

# שונות גנטית בתגובת זני כותנת פימה לטמפרטורות גבוהות

דו"ח סופי לשנת 2017

מוגש להנהלת ענף הכותנה

ע"י:

יהושע סרנגה<sup>1</sup>, אביאל קינסבורסקי<sup>1</sup>, רן חובב<sup>2</sup>, און רבינוביץ<sup>3</sup> ואור רם<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>האוניברסיטה העברית בירושלים, הפקולטה לחקלאות מזון וסביבה, רחובות  
<sup>2</sup>מנהל המחקר החקלאי, בית דגן, <sup>3</sup>משרד החקלאות ופיתוח הכפר, ש.ה.מ.

## 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 עליית הטמפרטורה בעונות החורף והקיץ בישראל הם חלק מתהליכים כלל עולמיים. עליית הטמפרטורה העולמית עשויה לשפר 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.

במהלך השנים הקודמות (2014-2016) נבחנו בפיטורון הפקולטה לחקלאות ארבעה זני כותנה במשטרי טמפרטורה שונים. טמפרטורת לילה גבוהה (28 מ"צ) גרמה לפגיעה במספר הזרעים להלקט ומשקל ההלקט ובמקביל לעליה במספר ההלקטים, ללא כל פגיעה ביבול הכותן ובכמות החומר היבש יחסית לביקורת. לעומת זאת משטר של יום חם (34 מ"צ) גרם לפגיעה במשקל ההלקט, יבול הכותן ומשקל החומר היבש וכמוהו גם משטר של יום ולילה חמים (28/34 מ"צ), דבר המצביע על אפשרות של מחסור במוטמעים במשטרי טמפרטורה אלה. אולם, בחינה של מדדים פיזיולוגיים נוספים 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.

## 2. מטרות

מטרתו העיקרית של מחקר זה היא לשפר את הידע בנושא השפעת טמפרטורות גבוהות על התפתחות ויבול כותנת פימה כבסיס לטיפוח זנים עמידים לחום. מטרותיו הפרטניות של המחקר הן:

- (א) אימות הממצאים של המחקר הקודם בנושא השפעת טמפרטורות גבוהות ביום ובלילה על התפתחות ויבול צמחי כותנה.
- (ב) אפיון השונות הגנטית בתגובה לטמפרטורות גבוהות באוסף של זני פימה
- (ג) פיתוח מדדים לזיהוי התגובה לטמפרטורות גבוהות בתנאי שדה.

## **2. תאור הניסויים ותוצאותיהם:**

**א. ניסוי פיטוטרון** – שני זני כותנה (פימה Gol9 ואקלה RavOn כביקורת) נבחנו בפיטוטרון בעמודות באורך 1 מ' וקוטר 10 ס"מ ב- 4 משטרי טמפרטורות יום ולילה (22/28, 22/34, 28/28 ו- 28/34 מ"צ) ב- 6 חזרות. בוצע אפיון של כושר הייצור וחלוקת המוטמעים בין עלים, גבעולים, הלקטים ושורשים. בנוסף בוצע מיפוי צמחי מפורט של מספר הלקטים ומשקלם, משקל הכותן והקשוות, מספר הזרעים בהלקט.

ניתוח שונות תלת גורמי (זנים, טמפ' יום, טמפ' לילה) הראה השפעה מובהקת של הזנים, וטמפרטורת היום בכל המדדים ושל טמפ' הלילה במרבית המדדים (טבלה 1). השוואה בין הביקורת (22/28 מ"צ) לטיפולים השונים מעידה כי משטר של לילה חם (28/28 מ"צ) לא השפיע על אף אחד מן המדדים, משטר של יום חם (22/34 מ"צ) הראה ברוב המדדים ירידה מתונה (מובהקת או לא מובהקת) ואילו המשטר של יום ולילה חמים (28/34 מ"צ) הראה ירידה משמעותית ומובהקת בכל המדדים. יחסית לביקורת, גרם טיפול של חום ביום ובלילה לירידה של 67% ביבול הכותן, 25% במשקל חומר יבש כללי, 38% במספר הלקטים, 62% במספר הזרעים להלקט ו- 36% במשקל הכותן להלקט. ניתוח השפעות הטיפולים בכל זן בנפרד הראה השפעות דומות בשני הזנים (איור 1).

בעוד שמשטר טמפרטורה של לילה חם לא הראה כל השפעה על משקל חומר יבש כללי (טבלה 1, איור 1), הוא גרם לשינויים דרמטיים בחלוקת המוטמעים בין נוף לשורש (טבלה 2). משקל הנוף ירד בהשפעת לילה חם ואילו משקל השורש עלה בשיעור של 45%, וכתוצאה מכך עלה גם יחס שורש:נוף מ- 0.24 ביקורת ל- 0.42 בטיפול זה. לעומת זאת הטיפולים של יום חם וכן יום ולילה חמים הראו ירידה במשקל הנוף וציביות במשקל השורשים וכתוצאה מזה עליה מתונה ביחס שורש:נוף לערכים של 0.33 ו- 0.36, בהתאמה. ניתוח השפעות הטיפולים בכל זן בנפרד מראה גם במדדים אלה השפעות דומות בשני הזנים (איור 2). ניתוח של התפלגות השורשים בפרופיל הקרקע מדגים בצורה ברורה את העלייה במשקל השורשים בטיפול הלילה החם, בכל שכבות הקרקע בזן גולית 9 ובשכבות הקרקע העליונות בזן רבאון (איור 3).

**ב. ניסוי שדה** – 14 זנים מאריזונה ארה"ב וכן 4 זנים ישראליים (ביקורות) נבחנו בקבוצת יבנה במועד זריעה מקובל בחוות עדן במזרע מאוחר. בשל מצאי הזרעים המוגבל של הזנים מאריזונה, נזרעו כל הזנים בחלקות קטנות (שורה אחת באורך 2 מ') ב- 3 חזרות. בשני האתרים נקטפו ידנית ההלקטים מ- 1 מ' שורה ונאספו נתוני יבול כותן, מספר הלקטים, משקל כותן להלקט ומספר זרעים להלקט.

יבול הכותן בקבוצת יבנה, המייצגת טמפרטורות גידול מקובלות, היה בזנים השונים בין 232 ל- 672 גר' למ"ר (ואף למעלה מזה בזן המכלוא), ואילו בחוות עדן המייצגת טמפרטורות גבוהות היה היבול בין 148 ל- 403 גר' למ"ר (טבלה 3). זני הפימה הישראליים הניבו בחוות עדן כ- 25% מהיבול בקבוצת יבנה. לעומתם, הזנים מאריזונה הניבו בחוות עדן בין 27% (בדומה לזני הפימה הישראליים) ל- 99% יחסית ליבולם בקבוצת יבנה. מבין רכיבי היבול, הראה מספר ההלקטים ירידה מתונה (בדרך כלל לא מובהקת) בחוות עדן לעומת יבנה, ואילו משקל ההלקט ומספר הזרעים

להלקט הראו ירדה חדה יותר ובמרבית המקרים מובהקת. בין הזנים מאריזונה הצטיינו בעמידות לחום (ירידה מתונה בכל המדדים) הזנים P65, P77 ו-S6.

#### **4. סיכום ומסקנות:**

בפיטוטרון, טמפרטורות יום גבוהות, ואף יותר מכך טמפרטורות יום ולילה גבוהות, גרמו לפגיעה ביבול הכותן של זני הפימה והאקלה שנבחנו. בהתאמה לתוצאות אלו, גם הגידול בתנאי שדה בטמפרטורות יום ולילה גבוהות (חוות עדן) פגע ביבול הכותן לעומת הגידול בטמפרטורות המקובלות (קבוצת יבנה). מבין רכיבי היבול, מספר הזרעים להלקט ומשקל כותן להלקט הושפעו בצורה משמעותית ביותר לעומת מספר ההלקטים שהושפעו במידה מתונה. לפיכך, מספר הזרעים ומשקל הכותן בהלקט יכולים לשמש כמדד מהיר לזיהוי התגובה לחום (עמידות או רגישות) לצרכי ניסויים וטיפוח.

ניסוי הפיטוטרון מאפשר ניתוח מעמיק של השפעות טמפרטורות גבוהות ביום ובלילה על כושר הייצור של צמחי כותנה. טמפרטורות גבוהות בלילה בלבד לא השפיעו על ייצור חומר יבש כללי וכותן אבל גרמו להקצאת מוטמעים רבים יותר לשורשים על חשבון הנוף. לעומת זאת טמפרטורות גבוהות ביום גרמו לירידה בייצור הכותן וחומר יבש כללי, תוך שמירה על משקל השורשים. תוצאות אלו מעידות כי טמפרטורות גבוהות ביום הן הגורם העיקרי לפגיעה ביבול של צמחי כותנה באקלים חם. השמירה או עליה במשקל השורשים, שהתבטאו ביחס שורש:נוף גבוה מהביקורת, מעידים על החשיבות של השמירה (ואולי אף תגבור) של פעילות השורשים בקליטת מים ו/או מינרלים בעת עקת חום. יתכן שאספקה מוגברת של מים ו/או מינרלים מוגברת בעת עקת חום עשויה להקל את השפעת העקה על הצמחים, "לחסוך" מהצמח את הצורך להקצות יותר מוטמעים לשורש ואת המחיר המטבולי של התופעה.

באוסף הזנים שנבחו בשדה נמצאה שונות רבה בתגובה לחום אשר יכולה לשמש כבסיס לטיפוח עתידי של זנים עמידים לחום. יש חשיבות רבה לבצע מידי שנה מבחני זנים בתנאי חום (מזרע מאוחר בעמק בית שאן) על מנת לזהות מראש זנים רגישים אשר עשויים להיפגע בעונות חמות בכל רחבי הארץ.

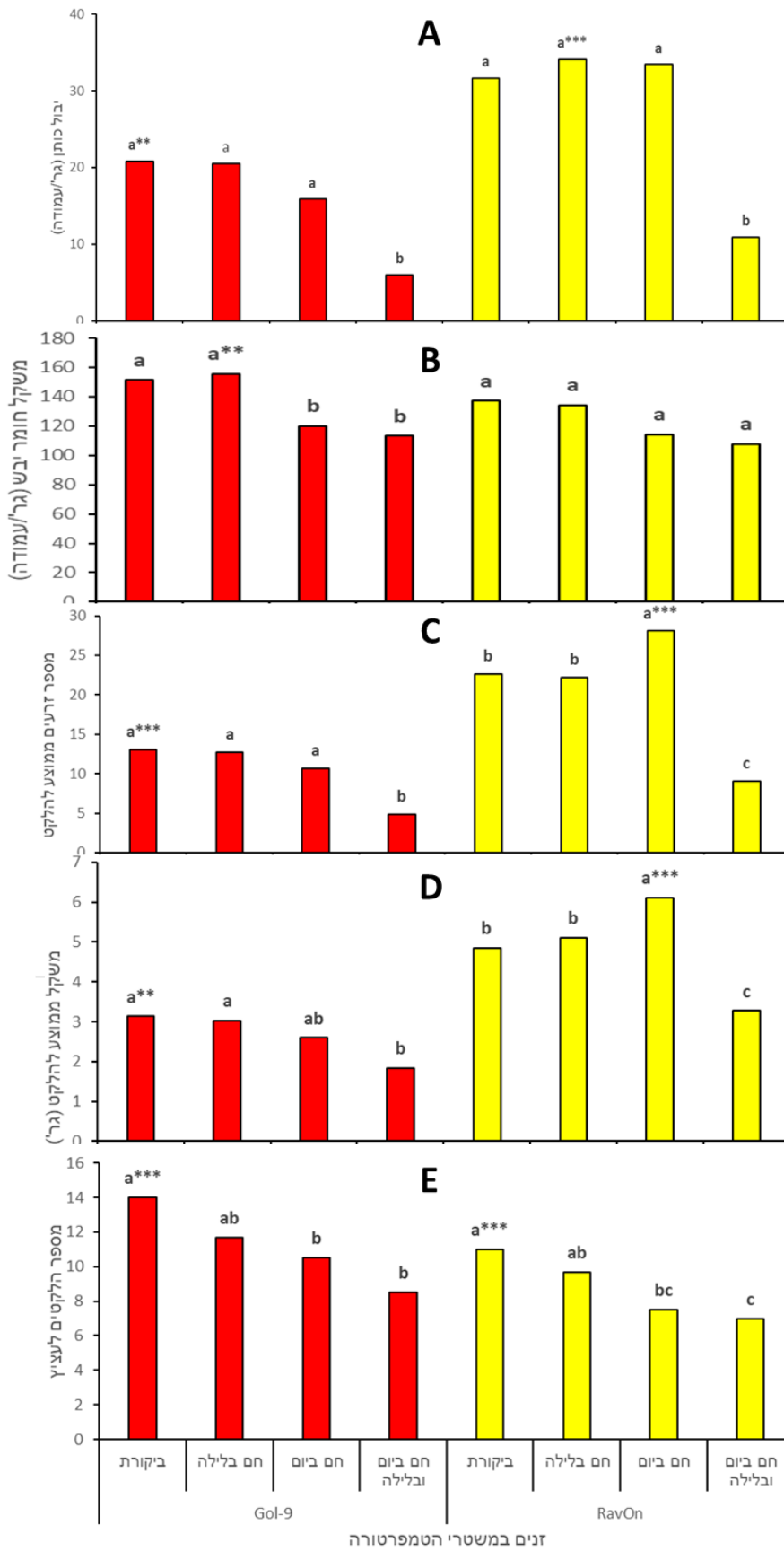
#### **הבעת תודה:**

אנו מודים לנועם פישביין וצוות גד"ש יבנה, ליפתח גלעדי וצוות חוות עדן, ללי-און כהן וצוות הפיטוטרון ולורד ברק וצוות מעבדת סרנגה בפקולטה לחקלאות על הסיוע בביצוע המחקר.

## טבלה 1.

ערכים ממוצעים וניתוח שונות של השפעת משטרי טמפרטורה וזנים על משקל החומר היבש, היבול ורכיביו. ממוצעים המסומנים באותיות שונות (a, b, c), בתוך כל משתנה וכל גורם בנפרד, נבדלים באופן מובהק לפי Student's t. \*, \*\*, \*\*\* מציינות מובהקות של ערכי F ברמות של  $P > 0.05$ ,  $P > 0.01$ ,  $P > 0.001$  בהתאמה.

משקל ממוצע להלקט (גרם)	מספר זרעים ממוצע להלקט	מספר הלקטים לעמודה	משקל ח"י (גר/עמודה)	יבול כותן (גר/עמודה)		
<b>השפעה עיקרית גנוטיפ</b>						
2.64b	10.30b	11.16a	132.47a	15.79b	גולית 9	
4.83a	20.48a	8.79b	121.39b	27.52a	רב-און	
<b>השפעה משטרי טמפ'</b>						
3.99a	17.83a	12.5a	144.12a	26.23a	ביקורת	
4.06a	17.45a	10.66b	139.61a	27.29a	חם בלילה	
4.34a	19.36a	9c	114.76b	24.64a	חם ביום	
2.54b	6.92b	7.75c	109.22b	8.46b	חם ביום ובלילה	
<b>F on</b>	<b>F on</b>	<b>F on</b>	<b>F on</b>	<b>F on</b>	<b>ד"ח</b>	<b>מקור השונות</b>
<b>118.37***</b>	<b>112.01***</b>	<b>21.29***</b>	<b>4.44*</b>	<b>55.69***</b>	1	זן
<b>8.28**</b>	<b>21.88***</b>	<b>38.85***</b>	<b>32.30***</b>	<b>42.19**</b>	1	טמפ' יום
<b>18.44***</b>	<b>44.39***</b>	<b>8.97**</b>	0.91	<b>23.11***</b>	1	טמפ' לילה
2.06	0.44	0.05	1.00	0.09	1	זן*טמפ' יום
4.46	<b>11.67**</b>	1.47	0.14	2.44	1	זן*טמפ' לילה
21.62***	<b>39.32***</b>	0.32	0.00	<b>30.08***</b>	1	טמפ' יום*טמפ' לילה
9.16**	<b>11.82**</b>	0.05	0.00	<b>6.08*</b>	1	זן*טמפ' יום*טמפ' לילה

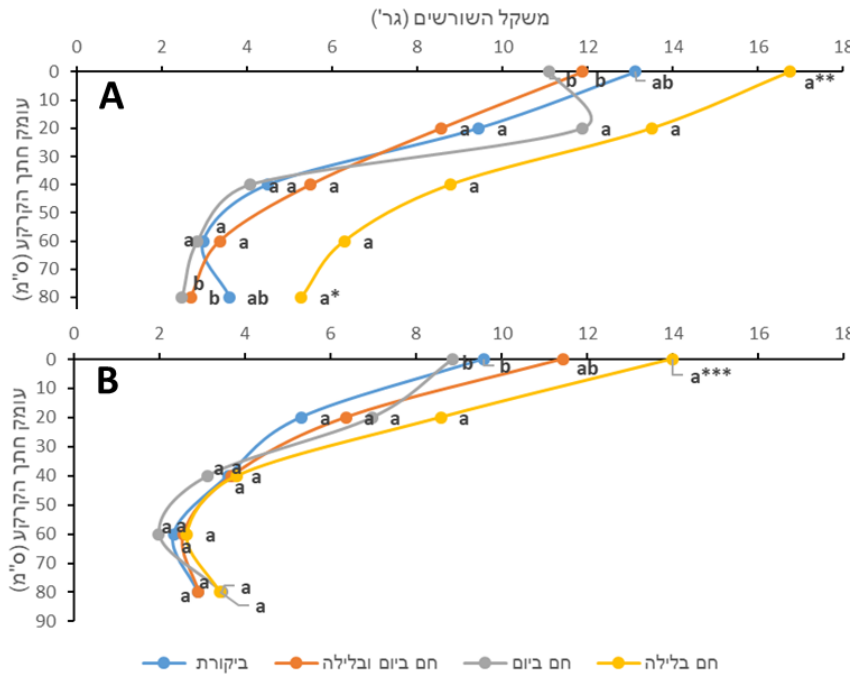
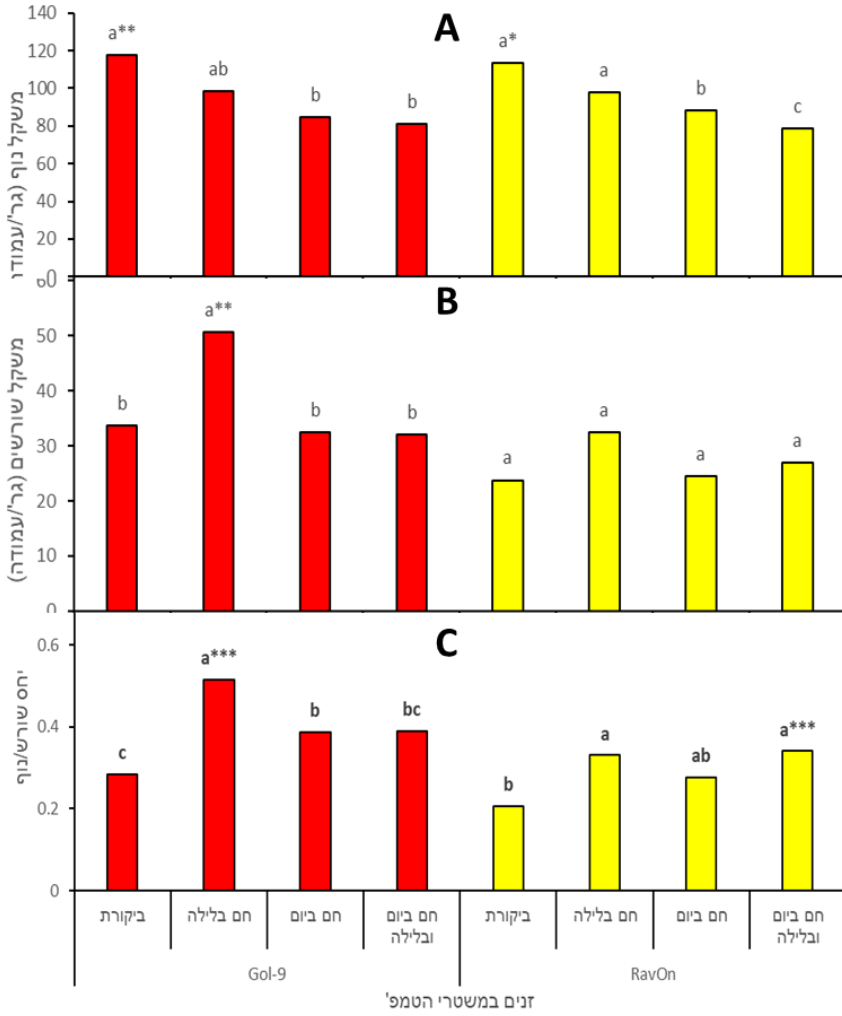


**איור 1:**  
 יבול ורכיביו בשני זני כותנה  
 בארבעה (RavOn, Gol 9) משטרי הטמפרטורה: ביקורת  
 22/28, חם בלילה 28/28, חם ביום  
 ובלילה 22/34, חם ביום ובלילה  
 28/34 מ"צ (יום/לילה).  
 (A) יבול כותן  
 (B) משקל חומר יבש כללי  
 (C) מספר זרעים להקט  
 (D) משקל הקט  
 (E) מספר הקטים.  
 ממוצעים המסומנים באותיות  
 שונות (a, b), בתוך כל משתנה  
 וכל זן בנפרד, נבדלים באופן  
 מובהק לפי מבחן Tukey  
 HSD. \*, \*\*, \*\*\* מציינות  
 מובהקות של ערכי F ברמות  
 $P > 0.01$ ,  $P > 0.05$ ,  
 $P > 0.001$ . בהתאמה.

## טבלה 2.

ערכים ממוצעים וניתוח שונות של השפעת משטרי טמפרטורה וזנים על משקל הנוף, השורש ויחס שורש/נוף. ממוצעים המסומנים באותיות שונות (a, b, c), בתוך כל משתנה וכל גורם בנפרד, נבדלים באופן מובהק לפי Student's t. \*, \*\*, \*\*\* מציינות מובהקות של ערכי F ברמות של  $0.01 > P$ ,  $0.05 > P$ ,  $0.001 > P$ . בהתאמה.

יחס שורש/נוף	משקל שורשים (גר/עמודה)	משקל נוף (גר/עמודה)		
<b>השפעה עיקרית גנוטיפ</b>				
0.39a	37.14a	95.33a		גולית 9
0.28b	26.89b	94.49a		רב-און
<b>השפעה משטרי טמפ'</b>				
0.24c	28.68b	115.44a		ביקורת
0.42a	41.51a	98.10b		חם בלילה
0.33b	28.40b	86.36c		חם ביום
0.36b	29.47b	79.75c		חם ביום ובלילה
<b>F on</b>	<b>F on</b>	<b>F on</b>	<b>ד"ח</b>	<b>מקור השונות</b>
<b>41.89***</b>	<b>24.74***</b>	0.05	1	זן
0.83	<b>8.94**</b>	<b>42.60***</b>	1	טמפ' יום
<b>41.86***</b>	<b>11.37**</b>	<b>10.86**</b>	1	טמפ' לילה
2.54	3.33	0.17	1	זן*טמפ' יום
0.49	0.42	0.03	1	זן*טמפ' לילה
<b>19.62***</b>	<b>8.14**</b>	2.18	1	טמפ' יום*טמפ' לילה
<b>6.48*</b>	1.85	0.54	1	זן*טמפ' יום*טמפ' לילה



### טבלה 3.

יבול כותן ורכיביו באוסף זני פימה מאריזונה, ארה"ב, וזני ביקורת ישראליים בקבוצת יבנה ובחוות עדן, הערך היחסי של הביצועים בחוות עדן לעומת יבנה ומובהקות ההבדלים בין שני האתרים. הערכים המוצגים הם ממוצע של 3 חזרות בכל אתר. \*, \*\*, \*\*\* - ns מציינים הבדל מובהק בין האתרים ברמת מובהקות של 0.05, 0.01, 0.001 או חוסר מובהקות, בהתאמה.

	יבול כותן, גר' למ' שורה				מס' הלקטים למ' שורה				משקל הלקט ממוצע, גר'				מספר זרעים להלקט			
	יבנה	עדן	ע. יחסי	pF	יבנה	עדן	ע. יחסי	pF	יבנה	עדן	ע. יחסי	pF	יבנה	עדן	ע. יחסי	pF
G-4	672.2	148.6	0.22	***	246.7	156.7	0.64	**	2.77	0.94	0.34	**	15.84	6.36	0.40	**
G-9	587.3	159.3	0.27	**	234.0	163.3	0.70	*	2.50	0.96	0.38	***	14.22	6.55	0.46	***
SivOn	653.6	403.1	0.62	ns	123.3	120.7	0.98	ns	5.27	3.33	0.63	*	28.72	19.37	0.67	**
HA1432	1187.8	370.1	0.31	*	321.3	204.7	0.64	ns	3.71	1.78	0.48	***	21.76	9.41	0.43	***
P65	231.8	229.3	0.99	ns	120.0	130.0	1.08	ns	1.97	1.56	0.79	ns	12.64	9.49	0.75	***
P68	297.0	199.9	0.67	ns	131.0	135.7	1.04	ns	2.24	1.45	0.65	**	13.63	7.77	0.57	*
P70	488.8	231.6	0.47	ns	165.0	140.3	0.85	ns	2.91	1.62	0.56	*	16.89	8.97	0.53	**
P71	500.4	287.0	0.57	*	212.7	157.3	0.74	ns	2.36	1.82	0.77	**	16.67	11.46	0.69	*
P72	710.9	241.2	0.34		155.7	78.3	0.50	ns	2.59	1.83	0.70	ns	15.40	10.97	0.71	**
P73	803.0	279.1	0.35	ns	314.0	191.7	0.61	ns	2.56	1.37	0.54	ns	13.17	8.62	0.65	ns
P74	481.4	221.8	0.46	ns	187.7	129.7	0.69	ns	2.52	1.69	0.67	*	15.96	9.36	0.59	**
P75	351.3	226.3	0.64	ns	150.7	120.0	0.80	ns	2.30	1.56	0.68	ns	12.76	8.23	0.65	**
P76	423.5	191.4	0.45	ns	189.3	169.3	0.89	ns	2.23	1.09	0.49	**	13.76	6.04	0.44	***
P77	390.2	302.4	0.77	ns	165.0	136.7	0.83	ns	2.31	1.88	0.81	ns	14.12	10.31	0.73	*
P78	435.9	203.5	0.47	ns	219.3	163.0	0.74	ns	1.90	1.23	0.65	ns	11.41	7.07	0.62	ns
P79	328.5	211.9	0.64	ns	161.0	169.7	1.05	ns	1.99	1.22	0.61	ns	13.62	6.03	0.44	**
S-6	432.5	329.0	0.76	ns	209.0	149.0	0.71	ns	2.08	1.60	0.77	*	12.92	9.58	0.74	ns
S-7	543.0	148.2	0.27	*	235.0	123.3	0.52	ns	2.33	1.19	0.51	**	13.64	6.23	0.46	***