

ד"ר ח מסכם לתוכנית מחקר מספר 12-0367-277

שיפור כושר ההתמודדות של תבואות החורף בישראל עם אי היציבות במשטרי המים והטמפרטורה בתנאי בעל

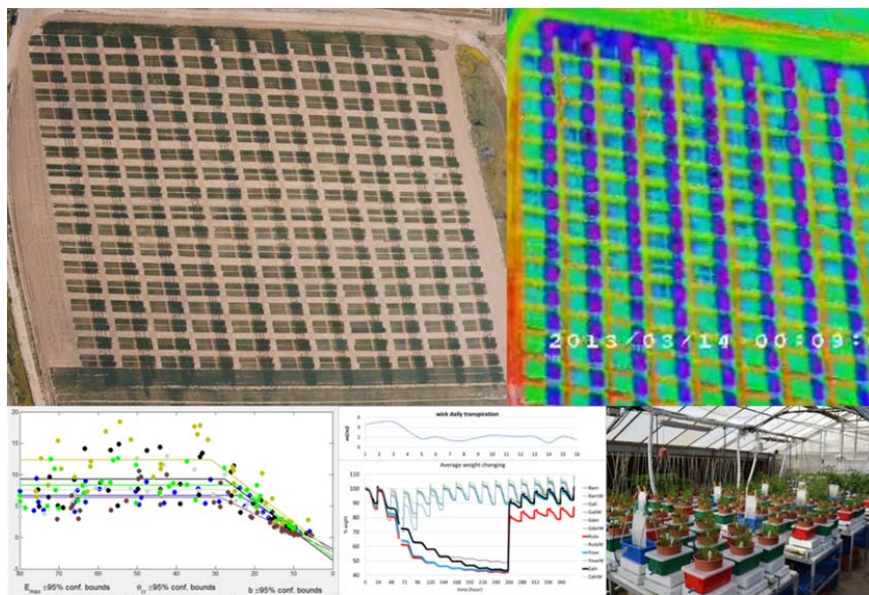
Improving the ability of Israeli winter rainfed grain crops to face temperature and water instability

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

חוקר ראשי: **דוד בונפיל** - גידולי שדה, מינהל המחקר החקלאי, מרכז מחקר גילת
חוקרים משניים: **מנחם מושליון** (הפקולטה לחקלאות), **רוני וולך** (הפקולטה לחקלאות), **יהושע סרנגה**
(הפקולטה לחקלאות), **שחל עבו** (הפקולטה לחקלאות), **אהרון פאיט** (אוניברסיטת בן גוריון), **ויקטור אלחנתי** (מינהל המחקר החקלאי).

Bonfil David J., Department of Field Crops and Natural Resources, Agricultural Research Organization, Gilat Research Center, Mobile Post Negev, 85280, Israel. E-mail: bonfil@volcani.agri.gov.il



פברואר 2014

אדר תשע"ד

הממצאים בד"ר ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: כן/לא מחק את המיותר*

חתימת החוקר

*

תוכן עניינים

3	תקציר
4	מבוא
4	מטרת המחקר
4	אבני דרך ולוח זמנים שהוגדרו עבור שנה ג':
4	שיטות וחומרים
5	תוצאות ודיון
5	מד טמפרטורה IR נייד
7	עקת יובש בחיטה בשלב צעיר – ניסוי שדה
8	עקת חום בחיטה בשלב מילוי גרגר – ניסוי שדה
10	ניסוי חום בפיטורון
12	ניסויי יובש בליזימטרים
19	סריקה מטאבולומית
21	מסקנות עיקריות והשלכות על המשך המחקר ויישום מסחרי
22	פרסומים מדעיים (בכתב ובע"פ) ורשימת ספרות
22	שילוב התוצאות של קבוצות המחקר
23	סיכום עם שאלות מנחות

תקציר

• הצגת הבעיה

טיפול תבואות חורף מתבסס כיום על טיפוח קלאסי. חוסר היציבות בעונות שחונות, מקדם ריבוי נמוך יחסית, מגבלת פנוטיפ לעונת גידול אחת בשנה וחוסר כדאיות ביצור מכלואים מובילות להתקדמות איטית בטיפול. אינטראקציות גנוטיפ $\times$ סביבה ותורשתיות נמוכה של יכולת תנאי עקה מקשים על המטפחים לטפח זנים חדשים לתנאי עקה. זיהוי גנוטיפים אשר מתמודדים טוב יותר עם תנאי עקה משולבת (כגון מים וטמפרטורה) השוררים בתקופה קצרה מורכב אף יותר.

• מטרות המחקר

יצירת בסיס ידע גנטי-פיסיולוגי וכלים הנדרשים לשיפור כושר ההתמודדות של תבואות חורף עם עקות מים וטמפרטורות גבוהות המאפיינות תנאי בעל בישראל.

• שיטות העבודה

נאספו ונבחנו 90 קווי/זני חיטה. הועמדו ניסויים יעודיים לבחינת השפעת שרב/טמפרטורה-גבוהה/יובש בתנאי שדה ובתנאים מבוקרים. נאספו נתונים בעיקר ע"י: ליזימטרים, מד טמפרטורה IR, מצלמה תרמית, Li-cor 6400, וכן נלקחו דגימות צמחיות לבדיקות מטבוליות.

• תוצאות עיקריות

בשנה השלישית המשכנו לבחון 90 טיפוסים חיטה בניסויי שדה, וששה זנים מייצגים במערכות ניסוי מבוקרות נוספות. הניסויים התמקדו בבחינת השפעת שרב/טמפרטורה-גבוהה/יובש בתנאי שדה ובתנאים מבוקרים. כאשר מתפתחת עקת יובש בשלב הגידול הצעיר יש הבדל בהשפעתה על התפתחות זנים שונים, כאשר לפנולוגיה של הזן השפעה על חומרת הנזק. ניתן להבחין בעקת יובש ע"י טמפרטורת העלה/הקמה, אולם השימוש במד טמפרטורה נייד צריך להתבצע באופן מושכל. אופי ההתגברות של הזנים על תקופות יובש שונה בין השלבים הוגטיבי והרפרודוקטיבי. נמצאו שינויים בפרופיל המטבולי בזרעים כתגובה לתנאי סביבה בעת מילוי הגרגר, ושינויים אלו מעניינים מאוד מבחינת היכולת להוות כלי סלקציה או לאבחון מצב הגרגרים.

• מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות

תוצאות המחקר עד כה מורות כצפוי כי קיימת שונות בתגובת גנוטיפים שונים לעקת היובש והחום. ניתן לאמוד את התבטאות התגובה לעקה בדרכים שונות, אולם בחירת כלי הניטור המיטבי עדיין לא הושלם. הוצע יישום מיידי של מבנה ניסוי למבחני שדה וכן מספר אומדנים לעבודה עם ליזימטרים. לגבי ההרכב המטבוליטי דרושה עבודה נוספת, ולכן עדיין אין המלצות ליישום. לסיכום, למרות מורכבות האינטראקציה גנוטיפ $\times$ יובש $\times$ טמפרטורה ניתן לפתח כלי סלקציה הן לשלבי טיפוח מוקדמים בשדה (אוכלוסיות גדולות) והן עבור השלבים המאוחרים ביותר (קווים מצטיינים) בתנאים מבוקרים.

מבוא

החקלאות נאלצת להתמודד עם התחממות גלובלית ואירועי בצורת קשים, ובמקביל נדרשת להגדיל את יצור המזון וחומרי הגלם (סיבים, ביו-דלק ועוד) עבור אוכלוסיית העולם הגדלה. גורמים אלה הובילו למשבר העולמי שהגיע לשיא בשנת 2008 ולהכרה בצורך להקטין את תלותה של ישראל בייבוא גרעינים. הגדלת ייצור הגרעינים בישראל צריכה להתבסס מחד על שיפורי ממשק, ומאידך על טיפוח זנים חדשים בעלי כושר התמודדות עם תנאי סביבה קשים המשלבים מחסור מים וטמפ' גבוהות. הצעה מחקר זו עוסקת בחיפוש פתרונות פיסיוולוגיים וגנטיים להתמודדות עם תנאי אקלים קיצוניים בשטחי הבעל בדרום ובגליל המזרחי. חיטה מהווה את הגידול המרכזי בשדות הפלחה בארץ ועל כן המחקר מתמקד בה. עם זאת, ניתן יהיה בעתיד להיעזר בכלים שיפותחו לגידולים נוספים.

מטרת המחקר

מטרה המחקר (כללית): יצירת בסיס ידע גנטי-פיסיוולוגי וכלים הנדרשים לשיפור כושר ההתמודדות של תבואות חורף עם עקות מים וטמפרטורות גבוהות המאפיינות גידול בתנאי בעל בישראל. **מטרות משנה:** [א] מציאת קשרים בין התאמת צמחי חיטה שונים לתנאי עקה למדדים פיסיוולוגיים, פיזיקליים, ומטבוליים. [ב] פיתוח כלי סלקציה מהיר ליישום המאפשר זיהוי שונות גנטית בכומר ההתמודדות בתנאי גידול שונים.

אבני דרך ולוח זמנים שהוגדרו עבור שנה ג':

שנה ג': [2013] אימות המערכת לזיהוי תכונות פיסיוולוגיות נדרשות על ידי בחינה חוזרת בתנאים מבוקרים ובתנאי שדה באתרים שונים.

שיטות וחומרים

ככלל, שיטות העבודה בעונה השלישית היו בדומה לעונות הקודמות המפורטות בדוחות השנתיים עם שינויים קלים כמפורט להלן. במהלך המחקר הועמדו 6 ניסויי שדה במרכז מחקר גילת, 3 ניסויים בפיטוטרון, ו-6 ניסויים בחממה. להלן תוספת הניסויים שהועמדו בשנה השלישית. **חומר צמחי:** בשנת המחקר השלישית המשכנו לבחון 90 טיפוסים חיטה, מתוכם 71 קווי חיטת לחם ו-19 קווי חיטת דורום. כל הטיפוסים נבחנו בניסויי שדה, בעוד שבניסויים מבוקרים בחממה התמקדנו בשישה זנים (יובל, זהיר, בר-ניר, גדרה, גליל ורותה) המייצגים את כל קבוצות הפנולוגיה וההתאמה לתנאים שונים בישראל. בניסויים המבוקרים הזנים נזרעו במועדים שונים (על-פי בכירותם) במטרה להביאם ליום השריית העקה בשלב פנולוגי דומה. **ניסויי שדה:** שלב צעיר- זריעה מוקדמת (הצצה 30/10/12) של 90 גנוטיפים על כרב נח, 4 חזרות במבנה בלוקים באקראי. גודל חזרה 2 מ' רוחב ו 10 מ' אורך. בכל תת חלקה 4 מטר קיבלו השקיה נוספת במחצית נובמבר בשביל לאמוד השפעת עקת יובש כחודש לאחר הצצה על ההתמיינות ע"י 3 שלוחות טפטוף שהוצבו בניצב. שלב בוגר- בכדי להבטיח ששלב מילוי הגרגר יתרחש לאחר עונת המשקעים ובתקופת השרבים ניסוי מקביל עם אותם 90 גנוטיפים נזרע מאוחר (הצצה 12/12/12). הניסוי (על כרב חממה) הוצב בבלוקים באקראי, בארבע חזרות כאשר כל חזרה באורך 10 מ' ברוחב 2

מ'. כל חלקה נחצתה באורך ותת חלקה באורך 5 מ' הושקתה בטפטוף החל מה 6/2/13 למניעת עקת יובש עד הקציר. בחלקות אלו התמקדנו באיסוף נתוני טמפרטורה תוך שימוש בהיקש צמוד בכל תת חלקה, במועדים שונים ע"י מד טמפרטורה נייד, ונתוני יבול ורכיביו. עקב השוני המהותי בשלב הפנולוגי של הגנוטיפים בכל יום מדידה חישוב העקה נעשה על פי Bidinger et al. (1982) כפי שמופיע באתר של אברהם בלום <http://plantstress.com>.

ניסוי פיטוטרון: בניסוי זה נבחנה השפעת עקת-חום חולפת בשלב מילוי הגרגר על מדדיהם הפיזיולוגיים של ששת הזנים בתנאים מבוקרים. ששת הזנים (יובל, זהיר, גדרה, ברנר, רותה וגליל) נזרעו בעציצים בנפח 3.9 ליטר וקוטר 18 ס"מ, מלאים ב-1.5 ק"ג תערובת שתילה סטנדרטית, בעומד של 10 זרעים לעציץ. מכל טיפול (ביקורת ועקת-חום) 4 עציצים לזן. סה"כ 48 עציצים. תחילת הגידול התבצעה בחדר הקר בפיטוטרון (16/10 מ"צ) והמשכה בחדר חמים יותר (22/16 מ"צ). כאשר הגיעו הזנים השונים לשלב מילוי הגרגר שימש חדר זה לטיפול הביקורת, בעוד שצמחי טיפול העקה נחשפו ל-40 מ"צ בשעות היום, ולאחר לילה בתנאי הביקורת (16 מ"צ), הוחזרו לתנאי העקה ונמדדו במשך יום נוסף. במשך כל תקופת הגידול וגם בעת העקה הושקו כל העציצים באופן סדיר. המדידות בוצעו באמצעות מערכת פוטוסינתזה ניידת (LI-COR, LI-6400). הגדרות המכשיר בעת המדידות: זרימת אויר (Flow rate) $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{sec}^{-1}$, עוצמת הארת PAR $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ אשר מתוכה 10% אור כחול, ריכוז CO_2 370 ח"מ. הניסוי כלל שני מחזורי מדידת עקה ומחזור מדידת "התאוששות" שבו שהו כל הצמחים בתנאי טיפול הביקורת. בסיום הניסוי ולאחר הבשלה וייבוש בבית-רשת, נקבעו היבול ורכיביו.

ניסוי חממה: במערכת הליזימטרים בשנת מחקר זו בוצעו שני ניסויים, הראשון בשלב עלה דגל והשני בעת מילוי גרגר (לאחר זריעה מדורגת שאיפשרה להגיע לתזמון פנולוגי דומה). כל ניסוי כלל שלושה שלבים: (1) גידול הצמחים בתנאים מיטביים של טמפרטורה וזמינות מים לפרק זמן קצוב (כשבוע), (2) הפעלת עקת מים/טמפרטורה לפרק זמן קצוב התלוי בתגובת הצמחים לעקה המופעלת, (3) חזרה לתנאי גידול מיטביים ומעקב אחר קצב התאוששות הצמחים לאורך פרק זמן קצוב. בניסויים אלו הטמפרטורה של חלק מהצמחים נוטרה באופן רציף.

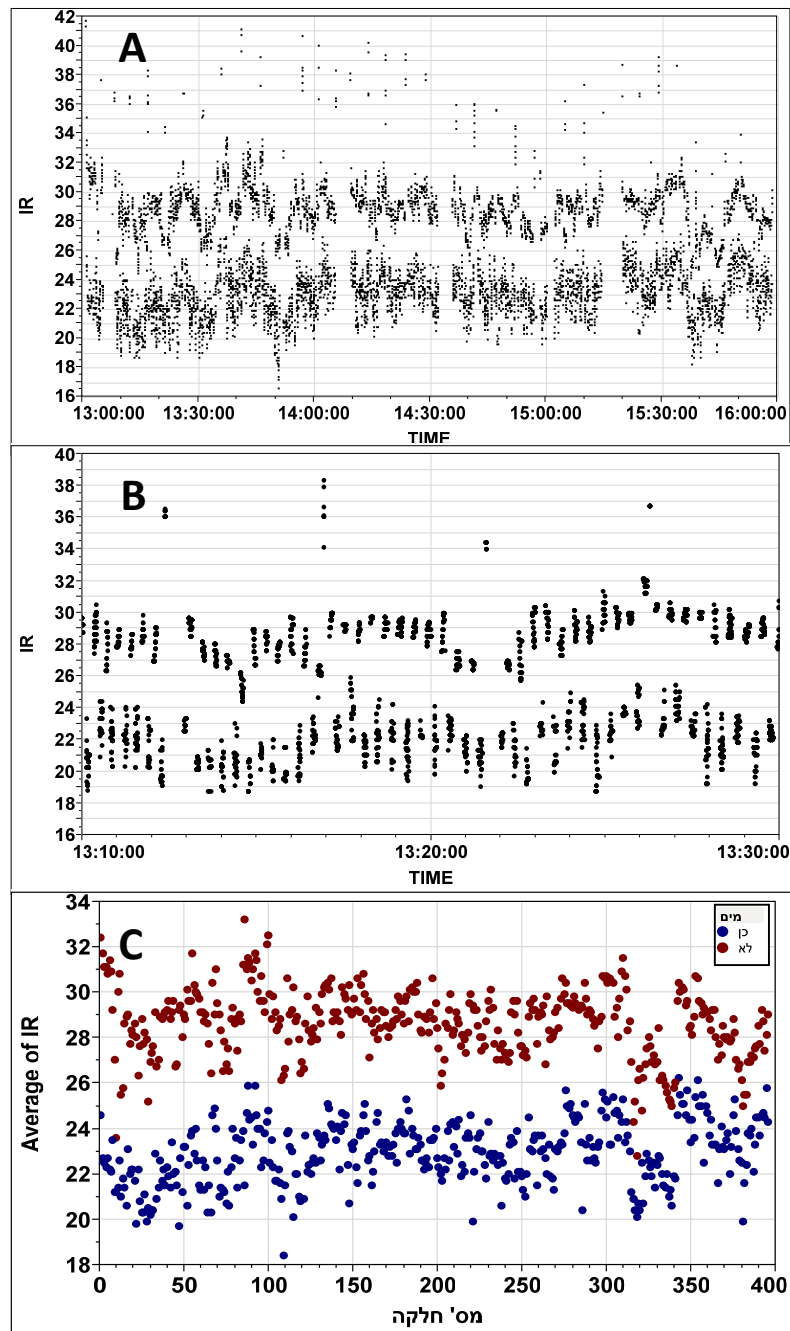
סריקה מטאבולומית: הפרופיל כלל מאות מטבוליטים וביניהם: 1. פרקורסורים של מטבוליטים משניים, כולל ח' אמינו וח' שומניות; 2. סוכרים וחומצות אורגניות; 3. מטבוליטים הקשורים לעקות, כולל נוגדי חימצון. נבדקו דוגמאות של העלה הצעיר הפרוש או עלה הדגל (ניסויי התארכות ומילוי גרגר בהתאמה) אשר נדגמו משני ניסויי הליזימטרים במהלך עקה (5 ימים לאחר תחילת הייבוש) ובהתאוששות מעקה (4 ימים לאחר תחילת ההתאוששות). בנוסף נבדקו גרגרים של ששת הזנים מניסויי השדה.

תוצאות ודין

מד טמפרטורה IR נייד

בעונות הקודמות נמצא כי החלקות שנקראו ראשונות הציגו טמפרטורה "חמה" יחסית בעוד שבהמשך איסוף הנתונים הצמחים התקררו. לכן, בכדי להתגבר על בעיה זו שיתכן ונובעת מהחיישן

עצמו בעונה זו הטמפרטורה נמדדה באופן רציף כאשר לכל חלקה בעקה נמדדה בצמוד חלקה היקש מושקית (איור 1).

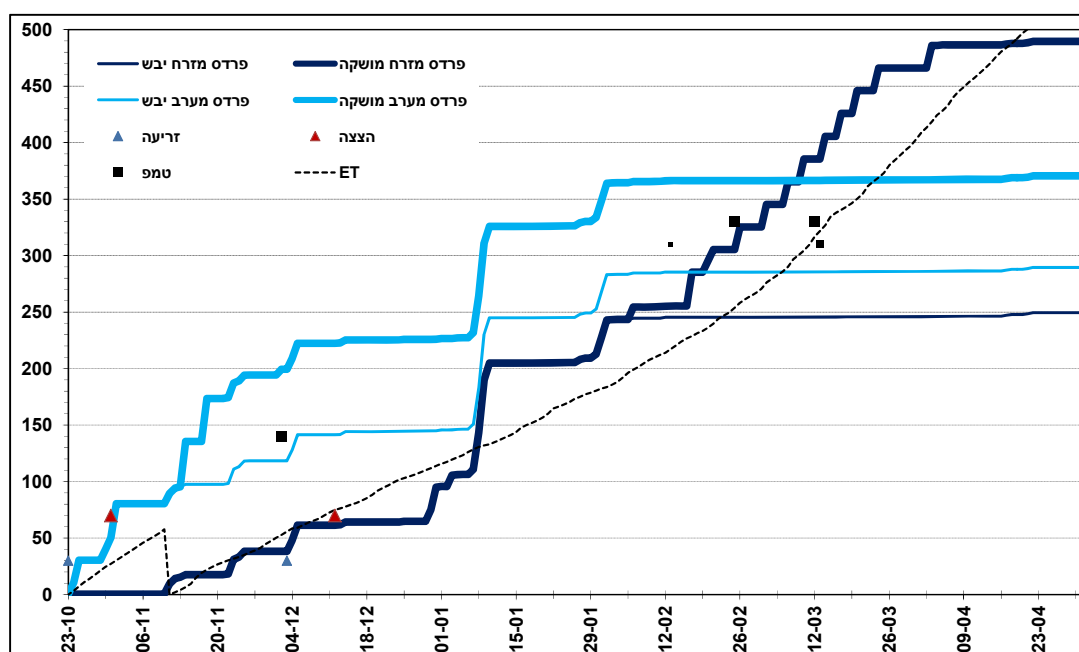


איור 1. טמפרטורת קמה ב-12/3/13, גילת זריעה מאוחרת, תשע"ג. A- קריאה רציפה של כל החלקות, מעל 40000 מדידות. B- עשרים דקות מדידה. C- ממוצע הטמפרטורה של הקמה בכל תת חלקה בקריאה רציפה, הצבע מציין את טיפול עקת המים.

בדוגמה זו של יום מדידה אחד ניתן לראות קריאות חריגות של טמפרטורה גבוהה (1A) המייצגות קריאה של טמפרטורת קרקע בסוף כל שורה. מכל תת חלקה נלקחו מספר מדידות המציגות שונות בתוך תת החלקה, אך תמיד היה הבדל מהותי גדול יותר בין הטמפרטורה שנמדדה בשני טיפולי המים (1B). עבור עיבוד הנתונים חושבה לכל תת חלקה טמפרטורת קמה ממוצעת (1C), ונתונים אלו אפשרו השוואה בין שני טיפולי המים ללא תלות בשעת המדידה, ברוחות ובטמפרטורת הסביבה.

עקת יובש בחיטה בשלב צעיר – ניסוי שדה

הניסוי התמקד בחודשים נובמבר ודצמבר. גשם שירד מיד לאחר ההנבטה, מנע עקת יובש, אך לאחר זמן התפתחו תנאי עקה באזורים שלא קיבלו השקיות בטפטוף (איור 2). במדידת טמפרטורת הקמה ב- 2/12/12 לא נצפו הבדלים בין הגנוטיפים. השקיה וגשמים לאחר יום המדידה אפשרו גידול ללא כל עקת יובש נוספת. למרות העדר הבדל בטמפרטורה בזמן העקה התקבלה שונות בתגובת הגנוטיפים לעקה הן בכושר יצירת שיבולים פוריים והן במספר השיבוליות לשיבולת, רכיבי יבול שנקבעו בזמן העקה. עם זאת לא נצפה הבדל מובהק בין ששת הזנים הנבחרים בלבד במספר השיבולים, ונצפה הבדל רק ביצירת שיבוליות כתגובה לעקה כדלהלן: רותה (א); זהיר, יובל (אב); בר-ניר, גדרה (בג); גליל (ג). לשלושת הזנים רותה וזהיר ויובל התקבל ערך עקה חיובי המראה על עמידות, ולשלושת הזנים האחרים ערך שלילי המצביע על רגישות. המתאם של רמת הפגיעה במספר השיבולים והשיבוליות עם פרמטרים שונים היה נמוך מאוד, לדוגמא המתאם עם הפגיעה בטמפרטורת הקמה היה 0.16. מכאן שלא ניתן להשתמש באחד המדדים שנמדדו בכדי לאפיין קווים מצטיינים שבהם לא נפגעת ההתמיינות לשיבולים ולשיבוליות.



איור 2. משקעים, התאדות וימי מדידה בניסוי של השפעת עקת יובש בניסויי השדה, גילת תשע"ג. פרדס מערב- זרעה מוקדמת ועקה בשלב ההתמיינות; פרדס מזרח- זרעה מאוחרת ועקה בשלב מילוי הגרגר.

עקת חום בחיטה בשלב מילוי גרגר – ניסוי שדה

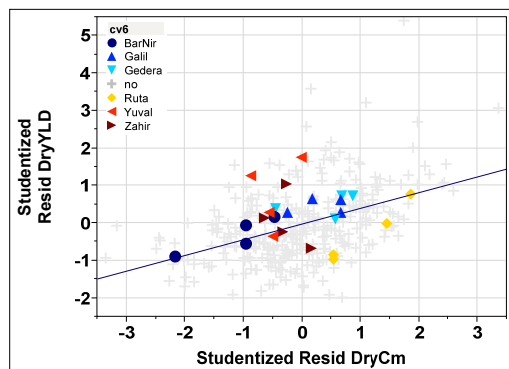
ניסוי זה קיבל גשם והשקיה לאורך כל העונה (איור 2) כך שמים לא היו גורם מגביל בטיפול המושקה. עצירת הגשם בראשית פברואר אפשרה יצירת עקת יובש שנוצלה לאיסוף מידע. בעונה קודמת נצפתה מגמה שככל שהגנוטיפ בכיר יותר כך הוא קר יותר (ההפרש עם הסביבה גדול יותר) בתאריכים מוקדמים אולם לאחר מכן לגנוטיפים אלו יכולת קירור מופחתת, כלומר היתה תלות של הטמפרטורה בשלב הפנולוגי של הזן. לכן, שונות מהותית בין גנוטיפים הרלבנטית לשאלת המחקר יכולה להיבחן רק מול בקורת יבשה/מושקית צמודה לכל חלקה כפי שנעשה בשנה זו. אולם גם בניסוי זה, בניטרול הפנולוגיה, במדידת טמפרטורת הקמה ב-25/2/13 וב-12/3/13 אמנם נצפו הבדלים בין הגנוטיפים בתגובתם לעקה כפי שנמדדה בטמפרטורת הקמה (איור 1, נספח 1), אולם בהשוואת ששת הזנים הנבחרים בלבד לא התקבלה שונות מובהקת. באופן דומה התקבלה השפעה מובהקת של הגנוטיפ כתגובה לעקה במדדים: יבול גרגרים, משקל נפחי, משקל אלף, אחוז חלבון וגובה הצמח (נספח 1), אך גם השפעת הגומלין מים*גנוטיפ נמצאה מובהקת. במדדים אלו לעתים היה הבדל מובהק בין ששת הזנים ולעתים לא התקבלה מובהקות (טבלה 1). ניתן לראות כי תוצאות הניתוח מציגות בצורה מציננת את תגובת הזנים לעקת יובש בעת מילוי הגרגר, כאשר הזן יובל קיבל את הערך החיובי הגבוה ביותר הן במשקל הנפחי והן במשקל הגרגר ובכך מבטא את כושרו במילוי גרגר היטב גם בתנאי עקה, ולחילופין הזן שמתקשה בכך ביותר הינו בר-ניר. למרות שלא התקבלה מובהקות, יובל גדרה וגליל הציגו ערך חיובי (עמידות) כתגובה ליובש בכושר יצירת יבול, בעוד שזהיר ובמיוחד בר ניר ורותה הציגו רגישות לעקה שהתאפיינה בערך שלילי. באופן דומה, ללא מובהקות, הזן בר ניר שמר על טמפרטורה נמוכה יותר כתגובה לעקה (ערך חיובי גבוה), דבר שכנראה עלה במחיר של צריכת מים רבה יותר ופגיעה בכושר מילוי הגרגר. בבדיקת המתאמים (טבלה 2) ניתן לראות כי כושר ייצור הגרגרים נמצא בקשר הפוך לאחוז החלבון, אך סביר שזו תוצאה ממיהול ולכן לא ניתן להשתמש במדד זה לסלקציה. המתאם הבא הגבוה ביותר היה עם גובה הצמח (איור 3), ואח"כ עם הטמפרטורה (איור 4). עבור המשקל הנפחי נמצא מתאם גבוה עם משקל הגרגר (איור 5). ניתן לראות כי ששת הזנים שנבחרו לניסויים המבוקרים מייצגים את רוב השונות ולכן ניתן לקבוע כי המידע שהתקבל מהניסויים המבוקרים מייצג במידה רבה את כלל השונות שבאוסף הגנוטיפים. עם זאת, לפחות לגבי התגובה המוצגת באיור 4, נראה כי ששת הזנים היו יותר יעילים ביצירת יבול כפונקציה של הטמפרטורה, שכן כמעט כל החזרות היו מעל הקו (לפחות לגבי המצב ב-25/2/13). יש להדגיש שמתאמים אלו הינם עם רמת הפגיעה עקב עקה. מכאן ניתן להסיק שבשדה של דורות מוקדמים הצבת מערכת טפטוף המחלקת את שורת הזריעה לשני טיפולים תאפשר למטפח לזהות קווים העמידים יותר לעקות בעת מילוי הגרגר בפשטות יחסית.

טבלה 1. ערך התגובה לעקה (השארית חלקי שגיאת התקן) עבור טמפרטורת הקמה בעקה ומדדים צמחיים, גילת תשע"ג זריעה מאוחרת ועקה בשלב מילוי הגרגר.

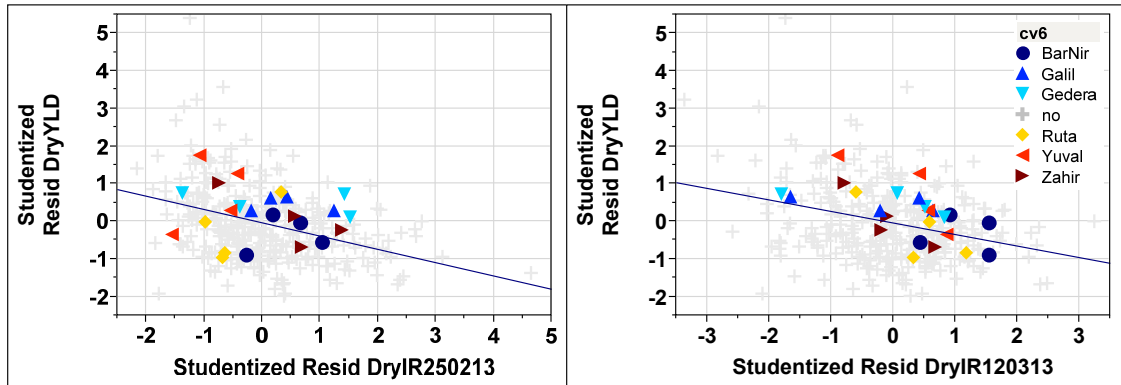
זן	ימים לשתבולת	יבול גרגרים	משקל נפחי	אחוז חלבון	משקל אלף	גובה הצמח	טמפ' 250213	טמפ' 120313
יובל 67	0.771 A	1.904 A	-0.846 C	1.626 A	-0.464 CD	-0.853 A	0.156 A	
זהיר 69	-0.066 A	0.194 B	-0.001 AB	0.212 B	-0.283 BCD	0.327 A	0.054 A	
בר-נר 75	-0.172 A	-1.580 D	0.744 A	-0.564 BC	-1.112 D	0.667 A	0.919 A	
גדרה 75	0.473 A	0.166 B	-0.724 BC	0.234 B	0.434 AB	0.266 A	-0.143 A	
גליל 81	0.363 A	0.307 B	-0.659 BC	-0.079 B	0.289 ABC	0.310 A	-0.047 A	
רותה 85	-0.279 A	-0.704 C	0.408 A	-1.053 C	1.085 A	-0.478 A	0.420 A	

טבלה 2. המתאם בערכי התגובה לעקה (השארית חלקי שגיאת התקן) בין טמפרטורת הקמה בעקה ומדדים צמחיים, גילת תשע"ג זריעה מאוחרת ועקה בשלב מילוי הגרגר.

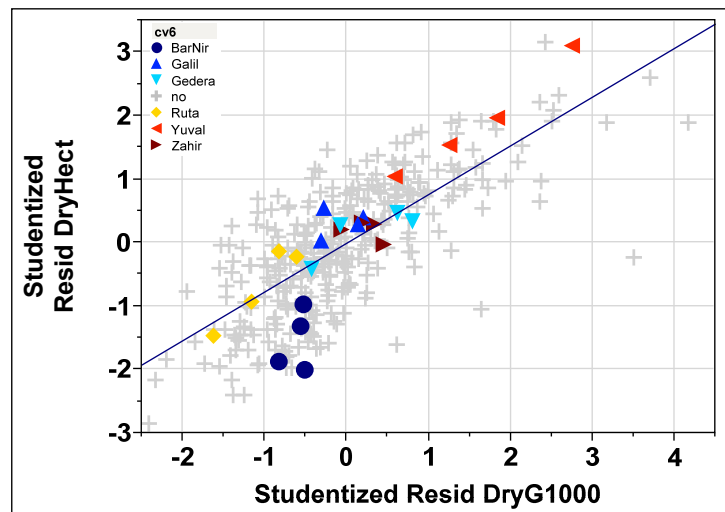
Studentized Residuals	יבול גרגרים	משקל נפחי	אחוז חלבון	משקל אלף	גובה הצמח	טמפ' 25/2/13	טמפ' 12/3/13
יבול גרגרים	1.000	0.315	-0.555	0.432	0.444	-0.376	-0.359
משקל נפחי	0.315	1.000	-0.283	0.746	0.064	-0.135	-0.193
אחוז חלבון	-0.555	-0.283	1.000	-0.419	-0.191	0.196	0.253
משקל אלף	0.432	0.746	-0.419	1.000	0.059	-0.181	-0.127
גובה הצמח	0.444	0.064	-0.191	0.059	1.000	-0.367	-0.236
טמפ' 25/2/13	-0.376	-0.135	0.196	-0.181	-0.367	1.000	0.261
טמפ' 12/3/13	-0.359	-0.193	0.253	-0.127	-0.236	0.261	1.000



איור 3. המתאם בערכי התגובה לעקה (השארית חלקי שגיאת התקן) בין יבול גרגרים וגובה הצמח, גילת תשע"ג זריעה מאוחרת ועקה בשלב מילוי הגרגר.



איור 4. המתאם בערכי התגובה לעקה (השאריית חלקי שגיאת התקן) בין יבול גרגרים וטמפרטורת הקמה בשני תאריכים, גילת תשע"ג זריעה מאוחרת ועקה בשלב מילוי הגרגר.



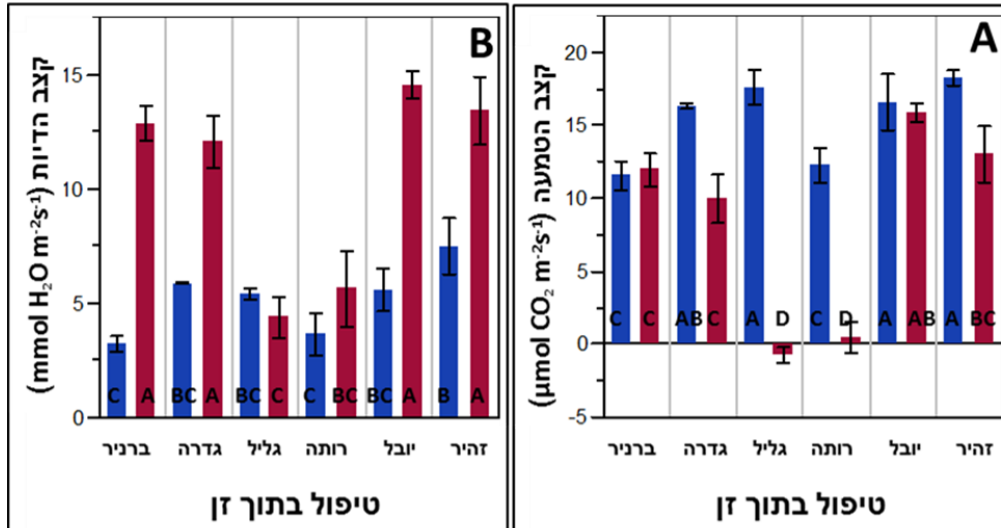
איור 5. המתאם בערכי התגובה לעקה (השאריית חלקי שגיאת התקן) בין משקל נפחי ומשקל אלף, גילת תשע"ג זריעה מאוחרת ועקה בשלב מילוי הגרגר.

ניסוי חום בפיטוטון: עקת חום בשלב מילוי הגרגר - ניסוי בתנאים מבוקרים

קצב ההטמעה הממוצע הושפע במובהק מגורמי הטיפול, הזן והשפעת הגומלין זן*טיפול (איור 6 A). בין הזנים התקבלה חלוקה מובהקת לצמדי הבכירות, ללא הבדלים בתוכם, כשהצמד הבכיר (יובל וזהיר) מציג את קצב ההטמעה הגבוה ביותר, אחריו הבינוניים (גדרה וברניר) ולבסוף האפילים (רותה וגליל). השפעת הטיפול על קצב ההטמעה ניכרה באופן מובהק בזנים זהיר, גדרה, גליל ורותה, אשר בהם נצפתה ירידה בקצב ההטמעה בהשפעת טיפול החום. בזנים יובל וברניר לא הושפע קצב ההטמעה הממוצע מטיפול החום.

קצב הדיות הושפע במובהק מגורמי הזן, הטיפול, והשפעת הגומלין זן*טיפול. השפעת הטיפול על קצב הדיות תלוית-זן (איור 6 B); בצמדי הבכירות הבכירים והבינוניים ניכרה עליה מובהקת בקצב הדיות של צמחי הטיפול לעומת הביקורת. צמחי הטיפול של הזנים הללו לא נבדלו זה מזה בקצב

הדיות הממוצע. בין צמחי הביקורת נצפה הבדל מובהק רק בין זהיר לברניר ורותה. בצמד האפיל לא נצפה הבדל מובהק בין הטיפולים ובין הזנים.

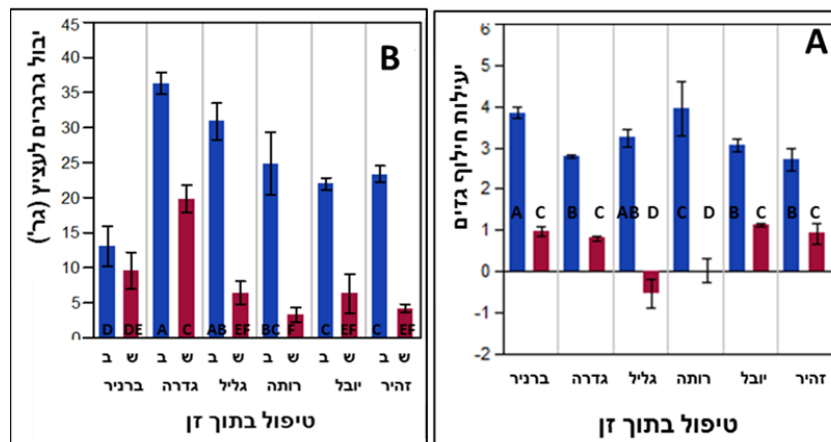


איור 6: קצב ההטמעה (A-מימין) וקצב הדיות (B-משמאל) ב-6 הזנים, בטיפולים השונים. עמודה כחולה- ביקורת, עמודה אדומה- שרב (ממוצע של 4 חזרות בשני ימי מדידה $\pm$ שגיאת תקן).

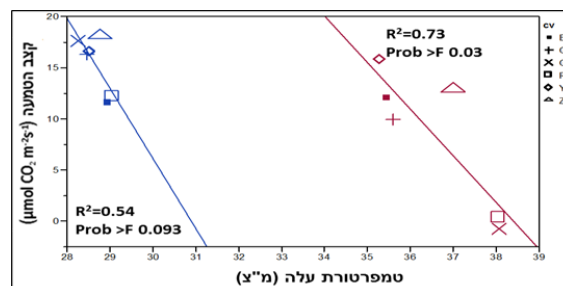
יעילות חילוף הגזים, חושבה ע"י חלוקת קצב ההטמעה בקצב הדיות, ומתוארת באיור 7 A, הושפעה במובהק מגורמי הזן, הטיפול והשפעת הגומלין זן*טיפול. יעילות חילוף הגזים בצמחי הביקורת היתה גבוהה במובהק מזו של צמחי הטיפול, בכל הזנים. בבחינת השפעת הזן על היעילות נמצא ברניר כיעיל ביותר, ללא הבדל מובהק מיובל ורותה. יובל, רותה, זהיר וגדרה לא נבדלו זה מזה במובהק. גליל, שנמצא פחות יעיל מכולם, נבדל מיתר הזנים מלבד גדרה וזהיר.

יבול (משקל) הגרגרים לעצין המתואר באיור 7 B, הושפע במובהק מכל גורמי המודל: זן, טיפול, ה"ג זן*טיפול, וגורם הבלוק האקראי. מבין הזנים הציג גדרה יבול גבוה במובהק מכולם. אחריו נמצא גליל, ויתר הזנים לא נבדלו במובהק זה מזה. היבול הממוצע בעצמי הביקורת היה גבוה פי שלושה מזה שבעצמי הטיפול. בתוך הזנים נצפתה פחיתה מובהקת ביבול בהשפעת הטיפול בכל הזנים, מלבד בברניר, בו לא נמצא הבדל מובהק בין הטיפולים.

קשר שלילי ומובהק נמצא בין טמפרטורת העלה בעת מדידת השרבים לבין קצב ההטמעה בצמחי טיפול העקה (איור 8). בצמחי הביקורת מסתמנת מגמה דומה, הנשללת ברמת הביטחון שנבחרה למבחן (95%), אך מתקבלת ברמה מעט פחותה (90%). מעניין לציין שבשני הטיפולים ממוקם זהיר מעל לקו הרגרסיה, כלומר הראה קצב הטמעה גבוה יחסית לממוצע כל הזנים באותה טמפרטורה. עוד נמצא מתאם חיובי בין קצב ההטמעה למקדם האסיף, משקל יבול הגרגרים וגודלם (משקל ה-1000), ומתאם שלילי בין קצב ההטמעה לביימסה הוגטטיבית הסופית (תוצאות לא מוצגות).



איור 7: יעילות חילוף גזים (A), ויבול הגרגרים הסופי לעצין (B) בטיפולים השונים. עמודה כחולה-טיפול ביקורת (ב), עמודה אדומה-טיפול שרב (ש), ממוצע של 4 חזרות בשני ימי מדידה $\pm$ שגיאת תקן.

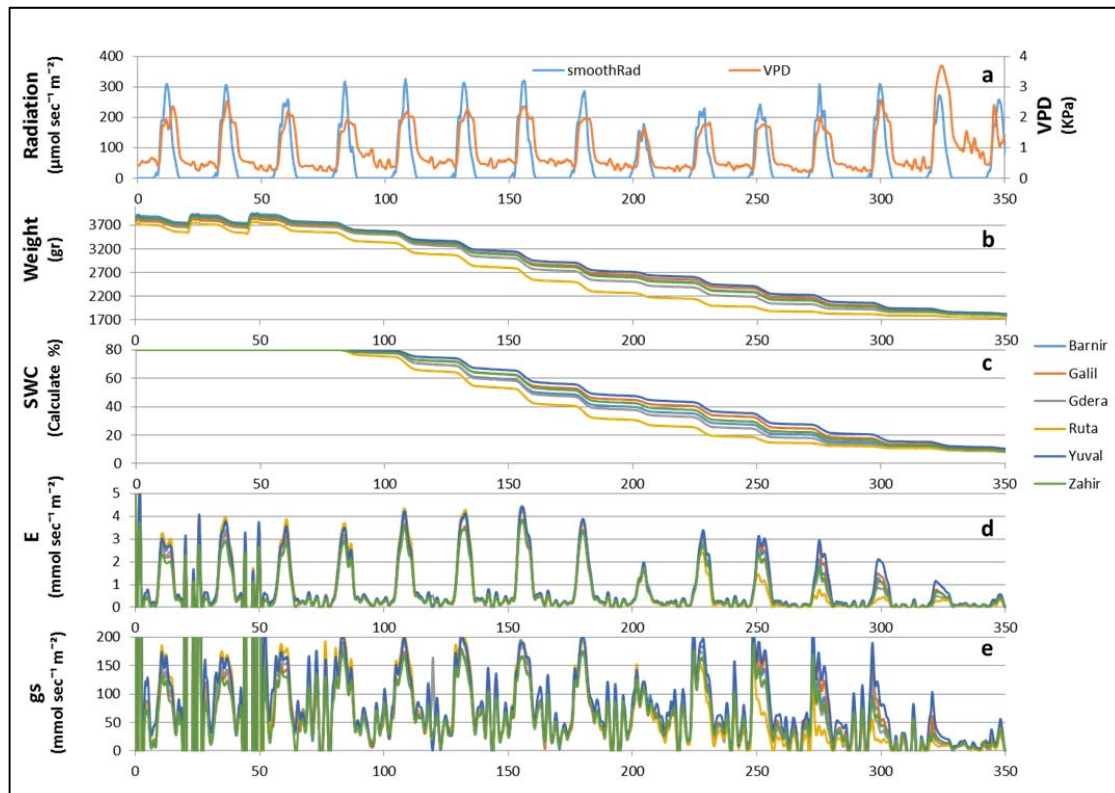


איור 8: הקשר בין טמפרטורת העלה הממוצעת בעת השרבים לבין קצב ההטמעה. ממוצע של 4 חזרות בשני מועדים. סמלים לפי זנים, צבעי סמלים לפי טיפולי עקה: כחול-ביקורת, אדום-שרב.

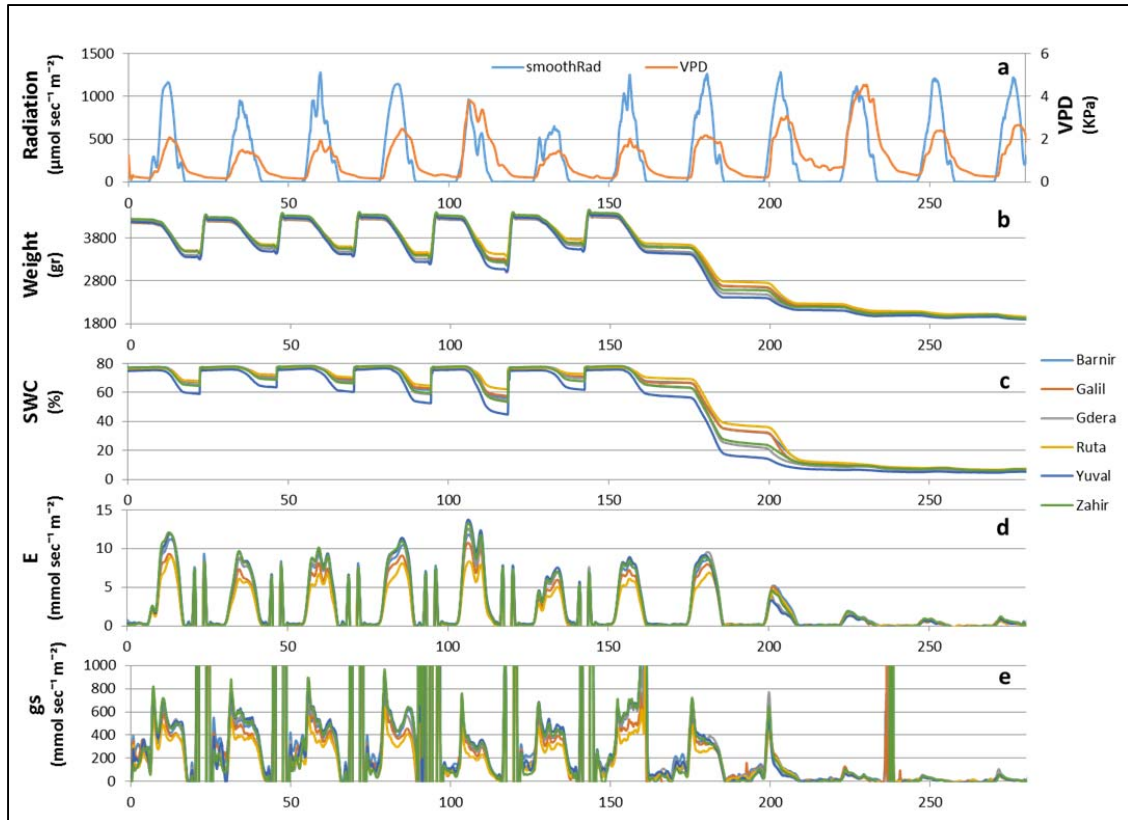
ניסוי יובש בחממת ליזימטרים: עקת יובש בשלבים פנולוגיים שונים

בבסיס המדידות במערכת הליזימטרים עומד העיקרון הפשוט שבו צמחים שומרים על מתאם הדוק בין הטרנספירציה ליבול. המערכת מנצלת את העובדה שקצב הטרנספירציה יורד באופן חד ומשמעותי בעקבות אביוטיות ומגיב באופן חיובי להקלה בעקבות אלה, ואת הקשר הלינארי בין צבירת מסה של הצמח והיבול. במחקר בחנו מספר מדדים רציפים (איבוד מים מהצמח השלם, טרנספירציה מנורמלת לשטח ומפתח פיוניות של הצמח השלם) וזאת בתגובה לשינוי במצב המים בקרקע וכן לשינויי הנתונים האטמוספריים. הנתונים נבדקו במקביל על כל ששת הקווים וכן על ביקורות מושקות היטב וזאת במספר מצבים פנולוגיים עיקריים (איורים 9-12, הביקורות אינן מוצגות). בניסוי יובש בשלב ההתמיינות (איור 9), במהלך היובש הצמחים נחשפו לשלושה ימים של עקה מתונה יחסית עקב עננות וירידה ב-VPD. ניתן לראות שהזן רותה מנצל את כל מצבורי המים ונכנס ליובש בשלב מוקדם משאר הזנים, שני זנים נוספים גליל ויובל (אפיל ובכיר) בולטים בקצב טרנספירציה גבוה ועם זאת נכנסים ליובש אחרונים. כמו כן רואים כיצד הצמחים מגיבים לתנאי הסביבה והתגברות העקה

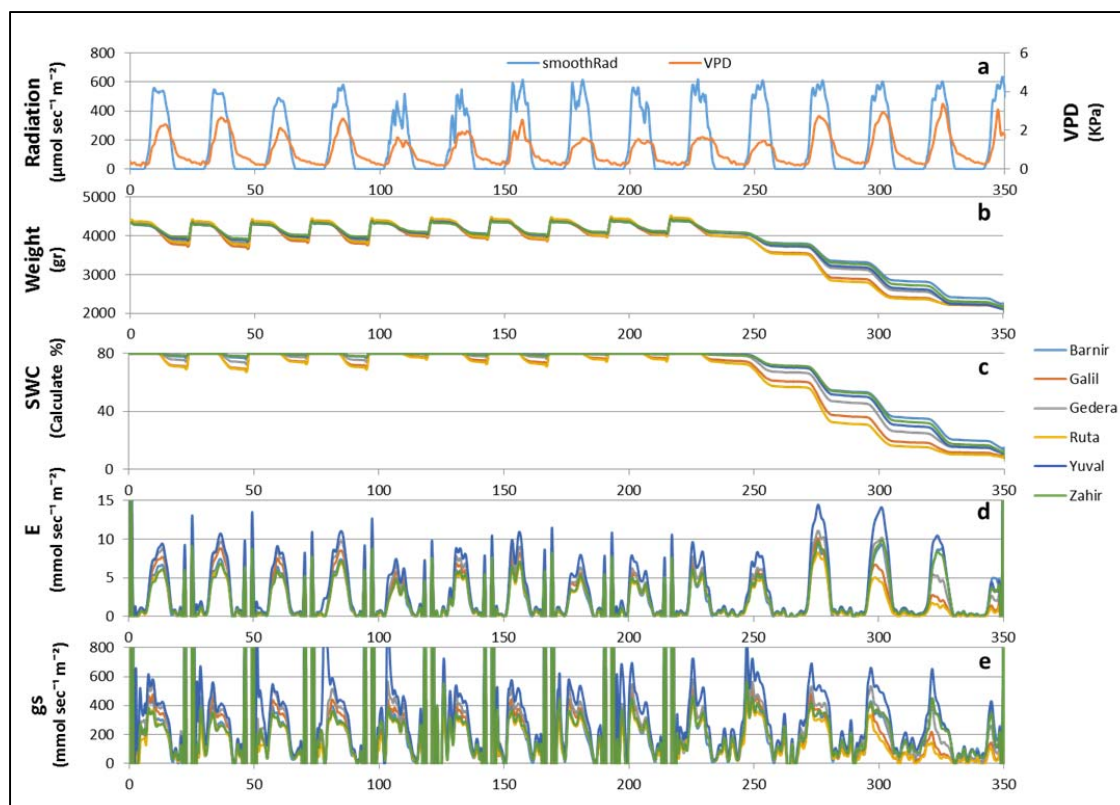
תוך הפחתת טרנספירציה. בניסוי המקביל (איור 10) במהלך היובש הצמחים חוו 6 ימים של עקה מתגברת כפי שניתן לראות בעליה ב- VPD. בניסוי זה קשה להצביע על מגמה שונה משמעותית בין הקווים השונים, אך הזנים רותה וגליל מצליחים לדחות במעט את הכניסה ליובש בניגוד ליובל שמהווה סמן קיצון. בשלב מילוי גרגר (איור 11) מהלך היובש הינו מהיר, עקב תנאי הסביבה אופיינים לשלב הגידול המשלבים קרינה חזקה ו- VPD גבוהה. ניתן לראות שהזנים האפילים רותה וגליל נכנסים ליובש בשלב מוקדם משאר הזנים, בעוד שהבכירים זהיר ויובל ממשיכים עם ערכי טרנספירציה יציבים גם עם הכניסה ליובש. ממצא זה הינו בהתאמה לתגובתם לעקת חום בניסוי הפיטוטרון. גם בניסוי החוזר (איור 12) למרות שמהלך היובש הינו מתון ויציב יחסית לעונה (עקב VPD מתון), ניתן לראות שהזן רותה מוביל את הכניסה ליובש אך גם מפחית טרנספירציה עקב כך, ובמקביל זהיר ויובל ממשיכים עם ערכי טרנספירציה יציבים עם הכניסה ליובש. כמו כן רואים כיצד הצמחים מגיבים לתנאי הסביבה והתגברות העקה בהפחתת הטרנספירציה.



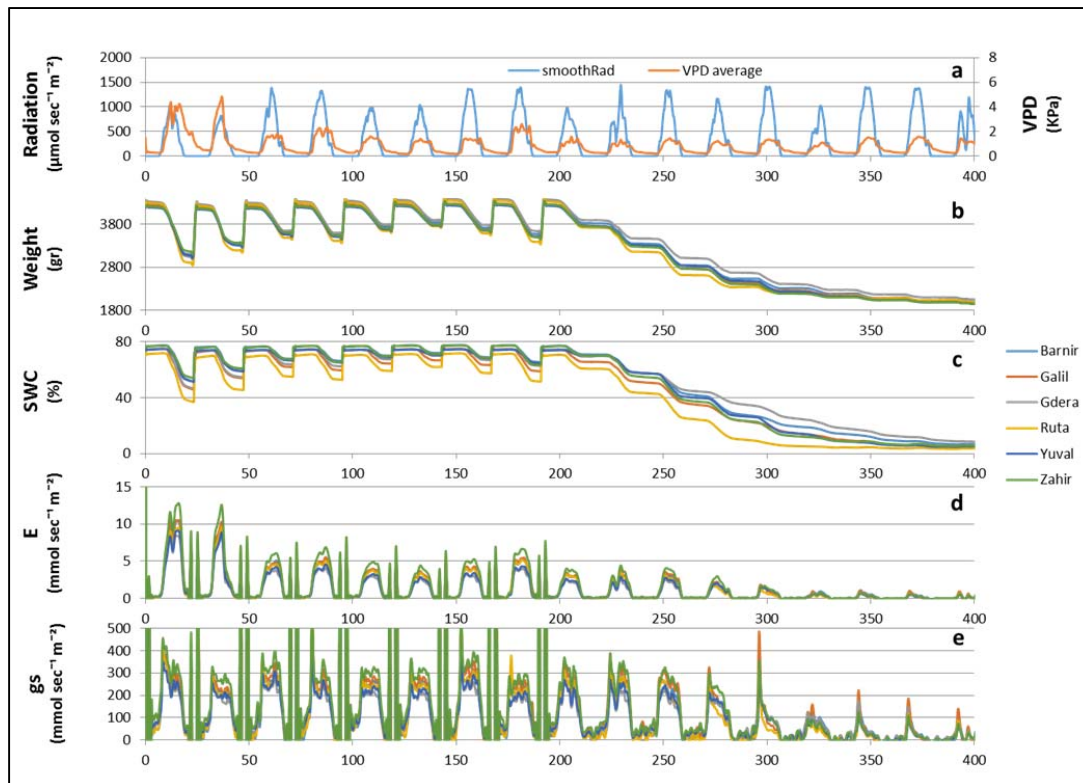
איור 9: ניסוי יובש בשלב ההתמיינות (דצמבר 2011). תגובת זני החיטה לתנאי סביבה ומצב המים בקרקע. הפרמטרים הפיסיולוגיים נמדדו מהצמח השלם בשלב התמיינות חיטה (3 עלים), במהלך 13 ימים של עקת יובש. (a) מהלך הדרישה האטמוספירית (VPD) ועוצמת הקרינה; (b) משקל ממוצע גולמי של העציצים על המערכת ($nT=8$, $nC=3$); (c) ממוצע תכולת המים היחסית המחושבת בקרקע העציצים ($nT=8$); (d) קצב הטרנספירציה היומית הממוצעת לכל זן; (e) מוליכות הפיוניות היומית הממוצעת לכל חופת הצמח המחושבת לכל זן ($nT=8$, $nC=3$).



איור 10: ניסוי יובש בשלב ההתמיינות (פברואר-מרץ 2013). תגובת זני החיטה לתנאי סביבה ומצב המים בקרקע. הפרמטרים הפיסיולוגיים נמדדו מהצמח השלם בשלב התמיינות חיטה (3 עלים), במהלך 6 ימים של עקת יובש. (a) מהלך הדרישה האטמוספרית (VPD) ועוצמת הקרינה; (b) משקל ממוצע גולמי של העציצים על המערכת (nT=4-5, nC=3); (c) ממוצע תכולת המים היחסית המחושבת בקרקע העציצים (nT=4-5); (d) קצב הטרנספירציה היומית הממוצעת לכל זן; (e) מוליכות הפיוניות היומית הממוצעת לכל חופת הצמח המחושבת לכל זן (nT=4-5, nC=3).



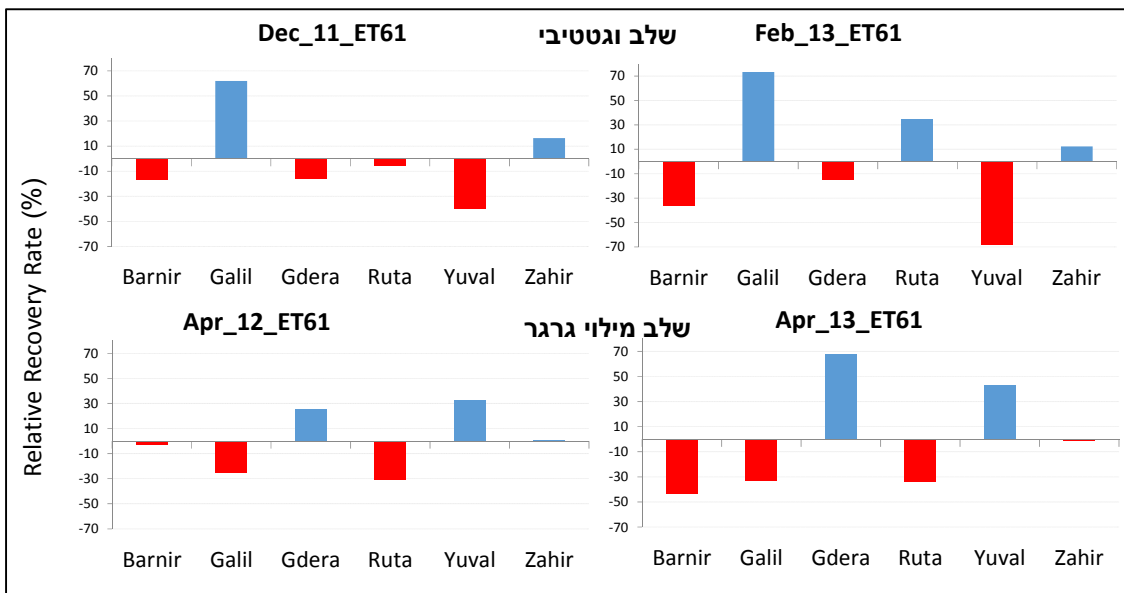
איור 11: ניסוי יובש בשלב מילוי גרגר (אפריל 2012). תגובת זני החיטה לתנאי סביבה ומצב המים בקרקע. הפרמטרים הפיסיולוגיים נמדדו מהצמח השלם בשלב מילוי גרגר, במהלך 6 ימים של עקת יובש. (a) מהלך הדרישה האטמוספרית (VPD) ועוצמת הקרינה; (b) משקל ממוצע גולמי של העציצים על המערכת ($nT=8$, $nC=3$); (c) ממוצע תכולת המים היחסית המחושבת בקרקע העציצים ($nT=8$); (d) קצב הטרנספירציה היומית הממוצעת לכל זן; (e) מוליכות הפיוניות היומית הממוצעת לכל חופת הצמח המחושבת לכל זן ($nT=8$, $nC=3$).



איור 12: ניסוי יובש בשלב מילוי גרגר (אפריל 2013). תגובת זני החיטה לתנאי סביבה ומצב המים בקרקע. הפרמטרים הפיסיולוגיים נמדדו מהצמח השלם בשלב מילוי גרגר, במהלך 9 ימים של עקת יובש. (a) מהלך הדרישה האטמוספרית (VPD) ועוצמת הקרינה; (b) משקל ממוצע גולמי של העציצים על המערכת ($nT=4-5$, $nC=3$); (c) ממוצע תכולת המים היחסית המחושבת בקרקע העציצים ($nT=4-5$); (d) קצב הטרנספירציה היומית הממוצעת לכל זן; (e) מוליכות הפיוניות היומית הממוצעת לכל חופת הצמח המחושבת לכל זן ($nT=4-5$, $nC=3$).

כיוון שמטרת הניסויים הייתה לכמת ולאתר נתונים פיסיולוגיים שיוכלו לשמש כסמנים לגנוטיפים שנפגעים פחות מהעקה האביוטית ומראים קצבי טרנספירציה משופרים, עד לגבול המסכן את קיומו של הצמח, דבר המוביל בסופו של תהליך לעליה יחסית ביבול, ניתוח הנתונים התמקד ביכולת להוציא מהם מדדים יחסיים של ההתאוששות מעקה. השתמשנו בשיטת האינדקס היחסי של הפרמטר הנמדד, ביחס לביקורת ולממוצע הפגיעה באוכלוסייה כולה ביחס לביקורת שלה (DRI). בשל השינויים הפנולוגיים וכן השינוי בתנאי הסביבה בין הניסויים השונים נתקלנו בשונות רבה בין נתוני הניסויים מהחזרות השונות. עם זאת נמצא מדד שהראה הדירות בין החזרות בשלבים הפנולוגיים הדומים (ניסוי דצמבר 2011 ופברואר 2013 עקה בתקופה הוגטיבית, וניסויי אפריל 2012 ואפריל 2013 עקה בעת מילוי הגרגר) והוא מדד משוקלל האומד התאוששות יחסית מעקת יובש. מדד זה הינו שקלול של רמת השרידות בתום תקופת העקה וקצב ההתאוששות, ביחס לצמחי הביקורת (איור 13). ע"פ מדד זה לזן גליל יש יכולת התאוששות גבוהה מאד כאשר העקה ניתנת בשלבים המוקדמים של

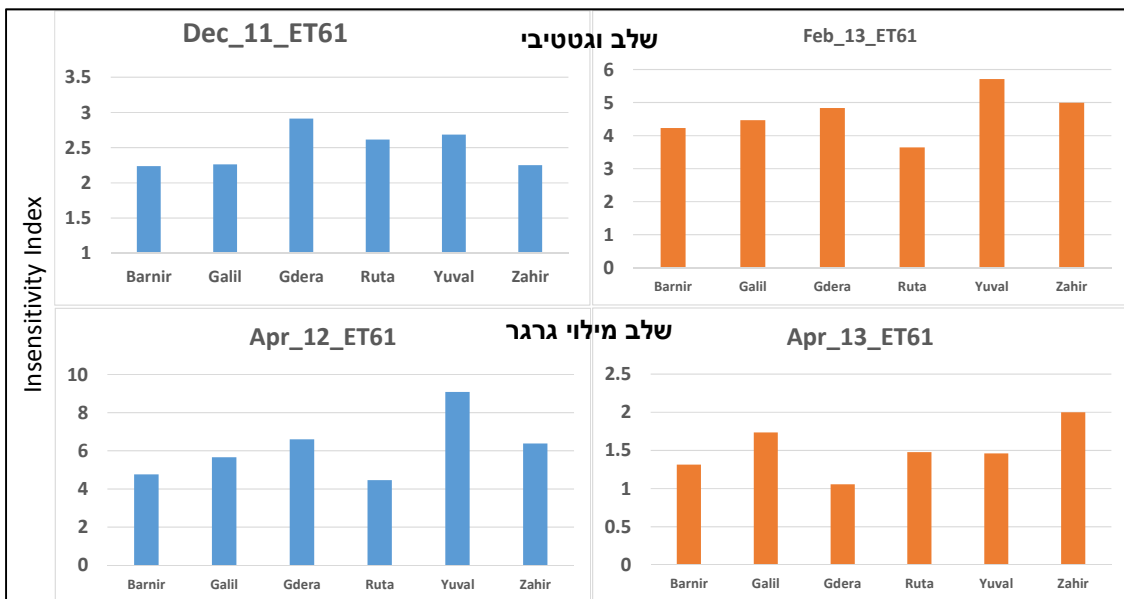
הגידול. יתכן שהסיבה לכך נעוצה בכמויות הקטנות יחסית של אידוי מהצמח השלם כאשר במקביל ביכולתו לשמור על מפתח פיוניות יחסית גבוהה דבר המעיד על פרודוקטיביות. יכולת זו מוסברת ע"י מבנה צמח קומפקטי יחסית בשלבים הראשונים של הגידול. לעומתו, הראו צמחי הזן יובל מגמה הפוכה, כלומר פגיעות בשלבים המוקדמים והתאוששות יחסית בשלבים הפנולוגיים המאוחרים. אנו מסבירים תופעה זו בשל פעילותו הנמרצת של הזן יובל, ובכירותו. ניתן לראות כי בשלבים הפנולוגיים המוקדמים הזן מאדה כמויות גדולות של מים ושומר על מפתח גבוהה של פיוניות כלומר יצרנות גבוהה מאד שלמעשה מעמידה אותו בסיכון גבוה. יש לזכור כי מדובר במדד יחסי לביקורת של אותו הזן ולממוצע כלל הזנים ולכן בשלבים הפנולוגיים המוקדמים הראה יובל פגיעה יחסית גדולה יותר (הביקורת המושקית הייתה עדיין בשיאה) ואילו בשלבים המאוחרים גם הביקורת המושקית כבר אידתה יחסית מעט (מדובר בזן בכיר) ולכן הזן הראה אינדקס עמידות גבוהה יחסית (שכאמור יכול להיות מטעה). יש להאיר תופעה נוספת והיא יכולת התאוששות טובה של הזן גדרה, בדומה ליובל, מיובש בתקופת מילוי גרגר, זאת ללא התאמה לקבוצת הפנולוגיה, ובודאי טוב יותר מזהיר ובר-ניר הנזרעים באותה "משבצת". יש להזכיר כי תופעה דומה נצפתה גם בתגובה לשרב (איור 7 B).



איור 13: מדד התאוששות יחסית של ששת הזנים מעקת יובש בארבעת הניסויים.

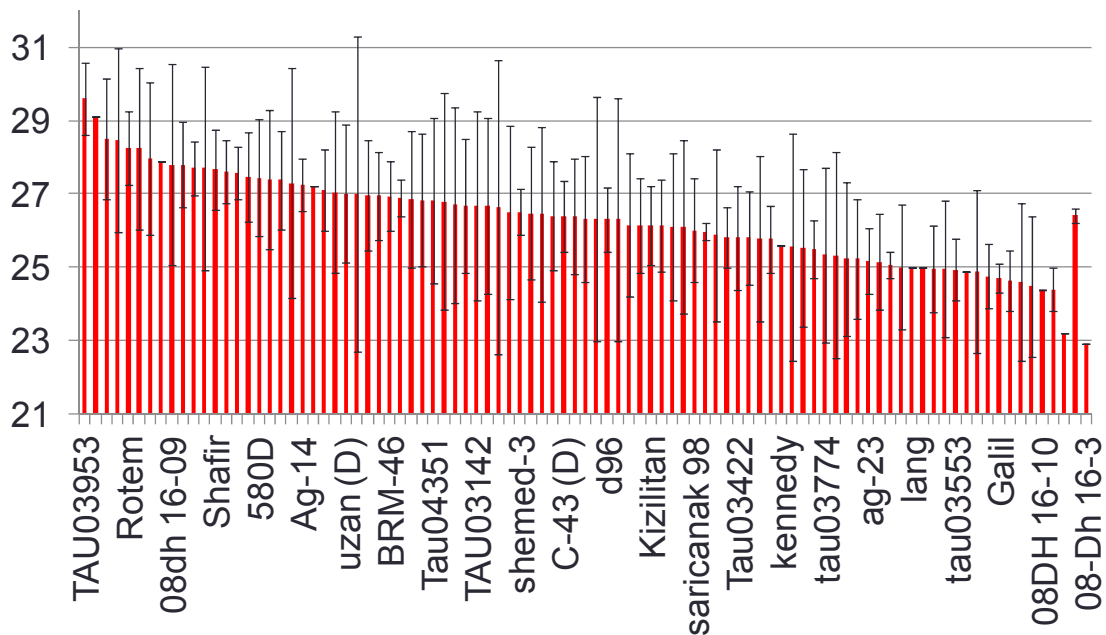
מדד נוסף שבחנו הוא מידת רגישות החישה של הקווים ליובש (איור 14). מדד זה הינו מכפלה של טרנספירציה לא מנורמלת ממוצעת לזן ונקודת השבירה לפי ערך תכולת המים בקרקע. באמצעות פונקציית Piecewise linear נמצא מתאם בין טרנספירציה לא מנורמלת ותכולת המים בקרקע, נקודת השבירה בין שני קווי המגמה המתקבלים מהווה את סף תכולת המים הקריטית עבור הצמח (אחריו תהיה פגיע בזמינות המים וירידה בטרנספירציה). מכאן, שעד לתכולת מים קרקעית זו הצמח למעשה לא חש את העקה ולכן ממוצע ערכי הטרנספירציה מהווה מאפיין להתנהגות הצמח בתנאים אופטימליים. מכפלת ממוצע ערכי הטרנספירציה בסף תכולת המים מאפשר להבדיל בין צמחים יצרניים שסף רגישותם למצב המים בקרקע הוא גבוה ובשל כך הם יפחיתו טרנספירציה כבר בשלבים

מוקדמים של העקה לעומת צמחים יצרניים שמצליחים להיות יצרנים גם במחיר של החמרת העקה. מדד זה למעשה מציין את יכולות ניצול המים של הזנים השונים בכל התקופה (תנאים מיטביים ויובש). מדד זה הראה יתרון מסוים לזנים יובל גדרה וזהיר, ובמיוחד לזן יובל בשני הניסויים עם הדרישות הגבוהות יותר. יתכן שמדד המשלב את שני הקריטריונים האחרונים יהווה מדד משוקלל טוב יותר לניבוי של זנים בעלי יכולת משופרת להתמודד עם תנאי עקת יובש. הבולטות של הזן יובל במערכת ניסויית זו נמצאת בהתאמה לממצאים מניסויי השדה (טבלה 1), עם זאת התנהגות הזנים גליל וזהיר שונה ומחייבת עיון נוסף וממוקד.



איור 14: מדד מידת רגישות החישה של הזנים ליובש בארבעת הניסויים.

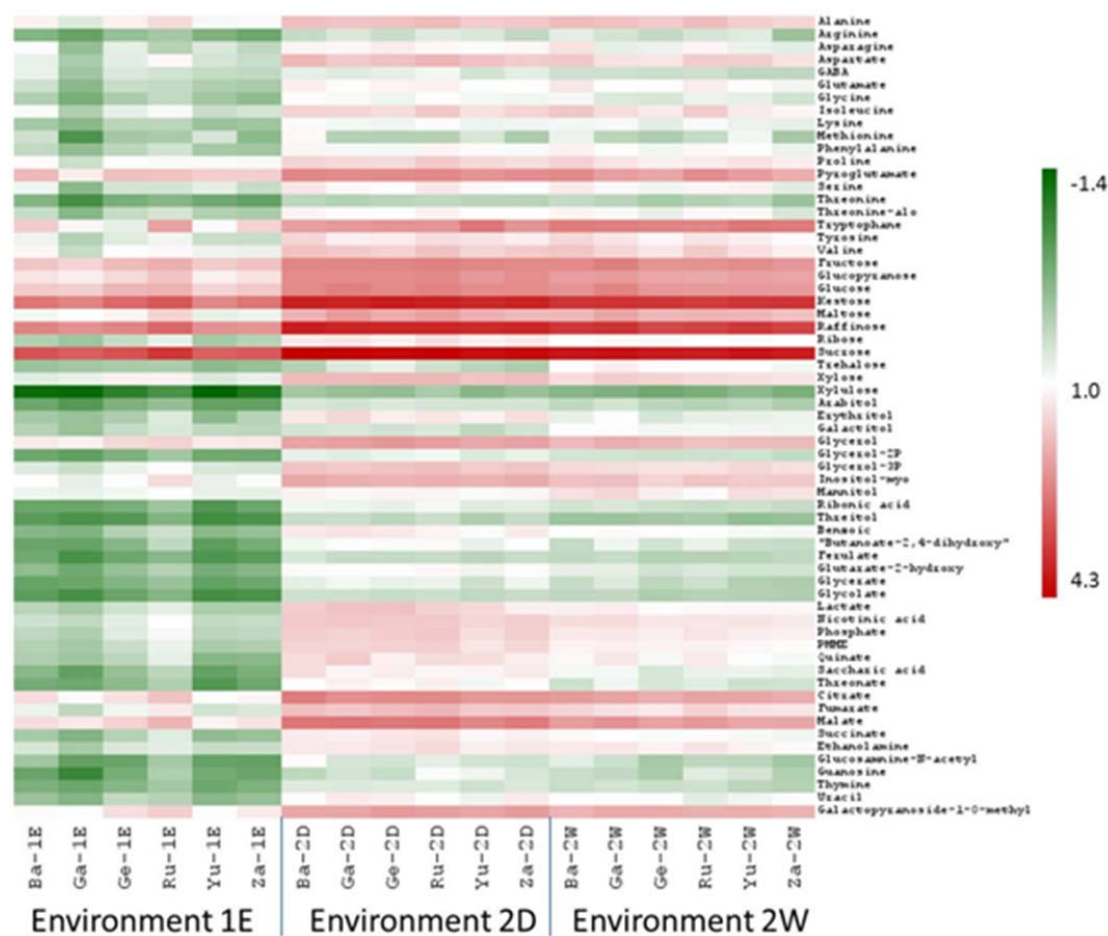
ניתן לאמוד את ההבדל המהותי בתגובה של הזן גדרה והזן גליל גם ע"י חישה תרמית אשר בוצעה על זנים אלו בניסוי של מילוי גרגר בשנת 2013. זאת בדומה לניטור טמפרטורה בניסויי שדה שהראה שונות בין הגנוטיפים (איור 15), אם כי בשדה שונות זו יכולה להיבחן רק מול צילומים נוספים מתאריכים אחרים או ע"י בקורת "יבשה" צמודה לכל חלקה ואילו בניסוי המבוקר בכלי החישה המצויים כיום ברשותנו היכולת הזו מוגבלת למספר גנוטיפים קטן מאוד שאינו מאפשר סלקציה.



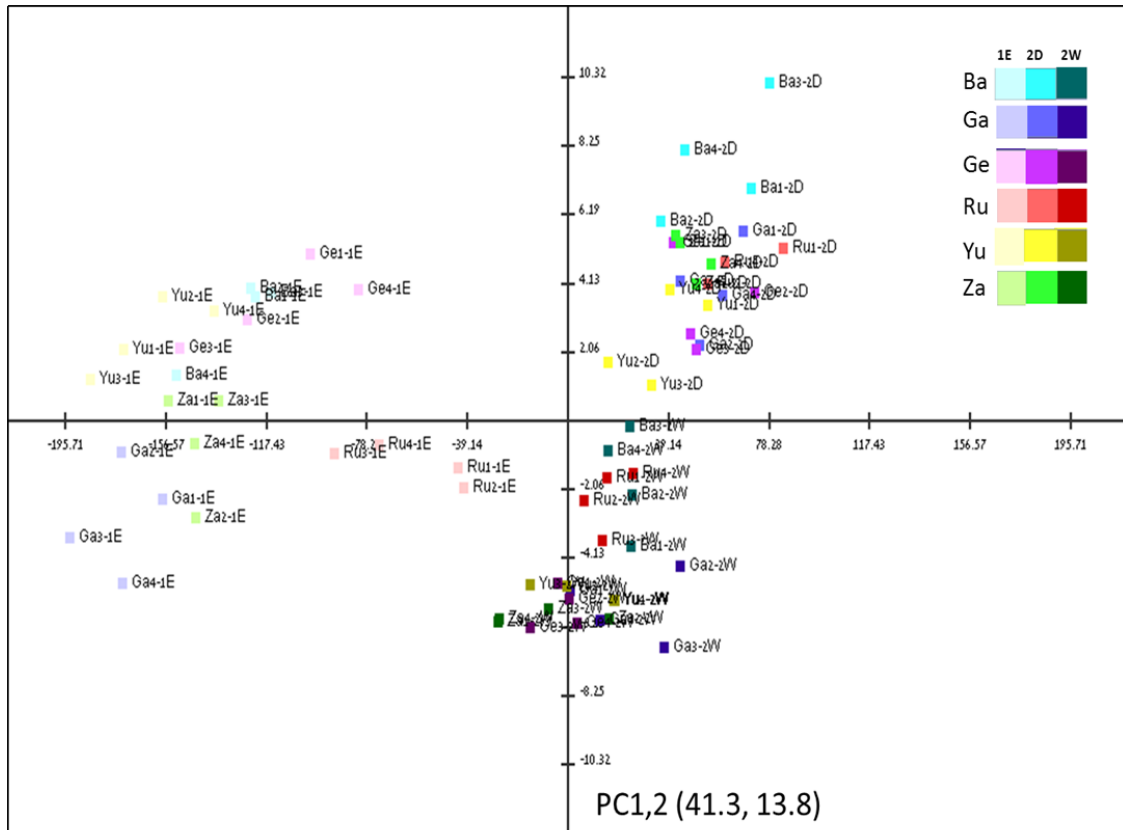
איור 15: שונות בטמפרטורת 84 גנוטיפים על פי צילום קרקעי 17/4/12.

סריקה מטאבולומית

תגובות מטאבוליות בעקבות תנאי עקת יובש בעלי דגל של שישה זני חיטה (בר-ניר, גדרה, גליל, זהיר, יובל ורותה) נבחנו ופורטו בדו"ח של שנה ב'. בשנה זו בחנו גם את האפשרות ללמוד על תנאי הגידול ויכולת ההתמודדות עם תנאי הסביבה בניסויי השדה דרך הרכב המטאבוליטים שבזרעים. תנאי הסביבה השונים התקבלו בשל זריעה בשני מועדים וטיפול השקיה כמפורט לעיל (איור 2). מנתוני GC-MS ניתן לראות שההרכב המטאבולי בזרעים הושפע מהתנאים ששררו בעת מילוי הגרגר (איור 16). בניתוח שונות התקבל כי ב- 63.5% מהמטאבוליטים אובחנה שונות גנטית מובהקת, כל המטאבוליטים (100%) היו תחת השפעת הסביבה, וב 33.3% מהמטבוליטים קיימת השפעת גומלין גנוטיפ X סביבה (פירוט מלא בנספח 2). הבדלים אלו איפשרו סיווג והפרדה של הזנים מהתנאים השונים בפשטות יחסית (איור 17). ניתן לראות כי ע"י הגורם הראשון מופרדים הזרעים לשתי קבוצות עיקריות, מימין זריעה מאוחרת ומשמאל זריעה מוקדמת, כאשר ההבדל העיקרי ביניהן הוא הטמפרטורה בזמן מילוי גרגר. הגורם השני אפשר חלוקה של הזריעה המאוחרת לאלו שהושקו (למטה) ולאלו שסבלו גם מיובש (למעלה). פרט לכך, ניתן להבחין שבזריעה המוקדמת הזנים יובל זהיר וגדרה "משכו" שמאלה ולמטה לעבר התנאים הקרירים, בעוד שבר-ניר ורותה נמצאים כקבוצה הקרובה יותר ליובש. תמונה דומה נראית גם בחלק המאוחר והיבש (ימין עליון) כאשר הזן יובל בולט בקרבתו לתנאים הטובים והזן בר ניר לתנאים הקשים ביותר. בזריעה המאוחרת ניתן לתאר זאת כעין תלות לינארית של יכולת הזן להתמודד עם היובש. תוצאות מבטיחות אלו בשילוב דיגום פשוט מביאות אותנו להציע כי דרך סלקציה זו פשוטה ומבטיחה בהרבה מאשר דיגום עלים בשלבי העקה כפי שפורט בדו"ח שנה ב'. אולם יש לאמת את המידע ע"י הרחבת בסיס הנתונים ע"י בחינת גרגרי זנים נוספים ועונות נוספות.



איור 16: השינויים העיקריים בתכולת מטבוליטים יחסי בגרגרי זני החיטה השונים שהתפתחו בתנאי סביבה שונים, 1E- זריעה מוקדמת שאפשרה מילוי גרגר בטמפרטורות נוחות וללא עקת יובש; 2D- עם השקיה רציפה שגררה מילוי גרגר בטמפרטורות גבוהות משולבות בעקת יובש; 2W- זריעה מאוחרת שגררה מילוי גרגר בטמפרטורות גבוהות ללא עקת יובש. הנתונים ממוצע 4 החזרות לאחר טרנספורמצית log10 ומנורמלים ל- ribitol ומשקל זרע.



איור 17: תוצאות הפרדה על פי PCA של דוגמאות זרעים מניסויי שדה (2013) בשלושה תנאי סביבה.

מסקנות עיקריות והשלכות על המשך המחקר ויישום מסחרי

כאשר משרים חום באופן מבוקר, גם כאשר זמינות מים לצמח החיטה גבוהה, החיטה מפחיתה את ההטמעה כתגובה לטמפרטורות קיצוניות גבוהות. תוצאות המחקר הראו כי לא ניתן לעבוד עם מכשיר IRGA ללא זמן התאקלמות יחסית ארוך במעבר בין טיפולי טמפרטורה, מה שמגביל את יכולת השימוש בכלי זה לסלקציה. בניסויי השדה צריך להכפיל את הטיפול, ולבצע לכל תת חלקה חזרה צמודה ברמת השקיה מוגברת. מבנה ניסויי כזה אמנם מסורבל יותר, אך המידע שמתקבל ממנו עולה על המחיר. לצערינו, לא היו בידנו די זרעים מכל הקווים בשתי שנות המחקר הראשונות עבור הצבת ניסוי כזה ולכן מסקנה זו מתבססת על שנת מחקר אחת בלבד. מבנה כזה מאפשר בחינה של השפעת ההשקיה בתנאי שדה "אחידים" בכל גנוטיפ. כצפוי, כאשר מתפתחת עקת יובש יש הבדל בהתנהגות זנים שונים וניתן לזהות אסטרטגיות שונות של התמודדות עם העקה. ניתן להבחין בעקת יובש ע"י טמפרטורת העלה/הקמה, אולם מקור השונות העיקרי הוא השלב הפנולוגי של הצמח. לכן אחד האתגרים הקשים בסלקציה תוך כדי העונה הינו חישת מדד האומד את יכולת התגובה לעקה תוך ניטרול השלב הפנולוגי של הגידול. זה קשה במיוחד כאשר יש שונות מהותית בקצב ההתפתחות בין הגנוטיפים הנבחנו. בתנאי שדה הדבר בלתי אפשרי, ולכן בהעדר מידע מהיקש אמיתי צמוד כל מדד שיאסף, ובכלל זה טמפרטורת קמה כפי שביצענו בשנת המחקר השניה, הינו חסר ערך ככלי סלקציה. אמנם מערכת הליזימטרים מאפשרת להבחין בהתאמה השונה של הזנים לשינויים ברמת רטיבות

הקרקע, אולם גם עבור ניסויים במערכת זו יש להבטיח השריית עקה בשלב פנולוגי זהה. זאת ומגבלות היקף מגבילים מאוד את היכולת בשימוש נרחב במערכת זו בדורות הטיפוח הראשוניים. יישום המסקנות יכול להתבצע באופן מיידי על ידי המטפחים, וזאת בעיקר ע"י הצבת מבחן הקווים באופן המוצע לעיל, דבר אשר יאפשר להם לזהות קווים מצטיינים כבר בשלבים הראשוניים. במידה והפנולוגיה דומה ניתן להיעזר גם במדידת טמפרטורת הקמה כפי שהצגנו. עם זאת ראוי לבחון במחקר נוסף את גישת סריקת הרכב הגרגרים לאבחון שונות בין הגנוטיפים ושילובה עם חישת טמפרטורה בשדה.

בשורה התחתונה למרות מורכבות האינטראקציה גנוטיפ X יובש X טמפרטורה ניתן לפתח כלי סלקציה הן לשלבי טיפוח מוקדמים בשדה (אוכלוסיות גדולות) והן עבור השלבים המאוחרים ביותר (קווים מצטיינים) בתנאים מבוקרים.

פרסומים מדעיים (בכתב ובע"פ) ורשימת ספרות

חלק מהנתונים הוצגו בפני אנשי ענף הפלחה בכנס (22/1/14) של דיווחי פלחה חורף.

שילוב התוצאות של קבוצות המחקר

מחקר זה משלב 4-5 קבוצות שונות מהתחומים: גנ"ש/פסיכולוגיה של הצמח, גנטיקה, קרקע ומים, חקלאות מדייקת ומטבולומיקה. החל משלב כתיבת ההצעה והמשך בדרך התפעול השוטף ועד הסקת המסקנות מחקר זה מבוצע כחטיבה אינטגרטיבית אחת המשלבת את כל הרכיבים. בכל הניסויים כל הקבוצות היו שותפות, ונעשו מאמצים רבים כך שמכל ניסוי כל קבוצה תפיק את המידע שניתן להפיק ע"י כלי העבודה שבהם היא שולטת. במהלך שנות המחקר בוצעו מפגשים רבים עם כל השותפים למחקר שבהם תוכננו הניסויים, הוצגו תוצאות ונערך דיון עליהן. עם זאת התוצר החשוב ביותר ממפגשים אלו היה סנכרון של כל חברי הקבוצה לעבודה משותפת יחד עם סטודנטים אשר מבצעים את עבודת המחקר בהנחיית שילוב של שנים מחברי צוות המחקר.

שילוב התוצאות של קבוצות המחקר הביא את המיזם לקראת מימוש יעדיו בכך שניתן לחבר בצורה אמיתית את התוצאות המתקבלות מניסויים שונים וע"י הקבוצות השונות. לדוגמא, עקב מגבלות לא ניתן לבצע את כל הניסויים עם כל הגנוטיפים, לכן באופן מושכל נבחרו שישה זנים המייצגים פנולוגית התפתחות שונה בשלושה צמדים, ובכל צמד זן שידוע כי מתמודד טוב יותר עם תנאי עקה לעומת הזן השני. התוצאות שהוצגו (איורים 3-5 לדוגמא) מראות כי בעזרת בחירה מושכלת ניתן לייצג את מירב השונות הקיימת באוכלוסיה הנבחנת. באופן כזה, ניתן לזהות ולברור קווים מבטיחים. יתר על כן בדרך זו לעתים ניתן למצוא גם מדד פשוט יותר לשימוש כמו גובה הצמח, משקל אלף ועוד, אשר ניתנים לבצוע בסריקה רחבה בשלבי טיפוח ראשוניים.

עם כל זאת, המידע שצברנו במחקר זה הינו רב ביותר ויש עוד מידע שלא נותח או שלא שולב כראוי עם רכיבי המחקר האחרים. אנו מקווים כי ריכוז מאמץ ועיבוד נתונים משותף מאותה מערכת ניסויים שתעשה בזמן הקרוב לקראת כתיבת פרסומים מדעיים תשפר עוד את היכולת להסקת מסקנות נרחבות ממחקר זה.

סיכום עם שאלות מנחות

1. מטרת המחקר לתקופת הדו"ח תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
יצירת בסיס ידע גנטי-פיסיולוגי וכלים הנדרשים לשיפור כושר ההתמודדות של תבואות חורף עם עקות מים וטמפרטורות גבוהות המאפיינות גידול בתנאי בעל בישראל. שנה ג': [2013] אימות המערכת לזיהוי תכונות פיסיולוגיות נדרשות על ידי בחינה חוזרת בתנאים מבוקרים ובתנאי שדה באתרים שונים.
2. עיקרי הניסויים והתוצאות.
בשנה השלישית המשכנו בבחינת 90 טיפוסים חזקים בניסויי שדה, וששה זנים מייצגים במערכות ניסוי מבוקרות. הניסויים התמקדו בבחינת השפעת שרב/טמפרטורה-גבוהה/יובש בתנאי שדה ובתנאים מבוקרים. כאשר מתפתחת עקת יובש בשלב הגידול הצעיר יש הבדל בהשפעתה על התפתחות זנים שונים, כאשר לפנולוגיה של הזן השפעה על חומרת הנזק. ניתן להבחין בעקת יובש ע"י טמפרטורת העלה/הקמה, אולם השימוש במד טמפרטורה ניד צריך להתבצע באופן מושכל. אופי ההתגברות של הזנים על תקופות יובש שונה בין השלב הוגסטיבי לרפרודוקטיבי. נמצאו שינויים בפרופיל המטבולי בזרעים כתגובה לתנאי סביבה בעת מילוי הגרגר, ושינויים אלו מעניינים מאוד מבחינת היכולת להוות כלי סלקציה או לאבחון מצב הגרגרים.
3. מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרת המחקר לתקופת הדו"ח?
באופן כללי מטרת המחקר הושגה אך לא הושלמו. חיבור ועיבוד הנתונים מכל מקורות המידע עבור כתיבת מאמרים ופרסומם נמצא בעיצומו ואנו מקווים לסיים זאת בהקדם. על סמך התוצאות ראוי לבצע עבודה נוספת תוך התמקדות בצריכת מים לאורך עונה שלמה והרכב הגרגרים. למרות מורכבות האינטראקציה גנוטיפ X יובש X טמפרטורה ניתן לפתח כלי סלקציה הן לשלבי טיפוח מוקדמים בשדה (אוכלוסיות גדולות) והן לשלבים מאוחרים ביותר (קווים מצטיינים) בתנאים מבוקרים.
4. בעיות שונות לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרת המחקר בתקופה שנוגדת לביצוע תוכנית המחקר?
עקב הבעיות שהיו, לחלק מהניסויים אין מספיק חזרות בשנות ניסוי. ניתן לפתור זאת ע"י מחקר המשך שיאפשר העמדת ניסויים ובדיקות נוספות.
5. הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - ציטט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום טרם
6. פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)
רק בספריות
ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)
חסוי – לא לפרסם
7. האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? יתכן.