

33/187 10

מינהל המחקר החקלאי

המכון לגידולי-שדה וגן

השפעת עוצמת הקרינה על הפריחה, החנטה וההתפתחות של הפרי בעגבניה

מאת

א. שגיא, אירית רילסקה, ו- מ. פוקס

בולטין חס' 208

05
1/2

הספריה המדכזית
למדעי החקלאות
בית-דגן

המחלקה לפירסומים מדעיים
מרכז וולקני בית-דגן

1979

תוכן הענינים

עמוד

1	I. מבוא
2	II. סקירת ספרות
9	III. שיטות וחומרים
18	IV. תוצאות
18	א. מדידות מטאורולוגיות
22	ב. מבנה הפרח
27	ג. קצב ההתפתחות של הצמח
30	ד. פריחה וחנטה
33	ה. התפתחות הפרי
37	ו. היבול, גודל הפרי ואיכותו
48	ז. צבירת החומר הטרי והיבש בצמח
50	ו. דיון ומסקנות
63	VI. תקציר
65	VII. רשימת ספרות
I-III	VIII. תקציר באנגלית

I. מבוא

העגבניה (*Lycopersicon esculentum* Mill.) היא אחד מצמחי התרבות החשובים והיא עומדת בראש רשימת הירקות מבחינת שטחי גידולה ואפשרות שיווקה לאירופה. מתוך מחקר נרחב בפיסיולוגיה של צמח העגבניה שבוצע בעולם, ידוע כי לתנאי האקלים השפעה רבה על התפתחותו ופוריותו. מבין הגורמים האקלימיים תופסת קרינת השמש, האופיינית בעוצמתה לכל איזור אקלימי בעולם, מקום נכבד מאוד - וארצנו מאופיינת כאיזור שבו עוצמת הקרינה חזקה במיוחד.

רוב העבודות העוסקות בהשפעת הקרינה על צמח העגבניה נעשו בארצות צפוניות (אירופה, ארה"ב), שבהן עוצמת קרינת השמש נמוכה מזו שבארץ. המחקר בנושא זה שנעשה בארץ התמקד בעיקר בהשפעת הקרינה על התארכות הפרקים ועל התפתחות צבע הפרי; לא נעשו עבודות שבחנו את השפעת עוצמת הקרינה על ההתפתחות הרפרודוקטיבית. לפיכך השאלה הבסיסית ומטרת המחקר העיקרית היתה לבחון את השפעתן של רמות קרינה שונות על הפריחה, החנטה וההתפתחות של פרי העגבניה בעונות השנה השונות בישראל.

היבט מעשי לכך נמצא בעובדה, שבעונת הסתיו-חורף מקובל מאוד גידול עגבניות בשטח הפתוח באזורי הבשור ופתחת רפיח. בשנים האחרונות הסתמנה נטייה לגדל עגבניות בסככות רשת. בשנים 1975-1978 חלה התרחבות מהירה של השטחים המכוסים ברשתות. לעומת זאת, בשנת 1978/79 היתה נסיגה ניכרת וכמעט לא היו שטחים שכוסו ברשתות.

לגידול בסככות רשת כמה יתרונות: אנו מגינים על הגידול מברד, סופות חול ורוחות חזקות. מאידך גיסא, כיסוי ברשת משנה את התנאים האקלימיים, ובעיקר את עוצמת קרינת השמש, ויתכן שלכך השפעה על צמחי העגבניה. הפחתת עוצמת הקרינה בעונה זו של השנה והשוני הרב שבין סוגי הרשתות מבחינת עוצמת הקרינה העוברת דרכן העמידו לפנינו את השאלה, אם בכלל ואם כך עד כמה מותר להפחית את עוצמת הקרינה בגידול עגבניות בישראל בחודשי הסתיו והחורף.

II. סקירת ספרות

אנרגיית קרינת השמש הפעילה בפוטוסינתזה, נקלטת בצמח ומנוצלת לחיזור פחמן וליצירת פחמימות. קצב התהליך הפוטוסינתטי קשור לשינויים בעוצמת הקרינה. התלות הקיימת בין עוצמת הקרינה ובין הפוטוסינתזה מתבטאת בעלייה ברמת המוטמעים עם עליית עוצמת הקרינה, אבל לא תמיד תהיה פרופורציונלית לקרינה המגיעה לצמח (18, 19). בעוצמת קרינה חלשה מאוד לא תהיה כלל צבירה של חומר, כי כל הפחמימות שיסונתזו ינוצלו כדי לאפשר נשימת הצמח (22, 25). כשעוצמת הקרינה גדלה והצמח נמצא מעבר ל"נקודת-האיזון" (קומפנסציה), תהיה לצבירת החומר ולקצב הפוטוסינתזה נטייה להיות פרופורציונליים לעוצמה (8, 20, 86). בעוצמות קרינה גבוהות יחסית יעילות תוספת הקרינה קטנה עם העלייה בעוצמה (19, 20, 31), וכשמושגת "רוויה" - קצב הפוטוסינתזה קבוע ואינו עולה עם עליית עוצמת הקרינה (22).

עוצמת הקרינה ב"רוויה" שונה בצמחים שונים ומוגבלת ע"י תנאי סביבה שונים כגון טמפרטורה וריכוז CO_2 (10, 19, 86). אפשר למצוא הגדרות לערכי הקרינה בנקודת "האיזון" ו"הרוויה" לעלה בודד; אולם למרות המודלים והמשוואות המאפשרים חישוב הכושר הפוטוסינתטי לצמח השלם (24, 34, 19), קשה לאמוד באופן מעשי את עוצמת הקרינה האופטימלית בצמח השלם, בשל המיסוך המתבטא בכך שהעלים העליונים מקטינים את כמות הקרינה המגיעה לעלים התחתונים.

הגדלת היבולים וצימוח וגטטיבי כתוצאה מהעלאת עוצמת הקרינה מוסברת, בדרך כלל, כקשורה בהגברת ההטמעה וייצור החומר היבש. במספר רב של צמחים (15, 39), נמצא ששיעור הגדילה במשקל היבש ליחידת שטח (net assimilation rate ובקיצור NAR) מושפע מקרינה - יותר מאשר מגורם סביבתי אחר, ונמצא מיתאם חיובי בין NAR ובין עוצמת הקרינה. Cooper (25) בדק את קצב ההטמעה של צמחי עגבניות, והראה שקצב ההטמעה נטו הנמוך ביותר נרשם בעוצמות קרינה נמוכות, באמצע דצמבר סמוך ליום הקצר ביותר, ואילו קצב הקיבוע המירבי נרשם בעוצמות קרינה גבוהות בקיץ. בעונת החורף, כמות הקרינה הפוטוסינתטית היא הגורם העיקרי הקובע את קצב הגדילה בקיץ עוצמת הקרינה בדרך כלל מספיקה, והגידול מוגבל בשל גורמים אחרים (20).

מספר הפיוניות בעלה ומצב פתיחתן נחשבים אף הם כגורם המשפיע על שינוי ברמת הפוטוסינתזה (40). מצב פתיחתן נמצא בדרך כלל בהתאמה עם שינוי קיבוע ה- CO_2 ומספרן תלוי ברמת הקרינה שהיתה לעלה בזמן גדילתו: בעוצמת קרינה גבוהה - הן בצד התחתון של עלה העגבניה והן בצדו העליון - צפיפות הפיוניות גדולה פי 10 ויותר מזו שבעלים שהתפתחו בעוצמת קרינה נמוכה (32).

בין עוצמת הקרינה ובין הטמפרטורה קיימת אינטראקציה (75). בטמפרטורות גבוהות עולה נקודת ה"רזינה", והצמח יכול לנצל עוצמות קרינה גבוהות יותר (86); צמחים שגדלו בעוצמת קרינה גבוהה הגיעו ל"רזינה" בעוצמות גבוהות יותר (14). מאידך גיסא, בעוצמות קרינה גבוהות מאוד, עקב התחממות הצמח לטמפרטורות שמעבר לאופטימום מוגבר שיעור הפוטורספירציה, עולה נקודת הקומפנסציה ל- CO_2 ועל ידי כך מפסיד הצמח גם אנרגיה וגם חלק מהפחמן שנקשר בתהליך ההטמעה (49).

שילוב של טמפרטורה גבוהה ועוצמת קרינה נמוכה הביא לידי קבלת תכולת פחמימות נמוכה ביותר (75), ועיכוב בהתפתחות קודקוד הצמח (48). טמפרטורות נמוכות ורמת קרינה נמוכה מהוות גורם מגביל בכל שלבי גידול העגבניה: קצב ההטמעה איטי ותכולת הפחמימות נמוכה ביותר. כמו כן התפתחות הצמח איטית, התפתחות התפרחות וחלקי הפרח השונים נפגעת, ההפריה לקויה, התפתחות הפרי מעוכבת, היבול הכללי קטן ואיכותו נמוכה (71, 76, 83). העלאת עוצמת הקרינה הגבירה את קצב העברת הפחמן ואת קצב הקיבוע, הגדילה את כמות הכלורופיל ואת רמת הסוכר בעלים והמריצה את הגדילה (36, 41).

מרכיב נוסף בהשפעת הקרינה הוא משך תקופת ההארה ומתיחס לאורך היום. בסוגים רבים של צמחים נודעת לאורך היום חשיבות מכרעת ובמקרים מסוימים הוא מווסת את התהליכים הרפרודוקטיביים בצמח. העגבניה אינה נמנית עם סוגים אלו, ופריחתה תחול בימים ארוכים ובימים קצרים כאחד (11, 22). אף על פי כך, לאורך היום השפעה על צמח העגבניה. בימים קצרים מואט קצב ההטמעה נטו, ובימים קצרים מ-6 שעות שואף קצב הקיבוע לאפס (25). ביום ארוך (16 שעות) היה המשקל היבש של צמח העגבניה כפול ממשקלו ביום קצר (8 שעות) ושטח העלים היה ב-55% גדול יותר ביום ארוך (47).

פרח העגבניה הוא אנדרוגני, הגביע והכותרת בעלי 5-10 אונות, ובד"כ 6 אונות. האבקנים קבועים על צינור הכותרת ונישאים על זירים קצרים. המאבקים בעלי 2 לשכות, הנפתחות בפתח ארוך מקצהו העליון של הפרח עד לבסיסו. השחלה - עילית, בעלת מספר מגורות, עמוד עלי וצללקת אחת. כתנאים אקלימיים תת-אופטימליים יכולות להיגרם תופעות חריגות בהתפתחות הפרח המתבטאות, בין השאר, בעיוותים מורפולוגיים במבנה הפרח (7, 62, 76, 83).

מיני הבר של צמח העגבניה, ששימשו מקור לצמחי התרבות, היו רובם בעלי הפריה זרה; במינים אלה הצלקת גבוהה בהרבה מעל צינור האבקנים. ברוב הזנים התרבותיים הקיימים כיום אין הצלקת צומחת מחוץ לצינור האבקנים (82) ושיעור ההאבקה העצמית בעגבניה, כתנאי סביבה רגילים, מתקרב ל-100%. חוקרים רבים (4, 23, 70) הראו, שקיימת תלות מובהקת בין גובה עמוד העלי, יחסית לצינור האבקנים, ובין נשירת הפרחים ושיעור

החנטה. התארכות עמוד העלי מהווה תכונה אופיינית לזן (4, 70) ומושפעת מתנאי סביבה שונים. צמיחת הצלקת אל מחוץ לצינור האבקנים תלויה בהפתחת עוצמת הקרינה (51, 71), היא אופיינית לתנאי טמפרטורה גבוהה (7, 23), ומונעת אפשרות של האבקה עצמית, וכתוצאה מכך הפרח נושר.

עוצמת קרינה נמוכה גורמת להתארכות עמוד העלי (45), מעכבת את ההתפתחות המורפולוגית של הפרחים, גורמת להופעת אבקנים קטנים מהרגיל, וכתוצאה מכך יוצרת מצב של עמוד עלי גבוה מפני האבקנים (75). לכמות גרגרי האבקה המשתחררת על פני הצלקת, לחיותה ולקצב נביטתה – חשיבות מכרעת בתהליכי ההפריה והחנטה (7, 82). כל פגיעה באחד המרכיבים האלה עלול לגרום ירידה בשיעור החנטה. כמות גרגרי האבקה על הצלקת משפיעה על כושר נביטתם, על מידת ההפריה, על מספר הזרעים בפרי ועל גודל הפרי (29). עוצמת קרינה נמוכה מאריכה את זמן חדירת הנחשון דרך עמוד העלי (53). משך נביטה ארוך עלול לגרום לחוסר הפריה, וכתוצאה מכך לנשירת פרחים או היווצרות פירות מועטי זרעים (59). כאשר עוצמת הקרינה נמוכה נוצרת אבקה בלתי חיונית. אבקה בלתי פוריה עשויה להתפתח כתוצאה ממלאי דל של פחמימות (69); יש מיתאם חיובי בין זמינות הפחמימות ובין חיות האבקה, ותוספת הארה לצמחים הגבירה את חיות האבקה. בדיקות ציטולוגיות הראו, שתאים ספורוגניים לא עברו חלוקה מיוטית עקב חוסר פחמימות (45). שילוב של כמות מעטה של גרגרי אבקה בעלי חיות מועטה עם קצב אטי של נביטת אבקה מקטין את סיכויי נחשון הנביטה להגיע לביצית ולהפרותה לפני התנוונותה.

הנצת הניצנים באופן נורמלי אינה נמנעת בשל תנאי סביבה קשים, אך אלה פוגעים בהתפתחות הניצנים לפרחים וחלק גדול מהפרחים הנוצרים עשוי להיות מעוות ובלתי חיוני (21). קשה להגדיר במדויק את התנאים הללו, משום שמעורבים בכך מספר גורמים; אך ברור, שאחד הגורמים הוא רמת קרינה נמוכה (22). יכולת העגבניה לשמור על התפתחות נורמלית של ניצני הפרח תלויה, בין השאר, ביכולת ההטמעה והשגת המזון. קצב הטמעה אטי בתנאי סביבה קשים עלול להמריץ התפתחות מעוותת של פרחים. שחלות שהתפתחו בעונה הקרה היו מעוותות בשל נזקים שגרם הקור בזמן התפתחות השחלה (73). הגדלת עוצמת הקרינה הביאה לידי גידול נורמלי של הביציות והשחלה (83) והפחיתה את זמן ההתפתחות מניצן מיקרוסקופי ועד לאנטזיס (55). Saito (76) הפחית את עוצמת הקרינה ל-4 רמות שונות, ומצא שעוצמת קרינה נמוכה עיכבה את ההתפתחות המורפולוגית של הפרחים; ככל שעוצמת הקרינה היתה גבוהה יותר – משקל השחלה, קוטרה, משקל שקי האבקה ומשקל הפרח כולו היו גדולים יותר. Marr and Hillyer (62) מציינים, שהצללה גרמה לביקוע האבקנים, ליצירת חלל בין המאבקים בנקודת חיבורם לפרח, וליצירת שחלה מוארכת ומחורצת. מסקנתם היא, שהתפתחות שחלה לא נורמלית היא, כנראה, תוצאה מהפרעה בתפקוד מטבוליזם החנקן, שנגרם בשל עוצמת קרינה נמוכה.

הורדת עוצמת הקרינה במספר ניסויים ובזנים שונים גרמה להפחתת הסתעפות הצמחים ומספר התפרחות במידה ניכרת. ברמת קרינה נמוכה מאוד (70% צל) ירד מספר ההסתעפויות עד כדי 40% בלבד ממספרם בעוצמת קרינה מלאה (6). תוספת הארה של $368\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ לעגבניות שגדלו בעוצמת קרינה נמוכה ($200\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ליום) הכפילה את מספר הפרחים לצמח (71).

בעוצמת קרינה נמוכה נמצאה בפרחים תכולה מועטה של פחמימות, עמילן, סוכרים וחומצות גרעין בהשוואה לפרחים שהתפתחו בעוצמות קרינה גבוהות יותר (75). לכן הפלה (אבורציה) של הפרחים בתנאי עוצמה נמוכה היא תופעה שכיחה (21, 27). בעגבניות המתפתחות בעוצמת קרינה נמוכה ולא מספקת מעוכבת יצירת התפרחות ע"י העלים הצעירים, ובמיוחד אלו שנוצרו לפני התפרחת. יש להניח שהעלים מהווים מבלע חזק יותר (56, 61), וישנה עדיפות לגידול הווגטטיבי על פני הגידול הרפרודוקטיבי (26). נשירת הפרחים היא, כנראה, הרחבה של אותה תחרות על השגת המזון בין הגידול הווגטטיבי ובין התפתחות הפרחים (21).

לפי דעה המובעת במחקרים אחדים (21, 55), עוצמת קרינה נמוכה וטמפרטורה גבוהה אינן רצויות בייחוד בשלב מתקדם בהתפתחות התפרחת ועלולות להיות הגורם העיקרי בנשירת הפרחים. מספר הפרקים עד להופעת התפרחת הראשונה זהה בעוצמת קרינה נמוכה ובעוצמת קרינה גבוהה, אך משך הזמן עד להופעת התפרחת (13) ולאנטזיס (55) היה קצר יותר בעוצמת הקרינה הגבוהה, וככל שצמחים שהו פרקי-זמן ארוכים יותר בתנאי הארה נמוכים חל איחור באינציאציית הפרחים ובקצב התפתחותם (55).

חנטת הפרי בעגבניה היא תהליך בעל רגישות רבה, מורכב ודורש לקיומו התקין שילוב של מספר מערכות מטבוליות והורמונליות. פגיעה באחד המרכיבים של מערכות אלה בשלבי התפתחות שונים עלול לגרום לחוסר חנטה. השפעת עוצמת הקרינה ניכרת בכל השלבים והגורמים המשתתפים בתהליך ההפריה והחנטה. יכולות להיות לכך סיבות אחדות: מחסור במוטמעים כתוצאה מרמת הטמעה נמוכה, טרנסלוקציה לקויה של מוטמעים לתפרחות ולפרחים, עקרות פונקציונלית מחמת חוסר התאמה מורפולוגי בין חלקי הפרח, ועוד.

בתנאי טמפרטורות נמוכות (23) ועוצמת קרינה נמוכה (71) שיעור החנטה הוא נמוך ביותר. בניסוי שערך Crume (28) בקיץ, כאשר עוצמת הקרינה היתה גבוהה, התקבלה חנטה טובה יותר מזו שהתקבלה בניסוי שנערך באותן טמפרטורות בחורף, וכשעוצמת הקרינה היתה גבוהה התקבלה - במספר זנים - חנטה טובה גם כאשר טמפרטורת הלילה היתה 7 מ"צ.

תוספת הארה לצמחים שגדלו בעוצמת הקרינה הנמוכה השוררת בחורף הגדילה את שיעור

החנטה מ-54% ל-67% (71). מאידך גיסא, גם טמפרטורות ועוצמת קרינה גבוהות מאוד גורמות לחנטה לקויה ונשירה, ועוצמת הקרינה הגבוהה במיוחד השוררת בטכסט, ארה"ב, בקיץ (100.000 Lux ו-40 מ"צ) השפיעה שלילית על החנטה; והפחתה בעוצמת הקרינה, בלי להפחית בצורה משמעותית את הטמפרטורה, גרמה שיפור ניכר בחנטה (52).

הגרוי לגדילת השחלה קשור לגדילת בחשוני האבקה ולהפריה של הביציות (80). עם ראשית התפתחותן של הביציות חלים התחלקות מהירה של התאים המופרים וגידול מהיר של התאים הפרנקימטיים בשלילה. גידול הפרי נובע בעיקרו מגדילת נפחם של התאים, ולא מהתחלקותם הנפסקת סמוך להפריה (44). כשמבטאים את גדילת פרי עגבניה במונחים של משקל טרי ויבש, גודל פרי וזמן התפתחות - מתקבלת עקומה סיגמואידית (33, 65). עקומות אלו מראות קצב גידול דומה לקצב הגידול הווגטטיבי - בתחילה איטי, אחר-כך מהיר, ולבסוף שוב ירידה בקצב הגדילה עד שהפרי מגיע לגודלו הסופי (80).

יכולת הפרי להתפתח תלויה ביכולתו לקבל ולמשוך מוטמעים. בתנאים מסוימים, גם ללא הפריה טובה נוצרים פירות; אך הללו נשארים בדרך-כלל קטנים ובלתי מפותחים עד להבשלתם. חוסר ההתפתחות אפשרי ונובע מחוסר מוטמעים; תוספת הארה לצמחים שהתפתחו בתנאי עוצמה נמוכה והפריה תקינה הביאו לידי התפתחות פרי בגודל נורמלי (83). בחורף, כשעוצמת הקרינה מהווה גורם מגביל בגידול, נמצא שהגדלת עוצמת הקרינה הביאה לידי התפתחות פרי גדול יותר: מספר הפירות היה כמעט כפול, והיכול הסופי היה גדול יותר מפי 3 (71). רמת קרינה גבוהה הביאה לידי הבכרה (27, 83), ופירות שהתפתחו בעוצמת קרינה גבוהה היו באופן יחסי יותר רגולריים ופחות מעוותים מפירות שהתפתחו בעוצמת קרינה נמוכה (62, 83). מאידך גיסא, בקיץ עוצמת קרינה גבוהה שגרמה אף לטמפרטורות גבוהות מאוד - גרמה להיווצרות פרי קטן, והפחתה בעוצמת הקרינה הביאה לידי שיפור הגודל והיכול (52). בעבודה שנעשתה בארץ (6) נמצא, שהיכול הרב ביותר נתקבל בעוצמת קרינה של 85% מעוצמת הקרינה המלאה בקיץ, ובעוצמות קרינה נמוכות יותר או גבוהות יותר חלה ירידה ביכול הפרי.

איכות הפירות מתבטאת בצורה, בצבע, במבנה ובניחוח, והיא מושפעת מתנאי סביבה שונים. גורמי הסביבה אשר בהשתנותם מערערים את התפתחות התקניה של הפרי מביאים לידי שינויים בהרכבו ובצורתו של הפרי. הצורה החיצונית של הפרי נקבעת לעיתים בשלב מוקדם, ועיוותים בשחלה שנוצרו עוד בזמן התפתחות הפרח גורמים להתפתחות פרי בעל צורה בלתי רגולרית ומעוות (73). שחלות שצורתן מוארכת ומחורצת התפתחו לפרי בעל צורה בלתי סימטרית ומעוותת "cat faced". הפחתת עוצמת הקרינה לשלוש רמות שונות הפחותות מהעוצמה המלאה: 30, 45, ו-63 אחוזי צל - הגדילה את אחוז הפירות המעוותים וככל שגברה ההצללה היה העיוות רב ושכיח יותר (62).

במכלול הבעיות הכרוכות באיכות הפרי ובהתאמתו ליצוא נכללת גם החלילות, שבזנים מסוימים היא הבעיה החמורה ביותר. משקלם הנמוך של פירות אלה והמרקם הרך שלהם פוסלים אותם לשיווק ולייצוא. בחתך רוחב בפרי חלול נראים חללי אוויר בין רקמת הפרנכימה של השיליה לבין הדופן הפנימי של הפריקרב. רוחב החללים 1-25 מ"מ ואורכם נע בין מספר מילימטרים ועד להיקף הפרי כולו. חלילות הפירות ידועה בארצות שונות ונפוצה בעיקר בעונה הקרה (9, 69, 85). מקובלת הדעה, שהחלילות נגרמת ע"י שילובם של מספר גורמים, ביניהם גורמים תורשתיים, גורמי סביבה וגורמים אגרוטכניים. לעוצמת הקרינה השפעה רבה על שיעור החלילות, וזו בולטת בתנאי עוצמת קרינה נמוכה (85). גם לעונת הגידול השפעה ברורה על הרגישות לחלילות. שילוב של רמת קרינה נמוכה וטמפרטורות נמוכות מגדיל את שיעור החלילות, ועם העלייה בעוצמת הקרינה באביב חלה ירידה חדה באחוז הפירות החלולים (9, 85). Leopold and Guernsey (60) תולים את פעולת הקרינה על שיעור החלילות בהשפעתה על תכולת הפחמימות בצמח. כאמור, עם הירידה בעוצמת הקרינה יורד קצב יצירת הפחמימות (8). ערעור האיזון בין כמויות החנקן והפחמימות בצמח, כאשר תכולת החנקן גבוהה מתכולת הפחמימות המקבילה, יוצר תנאים נאותים להיווצרות פירות חלולים (60).

כתמי שעם בפריקרב הפרי מציינים התפתחות בלתי תקינה של פרי העגבניה. על פני הפרי נראים אזורים משועמים בגדלים שונים, הנשארים ירוקים או ירוקים אפורים בעוד ששאר הפרי מאדים. הכתמים מתבלטים בפרי אדום, אך אין הבחנה מוחלטת בין האיזור האדום והירוק. חתך רוחב בפרי מראה שצינורות ההובלה שברקמת הפריקרב נשארו ירוקים-אפורים ולא האדימו. הסיבה הבסיסית להתפתחות כתמי-השעם היא כנראה פיסיוולוגית (16) ומושפעת מגורמי סביבה שונים (38). Cooper et al. (27) כותבים, שהצללה ממושכת בשילוב עם טמפרטורות גבוהות הפחיתו את כמות הפירות שצבעם לא אחיד. לעומתם מציינים (42) שקיימת קורלציה שלילית בין כתמי השעם ומספר שעות זהירות השמש, ויתכן, שלמשך זהירות השמש יש השפעה מצטברת. הופעת כתמי השעם מוגברת בצורה משמעותית ביותר כשהתנודות באור חזקות, וחשיבות התנודות כנראה גדולה מחשיבות האור עצמו (63).

בהשפעת הקרינה והטמפרטורות המשתנות במשך העונה חלים שינויים בתכולת הפרי: כלל המוצקים, אחוז הסוכר וערכי ה-pH (66). בניסוי שנערך ב-Maryland, ארה"ב (54), נראתה ירידה באחוז החומר היבש עם העונה, וההסבר שניתן לכך מתבסס על הקטנת כמות הקרינה היומית. הצללה של פירות במשך התפתחותם גרמה ירידה במתכונת הסוכרים וכלל המוצקים, ואילו העלאת עוצמת הקרינה או הארה על הפרי הגדילו את רמת הסוכר ואת מוצקות הפרי (64, 85). החומציות מתנהגת כמו הסוכר וכלל המוצקים, אך האפקט פחות חזק; עלייה בעוצמת הקרינה לא תמיד מעלה את החומציות, ולפעמים אף מתקבלת תוצאה הפוכה (9).

צבע פרי העגבניה הוא אחד מקובעי האיכות החשובים ונקבע בעיקר ע"י שני פיגמנטים קרטונואידים הנוצרים בפרי עם הבשלתו, ליקופן (אדום) ובטא-קרוטן (צהוב). עוצמת הצבע היא תוצאה של כמות הקרטונואידים והיחס בין הליקופן והבטא-קרוטן, המהווים 95% מכלל הקרטונואידים (58). היחס בין האדום (a) לצהוב (b) נותן את הביטוי לעוצמת הצבע האדום (a/b), וככל שהיחס גדול יותר - הצבע אדום יותר.

פרי העגבניה משנה צבעו באופן טבעי כשעודנו קשור לשיח. הפרי עובר רצף של תהליכים המביא לידי העלמות הצבע הירוק (כלורופיל) האופייני לפרי צעיר. התהליך האופייני של שינוי הצבע קשור לתהליכי הבשלה פנימיים ומושפע בעיקר מגורמים אקלימיים חיצוניים (54). רמת הקרטונואידים היתה נמוכה כשמנעו קרינה מעגבניות במשך ההבשלה בשדה (79), ובעגבניות שהבשילו באור נמצאה כמות קרטונואידים כפולה מזו שנמצאה בפירות ששהו בחושך (67). Thomas and Jen (81) מצאו שרמת הקרטונואידים עלתה באופן ליניארי עם העלאת עוצמת הקרינה עד לעוצמה של 243 mW/cm^2 . מהירות השלמתו של תהליך "התפרצות-הצבע" (color break) אף היא תלויה בתנאי הסביבה - טמפרטורה וקרינה; ועוצמת קרינה נמוכה גרמה להצטברות קרטונואידים והתפרקות כלורופיל איטית יותר, בהשוואה לפירות ששהו בעוצמות קרינה גבוהות יותר (50, 81, 84). מאידך גיסא, בניסויים אחרים, נמצא כי השפעת עוצמת הקרינה על צבע הפרי אינה כה חד-משמעית. עגבניות שהתפתחו במקום מוסתר מהשמש פיתחו צבע אדום עמוק יותר מאשר פירות שהיו חשופים לקרינה ישירה (30); ופרי החשוף לקרינת שמש ישירה במשך ההבשלה - עלולה להיפגע בו סינתזת הליקופן כתוצאה מעליית הטמפרטורה והתחממות הפרי (64).

III. שיטות וחומרים

השפעת עוצמת הקרינה על הפריחה, על החנטה ועל התפתחות פרי העגבניה נבדקה באור טבעי.

העבודה כללה שתי מערכות ניסויים בשדה: 1. כחדשי האביב והקיץ (1977) בבית-דגן. 2. בחודשי הסתיו והחורף (1977/78) בחוות-הבשור שבחבל אשכול.

סככות הרשת (ציור 1) שבהן נערכו הניסויים היו בנויות שלד אלומניום מכוסה ברשתות העשויות פוליאתילן. קרינה בעוצמה שונה נתקבלה ע"י שימוש ברשתות בעלות יכולת שונה להעברת קרינת השמש דרכן. כיוון הציר האורכי של המבנה היה צפון-דרום (אסימות 360^0), גובהו היה 2.5 מ' ורוחבו 12 מ'. בעונת הקיץ אורכו היה 128 מ' (8 מ' כל חלקה \times 16 חלקות). בעונת הסתיו-חורף - 138 מ' (6 מ' כל חלקה \times 23 חלקות, שמהן 7 חלקות משמשות כשוליים).

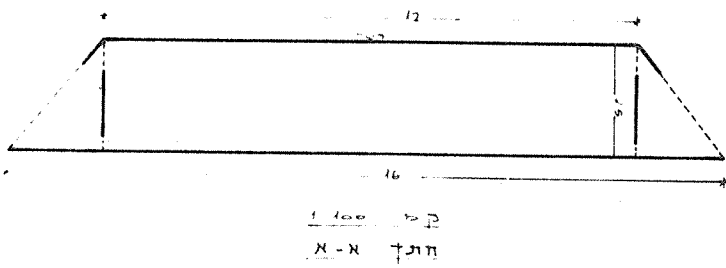
הקושי הרב ביותר הכרוך בבחינת השפעת עוצמת הקרינה בתנאי שדה נעוץ בבידוד השפעות אפשריות בין עוצמת הקרינה עצמה, לבין הגורם העיקרי הקשור בה - הטמפרטורה. לכן תוכננו סככות הרשת ונבנו כך שהאוויר יהיה מכסימלי ואחיד בכל הטיפולים, וההבדל בטמפרטורות בין הטיפולים השונים יהיה מינימלי.

הצללה מחלקה לחלקה נמנעה ע"י: א. הצבת בית הרשת בכיוון צפון-דרום. ב. חישוב רוחק ההצללה בעזרת נתוני האסימות וגובה השמש מהאופק (לפי אשבל, 1965). צמחים בשולי הרשת, שעליהם הוטל צל של שתי רשתות בשעה כל שהיא של היום, לא נכללו בניסוי.

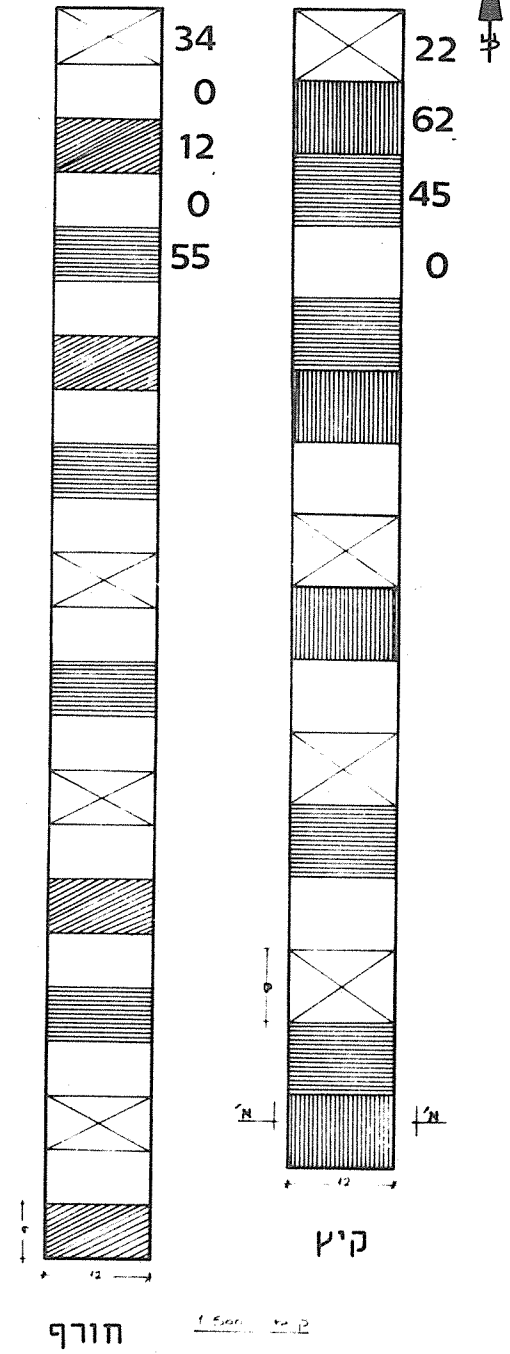
הטיפולים: בעונת הקיץ:

1. קרינת שמש מלאה.
2. עוצמת קרינה גבוהה כאשר מקדם מעבירות הקרינה הממוצע היה $0.78 \times 100 = \%$ מעבירות הקרינה). הושג ע"י כיסוי ברשת לבנה, 2121/10 מתוצרת רשת - או-פלסט (גודל החריר - אורך 4 מ"מ, רוחב 3 מ"מ, עובי חוט 1.3 מ"מ).
3. עוצמת קרינה בינונית - מקדם מעבירות הקרינה הממוצע 0.55, הושג ע"י כיסוי ברשת שחורה 1611/10 מתוצרת רשת - או-פלסט (גודל החריר - אורך 8.5 מ"מ, רוחב 6 מ"מ, עובי חוט 1.4 מ"מ).
4. עוצמת קרינה נמוכה - מקדם מעבירות הקרינה הממוצע 0.38, הושג ע"י כיסוי ברשת שחורה 3010/10 מתוצרת רשת-או-פלסט (גודל החריר - אורך 4 מ"מ, רוחב 2 מ"מ, עובי חוט 1.3 מ"מ).

צילור 1: מבט על וחתך בסככות הרשת.



הצללה סמוצעת (%)



בעונת החורף:

1. קרינת שמש מלאה.
 2. עוצמת קרינה גבוהה - מקדם מעבירות הקרינה הממוצע 0.88, הושג ע"י כיסוי ברשת לבנה מתוצרת Retes, איטליה (גודל החריץ - אורך 7.8 מ"מ, רוחב 2.6 מ"מ, עובי חוט 0.28 מ"מ).
 3. עוצמת קרינה בינונית - מקדם מעבירות הקרינה הממוצע 0.66, הושג ע"י כיסוי ברשת לבנה 2121/10 מתוצרת רשת-או-פלסט (טיפול *2 - קיץ).
 4. עוצמת קרינה נמוכה - מקדם מעבירות הקרינה הממוצע 0.45, הושג ע"י כיסוי ברשת שחורה 1611/10 מתוצרת רשת-או-פלסט (טיפול *3 - קיץ).
- * בגלל הבדלים בזווית השמש בקיץ ובחורף יש הבדל באחוז הקרינה העובר דרך אותה רשת.

לכל טיפול היו 4 חזרות, ובכל חזרה 10 צמחים לזן. אי כיסוי ברשת בעונת החורף גורם תנאי סביבה שונים, שלא נובעים משינוי בעוצמת הקרינה, כגון חוסר הגנה מפני רוחות. לכן לא ניתן להשוות במדויק בין עוצמת קרינה מלאה ובין שאר עוצמות הקרינה. לפיכך, בקרינת שמש מלאה נאספו נתונים על היכול בלבד, וזאת לשם השוואה בין שטח פתוח לשטח מוגן ברשת.

הניסויים בוצעו בעגבניות מהזנים הבאים:

- א. חוסן-אילון - זן מסיים למחצה (סמי-דטרמיננטי) מטיפוח מקומי, שגודל בהדליה בין זוגות חוטים שנתמכו בעזרת עמודים, כמקובל בשדות מסחריים.
- ב. ורסטו (Viresto)- זן בלתי מסיים (אינדטרמיננטי), שטופח בהולנד לגידול בחממות ונגזם לענף אחד.

שיטת הגידול. בעונת הקיץ: שתילי עגבניות ("חישתיל") משני הזנים,

- בני 42 ימים, נשתלו ב-11.4.77. בעונת החורף: שתילי עגבניות ("חישתיל") משני הזנים, בני 38 ימים, נשתלו ב-15.9.77.
- הזן חוסן-אילון נשתל ברווחים של 0.5 מ' בשורה ו-1.4 מ' בין השורות.
- הזן ורסטו נשתל ברווחים של 0.4 מ' בשורה ו-0.35 מ' בין השורות.
- הכנת הקרקע בחלקות הניסוי כללה זיבול, דישון, וחיטוי במתיל ברומיד. נהגי ההשקיה, הדישון והריסוסים להדברה ולמניעה של מחלות ומזיקים - נעשו כנדרש וכמקובל בשדות מסחריים.
- הכיסוי ברשת בוצע 6-9 ימים לאחר השתילה, כדי למנוע השפעת עוצמת הקרינה על קליטת הצמחים.

מדירות מטאורולוגיות

מדירת הקרינה - ההשתנות היומית בקרינת השמש ומעבירות עוצמת הקרינה בטיפולים (רשתות) השונים, נמדדה מעל לנוף הצמחי בימים בהירים מעלות השחר ועד שקיעת השמש, 3 פעמים בעונה, בשלבים שונים של התפתחות הצמחים.

עוצמת הקרינה נמדדה באמצעות מדי קרינה (סולארימטרים) מטיפוס "קיפ" שכולו כנגד פיראנומטר ספקטרלי מדויק מסוג "אפלי", הרגיש כמעט לכל הספקטרום של קרינת השמש. מדי הקרינה הוצבו במקביל לקרקע, בגובה של 1.80 מ', במרכז סככת הרשת במיקום זהה בכל הטיפולים. האותות החשמליים שיצאו ממדי הקרינה הועברו לאינטגרטורים צוברים, ואלה נקראו מדי 30 דקות. הדיוק של מערכת המדידה היה שווה ל- $6.97 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

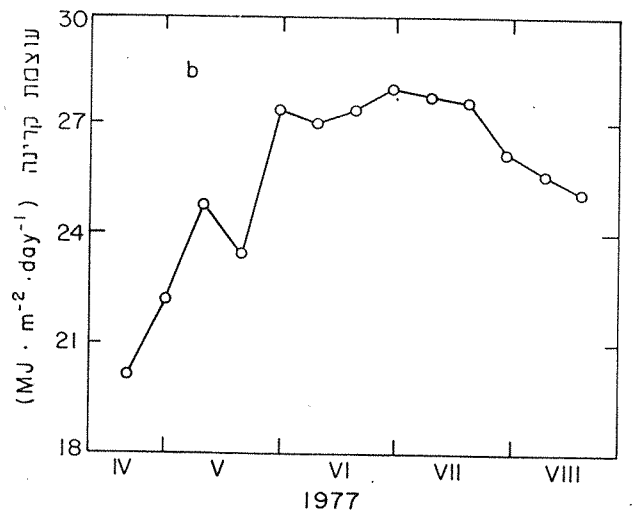
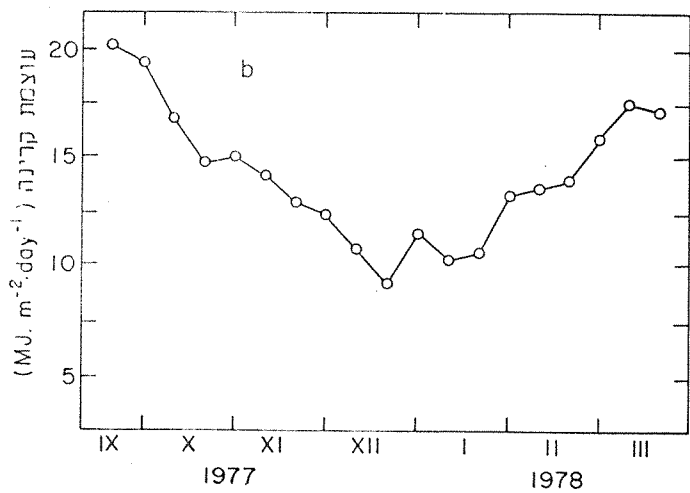
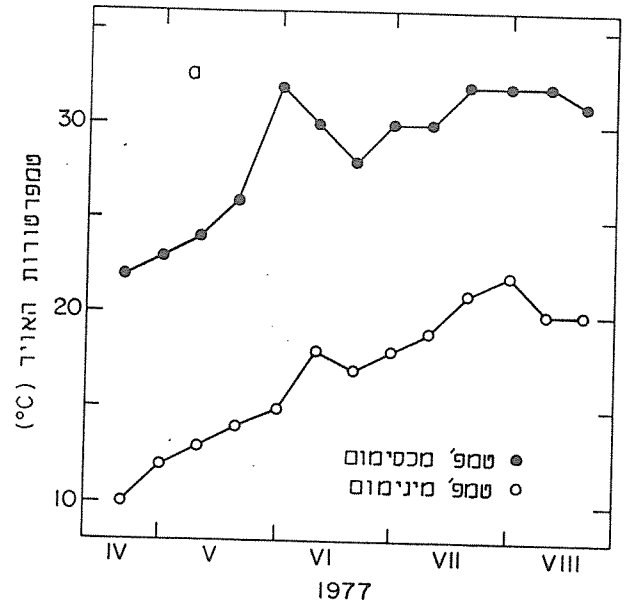
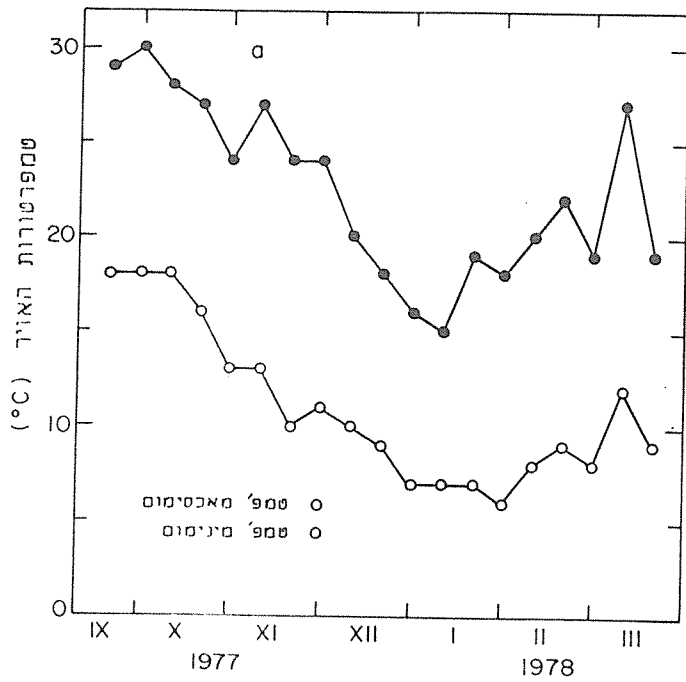
ממוצעים של עוצמת קרינת השמש במשך שתי עונות הגידול, כפי שחושבו מנתוני השרות המטאורולוגי, מוצגים בציורים 2 ו-3. עיון בציורים מבהיר כי עוצמת קרינת השמש בעונת הקיץ היתה גבוהה, עלתה בהדרגה והגיעה לערכים מאכסימליים בחודשים יוני יולי $27.2 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ בממוצע ליום. רמת קרינת השמש בחורף היתה נמוכה, הערכים הגבוהים ביותר נרשמו בתחילת העונה $21 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ בממוצע ליום והערכים הנמוכים ביותר נרשמו באמצע דצמבר $9 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$.

טמפרטורות האוויר - מהלך טמפרטורות האוויר ששררו בסככות הרשת במרוצת עונת הגידול נרשמו ע"י תרמוגרפים וניתנים בציורים 2 ו-3. מכיון שהמדידה בתרמוגרף לא מדויקת, בעיקר בשל התחממות שונה של הסוכה המטאורולוגית בעוצמות הקרינה השונות, נמדדה טמפרטורת האוויר בטיפולים השונים פעם או פעמיים בשבוע בשעות החמות של היום (11.00 - 13.00) ע"י פסיכרומטר מסוג "אסמן" מתוצרת "קסלה" אנגליה. במכשיר זה נתון מד החום בתוך שרול קונצנטרי מבריק, לביטול השפעת הקרינה, ומפוח קטן יוצר תנועת אוויר סביבו.

טמפרטורות הפרי - טמפרטורת הפרי נמדדה ע"י צמד-חומני (תרמוקפל), המורכב מחוטי נחושת וקונסטנטן שהולחמו בקצותיהם. המדידה נעשתה ע"י נעיצת קצה הצמד החומני לתוך הפריקרב במרכז פרי עגבניה ירוק, באזור שלא היה חשוף לקרינה ישירה, על השיח (5 פירות לטיפול). הפרש המתחים נמדד מדי שעה במיליוולטמטר והטמפרטורה חושבה ע"י כיוול מתאים.

פריחה וחנטה

קצב הפריחה. קצב הפריחה בזן ורסטו הוגדר כמשך הזמן מהשתילה ועד לפריחה של תפרחות 4 עד 9. כתפרחת פורחת נקבעה תפרחת שלפחות 3 מפרחיה הגיעו ליום



צור 3: טמפרטורות מינימום ומכסימום
(a) ועוצמת קרינה יומית (b),
ממוצע ל-10 ימים. חורף.

צור 2: טמפרטורות מינימום ומכסימום
(a) ועוצמת קרינה יומית (b),
ממוצע ל-10 ימים. קיץ.

האנטזיס.

בזן חוסן-אילון נבדקו מספר התפרחות לצמח בשלבים שונים של התפתחותו.

ספירה והנבטת אבקה (in vitro). דגימות של אבקה מפרחים מהזנים ומהטיפולים השונים נלקחו ביום פתיחת הפרח. האבקה נאספה באמצעות מלקחים עדינים לתוך צלחת פטרי בקוטר של 3.7 ס"מ ופוזרה בצורה אחידה. ההנבטה נעשתה במצע מלאכותי של 1cc תמיסה שהכילה 15% סוכרוז (ניסויים מקדימים), 100 ppm חומצה בורית, 300 ppm חנקת הסידן, 100 ppm חנקת האשלגן ו-200 ppm גפרת המגניזיום (17).

האבקה הונבטה בעוצמת אור קבועה ובטמפרטורה של 26 ± 1 (17, 23). מספר גרגרי האבקה ואחוז הנביטה נקבעו בעזרת תא ספירה (המוצטומטר), שתיים לאחר ההדגרה על המצע, וזאת כדי למנוע התארכות יתר של נחשוני הנביטה והסתבכות ביניהם. העיבוד הסטטיסטי נעשה לפי אקראיות גמורה.

האבקה מלאכותית (in vivo). בצמחים שגדלו בבית צמיחה מחומם בתנאים מיטיביים ואחידים נעשתה ביום האנטזיס האבקה מלאכותית, באבקה שנלקחה מטיפולי הקרינה השונים. כדי למנוע האבקה עצמית הוסרו האבקנים מהפרח יום לפני פתיחת הפרח. לאחר גדילת הפרי נספרו הזרעים בפירות ונקבעה מידת ההפריה.

דירוג גובה עמוד העלי. גובה עמוד העלי דורג לפי 3 דרגות ונקבע ביום האנטזיס כלהלן: 1 - נמוך מפני האבקנים; 2 - בגובה פני האבקנים; 3 - גבוה מפני האבקנים.

עיוותים בפרח. פרח נחשב מעוות אם לפחות לאחד מאבריו היה מבנה מורפולוגי שונה וחריג מזה של פרח נורמלי. בעונה הקרה אובחנו מספר תופעות חריגות בהתפתחות הפרח:

- א. שחלה מפוצלת ומחורצת;
- ב. עמוד עלי מעובה, מפוצל ומעוקם;
- ג. חוסר הפרדה של שקי אבקה מעמוד העלי ומספר עודף של שקי אבקה.

ביום האנטזיס הוסרו באקראי ונבדקו 50 פרחים מכל טיפול.

חנטה. החנטה בזן ורסטו נבדקה בכל התפרחות שהיו על הצמח עד חודש לפני סיום הניסוי (11 תפרחות בקיץ, 9 תפרחות בחורף). בזן חוסן אילון נקבע אחוז החנטה על בסיס של בדיקות שנערכו במועדים שונים במהלך העונה. בכל מועד נבדקו בכל צמח 2 תפרחות שהיו בזמן פריחה. לשם זהוי חוזר של אותה תפרחת סומנו התפרחות בתווית ממוספרת. הפרחים והפירות לתפרחת נספרו בכל מועד, ומנתונים אלה חושבו

אחוזי החנטה. כשהשחלה היתה גדולה מ-15 מ"מ, נחשב הפרח כחנט. פרי קטן מ-30 מ"מ נחשב כחנט לא מפותח.

התפתחות הפרי

עקומת גדילה. נערך מעקב אחר השינויים החלים בקוטר הפרי מיום פתיחת הפרח ועד ההבשלה. קוטר השחלה ביום פתיחת הפרח נקבע ע"י הסרת 60 פרחים מכל טיפול ומדידת קוטר השחלה במעבדה. פרחים אחרים סומנו בתווית ממספרת ביום פתיחת הפרח, וכעבור 10 ימים סומנו הפירות בצבע במרכזם ובשני הצדדים. קוטר הפרי בין 2 הסימונים נמדד מדי 10-14 ימים עד למועד ההבשלה, במדיד פלסטי המסוגל למדוד שינויים של עשירית המילימטר. כשמודדים גדילת פירות לרוחב מקובל, בדרך-כלל, למדוד את היקף הפירות בסרט מדידה. שיטתנו מדויקת יותר, כי בה ניתן תמיד למדוד את המרחק בין 2 נקודות קבועות.

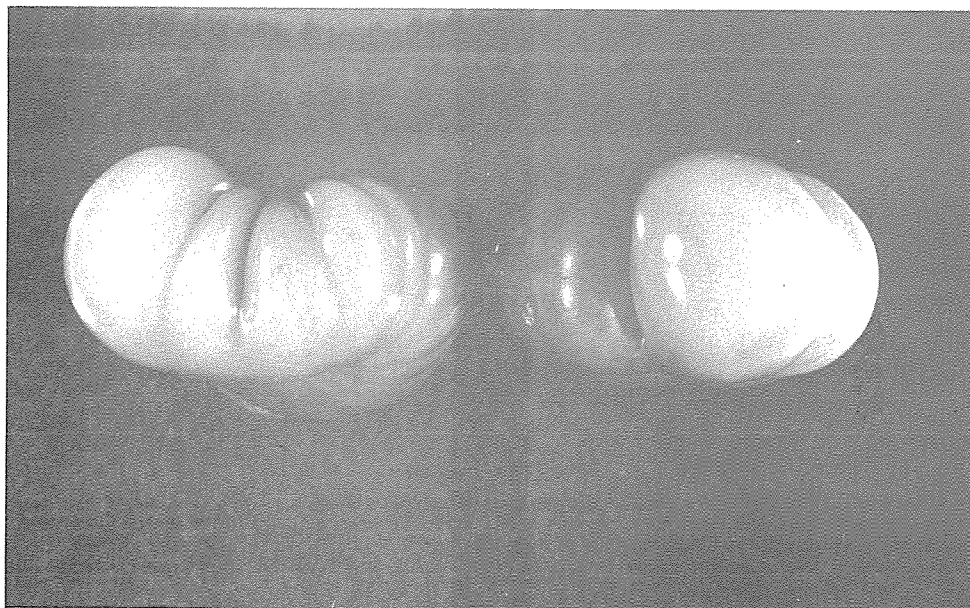
קצב הבשלת הפרי. מדד לקצב הבשלת הפרי נקבע כמספר הימים מפתחת הפרח ועד הקטיפה שנעשה בשלב המפנה בהבשלה (הופעת צבע ורוד על ציפת הפרי). לשם זיהוי חוזר של אותו פרח/פרי סומן הפרח הבודד ביום פתיחתו.

היבול ואיכות הפרי

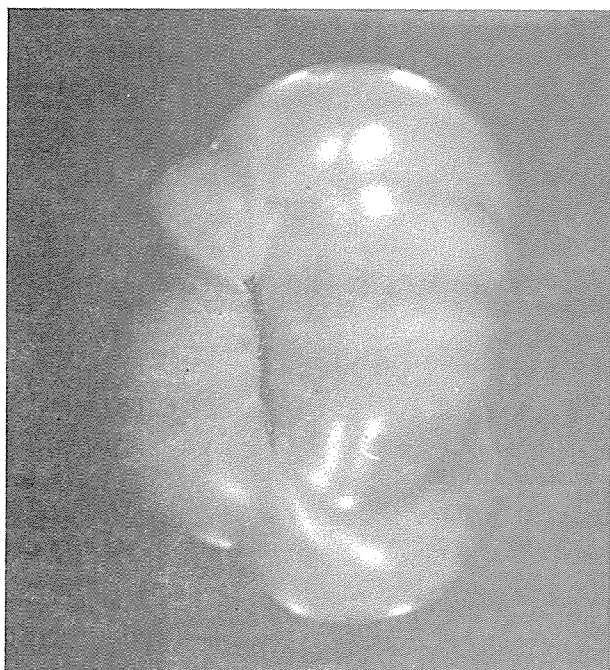
היבול. בעונת הקיץ נאסף היבול פעמיים בשבוע, ובעונת החורף - פעם בשבוע. כל הפירות שהגיעו במועד הקטיפה לשלב המפנה בהבשלה (הופעת צבע ורוד על ציפת הפרי) או עברו אותו - נקטפו, מוינו לפי קוטרם ואיכותם, ונשקלו. נקבעו היבול המצטבר והתפלגות ההנבה. פירות שנראו מתאימים ליצוא (בעונת החורף) - סווגו, נספרו ונשקלו בנפרד. סיווג קוטר הפרי נעשה על-פי הנחיות "אגרוסקו": G - 78-88 מ"מ, EL - 68-78 מ"מ, L - 58-68 מ"מ, M - 48-58 מ"מ, S (רק ורסטו) - 40-48 מ"מ.

עיוותים בפרי. נערך מעקב אחר כל הפירות שנקטפו. פירות שהיו בעלי צורה מורפולוגית שונה וחריגה נספרו. הוגדרו מספר שינויים בצורת הפרי שנחשבו כחריגים: א. פרי מחורץ; ב. פרי בלתי רגולרי; ג. טבור בפיטם; ד. "תפר" - רקמת שעם באפידרמיס (תמונות 1-3).

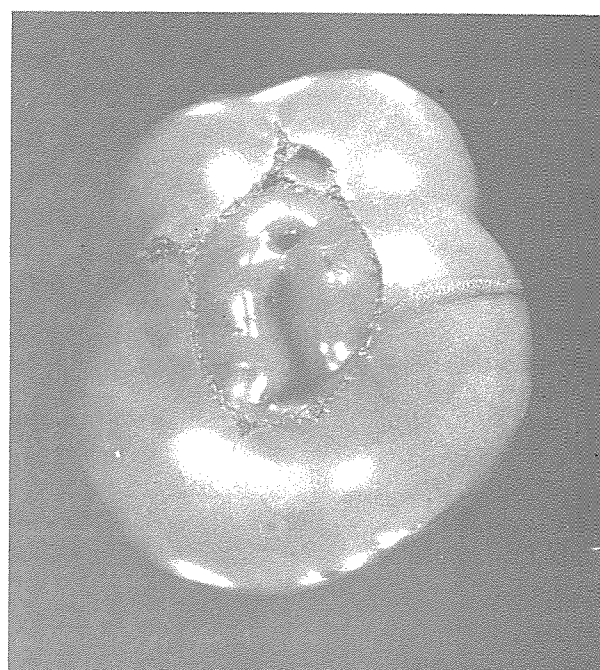
חלילות וכתמי שעם. דגימות אקראיות נלקחו בארבעה מועדים שונים. הפירות נחתכו במעבדה למחרת הקטיפה בחתך רוחב ונקבע אחוז החלילות וכתמי השעם. אחוז חלילות הפרי הוגדר כאחוז הפירות החלולים מכלל מספר הפירות שנכללו בדגימה. באותו אופן נקבע אחוז כתמי השעם בפריקרב הפרי.



תמונה 1: פרי מחורץ ובלתי רגולרי.



תמונה 3: "תפר" רקמת שרץ באפידרמיס הפרי.



תמונה 2: "טבור" בפיטם הפרי.

הרכב כימי. כלל המוצקים המסיסים (T.S.S) נמדד ברפלקטומטר. החומציות חושבה בעזרת טיטרציה ב- 0.1 NaOH לפי Horwitz (43). הסוכרים נבדקו עם ריאגנט Sumner, בליעת האור נמדדה בספקטרופוטומטר באורך גל של 550 nm וכמות הסוכר חושבה לפי עקומת כיול של גלוקוז.

צבע הפרי. צבע פרי העגבניה נמדד ב-Gardner series a tristimulus colorimeter (להלן "גרדנר"), המבוסס על התיאוריה והטכניקה של מדידת צבע (P.T.C) Hunter (46) Photoelectric tristimulus colorimetry. מכשיר זה מבטא ערכים מספריים לשלושת פרמטרי צבע - L, a, b . הפירות הנבדקים (6 פירות לחזרה) נקטפו בשלב האדום בהבשלה, נחתכו ורוסקו במערבל חשמלי. בועות האוויר שהיו ברסק סולקו בעזרת ואקואום, ומתוך הרסק נלקח מדגם כפול של 75 מ"ל . המדגם הוכנס לכוסית זכוכית המיועדת לבדיקה במכשיר והונח מעל לצוהר בקוטר הכוסית. נמדדו ערכי a - מידת ירקרקות (סימן שלילי) עד אדמדמות (סימן חיובי), b - מידת כחלחלות (סימן שלילי) עד צהבהבות (סימן חיובי) על סולם "L" של המכשיר, שאופס בעזרת אריח סטנדרטי לבן ($L = +91.6, a = -1.8, b = +1.8$). בעונת הקיץ נערכה בדיקה אחת בזן חוסן-אילון, ובחורף נערכו 3 בדיקות בכל אחד משני הזנים.

צבירת החומר הטרי והיבש בצמח

משקל טרי משקל יבש. בכל חזרה ובכל טיפול נלקחו 7 צמחים ונשקל החומר הטרי. לאחר ייבוש נשקל החומר היבש וחושב שיעורו באחוזים מהמשקל הטרי של הצמח.

ניתוח סטטיסטי

ניסויי השדה מוקמו בשיטת בלוקים באקראי. בוצעו ניתוחי שונות לבדיקת משמעות ההבדלים בין הטיפולים. ניסויים שבהם נערכו מספר קטיפים ומדידות מאותם צמחים נותחו בשיטת חלקות מפוצלות, כאשר הטיפולים מהווים "טיפולים ראשיים", והמדידות והקטיפים - "טיפול משנה", וזאת כדי להביא בחשבון את המיתאמים (קורלציות) שבין קטיפים שונים באותה חלקה. אותיות המלוות את התוצאות מצינות מבחנים שנעשו ברמה של 5%. טיפולים המסומנים באותיות זהות אינם נבדלים זה מזה בצורה מובהקת.

IV. תוצאות

א. מדידות מטאורולוגיות

קרינה. כושר העברת הקרינה דרך הרשתות השונות תלוי בתכונות גובה השמש מן האופק ובעוצמת הקרינה הכללית (ציור 4). יש קשר ישיר בין גובה השמש מעל האופק ובין עוצמת הקרינה (1). לפיכך, מעבירות קרינת השמש דרך הרשת תלויה בזווית שבין השמש לאופק (או בין השמש לזנית) ומשתנה בהתאם לעונה ולשעות היום. כשזווית השמש מהאופק גדלה, יש ירידה באחוז ההצללה בכל הרשתות. בזוויות גדולות יותר אין שינוי נוסף.

מעבירות קרינת השמש ומהלך ההשתנות היומית בטיפולים השונים, נמדדו 3 פעמים במשך כל עונה. אף על פי כן ניתן להסיק, שתמונה דומה תתקבל גם בימים אחרים בעונה זו. התוצאות הבאות מראות את המהלך היומי של קרינת השמש (ציורים 5A ו-6A) ומבטאות את מעבירות הקרינה (ציורים 6B ו-5B), כפי שחושבה על-פי היחס בין מדידות הקרינה עם רשת למדידת הקרינה בחוץ ללא רשת.

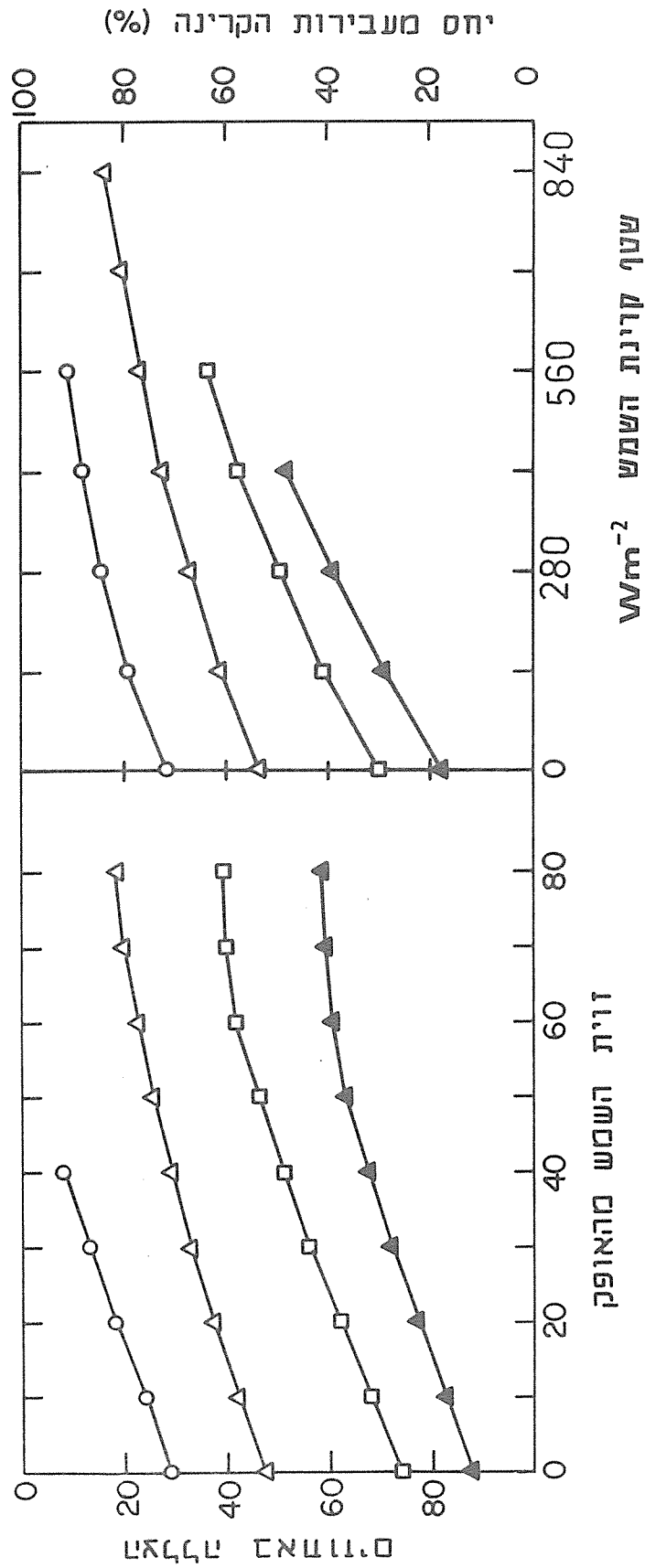
בעונת הקיץ עוצמת קרינת השמש גבוהה ומגיעה ל- $870-970 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ בשעות השיא. בעונת החורף פחתה העוצמה והגיע רק ל- $600-700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ בימים בהירים. השונות באחוז הקרינה העוברת דרך הרשת בשעות היום השונות (זווית שונה מהאופק) גדולה מאוד ומגיעה לעיתים ל-30% ויותר. מקדם ההצללה ($\% = 100 \times$) הממוצע של כל רשת בנפרד חושב מאינטגרציה של כל עוצמות הקרינה, שנמדדו בתאריכים השונים במשך העונה.

יש להדגיש, כי רשת שגרמה בעונת הקיץ הצללה של 22% - גרמה הצללה של 34% בחורף. רשת אחרת גרמה הצללה של 45% בקיץ ו-55% בחורף. תופעה זאת נגרמה בשל העובדה, שבחורף הזווית בין השמש ובין האופק קטנה יותר, וככל שזווית הפגיעה של קרני השמש ברשת חדה יותר - כן קטנה מעבירות קרני השמש דרכה.

טמפרטורות האוויר. נתוני טמפרטורות האוויר שנמדדו בפסיכרומטר בעונת הקיץ ובעונת החורף נאספו ונותחו יחדיו. הפרשי הטמפרטורות בין הטיפולים היו מינימליים, ובציור 6 ניתן לראות שטמפרטורת האוויר בקרינת שמש מלאה היתה זהה כמעט לחלוטין לטמפרטורה בתוך סככות הרשת ($Y = 0.98 \times$).

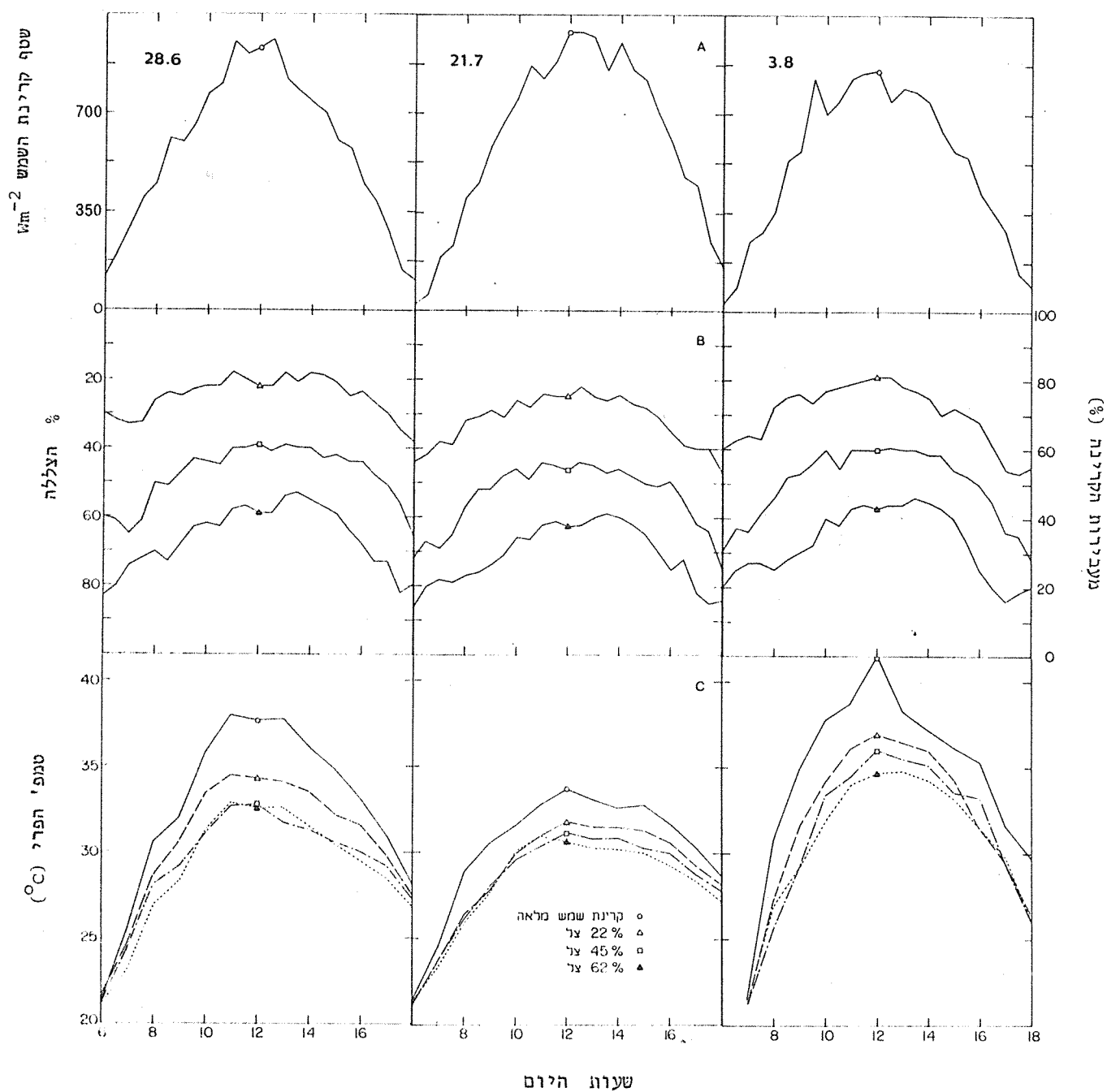
הלחות היחסית, כפי שחושבה מהמדידה בפסיכרומטר, היתה זהה בכל הטיפולים.

ציור 4: הצללה (כושר העברת הקרינה (%)) ברשתות השונות כחלות בזווית השמש (שמאל) ובעוצמת הקרינה הכללית (ימין)

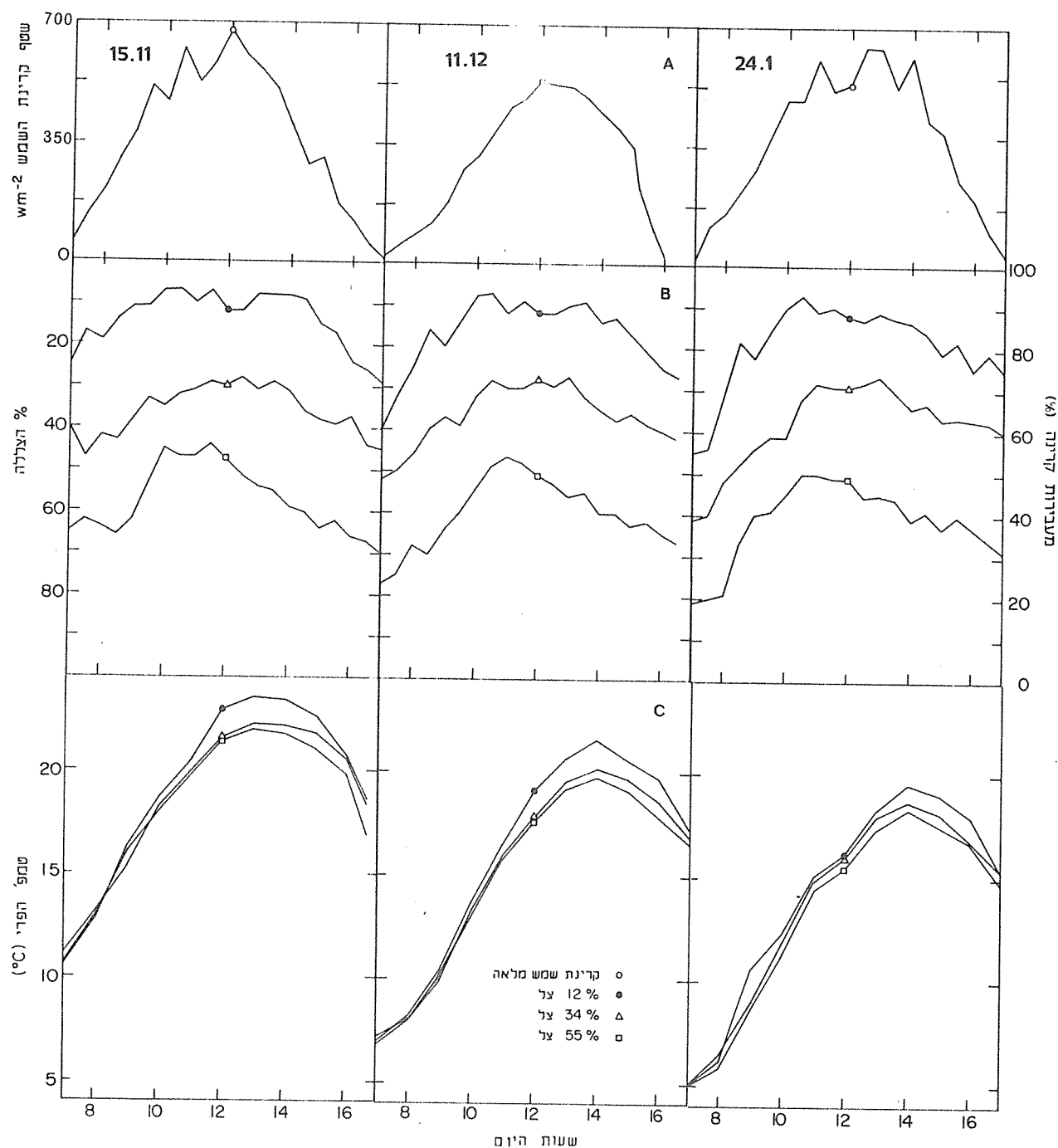


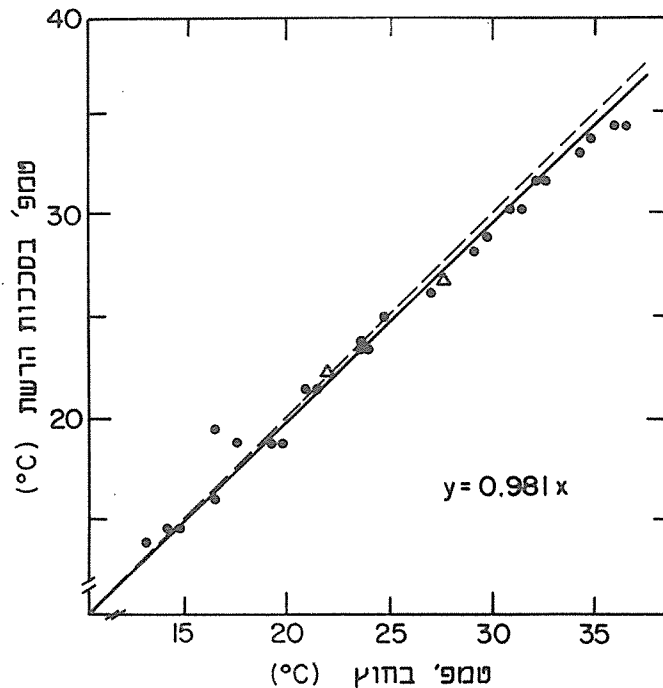
$\circ - y = e^{3.32-0.0036 \cdot x}$	טיפול 2 חורף
$\triangle - y = e^{3.84-0.0022 \cdot x}$	טיפול 3 חורף
$\square - y = e^{4.25-0.0021 \cdot x}$	טיפול 4 חורף
$\blacktriangle - y = e^{4.41-0.0019 \cdot x}$	טיפול 4 קיץ

ציור 5: שטף קרינת השמש (A), כושר העברת הקרינה (B) וטמפרטורת הפרי במ"צ (C)
כתלות בשעות היום, ובטיפול ההצללה. קיץ, בית-דגן 1977.



ציור 6: שטף קרינת השמש (C), כושר העברת הקרינה (B) וטמפרטורת הפרי במ"צ (A) כתלות בעוצמת הקרינה ובטיפולי ההצללה. חורף, חוות הבשור 1977/78.





ציור 7: טמפרטורות האוויר
בסככות הרשת כתלות
בטמפרטורות האוויר
בחוץ.

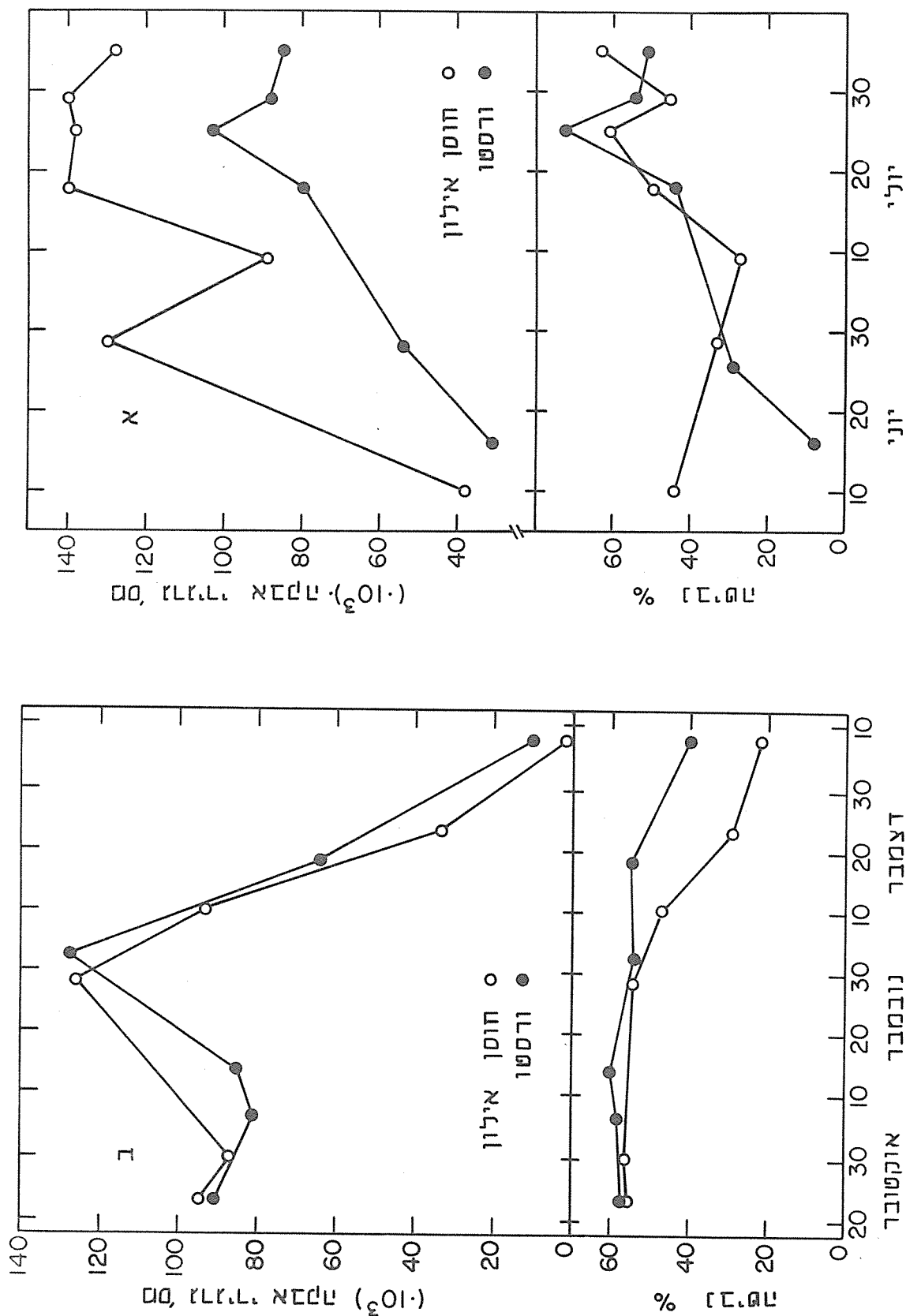
טמפרטורת הפרי. טמפרטורת הפרי היתה גבוהה יותר כשעוצמת הקרינה (הטיפולים השונים) היתה גבוהה יותר, וכשהטמפרטורות עלו גדל הפער בין הטיפולים. בעונת הקיץ (ציור 5c) היתה טמפרטורת הפרי, בקרינת שמש מלאה, גבוהה במידה ניכרת מזו של עוצמות קרינה אחרות, בייחוד בשעות החמות של היום. ב-3.8.77, בשעה 12.00, עלתה הטמפרטורה בחוץ ב-6.8 מ"צ על זו שנרשמה באותה שעה בהצללה של 0.62%. ההפרש בין שאר הטיפולים נע בתחום של 2.3 מ"צ. בעונת החורף (ציור 6c), בהיות הטמפרטורות נמוכות יותר, הפרשי הטמפרטורה בין הטיפולים קטנים מאוד ומגיעים בשעות החמות ביותר ל-1.7-1 מ"צ.

ב. מבנה הפרח

כמות האבקה וחיותה (in vitro). כמות האבקה וחיותה נבדקו (in vitro) בשתי עונות גידול, ונערך מעקב אחר המהלך העונתי. במרוצת עונת הקיץ (ציור 8א) היתה עלייה בכמות גרגרי האבקה ובחיותם בשני הזנים, כשמספר גרגרי האבקה לפרח בזן חוסן אילון גדול מזה שבזן ורסטו. בעונת החורף (ציור 8ב) נרשמה ירידה חדה במספר גרגרי האבקה החל מאמצע דצמבר, ובמקביל - כתוצאה מניוון חלק הולך וגדל של גרגרי אבקת - הלכה ופחתה בהם החיות. בזן חוסן-אילון ירדה לשליש מרמתה בתחילת העונה. בזן ורסטו הירידה היתה פחות חריפה - כ-15%. בתצפיות שערכנו בפרחים נראה שבתחילת דצמבר עדיין יש אבקה בתוך המאבק, אך היא לא משתחררת. מאוחר יותר, לקראת אמצע ינואר, לא נמצאה כלל אבקה.

השונות במספר גרגרי האבקה לפרח ובחיות האבקה בין פרחים מאותו טיפול בשני הזנים היתה גדולה מאוד, ולכן ההבדלים בין טיפולי הקרינה בדרך-כלל לא היו

ציור 8: כמות גרגרי האבקה לפרח נחיתתם בשני זני עגבניות.
א. קיץ, "בית-דגן"; ב. חורף, "חוות-הכשור".



מובהקים; אך יש להדגיש, כי בשתי העונות בעוצמות הקרינה הגבוהות היתה כמות גרגרי האבקה וחיותם גבוהה יותר ולעיתים אף מובהקת, מזו שבעוצמות הקרינה הנמוכות.

כמות האבקה וחיותה (in vivo). מספר הזרעים בפרי שימש כמדד לפוריות האבקה, בהנחה שהשונות במספר ובחיות הביציות שגדלו בתנאים אחידים זהה בכל הטיפולים. נבדקה אבקה שנלקחה מפרחים שגדלו בעוצמות קרינה שונות והואבקה על צלקות פרחים שגדלו בתנאים אחידים. בשתי בדיקות שנערכו (טבלה 1) במועדים שונים נמצא מספר זרעים רב יותר בפרי שמקור האבקה שלו היה בעוצמת קרינה גבוהה יותר. אך בעוד שבבדיקה הראשונה ההבדלים לא היו מובהקים ורק הצביעו על הנטייה, הרי שבהאבקה שנעשתה בתחילת דצמבר ההבדלים היו מובהקים, ומספר הזרעים בהצללה של 12% היה גבוה ב-33%, ממספר הזרעים בהצללה של 55%.

טבלה 1: בדיקה השוואתית של חיות אבקה (in vivo) מאבקה שנלקחה מעוצמות קרינה שונות והואבקה על פרחים שגדלו בתנאים שונים.

מספר זרעים לפרי ב-2 מועדי בדיקה*	מקור האבקה	
	8.12	8.11
99 a	112 a	10% צל
89 ab	105 a	34% צל
66 b	96 a	55% צל

* בכל בדיקה - 28-36 פירות לטיפול.

גובה עמוד העלי. שני הזנים הנבדקים נבדלו בצורה ניכרת בדרגת גובה עמוד העלי ובשכיחות הפרחים שבהם בלט מעל לצינור האבקנים. בזן ורסטו (טבלה 2) לא היתה לעוצמת הקרינה בקיץ כל השפעה על דרגת גובה עמוד העלי; הממוצע בכל הטיפולים היה נמוך במעט מגובה האבקנים, ורק באחוז קטן מכלל הפרחים בלט העלי מעל לצינור האבקנים. אולם לעוצמת הקרינה השפעה ברורה על הזן חוסן אילון. כבר בקרינת שמש מלאה בולט עמוד העלי מעל לצינור האבקנים ב-30% מכלל הפרחים. כשהפחתנו את עוצמת הקרינה עלה מספר הפרחים שבהם בלט עמוד העלי, ובהצללה של 45% הגיע ל-67% מכלל הפרחים. בעונת החורף (טבלה 3) גובה עמוד העלי לא מהווה בעיה חמורה. בזן ורסטו אין הבדלים בין הטיפולים ואין כלל פרחים שבהם עמוד העלי בולט. לא כך המצב בחוסן אילון גם בעונה זו: הפחתה בעוצמת הקרינה גורמת להתארכות עמוד העלי, ובהצללה של 55% הוא בולט מעל צינור האבקנים ב-25% מכלל הפרחים.

טבלה 2: התארכות עמוד העלי בהשפעת עוצמת הקרינה, בשני זנים של עגבניה. קיץ, "בית-דגן".

זן		חוסן - אילון		ו ר ס ט ו	
הצללה באחוזים	גובה עמוד העלי*	פרחים בעלי עלי גבוה (%)	גובה עמוד העלי*	פרחים בעלי עלי גבוה (%)	
0	2.1 c	30 c	1.8 a	7 a	
22	2.3 bc	39 bc	1.8 a	7 a	
45	2.7 a	67 a	1.9 a	10 a	
62	2.5 ab	54 ab	1.8 a	7 a	

ממוצע של 350-400 פרחים לטיפול.

טבלה 3: התארכות עמוד העלי בהשפעת עוצמת הקרינה בשני זנים של עגבניה. חורף, "חוות-הבשור".

זן		חוסן - אילון		ו ר ס ט ו	
הצללה באחוזים	גובה עמוד העלי*	פרחים בעלי עלי גבוה (%)	גובה עמוד העלי*	פרחים בעלי עלי גבוה (%)	
12	1.7 b	13 b	1.5 a	0	
34	1.9 ab	21 ab	1.5 a	0	
55	2.0 a	25 a	1.6 a	0	

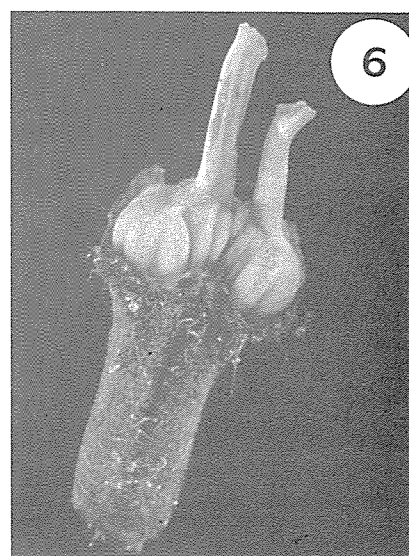
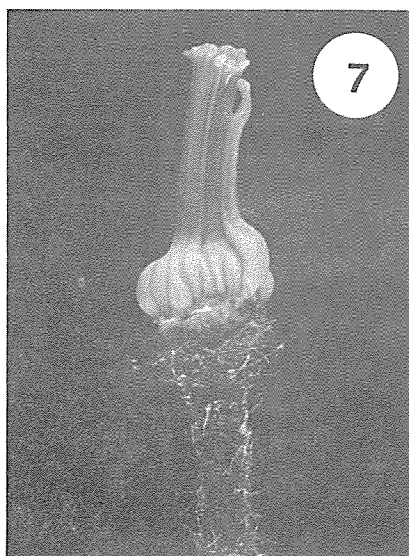
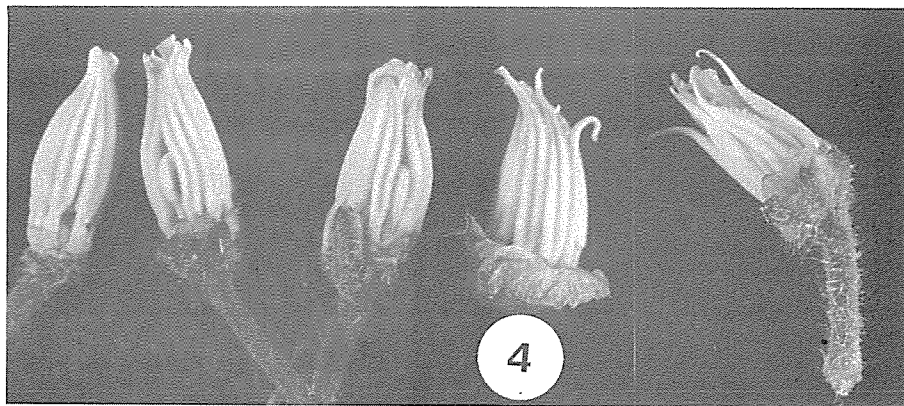
ממוצע של 150-160 פרחים לטיפול. שלוש דגימות משך העונה - 17.10, 1.11, 20.11.

* דרגות גובה עמוד העלי: 1 = נמוך מפני האבקנים

2 = שווה לפני האבקנים

3 = גבוה מפני האבקנים

עיוותים. בעונת הקיץ, בשני הזנים ובכל הטיפולים, לא הופיעו עיוותי צורה באברי הפרח השונים (פרט להתארכות העלי). בפרחים של הזן ורסטו לא הופיעו עיוותים גם במשך עונת החורף. לעומת זאת, פרחי הזן חוסן אילון נטו להתעוות בכל אברי הפרח, ובמקרים רבים אותו פרח לקה במספר אברים בעת ובעונה אחת. טיפולי הצל הביאו לידי כישלון בפיתוח קונוס חלק ומעוגל של האבקנים בהיקף העלי (תמונות 4, 5) וחוסר הפרדתם מעמוד העלי (תמונה 7). כמו כן גרמו לביקוע, פיצול ועיקום של עמוד העלי והשחלה (תמונה 6) וליצירת שחלות לא סימטריות, מוארכות ומחורצות (תמונות 6, 7).



תמונות 4-7: טפוסים פרח פגומים ולקויים.

מ"ס 4: צורות שונות של ליקוי בשקי האבקה.

מ"ס 5: עיוותים בשקי האבקה.

מ"ס 6: עיוותים בעמוד העלי ובשחלה.

מ"ס 7: עמוד עלי מעובה, שחלה מאורכת ומחורצת ושק אבקה בלתי מופרד.

התבוננות בתוצאות (טבלה 4) מראה, שקיים יחס הפוך בין עוצמת הקרינה ובין שכיחות הפרחים המעוותים. מבין 50 פרחים שנבדקו היו 8.7 מעוותים בעוצמת קרינה גבוהה (12% צל), וכמעט כמות כפולה של פרחים מעוותים - 16 - בעוצמת קרינה נמוכה (55% צל). התוצאות המובאות בטבלה 4 הן ממוצעים של 3 בדיקות, שנערכו מסוף אוקטובר ועד אמצע דצמבר. בבדיקה הראשונה היתה רמת העיוותים בפרח נמוכה, אך בהמשך העונה, כשעוצמת הקרינה הכללית והטמפרטורות ירדו, עלתה תדירות העיוותים והפגמים בפרח. עם עליית הטמפרטורות ועוצמת הקרינה בסוף החורף ותחילת האביב (מרס), חלה ירידה בשכיחות, והפרח חזר להיות נורמלי - אולם הפרחים לא חנטו.

טבלה 4: עיוותים בחלקי הפרח בהשפעת עוצמת הקרינה בזן חוסן-אילון.
חורף, חוות הבשור.

הצללה באחוזים	סה"כ פרחים מעוותים*	עיוותים באברי הפרח**		
		שחלה	עמוד עלי	שקי אבקה
12	8.7 c	5.0	2.6	7.0
34	12.6 b	6.8	3.9	8.5
55	16.0 a	9.8	7.7	12.2

* 50 פרחים לטיפול. שלוש דגימות משך העונה - 9.12, 18.11, 31.10.
** פרח עשוי להיות מעוות ביותר מאיבר אחד.

ג. קצב ההתפתחות של הצמח

קצב ההתפתחות. המודד לקצב ההתפתחות בזן חוסן אילון נקבע לפי מספר התפרחות שנמצאו על גבי הצמחים בתאריכי הבדיקה השונים.

בעונת הקיץ (טבלה 5) מספר התפרחות בצמחים שגדלו בעוצמות קרינה גבוהות יחסית (0% ו-22% צל) היה גדול במידה ניכרת ומובהקת בהשוואה לטיפולים של עוצמות הקרינה הנמוכות (45% ו-62% צל). עד לסוף חודש מאי היה מספר התפרחות הגבוה ביותר בקרינת שמש מלאה. מאמצע חודש יוני ואילך היה מספר התפרחות הגבוה ביותר בטיפול 2 (22% צל).

בכל המדידות בעונת החורף (טבלה 6) היה מספר התפרחות בטיפולים 1 ו-2 (12% ו-34% צל) שווה ועלה באופן מובהק על מספר התפרחות שבטיפול 3 (55% צל).

טבלה 5: השפעת עוצמת הקרינה על מספר התפרחות שהתפתחו על גבי צמח העגבניה מהזן חוסן-אילון. קיץ, בית-דגן.

מספר תפרחות לצמח				מועד בדיקה	הצללה באחוזים
3.7	17.6	26.5	9.5		
27 b	19	14	5.9		0
34 a	22	13	5.1		22
21 c	16	10	3.7		45
17 c	12	7	2.8		62

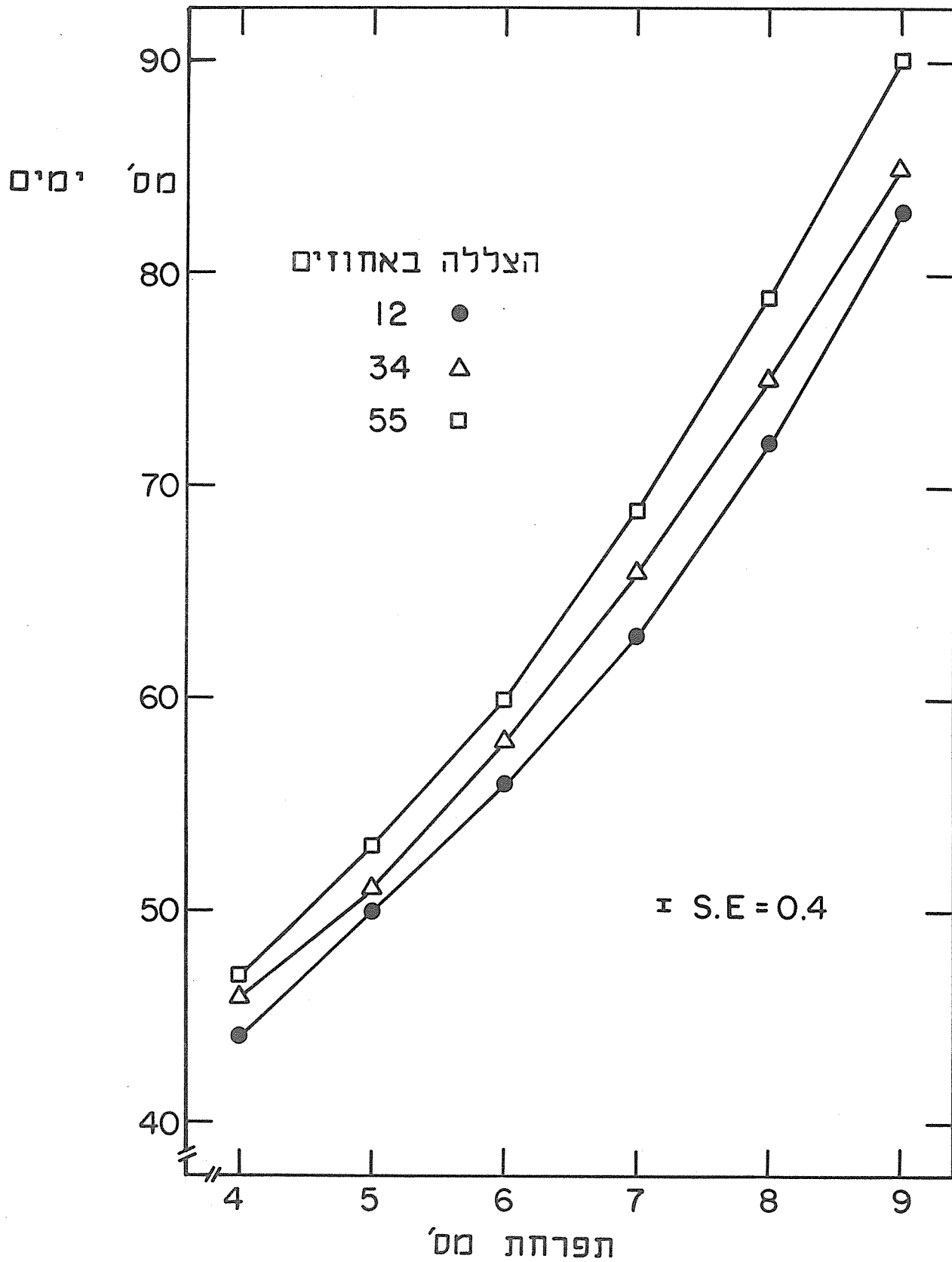
טבלה 6: השפעת עוצמת הקרינה על מספר התפרחות שהתפתחו על גבי צמח העגבניה מהזן חוסן-אילון. חורף, חוות הבשור.

מספר תפרחות לצמח				מועד בדיקה	הצללה באחוזים
2.12	15.11	1.11	17.10		
23 a	18	11	5.1		12
23 a	17	10	4.7		34
16 b	13	8	3.4		55

מדד לקצב ההתפתחות בזן ורסטו היה קצב הופעת תפרחות פורחות (תפרחות 4-9). תפרחת פורחת נקבעה כתפרחת שבה שלושה פרחים פתוחים. ככל שעוצמת הקרינה היתה גבוהה יותר - קצב הפריחה היה מהיר יותר. בהצללה של 12% היו 9 תפרחות לצמח 83 ימים לאחר השתילה ובהצללה של 55% רק לאחר 90 ימים (ציור 9).

בהצללה של 12% היה משך הזמן הממוצע בין הופעת תפרחת אחת לשנייה 7.1 ימים, בהצללה של 34% - 7.5 ימים, והגיע עד כדי 8.3 ימים בעוצמת הקרינה הנמוכה ביותר (55% צל).

ציור 9: השפעת עוצמת הקרינה על קצב הפריחה (מספר ימים משתילה ועד הופעת התפרחת) בזן ורסטו. חורף, חוות-הבשור.



ד. פריחה וחנטה

עונת הקיץ. בזן חוסן-אילון לא נמצאו הבדלים מובהקים במספר הפרחים הממוצע לתפרחת (טבלה 7). ההבדלים שהיו במשך העונה (ציור 10) בין הטיפולים - גם הם לא היו מובהקים, אף כי לעיתים היה הבדל גדול בין הממוצעים. ברם, בבדיקת מספר התפרחות הסופי ב-3.7 (טבלה 5) וברמת החנטה הכללית (טבלה 7) נמצא כי הערכים הגבוהים ביותר נתקבלו בעוצמת קרינה של 78% (טיפול 2) מעוצמת הקרינה בחוץ (22% צל). בעוצמות קרינה נמוכות יותר או גבוהות יותר חלה ירידה גם במספר התפרחות לצמח וגם ברמת החנטה.

טבלה 7: השפעת עוצמת הקרינה על הפריחה והחנטה בשני זני עגבניות קיץ, בית-דגן.

הצללה באחוזים	מס' פרחים לתפרחת	מס' פירות לתפרחת	% חנטה	% חנטים לא מפותחים*
חוסן - אילון				
0	4.9 a	1.3 b	27 b	3 b
22	4.8 a	1.7 a	35 a	2 b
45	5.0 a	1.4 b	27 b	7 a
62	5.1 a	1.2 b	23 b	9 a
±SE	0.1	0.1	2.1	0.9
ורסו				
0	8.6 a	5.4 b	62 ab	8 a
22	8.6 a	5.8 a	66 a	3 b
45	8.3 a	5.0 c	59 b	5 ab
62	7.6 b	4.6 d	59 b	5 ab
±SE	0.17	0.1	1.5	0.9

* משקל פרי קטן מ-40 גרם.

כמו כן ניתן לראות (בציור 10), שבטיפול 2 (22% צל) רמת החנטה גבוהה במידה ניכרת בהשוואה לטיפולים האחרים במשך כל העונה.

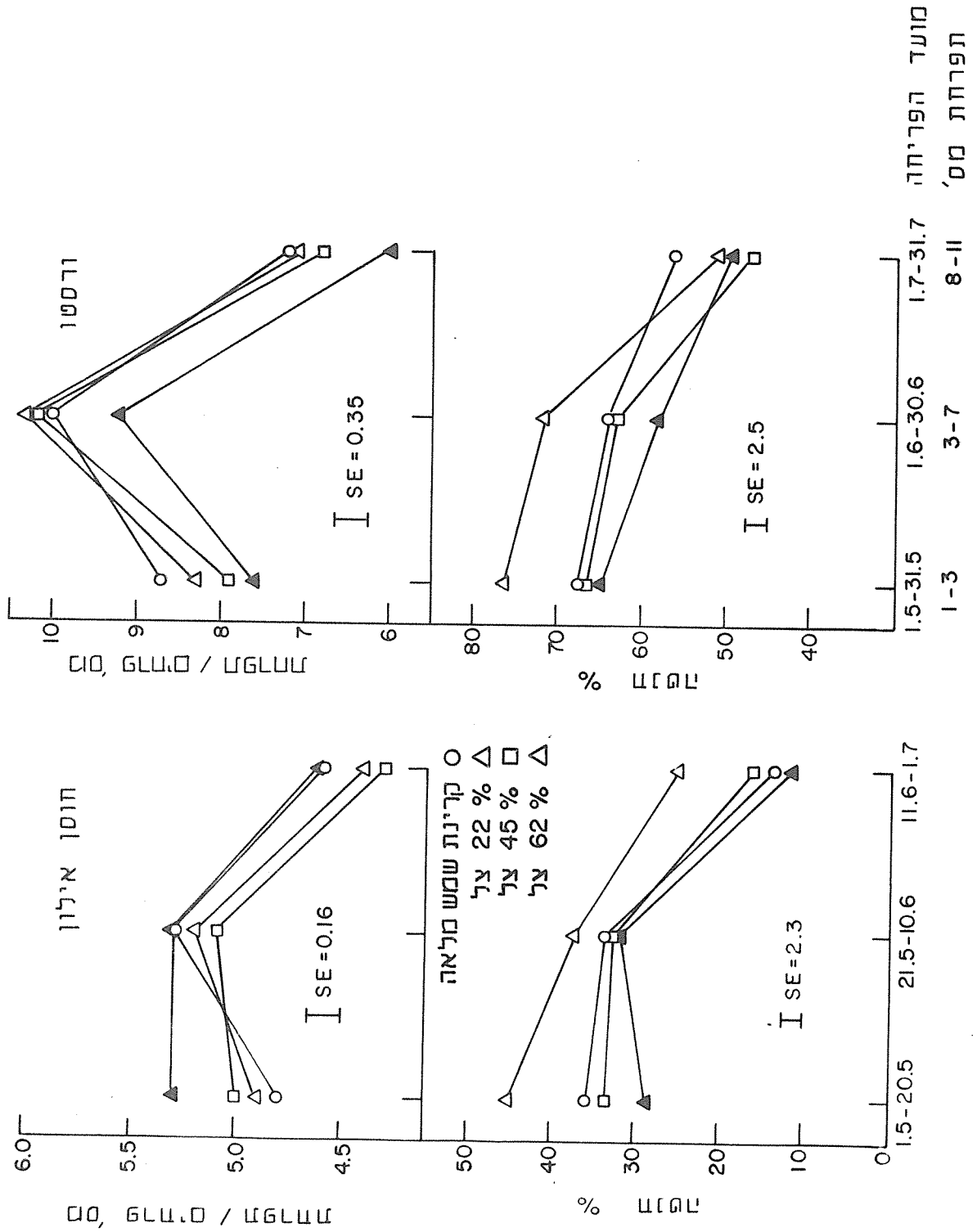
בזן ורסטו, בכל המדדים שנבחנו - כלומר: מספר הפרחים והפירות ואחוז החנטה - לא תמיד ההבדלים מובהקים; אך ניתן היה לראות בביזור, שבעוצמות הקרינה הגבוהות (0% ו-22% צל) מספר הפרחים והפירות לתפוח היה גבוה, ואילו בעוצמת הקרינה הנמוכה ביותר (62% צל) מדדים אלו נפלו ברמתם. לקראת סוף תקופת הפריחה והזדקנות הצמחים ניכרת, בשני הזנים, ירידה הדרגתית במספר הפרחים לתפוח ובאחוז החנטה.

עונת החורף. לטיפול הקרינה השונים בזן חוסן-אילון לא היתה השפעה על מספר הפרחים הממוצע לתפוח (טבלה 8). גם במהלך הפריחה (ציור 11) לא ניתן לראות שוני בולט בין הטיפולים. אך, מאידך גיסא, ירידה בעוצמת הקרינה הפחיתה באופן מובהק ובולט את רמת החנטה ומספר הפירות. מספר התפוחות לצמח (טבלה 6) בעוצמת קרינה הנמוכה ביותר (55% צל) היה נמוך באופן המובהק ביותר ממספר התפוחות לצמח בטיפולים האחרים.

טבלה 8: השפעת עוצמת הקרינה על הפריחה והחנטה בשני זני עגבניות. חורף, חוות-הבשור.

הצללה באחוזים	מס' פרחים לתפוח	מס' פירות לתפוח	% חנטה	% חנטים לא מפותחים*
חוסן - אילון				
12	4.6 a	2.5 a	54 a	15 b
34	4.6 a	2.1 b	45 b	20 ab
55	4.6 a	1.8 c	38 c	26 a
±SE	0.1	0.05	1.0	2.2
ורסטו				
12	10.0 a	7.1 a	71 a	29 b
34	10.4 a	6.7 b	66 b	32 b
55	9.0 b	5.6 c	63 b	41 a
±SE	0.1	0.1	1.2	1.6

* קוטר עד 30 מ"מ.



בורסטו (טבלה 8) חלה ירידה משמעותית במספר הפרחים לתפוח, כשהפחתנו את עוצמת הקרינה ב-55%. מספר הפירות לתפוח ואחוז החנטה היו נמוכים יותר באופן מובהק גם בהצללה של 34%. תמונה אופיינית של מהלך החנטה בשני הזנים בטיפולים השונים מוצגת בציורים 11 ו-12; ככל שרמת הקרינה היתה גבוהה יותר - אחוז החנטה היה גבוה יותר, ובמרבית המקרים ההבדל בין הטיפולים מובהק. עם ירידת הטמפרטורה ועוצמת הקרינה הכללית, בסתיו ובחורף, ניכרת ירידה הדרגתית בחנטה, ההולכת ויורדת במשך העונה ומגיעה לחוסר חנטה מוחלט.

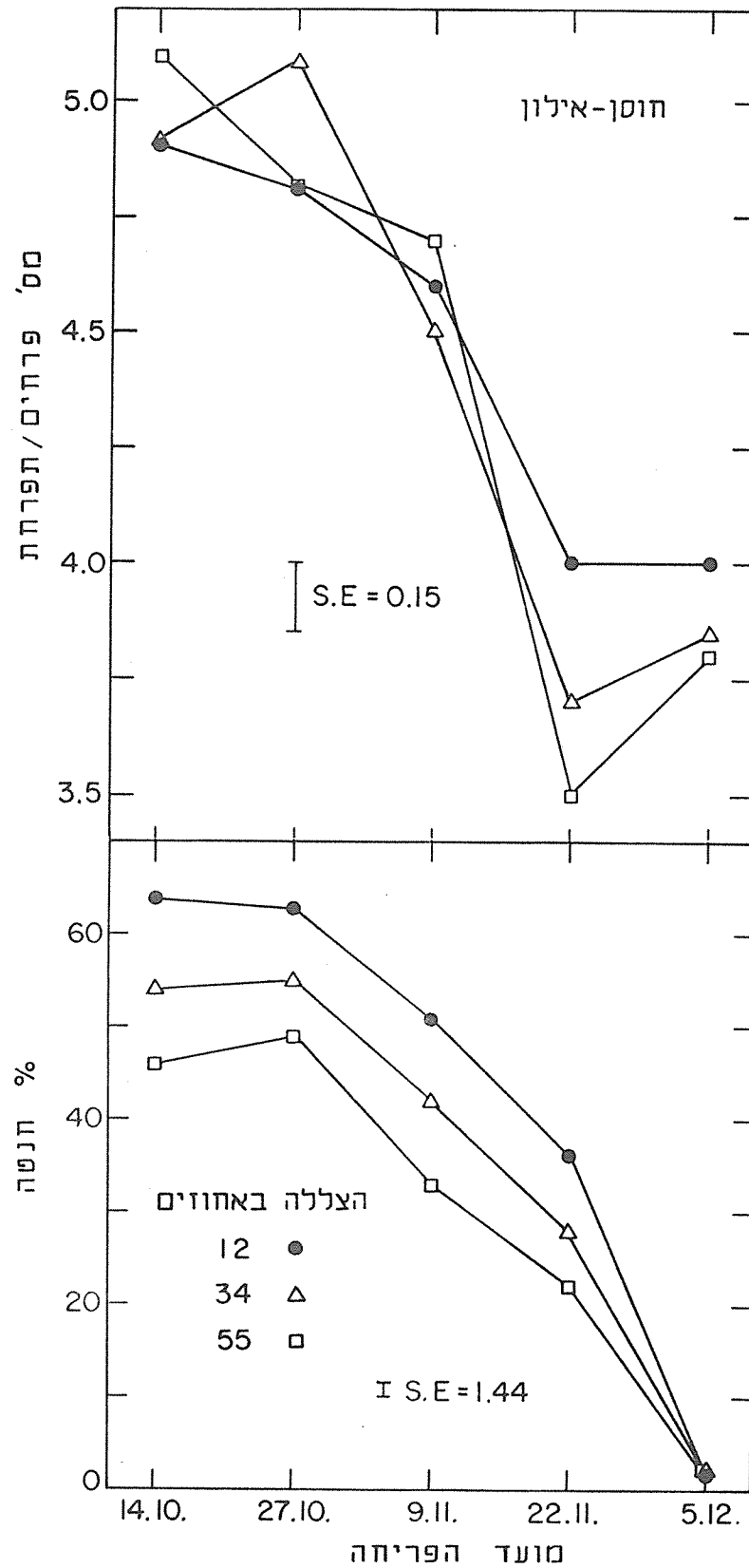
ה. התפתחות הפרי

חנטים בלתי מפותחים. נבדקה השפעת עוצמת הקרינה על קצב התפתחות החנטים, ועל הופעת חנטים לא מפותחים, שקוטרם הסופי קטן מ-30 מ"מ (ומשקלם קטן מ-40 גר'). בקיץ (טבלה 7) התופעה שולית ולא משמעותית, ורק אחוז קטן מהפירות הם לא מסחריים (פרי קטן מ-40 גר'). בחורף (ציור 13, טבלה 8) מקבלת תופעת החנטים הבלתי מפותחים חשיבות מרובה, ובשלהי העונה מגיעים למצב שבו חלק ניכר מהפירות אינם מסחריים. ניתן לראות באופן חד וברור, שלעוצמת הקרינה השפעה ניכרת על אחוז החנטים הבלתי מפותחים בשני הזנים, וככל שעוצמת הקרינה גבוהה יותר - שכיחות התופעה קטנה. בזן חוסן-אילון עיקר ההבדלים בסה"כ הממוצע מקורם בחנטה של חודש נובמבר. לעומת זאת, בזן ורסטו ההבדלים מובהקים החל מהתפוח הרביעי, ובעיקר בין טיפול 3 (55% צל) לטיפולים 1-2 (12% ו-34% צל).

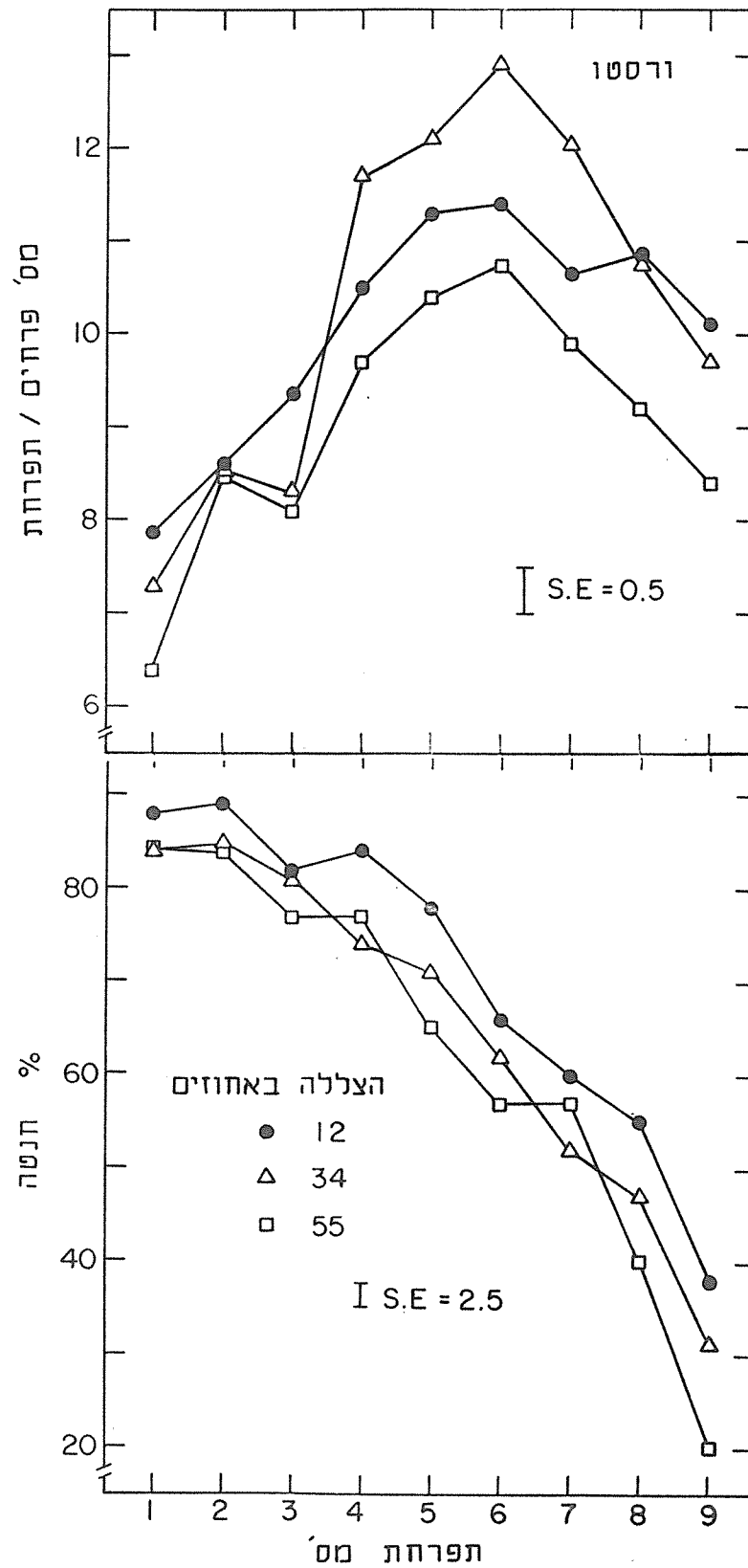
עקומת גדילה. ההבדל בקצב גדילת הפרי בעוצמות הקרינה השונות בא לידי ביטוי בעקום סיגמואידלי, המתאר את השינוי בקוטר הפרי עם הזמן (ציור 14). עקומות גדילת הפרי משני הזנים מראות האטה בקצב הגדילה עם הירידה בעוצמת הקרינה. ההבדלים מובהקים בעיקר בין טיפול 1 (12% צל) לבין טיפולים 2 ו-3 (34% ו-55% צל). בטבלה 10, ניתן לראות, שתוספת הקוטר הממוצעת ליום והקוטר הסופי של הפרי היו גדולים יותר ככל שעוצמת הקרינה היתה גבוהה יותר.

קצב הבשלת הפרי. קצב הבשלת הפרי בזן ורסטו מהיר מזה של חוסן-אילון, בשתי העונות - קיץ וחורף - ובכל הטיפולים. ככל שעוצמת הקרינה גבוהה יותר - ההבשלה ומשך הזמן מפתחת הפרח ועד להבשלת הפרי מתקצרים. תוצאות אלו חוזרות על עצמן הן בקיץ והן בחורף בשני הזנים, וההפרשים בין הטיפולים בדרך-כלל מובהקים (טבלה 9); אך בעוד שבקיץ משכי הזמן בין פריחה והבשלה קצרים (36.5 - 42.1 ימים בזן ורסטו, 44-53 ימים בחוסן-אילון), הרי שבחורף התפתחות הפרי מתארכת ומגיעה כמעט למספר ימים כפול מזה שבקיץ (77.5 - 84.7 ימים בזן ורסטו ו-84.8 - 88 ימים בחוסן-אילון).

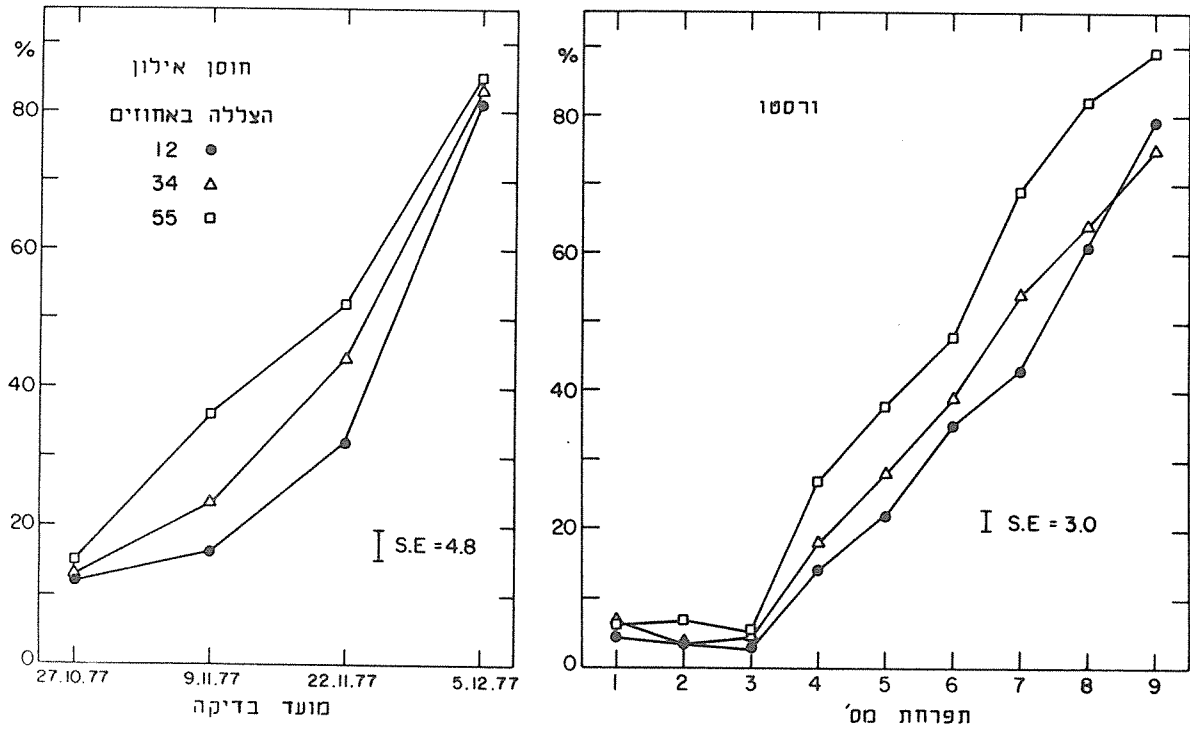
ציור 11: השפעת עוצמת הקרינה על מספר הפרחים ואחוז החנטה בזן חוסן-אילון. חורף, חוות-הבשור.



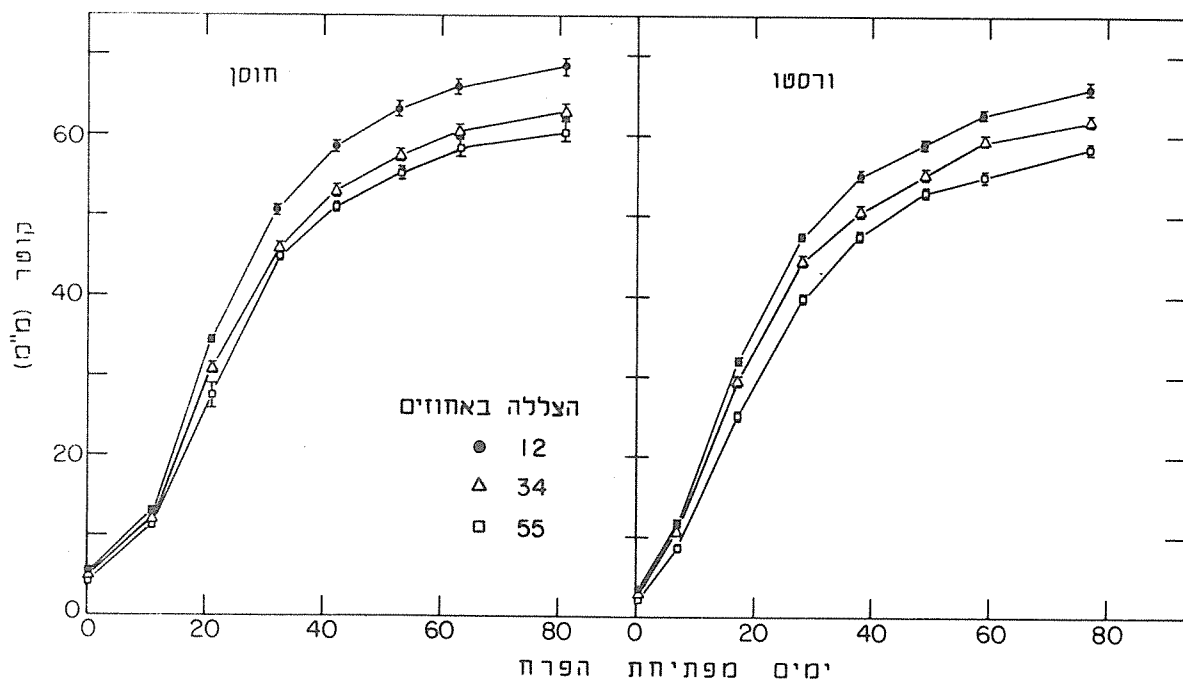
ציר 12: השפעת עוצמת הקרינה על מספר הפרחים ואחוז החנטה בזן ורסטו. חורף, חוות-הבשור.



ציור 13: השפעת עוצמת הקרינה על מספר החנטים הבלתי מפותחים ($<30\text{mm}$ קוטר) בשני זנים של עגבניה. חורף, חוות-הבשור.



ציור 14: קצב גדילת הפרי (קוטר במ"מ) בעוצמות קרינה שונות. חורף, חוות-הבשור.



טבלה 9: השפעת עוצמת הקרינה על משך הזמן (ימים) מחנטה ועד להבשלת הפרי.
קיץ, בית-דגן; חורף, חוות-הבשור.

עונה	הצללה באחוזים	מס' ימים מחנטה להבשלה	
		חוסן-אילון	ורסטו
קיץ	0	49.0 c	36.5 b
	22	50.3 bc	37.9 b
	45	51.9 ab	40.4 a
	62	53.0 a	42.1 a
חורף	12	84.8 b	77.5 c
	34	85.1 b	81.7 b
	55	88.0 a	84.7 a

טבלה 10: גודל הפרי (קוטר) ותוספת ממוצעת ליום בהשפעת עוצמת הקרינה בשני זני עגבניה (יום האנטזיס - 27.10.77).

הצללה באחוזים	חוסן - אילון		ו ר ס ט ו	
	קוטר פרי מ"מ	תוספת קוטר ממוצעת ליום מ"מ	קוטר פרי מ"מ	תוספת קוטר ממוצעת ליום מ"מ
12	69.1 a	0.81 a	67.0 a	0.82 a
34	64.4 b	0.75 b	63.7 b	0.77 b
55	62.2 b	0.72 b	60.8 b	0.73 c

ו. היבול, גודל הפרי ואיכותו

יבול קיץ. לעוצמת הקרינה היתה השפעה מובהקת מאוד על רמת היבול. במעקב אחר הצטברות היבול בזן חוסן-אילון (ציור 15) נראה שתוספת היבול והיבול המירבי התקבלו בהפחתה של 22% מעוצמת הקרינה בחוץ, ואילו בעוצמות קרינה נמוכות יותר או גבוהות יותר חלה ירידה ביבול. בעוצמת הקרינה הנמוכה ביותר (62% צל) התקבל היבול הנמוך ביותר, 37 ק"ג ל-10 מ"ר. רמת יבול כמעט כפולה, 71 ק"ג ל-10 מ"ר, התקבלה בקרינת שמש מלאה, ויבול גבוה פי 2.5 - 94 ק"ג ל-10 מ"ר - התקבל ב-22% הצללה. בקרינת שמש מלאה היתה רמת היבול בתחילת העונה נמוכה במקצת מזו שנתקבלה בהצללה של 22%, אך גבוהה יחסית מזו שהתקבלה בהצללה של 45% ו-62%. בהמשך פחת קצב הצטברות היבול בצמחי העוצמה המלאה ובקטיפים האחרונים תוספת היבול היתה נמוכה אפילו מזו שהתקבלה בעוצמת הקרינה הנמוכה ביותר (62% צל).

טיפול עוצמת הקרינה הגבוהה יחסית (0% ו-22% צל) היו בכירים יותר וההנבה היתה מוקדמת יותר מאשר בטיפול עוצמת הקרינה הנמוכה (45% ו-62% צל).

תמונה דומה של התפלגות היבול נשל היבול המצטבר (ציור 16) התקבלה בזן ורסטו; בכירות בעוצמות קרינה גבוהות, יבול גבוה ביותר ברוב תקופות הניבה, ובסכמת היבול המצטבר בהצללה של 22% ויבול נמוך ביותר בהצללה של 62%.

יבול חורף. תוצאות היבול המצטבר בזן חוסן-אילון מובאות בציור 17. היבול המירבי התקבל בהצללה קלה (12% צל), והיבול המזערי - ברמת הקרינה הנמוכה ביותר (55% צל). בקרינת שמש מלאה וב-34% הצללה היתה רמת היבול בינונית. מעקב אחר התפלגות היבול מראה, שהצללה קלה של 12% בלטה ברמת היבול הגבוהה במהלך רוב תקופות ההנבה. בקרינת שמש מלאה היתה רמת היבול בתחילת ההנבה זהה ואף גבוהה מזו שנתקבלה בהצללה של 12%; במהלך העונה ההפרש הלך והצטמצם, ולקראת גמר עונת ההנבה היתה תוספת היבול נמוכה אפילו מיבולי הקרינה הנמוכה ביותר (55% צל).

בחינת היבול המצטבר בזן ורסטו (ציור 18) הראתה שכלל היבול, בגמר עונת ההנבה בהצללה של 12% ו-34%, היה שווה וגבוה מזה שנתקבל בקרינה מלאה, ובהצללה של 55% היתה רמת היבול נמוכה במידה מובהקת מבשאר הטיפולים.

גם כאן ניתן לראות את התאטה הברורה בקצב הצטברות היבולים, שחלה בטיפול העוצמה המלאה החל מתחילת פברואר.

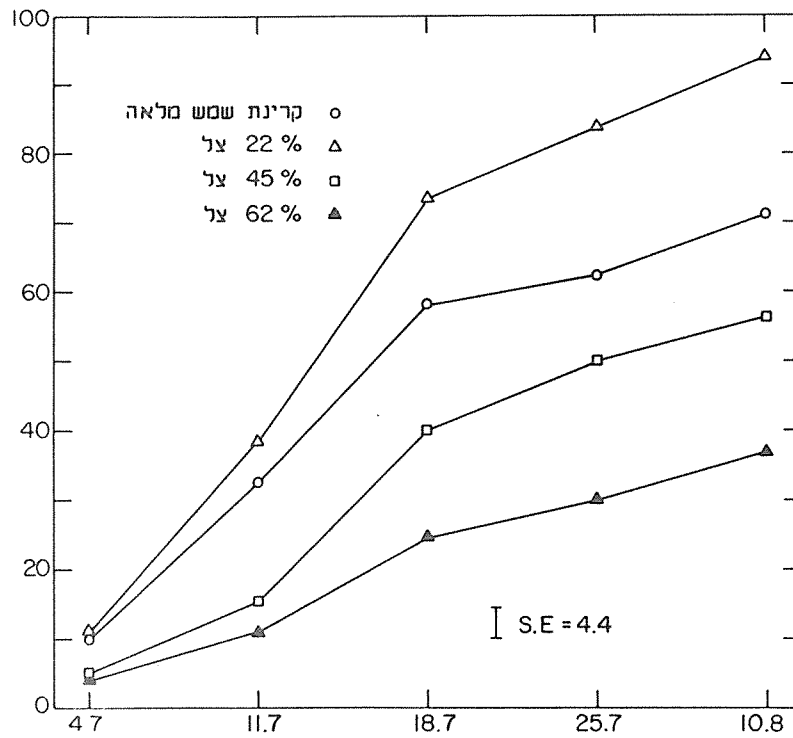
בשתי העונות, בקיץ ובחורף, החל הזן ורסטו להניב מוקדם יותר, משך ההנבה שלו היה ארוך יותר וכמות היבול שלו ליחידת שטח היתה גדולה יותר בהשוואה לזן חוסן-אילון. מאידך גיסא, ההפרש (באחוזים) ברמת היבול בין עוצמות הקרינה השונות היה גדול יותר בזן חוסן-אילון מאשר בזן ורסטו.

גודל הפרי. בעונת הקיץ (טבלה 11) הן בזן חוסן-אילון והן בזן ורסטו בלט טיפול 2 (22% צל) במשקל ובקוטר גדולים יותר של הפרי. בעוצמת קרינה מלאה וכן בטיפולים שבהם ירדה עוצמת הקרינה (45% ו-67% צל) משקל הפרי וקוטרו היו קטנים יותר. אך בעוד שבחוסן-אילון משקל וקוטר הפרי הנמוכים ביותר התקבלו בעוצמת הקרינה הנמוכה ביותר, הרי שבורסטו דוקא בעוצמת קרינה מלאה היה הפרי הקטן ביותר.

בעונת החורף (טבלה 2) פירות מהזן חוסן-אילון, שגדלו בעוצמות קרינה גבוהות יחסית (0% ו-12% צל), עלו במשקלם על פירות שגדלו בעוצמות קרינה נמוכות יחסית (34% ו-55% צל). בעוצמת קרינה נמוכה (55% צל) היה ב-34% מכלל הפירות קוטר הפרי גדול מ-68 מ"מ, לעומת 46% מכלל הפירות בעוצמת קרינה גבוהה. בפירות מהזן

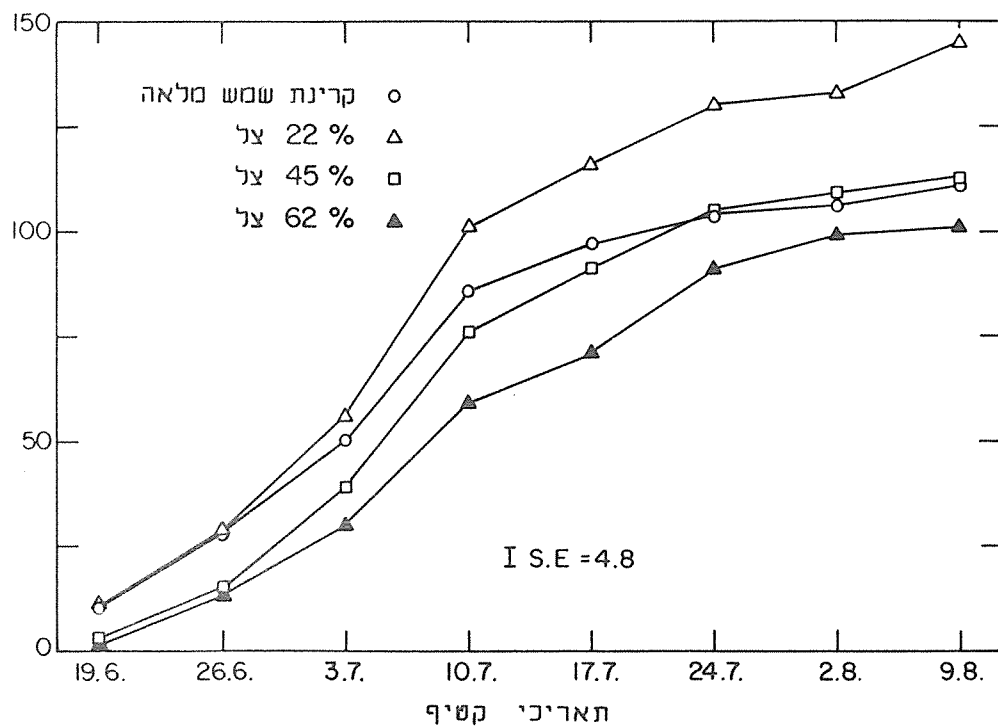
ציור 15: יבול מצטבר בזן חוסן-אילון. קיץ, בית-דגן.

ק"ג / 10 מ"ר

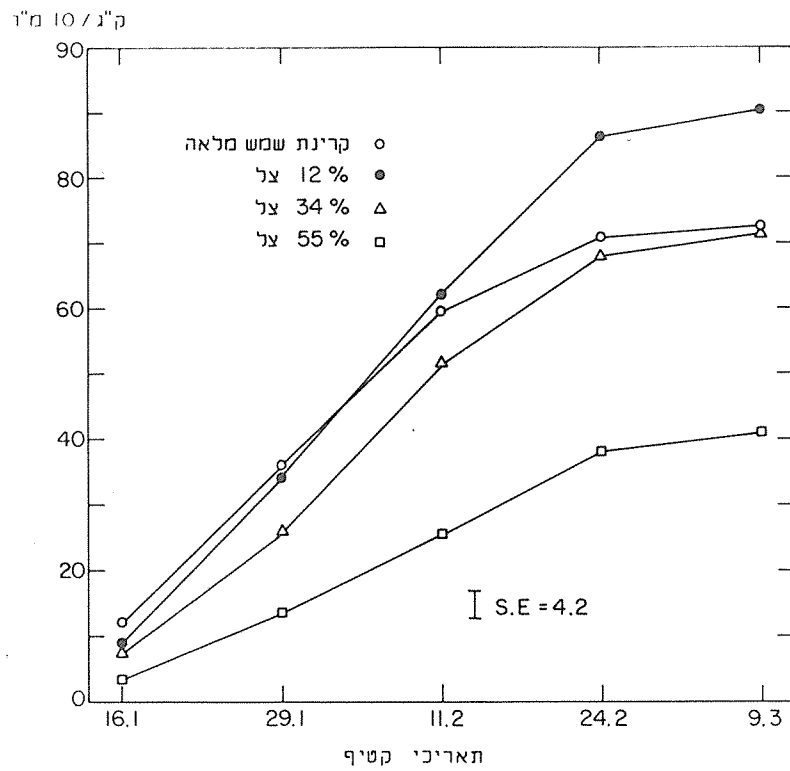


ציור 16: יבול מצטבר בזן נרטון. קיץ, בית-דגן.

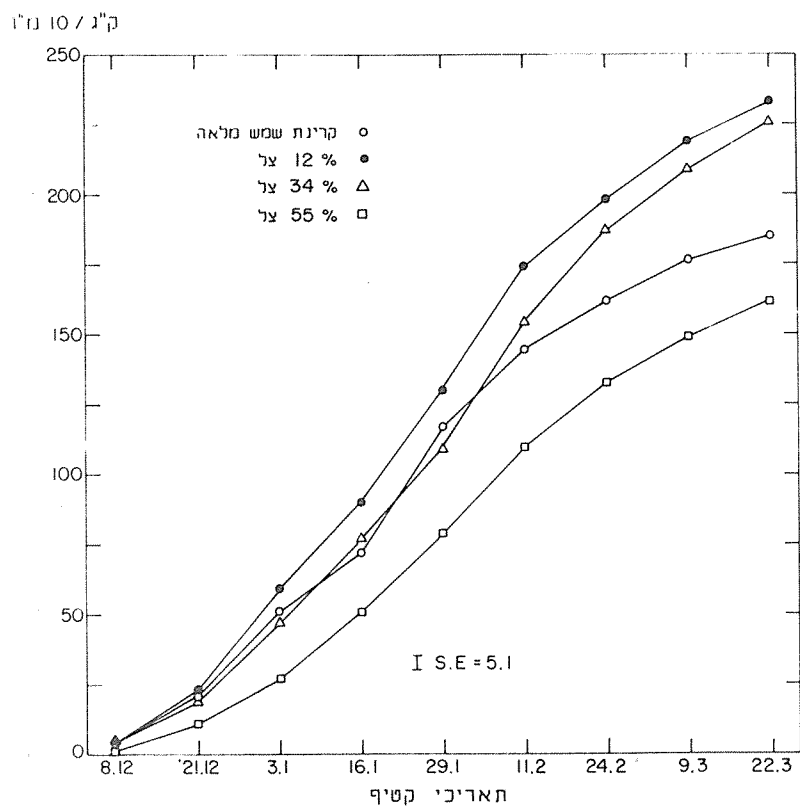
ק"ג / 10 מ"ר



צינור 17: יבול מצטבר בזן חנוסן-אלילון. חורף, חוות-הבשור.



צינור 18: יבול מצטבר בזן נרטנו. חורף, חוות-הבשור.



ורסטו הפחתה של 34% מעוצמת הקרינה עדיין לא גורמת לירידה במשקל ובקוטר הפרי, ורק הפחתה של 55% מהקרינה גורמת לירידה במשקל הפרי.

טבלה 11: גודל הפרי וצורתו בשני זנים של עגבניה בהשפעת עוצמות קרינה שונות. קיץ, בית-דגן.

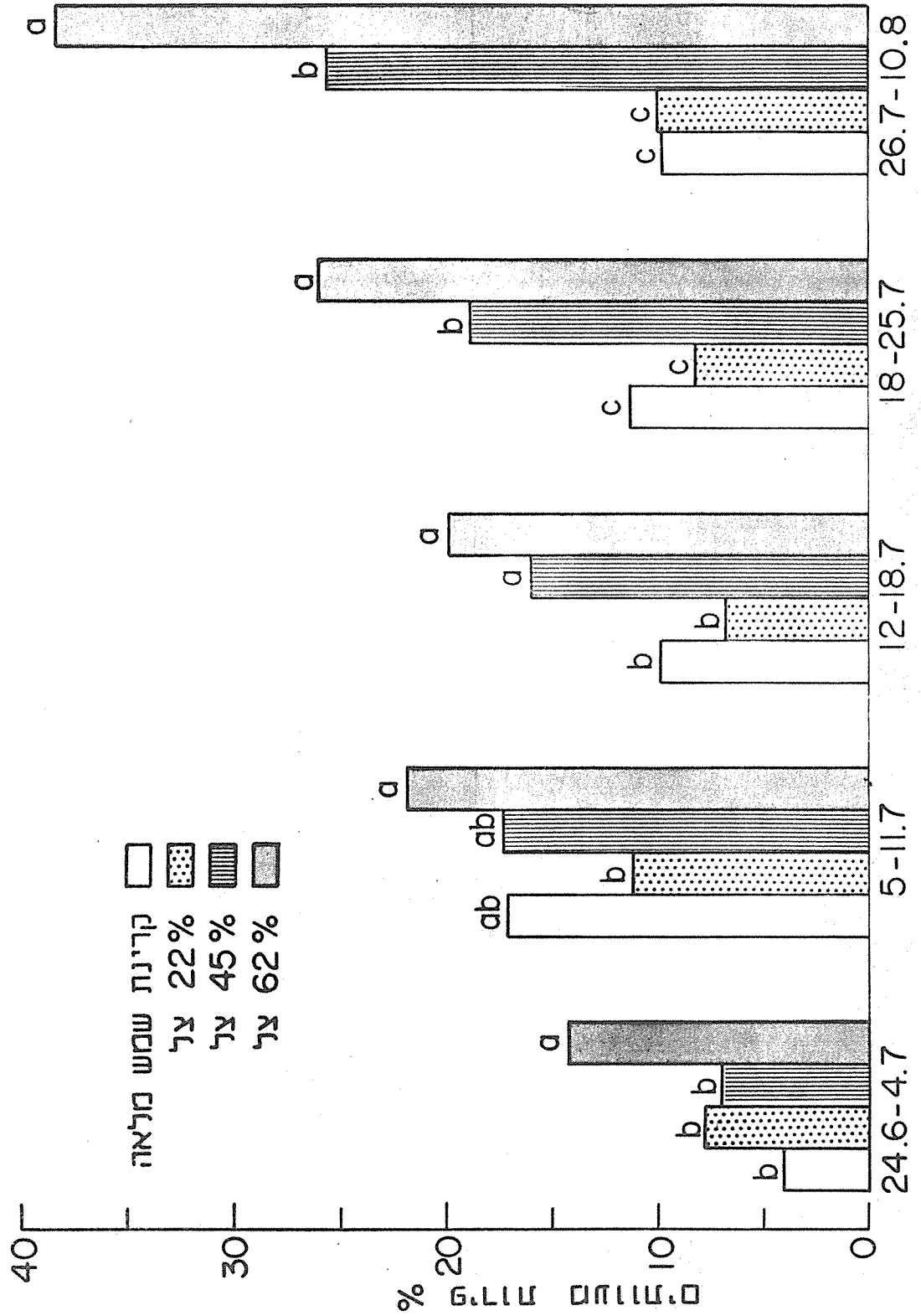
הצללה באחוזים	קוטר פרי (מ"מ)	משקל פרי (גרם)	סה"כ פירות מעוותים (%)
חוסן - אילון			
0	69 ab	126 ab	11 c
22	71 a	139 a	9 c
45	67 ab	119 ab	19 b
62	63 b	110 b	27 a
\pm SE	1.7	5.1	1.6
ורסטו			
0	60 c	92 c	1.4 a
22	68 a	105 a	0.7 a
45	65 b	100 b	0.8 a
62	64 b	99 b	1.5 a
\pm SE	0.67	1.7	0.47

איכות הפרי

עיוותים בפרי (טבלה 11). אחוז הפירות המעוותים בזן ורסטו בעונת הקיץ מזערי. לעומת זאת, בזן חוסן-אילון אחוז הפירות המעוותים גדול יותר, וגדל עם הירידה בעוצמת הקרינה ומגיע לכדי רבע מכלל הפירות בהצללה של 62%. בציור 19 רואים, שבעוצמות קרינה גבוהות (0%-22% צל) אחוז הפירות המעוותים נמוך מזה שבעוצמות הקרינה הנמוכות. במהלך העונה גדל הפער, ובעוצמת הקרינה הנמוכה ביותר (62% צל) עולה אחוז הפירות המעוותים ומגיע עד ל-35% מכלל הפירות בסוף העונה.

גם בעונת החורף (טבלה 12) כמעט לא היו עיוותים בפירות מהזן ורסטו, ופרי מעוות בזן זה מקורו בדרך כלל בפרח הראשון בתפרחת, ולא בהשפעת עוצמת הקרינה ותנאי הסביבה. לעומת זאת, בזן חוסן-אילון שיעור העיוותים בחורף גבוה ומהווה את אחד הגורמים העיקריים בפסילת הפרי ליצוא. אך ככל שעוצמת הקרינה היתה גבוהה יותר -

צינור 19: שיעור הפירנת המעווינויט בזן חוסן-אילון בתאריכי דגימה שונים.



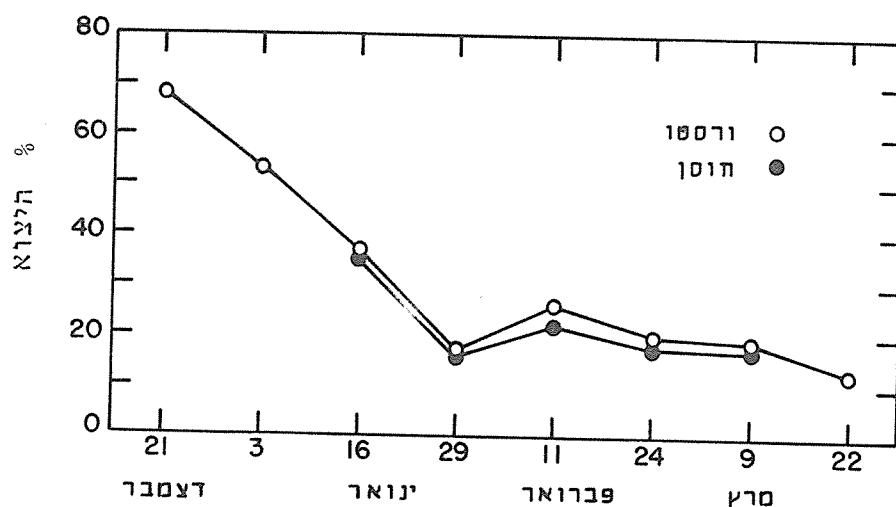
אחוז הפירות המעוותים היה קטן יותר. 24% פירות מעוותים בקרינת שמש מלאה וכמעט כפול, 43%, בעוצמת קרינה נמוכה.

טבלה 12: התפלגות קוטר הפרי, משקלו ואחוז הפירות המעוותים, בשני זנים של עגבניה, בהשפעת עוצמות קרינה שונות. חורף, חוות-הבשור.

סה"כ פירות מעוותים (%)	התפלגות קוטר הפרי באחוזים מסה"כ היבול					משקל פרי (גרם)	הצללה באחוזים
	S 47 מ"מ <	M 48-57 מ"מ	L 58-67 מ"מ	EL 68-77 מ"מ	G < 78 מ"מ		
חוסן - אילון							
24 c	11 a	15 c	28 ab	27 a	19 a	93 a	0
29 bc	13 a	18 bc	23 b	27 a	19 a	95 a	12
35 b	10 a	20 b	28 ab	27 a	15 ab	87 ab	34
43 a	13 a	24 a	29 a	23 a	11 b	82 b	55
ו ר ט ו							
4 a	7 a	16 b	31 a	39 a	7 b	102 b	0
3 a	5 a	14 c	31 s	39 a	11 ab	110 a	12
4 a	6 a	13 c	31 a	37 a	13 a	110 a	34
3 a	8 a	19 a	32 a	35 a	6 b	96 c	55

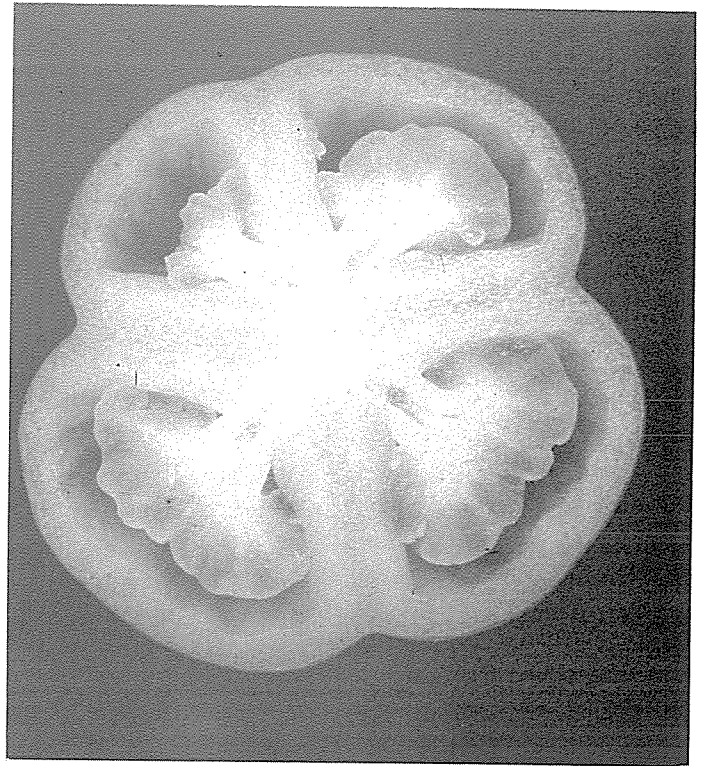
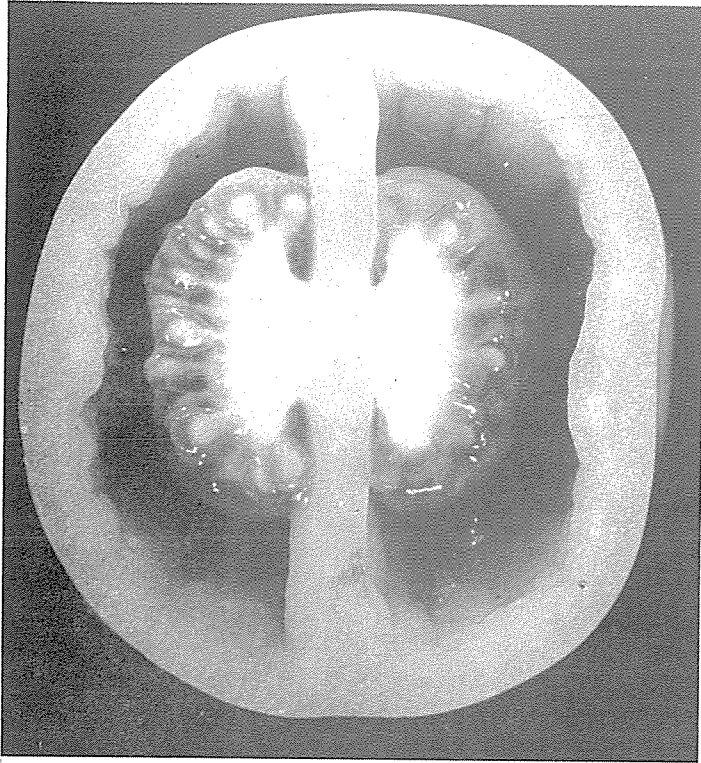
שיעור היצוא. את שיעור הפירות הראויים ליצוא קבעו גורמים שונים: פגעים פיסיים, הפרעות בהתפתחות הצבע, עיוותים בצורת הפרי, גודלו ופגמים הנגרמים ע"י פתוגנים. שכיחות הגורמים השתנתה במרוצת העונה. בזן חוסן אילון נפסלו בתחילת העונה רוב הפירות בעקבות פגעים פיסיים ופרי בלתי רגולרי. בהמשך העונה חלה עלייה בשיעור הפירות הקטנים מ-40 גרם, ורוב הפירות נפסלו ליצוא בשל היותם קטנים מדי ובשל עיוותים בצורת הפרי, שנגרמו בשחלה עוד בזמן התפתחות הפרח. בזן ורטור נפסלו רוב הפירות בשל תגובות פיסיולוגיות בפרי הבשל, כגון התרככות מוקדמת והסתדקות הפרי וכן בשל ריבוי הפגעים הפיסיים, שנגרמו מרוחות. בשני הזנים לא נמצאו הבדלים מובהקים, בין טיפולי הקרינה השונים, בשיעור היצוא. שיעור היצוא (ציור 20) היה נמוך ובמרבית העונה היה כ-20%: ורטור החל להניב מוקדם, ועד לתחילת הניבה בזן חוסן-אילון - אחוז היצוא בו גבוה מהמוצע.

ציור 20: אחוז היצוא בשני זנים של עגבניה. חורף, חוות-הבשור.

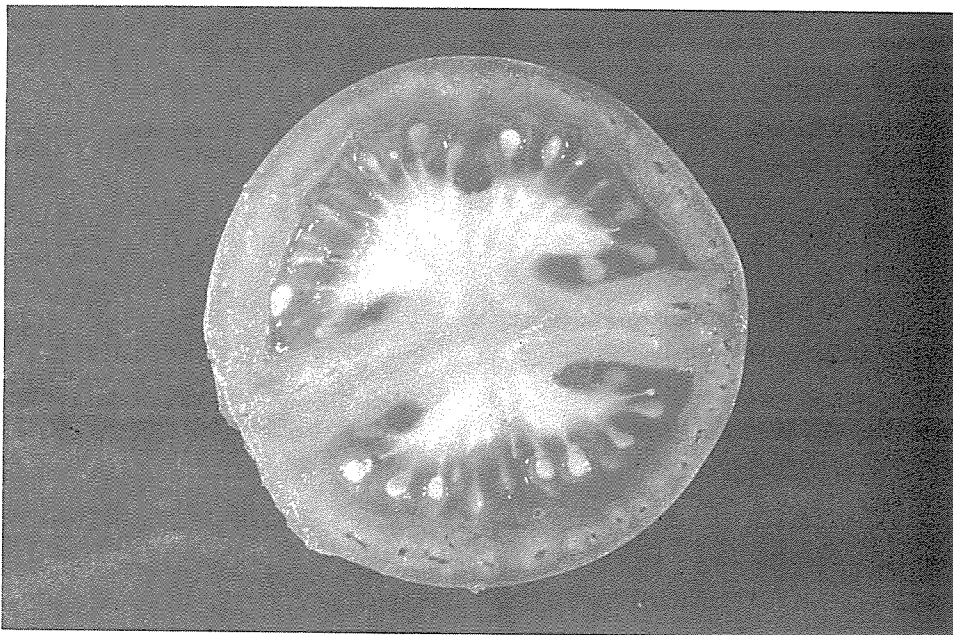


חלילות הפרי וכתמי שעם. תופעת החלילות (תמונה 8) והופעת כתמי-שעם ברקמות הפריקרפ של הפרי (תמונה 9) נפוצות בעיקר בעונת הסתיו והחורף, והן מהבעיות הפוגעות באיכות הפרי ובהתאמתו ליצוא. החלילות וכתמי-השעם הופיעו בפרי רק בזן ורסטו ובעונת הסתיו-חורף בלבד. תוצאות הניסוי (ציור 21) מראות הבדל ברור ומובהק בין הטיפולים. יש יחס הפוך בין עוצמת הקרינה ובין אחוז החלילות: בהצללה של 12% שיעור החלילות הנמוך ביותר, וב-55% הצללה שיעור החלילות הגבוה ביותר. עם רדת הטמפרטורה ועוצמת הקרינה במהלך העונה גדל הפער בין הטיפולים כתוצאה משיעור החלילות הגבוה, המתגלה בעוצמת הקרינה הנמוכה (55% צל). השפעה דומה, אך פחות בולטת ומובהקת, היתה לעוצמת הקרינה על הופעת כתמי-שעם.

הרכב כימי וצבע הפרי. בניסוי הקדמי בזן חוסן-אילון, שנערך בעונת הקיץ (טבלה 13), נמצאה השפעה שלילית בולטת של עוצמות קרינה נמוכות על ההרכב הכימי וצבע הפרי. ככל שעוצמת הקרינה היתה נמוכה יותר - מוצקות הפרי (T.S.S), אחוז הסוכר והחומצה, וכן יחס סוכר/חומצה היו נמוכים יותר. לעומת זאת בערכי ה-pH לא נמצאו הבדלים. מדדי צבע הפרי, שנמדדו בניסוי, הראו שערכי a והיחס a/b היו גבוהים יותר באופן

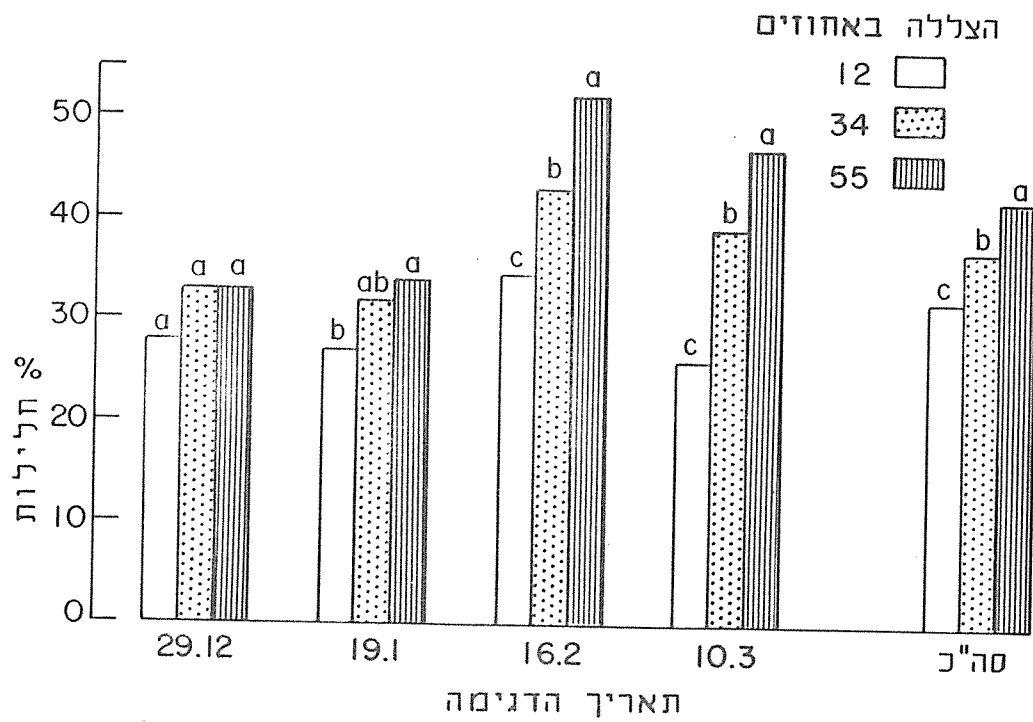
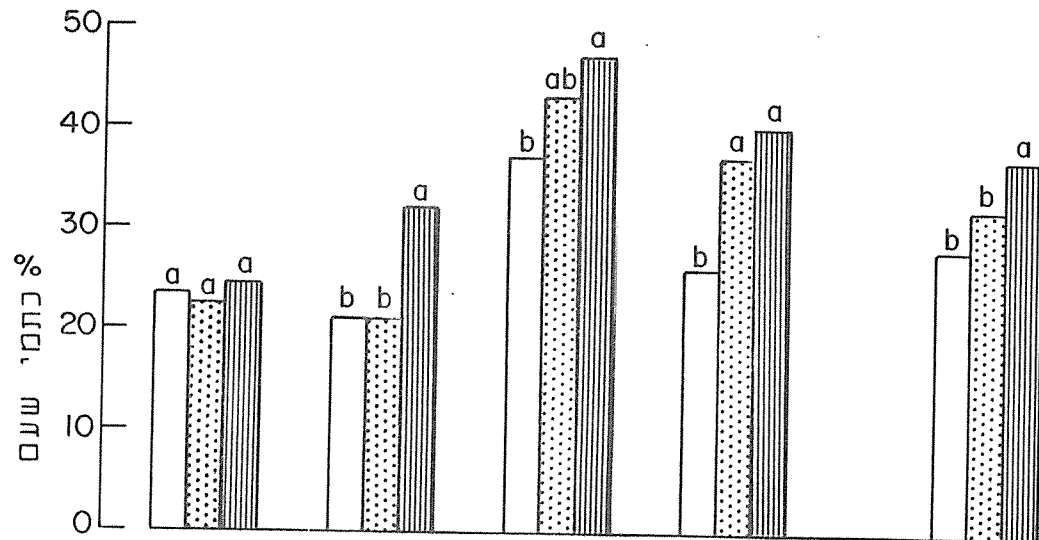


תמונה 8 : תופעת חלילות פירות העגבניה.



תמונה 9 : תופעת כתמי-השעם ברקמת הפריקרפ של פרי העגבניה.

ציר 21: שיעור החלילות וכתמי השעם בזן ורטטו בהשפעת עוצמת הקרינה.



מובהק בעוצמות הקרינה הגבוהות (0% ו-22% צל), בהשוואה לפירות מטיפולי הקרינה הבינונית והנמוכה (45% ו-62% צל). לעומת זאת, ערכי b היו גבוהים יותר בעוצמות הקרינה הנמוכות.

טבלה 13: ההרכב הכימי וצבע הפרי בזן חוסן-אילון בהשפעת עוצמת הקרינה. קיץ, בית-דגן.

הצללה	(T.S.S) כלל מוצקים מומסים * (%)	סוכר מחזר (%)	חומצת ציטרית (%)	יחס סוכר/ חומצה	pH	מדד צבע		
						a	b	יחס a/b
0	5.4 a	3.1 a	0.59a	5.3 a	4.16a	27.6a	16.7b	1.7 a
22	5.0 b	2.6 b	0.59a	4.4 b	4.12a	28.1a	16.8b	1.7 a
45	4.3 c	2.2 bc	0.56a	3.8 bc	4.12a	24.3b	17.1a	1.4 b
62	4.0 c	1.9 c	0.56a	3.4 c	4.18a	23.2b	17.6a	1.3 b

בהמשך המחקר ולאור התוצאות של הניסוי ההקדמי ערכנו, בעונת החורף, בדיקות מקיפות שכללו מספר בדיקות במשך העונה בשני הזנים. הבדלים ניכרים בהרכב הפרי היו במועדי הקטיף השונים, כאשר בכל עוצמות הקרינה ובשני הזנים המגמה היא ירידה בחומר היבש, בסוכרים ובחומצה ועלייה הדרגתית בערכי a ויחס a/b ועלייה לא משמעותית בערכי הצבע b עם התקדמות העונה. בכל שלוש הבדיקות שנערכו היו ערכי החומר היבש, הסוכר ויחס סוכר/חומצה גבוהים יותר בפירות שנלקחו בעוצמת קרינה גבוהה יותר. בטבלה 14 מובאים ממוצעי כל הבדיקות שנערכו במהלך העונה. בטיפולים 2 ו-3 (12% ו-34% צל) היתה רמת המוצקים, הסוכרים ויחס סוכר/חומצה דומה, ועלתה באופן מובהק על אותם ערכים שבטיפול 4 (55% צל). לא נמצאו הבדלים מובהקים ברמת החומצה וה-pH.

מדדי צבע הפרי בחורף הראו תמונה דומה לזו שנתקבלה בקיץ. ערכי a גבוהים וערכי b נמוכים יחסית בעוצמת הקרינה הגבוהה והבינונית, בהשוואה לעוצמת הקרינה הנמוכה. עוצמת צבע הפירות מהזן ורסטו היתה באיכות ירודה ולא הגיעה ליחס רצוי של a/b (a/b=2). לעומת זאת, עוצמת הצבע בפירות מהזן חוסן-אילון היתה טובה יותר, ויחס a/b הגיע בדרך-כלל לרמה הרצויה.

* יש לציין שבבדיקות T.S.S נוספות, בתקופה מוקדמת יותר, קיבלנו הבדלים גדולים, אף יותר שנינו בין 5.4 ב-100% קרינה וירדו עד 3.4 בעוצמת קרינה הנמוכה ביותר, 62% צל.

טבלה 14: ההרכב הכימי וצבע הפרי בשני זני עגבניות בהשפעת עוצמת הקרינה.

חורף, חוות-הבשור*

מדד צבע			pH	יחס סוכר/ חומצה	חומצה ציטרית (%)	סוכר מחזר (%)	כלל (T.S.S) מוצקים מומסים (%)	הצללה באחוזים
a/b	b	a						
חוסן - אילון								
2.2 a	14.6 b	32.1 a	4.25 a	6.3 a	0.38 a	2.4 a	3.7 a	12
2.1 b	14.8 b	31.4 b	4.23 a	6.4 a	0.37 a	2.4 a	3.5 a	34
2.0 c	15.5 a	30.2 c	4.23 a	4.6 b	0.39 a	1.8 b	3.1 b	55
ו ר ט ו								
1.5 a	16.3 b	24.8 a	4.22 a	4.9 a	0.42 a	2.0 a	3.8 a	12
1.5 a	16.0 b	24.7 a	4.22 a	4.8 a	0.42 a	2.0 a	3.7 a	34
1.4 b	17.2 a	23.7 b	4.23 a	4.3 b	0.43 a	1.8 b	3.4 b	55

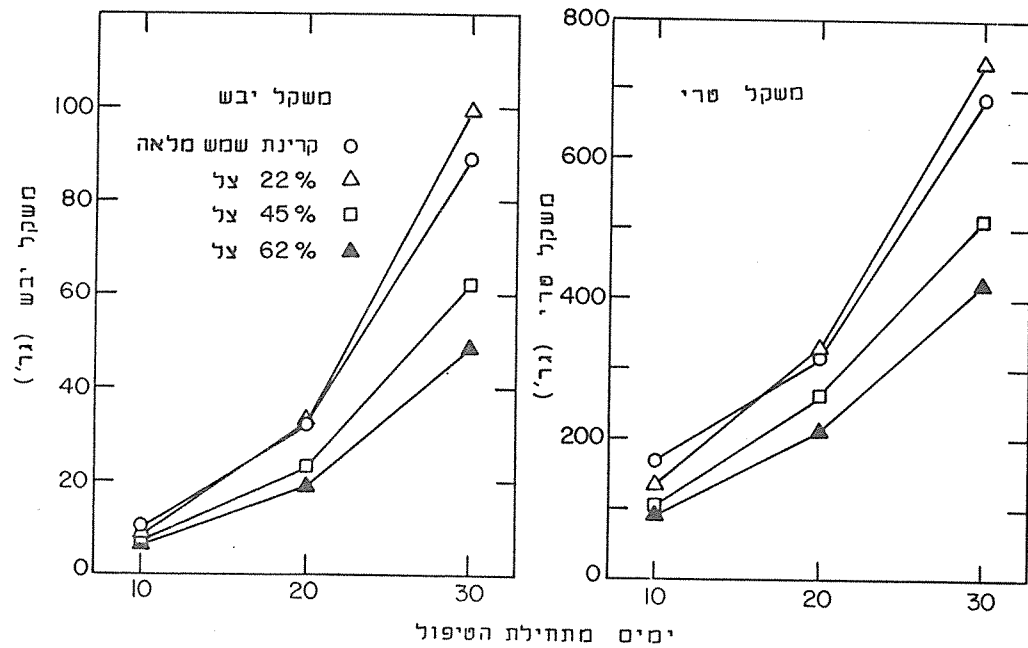
* ממוצע של 3 בדיקות במהלך העונה.

ז. צבירת החומר הטרי והיבש בצמח

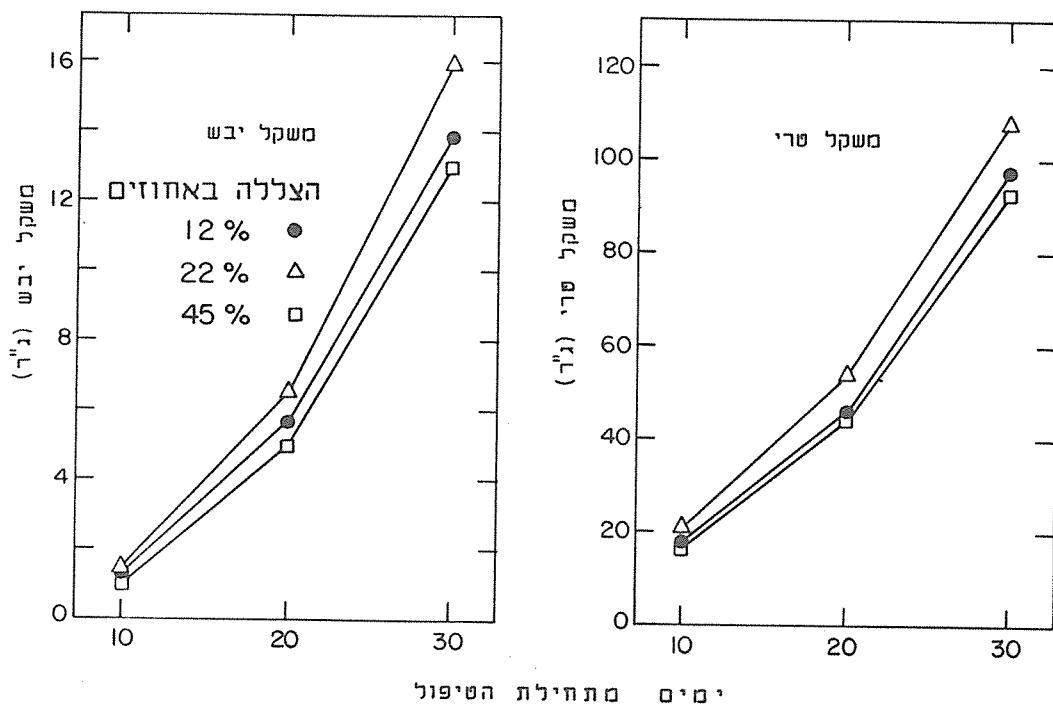
משקל טרי, משקל יבש. יכול החומר הטרי והיבש, כתלות בזמן הגידול

(ציור 21), מייצג את תוספת המשקל בצמח השלם, כפי שנמדדה בארבע רמות קרינה בחודש מאי. הצללה של 22% הצטיינה הן במשקל גבוה של חומר ירוק וחומר יבש והן באחוז חומר יבש גבוה, ובבדיקה השלישית (30 ימים מתחילת הטיפול) עלתה ברמתה גם על הצמחים שגדלו בעוצמת קרינה מלאה. ברמת קרינה הנמוכה ביותר (62% צל) משקל החומר הטרי והיבש הוא הנמוך ביותר. בבדיקה נוספת שערכנו שנה לאחר מכן, בקיץ 1978, נבדק תחום ההצללה שבין קרינת שמש מלאה לבין 22% צל. הסתבר (ציור 22), שבעונה זו של השנה היתה ירידה בהצטברות החומר הטרי והיבש כל זמן ששיעור ההצללה קטן מ-22%: 30 ימים מתחילת הטיפול הצטברו 16 גרם חומר יבש לצמח ב-22% צל, לעומת 13.9 גרם לצמח ב-12% צל.

ציור 22: השפעת עוצמת הקרינה על הצטברות המשקל הטרי והיבש (התחלת הטיפול - 59 ימים מהזריעה), בזן חוסן-אילון קיץ 1977



ציור 23: השפעת עוצמת הקרינה על הצטברות המשקל הטרי והיבש (התחלת טיפול - 27 ימים מהזריעה), בזן חוסן-אילון קיץ 1978



V. דיון ומסקנות

בעבודה זו נמצא שצמח העגבניה מגיב באופן בולט בצמיחה הרפרודוקטיבית לשינויים בעוצמת הקרינה, בשלבי הפריחה, ההפריה, החנטה והתפתחות הפירות. התברר שבתנאי אקלים תת-אופטימליים חלים שינויים במבנה הפרח, ועל הצמח מופיעים פרחים בעלי מבנה שונה וחריג. הסטיות העיקריות במבנה הפרח הנורמלי מתבטאות בשינוי צורת האברים, הגדלת הממדים ו/או מספרם של חלקי פרח שונים. שכיחות הופעת הליקויים והעיוותים שונה בתנאי סביבה שונים, ומירב העיוותים הופיעו בעונה הקרה ובזן חוסן-אילון. לעוצמת הקרינה היתה השפעה ניכרת על מבנה הפרח. העיוותים השונים אמנם הופיעו בכל עוצמות הקרינה, אבל התדירות היתה גבוהה יותר ככל שעוצמת הקרינה היתה נמוכה יותר (טבלה 4).

עיתוי התופעה, היותה מוגבלת לתנאי טמפרטורה ועוצמת קרינה נמוכה, התגברות העיוותים עם הרעה נוספת בתנאי הקרינה והטמפרטורות במשך העונה, והעובדה שהפחתת עוצמת הקרינה בלבד הגבירה במידה משמעותית את תדירות העיוותים – כל אלה מראים על הקשר לעוצמת הקרינה, שבהשפעתה מתהווים שינויים בהיווצרות האברים. תוצאות אלו תומכות בדעה, שתכולה נמוכה של סוכרים, פחמימות וחומצות גרעין בפרחים שהתפתחו בעוצמות קרינה נמוכות (75), גורמות לפגיעה במטבוליזם, מביאות לצמיחה בלתי מאוזנת של הרקמות בפרח, וגורמות לשינוי צורה (דפורמציות) והתפתחות לא תקינה ומעוותת של הפרח.

בעונת הקיץ, כשהטמפרטורות גבוהות, השינוי הבולט והשכיח במבנה הפרח הוא יציאת עמוד העלי אל מחוץ לצינור האבקנים. עמוד עלי גבוה יחסית לאבקנים מקשה על ההפריה העצמית (4), שהיא בדרך-כלל ההפריה הבלעדית. תופעה זו, בהשפעת טמפרטורות גבוהות, ידועה (4, 7, 23). ואכן, בקיץ בלט עמוד העלי מעל לצינור האבקנים יותר מאשר בסתיו. בתגובה לעוצמות קרינה שונות (טבלאות 2 ו-3) מצאו בעבודה זו הבדלים ניכרים בגובה עמוד העלי: עוצמות קרינה נמוכות גרמו בזן חוסן-אילון שיעור גבוה יותר של פרחים שבהם עמוד העלי בלט מעל לצינור האבקנים. תופעה זו חזרה על עצמה גם בקיץ, כשהטמפרטורות גבוהות, וגם בסתיו כשהטמפרטורות מתונות יותר. כדאי לציין את העובדה, שבקרינת שמש מלאה בקיץ טמפרטורת הצמח (המבוססת על טמפרטורת הפרי, ציור 5c) גבוהה יותר. למרות זאת, עמוד העלי קצר יותר, ויתכן שבתנאי טמפרטורות זהות לחלוטין ההבדל היה אף גדול יותר.

התארכות עמוד העלי ופריצת צינור האבקנים, בעקבות עוצמת קרינה נמוכה, מהוות מחסום להאבקה עצמית, שבלעדיה אין חנטה והפרח נושר (23, 70). לפיכך סביר להניח, שההבדלים שנמצאו בין טיפולי עוצמות הקרינה השונות יתבטאו בכושר החנטה שלהם.

השוואת ההתנהגות של שני הזנים, בתגובה לשינוי עוצמת הקרינה, מראה הבדל משמעותי ברגישות הזנים לתכונה האמורה. בזן ורסטו גרמו הטמפרטורות הגבוהות בקיץ התארכות קלה בלבד של עמוד העלי, ולעוצמת הקרינה לא היתה כלל השפעה. לעומתו, בזן חוסן-אילון אחוז הפרחים שבהם בלט עמוד העלי היה גדול, ועם עליית הטמפרטורות בקיץ הגיב זן זה בצימוח חזק של עמוד העלי, ולעוצמת הקרינה היתה השפעה חזקה ביותר. פריצת עמוד העלי מהווה אפוא הבדל מורפולוגי נוסף במבנה הפרח בין הזן ורסטו - העמיד, לבין הזן חוסן - הרגיש לאותם תנאים. רגישותו של הזן חוסן-אילון להתארכות עמוד העלי נצפתה גם ע"י א. לוי (4) שערך ניסויים בטמפרטורות גבוהות.

ברוב המקרים, בחורף ובקיץ ובשני הזנים, כמות גרגרי האבקה וחיותם (*in vitro*) גבוהים יותר בעוצמות הקרינה הגבוהות. בנוסף לכך, בבדיקות *in vivo* (טבלה 1) הסתבר שאבקה שמקורה בפרחים שהתפתחו בתנאי עוצמת קרינה גבוהה יותר היתה פוריה יותר. השונות העצומה במספר גרגרי האבקה ובחיותם בין פרחים מאותו טיפול מקשה על הסקת מסקנות חד משמעויות, אך התוצאות מהוות עדות מספקת שקיים הבדל בין עוצמות הקרינה לגבי מספר גרגרי האבקה וחיותם. העובדה שההבדלים בין טיפולי עוצמת הקרינה קטנים מהשינויים שחלים עם שינוי הטמפרטורה, מעידה שהטמפרטורה היא הגורם האקלימי העיקרי המשפיע על התפתחות תקינה של גרגרי האבקה. יחד עם זאת, התוצאות שקיבלנו בעבודה זו והמיתאם החיובי שמצאו חוקרים אחרים (45, 69), בין חוסר החיות של גרגרי האבקה לחוסר פחמימות בתנאי עוצמת קרינה נמוכה - מעידים, כי גם לעוצמת הקרינה השפעה על היווצרות גרגרי האבקה ועל חיותם. אין ספק שיש עוצמת קרינה מינימלית, שלמטה ממנה אין ליצור תקין של גרגרי האבקה גם כאשר תנאי הסביבה האחרים הם אופטימליים. בעבודתנו לא נבדקה טמפרטורה אופטימלית בשילוב עם עוצמת קרינה נמוכה, וכדאי לבחון זאת בתנאים מבוקרים.

ירידה בעוצמת הקרינה מאריכה את משך הזמן הדרוש להתפתחות השלבים שמשתילה ועד לפריחה (ציור 9), והורדת עוצמת הקרינה בניסויים שונים גרמה להפחתת הסתעפויות הצמחים במידה ניכרת (6). מעקב אחרי קצב הופעת התפרחות בעונת הקיץ (טבלה 5) הראה, כי מספר התפרחות הגבוה ביותר היה בהצללה של 22% והגיע לפי 2 יותר תפרחות מאשר בהצללה של 62%. השוואת הגידול הווגטיבי להתפתחות התפרחות מראה, שקצב הופעת התפרחות היה דומה לקצב הצימוח הווגטיבי (ציור 22), שגם בו בהצללה של 22% היה המשקל היבש רב פי 2 מאשר בהצללה של 62%. לפיכך נראה שהפחתת עוצמת הקרינה מעבר ל-22% צל השפיעה באופן ברור על הופעת התפרחות בגרמה לדחיית הפריחה והפחתת מספר התפרחות לצמח, כנראה עקב התפתחות מורפולוגית וצמיחה וגטיבית איטית יותר. הצמחים בטיפול העוצמות הגבוהות, שפיתחו מספר תפרחות רב יותר בזמן מוקדם, נהנו מעונה שבה הטמפרטורה והקרינה נוחות יותר, והגיעו לעונה החמה (בקיץ) ולעונה הקרה (בחורף), כשהם נושאים תפרחות רבות יותר. הקדמת הפריחה ומספר תפרחות רב יותר יתרונם בכך,

שפרחים רבים יותר מתפתחים וחונטים כשתנאי הסביבה עדיין סבירים, והתפתחות הפרי אף היא חלה בחלקה בתנאים נוחים יותר.

עוצמות קרינה נמוכות מאוד (62% צל בקיץ ו-55% צל בחורף) גרמו בזן ורסטו לירידה מובהקת במספר הפרחים לתפוח (טבלאות 7, 8). אבל השונות במספר הפרחים לתפוח בטיפולים השונים גדולה, וההבדלים שהיו במשך עונות הגידול בין הטיפולים לא היו בדרך כלל מובהקים (ציורים 10, 11, 12). מתוצאות אלה נראה, כי בניגוד להשפעתה הניכרת של הקרינה על מספר התפוחות בצמח - הרי למספר הפרחים בתפוח אין תלות חזקה בעוצמת הקרינה. מעניין לציין, שבמספר ניסויים של חוקרים אחרים (4, 7) לא היתה גם לטמפרטורה השפעה על מספר הפרחים בתפוח.

קיום תקין של תהליך החנטה מותנה בהימצאות אבקה פוריה, העברתה מהאבקנים לצלקת, נביטתה, צמיחת הנחשון לתוך השחלה והימצאות ביציות תקינות בתוך השחלה. בעונת הקיץ נראה, כי אחוז החנטה בסוף חודש יוני ובתחילת יולי נמוך: 15%-25% בחוסן-אילון ו-45%-55% בורסטו (ציור 10). העובדה, שבתקופה הנ"ל האבקה חיונית ונובטת במעבדה (ציור 8א), מעידה כי הפגיעה בחנטה הטבעית נבעה, בין השאר, מכך שבפרחים רבים מתארך עמוד העלי מעל פני צינור האבקנים. חוסר ההתאמה המורפולוגי בין חלקי הפרח מונע שפיכת אבקה על הצלקת וגורם עקרות פונקציונלית ומונע את החנטה (51, 70). בעונת החורף, בתחילת דצמבר, מגיע שיעור הנביטה (in vitro) בזן חוסן-אילון לכ-50% ומספר גרגרי האבקה בפרח עולה על 100 אלף (ציור 8ב). לעומת זאת, אחוז החנטה (ציור 11) שואף לאפס. העובדה כי בפרח יש מספיק גרגרי אבקה, והאבקה חיונית ונובטת במעבדה, והעובדה כי ניעור התפוחות משפר את החנטה (82) - מהוות הוכחה ישירה, כי חוסר ההפריה, גם בתקופה זו של השנה, נובע בין השאר מכך שהאבקה לא מגיעה לצלקת. השפעת עוצמת הקרינה ניכרת במידה זו או אחרת בכל השלבים, והגורמים המשתתפים בתהליך ההפריה והחנטה ותנאי קרינה בלתי נאותים מונעים הפריה תקינה וחנטה. כאמור, עוצמות קרינה נמוכות מעודדות התארכות יתרה של עמוד העלי (טבלאות 2, 3), גורמות התפתחות לקויה ומעוותת של חלקי פרח שונים (טבלה 4, תמונות 4-7), פוגעות בכמות האבקה ובחיותה ועלולות למנוע התפתחות תקינה של הביציות (83). שילוב של כל הגורמים הללו הוא גורם מכריע בירידה בשיעור החנטה, שהתקבלה בעוצמות הקרינה הנמוכות (ציורים 10, 11, 12; טבלאות 7, 8). בעונת הקיץ אחוז החנטה בעוצמת קרינה מלאה נמוך מזה שבהצללה של 22% (ציור 10; טבלה 7). עובדה זו סותרת, לכאורה, את האמור לעיל. ברם אם נזכור שבעוצמת הקרינה המלאה היתה טמפרטורת הצמח גבוהה מזו שבשאר הטיפולים, והיות שטמפרטורות גבוהות גורמות חוסר הפריה וחנטה לקויה (4, 23), הרי שהיתרון בהצללה קלה (22% צל) ברור. השתנות רמת החנטה בתגובה לשינוי בתנאי הסביבה מראה על איבוד כמעט מוחלט של כושר החנטה העצמי בזן חוסן-אילון בקיץ (ציור 10) ויותר מכך בחורף (ציור 11). לעומת זאת, בזן ורסטו הירידה ברמת החנטה מתונה יותר.

קיים הבדל מהותי בין שני הזנים, המתבטא בשיטת הגידול וברוב התכונות המורפולוגיות והפיסיולוגיות המשפיעות על תהליך החנטה. הזן חוסן-אילון מגלה רגישות רבה לעוצמת הקרינה וסובל משילוב של כל התופעות שנסקרו במידה רבה יותר מורסטו. נראה כי זו אחת הסיבות לשיעור החנטה הנמוך ולהבדלים הגדולים יותר בשיעור החנטה שבין טיפולי הקרינה השונים בזן חוסן-אילון. ממצאים אלו מעידים על אפשרות של קיום מנגנון בסיסי רגיש יותר לעוצמת קרינה וטמפרטורה בזן הרגיש (51, 72).

הופעת חנטים בלתי מפותחים ופירות קטנים נפוצה בעיקר בעונת החורף (טבלאות 7, 8; ציור 13), כתוצאה מכך שמספר רב של פרחים חנטו אך לא התפתחו לפירות. יכולת הפרי להתפתח תלויה ביכולתו לקבל ולמשוך חומרי מזון כאשר כמות המוטמעים העומדת לרשות השחלה קובעת את סיכוייה להתפתח. מלאי הפחמימות הדל הנמצא בעונה זו של השנה בצמח, בגלל קצב הטמעה איטי (25), יוצר מצב שבו גם כאשר הפרי חונט - אין לצמח יכולת לספק מוטמעים לכל הפירות. לפיכך נראה כי פרי שאינו מהווה מבלע חזק - לא מקבל מספיק חומרי מזון, גדילתו נעצרת, והוא לא מתפתח. קצב ההטמעה, צבירת החומר בצמח וקצב העברתו לפרי - גדלים עם העלייה בעוצמת הקרינה (24, 36, 57, 68). לפיכך נראה לנו שהמשאבים הגדולים יותר של חומרי מזון, שעמדו לרשות הצמחים שהתפתחו בעוצמות קרינה גבוהות, סייעו לכך שכלל שעוצמת הקרינה היתה גבוהה יותר - מספר חנטים הבלתי מפותחים היה קטן יותר (טבלאות 7, 8). חיזוק לכך נמצא בעובדה, שהתפתחות התפרחות העליונות בצמחים מעוכבת על ידי הפירות בתפרחות הנמוכות יותר, המהוות מבלע חזק יותר. ואכן, ככל שהתפרחת היתה צעירה יותר - מספר החנטים שלא התפתחו לפרי בגודל נורמלי היה גדול יותר (ציור 13).

משך ההבשלה (מספר ימים מפתחת הפרח ועד הקטיפה) תלוי בזן, בגודל הפרי ובתנאי הסביבה האקלימיים. בחורף שבו כל התהליכים המובילים להבשלה איטיים יותר, התפתחות הפרי מתארכת ונמשכת כמעט כפול מאשר בקיץ (טבלה 9). העובדה שמשך ההבשלה קצר יותר בטמפרטורות הגבוהות של הקיץ - ידועה, אולם בעבודה זו התברר שגם עוצמת הקרינה משפיעה באופן ברור על משך התפתחות הפירות והבשלתם. בתגובה להפחתת עוצמת הקרינה חל עיכוב בקצב ההבשלה, וככל שעוצמת הקרינה היתה נמוכה יותר היה משך ההבשלה איטי יותר. משך ההבשלה הארוך יותר בעוצמות הנמוכות חזר על עצמו הן בקיץ כשהטמפרטורות גבוהות, והן בחורף כשהטמפרטורות נמוכות.

גודלו של פרי העגבניה מושפע למעשה על ידי עוצמת הקרינה כבר בשלב התפתחותו המוקדמים. לפי דעתו של Nitsch (65), שחלה גדולה יוצרת פרי גדול, ובפרח המתפתח בתנאי עוצמת קרינה נמוכה נוצרת שחלה קטנה מזו שבעוצמת קרינה גבוהה (75).

(76).

בדיקת קצב גדילת הפרי של שני הזנים בעוצמות הקרינה השונות (ציור 14) מלמדת, שעקומת הגדילה לפי קוטר היא סימואידית. כבר בעת שהתחלנו במדידות (גודל השחלה ופרי 7-10 ימים מהחנטה) היה הבדל בקוטר הפירות, ופרי שהתפתח בעוצמת קרינה גבוהה יותר היה בעל קוטר גדול יותר. ההבדל בין הטיפולים נשמר ואף גדל במהלך התפתחות הפירות, כשתוספת הקוטר היתה גדולה יותר בצורה מובהקת ככל שעוצמת הקרינה היתה גבוהה יותר. הסתבר, שפרי המתפתח בעוצמות קרינה גבוהות - משך ההבשלה שלו קצר יותר, ולמרות זאת קוטרו ומשקלו גדולים יותר. מכאן שקצב הצטברות החומר בפרי בעוצמות קרינה גבוהות מהיר יותר מזה שבעוצמות הנמוכות. יתרון זה ניתן לייחס לטרנסלוקציית מוטמעים יעילה יותר לפרי המתפתח בתנאי קרינה טובים יותר. למרות האמור לעיל, בעונת הקיץ היו קוטר הפרי ומשקלו הסופי (טבלה 11), בהצללה של 22%, גבוהים מאלו שבעוצמת הקרינה המלאה. סביר להניח שיתרון זה נובע מהעובדה, שבעונה זו היה קצב הצטברות החומר הייבש (ציור 22), בהצללה של 22%, גבוה מזה שבעוצמת הקרינה המלאה. בנוסף לכך, נראה שבעוצמות קרינה גבוהות מדי, בהשפעה עקיפה של עליית הטמפרטורה, חלה פגיעה בטרנסלוקציית המוטמעים לפרי (21, 51). תוצאות דומות התקבלו גם בניסוייהם של Johnson and Hall (52), שבהם הפחתת עוצמת הקרינה בתנאי עוצמה גבוהה במיוחד (100.000 Lux) הביאה לידי שיפור בגודל הפרי.

רמת היבולים הנקבעת לפי מספר הפירות ומשקלם מהווה ביטוי סופי של מספר התפרחות בצמח, מספר הפרחים לתפרחת, אחוז החנטה ויכולת הגדילה של הפרי המתפתח. השפעת עוצמת הקרינה על מרכיבי היבול השונים נסקרה, ונראה בעליל שהיא מהווה גורם בעל חשיבות ראשונית. שינוי בתנאים וזנים שונים מבאים לידי השפעה שונה של עוצמת הקרינה על מרכיבי היבול, ולפיכך גם על רמתו. תוספת הארה לצמחי עגבניות, שהתפתחו בעוצמות קרינה נמוכות בחורף, הגדילה את היבול לעיתים עד כדי פי 3 ויותר (27, 71). מאידך גיסא, עוצמת קרינה חזקה מאוד בקיץ הקטינה את היבול (6, 52). בבדיקות יבולי הפרי של שני הזנים בעונת הקיץ (ציורים 15, 16) נמצא, כי היבול המירבי התקבל בעוצמת קרינה של 78% מעוצמת הקרינה בחוץ (22% צל). בעוצמות קרינה גבוהות יותר או נמוכות יותר חלה ירידה ביבול, והיבול המזערי התקבל בעוצמת הקרינה הנמוכה ביותר (62% צל). רמת היבול בקרינת שמש מלאה, בשני הזנים, היתה נמוכה ב-26%-33% בהשוואה להצללה של 22%. נראה כי הגורם העיקרי לירידה ברמת היבולים, בעוצמת הקרינה המלאה, היא הטמפרטורות הגבוהות יותר ששרדו בטיפול זה בהשוואה לטיפולים האחרים וגרמו לירידה בהצטברות החומר היבש (ציור 22) ופגעו ברוב מרכיבי היבול. בהצללה שמעל 22% (45%-62% צל) נוצר שילוב של טמפרטורות גבוהות (קיץ) ועוצמת קרינה נמוכה. תנאים אלו גורמים ליחס הטמעה/נשימה נמוך, לתכולת פחמימות נמוכה מאוד (68), לעיכוב התפתחות הצמח (טבלה 5) (48), לפגיעה בחנטה, לנשירת פרחים ולקבלת מספר פירות קטן (טבלה 7) (21, 56).

הגנה פיסית על הצמח והצללה מינימלית של 12% בעונת הסתיו-חורף נותנות את היכול הגבוה ביותר (ציורים 17, 18), כאשר בשטח הפתוח התקבל יכול נמוך ב-25%-28%. חשוב להדגיש כי חוסר ההגנה הפיסי והשוני בתנאים המיקרואקלימיים בין השטח הפתוח והשטח המוגן המתבטא הן בחנטה והן ברמת היבולים (3), מקשה על קבלת מסקנות בקשר עם השפעת הקרינה. נראה כי במקרה זה אין ליחס את הפחיתת היכול לעוצמת קרינה גבוהה מדי, שכן בעונה זו של השנה עוצמת הקרינה אינה גבוהה, ובמקרים רבים אף מהווה גורם מגביל בגידול העגבניות. הפחתת עוצמת הקרינה מעבר ל-12% גרמה פחיתה ביכול, וככל שעוצמת הקרינה היתה נמוכה יותר - התקבלו כמויות פחותות יותר של פירות. את הסיבה להקטנת היבולים ניתן ליחס להשפעתה השלילית של עוצמת הקרינה הנמוכה של מרכיבי היכול השונים, השפעה המתבטאת במספר הפירות ומשקלם.

קצב הניבה של צמחי העגבניה נקבע, בין השאר, על ידי קצב הופעת התפרחות וקצב הבשלת הפרי. עוצמות קרינה גבוהות מקצרות את משך הזמן עד להופעת התפרחת הראשונה (13), את קצב הופעת התפרחות (ציור 9, טבלאות 5, 6), ואת משך התפתחות הפירות (טבלה 9). כל אלה הביאו לידי הבכרה והנבה מוקדמת יותר בעוצמות הקרינה הגבוהות, בהשוואה לטיפול עוצמות הקרינה הנמוכות. מעניין לציין, שקצב הניבה בקרינת שמש מלאה היה בתחילת שתי העונות ובשני הזנים מהיר יחסית. אך בהמשך נחלש הקצב, ולקראת סוף תקופת ההנבה היה דומה ואפילו נפל ברמתו מקצב ההנבה בעוצמת הקרינה הנמוכה ביותר (62% צל קיץ ו-55% צל חורף). הסבר חלקי לכך ניתן למצוא בעובדה, שצמחים שגדלו בבית הרשת המשיכו צמיחה ויצירת תפרחות גם כאשר בשטח הפתוח נעצרה הצמיחה בשל פגעים שונים שלא קשורים ישירות לקרינה, כגון טמפרטורת צמח גבוהה מדי בקיץ וחוסר הגנה מכנית בחורף. הפסקת צימוח בשטח לא מוגן הגנה פיסית בשלב מוקדם יותר נמצא גם בעבודות של יעקובי (3) ושל דיין (2).

איכות פרי העגבניה הכוללת צורה, צבע, מבנה, ניחוח ועוד - מושפעת מגורמים רבים, אך בעיקר מהתכונות התורשתיות של הזן ומתנאי האקלים השוררים בזמן הבשלת הפירות (54). מסתבר שלעוצמת הקרינה השפעה על איכות הפרי המתבטאת בצורתו. שינויים בעוצמת הקרינה עלולים לערער את התפתחותו התקינה של הפרי ולגרום שינויים בהרכבו ובצורתו. העיוותים בצורת הפרי הם לעיתים תוצאה מעיוותים בחלקי הפרח השונים, ובייחוד בשחלה (62, 73), שצורתה ומידת עיוותה יכולות לשמש מדד לעיוותים אפשריים בפרי. לפיכך, צורתו הסופית של הפרי מושפעת למעשה על ידי הקרינה כבר בשלבי התפתחותו המוקדמים של הפרח, ומידת העיוות הרבה שנמצאה בפרחים שהתפתחו בעוצמות קרינה נמוכות (טבלה 4) - היא שגרמה ליצירת מספר רב יותר של פירות מעוותים בטיפולי העוצמה הנמוכה (טבלאות 11, 12; ציור 19).

אחת הבעיות החמורות הקשורות באיכות הפרי היא חלילות הפירות. מסתבר שקיימים הבדלים ניכרים במידת רגישותם של הזנים שנבדקו ובתנאי סביבה זהים הופיעה החלילות רק בזן ורסטו. הסבר חלקי לכך ניתן למצוא בכך שמספר המגורות בפירות מהזן חוסן-אילון גדול יותר ובזנים שמספר מגורותיהם רב, שיעור החלילות נמוך מאשר בזנים שבפירותיהם מספר מגורות קטן (35). לעונת הגידול ולעוצמת הקרינה היתה השפעה רבה על שיעור החלילות. בעונת הקיץ לא הופיעה כלל חלילות לעומת זאת בעונת הסתיו-חורף נמצא שיעור חלילות רב, וככל שעוצמת הקרינה היתה גבוהה יותר, שיעור החלילות היה נמוך יותר (ציור 21). התלות בין החלילות לבין עוצמת הקרינה נובעת, כנראה, מכך שבעוצמות קרינה נמוכות מתערער האיזון בין כמויות החנקן והפחמימות בצמח, וכאשר תכולת החנקן גבוהה מתכולת הפחמימות המקבילה - נוצרים תנאים נאותים להיווצרות פירות חלולים (60). השפעתן הברורה של עונות הגידול (9, 85), והעובדה שחלילות הפירות היא תופעה אופיינית לתנאי גידול שבהם רמת הקרינה והטמפרטורות נמוכות - מחזקות את הדעה, שחלילות יש קשר ישיר עם פחיתה בעוצמת הקרינה.

כתמי שעם (Blotchy ripening) בפריקרב הפרי הם סימפטום למספר הפרעות בהבשלת הפרי. הסיבה לא ברורה לחלוטין, אך נראה שהיא פיסיולוגית ולא קשורה כפי שסבורים חוקרים אחדים, לוורוס המוזיקה של הטבק (TMV) - אף כי גם הוא גורם סימפטומים דומים ולעיתים זהים, עד כי לא ניתן להבחין ביניהם (12, 16). חתך בפרי מראה שצינורות ההובלה והרקמות הסמוכות צבעם ירוק עד ירוק אפור. מחקרים היסטולוגיים (37, 38, 74) הצביעו על כך, שהתאים היוצרים את כתמי השעם נוצרו מהתעצות הרקמה והתמוטטות תאי הפרנכימה הסמוכים לצינורות ההובלה. הופעת כתמי השעם מושפעת מגורמי סביבה ומתנאי אקלים שונים (38). נראה שלזן ולעונת הגידול היתה השפעה רבה, וכתמי השעם הופיעו רק בזן ורסטו ובעונת החורף בלבד. אחוז הפירות שבהם הופיעו כתמי שעם גדל עם הירידה בעוצמת הקרינה (ציור 21), ובדומה לחלילות מתקיים גם כאן יחס הפוך בין עוצמת הקרינה ובין כתמי השעם, אלא שהוא פחות בולט ומובהק. בספרות (12) יש הוכחה לכך, שכתמי השעם הופיעו בדרום פלורידה בעיקר בעונה הקרה של השנה, והושפעו מעוצמת קרינה וטמפרטורות נמוכות. תוצאות אלו עומדות בסתירה לממצאים של Matsumoto and Hornbey (63) המציגים שבטמפרטורות נמוכות ובעוצמת קרינה נמוכה, בעונת הסתיו בקנדה, לא הופיעו כתמי שעם, והן בניגוד לתוצאותיהם של Cooper and al. (27), הטוענים שהצללה בשילוב עם טמפרטורה גבוהה הפחיתה את כמות הכתמים. כאמור בעבודתנו הופיעו כתמי-השעם בחורף, ובקיץ התופעה לא קיימת כלל. מכאן שעוצמת הקרינה והטמפרטורות הנמוכות השוררות בעונה הקרה - מעודדות את הופעת הכתמים. גם העובדה שהפחתת עוצמת הקרינה (הטיפולים) הגבירה את שיעור כתמי-השעם מחזקת את הדעה, שתופעת כתמי השעם אופיינית יותר לתנאים של טמפרטורות ועוצמת קרינה נמוכות.

צבע פרי העגבניה, הנקבע בעיקר ע"י כמות הליקופן, הבטא-קרוטן והיחס ביניהם - הוא אחד מקובעי האיכות החשובים. השתנות הצבע ועוצמתו (a/b) מושפעות במידה ניכרת מתנאי האקלים השוררים בעת הבשלת הפרי. התוצאות שתוארו לעיל (טבלאות 13, 14) מצביעות על כך, שצבע הפרי מושפע מרמת הקרינה השוררת בעת הבשלת הפרי. הפחתת עוצמת הקרינה, בלי להפחית בצורה משמעותית את הטמפרטורה - עיכבה את גדילת הפרי, והאטה וצמצמה את יצירת הפיגמנטים הנותנים את צבעו האדום של הפרי. פירות שהתפתחו ברמת קרינה גבוהה פיתחו - גם בקיץ וגם בחורף - צבע טוב יותר וערכי a (אדום) והיחס a/b היו גבוהים יותר, בהשוואה לערכים אלו בפירות שהבשילו בעוצמות נמוכות.

הקרינה גורמת לעליית טמפרטורת הפרי. הטמפרטורה האופטימלית ליצירת שני הפיגמנטים היא 20-25 מ"צ, טמפרטורת המאכסימום ליצירת ליקופן היא 30 מ"צ, ואילו לבטא-קרוטן 40 מ"צ (30, 77, 84). באשר לעונת החורף, כשעוצמת הקרינה נמוכה יחסית והטמפרטורה אף היא לא גבוהה מהאופטימום ליצירת הפיגמנטים, ממצאינו עומדים בהתאמה לעבודות אחרות (50, 81), שבהן נמצא שהתפרקות הכלורופיל והתפתחות הצבע מואצות עם העלאת עוצמת הקרינה, ורמת הקרטונואידים אף היא עולה באופן ליניארי עד לעוצמה של $243 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$. אולם התוצאות שקיבלנו בקיץ (טבלה 13) הן בניגוד לתיאוריה המקובלת, הטוענת שעוצמת קרינה חזקה מביאה לידי עיכוב ביצירת הליקופן והתפתחות הצבע (30, 64). ברקמות נורמאליות, אין באור לבדו כדי לגרום להרס או לנזק, ובנוכחותו אף גוברת הפעילות הקרוטנוגנית של התאים (5). מכאן אפשרי להניח, שנזקי העוצמה הגבוהה נובעים מהתחממותו של הפרי, ולא מהשפעתה הישירה של עוצמת הקרינה. עמידותן של רקמות הפרי בפני טמפרטורות גבוהות תלויה בתכונות הצמח, אך בחלקה אפשר שהיא נרכשת בהשפעת תנאי הסביבה. Schroeder (78) הראה, כי סבילות לטמפרטורות גבוהות מתפתחת בחלקי צמח חשופים לקרינת שמש ישירה, ואילו פירות שהיו מוצלים במשך גידולם מגלים רגישות לאותם תנאים של טמפרטורות גבוהות. מכאן אפשר שהפירות בטיפולי עוצמת הקרינה הגבוהה (0%-22% צל) פיתחו סבילות לתנאי קרינה חזקים, ניזוקו פחות מהחום, ופיתחו צבע בטמפרטורות גבוהות יותר מפירות שהתפתחו בעוצמות נמוכות. בנוסף לכך יש לזכור, שבעבודתנו הפירות בכל עוצמות הקרינה נמצאו במשך רוב שעות היום בטמפרטורה שמעל 30 מ"צ (ציור 5c), ויצירת הליקופן גם בטיפולי ההצללה התאפשרו רק בשעות הלילה והבוקר. למרות כל העובדות וההנחות שהבאנו, עדיין לא ברור יתרון העוצמות הגבוהות שנמצא בבדיקה שעשינו, וכדאי היה לערוך ניסוי מקיף יותר שיאפשר או יסתור הנחות אלו.

הרכבו הכימי של הפרי משתנה בהשפעת תנאי הסביבה (66). השוואת הרכבם הכימי של הפירות בשתי עונות הגידול הראתה, שלעוצמת הקרינה השפעה בולטת על מירב המרכיבים שנבדקו (טבלאות 13, 14). בשני הזנים, בטיפולים שקיבלו עוצמות קרינה חזקות יותר היו תכולת כלל המוצקים המסיסים (T.S.S), אחוז הסוכר ויחס סוכר/חומצה גבוהים יותר, בהשוואה לטיפולי העוצמה הנמוכה. השפעת הקרינה על החומצנות חלשה יותר (9), הפחתת עוצמת הקרינה לא תמיד הפחיתה את החומציות ובערכי ה-pH לא נמצאו כלל הבדלים בהשפעת הקרינה. התוצאות שקיבלנו והעובדה שבעונה שבה עוצמת הקרינה גבוהה יותר התקבלו ערכים גבוהים יותר - מאשרות ממצאים של חוקרים אחרים (85) ומוכיחות בבירור שגם לעוצמות הקרינה הגבוהות השוררות בארץ בקיץ השפעה חיובית על הרכב הפרי.

*

*

*

העבודה המתוארת כאן התרכזת בהשפעת הקרינה על הפריחה, על החנטה ועל התפתחות הפרי בעגבניה. אולם את ההסבר להבדלים בהשפעת עוצמות הקרינה השונות על מרכיבי היבול ניתן ליחס לא אחת להשפעתה של הקרינה על הגידול הווגטטיבי וקצב הצטברות הפחמימות בצמח. אשר לקצב הצטברות הפחמימות, אין ספק שיש לו השפעה רבה על ההתפתחות הרפרודוקטיבית של צמח העגבניה. עוצמת קרינה גבוהה, המגבירה את הכושר הפוטוסינתטי של הצמח, מעודדת הן את הופעת התפרחות והפרחים והן את התפתחותם התקינה של הפרחים, עד לפריחה וחנטה. לעומת זאת, בעוצמות קרינה נמוכות קטנה ההטמעה ופוחתת הצטברות הפחמימות בצמח.

עבודות שונות הראו, שכושרו של פקע הפריחה להתחרות על פחמימות לקוי בהשוואה לכושרם של אברים אחרים בצמח, כגון עלים צעירים ופירות. התחרות אברים אלה מגבילה את כמות המטבוליטים העומדים לרשות הפרחים המתפתחים. לכן רק בתנאים של עודף מוטמעים מקבלים הפרחים, שהם מבלע (SINK) חלש, את צרכיהם, מתפתחים כהלכה, חונטים והופכים עקב כך למבלע חזק, דבר המאפשר התפתחות פרי.

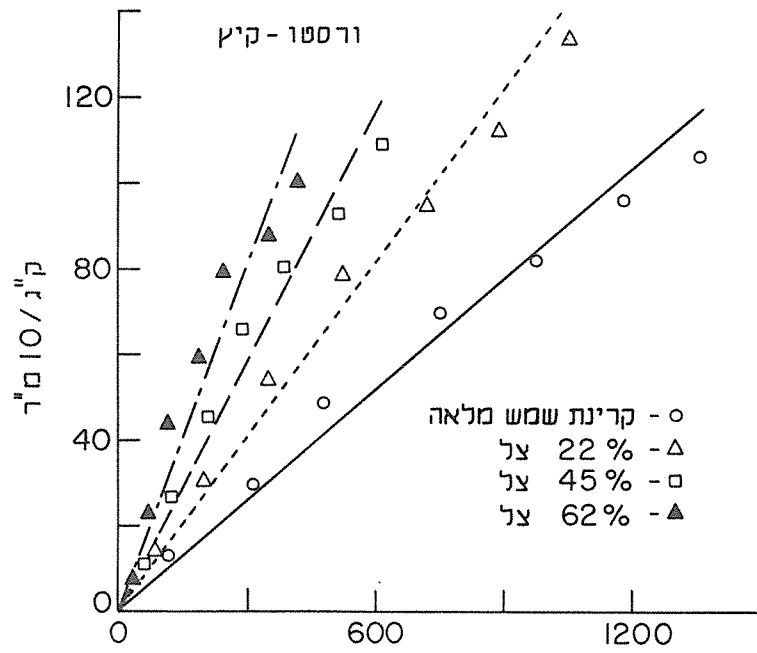
הקרינה מהווה גורם מרכזי בקביעת עוצמת ההטמעה ויצירת החומר היבש, כאשר התלות ביניהן מתבטאת בעלייה ברמת ההטמעה והצטברות החומר היבש עם עליית עוצמת הקרינה (22, 25, 39). תוצאותינו (ציור 22) מלמדות, שבתשלובת התנאים השוררים בארץ בעונת הקיץ, קצב ייצור החומר הטרי והיבש בעוצמת קרינה של 78% מעוצמת הקרינה בחוץ (22% צל) היה מהיר יותר מזה שבעוצמת הקרינה המלאה. תנאים של הצללה קלה יחסית (22% צל) גרמו לכך ששיעור ההטמעה נטו גבר, אולי כתוצאה מהקטנת הפוטורספירציה ומהפחתה ניכרת בהפסדי אנרגיה בהשוואה לטיפול הקרינה המלאה.

תיאור כולל, המסכם את הקשר שבין יבול הפרי המצטבר כתלות בכמות הקרינה (עוצמה \times זמן) המגיעה לפני העלווה, ניתן בציורים 24-27. שיפועי הקווים מתארים את הרגרסיה הליניארית המותאמת לנתונים ומהווים את המדד ליעילות הייצור וההצטברות של יבולי הפרי. כיוון שתאריכי הקטיפים נקבעו באופן שרירותי, הרי לנקודת-המוצא של הקו משמעות מועטה בלבד. כדי להביא את הקווים למכנה משותף הועתקו קווי הרגרסיה לנקודת-מוצא משותפת, ע"י הזזת האפס של סקלת הקרינה (בכל הטיפולים) לנקודה שבה הרגרסיה הליניארית חותכת את ציר הקרינה (ציר ה-x).

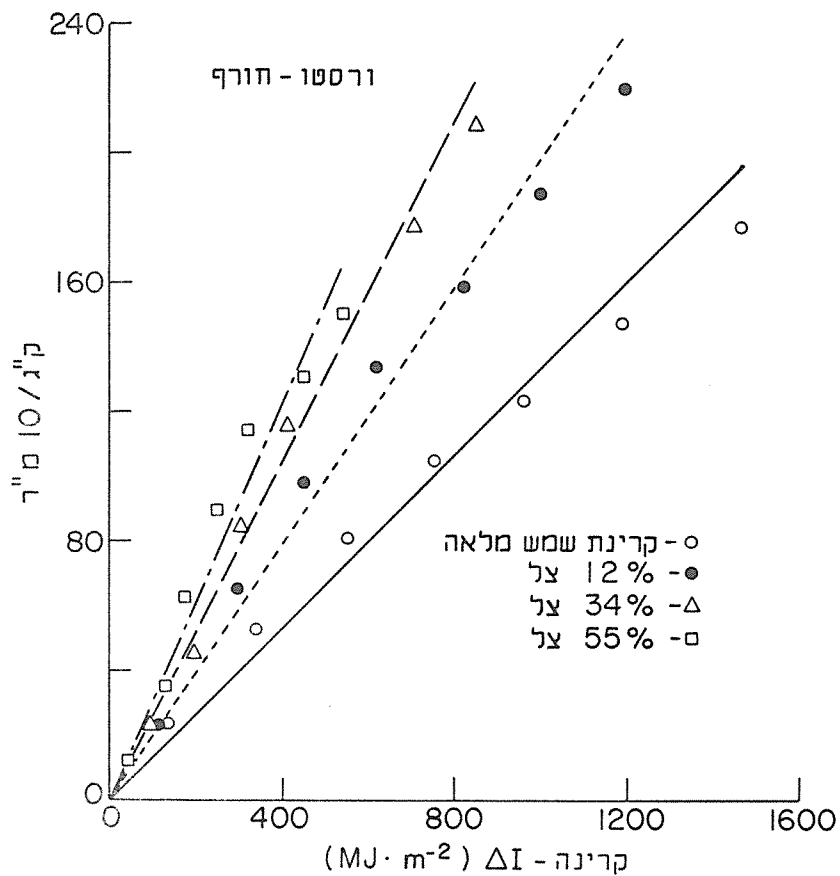
הגדלת היבולים קשורה בהגברת ההטמעה וליצור החומר היבש, והתלות הקיימת בין עוצמת הקרינה ובין ההטמעה מתבטאת בעקום רוויה אסימפטוטי אופייני, שבו יעילות תוספת הקרינה קטנה עם העלייה בעוצמה (20, 31, 34). שיפועי הקווים המתארים את יעילות הייצור של יבולי העגבניה, בהשפעת הקרינה בזן ורסטו (ציורים 24-25), מצביעים על כך, שגם בתלות הקיימת בין עוצמת הקרינה ובין היבול - הרי יעילות הניצול של קרינת השמש קטנה עם העלייה בעוצמה. ואילו הפחתה בעוצמת הקרינה חושפת את הצמחים לקטעים היותר תלולים של עקומת התגובה הפוטוסינתטית, וכתוצאה מכך גדלה יעילות הקרינה.

אקסטרפולציה (אומדנה) של היבול הסופי בכל הטיפולים ליניארי או בהתאם לפונקציית הרוויה האסימפטוטית נותנות ערך גבוה יותר מאשר היבול שהתקבל בניסוי בתנאי הקרינה המלאה. מכיון שלא סביר, כי ההפרש הקטן בעוצמה בין הקרינה המלאה ובין טיפול ההצללה הקלה ביותר יכול לשנות את התהליך עד כדי קביעת היבול הסופי - מתקבל יותר על הדעת, שהכיסוי ברשת סיפק הגנה מפני גורמי סביבה בלתי מוגדרים (טמפרטורה, רוח, גשם, סופות-חול).

שיפועי הקווים בשלושת טיפולי ההצללה בזן חוסן-אילון (ציורים 26-27) כמעט זהים ומצביעים על כך שיעילות הניצול של הקרינה זהה ואינה תלויה באחוז ההצללה. אפשר להסביר זאת בכך, שאופי הצמיחה (צורתו הארכיטקטונית) ושיטת הגידול המקובלת של הזן חוסן-אילון גורמים לציפוף וצמצום מרחב המחיה של נוף הצמח. תופעה זו מביאה למצב שבו ההצללה ההדדית של הצמחים ושל העלים באותו צמח חזקה יותר באופן משמעותי מאשר בזן ורסטו, שהוא זן בלתי מסיים (אינדטרמיננטי) הנגזם לענף אחד. לפיכך ניתן להניח שהרוויה לקרינה בזן חוסן-אילון תתרחש בעוצמת קרינה חזקה יותר מאשר בזן ורסטו, ושכל דרגות ההצללה שנבחנו עדיין היו הצמחים בקטע הליניארי של עקום התגובה הפוטוסינתטי. אי ההתאמה בין היבול החזוי ע"י האקסטרפולציה ובין היבול שהתקבל מתוצאות הניסוי בטיפול העוצמה המלאה הוא גדול יותר מזה שתואר לזן ורסטו ומחזק את ההשערה, שטיפול ההצללה נתנו הגנה מסוימת בעלת אופי בלתי מוגדר.

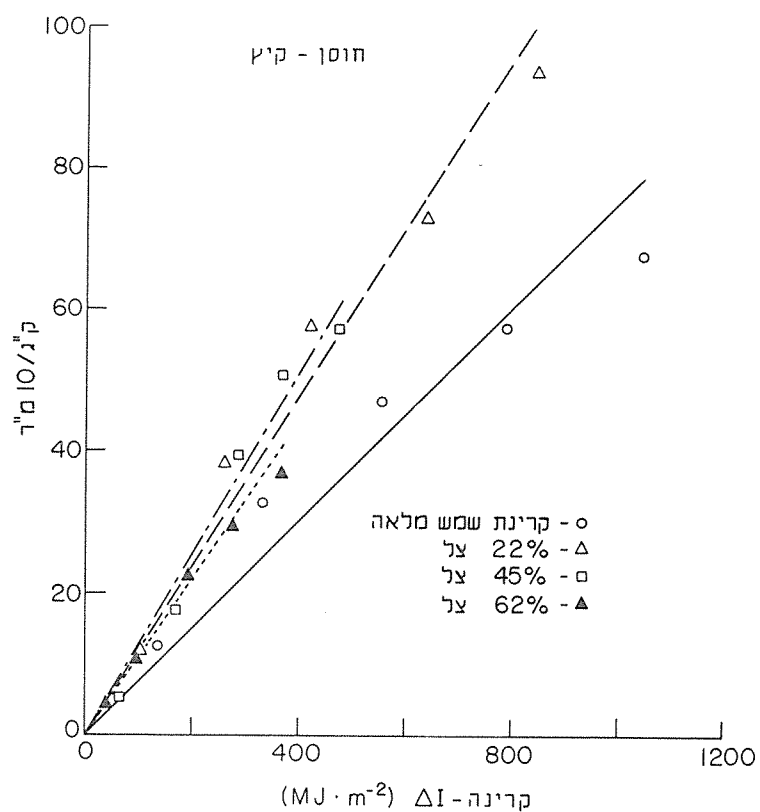


ציר 24: יבול הפרי המצטבר כתלות בכמות הקרינה (עוצמה × זמן) בזן ורסטו. קיץ, בית-דגן.

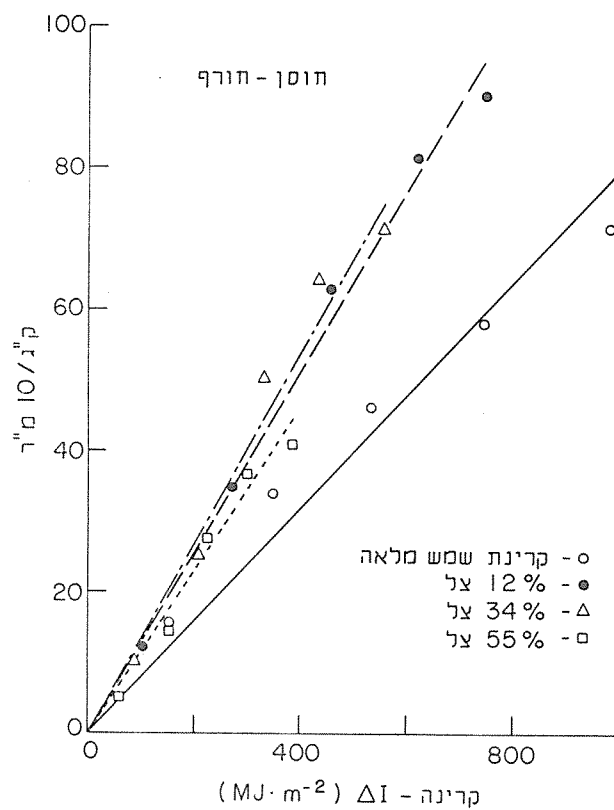


ציר 25: יבול הפרי המצטבר כתלות בכמות הקרינה (עוצמה × זמן) בזן ורסטו. חורף, חוות הבשור.

ציור 26: יבול הפרי המצטבר כתלות בכמות הקרינה (עוצמה \times זמן) בזן חוסן-אילון. קיץ, בית-דגן.



ציור 27: יבול הפרי המצטבר כתלות בכמות הקרינה (עוצמה \times זמן) בזן חוסן-אילון. חורף, חוות הבשור.



מסקירת הספרות ועל בסיס המדידות שערכנו בראה לנו, שאין בעוצמת הקרינה הגבוהה (השוררת בקיץ בארץ) לבדה כדי לגרום השפעה שלילית על צמח העגבניה. היתרון בהצללה הקלה נובע, כנראה, מכך שבשטח הפתוח (קרינה מלאה) אין ביכולתו של הצמח לנצל את מלוא עוצמת הקרינה בשל גורמים מגבילים אחרים, כגון טמפרטורות גבוהות, חוסר טורגור ורוחות.

כושר הייצור של הצמחים בחורף מוגבל ע"י שטף קרינת השמש, הרמה הגבוהה יחסית של קרינת השמש החורפית בישראל היא הגורם העיקרי המשפיע על היתרון שיש בגידול עגבניות בארץ לעומת ארצות אירופה. לפיכך בראה לנו, שהדרישה לכמות קרינה מירבית היא השלטת. מאידך גיסא, הכיסוי ברשת וההגנה המכנית שהיא יוצרת מפני רוחות, ברד ועוד - העלתה באופן מובהק את רמת היבולים. בנוסף לכך, כיסוי ברשתות לבנות מגדיל את אחוז הקרינה המפוזרת, משפר את יכולת חדירתה של הקרינה לתוך העלווה ועשוי להגדיל את כושר הייצור. מסקנה מעשית הנובעת מכך היא שהגנה על הצמח, המשולבת בהפחתת קרינה מינימלית ברשת לבנה, היא זו שתתן את התנאים הטובים ביותר להתפתחותו.

VI. ת ק צ י ר

עבודה זו באה לבחון התפתחות רפרודוקטיבית והיבטים פיסיולוגיים בתגובת הזנים ורסטו (זן בלתי מסיים, שנגזם לענף אחד) וחוסן-אילון (זן מסיים למחצה) לעוצמות קרינה שונות בתנאי שדה. הניסויים נערכו בשתי עונות גידול: בעונת הקיץ בבית-דגן, ובעונת הסתיו-חורף בחוות-הבשור שבחבל אשכול. נבחנה השפעתה של עוצמת קרינת השמש על הפריחה, על החנטה ועל התפתחות הפרי.

לעוצמת הקרינה היתה השפעה ניכרת על מבנה הפרח ועל שכיחות הופעתם של פרחים לקויים ומעוותים. עוצמות קרינה נמוכות עודדו התארכות יתרה של עמוד העלי מעבר לצינור האבקנים, גרמו להתפתחות לקויה ומעוותת של חלקי פרח שונים, הקטינו את כמות גרגרי האבקה ופגעו בחיותם, גורמים אלה הקטינו את סיכויי ההפריה, הגבירו את נשירת הפרחים ופגעו בחנטה.

דרך נוספת להשפעת עוצמת הקרינה על החנטה ועל פוטנציאל היבול - היא השפעתה על קצב ההתפתחות של הפרחים והתפרחות. עוצמות הקרינה הגבוהות קיצרו את משך הזמן הדרוש להתפתחות השלבים משתילה ועד לפריחה, הגבירו את קצב הופעת התפרחות, וכתוצאה מכך גרמו להקדמת הפריחה ולהגדלת מספר הפרחים לצמח. הקדמת הפריחה והגדלת מספר התפרחות יתרונם בכך, שפרחים רבים יותר התפתחו וחנטו, כשתנאי הסביבה עדיין סבירים. יתרון זה הביא לכך שאחוז החנטה היה גבוה יותר ומספר הפירות גדול יותר בצמחים שהתפתחו בעוצמות הקרינה הגבוהות.

רמת החנטה הגבוהה ביותר בעונת הקיץ התקבלה בעוצמת קרינה של 78% מעוצמת הקרינה בחוץ; בעוצמות קרינה נמוכות יותר או גבוהות יותר חלה ירידה ברמת החנטה. בעונת הסתיו-חורף נמצא, שככל שעוצמת הקרינה היתה גבוהה יותר - אחוז החנטה היה גבוה יותר, ובמרבית המקרים ההבדל בין הטיפולים מובהק.

התברר שלעוצמת הקרינה הגבוהה השפעה חיובית על תהליכי התפתחות הפרי: א. בדיקת קצב גדילת הפרי (לפי קוטר), בשלוש רמות שונות של קרינה, מלמדת שגדילת הפרי היתה רבה יותר ככל שעוצמת הקרינה היתה גבוהה יותר. ב. בבדיקת משך ההבשלה נמצא שבתגובה להפחתת עוצמת הקרינה (בקיץ ובחורף) חל עיכוב בקצב ההבשלה, וככל שעוצמת הקרינה היתה נמוכה יותר - מספר הימים, מפתחת הפרח ועד להבשלת הפרי, היה רב יותר. ג. מספר רב של פרחים שחנטו, בעונת החורף, לא התפתחו לפירות בגודל מסחרי. נמצא, שקיים קשר הפוך בין עוצמת הקרינה ובין שיעור החנטים הבלתי מפותחים, ובעוצמות קרינה גבוהות יותר שכיחות התופעה קטנה יותר.

רמת קרינה גבוהה גרמה הבכרת היבול הן בקיץ והן בחורף ובשני הזנים. בבדיקות יבולי הפרי של שני הזנים נמצא, כי היבול המירבי בעונת הקיץ התקבל בהצללה הקלה ביותר (הפחתה של 22% מעוצמת הקרינה המלאה). כן נמצא, שהיבול הרב ביותר בעונת החורף התקבל בהפחתה קלה של 12% מעוצמת הקרינה המלאה, ואילו בעוצמות קרינה נמוכות יותר או גבוהות יותר (שטח פתוח לא מוגן) חלה ירידה ביבול הפרי.

בבדיקת איכות הפירות נמצאה מגמה ברורה של שינוי באיכות כתוצאה מרמות קרינה שונות. מתוצאות הניסויים אפשר לעמוד על הנקודות שלהלן: א. פירות מהזן חוסן-אילון, שהתפתחו בעוצמת קרינה גבוהה, היו באופן יחסי יותר רגולריים ופחות מעוותים מאשר פירות שהתפתחו בעוצמת קרינה נמוכה. ב. חלילות הפירות וכתמי-שעם ברקמת הפריקרב של הפרי הופיעו בעונת הסתיו-חורף ובזן ורסטו בלבד. ככל שעוצמת הקרינה היתה נמוכה יותר - שיעור החלילות וכתמי השעם היה גדול יותר. ג. לעוצמת הקרינה הגבוהה השפעה חיובית בולטת על ההרכב הכימי (רמת סוכרים וכלל המוצקים המסיסים), ועל התפתחות הצבע האדום בפרי העגבניה.

שני הזנים שנבדקו - ורסטו וחוסן-אילון - נבדלו זה מזה באופן מהותי ברוב התכונות המורפולוגיות והפיסיולוגיות המשפיעות על התהליך הרפרודוקטיבי. להפחתת עוצמת הקרינה היתה השפעה שלילית חזקה יותר על הזן חוסן-אילון. לזן ורסטו היה יתרון ביכולת ניצול הקרינה, דבר שהתבטא במבנה הפרח, בפריחה ובחנטה. ההשפעה על רכיבי היבול התבטאה בהבכרת היבול, בהארכת משך תקופת ההנבה, וביבול רב יותר בזן ורסטו מאשר בזן חוסן-אילון.

בסיכום העבודה הגענו למסקנה, שהגנה על צמח העגבניה ע"י רשת שתגרום הפחתה מינימלית של הקרינה - היא זו שתתן לצמח את התנאים הטובים ביותר להתפתחותו.

רשימת ספרות

1. אשבל ז., א. אביתר, א. דורון, א. גנור (1965). קרינת השמש בקוי רוחב שונים. האוניברסיטה העברית ירושלים, ישראל (300 עמ').
2. א. דיין, א. רילסקה, נ. גולדברג (1978). השפעת מועדי השתילה והכיסוי ברשת על היבולים של שלושה זני עגבניות בחבל הבשור. "השדה" נ"ט: 237-244.
3. יעקובי ד., י. לומס, י. זוהר (1968). השפעת משבר רוח על התנאים המיקרואקלימיים של גידול העגבניה, התפתחותה ויבוליה. סדרה ג' מס' 18, השרות המטאורולוגי בית-דגן, תשכ"ח, 34 עמ'.
4. לוי א. (1972). תכונות מורפולוגיות ופיזיולוגיות של זני עגבניה (*Lycopersicon esculentum* Mill.) בעלי רגישות שונה לטמפרטורות גבוהות. עבודת גמר מוגשת לפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית בירושלים, לשם קבלת תואר "מוסמך במדעי החקלאות" (44 עמ').
5. רבינוביץ ח., (1973). השפעת תנאי סביבה על היווצרות נזקי חום בפרי העגבניה ובדיקת שינויים פיזיולוגיים החלים בו. חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, האוניברסיטה העברית ירושלים (91 עמ').
6. רטיג ב. (1966). בחינת התורשה והשפעת הסביבה על התכונה לפרקים קצרים ואיכות הפרי בשיח העגבניה (*Lycopersicon esculentum* Mill.). חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, האוניברסיטה העברית ירושלים (104 עמ').
7. Abdalla, A.A. and Verkerk, K. (1968) Growth, flowering and fruit set of tomato at high temperature. Neth. J. agric. Sci. 16: 71-76.
8. Acock, B., Charles-Edwards, D.A. and Hand, D.W. (1976) An analysis of some effect of humidity on photosynthesis by a tomato canopy under winter light conditions and range of carbon dioxide concentrations. J. exp. Bot. 27: 933-941.
9. Adams, P. and Winsor, C.W. (1977) Further studies of the composition and quality of tomato fruit. A. Rep. Glasshouse Crops Res. Inst. 1976: 133-138.
10. Augustine, J.J., Stevens, M.A., Breidenbach, R.W. and Paige, D.F. (1976) Genotypic variation in carboxylation of tomatoes. Pl. Physiol. 57: 325-333.
11. Aung, L.H. (1976) Effect of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive responses of *Lycopersicon esculentum* Mill. J. Am. Soc. hort. Sci. 101: 358-360.

12. Barksdale, T.H., Good, J.M. and Danillson, L.L. (1972) Tomato diseases and their control. Handbk Agric. U.S. Dep. Agric. 203: 57-58, 79-80.
13. Binchy, A. and Morgan, J.V. (1970) Influence of light intensity and photoperiod on inflorescence initiation in tomatoes. Irish J. agric. Res. 9: 261-268.
14. Bjorkman, O. (1968) Carboxydismutase activity in shade-adapted and sun-adapted species of higher plants. Physiologia Pl. 21: 1-10.
15. Blackman, G.E. and Black, J.N. (1959) Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. XI. A further assessment of the influence of shading on the growth of different species in the vegetative phase. Ann. Bot. 23: 51-63.
16. Boyle, J.S. and Bergman, E.L. (1967) Factors affecting incidence and severity of internal browning of tomato induced by tobacco mosaic virus. Phytopathology 57: 354-362.
17. Brewbaker, J.L. and Kwach, B.H. (1963) The essential role of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth. Am. J. Bot. 50: 859-865.
18. Brouwer, R. (1973) Dynamics of plant performance. Acta Hort. 32: 31-41.
- ✓19. Brown, K.W. (1969) A model of the photosynthesizing leaf. Physiologia Pl. 22: 620-637.
20. Calvert, A. (1964) Growth and flowering of the tomato in relation to natural light conditions. J. hort. Sci. 39: 182-193.
21. Calvert, A. (1969) Studies on the post-initiation development of flower buds of tomato (Lycopersicon esculentum). J. hort. Sci. 44: 117-126.
22. Calvert, A. (1973) Environmental responses in the U.K. tomato. Manual edited by H.G. Kingham. Grower Books, London. pp. 23-42.

23. Charles, W.B. and Harris, R.E. (1972) Tomato fruit set at high and low temperatures. Can. J. Pl. Sci. 52: 497-506.
24. Charles-Edwards, D.A. and Ludwig, L.J. (1974) A model for leaf photosynthesis by C_3 plant species. Ann. Bot. 38: 921-930.
25. Cooper, A.J. (1967) Effect of shading and time of year on net assimilation rates of young glasshouse tomato plants. Ann. appl. Biol. 59: 85-90.
26. Cooper, A.J. (1971) The effect of root pruning on the growth of tomato plants. J. hort. Sci. 46: 111-114.
27. Cooper, A.J., Cooke, D., Gardner, R. and Allen, P.G. (1964) The effect of light intensity, day temperature and water supply on the fruit-ripening disorders and yield of two varieties of tomato. J. hort. Sci. 39: 42-53.
28. Curme, J.H. (1962) Effect of low temperatures on tomato fruit set. Proc. Pl. Sci. Symp., Campbell Soup Co., pp. 99-108.
29. Dempsey, W.H. and Baynton, J.E. (1965) Effect of seed number on tomato fruit size and maturity. Proc. Am. Soc. hort. Sci. 86: 575-581.
30. Denisen, E.I. (1948) Tomato color as influenced by variety and environment. Proc. Am. Soc. hort. Sci. 51: 349-356.
31. Gaastra, P. (1962) Photosynthesis of leaves and field crop. Neth. J. agric. Sci. 10: 311-324.
32. Gay, A.P. and Hurd, R.G. (1975) The influence of light on stomatal density in the tomato. New Phytol. 75: 37-46.
33. Gustafson, F.G. (1926) Growth studies on fruits. Pl. Physiol. 1: 265-272.
34. Hall, A.E. and Bjorkman, O. (1975) Model of leaf photosynthesis and respiration. in: Gates, D.M. and Schmerl, R.B. (Eds.) Perspectives of Biophysical Ecology. Springer-Verlag, Berlin. pp. 55-72.

35. Harrison, D.J. (1961) Influence of tomato mosaic virus infection on the hollow fruit condition of tomatoes. Nature, Lond. 192: 90-91.
36. Ho, L.C. (1977) Effect of CO₂ enrichment on the rates of photosynthesis and translocation of tomato leaves. Ann. appl. Biol. 87: 191-200.
37. Hobson, G.E. (1967) Starch in tomato fruit. A. Rep. Glasshouse Crops Res. Inst. 1966: 130-134.
38. Hobson, G.E. and Davies, J.N. (1977) A review of blotchy ripening and allied disorders of the tomato, 1957-1976. Rep. Glasshouse Crops Res. Inst. 1976: 139-147.
39. Hodgson, G.L. (1967) Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. XIII, A comparison of the effect of seasonal variations in light energy and temperature on the growth of Helianthus annuus and Vicia faba in the vegetative phase. Ann. Bot. 31: 291-308.
40. Hofstra, G. and Hesketh, J.D. (1969) The effect of temperature on stomatal aperture in different species. Can. J. Bot. 47: 1307-1310.
41. Hori, Y. and Tatsumi, M. (1968) Studies on the growth of vegetables in relation to light conditions. I. The effect of light intensity and duration of supplementary illumination on seedling growth. Bull. Hort. Res. Stn., Japan (ser. A) 7: 157-171.
42. Hornby, C.A. and Matsumoto, T. (1974) Association of weather data and incidence of blotchy ripening of greenhouse tomatoes in British Columbia. Can. J. Pl. Sci. 54: 123-127.
43. Horwitz, W. (1955) Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C.
44. Houghtatling, H.B. (1935) A developmental analysis of size and shape in tomato fruits. Bull. Torrey Bot. Club. 62: 243-252.

45. Howlett, F.S. (1939) The modification of flower structure by environment in varieties of Lycopersicum esculentum. J. agric. Res. 58: 79-117.
46. Hunter, R.S. (1942) Photoelectric tristimulus colorimetry with three filters. J. Opt. Soc. Am. 32: 509-538.
47. Hurd, R.G. (1973) Long day effects on growth and flower initiation of tomato plants in low light. Ann. appl. Biol. 73: 221-228.
48. Hussey, G. (1963) Growth and development in the young tomato. I. The effect of temperature and light intensity on the growth of the shoot apex and leaf primordia. J. exp. Bot. 14: 316-325.
49. Jackson, W.A. and Volk, R.J. (1970) Photorespiration. A. Rev. Pl. Physiol. 21: 385-432.
50. Jen, J.J. (1974) Influence of spectral quality of light on pigment system of ripening tomatoes. J. Fd Sci. 39: 907-910.
51. Johnson, S.P. and Hall, W.C. (1952) Vegetative and fruiting responses of tomatoes to high temperature and light intensity. Bot. Gaz. 114: 449-460.
52. Johnson, S.P. and Hall, W.C. (1956) Further studies on vegetative and fruiting responses of tomatoes to high temperature and light intensity. Bot. Gaz. 117: 100-103.
53. Judkins, W.P. (1939) Time involved in pollen tube extension through style and rate of fruit growth in tomato (Lycopersicum esculentum Mill.). Proc. Am. Soc. hort. Sci. 37: 891-894.
54. Kattan, A.A., Stark, F.C. and Kramer, A. (1957) Effect of certain preharvest factors on yield and quality of raw and processed tomatoes. Proc. Am. Soc. hort. Sci. 69: 327-342.
55. Kinet, J.M. (1977a) Effect of light conditions on the development of the inflorescence in tomato. Scient. Hort. 6: 15-26.
56. Kinet, J.M. (1977b) Effect of defoliation and growth substances on the development of the inflorescence in tomato. Scient. Hort. 6: 27-35.

57. Klapwijk, D. and de Lint, P.J. A.L. (1975) Growth rates of tomato seedling and seasonal radiation. Neth. J. agric. Sci. 23: 259-268.
58. Koskitalo, L.N. and Ormrod, D.P. (1972) Effects of sub-optimal ripening temperatures on the color quality and pigment composition of tomato fruit. J. Fd Sci. 37: 56-59.
59. Lapushner, D. and Frankel, R. (1967) Practical aspects and the use of male sterility in the production of hybrid tomato seed. Euphytica 16: 300-310.
60. Leopold, A.C. and Guernsey, F.S. (1953) The effect of nitrogen upon fruit abnormalities in the tomato. Proc. Am. Soc. hort. Sci. 61: 333-345.
61. Leopold, A.C. and Lam, S.L. (1960) A leaf factor influencing tomato earliness. Proc. Am. Soc. hort. Sci. 76: 543-547.
62. Marr, L. and Hillyer, I.G. (1968) Effect of light intensity on pollination and fertilization of field and greenhouse tomatoes. Proc. Am. Soc. hort. Sci. 92: 526-530.
63. Matsumoto, T. and Hornby, C.A. (1974) Influence of weekly changes in temperature and light regimes on the incidence of blotchy ripening of tomatoes. Can. J. Pl. Sci. 54: 129-133.
64. McCollum, J.P. (1956) Sampling tomato fruits for composition studies. Proc. Am. Soc. hort. Sci. 68: 587-595.
65. Nitsch, J.P. (1962) Basic physiological processes affecting fruit development. Proc. Pl. Sci. Symp. Campbell Soup Co. pp. 5-23.
66. Orzolek, M.D. and Angell, F.F. (1975) Seasonal trends of four quality factors in processing tomatoes (Lycopersicon esculentum Mill.). J. Am. Soc. hort. Sci. 100: 554-557.
67. Paynter, V.A. and Jen, J.J. (1976) Comparative effects of light and ethephon on ripening of detached tomatoes. J. Fd Sci. 41: 1366-1369.

68. Peat, W.E. (1970) Relationships between photosynthesis and light intensity in the tomato. Ann. Bot. 34: 319-328.
69. Poster, A.C. and Tatman, E.C. (1937) Environmental conditions influencing the development of tomato pockets of puffs. Pl. Physiol. 12: 875-880.
70. Rick, C.M. and Dempsey, W.H. (1969) Position of stigma in relation to fruit setting of the tomato. Bot. Gaz. 130: 180-186.
71. Rodriguez, B.P. and Lambert, V.N.L. (1975) Artificial lighting and spacing as photosynthetic and yield factors in winter greenhouse tomato culture. J. Am. Soc. hort. Sci. 100: 694-697.
72. Rudich, J., Zamski, E. and Regev, Y. (1977) Genotypic variation for sensitivity to high temperature in the tomato: pollination and fruit set. Bot. Gaz. 138: 448-452.
73. Rylski, I. (1979) Effect of temperature and growth regulators on fruit malformation in tomato. Scient. Hort. 10: 27-35.
74. Sadik, S. and Minger, P.A. (1966) Symptoms and histology of tomato fruits affected by blotchy ripening. Proc. Am. Soc. hort. Sci. 88: 532-543.
75. Saito, T. and Ito, H. (1967) Studies on the growth and fruiting in the tomato. IX. Effects of the early environmental conditions and the cultural treatment on the morphological and physiological development of flowers and the flower drop. (I) Effect of night temperatures, light intensity and fertility of bed soil. J. Jap. Soc. hort. Sci. 36(2): 55-65.
76. Saito, T. and Ito, H. (1972) Studies on the growth and fruiting in the tomato. XIII. Effects of light intensity and fertility of bed soil on the development of flower, especially that of the ovary and its locule. J. Jap. Soc. hort. Sci. 41: 179-184.
77. Sayr, C.B., Robinson, W.B. and Wishnetsky, T. (1953) Effect of temperature on the color, lycopene and carotene content of detached and vine-ripened tomatoes. Proc. Am. Soc. hort. Sci. 61: 381-387.

78. Schroeder, C.A. (1965) Temperature relationships in fruit tissues under extreme conditions. Proc. Am. Soc. hort. Sci. 87: 199-203.
79. Smith, L.L. and Smith, O. (1931) Light and the carotenoid content of certain fruits and vegetables. Pl. Physiol. 6: 265-275.
80. Spurr, A.R. (1976) Structure and development of the tomato fruit. Proc. Second Tomato Quality Workshop, Davis, Calif. pp. 4-7.
81. Thomas, R.L. and Jen, J.J. (1975) Red light intensity and carotenoid biosynthesis in ripening tomatoes. J. Fd Sci. 40: 566-568.
82. Verkerk, K. (1957) The pollination of tomatoes. Neth. J. agric. Sci. 5: 37-54.
83. Verkerk, K. (1965) Additional illuminance, artificial pollination and use of pollen from additionally illuminated plants in early-tomato growing. Neth. J. agric. Sci. 13: 311-319.
84. Vogele, A.C. (1937) Effect of environmental factors upon the color of the tomato and watermelon. Pl. Physiol. 12: 929-955.
85. Winsor, C.W. and Adams, P. (1976) Changes in composition and quality of tomato fruit throughout the season. A. Rep. Glasshouse Crops Res. Inst. 1975: 134-142.
86. Zelitch, I. (1971) Photosynthesis, Photorespiration and Plant Productivity. Academic Press, New York, N.Y. pp. 243-253.

INFLUENCE OF SOLAR RADIATION INTENSITIES ON
FLOWERING, FRUIT SET AND FRUIT DEVELOPMENT
IN TOMATOES

A. SAGI

Summary

The aim of this research was to examine the reproductive development and physiological response of tomato cvs. Viresto (indeterminate, pruned to a single stem) and Hosen Eilon (semi-determinate, unpruned), to different solar radiation intensities under field conditions. Experiments were carried out in two growing seasons: in the summer season in the coastal zone (Bet Dagan), and in the winter season in the southern coastal area (Besor farm).

Radiation intensity greatly influenced the structure of the flowers and the percentage of malformed and abnormally developed flowers. Low radiation intensities favored excessive elongation of the style above the stylar cone, and led to abnormal and insufficient development of the various parts of the flower, and reduced the amount and viability of pollen grains. These effects reduced the chances for fertilization, favored flower drop, and reduced fruit set.

Another effect of radiation intensity on fruit set and yield potential was the influence on the speed of floral and inflorescence development. High radiation intensities shortened the time elapsing from planting to flowering, and accelerated inflorescence appearance, thus causing earlier flowering and increasing the number of flowers per plant. Earlier flowering and more inflorescences enabled more flowers to develop and set while environmental conditions were still favorable. The result was that on plants growing under high radiation intensities, a higher percentage of fruits set and there were more fruits per plant.

The highest rate of fruit set in the summer season was achieved at 78% intensity of the ambient (outside) solar radiation. At lower or higher intensities, there was less fruit set. In the winter season, fruit set improved with rising radiation intensities, the differences between treatments being significant in most cases. High radiation intensity had a beneficial effect on fruit development: (a) Fruit growth (fruit diameter) was enhanced as radiation intensity increased. (b) The plant reacted to a lower radiation intensity (in summer and winter) by a delay in the speed of ripening, i.e., more days elapsed from anthesis to fruit ripening. (c) In the winter season many of the fruits set did not reach marketable size. There was a negative relationship between radiation intensity and the number of under-developed fruits.

High radiation levels led to earlier yields in summer and winter in both cultivars. The maximum yield in the summer season was achieved with the least shade (22%), and in the winter season with 12% shade; with lower or higher radiation intensities (outdoors, unshaded), the yield was lower. Examinations revealed that there are marked differences in fruit quality caused by different levels of radiation. Fruits of cv. Hosen Eilon which developed under high radiation intensity were relatively more regular-shaped and less malformed than fruits which developed under low radiation intensity. Puffiness and blotchy ripening of fruits appeared in winter and in cv. Viresto only, and became heavier the lower the radiation intensity was. High radiation intensity also had a beneficial effect on T.S.S., reducing sugars, and the development of the red color of the tomato fruit.

The two cultivars tested, Viresto and Hosen Eilon, showed considerable differences in most of the morphological and physiological responses affecting the reproductive process. Reducing radiation intensity had more negative effects on cv. Hosen Eilon. Cv. Viresto had greater ability to utilize radiation, as expressed by its flowering responses, flower structure, fertility and fruit set. The effects on yield components were expressed

III

by an earlier yield, an extended fruiting period, and a higher yield in cv. Viresto as compared with cv. Hosen Eilon.

In conclusion, it should be noted that protecting the tomato plant with netting in a way which causes a minimal reduction in radiation intensity, will provide the plant with the best conditions for its development.

AGRICULTURAL RESEARCH ORGANIZATION

INSTITUTE OF FIELD AND
GARDEN CROPS

INFLUENCE OF SOLAR RADIATION
INTENSITIES ON FLOWERING , FRUIT
SET AND FRUIT DEVELOPMENT
IN TOMATOES

BY

A. SAGI , IRENA RYLSKI and M. FUCHS

Pamphlet No. 208

Division of Scientific Publications
The Volcani Center, Bet Dagan
Israel
1979