

דו"ח לתכנית מחקר מספר 20-10-0066 (277059418)

שנת המחקר: 3 מתוך 3 שנים

נושא המיזם: שיפור יבול חיטה ישראלית והבטחת איכותה תחת תנאי תנודתיות אקלים

Towards sustainable wheat productivity and grain quality under climatic instability

דו"ח שנתי מסכם (2016-2018) מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

חוקר ראשי: דוד י. בונפיל – bonfil@volcani.agri.gov.il

בונפיל דוד י.: (מינהל המחקר החקלאי) - חוקר ראשי, אגרונומיה ואיכות חיטה;

בן-דוד רואי: (מינהל המחקר החקלאי) - מטפח וחוקר תבואות חורף roib@volcani.agri.gov.il;

דיסטפלד אסף: (אונ' תל אביב) - גנטיקה של חיטה adistel@tauex.tau.ac.il;

וולף שמואל: (הפקולטה לחקלאות) - פחמימות ותנועת מוטמעים swolf@agri.huji.ac.il;

טס ערן: (הפקולטה לחקלאות) - אגרונומטאורולוגיה, אוזון eran.tas@mail.huji.ac.il;

לנסקי איתמר: (אונ' בר אילן) - אגרונומטאורולוגיה, אקלים itamar.lensky@biu.ac.il;

מוסקונה אסף: (הפקולטה לחקלאות) - הורמונים וביוכימיה של הצמח

assaf.mosquna@mail.huji.ac.il;

סרנגה יהושע: (הפקולטה לחקלאות) - פיזיולוגיה של גידולים בתנאי עקה saranga@agri.huji.ac.il;

עבו שחל: (הפקולטה לחקלאות) - גנטיקה ואגרונומיה של גידולי שדה abbo@agri.huji.ac.il;

פלג צבי: (הפקולטה לחקלאות) - גנטיקה וגנומיקה של גידולי שדה zvi.peleg@mail.huji.ac.il;

קוסטיוקובסקי משה: (מינהל המחקר החקלאי) - פשפש הקמה inspect@volcani.agri.gov.il;

ארגון עובדי הפלחה; מדריכי שה"מ.

תקציר

הצגת הבעיה

החיטה היא הגידול הנרחב ביותר בישראל וחשופה לתנאי גידול המשפיעים על יבול ואיכות הגרגרים לאפיה. הסביבה החקלאית בישראל מצריכה מחקר לפיתוח אמצעים שיקנו לחקלאים יציבות בייצור חיטה ואיכותה וישפרו את יכולת הגידול להתמודד עם עקות סביבה. הנושאים הבאים הוגדרו כחיוניים להבטחת המשך ייצור רווחי של חיטה איכותית בישראל: 1- כושר יצור (פיסולוגיה של היבול); 2- אגרונומטאורולוגיה (מאזן מים, טמפ', אוזון); 3- גורמים המשפיעים על איכות הגרגר (סביבה, פשפש הקמה).

שיטות העבודה

במיזם שולבו חמש קבוצות עבודה בתחומים: 1- אגרוטכניקה והדרכה; 2- אגרונומטאורולוגיה; 3- פשפש הקמה; 4- פיסולוגיה של היבול; 5- איכות אפיה, על מנת לאפשר הבנה טובה יותר של השפעת הגומלין X סביבה ויאפשרו הנבת יבול רב ואיכותי יותר. המחקר מתבסס על שילוב נתונים מניסויים מבוקרים, ניסויי שדה, נתוני שדות מסחריים ונתונים זמניים מליוניים ותחנות ניטור.

תוצאות עיקריות לתקופת הדוח הנידון

תועדה שונות רחבה בין הזנים בקצב ההתפתחות, בכושר היצור, באיכות, בתגובה לעקת חום ועוד. נמצא כי לטמפרטורה השפעה מהותית על איכות החיטה גם ללא חשיפה לטמפרטורות קיצוניות. טווח השונות היה שונה בניסויים שונים. פותחו אלגוריתמים לעיבוד נתונים מדימותי לוויין באופן אוטומטי והיתוכם, ועיבודים להפקת מידע רלוונטי על דיות וטמפרטורה. נצפו סימפטומים והשפעת נזק מחשיפה לאוזון, עם הבדל בין זנים. פשפש הקמה כמעט שלא גרם נזק בשנת הדיווח ופותחה מערכת לזיהוי נגיעות מפותחת אך עדיין לא ביכולת יישום בתחנות קבלה.

מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות.

מספר הזנים המוצע על ידי המטפחים וחברות הזרעים בישראל גבוה, ובהם זנים המבטאים שונות ביציבות מדדי איכות ועקב כך התאמה לתנאי גידול יחודיים. ראוי כי כל יוגב ישקול ויבחון את מכלול נתוני ביצועי הזנים השונים בבואו לבחור את סל הזנים לזריעה ויתאים את הזן המועדף לכל חלקה וחלקה. סביר כי בחירה מושכלת תביא להנבת יבול גבוה ואיכותי ולהגדלת ריווחיות החלקה. במקביל, במידה שהצרכנים, הטוחנים והאופים, יגיעו להסכמה על המדד/ים הרלוונטיים ביותר עבורם, ניתן יהיה לשפר הזריעה ע"י בחירת זנים יציבים יותר בתכונות הנדרשות. כיוון שהטענה העיקרית כנגד החיטה הישראלית היא חוסר אחידות, ניתן לשקול חלופה טובה יותר באירגון שיווק החיטה על בסיס תוצאות מחקר זה ומחקרים משלימים להעלאת איכות התוצרת. לבסוף, יש לציין בסיפוק כי לזנים המגודלים בישראל תכונות איכות מעולות.

רשימת פרסומים שנבעו מהמחקר:

בונפיל ד., ע. ריצ'קר, א. גלבו. 2018. זני חיטה בישראל – סיכום רב שנתי 2007-2017. ניר ותלם. (78): 6-10

Golan G, Hendel E, Espitia Mendez GE, Schwartz N, Peleg Z. (2018) Activation of seminal root primordia during wheat evolution reveals underlying mechanisms of plant resilience. *Plant Cell Environ*, 41, 755-766.

Golan G., Ayalon I., Perry A., Zimran G., Ade-Ajayi T., Mosquna A., Distelfeld A., Peleg Z. (2019) *GNI-A1* mediates trade-off between grain number and grain weight in tetraploid wheat, *Theor Appl Genet*, in press.

Helman D., Bonfil D.J., and I.M. Lensky. (2019). Crop RS-Met: A biophysical evapotranspiration and root-zone soil water content model for crops based on proximal sensing and meteorological data. *Agricultural Water Management*. 211:210-219.

Helman D., I.M. Lensky and D.J. Bonfil. (2019). Early prediction of wheat grain yield production from root-zone soil water content at heading using Crop RS-Met. *Field Crops Research*. 232:11-23.

Rapaport A., Quinn E., Harush A., Kostyukovsky M., Bonfil D. (2019) Damage of Sunn Pest *Eurygaster integriceps* Puton to wheat quality in Israel. *JSM Plant Biology and Research*, in press.

Sakuma S., Golan G., Guo Z., Ogawa T., Tagiri A., Sugimoto K., Bernhardt N., Brassac J., Mascher M., Hensel G., Ohnishi S., Jinno H., Yamashita Y., Ayalon I., Peleg Z.,

Schnurbusch T., Komatsuda T. (2019) Unleashing floret fertility in wheat through the mutation of a homeobox gene, *Proc Nat Acad Sci USA*, 116, 5182-5187.

בבקורת מדעית ובשליבים מתקדמים של כתיבה

Chaudhary N., D.J. Bonfil and E. Tas. 2019. Differential responses of spring wheat cultivars to acute and chronic levels of ozone exposure. *Field Crop Research*. Submitted.

Roychowdhury R, Zilberman O, Nashef K, Abbo S, Bonfil DJ, and Ben-David R. 2019. Pre-anthesis spike growth dynamics and its association to yield components: variance among elite Israeli bread wheat cultivars under the Mediterranean climate. *Field Crop Research* (In preparation).

מבוא:

שינויי אקלים, הנגרמים עקב ההתחממות הגלובלית צפויים לפגוע קשות ברווחת האדם בכלל וביצור החקלאי בפרט. בשנים האחרונות אנו עדים להחמרה בתנאי הסביבה, המשפיעה ישירות על כושר היצור של הגידולים החקלאיים ואיכות התוצרת. שכיחות בצורות, שינוי פרופיל עונת הגשמים, ושינוי פרופיל הטמפרטורה של עונות הגידול בישראל הם חלק מתהליכים עולמיים. ההערכה העדכנית היא שבקצב הנוכחי, הטמפרטורה הממוצעת על פני כדור הארץ תעלה עד סוף המאה הנוכחית ביותר מארבע מעלות צלסיוס. עליית הטמפרטורה עשויה להיטיב עם המגדלים ולהעלות את היבול בקווי רוחב גבוהים (קנדה, וצפון אירו-אסיה) אך עתידה לגרום לפחיתת יבול באזורינו. גידול דגנים בארץ ובעיקר החיטה חשוף למזג אוויר הפכפך (כמויות משקעים נמוכות ולא סדירות וגלי חום) המשפיע על יבול ואיכות החיטה לאפיה. סביבה חקלאית זו מצריכה מחקר לפיתוח אמצעים אשר יקנו לחקלאים יציבות בייצור חיטה ואיכותה וישפרו את יכולת הגידול להתמודד עם עקות סביבה. אינטראקציות גנוטיפ X סביבה ותורשתיות נמוכה של יבול בתנאי עקה מקשים על הטיפול לעמידות לתנאים אלו. למרות הקושי, מערכת המחקר חייבת להכין כלים לרשות מגדלי החיטה גם בעתיד. לשם כך מיזם מולטידיסציפלנרי זה משלב חמש קבוצות עבודה בתחומים: 1- אגרוטכניקה והדרכה; 2- אגרוטאורולוגיה; 3- פשפש הקמה; 4- פיסיוולוגיה של היבול; 5- איכות אפיה. השילוב מאפשר הבנה טובה יותר של השפעת הגומלין זן X סביבה והנבט יבול רב ואיכותי יותר. סקירת הידע בספרות המדעית אשר הובילה לתכנון מחקר זה ורבות מתוצאותיו זמינים באתר האינטרנט של המיזם <http://israel-wheat.wix.com/mizam>.

מטרות המחקר:

המידע הקיים כיום על השפעת תנאי סביבה אביוטיים (כגון, טמפרטורה, זמינות מים ורמת אוזון אטמוספרי) וביוטיים (פשפש הקמה) על כושר ייצור, מילוי הגרגר המתפתח ואיכות גרעיני חיטה לאפיה בזני החיטה הישראלית הנזרעים כיום, מצומצם. כיוון שכך ברור כי השונות הגנטית בזנים שבמזרע לא נוצלה עד עתה באופן ישיר, וגם כלי ניטור בקנה מידה נרחב טרם פותחו. **השערת המחקר** היא שבחירת הזן לזריעה תוך התחשבות בידע על השפעת הגומלין זן X סביבה (כגון: מיקום השדה, ממשק ועוד) יאפשרו הנבט יבול רב ואיכותי יותר. לכן אנו מציעים לחקור כמכלול אחד היבטים שונים של השפעת הסביבה (טמפ', אוזון, ופשפש) על הזנים הקיימים כתשתית להיערכות לשינויי האקלים. שילוב נתונים מניסויים מבוקרים, ניסויי שדה ונתוני שדות מסחריים יאפשר ללמוד הן על שינויים קצרי זמן חריגים בעוצמתם והן על השפעות מתונות אך ארוכות טווח. בהתאם, **מטרת המחקר** הכללית הינה שיפור יציבות היבול והבטחת איכות החיטה הישראלית במטרה לשמור על יבולים גבוהים ואיכותיים חרף תנודתיות אקלימית גוברת. לשם כך נקבעו המטרות הפרטניות הבאות (לפי קבוצות העבודה):

א- אגרוטכניקה והדרכה

[1] בחינת השפעת הגומלין גנוטיפ X סביבה על איכות חיטה מזנים ישראליים. [2] קביעת מדרג של זני חיטת לחם המצויים במזרע על פי איכותם (שקלול הבדיקות ויציבות). [3] קביעת ממשק הגידול המיטבי המשלב הבטחת איכות גבוהה. [4] קביעת מדדים לבדיקת איכות חיטה מקומית בקבלתה לאחסון כמלאי חירום של ישראל. [5] הפצת הידע לחקלאים.

ב- אגרוטאורולוגיה

[1] אפיון של תנאי האקלים העתידיים איתם יידרש גידול החיטה בישראל להתמודד, זאת על בסיס חישה מרחוק וניתוח סדרות זמן של נתונים היסטוריים. [2] מיון שדות גידול החיטה בישראל לתת אזורים אגרו-אקלימיים, על בסיס ניתוח רב עיתי החל משנת 2000 של צימוח וטמפרטורת קמת חיטה על בסיס נתוני מודיס, לנדסט ונתונים מטאורולוגיים. [3] אומדן דיות והשפעת תבנית חום על פוטנציאל יצור ואיכותו על בסיס חישה מרחוק. [4] בחינת ההשפעה הפיזיולוגית של חשיפה לאוזון אטמוספרי על היבול בזני החיטה המובילים במזרע בישראל. [5] קביעת מדרג של זני חיטת לחם המצויים במזרע על פי תגובתם לרמות אוזון משתנות וסבילותם לרמות אוזון גבוהות. [6] הערכת פוטנציאל הפחיתה ביבול חיטה בישראל כתוצאה מחשיפתו לאוזון אטמוספרי על בסיס ניסויי השדה ועקומות הרגרסיה שבין שטף האוזון בפיוניות והפחיתה ביבול.

ג- פשפש הקמה

[1] שיפור איכות חיטת המאכל בישראל על ידי נטרול נזקי פשפש הקמה ע"י עדכון ממשק הדברת פשפש הקמה ויישומו. [2] בחינת השפעת נזק מפשפש הקמה על איכות הגרגרים מזני חיטה העיקריים במזרע.

ד- פיסולוגיה של היבול

ד1- אפיון שלבי קדם פריחה בחיטה ישראלית, צבירת חומר יבש באברי הפרח ויבול [1] אפיון פנולוגי בשדה של שלבי קדם הפריחה בזנים הישראליים, תוך התמקדות בשני תת שלבים: מוקדם-מזרעה ועד התארכות קנה, מאוחר- מהתארכות קנה ועד פריחה. [2] ניטור צבירת משקל יבש בשיבולת המתפתחת בשלב קדם הפריחה המאוחר בזנים הישראליים כפונקציה של ימי מעלה וזמן כרונולוגי.

ד2- התפתחות בתר חנטה [1] בירור השפעת עקות חום בשלבים שונים של מילוי הגרגר על זמינות המוטמעים, הובלתם לשיבולת וצבירתם בגרגר. [2] איתור סמנים פיסולוגיים וביוכימיים ככלי לזיהוי גנוטיפים בעלי עמידות ו\או סבילות לחום בשלבי מילוי הגרגר.

ד3- מאזן הורמונלי [1] בירור מעורבות חומצה אבציסית במימוש רכיבי היבול בחיטה ישראלית. [2] אפיון ההשפעה של חומצה אבציסית על חיוניות אבקה ועל מילוי גרגר בתנאי תנודתיות אקלימית.

ה- איכות לאפיה [1] קביעת המתאם בין מדדים שונים הניתנים להיבדק בתחנות קבלה ואיכות חיטה בישראל. [2] אפיון גורמים (זן, תנאי גידול ועוד) המשפיעים על רמת המתאם.

פירוט עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר (לפי קבוצות עבודה)

א- אגרוטכניקה והדרכה אחראי- דוד בונפיל.

הדרכה- אתר אינטרנט ייעודי למיזם <http://israel-wheat.wix.com/mizam> זמין לכול. אתר זה משמש להעברת מידע לכל דכפין, כולל חקלאים. המיזם הוצג בכנסים אזוריים ובכנס ארצי, במסגרתם שיתפנו חקלאים, מדריכים ומטפחים במחקר ובמצאים של המחקר. עדכון הספר "גידול חיטה הלכה ומעשה" (זוהר ופנואל 1992) והתאמתו לימים אלו ממשיך. רוב הפרקים נכתבו מחדש וצוות מצומצם (אברום גלבע, עידן ריצ'קר ודוד בונפיל) פועל להגהה ולקידום העדכון, בכוונתנו היה לסיים זאת בשנת 2018, אולם עקב שינויים בארגון עובדי הפלחה, חל עיכוב ובימים אלו הספר עובר לעריכה.

חומר גנטי: המחקר מתמקד בתשעה זנים (יובל, זהיר, גדרה, ברניר, גליל, רותה, בנימין, נגב ועמית) המהווים את עיקר מזרע החיטה בישראל. זנים אלו מייצגים את מירב השונות בפנולוגיה וכוסר ייצור. בחלק מהניסויים ובמבחני זנים נוטרו גם זנים וקוויים נוספים, ובמיוחד עומר, גדיש, כיתאין, כנרת ורותם.

ניסויי שדה לבחינת השפעת ממשקי גידול וסביבה על איכות חיטה:

גילת: לשם בחינת ה"ג גנוטיפ X סביבה על איכות חיטה מזנים ישראליים הוצבו בעונת המחקר האחרונה במרכז מחקר גילת 4 ניסויי שדה (טבלה א1) בנוסף לניסויים בשנים קודמות. לרוב, הניסויים הוצבו בארבע חזרות בחלקות מפוצלות בפסים בבלוקים באקראי. גודל תת חלקה מינימלי כ- 40 מ"ר. בחלקת עופות שתי חזרות נזרעו על כרב תפוא"א וארבע חזרות על כרב נע, בחלקת מטאורולוגית כל זן נזרע בחזרה אחת (100 מ"ר) לקביעת הפנולוגיה בלבד.

טבלה א1. פירוט הטיפולים בניסויי השדה המרכזיים בגילת תשע"ח

חלקה	כרב	טיפולים נוספים	מס זנים	חנקן יסוד	זרחן יסוד	זרעים ק"ג/ד'	זריעה	השקיית הנבטה	הצצה	דשן ראש חנקן	סה"כ גשם והשקיה
מטאורולוגית	כרב נע	השתבלות	15	3	0	11	22/10/17	26/10/17	02/11/17		341
עופות	כרב נע / תפוא"א	מועד זריעה, כרב	15	5	0	11	16/11/17	22/11/17	28/11/17	31/12/17	296
פרדס מזרח	כרב נע	מועדי זריעה, דשן ראש	15	6	0	11	04/12/17	12/12/17	16/12/17	17/01/18	411
מרכז	חימצה	מועדי זריעה	15	5	0	12.5	31/12/17		11/01/18	25/01/18	488

בכל החלקות נוטר מועד ההשתבלות, החלקות נקצרו ונתוני יבול ואיכות בסיסיים מעידים כי גם בעונה זו, השונות הרחבה במועדי זריעה, דישון, כרב ועוד הניבו יבול גרגרים בתחום רחב מאוד של יבול, כושר מילוי הגרגר ובאחוז החלבון, איורים מפורטים זמינים באתר המיזם.

מבחני זנים של שה"מ: מבחני זנים נערכו מדי שנה ב- 6 אתרים באזורי גידול שונים, כ- 17 זנים וקוויים בכל אתר, עם 4-6 חזרות במבנה של בלוקים באקראי. תוצאות היבול ואיכות גרגרי החיטה ממבחנים אלו פורסמו בכנסים. בצמוד למבחנים אלו בארבע אתרים (חוות עדן, עמק יזרעאל, גת, בארי) נזרעו 12 זנים בשתי חזרות, כאשר אחת החזרות קיבלה תמיסת אוריה כדשן ראש בהשתבלות. בדומה לתוצאות המבחן הארצי, התקבלה שונות ביבול ובאיכותו בניסויים השונים (אתר המיזם), כאשר המאפיינים המרכזיים היו: בארי וגת - יבול נמוך וירוד; חוות עדן ועמק יזרעאל - תנאים טובים ויבול גבוה וטוב.

בסיסי נתונים: עיבוד הנתונים הכללי במחקר זה מתבסס על ארבעה בסיסי נתונים הבאים: א- מבחני זנים של שה"מ (12 שנים), מאופיין בסביבות שונות, אך בניסויים רבים מגוון הזנים מצומצם. בסיס זה משמש

כבסיס העיקרי להתאמת זן לרמת יצרנות. ב- ניסוי דשן ראש ע"י מבחני הזנים (12 ניסויים), הבסיס מאפשר את בחינת תוספת דשן הראש המאוחר על 12 זנים בתנאים שונים, ואת איכות הקמח המתקבל מעירוב כל הזנים מהתנאים השונים, למעשה מייצג את תחנות הקבלה. ג- גילת, ניסויים בגילת שבחנו 9 זנים ויותר, שה"כ 33 סביבות גידול. בסיס זה הינו המקיף ביותר מבחינת סביבות גידול וניטור מדוייק של תנאי הסביבה המשלב את רוב הזנים בסביבות השונות. לכן, בסיס זה משמש בעיקר ללימוד תכונות האיכות בהשפעת הסביבה והזן. שה"כ לרוב המדדים יש כ 429 רשומות, בעוד שנתוני משקל אלף, IDK ומדדי פארינוגרף חסרים בכ- 40 מהן. אולם כל הסביבות היו בתנאי גילת. ד- בסיס כללי, חלקות ניסוי וחלקות מסחריות בצירוף שלושת בסיסי הנתונים המצומצמים. בסיס רחב זה משמש לבחינת רחבה יותר של איכות החיטה ולזיהוי תופעות שלא נכללו בבסיסים המצומצמים.

כּוּשֵׁר ייצור: מידע מפורט על תכונות הזנים פורסם (בונפיל וחב. 2018), זאת על בסיס 10-11 שנות תצפית (תשס"ז-תשע"ח), ב-155 חלקות של מבחני זנים. הנתונים הממוצעים המחושבים מכלל הניסויים ותנאי הסביבה מאפשרים התבוננות מהירה על ביצועי הזנים באופן כללי. בנוסף, בוצע תיקון ליבול הממוצע של כל ניסוי (ניתוח קו-ואריאנס). הממצאים העיקריים: הזנים גדיש ועמית מצטיינים בכּוּשֵׁר ההנבה, ואף הזן גדרה מראה כּוּשֵׁר הנבה גבוה (מספר רשומות גבוה במיוחד); כּוּשֵׁר מילוי הגרגר בזנים רותה, דאריאל, בר-ניר, בית-השיטה, בנימין ונגב נמוך; אינדקס הגלוטן של הזן גליל מתחת לרמת הסף הנהוגה היום בתחנות הקבלה; אחוז החלבון והגלוטן הרטוב בזנים כנרת וזיו נמוך. היות שתנאי הגידול משפיעים על יכולת התבטאות הזנים בוצע פילוח של רמות היבול, למספר רמות ייצרנות, המצביע על הזנים המועדפים לכל סביבת גידול. כיוון שמרבית מבחני הזנים נזרעו ונזרעים מאמצע ועד סוף חודש נובמבר, בכדי לאפשר מועדי הצצה המתאימים למרבית הזנים במבחנים, אין מבחנים אלו מייצגים באופן מיטבי את הזרעות של ראשית נובמבר אשר מונבטות ומושקות. לכן ייתכן שנתוני יבולי הזנים האפילים (בעיקר רותה ודאריאל) מוטים כלפי מטה. נתוני הייצור בעונת 2018 מתאימים לניתוח הרב שנתי, ואין כאן מקום להאריך.

דשן ראש מאוחר: דישון בתמיסת אוריאה, בשלב עלה דגל-השתבלות החלקות נוטרו בחיישן קרקעי ולאחר מכן ניתן לבלוק אחד דשן ראש חנקני בריסוס עלוותי 4.7 יחידות חנקן כתמיסת אוריאה ללא תלות בהערכת חסר (נפח תרסיס 20 ל"ד', מוט ריסוס ברוחב 2 מ', פומית TJ) והבלוק השני שימש כהיקש ללא דישון נוסף. אין ספק כי ניתן להעלות את אחוז החלבון ותכולת הגלוטן בגרגרים ע"י דישון מאוחר (בהשתבלות), זאת כאשר היישום מבוצע ע"י ריסוס עלוותי, אף ללא גשם להפעלה (טבלה א2). אולם לדישון המאוחר השפעה שלילית על מילוי הגרגר (משקל אלף ונפחי), לכן יש ליישמו רק היכן שצפוי כי רמת החלבון תהיה פחותה מ 12% (גלוטן רטוב נמוך מ 25). בעקבות דישון זה מתקבל בצק חזק ואלסטי מעט יותר, זמן התפתחות ארוך יותר, שאוצר אנרגיה רבה יותר, כלומר קמח ובצק איכותיים יותר.

טבלה א2. רמת מובהקות של השפעת הסביבה (3 עונות, 4 אתרים) ודשן ראש בהשתבלות (תמיסת אוריאה 4.7 יחידות) על יבול ואיכות גרגרים (ממוצע של 12 זנים); והשפעת הדישון במדדים שבהם נמצאה מובהקות.

היקש	אוריאה	חלקה X טיפול	עונה X טיפול	טיפול	עונה X חלקה	חלקה	עונה	משתנה / גורם
		0.280	0.202	0.341	<0.001	<0.001	0.249	ערך גרגרים ש/ד
		0.328	0.249	0.257	<0.001	<0.001	0.001	יבול גרגרים
79.0	78.2	0.288	0.164	0.021	<0.001	<0.001	<0.001	משקל נפחי
12.6	13.1	0.328	0.288	0.015	0.000	0.000	0.000	אחוז חלבון
28.2	29.9	0.836	0.201	0.023	0.001	0.001	<0.001	אחוז גלוטן
72.9	63.1	0.703	0.549	0.056	0.038	0.003	0.224	אינדקס גלוטן
79.5	83.6	0.697	0.529	0.042	0.054	0.011	0.000	IDK
35.7	34.8	0.489	0.248	0.088	<0.001	<0.001	<0.001	משקל 1000
		0.858	0.417	0.676	0.020	0.000	0.002	אחוז ייפוק
82.2	88.4	0.481	0.096	0.014	0.005	0.003	0.002	P, חוזק בצק
66.3	76.6	0.162	0.016	0.002	0.003	0.037	0.016	L, אלסטיות בצק
		0.585	0.524	0.250	0.006	0.146	0.983	P/L
219.3	267.8	0.022	0.002	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	W, אנרגיה בבצק
15.0	18.1	0.797	0.075	0.012	0.000	0.004	<0.001	DDT, זמן התפתחות
		0.451	0.421	0.352	0.507	0.461	0.424	WAC, ספיחת מים
		0.305	0.152	0.140	0.006	0.033	<0.001	S, יציבות בצק
		0.834	0.427	0.406	0.248	0.207	0.211	נפח לחם

יציבות יבול ואיכות: הניסויים בגילת בטווח תנאי סביבה אפשרו תחום רחב מאוד של כושר ייצור ואיכות גרגרים (ממוצעים בטבלה א3, פירוט באתר המיזם). כושר מילוי הגרגר, אשר משפיע על המשקל הנפחי ומשקל אלף, מושפע במיוחד מזמינות המים בעת מילוי הגרגר, בדומה לניתוח הכללי (בונפיל וחב. 2018). לעומתם, כל מדדי האיכות יכולים להיות מושפעים מאוד מרמת אספקת החנקן ותנאי הסביבה המשפיעים על תכולת החלבון בגרגר. אשר על כן לבחינת הבדל בין הזנים בוצע נירמול על פי רמת החלבון (ניתוח קו-ואריאנס, טבלה א4). ניתן לראות שיש השפעת זן מובהקת על כל המדדים פרט לנפח הכיכר, במקביל, רמת החלבון משפיעה על כל מדדי האיכות פרט לאלסטיות (L). באופן כללי רמת היציבות של היצרנות ומדדי האיכות עקב גידול בתנאים שונים שונה במדדים השונים, אך בהשוואת יציבות זן ספציפי יש להתייחס גם למספר סביבות הגידול שבהם גודל (טבלה א5). המדדים היציבים ביותר הינם: כושר ספיחת מים, משקל נפחי וייפוק הקמח. ייפוק הקמח תלוי בהתאמת המטחנה לגרגרים, לכן אין להסיק מתוצאות אלו מסקנות מרחיקות לכת, אך יובל מספק את הגרגרים בעלי הגודל האחד ביותר. גם נפח כיכר הינו מדד יציב יחסית. זמן התפתחות הבצק ויציבותו הינם שני המדדים חסרי היציבות ביותר, והזנים היציבים ביותר הינם רותה ובנימין בהתאמה. קיימת אי יציבות גבוהה בכושר ייצור הגרגרים, הזנים היציבים הינם יובל, כנרת ועומר. הזן גדרה מצטיין ביציבות תכולת חלבון וגלוטן רטוב. יציבות מדד לאיכות הגלוטן ע"י IDK גבוהה מאינדקס גלוטן ומקנה לו יתרון נוסף על פני האינדקס. באופן כללי ניתן לראות שהזנים רותה, נגב, גליל ובר-ניר אינם יציבים במדדי תחנת הקבלה. הזן כיתאין מאופיין באי יציבות גבוהה של אלסטיות וחוזק הבצק, והזן יובל בזמן ההתפתחות ויציבות הבצק. במכלול המדדים, בנימין הינו הזן בעל היציבות הכללית הגבוהה ביותר מבין הזנים שנבחנו ב- 32-33 סביבות גידול.

טבלה א3. ממוצעי יבול גרגרים ואיכותו זנים במבחני זנים שבגילת 2015-2018.

נפח כיכר	S	WAC	DDT	P/L	L	P	W	אחוז ייפוק	IDK	אינדקס גלוטן	אחוז גלוטן	חלבון גרגרים	משקל 1000	משקל נפחי	יבול	N	זן
1302	36.6	57.7	22.9	1.39	71.7	96.3	271	67.3	77.0	90.2	27.0	13.0	33.2	77.2	441	33	בנימין
1305	34.7	58.4	18.8	1.23	79.8	92.9	275	65.2	78.7	80.7	29.0	13.4	31.3	77.2	422	33	ברנר
1299	29.4	57.6	16.1	1.03	86.7	81.5	259	65.3	78.9	77.4	28.9	13.5	33.8	79.1	483	32	גדיש
1253	33.9	59.9	20.1	1.64	70.1	107.7	276	63.9	78.7	73.2	28.5	12.9	36.4	79.5	459	33	גדרה
1330	14.9	58.9	14.5	1.34	69.9	89.5	234	67.1	91.6	38.3	28.9	12.8	33.3	79.2	455	33	גליל
1353	24.9	61.7	19.7	2.08	65.5	129.6	350	64.3	74.8	71.8	34.7	14.4	24.1	71.8	362	12	דאריאל
1282	27.6	56.6	16.1	1.01	81.8	77.7	227	65.6	79.6	80.8	26.0	12.2	36.9	79.8	452	33	זהיר
1287	28.1	60.2	16.1	1.19	81.5	95.0	266	63.2	84.4	58.2	28.7	12.9	35.7	81.3	425	33	יובל
1289	22.3	61.5	20.1	2.23	64.5	124.4	303	64.7	65.5	87.9	27.6	13.4	34.5	79.4	469	21	כיתאין
1293	35.8	58.9	20.2	1.40	76.7	101.3	275	65.6	74.2	82.6	26.2	12.4	35.6	80.9	484	21	כנרת
1279	25.0	58.5	16.6	1.00	87.5	84.8	264	65.1	80.9	70.8	28.5	13.1	32.7	77.0	424	33	נגב
1338	22.1	60.1	12.6	1.46	70.8	99.8	256	67.5	82.2	58.9	29.1	12.5	38.6	80.5	499	25	עומר
1315	20.5	59.2	16.7	1.52	66.8	95.9	244	63.5	82.9	67.9	27.3	12.6	36.7	78.6	485	33	עמית
1318	24.7	61.3	18.1	1.73	70.7	116.7	318	64.8	82.6	70.2	32.2	13.6	26.1	74.4	383	32	רותה
1321	31.0	59.3	20.5	1.45	71.5	100.1	282	63.9	74.4	87.1	28.9	13.6	33.2	78.6	462	22	רותם

טבלה א4. השפעת הזן על איכות הגרגרים במבחני זנים שבגילת 2015-2018.

נפח כיכר	S	WAC	DDT	P/L	L	P	W	אחוז ייפוק	IDK	אינדקס גלוטן	אחוז גלוטן	זן
1303 a	36.8 ab	57.8 fg	23.1 ab	1.39 ce	71.7 bc	96.4 ef	271 ae	67.2 a	76.9 bc	90.3 a	27.0 d	בנימין
1298 a	33.7 ab	58.0 eg	17.1 ad	1.19 dg	79.9 ab	90.4 fg	264 ae	65.5 ac	79.7 b	79.7 ab	28.2 cd	ברנר
1290 a	28.2 bc	57.2 g	14.1 d	0.99 fg	86.8 a	78.3 h	245 de	65.7 ab	80.1 b	76.1 ac	27.8 cd	גדיש
1256 a	34.4 ab	60.1 ac	21.0 ac	1.65 bc	70.0 bc	108.9 bd	281 ad	63.7 bc	78.1 bc	73.7 ad	28.9 bc	גדרה
1334 a	15.4 d	59.0 ce	15.2 cd	1.36 cf	69.8 bc	90.9 fg	240 e	67.0 a	91.2 a	38.8 e	29.4 ac	גליל
1325 a	21.6 cd	60.5 ac	14.3 bd	1.94 ab	65.9 bc	119.8 ab	308 ab	65.6 ac	78.1 ac	67.8 ad	31.4 a	דאריאל
1297 a	29.7 ac	57.3 g	19.6 ad	1.09 eg	81.6 ab	83.2 gh	251 ce	64.9 ac	77.5 bc	83.0 ab	27.9 cd	זהיר
1290 a	28.5 ac	60.4 ab	16.8 bd	1.21 dg	81.5 ab	95.9 ef	270 ae	63.1 c	83.9 ab	58.6 d	29.1 bc	יובל
1278 a	20.9 cd	61.1 a	17.9 ad	2.18 a	64.6 c	121.4 a	290 ac	65.1 ac	67.1 c	86.7 ab	26.6 d	כיתאין
1306 a	37.7 ab	59.6 ad	23.4 ab	1.47 be	76.6 ac	105.8 be	294 ab	65.1 ac	72.6 bc	84.4 ab	27.7 cd	כנרת
1277 a	24.6 c	58.4 dg	16.1 bd	0.99 g	87.5 a	84.1 gh	261 be	65.2 ac	81.2 b	70.5 bd	28.3 cd	נגב
1350 a	23.5 cd	60.6 ab	14.8 cd	1.51 bd	70.7 bc	103.7 ce	273 ae	67.0 a	80.7 ab	60.5 cd	30.4 ab	עומר
1323 a	21.9 cd	59.6 bd	18.7 ad	1.56 bd	66.7 c	99.1 df	258 be	63.1 bc	81.6 ab	69.1 bd	28.4 cd	עמית
1307 a	23.1 cd	60.8 ab	15.5 cd	1.67 bc	70.8 bc	112.8 ac	301 a	65.2 ac	84.3 ab	68.6 bd	30.9 a	רותה
1310 a	29.8 ac	58.9 cf	18.5 ad	1.40 cg	71.6 bc	96.3 ef	265 ae	64.4 ac	75.4 bc	85.5 ab	27.6 cd	רותם
ns	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	זן
***	***	***	***	***	ns	***	***	***	***	***	***	חלבון

טבלה 5א. מקדם ההשתנות (CV) של יבול גרגרים ואיכותו בזנים ישראליים בגילת 2015-2018.

זן	N	יבול	משקל נפחי	משקל 1000	חלבון גרגרים	אחוז גלוטן	אינדקס גלוטן	IDK	אחוז ייפוק	W	P	L	P/L	DDT	WAC	S	נפח כיכר
בנימין	33	28.4	4.2	16.1	9.5	11.8	15.8	12.9	4.0	17.6	13.3	17.3	24.3	44.9	3.2	24.4	8.6
ברנר	33	30.4	4.9	20.0	11.7	13.6	19.0	16.0	4.5	19.2	17.1	20.8	29.5	58.4	3.5	34.1	7.8
גדיש	32	27.8	3.8	17.4	9.6	11.3	23.0	15.6	3.9	24.6	16.7	27.4	40.3	44.0	3.2	29.7	7.2
גדרה	33	29.6	3.3	18.5	8.2	10.7	32.2	17.7	5.0	20.7	10.9	21.0	33.4	54.8	2.4	30.6	9.7
גליל	33	32.0	5.0	19.1	11.7	19.0	65.9	10.0	4.5	29.5	19.6	20.2	30.8	53.0	3.0	30.4	7.5
דאריאל	12	31.9	5.5	19.9	12.8	11.7	27.3	11.9	4.3	21.1	17.5	23.2	28.7	22.8	3.5	24.5	5.9
זהיר	33	28.5	3.3	18.0	8.8	10.7	21.7	14.6	6.0	18.2	12.8	20.9	32.9	53.2	2.6	36.5	9.8
יובל	33	27.0	2.7	14.9	7.8	11.8	46.5	14.8	4.9	22.6	12.4	14.9	19.6	78.4	2.7	56.8	8.8
כיתאין	21	28.5	3.3	19.0	11.0	9.6	24.8	19.4	6.7	26.3	21.1	31.3	47.0	47.3	3.2	50.0	8.4
כנרת	21	22.5	2.7	16.3	7.6	9.5	22.9	17.5	3.8	19.5	12.5	20.2	33.0	51.4	3.1	37.9	8.9
נגב	33	36.0	5.8	21.7	10.6	13.6	31.1	14.5	5.6	24.5	16.7	15.7	25.0	40.8	3.9	29.7	7.5
עומר	25	26.9	2.8	17.2	9.2	10.8	43.4	13.4	5.7	25.0	14.9	16.4	25.1	59.8	2.4	50.6	9.4
עמית	33	27.5	3.9	17.5	9.3	12.0	37.2	15.5	5.7	25.2	16.6	18.9	35.0	44.2	2.8	33.9	7.8
רותה	32	36.5	6.6	21.9	13.1	17.3	21.5	11.7	5.2	21.9	15.2	20.2	28.3	35.4	4.0	27.8	6.6
רותם	22	31.1	3.9	20.1	9.8	11.4	15.4	16.6	4.1	17.2	11.4	19.0	22.4	46.0	2.7	37.0	7.4
ממוצע		29.6	4.1	18.5	10.1	12.3	29.9	14.8	4.9	22.2	15.2	20.5	30.3	49.0	3.1	35.6	8.1

ב- אגרומטאורולוגיה

ממ"ג: צוות המחקר נתקל במהלך המחקר בחסמים רבים אשר הובילו לשינויים בעבודה. בשלב ראשון תכננו להנגיש את המידע דרך האתר של מפ"י ואח"כ דרך אתר המפות הממשלתי, בעזרת יחידת הממ"ג במשרד החקלאות. לאור בעיות טכנולוגיות והרשאות, החלטנו לבסוף להנגיש את המידע בעזרת GEE. שינויים אלו גרמו לכך שחלק מה"קודים" טרם הושלמו, אך הם יושלמו בעתיד הקרוב.

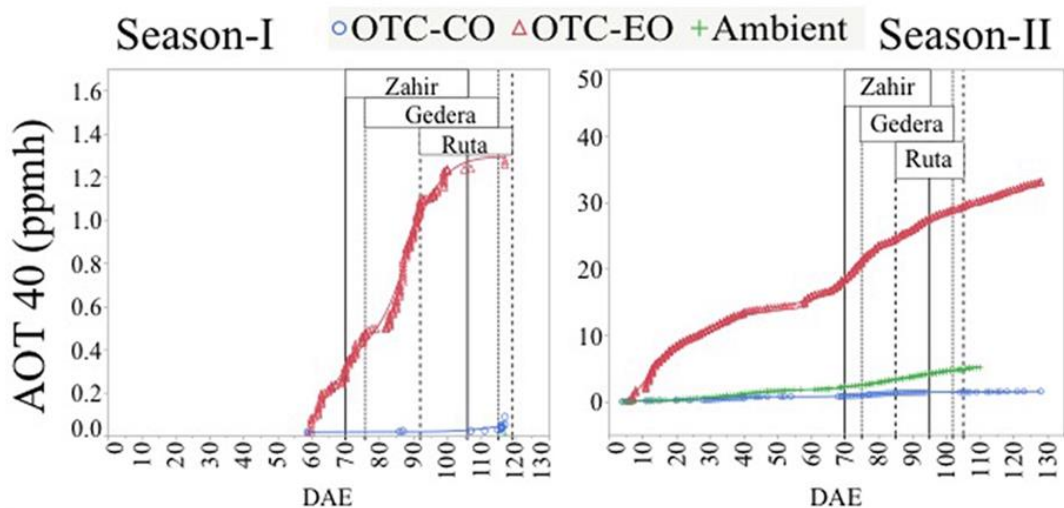
אוזון: אחראי- ערן טס.

המחקר מבוסס על שני ניסויים בחממה ושני ניסויי שדה בגילת בתאים פתוחים. כמו בוצעו ניסויים בניסויי שדה נוספים באתרים שונים.

ניסויי חממה מבוקרים: ניסויים אלו בוצעו בשני חדרי חממה סמוכים בעלי תנאים דומים בפקולטה לחקלאות. חדר אחד שימש כתא מועשר באוזון והשני כתא הביקורת. הניסויים בוצעו בתשעה זנים (יובל, זהיר, גדרה, ברנר, גליל, רותה, בנימין, נגב ועמית), 3 עציצים מכל זן. בניסוי הראשון (10-20/8/17) נחשפו הזנים לריכוזי אוזון גבוהים בשיעור של כ- 100ppb בתא הניסוי במשך כ-4 ימים בשלב מילוי הגרגר ואילו תא הביקורת לא הועשר באוזון. בכל אחד מהתאים בוצעו מדידות ברמת העלה באמצעות מערכת Li-6400XT במהלך הניסוי וכן 5 ימים לאחר גמר ההעשרה, על מנת לבדוק את התאוששות הצמחים. ניסוי חממה מבוקר שני (26-30/9/17) בוצע בדומה למתואר עבור הניסוי הראשון, מלבד חשיפת הזנים השונים בתא הניסוי לריכוזי אוזון בשלב פנולוגי צעיר (3 עלים). במהלך הניסוי השני התבצע ניטור ויזואלי בלבד. בניסוי הראשון הנזק שנגרם לצמחים היה אקוטי וכלל נזקי נקרוזה וכלרוזה ברמה גבוהה כפי שניתן להתרשם בתמונה באתר המיזם.

ניסויי שדה בתאים פתוחים: ניסויי השדה בוצעו בגילת ומדידות באמצעות מערכת Li-6400XT (מדדי הטמעה, מוליכות ודיות) בוצעו משלב שליפת עלה הדגל. הניסוי הוצב בגילת בשני תאים פתוחים

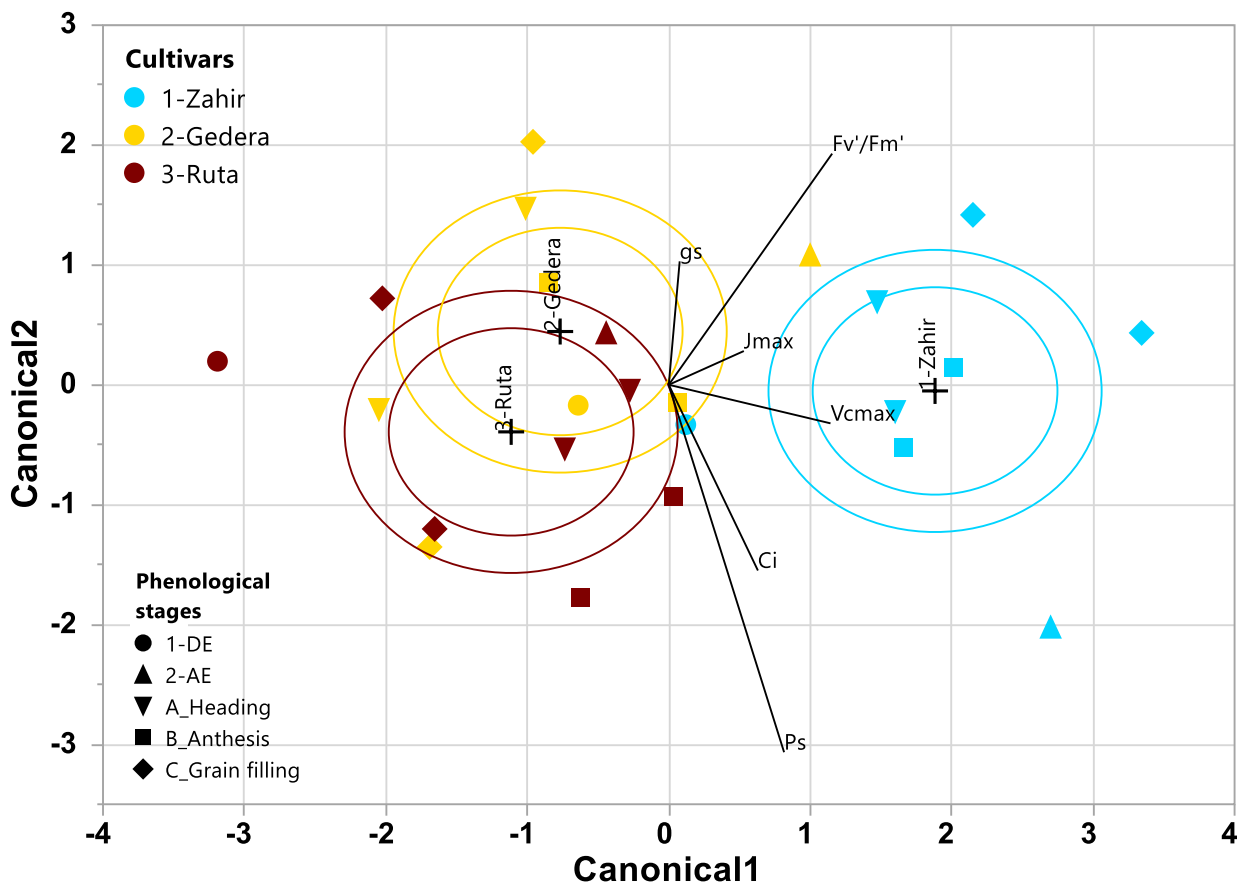
בחלקם העליון (open top chambers; OTCs) אשר תוכננו ונבנו בשנה א'. דפנות תאים אלו בנויים מפרספקס ובהיותם פתוחים בחלקם העליון מאפשרים לצמצם את הפרת תנאי הגידול הטבעיים. התאים והצבתם בשטח תוכננו באופן שיאפשר תנאים זהים בשניהם. בנוסף נמדדו פרמטרים מטאורולוגיים בסיסיים בשני התאים ולפיהם אנו מעריכים כי לא היו קיימים הבדלים משמעותיים בין תא הביקורת ותא הניסוי מבחינת התנאים המיקרומטאורולוגיים פרט להבדל העיקרי ביניהם בריכוז האוזון. תא הניסוי הועשר באוזון, ריכוזי האוזון נותרו באמצעות 5 חיישנים שפוזרו בתא המועשר על מנת לתאר את ההתפלגות המרחבית של ריכוזי האוזון בתא, חיישן אחד בתא הביקורת וחיישן אחד בשדה. בשל מגבלות טכניות שהיה קשה לצפות מראש, החשיפה לריכוזי האוזון בניסוי הראשון הייתה נמוכה באופן משמעותי ביחס למתוכנן וביחס לניסוי השני (איור ב1). על פי הניטור שבוצע, ההעשרה באוזון הייתה בשיעור עד 10% ביחס לרמות הרקע. הניסוי בחן הבדלים בתפקוד תשעת הזנים. בכל תא גודלו 2 שורות מכל זן בבלוקים באקראי. בניסוי השני נזרעו רק שלושה זנים (זהיר, גדרה ורותה) כדי לאפשר מספר חזרות גדול יותר. לאורך עונת הגידול בוצעו מדידות בעלה הדגל בשני התאים וכן בשדה מחוץ לתאים (גידול רגיל).



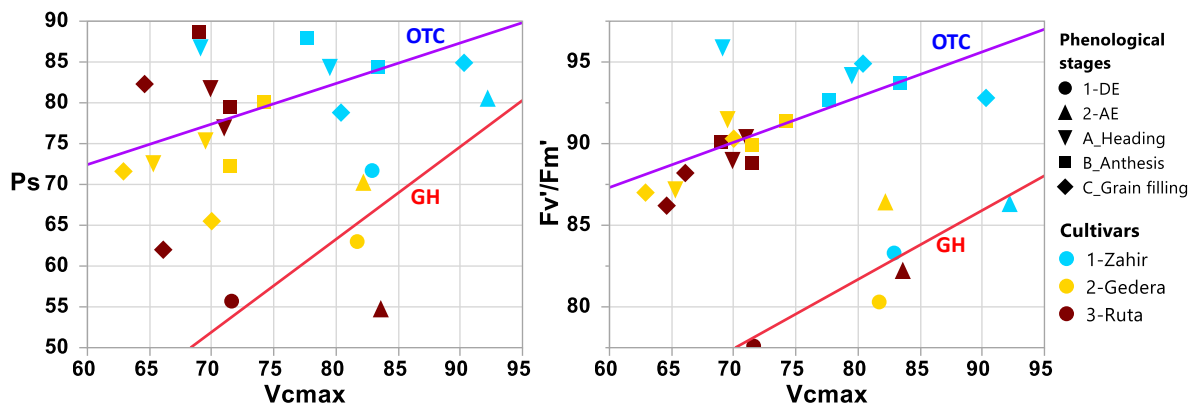
איור ב1. רמת אוזון מצטבר בניסוי בגילת. תא ביקורת (כחול), תא מועשר באוזון (אדום) ובשדה פתוח צמוד לתאים (ירוק). שלב חנטה ומילוי גרגר של זן מבוטא בריבועים ובקווים.

על אף שבעונת הגידול הראשונה ההעשרה באוזון הייתה בשיעור של כעד 10% בלבד נצפו הבדלים משמעותיים ומובהקים סטטיסטית ($P < 0.001$) בפחיתת ההטמעה בכל תשעת הזנים שבתא הניסוי ביחס לתא הביקורת וכן בין תא הביקורת לשדה. כמו כן התקבלו הבדלים מובהקים רבים במדידות שבניסוי החממה ובתאים הפתוחים, בזמן ההעשרה ואחריה (חממה), בשלבי השתבלות חנטה ומילוי גרגר (תאים פתוחים). פירוט רב של המדידות משולב במאמר שנשלח לפרסום (Chaudhary et al. 2019) ואין מקום להאריך. כדי לזהות את הגורמים המשמעותיים ולזהות סבילות של זן לרמת אוזון גבוהה יותר, לכל מדידה חושב ערך של השינוי היחסי באחוזים מטופל מהיקש עבור כל מדד מהמדדים הבאים: קצב הטמעה P_s ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); מוליכות פיוניות (g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); ריכוז פחמן דו חמצני תוך תאי C_i ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); יעילות פוטוכימית בתאורה רוויה (F_v'/F_m'); קצב הטמעה מקסימלי (V_{cmax} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); קצב מירבי של העברת אלקטרונים (J_{max} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). זאת תוך התמקדות בשלושת הזנים שנבחנו בכל הניסויים. ניתן לראות (איור ב2) הפרדה ברורה בין זהיר הסביל לעומת גדרה ורותה הרגישים יותר.

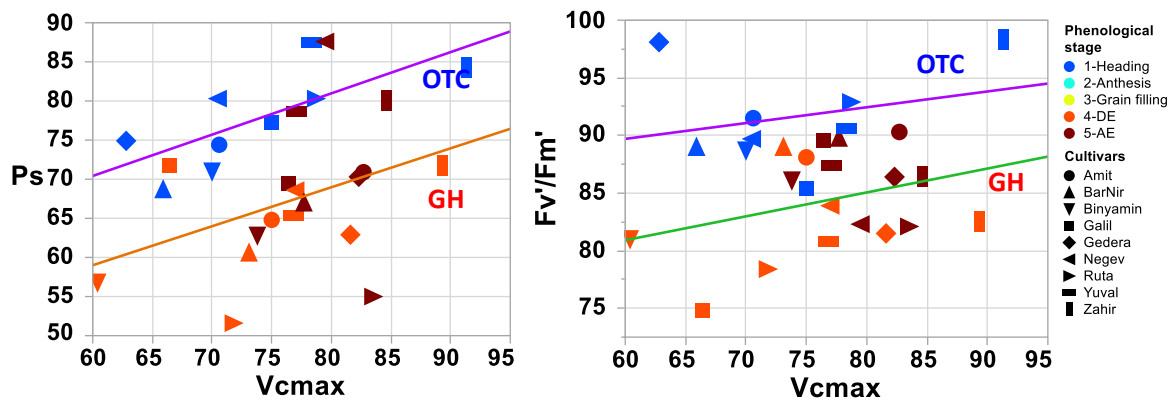
ההפרדה מבוססת בעיקר על שלושת המדדים קצב הטמעה, קצב הטמעה מקסימלי ויעילות פוטוכימית. כלומר, האוזון פוגע ביעילות הפוטוכימית ובעקבות זאת קצב ההטמעה וקצבה המקסימלי יורדים. זאת ללא בעיה במציאות פחמן דו חמצני או במוליכות הפיוניות. ממצא חשוב מעבודה זו מראה כי ללא תלות ברמת האוזון (נמוך בניסוי תאים ראשון או גבוה בשני) או במשך החשיפה (קצר בחממה או ארוך בתאים) ניתן לזהות את סבילות הזהיר לעומת גדרה ורותה (איור ב3). אמנם הקשרים שונים בין תנאי חשיפה קצרה בחממה לעומת חשיפה ארוכה בתאים, אולם הקווים מקבילים, אף ללא תלות בשלב הפנולוגי של החיטה. מכאן שניתן במערכת טיפוח לבצע סלקציה בשתי השיטות, אולם מבחינה מעשית ברור כי העמדת מערכת העשרה בחממה, שינוע עציצים והצבתם שם למשך 3 ימים בלבד ומדידות פוטוסינתזה הינה דרך יעילה המאפשרת סריקת קווים רבים ביעילות. ניתן לראות השוואה דומה של תשעת הזנים אך בהתבסס על בסיס נתונים צר (איור ב4), המראה כי הזן זהיר בולט בסבילותו, עם זאת יש לסייג ולבחון את הזנים הנוספים שוב. פגיעת האוזון בהטמעה מתבטאת ביתר שאר בריכוזי CO₂ גבוהים מ 400 ח"מ, תחום שאליו השינויים במציאות כבר מגיעים (איור ב5). במקביל, חובה להדגיש כי הממצאים מראים שמתקבלת פחיתה ביעילות ההטמעה אף בעקבות עליה קלה ברמת האוזון, ברמות שכיחות במציאות במרחבי ישראל, אשר על כן, יש להניח כי אוזון פוגע במידת מה ביצרנות החיטה בשדות ישראל כבר היום.



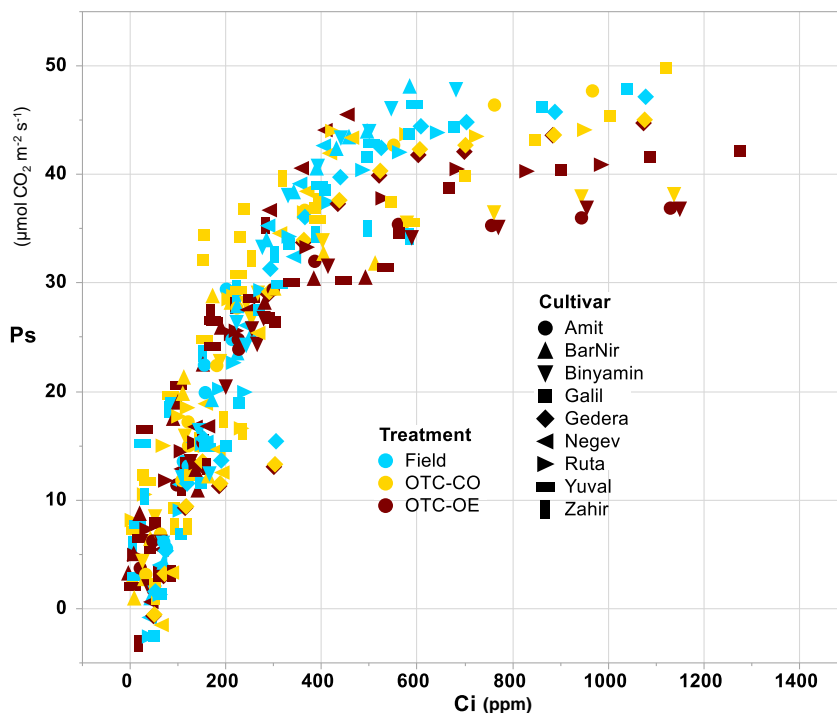
איור ב2. מיון הזנים על פי הפחיתה ביעילות ההטמעה בעקבות העשרה באוזון. בניסוי בחממה מדידות AE ו DE נעשו תוך כדי העשרה ואחריה בהתאמה. כל נקודה הינה ממוצע מכל החזרות באותו שלב פנולוגי.



איור 3. היחס בין קצב הטמעה ויעילות פוטוכימית לעומת קצב הטמעה מקסימלי בעקת אוזון. בכל המדדים, הערך הינו השינוי היחסי באחוזים מטופל מהיקש. כל נקודה הינה ממוצע מכל החזרות באותו שלב פנולוגי.



איור 4. היחס בין קצב הטמעה ויעילות פוטוכימית לעומת קצב הטמעה מקסימלי בעקת אוזון. בכל המדדים, הערך הינו השינוי היחסי באחוזים מטופל מהיקש. כל נקודה הינה ממוצע מכל החזרות באותו שלב פנולוגי.



איור 5. כושר הטמעה כפונקציה של רמת CO_2 משתנה (עקום A/C_i) בתשעה זני חיטה בשלוש סביבות גידול, תא פתוח מועשר באוזון (OE), תא פתוח היקש (CO) ושדה פתוח צמוד לתאים.

טמפרטורה ודיות בשדות מסחריים: אחראי- איתמר לנסקי.

שינויי אקלים הינו תהליך מתמשך, אך מהעבר אנו למדים כי שינויים בטמפרטורה ובזמינות מים יהיו הגורמים העיקרים שישתנו. במחקר זה נעשה שימוש בשונות הקיימת במרחב כדי להבין ולהתאים במידת האפשר התמודדות החיטה עם תנאי הסביבה השונים. לכן ניתן דגש ליכולת זיהוי וכימות השונות במדדים אלו.

הערכת תכולת המים באזור בית השורשים על-ידי מודל מבוסס חישה מרחוק

החיטה בישראל מגיעה בדרך כלל לשלב הרפרודוקטיבי לקראת תום עונת המשקעים ולמעשה נסמכת על כמות המים הזמינה בקרקע לצורך מילוי הגרגר. הערכת כמות המים הזמינה לחיטה בשלב מוקדם זה חשובה לצורך קבלת החלטה מושכלת לגבי כדאיות השארת החיטה לקציר גרגרים לעומת קציר בשלב מוקדם לתחמיץ. מאזן המים בקרקע הוא: $dS = P - ET - Q$ (כמות המים האגורים בקרקע שווים לגשם פחות אידוי-דיות ונגר), כאשר לרוב הנגר זניח $Q=0$, ולכן $dS = P - ET$. בעוד שניתן למדוד את כמות הגשם בעזרת תחנה מטאורולוגית מקומית, טרם נמצאה שיטה יעילה להערכת כמות המים המתאדים מהשדה במהלך העונה באופן מרחבי רציף. השערת המחקר הנוכחי היא כי בהינתן כלי פשוט להערכת המים הזמינים לחיטה בשלב ההשתבלות ניתן יהיה לאמוד את יבול הגרגרים הפוטנציאלי בשלב הקציר (כחודש וחצי עד חודשיים מאוחר יותר). כלי זה עשוי לספק מידע חשוב לחקלאי אשר בשלב קריטי של הגידול יוכל לקבל החלטה מבוססת, כמותית, באשר לכדאיות הגידול לגרגרים לעומת קציר מוקדם לשחת או תחמיץ.

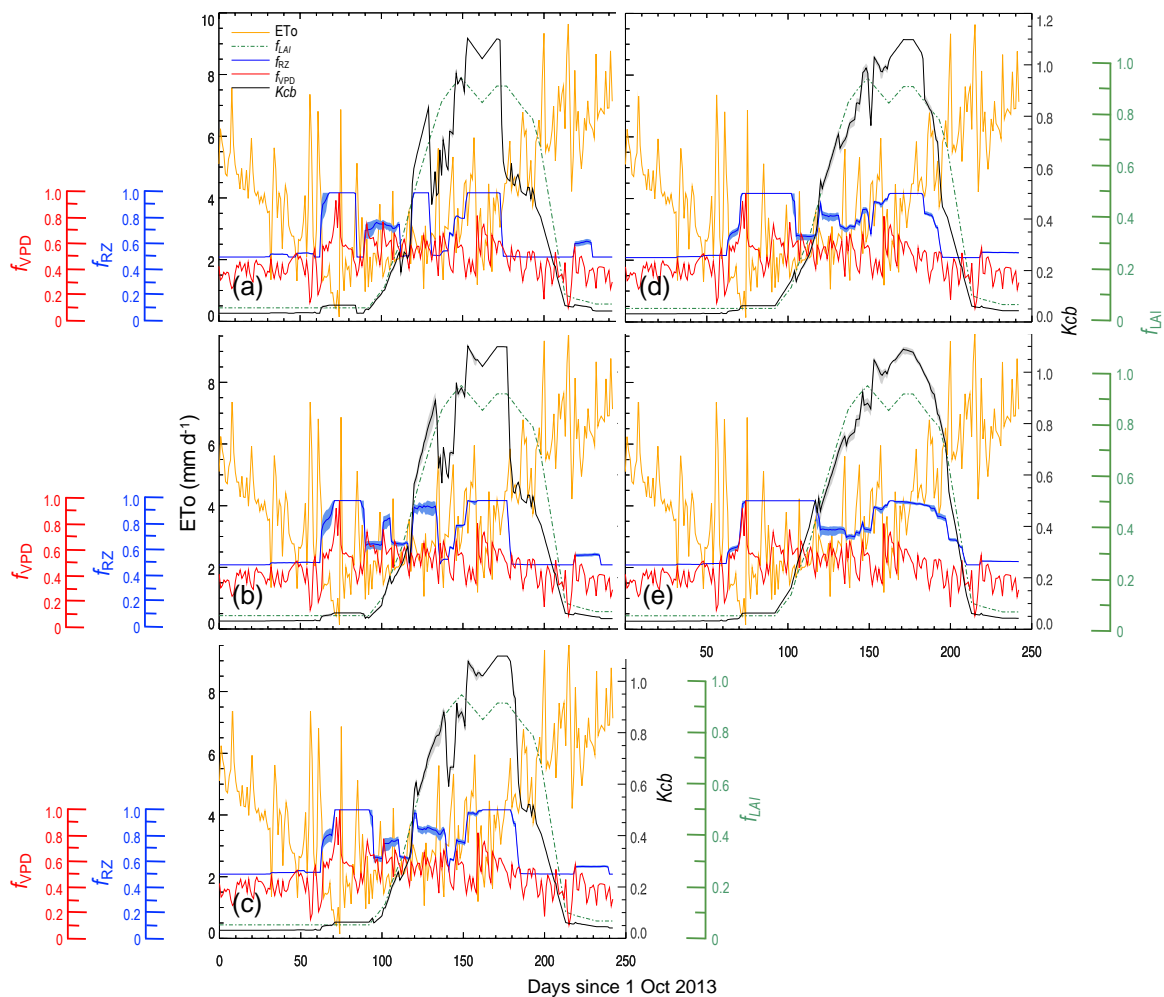
בעקבות ההשערה הנ"ל, עבודתנו התחלקה לשלושה שלבים:

- א) התאמת מודל אידוי-דיות (ET) מבוסס חישה מרחוק לגידול חיטה, תוך מתן הערכה רציפה במרחב ובזמן (Helman et al. 2017; 2019a).
- ב) אימות המודל אל מול נתוני לחות קרקע מדודים לאורך העונה בחלקות חיטה שעברו טיפולים שונים (Helman et al. 2019a).
- ג) מציאת קשר אמפירי בין כמות המים בקרקע בשלב ההשתבלות מהמודל, לבין היבול הסופי (Helman et al. 2019b).

שלב א: השתמשנו במודל FAO-56, המבוסס על האידוי הפוטנציאלי (ET_0) ומקדם הגידול (K_c). כך ש: $ET' = ET_0 \times K_c$. כאשר המקדם K_c מבטא את המהלך העונתי של צריכת המים ביחס לאידוי הפוטנציאלי הנוכחי ומתייחס בעיקר להשפעת תכונות הצמח על האידוי, בעוד ש- ET_0 מתייחס לתנאים המטאורולוגיים המשפיעים על האידוי. כיוון ש- K_c משתנה בין גידול לגידול וכן במהלך העונתי, ניתן להחליפו בפונקציה של NDVI (vegetation index), המחושב ממידע המתקבל מלוויינים. המשוואה החילופית: $ET' = ET_0 \times f(NDVI)$.

הפונקציה בה השתמשנו היא פונקציה לינארית של פרקציית כיסוי הצומח (f_{vc}), וזאת על מנת לקחת בחשבון את מרכיב האידוי על ידי הפונקציה המשלימה: $ET' = ET_0 [f_{vc} K_c + (1 - f_{vc}) K_e]$ כאשר K_e הינו מקדם האידוי מהקרקע.

בכדי לקחת בחשבון השפעה של עקת מים על הדיות (והאידיוי) השתמשנו במקדם f_{WD} המחשב את כמות המים המצטברת על פני תקופה של Δt לעומת כמות ה- ET_0 המצטבר לאורך אותה תקופה. השימוש ב- f_{WD} מאפשר להפוך את הנוסחה הנ"ל, המתארת מערכת במצב אידאלי (ללא הגבלת מים - ET'), למודל מציאותי של מערכת שעלולה לסבול מעקת מים (ET). איור 6 מדגים את יכולת ה- f_{WD} להגביל את הדיות במודל בתקופות של עקת מים, כאשר נעשה שימוש ב- f_{WD} עם Δt שונים. בנוסף שולבו במודל החידושים הבאים לשיפור מאזן המים בקרקע: (א) התחשבות בקצב חלחול מעבר לעומק בית השורשים (עומק בית השורשים נלקח כאן להיות שווה לכ-1 מ'), (ב) אידיוי ישיר מפני העלווה ו-(ג) השפעת גרעון לחץ אדים (VPD) באוויר על פתיחת פיוניות (Helman et al. 2019a).



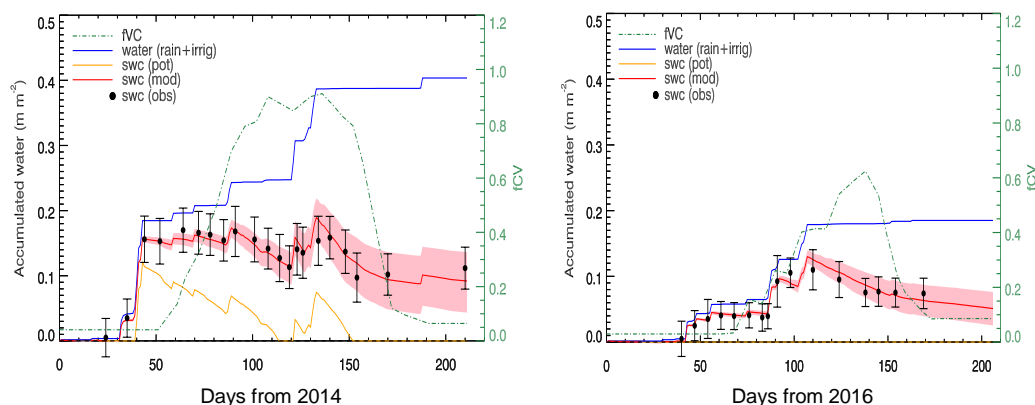
איור 6. ET_0 , K_c , f_{VC} ו- f_{WD} עם Δt שונים במודל: (a) 10, (b) 15, (c) 20, (d) 30, (e) 45 ימים.

שלב ב: אימות המודל נעשה בשלב ראשון בחלקות עם זנים שונים. טבלה ב1 מסכמת את המדדים הסטטיסטיים של אימות המודל. מכאן שלא נראה הבדל מהותי בצריכת המים של הזנים השונים לאורך העונה ($P > 0.1$) הוחלט למצע את החלקות עבור השלב השני של האימות שכלל טיפולים שונים. איור 7 מדגים את יכולת המודל להעריך את תכולת המים בפרופיל הקרקע עד לעומק של 1 מ' בשתי חלקות שונות.

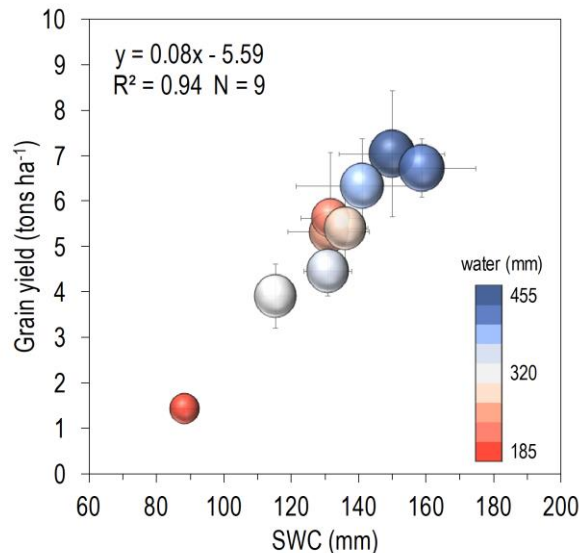
המודל אומת בתשע חלקות שנזרעו עם 15 זנים שונים של חיטה ובשתי עונות (2014 ו-2017). החלקות שונות הן בתנאי משטר המים (גשם ו/או השקיה) והן בזמן הזריעה והטיפול שקיבלו. שלב ג: כמות המים המוערכת בקרקע בשלב ההשתבלות הייתה בהתאמה גבוהה עם יבול הגרגרים הסופי, כחודש וחצי-חודשיים מאוחר יותר (איור 8). כמות המים בקרקע הייתה גורם מסביר עיקרי ליבול אף במקרים שבהם הגשם ו/או ההשקיה לא היוו גורם מסביר, מה שמדגיש את חשיבותו של מדד זה. פרטים נוספים ניתן למצוא ב- Helman et al. 2019b.

טבלה ב1. מדדי טיב ההתאמה בין המודל למדידות הלחות בחלקות עם זנים שונים.

Cultivar	R ²	RMSE	Bias	%RMSE	%Bias
Bar-Nir (BN)	0.95	0.0119	0.00014	7.70	0.09
Negev (NG)	0.95	0.0121	0.00015	7.90	0.10
Ruta (RT)	0.94	0.0126	0.00016	8.25	0.10
Yuval (YU)	0.94	0.0124	0.00015	8.37	0.10
Binyamin (BY)	0.93	0.0136	0.00018	8.69	0.12
Omer (OM)	0.93	0.0143	0.00020	9.02	0.13
Amit (AM)	0.93	0.0145	0.00021	9.25	0.13
Gedera (GD)	0.90	0.0158	0.00025	10.40	0.16
Galil (GL)	0.90	0.0149	0.00022	10.31	0.15
Svevo (SV)	0.89	0.0174	0.00030	11.38	0.20
Zahir (ZH)	0.89	0.0157	0.00025	10.87	0.17
AVG	0.92	0.0141	0.00020	9.29	0.13



איור 7. תכולת מים מדודה (עיגולים שחורים) ומוערכת בעזרת המודל (קו אדום) בעומק 1 מ' בחלקת D2-2014 (שמאל) וחלקת KKL-2017 (ימין). השגיאה על המודל מוצגת ע"י התחום הוורוד. תכולת המים הנשארת בקרקע בהינתן אידוי השווה לאידוי הפוטנציאלי מוצגת ע"י הקו הכתום בעוד הקו הכחול מייצג את כמות המים (גשם + השקיה) המצטברת.



איור 8. תכולת מים מוערכת בעזרת המודל בשלב ההשתבלות (מ"מ למ"ר בעומק של 1 מ') מול יבול סופי (טון להקטר) עבור ממוצע חלקות עם משטר מים זהה (כמות גשם+השקיה). צבע הכדור מסמל את כמות המים בחלקות. גודל הכדור מייצג את מספר החלקות הממוצעות.

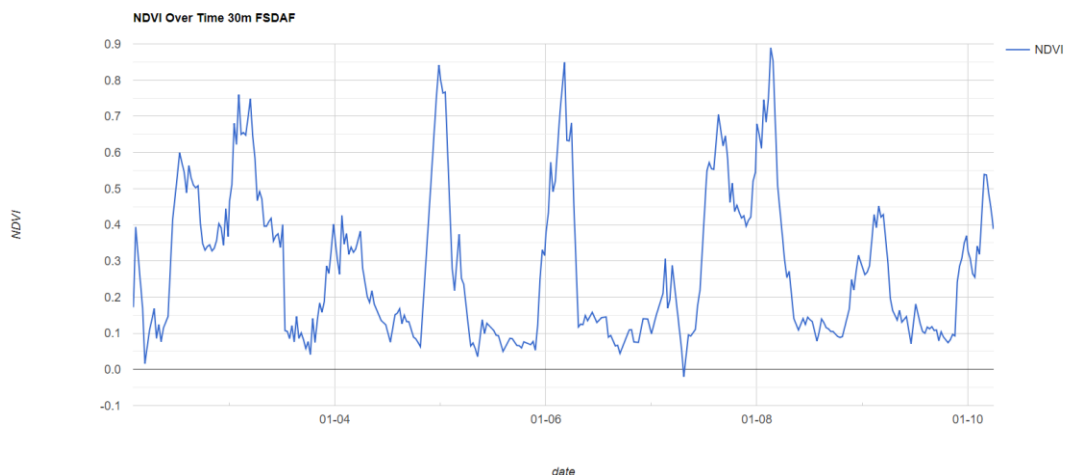
תוצאות אלו מדגישות את חשיבות ההערכה המדוייקת של הדיות עד ההשתבלות. במקביל, תוצאות אחרות במחקר זה (להלן איור 6) מראות את חשיבות הטמפרטורה והלחות היחסית גם בתקופת מילוי הגרגר הן על מילוי הגרגרים (ייצרנות) והן על איכותם. נקודות אלו ראוי שיבחנו לעומק במחקר נוסף במטרה לשפר עוד את הערכת היבול, איכותו וקביעת ממשק מיטבי.

בניית בסיס נתונים ברזולוציה עיתית ומרחבית גבוהה - בניית בסיס נתונים רציפים של אינדקס

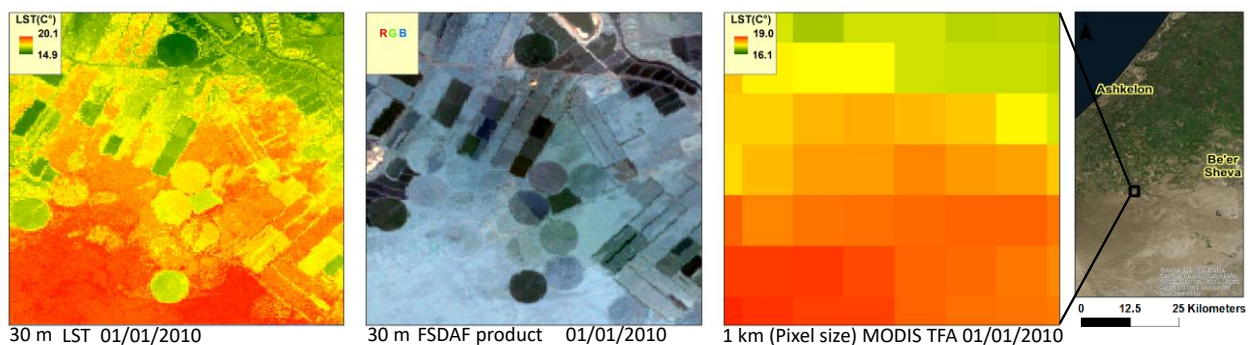
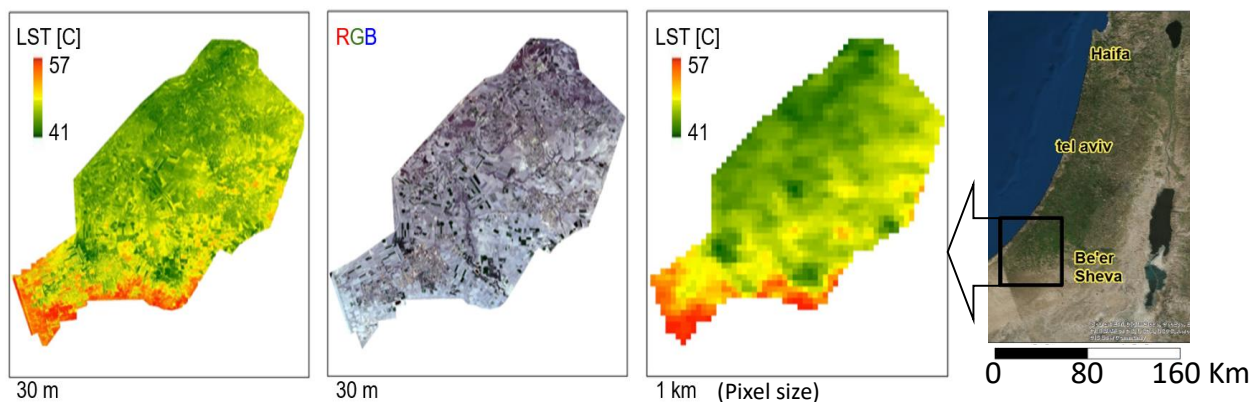
צמחייה וטמפרטורה ברזולוציה מרחבית ועיתית גבוהה בעזרת היתוך וחיודוד נתוני לוויין.

היתוך נתוני לוויין לשם יצירת בסיס נתונים של אינדקס צמחייה: על מנת לקבל סדרות זמן של מדדי צומח משדות חיטה ברזולוציה עיתית ומרחבית גבוהה אנו מבצעים היתוך של החזריות מנתוני לוויין (LANDSAT) ברזולוציה מרחבית גבוהה (30m) בתדירות נמוכה, עם החזריות מנתוני לוויין (MODIS) ברזולוציה מרחבית נמוכה (500m) אך בתדירות גבוהה (יומית, השתמשנו בתוצר של 8 ימים). סדרות הזמן הופקו בעזרת אלגוריתם היתוך FSDAF (Zhu et al, 2016) שהוא שיפור של ESTARFM (Zhu et al, 2010) בו תכננו להשתמש במקור, המצריך פחות נתוני קלט ומייצר סדרות זמן יותר צפופות. באיור 9 ניתן לראות סדרות זמן של מדד צומח (NDVI) שהופקה מתוצר היתוך. ההיתוך נעשה בעזרת 5 ערוצים הקיימים גם בתוצר של MODIS MOD09A1, וגם ב Landsat 5,7,8 (blue, green, red, NIR, SWIR). ערוצים אלה משמשים במהלך תהליך ההיתוך להפרדה ספקטרלית (spectral unmixing) של פיקסלים מעורבים ספקטרלית (קיימת תרומה של עצמים שונים ספקטרלית בתוך הפיקסל). נתונים אלה זמינים לציבור (בדרום ישראל, בקרוב לכל שטחי החקלאות בארץ) באפליקציה בקישור הבא: <https://fsdafgee.users.earthengine.app/view/plotndvi30mbyfsdaf-pol1>. נתונים אלה של החזריות מהווים בסיס לחידוד טמפרטורת הקרקע מרזולוציה של 1 ק"מ (MODIS) ל 30 מ' (Landsat) בעזרת האלגוריתם (DMS; Gao et al, 2012) Data Mining Approach for Sharpening.

זה עושה שימוש בקשר שבין החזריות לטמפרטורה ברזולוציה הנמוכה ובלמידת מכונה כדי לחדד את נתוני הטמפרטורה לרזולוציה הגבוהה של נתוני החזריות (30 מ'). באיור ב10 ניתן לראות תוצאות של חידוד טמפרטורת פני השטח באזור גידול של חיטה בדרום הארץ.



איור ב9. סדרת זמן של NDVI בשדה חקלאי בדרום הארץ.



איור ב10. חידוד טמפרטורת פני השטח בעזרת DMS בשטחים חקלאיים בדרום הארץ, פאנלים: עליון קיץ, תחתון חורף.

המערכת פועלת בשלבים הבאים:

1. הורדת נתוני לוויין משרתים של Google Earth Engine (Gorelick et al, 2017) ברזולוציה נמוכה (MODIS) ורזולוציה גבוהה בכל התאריכים בהם נמצא שניתן לבצע היתוך (קוד PYTHON).
2. ביצוע היתוך אוטומטי לנתוני הלוויין תוך שימוש בקוד FSDAF (קוד IDL\ENVI).
3. העלאה לענן של Google Earth Engine בו ניתן לפתוח את התוצר לציבור הרחב (אפליקציה).

4. שימוש בנתוני MODIS TFA עם נתוני היתוך ברזולוציה של 30 מטר כקלט לחידוד הטמפרטורה (שימוש בקוד PYTHON), לעת עתה שלב זה נבחן על נתוני דמה של טמפ' והרצתו בפועל תתבצע בחודשים הקרובים עם קבלת תוצר MODIS TFA.

תוצר היתוך נוסף ומהיר יותר מהקודם, מבוסס על רגרסיה לינארית בין תוצרי NDVI מ MODIS ומ Landsat. אלגוריתם זה מיושם על GEE והוא מהיר, אך פחות מדויק מ FSDAF. עם כתיבת שורות אלו שוחררה גרסה ראשונה של אפליקציה לשימוש החקלאים. אפליקציה זו (קישור באתר המיזם) מאפשרת להעריך את מועד ההשתבלות של כל זן בכל חלקה על פי מועד ההצצה והמידע שצברנו במסגרת פרק ד1 במחקר זה. אפליקציה זו הינה שלב ראשוני בבניית מערכת תומכת החלטה לממשק גידול חיטה בישראל.

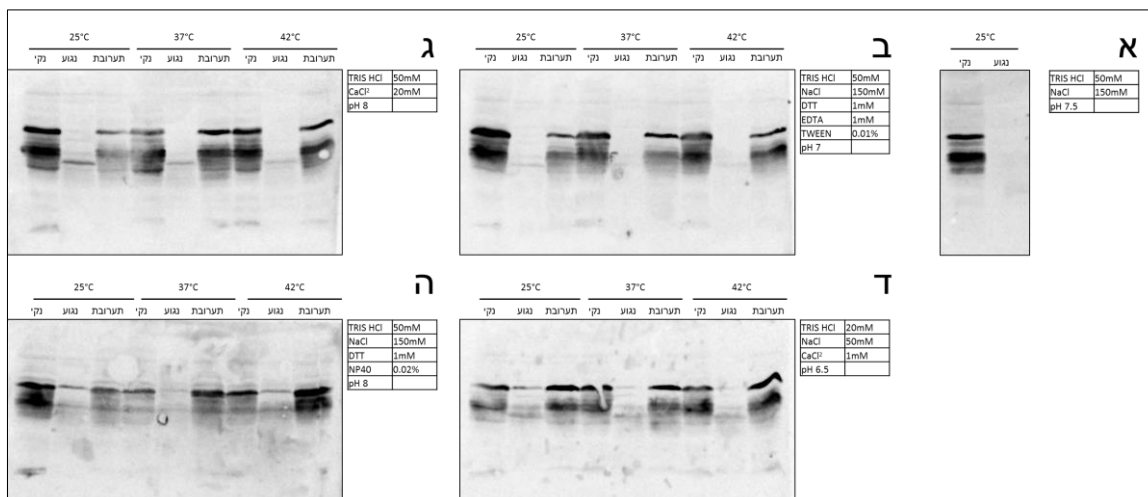
ג- פשפש הקמה.

זיהוי: אחראי- אסף מוסקונה.

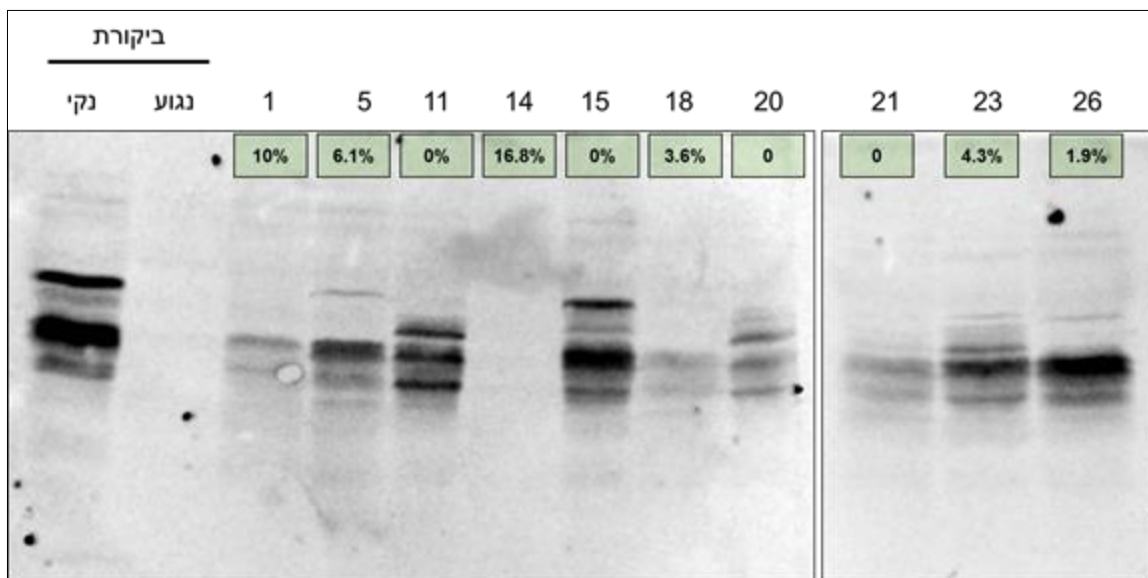
במסגרת המיזם, בחרנו ליצר מערכת אשר תוכל לדווח על נגיעות גרגרי חיטה בפשפש הקמה. בשנתיים הקודמות ביססנו נוגדן חד שבטי אשר מסוגל להבדיל בין גרגרי חיטה נגועים וגרגרים נקיים. יכולת ההבדלה נבדקה במספר זנים מסחריים ונמצאה כיעילה לאבחן גם דוגמאות בהן האילוח נמוך (2%). חולשתנו הייתה בזמן הדרוש לזיהוי, לשם הבדיקה נדרשו 12 שעות בשל אינקובציה הדרושה להגברת הפעילות האנזימתית המגיעה מהפשפש באילוח נמוך (דוח שנה ב'). מכיוון שהצלחנו במטרתנו המרכזית כבר בשנתיים הראשונות בחרנו להשקיע את מאמצנו ביעול מערכת הזיהוי לכדי זיהוי בשעות ספורות. פעלנו על פי הרציונל ששיפור התנאים בהם יפעל האנזים המזהם יחישו את תהליך ההידרוליזה של חלבוני החיטה ובעזרת הנוגדן שיצרנו נוכל לנטר את ההבדל. במסגרת ניסויים אלו בדקנו מספר בופרים, תנאי טמפרטורה, טווח pH ודטרגנטים (איור ג1 ב-ה). לצערנו, אף אחד מהתנאים שנבדקו לא הטיב עם הפעילות באופן המאפשר דיאגנוסטיקה אמינה ומהירה (ברמות נגיעות נמוכות $\pm 2\%$) ולא נמצא פתרון יעיל יותר בהשוואה לטיפול הביקורת (איור ג1א). עקב הכישלון בשיפור זמן המדידה לא ראינו טעם להמיר את הבדיקה לשיטת אלייזה (ELIZA) שכן הרקע שמתקבל בטיפול כתוצאה מהחלבונים שלא עוברים פרוק ממסך על התוצאה.

כדי לבדוק את המערכת באופן לא משוחד, בחנו עשר דוגמאות ממקורות שונים, בדוגמאות חיטה ישראלית הצלחנו לזהות את המצב ללא רבב, דוגמאות 1, 5, 14, 18-26 נגועות ואילו דוגמה 15 נקייה. חיטה מיבוא הייתה קשה יותר לזיהוי שכן דפוס החלבונים שונה (איור ג2). במידה ויבקשו לעשות שימוש בשיטה זו לבדיקת נגיעות בחיטה מיובאת יש לאמת את השיטה על ידי דוגמאות נוספות.

לסיכום, יש בידנו כלי המאפשר, בבדיקת מעבדה, להבחין באחוזים בודדים של זיהום בפשפש הקמה, כדי להריץ בדיקה זו יש לבצע אינקובציה של קמח עם בופר Tris pH 7.5 ומלח 150 mM NaCl במשך 12 שעות, לאחר מכן להריץ את החלבונים בג'ל - SDS/PAGE, להעביר לממברנת ניטרולולוז ולבצע זיהוי עם הנוגדן. הפרוצדורה אורכת 15 שעות ועל כן היישום בתחנות קבלה יהיה קשה. כדי להפוך כלי זה למסחרי יש להוריד את הרקע כדי לאפשר זיהוי במערכת אלייזה, אולי על ידי התאמה יותר מדויקת של בופר הניסוי או תוספת אנזימים נוספים.

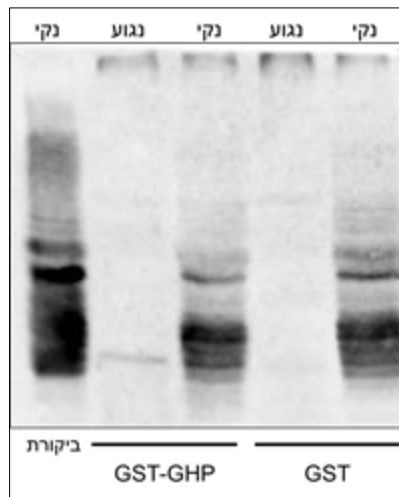


איור 1. נסיונות כיול הבדיקה האנזימתית. סך החלבונים מתוך גרגרים נגועים, נקיים ותערובת (10:1 נקי: נגוע) של זן "ובל". הדוגמאות (ב-ה) הודגרו במשך שתיים בטמפ' ובתמיסות המצוינות באיור, לא נמצא שיפור בהשוואה לטיפול הביקורת (א). הדוגמאות הופרדו על ידי SDS/PAGE והוטבעו בממברנת ניטרוצלולוז. הממברנה נבדקה לנוכחות חלבוני חיטה בעזרת הנוגדן שבודד משבט 5.



איור 2. סך החלבונים מתוך דגימות לא ידועות שעברו הדגרה בטמפ' חדר למשך הלילה. החלבונים הופרדו על ידי SDS/PAGE והוטבעו בממברנת ניטרוצלולוז. הממברנה נבדקה לנוכחות חלבוני חיטה בעזרת הנוגדן שבודד משבט 5. סימון של באחוזים מתאר את מידת הנגיעות בפשפש. דוגמאות 20, 11 ו-21 הן חיטה מרוסיה וחיטה אמריקאית.

במסגרת הדיווח בע"פ עלו רעיונות שיכלו לסייע בכיול המערכת, אחד היה ליצור חלבון ביקורת אשר יאפשר עיכול של חלבוני חיטה ללא צורך בבידוד דוגמאות מזוהמות מהשדה. לשם כך יצרנו חלבון רקומביננטי של gluten hydrolysate (GHP) מאוחה ל-GST ול-HIS. בשני המקרים לא הצלחנו לראות פעילות הידרוליזה של חלבון המטרה בדוגמאות חיטה ולכן זנחנו את הרעיון (איור 3ג).



איור 3. סך החלבונים מתוך גרגרים נגועים ונקיים של זן "יובל". הדוגמאות עורבבו עם כמויות שוות של GST או GST-GHP. הדוגמאות הודגרו למשך לילה, הופרדו על ידי SDS/PAGE והוטבעו בממברנת ניטרופולולוז. הממברנה נבדקה לנוכחות חלבוני חיטה בעזרת הנוגדן שבודד משבט 5.

אגרוטכניקה: אחראי- משה קוסטיוקובסקי.

סיכום מפורט של פרק זה עם כל נתוני הניטור משולב באתר המיזם.

סקר התפשטות פשפש הקמה באזורים שונים בישראל: בוצעו ספירות אוכלוסיות הפשפש באופן

שיטתי במשך העונה, משלב השתבלות החיטה ועד הקציר. הניטור בוצע בשדות מסחריים בנגב (בארי, מגן, כפר עזה, גילת), בעמק יזרעאל (כפר ברוך, מגדל העמק) ובעמק בית שאן (שדה אליהו, חמדיה). כמו כן נגיעות חיטה בפשפש נוטרה בארבעה מבחני זנים: בנגב (בארי, גילת), בגליל עליון ובעמק יזרעאל. שיטת הבדיקות: בוחרים באופן אקראי מקטעים של 1 מ"ר, בהם נבדקת המצאות הפשפש על כל שלביו במבט על. לאחר מכן מנענעים את הגבעולים ובודקים המצאות הפשפש על הקרקע. בכל שדה (זן) בודקים לפחות 10 מקטעים של מ"ר אחד. הממוצע מהווה רמת הנגיעות בפשפש בשדה (זן).

בשדות מסחריים ברוב אזורי הארץ אוכלוסיות הפשפש היו בדרך כלל נמוכות: 0.1-0.2 בוגרים חורפים למ"ר ו- 0.1-1.5 נימפות דרגות 3-5 ובוגרים צעירים למ"ר. במקרים בודדים המספרים היו גבוהים יותר: 1.3 בוגרים חורפים למ"ר במגדל העמק ב 2018 ו 6.3 נימפות דרגות 3-5 ובוגרים צעירים למ"ר בכפר עזה ב 2017. בשנות המחקר, באזור תל צפית (שפלה) נמצא מוקד עם אוכלוסיית הפשפש גבוהה של כ- 10 בוגרים צעירים למ"ר לקראת הקציר.

אוכלוסיות הפשפש במבחני הזנים שנטרו היו ברוב הספירות נמוכות. רק ב 2017 בעמק יזרעאל נמצאו 1-1.5 נימפות דרגות 3-5 ובוגרים צעירים למ"ר, ובבארי לקראת קציר 2017 היו 1-3.5 פשפשים ב מספר זנים.

סקר נגיעות גרגרי חיטה ע"י פשפש הקמה: אחוז גרעינים נגועים נמדד ע"י מיון לגרגרים נגועים

ולא נגועים. מכל דוגמה נבדקו 2 תת דוגמאות של 10 גרם כ"א. ממוצע ביניהם מהווה את אחוז הגרגרים הנגועים ע"י הפשפש. שיטת המיון: בדיקה וויזואלית, כל גרגר בנפרד. גרגר נגוע מאופיין בנקודה שחורה מוקפת בהילה בגוון לבן-צהוב. אם יש ספק באשר לנגיעות הגרעין על פי מראהו, הגרעין נדקר ע"י סיכה באזור החשוד כנגוע. בגרעינים נגועים הסיכה חודרת בקלות, והמרקם רך וקמחי, ואילו בגרעינים בריאים

הסיכה לא חודרת פנימה. בקרוב למאה דוגמאות, אחוז הגרגירים הנגועים נע בין 0 ל-0.4%, נגיעות זניחה למעט דגימות בודדות בהם אחוז הגרגירים הנגועים היה בתחום 1.0-2.6%.

פגיעת פשפש בגרגרי חיטה במבחני זנים: נגיעות גרגרי חיטה בפשפש נוטרה בארבעה מבחני זנים: בנגב (בארי, גילת), בגליל עליון ובעמק יזרעאל. ברוב הספירות הפגיעה של הפשפש היתה נמוכה, אך בנגיעות הגרגרים נמצא הבדל בין הזנים והאתרים. הזנים הפגועים ברמה מעל 2%: בעמק יזרעאל אג.77; בגילת גליל; בבארי כיתאין, בית השיטה; בגליל עליון אג.77, שפע, יפמ 1, בית השיטה, הז 107, הז 574, גדיש, אג. 74, גדרה.

פגיעת פשפש בגרגרי חיטה במחסני חירום ובחיטה פסולה לקמח: בעונת הקציר, נדגמו גרגרי חיטה באופן אקראי בשלוש תחנות קבלת הגרעינים בנגב ובעמק יזרעאל (טבלה ג1). במחסני חירום ברוב הדגימות אחוז הגרגרים הפגועים בפשפש היה נמוך של 0-1% אך בשתי דוגמאות במנפטת העמק נמצאה נגיעות פשפש של כ-5%.

טבלה ג1. נגיעות גרגרי חיטה ע"י פשפש הקמה במחסני החירום.

אזור	2016		2017		2018	
	מספר מחסנים	% נגיעות	מספר מחסנים	% נגיעות	מספר מחסנים	% נגיעות
דרום (יושיביה)	3	0.1±0.1	17	0.9±0.1	8	0.4±0.2
דרום (נתיבות)	2	0.7±0.7	2	0.3±0.2	4	1±0.6
צפון (מנפטה)	/	/	4	1.7±0.7	6	0.5±0.1

ניסוי שדה: השיטה עליה נסמך הניסוי היא אילוח כלובים (רשתות) בשדה בהם גדלים זני חיטה הנבדלים פנולוגית (זהיר, בר ניר ורותה) עם פשפשים וכלובים בהם לא הושמו פשפשים (ביקורת). בכל אחת משנות הניסוי הוקמו 9 כלובי אילוח ו-9 כלובי ביקורת, כל כלוב 2 מ"ר. בהתאם לכך, לאחר הקציר התקבלה דוגמת גרגרים מכל כלוב, והבדיקות נערכו עבור כל דוגמה בנפרד. ההשוואה נערכה עפ"י מדדים כמותיים- אחוז משקלי של גרעינים נגועים, משקל אלף, משקל נפחי, ועפ"י מדדי חלבון: אינדקס גלוטן, מבחן IDK, אחוז גלוטן רטוב ושיקוע (STD), בדיקות ראולוגיות ונפח מאפה. בנוסף, נערך מיון של כלל גרגרי הניסוי על פי הזן ונגיעותם. הורכבו דגימות לפי אחוז נגיעות: ב-2016 ו-2017 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 8% וב-2018 0%, 2%, 4%. לצורך הבדיקות באלוואוגרף הוכנה דגימה אחת של 1.5 ק"ג ב-4% נגיעות לכל זן (ב-2016 ו-2017 אך לא ב-2018 בשל מחסור בגרגרים נגועים). בבדיקות אלה ב-2016 לא נמצא הבדל מובהק בין הזנים, אך נמצא הבדל מובהק בין טיפול מאולח לעומת היקש (13-20% ו-0.8-1.3% בהתאמה). ב-2017 אחוז הנגיעות היה גבוה מאוד, עם נגיעות נמוכה בבר ניר במובהק ביחס לרותה באילוח, וכן הבדל מובהק בין טיפולי האילוח בכל הזנים. ב-2018 הנגיעות בכלובי האילוח הייתה נמוכה מאוד בגלל תנאי טמפרטורה קיצוניים גבוהים מאד (כ-45 מ"צ בצל). בכל הזנים הנגיעות באילוח הייתה גבוהה בפחות מ-1% ביחס להיקש. למרות הנגיעות הנמוכה נמצא הבדל מובהק בין הטיפולים ברותה (טבלה ג2). לכלובי הרשתות היתה השפעה שלילית על מילוי הגרגר ובכל הניסויים המשקל הנפחי ומשקל האלף היו נמוכים מאוד (גם בהשוואה לגרגרים מהחלקה הצמודה), למרות זאת, ברמות נגיעות גבוהות מאוד, 2017, ניכרת השפעה שלילית של הפשפש גם על מילוי הגרגר (טבלה ג2). פגיעת הפשפש אינה

משפיעה על כמות הגלוטן האגור בגרגר, אולם משפיעה באופן ישיר על איכותו כפי שמבוטא במדדים הנאמדים בתחנות קבלה, אינדקס גלוטן ו IDK (טבלה ג3), זאת עם חריג אחד הזן בר ניר בעונת 2018. איכות הבצק הושפעה מהפשפש, כאשר בכל המקרים חוזק הבצק (W IP) נפגע קשה מהפשפש בעוד שההשפעה על האלסטיות (L) לא היתה אחידה, גורמים אשר התבטאו אף בנפח הכיכר (טבלה ג4). בנתונים אלו לא נמצא זן ש"עמיד" או אף "סביל" לפשפש.

טבלה ג2. פגיעת גרגרי חיטה בפשפש הקמה ומילוי גרגר, כלובי רשתות גילת. (אותיות שונות מבטאות הבדל מובהק בין הטיפולים בתוך זן).

זן	טיפול	גרגרים פגועים בפשפש %			משקל אלף, גרם			משקל נפחי, ק"ג/ה"ל		
		2018	2017	2016	2018	2017	2016	2018	2017	2016
זהיר	אילוח	0.8a	60.7a	13.6a	19.8a	27.5b	33.2a	65.6a	64.0b	56.5a
	בקורת	0.1a	2.7b	0.8b	21.0a	33.8a	32.3a	67.7a	75.1a	57.7a
בר ניר	אילוח	1.2a	40.8a	20.8a	18.8a	27.4b	27.9a	58.1a	67.4b	57.6a
	בקורת	0.4a	2.4b	1.1a	19.6a	29.9a	29.0a	63.8a	73.9a	56.7a
רותה	אילוח	1.0a	68.7a	16.8a	18.0a	22.9a	25.6a	57.9a	58.0b	60.5a
	בקורת	0.2b	0.6b	1.3b	17.4a	26.2a	23.5a	56.8a	70.0a	56.5a

טבלה ג3. תכולת גלוטן ואיכותו בגרגרי זנים הנגועים חיטה בפשפש הקמה ברמות שונות, כלובי רשתות גילת. (אותיות שונות מבטאות הבדל מובהק בין הטיפולים בתוך זן).

זן	אילוח %	גלוטן רטוב %			אינדקס גלוטן %			IDK יחידות		
		2018	2017	2016	2018	2017	2016	2018	2017	2016
זהיר	0	36.0a	28.3a	26.5a	92a	81a	65 a	74a	83a	91a
	1		29.2a	27.7a		68ab	50		83a	98ab
	2	38.5b	28.8a	27.7a	76ab	72ab	40 bc	84a	89ab	102ab
	3		29.2a	27.8a		58b	26 cd		91ab	104abc
	4	38.2ab	28.9a	27.8a	66b	55bc	18 cd	83a	89ab	109bc
	8		28.8a	29.0a		33c	5 d		98b	117c
בר ניר	0	44.8a	28.7a	32.7a	81a	75a	68 a	78a	80a	88a
	1		29.2a	33.0a		66ab	51		88ab	92ab
	2	44.2a	29.3a	34.2a	86a	56bc	31	80a	81ab	100abc
	3		29.5a	33.5a		46cd	38		89bc	98abc
	4	46.0a	29.1a	33.7a	80a	34d	25 b	74a	96cd	101bc
	8		28.5a	34.3a		9e	13 b		105d	107c
רותה	0	51.0a	33.5a	36.5a	72a	63a	34 a	79a	74a	101a
	1		32.8a	36.3a		59a	29		81ab	101a
	2	53.2a	33.3a	35.7a	53b	50ab	30 a	91b	89bc	100a
	3		33.0a	37.2a		41ab	14 bc		86bc	105ab
	4	51.8a	33.3a	38.0a	50b	40ab	8 c	95b	93c	107ab
	8		30.7a	37.8a		21b	9 c		104d	111b

לסיכום: בשנות המחקר ובמספר שנים קודמות, ברוב אזורי הארץ פשפש הקמה נמצא בשלב של דפרסיה במחזור התפתחותו הרב שנתי, המתאפיין באוכלוסייה נמוכה של בוגרים חורפים, נימפות ובוגרים צעירים של הדור החדש. הפנולוגיה של הפשפש התאפיינה באיחור התפתחותו ביחס לחיטה: הדרגות המזיקות ביותר (נימפות בדרגות 4 ו-5 ובוגרים צעירים) הופיעו בסוף שלב הדונג – הבשלה מלאה של החיטה. פגיעת הפשפש בגרגרים ברוב הדוגמאות ממבחי זנים, שדות מסחריים ומחסיני חירום הייתה נמוכה: 0-1%. עם זאת, בחלק מהדוגמאות הנגיעות הייתה גבוהה יותר משמעותית (הזנים בית השיטה ואג.77 נמצאו בין הפגועים ביותר במספר מבחיני זנים). לכן, הפשפש לא היה גורם מכריע בהשפעה על כמות ואיכות הגלוטן, ולא גרם לפסילת רוב רובו של יבול החיטה לקמח בישראל בשנים אלו.

טבלה ג4. מדדי אלוואוגרף ונפח כיכר מקמח זני חיטה הנגוע בפשפש הקמה ברמות שונות, כלובי רשתות גילת.

נפח לחם (מ"ל)		P/L		L		P		W		אילוח %	זן
2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016		
1524	1242	1.07	1.06	74	66	79	70	234	186	0%	זהיר
1248	1140	0.53	1.10	105	51	56	56	156	86	4%	
1266	1411	1.54	1.84	71	57	109	105	345	255	0%	בר ניר
1272	1120	0.68	1.03	93	59	63	61	169	105	4%	
1385	1345	2.23	1.10	53	88	118	97	276	329	0%	רותה
1016	1160	0.79	1.11	77	70	61	78	123	169	4%	

בניסויי שדה, פגיעה של כ-20-15% לא גרמה נזק כמותי לחיטה, ופגיעת פשפש עד 8% לא השפיעה על כמות הגלוטן. אולם איכות הגלוטן נפגעה, אינדקס גלוטן ירד ו-IDK עלה בגרגרים הפגועים ע"י הפשפש ביחס לגרגרים הבריאים. נרשמה רגישות שונה של הזנים לפגיעת הפשפש. הירידה המובהקת במדדי איכות הגלוטן נרשמה בזן רותה ב-2% גרעינים פגועים בפשפש, בזן זהיר ב-3%, ובבר ניר ב-4%. הזן רותה התאפיין באיכות גלוטן נמוכה, וברמת פגיעת פשפש קשה יותר בהשוואה לזנים בר ניר וזהיר. בגלל רמת אוכלוסיית הפשפש הנמוכה יש להמשיך באיסוף נתונים כדי לעדכן את ממשק הדברת הפשפש, במיוחד לפיתוח ספי פעולה דיפרנציאליים לזנים בעלי גלוטן חזק וחלש ולעדכון קוטלי חרקים המותרים לשימוש נגד הפשפש לאור הדרישות העכשוויות מקוטלי חרקים.

ד- פיסולוגיה של היבול

ד1- שלבי קדם פריחה בחיטה ישראלית, צבירת חומר יבש באברי הפרח ויבול: אחראי- רואי

בן-דוד.

השונות הפנולוגית בזני חיטה ישראלים: פאנל זני החיטה שנבחר לייצג את השונות הפנולוגית במזרע בישראל ומספר זנים נוספים אופיינו לפרופיל הגנטי שלהם במספר גנים מרכזיים המבקרים פריחה באמצעות סמני דנ"א דיאגנוסטיים (קרזון 2018). ניתן לראות (טבלה ד1) שלמעט הזן מספוא, זן חיטה אפיל שנחשב כזן המיועד עבור מספוא בלבד, כל הזנים שאופיינו הם בעלי אלל לאדישות לאורך יום בגן PPD-D1. כמו כן, הפרופיל האללי בגן VRN1 כולל בזנים הישראליים ללא יוצא מן הכלל לפחות שני לוקסיים

אביבים. הזנים הישראליים הבכירים ביותר (אביב ויובל) הם בעלי שלושה אללים אביביים ובמובן הזה הם יוצאי דופן משאר הקווים ביחד עם הזן מספוא. לכל הקווים אלל אביבי ב-VRN-B1 אליו מצטרף אלל אחד נוסף לפחות, במרבית המקרים מדובר באלל אביבי ב-VRN-D1 (למעט בר-ניר). הפער בעיתוי הפריחה בפאנל המייצג בין הזן הבכיר ביותר (ויובל) והאפיל ביותר (רותה) הוא של 160-200 ימי מעלה ואין השפעה מובהקת למועד הזריעה (אתר המיזם). נתון זה מוזכר גם בהקשר של דו"ח שנה ב' בו הראנו שהפער בימים בין יובל לרותה מתקצר ככל שמועד הזריעה מתאחר אך בנייתוח המתבסס על ימי מעלה לא איתרנו מגמה דומה.

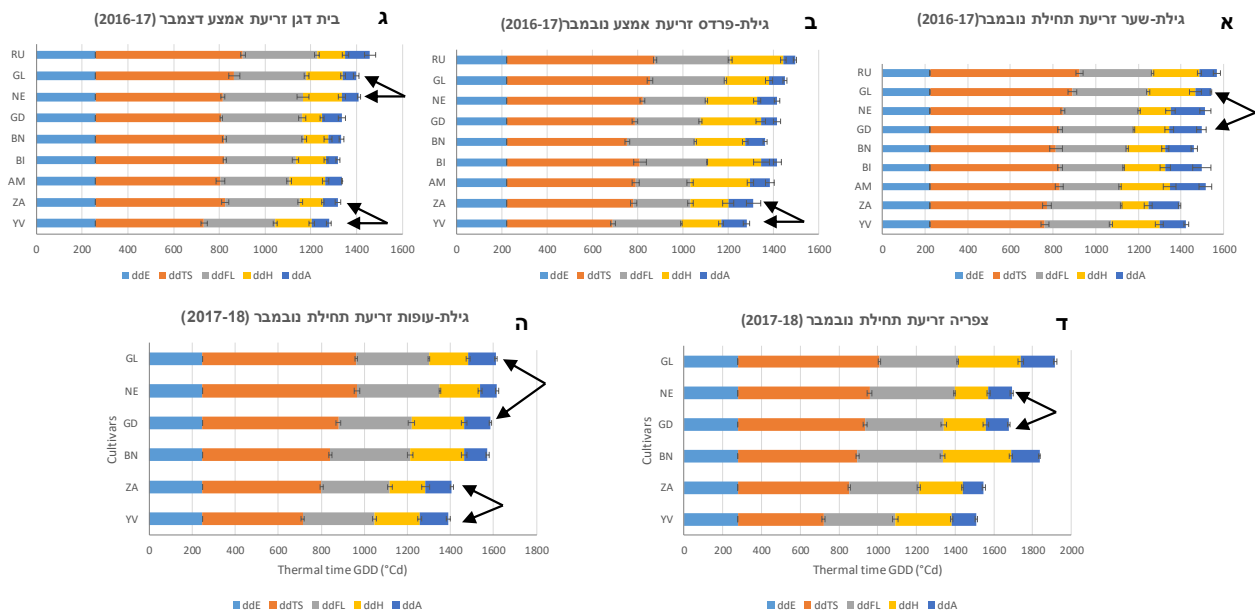
טבלה ד1. אפיון פרופיל אללי של זני חיטה ישראלים באתרים של הגנים VRN1 ו-PPD1. הזנים רשומים לפי סדר עולה מבכיר לאפיל.

זן / ג	VRN-A1	VRN-B1	VRN-D1	PPD-A1	PPD-B1	PPD-D1
אביב	אביבי	אביבי	אביבי	רגיש	רגיש	אדיש
יובל	אביבי	אביבי	אביבי	רגיש	רגיש	אדיש
זהיר	חורפי	אביבי	אביבי	רגיש	רגיש	אדיש
עמית	חורפי	אביבי	אביבי	רגיש	רגיש	אדיש
נגב	חורפי	אביבי	אביבי	רגיש	רגיש	אדיש
בנימין	¹ -	-	-	רגיש	רגיש	אדיש
גדרה	חורפי	אביבי	אביבי	רגיש	רגיש	אדיש
בר ניר	אביבי	אביבי	חורפי	רגיש	רגיש	אדיש
גליל	חורפי	אביבי	אביבי	רגיש	רגיש	אדיש
שפע	חורפי	אביבי	אביבי	רגיש	רגיש	אדיש
רותה	חורפי	אביבי	אביבי	רגיש	רגיש	אדיש
מספוא	אביבי	אביבי	אביבי	רגיש	רגיש	רגיש

1: -, נבדק אך עקב אי הדירות בתוצאות לא ניתן היה לקבוע

אפיון פנולוגי בתנאי שדה של שלבי קדם הפריחה: בטווח הפנולוגי הצר הזה ניסינו לאתר קווים שפורחים בעיתוי זהה אך נבדלים בעיתוי של שלבי קדם פריחה. תוצאות מלאות של שלבי הקדם פריחה (מבוטאים בימי מעלה) של תשעת הזנים הכלולים בפאנל המיזם בשלושה מועדי זריעה בעונת 2016-17 מופיעות באיור ד1 (א-ג). בעונת 2017-18 התמקדנו בסט מצומצם יותר של ששה זנים: יובל, זהיר, גדרה, בר-ניר, נגב וגליל שנבחנו בזריעה מוקדמת (תחילת נובמבר) בשתי סביבות: גילת (חלקת עופות) וצפריה [ראו איור ד1 (ד-ה)]. כל הניסויים היו במבנה בלוקים באקראי (n=4) כשהאפיון הפנולוגי של שלבי קדם הפריחה התבצע ע"י דיגום שלושה צמחים מכל זן מכל בלוק בכל אתר על בסיס שבועי. מכל צמח חולצה השיבולת המרכזית ואופיינה, בשלבים הראשונים בבניקולר ומיקרוסקופ ובהמשך במצלמה. אפיון זה אפשר להגדיר באופן מדויק בכל זן את משך הזמן מזריעה לפריחה ואת תת השלבים השונים. התמקדנו בהופעת השיבולת הטרמינאלית (השלב בו נקבע מספר השיבוליות בשיבולת, מתחילה התארכות קנה ואיתה צבירת חומר יבש בשיבולת). בחמשת הסביבות אותרה שונות פנולוגיות בין הזנים כמו גם שונות בין זנים במשך שלבי קדם הפריחה (זילברמן וחובריו 2017, Roychowdhury et al. 2019). אותה הבדל מובהק בין זנים שונים בעיתוי שלב השיבולת הטרמינאלית, עם זאת שונות זו בד"כ קשורה בפנולוגיה הכללית של הזן (בכירות ואפילות). רק במקרים בודדים זוהה הבדל בעיתוי שיבולת טרמינאלית בזנים שפרחו בעיתוי דומה. כלומר, צמדי זנים שפרחו בעיתוי דומה (צברו בפריחה כמות ימי מעלה שאינה שונה באופן מובהק) אך בהשוואה ביניהם התקבל הבדל מובהק בימי מעלה בעתוי יצירת השיבולת הטרמינאלית. באלו מחולק

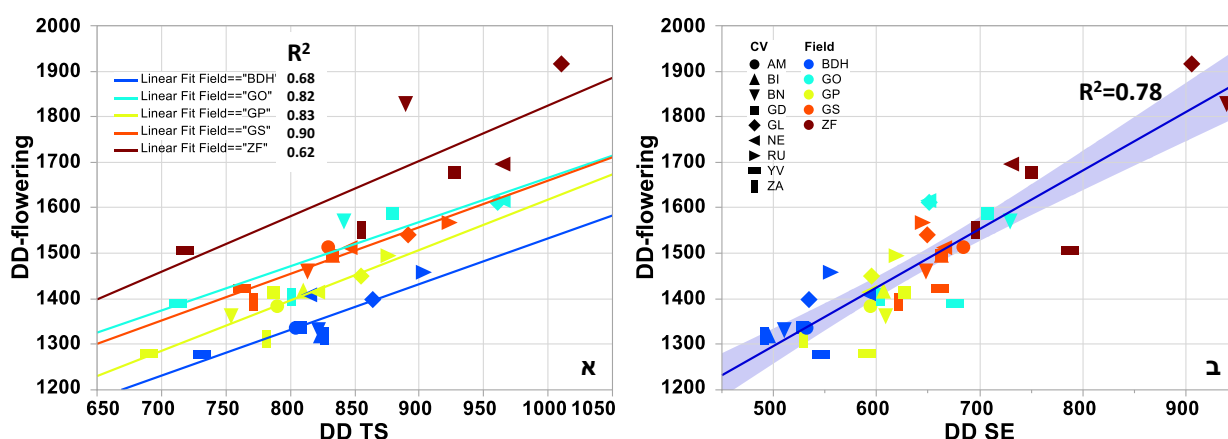
למעשה משך התקופה מזריעה לפריחה לשני שלבים מרכזיים: TS- מזריעה ועד יצירת השיבולת הטרמינאלית (כחול בהיר+כתום, איור ד1) ו- SE התארכות קנה משיבולית טרמינאלית ועד פריחה (אפור+צהוב+כחול כהה). צמדי זנים אלו מסומנים (בחיצים) באיור ד1 ומפורטים בטבלה ד2. סה"כ זהו 4 צמדי זנים כאלה (הזן הראשון בצמד בעל משך שלב TS ארוך יותר): זהיר-יובל (בשלוש סביבות), גליל-גדרה (בשתי סביבות), נגב-גדרה וגליל-נגב (סביבה אחת כל אחד). צמדים אלו יכולים להוות בסיס למחקר המשך, במיוחד הצמד זהיר-יובל שהראה מופע יציב יחסית בין עונות ואתרים.



איור ד1. משך שלבי קדם פריחה בימי מעלה בזנים ישראלים, חמישה אתרים בשתי עונות גידול. תשעת זני הפאנל בעונת 2016-17: גילת שער (א), גילת פרדס (ב), בתי דגן (ג); וששת זני הפאנל בעונת 2017-18: צפריה (ד) וגילת-עופות (ה). אפיון שלבי קדם פריחה כלל את תתי השלבים הבאים, לכל שלב מצורף הניקוד המקובל לפי טבלת זדוקס (Z). ddE - מזריעה להצצה (Emergence, Z09); ddTS - המצצה להיווצרות שיבולית טרמינאלית ותחילת התארכות קנה (Terminal spikelet, Z31); ddFL - מתחילת התארכות קנה לשליפת עלה דגל (Flag leaf, Z47); ddH - משליפת עלה דגל להשתבלות (Heading, Z58); ddA - מהשתבלות לפריחה (Anthesis, Z65). חצים מסומנים צמדי זנים שפרחו בעיתוי זהה אך עיתוי הופעת השיבולית הטרמינאלית ומשך התארכות הקנה היה שונה ביניהם באופן מובהק.

במטרה לבחון איזה תת שלב משפיע יותר על בכירותם-אפילותם של הזנים הישראלים בחנו את המתאם בין צבירת ימי מעלה לפריחה בכל הסביבות אל מול משך תת השלבים TS (מזריעה ועד שיבולית טרמינאלית) ו- SE (משיבולית טרמינאלית ועד פריחה). באופן מענין נמצא קשר ליניארי חזק ב"בתוך" כל סביבה בין אורך תקופת ה- TS למשך התקופה הכללית עד פריחה (איור ד2א). הקווים המקבילים בין הסביבות, המבוססים על הזנים השונים, מעידים כי לא קיימת השפעת גומלין זןXסביבה. לחילופין, עבור השלב השני SE נמצא מתאם גבוה ומובהק רק כאשר מחברים את הנתונים של כל סביבות הגידול יחד. כלומר בסביבות גידול שונות (ומועדי זריעה שונים) אורך תקופת התארכות הקנה SE (בימי מעלה) משתנה (איור ד2ב). משך SE ארוך ביותר בחלקות צפריה ובהמשך עופות (2017-18) ובעונה הראשונה הוא מתקצר ככל שמועד הזריעה מאוחר יותר. רמת השוני בין הזנים (ובמיוחד בין הבכיר והאפיל ביותר) במספר ימי מעלה הנדרשים לתקופה גדול יותר עבור שלב TS, לכן ניתן להסיק אם כך שלמהירות ההגעה לשלב

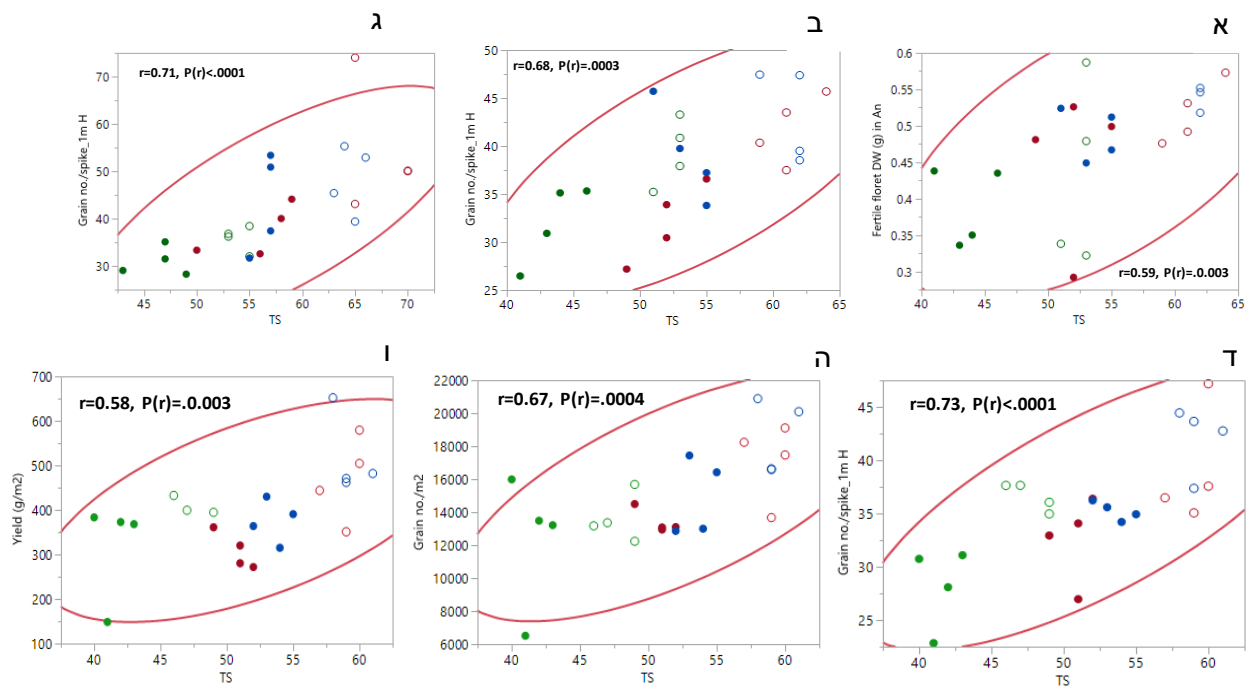
התמיינות השיבולית הטרמינאלית קשר ישיר לבכירותו אפילו של הזן. התארכות הקנה אף היא רכיב מרכזי תקופה הנדרשת להשתבלות בפועל, אך רכיב זה קטן בהרבה.



איור 2. המתאם בין שלבי קדם פריחה ומשך הזמן הצצה עד פריחה בתשעה זנים ישראלים. מתאם מובהק בין משך הזמן הדרוש ליצירת שיבולית טרמינאלית בחמשת הסביבות בנפרד (א) ושלב התארכות קנה עד פריחה (ב).

אומדן צבירת חומר יבש בשיבולת בפריחה ובקציר ואומדן רכיבי יבול: קביעת עיתוי הפריחה בוצעה לכל חלקה בנפרד (80% מהשיבולים בשליפת אבקנים). בפריחה ובקציר נדגמה כל חלקה בשתי דרכים מייצגות: מטר שורה (לחישוב המשתנים ליחידת שטח, בעונת 2016-17 נדגם רק חצי מטר שורה); שלושה צמחים אינדיבידואלים (לחישוב המשתנים על בסיס צמח בודד). בשתי הדרכים נשקלו השיבולים והחומר הוגטטיבי. בצמחים הבודדים נותחה באופן פרטני כל שיבולת עד רמת השיבולית הבודדת, נטר משקל השיבולת בפריחה ובקציר ונספרו ונשקלו מספר פרחים פוריים וגרגירים בכל שיבולת בפריחה וקציר בהתאמה.

בדו"ח שנה ב' הראנו את המתאם החיובי בין צבירת חומר יבש בשיבולת בזמן הפריחה לח"י בשיבולת בשלב הקציר כמו גם למספר גרגירים בקציר. ע"פ תוצאות המחקר המלאות נמצא ששלב הקדם פריחה התורם ביותר באופן יחסי למשתנים אלו ובסופו של דבר למספר הגרגירים בקציר הוא שלב ה-TS. המתאם של משך TS בימים למספר רכיבי ומשני יבול מוצג באיור 3. משך שלב התארכות הקנה SE (השלב המשלים עד לפריחה) נמצא במתאם שלילי לחלק גדול ממשתני השיבולת והיבול שנמדדו. ההשוואה של ממוצעי משתני שיבולת ויבול בין צמדי זנים הנבדלים (באופן מובהק) במשך שלבי ה-TS וה-SE (אנליזת Contrast) הראתה שלא תמיד הבדל זה מתבטא במשתנים הנמדדים. לעומת זאת בטבלה 2 ניתן לראות שברוב המקרים בהם התקבל הבדל מובהק (מסומן באדום) או בעל מובהקות גבולית (מסומן בכחול) הזן בעל הממוצע הגבוה היה הזן בעל משך ה-TS הארוך יותר (15 מתוך 21 ההשוואות).



איור 3ד. המתאם ומובהקותו בין משך הזמן בימים עד יצירת שיבולת טרמינאלית (שלב ה- TS) ורכיבי יבול בקציר. הקשר בין משך ה- TS (מבוטא בימים): בעונת 2016-17 בגילת: משקל פרחים פוריים בפריחה בחלקת פרדס (א), מספר גרגירים ממוצע לשיבולת בקציר בחלקת פרדס (ב) ושער (ג), בעונת 2017-18 בחלקת גילת-עופות: מספר גרגירים לשיבולת בקציר (ד) מספר גרגירים למ"ר בקציר (ה) ויבול בקציר (ו). 4 החזרות של כל זן מיוצגות בנקודות המסומנות באופן הבא: יבול וזהיר (ירוק מלא וחלול בהתאמה), נגב וגדרה (כחול מלא וחלול בהתאמה) ובר-ניר וגליל (אדום מלא וחלול בהתאמה).

טבלה 2ד. בחינת ממוצעים (ערכי p(t) של רכיבי יבול באנליזת contrast בין צמדי זנים שהראו הבדל מובהק בעיתוי שיבולת טרמינאלית (TS) תוך שהם פורחים בעיתוי דומה.

עונה	שדה	צמד זנים ¹	אברי רביה בשיבולת בפריחה (ח"י)	משקל שיבולת בפריחה (צמח בודד)	משקל שיבולים בפריחה למ"ר	מספר גרגירים לשיבולת	משקל גרגירים לשיבולת	יבול גרעינים למ"ר
2016-17	גילת-שער	גליל-גדרה	NA	0.4807	0.3708	0.071*	0.0139	0.1584
	גילת-פרדס	זהיר-יובל	NA	0.4778	0.3458	0.0146*	0.5675	0.3979
	בית דגן	זהיר-יובל	0.517	0.0085	0.2229	0.6337	0.5384	0.9688
2017-18	גילת-עופות	גליל-נגב	0.183	0.5703	0.5457	0.4638	0.0286*	0.0218*
	גילת-עופות	זהיר-יובל	0.766	0.0784*	0.0449	0.0069*	0.0103*	0.1199
	גילת-עופות	גליל-גדרה	0.0015*	0.0003*	0.0089*	0.117	0.0871*	0.0618*
	צפריה	נגב-גדרה	0.0001	0.0849*	0.0999*	1	0.2568	0.1858

¹הזן הראשון בכל צמד זנים (מסומן באדום) הנו בעל TS ארוך באופן מובהק. הבדלים מובהקים ($P(t) < 0.05$) מסומנים באדום. הבדלים מובהקים לפי ($P(t) < 0.1$) מסומנים בכחול. כוכבית מסמנת יתרון לזן בעל ה- TS הארוך.

לסיכום: עונת הגידול הקצרה בסביבת הגידול הים תיכונית בישראל מחייבת התאמה פנולוגית לבכירות. זו הסיבה שכל הזנים הישראליים, מהבכיר עד האפיל, נושאים את האלל לאדישות לאורך יום *PPD-D1*. את השונות הפנולוגית בין הזנים הישראליים ניתן ליחס לשונות האללית בגן המבקר את התגובה לקיוט *VRN-A1* כמו גם לשונות בגנים לבכירות *Earliness per se* שלא אופיינו במחקר הנוכחי. בגלל הטווח הפנולוגי הצר קשה היה לבודד הבדלים בשלבי קדם פריחה שאינם תלויים במועד הפריחה או בפנולוגיה הכללית. תחת תנאי הגידול בישראל שלב ה- TS עד יצירת השיבולת הטרמינאלית מסביר חלק ניכר מהשונות הפנולוגית בין זנים (זמן לפריחה). השלב המשלים של התארכות קנה SE משמעותי פחות.

מספר צמדי הזנים הקטן שהראה הבדל בעיתוי יצירת השיבולת הטרמינאלית תוך אי תלות בהבדל בעיתוי הפריחה הקשה על גיבוש מסד נתונים רחב שיבסס מסקנה חותכת לגבי השפעת משך שלבי קדם פריחה על צבירת חומר יבש בשיבולת, מספר גרגירים ויבול. למרות זאת אותרו ממצאים המצביעים על יתרון שעשוי לספק משך TS ארוך יותר במשתנים אלו, כיוון שהדבר מאפשר התמיינות של יותר עלים לקנה ושיבוליות לשיבולת. אולם יש לסייג כיוון שבחלק מהמקרים לא התקבל הבדל מובהק במשתני שיבולת ויבול על אף הבדלים מובהקים בשלבי קדם פריחה; בנוסף, במיעוט קטן של המקרים היתרון ניתן לזן בעל TS קצר יותר.

לתהליך צבירת חומר יבש בשיבולת עד למועד הפריחה (תהליך המתחיל עם יצירת השיבולת הטרמינאלית) ובפריחה עצמה מיוחסת בספרות חשיבות רבה. התפתחות השיבולת מבטאת את חוזק המבלע ואת יכולת צמח החיטה להעביר מוטמעים אל אברי הפרח, ייצרני היבול. מכאן החשיבות באומדן נכון של צבירת החומר היבש בשיבולת המתפתחת. בספרות נטען והוכח שהארכת פרק הזמן הרפרודוקטיבי המאוחר של התארכות הקנה (שלב ה- SE) (ללא דחיה משמעותית) במועד הפריחה כמו גם יעול הסעת המוטמעים לשיבולת באותו פרק זמן עשויים להעלות את צבירת החומר היבש בשיבולת (Miralles et al. 2000, Slafer, 2003, González, F.G., et al. 2011). במחקר הנוכחי נמצאה מגמה הפוכה בה דווקא שלב TS ממושך (ע"ח SE) הוא במרבית המקרים השלב התורם לצבירת חומר יבש בשיבולת בעת הפריחה ולמספר גרגרים גבוה יותר (Roychowdhury et al. 2019). ראוי לציין שכל המחקרים שהתמקדו בחקר קדם הפריחה וצבירת חומר יבש בשיבולת בוצעו באזורים ממוזגים ובעונת גידול ארוכות יותר. במחקר הנוכחי נבחנה לראשונה השונות בשלבי קדם פריחה בסביבה ים תיכונית ובעונת גידול קצרה המסתיימת ביובש טרמינאלי. ע"פ התוצאות שהתקבלו ניתן להסיק שבעונה קצרה לעיתים דווקא למשך השלב שמזריעה ועד יצירת השיבולת הטרמינאלית יש מתאם חיובי לצבירת חומר יבש בשיבולת ותרומה למספר הגרגירים (לשיבולת או ליחידת שטח).

ד2- אפיון מולקולארי: אחראי אסף דיסטלפלד.

השונות הגנטית בזמני פריחה שונים בחיטה, נקבעת על ידי מספר גנים מרכזיים (*VRN1*, *VRN2*), המשפיעים על השלבים הראשונים של ההתמיינות לפריחה. הזנים הישראליים המשתתפים ב'מיזם החיטה הישראלית' עברו אפיון ע"י שימוש בטכנולוגיית "Illumina 90K SNP chip array" והנתונים שימשו לבניית עץ פילוגנטי (מופיע בדו"ח שנה ב').

ד3- התפתחות בתר חנטה, השפעת עקת חום על מילוי הגרגר: אחראי יהושע סרנגה.

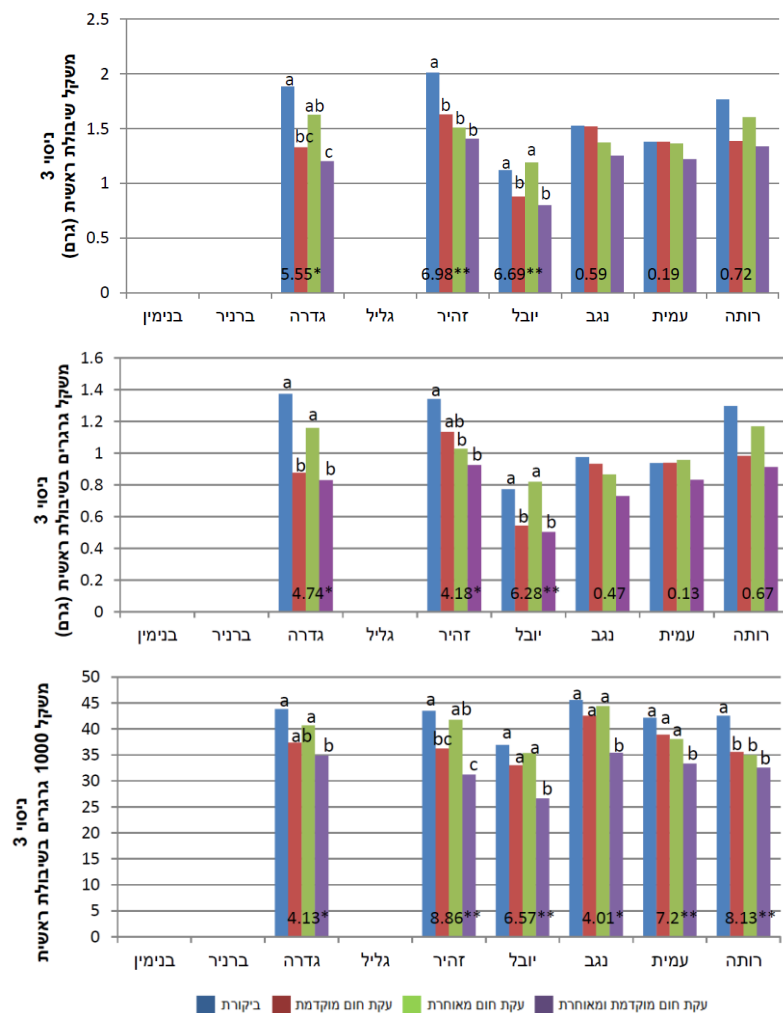
תשעה זני חיטה הנמצאים בשימוש מסחרי בישראל, בעלי מאפייני אפילות/בכירות שונים גודלו בשנה הראשונה למחקר (2016) בתנאים מבוקרים, לבדיקת השפעת עקות חום (48 שעות בטמפרטורה של 28/34 מ"צ יום/לילה, בהתאמה), בתזמונים שונים על היבול. הניסוי כלל צמחי ביקורת ללא עקות חום, צמחים שטופלו בעקת חום מוקדמת (10 יום לאחר השתבלות), צמחים שטופלו בעקת חום מאוחרת (24 יום לאחר השתבלות) וצמחים שטופלו בשתי עקות החום הנ"ל. בשנה השנייה (2017) בוצע ניסוי דומה שכלל 6 זנים וטיפול עקות חום ממושכים יותר (72 שעות, 28/34 מ"צ) בשלבים של 9 ו-19 ימים לאחר

השתבלות. בשנה השלישית (2018) מספר הזנים ותזמון עקות החום היו זהים לשנה השנייה עם עקה קצרה וקיצונית יותר (48 שעות, 28/40 מ"צ). בשלושת שנות הניסוי בוצע מעקב פרטני אחר השתבלות הצמחים ובהתאם לכך נקבע עיתוי טיפולי העקה המתאים לכל זן. מדידות נוספות כללו: בדיקת ריכוז כלורופיל (במכשיר SPAD) וסוכרוז בעלה הדגל טרם הכניסה לעקת החום, מיד עם היציאה מעקה ו-3 ימים לאחר העקה. לאחר הבשלת הגרגרים, נמדדו גם משקל חומר יבש, יבול גרגרים ורכיבי יבול. בניסוי שדה שהתבצע בגילת נזרעו ששת הזנים שנבחנו בשנים 2 ו-3 בשני מועדים, הראשון באמצע נובמבר והשני בתחילת דצמבר, מתוך הנחה כי לזריעה השנייה סיכוי גבוה להיחשף לעקת חום טבעית. עקה כזו אכן התרחשה בתאריכים 22-23/3/18 בה הגיעה טמפרטורת השיא במהלך היום ל-34.2 ול-38.9 בהתאמה. המדדים שתועדו בניסוי זה היו: מועד השתבלות, ריכוזי כלורופיל וסוכרוז בעלי הדגל טרם ולאחר העקה, יבול (ק"ג לדונם), משקל 1000 גרגרים, משקל נפחי ואחוז חלבון בגרגר.

טבלה ד3: ניתוח שונות (ANOVA) המציג את השפעת הזן, עקת חום מוקדמת, מאוחרת ויחסי הגומלין על רכיבי היבול ומשקל חומר יבש בניסויים המבוקרים 1, 2, 3 (עונות 2016, 2017, 2018, בהתאמה). כל זן נבדק ב-5 חזרות בכל אחד מטיפולי החום. SPHI הינו יחס משקל הגרגרים מסך משקל השיבולת הראשית. הערכים המספריים בטבלה מייצגים ערכי F לרכיבי היבול שנבדקו. רמות המובהקות להשפעתם $P \geq 0.1$ (^), $0.001 > P$, 0.01 , 0.05 (*, **, ***) בהתאמה.

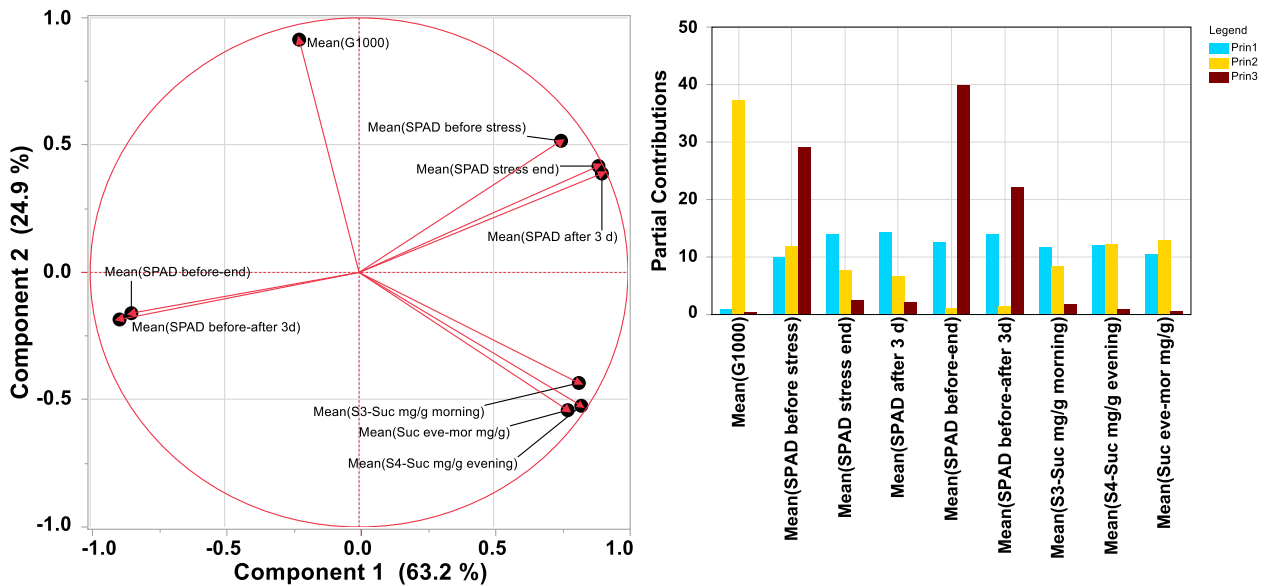
	מקור השונות	ד"ח	משקל		משקל 1000	כלל חומר יבש	S PHI
			גרגרים שובולת ראשית	מספר גרגרים שובולת ראשית			
ניסוי 1	זן	8	18.94***	12.53***	15.07***	9.49***	4.9***
	עקה מוקדמת	1	4.38*	0.35	7.18**	1.89	4.23*
	עקה מאוחרת	1	0.09	0.02	0.04	0.55	0.07
	מוקדמת*זן	8	0.64	0.73	0.7	0.55	1.63
	מאוחרת*זן	8	1.46	1.28	1.52	1.16	1.18
	מוקדמת*מאוחרת	1	0.02	0.33	0.61	0.11	1.49
	זן*מוקדמת*מאוחרת	8	0.54	0.82	0.92	1.15	1.12
	בלוק	4	4.84**	1.29	1.79	2.39^	1.51
ניסוי 2	זן	5	7.74***	10.19***	6.31***	10.3***	3.16*
	עקה מוקדמת	1	1.46	0.22	1.53	1.46	0.93
	עקה מאוחרת	1	1.12	1.56	0.52	0.77	5.17*
	מוקדמת*זן	5	1.84	2.13^	2.26^	1.92^	1.53
	מאוחרת*זן	5	0.96	1.42	1.43	1.06	1.29
	מוקדמת*מאוחרת	1	0.24	0.07	0.04	0.1	1.33
	זן*מוקדמת*מאוחרת	5	0.22	0.2	0.18	0.19	0.65
	בלוק	4	9.91***	7.69***	9.75***	9.39***	3.9**
ניסוי 3	זן	5	7.32***	4.24**	5.5***	1.27	4.04*
	עקה מוקדמת	1	13.61***	1.4	12.56**	2.53	5.72*
	עקה מאוחרת	1	5.08*	0.02	3.27^	7.12**	0.33
	מוקדמת*זן	5	0.92	0.8	0.78	2.51	0.56
	מאוחרת*זן	5	0.48	0.33	0.34	0.82	0.15
	מוקדמת*מאוחרת	1	0.01	0.02	0	0	0.03
	זן*מוקדמת*מאוחרת	5	0.32	0.22	0.17	0.72	0.21
	בלוק	4	1.62	1.44	1.75	0.53	1.4

בין הזנים נמצאו הבדלים מובהקים בכל הניסויים, כפועל יוצא מאוסף הזנים המגוון שנבחר למיזם. מבין טיפולי הניסוי, עקת החום המוקדמת (9-10 ימים לאחר השתבלות) גרמה לפגיעה משמעותית ביותר במדדי הייצור של זני החיטה שנבדקו (טבלה ד3). בניסוי 2 הייתה התגובה לחום מתונה מאוד, ואילו התגובה החריפה ביותר לעקות החום התקבלה בניסוי 3, ככל הנראה עקב העלאת טמפרטורת העקה. רכיבי היבול שהראו פגיעה מובהקת בניסויים 1 ו-3 היו: משקל שיבולת ראשית, משקל גרגרים בשיבולת ראשית, משקל 1000 גרגרים ויחס משקל הגרגרים למשקל השיבולת (SPHI). בניסוי 3, בו יושמה עקה קיצונית ביותר, הזנים נגב עמית ורותה לא הראו פחיתה מובהקת במשקל השיבולת הראשית ומשקל הגרגרים שבה, לעומת הזנים גדרה, זהיר ויובל, שהראו פחיתה משמעותית ומובהקת במדדים אלה בתגובה לעקה מוקדמת ושילוב עקות מוקדמת ומאוחרת (איור ד4), אולם, כל הזנים הראו פחיתה מובהקת במשקל 1000 גרגרים בתגובה לשילוב עקות מוקדמת ומאוחרת. כצפוי משקל גרגר הינו רכיב היבול המושפע ביותר מעקת חום בעת מילוי הגרגר (טבלה ד3).

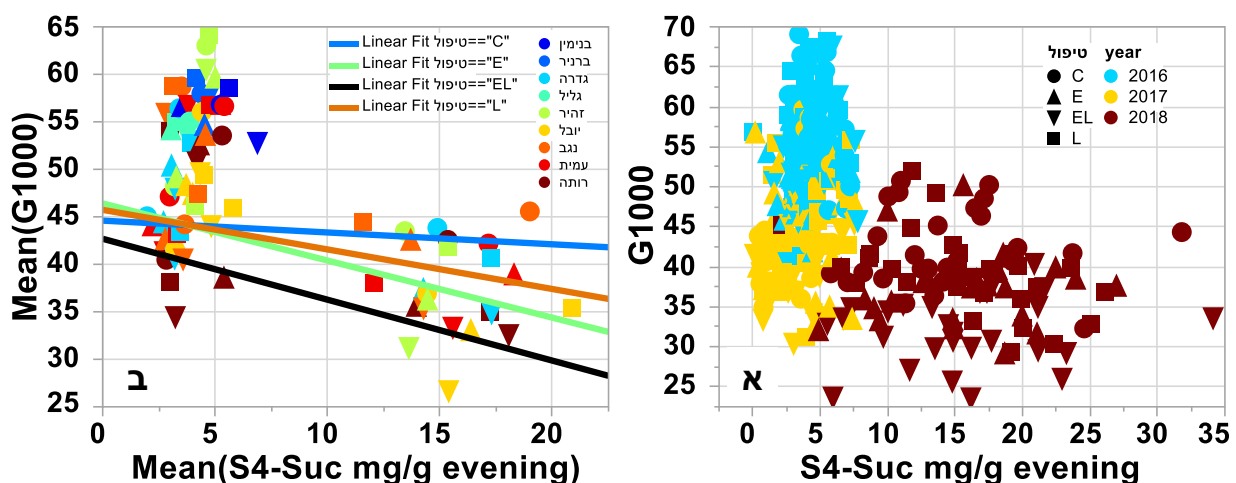


איור ד4: השפעת טיפולי עקת חום בתקופת מילוי הגרגר על משקל ממוצע שיבולת ראשית (למעלה), משקל 100 גרגרים (אמצע) ומשקל הביומסה (למטה) בניסוי מבוקר 3 (עונה 2018) בכל זן בנפרד. סימון הטיפולים כמצוין באיור אותיות מציינות הבדלים בין הטיפולים בתוך כל זן בנפרד (לפי מבחן Student's t). כל זן נבדק ב-5 חזרות בכל אחד מטיפולי החום. הערכים המספריים מייצגים את ערכי F ורמת המובהקות להשפעתם $0.05 \geq P$ (*), $0.01 > P$ (**). בהתאמה.

ניתוח גורמים ראשיים על בסיס שלושת הניסויים המבוקרים (איור 5ד) מראה כי הגורם ההפרדה השני (PC2) הוא החשוב ביותר עבור משקל הגרגר וכן עבור ריכוז סוכרוז בעלה הדגל בערב (וההפרש מהבוקר). בבחינת הקשר ביניהם ניתן לראות (איור 6ד) כי משקל הגרגר הושפע מאוד משנת הניסוי (ד6 א) כאשר בניסוי הראשון התקבלו גרגרים גדולים מאוד וחריגים במשקלם ללא תלות בטיפול עקת החום. לכן, בבחינת הקשר על בסיס שתי העונות האחרונות בלבד נראה (ד6 ב) קשר שלילי ברור בין רמת הסוכר בעלה למשקל הגרגר, וככל שהעקה חזקה יותר ומוקדמת יותר שיפוע התגובה חזק יותר. זאת תוך הסתייגות שמספר הרשומות נמוך יחסית, דבר שמונע הסקת מסקנות לגבי תגובת הזנים השונים.

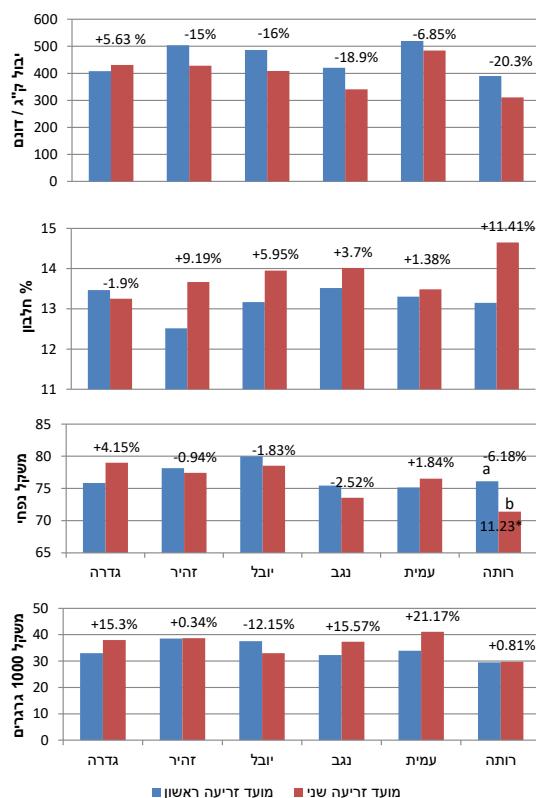


איור 5ד: ניתוח PCA, גורמים ראשיים לנתוני הניסויים המבוקרים ברחובות: משקל גרגר, הפרש ריכוזי כלורופיל בין כניסה לעקה מאוחרת לבין יום הדיגום, ריכוז הסוכרוז בבוקר וערב הדיגום לאחר העקה המאוחרת והפרש ריכוז הסוכרוז שנמדד בערב פחות הריכוז שנמדד בבוקר יום הדיגום.

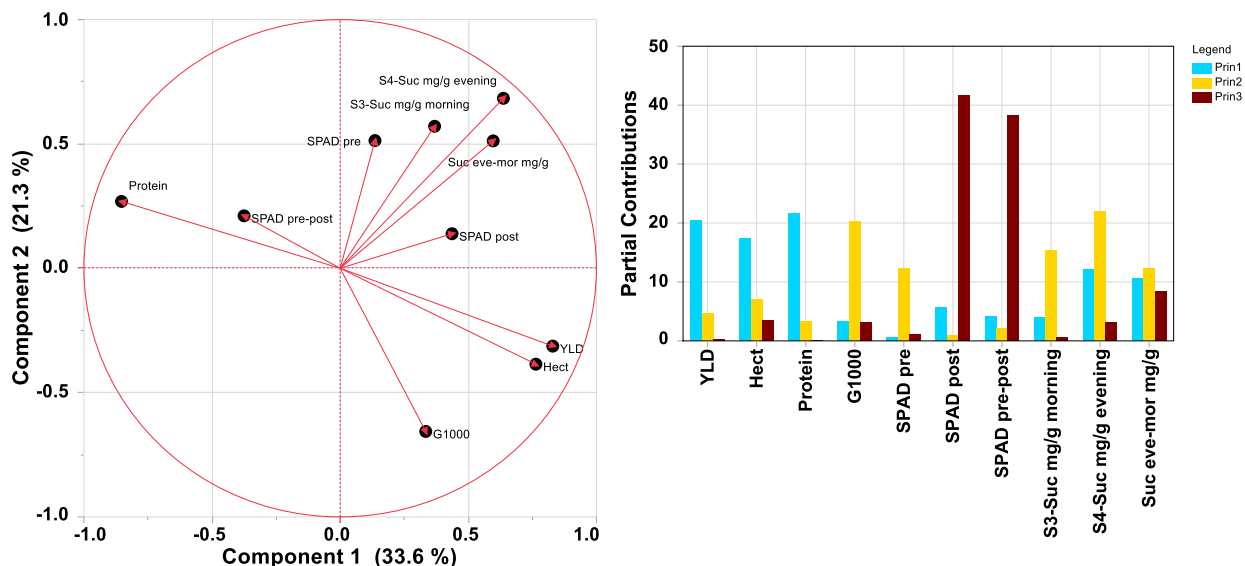


איור 6ד: הקשר בין ריכוז הסוכרוז בעלה הדגל בערב ומשקל גרגר בניסויים המבוקרים ברחובות. חישוב הקשר הליניארי (ב) מבוסס על ממוצעים ובהעדף עונת 2016.

בניסוי השדה נבחנה התגובה לעקת חום טבעית אשר פקדה כל זן בשלב פנולוגי אחר, בניגוד לניסויים המבוקרים בהם יושמו עקות חום פרטניות לכל זן בהתאם לפנולוגיה שלו. הזן רותה במזרע השני היה בשלב של כ-11 יום לאחר השתבלות בעת העקה בשדה, בדומה לתזמון עקת החום המוקדמת בניסויים המבוקרים, הראה פחיתה ביבול (20.3%, לא מובהק) בהשוואה למזרע הראשון (איור ד7). הזן נגב, המוגדר כבעל בכירות בינונית, שהיה בעת העקה כ-17 ימים לאחר השתבלות, גם הראה מגמת פחיתה ביבול (18.9%, לא מובהק). הזנים הבכירים שהיו בין 20-28 ימים לאחר השתבלות הראו מגמה מעורבת ולא מובהקת להשפעת העקה. בדומה לניסויים המבוקרים, גורם ההפרדה השני (PC2) הוא החשוב ביותר עבור משקל הגרגר וכן עבור ריכוז סוכרוז בעלה הדגל בערב (איור ד8). כמו כן ניתן לראות כי גם עבור משקל נפחי גורם זה חשוב בנוסף לגורם הפרדה ראשון (PC1). עם זאת נמצא הבדל מובהק בין רמות הסוכר בדיגום מהזריעה המוקדמת לעומת הזריעה השנייה. לכן במחקר המשך כדאי להתמקד ולבחון את רמת הסוכר בעלה הדגל לקראת ערב תחת תנאים שונים לזיהוי הסבילות או רגישות לחום. תוצאות המחקר מלמדות כי זנים בכירים יצליחו "לחמוק" מעקות החום בשדה המתרחשות די זמן לאחר השתבלותם ולכן באזורים בעלי שכיחות שרב גבוהה יש לשקול זריעת זנים בכירים למרות שיבולם נמוך מיבולם של זנים אפילים. עם זאת, כדאי לשוב ולבחון זאת לעומק תוך השוואת זנים בעלי פנולוגיה דומה וכוסר מילוי גרגר שונה (פרק א לעיל; בונפיל וחב. 2018).



איור ד7: השפעת מועדי הזריעה בשדה על יבול הגרגרים ק"ג לדונם, אחוז חלבון בגרגר, משקל נפחי ומשקל 1000 גרגרים בכל זן בנפרד. האחוזים מציינים את ההבדל המספרי בין שני מועדי הזריעה. אותיות מציינות הבדלים בין הטיפולים בתוך כל זן בנפרד (לפי מבחן Student's t). הערך המספרי מייצג את ערך F ורמת המובהקות להשפעתו $p \geq 0.05$ (*).



איור ד8: ניתוח PCA, גורמים ראשיים לנתוני ניסויי השדה: יבול, משקל נפחי, חלבון, משקל גרגר, הפרש ריכוזי כלורופיל, ריכוז הסוכרוז בבוקר וערב ביום הדיגום והפרש ריכוז הסוכרוז שנמדד בערב פחות הריכוז שנמדד בבוקר יום הדיגום.

ד4- מאזן הורמונלי: אחראי צבי פלג.

בחינת רגישות זני החיטה הישראלים לחומצה אבסיתית

בתוצאות הניסויים בשנה הראשונה והשניה, נמצא שאין הבדל משמעותי בתגובה ל- ABA בשלב הנביטה וההתבססות, לכן הוחלט לא להמשיך עם החלק הזה במיזם בשנה השלישית. בזן זהיר, נמצאה תופעה של התמיינות משנית של השיבוליות, דבר שגרם לאיבוד מוחלט של היבול (דו"ח שנה ב').

אפיון הבקרה הגנטית של מספר הפרחים הפוריים בשיבולית בחיטה ישראלית

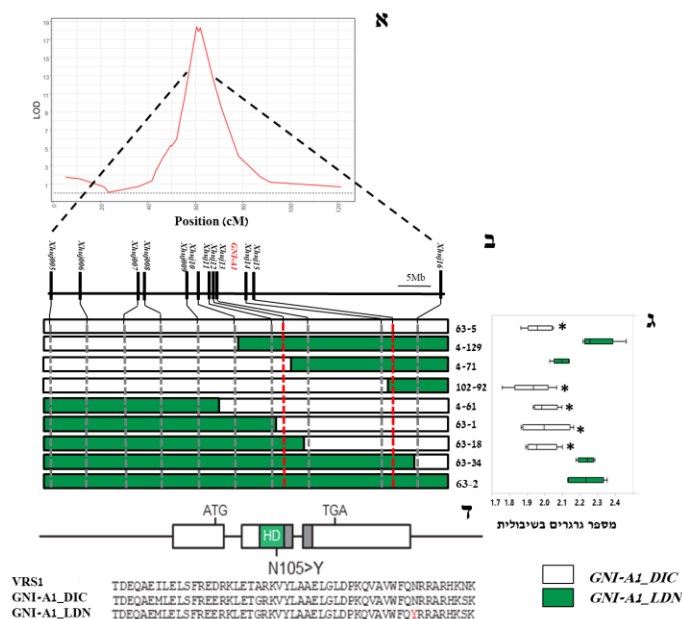
מרכיבי היבול מושפעים מגורמים סביבתיים רבים וקיימת השפעת גומלין חזקה בין גנוטיפ לסביבת הגידול, מה שמגדיל את מורכבות התכונה. בתחילת השלב הרפרודוקטיבי, מתחיל תהליך התמיינות השיבוליות בחיטה וקביעת מספרן. התמיינות השיבולת מתחילה בשלב של טבעות כפולות (double ridge), ומסתיימת בהגחה של השיבולת מנדן העלה. מספר השיבוליות נקבע בשלב התמיינות השיבולית הטרמינלית והתמיינותן מתחילה במרכז השיבולת ומשם נעה בכיוון באזיפטאלי ואקרופטאלי, כאשר השיבולית הטרמינלית היא האחרונה להתמייין. הפריחה והתפתחות הגרגר מתרחשים בהתאמה באותם כיוונים. השיבוליות בחיטה אינן מסיימות ויכולות לפתח מספר רב של פרחים בהתאם לגנוטיפ, כאשר לכל פרח קיים הפוטנציאל להתפתח לגרגר. בפועל, מספר הגרגרים המתפתחים נמוך באופן משמעותי ממספר פרימורדיות הפרח שניתן לזהות בשלבי התפתחות מוקדמים. תהליך זה של הפלת הפרחים מבוקר ע"י גורמים גנטיים וסביבתיים וקובע במידה רבה את מספר הגרגירים לצמח ובעקבות כך את יבול הגרגירים. לפרחים (הבסיסיים) הממוקמים קרוב יותר לציר השיבולת (פרח1, פרח2) סיכוי גבוה יותר להשלים את התפתחותם ולחנות גרגרים בעוד שפרחים מרוחקים יותר לא ישלימו את התפתחותם ויתנוונו. מתאם גבוה בין שרידות הפרחים למספר הגרגרים הסופי מעיד כי לתכונה זו השפעה רבה על היבול. לאחר ההפריה, מתחיל שלב מילוי הגרגר שבו נקבע משקל וגודל הגרגר. שלב זה מושפע מרכיב גנטי משמעותי, וכמו כן

מתנאי הסביבה השוררים במהלכו. הבנה טובה יותר של הגורמים הגנטיים הקובעים את יבול הגרגרים תייצר תשתית למחקר וטיפוח ותאיץ את שיפור יבולי החיטה.

במטרה ללמוד על הגורמים הגנטיים המבקרים השתמשנו באוכלוסייה מתפצלת של קווי חיתת דורום המכילים מיחדים של חיתת הבר למיפוי QTL של מספר הגרגרים בשיבולית. QTL על כרומוזום 2A זוהה והוגדר כ- *GNI1* (*Grain Number Increase1*), ומסביר כ-60% מהשונות הפנוטיפית בתכונה. מיפוי ברזולוציה גבוהה אשר ביצענו בתוך ה-QTL הראה כי תכונה זו מבוקרת ע"י מקטע בגודל 5 Mb ובו כ-20 גנים. בין הגנים הללו גן המקודד לפקטור שעתוק ממשפחת חלבוני HD-zip class1 הידועים כמבקרי תהליכים התפתחותיים בצמחים. בחינת רצף הדנא הראתה כי שני האללים נבדלים בחומצת אמינו בעמדה 105 של החלבון (מאספריגין (N) בחיטת הבר לטירוזין (Y) בחיטת דורום) הממוקמת באתר הקשירה (Homeo Domain) של החלבון לדנא. ממצא זה מציע כי הופעתה של המוטציה בחיטת דורום גרם לפגיעה בתפקוד הגן *GNI-A1* ובשל כך לעלייה בפוריות הפרחים ובמספר הגרגרים בשיבולית (איורים ד-9-11). חיזוק נוסף לממצאים שלנו קיבלנו מצמחי חיטה מהונדסים (RNAi) בהם הושתק הגן *GNI-A1*. הצמחים המהונדסים הכילו מספר פרחים וגרגרים רב יותר בהשוואה לצמחי הביקורת ומכאן שהגן *GNI-A1* מדכא התפתחות של פרחים המרוחקים מציר השיבולת ופגיעה בגן תורמת להגדלת מספר הגרגרים (איור ד-11).



איור ד-9: מבנה מורפולוגי של שיבולית החיטה (א). איור סכמטי של שיבולית בשלב אבקנים לבנים (ב) חיטת הבר (*T. turgidum* ssp. *dicoccoides*), (ג) חיטת דורום (*T. turgidum* ssp. *durum*), ו-ד) חיטת לחם (*T. aestivum*). פרחים פוריים מסומנים בכתום.

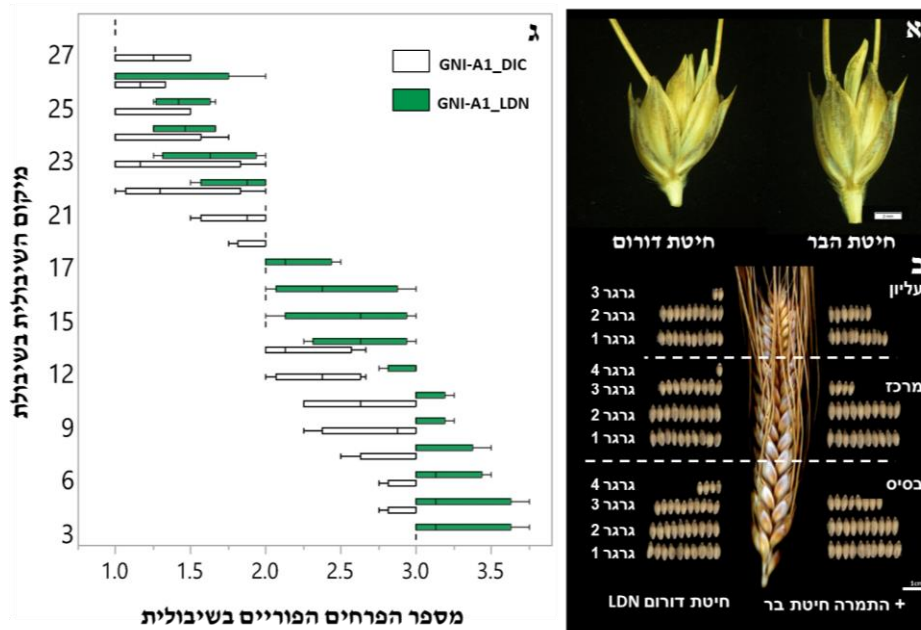


איור ד-10: זיהוי ומיפוי של הגן *GNI-A1* המבקר את מספר הפרחים הפוריים בשיבולית. (א) מיפוי אתר תכונה כמותית (QTL) המבקר את מספר הגרגרים לשיבולית באוכלוסיית F₈ אשר פותחה מהכלאה בין קו התמרה

כרומוזומלי (החלפה של כרומוזום 2A בזן חיתת דרום לנגדון בכרומוזום של חיתת הבר, קו ISR-A) × קו חיתת דרום זן לנגדון (LDN). ערך LOD שהתקבל 18 ומסביר 60% מהשונות בתכונה. (ב) מיפוי גרפי ברזולוציה גבוהה של האתר הכמותי, באמצעות פיתוח סמנים גנטיים חדשים המבוססים על גנום החיטה וסריקה של קווים כמעט איזוגניים (NIL) [אלל הבר בלבן והאלל המוטנט בירוק]. (ג) מספר גרגרים בשיבולית בקווים הכמעט איזוגניים ששימשו למיפוי הגן. * מצוין הבדל מובהק בהשוואה לאלל המוטנט (קו 2-63). (ד) מבנה הגן המכיל את אתר הקשירה של החלבון לדנא (HD) והמוטציה הקריטית בעמדה 105 של החלבון. אלל הבר (GNI-A1_DIC) ואלל המוטנט (GNI-A1_LDN).

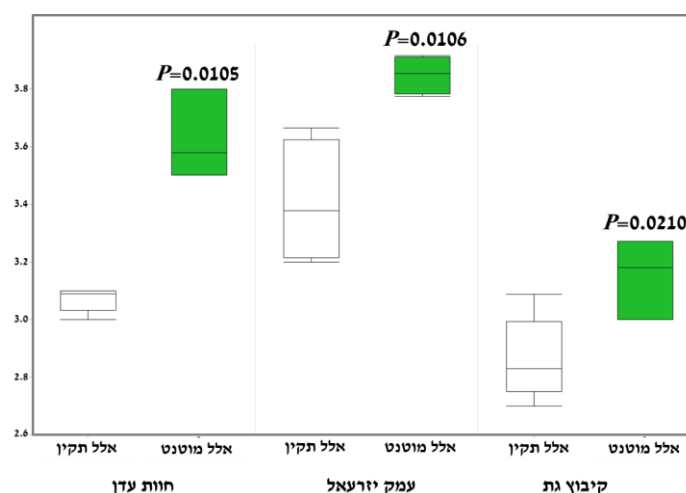
במטרה ללמוד לעומק את השפעת האללים השונים על מספר הגרגרים המתפתחים, וכן את השינוי בביטוי הגן לאורך השיבולת, השתמשנו בשני קווים כמעט איזוגניים הנבדלים באלל של הגן *GNI-A1*. הניסוי הועמד בבית רשת (מש 50) בחוות הפקולטה לחקלאות ברחובות עם שש חזרות לכל קו (חלקות של שני מטר כל אחת). שש שיבולים מכל חלקה, נקצרו ידנית בנפרד ועברו דייש ידני על מנת לאפיין את מספר הגרגרים בכל שיבולית לאורך השיבולת. האלל המוטנט (תרבותי) הראה יתרון מבחינת מספר הגרגרים שהתפתחו, כאשר בבסיס השיבולת ובמרכז, האלל המוטנט מתבטא בצורה יותר חזקה (איור 11ד).

בהמשך לתוצאות שקיבלנו בחיטת דרום טרהפלאידיט, נערכה ולידציה של הגן בחיטת לחם, באמצעות שימוש בקווים מהונדסים בהם הושתק הגן באמצעות RNAi. תוצאות ניסוי זה הראו כי הגן *GNI-A1* מדכא התפתחות של גרגרים בשיבולית והשתקה של הגן גורמת לעלייה במספר הגרגרים בשיבולית. במקביל אפיון גנטי מעמיק של המצאות האלל המוטנט בסט רחב של חיטה במערב אירופה חשפה ששלושים אחוז מהקווים מכילים את האלל המוטנט. במטרה ללמוד על הפיזור של האללים בחיטה הישראלית נערך אפיון גנטי, באמצעות ריצוף, של הגן בקווים המשתתפים במיזם. נמצא כי, באלל בגן *GNI-A1*, הזנים בנימין, זהיר, כיתאין, עומר ורותה הכילו אספרגין בעמדה 105 ואילו גדיש, גדרה, נגב ואביב הכילו בעמדה זו טירוזין (מרובה פרחים). ריצוף זנים נוספים טרם הסתיים.



איור 11ד: מספר הגרגרים בשיבולית לאורך הקומות של השיבולת בין שני קווים כמעט איזוגניים הנבדלים באלל של הגן *GNI-A1*. שיבולים נקצרו בנפרד ועברו דייש ידני על מנת לאפיין את מספר הגרגרים בכל שיבולית לאורך השיבולת. (א) שיבולית מקו הנושא את אלל הבר לעומת שיבולית חיתת דרום, (ב) השפעת האלל המוטנט על מספר הזרעים בבסיס, מרכז והחלק העליון של השיבולת. (ג) מספר הזרעים לאורך קומות השיבולת.

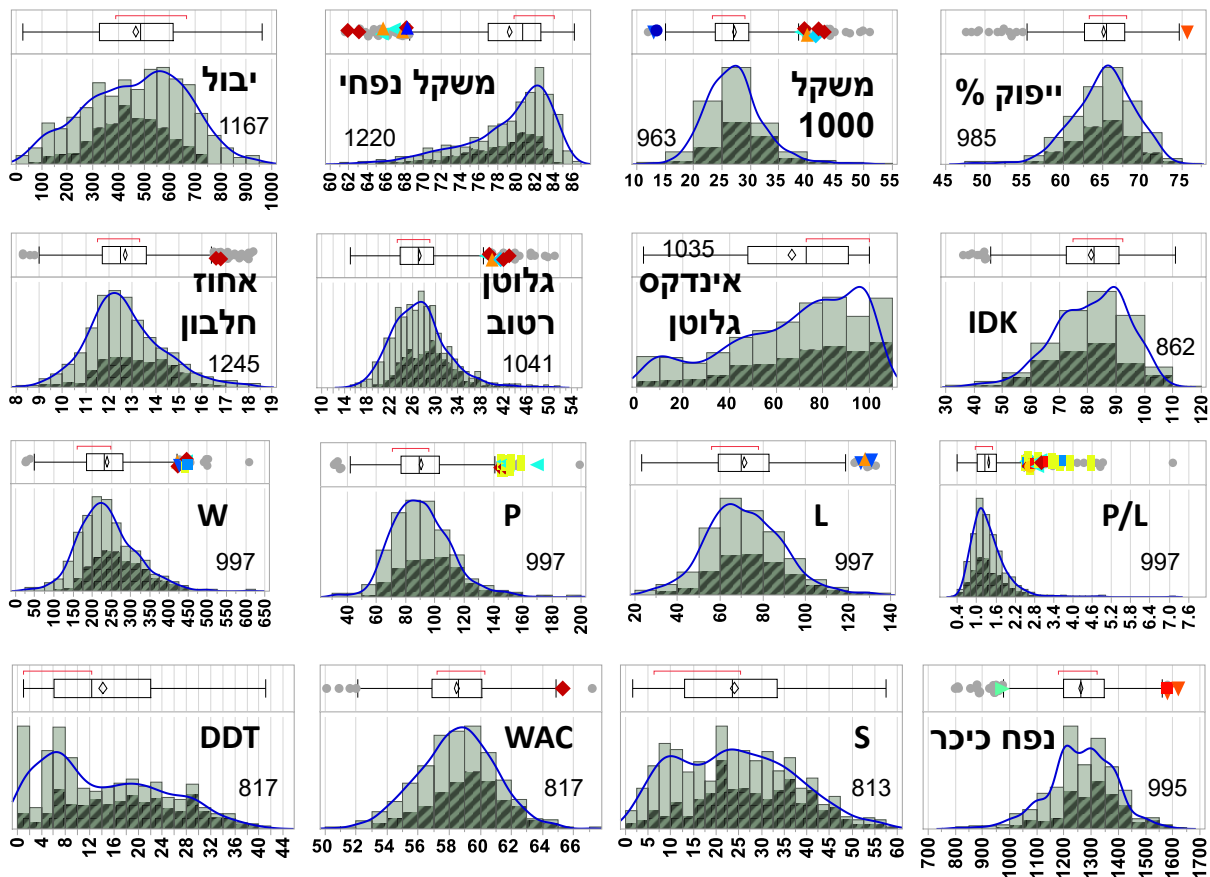
בעונת 2017-18 אופיינו הזנים בשלושה אתרים (קיבוץ גת, עמק יזרעאל, וחוות עדן) במסגרת מבחן הזנים הארצי במטרה לבחון את השפעת האלל על מספר הפרחים הפוריים. לפני הקציר דגמנו בכל חלקה 6 שיבולים מייצגות, לחלקה, לצורך אפיון מספר הגרגרים בכל שיבולית. השיבולים עברו דייש ידני ואופיינו למספר גרגרים לשיבולת. באופן כללי נמצא שהקווים שמכילים את האלל המוטנט הינם בעלי יותר גרגרים לשיבולת לעומת הקווים ללא האלל המוטנט (איור ד12). ראוי לציין, שבחינה זו נערכה על קווים מסחריים הנבדלים ברכיבי יבול נוספים (כגון מספר השיבוליות בשיבולת, גודל השיבולת, זמני פריחה ועוד), והרכב הזנים בכל אתר אינו זהה. לכן על מנת לבחון את הפוטנציאל של האלל המוטנט לשיפור יבולי החיטה בישראל יש לבחון אותו תחת רקע גנטי זהה. לשם כך נדגמו גם מבחני זנים בגילת. עם זאת אנו מעריכים שבתנאי גידול רגילים, האפשרות שיחנטו גרגרים רבים יותר בשיבולית לא תניב יבול רב יותר אולם עשויה להפחית במעט את משקל האלף ואת אחוז הייפוק. זאת כיוון שהגרגר הנוסף הינו קטן יותר מהגרגרים הקודמים בשיבולית.



איור ד12: אפיון מספר הגרגרים בשיבולית בזני חיטת לחם ישראליים בשלושה מבחני זנים תשע"ח.

ה- איכות אפיה: אחראי- דוד בונפיל.

בדיקות איכות: גרגרים נאספו בקציר מחלקות הניסוי השונות, מניסויי מבחני הזנים וממספר שדות נוספים ואיכות הגרגרים נבחנה. כל הגרגרים נסרקו במכשיר NIR. מעונות תשע"ה-תשע"ח (2015-2018) סה"כ נבדקו מעל 1000 דוגמאות בדומה לתחנת קבלה, כ-1000 דוגמאות נאפו ונבדקו באלוואוגרף, ויותר מ-800 בפארינוגרף על פי פרוטוקול הבדיקה המקובל. אחוז גלוטן רטוב נבדק בקמח מלא שמתקבל ממטחנת פרטן. בדיקות אלוואוגרף, פארינוגרף ונפח מאפה נבדקים בקמח לבן שמתקבל בעזרת מטחנת ברבנדר. פחות ממחצית הבדיקות (390-430) נכללו במאגר מבחני זנים גילת, זאת לאחר איחוד גרגרים מהחזרות השונות. דוגמאות אלו ייצגו תחום רחב בכל המדדים שנבחנו, ולרוב התפלגות האיכות בדוגמאות ממבחני הזנים בגילת היתה דומה להתפלגות בסיס הנתונים המלא (איור ה1). דבר זה מהווה סיוע לכך שמבחני הזנים בגילת מייצגים היטב את קשת תנאי הגידול השונים, ואת השונות בין הזנים.



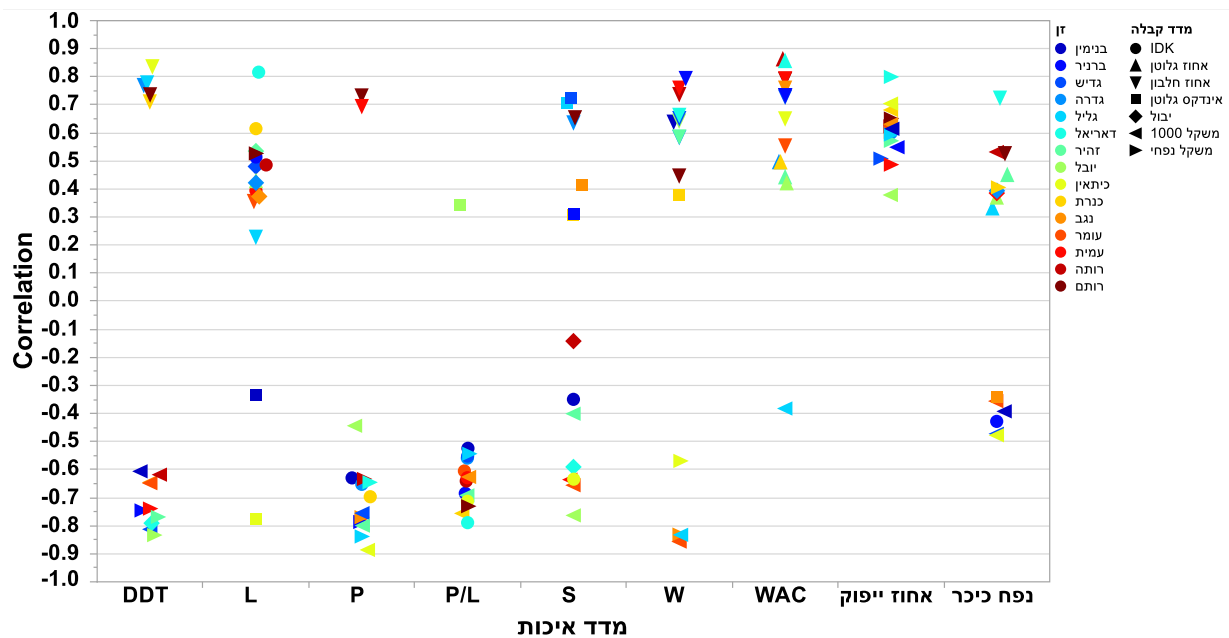
איור ה1. התפלגות מדדי איכות חיטה כפי שנמדדו בגרגרים מניסויים שונים בגילת ומבחני זנים, עונות תשע"ה-תשע"ח. יבול, משקל נפחי, משקל אלף, אחוז חלבון, גלוטן רטוב, אינדקס גלוטן ו IDK כפי שנבדקים בתחנות קבלה; אחוז ייפוק, מדדי אלוואוגרף (W, P, L, P/L), פארינוגרף (DDT, WAC, S) ונפח כיכר נבדקו על בסיס 250 ג' קמח לבן לאחר טחינה במטחנת ברבנדר. בסיס מבחני זנים בגילת מודגש בקווים אלכסוניים, מבחני זנים תשע"ח עדיין לא כלולים, מספר הרשומות מצוין לכל מדד.

המתאם בין המדדים שנאמדים בתחנת קבלה ומדדי איכות אחרים נמצא לרוב לא גבוה (טבלה ה1). יש הבדל קל בערכי הקורלציה המחושבים על בסיס נתונים שונים. המתאם הגבוה ביותר הינו בין חלבון או גלוטן רטוב עם האנרגיה שניתן להשקיע בבצק (W) זמן התפחות הבצק (DDT) וספיחת המים (WAC). חוזק הבצק ויציבותו נמצאים בקורלציה עם משקל נפחי ו-IDK. אלסטיות הבצק איננה במתאם כלל, עם אף לא אחד מהמדדים האחרים. מתאמים אלו מושפעים הן מהגנוטיפ (הזן) והן מהסביבה (תנאי הגידול). בחישוב מתאמים על בסיס 33 סביבות גידול בגילת לכל זן בנפרד, נמצאו מתאמים גבוהים יותר. המתאמים עם הערכים הגבוהים ביותר עבור כל מדד וזן מראים כי לעתים יש מאחד במתאמים (איור ה2). אחוז הייפוק נמצא בקורלציה גבוהה עם משקל נפחי ומשקל אלף, 8 ו6 זנים בהתאמה, וחוזק הבצק P 5 ו4 בהתאמה, כאשר הקורלציה בין משקל נפחי ומשקל אלף היא 0.85, לכן משקל נפחי כפי שנמדד היום מספק לאלסטיות L קורלציות יחסית נמוכות, ב 5 זנים הקשר הגבוה הוא עם IDK. גם היחס P/L נמצא במתאם עם IDK בתשעה זנים ובחמישה עם משקל נפחי/אלף. המדדים W ו DDT נמצאים במתאם גבוה עם אחוז החלבון, ועם משקל נפחי/אלף. אחוז ספיחת המים נמצא בקורלציה גבוהה עם אחוז חלבון/גלוטן, 8 ו6 זנים בהתאמה, כאשר הקורלציה בין אחוז חלבון וגלוטן היא 0.84. אין ספק כי ההבדלים במתאמים בין הזנים נובעים בין השאר מכושר מילוי הגרגר בתנאי גידול תחת עקה, והיחס ההפוך משקל נפחי ואחוז

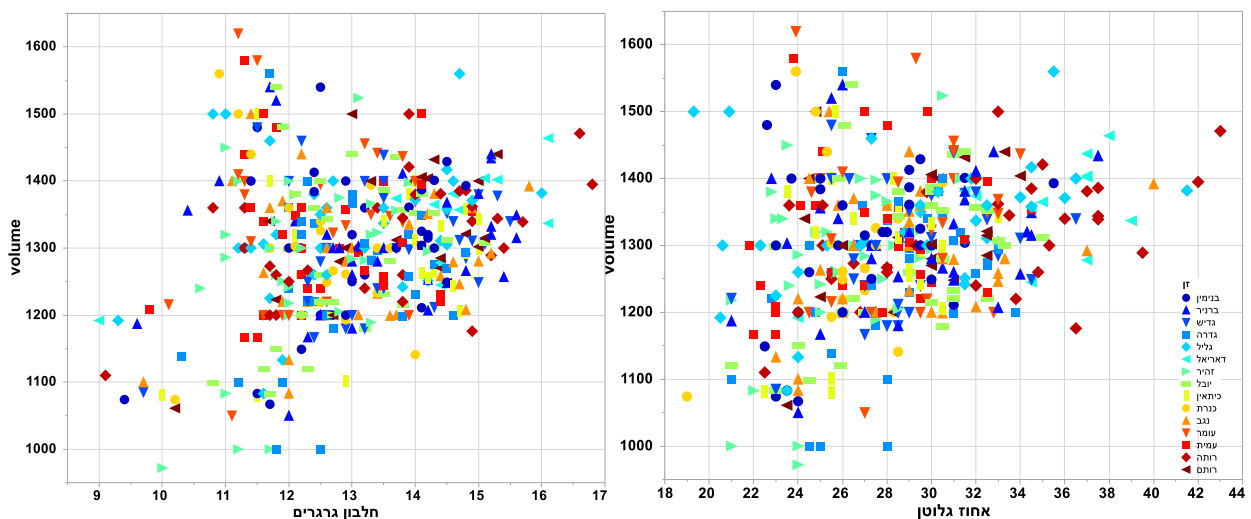
חלבון בתנאים אלו. מתאם נמוך יחסית נמצא עם נפח הכיכר, ככל שרמת החלבון/גלוטן עולה גם נפח הכיכר עולה (איור 3), אך הקשר חלש עם הרבה "חריגים" המעידים על מעורבות גורמים אחרים. ממצאים אלו מראים כי בתחנות הקבלה ניתן להסתפק במדידת משקל נפחי ותכולת חלבון (או גלוטן רטוב), בעוד שלמדידת IDK תרומה שולית קטנה ובכל אופן ראוי שתחליף את אינדקס גלוטן.

טבלה ה1. קורלציה בין מדדי תחנת קבלה ומדדי איכות אחרים.

בסיס נתונים מלא							מבחני זנים בגילת							
IDK	אינדקס גלוטן	אחוז גלוטן	אחוז חלבון	משקל 1000	משקל נפחי	יבול	IDK	אינדקס גלוטן	אחוז גלוטן	אחוז חלבון	משקל 1000	משקל נפחי	יבול	
0.428	-0.268	-0.176	-0.267	0.487	0.461	0.477	0.347	-0.237	-0.283	-0.338	0.451	0.413	0.371	אחוז ייפוק
-0.495	0.353	0.466	0.442	-0.436	-0.450	-0.194	-0.525	0.340	0.456	0.544	-0.567	-0.548	-0.264	P
0.155	-0.064	0.297	0.208	0.010	-0.049	0.103	0.337	-0.217	0.010	-0.028	0.158	0.169	0.275	L
-0.437	0.241	0.036	0.092	-0.214	-0.175	-0.142	-0.524	0.341	0.208	0.293	-0.397	-0.378	-0.336	P/L
-0.403	0.344	0.686	0.635	-0.501	-0.570	-0.179	-0.359	0.279	0.581	0.682	-0.585	-0.595	-0.164	W
-0.479	0.346	0.581	0.644	-0.585	-0.613	-0.305	-0.449	0.376	0.413	0.590	-0.580	-0.529	-0.287	DDT
0.035	-0.160	0.590	0.539	-0.277	-0.315	-0.039	0.035	-0.210	0.612	0.578	-0.345	-0.381	0.016	WAC
-0.459	0.438	0.349	0.431	-0.411	-0.401	-0.222	-0.356	0.466	0.076	0.280	-0.304	-0.192	-0.163	S
-0.158	-0.076	0.412	0.355	-0.219	-0.286	0.025	-0.088	-0.160	0.282	0.247	-0.289	-0.212	0.149	נפח כיכר

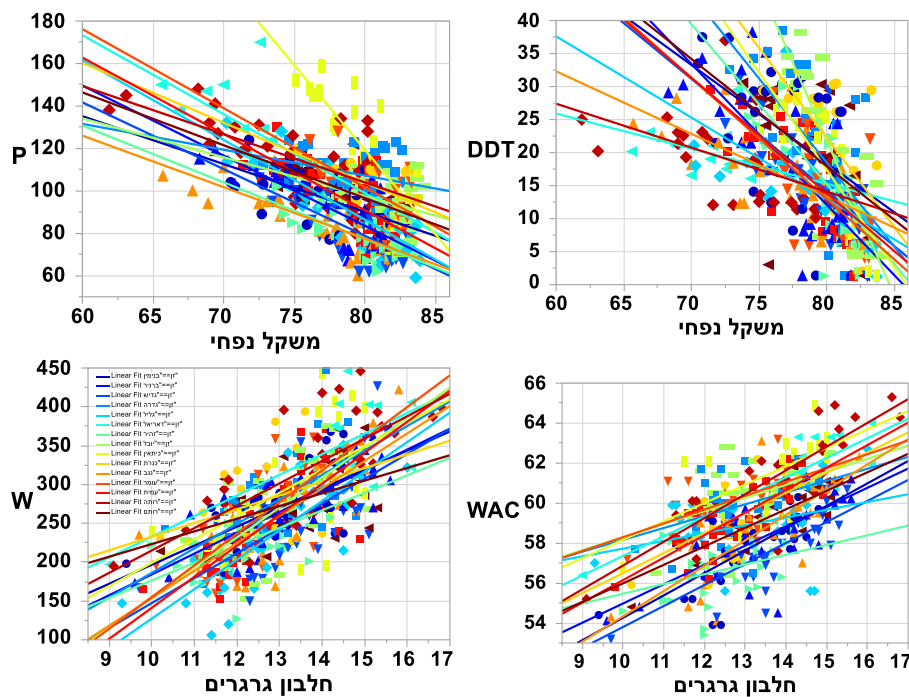


איור ה2. קורלציה מירבית בין מדדי תחנת קבלה ומדדי איכות אחרים על פי זן, מבחני זנים גילת.

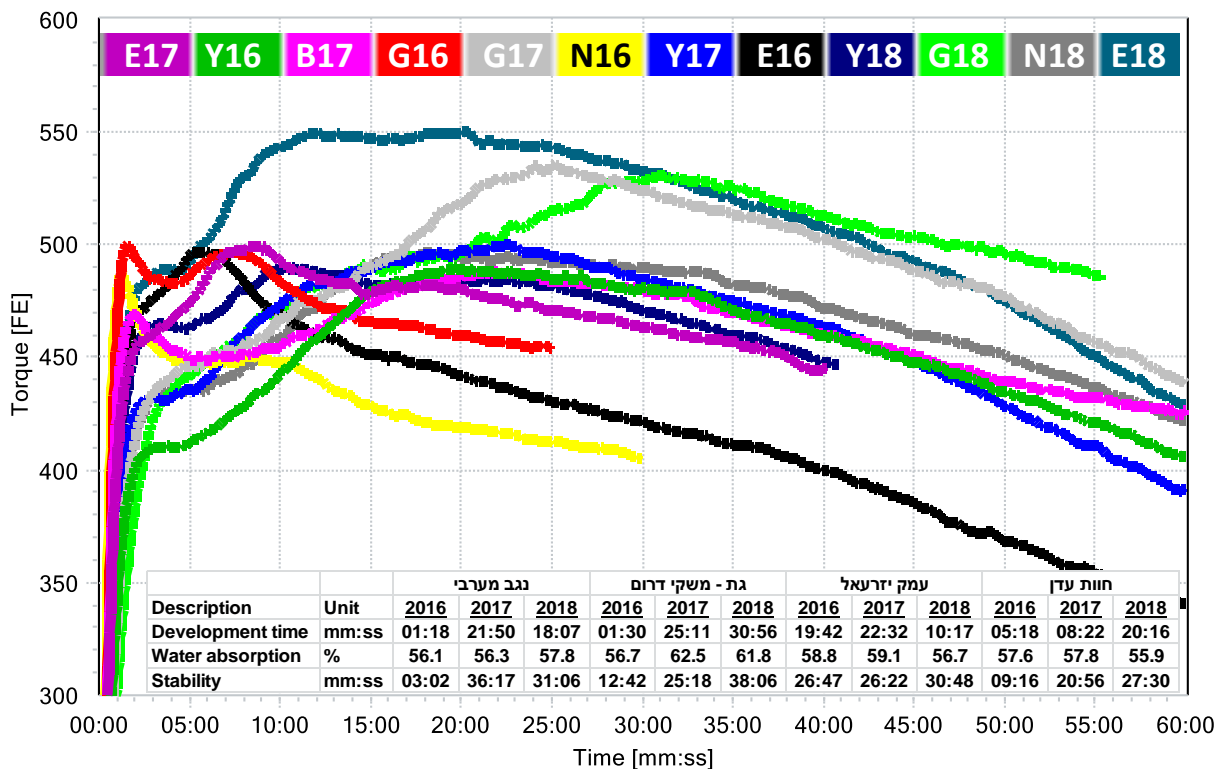


איור ה3. נפח כיכר על בסיס 250 גר' קמח מגרגרי זנים במבחני זנים בגילת.

היות שמשקל נפחי ואחוז חלבון הינם המדדים הוטיקים הנאמדים בחנות הקבלה, וכיון שמדדים אלו נמצאים בקשר גם עם מדדי איכות נוספים, חשוב להיות מודעים לכך שתרגום הערכים שונה בין זנים (איור 4). לדוגמא, הזן כיתאין חריג בקשר חוזק הבצק (P) ומשקל נפחי, בעוד שבזנים האחרים תגובה דומה והבדל "קבוע" כמובא בטבלאות 3,4. בזמן ההתפתחות (DDT) רואים תגובה חזקה מאוד של יובל וכנרת, בעוד שברותה ודאריאל (נגב וגליל הבאים) ההבדלים קלים בהרבה. הזנים כנרת ורותם מקבלים ערכי W גבוהים גם ברמת חלבון נמוכה אולם תגובה מופחתת עקב עליה ברמת החלבון, לעומת הזן דאריאל שמבטא את הערך הממוצע הגבוה ביותר לאורך כל התחום. עליה ברמת החלבון מעלה באופן מתון את ספיחת המים (WAC) בזהיר וגדרה, בהשוואה לרוב הזנים המציגים עליה רבה יותר. ארבעת הדוגמאות האלו מציגות באופן ישיר כי קיימת השפעת גומלין זן X סביבה בתכונות איכות רבות.



איור 4. מדדי איכות כתלות במדדים הנבדקים בתחנת קבלה, מבחני זנים גילת. בדוחות קודמים הראינו על בסיס מבחני זנים מאזורי גידול הנבדלים באופן מהותי זה מזה את תרומת הגנוטיפ והסביבה למדד האיכות. בשביל להדגיש את השפעת הסביבה על תכונות הבצק, ניתן לראות (איור 5) את תוצאות הרצת הפארינוגרף על עירוב 12 זנים (כמות זהה מכל זן) מטיפול ההיקש בניסוי הדישון (טבלה 2) הכולל 3 עונות ו 4 אזורים. על בסיס מבחני הזנים בגילת ניתן היה לאמוד את הרכיב הגנטי והסביבתי ולחשב את התורשתיות במובן הרחב (טבלה 2). ניתן לראות כי השפעת הסביבה היא היא הגורם המשמעותי במדדים הנבדקים בתחנות הקבלה, לרובם אף תורשתיות נמוכה. לחילופין, ניתן לראות תורשתיות גבוהה במספר מדדי בצק, בהם: חוזק, ספיחת מים וציבות. גם לאינדקס הגלוטן תורשתיות גבוהה, ממצא הנמצא בהתאמה עם מחקר קודם שהתמקד במדד זה (ספרות באתר המיזם).



איור ה-5. איכות בצק, על פי פארינוגרף, מתערובת זנים (12 זנים: יובל, זהיר, גדרה, ברנר, גליל, רותה, עמית, נגב, בנימין, עומר, גדיש וכיתאין) מאתרי מבחני הזנים 2016-2018. E - חוות עדן; Y - עמק יזרעאל; B - בארי/רעים (נגב מערבי); G - גת (משקי דרום).

טבלה ה-2. תרומת הגנוטיפ והסביבה למדדי איכות החיטה, מבחני זנים בגילת.

REML Variance Component Estimates	יבול	משקל נפחי	משקל 1000	חלבון גרגרים	אחוז גלוטן	אינדקס גלוטן	IDK	אחוז ייפוק	W	P	L	P/L	DDT	WAC	S	נפח כיכר
Environment	90.5	79.3	86.9	85.2	74.9	59.0	76.9	65.6	61.3	66.7	34.9	44.0	57.5	69.1	29.6	49.6
Residual	9.5	20.7	13.1	14.8	25.1	41.0	23.1	34.5	38.7	33.3	65.1	56.0	42.5	30.9	70.4	50.4
H ² תורשתיות	0.051	0.317	0.236	0.114	0.218	0.414	0.174	0.194	0.197	0.471	0.351	0.464	0.117	0.438	0.528	0.085

איכות ותנאי סביבה: ברור על פי הספרות והנתונים שבידינו כי תנאי הסביבה בעת מילוי הגרגר משפיעים על איכות הגרגרים והקמח. אשר על כן נכתב קוד המשייך את כל נתוני הסביבה הרלוונטים לכל זן בכל מבחן, זאת על בסיס נתונים של יום הצצה, יום השתבלות, השקיה, ונתונים מטאורולוגיים (גשם, טמפרטורה, לחות יחסית, התאדות). הנתונים המחושבים באופן כללי הינם: גשם (+השקיה) עונתי, אורך התקופה הצצה-השתבלות כמספר ימים וכימי מעלה, העשרת (החל מהראשון לנובמבר) שבה חלו הצצה וההשתבלות. הנתונים המחושבים לתקופת מילוי הגרגר באופן כללי ובאופן מחולק ל-4 תקופות של 10 ימים החל מההשתבלות הינם: סך משקעים, טמפרטורה ממוצעת, טמפרטורת מינימום, טמפרטורת מקסימום, לחות יחסית מינימלית, התאדות מצטברת, סכימת ימים שבהם טמפרטורת המקסימום הינה מעל 30 מ"צ, וטמפרטורה ממוצעת חודשית. הנתונים המטאורולוגיים שהוזנו נאספו מתחנות מטאורולוגיות ה"צמודות" לניסויים, כאשר רק הנתונים עבור הניסויים שנערכו בגילת ובחוות עדן "זכו" לנתונים מדוייקים עקב קיום מדידות קרובות מאוד בתחנות המחקר. עקב השינויים במהלך המחקר (פרק ב טמפרטורה לעיל) המחקר לא הצליח להגיע לבחינת השימוש בטמפרטורה על בסיס החישה מרחוק. אשר על כן רוב הניתוחים

הסטטיסטיים (מרובי משתנים) מתבססים על הניסויים בגילת. בניתוח מרובה משתנים, נמצא כי במרבית המקרים יש משתנים רבים שנמצאו בעלי תרומה מובהקת למודל, אולם לרוב שלושת הגורמים הראשונים, ולעתים אף הראשון בלבד, מסבירים את עיקר המודל. אחוז הייפוק מושפע בעיקר מכמות המשקעים, ובמרבית מדדי האיכות האחרים אחוז החלבון הוא הגורם העיקרי (טבלה ה-3). חוזק ויציבות הבצק מוסברים בעיקר ע"י IDK (וההופכי GI). תנאי סביבה שונים תורמים בהשפעתם על כל מדד בנפרד, אולם, למרות זאת המודל הכללי נמצא בדרך כלל בעל יכולת הסבר לא גבוהה ובמספר מדדים אף נמוכה מאוד (טבלה ה-3). סביר שאחד הגורמים לכך הוא תגובה שונה של הזנים לתנאי הסביבה. לדוגמא, ניתן לראות כי הקשר בין החלבון בגרגרים לאחוז גלוטן רטוב שונה בזנים השונים (טבלה ה-4) ואף מושפעים מגורמי סביבה שונים, בעיקר גשמים ו/או טמפרטורה בתקופות שונות.

טבלה ה-3. שלושת גורמי שונות העיקרים המסבירים את מדד האיכות על פי רגרסיה רבת משתנים, בסיס הנתונים בגילת, עונות תשע"ה-תשע"ח.

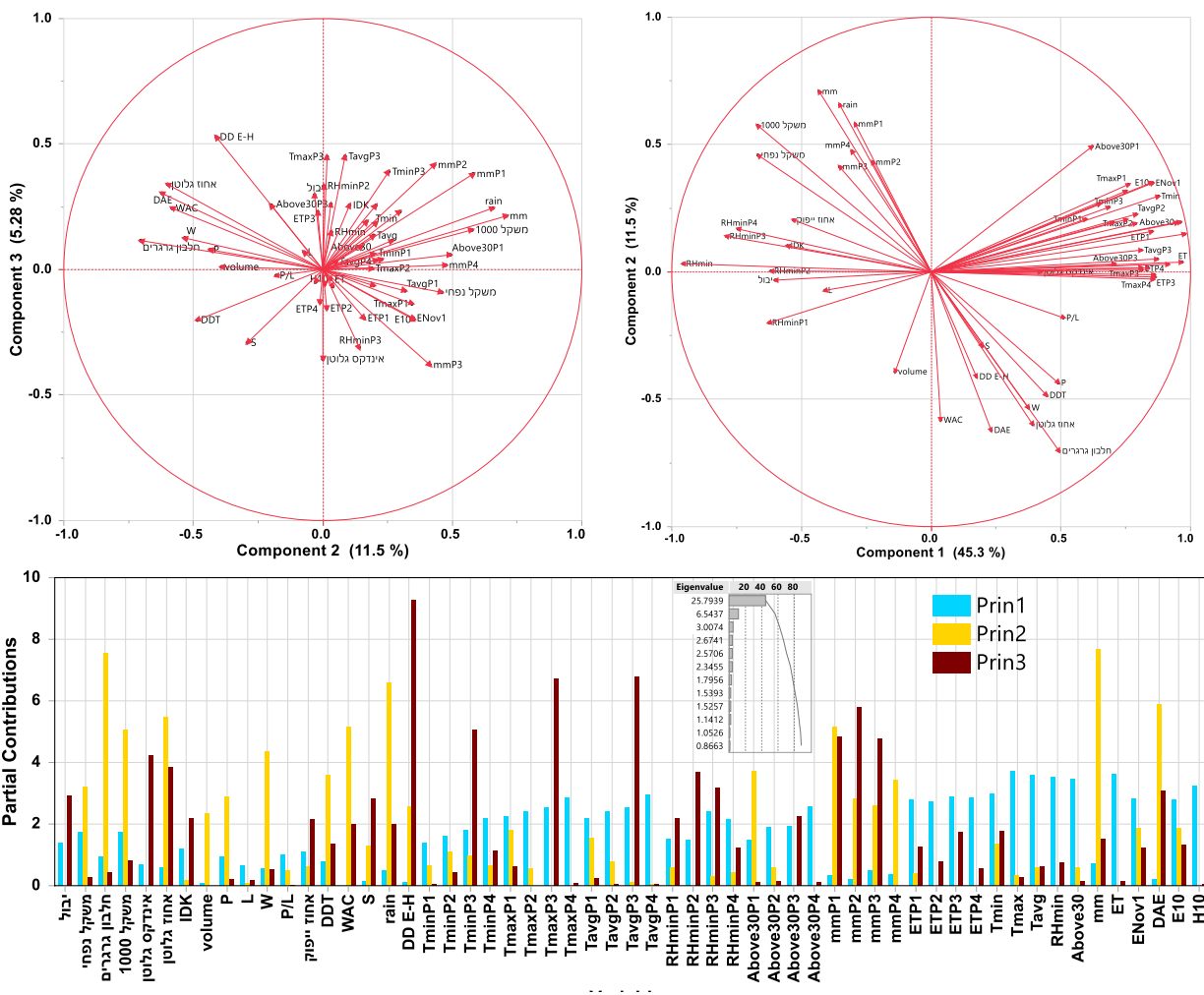
מדד / גורם	ראשון	שני	שלישי	R^2 כללי
אחוז ייפוק	גשם כללי	Tavg	DAE	0.47
P	IDK	TminP3	Tmax	0.51
L	חלבון	RHminP2	TminP2	0.29
P/L	IDK	TminP2	TminP3	0.38
W	חלבון	Tmin	ETP2	0.60
DDT	חלבון	mmP4	DAE	0.53
WAC	חלבון	גלוטן	Tmax	0.50
S	GI	mmP4	חלבון	0.39
נפח כיכר	חלבון	RHminP4	Above30P4	0.32

טבלה ה-4. הקשר הלינארי בין גלוטן רטוב וחלבון או עם גורמי שונות נוספים (רגרסיה רבת משתנים, השפעה שלילית מודגשת באדום מוטה) בזני חיטה ישראלית, גילת עונות תשע"ה-תשע"ח ובמסד כללי.

זן / גורם	R^2 לפי חלבון	ראשון	שני	שלישי	R^2 (ר"מ)	R^2 כללי	n כללי
בנימין	0.66	mmP1			0.73	0.57	50
בר ניר	0.78	RHminP2			0.82	0.81	44
גדיש	0.69				0.69	0.81	90
גדרה	0.56	mmP2			0.72	0.74	65
גליל	0.82	TminP1	Above30P4	mmP4	0.92	0.71	48
דאריאל	0.87	ETP3			0.93	0.78	15
זהיר	0.56	mm			0.65	0.79	72
יובל	0.63	mmP3	Above30P3		0.77	0.76	115
כיתאין	0.69				0.69	0.75	55
כנרת	0.45	RHminP4			0.75	0.67	27
נגב	0.72	Above30P3	TmaxP4		0.85	0.62	52
עומר	0.81	mmP2	גשם כללי	mm	0.93	0.83	45
עמית	0.68	mm	גשם כללי	mmP2	0.87	0.62	56
רותה	0.90	mmP3	mmP4		0.94	0.90	65
רותם	0.67				0.67	0.70	23

על הקשרים החשובים ניתן ללמוד מתוצאות מבחן PCA שבוצע על נתונים אלו (איור ה-6), בהם: 1- יצרנות, לחות יחסית גבוהה בעת מילוי הגרגר מאפשרת ייצור גרגרים רב יותר ולחילופין טמפרטורה גבוהה ובמיוחד בעשרת השלישית והרביעית מפחיתה את ייצור הגרגרים. 2- תכונות האיכות משקל נפחי, משקל גרגר, אחוז ייפוק ותנאי לחות יחסית גבוהה בעת מילוי הגרגר ומשקעים נמצאים במתאם חיובי בעוד

שלטמפרטורה בעת מילוי הגרגר "אין השפעה". 3- תכונות האיכות אחוז חלבון, גלוטן רטוב, חוזק הבצק (P, W), זמן התפתחות, ספיחת מים ויציבות הבצק, נמצאים במתאם שלילי עם משקעים ואפילות כנראה עקב מיהול וחוסר מילוי גרגר בהתאמה, אף כאן לטמפרטורה בעת מילוי הגרגר "אין השפעה" (יציבות הבצק נפגעת ממשקעים בעשרת הראשונה והשניה וטמפרטורה גבוהה בשלישית). 4- אלסטיות הבצק מושפעת בדומה לייצרנות, נפח המאפה נפגע מטמפרטורה מעל 30 מעלות בעשרת הראשונה. עיבוד זה ממצע את כל הזנים, אולם עיבוד דומה עבור כל זן בנפרד (איורים באתר המיזם) מעלה כי התנהגות הזנים לעתים שונה, לדוגמה אלסטיות בזן עומר ויציבות הבצק בזנים נגב ורותה. יש זנים בהם נפח המאפה קשור במתאם גבוה מאוד עם ספיחת המים / אלסטיות / חלבון / אפילות, ובמתאם שלילי עם טמפרטורה גבוהה בעשרת הראשונה / משקעים בשלבים שונים ועוד.



איור 6. מבחן PCA של בסיס הנתונים בגילת, עונות תשע"ה-תשע"ח.

תוצאות אלו עולות בקנה אחד עם השערת המחקר שלסביבה יש השפעה מכרעת על איכות החיטה ותגובת הזנים אינה אחידה.

במסגרת המיזם המובל ומרוכז ע"י דוד בונפיל נבדקה השונות ביבול ובאיכות גרגרים מזנים שונים כתגובה לתנאי גידול שונים בשדות ישראל ובניסויים מבוקרים. זאת במטרה להבין את מורכבות השפעת הזן, הסביבה והשפעת הגומלין על כושר ייצור ואיכות החיטה. בשנת המחקר השלישית המשכנו בביצוע ניסויים ואיסוף נתונים אשר יאפשרו את מימוש התוצאות בעתיד, כך שניתן יהיה להתאים זנים לאזורי הגידול וממשקים המתאימים להם ולשפר את איכות החיטה. העבודה בוצעה תוך שילוב יוגבים, אנשי הדרכה, חוקרים בתחומים רלוונטיים והפעלת מעבדה לאיכות חיטה במרכז מחקר גילת.

המחקר שילב חוקרים ממוסדות ומתחומי מחקר שונים. בכדי לשפר ולהבטיח אינטגרציה מירבית בין החוקרים השונים המידע הפיסיולוגי והגנטי נאסף מאותם ניסויים ומאותו חומר צמחי בשיתוף פעולה ותוך תיאום מלא. יתר על כן, גרגרים מניסויים מבוקרים ומניסויי שדה הועברו לבדיקה ע"י חברי צוות שלא היו מעורבים ישירות בניסוי אך מתמחים באיפיון מדד ספציפי. לדוגמא, גרגרים מניסויי שדה שונים הועברו לבדיקת פשפש, וגרגרים מניסויים מבוקרים הועברו לסריקת NIR ולהערכת מדדי איכות כמו תכולת גלוטן רטוב. בנוסף הועסקו במסגרת מיזם החיטה חמישה תלמידי מוסמך, תלמיד דוקטורט אחד, שלושה משתלמי בתר-דוקטורט, קונדיטור, טכנאית מעבדה ושלושה טכנאים בחלקי משרה. רוב התלמידים הונחו ע"י שני חוקרים (לפחות) מצוות המחקר ישירות או בעקיפין. אין ספק כי לשילוב הכוחות במיזם זה יש השפעה סינרגיסטית רבה התורמת להשגת היעדים שהוצבו בתחילת המחקר, יעידו על כך המאמרים שכבר פורסמו ואלו שבדרך. ניתן להיווכח בכך יפה בשילוב ההבנה של השפעת הטמפרטורה על היבול והאיכות של חיטה ישראלית ופיתוח הכלים המיועדים להוות כלי עזר להתמודדות עם הסוגייה ביישום המסחרי.

בבסיס המחקר קיימת הנחה כי קיימת השפעת גומלין גנוטיפ X סביבה על כושר הייצור ועל איכות החיטה. התוצאות מהניסויים המבוקרים מאששים הנחת יסוד זו והתוצאות מניסויי השדה מרחיבים את היריעה ומאפשרים עיבוד נתונים על בסיס שונות שהתקבלה מגידול בתנאים שונים. ניתן להסיק כי לתנאי הסביבה ובמיוחד ללחות ולטמפרטורה השפעה רבה, אף מעבר לזו שהערכנו טרם תחילת המחקר. בתחילתו סברנו שחלק נכבד מהשונות באיכות החיטה הישראלית נובע ממספר זנים רב המצוי במזרע (מעל 15), אולם התוצאות שיש בידינו מורות באופן חד משמעי כי תנאי הסביבה (טמפרטורה, לחות ומשקעים) הינם גורם חשוב המשפיע על כושר ההנבה, ואיכות התוצרת, זאת מעבר להשפעת הגשם העונתי וזמן מילוי הגרגר המשפיעים על אחוז הייפוק בטחינה. עם זאת חשוב להדגיש כי נמצא שאין קשר בין כושר ייצור גרגרים ואיכותם. בניתוחים שונים השפעת הזן על האיכות התבטאה דרך אפילות הזן, דבר המחدد את הצורך בזיקוק הידע על הפנולוגיה של הזנים הישראליים. אשר על כן, המחקר שילב ידע מהשדה, מניסויים מבוקרים ומחקר גנטי בכדי להעמיק את הידע בנוגע להשפעת הטמפרטורה על ההתפתחות הפנולוגית. ידע זה ניתן לניצול בעתיד ע"י מטפחים, למשל במציאת גן/אלל המשפיע על ההתמיינות על בסיס הדמיון הגנטי בין זנים מסויימים מחד והשונות הפנוטיפית בהתפתחות הפנולוגית של אותם זנים מאידך. דרך מהירה ליישום מסחרי תהיה ע"י שימוש בכלי עבודה לזיהוי וכימות השונות בטמפרטורה ובכושר הייצור בשדות ישראל על בסיס לווניים. הקודים שנכתבו ונכתבים בימים אלו בממשק GEE, עוקפים את מגבלות איסוף, עיבוד ושמירת הנתונים, ויאפשרו שימוש מידי בתוצרים ע"י החקלאים

בקרב. שילוב המידע על השפעת תנאי הסביבה על הזנים השונים בהתפתחות, חנטה ומילוי גרגר יאפשר הכוונת מזרע של זנים לסביבות גידול מתאימות. זאת תוך שיקלול יציבות התכונות השונות עם היצרנות והאיכות בבחירת הזן והממשק לחלקה. במחקר על השפעת האוזון הנחנן יסודות לעתיד, התוצאות מורות כי יתכן שרמות האוזון השוררות כיום ברחבי ישראל משפיעות על ייצור חיטה ויש שונות בסבילות הזנים. יתר על כן, הראינו כי מטפחים יוכלו לזהות סבילות זו באופן יחסית פשוט. נוסף על כל זאת, כיחידה נפרדת פותחה שיטת אבחון של גרגרים הנגועים בפשפש, אולם לצערינו, לא הצלחנו לקצר את משך הבדיקה, דבר המונע יישום מיידי בתחנות הקבלה, והדבר דורש מחקר משלים.

המידע המצטבר במיזם הועבר למדריכים ולחקלאים בימי עיון ובהנגשת תוצאות רבות באתר המיזם. צוות המחקר לא מצא לנכון לבצע כל שינוי מהותי בתוכנית המחקר הבסיסית, אלא הוסיף פרק אחד (מספר הפרחים הפוריים בשיבולית). צוות המחקר נפגש בהרכב חלקי ובהרכב מלא פעמים רבות. במפגשים אלו הוצגו הניסויים והמחקרים עד כה, באופן שאיפשר לכולם לתרום מנסיונם גם בחלקים שאין להם במ חלק. לאור חשיבות נושא המחקר לחקלאות ישראל, הוא הוצג גם בכינוסים ייעודיים, ויוצג בקרוב בכנסים בישראל ובכנס בינלאומי the First International Wheat Congress שיערך בקנדה ביולי 2019. עד עתה פורסמו 7 מאמרים, נשלחו ונכתבים עוד נוספים.

מספר הזנים המוצע על ידי המטפחים וחברות הזרעים בישראל גבוה, ובהם זנים המבטאים שונות בתכונות שונות ועקב כך התאמה לתנאי גידול יחודיים. ראוי כי כל יוגב ישקול ויבחון את מכלול נתוני ביצועי הזנים השונים ויציבותם בבואו לבחור את סל הזנים לזריעה ויתאים את הזן המועדף לכל חלקה וחלקה. סביר כי בחירה מושכלת תניב יכול גבוה ואיכותי ותשפר את ריווחיות החלקה. במקביל, במידה שהצרכנים, הטוחנים והאופים, יגיעו להסכמה על המדד/ים הרלוונטיים ביותר עבורם, ניתן יהיה לשפר הזריעה ע"י בחירת זנים יציבים יותר בתכונות הנדרשות. לבסוף, כיוון שהטענה העיקרית כנגד החיטה הישראלית היא חוסר אחידות, ניתן לשקול חלופה טובה יותר באירגון שיווק החיטה על בסיס תוצאות מחקר זה ומחקרים משלימים להעלאת איכות התוצרת. לסיום, יש להדגיש כי כל הזנים הישראלים איכותיים מאוד. ברצוננו להודות לחברי ועדות ההיגוי והוועדה המקצועית על תרומתם לעבודתנו.

רשימת ספרות

- קרזון א'. בחינה פנוטיפית וגנוטיפית של אוסף קווי כוסמין. עבודת תזה מוגשת לאוניברסיטת העברית, פקולטה לחקלאות רחובות, 2018.
- זילברמן א', עבו ש', בונפיל ד', נאשף כ', פדידה-מאירס א', פלג צ' ובן דוד ר'. אפיון שלבי קדם-פריחה בחיטה ישראלית וצבירת חומר יבש באברי הפרח. כנס ביכורי מחקר של האגודה המדעית הישראלית לגידולי שדה וירקות, מרץ 2017 פקולטה לחקלאות רחובות (פוסטר).
- שחם י., א. רבינוביץ, א. רם, ש. פרגמניק, י. גלעדי, ע. נפתליהו, ע. ריצ'קר, י. שטיינברג, ט. נתנזון. 2017. סיכום מבחני זנים ארציים בחיטת הלחם – עונת 2017. ניר ותלם, 75:8-18.
- Ashmore, M.R., (2005) Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. Plant. Cell. Environ., 28, 949–964.
- Avni R, Nave M, Barad O, et al. Wild emmer genome architecture and diversity elucidate wheat evolution and domestication. Science 2017;357(6346):93 LP-97 .

- Beales J, Turner A, Griffiths S, Snape JW, Laurie DA. A Pseudo-Response Regulator is misexpressed in the photoperiod insensitive Ppd-D1a mutant of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet.* 2007;115(5):721-733.
- Distelfeld a, Li C, Dubcovsky J. Regulation of flowering in temperate cereals. *Curr Opin Plant Biol.* 2009;12(2):178-184 .
- Distelfeld A, Tranquilli G, Li C, Yan L, Dubcovsky J. Genetic and molecular characterization of the VRN2 loci in tetraploid wheat. *Plant Physiol.* 2009;149(1):245-257 .
- Fu D, Szűcs P, Yan L, et al. (2005). Large deletions in the first intron of the VRN-1 vernalization gene are associated with spring growth habit in barley and polyploid wheat. *Mol Genet Genomics.* 273:54-65.
- Gao, F., Kustas, W. P., & Anderson, M. C. 2012: A Data Mining Approach for Sharpening Thermal Satellite Imagery over Land. *Remote Sensing*, 4(11), 3287–3319.
- González, F. G., et al. (2011). Wheat floret survival as related to pre-anthesis spike growth. *Journal of Experimental Botany* 62(14): 4889-4901.
- Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* 2017, 202, 18–27.
- Helman D., D. J. Bonfil, and I. M. Lensky, 2019a: Crop RS-Met: A biophysical evapotranspiration and root-zone soil water content model for crops based on proximal sensing and meteorological data. *Agricultural Water Management.* 211, 210-219. doi:10.1016/J.AGWAT.2018.09.043
- Helman D., I. M. Lensky, and D. J. Bonfil, 2019b: Early prediction of wheat grain yield production from root-zone soil water content at heading using Crop RS-Met. *Field Crops Research* . 232,11-23. doi:10.1016/j.fcr.2018.12.003
- Helman, D., Lensky, I. M., Osem, Y., Rohatyn, S., Rotenberg, E., and Yakir, D. (2017). A biophysical approach using water deficit factor for daily estimations of evapotranspiration and CO₂ uptake in Mediterranean environments, *Biogeosciences*, 14, 3909-3926.
- Lombardozzi, D., Sparks, J. P., and Bonan, G., (2013) Integrating O₃ influences on terrestrial processes: photosynthetic and stomatal response data available for regional and global modeling *Biogeosciences* 10 6815–83.
- Miralles DJ, Richards RA, Slafer GA (2000) Duration of the stem elongation period influences the number of fertile florets in wheat and barley. *Functional Plant Biology* 27:931-940
- Roychowdhury R, Zilberman O, Nashef K, Abbo S, Bonfil DJ, and Ben-David R (2019) Pre-anthesis spike growth dynamics and its association to yield components: variance among elite Israeli bread wheat cultivars under the Mediterranean climate. 1st International Wheat Congress (IWC), 2019 (Poster).
- Roychowdhury R, Zilberman O, Nashef K, Abbo S, Bonfil DJ, and Ben-David R (2019) Pre-anthesis spike growth dynamics and its association to yield components: variance among elite Israeli bread wheat cultivars under the Mediterranean climate. (In preparation).
- Slafer, G. A. (2003). Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. *Annals of Applied Biology*, 142(2), 117-128.

- Tai, A.P.K., Martin, M.V., Heald, C.L., 2014. Threat to future global food security from climate change and ozone air pollution. *Nat. Clim. Chang.* 4, 817–821.
- Wang S, Wong D, Forrest K, et al. Characterization of polyploid wheat genomic diversity using a high-density 90 000 single nucleotide polymorphism array. *Plant Biotechnol J.* 2014;12(6):787-796.
- Yan L, Fu D, Li C, et al. The wheat and barley vernalization gene VRN3 is an orthologue of FT. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2006;103:19581-19586.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T. and Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research.* 14(6): 415-421.
- Zhu, X., Chen, J., Gao, F., Chen, X. and Masek, J. 2010: An enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model for complex heterogeneous regions, *Remote Sensing of Environment*, 114(11): 2610–2623.
- Zhu, X.; Helmer, E. H.; Gao, F.; Liu, D.; Chen, J.; Lefsky, M. A. A flexible spatiotemporal method for fusing satellite images with different resolutions. *Remote Sens. Environ.* 2016, 172, 165–177.

תקציר מסכם

מטרת המחקר הכללית הינה שיפור יציבות היבול והבטחת איכות החיטה הישראלית במטרה לשמור על יבולים גבוהים ואיכותיים חרף תנודתיות אקלימית גוברת. תוכנית העבודה נגזרה מהמטרה הכללית. בבסיס המחקר קיימת הנחה כי קיימת השפעת גומלין גנוטיפ סביבה על כושר הייצור ועל איכות החיטה. התוצאות מהניסויים המבוקרים ומניסויי שדה מאששים הנחת יסוד זו והתוצאות מניסויי השדה מרחיבים את היריעה ומאפשרים עיבוד נתונים על בסיס שונות שהתקבלה מגידול בתנאים שונים. ניתן להסיק כי לתנאי הסביבה ובמיוחד לטמפרטורה וללחות היחסית השפעה רבה, אף מעבר לזו שהערכנו טרם תחילת המחקר. בתחילתו סברנו שחלק נכבד מהשונות באיכות החיטה הישראלית נובע ממספר זנים רב שנמצא במזרע (מעל 15), אולם התוצאות שיש בידינו כעת מורות באופן חד משמעי כי הסביבה היא הגורם החשוב המשפיע על כושר ההנבה, ואיכות התוצרת, זאת מעבר להשפעת הגשם העונתי ובזמן מילוי הגרגר המשפיעים על אחוז הייפוק בטחינה. במחקר על השפעת האוזון הנחננו יסודות לעתיד, התוצאות הראשוניות עד עתה מורות כי יתכן שרמות האוזון השוררות כיום ברחבי ישראל כבר פוגעות בייצור חיטה ויש שונות בסבילות הזנים. יתר על כן, הראינו כי מטפחים יוכלו לזהות סבילות זו באופן יחסית פשוט. השפעת הזן על האיכות התבטאה גם דרך אפילות הזן, דבר המחדד את הצורך בזיקוק הידע על הפנולוגיה של הזנים הישראליים. אשר על כן, המחקר משלב ידע מהשדה, מניסויים מבוקרים ומחקר גנטי בכדי להעמיק את הידע על השפעת הטמפרטורה על ההתפתחות הפנולוגית. ידע זה יוכל להיות מנוצל בעתיד ע"י מטפחים, למשל במציאת גן/אלל המשפיע על ההתמינות על בסיס הדמיון הפילוגנטי והשונות הפנוטיפית בהתפתחות הפנולוגית. דרך שניה ומהירה יותר ליישום מסחרי תהיה ע"י שימוש בכלי עבודה שפותח לזיהוי וכימות השונות בטמפרטורה ובכושר הייצור בשדות ישראל על בסיס לווניים. הקודים שנכתבו ונכתבים בימים אלו בממשק GEE, עוקפים את מגבלות איסוף, עיבוד ושמירת הנתונים, ויאפשרו שימוש מיידי בתוצרים ע"י החקלאים בקרוב. לאור זאת, השפעת הסביבה בהתפתחות ובמילוי הגרגר על ייצרנות ומדדי איכות בוררה עבור כל זן בנפרד. מידע זה יאפשר הכוונת מזרע של זנים לשדות המתאימים להם טוב יותר. מספר הזנים המוצע על ידי המטפחים וחברות הזרעים בישראל גבוה, ובהם זנים המבטאים שונות ביציבות מדדי איכות ועקב כך התאמה לתנאי גידול יחודיים. ראוי כי כל יוגב ישקול ויבחון את מכלול נתוני ביצועי הזנים השונים בבואו לבחור את סל הזנים לזריעה ויתאים את הזן המועדף לכל חלקה וחלקה. סביר כי בחירה מושכלת תביא להנבת יבול גבוה ואיכותי ולהגדלת ריווחיות החלקה. במקביל, במידה שהצרכנים, הטוחנים והאופים, יגיעו להסכמה על המדד/ים הרלוונטיים ביותר עבורם, ניתן יהיה לשפר הזריעה ע"י בחירת זנים יציבים יותר בתכונות הנדרשות. לבסוף, כיוון שהטענה העיקרית כנגד החיטה הישראלית היא חוסר אחידות, ניתן לשקול חלופה טובה יותר באירגון שיווק החיטה על בסיס תוצאות מחקר זה ומחקרים משלימים להעלאת איכות התוצרת. פותחה שיטת אבחון של גרגרים הנגועים בפשפש, אולם לצערנו, לא הצלחנו לקצר את משך הבדיקה, דבר המונע יישום מיידי, והדבר דורש מחקר משלים. המידע המצטבר במיזם הועבר למדריכים ולחקלאים בימי עיון ובהנגשת חלק מהתוצאות באתר המיזם ובפרסומים מדעיים. לסיום, יש להדגיש כי כל הזנים הישראליים איכותיים מאוד.