



הדברת עשבים בכותנה אורגנית באמצעות הזרמת אוויר חם

קרן מחקרי שה"מ, מחקר מס' 24-21481

ניצן כהן, מדריך הגנת הצומח, שה"מ, משרד החקלאות, דוא"ל: nitzanc@shaham.moag.gov.il;
רוחי רבינוביץ', מדריכת הגנת הצומח, מרכז חקלאי העמק;
אור רם, יואב גולן, עמית ורד והראל גרינבלט, שה"מ;
ד"ר שמואל עובדיה, עתיד שדות בע"מ;
ניר גרזון, מגדל, עין חרוד מאוחד

תקציר

הניסוי בחן שימוש במפוח אוויר חם כאמצעי להדברת עשבים בכותנה אורגנית במטרה למצוא חלופה יעילה לעישוב ידני בשורת הגידול – פעולה יקרה ואיטית התלויה בזמינות כוח האדם. בניסוי נערכה השוואה בין יישום הטיפול לפני הצצת הכותנה לבין יישומו לאחר ההצצה, ונבחנה השפעת טמפרטורת האוויר על יעילות ההדברה ועל בטיחות הגידול. מחקר זה בוצע בעין חרוד מאוחד, וכאמור, כלל יישומים בטמפרטורות שונות ובמועדים שונים, תוך איסוף מדדים להערכת יעילות הדברת העשבייה ולבחינת השפעת הטיפולים על הכותנה. התוצאות העידו על כך שטיפולי קדם-ההצצה הפחיתו באופן מובהק את כמות נבטי העשבייה ליחידת שטח ואת אחוז כיסוי השטח, בעוד שהטיפולים שבוצעו לאחר הצצת הכותנה נמצאו בלתי יעילים, בין היתר, בשל יישומם המאוחר יחסית למועד הצצת העשבים. מבחינת בטיחות הגידול, לא נרשמה פגיעה מובהקת בעומד הכותנה, אך נצפו סימני עקה ופיצול מוגבר של צמחים, בעיקר ביישומים לאחר הצצה ובטמפרטורות גבוהות. הממצאים מצביעים על פוטנציאל לשילוב הזרמת אוויר חם כמרכיב במערך הדברת עשבים בכותנה אורגנית, במיוחד כאשר היישום מבוצע במועד מוקדם, טרם הצצת הגידול, תוך בקרה ותזמון המותאם להתפתחות העשבים, וכן בשילוב קלטור בין השורות. עם זאת, נדרש מחקר נוסף לבחינת השפעת השיטה על היבול ולבדיקת יישום ממוקד של אוויר חם לאורך שורת הגידול בלבד, ולא על כלל שטח הערוגה.

מבוא

ההתמודדות עם בעיית העשבייה מהווה אתגר עיקרי למגדלים בענפי החקלאות השונים, ובפרט לחקלאים בגידולים אורגניים, המחויבים להימנע משימוש בקוטלי עשבייה סינתטיים. כיום שני האמצעים המקובלים להדברת עשבים בחקלאות אורגנית הם קלטור ועישוב ידני. הקלטור מספק מענה לבעיית העשבייה מחוץ לשורות הגידול, על פני כ-80% משטח פני ערוגה ברוחב 1.93 מטר. נציין כי בתנאי הארץ טרם נמצא אמצעי קלטור יעיל להדברת עשבים בתוך שורת הגידול, אף שהנושא נבחן בעבודות קודמות. מסיבה זו מתבצעת השלמת ניקוי העשבים באמצעות עישוב ידני, אשר לו כמה חסרונות מהותיים: עלות גבוהה הנעה בין 100 ל-300 ₪ לדונם ואף יותר, תלות בזמינות כוח אדם שאינה יציבה ולעיתים כרוכה בקשיים, עיכוב בשל משך עבודה ארוך ויעילות עבודה נמוכה ביחס לאמצעים מכניים או כימיים.

בשנים האחרונות בוצעו על ידי ד"ר שמוליק עובדיה כמה עבודות להדברת עשבים באמצעות מפוח המזרים אוויר חם על פני כל הערוגה, בנוכחות הגידול התרבותי. הניסויים התמקדו בגידולי ירקות שונים זמן קצר לאחר שתילתם. ימים ספורים לאחר השקיות הקליטה מתחילה נביטה והצצה של מיני עשבים, והפעלת מפוח החום בשלב זה קוטלת את נבטי העשבים ללא פגיעה בשתילי הירקות. העבודות העלו כי יעילות ההדברה מושפעת במידה רבה ממספר גורמים, כמו: טמפרטורת האוויר החם, מהירות הנסיעה, מיקום מוצא האוויר ביחס לפני הקרקע, מיני העשבים ורגישות הגידול לחום.

במחקר הנוכחי נבחנה יעילות הדברת עשבים באמצעות יישום אוויר חם, מידת הבטיחות לגידול הכותנה והשפעתה על התפתחות הגידול. בשונה מגידולי ירקות, הכותנה אינה נשתלת אלא נזרעת על פני ערוגה נקייה מעשבייה. במרבית אזורי הגידול נהוג לבצע השקיית הנבטה, שבעקבותיה מתחילות נביטה והצצה הן של העשבים והן של גידול הכותנה. לרוב, הצצת הכותנה מתרחשת בשלב מאוחר יותר, בהשוואה למרבית מיני העשבים, כשבמקביל אוכלוסיית העשבים מוסיפה להתפתח והרכבה משתנה במהלך שלב ההצצה. בניסוי מקדים שערכנו באפריל 2024, שבו נבחן השימוש בהזרמת אוויר חם להדברת עשבים בכותנה, מצאנו כי בטיפול מיטבי ניתן להשיג כ-88% הדברה של העשבים בשני מהלכים על פני הערוגה. ממצאים אלו הצביעו על פוטנציאל השיטה ושימוש בסיס לתכנון העבודה הנוכחית. במחקר זה ביקשנו לבחון אם השימוש באוויר חם בטמפרטורות שונות ובמועדים שונים ביחס להצצה (לפני הצצת הכותנה ולאחריה) יאפשר להשלים את פעולות הקלטור, וייתר את הצורך בעישוב ידני לאורך שורת הגידול.

שיטות וחומרים

הניסוי נערך בשטחים החקלאיים האורגניים של קיבוץ עין חרוד מאוחד, בחלקת כותנה מטיפוס פימה, על כרב תירס לפופקורן. החלקה נזרעה בתאריך 2/4/2025 בעומד זריעה של 11 זרעים למטר לעומק 3 ס"מ, בשתי שורות בערוגה במרווח של 96.5 ס"מ. השקיית הנבטה בוצעה באמצעות מכונת השקיה בתאריך 3/4/2025 בנפח של 60 קוב לדונם. הצצה מלאה נרשמה בתאריך 13/4/2025. בחלקת הניסוי בוצעו במהלכו יישומים של הזרמת אוויר חם בשתי טמפרטורות ובמועדים שונים ביחס להצצה, כאשר בחלקה המשקית בוצעו קלטורים ועישובים, כמפורט בטבלה 1. הטיפול באוויר חם יושם באמצעות מפוח חום לירקות (להלן "המפוח") הרתום לכלי משקי (תמונה 3 בנספחים). המפוח הוא מכונה שפותחה בישראל על ידי ד"ר שמוליק עובדיה, והוא מזרים אוויר בטמפרטורה מבוקרת - עד 230 מ"צ, המותאמת לקטילת פגעים שונים על פני הערוגה. מהירות הנסיעה בניסוי הנוכחי הייתה 3 קמ"ש, וגובה מוצא האוויר מעל פני הערוגה - 10 ס"מ.

תיאור הניסוי: הניסוי כלל 5 טיפולים, כשלכל טיפול 4 חזרות, שהוצבו במבנה של בלוקים באקראי (איור 8 בנספחים). בטיפולים בחנו טמפרטורות שונות ובמועדים שונים ביחס להצצה, כמפורט בטבלה 1 שלהלן. כל חזרה כללה ערוגה אחת, שרוחבה 1.93 מטרים ואורכה 50 מטרים. במרכז כל ערוגת חזרה סומן קטע שאורכו 5 מטרים, ששימש למעקב כדי להעריך את כמות העשבים והרכבם לאורך זמן. עומד הכותנה הסופי ומספר ההסתעפויות של הגבעול המרכזי בצמח הושו אל אלה שנמצאו בקטעי ערוגה הצמודים לחלקות הטיפול, במרחק של 7 מטרים מקצה הערוגה המטופל באוויר חם. הטיפול המשקי כלל שלושה קלטורים בתקופת הניסוי בתאריכים: 22/4/2025, 29/4/2025, 18/5/2025, ואחד נוסף לאחר תום הניסוי ב-11/6/2025, וכן שני עישובים ב-8/5/2025 וב-29/5/2025.

המדדים שלהלן שימשו להערכות יעילות הטיפולים:

1. **ספירת עשבים במרכז כל חזרה:** מעקב אחר התפתחות נבטי העשבים לאורך זמן בשלושה מועדים (16/4/2025, 24/4/2025 ו-7/5/2025).
2. **ספירת כל העשבים והגדרתם עד רמת הסוג בשלושה קטעים לאורך כל חזרה:** קרוב לשולי החלקה, במרכז כל חזרה ובקצה כל חזרה.
3. **אחוזי הכיסוי בעשבייה:** בוצע אומדן ויזואלי על ידי דוגם יחיד. כמו כן, בוצעה מדידה מדויקת של אחוזי הכיסוי כפי שצולמו על ידי רחפן בגובה של 7 מטרים, בכל שטח החלקות בניסוי.

המדדים שלהלן שימשו להערכות התפתחות צמחי הכותנה:

1. **עומד:** ספירת כל צמחי הכותנה בערוגה לאורך 5 מטרים (בשתי שורות הגידול) בתאריך 7/5/2025.
2. **פיטוטוקסיות:** ציון כללי להערכת חיוניות הצמחים בין 0 ל-10 (0 – צמחים במצב ממוטט; 10 – צמחים בריאים).
3. **ספירת הצמחים המפוצלים:** ספירת הצמחים המפוצלים (עם פיצול אחד לפחות) במדגם של 10 צמחים רצופים בארבעה קטעים שונים בכל חזרה (בסה"כ 40 צמחים בחזרה) בתאריך 5/6/2025.

נציין כי לא בוצעה הערכה של כמות היבול בשל נגיעות גבוהה בזיפית הכותנה שהסבה נזק ליבול, כך שאם היו הבדלים מהיבט זה בין הטיפולים, הם היו עלולים להיטשטש בעטיה. התוצאות נותחו במבחן ANOVA ותוצאות ציוני החלקות נותחו במבחן א-פרמטרי (Kruskal-Wallis for ranks) להערכת שונות. השוואת העומד בין הטיפולים בניסוי לטיפול המשקי נותחה במבחן paired t-test. הניתוח הסטטיסטי בוצע בתוכנת JMP, גרסה 13, ברמת מובהקות של 5%.

טבלה 1: רשימת הטיפולים בניסוי, כולל שם הטיפול, מועדי היישומים וטמפרטורת מוצא האוויר מהמפוח

שם הטיפול	יישום ראשון		יישום שני	
	מועד	טמפרטורה	מועד	טמפרטורה
1 קדם-הצצה (230-210)	10/4/2025	230	21/4/2025	210
2 קדם-הצצה (190-190)	10/4/2025	190	21/4/2025	190
3 אחר-הצצה (210-210)	21/4/2025	210	27/4/2025	210
4 אחר-הצצה (190-190)	21/4/2025	190	27/4/2025	190
5 היקש	ללא טיפול			

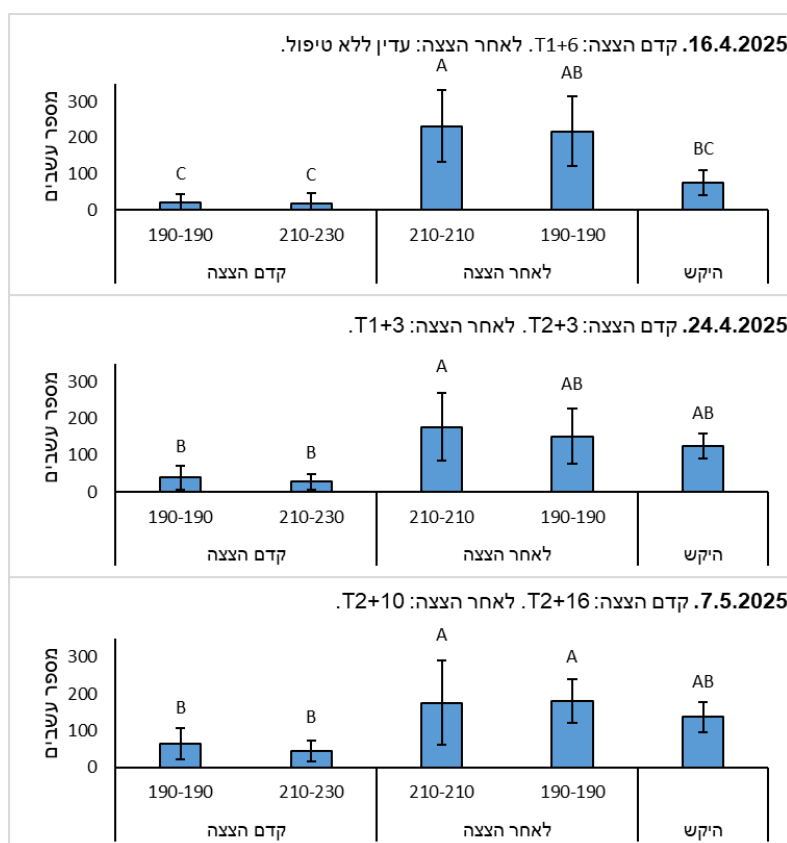
תוצאות

יעילות הטיפולים

מעקב ספירת נבטי עשבים לאורך זמן

במועד היישום הראשון של טיפולי קדם-ההצצה (10/4/2025) היו מרבית העשבים בשלב של עלה פסיגי, בעוד שמרבית צמחי הכותנה טרם הציצו. יישום האוויר החם בוצע בשתי טמפרטורות (230 מ"צ ו-190 מ"צ) ורק בטיפול קדם-ההצצה. הערכה ראשונה של יעילות הטיפולים בוצעה בתאריך 16/4/2025, שישה ימים לאחר היישום, ובה נמצא כי מספר נבטי העשבים בטיפול קדם-ההצצה היה נמוך במובהק בהשוואה לטיפול אחר-ההצצה (שבהם טרם יושם אוויר חם), ונמוך מההיקש אך ללא מובהקות סטטיסטית (איור 1). היישום הבא של אוויר חם, שתוכנן להתבצע ב-17/4/2025 (יישום שני בטיפול קדם-ההצצה ויישום ראשון בטיפול אחר-ההצצה),

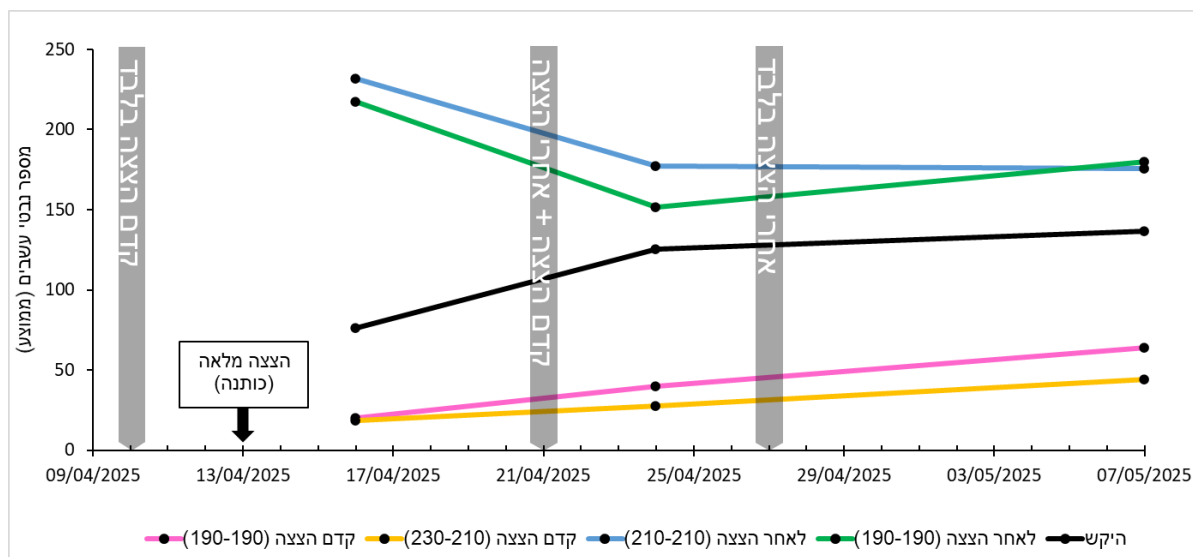
בוצע בפועל באיחור, בתאריך 21/4/2025, בשל תקלה טכנית במתקן. כאמור, מועד זה שימש גם כמועד היישום הראשון של טיפולי אחר-הצצה. הערכת נגיעות שנייה בוצעה ב-24/4/2025, שלושה ימים לאחר היישום (T2+3 בטיפולי קדם-הצצה, ו-T2+3 בטיפולי אחר-הצצה) ובה בלטו לטובה טיפולי קדם-ההצצה במספרם הנמוך יותר של נבטי העשבים, בהשוואה לטיפול ההיקש ולטיפולי אחר-ההצצה (איור 1). היישום האחרון של האוויר החם בוצע בתאריך 27/4/2025 בטיפולי אחר-הצצה בלבד. ספירת נבטי העשבים האחרונה נערכה ב-7/5/2025, ובה נצפתה מגמה עקבית של יעילות גבוהה יותר בטיפולי קדם-ההצצה, שהתבטאה במספר נמוך יותר של עשבים, בהשוואה ליתר הטיפולים (איור 1).



איור 1: ממוצע מספר העשבים ב-5 מטרים לערוגה

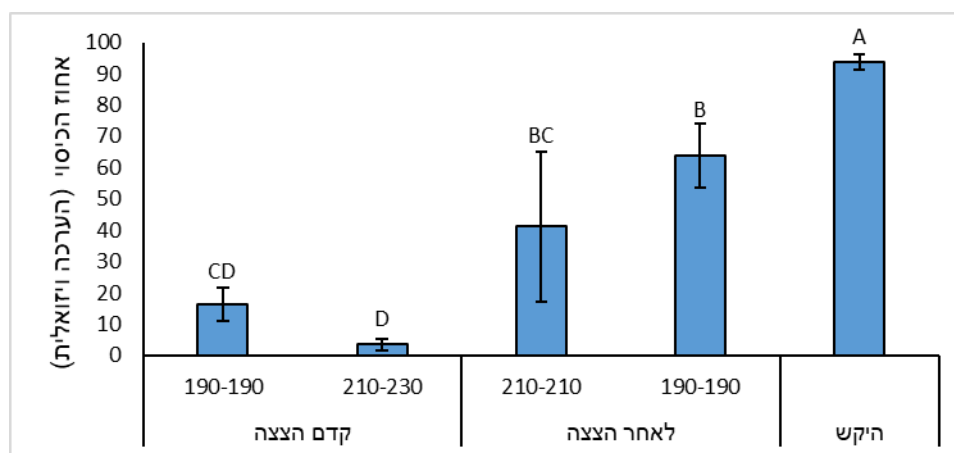
הערכות בוצעו בתאריכים: 16/4/2025 (6 ימים מיישום ראשון בטיפולי קדם-הצצה), 24/4/2025 (3 ימים מיישום שני ואחרון בטיפולי קדם-ההצצה ו-3 ימים מטיפול ראשון לאחר ההצצה), ו-7/5/2025 (16 ימים מהיישום השני והאחרון קדם-ההצצה, ו-10 ימים מיישום שני ואחרון לאחר ההצצה). אותיות שונות מציינות הבדלים ברמת מובהקות $p < 0.05$.

באופן כללי, ניתן לראות שטיפול ראשון בשלב מוקדם של העשבים, כשהם עדיין בשלב הפסיגיים, היה יעיל ומנע שיבוש משמעותי בהמשך, בשילוב טיפול נוסף לאחר 11 ימים בטיפולי קדם-ההצצה. מאידך, טיפול ראשון בשלב מאוחר יותר לאחר ההצצה, כשהעשבים הספיקו להתבסס ולפתח עלים אחדים, היה בלתי יעיל והחלקות בטיפולים אלו היו משובשות בכמות גדולה של עשבים. טיפול ההיקש מלמד על מגמת עלייה הדרגתית בנבטי העשבים אשר המשיכו להציץ בעיקר במהלך השבוע עד השבועיים הראשונים שלאחר ההצצה (איור 2).



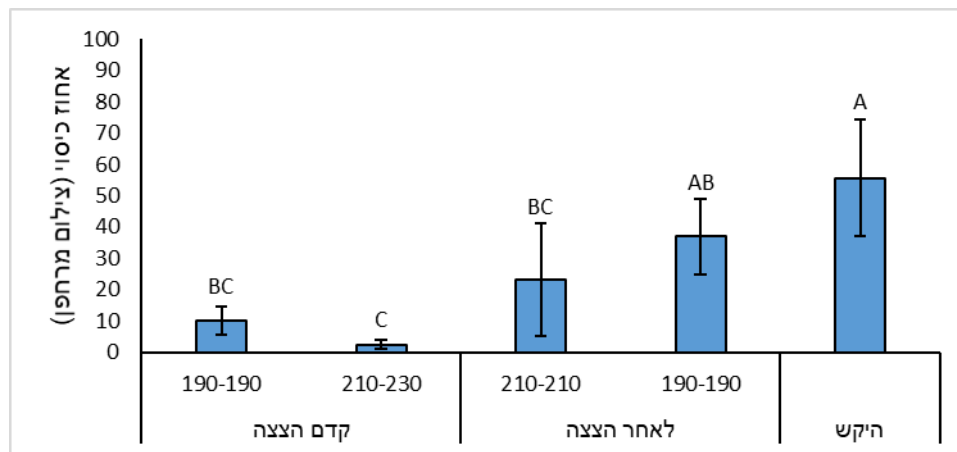
איור 2: מספר נבטי העשבים, ומועדי יישום האוויר החם

הערכות בוצעו בתאריכים 16/4/2025 (6 ימים מיישום ראשון בטיפול קדם-הצצה), 24/4/2025 (3 ימים מיישום שני ואחרון בטיפול קדם-ההצצה ו-3 ימים מטיפול ראשון בטיפול אחר-הצצה) ו-7/5/2025 (16 ימים מהיישום השני והאחרון בטיפול קדם-ההצצה ו-10 ימים מיישום שני ואחרון בטיפול אחר-ההצצה). חצים אנכיים באפור מציינים את מועדי יישום האוויר החם בטיפולים השונים. מועד הצצה מלאה של הכותנה מצוין בחץ בתאריך 13/4/2025.



איור 3: אומדן אחוז כיסוי השטח בעשבים בהערכה ויזואלית

ההערכה בוצעה בתאריך 7/5/2025 (16 ימים מהיישום השני והאחרון בטיפול קדם-ההצצה ו-10 ימים מיישום שני ואחרון בטיפול אחר-ההצצה). אותיות שונות מציינות הבדלים ברמת מובהקות $p < 0.05$.



איור 4: מדידת אחוז כיסוי השטח בעשבים מצילום מרחפן

החלקות צולמו מגובה של כ-7 מטרים בתאריך 6/5/2025 (15 ימים מהיישום שני והאחרון בטיפול קדם הצצה ו-9 ימים מיישום שני ואחרון בטיפול אחר-הצצה). מדידות בוצעו מכל חלקה בין שתי שורות הגידול ולאורך כל הערוגה (50 מ') באפליקציית Canopeo. אותיות שונות מציינות הבדלים ברמת מובהקות $p < 0.05$.

אחוזי כיסוי השטח בעשבייה: בתאריך 7/5/2025 בוצעה הערכה על בסיס אומדן ויזואלי של אחוז השטח המכוסה בעשבים (איור 3). במדד זה אחוז הכיסוי בעשבייה בשטח ההיקש (93.75%) היה גבוה במובהק מיתר הטיפולים. בלטו לטובה טיפולי קדם-הצצה, ובמיוחד טיפול קדם-ההצצה שבו יושמה ביישום הראשון טמפרטורה גבוהה של 230 מ"צ (3.5%), אשר נבדל מהטיפולים שניתנו לאחר ההצצה ומההיקש. טיפולי אחר-הצצה היו בלתי יעילים והשטח בהם היה מכוסה במידה רבה בעשבים. תוצאות דומות עלו מצילומי הרחפן (איור 4) שנלקחו בתאריך 6/5/2025 לצורך חישוב מדויק של אחוזי הכיסוי באמצעות אפליקציית Canopeo (Oklahoma State University, Stillwater, OK)¹. גם בשיטה זו בלטו טיפולי קדם-ההצצה, ובמיוחד טיפול קדם-ההצצה שבו יושמה טמפרטורה גבוהה יותר של 230 מ"צ (2.4%), והוא נבדל מטיפולי אחר-ההצצה וההיקש (55.7%).

באופן כללי, ניתן לראות כי בטיפולי אחר-ההצצה יישום של אוויר חם ב-210 מ"צ יעיל יותר מ-190 מ"צ מבחינת הפחתת העשבייה בשטח, אך לא באופן מובהק.

נבטי עשבים - הרכבם וספירתם בסיום היישומים: תוצאות ספירת העשבים הכוללת, תוך התייחסות לשיוך טקסונומי, מופיעות בטבלה 2. העשבים העיקריים הוגדרו עד רמת הסוג, והם (לפי סדר רמת השיבוש): ירבוז, כף אווז, עוקץ העקרב וחלמית. באופן כללי, בטיפול ההיקש נצפתה התפתחות עשבים נרחבת בכל הקטעים, המאפשרת להתרשם מתרומת הטיפולים השונים. בכל שלושת הקטעים נמצא כי טיפולי קדם-הצצה בשתי הטמפרטורות (230 ו-190 מעלות צלזיוס) הציגו יעילות גבוהה ועקבית בהפחתת מספר העשבים, בהשוואה לטיפולים שלאחר ההצצה, בהבדל של עשרות אחוזים (82%-96%) בהשוואה להיקש. באופן ספציפי יותר, טיפולים אלו הפחיתו ביעילות את הירבוז ואת כף האווז, שהיו העשבים הדומיננטיים בכל החלקות בניסוי. לעומת זאת, טיפולי אחר-ההצצה, שיושמו לאחר שהעשבים כבר התבססו בשטח, הציגו יעילות נמוכה עם עשבים רבים, בעיקר ירבוז וכף אווז, ואחוזי ההדברה היו נמוכים בהשוואה להיקש (נמוכים עד אפסיים). ממצאים אלה מצביעים על רגישות נמוכה יותר של אוכלוסיית העשבים לטיפול בחלון הזמן שבו הם כבר מבוססים עם עלים אמיתיים. באופן כללי, טמפרטורת אוויר גבוהה יותר בכל הטיפולים בניסוי שיפרה את רמת ההדברה.

טבלה 2: תוצאות ספירת העשבים הכוללת, במיון לפי שיוך טקסונומי, וציון אחוזי ההדברה ביחס לסך כל העשבים שנספרו בהיקש בכל קטע. הקטעים נותחו בנפרד (כל הטיפולים הושוו בקטע ראשון, בקטע שני ובקטע שלישי, ולא יחד). הספירה בוצעה בתאריך 7/5/2025, לאחר סיום כל היישומים באוויר חם. נספרו 3 קטעים באורך 2 מטרים בכל חזרה (ערוגה). בשל שונות הקשורה בקרבה לשולי החלקה, נבדקו קטעים שונים אך מקבילים זה לזה, שנדגמו במרחק שונה משולי החלקה: קטע ראשון סמוך לשולי החלקה ובעל רמת שיבוש גבוהה יותר, קטע שני במרכז ערוגת הניסוי וקטע חמישי מרוחק עוד יותר.

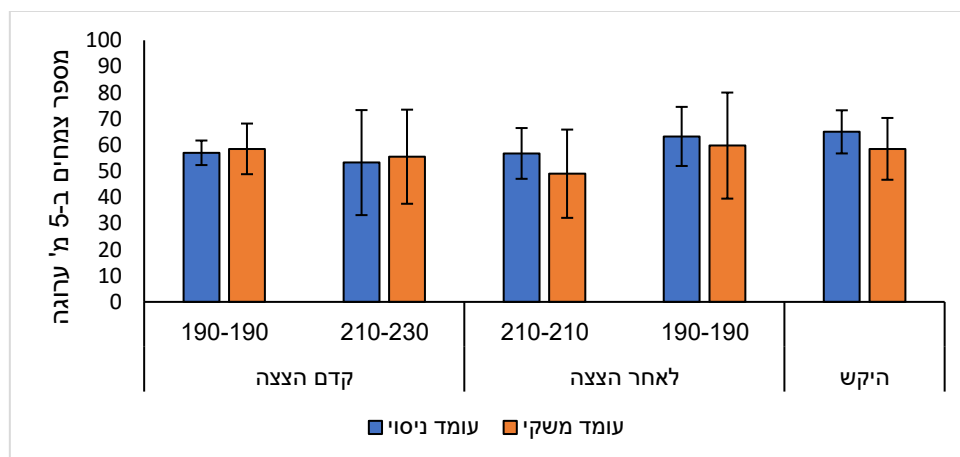
	טיפול	סה"כ עשבים	עוקץ עקרב	ירבוז	כף אווז	חלמית	% הדברה כללי לעומת ההיקש
קטע ראשון	קדם-הצצה (190-190)	14.0 ג	3.0 א	9.3 ג	1.5 בג	0.3 א	93.4
	קדם-הצצה (230-210)	7.3 ג	3.8 א	3.5 ג	0.0 ג	0.0 א	96.6
	אחר-הצצה (190-190)	117.8 ב	6.0 א	98.8 ב	11.0 אב	2.0 א	44.7
	אחר-הצצה (210-210)	55.8 בג	2.5 א	48.8 בג	4.0 אבג	0.5 א	73.8
	היקש	212.8 א	1.5 א	197.8 א	13.5 א	0.0 א	0.0
קטע שני	קדם-הצצה (190-190)	7.8 בג	1.5 א	4.8 ב	1.5 ג	0.0 א	82.3
	קדם-הצצה (230-210)	3.5 ג	1.0 א	2.3 ב	0.0 ג	0.3 א	92.0
	אחר-הצצה (190-190)	35.0 אב	0.8 א	24.0 אב	10.3 ב	0.0 א	20.1
	אחר-הצצה (210-210)	42.8 א	1.0 א	31.3 א	10.5 אב	0.0 א	2.4
	היקש	43.8 א	0.5 א	26.3 אב	16.8 א	0.3 א	0.0
קטע שלישי	קדם-הצצה (190-190)	6.3 ב	0.5 א	4.5 ב	1.3 אב	0.0 ב	83.2
	קדם-הצצה (230-210)	2.0 ב	0.5 א	1.3 ב	0.3 ב	0.0 ב	94.6
	אחר-הצצה (190-190)	62.8 א	1.3 א	47.8 א	13.8 א	0.0 ב	-
	אחר-הצצה (210-210)	12.8 אב	0.8 א	7.0 ב	5.0 אב	0.0 ב	65.8
	היקש	37.3 ב	0.5 א	30.8 אב	5.3 אב	0.8 א	0.0

בטיחות הטיפולים לכותנה

עומד: מספר הצמחים שנספרו בכל טיפול לאורך קטע של 5 מטרים בערוגה מופיע באיור 5. לא נרשמה פגיעה משמעותית בעומד באף אחד מהטיפולים, בהשוואה לטיפול ההיקש, או בהשוואה בין הטיפולים שבהם יושם אוויר חם (איור 5). חשוב לציין כי מחוץ לקטע הנדגם, המופיע בתוצאות, בכמה חזרות בטיפולי קדם-ההצצה, ובמיוחד בשימוש ראשון ב-230 מ"צ, נצפתה פגיעה ברמה נמוכה עד גבוהה בעומד הכותנה. פגיעה זו נצפתה באופן לא שווה בשתי שורות הגידול בשל הצצה לא אחידה (תמונה 1).

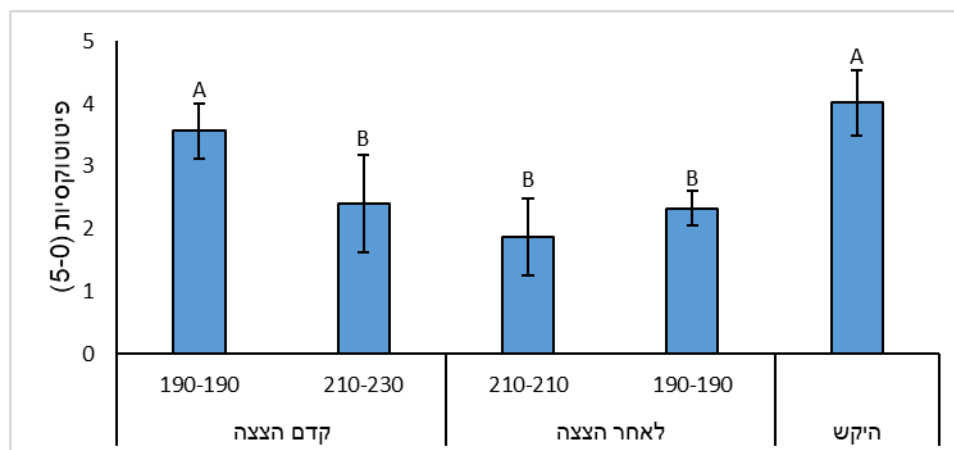
פיטוטוקסיות: הערכה של רמת חיוניות הצמחים בוצעה בתאריך 15/5/2025, והתבססה על ציון ויזואלי בסולם של 0-5 (0 – צמח מת; 5 – צמח בריא). טיפול קדם-הצצה בטמפרטורות 190-190 מ"צ לא נבדל מההיקש. יתר הטיפולים לא נבדלו זה מזה ונצפתה בהם פגיעה בחיוניות הצמחים. פגיעה משמעותית יותר בחיוניות צמחי הכותנה נראתה בטיפולים שניתנו לאחר הצצה והחמירה כשהטמפרטורה עלתה ל-210 מ"צ (איור 6).

פיצול צמחי כותנה: תוצאות אחוז צמחי הכותנה המפוצלים יצרו מעין 'תמונת מראה' של תוצאות הערכת הפיטוטוקסיות. בטיפול ההיקש ובטיפול המשקי, שבהם לא יושם אוויר חם, נמצאו בממוצע כ-20% או פחות צמחים מפוצלים, והם בלטו לטובה ונבדלו במובהק מהטיפולים שניתנו לאחר ההצצה ובהם יושם אוויר חם פעמיים ישירות על הצמחים. בכל הטיפולים שבהם יושם אוויר חם, נמצאו צמחים מפוצלים רבים, והטיפולים לא נבדלו זה מזה. כאמור, הצמחים בטיפולי אחר-הצצה שבהם יושם אוויר חם פעמיים, כללו מספר רב יותר של פיצולים (איור 7).



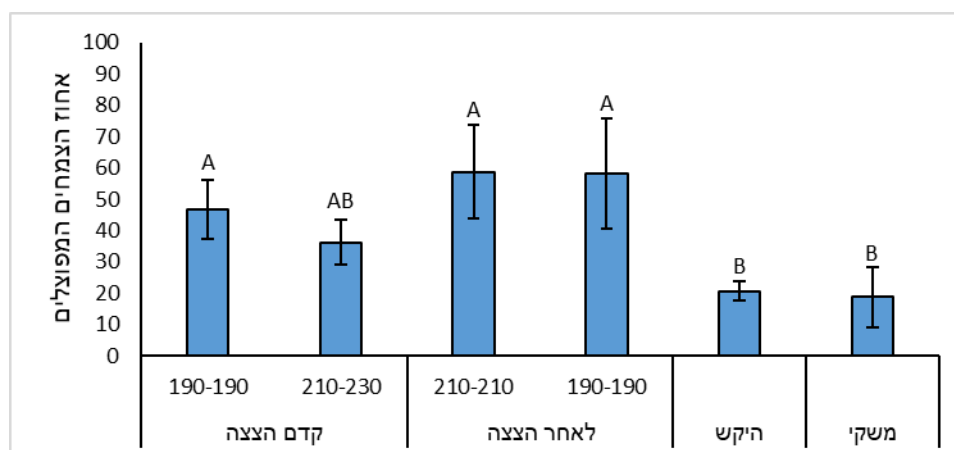
איור 5: עומד צמחי הכותנה בחלקות הניסוי ובטיפול המשקי

מספר צמחי הכותנה בניסוי (בצבע כחול) ובטיפול המשקי (בצבע כתום) בערוגה לאורך 5 מטרים (בשתי שורות הגידול), בתאריך 7/5/2025.



איור 6: ציונים לחיוניות הצמחים

הערכת רמת החיוניות של הצמחים דורגה בסולם של 5-0 (0 – צמח מת; 5 – צמח בריא) בתאריך 15/5/2025 (24 ימים מהיישום שני והאחרון בטיפול קדם-הצצה, ו-18 ימים מיישום שני ואחרון בטיפול אחר-הצצה). אותיות שונות מציינות הבדלים ברמת מובהקות $p < 0.05$.



איור 7: אחוז הצמחים המפוצלים

ספירת הצמחים המפוצלים בממוצע מתוך מדגם של 10 צמחים רצופים בארבעה קטעים מכל חזרה (בסה"כ 40 צמחים בחזרה), בתאריך 5/6/2025. אותיות שונות מציינות הבדלים ברמת מובהקות $p < 0.05$.



תמונה 1: חמשת הטיפולים בניסוי לצד ערוגה מהחלקה המסחרית

צילום רחפן של קטע מאחד הבלוקים בניסוי, שבו מוצג קטע מחמשת הטיפולים שנבחנו, ולצידם ערוגה מהחלקה המסחרית (טיפול משקי). התמונה צולמה בתאריך 6/5/2025 (16 ימים לאחר היישום השני בטיפולי קדם-הצצה ו-10 ימים לאחר היישום השני בטיפולי אחר-הצצה). חצים צהובים מסמנים את מיקום שתי שורות הזריעה בכל ערוגה. משמאל לימין: ערוגה משקית (קלטור ועישוב), קדם-הצצה (210–230), קדם-הצצה (190–190), אחר-הצצה (190–190), אחר-הצצה (210–210) וטיפול היקש [צילום: הראל גרינבלט].



תמונה 2: נבט כותנה עם קודקוד צמיחה פגוע (מסומן בעיגול צהוב) לאחר טיפול באוויר חם [צילום: ניצן כהן]

דיון

ניסוי זה בחן את יעילות השימוש בהזרמת אוויר חם כאמצעי חלופי להדברת עשבים בכותנה אורגנית, תוך השוואה בין יישום מוקדם (קדם-הצצת הכותנה) ליישום מאוחר (אחר-הצצה), ובחינת השפעת טמפרטורת האוויר על רמת ההדברה ועל בטיחות הטיפול לגידול.

יעילות ההדברה ועיתוי היישום: טיפולי קדם-ההצצה היו יעילים יותר בהשוואה לטיפול אחר-הצצה. יישום מוקדם של אוויר חם, כאשר מרבית העשבים רגישים בשלב העלים פסיגיים וטרם הצצת הכותנה, הוביל להפחתה משמעותית ומובהקת במספר העשבים (איורים 1-2), באחוז כיסוי השטח בעשבייה (איורים 3-4) ובהשפעה על ההתפתחות התקינה של הכותנה (איורים 6-7). אחוזי ההדברה בטיפול קדם-ההצצה היו גבוהים ועקביים (כ-82%-96%), לרבות באזורים הסמוכים לשולי החלקה שהתאפיינו ברמת שיבוש גבוהה יותר (טבלה 2). אוכלוסיית העשבים בניסוי כללה ברובה ירבוז וכף אווז, והם הופחתו ביעילות גבוהה בטיפול קדם-הצצה. תוצאה זו מצביעה על פוטנציאל גבוה של טיפול באוויר חם. מנגד, יעילות הטיפולים לאחר ההצצה, שבהם היישום הראשון בוצע לאחר שהעשבים כבר התבססו ופיתחו עלים אמיתיים, הייתה בלתי מספקת. בטיפולים אלה נרשם עומס רב של עשבים, בעיקר של ירבוז וכף אווז – המינים הדומיננטיים בניסוי – ואחוזי ההדברה היו נמוכים מאוד ולעיתים אפסיים (טבלה 2). ממצאים אלו תואמים ידע קודם, שלפיו יעילות פגיעה תרמית בעשבים פוחתת באופן חד עם התקדמות שלב ההתפתחות, בשל עיבוי הרקמות, התפתחות הקוטיקולה ויכולת התאוששות גבוהה יותר.

השפעת הטמפרטורה על העשבים: השוואת הטמפרטורות מצביעה על יתרון יחסי לשימוש בטמפרטורות גבוהות יותר. יישום קדם-הצצה בטמפרטורה של כ-230 מ"צ הפחית את עומס העשבים ואת אחוז כיסוי השטח במידה רבה יותר, בהשוואה ל-190 מ"צ, אך ההבדלים אינם מובהקים סטטיסטית. בטיפולים שניתנו לאחר ההצצה, נצפתה מגמה דומה, אך גם בטמפרטורה הגבוהה יותר לא הושגה רמת הדברה מספקת, דבר המחזק את התובנה כי עיתוי היישום הוא הפרמטר המוביל.

בטיחות הטיפול לכותנה: מבחינת בטיחות הגידול, בקטעים שנדגמו למעקב לא נרשמה פגיעה בעומד הצמחים באף אחד מהטיפולים, דבר העשוי להעיד כי יישום אוויר חם, בטמפרטורות שנבדקו, לא גורם לתמותה ישירה של צמח כותנה שהחלו לנבט – טרום הצצתם (בהיעדר חשיפה ישירה לאוויר חם) ולאחר הצצתם. מאידך, חשוב מאוד לציין כי התקבל רושם ששימוש בטמפרטורה גבוהה של 230 מ"צ בשלב קדם-הצצה כן התבטא בפחיתת בעומד הכותנה בשל תמותת צמחים, אך הדבר נראה בקטעים שלא נדגמו, ולכן אינו מופיע בתוצאות. כמו כן, הופיעו הבדלים גם בין שורות מקבילות באותה ערוגה, ככל הנראה, בשל הצצה בלתי אחידה של שורות הגידול (תמונה 1, טיפול קדם-הצצה 210-230). לפיכך, יש חשש לבטיחות הגידול בטמפרטורה 230 מ"צ. במדדי חיוניות הצמחים ואחוזי ההתפצלות נצפו הבדלים בין הטיפולים. יישום אוויר חם בכל הטמפרטורות, ובעיקר בטיפולים שלאחר ההצצה, פגע בהתפתחות הנורמלית של צמחי הכותנה, הבאה לידי ביטוי במספר גבוה יותר של צמחים מפוצלים, בהשוואה להיקש ובהערכת הפיטוטוקסיות. טיפול קדם-הצצה בטמפרטורה של 190 מ"צ, שהיא הטמפרטורה הנמוכה בניסוי, התבטא בפגיעה מעטה יותר בכותנה (איור 6). עלייה בשיעור הצמחים המפוצלים מהווה אינדיקציה לעקה פיזיולוגית, המוסברת על ידי פגיעה בדומיננטיות קודקוד הכותנה עקב חשיפה ישירה לאוויר החם (תמונה 2). יצוין כי התפצלות הגבעול בכותנה בשלב מוקדם אינה בהכרח מסבה פגיעה ישירה ביבול, אך היא עשויה להשפיע על אחידות הצמחים, על מבנה החלקה ועל ההתאמה לקטיפ מכוני, בעיקר אם היא מופיעה בשיעור גבוה ובשלב מתקדם יותר.

סיכום

שימוש באוויר חם מהווה כלי פוטנציאלי להדברת יעילה של עשבים בכותנה, אך כדי שיהיה גם יישומי בשטח למגדלים, נדרשת הקפדה יתרה על כללים מנחים ושילוב תנאים אופטימליים בחלון זמנים צר, כדי להשיג את ההדברה המיטבית, תוך פגיעה מינימלית בכותנה. היישום חייב להיות מתוזמן בראש וראשונה לשלב הפנולוגי של העשבים, בהיותם רגישים יותר בשלב העלה הפסיגי. במקביל, עדיף לבצע את היישום בשלב קדם-הצצת הכותנה, כדי למזער פגיעה אפשרית בגידול. אינדיקציה להשפעה על התפתחות הגידול התקבלה לפי מדד הפיטוטוקסיות ומספר הפיצולים, אך לא נבדקה מידת הפגיעה ביבול, כך שייתכן שלא תיגרם פחיתה ביבול בשל השימוש באוויר חם. הצטלבות תנאים אופטימליים, הן של מועד הצצת העשבים והן של הכותנה, אינם מובטחים ואף אינם בהכרח בשליטת המגדל, ולכן שיטת הדברה זו דורשת הקפדה יתרה על כלל המרכיבים האגרוטכניים, כדי לשפר את השגתם בשטח: עיבוד אחיד בכל החלקה, התחלה בשטח נקי מעשבים, השקיית הנבטה אחידה (קו-נוע מחוגי, למשל, עלול לייצר חוסר אחידות) שתאפשר הצצה מסונכרנת של העשבים והכותנה. במקביל, נדרשת זריעה מדויקת של הכותנה להצצה אחידה שלה, כדי להימנע מפגיעה אפשרית בגידול. מובן כי תנאים סביבתיים שונים, ובהם אירועי גשם וטמפרטורת הסביבה, עשויים להשפיע על מועד הצצת העשבים והכותנה. תוצאות העבודה מצביעות על הפוטנציאל הגלום בשימוש במפוח חום כאמצעי להדברת עשבים. שילוב פרקטיקות של שימוש במפוח חום וקלטור בין השורות עשוי לצמצם באופן משמעותי את התלות בעישוב ידני לאורך שורת הגידול – גורם מרכזי במערכות חקלאות אורגנית. עם זאת, נדרש מחקר נוסף לבחינת ההשפעות ארוכות הטווח של טיפולים אלה על היבול. בנוסף, למיצוי מיטבי של פוטנציאל השימוש במפוח חום, ניתן לשקול מחקר המשך שיבחן התאמה של המפוח ליישום ממוקד על שורת הגידול בלבד, ולא על כלל הערוגה. יישום ממוקד זה, בשילוב קלטור בשטח הערוגה, עשוי להוביל לפתרון מיטבי, תוך הפחתת עלויות תפעול המפוח (כגון צריכת גז או דלק, מהירות נסיעה, זמן עבודת המפעיל וכדומה) והעלויות הכרוכות בעישוב ידני.

הבעת תודה

העבודה בוצעה במימון קרן המחקרים של ש"מ.

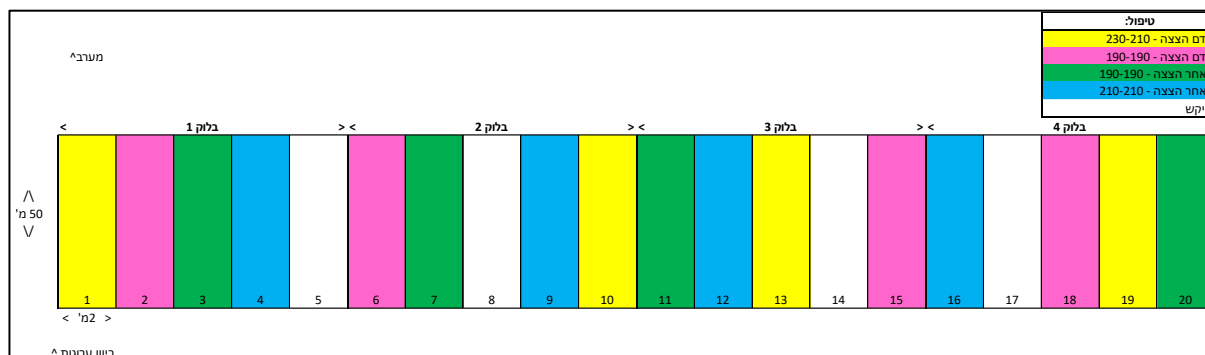
תודה לצוות גז"ש עין חרוד מאוחד על הקצאת החלקה ועל שיתוף הפעולה והעזרה במהלך תקופת הניסוי.

מקורות

1. Patrignani, A., & Ochsner, T. E. (2015). Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. *Agronomy journal*, 107(6), 2312-2320.



תמונה 3: מפוח החום הרתום לכלי משקי במהלך עבודה בשדה כותנה אורגנית;
 עין חרוד מאוחד, 2026 [צילום: ניצן כהן]



איור 8: מפת הטיפולים בניסוי

כל חזרה כללה ערוגה (רוחב ערוגה 1.93 מטרים) באורך 50 מטרים.

האמור לעיל הינו בגדר עצה מקצועית בלבד ואינו מהווה חוות דעת מומחה לצורך הצגה כראיה בהליך משפטי. על מקבל העצה לנהוג מנהג זהירות, ושימוש או הסתמכות על המידע המופיע לעיל הינו באחריות מקבל העצה בלבד. אין להעתיק, להפיץ או להשתמש במסמך זה או בחלקים ממנו לצורך הליך משפטי כלשהו, ללא אישור מראש ובכתב של החתומים.

© שה"מ - הוצאה לאור, 2026, עריכה לשונית: עדי סלוניקו; עיצוב גרפי: לובה קמנצקי; צילומים: ניצן כהן