

1. שם הצעת המחקר:

השפעת טמפרטורות גבוהות על יבול ואיכות כותנת פימה

2. השותפים למחקר:

יהושע סרנגה (עובד תקן), חוקר ראשי, פיסיוולוגיה וגנטיקה של גידולי שדה וירקות (saranga@agri.huji.ac.il)  
הראל בכר, תלמיד מוסמך, פיסיוולוגיה של גידולי שדה  
האוניברסיטה העברית בירושלים, הפקולטה לחקלאות מזון וסביבה, רחובות

3. מבוא ותאור הבעיה, מטרת המחקר, חדשנות ותועלת צפויה:

בשנים האחרונות אנו עדים להחמרה בתנאי הסביבה, המשפיעים ישירות על כושר היצור של הגידולים החקלאיים ואיכות התוצרת. שינוי פרופיל הגשמים, עליה בשכיחות בצורות, כמו גם שינוי הטמפרטורה בעונות החורף והקיץ בישראל הם חלק מתהליכים כלל עולמיים. עליית הטמפרטורה העולמית עשויה להעלות את היבול באזורים קרים (בקנדה למשל) אך צפויה לגרום לפחיתת יבול באזורינו (Long & Ort 2010). למרות הירידה בהיקף גידול הכותנה בישראל יחסית לשיא של אמצע שנות השמונים, הכותנה היא עדיין אחד מגידולי הקיץ העיקריים בישראל עם היקף של 60-80,000 דונם בשנים האחרונות. בעשור האחרון התמחה ענף הכותנה הישראלי בגידול כותנת פימה (*Gossypium barbadense*) ארוכת סיבים (~70%) וזני מכלוא בין-מיניים (פימה X כותנת הרמות, *G. hirsutum*, בעלי אורך סיב בינוני (~30%).

מוצא הכותנה הוא מאזורים המאופיינים באקלים חם, אולם טווח הטמפרטורות האופטימאלי להתפתחות וצבירת יבול בכותנה הוא מתון למדי, 20-30 מ"צ. טמפרטורות שמעבר לתחום אופטימאלי זה הן שכיחות ביותר באזורי גידול הכותנה בעולם, כולל בישראל, במהלך תקופת הפריחה והתפתחות ההלקטים. טמפרטורות כאילו פוגעות בגידול הכותנה במגוון צורות ובהן: ירידת קצב ההטמעה, הגברת נשימה, עיכוב תהליכים מטאבוליים, פגיעה בהאבקה וחנטה, ירידת קצב צבירת החומר היבש, ובסופו של דבר גם פגיעה ביבול (סקירה במאמרם של Loka & Oosterhuis, 2010). עונת הכותנה של 2012 בישראל סיפקה תזכורת מכאיבה להשפעת טמפרטורות גבוהות על גידול הכותנה. בעונה זו, יבול הסיבים הארצי הממוצע היה כ-166 ק"ג לדונם, ירידה של כ-20 ק"ג לדונם (כ-11%) לעומת היבול הממוצע של עונת 2011 (גורן, 2013). ניתוח אקלימי של אותה עונה מצביע על טמפרטורות יום ולילה גבוהות ב-2-3 מ"צ מהממוצע בשלב הרפרודוקטיבי אשר פגעו ככל הנראה בצבירת היבול. תופעה זו מעלה מספר שאלות עליהן ננסה לענות במחקר זה: מהו המנגנון הפיסיוולוגי הראשוני הנפגע עקב עקת חום? האם עיקר הפגיעה מתרחשת בשעות היום, הלילה או לאורך כל היממה? האם ניתן להפחית את נזקי עקת החום באמצעים אגרוטכניים? והאם ניתן לשפר באמצעות טיפוח את התאמת זני הכותנה לטמפרטורות גבוהות? מחקר שנערך בכותנת הרמות במדינת מיסיסיפי בארה"ב ממחיש את רגישותם של צמחי כותנה לטמפרטורות גבוהות. במחקר זה נעשה שימוש במשטחי חימום חשמליים (המשמשים במשתלות) שהוצבו בין שורות הכותנה על מנת להעלות את טמפרטורת הסביבה בחלקות השדה (Pettigrew, 2008). הטמפרטורה הממוצעת בטיפול החום הייתה גבוהה ב-1 מ"צ בלבד יחסית לתנאי הביקורת, אולם בשתיים מתוך שלוש שנות המחקר היא גרמה לירידה של 10% ביבול הסיבים. במחקר אחר בכותנת הרמות נמצא שטמפרטורות לילה גבוהות מגבירות את נשימת הצמחים וגורמות להקטנת ריכוזי ה-ATP והסוכרים בעלים (Loka & Oosterhuis, 2010). מחקר אוסטרלי בכותנת הרמות מצא כי טמפרטורות גבוהות גרמו לפגיעה בממברנות התאים ובקצב הפוטוסינתזה, תוך התאמה בין תגובת זנים שונים בתנאי הניסוי בתאי צמיחה לתגובתם בתנאי שדה (Cottee et al., 2012). במחקר שנערך בארה"ב, נמצא כי השיפור ביבול זני פימה במהלך המחצית השנייה של המאה העשרים היה כרוך (שלא בכוונה) בהגדלת מוליכות הפיוניות וקצב הטרנספירציה (Radin et al. 1994), כלומר, מנגנון של התחמקות

מטמפרטורות גבוהות על חשבון צריכת מים גבוהה. בספרות המדעית פורסמו מחקרים רבים נוספים אודות השפעת טמפרטורות גבוהות על צמחי כותנה, מרביתם עוסקים בכותנת הרמות ורק מיעוטם בכותנת פימה. אולם, גם אותם מחקרים שבוצעו בזני פימה הם בעלי רלבנטיות מוגבלת לישראל בשל זני הפימה והאגרוטכניקה הייחודיים לארץ.

האפגנטיקה היא ענף של הגנטיקה העוסק בשינויים העוברים בתורשה למרות שאינם כרוכים בשינוי הקוד הגנטי. שינויים אפיגנטיים המתרחשים בהורים בתגובה לגורמי סביבה עשויים לגרום לשינויים בהתבטאות גנים בצאצא בתגובה לאותם גורמי סביבה. נושא זה זוכה לעניין רב בשנים האחרונות כגישה לשיפור עמידות לעקות בצמחים (Mirouze & Paszkowski 2011).

**מטרות המחקר:** מטרתו הכללית של מחקר זה היא לשפר את הידע הקיים בנושא השפעת טמפרטורות גבוהות על התפתחות ויבול צמחי כותנה כבסיס להתמודדות עם התופעה, בעתיד הקרוב באמצעים אגרוטכניים ובעתיד הרחוק באמצעים גנטיים-טיפוחיים. מטרותיו הפרטניות של המחקר הן:

1. לימוד השפעת טמפרטורות היום והלילה, ושילובים שונים ביניהן, על התפתחות ויבול צמחי כותנה.
  2. ברור המנגנון הפיסיולוגי האחראי לנזקי עקת חום בכותנה. הבנה פיסיולוגית זו תאפשר פיתוח מדדים לסלקציה של זנים עמידים לחום בתוכניות טיפוח עתידיות.
  3. בחינה ראשונית של דרכים להפחתת נזקי טמפרטורות גבוהות באמצעים אגרוטכניים ו/או אפיגנטיים.
- חדשנות ותועלת צפויה:** שינוי האקלים המתרחש לנגד עינינו מחייב אותנו להיערך לקראת ריבוי מקרים של קיץ חם העשויים לפגוע ברווחיות וביציבות ענף הכותנה. הבנת התהליכים המעורבים בפגיעת טמפרטורות גבוהות בהתפתחות והנבה של זני כותנה ישראליים היא צעד הכרחי לקראת קידום פתרונות אגרוטכניים וגנטיים שיקטינו את השפעתם של אירועי אקלים מסוג זה.

#### **4. התאמת המחקר ליעדי ענף הכותנה:**

המחקר מתאים ליעד 1-ג' של הנהלת ענף הכותנה: "התאמת ממשק הגידול להתמודדות בתנאי אקלים חריגים".

#### **5. תמצית תוצאות המחקר בשנה 1 (2014):**

בשנת 2014 נערך בפיטורון ניסוי דו גורמי שכלל ארבעה זני כותנה: פימה Gol4 ו-Gol9, אקלה RavOn ואקלפי HA-1342, וארבעה משטרי טמפרטורה: ביקורת 22/28 מ"צ (יום/לילה), 28/28 מ"צ, 22/34 מ"צ, 28/34 מ"צ. עד לתחילת פריחה גודלו הצמחים בטמפרטורות מתונות 16/22 מ"צ, בדומה לתנאי האביב, והועברו למשטרי הטמפרטורה השונים למשך כחודשיים בתקופת הפריחה ומילוי ההלקטים. הצמחים גודלו בעציצים בנפח 8 ליטר, 2 צמחים לעציץ, בארבע חזרות. הניסוי בוצע בחודשי הקיץ על מנת לספק לצמחים קרינה מלאה וטבעית. תגובת הצמחים לעקת חום נבחנה במגוון מדדים פיסיולוגיים הכוללים: קצבי פוטוסינתזה, נשימה וטרנספירציה, טמפרטורת הנוף, שיעור חנטת הלקטים וזרעים, תכולת פחמימות בעלים, דליפת אלקטרוליטים (יציבות הממברנות), קצב צימוח, מיפוי צמחי, חומר יבש והתפלגותו, יבול ורכיבו, ואיכות הסיבים.

ניתוח התוצאות הראה כי יבול הכותן המרבי התקבל בטמפרטורות של 22/28 (ביקורת) ו-28/28, ללא הבדל מובהק ביניהן, בעוד שטמפרטורות של 22/34 ו-28/34 גרמו לירידה ביבול במרבית המקרים. ניתוח של רכיבי היבול הראה כי במשטר של 28/28 מספר ההלקטים היה גבוה ומשקלם הממוצע נמוך מיתר הטיפולים. לעומת זאת, במשטרי טמפרטורה של 22/34 ו-28/34 היה מספר ההלקטים זהה לביקורת אך משקלם נמוך יותר, דבר המעיד כי ייצור המוטמעים הוא הגורם העיקרי הפוגע ביבול בטמפרטורה גבוהה. משקל החומר היבש הכללי, שהראה ירידה בטמפרטורות גבוהות בדומה ליבול הסיבים, מצביע גם הוא על מחסור במוטמעים. אולם, מדידות חילוף הגזים, לא הראו פגיעה בקצב ההטמעה או הגברה של נשימת לילה בטמפרטורה גבוהה, מה שעשוי היה להסביר את המחסור במוטמעים. ראוי לציין כי מדידות חילוף הגזים מתבצעות על עלה צעיר ולכן אינן משקפות את קצב הזדקנות העלים שעשוי להיות מואץ בטמפרטורות גבוהות ולגרום למחסור במוטמעים (נושא זה ייבדק

בשנה 2). בדיקות ריכוזי סוכרים ועמילן בעלים שנאספו בניסוי מתבצעות כיום במעבדה ועשויות לשפוך אור נוסף על סוגיה זו. מדידת דליפת אלקטרוליטים העידה על פגיעה בממברנות בטמפרטורות גבוהות.

#### **6. תוכנית להמשך המחקר:**

**שנה 2 (2015):** ניסוי א' - בשנה זו נחזור על הניסוי של השנה הקודמת תוך המשך בחינה של אותם זנים והתמקדות בשני משטרי טמפרטורה, ביקורת (22/28 מ"צ) וטמפרטורה גבוהה (28/34 מ"צ). ההשערה שטמפרטורה גבוהה מאיצה את הזדקנות העלים תיבחן על ידי בדיקות חילוף גזים בעלים בני גילאים שונים. ניסוי ב' - בניסוי נוסף ניבחן האם שינוי אפיגנטי יכול לשפר עמידות לעקת חום בכותנה. זרעים של שני זנים (פימה Gol9 ואקלה RavOn) שמקורם בשני הטיפולים הקיצוניים בשנה הראשונה (22/28 ו-28/34) יגודלו השנה באותן שתי טמפרטורות במבנה ניסוי פקטוריאלי מלא (זרעים מתנאי חום/קור X גידול בתנאי חום/קור). כביקורת ישמשו זרעים מסחריים רגילים מהם גודל הניסוי של 2014 ויגודל גם ניסוי א' של 2015.

**שנה 3 (2016):** בשנה השלישית נתחיל בבחינת טיפולים אגרוטכניים ואפיגנטיים למיתון השפעת טמפרטורות גבוהות בפייטורון ובשדה. בין השאר יבחנו השקיות יומיות בשעות הצהריים, ריסוסים בחומרים מחזירי קרינה, ייצור זרעים בתנאי טמפרטורות גבוהות ועוד.

#### **7. הסבר לסעיפי התקציב:**

המחקר המוצע יתבצע על ידי תלמיד מחקר (כ-36,000 ₪ לשנה) ובסיוע סטודנטים עובדים זמניים (10,000 ₪ לשנה). בנוסף, נדרש לצורך המחקר תקציב עבור עלות השימוש בפייטורון (שרותי חווה 10,000 ₪), חומרים וציוד מתכלה (12,000 ₪).

#### **8. הערכה כלכלית:**

כאמור לעיל, יבול הסיבים בשנת 2012 היה נמוך בכ-20 ק"ג לדונם יחסית לשנה שקדמה לה. ערכו של 1 ק"ג סיבים הוא כ-4\$ (לפי 1.5\$ לפאונד סיבים + ערך הגרעינים), כלומר עקת החום של עונת 2012 עלתה לענף הכותנה למעלה מ-6 מיליון \$ (80,000 דונם לפי 20 ק"ג לדונם פחיתת יבול). קיץ חם, כדוגמת זה שהיה בשנת 2012, מתרחש אחת ל-4-5 שנים, כלומר הנזק השנתי הממוצע לענף בגין עקת חום היא 1.2-1.5 מיליון \$. לפי הנחה שמרנית, שתוצאות המחקר יחסכו רק 10% מנזקי החום, הרי שתועלת המחקר לענף תהיה 120-150 אלף \$ לשנה.

#### **9. מקורות מימון:**

לחוקר אין מימון לנושא זה או דומה לו ממקור אחר. תכנית זו או תכנית דומה לא הוגשה למקור מימון אחר.

#### **10. תוצאות מקדימות:** מפורטות בגוף ההצעה

**11. הגשה קודמת:** הצעת מחקר הקדמית דומה לא הוגשה בעבר לכל גורם מימון שהוא.

#### **12. רשימת ספרות מצוטטת:**

- גורן ע (2013) סיכום ארצי של עונת הכותנה 2012. ניר ותלם 43 : 17-19.
- Cottee NC, Bange MP, Wilson IW, Tan DKY (2012) Developing controlled environment screening for high-temperature tolerance in cotton that accurately reflects performance in the field. Fubc Plant Biol 39: 670-678.
- Loca DA, Oosterhuis DM (2010) Effect of high night temperatures on cotton respiration, ATP levels and carbohydrate content. Environ Exp Bot 68: 258-263.
- Long SP, Ort DR (2010) More than taking the heat: crops and global change. Current Opinion in Plant Biology 13:240-247.
- Mirouze M, Paszkowski J (2011) Epigenetic contribution to stress adaptation in plants. Curr Opin Plant Biol. 14:267-274.
- Pettigre WT (2008) The effect of higher temperature on cotton lint yield production and lint quality. Crop Sci 48: 278-285.
- Radin JW, Zhenmin L, Percy RG, Zeiger E (1994) Genetic variability for stomatal conductance in Pima cotton and its relation to improvements of heat adaptation. Proc Natl Acad Sci USA 91: 7217-7221.