

השפעת טמפרטורות גבוהות על יבול ואיכות כותנה

דו"ח סופי לשנים 2014-2016

מוגש להנהלת ענף הכותנה

ע"י:

יהושע סרנגה והראל בכר

האוניברסיטה העברית בירושלים, הפקולטה לחקלאות מזון וסביבה, רחובות

1. מבוא:

בשנים האחרונות אנו עדים להחמרה בתנאי הסביבה, המשפיעים ישירות על כושר היצור של הגידולים החקלאיים ואיכות התוצרת. שינוי פרופיל הגשמים, עליה בשכיחות בצורות, כמו גם שינוי הטמפרטורה בעונות החורף והקיץ בישראל הם חלק מתהליכים כלל עולמיים. עליית הטמפרטורה העולמית עשויה להעלות את היבול באזורים קרים אך צפויה לגרום לפחיתת יבול באזורים.

מוצא הכותנה (*Gossypium spp.*) הוא מאזורים המאופיינים באקלים חם, אולם טווח הטמפרטורות האופטימאלי להתפתחות וצבירת יבול בכותנה הוא מתון למדי, 20-30 מ"צ. טמפרטורות שמעבר לתחום אופטימאלי זה הן שכיחות ביותר באזורי גידול הכותנה בעולם, כולל בישראל, במהלך תקופת הפריחה והתפתחות ההלקטים. עונת הכותנה של 2012 בישראל סיפקה תזכורת מכאיבה להשפעת טמפרטורות גבוהות על גידול הכותנה. בעונה זו, יבול הסיבים הארצי הממוצע היה כ- 166 ק"ג לדונם, ירידה של כ- 20 ק"ג לדונם (כ- 11%) לעומת היבול הממוצע של עונת 2011. ניתוח אקלימי של אותה עונה מצביע על טמפרטורות יום ולילה גבוהות ב- 2-3 מ"צ מהממוצע בשלב הרפרודוקטיבי אשר פגעו ככל הנראה בצבירת היבול. בספרות המדעית פורסמו מחקרים רבים אודות השפעת טמפרטורות גבוהות על צמחי כותנה, מרביתם עוסקים בכותנת הרמות (*G. hirsutum*) ורק מיעוטם בכותנת פימה (*G. barbadense*). אולם, גם מחקרים שבוצעו בזני פימה הם בעלי רלבנטיות מוגבלת לישראל בשל הזנים והאגרוטכניקה הייחודיים לארץ.

2. מטרת המחקר:

מטרתו הכללית של מחקר זה היא לשפר את הידע הקיים בנושא השפעת טמפרטורות גבוהות על התפתחות ויבול צמחי כותנה כבסיס להתמודדות עם התופעה. מטרתיו הפרטניות של המחקר הן:

1. לימוד השפעת טמפרטורות היום והלילה, ושילובים שונים ביניהן, על התפתחות ויבול צמחי כותנה.
2. ברור המנגנון הפיסיולוגי האחראי לנזקי עקת חום בכותנה.
3. בחינה ראשונית של דרכים להפחתת נזקי טמפרטורות גבוהות באמצעים אגרוטכניים ו/או אפיגנטיים.

3. תאור הניסויים ותוצאותיהם:

שנה 1 (2014) - נערך ניסוי תלת-גורמי שכלל ארבעה זני כותנה: פימה Gol4 ו-Gol9, אקלה RavOn ואקלפי HA-1432, שתי טמפרטורות יום (28 ו-34 מ"צ) ושתי טמפרטורות לילה (22 ו-28 מ"צ). עד לתחילת פריחה גודלו הצמחים בטמפרטורות מתונות 16/22 מ"צ (יום/לילה), בדומה לתנאי האביב, והועברו למשטרי הטמפרטורה השונים למשך כחודשיים בתקופת הפריחה ומילוי ההלקטים. הצמחים גודלו בעציצים בנפח 8 ליטר, 2 צמחים לעציץ, בארבע חזרות. הניסוי בוצע בחודשי הקיץ על מנת לספק לצמחים קרינה מלאה וטבעית.

ניתוח התוצאות בעונה הראשונה הראה כי לטמפי גבוהה, במיוחד בשעות היום, השפעה שלילית על משקל החומר היבש ויבול הכותן (טבלה 1; איור 1). מבין רכיבי היבול לא נמצאה השפעה על מספר ההלקטים (טבלה 1; איור 2), דבר השולל פגיעה בחנטה, ואילו משקלי ההלקטים ירדו בצורה מובהקת לעומת הביקורת, תופעה זו מצביעה על מחסור במוטמעים. בדיקות איכות הסיבים לא הצביעו על שינוי מובהק בעקבות משטרי הטמפי השונים (תוצאות אינן מוצגות). במדידות של חילופי הגזים, הזנים עתירי היבול (RavOn ו-HA-1432) הציגו ערכי קצב הטמעה ומוליכות פיוניות גבוהים מזני הפימה (טבלה 2; איור 3). אולם, טמפרטורות גבוהות לא הפחיתו, ואף הגבירו במידת מה, את קצב ההטמעה של כל הזנים. קצבי הנשימה לא הושפעו מטמפרטורות גבוהות בכל הזנים (תוצאות אינן מוצגות).

בדיקת תכולת סוכרים מסיסים ועמילן בעלים לאורך היממה לא הצביעה על הבדלים מובהקים בין הזנים ורכיב השונות העיקרי אשר השפיע על ריכוז הפחמימות היה הזמן ביממה (טבלה 3). בניתוח של ריכוז הסוכרוז והגלוקוז לא נמצאו הבדלים מובהקים בין משטרי הטמפי, ואילו ריכוז העמילן הממוצע לא הראה כל פגיעה ואפילו עלה בהשפעת טמפרטורה גבוהה ביום.

שנה 2 (2015) - נערך ניסוי דו גורמי שכלל ארבעה זני כותנה: פימה Gol4 ו-Gol9, אקלה RavOn ואקלפי HA-1432, ושני משטרי טמפרטורה: ביקורת 22/28 מ"צ (יום/לילה), וטמפרטורות גבוהות ביום ובלילה, 28/34 מ"צ. נערכו בדיקות בדומה לשנה הקודמת, ובנוסף עלים צעירים סומנו בתחילת הפריחה ושימשו למעקב חילוף גזים מידי שבוע במשך כ-40 ימים לצורך בחינת השפעת הטמפרטורה על הזדקנות העלים.

ניתוח התוצאות הראה מגמה דומה לבדיקות השנה הראשונה במשקל החומר היבש, היבול (טבלה 4; איור 4) ורכיביו (טבלה 4; איור 5). עלים מסומנים שגדלו בטמפרטורות הגבוהות ונבדקו במהלך כ-40 יום לא הראו ירידה בקצב ההטמעה במהלך חייהם (איור 6). לעומת זאת בתנאי טמפרטורה מתונה (ביקורת) ניכרה ירידה מתונה בכושר ההטמעה באקלה ובאקלפי, אך לא בזני הפימה. מכאן שהזדקנות עלים אינה אחראית לפגיעת טמפרטורה גבוהה ביבול הכותנה.

שנה 3 (2016) - מבין כל הגורמים שנבחנו בשנתיים הראשונות (פוטוסינתזה, נשימה, צבירת סוכרים ועמילן, הזדקנות עלים ועוד) לא נמצאו גורמים פיזיולוגיים שהושפעו מטמפרטורות באופן מובהק ועשויים להסביר את הפגיעה ביבול בטמפרטורות גבוהות. לפיכך, הועלתה השערה שהקצאת מוטמעים מוגברת למערכת השורשים בתנאי עקת חום גורמת למחסור במוטמעים בנוף

ובעקבותיו פגיעה ביבול. נערך ניסוי דו גורמי שכלל שני זני כותנה: פימה Gol9 ואקלה RavOn ושני משטרי טמפרטורה: ביקורת 22/28 מ"צ (יום/לילה), וטמפרטורות גבוהות ביום ובלילה, 28/34 מ"צ. הצמחים גודלו בתוך עמודות בקוטר 10 ס"מ ובאורך 100 ס"מ המאפשרות הוצאת עמודת קרקע בלתי מופרת וכימות משקל השורשים בכל שכבה בנפרד. הצמחים נקטפו בתחילת מילוי הלקטים (על מנת למנוע התנוונות שורשים), השורשים נשטפו וכל חלקי הצמח יובשו ונשקלו.

תוצאות ניסוי זה העידו בברור שטמפרטורות גבוהות גרמו להגדלת משקל השורשים בשכבות שבין 100-20 ס"מ (איור 7) והגדילו את היחס המשקלי בין שורשים לנוף (איור 8).

4. סיכום ומסקנות:

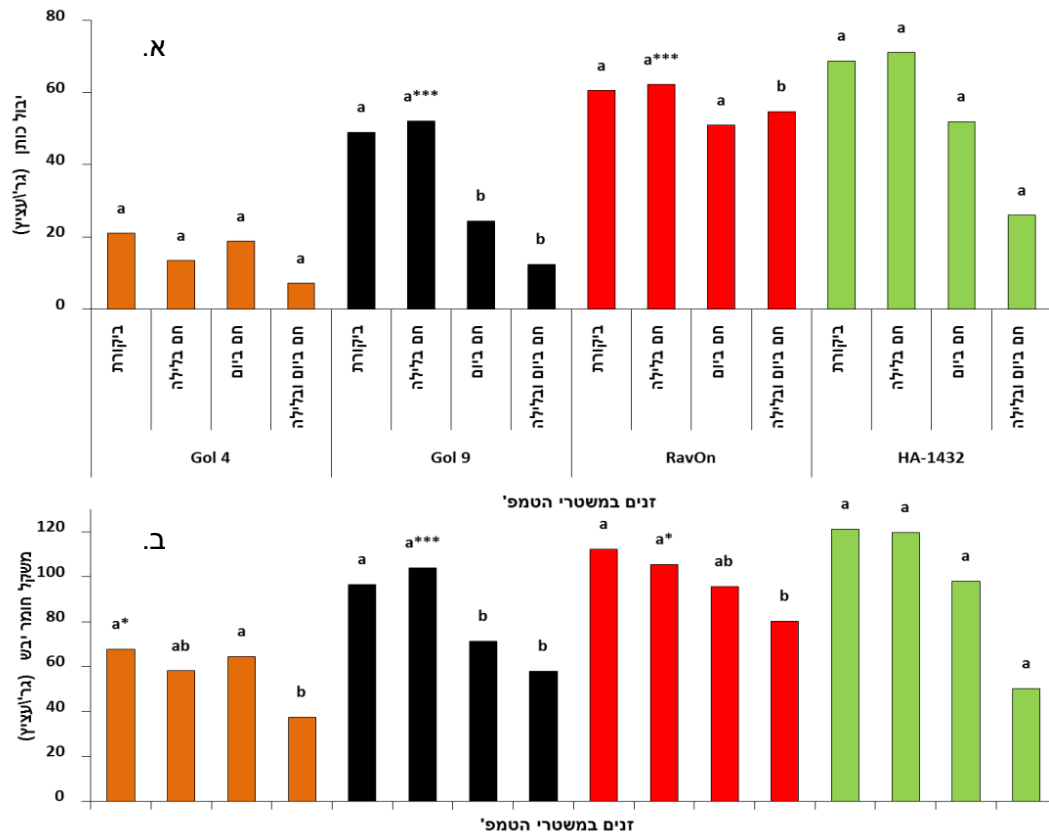
לסיכום, תוצאות המחקר מעידות כי טמפרטורות גבוהות פוגעות ביבול הכותנה ככל הנראה עקב ירידה בזמינות המוטמעים בצמח, בחינה של מדדים פיזיולוגיים שונים לא סיפקו הסבר למחסור זה - לא נמצאה כל השפעה של טמפרטורות יום גבוהות על קצבי ההטמעה והנשימה, ריכוזי הפחמימות בעלים או קצב הזדקנות העלים. בניסוי העמודות שבוצע בשנה האחרונה (2016) נמצא כי טמפרטורות גבוהות מגדילות את מסת השורשים ואת היחס המשקלי בין השורש לנוף, דבר אשר ככל הנראה פוגע בשטח העלים המטמיע ובכושר הייצור של הצמחים.

בנוסף, נבחנו בשנה האחרונה (2016) בחוות עדן הזנים פימה Gol9 ואקלה RavOn מזרעים שגדלו בשנה הקודמת בתנאי שדה באתרים בעלי טמפרטורות גבוהות (רשפים) או מתונות (רגבה) וזרעים מסחריים. לא נמצאה השפעה כל אפיגנטית (חוץ-גנית) של מקור הזרעים על ביצועי הצמחים בתנאי טמפרטורות גבוהות בשדה.

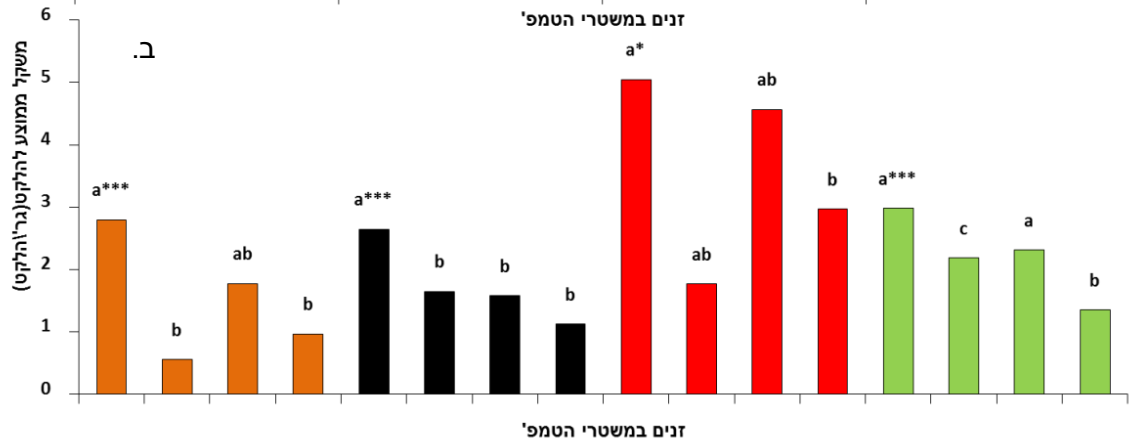
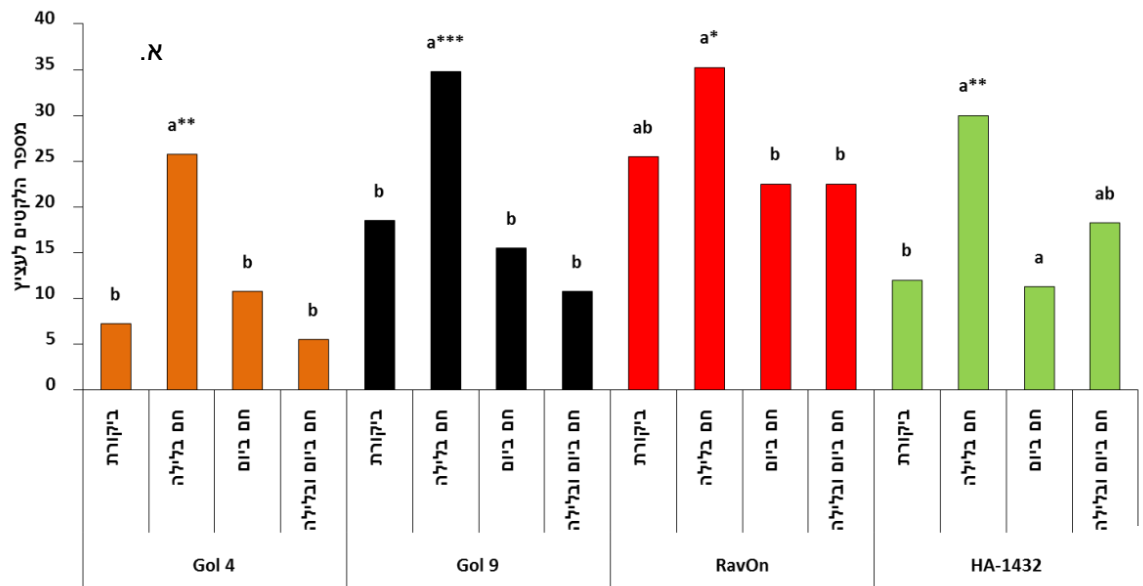
טבלה 1. ערכים ממוצעים וניתוח שונות של משקל החומר היבש, היבול ורכיביו בארבעה זני כותנה בהשפעת ארבעה משטרי טמפרטורה: ביקורת (22/28), חם בלילה 28/28, חם ביום 22/34, חם ביום ובלילה 28/34 מ"צ (יום/לילה). ניסוי 2014.

משקל ח"י (גר'עציץ)	מספר הלקטים לעציץ	משקל ח"י (גר'הלקט)	יבול כותן (גר'עציץ)	השפעה עיקרית גנוטיפ
15.08c	63.35c	1.51c	15.08c	גולית 4
34.46b	82.38b	1.74bc	34.46b	גולית 9
57.08a	98.94a	3.58a	57.08a	רב-און
54.42a	104.70a	2.20b	54.42a	HA-1432
השפעת משטרי טמפ'				
49.52a	100.93a	3.36a	49.52a	ביקורת
50.44a	100.18a	1.63c	50.44a	חם בלילה
25.93b	67.31b	1.59c	25.93b	חם ביום
36.53b	80.95ab	2.55b	36.53b	חם ביום ובלילה
מקור השונות				
56.8***	30.88***	49.06***	56.8***	זנים
53.78***	62.45***	8.22**	53.78***	טמפ' יום
5.06*	4.62*	114.46**	5.06*	טמפ' לילה
4.81**	3.71*	11.38**	4.81**	טמפ' יום*טמפ' לילה
8.02**	3.31*	4.21*	8.02**	טמפ' יום*זנים
1.56	0.75	8.85***	1.56	זנים*טמפ' לילה
1.62	0.72	2.66	1.62	טמפ' יום*טמפ' לילה*זנים

ממוצעים המסומנים באותיות שונות (a, b, c), בתוך כל משתנה וכל השפעה בנפרד, נבדלים באופן מובהק לפי מבחן Tukey HSD. *, **, *** מציינות מובהקות של ערכי F ברמות של $P > 0.05$, $P > 0.01$, $P > 0.001$. בהתאמה.



איור 1: יבול כותן (א) ומשקל חומר יבש (ב) בארבעה זני כותנה (Gol 4, Gol 9, HA-1432, RavOn) בארבעה משטרי הטמפרטורה: ביקורת 22/28, חס בלילה 28/28, חס ביום 22/34, חס ביום ובלילה 28/34 מ"צ (יום/לילה). ממוצעים המסומנים באותיות שונות (a, b), בתוך כל משתנה וכל זן בנפרד, נבדלים באופן מובהק לפי מבחן Tukey HSD. *, **, *** מציינות מובהקות של ערכי F ברמות של $P > 0.05$, $P > 0.01$, $P > 0.001$. בהתאמה.

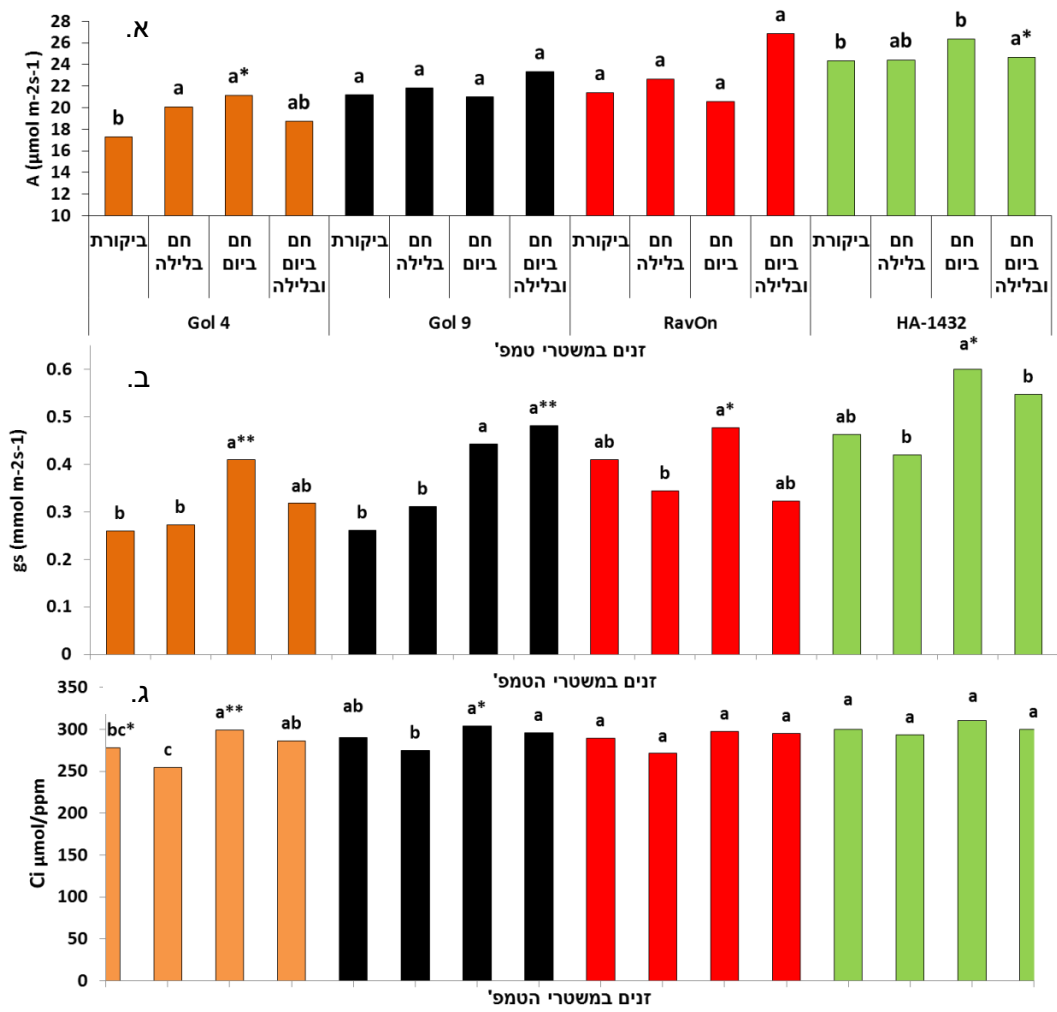


איור 2: מספר הלקטים (א) ומשקל ממוצע להלקט (ב) בארבעת הזנים הנבחנים (Gol 9, Gol 4, RavOn, HA-1432) ובארבעה משטרי טמפרטורה: ביקורת 22/28, חם בלילה 28/28, חם ביום 22/34, חם ביום ובלילה 28/34 מ"צ (יום/לילה). ממוצעים המסומנים באותיות שונות (a, b), וכל זן בנפרד, נבדלים באופן מובהק לפי מבחן Tukey HSD. *, **, *** מציינות מובהקות של ערכי F ברמות של $P > 0.001$, $P > 0.01$, $P > 0.05$. בהתאמה.

טבלה 2. ערכים ממוצעים וניתוח שונות של חילופי גזים בשעות היום בארבעה זני כותנה בהשפעת ארבעה משטרי טמפרטורה: ביקורת (22/28), חם בלילה 28/28, חם ביום 22/34, חם ביום ובלילה 28/34 מ"צ (יום/לילה). ניסוי 2014.

Ci	מוליכות פיוניות	פוטוסינתזה	מידות יום	
ICE($\mu\text{mol/ppm}$)	$A_{370}(\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1})$	$gS_{370}(\text{mmol/m}^2\text{s}^{-1})$		
השפעה עיקרית גנוטיפ				
279.3b	0.31b	19.67c	גולית 4	
291.3ab	0.37b	22.06b	גולית 9	
288.2ab	0.36b	23.77ab	רב-און	
301.1a	0.50a	24.94a	HA-1432	
השפעת משטרי טמפ'				
289.5a	0.35b	21.04b	ביקורת	
273.5b	0.33b	22.25ab	חם בלילה	
302.7a	0.47a	22.81ab	חם ביום	
294.3a	0.39b	24.34a	חם ביום ובלילה	
F on י'	F on י'	F on י'	ד"ח	מקור השונות
6.00**	18.88***	12.41***	3	זנים
22.59***	20.14***	8.84**	1	טמפ' יום
11.08**	6.23*	4.42*	1	טמפ' לילה
1.08	1.82	0.06	1	יום*לילה
1.06	3.74*	0.71	3	טמפ' יום*זנים
0.35	1.29	1.8	3	טמפ' לילה*זנים
0.33	0.38	2.04	3	טמפ' יום*זנים*טמפ' לילה

ממוצעים המסומנים באותיות שונות (a, b, c), בתוך כל משתנה וכל השפעה בנפרד, נבדלים באופן מובהק לפי מבחן Tukey HSD. *, **, *** מציינות מובהקות של ערכי F ברמות של $P > 0.05$, $P > 0.01$, $P > 0.001$. בהתאמה.



איור 3: קצב הטמעה (א), מוליכות פיוניות (ב) ופד"ח תת פיונית (ג) בארבעה זני כותנה (Gol 4, Gol 9, RavOn, HA-1432) בארבעה משטרי טמפרטורה: ביקורת 22/28, חם בלילה 28/28, חם ביום 22/34, חם ביום ובלילה 28/34 מ"צ (יום/לילה). ממוצעים המסומנים באותיות שונות a, b, c), בתוך כל משתנה וכל זן בנפרד, נבדלים באופן מובהק לפי מבחן Tukey HSD. *, **, ***. מציינות מובהקות של ערכי F ברמות של $P > 0.05$, $P > 0.01$, $P > 0.001$. בהתאמה.

טבלה 3. ערכים ממוצעים וניתוח שונות של ריכוזי סוכרים ועמילן במהלך היממה בארבעה זני כותנה בהשפעת ארבעה משטרי טמפרטורה: ביקורת (22/28), חם בלילה 28/28, חם ביום 22/34, חם ביום ובלילה 28/34 מ"צ (יום/לילה). ניסוי 2014.

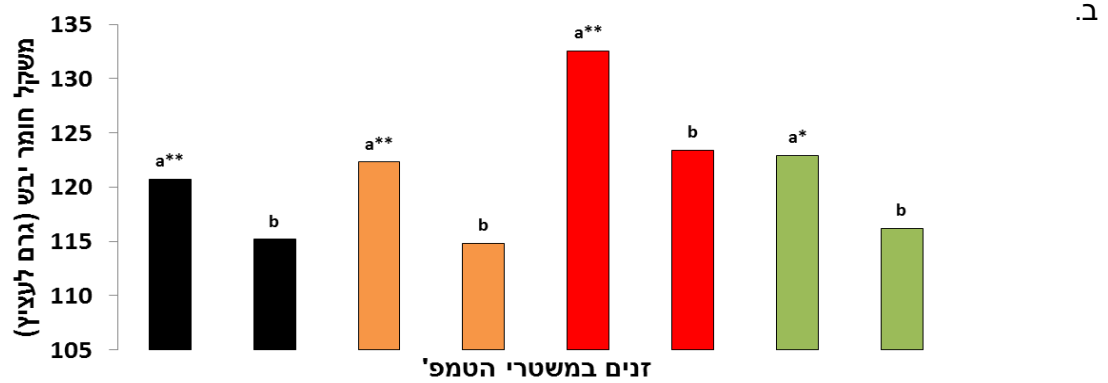
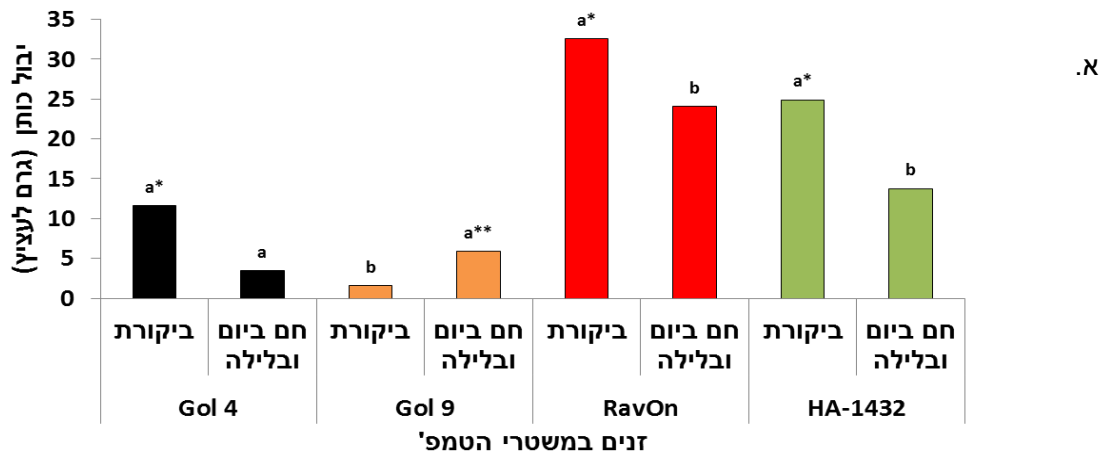
מדידות לאורך יממה	סוכרוז	גלוקוז	עמילן
השפעה עיקרית גנוטיפ	($\mu\text{g cm}^2$)	($\mu\text{g cm}^2$)	($\mu\text{g glucose cm}^2$)
גולית 4	122.27a	78.47a	151.76a
גולית 9	118.84a	45.87a	136.02a
רב-און	101.55ab	64.24a	131.4a
HA-1432	92.29b	74.61a	136.11a
השפעת משטרי טמפ'			
ביקורת	107.75a	77.65a	131.42ab
חם בלילה	106.83a	75.64a	124.90b
חם ביום	104.10a	68.09a	160.87a
חם ביום ובלילה	116.28a	71.81a	138.11ab
השפעה עיקרית זמן			
06:00	51.75c	37.98b	72.25c
12:00	193.64a	171.97a	195.76a
18:00	103.45b	39.18b	148.47b
24:00	86.11b	44.06b	(-)
מקור השונות			
זנים	4.39**	0.74	1.14
משטר טמפ'	0.58	0.21	3.23*
זמן	82.45***	65.54***	72.64***
משטר טמפ' * זנים	0.62	0.08	0.64
זנים * זמן	1.1	0.45	1.19
משטר טמפ' * זמן	0.71	0.24	2.70*
משטר טמפ' * זמן * זנים	0.43	0.11	0.6

ממוצעים המסומנים באותיות שונות (a, b, c), בתוך כל משתנה וכל זן בנפרד, נבדלים באופן מובהק לפי מבחן Tukey HSD. *, **, *** מציינות מובהקות של ערכי F ברמות של $P > 0.05$, $P > 0.01$, $P > 0.001$, בהתאמה.

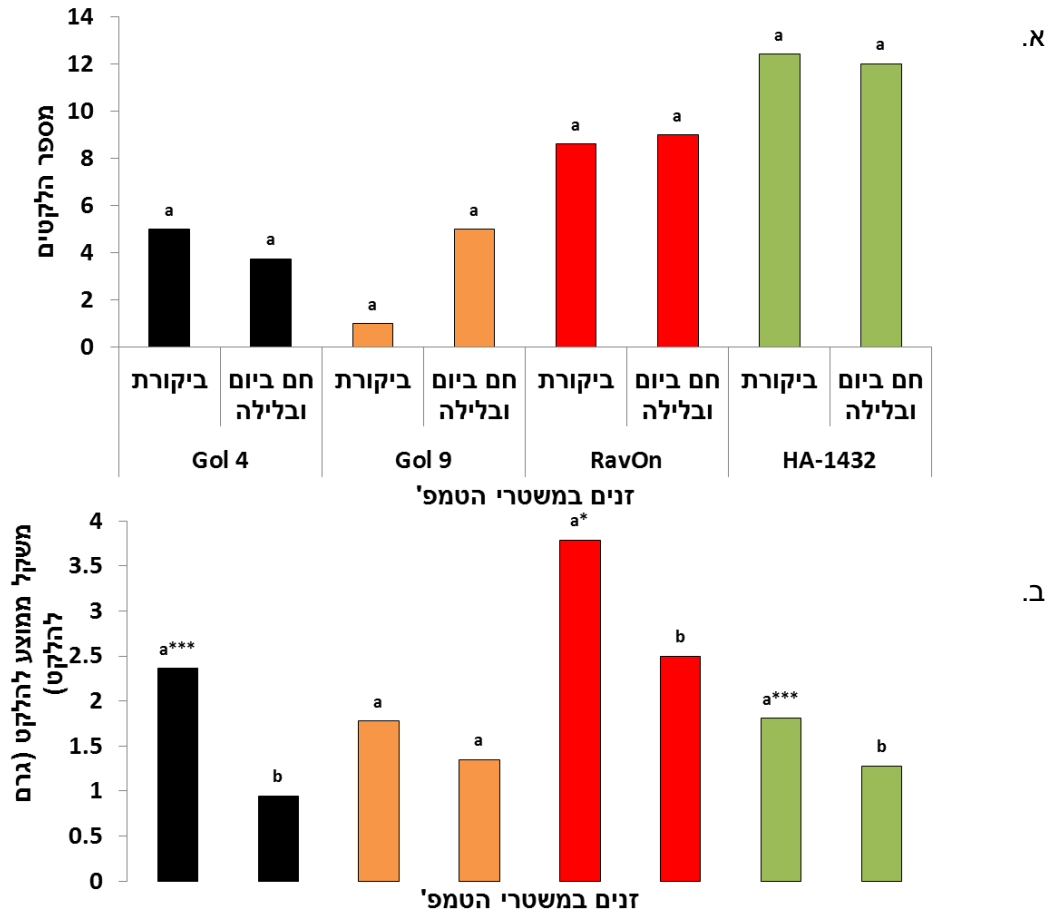
טבלה 4. ערכים ממוצעים וניתוח שונות של משקל החומר היבש, היבול ורכיביו בארבעה זני כותנה בהשפעת ארבעה משטרי טמפרטורה: ביקורת 22/28, חם בלילה 28/28, חם ביום 22/34, חם ביום ובלילה 28/34 מ"צ (יום/לילה). ניסוי 2015.

משקל ממוצע להלקט (גר'הלקט)	מספר הלקטים לעציץ	משקל ח"י (גר'עציץ)	יבול כותן (גר'עציץ)	השפעה עיקרית גנוטיפ
1.65b	4.375c	117.96b	7.54c	גולית 4
1.56b	3c	118.55b	3.74c	גולית 9
3.14a	8.8b	127.98a	28.31a	רב-און
1.54b	12.2a	119.55b	19.33b	HA-1432
השפעת משטרי טמפ'				
2.43a	6.75a	124.64a	17.67a	ביקורת
1.51b	7.43a	117.38b	11.8b	חם ביום ובלילה
F on	F on	F on	F on	ד"ח
42.66***	54.92***	20.36***	41.62***	3
47.62***	1.45	48.78***	10.94**	1
3.68*	3.20*	0.53	3.20*	3
מקור השונות				
זנים				
משטר טמפ'				
זנים*משטר טמפ'				

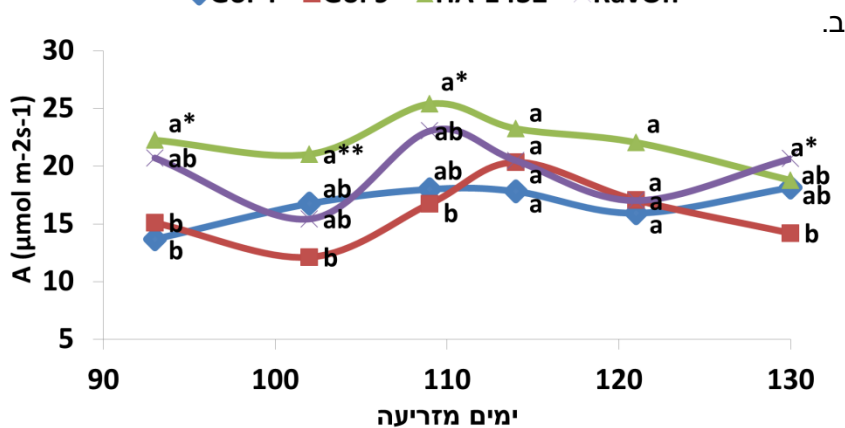
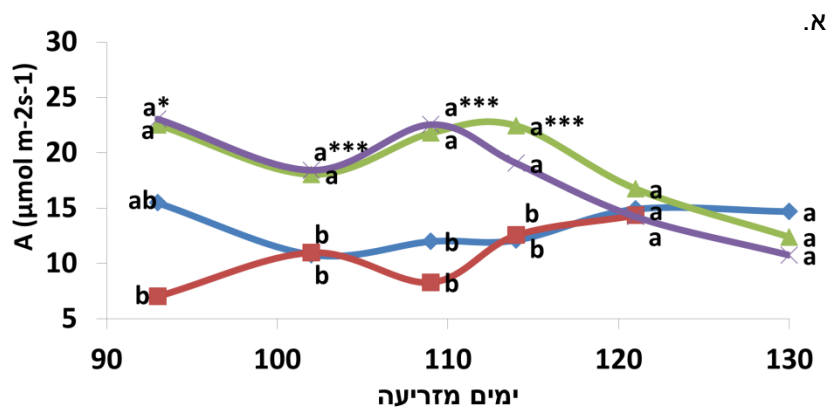
ממוצעים המסומנים באותיות שונות (a, b, c), בתוך כל משתנה וכל זן בנפרד, נבדלים באופן מובהק לפי מבחן Tukey HSD. *, **, *** מציינות מובהקות של ערכי F ברמות של $P > 0.05$, $P > 0.01$, $P > 0.001$. בהתאמה.



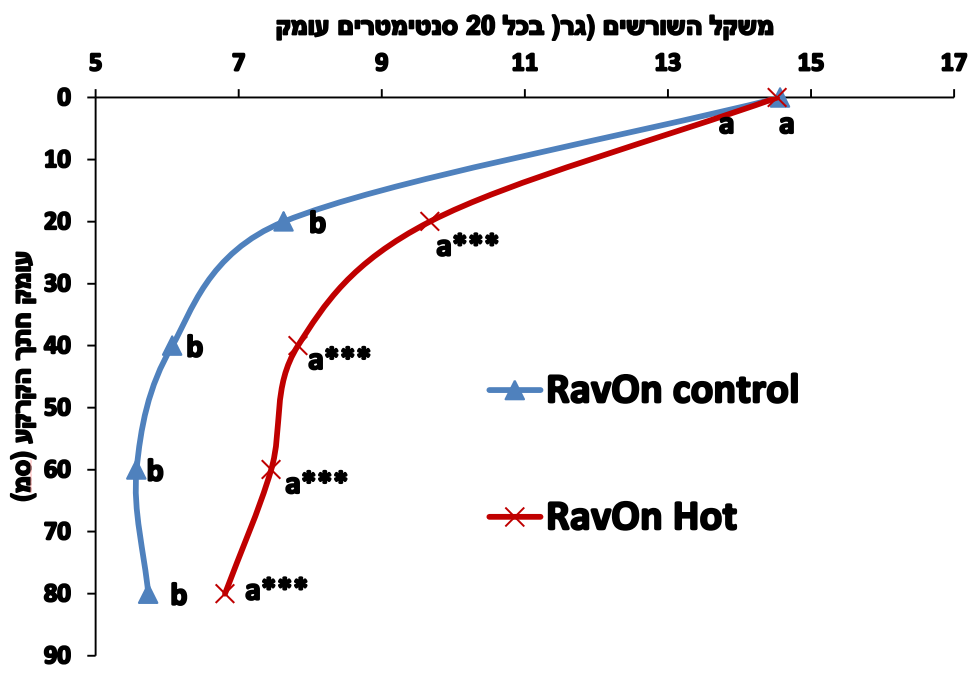
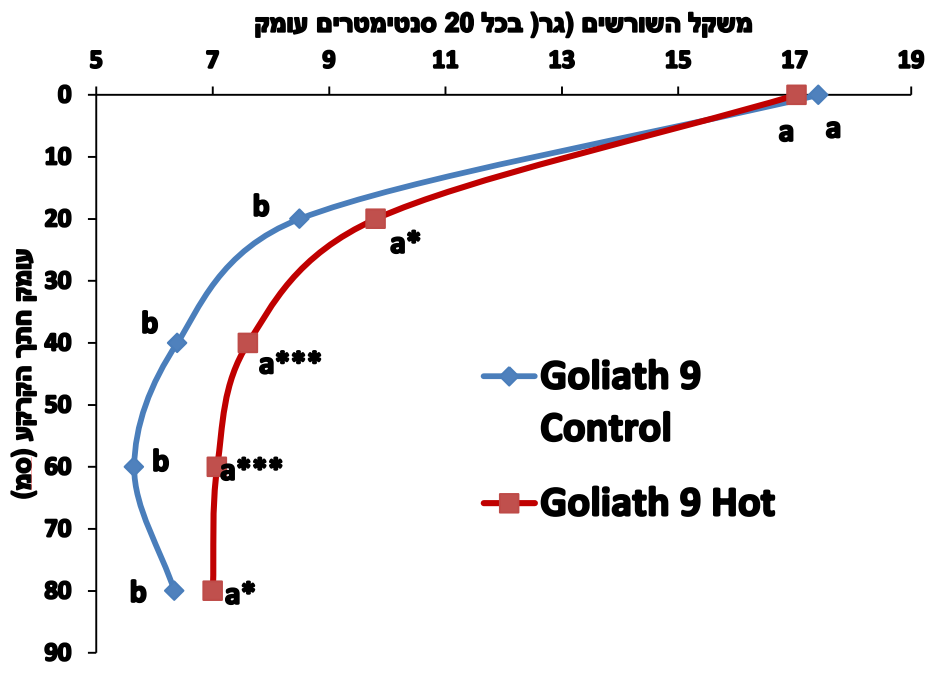
איור 4: יבול כותן (א) ומשקל חומר יבש (ב) בארבעה זני כותנה (HA-1432, Gol 9, Gol 4, RavOn) בשני משטרי טמפרטורה: ביקורת 22/28, חם ביום ובלילה 28/34 מ"צ (יום/לילה). ממוצעים המסומנים באותיות שונות (a,b), בתוך כל משתנה וכל זן בנפרד, נבדלים באופן מובהק לפי מבחן Student's t. *, **, *** מציינות מובהקות של ערכי F ברמות של $P > 0.05$, $P > 0.01$, $P > 0.001$ בהתאמה.



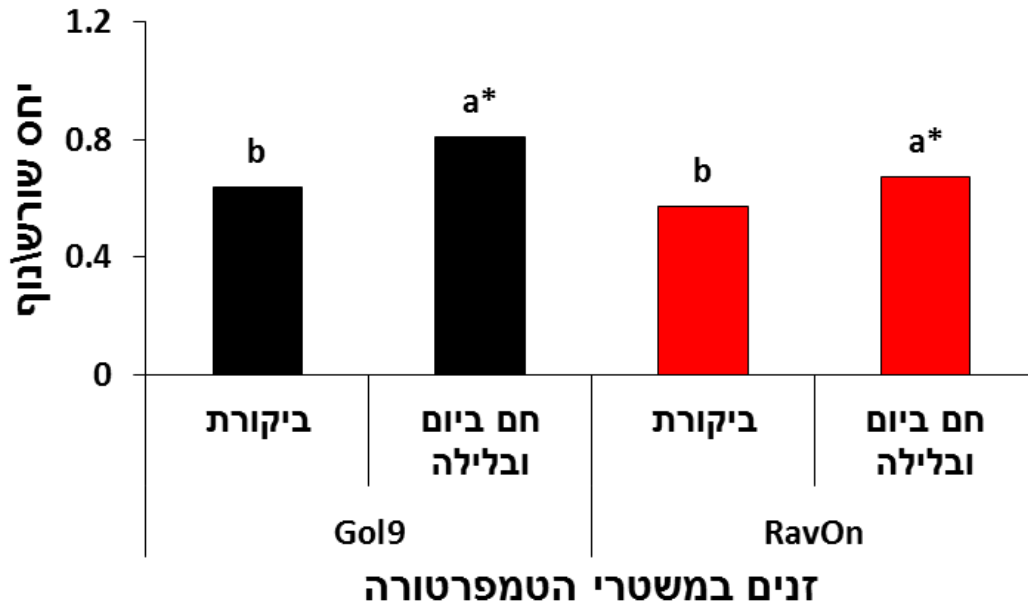
איור 5: מספר הלקטים (א) ומשקל ממוצע ללקט (ב) בארבעה זני כותנה (Gol 4, Gol 9, HA-, RavOn), בשני משטרי טמפרטורה: ביקורת 22/28, חם ביום ובלילה 28/34 מ"צ (יום/לילה). ממוצעים המסומנים באותיות שונות (a, b), בתוך כל משתנה וכל זן בנפרד, נבדלים באופן מובהק לפי מבחן Student's t. *, **, *** מציינות מובהקות של ערכי F ברמות של $P > 0.05$, $P > 0.01$, $P > 0.001$, בהתאמה.



איור 6: קצב ההטמעה של עלה קבוע במהלך 40 ימים בארבעה זני כותנה (Gol 4, Gol 9, HA-, RavOn, 1432) בשני משטרי טמפרטורה ביקורת: ביקורת 22/28, חם ביום ובלילה 28/34 מ"צ (יום/לילה). ממוצעים המסומנים באותיות שונות (a, b), בתוך כל משתנה וכל זן בנפרד, נבדלים באופן מובהק לפי מבחן Tukey HSD. *, **, *** מציינות מובהקות של ערכי F ברמות של $P > 0.05$, $P > 0.01$, $P > 0.001$. בהתאמה.



איור 7: התפלגות משקל השורשים בשני זני כותנה (RavOn, Gol 9) בשני משטרי טמפרטורה ביקורת: ביקורת 22/28, חם ביום ובלילה 28/34 מ"צ (יום/לילה). ממוצעים המסומנים באותיות שונות (a, b), בתוך כל משתנה וכל זן בנפרד, נבדלים באופן מובהק לפי מבחן Tukey HSD. *, ** מציינות מובהקות של ערכי F ברמות של $P > 0.05$, $P > 0.01$, $P > 0.001$. בהתאמה.



איור 8: יחס משקלי בין שורש לנוף בשני זני כותנה (RavOn ,Gol 9) בשני משטרי טמפרטורה ביקורת: ביקורת 22/28, חם ביום ובלילה 28/34 מ"צ (יום/לילה). ממוצעים המסומנים באותיות שונות (a, b), בתוך כל משתנה וכל זן בנפרד, נבדלים באופן מובהק לפי מבחן Tukey HSD. *, ** מציינות מובהקות של ערכי F ברמות של $P > 0.05$, $P > 0.01$, $P > 0.001$. בהתאמה.