



השבחה ופיתוח של זני שקד מותאמים לשינויי האקלים והתאמת פרקטיקות הורטיקולטוריות לגידולם

כותבת: ד"ר תמר אזולאי-שמר ראש היחידה למטעים, מרכז מחקר נווה יער, מנהל המחקר החקלאי

צוות המחקר נווה-יער: ד"ר דורון הולנד, ד"ר רתם הראל-בז'ה, טלי טרינין, חטיב כאמל, עירית בר יעקב, ד"ר הלל ברוקנטל, אורי איזנבך ודן זעירא.

שותפים למחקר: ד"ר אופיר בהר ומירי ונונו, ד"ר ליאורה שאלתיאל-הרפז, ד"ר ניר שדה, ד"ר אור שפירא, ד"ר אור שפרלינג, ד"ר דנה חרובי, ד"ר מופק אבדת, פרופ' דני שטינברג.

מועצת השקד: אמיר מעגן

חורפים חמים גורמים לבלבול מוקדם וזה מוביל לבזבוז אנרגיה שדרושה לפריחה חנטה ונשיאת יבול. בנוסף, העונה החורפית הולכת ומתאחרת, כלומר צבירת הקור מתחילה מאוחר יותר ומסתיימת מאוחר יותר. שינויים אלו בתנאי הסביבה משפיעים ישירות על יבולו הסופי של המגדל. אי צבירת מנות הקור משפיעה על פוריות הפריחה ועל איכות המפגש בין הזנים המפריים (Sánchez-Pérez et al 2014). כמו כן, התאחרות עונת החורף גורמת לשלב הפריחה להגיע במהלך עונת סערות החורף, דבר זה פוגע משמעותית באפקטיביות פעילות ההאבקה שנעשית על ידי הדבורים. שינויים קיצוניים אלו משפיעים גם על אוכלוסיות המזיקים והמחלות ועל רמת הפתוגניות שלהם (איזנבך וחוב' 2020). לדוגמא, צרעת השקד הינה מזיק ספציפי לעצי שקד הגורם לפגיעה משמעותית ביבול. הצרעה עוברת את רוב מחזור החיים בשקדים נגועים השורדים כמומיות על עצי השקד. הנקבה מגיחה מהמומיות בתחילת האביב ומטילה בתוך החנטים ביצים אשר מתפתחות לזחלים בתוך הגלעין עד להגיע לבגרות בעונה העוקבת וחוזר חלילה. מזיק זה גורם לפגיעה משמעותית ביבול. עבודות מחקר שונות הראו כי

ענף השקד בישראל מקיף יותר מחמישים אלף דונם, ומייצר כ-7000 טונות גלעין לשנה. היקף הייצור אינו מספק את הדרישה המקומית וקיים יבוא משלים בהיקף של כ-4000 טונות בשנה (יור' שולחן שקד מר אמיר מעגן, סיכום עונה 2023). שוק השקד לתעשייה (חטיפי בריאות, תחליפי חלב וכו') הולך ונהיה משמעותי בישראל ובעולם (FAO). לאור זאת, הביקוש לשקד צפוי להמשיך ולעלות בעשורים הקרובים ואיתו גם רווחיות הענף. יחד עם זאת ענף השקד הישראלי מתקשה להתמודד עם שקד מיובא מסיבות שונות, המרכזית שבהם היא רמת היבול הנמוכה יחסית בישראל. בעוד שבארץ ממוצע היבול הוא כ-140-150 ק"ג לדונם, בארה"ב - מגדלת השקד המרכזית בעולם, הממוצע עומד על 250 ק"ג גלעין לדונם (אמיר מעגן, 2024).

השקד (*Prunus dulcis*) הוא עץ נשיר, כלומר משיר את עליו בסוף הקיץ, מפסיק לצמוח ונכנס לתרדמה חורפית עד לפריחה אינטנסיבית בשלהי החורף ולאחריה לבלבול. מועד הפריחה איכותה ויכולתה להפוך לפרי מושפעים מאוד מכמות מנות הקור שנצברו לאורך התרדמה והינן תלויות זן. בעשורים האחרונים קיימת מגמת שינוי בתנאי האקלים, ומספר השנים שבהן אין מספיק מנות קור מתרבה והולך.



1.3 גרם) קליפה חצי רכה, גלעין יפה ובעל טעם טוב מאוד, עץ בעל מבנה מאוזן הפורח באמצע תקופת הפריחה (5 מרץ 2024 שיא פריחה) המגיע ליבולים גבוהים מאוד, בממוצע רב-שנתי של 250-300 ק"ג לדונם, קומפקטי ומדורבן. והזן 'מתן', שניטע היום בכ- 90% מהנטיעות החדשות, בעל יכול גבוה ויציב, גלעין גדול (מידה 1-2, 1.5 גרם) קליפה חצי קשה (רכה יותר 'מבנימין'), גלעין יפה וטעם מצוין, עץ בעל מבנה מאוזן, עלים רחבים, הפורח באמצע תקופת הפריחה (10 מרץ 2024 שיא פריחה) ומגיע ליבולים גבוהים, בממוצע רב-שנתי של 150-200 ק"ג לדונם.

(ב) קיבוע אנרגיה בפוטוסינטזה מהגבעול (גם בחורף אחרי נשירת עלים): השקד הינו עץ נשיר, כלומר משיר את עליו בסוף הקיץ ונכנס לתרדמה המאופיינת בעצירת צימוח עד להתעוררות בשלהי החורף (תלוי זן וסביבה) לפריחה אינטסיבית, חנטה ולבלוב. לאור זאת, לעץ הנשיר וביניהם לשקד אין אפשרות להטמיע פחמן (לבצע פוטוסינטזה), ולייצר סוכרים במהלך התרדמה, כך שבפועל העץ נסמך לאורך התרדמה ושלב ההתעוררות על מאגרי הסוכר אותם צבר בסוף הקיץ והסתיו. מחקרים מראים שתנאי הסביבה משפיעים על קצב ניצול המאגרים ושבטמפ' גבוהות קצב ניצול הסוכרים יגבר, אולם מכיוון שלעץ אין יכולת לבצע פוטוסינטזה, יכולת התגובה לשינויים אלו בצריכת הסוכר מוגבלת מאוד (Sperling et al., 2019). במחקר שבוצע ביחידה בשנים האחרונות זוהתה תכונה ייחודית בשקד הבר

טמפרטורה משפיעה באופן משמעותי על התפתחות והגחת הצרעה (Margaritopoulos & Tzanakakis, 2006) עוד נמצא כי ההתחממות הגלובלית ואביב חם, מובילים להגברת הגחה ואילו של צרעת השקד ופגיעה גבוהה יותר ביכול, בהשוואה לשנים בהן טמפרטורות האביב נמוכות יותר (תצפית בנווה-יער).

ביחידה למטעים בנווה יער מבצעים מחקר ופיתוח להשגחה של זני שקד מותאמים לשינויי האקלים והתאמת הפרקטיקות ההורטיקולטוריות לגידולם. המטרה המרכזית של תוכנית ההשגחה היא העלאת היכול וזאת באמצעות שילוב תכונות שונות לייצור זנים בעלי יכולת התאמה לסביבה משתנה, אשר מסוגלים לשמור על יכול יציב ורווחי גם בשנים עם טמפ' סביבה ותופעות אקלימיות לא צפויות. בשלבים הראשונים של הפיתוח, יחידת המטעים בנווה-יער עושה שימוש באוסף השקד המהווה את התשתית והמקור לתכונות השונות בשקד. האוסף נבנה במשך עשרות שנים ע"י דר' רפי אסף ודר' דורון הולנד, המונה למעלה מ-150 זני שקד שונים שהגיעו ממקומות שונים בעולם, כאשר לכל אחד מהם יש תכונות שונות המקודדות ע"י גנים שונים. באמצעות שימוש בכלים גנטיים ופיזיולגים בתהליך מחקר ופיתוח מדוייק, במסגרת תוכנית ההשגחה אנו משלבים 4 תכונות חדשות לייצור הזנים המסחריים החדשים: (א) פוריות עצמית; (ב) קיבוע אנרגיה בפוטוסינטזה מהגבעול (גם בחורף אחרי נשירת עלים); (ג) עמידות בפני קסיללה; (ד) עמידות לצרעת השקד (איור 1).



שקד בר "ערבי"

שקד תרבותי "אום-אל-פאחם"



איור 1: התכונות החדשות לייצור זני שקד מסחריים המותאמים לשינויי האקלים

'הערבי' *Prunus arabica* בה גבעולי עץ השקד, נשארים ירוקים במהלך כל עונות השנה (Brukental et al., 2021). במחקר פיזיולוגי מעמיק נמצא כי ענפי השקד ה'ערבי' מבצעים חילוף גזים דרך פיוניות פונקציונליות. עוד נמצא כי פיוניות אלו מבקרות את קליטת וקביוע ה- CO_2 בתהליך פוטוסינטזה ומבקרות את הטרנספירציה וכפועל יוצא את יעילות ניצול המים בתגובה לשינויים בתנאי הסביבה (Training et al., 2022). תכונה ייחודית זו הנקראת Stem

(א) תכונת פוריות עצמית: שילוב של תכונות פוריות העצמית בזני השקד הישראליים הינה פיתוח של יחידת המטעים בהובלתו של דר' דורון הולנד (Holland, D. et al., 2016). תכונה זו מאפשרת נטיעה ללא צורך בזנים מפרים ובעלת ייתרון משמעותי במיוחד בחורפים חמים, כשיש מחסור במנות קור הגורמות לערעור מועדי הפריחה והמפגש בין הזנים המפרים. במסגרת פרויקט זה פותחו 2 זנים הזן 'בנימין' ב.יפת בעל תכונות מסחריות גבוהות, גלעין בגודל בינוני (מידה 3-4,



המזיק נמצא במדינות רבות בדרום מזרח אגן הים התיכון, דרום אירופה ובמרכז אסיה. הצרעה מקיימת דור אחד בשנה במטע: הבוגרת מטילה את ביציה במרץ-אפריל בתוך חנט השקד הצעיר. פרי שמתפתח בו זחל, משחיר ואינו נושר (מומיה). זני השקד העיקריים בישראל ובעולם רגישים מאוד לצרעה וללא טיפול מתאים היכול ניזוק משמעותית. הטיפול כנגד הצרעה כולל שימוש בחומרי הדברה מסוכנים לאדם ולסביבה, שפוגעים גם בחרקים מועילים כדוגמת דבורת הדבש החיונית להאבקת השקד ובאויבים טבעיים של חרקים מזיקים אחרים בשקד אשר גורמים לנזקים ופחיתה ביבול. בשנים האחרונות צומצם באופן משמעותי מגוון חומרי ההדברה המותרים לשימוש כנגד הצרעה. מגמה זו השאירה בשוק חומרים בעלי יעילות פחותה כנגד המזיק, אשר מאפשרת פיתוח עמידות של הצרעה לחומרי ההדברה הקיימים. פיתוח זנים עמידים הינו כלי אפקטיבי, זול וארוך טווח כנגד המזיק שאינו פוגע באדם ובסביבה. גם בפרויקט זה, באמצעות סריקה של אוסף השקד בנווה-יער זוהה הטיפול 'שניר' שהגיע מאזור הבניאס, ברגישות נמוכה לצרעה ומהווה היום כמקור לתכונה בתוכנית ההשבחה. בשיתוף פעולה עם דר' ליאורה שאלתאל-הרפז, בחנו מיכלואים בין 'שניר' ל'מתן' וזיהינו טיפוסים בעלי עמידות לצרעה בעלי איכות פרי טובה אשר ישמשו להמשך תוכנית ההשבחה ליצור סמנים מולקולריים וללמוד הגנטיקה של התכונה.

פרקטיקות הורטיקולטוריות

פרקטיקות הורטיקולטוריות שונות משפיעות באופן דרמטי על התפתחות העצים השקד, היבול ובסופו של דבר על רווחיות המטע. על מנת להתאים את הפרקטיקות לזנים החדשים שמפותחים ביחידת המטעים של נווה-יער מתבצעות בחינות פיזיולוגיות והורטיקולטוריות: (א) התאמת כנה-רוכב; (ב) עיצוב; (ג) צפיפות המטע; ו-ד) התאמת פרוטוקולי השקיה. (א) **התאמת כנה רוכב**: לבחירת הכנה לרוכב יש חשיבות גבוהה מאוד בתפקוד העץ. ידוע שלכנה יש השפעה מכריעה על עמידות העץ בפני גורמים ביוטים ואביוטים, גדילה והתפתחות של העץ, איכות הפרי, יבול ובסופו של דבר מוביל לרווחיות המטע. לבחינת ההתאמה של כנות שונות לזנים החדשים שפותחו בנווה יער, הקמנו חלקה של הזן 'מתן' על כנות שונות. בחנו מגוון של כנות בעלות התאמה לקרקעות שונות, עמידויות שונות ליובש/הצפה, מחלות ומזיקי קרקע כגון נמטודות וכן כנות מרסנות כגון ויקינג וקורנרסטון, שהראה בממצאים ראשוניים עד כה השפעה מרסנת (איור 2).

שילובי הכנות השונות עם הרוכב 'מתן' השפיעו על מבנה,

(C)-photosynthesis capability) ואפיינות צמחי מדבר החיים בתנאי גידול קיצוניים, בהם הגבעולים משמשים כמקור קיבוע פחמן נוסף במיוחד כשאין עלים (לדוגמה בנשירים בתקופת תרדמת החורף). רקמה פוטוסינתטית זו ממלאת תפקיד משמעותי בהתפתחות ניצנים, פריחה, התפתחות שורשים, כמו גם התאוששות לאחר עקות סביבה וכך תורמת לעמידות בתנאי סביבה קשים, בנייה מחסור במים וטמפרטורות גבוהות. במסגרת מחקר גנטי שביצענו על אוכלוסיות מכלוא שעשינו בין ה'שקד הערבי' לזן 'אום אל פאחם' (א.א.פ.), צברנו ידע רב על הגנטיקה של התכונה (Brukental et al., 2021). ניתוח של אוכלוסיות מכלוא אלו הראה במשך שנתיים רצופות מתאם מובהק בין רמת הפוטוסינתזה בגבעול לבין גובה היבול, המצביעה על יכולת התרומה האפשרי של תכונה זו בייצוב אנרגית העץ לתמיכה ביבול, גם תחת אקלים משתנה.

ג) עמידות בפני קסיללה בשקד: מחלת ה-Almond Leaf Scorch; ALS (בעברית: צרבון-עלים בשקד) נגרמת על ידי החיידק *Xylella fastidiosa* (קסיללה), מחלה חיידקית שתוקפת פונדקאים שונים, בניהם גפן, זית ושקד. המחלה גורמת לתסמיני צריבת עלים, התייבשות ענפים ולעיתים למוות של העץ ופגעה בצורה קשה בגפנים בקליפורניה ובגידול זית ושקד באירופה והובילה לעקירה של מאות אלפי דונמים של זיתים ושקדים. נכון להיום לא נמצא חומר או ממשק טיפול יעיל כנגד המחלה.

בארץ, המחלה אותרה בשנת 2016 במספר חלקות שקד בעמק החולה. לאור החשש שהתפרצות המחלה יביא לנזק עצום לענף השקד בכל הארץ עלתה החשיבות בפיתוח זנים עמידים למחלה. זיהוי של זני שקד עמידים לקסיללה ופיתוח סמנים גנטיים לתכונת עמידות כזו, מהווה אסטרטגיה יעילה לפתרון הבעיה ופיתוח זנים מסחריים עמידים. עד כה לא תוארו זני שקד בעלי עמידות מוחלטת למחלה בספרות המקצועית. בשיתוף פעולה עם מעבדתו של ד"ר אופיר בהר והסטודנטיות נועה זכריה ומירי ונונו, ביצענו סריקה של אוסף השקד ומיכלואים שונים, וזיהינו מספר טיפוסים בעלי פוטנציאל עמידות לקסיללה, בניהם הזן 'לורן' שמשמש אותנו בתוכנית ההשבחה. בימים אלו אנחנו פועלים על פיתוח סמנים גנטיים לזיהוי הגן/הגנים שאחראים לעמידות ולסלקציה בפרויקט ההשבחה.

ד) עמידות לצרעת השקד: צרעת השקד (*Eurytoma amygdali* Enderlein) הינה חרק מונופאגי שהפונדקאי היחיד שלו הוא השקד. זהו מזיק מפתח הפוגע בחנט השקד וגורם לנזק כלכלי משמעותי עקב פגיעה בגלעין הנאכל, ביבול ואף בעץ (Aharoni, 1916; Mentjelos and Atjemis, 1970).



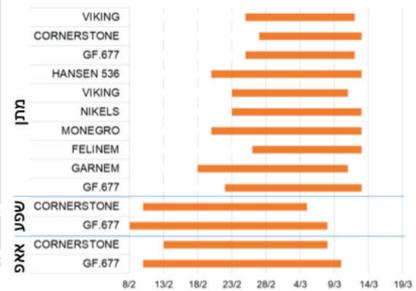
על התפתחות העצים היבול ורווחיותו. כאשר יש חשיבות בהתאמת צפיפות המטע להתנהגות זן השקד ושילובו עם הכנה. לשם כך, אנחנו בוחנים את התנהגות הזן החדש 'בנימין' על כנת GF.677 במטע צפוף בנטיעה של 4/6, למיטב ידיעתנו זו הפעם הראשונה שגידול זן מסחרי של שקד זה נבחן בצפיפות כזו. השפעתו של גידול הזן 'בנימין' בצפיפות כזו על היבול וניצול שטח המטע רצוי שתיבחן גם בחלקות מסחריות גדולות יותר

נמרצות הצימוח (vigour) של העץ ובנוסף הראו השפעה על מועד ומשך הפריחה. לתכונה זו יש חשיבות רבה במיוחד בחורפים חמים, כשמועד הפריחה מאוחר קיים סיכוי גבוהה יותר לצבירת מנות קור. בהשוואה לשילובי כנות שונים לזן 'שפע' ו'אום-אל-פאחם' הנתונים הראו ש'מתן' פורח מאוחר יותר (איור 2). אנו מתעתדים לבחון את מדדי היבול ואיכות פרי. בחינות אלו יאפשרו את התאמת הכנה האופטימלית לביצועים המרביים של הזן 'מתן'.



התאמת כנה לזן מתן

ימי פריחה 2024



איור 2: מבנה הזן 'מתן' ומועדי פריחה שונים על כנות שונות

ד) **התאמת פרוטוקולי השקיה:** חשיבות התאמת פרוטוקולי השקיה לזן בשילוב רוכב ברורה. בעבודות קודמות שביצענו, בשיתוף פעולה עם ד"ר ניר שדה וד"ר אור שפירא בחנו התנהגות של זני שקד שונים על כנות שונות תחת מדדי השקיה שונים במערכת ליזימטרים. תוצאות המחקר עד כה הצביעו שכנת HANSEN מעודדת צימוח נמרץ וצריכת מים גבוהה יותר של הזן 'מתן' מאשר כנת GF.677. בעקבות תוצאות אלו בחנו 2 פרוטוקולי השקיה, השקיה משקית (780 קוב לדונם) לעומת השקיה מופחתת (30%-) על חלקת 'מתן' המורכבת על GF.677 או 'הנסן' במטע אל-רום במיצר

ב) **עיצוב עצים צעירים:** מחקרים רבים נעשו לפיתוח של שיטות עיצוב של העץ בשנים הראשונות של התפתחותו והשפעת פרקטיקה חקלאית זו על הדירבון של העץ והיבול. במהלך השנים האחרונות התחלנו בבחינת שיטת עיצוב בקיטום המתבצעת כבר בשנים הראשונות של המטע הצעיר. הממצאים הראשונים מצביעים כי שיטת קיטום זו ועיצוב העץ הצעיר כבר מראשיתו מובילה להסתעפויות ולהתפתחות זרועות רבות בזנים 'מתן' ו'בנימין'. בשנים הבאות, תיבחן השפעת שיטת עיצוב זו על מדדי היבול והפרי.

ג) **צפיפות המטע:** גם לצפיפות המטע השפעה ניכרת



Components Responsible for the Unique Photosynthetic Stem Capability of the Wild Almond *Prunus arabica* (Olivier) Meikle. *Front Plant Sci.* 2021 Nov 25;12:779970.

FAO: <https://www.fao.org/3/X5337E/x5337e02.htm#almond%20production>

Holland D, Bar-Yaakov I, Hatib K, Birger R. (2016). 'Matan', a new self-compatible almond cultivar with high-quality kernel and good yield. *HortScience* 51:302-304.

Margaritopoulos, John & Tzanakakis, Minos. (2006). Diapause completion in the almond seed wasp, *Eurytoma amygdali* (Hymenoptera: Eurytomidae) following early low temperature treatment. *European Journal of Entomology*. 103. 733-742.

Mentjelos, J., Atjemis, A. (1970), Studies on the biology and control of *Eurytoma amygdali* in Greece. *Journal of Economic Entomology*. 63, 1934-1936.

Sánchez-Pérez, R., Del Cueto, J., Dicenta, F., & Martínez-Gómez, P. (2014). Recent advancements to study flowering time in almond and other *Prunus* species. *Frontiers in plant science*, 5, 334.

Sperling, O., Kamai, T., Tixier, A., Davidson, A., Jarvis-Shean, K., Raveh, E., ... Zwieniecki, M. A. (2019). Predicting bloom dates by temperature mediated kinetics of carbohydrate metabolism in deciduous trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 276-277(April), 107643.

Trainin, T., Brukental, H., Shapira, O., Attia, Z., Tiwari, V., Hatib, K., Gal, S., Zemach, H., Belausov, E., Charuvi, D., Holland, D., and Azoulay-Shemer, T. (2022). Physiological characterization of the wild almond *Prunus arabica* stem photosynthetic capability. *Frontiers in Plant Science* 13

בשיתוף פעולה עם רז ליבנה ד"ר אור שפרלינג, וד"ר אור שפירא. התוצאות הראו שההידראוליקה של 'מתן' על שתי הכנות שונה ושהתכווצות היומית של כנת 'הנסן' נמוכה יותר מזו של GF.677. יש לציין שהנתונים הנ"ל התקבלו עד כה רק בחלקה אחת בדרום רמת הגולן.

לאור זאת, הקמנו באביב 2023 חלקת מטע בנווה-יער של הזן 'מתן' על 2 כנות, 'הנסן' ו-GF.677, לניסוי מסודר של 2 משטרי השקיה: משקית (נווה יער) והשקיה מוגברת לפי מקדמי השקיה קליפורניה. בחינת התפתחות העצים ועד יבול תוך כדי מעקב אחר פרמטרים פיזיולוגיים יאפשר את התאמת הכנה ופרוטוקול ההשקיה לביצועים האופטימליים של זן זה. מחקר רב תחומי זה ותוצאותיו הם תוצר של שיתופי פעולה עם מובילי המגדלים והשתלנים בענף השקד, בניהם זוהר חנני, יהודה קרון, ירון פינטו, משה לוי, ורז ליבנה, המסייעים בקידום המחקר והפיתוח של ענף השקד בישראל.

ובתמיכה של הקרנות: קרן המדען הראשי- תוכנית השבחה, הקרן של משרד המדע והחדשנות, שולחן השקד-מועצת הצמחים, קרן יק"א ומשק המודל לחקלאות בת קיימא ע"ש הלמסלי.

רשימת ספרות מצוטטת:

איזנבך א., בר-יעקב ע., חטיב כ., הראל-בז'ה ר., דג א., ראובני ח., שאלתיאל-הרפז ל., איבדאח מ., הולנד ד. 2020. מחקר ביולוגי אנטומי וגנטי על רגישות פרי השקד לצרעת השקד. עלון הנוטע, 74, עמ' 18-23,54.

בהר, אופיר; שותפים: אזולאי-שמר תמר; בורנשטיין, מנחם; בלנק, ליאור; ברוקנטל, הלל; דרוה, אורית; הולנד, דורון; הראל-ביז'ה, רותם; ונונו, מירי; חטיב, כאמל; צחורי-פיין, עינת; קרסנוב, הלנה; שולחני, רן; שטיינברג, דני. קסיללה פסטידיוסה בישראל: דו"ח מצב. גליון 802, (3202), יבול שיא

Aharoni, J. (1916). *Eurytoma* sp., ein neuer mandelschadling in Palastina. *Tropenpflanzer* 19, 317-322.

Brukental H, Doron-Faigenboim A, Bar-Ya'akov I, Harel-Beja R, Attia Z, Azoulay-Shemer T, Holland D. Revealing the Genetic