

**בחינת השימוש בנורות LED כתוספת תאורה להארכת היום וכסיגנל לתהליכים
פוטומורטוגנטיים בצמחי נוי**
256091915

דוח מסכם

Michal Shamir vhshamir@agri.gov.il	מכון וולקני, תקן	מיכל אורן שמיר
David Weiss weiss@agri.huji.ac.il	הפקולטה לחקלאות	דוד וייס
Ada Nissim-Levi ada@agri.gov.il	מכון וולקני, תקן	עדה נסים-לוי
Rina Ovadia Rinat@agri.gov.il	מכון וולקני, תקן	רינת עובדיה
Maayan Kitron maayank@arava.co.il	מו"פ ערבה תיכונה	מעייף קיטרון
Irit Dori iritd@mopdarom.org.il	מו"פ דרום	עירית דורי
Yair Nishri yairn@shaham.moag.gov.il	שה"ם, תקן	יאיר נשרי
	יועץ בנושא נורות לד	רון זליגמן

תקציר

הצגת הבעיה: בחנו השפעת תאורה מלאכותית תוך שימוש בגופי תאורה מבוססי לד על גידול צמחי נוי. **מטרות המחקר:** א. ביסוס התוצאות הראשוניות על השפעת הארה בלדים על הסיגנל לפריחה ב צמחי טרכליום, גיפסנית וחרצית. ב. בחינת השפעת הארה רציפה של פלורסצנט, לדים ולהט ביחד להארה רציפה על הסיגנל לפריחה בצמחים אלו. ג. ביסוס התוצאות על השפעת הארה למשך הערב-לילה-בוקר על פוטומורפוגנזה של חרציות. ד. בחינת השפעה של הארה מצידי הצמח על הסתעפות חרציות והדסים. ה. בחינת השפעת הארה בלדים כחולים ביחס לאדומים על יעילות הסיגנל לפריחה של חרציות. **שיטות עבודה:** א. מעקב על מדדי פריחה של טרכליום, גיפסנית וחרצית תחת נורות לד, פלורסצנט ולהט. ב. מעקב אחר השפעת הארה רציפה ביחס להארה מחזורית של לדים, לצמחי טרכליום, גיפסנית וחרצית. ג. בחינת השפעת הארה של נורות לד אדומות וכחולות למשך הלילה על חרציות. ד. בחינת השפעת הארה מצידי הצמח על חרציות והדס מצוי. ה. בחינת השפעת לדים אדומים וכחולים על מניעת פריחה של חרציות. **תוצאות עיקריות:** א. בטרכליום נורות לד אדומות (660nm) יעילות כסיגנל לפריחה, אך צריך לצופפם יותר מנורות הפלורסצנט. ב. בגיפסנית יש צורך בלדים עם הארה באור אדום +אדום רחוק לקבלת סיגנל איכותי לפריחה. ג. הארה מחזורית פחות יעילה מהארה רציפה לטרכליום ולגיפסנית. ד. לד אדום יעיל באותה מידה כמו פלורסצנט, ושניהם יעילים גם בהארה מחזורית לעיכוב פריחת חרציות. ה. אין השפעה של הארה בלדים כחולים ואדומים על פוטומורפוגנזה של חרציות. ו. ניתן להגביר צימוח הדסים על ידי תוספת תאורת לד לבן עילי, ולהגביר הסתעפות על ידי הארה צידית של לדים לבנים. ז. לד כחול יעיל למניעת פריחת חרצית, אך רק אם הארה ממושכת מאוד, ביחס ללד אדום.

מעריכים מומלצים לבדיקת הדוח

1. סימה קגן 2. יעקוב בן יעקוב 3. צחי ארזי

הצהרת החוקר הראשי הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים. ניסויים מהווים המלצות לחקלאים:
לא

Yair Nishri

מבוא

לצמחים ישנה יכולת הסתגלות לתנאי אור שונים. בעזרת פוטורצפטורים שונים הם חשים בשינויים במשך, כמות ואיכות האור ומתאימים את התפתחותם לתנאים אלו. בליעת אורכי הגל הספציפיים על ידי הפוטורצפטורים היא שלב ראשון בשרשרת ארוכה של אירועים המתרחשים בצמח והמובילים לשינויים באופי הפריחה והצימוח שלו. הפוטורצפטורים בולעים אור גם בתחומים ובעוצמות שאינם רלוונטיים לפוטוסינתזה אך משפיעים על התפתחות הצמח (פוטומופוגנזה) משלב נביטת הזרעים ועד לפריחה ויצירת זרעים. הרגישות של צמחים לאיכות אור ולעוצמתו מנוצלת לעיתים בגידול מסחרי לבקרת הפריחה ולקבלת מוצרים איכותיים, המותאמים לדרישות השוק.

במחקר הנוכחי אנו מציעים לבחון השפעת תאורה מלאכותית תוך שימוש בגופי תאורה מבוססי LED (light emitting diodes) על גידול צמחי נוי. ה-LED היא דיודה פולטת אור, כאשר ספקטרום האור נקבע בהתאם לתרכובת המוליך למחצה. ספקטרום האור הנפלט על ידי ה-LED הוא צר, ולמעשה ניתן להגדירו כאור מונוכרומטי. בניגוד לנורות הלהט הנפוצות ביותר בשימוש חקלאי, ולנורות הפלואורסצנט שגם הן בשימוש חקלאי, ניתן בתאורת LED לקבוע את ספקטרום האור הנפלט ולהתאימו לצרכים של גידול מסוים.

בחינת השימוש בנורות ה-LED בעבודה זו תעשה לשתי מטרות עיקריות:

א. כתוספת תאורה להארכת היום, כסיגנל לפריחה או למניעת פריחה. הנורות הנפוצות והזולות ביותר, נורות הלהט, יצאו מכלל שימוש בחקלאות בגלל פגיעתן באיכות הסביבה ואיסור היבוא שלהן. שני התחליפים לנורות הלהט הן נורות פלואורסצנט (Compact fluorescent lamp (CFL)) ונורות LED. בגלל איסור השימוש בנורות להט, ישנה דחיפות וחשיבות עליונה בבחינת החלופות לנורות אלו. היתרון בנורות ה-LED הוא בכך שניתן לקבוע את אורך הגל הספציפי של הנורה. ידוע, שצמחים שונים מגיבים אחרת לאיכות האור הניתן כתוספת לאורך יום. לדוגמא צמחי גיפסנית לא הגיבו בצורה מספקת לתוספת תאורת CFL.

ב. לשינוי ספקטרום האור המגיע לצמחים, על מנת להשפיע על איכות הצימוח והפריחה. בעבודות קודמות שלנו הראינו שניתן להשפיע באופן משמעותי על איכות ויבול צמחי נוי על ידי שינוי ספקטרום האור המגיע לצמחים דרך רשתות צל צבעוניות. בעבודה זו אנחנו מציעים לבחון השפעה של תוספת תאורה באורכי גל מסוימים על ידי נורות LED בשעות בהן עוצמת אור השמש נמוכה (בזמן השקיעה או הזריחה ובשעות הלילה). בעזרת נורות LED ניתן לשנות את היחס בין אור אדום לאדום-רחוק בשעות השקיעה (end of day effect) ולהשפיע על ידי כך על מידת התארכות הפרקים. בנוסף, נבחן תאורה בלילה, כמו לדוגמא תוספת תאורה כחולה בשעות הלילה. אור כחול הוא לעיתים סיגנל לצימוח מנונס. יתכן שתאורה כחולה בלילה תגרום לצימוח מנונס, מבלי לעכב את קצב הצימוח במשך שעות היום. במקרה כזה יהיה יתרון מובהק לנורות LED על רשתות צל צבעוניות בכך שניתן יהיה לקבל אפקטים פוטומופוגנטיים מבלי להגביל את קצב הפוטוסינתזה במשך שעות היום. בדומה לרשתות, הרעיון במניפולציה של האור להשפעה על צימוח, הוא ידידותי לסביבה.

מטרות המחקר

מטרת המחקר היא בחינת השפעת תאורה בנורות LED על פריחה ועיצוב של צמחי נוי שונים, על מנת לשפר את איכותם, בעלות נמוכה, במינימום שימוש בכימיקלים ובתנאים ידידותיים לסביבה. שתי המטרות העיקריות של הצעה הן: 1. השוואה בין נורות קיימות היום אצל מגדלים (להט ו/או פלורסצנט) לנורות LED, בהשפעתם על הסיגנל לאורך יום בפרחי קטיפ. 2. בחינת השפעת נורות LED המאירות באורכי גל שונים על צימוח, עיצוב ופריחה.

עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר

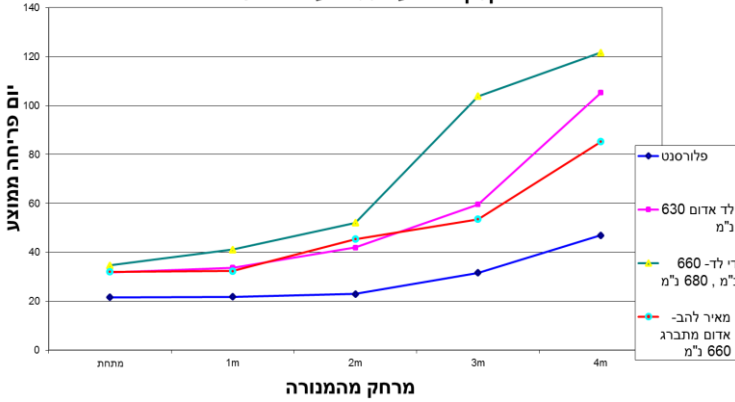
1. השוואה בין נורות להט ופלורסצנט לנורות לד, בהשפעתם על הסיגנל לאורך יום בפרחי קטיפ
כל הניסויים לבחינת השפעת נורות לד על הסיגנל לפריחה נעשו בבית צמיחה מחופה פוליאתילן בתחנת יאיר בערבה.

טרכליום

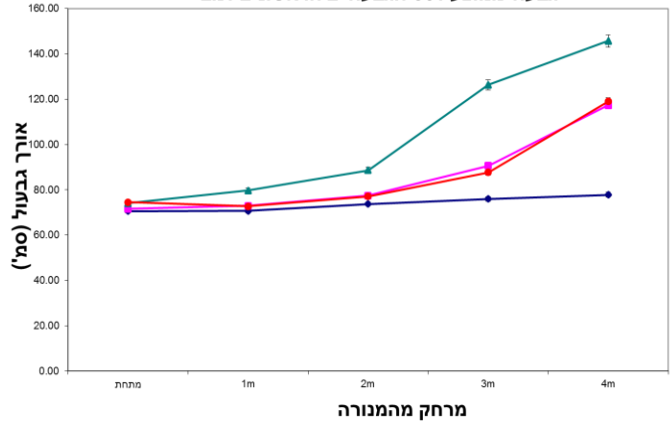
ידוע שנורות פלורסצנט אפקטיביות לקבלת סיגנל לפריחה בצמחי טרכליום, עם דרישה ליום ארוך. במחקר זה בחנו השפעת מספר סוגים מסחריים של נורות לד אדומות על הסיגנל לפריחה בטרכליום, בהשוואה לנורות הפלורסצנט. צמחי טרכליום נשתלו בעומד של 30 שתילים למטר, והנורות השונות הודלקו מעל לצמחים למשך 8 שעות באמצע הלילה. התאורה הוצבה במרכז הערוגה כאשר בכל ערוגה מצפון ודרום נותרו 5 מטר ללא תוספת הארה לבחינת השפעת התאורה במפל עוצמות האור על הסיגנל לפריחה. הצמחים לא נקטמו. תועדו מועדי הופעת התמיינות לפריחה תחת הנורות ולאורך המפל. בניסוי הקדמי שנעשה על צמחי טרכליום לבנים וכחולים, נראה שהנורות השפיעו באופן דומה לנורות הפלורסצנט על צמחים שגדלו מתחתם, אבל בניגוד לנורות הפלורסצנט שבהם הצמחים נראו במצב דומה לכל אורך המפל, היה הבדל משמעותי בין הצמחים במרחקים שונים מנורות הLED (תוצאות לא מוצגות).

חזרנו על ניסוי זה באוגוסט 2013 עם טרכליום לבן. הנורות שנבחנו היו: לד אדום מתברג (nm660) (מאיר להב), לד אדום-אדום-רחוק (nm680+nm660) (די-לד), לד אדום (nm630) (לד-ארט), ונורות פלואורסצנט כביקורת. בנוסף למעקב אחר התפתחות הפרחים בתנאי ההארה השונים, נערך קטיפ של הפרחים ונמדדו מספר הפרחים, אורך ומשקל גבעול הפריחה, מספר פרקים וקוטר הפרח (איור 1). ניתן לראות שכל הנורות דומות בהשפעתן על מועד הפריחה ועל אורך הענפים הפורחים תחת הנורה. צמחים תחת נורת הפלורסצנט הקדימו במעט בפריחתם את הצמחים תחת הנורות האחרות, אך גובה הענפים היה זהה בכלם. בבחינת השפעת המרחק מהנורה על פריחת טרכליום, נראה שנורות הפלורסצנט הן החזקות ביותר ועיכוב הפריחה בצמחים במרחק 4 מטר מהן נמוך מאוד. לעומת זאת נורות הדי-לד אדום-אדום רחוק חלשות יותר מבחינת השפעתן על הפריחה, וישנו עיכוב פריחה והתארכות ענפים משמעותית במרחק 3 מטר. שתי הנורות האדומות (630 ו-660 נ"מ) היו דומות מאוד מבחינת יכולתן לעודד פריחה בצמחים במרחקים שונים מהן. מכיוון שהמרחק המקובל בין נורות הוא 3 מטר, למעשה כל הנורות שנבחנו יעודדו פריחה במידה דומה.

טרכליום 2013-2014 השפעת המנורה ועצמת האור על מהירות הפריחה.
יום קטיף ממוצע ל 30 גבעולים ראשונים למ



טרכליום 2013-2014 השפעת המנורה ועצמת האור על הפריחה. אורך גבעול ממוצע ל 30 הגבעולים הראשונים למ

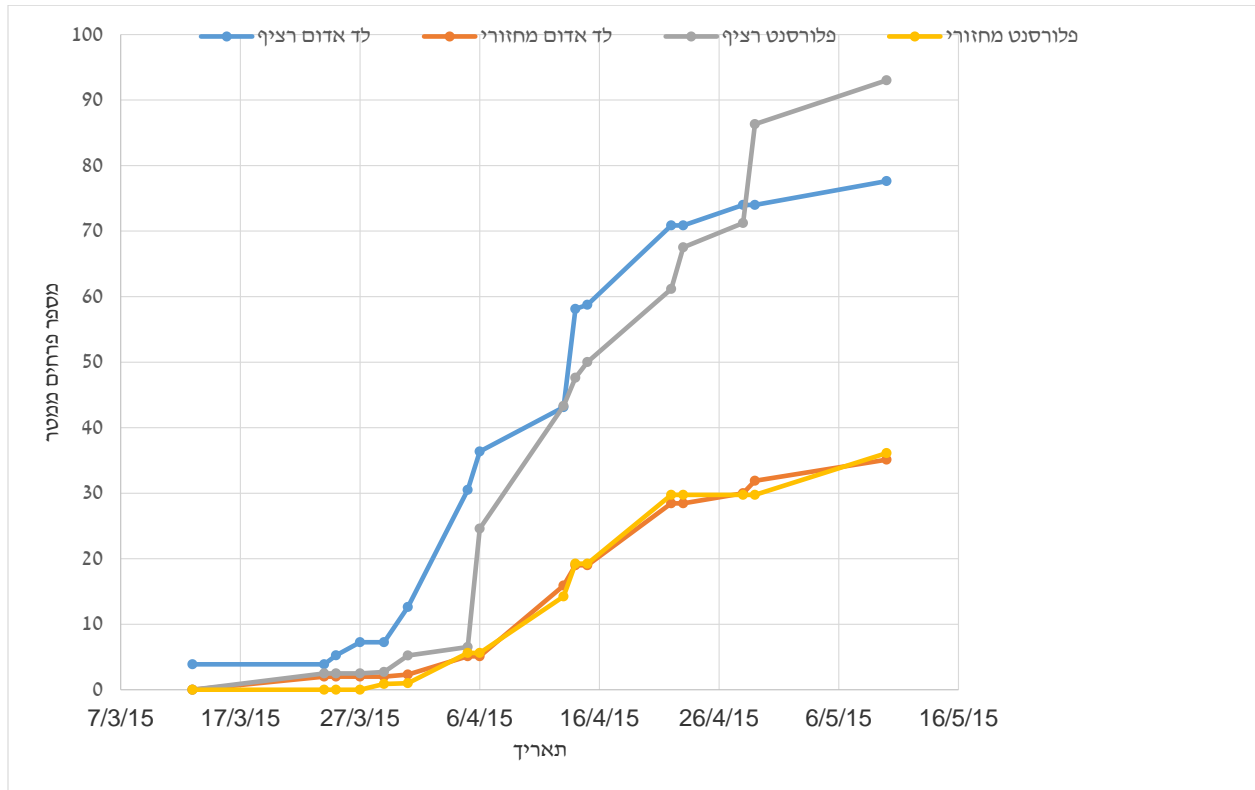


איור 1. השפעת הנורות השונות ועוצמתן על מספר הימים עד לפריחה ועל אורך הגבעולים הפורחים. הערכים הם ממוצאים של 30 ענפים ± שגיאת תקן.

בשנה השנייה התחלנו בניסוי לבחינת השפעת הארה רציפה לעומת מחזורית של נורות פלורסנט ולד אדום (מאיר להב, 660 נ"מ) כאפשרות לחסכון נוסף באנרגיה וקבלת סיגנל איכותי לפריחת טרכליום. צמחי הטרכליום שנגזמו בפברואר 2014 גודלו תחת אור פלורסנט ואור של מאיר להב אדום (660 נ"מ) בתאורה רציפה ומחזורית. טבלה מס. 1 מסכמת את מדדי היבול ואיכות פרחי הטרכליום בתנאי ההארה השונים במדגם של 30 פרחים בכל טיפול. הארה רציפה בלד אדום הקדימה את הפריחה במעל שבועיים ביחד להארה בלד אדום מחזורי. בנורות פלורסנט ההפרש בזמן בין אלו שהוארו רציף למחזורי היה קטן יותר. מדדי הענפים היה דומה בטיפולים השונים, עם יתרון של משקל ואורך גבעול לצמחים שהוארו בנורות פלורסנט הארה מחזורית. עם זאת, התוצאה המשמעותית ביותר בהשוואה בין הארה מחזורית לרציפה היא במספר הפרחים המצטבר שנקטף בחלקות בטיפולים השונים (איור 2). כמות הפרחים שנקטפה בחלקות בשני סוגי הנורות הייתה כפולה בהארה רציפה בהשוואה להארה המחזורית.

טבלה 1: מדדי יבול ואיכות בפרחי טרכליום בטיפולי ההארה השונים. המדגם הוא של 30 פרחים לטיפול.

טיפול	תחילת קטיף	מספר פרחים	אורך גבעול (ס"מ)	משקל גבעול (גרם)	קטיף גבעול (ס"מ)	תפוחת (ס"מ)
לד אדום	מחזורי	43	112.0	16.5	0.5	15.9
	רציף	79	97.5	13.8	0.5	13.6
פלורסנט	מחזורי	48	114.2	19.4	0.6	14.0
	רציף	81	99.0	16.5	0.5	13.7

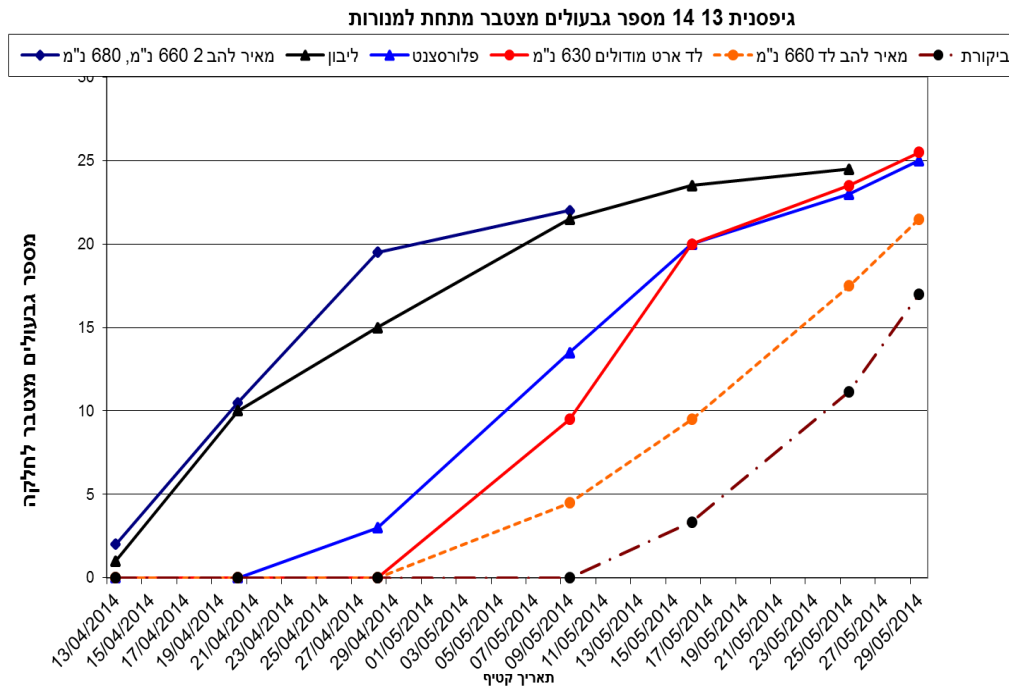


איור 2. השפעת הארה רציפה ומחזורית עם נורות פלורסצנט ונורות לד אדומות, על מספר פרחי טרכליום מצטבר לאורך עונת הקטיף. בתמונה ניתן לראות שטח של הוואר בנורות פלורסצנט רציף (ימין) ומחזורי (שמאל).

מהניסויים עם טרכליום, ברור שנורות לד אדומות יעילות כסינגל לפריחה באותה מידה שנורות הפלורסצנט, אך ישנו צורך בצפיפות גבוהה יותר של הנורות לקבלת שטח אחיד. כמו כן הארה רציפה חיונית בשני סוגי הנורות לקבלת יבול מקסימאלי.

גיפסנית

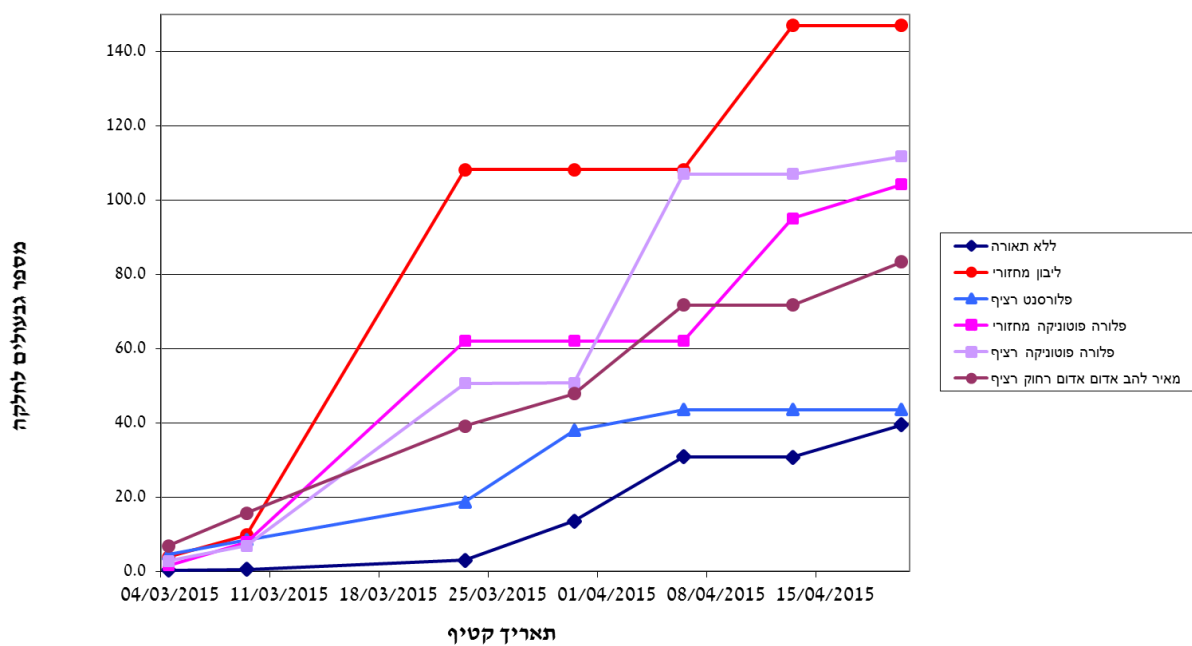
בחינת השפעת הארה בנורות שונות על הסינגל ליום ארוך בגיפסנית נעשה עם הזן 'סטלה מאריסי' שהוא זן רגיש במיוחד לאורך יום. שתילי הגיפסנית נשתלו בעומד של 6 צמחים למטר אוקטובר 2013. בין הטיפולים מפרידים מסכים שחורים היורדים מדי ערב ועולים בבוקר. התאורה עובדת מדי לילה למשך 8 שעות. טיפולי התאורה להארכת יום בגיפסנית כללו גם תאורת ליבון, מכיוון שידוע מניסיון המגדלים שנורות פלורסצנט אינן אפקטיביות מספיק לצמח זה. הטיפולים כללו ליבון 100 ואט, לד מתברג אדום-אדום רחוק (750 nm + 660 nm), לד מתברג אדום (nm660), וכן פס רציף עם נורות לד אדום (nm630) ויום טבעי. הצמחים נשתלו בתאריך ה-14.10.13. מכיוון שנמצא הצמחים היו כנראה אינדוקטיביים, החלקה עברה גיזום נמוך לביטול האינדוקציה ב-31.12. לאחר שבועיים של כיבוי התאורה והפסקת השקיה. ב-23.1 התאורה הודלקה שוב, וב-5.3 הצמחים טופלו בגיברלין כמקובל אצל מגדלי גיפסנית, פרט לחלקה קטנה של 1 מ² שהושארה ללא טיפול כביקורת. נורות הלד של אדום-אדום רחוק הוצבו בגובה של מטר מהערוגה בגלל עוצמה נמוכה יותר. בניסוי זה ברור שהארה בנורות להב אדום-אדום רחוק נתנו הקדמת פריחה בדומה לנורות הלהט (איור 3). נורת הפלורסצנט הייתה דומה לנורות לד אדומות חסרות אורכי הגל באדום רחוק, והקדימו חלקית את הפריחה ביחס לביקורת ללא תוספת תאורה. יש להדגיש כי ההבדל במועדי הפריחה היו קטנים יותר פה בגלל העונה המאוחרת יחסית בחודש מאי. הקטיף התאחר בגלל הצורך בגיזום החלקה האינדוקטיבית, כמצוין למעלה.



איור 3. השפעת הארה בנורות לד על הקדמת פריחה של גיפסנית, בהשוואה לנורות ליבון ולביקורת. השפעת ההארה על הפריחה נקבעה על פי מספר הגבעולים המוכנים לקטיף לאורך העונה, בחלקות מסומנות בכול טיפול.

חזרנו על ניסוי זה לקראת סוף 2013 ולקראת השנה השלישית למחקר, על מנת לבסס את תוצאות השנה הראשונה המציאות שתאורה בנורות לד עם אורכי גל באדום-אדום רחוק יעילה כמו תאורה עם נורות להט, ועשויה להחליף את נורות הלהט בצמחי גיפסנית. בנוסף לכך בחנו נורות גם נורות לד אדום-אדום רחוק חזקות יותר בגובה שווה לנורות הלהט. מגדלי גיפסנית מאירים עם נורות להט בתאורה מחזורית. לכן, בחנו גם הארה רציפה ומחזורית גם עם נורות הלהט האדום-אדום רחוק החזקות (פלורה פוטוניקה).

גיפסנית מספר גבעולים מצטבר מתחת למנורות



איור 4. השפעת תאורה במקורות אור שונים על הקדמת הפריחה והקטיף של צמחי גיפסנית 'סטלה מאריס'.

למרות רצוננו להקדים בקטיף הפרחים, בדומה למרכזו הקטיף את המגדלים, גם בניסוי זה הקטיף החל יחסית מאוחר בגלל מגבלות הניסוי (איור 4). למרות זאת, בדומה לניסוי הראשון (איור 3), ישנו הבדל מובהק בין נורות הלהט, נורות הלהט האדום-אדום רחוק ונורות הפלורסצנט. שלושת הטיפולים עם הלהט האדומים (הארה רציפה ומחזורית של נורות פלורה פוטוניקה החזקות יותר, והארה רציפה של נורות מאיר להב) היו יעילות יותר מאשר נורות הפלורסצנט. בניגוד לניסוי הראשון, כאן עדין לנורות הלהט היה יתרון ברור על פני הטיפולים בנורות לד.

על מנת לבחון שוב את השפעת נורות הלהט האדום-אדום רחוק ממקורות שונים והשפעתו על הסיגנל לפריחה של טרכליום ביחס לנורות להט ונורות פלורסצנט, העמדנו ניסוי נוסף שעתה בעיצומו, בו אנחנו בוחנים שוב הארה רציפה של נורות מאיר-להב, ונורות פלורפוטוניקה כמו בניסוי השני (איור 4) ובנוסף נורות

פלורה-פוטוניקה בעלות עוצמה גבוהה יותר והשפעתן על הקדמת הפריחה. לאחר סיום ניסוי זה, נפרסם למגדלים את מסקנותינו משלושת הניסויים בהארת לדים בגיפסנית. ניתן לראות תוצאות ביניים של מדדי הפריחה בטבלה 2.

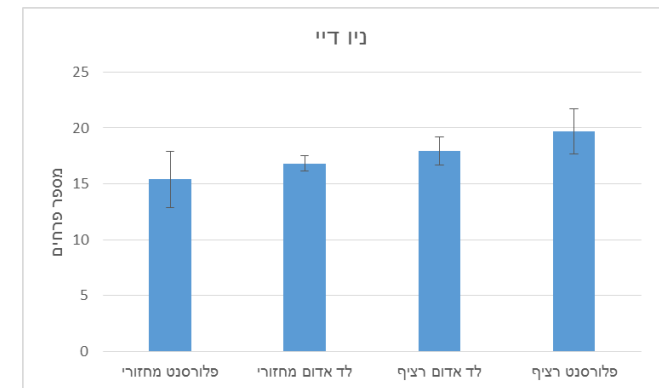
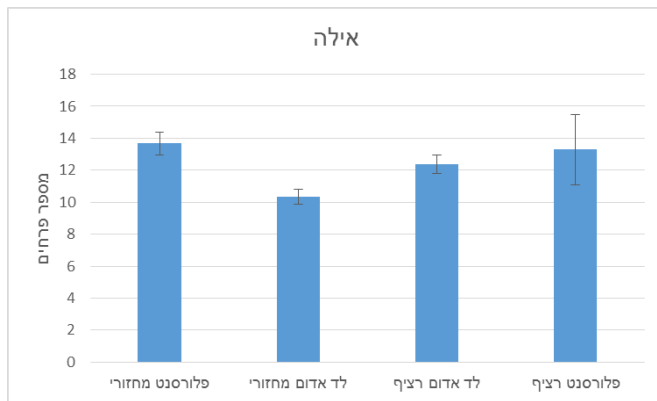
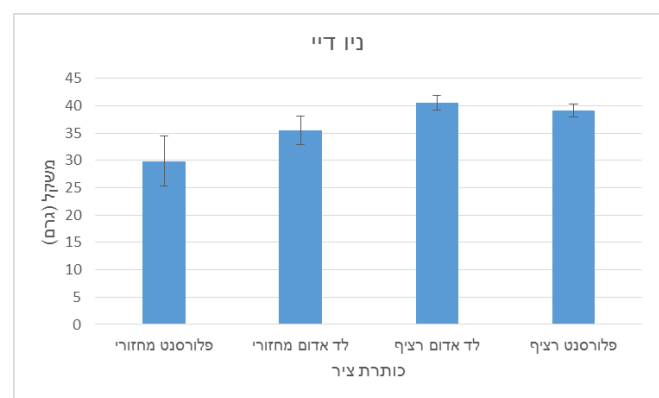
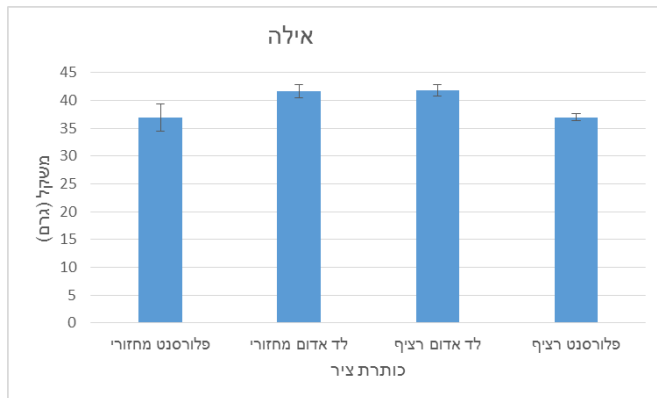
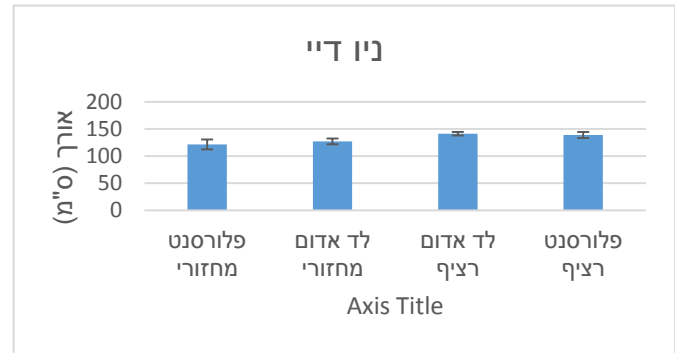
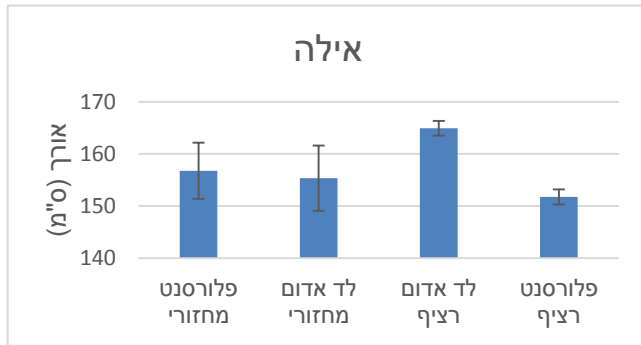
טבלה 2. מדדי פריחה במדידה ראשונית של ניסוי תאורה בנורות לד, פלורסצנט ולהט של צמחי טרכליום

טיפול	מספר פרחים	אורך (מטר)	משקל (ק"ג)	אורך תפרחת (מטר)
ביקורת	21.50	0.66 ± 0.05	0.03 ± 0.012	0.29 ± 0.04
מאיר להב פלורה	33.44	0.62 ± 0.05	0.02 ± 0.004	0.24 ± 0.03
פוטוניקה 14 וואט פלורה	57.56	0.66 ± 0.02	0.02 ± 0.002	0.25 ± 0.02
פוטוניקה 7 וואט	40.11	0.69 ± 0.02	0.03 ± 0.006	0.26 ± 0.03
ליבון פלורה	41.33	0.72 ± 0.04	0.02 ± 0.004	0.26 ± 0.02
פוטוניקה שנה שנייה	27.33	0.68 ± 0.07	0.03 ± 0.011	0.27 ± 0.04

חרצית

חרציות הן צמח יום קצר, ותוספת התאורה הינה לעכב פריחה ולאפשר התארכות הענפים עד לאורך הרצוי לפני כיבוי האור ויצירת האינדוקציה לפריחה. הטיפול המקובל במשקים מסחריים היא הארה בנורות פלורסצנט לעיכוב הפריחה. פה בחנו את יעילות עיכוב הפריחה של שני זני חרציות, 'אילה' ו-'ניו דיי' על ידי הארה רציפה (המקובלת היום) ומחזורית עם נורות פלורסצנט, והארה רציפה ומחזורית עם נורות לד אדומות. שני זני החרציות נשתלו בחממה במויפ בפברואר 2014 בעומד של 45 שתילים למטר. ההארה הייתה למשך כחודש, ובמשך זמן זה כל השתילים נשארו וגטטיביים, ופרחו באיכות גבוהה לאחר סגירת האור. למעשה קטיף הפרחים התרחש במויפ ולא היה הבדל בין טיפולי ההארה השונים (איור 5). כל ענפי הפריחה הגיעו לגובה, משקל ומספר פרחים לגבעול איכותיים, מבלי שיהיו הבדלים משמעותיים בין הטיפולים השונים.

על מנת לבסס נתונים אלו ולעיקר לבחון שוב האם איכות העיכוב זהה אם ההארה היא רציפה או מחזורית, העמדנו ניסוי זהה שני בנובמבר 2015, ואנחנו בשלב איסוף הנתונים. נפרסם את התוצאות למגדלים לאחר סיום הניסוי השני.

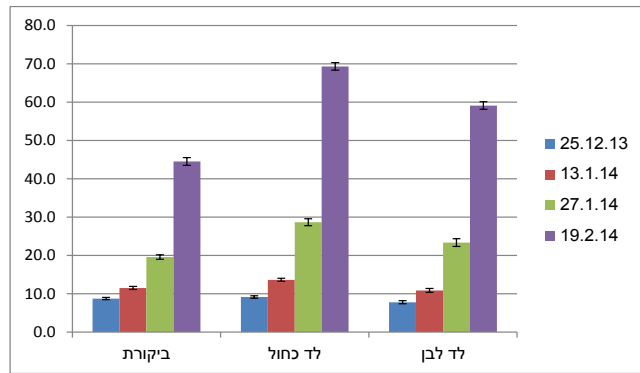
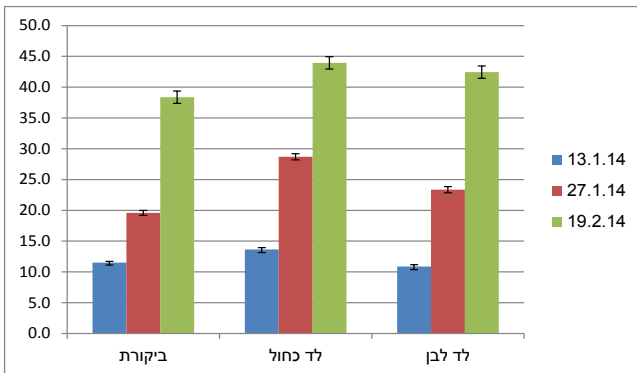


איור 5. השפעת הארה בנורות פלורסצנט ולד אדום, באופן רציף או מחזורי, על עיכוב פריחת חרציות. המדגם בכל חלקה הוא של 30 ענפי פריחה. נורות הלד היו של מאיר להב (660nm) ת 7 ווט.

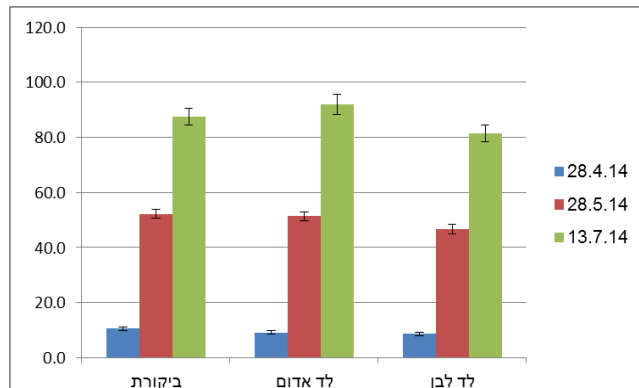
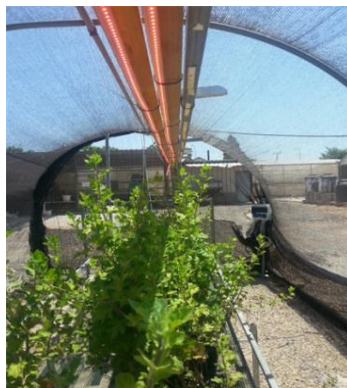
2. בחינת השפעת נורות לד (LED) המאירות באורכי גל שונים על צימוח, עיצוב ופריחה.

המערך בבחינת הארה עם נורות LED שונים למשך הלילה, היה בבית דגן, במספר מנהרות (גובה 2.5, רוחב 3 ואורך 6 מטר) מכוסות ברשת שחורה (50%). להארה נבנה מתקן שעליו נפרסו פסי תאורה עם נורות הלד. הצמחים נשתלו בעציצים והוכנסו למנהרות לניסויים השונים.

בבחינת הארה באורכי גל שונים למשך הערב-לילה-בוקר, לפני שעוצמת אור שמש מתגברת, לא מצאנו השפעה פוטומוורפוגנטית של אור כחול או אדום, ממקור של נורות LED על צימוח חרציות לא אינדוקטיביות. זאת בניגוד לתקוותנו שאולי הארה באור כחול למשך הלילה תגרום לנינוס של הצמחים, או הארה באור אדום למשך הלילה תגרום להתארכות. כשהניסויים נעשו בתנאים של יום קצר, הביקורת ללא תאורה הייתה לעתים קצרה יותר כתוצאה מאינדוקציה לפריחה. דוגמאות לניסויים אלו ניתן לראות באיור 6, בו בחנו השפעת הארה באור לד כחול על התארכות שני חרציות, ובאיור 7, בו בחנו השפעת אור אדום על התארכות הצמחים. בתמונה באיור 7 ניתן לראות את מערך הניסויים, בתוך מנהרות עם הצללה של 50% על ידי רשת צל שחורה.

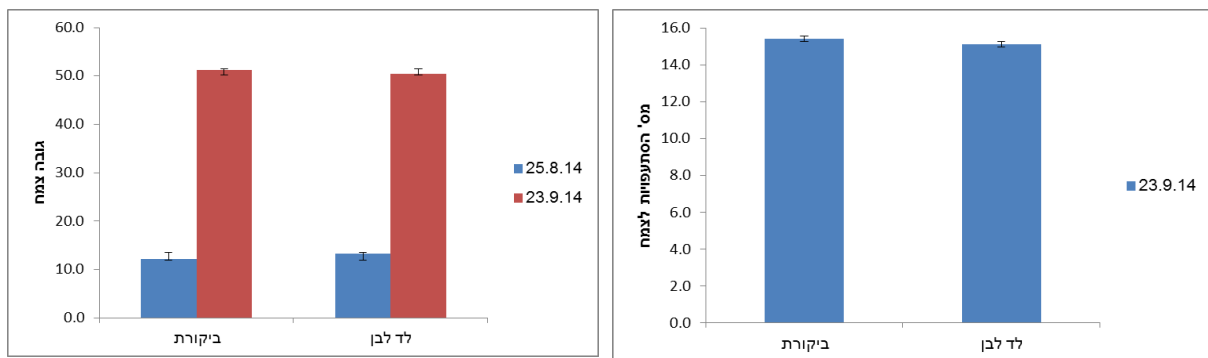


איור 6. אורך צמחי חרצית (בסימ) שגדלו ללא תוספת תאורה (ביקורת) ועם תוספת של אור לד לבן או כחול למשך הערב-לילה-בוקר. השתילים של שני הזנים הנבדקים, 'ארטי' (ימין) ו-'One Way' (שמאל) נשתלו בתאריך ה-25.1.13.



איור 7. אורך צמחי חרצית מהזן 'One Way' ללא תאורה (בתנאי יום ארוך טבעיים), עם הארת לדים לבנים או אדומים. מספר הצמחים בכל טיפול היה ± 25 שגיאת תקן. התמונה מציגה את הצמחים תחת תאורת לדים אדומים.

בבחינת השפעת תאורה משני צידי הצמח על הסתעפות הצמחים, בחנו זאת בתחילה על צמחי חרצית מהזן 'One Way'. בשני הניסויים שבוצעו, לא ראינו השפעה כלל על הגברת ההסתעפויות כתוצאה מתוספת התאורה בצידי הצמחים. דוגמא לכך ניתן לראות באיור 8, בו בחנו את השפעת ההארה הצדדית בתנים של יום ארוך טבעי. מכיוון שהצמחים המשיכו להתארך מהר, הייתה התלבטות לגבי המיקום המדויק של התאורה הצדדית והאם להזיזה עם התארכות הצמחים. חזרנו על ניסויים אלו גם בצמחי גיפסנית וסולידגו, אך בשני המקרים לא התקבל השפעה של התאורה מצידי הצמחים על הסתעפויות הצמחים (תוצאות לא מוצגות). בדומה לחרציות, גם בשני צמחים אלו הצמחים התארכו מאוד ויתכן שחלק מהבעיה הייתה המיקום של התאורה הצדדית.



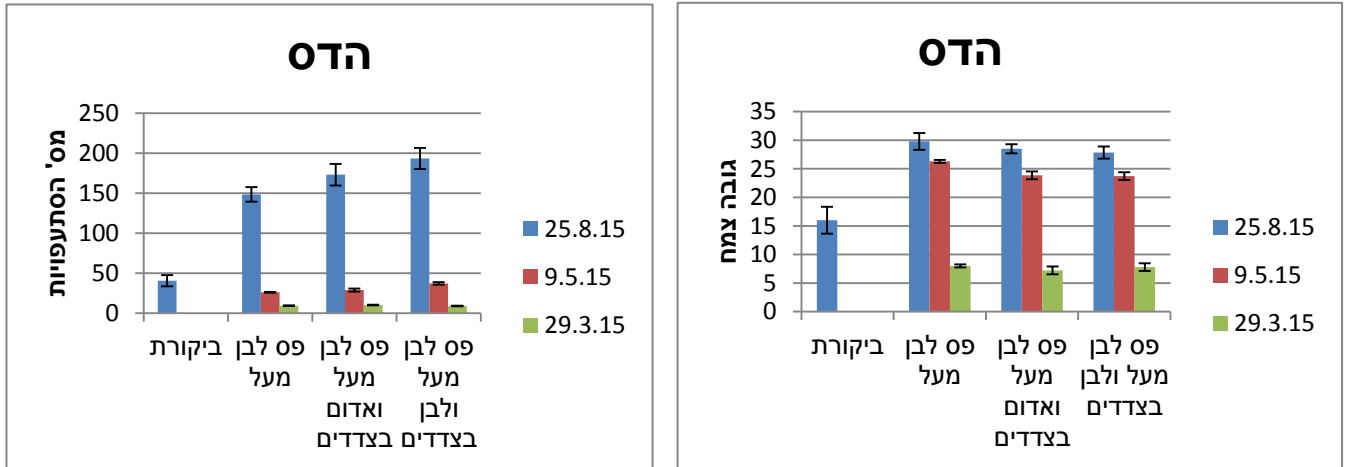
איור 8. השפעת הארה משני צדי צמחי חרצית על גובה והסתעפות הצמחים. כל טיפול כלל 25 צמחים ± שגיאת תקן.

בשנה השלישית החלטנו לבחון את ההערה בצידי הצמח על צמחי הדס מצוי. בחרנו בצמחים אלו בגלל אופי הגידול היותר איטי והמסתעף טבעית שלהם. בנוסף לכך הראינו בעבר שניתן להגביר הסתעפויות בהדס מצוי על ידי פיזור האור המגיע לצמח, על ידי הצללת הצמחים ברשת מפזרת אור (Nissim-Levi et al, 2008). עקבנו אחר גובה הצמח ומספר ההסתעפויות לצמח בצמחי הדס שגדלו ללא תוספת תאורה, עם תאורת לד לבן מעל הצמחים, ועם תאורת לד מעל הצמחים ותאורה לבנה או אדומה משני צידי הצמח (איור 9). להפתעתנו נראה שצמחי ההדס הושפעו באופן משמעותי ביותר גם בהתפתחות שלהם, גם לגובה וגם במספר ההסתעפויות, רק מההארה עילית של הצמחים על ידי לד לבן. זוהי תוצאה מפתיעה שלא קשורה במטרות הספציפיות של הצעה זו, אבל יתכן שתהיה לה משמעות הורטיקולטורית בגידול הדסים לעציצים. ניסויים נוספים בעתיד עשויים להבהיר את הסיבה להבדלים אלו והאם מדובר בהארכת יום מעבר לשעות התאורה בחודשי מרץ-אוגוסט.

בבחינת השפעת הארה מצידי הצמח על ההסתעפויות, ניתן לראות שגובה הצמחים שהוארו בלד עילי בלבד ולעומת אלו שהוארו בלד עילי ולדים לבנים משני הצדדים, היה זהה, אך מספר ההסתעפויות בצמחים עם ההארה הצידי היה גבוה באופן משמעותי (כ-190 הסתעפויות לצמח עם הארה של לדים לבנים בצידי הצמח לעומת 150 הסתעפויות בצמחים עם הארה עילית ובלדי הארה בצדדים) (איור 9). הארה בלד אדום הגבירה הסתעפויות במעט, אך התוצאה לא משמעותית סטטיסטית.

מכאן, שהארה צדדית עם לדים לבנים עשויה להגביר הסתעפויות גם לצמחים אחרים, בדומה להדס. יתכן שחשוב לבחון את הדבר עם צמחי עציץ שאינם גובהים מאוד, בניגוד לחרציות. בנוסף, ברור שיש

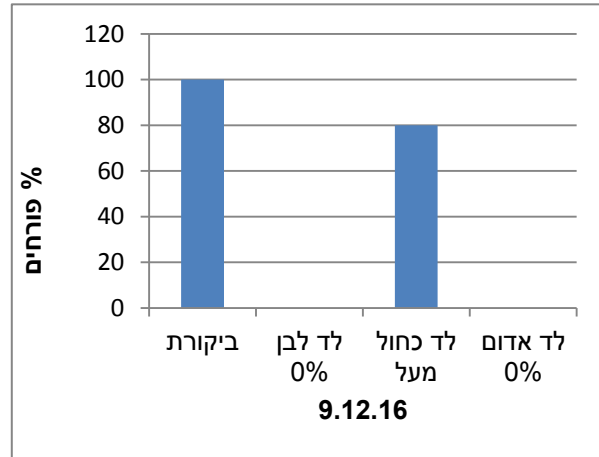
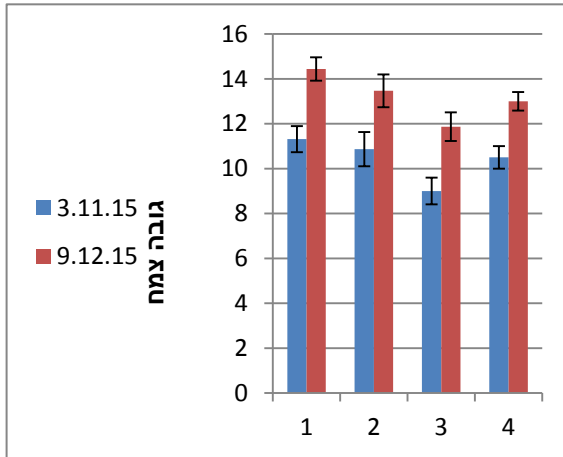
משמעות רבה להארה של צמחי הדס בהארה עילית. צמחים שגדלים עם הארה עילית מתפתחים הרבה יותר מהר וגדלים גם לגובה וגם לרוחב על ידי הגברת הסתעפויות. בתמונה ניתן לראות דוגמא לצמחי הדס בתנאים השונים בניסוי זה **איור 9**.



איור 9. השפעת תאורת לדים על התארכות והסתעפות צמחי הדס מצוי. הצמחים גדלו במנהרות שונות, בלי תאורה, עם תאורה עילית עם לד לבן, תאורה עילית עם לד לבן ותאורה מצידו הצמחי עם לדים אדומים, ותאורה עילית עם לד לבן ותאורה מצידו הצמח עם לדים לבנים (ראה תמונה). כל טיפול כלל 14 צמחים ± שגיאת תקן.

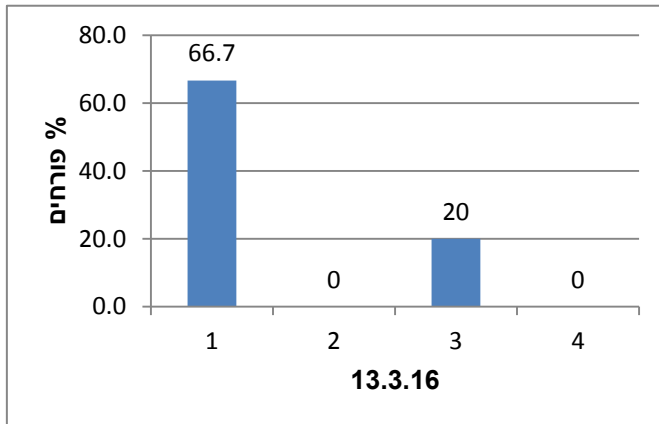
בניסויים בהם בחנו השפעת תאורה לאורך הערב-לילה-בוקר על צמחי חרצית עם לדים כחולים ואדומים, ראינו שלא הייתה השפעה פוטומוורפוגנטית לשני סוגי הנורות. בנוסף ראינו ששני הצבעים עכבו את פריחת החרציות באופן מלא והצמחים נשארו וגטיביים לאורך כול הניסויים. מכיוון שידוע שהסינגל לפריחה בחרציות הוא בעיקר מאור אדום, הופתענו מהעיכוב המוחלט של הלדים הכחולים. על מנת לבחון האם מדובר בהבדל ביעילות הצבעים השונים על עיכוב הפריחה בחרציות, חזרנו על הניסוי עם הערה עילית של צמחי חרצית באור אדום וכחול, אך לתקופות קצרות יותר. **איור 10** מציג את התוצאות לניסוי השוואתי בין לד אדום ולבן ללד כחול, עם תוספת תאורה עד 14 שעות תאורה לצמחים. ניתן לראות שלאחר חודש, הצמחים

תחת הלבד הלבן והלבד האדום נשארו וגטטיביים בניגוד לאלו ללא תאורה ועם תאורה של הלבד הכחול, שפרחו. רק 80% מהצמחים תחת הלבד הכחול פרחו לאחר חודש, בניגוד ל- 100% מהצמחים תחת הלבד הלבן. תוצאות אלו מחזקות את ההשערה שאור כחול כנראה פחות אפקטיבי כסיגנל לפריחה מאשר אור אדום, אבל כנראה שישנה השפעה, והיא תלויה בזמן ההארה.



איור 10. השפעת תוספת תאורת לבד בצבעים לבן, אדום וכחול עד ל-14 שעות תאורה יומית, על הסיגנל לפריחה של צמחי חרצית. נעשה מעקב אחר גובה הצמחים ומספר הצמחים האינדוקטיביים, חודש לאחר תחילת הניסוי. מספר הצמחים בכל טיפול היה 14. בתמונה ניתן לראות את פקע הפריחה בצמח שגדל תחת לבד אדום לעומת צמח וגטטיבי שגדל תחת הלבד הכחול.

המשכנו לבחון תופעה זו על ידי חזרה על הניסוי עם חרציות, הפעם לתקופת הארה של עד 18 שעות. הניסוי נעשה באותו מערך, אך בחודשי החורף, ולכן גידול הצמחים היה איטי יותר. הניסוי עדין בעיצומו, אך תוצאות הביניים לאחר 3 חודשים מסוכמות באיור 11. תוספת תאורה של עד 18 שעות מנעה לחלוטין פריחה בטיפולים עם הלבד הלבן והאדום, אך גרמה לכ-70% פריחה ללא תוספת תאורה ול-20% פריחה בצמחים תחת הלבד הכחול. ניסוי זה מחזק את תוצאות הניסויים הקודמים, המציעים שאור כחול אכן מעקב פריחה בחרציות, אך בצורה פחות יעילה מאור אדום, ולכן יש צורך בתקופת הארה ארוכה יותר.



איור 11. השפעת הארה עד ל-18 שעות עם אור מלדים לבנים, אדומים וכחולים. הטיפולים היו:

1. ביקורת.
2. פס לד לבן מעל הצמחים.
3. פס לד כחול מעל הצמחים.
4. פס לד אדום מעל הצמחים.
5. מספר הצמחים בכל טיפול היה 15.

דיון

במשך שלוש שנות המחקר, בחנו השפעת לדים על הסינגל לאורך יום ועל השפעות פוטומוורפוגנטיות בפרחי קטיף. להלן המסקנות העיקריות מניסויים אלו:

- בצמחי טרכליום** – נמצא שנורות לד אדומות (660nm) יעילות כסינגל לפריחה באותה מידה שנורות הפלורסצנט, אך ישנו צורך בצפיפות גבוהה יותר של הנורות לקבלת שטח אחיד. השפעת התאורה יותר נקודית בהארה בלדים, ולכן מתקבל מפל חזק יותר של השפעת ההארה על הצמחים.
- בצמחי טרכליום** – הארה מחזורית מורידה באופן ניכר (עד לכ-50%) את היבול לחלקה (מספר פרחים מצטבר לאורך עונת הקטיף) ביחס להארה רציפה, בנוורות פלורסצנט או בנוורות לד אדום.
- בצמחי גיפסנית** – אור פלורסצנט או תאורה מלדים אדומים אינם נותנים סינגל איכותי להקדמת פריחה. רק לדים עם הארה באור אדום ואדום רחוק מתקרבים באיכות הסינגל לזה של נורות להט. אנחנו עדין לא בטוחים אם נורות האדום-אדום רחוק שוות ביכולתן לנורות להט. נראה שיש יתרון לנורות אדום-אדום רחוק חזקות יותר (כמו פלורה פוטוניקה) לקבלת סינגל איכותי. נראה שעדיפה הארת לדים רציפה על מחזורית לקבלת סינגל טוב לגיפסנית.
- בצמחי חרצית** – הסינגל לעיכוב פריחה היה יעיל במידה שווה בין נורות הפלורסצנט (המקובלות היום) לנורות לד אדום (660nm), גם בהארה רציפה וגם במחזורית. לביסוס התוצאות אנחנו בוחנים זאת שוב בניסוי נוסף, בעיקר לוודא שהארה מחזורית של לד אדום יעילה באותה מידה כמו רציפה.
- לגבי השפעה פוטומוורפוגנטית של לדים בהארה במשך הערב-לילה-בוקר** – בבחינת השפעות פוטומוורפוגנטיות, בעיקר אורך הצמחים, לא מצאנו השפעה לד אדום או כחול על צמחי חרצית הגדלים באופן וגטטיבי.
- לגבי השפעה של הארה מצידי הצמח על מידת ההסתעפות שלו** – בצמחי חרצית, סולידגו וגיפסנית, לא מצאנו השפעה של הארה צידית על מידת הסתעפות הצמחים. יתכן שאחת הסיבות היא הצימוח המהיר של השתילים ואי וודאות לגבי מיקום ההארה הצידית לאורך הענפים.
- בצמחי הדס מצוי** – מצאנו שתוספת תאורה עם לדים לבנים מעל לצמחים גרמה להתפתחות מהירה יותר של הצמחים עם עליה משמעותי בגובה ובמידת ההסתעפות שלהם. בנוסף לכך ראינו שהארה מצידי הצמח עם לדים לבנים, בנוסף להארה עילית עם לדים לבנים, גרמה לעלייה משמעותית במספר ההסתעפויות של

ההדסים ביחס לצמחים ללא הארה בצידי הצמח. השפעת הלדים האדומים מצידי הצמח הייתה קטנה יותר עם עליה קלה במספר ההסתעפויות לצמח.

ח. **בצמחי חרצית** – בבחינת השפעת הארה באור כחול ביחס להארה באור אדום כסיגנל לפריחה – נמצא שאור כחול יעיל כסיגנל לפריחה אך רק בהארה ממושכת של מעל ל-18 שעות תאורה ביממה. עם התקצרות שעות ההארה, האור האדום מונע פריחה בזמן שהארה באור כחול מונעת רק באופן מאוד חלקי פריחה, עם פריחה של 80% מהצמחים ב-14 שעות תאורה.

רשימת ספרות

Nissim-Levi, A., Farkash, L., Hamburger, D., Ovadia, R., Forer, I., Kagan, S. and **Oren-Shamir, M.** (2008). Light-scattering shade net increases branching and flowering in ornamental pot plants. J. Hort. Sci. Biotechnol. 83:9-14.

תשובות לשאלות מנחות

1. מטרת המחקר לתקופת הדו"ח

א. ביסוס התוצאות הראשוניות על השפעת הארה בלדים על הסיגנל לפריחה ב צמחי טרכליום, גיפסנית וחרצית. ב. בחינת השפעת הארה רציפה של פלורסצנט, לדים ולהט ביחד להארה רציפה על הסיגנל לפריחה בצמחים אלו. ג. ביסוס התוצאות על השפעת הארה למשך הערב-לילה-בוקר על פוטומוורפוגנזה של חרציות. ד. בחינת השפעה של הארה מצידי הצמח על הסתעפות חרציות והדסים. ה. בחינת השפעת הארה בלדים כחולים ביחס לאדומים על יעילות הסיגנל לפריחה של חרציות.

2. עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח

א. מעקב על מדדי פריחה של טרכליום, גיפסנית וחרצית תחת נורות לד, פלורסצנט ולהט. ב. מעקב אחר השפעת הארה רציפה ביחס להארה מחזורית של לדים, לצמחי טרכליום, גיפסנית וחרצית. ג. בחינת השפעת הארה של נורות לד אדומות וכחולות למשך הלילה על חרציות. ד. בחינת השפעת הארה מצידי הצמח על חרציות והדס מצוי. ה. בחינת השפעת לדים אדומים וכחולים על מניעת פריחה של חרציות.

3. המסקנות המדעיות והשלכותיהן להמשך המחקר

א. בטרכליום נורות לד אדומות (660nm) יעילות כסיגנל לפריחה, אך צריך לצופפם יותר מנורות הפלורסצנט. ב. בגיפסנית יש צורך בלדים עם הארה באור אדום +אדום רחוק לקבלת סיגנל איכותי לפריחה. ג. הארה מחזורית פחות יעילה מהארה רציפה לטרכליום ולגיפסנית. ד. לד אדום יעיל באותה מידה כמו פלורסצנט, ושניהם יעילים גם בהארה מחזורית לעיכוב פריחת חרציות. ה. אין השפעה של הארה בלדים כחולים ואדומים על פוטומוורפוגנזה של חרציות. ו. ניתן להגביר צימוח הדסים על ידי תוספת תאורת לד לבן עילי, ולהגביר הסתעפות על ידי הארה צידית של לדים לבנים. ז. לד כחול יעיל למניעת פריחת חרצית, אך רק אם הארה ממושכת מאוד, ביחס ללד אדום.

4. הבעיות שנתרו לפתרון

א. ביסוס מסקנה לגבי היעילות של הארה בלדים אדום-אדום רחוק ביחס ללהט לסיגנל לפריחת גיפסנית. ב. ביסוס המסקנה שאין הבדל בין הארה רציפה למחזורית לקבלת עיכוב פריחה יעיל בחרציות בלדים אדומים ובפלורסצנט. ג. ביסוס הנתונים לגבי יעילות לד כחול ביחס ללד אדום כסיגנל לפריחת חרציות.

5. הפצת הידע

אנחנו בשלבי הכנת מאמר לעלון המגדלים והמדריכים עם מסקנות העבודה. נפרסם מאמר זה לאחר סיום הניסויים שעדיין בעיצומם.

6. אני ממליץ לפרסם את הדו"ח ללא הגבלה.