		-	9877	
	15	+	12250	12%
		-	10792	
21.9.2000 ג	11	+	12495	25%
		-	9424	
	15	+	12873	27%
		-	9432	

טבלה מס' 2:

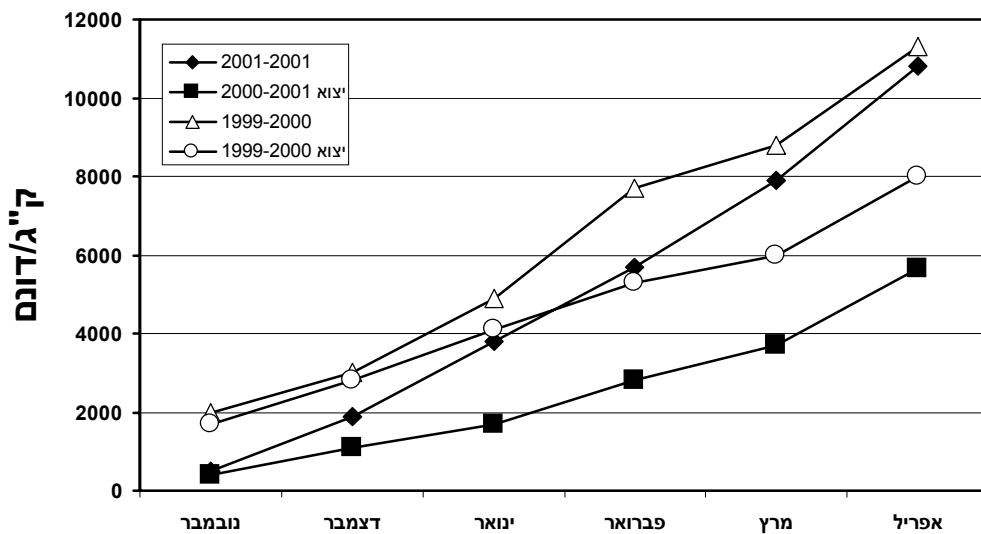
פריסת יבול תות שדה בחורף 2000/2001. ב' ו- ג' הם מועדי השתילה 10.9.2000 ו- 21.9.2000 בהתאמה. המרחק בין השורות 65 ס"מ, מרחקי שתילה 11 ו- 15 צמחים למטר רץ. + העשרה ב- CO₂ בשעות שבהן שטף הקרינה גבוה מ- 100 μmol m⁻² sec⁻¹ והטמפרטורה נמוכה מ- 28°C.

							יבול סוג א'
							מועדים ב-ג
							0.65 מ' בין התעלות
							11 צ' למ' רץ
							סימן + העשרה
נובמבר	דצמבר	ינואר	פברואר	מרץ	אפריל		
551.58	748.72	1770.9	1542	1497.6	1558.7	ב - 11 +	
165.25	1108.6	1587.8	1867.6	1179.3	1871.6	ג - 11 +	
596.63	239.33	649.55	756.75	739.24	2057.2	ב - 11	
252.73	666.15	497.2	843.81	838.08	1995	ג - 11	
							מצטבר
551.58	1300.3	3071.2	4613.2	6110.8	7669.5	ב - 11 +	
165.25	1273.8	2861.6	4729.2	5908.5	7780.1	ג - 11 +	
596.63	835.95	1485.5	2242.3	2981.5	5038.7	ב - 11	
252.73	918.88	1416.1	2259.9	3098	5092.9	ג - 11	
							יבול כללי
							מועדים ב-ג
							0.65 מ' בין התעלות
							11 צ' למ' רץ
							סימן + העשרה
נובמבר	דצמבר	ינואר	פברואר	מרץ	אפריל		
909.27	1184	3073.6	2487.5	2391.1	2647.3	ב - 11 +	
327.2	1315.6	2737.1	3009.8	2111.5	2993.7	ג - 11 +	
783.91	538.34	2034.8	1709.2	1456.9	3353.6	ב - 11	
372.76	1087.4	1674.4	1765.8	1613.6	2910.4	ג - 11	
							מצטבר
909.27	2093.3	5166.9	7654.3	10045	12693	ב - 11 +	
327.2	1642.8	4379.9	7389.6	9501.1	12495	ג - 11 +	
783.91	1322.2	3357.1	5066.3	6523.2	9876.8	ב - 11	
372.76	1460.1	3134.5	4900.3	6514	9424.3	ג - 11	
							יבול סוג א'
							מועדים ב-ג
							0.65 מ' בין התעלות
							15 צ' למ' רץ
							סימן + העשרה
נובמבר	דצמבר	ינואר	פברואר	מרץ	אפריל		
568.25	698.65	1613.3	1574.8	1128.9	1799.8	ב - 15 +	
159.14	1300.9	1420.5	2062.6	1101.1	1767.2	ג - 15 +	
602.92	186.97	727.1	905.01	797.81	2378.6	ב - 15	
239.54	721.46	562.36	789.1	917.39	1924.2	ג - 15	
							מצטבר
568.25	1266.9	2880.2	4455	5583.9	7383.7	ב - 15 +	
159.14	1460.1	2880.5	4943.2	6044.3	7811.5	ג - 15 +	
602.92	789.89	1517	2422	3219.8	5598.5	ב - 15	
239.54	961.01	1523.4	2312.5	3229.9	5154.1	ג - 15	
							יבול כללי
							מועדים ב-ג
							0.65 מ' בין התעלות
							15 צ' למ' רץ
							סימן + העשרה
נובמבר	דצמבר	ינואר	פברואר	מרץ	אפריל		
942.56	1140.1	2804.6	2641.1	1945.1	2776.1	ב - 15 +	
362.62	1628.3	2726.4	3512.9	1905.6	2737.4	ג - 15 +	
852.27	576.88	2281.7	1983.3	1506.1	3592.1	ב - 15	
330	1173.9	1556.2	1707	1867.3	2797.3	ג - 15	
							מצטבר
942.56	2082.6	4887.3	7528.4	9473.5	12250	ב - 15 +	
362.62	1991	4717.3	8230.3	10136	12873	ג - 15 +	
852.27	1429.1	3710.9	5694.2	7200.2	10792	ב - 15	
330	1503.9	3060.2	4767.2	6634.5	9431.8	ג - 15	



איורים 1,2

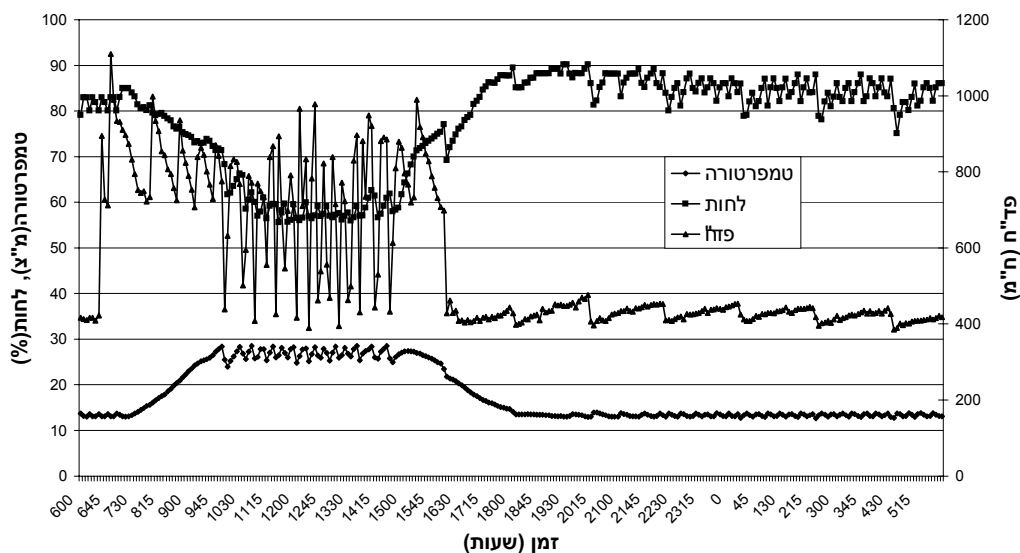
פריסת יבול תות שדה בחורף 2000/2001. יבול סוג א' (למעלה) ויבול כללי מצטבר (למטה).
 ב' ו- ג' הם מועדי השתילה 10.9.2000 ו- 21.9.2000 בהתאמה. המרחק בין השורות 65 ס"מ,
 מרחקי שתילה 11 צמחים למטר רץ. + העשרה ב- CO₂ בשעות שבהן שטף הקרינה גבוה מ-
 100 μmol m⁻² sec⁻¹ והטמפרטורה נמוכה מ- 28°C.



איור 3

יבול כללי מצטבר ויבול באיכות יצוא בחורפים 1999/2000 ו-2000/2001. בעוד שביבול הכללי הייתה בשנת 2000/01 ירידה מתונה לעומת השנה הקודמת הרי בכמות הפרי הראוי ליצוא הייתה בשנה האחרונה ירידה משמעותית.

הטמפרטורה, הלחות ורמת הפד"ח בחממה (פד"ח-קר) 10/01/01



איור מס' 4

המהלך היומי של הטמפרטורה, הלחות היחסית וריכוז ה- CO_2 בחממה ביום מיצג בחורף 2001/2000. העשרה ב- CO_2 הופעלה כאשר הטמפרטורה בשעות היום הייתה והטמפרטורה נמוכה מ- $28^{\circ}C$. כאשר הטמפ' עלתה ל- $28^{\circ}C$ פסקה פעולת המבערים והופעלו מאווררים. לאחר שהטמפרטורה ירדה ל- $25^{\circ}C$ חודשה פעולת המבערים ואספקת ה- CO_2 חודשה.

סיכום:

תות שדה מהזן שמספרו 382 גודל בחממות בחוות הבשור במצעים מנותקים במארזים תלויים ובצפיפות של 11 ו-15 צמחים למטר רץ. מספר הצמחים לדונם בעומד של 11 צמחים למטר היה 13000 צמחים לדונם. מחיר השתילים, שנקנו במשתלת קדש ברנע, עמד באותה תקופה על 60 אג' לשתיל. העובדה שהצמחים גדלו במארזים תלויים אפשרה לרווח את השורות, באופן זמני, לצורך מעבר בזמן הקטיף, ריסוס או הסרת עלים שהזדקנו. לעומד של 15 צמחים למטר רץ לא היה יתרון על פני 11 צמחים למטר. להקדמת השתילה עד ל-10.9 הייתה השפעה חיובית על היבול בנובמבר אך לא בעונה כולה. העשרה ב- CO_2 "קר" בשעות היום שבהן הטמפרטורה בחממה נמוכה מטמפרטורת סף של 28°C . כאשר הטמפרטורה הגיע לטמפרטורת הסף פסקה זמנית הזרמת ה- CO_2 והחממה אווררה ע"י הפעלת מאווררים ופתיחת וילונות.

העשרה ב- CO_2 הגדילה את כמות הפרי באיכות יצוא ב-35% מ-5092 ק"ג לדונם ל-7780 ק"ג לדונם. היבול הכללי עלה בעקבות העשרה ב-25% מ-9424 ק"ג לדונם ל-12495 ק"ג לדונם.

להערכתנו בשיטת גידול תות שדה בחממות בעלות גמלון גבוה, בגידול צפוף במצעים מנותקים צריכה העשרה ב- CO_2 להפוך לפרקטיקה מקובלת. להערכתנו מגדלי תות שדה בחממות שיאמצו את שיטת ההעשרה ב- CO_2 יזכו לתוספת יבול.

תכנית הניסויים לעונת הגידול 2001/2002 כוללת העשרה ב- CO_2 "חס" שיתקבל ע"י שריפת גז בישול. מבוצעים שני טיפולי העשרה ב- CO_2 על בסיס ערכי סף דומים לאלה של השנה הקודמת. האחד העשרה במשך כל שעות היום והטיפול השני "העשרת קצוות" בשעות הבוקר ובשעות אחה"צ בלבד.