

256-0464-99

קוד מחקר:

נושא: יעול השימוש בתאורת לילה על ידי התאמת ספקטרום האור של הנורה לתגובה המורפולוגית הרצויה

מוסד: מינהל המחקר החקלאי, ת.ד. 6 בית דגן 50250

חוקר ראשי: דר' ישראל ולרשטיין

חוקרים שותפים: 3

1997-1999

תקופת מחקר:

מאמרים:

תקציר

הצגת הבעיה: השימוש בהארה מלאכותית בלילה הוא כלי הכרחי ליצירת פריחה בגידולי פרחים רבים. השיטה המקובלת שנים רבות היא הארכת יום בעזרת נורות להט. מטרת המחקר הייתה מציאת נורה ומשטר הארה שיהיו יעילים מהטיפול בנורת להט מבחינת שעות הארה, צריכת חשמל, איכות המוצר ויבול הפרחים במרבית הגידולים המשמשים כפרחי קטיף.

מהלך ושיטות עבודה: במשך שלוש שנות מחקר נבחנו משטרי הארה שונים בחמישה גידולים של פרחי קטיף: היפריקום, טרכליום, סולידגו, לימוניום ואסטר. מבין המשטרים שכללו הארכת-יום, שבירת לילה והארה בסוף הלילה, בנורות להט או פלורוסנט 41, נבחר המשטר האופטימלי לכל גידול. האופטימום נקבע על פי קריטריונים של איכות ויבול.

תוצאות עיקריות מסקנות והמלצות: הודגם יתרון של משטרי שבירת לילה או הארה בסוף הלילה על משטר הארכת היום בנורות להט הן בהקדמת פריחה והן במונחים של איכות. התוצאות נמצאות בשלבים שונים של יישום אצל המגדלים. הוצגה האפשרות לחסוך בשעות הארה ובצריכת חשמל ע"י שימוש נכון בנורה (ספקטרום האור) ובזמן ההארה. נלמדה האפשרות להשפיע על הפריחה בעזרת שני מנגנונים אנדוגניים שונים שאחד מהם נראה כבילתי תלוי בתנאי קרינת השמש. נערכה בדיקה ראשונית של תפקיד האור הכחול, בספקטרום הנורות השונות, בהכוונה הפוטופריודית של תהליכים הקשורים בפריחה. נמצאה אינטראקציה מורכבת בין סוגי הספקטרום השונים שעשויה להגביר את השפעת האור אם יעשה בה שימוש נכון. אינטראקציה זו דורשת לימוד נוסף.

דו"ח מסכם לשנים 1997-1999

**יעול השימוש בתאורת לילה על-ידי התאמת ספקטרום האור של הנורה לתגובה המורפולוגית הרצויה.**

**Efficient control of morphogenic development by specific light spectrum and lamp**

מוגש לקרן המדען ע"י ישראלה ולשטיין, יוסי בן-טל, ליבמן דיאנה ובוריס מציניק מחלקה לצמחי-נוי, מכון ולקני,

בית-דגן – [vhwaisra@agri.gov.il](mailto:vhwaisra@agri.gov.il)

**תקציר**

הצגת הבעיה: השימוש בהארה מלאכותית בלילה הוא כלי הכרחי ליצירת פריחה בגידולי פרחים רבים. השיטה המקובלת שנים רבות היא הארכת יום בעזרת נורות להט. מטרת המחקר הייתה מציאת נורה ומשטר הארה שיהיו יעילים מהטיפול בנורת להט מבחינת שעות הארה, צריכת חשמל, איכות המוצר ויבול הפרחים במרבית הגידולים המשמשים כפרחי קטיף.

מהלך ושיטות עבודה: במשך שלוש שנות מחקר נבחנו משטרי הארה שונים בחמישה גידולים של פרחי קטיף: היפריקום, טרכליום, סולידגו, לימוניום ואסטר. מבין המשטרים שכללו הארכת-יום, שבירת לילה והארה בסוף הלילה, בנורות להט או פלורוסנט 41, נבחר המשטר האופטימלי לכל גידול. האופטימום נקבע על פי קריטריונים של איכות ויבול.

תוצאות עיקריות מסקנות והמלצות: הודגם יתרון של משטרי שבירת לילה או הארה בסוף הלילה על משטר הארכת היום בנורות להט הן בהקדמת פריחה והן במונחים של איכות. התוצאות נמצאות בשלבים שונים של יישום אצל המגדלים. הוצגה האפשרות לחסוך בשעות הארה ובצריכת חשמל ע"י שימוש נכון בנורה (ספקטרום האור) ובזמן ההארה. נלמדה האפשרות להשפיע על הפריחה בעזרת שני מנגנונים אנדוגניים שונים שאחד מהם נראה כבילתי תלוי בתנאי קרינת השמש. נערכה בדיקה ראשונית של תפקיד האור הכחול, בספקטרום הנורות השונות, בהכוונה הפוטופריודית של תהליכים הקשורים בפריחה. נמצאה אינטראקציה מורכבת בין סוגי הספקטרום השונים שעשויה להגביר את השפעת האור אם יעשה בה שימוש נכון. אינטראקציה זו דורשת לימוד נוסף.

**מבוא**

מספר ניכר מבין פרחי הקטיף המיוצאים מישראל במשך החורף הם צמחי יום-ארוך שפורחים באופן טבעי בתקופה שבין האביב לסתיו כלומר בתקופה המשלימה את עונת היצוא. הכוונה הפריחה בגידולים אלה תלויה במשך תקופת האור ביממה ובעוצמתו כחשיבות העוצמה היא בתחום התגובה הפוטופריודית בנפרד מהחשיבות הפוטוסינטטית. התלות בעוצמה מתקיימת בתחום עוצמות קרינת השמש ולכן קשה להרוות אותה בעזרת תאורה מלאכותית הניתנת בשטחים מסחריים בעוצמות נמוכות יחסית. יחד עם זה יתרונה של ישראל על פני אירופה מבוסס על העובדה שבחורף הישראלי הימים ארוכים יותר וקרינת השמש גבוהה יותר. במחקר הנוכחי נסינו למצוא את משטר ההארה שעל רקע תנאי החורף הישראלי יקנה לישראל יתרון יחסי גבוה יותר על-פני אירופה.

המחקר שלנו התבסס על ההנחה שהרגישות לאור משתנה במשך היממה, היא מותנית בספקטרום האור ויש לה קשר לפרק הזמן ביממה שהצמח חשוף לאור השמש. נצלנו את העובדה שבשוק ניתן היום לרכוש, לצרכים חקלאיים, נורות להט או פלורוסנט כאשר נורות הפלורוסנט יכולות להיות שונות זו מזו בהרכב ספקטרום האור והן מצטיינות בניצול גבוה של אנרגיית החשמל, בהשוואה לנורות הלהט. עיקר מאמץ המחקר הושקע בתחום החשיבות של האור האדום והאדום-רחוק בשעות השונות של הלילה אבל נעשתה גם עבודה ראשונית להבנת החשיבות של תוספת אור כחול לספקטרום הנורה. בהשוואה לידע הקיים באשר להשפעת האור האדום והאדום-רחוק על הפריחה, הידע על חשיבות האור הכחול הוא מצומצם והמחקר שבצענו הוא במידה רבה ראשוני ודורש השלמה קודם שאפשר יהיה ליישמו בשטחים מסחריים.

הגידולים בהם הושקע עיקר המאמץ נבחרו לפי חשיבותם הכלכלית. המחקר התרכז בהיפריקום, סולידגו, טרכליום, לימוניום ואסטר. גידולים אלה נבדלים באופי תלותם בתנאי היום הארוך ובהשפעה המיטבית שנדרשת מתנאי היום הארוך לצורך יישום בשטחים מסחריים. המשותף לכולם הוא הצורך להקדים את הפריחה ולהגדיל את מספר הענפים הנקטפים מצמח בעונת היצוא (בין סתיו לאביב). בניסויים השונים חיפשנו את האופטימום הישומי. תוצאות המחקר מיושמות היום בשטחים מסחריים.

היפריקום, טרכליום, סולידגו ואסטר תלויים בתנאי היום הארוך באופן הכרחי. בשני הראשונים לא תהיה התמינות לפריחה ובשני האחרונים לא יתפתח ענף פריחה בתנאי יום-קצר. שני גורמים צריכים להשתלב באופן אופטימלי כדי שהשרית הפריחה או התארכות הענף תהיה יעילה: גירוי האור והמוכנות של הצמח לקלוט אותו. בצמחי יום-ארוך מוכנות הצמח לקלוט את גירוי האור מתחילה כשש שעות לאחר תחילת היום והיא הולכת ומתחזקת לקראת סוף תקופת האור. לפחות בחלק מצמחי היום הארוך השרית הפריחה מותנית בעוצמת הקרינה ובהרכב ספקטרום האור בחצי השני של היום. כאשר היום הטבעי קצר ואנחנו משתמשים בהארה מלאכותית כדי להאריך אותו הצמחים נחשפים לאור מלאכותי בתקופת הרגישות המקסימלית לצורך השריית פריחה ומכאן נובעות חלק מהבעיות ביעילות השריית הפריחה בתנאי החורף. בסוף היום הטבעי, עם השקיעה, משתנה ספקטרום האור הטבעי והופך עשיר יותר באור אדום-רחוק. היחס בין האדום לאדום-רחוק בשקיעה דומה לזה המצוי בנורת הלהט, לכן נורות להט נחשבות ליעילות, לצורך פריחה, במשטר של הארכת-יום. יחד עם זה עוצמת אור הלהט, הנמוכה יחסית לעוצמת אור השמש בזמן השקיעה, פוגעת ביעילות השריית הפריחה. כדי להתגבר על מגבלת עוצמת האור בסוף היום החלטנו להשתמש בהארה המלאכותית כאות לתחילת היום כך שהצמחים יחשפו לאור טבעי בסוף היום הארוך. השאלות עליהן ביקשנו תשובות התייחסו לזמן, עוצמה, כמות כללית וספקטרום האור שפועלים באופן יעיל במתן האות לתחילת היום. בחנו משטרי הארה בסוף הלילה ובאמצע, בנורות להט או פלורוסנט, כדי לענות על השאלות שהצגנו. הבחינה נערכה במדדים ישומיים המאפיינים כל אחד מהגידולים בנפרד. בצד ההשפעה על הצמח חיפשנו גם אחר האפשרות לחסוך בחשמל ע"י שימוש בנורות יעילות יותר, קיצור משך ההארה ומעבר להארה בשעות שמחיר החשמל נמוך יותר.

### היפריקום

היפריקום הוא צמח שיחי, רב-שנתי שמגיב לתנאי יום-ארוך בפריחה שמסיימת את צימוח הענף. במסחר הוא משמש כענף קטיפי נושא פירות צבעוניים. על-ידי גיזום סתווי מכוונים מגדלי ישראל את צימוח ההיפריקום ליצירת שני גלי קטיפ: האחד במרכז החורף והשני באביב המאוחר. מועד הקטיפ האביבי מותנה במועד הקטיפ החורפי. קטיפ במאי עדין פודה מחירים טובים אבל ביוני עלולים המחירים לרדת, לכן חשוב מאד להקדים את הקטיפ החורפי, לפחות לחודשים דצמבר-ינואר כך שגל הקטיפ השני יופיע לא יאוחר ממאי. הקדמת הגל החורפי היא פועל יוצא של השריית פריחה מוקדם ככל האפשר. בתנאי חממה לא מחוממת בישראל הצימוח הוגטטיבי של ההיפריקום הוא נמרץ. תוספת חימום אינה מזרזת את כל אחד משני התהליכים: צימוח ופריחה, שקובעים את מועד הקטיפ. הדרך לזרז את הקטיפ קשורה באפשרות לזרז את הפריחה. יעילות השרית הפריחה באמצעות תנאי יום-ארוך מלאכותיים נמדדת גם במספר הענפים שמגיעים לפריחה. בהיפריקום המוכנות של הענף לקלוט את גירוי הפריחה הולכת ונרכשת עם ההתפתחות. כשהאינדוקציה לפריחה היא חלשה חלק מהענפים לא קולטים אותה. ההתמיינות לפריחה בהיפריקום מסיימת את צימוח הענף, כלומר זירוז התמיינות פירושו פחות פרקים וגטטיביים יחד עם זה ערכם המסחרי של הענפים עולה ככל שהם ארוכים יותר ולכן אנחנו מעוניינים בפרקים ארוכים.

### טרכליום

טרכליום הוא צמח יום-ארוך לצורך פריחה. התפרחת בטרכליום היא סוכך שמסיים את צימוח הענף. תנאי היום הארוך מזרזים התארכות אבל זו הופכת להיות בעיה כאשר השרית הפריחה מתעכבת והענפים הופכים ארוכים מדי והתפרחת מארכת ודלילה. יש חשיבות לגודל סוכך הפריחה ולקומפקטיות שלו. עיכוב בהשריית הפריחה גורם לחוסר אחידות, פיזור גל הקטיפ וירידה במספר הענפים שנקטפים מצמח. לכן בטרכליום אנחנו מחפשים

דרך לקצר את ענפי הקטיף ולהקדים את ההתמיינות לפריחה במונחים של מספר הפרקים שנוצרו על הענף קודם ליצירת סוכך הפריחה.

### סולידגו

סלידגו הוא צמח המפתח שושנת בתנאי יום-קצר. ענף התפרחת מתפתח בתנאי יום-ארוך והתפתחות הפרחים מזוהת ע"י יום-קצר. כדי לשפר את איכות ענפי התפרחת נהוג להשתמש בתנאי היום הארוך עד הקטיף. התפתחות הפרחים בתנאי יום-ארוך היא איטית, דבר שמאפשר גידול נוסף של התפרחת, לכן נידחה מועד הקטיף ואיכות התפרחת עולה. בסולידגו אנחנו מעוניינים לזרז את היציאה משלב השושנת, לאפשר התפתחות מרבית של התפרחת אבל להקטין ככל האפשר את דחית הפריחה. איכות הענף נמדדת בגודל התפרחת (מספר הפרקים בתפרחת ואורך סעיפה) וביחס בין אורכה לאורך הענף.

### אסטר

אסטר הוא צמח עשבוני רב-שנתי שמשמש ליצור ענפי קטיף פורחים. איכות הענפים נמדדת באורך הענפים ובמספר הפרחים שהם נושאים. היבול נמדד במספר מחזורי הגידול שניתן ליצר בתקופת היצוא שכן מספר הענפים לצמח הוא פועל יוצא של הזן ושל איכות השתיל. עונת היצוא מוגבלת לתקופה שבה איכות הענפים המיוצרים באירופה נמוכה בגלל מספר נמוך של פרחים. עונה זו חופפת את תקופת הימים הקצרים שמלווה בקרינת שמש נמוכה. לצורך התפתחות ענף תפרחת זקוק האסטר לימים ארוכים. מצעית הפרח המורכב מתפתחת כשהימים מתקצרים (גבוליים מבחינת תנאי יום-ארוך) ואילו הפרחים על המצעית מתפתחים בימים קצרים. כדי שהפרחים יוכלו להתפתח עד פריחה על המצעית חשוב שהיא תגיע לגודל מינימלי לפני שמתחילה איניציאציה הפרחים. תנאי יום ארוך גבוליים שמאפשרים התפתחות מצעית בקצב מהיר מהתפתחות הפרחים מבאים להתפתחות מוצלחת של הפרח תנאים כאלה שוררים בטבע במעבר מקיץ לסתיו כשהימים הולכים ומתקצרים. לעוצמת קרינת השמש יש השפעה על אורך היום הגבולי. באורך יום נתון מואצים תהליכים המושפעים מתנאי יום-ארוך ככל שהעוצמת קרינת השמש גבוהה יותר. המעשה החקלאי בו יש הפרדה חדה בין תקופת יום-ארוך מלאכותי שניתן לצורך התפתחות ענף תפרחת בחורף ובין הימים הטבעיים הקצרים אליהם מועבר הצמח ליצירת הפרחים גורם להפלת הפרחים אם לא נוצרה מצעית קודם לסיום תקופת היום הארוך. לכן חשוב למצוא תנאי יום ארוך שמחד יאפשרו התפתחות ענף תפרחת ומאידך יאפשרו התפתחות מצעית פרח עם סיום התפתחות ענף התפרחת. השפעת תנאי היום הארוך על התפתחות ענף התפרחת ממוקדת בעיקר בשני שלבי התפתחות: בשלב המעבר מענף שושנת לענף תפרחת ובמניעת התפתחות מצעית הפרח שמסיימת את התפתחות ענף התפרחת. אורך יום גבולי שיאפשר מעבר משלב שושנת לשלב התפתחות ענף תפרחת מחד והתפתחות מצעית הפרח בשלב בו ענף התפרחת הגיע לאורך מסחרי יקנה יתרון מבחינת הסיכוי למספר פרחים גבוה וחיסכון בחשמל. לכן בחנו השפעה של אורך יום גבולי על התפתחות ענף התפרחת. הבחינה התייחסה למשך הזמן הדרוש להתפתחות הענף בתנאי אורך יום שונים ועל רקע תנאי אורך יום טבעי משתנים.

### לימוניום

לימוניום טול אמילי הוא צמח שושנת. הפקע האמירי של השושנת מפתח ענף תפרחת שאינו נושא עלים (ענף קטיף). בשלבים מוקדמים של התארכות ענף התפרחת מתפתחים בבסיסו, בחיק העלים האחרונים שנוצרו בשושנת, שני פקעי צימוח שהראשון בהם מפותח מהשני. כל פקע הוא מקור לשושנת עלים ולגבעול תפרחת. אחרי הפריחה מתייבשים עלי השושנת שליוו את עמוד התפרחת ומתפתחות שתי שושנות עלים ושני עמודי תפרחת חדשים, משני הפקעים שהיו בבסיס עמוד התפרחת הראשון. פקעי הצימוח שבבסיס ענף התפרחת מעוכבים על ידו. העיכוב מוסר עם הפריחה. הפקע המפותח יותר מתעורר ראשון. באופן זה מספר עמודי התפרחת מוכפל בכל מחזור פריחה אם תנאי הגידול אופטימליים. ככל שהתנאים רחוקים יותר מהמצב האופטימלי כך יקטנו סיכויי הצמיחה של הפקע הפחות מפותח ויגדל הדמיון במספר ענפי הקטיף בין מחזורי הפריחה. בתנאי גידול אופטימליים בהם שני פקעי הצימוח מגיעים לפריחה מותנה יכול ענפי הקטיף במהירות שבה מתפתח ענף התפרחת, במהירות שבה הפקע הראשון מתחיל לצמוח ובהפרש הזמן שבין התעוררות וחדוש הצימוח של שני

הפקעים. האפשרות להגדיל את יבול ענפי הקטיף מותנית לכן במציאת תנאי הסביבה שמזרזים את התפתחות ענפי התפוחית ופועלים לזירוז ההתעוררות והצמיחה של שני פקעי הצימוח.

טול אמילי מקובל כזן לימוניום שבו הופחתה דרישת הקור לצורך התעוררות הפקעים. יחד עם זה אין להוציא מכלל אפשרות שעדין טפול קור עשוי לזרז את התהליך. לצורך התארכות ענף התפוחית ולפריחה דרושות טמפרטורות גבוהות מאלה השוררות אצלנו בחורף, בחוץ. בתנאי חוץ הפריחה מתחילה באביב ומתעכבת בחורף עם ירידת הטמפרטורות. אופטימום הטמפרטורה לצורך התארכות ופריחה אינו ידוע. לכן בלימוניום חיפשנו דרך להעיר יותר פקעי צימוח וכך להגדיל את מספר ענפי הקטיף, זאת בנוסף לחיפוש אחר טיפול שיתן ענפים ארוכים ונפחים (כבדים) יותר.

### הניסויים והתוצאות

אלא אם מצוין אחרת כל הניסויים בוצעו בעוצמת הארה של  $0.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . הנורות בהן השתמשנו היו נורות להט, פלורוסנט Lumilux interna colour 41 מתוצרת אוורס או נורת פלורוסנט מספר 21 מאותה סידרת. בחלק מהניסויים יצרנו שילוב בין נורת הלהט או הפלורוסנט 41 עם נורה כחולה. טבלה 1 מציגה את ספקטרום האור בצרופי הנורות השונים.

טבלה 1. ספקטרום האור של הנורות השונות ששמשו בניסויים  
עוצמות האור בתחום באורכי הגל השונים מוצגות ב-  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

סוג הנורה	400-700nm	380-500nm	600-700nm	700-800nm
להט	0.6	0.1	0.3	0.5
פלורוסנט 41	0.7	0.1	0.3	0.1
פלורוסנט 21	0.7	0.3	0.3	0.1
להט+כחולה	1.0	0.5	0.3	0.5
פלורוסנט 41 + כחולה	1.1	0.5	0.3	0.1

הנורות נבחרו בהתאם לתכולת האדום, אדום-רחוק וכחול בספקטרום האור שלהן. אנחנו מפנים את תשומת לב הקורא לנוכחות הניכרת של אור אדום-רחוק באור נורת הלהט בהבדל מנורות הפלורוסנט, לדמיון בין נורה 21 ו-41 פרט לתוספת הכחול בנורה 21 ולעובדה שהתוספת של הכחול לנורה 41 כפי שנעשתה על-ידינו גבוהה מהתוספת הקיימת בנורה 21.

משטרי ההארה בניסויים השונים כללו בדרך כלל הארה כל הלילה, הארכת יום ל-16 שעות אור, שבירת לילה למשך שעותיים במרכז הלילה והארה במשך ארבע שעות בסוף הלילה.

בתנאי פיטוטרון יום-קצר כלל חשיפה לאור שמש במשך 10 שעות ויום-ארוך כלל את אותה תקופה של אור שמש מוארכת ל-20 שעות אור בעזרת נורות להט שעוצמת ההארה שלהן הייתה  $3.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

### היפריקום

הניסויים נערכו בזן אקסלנט פלייר. כדי לבחון את האפשרות שבתנאי החורף משתנה הרגישות של ההיפריקום לאורך-יום חשפנו, בינואר או ביולי, צמחים בשלבים שונים של התפתחות הענף (כשהענף פתח מספר שונה של פרקים גלויים) למשטר של יום-ארוך. אורך היום הארוך היה 14 או 24 שעות אור כשמרכיב היום הטבעי נע בין 14 שעות ביולי ל-10 שעות בינואר. הארכת היום נעשתה בנורות להט. משך החשיפה לטיפול היה שונה בטיפולים השונים. בינואר הושוותה תגובת הצמחים ל-24 עם זו ל-14 שעות אור. טבלה 2 מראה שבחורף מוכנות הענף לקליטת גרווי הפריחה מופיעה רק אחרי יצירת 10 פרקים גלויים ואילו בקיץ גרווי הפריחה נקלט מיד עם תחילת התפתחות הענף. למרות שאורך היום הקריטי של אקסלנט פלייר קצר מ-14 שעות, משטר של 14 שעות אור בינואר פחות יעיל ממשטר של 24 שעות אור בהשריית פריחה, כלומר, בתחום אורך היום האינדוקטיבי יש חשיבות כמותית למשך ההארה.

בניסוי נוסף בחנו את האפשרות שלהפריקום יש דרישת קור ולכן לאחר קירור מזורזת התגובה לאורך-יום. צמחים שעברו מחזור גידול בפיטוטרון נגזמו והועברו לחממה בתחילת ספטמבר. טבלה 3 מראה שקירור (גידול בטמפרטורות נמוכות יחסית בפיטוטרון) קודם לגיזום ולהארכת היום אומנם מזרז את הפריחה אבל רק במונחים של זמן ולא של פרקים. כלומר, קירור מוקדם אינו מקדים את הגיל הפיזיולוגי בו הענף מוכן לקלוט את גרויי הפריחה.

כמסקנה מהעובדה שלפחות שני משתנים: הגיל הפיזיולוגי בו מוכן הענף לקלוט את גרויי הפריחה ומהירות התגובה לגרויי, משפיעים על יעילות הטיפול החלטנו לבחון טיפולי הארה שונים במונחים של מספר ענפים שפרחו על כל צמח, ובמועד הפריחה (או הקטיף). נבחנו משטרי הארה שונים שניתנו מנורות להט או פלורוסנט 41. איור 1 מראה את השונות ביבול שניקטף מהטיפולים השונים בשני גלי קטיף בין הסתיו לאביב. היבול הגבוה ביותר בטיפולי נורת הלהט התקבל כשההארה ניתנה בסוף הלילה ואילו לנורות הפלורוסנט היה יתרון כשהטיפול ניתן כשבירת לילה. איור 2 מראה שהארה בסוף הלילה בנורת להט ריכזה את גל הקטיף הראשון בדצמבר ואת הגל השני במאי. שבירת לילה בנורת פלורוסנט (איור 3) ריכזה את הגל הראשון בחודשים דצמבר וינואר ואת השני במאי. ריכוז הקטיף בחודש מאי בעזרת שני הטיפולים הוא בעל משמעות כלכלית חשובה שכן ביוני יורדים המחירים בשווקי היצוא. בשני המשטרים יש חיסכון בשעות הארה אבל החיסכון במשטר שבירת הלילה גבוה יותר שכן הארה בסוף הלילה ניתנה במשך ארבע שעות ושבירת הלילה ניתנה במשך שתיים ונורת הפלורוסנט צורכת פחות חשמל מנורת הלהט. בניסוי נוסף נבחנו חשיבות עוצמת האור בזמן הטיפול ולא נימצא יתרון בהגדלת העוצמה מעבר ל-  $0.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  בכל אחת מהנורות. תוספת של אור כחול לנורת הלהט (איור 4) או הפלורוסנט (איור 5) הגבירה את יעילות משטר שבירת הלילה בנורת הלהט.

השפעת משטרי ההארה השונים נבחנו במשך שלושה חורפים. תוצאות הניסויים מיושמות בשטחים המסחריים. התוצאה היא ייעול השימוש בחשמל, הגדלת היבול וריכוזו לתקופה מועדפת בשוק. השימוש באור כחול, בפני עצמו או בשילוב עם האור האדום או האדום-רחוק דורש לימוד נוסף ולכן עדין אינו מיושם

### לימונים

תגובת הזן טול אמילי לטמפרטורות הגידול ולאורך היום נבחנו בתנאי פיטוטרון וחממה. בפיטוטרון ראינו שבתנאי יום קצר התפתחות ענפי הפריחה מתרחשת בגלים. עליה בטמפרטורות מקטינה את הפרש הזמן בין הגלים (איור 6), כלומר מזרזת את התעוררות פקע הצימוח הבא. בתנאי יום-ארוך התפתח בכל הטמפרטורות גל מתמשך (איור 7) ששיאו היה גבוה במיוחד בטמפרטורות הנמוכות. כלומר תנאי היום הארוך אפשרו ליותר מפקע צימוח אחד להתעורר ולפתח ענף פריחה. הצרוף של טמפרטורות נמוכות ויום-ארוך נתן את מירב היבול (טבלה 4). מכאן אנחנו מסיקים שמילוי דרישת הקור ותנאי היום הארוך מבטלים, לפחות חלק, מהעיכוב שמשרה ענף הפריחה על התפתחות הפקעים בבסיסו. ללא קשר לאורך היום, הטמפרטורות הגבוהות השפיעו באופן חיובי על אורך הענף (איורים 8, 9). השפעה דומה של הטמפרטורות על אורך הענף נמצאה גם בתנאי חממה.

בתנאי חממה נבחנו השפעת משטרי ההארה שונים על יבול ואיכות הענפים. שני סוגי הנורות: להט או פלורוסנט 41 העלו את יבול ענפי הקטיף כאשר ההארה ניתנה כשבירת לילה. נורת פלורוסנט עשירה יחסית בספקטרום הכחול (נורה 21) או העשרה של נורת הלהט או פלורוסנט 41 באור כחול נתנו תוספת יבול מרבית כשההארה ניתנה בסוף הלילה (איור 10). השפעה חיובית על אורך הענף הייתה רק לנורת הלהט.

כתוצאה מניסויים אלה נעשה היום שימוש בחממות מחוממות לשיפור איכות ענפי הקטיף. תוספת היבול שהתקבלה בעזרת הארה בלילה עדין לא מיושמת.

טבלה 2 השפעת עונת הגידול על גיל הענף בו מופיעה הרגישות לגירוי הפוטופריודי לצורך פריחה של היפריקום אקסלנט פלייר והתלות בין עוצמת הגירוי לאורך היום.

תחילת הניסוי (תאריך)	אורך יום בטיפול (שעות)	מועד התחל הטיפול (מספר פרקים)	מועד סיום הטיפול (מספר פרקים)	ימים מגיזום לפריחה	מספר פרקים על ענף פורח
3.1	24	0	פריחה	117 f	17.5 c
	24	7	פריחה	121 ef	16.9 c
	24	10	פריחה	120 ef	17.7 c
	24	14	פריחה	124 e	17.7 c
	24	0	7	*146 a	23.9 a
	24	0	10	134 d	23.2 a
	24	0	14	122 ef	18.2 c
19.6	24	0	פריחה	63 i	----
	24	7	פריחה	69 h	----
	24	10	פריחה	75 g	----
	24	0	7	72 gh	----
	24	0	10	61 i	----
	24	0	14	60 i	----
3.1	14	0	פריחה	136 cd	20.1 b
	14	7	פריחה	134 d	21.4 b
	14	10	פריחה	142 ab	23.5 a
	14	14	פריחה	139 bc	24.2 a

\* פריחה אחרי 146 יום התרחשה במועד הפריחה הטבעי והיא אינה תוצאה של השרית מוקדמת של פריחה.

טבלה 3 השפעת טמפרטורת הגידול קודם לגיזום ספטמבר על הפריחה בחורף של היפריקום אקסלנט פלייר במשטר הארה כל הלילה.

טמפרטורת הגידול קודם לגיזום °C (יום/לילה)	משך זמן מגיזום לפריחה (ימים)	מספר פרקים על ענף פורח
21/29	107 a	17.9 a
9/17	68 b	17.3 a

טבלה 4 השפעת טמפרטורה ואורך-יום על מספר ענפי קטיף שיצר לימוניות "טול אמילי" בתקופה שבין אוגוסט לינואר בתנאי פיטורון.

מספר ענפים לצמח בתקופה אוגוסט - ינואר	אורך יום (שעות)	טמפרטורה לילה / יום (°C)
14.3 a	20	20 / 12
12.3 ab	10	20 / 12
10.6 b	20	23 / 15
11.3 ab	10	23 / 15
10.0 b	20	26 / 18
9.3 b	10	26 / 18

### סולידגו

בסולידגו משתמשים בתנאי יום-ארוך מתחילת הגידול ועד הקטיף. תנאי היום הארוך מזרזים את התפתחות ענף הפריחה אבל מעכבים את הפריחה עצמה. לכן חיפשנו את אופטימום טיפול ההארה שיצור ענפי קטיף איכותיים בזמן הקצר ביותר. הניסוי כלל את הטיפולים הבאים:

1. הארכת היום הטבעי ל - 16 שעות אור בעזרת נורות להט ובעוצמת הארה של  $0.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .
  2. הארכת היום הטבעי ל - 16 שעות אור בעזרת נורות להט ובעוצמת הארה של  $1.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .
  3. שבירת לילה למשך שעותיים בין השעות  $01^{\circ}\text{--}23^{\circ}$  בעזרת נורות להט ובעוצמה של  $0.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .
  4. שבירת לילה למשך שעותיים בין השעות  $01^{\circ}\text{--}23^{\circ}$  בעזרת נורות להט ובעוצמה של  $1.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .
  5. שבירת לילה למשך ארבע שעות בין השעות  $02^{\circ}\text{--}22^{\circ}$  בעזרת נורות להט ובעוצמה של  $0.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .
  6. שבירת לילה למשך שעותיים בין השעות  $01^{\circ}\text{--}23^{\circ}$  בעזרת נורות פלורוסנט ובעוצמה של  $0.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .
  7. שבירת לילה למשך שעותיים בין השעות  $01^{\circ}\text{--}23^{\circ}$  בעזרת נורות פלורוסנט ובעוצמה של  $1.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .
  8. שבירת לילה למשך ארבע שעות בין השעות  $02^{\circ}\text{--}22^{\circ}$  בעזרת נורות פלורוסנט ובעוצמה של  $0.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .
- השוואה בין טיפולים 1 ו 2 מאפשרת הערכה של חשיבות עוצמת האור במשטר של הארכת יום בעזרת נורות להט. לא נבחנה הארכת יום בעזרת נורות הפלורוסנט היות ונורות אלו נמצאו בניסויים קודמים כבלתי יעילות במשטר זה. השוואה בין טיפולים 3 ו 4 או 6 ו 7 מצביעה על חשיבות עוצמות האור במשטר של שבירת לילה בנורות להט או פלורוסנט, בהתאמה. השוואה בין טיפולים 3 ו 5 או 6 ו 8 מצביעה על חשיבות משך ההארה במשטר שבירת לילה שניתן מנורות להט או פלורוסנט, בהתאמה. בטיפולים 4 ו 5 או 7 ו 8 בלהט או פלורוסנט, בהתאמה, ניתנה כמות שווה של אור שנפרסה על משכי זמן שונים.

איור מספר 11 מראה שמשך מחזור הגידול ממצב שושנת ועד קטיף היה קצר יחסית במשטר הארה שניתן כשבירת לילה של שעותיים מנורות פלורוסנט בעוצמה של  $0.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  או מנורות להט בעוצמה של  $1.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . איור 12 מראה שהארה בנורות פלורוסנט במשטר של שבירת לילה נתנה תפוחות ארוכות מאלה שהתפתחו במשטרים דומים שניתנו בעזרת נורות להט. אורך התפוח נקבע באזור שנשא את הפרחים. מספר הפרקים באזור נושא הפרחים מצביע על מספר סעיפי התפוח. ככל שמספר זה גבוה יותר כך התפוח עשיר

יותר בסעיפים ובפרחים. איור 13 מראה שתפרחות עשירות יחסית בפרחים התקבלו בכל משטרי שבירת הלילה בפלורוסנט ובשבירת לילה של שעותיים בנורות להט בעוצמה של  $0.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . האורך של סעיפי התפרחת קובע גם הוא את ניפחה ואת מספר הפרחים שהיא נושאת. אנחנו מדדנו את אורך הסעיף הארוך ביותר בתפרחת ומצאנו (איור 14) שבמשטרי שבירת לילה דומים נורות הפלורוסנט נתנו סעיפים ארוכים יותר מאלה שהתקבלו בנורות להט. אורך הענף הקטוף, כולל גבעול ותפרחת, היה מינימלי בכל טיפולי שבירת הלילה בנורות להט ובטיפול שבירת לילה למשך שעותיים בנורת פלורוסנט בעוצמה של  $0.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . ענף קצר באורך מסחרי רצוי, של 95-100 ס"מ, יוצר יחס טוב בין האורך הכללי ואורך התפרחת.

משטר של הארכת יום היה פחות יעיל ממשטרי שבירת הלילה כששניהם ניתנו בעזרת נורות להט. במשטר הארכת יום בעזרת נורות להט עוצמת האור לא השפיעה על מועד הקטיף, אורך התפרחת, מספר הפרקים בתפרחת, אורך סעיפי התפרחת ואורך הענף הקטוף. בהשוואה למשטרי שבירת לילה שניתנו גם הם, בעוצמות דומות בעזרת נורות להט, הארכת היום נתנה ענפים ארוכים יותר (איור 15), עם מספר נמוך של סעיפי תפרחת (איור 13) אבל עם אורך דומה של התפרחת (איור 12). כלומר התפרחות במשטר הארכת היום היו דלילות יותר ותפסו חלק יחסי קטן יותר של ענף הקטיף. לכן מי שמאיר בנורות להט יכול להסתפק בשבירת לילה שדורשת פחות שעות הארה.

בין המשטרים השונים של שבירת לילה בנורות להט לא היו הבדלים מהותיים במשך מחזור הגידול (איור 11), אורך התפרחת (איור 12), אורך סעיפי התפרחת (איור 14) ואורך הענף הקטוף (איור 15). אבל הגדלה של עוצמות האור או משך ההארה (כלומר הגדלה של כמות האור) הקטינו את מספר הפרקים שנוצרו לפני סעיפי התפרחת (איור 16) ואת מספר הפרקים בתפרחת (איור 13). היות ומספר גדול של פרקים בתפרחת הוא יתרון איכותי המשטר הרצוי בנורות להט הוא שבירת לילה למשך שעותיים בעוצמה של  $0.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (נורות 60W בהצבה מסחרית).

בנורות הפלורוסנט לא היו הבדלים מהותיים בין הארה של שעותיים בעוצמה הגבוהה לבין הארה של ארבע שעות בעוצמה הנמוכה, בשני המקרים ניתנה אותה כמות אור ונתקבלו תגובות דומות. הארה של שעותיים בעוצמה הנמוכה הקדימה את הקטיף (איור 11) ואת תחילת יצירת סעיפי התפרחת (איור 16), מספר הפרקים בתפרחת היה גבוה (איור 13) וכך גם אורך התפרחת (איור 12), אורך סעיפי התפרחת הושפע מזירוז הפריחה והיה נמוך מהאורך המרבי שהושג בעזרת נורות הפלורוסנט (איור 14), הענף הקטוף היה קצר יחסית (איור 15) עובדה שיצרה יחס טוב בין אורך התפרחת והאורך הכללי.

אם משווים בין המשטר המועדף בכל אחת מהנורות, כלומר בין שבירת לילה של שעותיים בעוצמה נמוכה בלהט מול פלורוסנט, נורת הפלורוסנט מקצרת את מחזור הגדול (איור 11) ונותנת תפרחות יותר ארוכות (איור 12) עם סעיפי תפרחת יותר ארוכים (איור 14). נורת הפלורוסנט היא גם חסכונית בצריכת החשמל.

תוצאות הניסויים מיושמות בשטחים חקלאיים.

## טרכליום

בטרכליום קל לגרום להתארכות ענף הפריחה באמצאות יום-ארוך. יעילות משטר היום הארוך נמדדת באפשרות למנוע התארכות יתר של הענף ולזרז את התפתחות סוכך הפריחה שמסיים את התפתחות הענף.

כשבחנו את השפעת משטרי ההארה השונים על אורך הענף, מספר הפרקים שיצר קודם ליצירת הסוכך ומספר הענפים שנקטפו מכל טיפול במשך החורף מצאנו שמבין משטרי ההארה בנורות להט הארה כל הלילה או הארה בסוף הלילה (ארבע שעות) נתנו את מירב היבול של ענפים קצרים יחסית שהקדימו לפרוח וכעדות לכך יצרו פחות פרקים קודם ליצירת הסוכך (איור 17). נורות פלורוסנט שנבחנו באותם המשטרים נתנו את מירב היבול של ענפים קצרים שהקדימו לפרוח במשטר של שבירת לילה (איור 17). כשבחנו את השפעת עוצמות האור ומשך ההארה במשטר שבירת לילה מצאנו שבכל הצרופים של נורה, עוצמה ומשך ההארה משטרי שבירת הלילה נתנו ענפים קצרים ממשטר הארכת היום (איור 18).

כשבחנו את ההשפעה של נוכחות אור כחול בספקטרום של נורת הפלורוסנט או כתוספת לנורת להט במונחים של אורך ענף והקדמת פריחה (פחות פרקים על הענף, איור 19) מצאנו שתוספת כחול לנורת להט מחזקת את השפעתה החיובית במשטר של הארה בסוף הלילה. השפעת הכחול כתוספת לפלורוסנט תלויה בכמותו היחסית. תוספת קטנה, כפי שהיא קימת בנורה 21 ביטלה את יתרון שבירת הלילה והקנתה יתרון למשטרי הארה כל הלילה או להארכת יום ואילו תוספת גדולה יותר של אור כחול לנורה 41 חיזקה את ההשפעה החיובית של משטר שבירת לילה והקנתה יתרון גם להארה בסוף הלילה.

תוצאות הניסויים מיושמות בשטחים מסחריים והן מתבטאות בהקדמת פריחה, שיפור איכות הענף וחיסכון בחשמל.

#### אסטר

הניסוי נערך בחממה לא מחוממת בין ספטמבר לאפריל. במהלך שני מחזורי גידול השתנו בהדרגה אורך היום הטבעי ועוצמת קרינת השמש. תחום השינויים מובא בטבלה 1.

#### טבלה 1

אורך היום הטבעי ועוצמת קרינת השמש במהלך שני מחזורי הגידול של אסטר בחממה. כל מחזור גידול מחולק לשתי תקופות: תקופת טיפולי היום הארוך והתפתחות ענף התפרחת ותקופת התפתחות הפרחים ביום-קצר טבעי.

תקופת טיפולי יום-קצר		תקופת טיפולי יום-ארוך	
קרינת שמש $\mu\text{mole m}^{-2}\text{s}^{-1}$	אורך יום-טבעי דקות : שעות	קרינת שמש $\mu\text{mole m}^{-2}\text{s}^{-1}$	אורך יום-טבעי דקות : שעות
300 < 500	10:06 < 10:40	500 < 1000	10:40 < 12:00
1300 < 500	12:46 < 11:00	500 < 300	11:00 < 10:06

כל טיפולי ההארה המלאכותית ניתנו בעוצמה של  $0.5 \mu\text{mole m}^{-2}\text{s}^{-1}$  בגובה הצמחים. הטיפולים כללו הארכת יום ל 14 או 16 שעות אור ושבירת לילה למשך שעתיים במרכז הלילה. כל טיפול ניתן בנורת פלורוסנט 41 או בנורת להט. הטיפולים ניתנו בשלב התפתחות ענף התפרחת ולצורך פריחה הועברו הצמחים ליום טבעי קצר. הארכת יום ל 14 שעות בעזרת נורת להט לא אפשרה התפתחות ענף תפרחת והצמחים נשארו בשלב השושנת. כל שאר הטיפולים אפשרו התפתחות ענף באיכות מסחרית טובה פרט למחזור הגידול הראשון בטיפול הארכת יום ל 14 שעות בנורת פלורוסנט בו אורך הענפים היה קצר יחסית (איור 20).

השוואה בין פרק הזמן שנדרש להתפתחות הענף, עד לאורך 50 ס"מ, בשני מחזורי הגידול ובמסגרת אותו טיפול מאפשרת לבדוד את חלקם של תנאי היום הטבעי בבקרת קצב ההתפתחות (איור 21) מבין שני מחזורי היום הארוך במחזור הראשון היה היום הטבעי ארוך יותר וקרינת השמש גבוהה יותר (טבלה 1). עובדה זו זרזה את התפתחות הענף במחזור הגידול הראשון לעומת השני בכל הטיפולים פרט לטיפול שבירת לילה בעזרת נורת פלורוסנט. בטיפול זה לתנאי היום הטבעי לא הייתה השפעה על קצב התפתחות הענף. לעומתו במשטרי הארכת יום בפלורוסנט ל 16 שעות או שבירת לילה בעזרת נורות להט הייתה השפעת תנאי היום הטבעי מרביים. הייחודיות של משטר שבירת לילה בעזרת נורות פלורוסנט מצביעה על אופן פעולה שונה של ספקטרום האור האופייני לנורה זו. ראוי לציון הוא גם הדמיון בין שבירת לילה באור להט ומשטרי הארכת יום בהקשר עם תלות התגובה בתנאי היום הטבעי.

גם בתקופת היום הקצר, אליו הועברו הצמחים לצורך פריחה, השתנו תנאי היום הטבעי בין שני המחזוריים. במחזור השני היו הימים ארוכים יותר וקרינת השמש חזקה יותר מאשר במחזור הראשון. תנאי היום הטבעי השפיעו על פרק הזמן הדרוש להתפתחות הפרחים בשני מקרים. (איור 22). בשניהם היה כפל הנראה קשר בין השינוי במועד הפריחה ובין תנאי היום הארוך שניתנו בזמן התפתחות ענף התפרחת. בטיפול הארכת יום ל 14 שעות בעזרת נורת פלורוסנט הייתה הקדמת פריחה במחזור הגידול הראשון. הקדמה זו נלוותה לענפי תפרחת קצרים יחסית (איור 20) והייתה ככל הנראה פועל יוצא של יצירה מוקדמת של מצעית פרח עוד בתקופת הימים

הארוכים. בטיפול הארכת יום ל 16 שעות בעזרת נורות להט הייתה דחייה במועד הפריחה במחזור הגידול השני (איור 22). באותו טיפול הייתה התפתחות מהירה יחסית של ענפי תפוחת בתנאי היום הארוך בשני מחזורי הגידול (איור 21). התפתחות הענף בטיפול זה זורזה בעקבות השפעה חזקה יחסית של תנאי היום הארוך ליציאה מוקדמת משלב השושנת. מכאן הערכתנו שגם התפתחות המצעית נדחתה בטיפול זה לתקופת הימים הקצרים. השפעת תנאי היום הטבעי בתקופת הימים הקצרים באה לידי ביטוי כשגם מצעית הפרח הייתה צריכה להתפתח בתנאים אלה. טיפולי הארכת יום ל 14 שעות באור פלורוסנט והארכה ל 16 שעות באור להט מיצגים משטר יום ארוך גבולי לעומת משטר יום ארוך בעל השפעה חזקה, בהתאמה.

אם משווים את משך הזמן הנדרש להשלמת שני מחזורי גידול בטיפולים השונים (איור 23) אפשר לראות שבכל הטיפולים מדובר בכ 190 יום. מעניין הדמיון בין טפול ארוך היום הגבולי (הארכת יום ל 14 שעות בעזרת נורת פלורוסנט) לבין טיפול הארכת יום ל 16 שעות בעזרת נורת להט. האצה של אחד השלבים (התפתחות הענף או הפריחה) נלוותה להאטה בשלב הנלווה כתוצאה מתלות בתנאי היום הטבעי. כמו כן בולט הדמיון בין שני מחזורי הגידול בעקבות שבירת לילה של שעתיים בנורת פלורוסנט. דמיון זה מעלה את האפשרות שטיפול זה פועל כאות לתחילת יום ולכן סוף היום הארוך הוא בסוף היום הטבעי. נוכחות אור שמש בסוף היום הארוך יש לה משמעות שמבטלת את התלות בתנאי היום הטבעי. לעומת שבירת לילה באור פלורוסנט שבירה דומה באור להט חושפת את הצמחים להשפעה נלווית של תנאי היום הטבעי על משך תקופת התפתחות הענף ולכן גם על משך המחזור. ככל הנראה משום שטיפול זה פועל על סוף תקופת האור ולא על תחילתו ומכאן גם הדמיון בינו לבין טיפולי הארכת יום.

### מסקנות והשלכתייהן

המחקר הנוכחי פרץ דרך בגישה הישומית לשימוש בהארה פוטופריודית. הגישה המקובלת במשך תקופה ארוכה הייתה שהארכת היום בעזרת נורת להט היא הדרך היעילה להשריית פריחה בצמחי יום-ארוך. אנחנו הראינו שמשטר שבירת הלילה בנורת הפלורוסנט 41 או משטר הארה בסוף הלילה בנורת הלהט יעילים יותר ממשטר הארכת היום. מיקדנו את תשומת הלב בתלות שבין ספקטרום האור ומשטר ההארה האופטימלי ופתחנו דרך בפני המגדלים לנצל באופן יעיל יותר את השימוש בחשמל. חלק מהצלחתנו צריך ליחס למגוון הרחב של נורות, הניתנות לשימוש חקלאי, ומצויות היום בשוק. נורת הפלורוסנט 41 מתוצרת אוזרס מצטיינת בכך שעקר האנרגיה הפעילה בתחום הפוטופריודי מרוכזת בתחום האדום. לכן נורת פלורוסנט 18 וואט מקבילה לנורת להט של 50 וואט. שתי הנורות מותאמות לאותו בית נורה, הן שונות באורך חייהן ובעלותן והבחירה ביניהן מותנית בחיסכון בשעות הארה ובהשפעה על מרכיבי היבול. כתוצאה מהמחקר הנוכחי ניכנס השימוש בנורות הפלורוסנט 41 לגידולים אותם בחנו ובעקבותיהם לגידולים נוספים.

למרות ההקשר הישומי החזק של תוכנית זו הן מבחינת הגידולים שנבחנו והן מבחינת עיקר המסקנות יש לה תרומה מדעית חשובה. בגידולים שונים ועל רקע תנאי יום טבעי משתנים בין השנים מציג מחקר זה את הייחודיות של התגובה לשבירת לילה באור פלורוסנט מול הדמיון בתגובה להארכת יום ולשבירת לילה באור להט. ממצאים אלה מציעים שונות במנגנון התגובה בין שתי הקבוצות. הממצאים מתייחסים לטיפולים שניתנו בעוצמות אור נמוכות והם מעלים את האפשרות ששבירת לילה באור אדום משמשת כאות לתחילת היום כלומר אות להכוונת השעון האנדוגני ואילו תוספת של אדום-רחוק הופכת את שבירת הלילה לטיפול שמתאים עצמו למדידת הזמן האנדוגני במקום טיפול שמכוון אותה. שאלה זו ראויה ללימוד נוסף ולו מפני האפשרות הגלומה בה לביטול התלות בין השפעת תנאי יום-ארוך מלאכותיים לבין תנאי היום הטבעי בחורף.

השימוש בספקטרום הכחול לצרכים פוטופריודים ובפרט לצורך הכוונת פריחה הוא חדש גם מהבחינה המדעית. אנחנו בחנו שילוב של כחול עם ספקטרום נורת הלהט או הפלורוסנט ומצאנו אינטראקציה בין הכחול והאדום או האדום-רחוק. האינטראקציה היא מורכבת ודורשת לימוד והבנה נוספים קודם שאפשר יהיה ליישם את השימוש באור הכחול.

## פרסומים מדעיים שנבעו מהמחקר

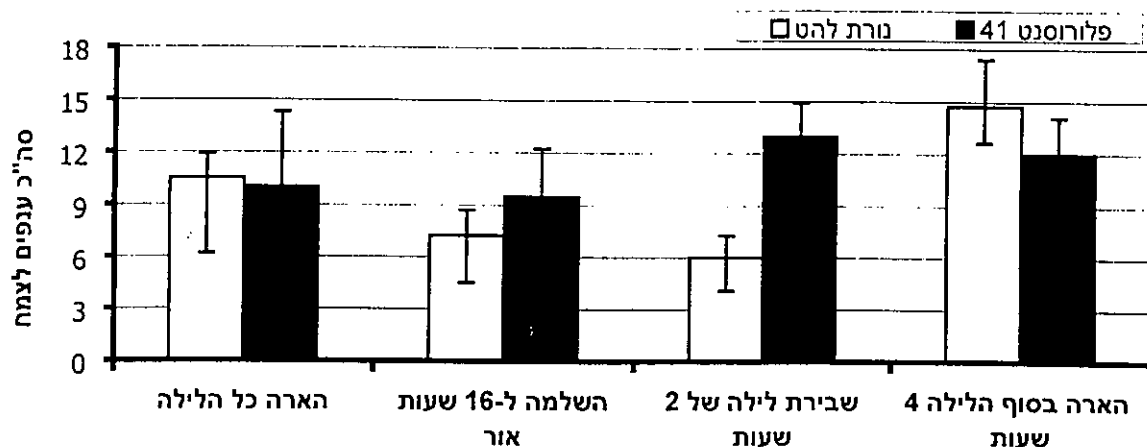
1. ישראלה ולרשטיין, דיאנה ליבמן, בוריס מצניק ולוי אפגין. 1996. טרכליום בלו-שיין: באיזו נורה להאיר ומהו משטר התאורה המתאים. דפי מידע, ינואר, 51-52.
2. ישראלה ולרשטיין, דיאנה ליבמן, בוריס מצניק ולוי אפגין. 1996. התלות בין התגובה של היפריקום למשטר תאורה של יום ארוך ובין עונת הצימוח. דפי מידע, פברואר, 71-73.
3. ישראלה ולרשטיין, יוסי בן-טל, דיאנה ליבמן, בוריס מצניק ולוי אפגין. 1996. איך להקדים פריחה של היפריקום אקסלנט פלייר בתנאי חממה בחורף. דפי מידע, יולי, 66-67.
4. ישראלה ולרשטיין, יוסי בן-טל, דיאנה ליבמן, בוריס מצניק, לוי אפגין ואילת לביא. 1996. האפשרות להשפיע על התפתחות ענפי פריחה בלימוניים טול-אמילי באמצעות טמפרטורות, אורך-יום, ספקטרום אור בהארת לילה וטיפול באתרל. דפי מידע, אוקטובר, 66-70.
5. ישראלה ולרשטיין, יוסי בן-טל, דיאנה ליבמן, בוריס מצניק ולוי אפגין. 1997. השפעת ספקטרום האור ומשטר התאורה על מועד ואחידות הפריחה של טרכליום בלו שיין. דפי מידע, פברואר, 69-73.
6. ישראלה ולרשטיין, יוסי-בן-טל, דיאנה ליבמן, בוריס מצניק ולוי אפגין. 1999. תנאי יום-ארוך אופטימליים לסולידגו מהזן טרה. דפי מידע, אפריל, 58-61.
7. ישראלה ולרשטיין, יוסי בן-טל, דיאנה ליבמן, בוריס מצניק ולוי אפגין. 1999. השפעת משטרי הארה שונים על פריחה וקטיף היפריקום אקסלנט פלייר, בחורף ובאביב. דפי מידע, פברואר, 62-65.

## סיכום עם שאלות מנחות

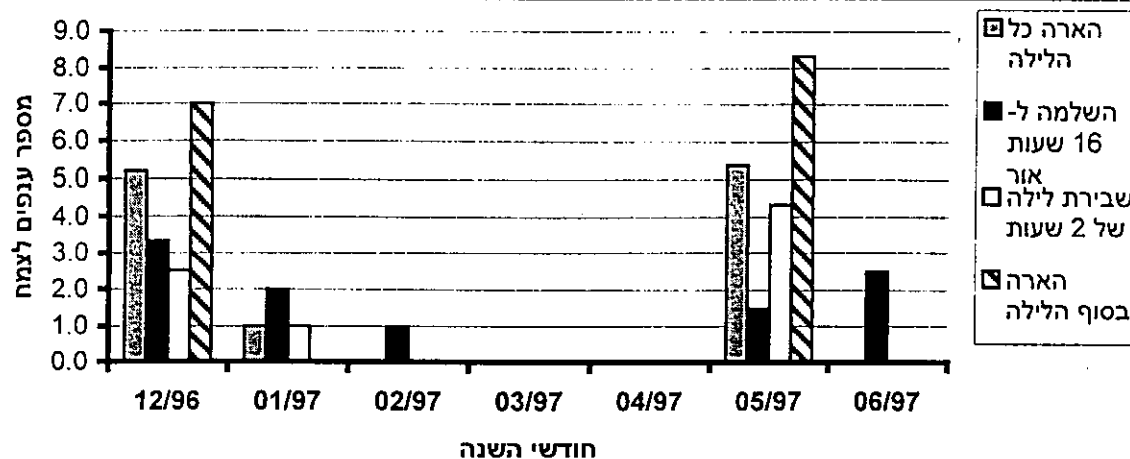
1. מטרות המחקר: מציאת הצורך האופטימלי של משטר הארה בלילה וסוג הנורה (ספקטרום האור) שישפיעו באופן היעיל ביותר על התפתחות ענפי הפריחה והפרחים בגידולים שהם מטבעם צמחי יום-ארוך והמשמשים במסחר כפרחי קטיף.
  2. עיקרי הניסויים והתוצאות: הארה בלילה ליצירת תנאי יום-ארוך שניתנה כהארכת-יום, שבירת לילה או הארה בסוף הלילה, מנורות להט או פלורוסנט עם או בלי תוספת של אור כחול, נבחנה בגידולים הבאים: היפריקום, טרכליום, סולידגו, לימוניים ואסטר. לכל אחד מהם נימצא הטיפול היעיל ביותר במונחים של יבול, איכות, מועד קטיף וניצול אנרגית החשמל.
  3. המסקנות המדעיות והישומיות: משטרים של שבירת לילה או הארה בסוף הלילה יעילים ממשטרי הארכת-יום. אחת האפשרויות היא שהם מהווים אות לתחילת היום בעוד סוף היום הטבעי מנותב לסוף תקופת היום הארוך ועוצמת קרינת השמש בתקופה זו מגבירה את הגירוי הפוטופריודי. המסקנות הישומיות נבעו ישירות מיישום הטיפולים האופטימליים בשטחים המסחריים. השימוש בתוספת אור כחול דורשת לימוד נוסף לאיתור השילוב האופטימלי בין נורה ומועד הארה. גם פיתוח הרעיון של שימוש באור כאות לתחילת יום דורש לימוד ופיתוח בכון של ביטול התלות בקרינת השמש.
  4. הבעיות שנותרו לפתרון: מציאת הקשר בין האור הכחול לבין האור האדום או האדום-רחוק ביצירת הגירוי הפוטופריודי. במישור המדעי והישומי. לימוד ופיתוח מעשי של האפשרות להשתמש באור כאות לתחילת היום במטרה ליעל את השימוש האור ולבטל את התלות באור השמש.
  5. הפצה ויישום הידע: הידע פורסם ברובו בעיתון מגדלי הפרחים, הועבר למדריכי הפרחים במסגרת ימי עיון ויישומו בשטחי הגידול לווה על-ידינו.
- ישראלה ולרשטיין, דיאנה ליבמן, בוריס מצניק ולוי אפגין. 1996. טרכליום בלו-שיין: באיזו נורה להאיר ומהו משטר התאורה המתאים. דפי מידע, ינואר, 51-52.
- ישראלה ולרשטיין, דיאנה ליבמן, בוריס מצניק ולוי אפגין. 1996. התלות בין התגובה של היפריקום למשטר תאורה של יום ארוך ובין עונת הצימוח. דפי מידע, פברואר, 71-73.

- ישראלה ולרשטיין, יוסי בן-טל, דיאנה ליבמן, בוריס מצניק ולוי אפגין. 1996. איך להקדים פריחה של היפריקום אקסלנט פלייר בתנאי חממה בחורף. דפי מידע, יולי, 66-67.
- ישראלה ולרשטיין, יוסי בן-טל, דיאנה ליבמן, בוריס מצניק, לוי אפגין ואילת לביא. 1996. האפשרות להשפיע על התפתחות ענפי פריחה בלימוניום טול-אמילי באמצעות טמפרטורות, אורך-יום, ספקטרום אור בהארת לילה וטיפול באתרל. דפי מידע, אוקטובר, 66-70.
- ישראלה ולרשטיין, יוסי בן-טל, דיאנה ליבמן, בוריס מצניק ולוי אפגין. 1997. השפעת ספקטרום האור ומשטר התאורה על מועד ואחידות הפריחה של טרכליום בלו שיין. דפי מידע, פברואר, 69-73.
- ישראלה ולרשטיין, יוסי-בן-טל, דיאנה ליבמן, בוריס מצניק ולוי אפגין. 1999. תנאי יום-ארוך אופטימליים לסולידגו מהזן טרה. דפי מידע, אפריל, 58-61..
- ישראלה ולרשטיין, יוסי בן-טל, דיאנה ליבמן, בוריס מצניק ולוי אפגין. 1999. השפעת משטרי הארה שונים על פריחה וקטיף היפריקום אקסלנט פלייר, בחורף ובאביב. דפי מידע, פברואר, 62-65..

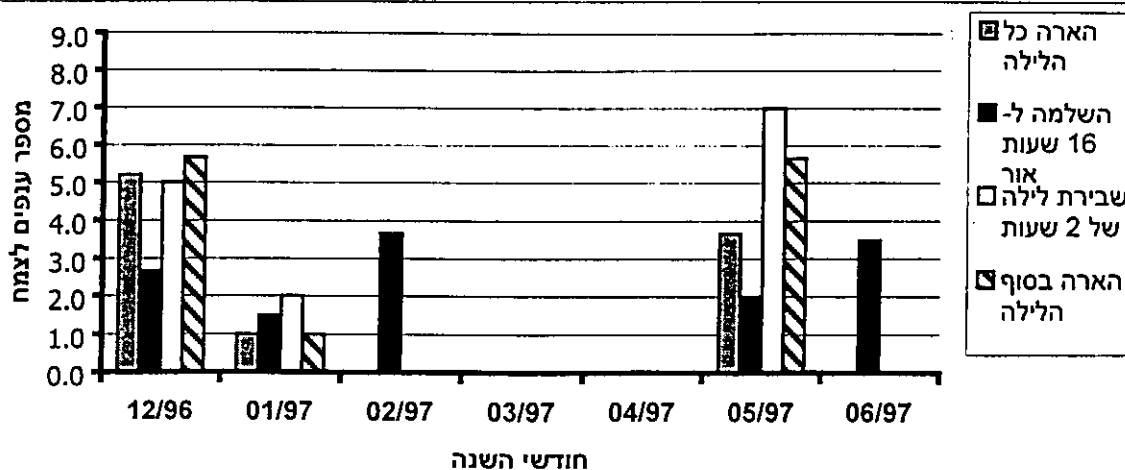
איור 1. השפעת משטרי הארה בנורות להט ופלורוסנט על מספר הענפים שנקטפו מצמח היפריקום "אקסלנט פלייר" בשני גלי קטיף, בחממה, בחורף 1996-7.



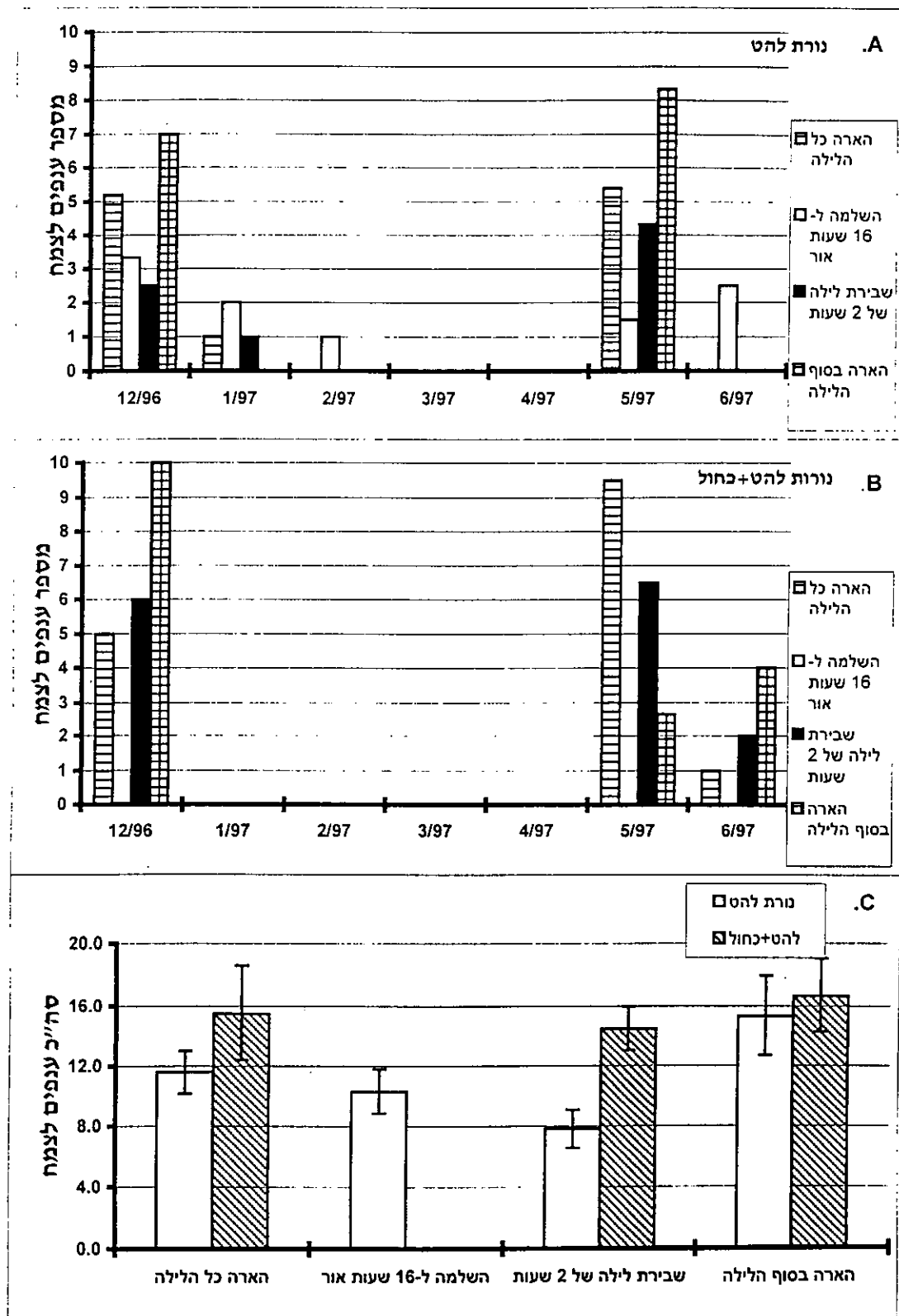
איור 2. השפעת משטרי הארה בנורת להט על התפלגות הקטיף של ענפי היפריקום "אקסלנט פלייר" בין החודשים דצמבר 1996 ויוני 1997, בחממה.



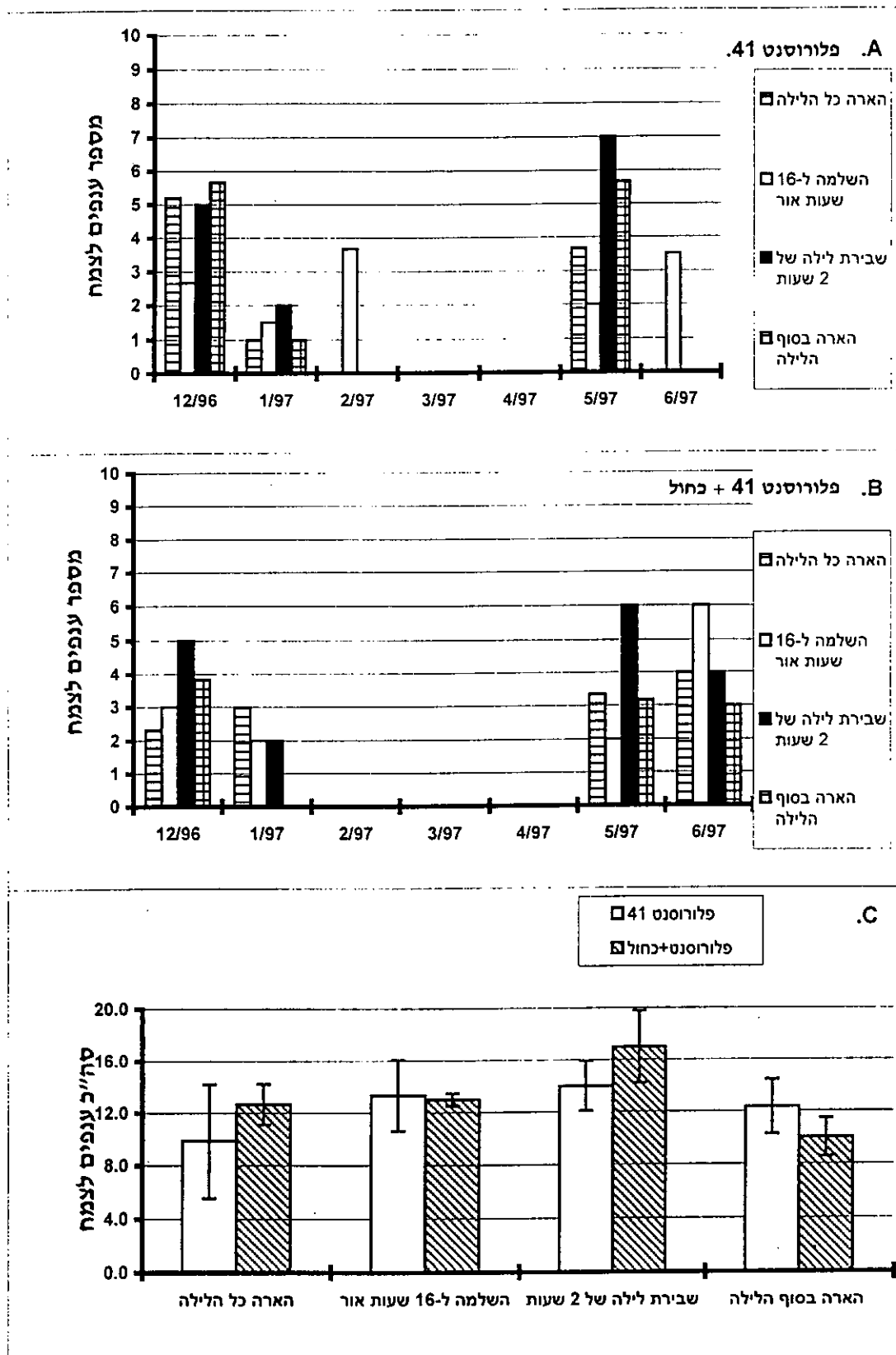
איור 3. השפעת משטרי הארה בנורת פלורוסנט 41 על התפלגות הקטיף של ענפי היפריקום "אקסלנט פלייר" בין החודשים דצמבר 1996 ויוני 1997, בחממה.



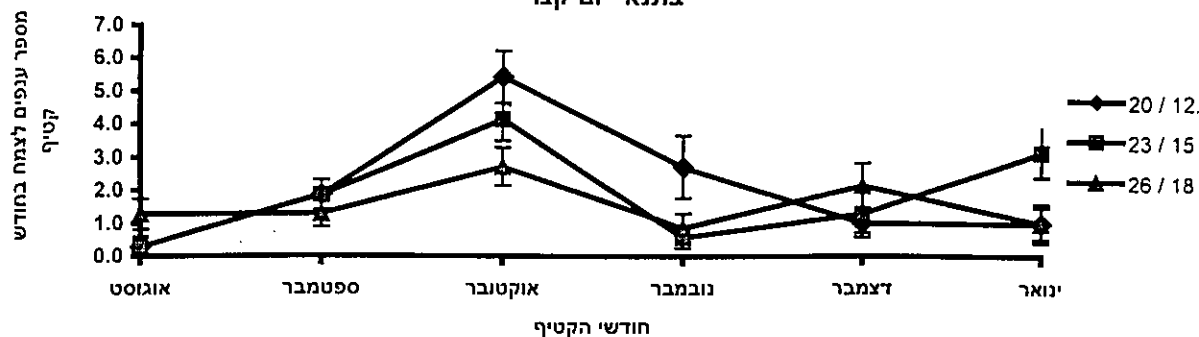
איור 4. השפעת ספקטרום האור של נורות להט עם או בלי תוספת כחול ומשטר התאורה על פיזור הקטיף וסה"כ מספר הענפים לצמח הפריקום אקסלנט פלייר בחממה.



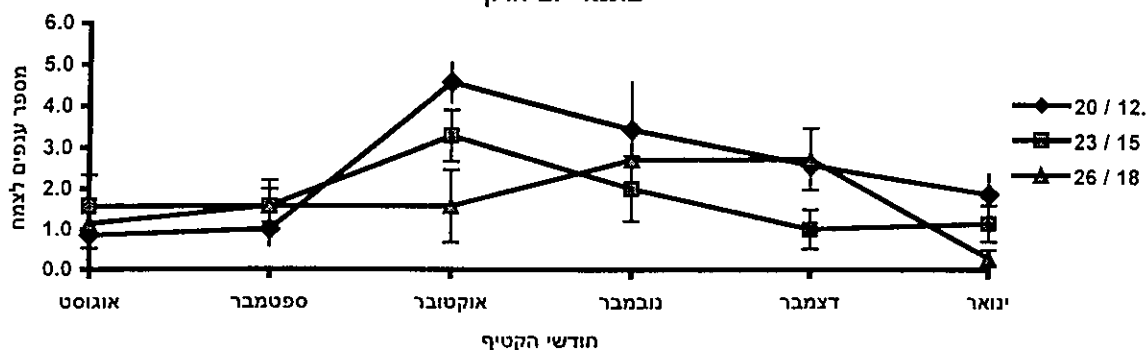
איור 5. השפעת ספקטרום האור של נורות פלורוסנט 41 עם או בלי תוספת כחול ומשטר התאורה על פיזור הקטיף וסה"כ מספר הענפים לצמח הפריקום אקסלנט פלייר בחממה.



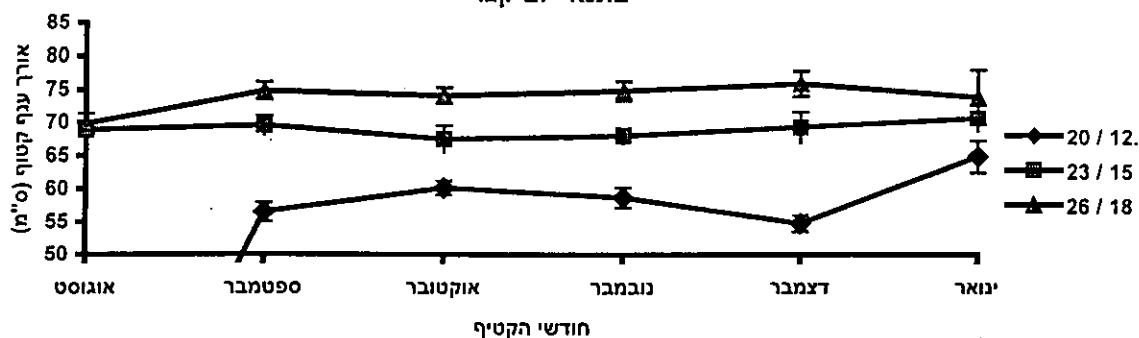
איור 6. השפעת טמפרטורות הגידול על יצור ענפי קטיף של לימוניום טול אמילי בתנאי יום-קצר



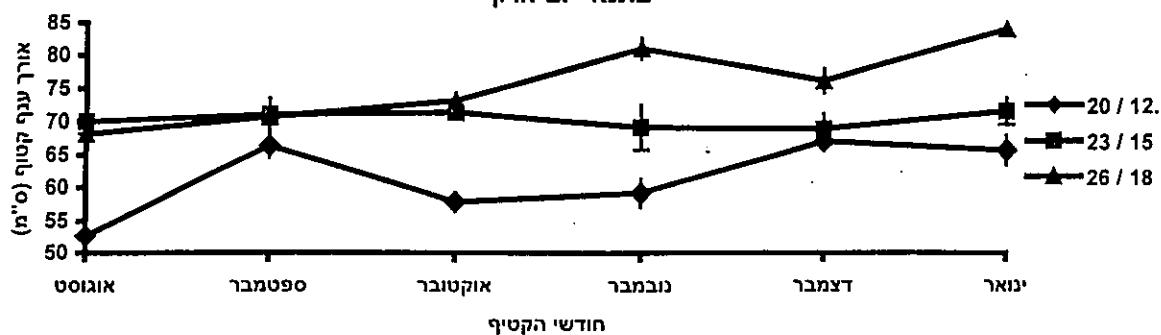
איור 7. השפעת טמפרטורות הגידול על יצור ענפי קטיף של לימוניום טול אמילי בתנאי יום-ארוך



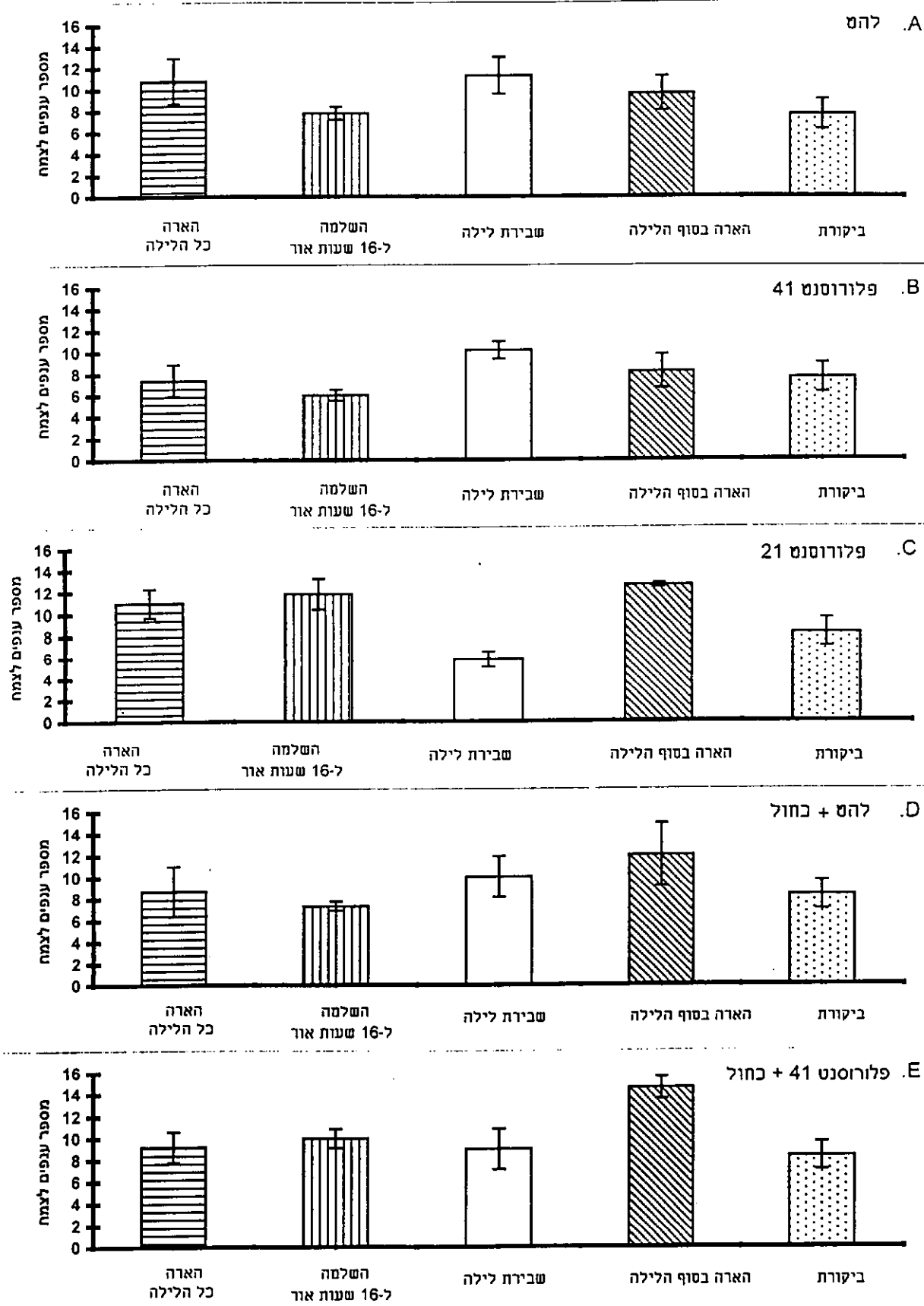
איור 8. השפעת טמפרטורות הגידול על אורך הענף של לימוניום טול אמילי בתנאי יום-קצר



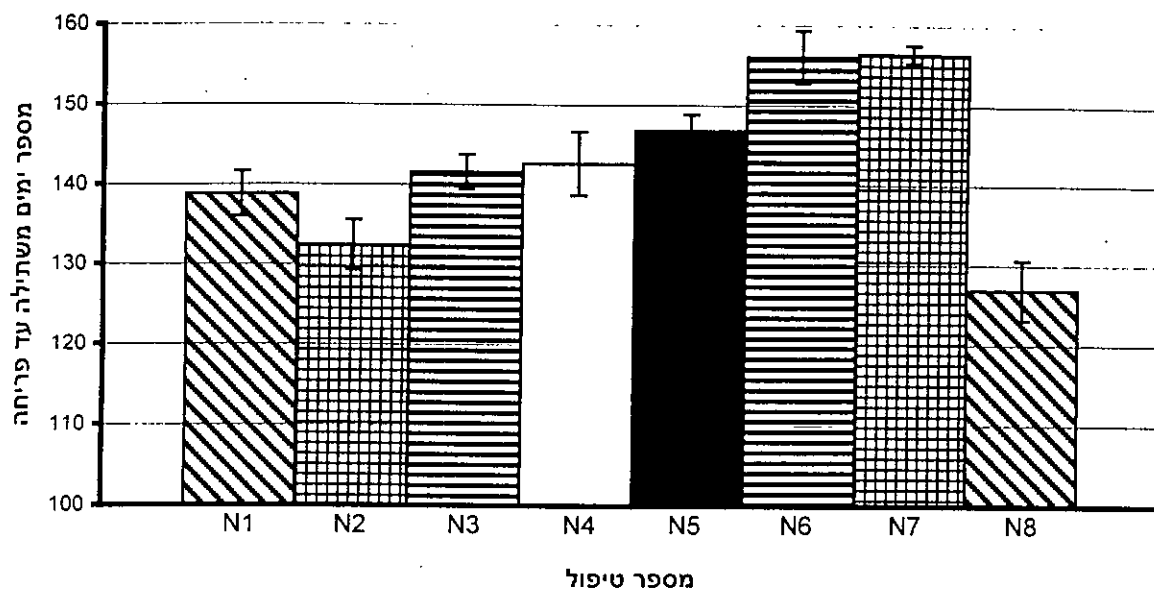
איור 9. השפעת טמפרטורות הגידול על אורך הענף של לימוניום טול אמילי בתנאי יום-ארוך



איור 10. השפעת משטרי תאורה וספקטרום האור על מספר הענפים שנקטפו מצמח לימוניום טול אמילי בתקופה שבין אוקטובר למאי

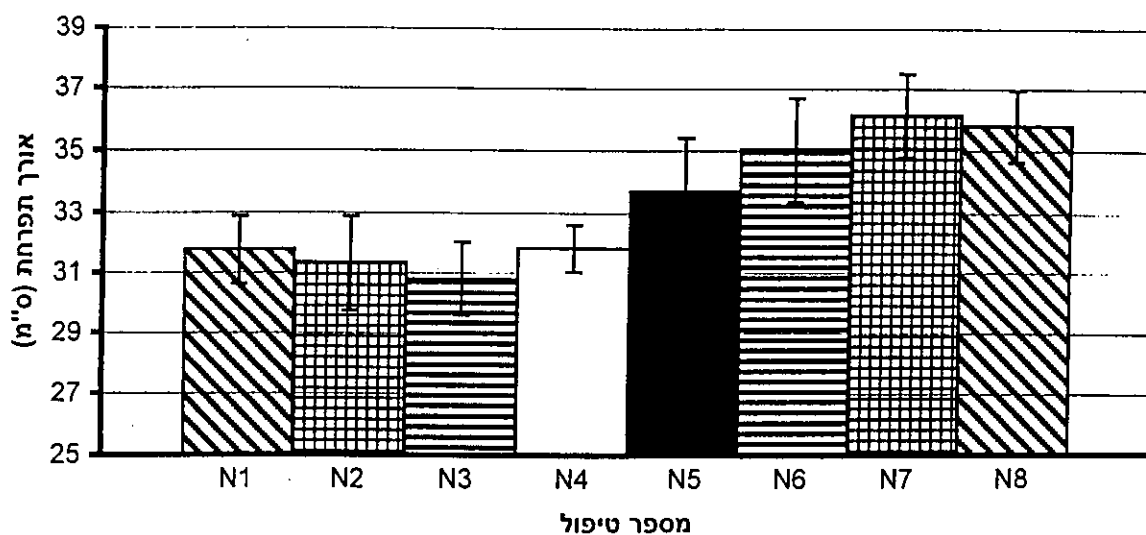


■ N1 0.5μE	להט שבירת-לילה 2 שעות	■ N2 1.0μE	להט שבירת-לילה 2 שעות
■ N3 0.5μE	להט שבירת-לילה 4 שעות	□ N4 0.5μE	להט הארכת-יום ל-16 שעות
■ N5 1.0μE	להט הארכת-יום ל-16 שעות	■ N6 0.5μE	פלורוסנט שבירת-לילה 4 שעות
■ N7 1.0μE	פלורוסנט שבירת-לילה 2 שעות	■ N8 0.5μE	פלורוסנט שבירת-לילה 2 שעות



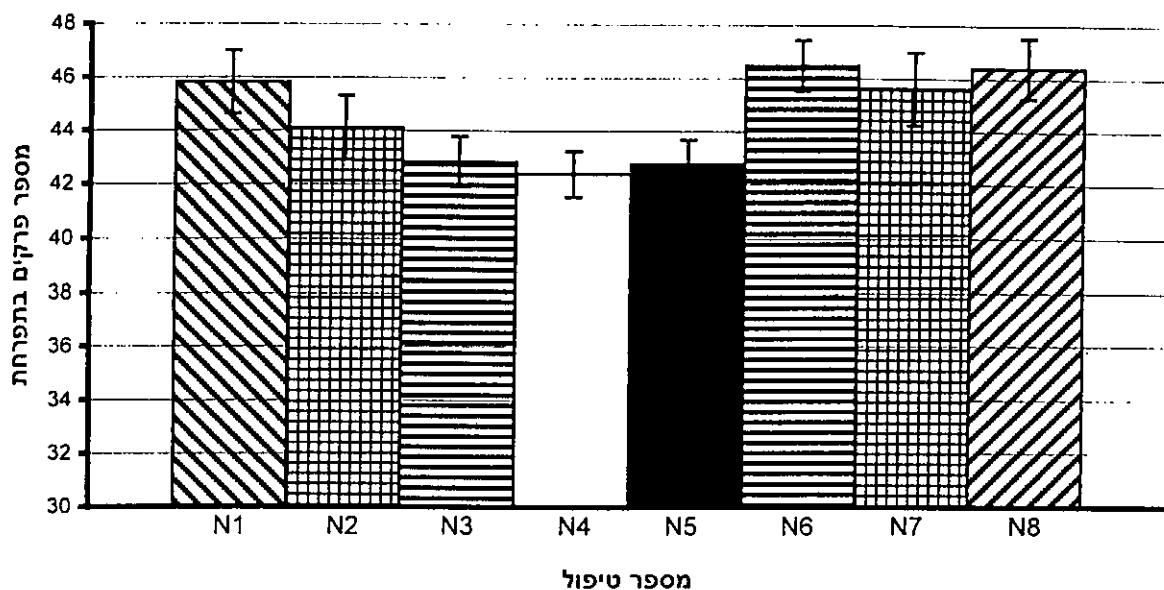
איור 11. השפעת משטרי תאורה שונים על מספר הימים משתילה עד פריחה וקטיף של סולידגו מהזן טרה, בחממה בחורף 1997-8.

■ N1 0.5μE	להט שבירת-לילה 2 שעות	■ N2 1.0μE	להט שבירת-לילה 2 שעות
■ N3 0.5μE	להט שבירת-לילה 4 שעות	□ N4 0.5μE	להט הארכת-יום ל-16 שעות
■ N5 1.0μE	להט הארכת-יום ל-16 שעות	■ N6 0.5μE	פלורוסנט שבירת-לילה 4 שעות
■ N7 1.0μE	פלורוסנט שבירת-לילה 2 שעות	■ N8 0.5μE	פלורוסנט שבירת-לילה 2 שעות



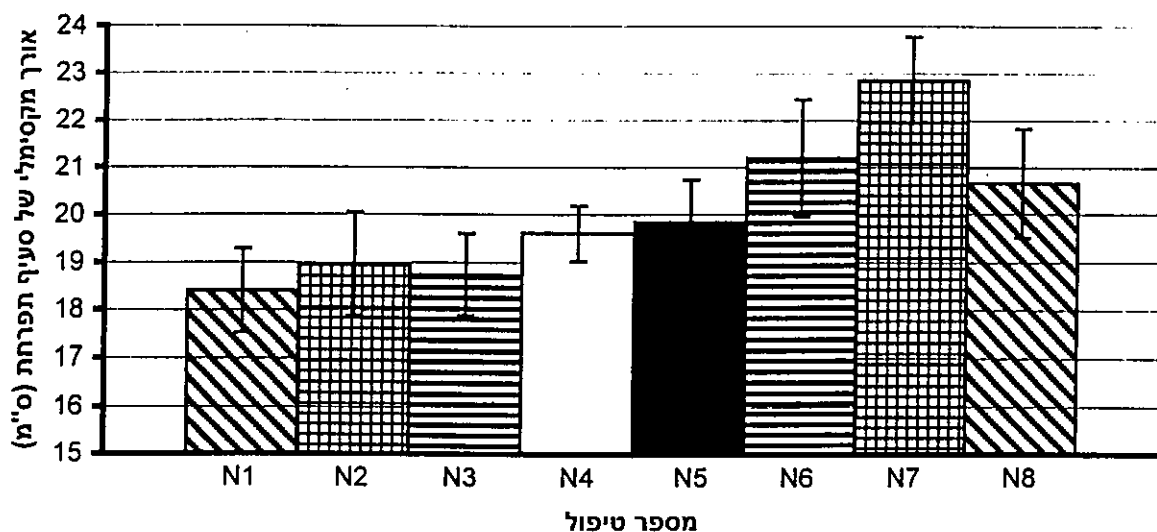
איור 12. השפעת משטרי תאורה שונים על אורך התפוחת על ענף קטוף של סולידגו מהזן טרה, בחממה בחורף 1997-8.

N1	0.5 $\mu$ E	להט שבירת-לילה 2 שעות	N2	1.0 $\mu$ E	להט שבירת-לילה 2 שעות
N3	0.5 $\mu$ E	להט שבירת-לילה 4 שעות	N4	0.5 $\mu$ E	להט הארכת-יום ל-16 שעות
N5	1.0 $\mu$ E	להט הארכת-יום ל-16 שעות	N6	0.5 $\mu$ E	פלורוסנט שבירת-לילה 4 שעות
N7	1.0 $\mu$ E	פלורוסנט שבירת-לילה 2 שעות	N8	0.5 $\mu$ E	פלורוסנט שבירת-לילה 2 שעות



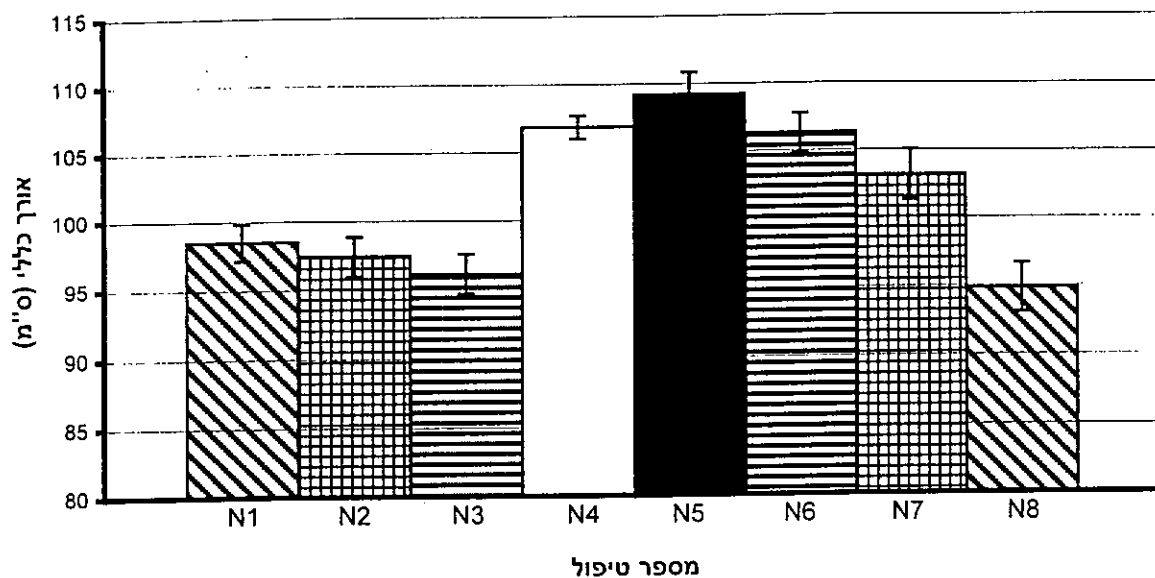
איור 13. השפעת משטרי תאורה שונים על מספר פרקים בתפרחת על ענף קטוף של סולידגו מהזן טרה, בחממה בחורף 1997-8.

N1	0.5 $\mu$ E	להט שבירת-לילה 2 שעות	N2	1.0 $\mu$ E	להט שבירת-לילה 2 שעות
N3	0.5 $\mu$ E	להט שבירת-לילה 4 שעות	N4	0.5 $\mu$ E	להט הארכת-יום ל-16 שעות
N5	1.0 $\mu$ E	להט הארכת-יום ל-16 שעות	N6	0.5 $\mu$ E	פלורוסנט שבירת-לילה 4 שעות
N7	1.0 $\mu$ E	פלורוסנט שבירת-לילה 2 שעות	N8	0.5 $\mu$ E	פלורוסנט שבירת-לילה 2 שעות



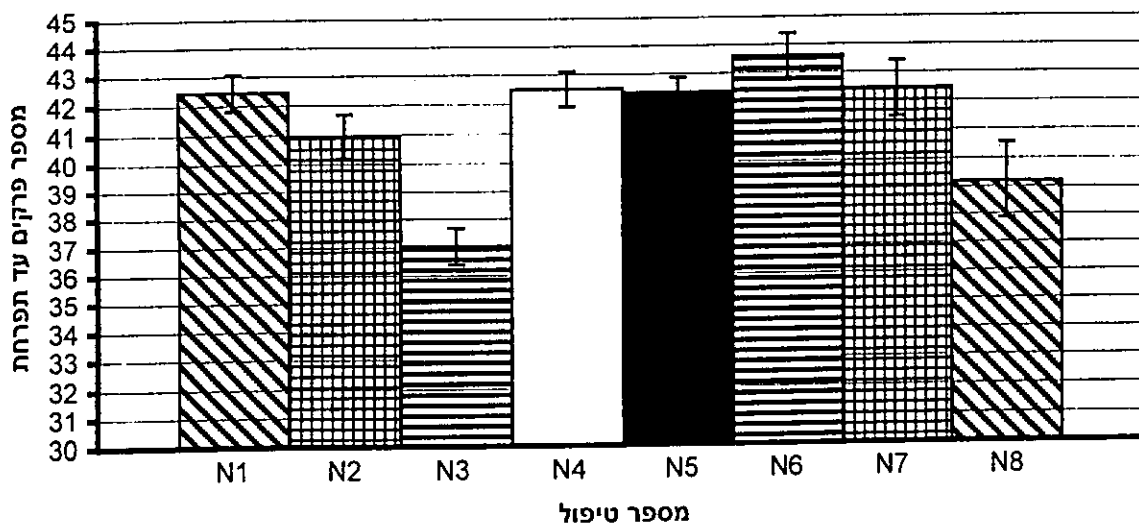
איור 14. השפעת משטרי תאורה שונים על אורך מקסימלי של סעיף תפרחת על ענף קטוף של סולידגו מהזן טרה, בחממה בחורף 1997-8.

N1	0.5μE	להט שבירת-לילה 2 שעות	N2	1.0μE	להט שבירת-לילה 2 שעות
N3	0.5μE	להט שבירת-לילה 4 שעות	N4	0.5μE	להט הארכת-יום ל-16 שעות
N5	1.0μE	להט הארכת-יום ל-16 שעות	N6	0.5μE	פלורוסנט שבירת-לילה 4 שעות
N7	1.0μE	פלורוסנט שבירת-לילה 2 שעות	N8	0.5μE	פלורוסנט שבירת-לילה 2 שעות



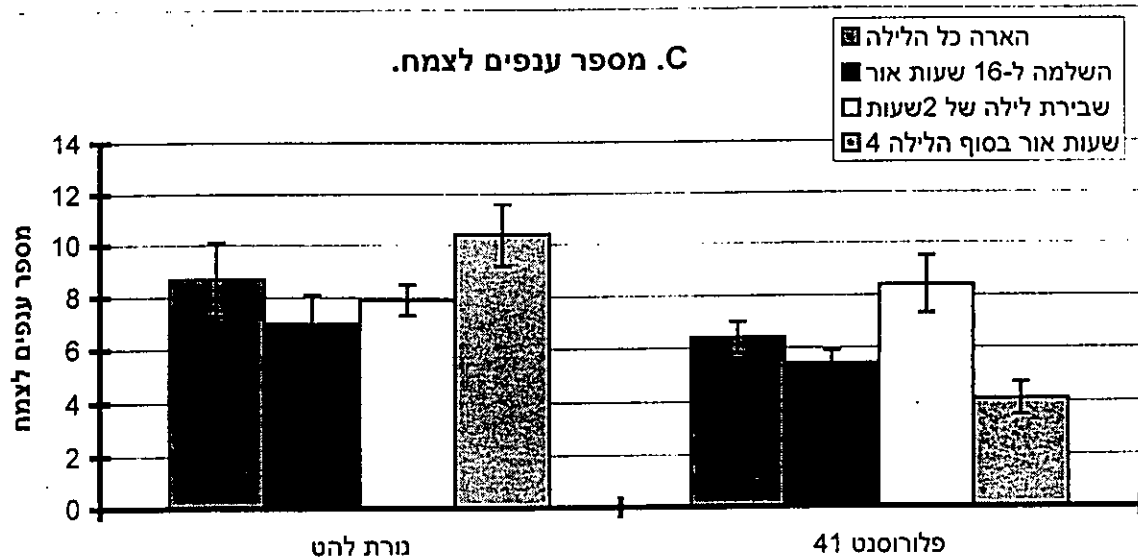
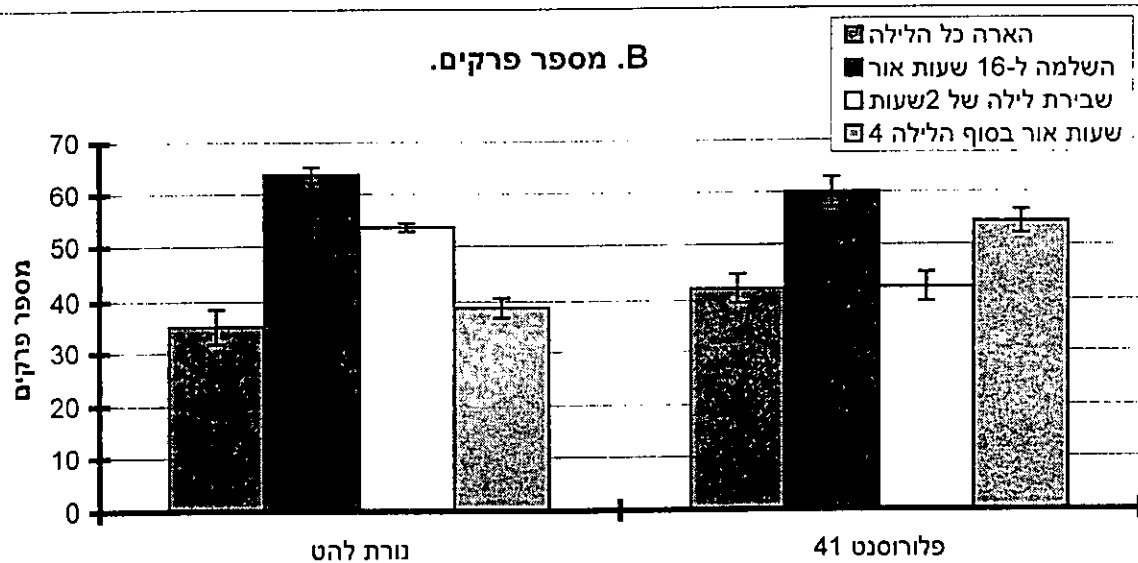
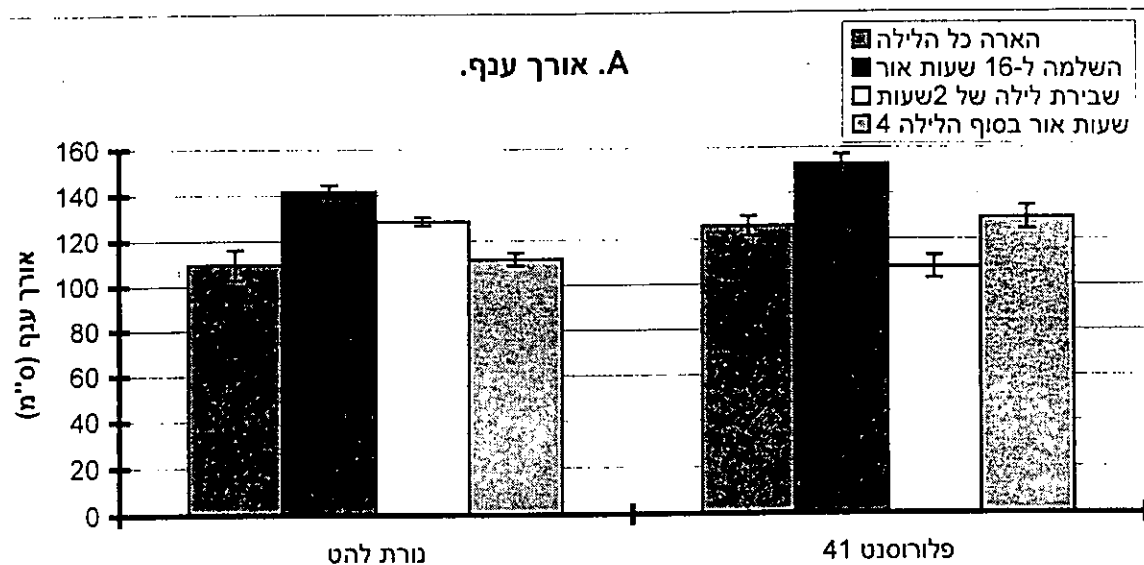
איור 15. השפעת משטרי תאורה שונים על אורך ענף קטוף של סולידגו מהזן טרה, בחממה בחורף 1997-8.

N1	0.5μE	להט שבירת-לילה 2 שעות	N2	1.0μE	להט שבירת-לילה 2 שעות
N3	0.5μE	להט שבירת-לילה 4 שעות	N4	0.5μE	להט הארכת-יום ל-16 שעות
N5	1.0μE	להט הארכת-יום ל-16 שעות	N6	0.5μE	פלורוסנט שבירת-לילה 4 שעות
N7	1.0μE	פלורוסנט שבירת-לילה 2 שעות	N8	0.5μE	פלורוסנט שבירת-לילה 2 שעות

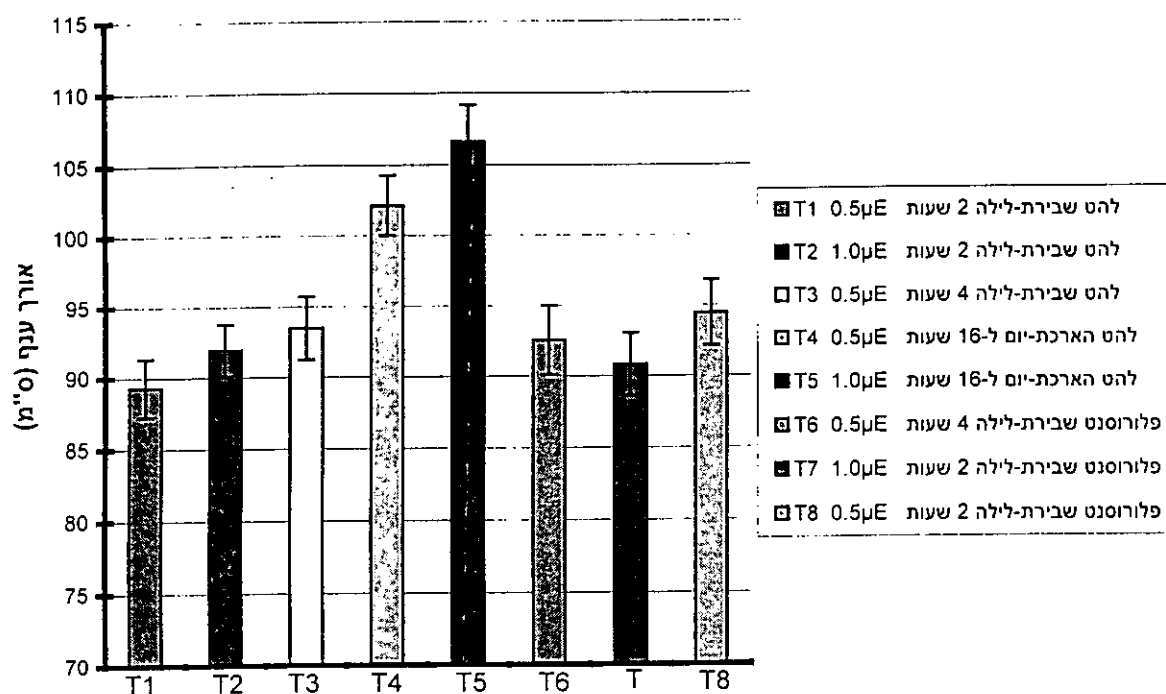


איור 16. השפעת משטרי תאורה שונים על מספר פרקים מבסיס הענף ועד התפוח על ענף קטוף של סולידגו מהזן טרה, בחממה בחורף 1997-8.

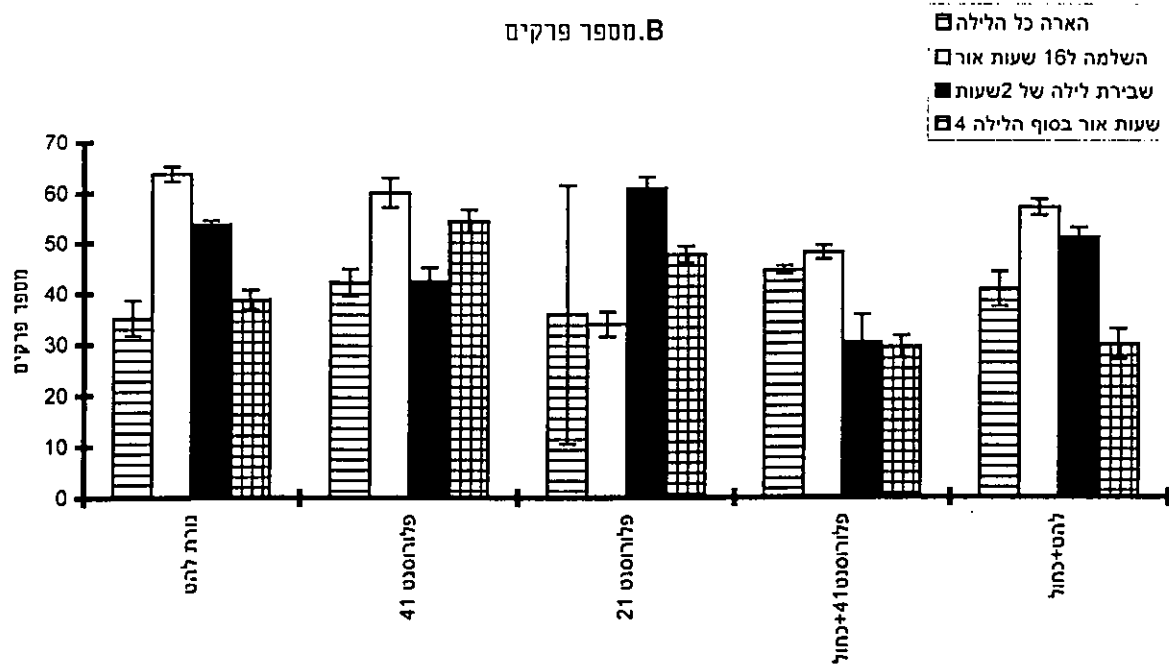
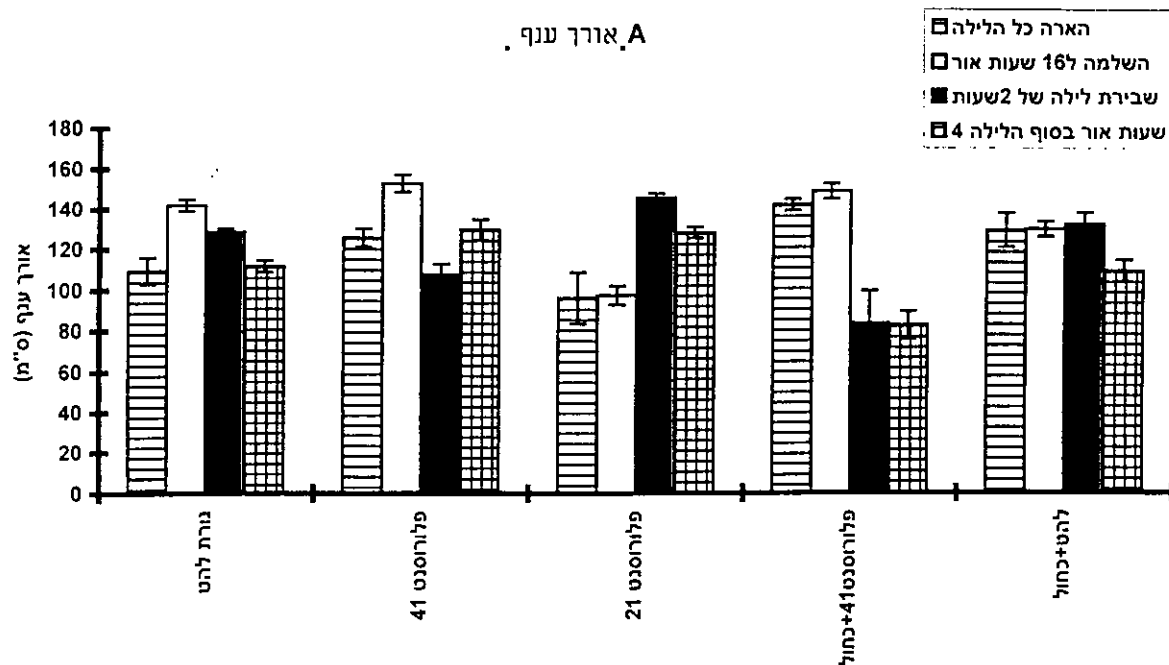
איור 17. השפעת ספקטרום אור ומשטרי תאורה על צימוח ענף טרכליום בחממה.



**איור 18. אורך ענף קטוף של טרכליום בלו-שיין שגדל בטפולי תאורה  
שונים בחממה, 1997-8**

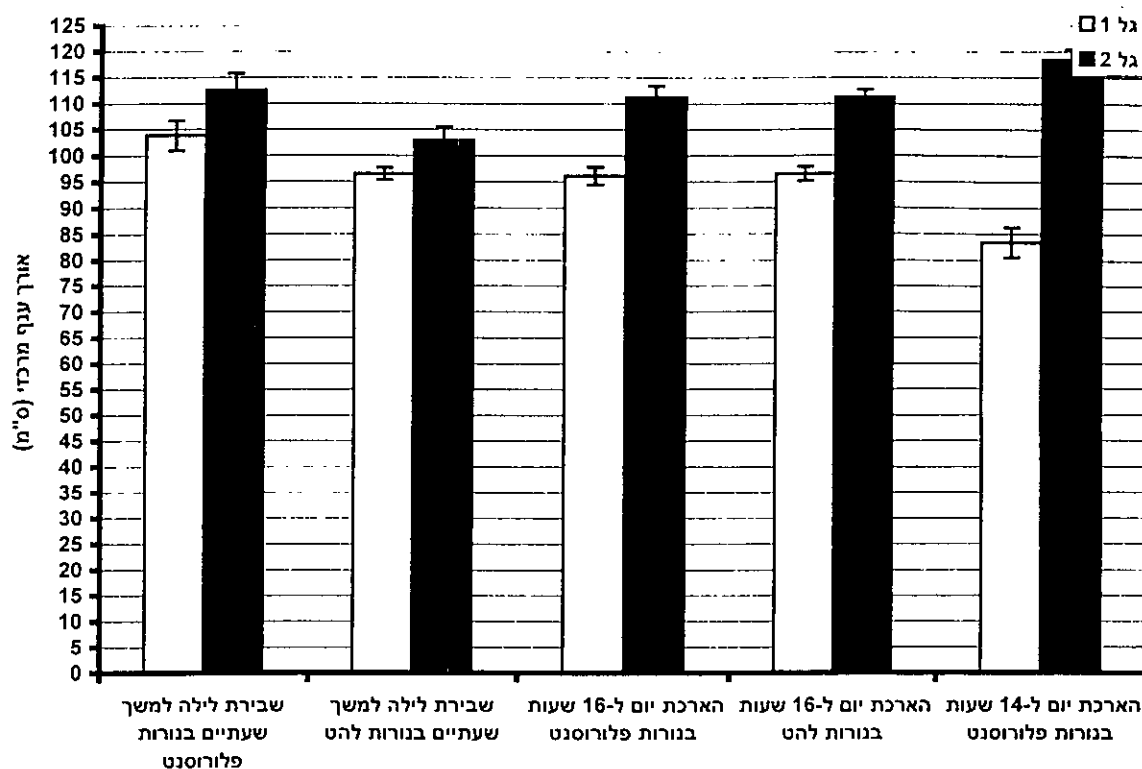


איור 19. השפעת ספקטרום אור ומשטרי תאורה על צימוח ענף טרכליום בחממה.



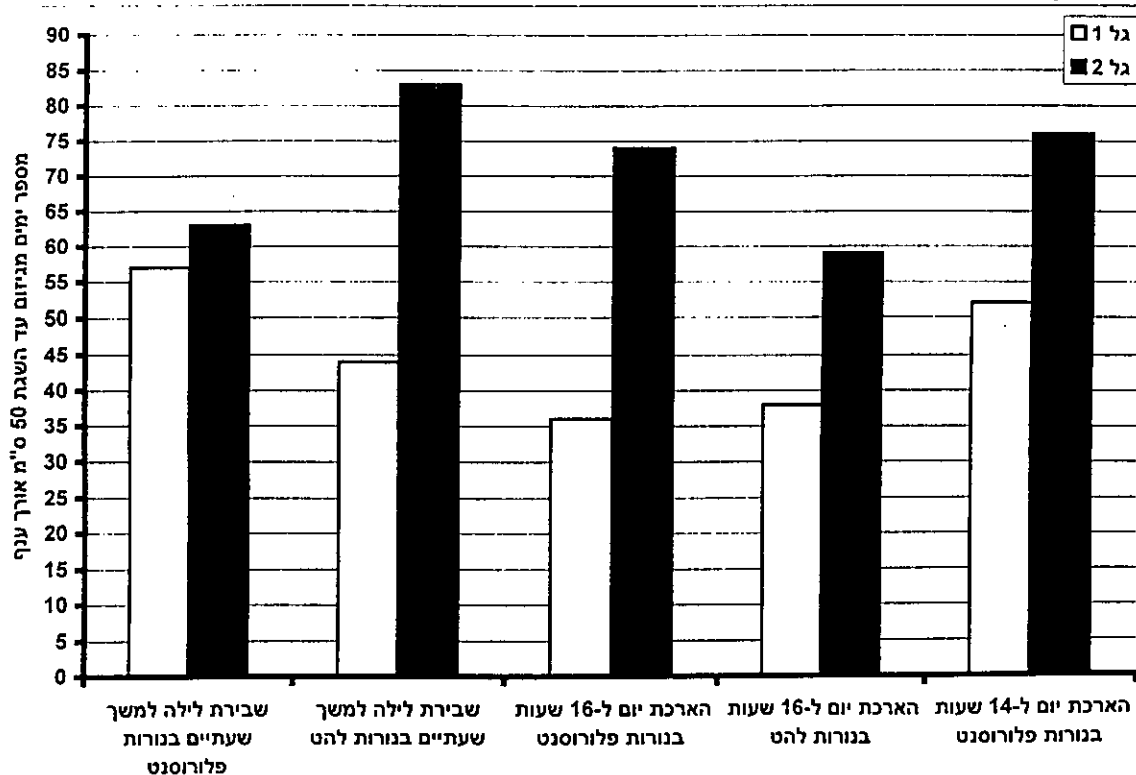
## איור 20

אורך ענף מרכזי בזמן הקטיפה בעקבות טפולי יום-ארוך שונים שניתנו בתקופת התפתחות ענף התפרחת, בשני מחזורי גידול עוקבים, בחממה.



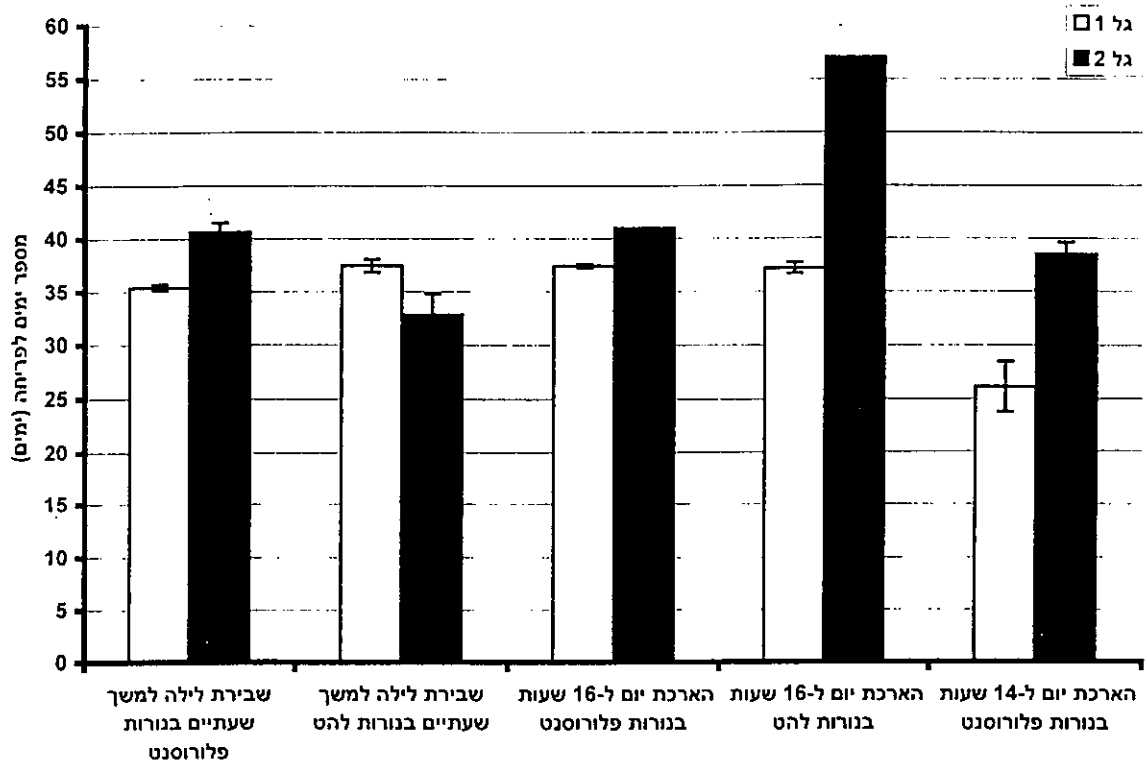
## איור 21

פרק הזמן שנדרש להתפתחות ענף התפרחת בטפולים שונים שכוונו ליצירת תנאי יום ארוך, בשני מחזורי גידול עוקבים, בחממה.



איור 22

פרק הזמן שנדרש ליצירת פרחים ופריחה בתנאי יום קצר בחורף ובאביב בעקבות טפולי יום ארוך שונים שניתנו לצורך התפתחות ענף התפרחת, בשני מחזורי גידול עוקבים, בחממה.



איור 23

משך שני מחזורי גידול עוקבים שהתחילו עם התפתחות הענף בטפולי יום ארוך שונים ונסתימו בהתפתחות פרחים ופריחה בתנאי יום-טבעי. הניסוי נערך בחממה.

