

## שינוי כושר התחרות של חיטה עם עשבים רעים

דו"ח לתוכנית הממומנת ע"י ארגון עובדי הפלחה.

צבי פלג, המכון למדעי הצמח וגנטיקה בחקלאות ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים, רחובות.  
רואי בן-דוד, המחלקה לירקות וגד"ש, מנהל המחקר החקלאי, מכון וולקני.

### רקע:

עשבים רעים (ע"ר) מהווים את הגורם הביזוי עיקרי המביא לפחיתת יכולת ואיכות בחיטה (*Triticum aestivum*), עקב תחרות על משאבים. ממשק הדברת העשבים משלב מספר גישות (Integrated Weed Management, IWM), ומתבסס בעיקר על יישום קוטלי עשבים כימיים ושיטות אגרוטכניות הבאות ליצור תנאים עדיפים לחיטה בתחרות אל מול העשב. ההמלצה לחקלאים כיום היא ליישם קוטלי עשבים לקראת סגירת נוף הגידול, כאשר החיטה נמצאת בשלב של 3-4 עלים. המלצה זו מתייחסת לזנים הישראליים המקובלים כיום במזרע ומאופיינים, בין השאר, בשטח עלה קטן בשלב הנבט ואון צימוח איטי (זמן להוצאת עלה ראשון) בשלבי הגידול הראשונים. אופי צימוח זה מוביל לכושר תחרות נמוך של הזנים הישראליים מול העשבים, ולהחמרה ברמת ובעוצמת השיבוש. קיים צורך בפיתוח כלים חדשים וכלכליים לשיפור ממשקי ההדברה המשולבים הקיימים כיום, לשמירה על יעילות חומרי ההדברה הזמינים ומניעה של הופעת מיני עשבים חדשים בעלי עמידות לק"ע.

שתי התכונות העיקריות שיכולות לתרום לשיפור התחרותיות בחיטה עם ע"ר הם צבירת ביומסה ראשונית ואלוופתיה. טיפוח זנים בעלי כושר תחרות גבוה אל מול הע"ר הינה גישה אגרוטכנית חדשה שיכולה להוות בסיס לפיתוח ממשקי הדברה משולבים חדשים בחיטה. בבסיס הגישה עומד שימוש בזנים בעלי יכולת התבססות מהירה של הנבטים בשלבי הגידול הראשונים (און צימוח) המוביל לקבלת עומד שדה טוב וצמצום התחרות עם ע"ר. התבססות מהירה של הנבטים לא רק עוזרת לשרידותם אלא גם חשובה לסגירת הנוף (וכפועל יוצא הפחתת איבוד מים מפני הקרקע), מקשה על התפשטות העשבים הרעים ומקטינה את התחרות. און צימוח ראשוני משופר יכול לקצר את פרק הזמן הדרוש לסגירת הנוף ובכך להקשות על התבססות אוכלוסיית העשבים בשדה (אפקט הצללה). בנוסף קיצור פרק הזמן בין הצצה לשלב 5 עלים עשוי לאפשר יישום מוקדם יותר של ק"ע בשלב בו העשבים יותר רגישים וכך ולהגביר את יעילותם של ק"ע בצורה משמעותית. עד היום, לא בוצעה תכנית טיפוח בחיטה המתרכזת בתכונות און צימוח, ולא נבחנו יתרונות השימוש בממשק משולב המתבסס על זנים אלו.

### **מטרות המחקר:**

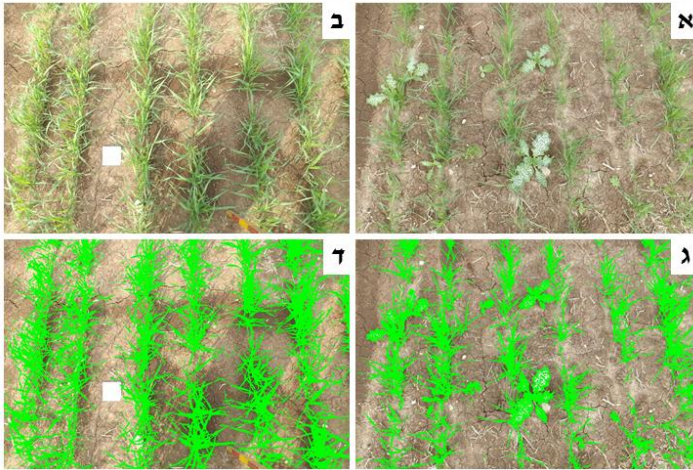
הנחת היסוד המרכזית של המחקר היא שעל ידי שינוי גנטי של ארכיטקטורת הצימוח של החיטה נוכל להגביר את

כושר התחרות של חיטה מול ע"ר. להשגת המטרה נקבעו יעדי המחקר הבאים:

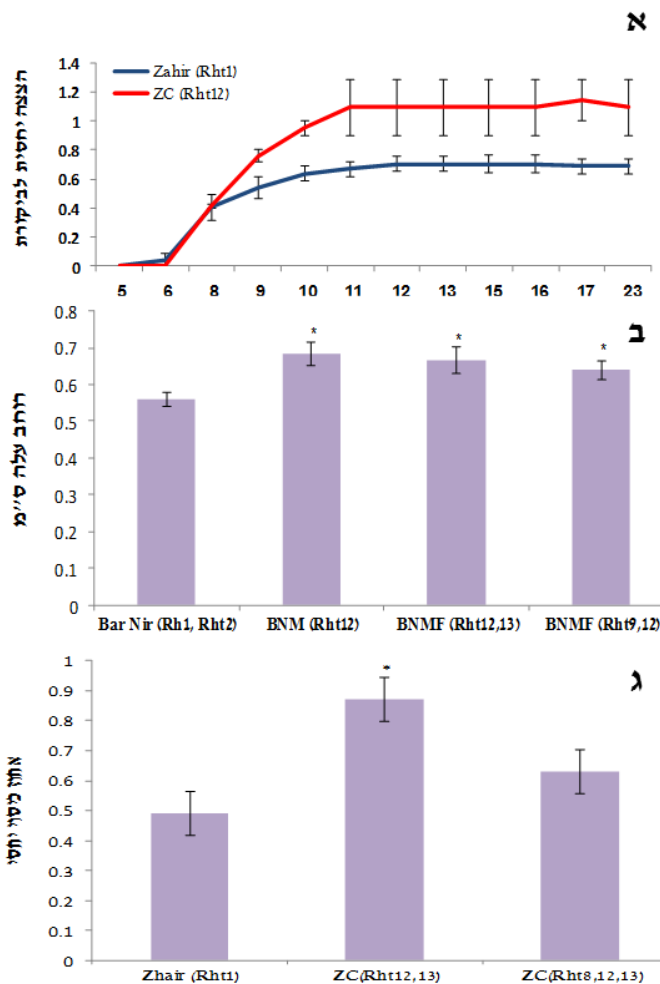
**א.** בחינת ההשפעה של און צימוח מוגבר על כושר התחרות עם אוכלוסיות ע"ר בקווים כמעט איזוגניים.

**ב.** בחינת ממשקי הדברה משולבים עם חומרי הדברה במטרה לצמצם את השימוש בק"ע.

## תוצאות המחקר



**איור 1.** השפעת און צימוח על רמת השיבוש בעשבייה. תצלום השוואתי של הזן יובל (א) וקו בעל און צימוח מהיר (ב) 20 ימים מהצצה. עיבוד בתוכנה הייעודית Easy-Leaf-Area מאפשרת לבצע חישוב של אחוז כיסוי (ג-ד).

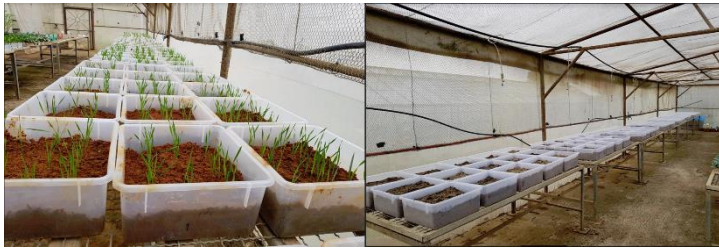


**איור 2.** און צימוח של קווים כמעט-איזוגנים (ניסוי שדה רחובות). (א) שיעור הצצה מזריעה עמוקה (10 ס"מ) ערך יחסי מבקורת (זריעה משקית של 2 ס"מ). (ב) און צימוח ראשוני, רוחב עלה 3 (L3). (ג) אחוז כיסוי כללי של פני הקרקע (3). \* מייצג הבדל מובהק בין הממוצעים.

ניסוי שדה הועמד נערך בצפריה על מנת לבחון את השפעת און צימוח משופר על רמת השיבוש בעשבים וכושר התחרות בחיטה. השוואה בין שני זני חיטה: יובל (זן מסחרי עם און צימוח חלש) וקו שפותח עם און צימוח מהיר (גן *Rht8*) שנזרעו ללא טיפול מקדים בק"ע מונעי הצצה מראה בבירור שבחלקות של קווי חיטה בעלי און צימוח ישנה הפחתה ברמת השיבוש בעשבייה (איור 1). בחלקות הזן יובל נספרו 15 עשבים למ2 בהשוואה לחלקות של הקו בעל און הצימוח מהיר בהן נמדד ממוצע של 2 עשבים למ2. אחוז הכיסוי של הזן יובל (21%) היה נמוך באופן מובהק לעומת הקו עם און צימוח משופר (31.5%) (איור 1-ג-ד).

בניסוי שנערך בחוות הניסיונות של הפקולטה לחקלאות נבחנו זנים מסחריים מובילים במזרע הישראלי בהשוואה לקווים כמעט איזוגניים שפותחו במעבדותינו. הקווים נבחנו תחת זריעה מישקית (2 ס"מ, ביקורת) וזריעה בעומק (10 ס"מ). ניתן לראות שהזן זהיר הראה כושר נביטה נמוך מעומק לעומת הקו הכמעט איזוגני שמכיל גן חליפי לננסיות (*Rht12*) (איור 2א). בהתאמה הקווים שפותחו ברקע גנטי של הזן הזנים זהיר וברניר הראו און צימוח משופר ויכולת מוגברת של גדילה וכיסוי הקרקע וזאת באופן מובהק בהשוואה לזני הביקורת (איור 2ב-ג). תכונה זו תאפשר להם להתחרות טוב יותר עם העשבים הרעים.

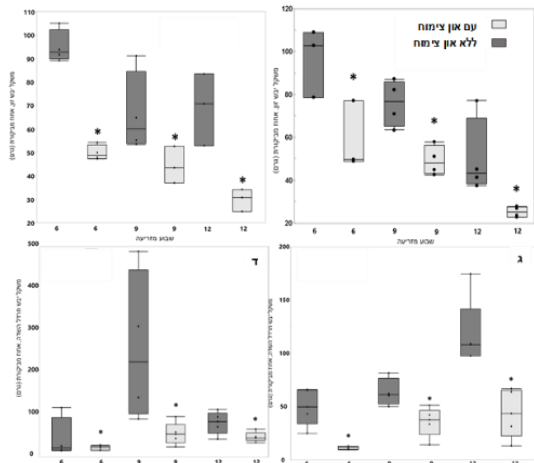
**2. בחינת השפעת הגומלין בין תכונת און הצימוח והתפתחות העשבים: על מנת ללמוד על כושר התחרות עם**



**איור 3.** תמונה של ניסויי התחרות לבחינה של קו עם וללא און צימוח בתחרות ברמות שיבוש משתנות של דגניים (זון) או רחבי עלים (הרדל).

עשבים רעים של קו כמעט-איזוגני שפותח (עם וללא און צימוח) הועמד ניסוי בתנאים מבוקרים. הניסוי התקיים בבית רשת מבוקר (איור 3). קווים, עם וללא און צימוח, נזרעו בקופסאות בתחרות עם חרדל השדה (כמייצג לעשבים רחבי עלים) וזון (כמדמה של עשבים דגניים, ראוי לציין שעל מנת להבטיח נביטה אחידה השתמשנו לצורך הניסוי הראשון בזון תרבותי). הקופסאות אולחו בשלוש רמות שיבוש: ללא עשבים (כביקורת), רמת שיבוש נמוכה (12 נבטים למ"ר) ורמת שיבוש גבוהה (96 נבטים למ"ר).

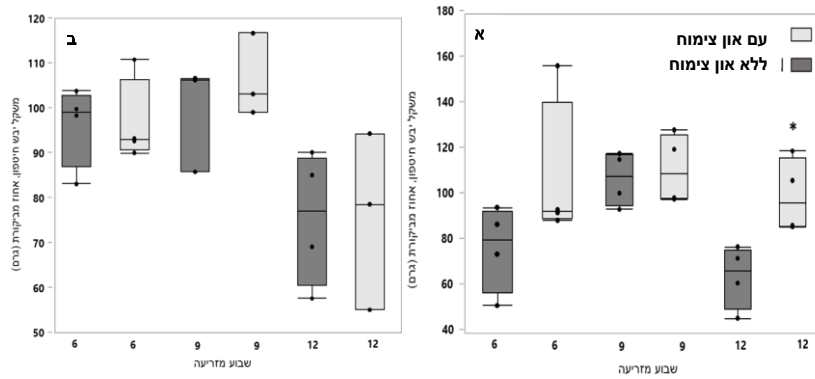
התוצאות הראו פחיתה של 40% ביכולת ההתפתחות של העשבים כאשר העשבים גדלו בתוך מזרע עם און צימוח בהשוואה למזרע רגיל (ללא און צימוח) (איורים 4-5). יתרה מכך, הבדלים אלו נצפו כבר במועד ההערכה הראשון, כ-6 שבועות לאחר מועד הזריעה. בבחינת התפתחות בתום הניסוי (שבוע 12) נראה שרמת השיבוש הנמוכה לא השפיעה על התפתחות הגידול עם און הצימוח. לעומתו הגידול המסחרי הראה פחיתה מובהקת של 30% עם זאת, ברמת המזבק הגבוהה לא נראה יתרון לקו עם און הצימוח שהראה פחיתה בבימוסה בשיעור דומה לקו ללא און הצימוח, 30% בקירוב (איור 6).



**איור 5.** מעקב אחר התפתחות של זון תרבותי וחרדל השדה במזרע עם וללא און צימוח בשתי רמות שיבוש: גבוהה (a, b) ונמוכה (c, d). כוכבית מצביעה על הבדל מובהק סטטיסטית בין קו עם און צימוח וללא און צימוח בכל מועד לאורך שישה שבועות של התפתחות על פי מבחן t-Test ( $P \leq 0.05$ ).



**איור 4.** תמונה מייצגת של חרדל השדה (מימין) וזון (משמאל) במזרע ללא און צימוח (a, b) ו עם און צימוח (c, d).



**איור 6.** מעקב אחר התפתחות הקו עם וללא און צימוח ששובש בשתי רמות של זון תרבותי במזרע. רמת שיבוש נמוכה (א) ורמת שיבוש גבוהה (ב). כוכבית מצביעה על הבדל מובהק סטטיסטית בין קו עם וללא און צימוח לאורך שישה שבועות של התפתחות על פי מבחן t-Test ( $P \leq 0.05$ ).

תוצאות ניסויי התחרות בתנאים מבוקרים, הראו את הפוטנציאל הגבוה של קווי החיטה עם און צימוח משופר להיתחרות בעשבים ולהביא לדיכוי התפתחותם. בשנה הבאה יועמד ניסוי עם אותם קווים, וקווי חיטה כמעט-איזוגניים נוספים שנמצאו בעלי פוטנציאל לאון צימוח גבוהה בניסוי שדה על מנת לאמוד את התנהגותם בשדה. בנוסף, עדיין צריך לבדוק את היתרון שיש לקווים עם און צימוח משופר להקדמת מועד יישום קוטלי העשבים הראשון בעונה על מנת לבחון האם ניתן לשפר את יעילות קוטלי העשבים ולצמצם את הצורך ביישום שני.

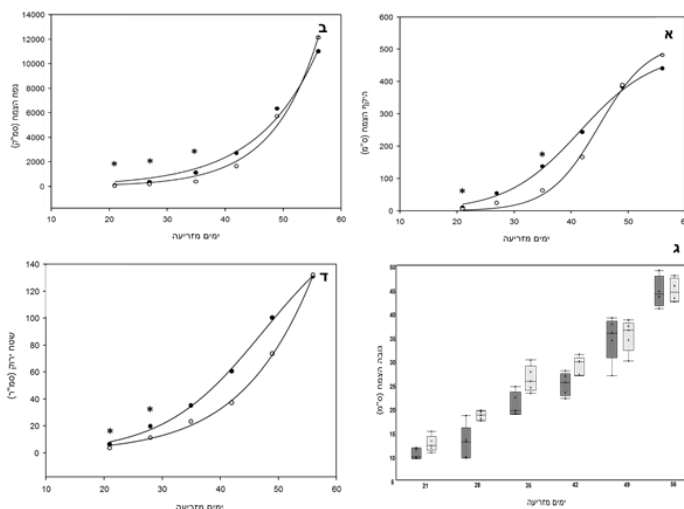
**2. בחינה של קו חיטה מתקדם בעל און צימוח משופר.** אחד הקווים שהצטיינו בניסויים מבוקרים (הקו ז.י.4) וקו אחאי שלו (ז.י.3) וקו ההורה (זהיר) אופיינו בצורה יותר מעמיקה לתכונות און צימוח בשדה בקיבוץ דורות. שני הקווים הכמעט איזוגניים הראו יתרון משמעותי מבחינת און צימוח ראשוני בהשוואה לקו ההורה זהיר ללא און צימוח (איור 7).



**איור 7.** צילום מייצג של און צימוח, 45 יום לאחר הצצה (קיבוץ דורות). הזן המסחרי זהיר, ושני קווים אליהם הוכנסו גנים לשיפור און הצימוח (ז.י.3 ו-ז.י.4). א) צילום של השדה, ב) צילום של נבטים (45 יום מהצצה).

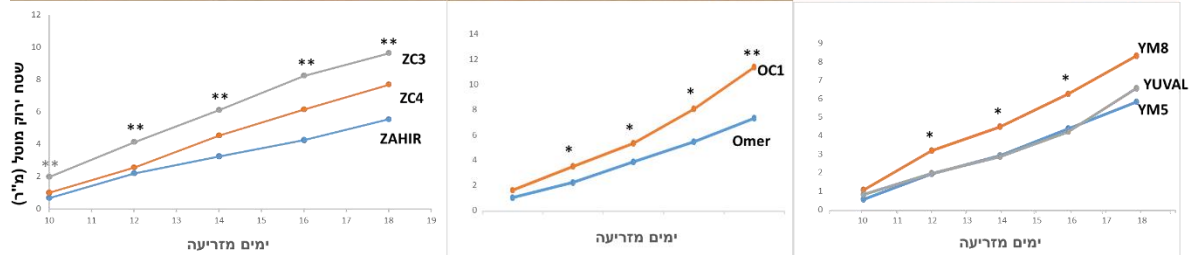
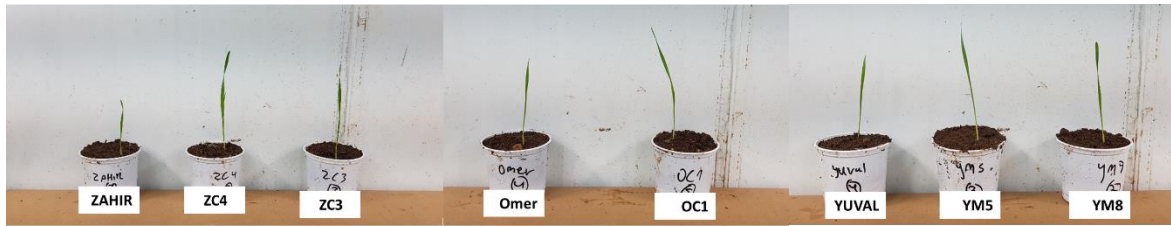
הקו ז.י.4 הראה יתרון משמעותי מבחינת און צימוח משופר, סגירת נוף מהירה ואף שינוי במערכת השורשים שהיו יותר ארוכים. אולם ראוי לציין שבניסוי שנעשה בדורות הוא לא ניבדל בצורה משמעותית מהזן המסחרי זהיר מבחינת יכול. למרות זאת, היתרון הראשוני שהיה לקו על הזן המסחרי בסגירת הנוף וההתפתחות יכול להביא לצמצום השימוש בקוטלי עשבים ולצמצום ההתאדות מים מהקרקע. בנוסף, סגירה מהירה מצמצמת את בעיית הסחף, תופעה שהולכת ומתגברת בגלל תנודתיות האקלים ואירועי קיצון של גשמים חזקים מוקדם בעונה. היכולת מצד אחד לקבל אותו פוטנציאל יכול ומצד שני צימוח יותר מהיר יכולה להוות יתרון משמעותי מבחינת החקלאי ולכן יש להמשיך לבחון את ביצועי הקו בשדה.

**3. מעקב אחר התפתחות הקו עם וללא און צימוח ע"י מודלים תלת ממדיים מבוססי תמונה.** במטרה לפתח מודל תלת מימדי לסלקציה של קצב צימוח, נערך מעקב אחר התפתחות של תכונות מרחביות בקווים עם וללא און צימוח באמצעות המודל לאורך כל שלבי התפתחותו, החל משלב הופעת עלה שני אמיתי ועד הצצת השיבולת. נראה שבמהלך-42 ימים הראשונים מזריעת החיטה ישנו הבדל מובהק בארכיטקטורת הצימוח בקו עם און הצימוח, כאשר היקף ונפח הצמחים היה גבוה יותר בהשוואה לצמחים ללא און צימוח (איור 8.א,ב). לאחר מכן ההבדל בין הקווים איבד את מובהקותו ואף נראה שינוי מגמה לטובת הקו ללא און הצימוח. הבדל נוסף שנראה בין הקווים היה השטח הירוק של הצמח, אך מובהקות נראתה רק בשלבי הצימוח הראשונים (איור 8.ד). עם זאת, לא נראה הבדל לאורך כל הגידול בגובה הצמחים (איור 8.ג).



היעילות של המודל באפיון קצב הצימוח בצורה לא הרסנית אפשרה לנו לסרוק עוד קווים, תוצרי הכלאות חדשות במטרה לזהות קווים מבטיחים עם און צימוח משופר (איור 7).

**איור 8.** מעקב אחר התפתחות של תכונות מרחביות עבור צמח בודד: (א) היקף, (ב) נפח, (ג) גובה ו- (ד) ושטח ירוק לאורך זמן החל מהופעת עלה שני ועד הופעת שיבולת. כוכבית מצביעה על הבדל מובהק סטטיסטית בין קו עם וללא און צימוח על פי מבחן t-Test ( $\alpha=0.05$ ).



**איור 9.** בחינה של קצב התפתחות בשלוש משפחות של קווים כמעט איזוגניים על רקע גנטי של זהיר, יובל ועומר. הצמחים צולמו מידי שבוע ועל סמך אפיון מספר הפיקסלים הירוקים והאלגוריתם שפותח חושב קצב הצימוח.

ניתן לראות שרוב קווי האון צימוח (למעט הקו YM5) הראו יתרון מובהק בהשוואה לקווים ההורים (זהיר, עומר ויובל). התוצאות גם הראו שקיימת אינטראקציה בין הרקע הגנטי לתכונות און צימוח ולכן יש לבחון מספר רב של קווים בתנאים שונים על מנת ללמוד על התכונה. בשנה השנייה קווים אלו יבחנו בניסוי שדה ובניסוי מבוקר על מנת ללמוד על כושר התחרות עם עשבים, ובאינטראקציה עם יישום קוטלי עשבים.

**פרסומים מדעיים שנהנו ממימון תכנית המחקר:**

במהלך המחקר עבדו על הפרויקט באופן חלקי תלמיד לתואר דוקטורט, הראל בכר ותלמיד לתואר מוסמך, שלומי אהרון, ושני טכנאי מעבדה, ד"ר רוחמה חיוקה וכמאל נאשף.

**1. מאמרים מדעיים:**

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

מאמר נוסף נמצא בשלבי הכנה מתקדמים.