



# שקד הבר הערבי (Prunus arabica Olivier) כמקור לתכונות מועילות בתוכנית ההשבחה

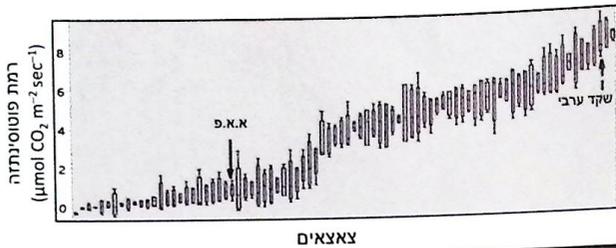
בעלי חומר גנטי מגוון הנושא בחובו תכונות חיוניות רבות כגון עמידות למזיקים מקומיים או התאמה לתנאי סביבה ייחודיים לאזור הגידול (Sorkheh et al., 2009).

השקד הערבי (*Prunus arabica* Olivier; syn *Amygdalus*) הינו מין בר, המוגדר טקסונומית כמין שונה מהשקד התרבותי. מין ייחודי זה נפוץ במרכז אסיה לאורך חצי הסהר הפורה. בישראל, נותרו פרטים בודדים בטבע באגן הניקוז של ואדי מכמש (גבולו הצפוני של מדבר יהודה). השקד הערבי מתואר בספרות כסביל ליובש, בעל מערכת שורשים מעמיקה ועלים בעלי שטח פנים קטן. בדומה לשאר מיני השקד נכנס השקד הערבי לתרדמה במהלך החורף, עוצר את תהליך הצימוח, מביא לנשירת עלים והפיכת המריסטמות לפקעים (Sorkheh et al., 2011). אולם בשונה משאר מיני השקד, ענפיו של השקד הערבי אינם משתעמים לאורך כל השנה ושומרים על מופע ירוק. נמצא כי בשאר מיני השקד במקביל להתפתחות הענפים בעונת האביב מתפתחת שכבת שעם בגוון אפור. השקד הערבי לעומתם לא מפתח את אותה שכבת שעם, וענפיו נותרים ירוקים לאורך כל עונת החורף (Trainin et al., 2022). היפותזת המחקר הבסיסית היא שענפים ירוקים אלו של השקד הערבי מבצעים פוטוסינתזה ברמה משמעותית גם בתקופת התרדמה. אם אכן ענפים אלו בעלי יכולת פוטוסינתטית, אנו משערים שתכונה זו חשובה ויכולה להוות תכונה מרכזית להעברה לזנים מסחריים (Nilsen 1995). ייתכן ותוספת סוכרים שתגיע הודות לתכונת הגבעול המטמיע במהלך החורף תאפשר לשקד לתמוך אנרגטית יותר טוב בפריחה ובחנטה ולהשיג יכולים גבוהים יותר. תכונה אשר תהיה משמעותית בייחוד בחורפים חמים בהם הנשימה במהלך התרדמה מואצת וניצול הסוכרים של השקד מוגבר (Sperling et al., 2019). מטרת מחקר זה הייתה לבחון האם ענפיו של השקד הערבי אכן מבצעים פוטוסינתזה משמעותית לאורך החורף. במידה וכן, לבחון האם נוכל להעביר תכונה זו לזנים מסחריים בהכלאות והאם להטמעה דרך הגבעול במהלך

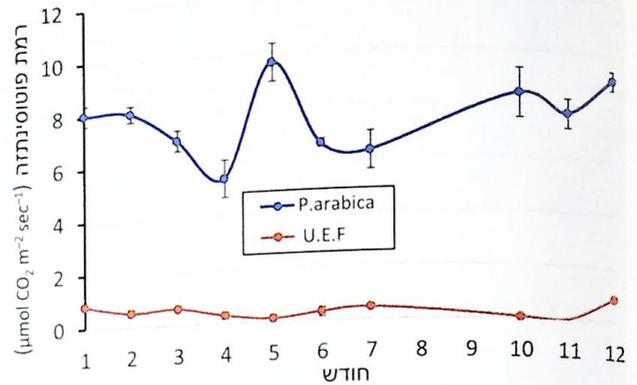
ההל ברוקנטל<sup>1</sup>, אורי איזנבך<sup>1</sup>, טלי טרינין<sup>1</sup>, רותם הראל-בד'ה<sup>1</sup>, כאמל חטיב<sup>1</sup>, עירית בר-יעקב<sup>1</sup>, אור שפירא<sup>1</sup>, עדי דורון-פייגנבוים<sup>2</sup>, דן זעירא<sup>1</sup>, דורון הולנד<sup>1</sup> ותמר אזולאי-שמר<sup>1</sup>.  
<sup>1</sup> היחידה למטעים, מרכז מחקר נוה יער, מינהל המחקר החקלאי.  
<sup>2</sup> המכון למדעי צמח, מרכז וולקני, מינהל המחקר החקלאי

**ה**שקד התרבותי (*Prunus dulcis*) משויך למשפחת הוורדניים, ונחשב לגידול מרכזי ברמה העולמית. ייצור השקד כמו גם צריכתו נמצאים בעלייה מתמדת בחמישים השנים האחרונות. גלעין השקד נצרך ישירות, נשמר היטב לתקופה ארוכה ומשמש כמרכיב מרכזי בתעשיית המזון בשל ערכיו התזונתיים והבריאותיים. בישראל, היקף נטיעות השקד מוערך בכ- 65,000 דונם של מטעים מניבים המייצרים כ- 7,500 טון שקד מקולף (אמיר מעגן, כנס מגדלי שקד, 2024). בהיותו נשיר, נכנס השקד לתרדמה במהלך החורף, ממנה הוא מתעורר לאחר חשיפה לפרק זמן מסוים לטמפ' נמוכות (מנות קור) לפריחה אינטנסיבית וחנטה, לאחר מכן מתחיל שלב הבלבוב, הצימוח הווגטיבי לאורך האביב והקיץ והבשלת הפרי בשלהי הקיץ (אוגוסט). מספר מנות הקור הנדרשות להתעוררות חיונית הן תלויות זן. עץ השקד נחשב כעץ המתאים במיוחד לתנאי הארץ ומסוגל להניב ולתת יבולים טובים גם בחורפים חמים יחסית (Brukental et al., 2021). אזורי הגידול האקלימיים של השקד בישראל רחבים יחסית וכוללים את מרכז ודרום הגולן, עמק יזרעאל, הנגב הצפוני ובקעת ערד. שינויי האקלים בשנים האחרונות מאתגרים את גידול השקד בארץ ובעולם. אי סדירות בהיקף ומועד הופעת הגשמים וכן חורפים חמים מאוד או גשומים במיוחד פוגעים בדבורים, בעוצמת ובאיכות הפריחה וגורמים לירידה ביבולים.

זני תרבות מקומיים ומיני בר משמשים חלק מהותי בהשבחה לתכונות חשובות לחקלאות. טיפוסים אלו הינם



איור מספר 2. רמת הפוטוסינתזה בגבעולי אוכלוסיית המכלוא. תוצאות אלו נמדדו על במהלך חודש פברואר כשהעצים היו בתרדמה. ציר X מציין את הפרטים באוכלוסיית המכלוא וציר Y את רמת הפוטוסינתזה הממוצעת בגבעול. בכל פרט באוכלוסייה נמדדו 4 ענפים. החצים מציינים את ההורים (השקד הערבי והא.א.פ.) של אוכלוסיית המכלוא.



איור מספר 1. רמת פוטוסינתזה בגבעולי השקד הערבי והאום אל פאחם לאורך השנה. ציר X מציין את החודש בו נמדדו הפרטים וציר Y את קצב הפוטוסינתזה כפי שנמדד במכשיר הלייקור וחושב לטוח הפנים הנמדד של הגבעול. כל נקודה מציינת ממוצע של שני ימי מדידה בכל חודש. בכל יום מדידה נמדדו 4 ענפים (סה"כ 8 חזרות לחודש).

80% מקצב ההטמעה של עלה שקד בוגר) מגבעוליו לאורך כל השנה כולל בחורף בתקופת התרדמה.

לאחר שביססנו את ההיפותזה והוכחנו כי ענפי השקד הערבי אכן מבצעים פוטוסינתזה ומקבעים פחמן דו-חמצני לאורך החורף, הכלאנו בין השקד הערבי לזן השקד המסחרי א.א.פ. על מנת להעביר את תכונת הגבעול המטמיע לזנים תרבותיים ולבחון האם יש ערך לתכונה זו בתוכנית ההשבחה. רמת הפוטוסינתזה נמדדה בענפי עצי אוכלוסיית המכלוא בעונת החורף באותה השיטה בה נבחנו בזני ההורים, השקד הערבי וא.א.פ. נמצא כי רמת הפוטוסינתזה בגבעולי הצאצאים באוכלוסיית המכלוא בעלי שונות רבה (איור 2) והאוכלוסייה כוללת בתוכה פרטים בעלי רמת פוטוסינתזה גבוהה הדומה לרמות הפוטוסינתזה של גבעולי השקד הערבי. לעומת פרטים ללא יכולת הטמעה כלל הדומות להורה התרבותי, א.א.פ. רמות הפוטוסינתזה נמצאו בקורלציה עם רמת השיעום של הענפים החד-שנתיים (איור 3), וענפים בעלי קצב השתעמות גבוה הראו קצב הטמעה נמוך. שונות זו באוכלוסיית המכלוא אפשרה לנו לייצר סמן גנטי לתכונה המטמיע בחורף.

בשלב הבא, ביצענו אפיון גנטי של אוכלוסיית המכלוא, אשר איפשר לנו לזהות סמן גנטי אשר נמצא באסוציאציה עם תכונת ההטמעה בחורף (מבחני GWAS). השימוש בסמן הגנטי מאפשר סלקציה מוקדמת בתוכנית ההשבחה הנעשית מבדיקת DNA אשר מופק בחודשיו הראשונים של העץ (Aranzana et al. 2019). באופן כזה ניתן לזהות את הפרטים בעלי התכונה, ללא צורך להמתין לגדילת העץ וללא צורך למדוד ישירות את התכונה בשטח. יכולת זו מייעלת את תוכנית ההשבחה.

שאלת המחקר החשובה ביותר שבה התמקדנו היא האם לתכונה זו אכן יש ערך מסחרי. כלומר, האם יכולת ההטמעה בחורף תתרום לרמת היבול בזני השקד העתידיים. כאמור, ניצלנו את השונות באוכלוסיית המכלוא כתשתית לשאלה זו. במשך שלוש שנים נמדדה רמת היבול בכלל

החורף תהיה השפעה חיובית על רמת היבול בשקד. מטרה נוספת הינה לייצר סמן גנטי לתכונת הגבעול המטמיע על מנת להאיץ את תוכנית ההשבחה (Gabay et al., 2018).

## שיטות וחומרים

במהלך פברואר 2017, נוצרה אוכלוסיית מכלוא ע"י הכלאה בין השקד הערבי לזן המסחרי הנפוץ בישראל, אום-אל-פאחם (א.א.פ.). הזרעים שחנטו והבשילו הוכמנו והונבטו במהלך חורף 2018 והועברו לחלקות הניסוי בחורף 2019. מכל זריע נלקח חומר רכב שהורכב על כנת GF.677. כך שבחלקת הניסוי קיימות שתי אוכלוסיות, אוכלוסיית המכלוא המקורית על שורשיה והעתק מורכב. בסה"כ נבחנו 94 צאצאים בכל אוכלוסייה. כלל הצמחים, אוכלוסיית המכלוא וההורים (השקד הערבי והא.א.פ.) גדלים במטעי היחידה למטעים של מנהל המחקר החקלאי במרכז במחקר בנווה יער שבעמק יזרעאל.

מדידות הפוטוסינתזה נעשו במדידה ישירה של גבעולים במטע באמצעות מכשיר הלייקור (LICOR-6800, USA) בעזרת תא המותאם למדידת גבעולים. מדידת היבול נעשתה לאורך שלוש שנים עוקבות, בין 2022-2024. התוצאות המוצגות הן של כל שנה בנפרד.

נעשה אפיון גנטי (Genotyping) של כלל הפרטים באוכלוסיית המכלוא וההורים באמצעות ריצוף של כ-0.5 מנימים גנטיים (SNP's) המפוזרים לאורך גנום השקד הידוע בספרות (Sánchez-Pérez et al., 2019).

## תוצאות ודיון

על מנת לבחון את ההיפותזה הבסיסית, האם ענפיו הירוקים של השקד הערבי אכן מבצעים פוטוסינתזה, נמדדו את ענפיהם של השקד הערבי והא.א.פ. לכל אורך השנה (איור 1). בעוד ענפיו של הא.א.פ. לא הטמיעו לאורך השנה, השקד הערבי הראה רמת קיבוע גבוהה (מגיע לכ-



איור מספר 3. רמת שיעור שונות באוכלוסיית המכלוא. תמונות מייצגות של ענפים חד שנהיים מפרטים שונים באוכלוסייה. צאצאים בעלי ענפים שלא התשעמו כלל ומבצעים פוטוסינתזה (1) לעומתם פרטים המתנהגים כמו ההורה התרבותי (א.א.פ.) והשתעמו לגמרי ואינם מבצעים פוטוסינתזה כלל (2), ופרטים עם מופע ביניים (3). כל התמונות נלקחו במקביל במהלך חודש אוקטובר.

ברמה משמעותית לאורך כל השנה. תכונה זו עוברת בתורשה וזיהינו סמן גנטי לתכונה. סמן זה הינו רכיב מרכזי ביכולת להאיץ את תהליך הטיפוח. דרך שימוש באוכלוסיית המכלוא זיהינו קורלציה חיובית בין תכונת הגבעול המטמיע לרמת היבול. חשוב לציין שהדרך לזן מסחרי עם תכונת הגבעול המטמיע עדיין ארוכה, יש לבצע הכלאות מחזירות נוספות על מנת לנקות תכונות לא רצויות בהיבט המסחרי שהגיעו משקד הבר הערבי. כמו כן יש לבחון את השפעת התכונה על יבול ותכונות מסחריות נוספות כגון רגישות למחלות באוכלוסיות נוספות. מחקר זה מניח את התשתית והכלים לטיפוח זנים מסחריים בעלי יכולת לקיבוע פחמן ויצירת מוטמעים במהלך תרדמת החורף באמצעות הגבעול. כמו כן מחקר זה מדגים את החשיבות והנחיצות באיסוף ושימור מיני בר וזני תרבות מגוונים, מקומיים ומיובאים, כחלק אינטגרלי בתהליך ההשכלה. מינים אלו משמשים וישמשו כמקור לתכונות חשובות שיתנו מענה לאתגרי העתיד בחקלאות.

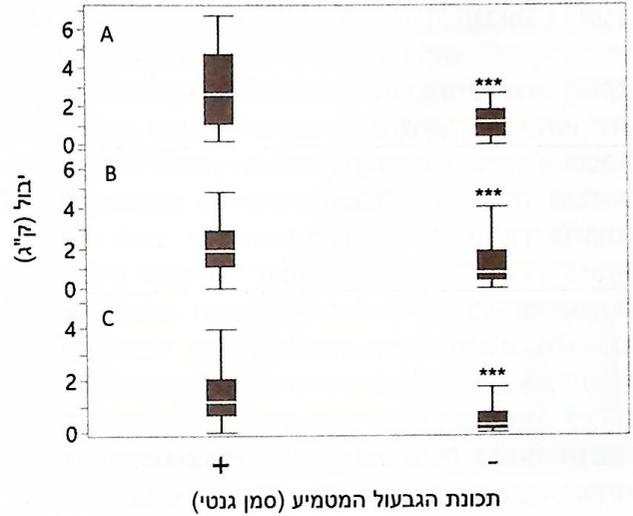
**תודות**

ברצוננו להודות לממנים והשותפים למחקר: לקרן המדען הראשי (תוכנית השבחת השקד), לשולחן השקד ומועצת הצמחים, לקרן יק"א, למשק המודל לחקלאות בת קיימא בנווה-יער, ולקרן המזלי במימון הפרויקט. לחקלאי הארץ ולאמיר מעגן יו"ר שולחן השקד על ההדרכה והליווי.

**ספרות**

Aranzana, M. J., Decroocq, V., Dirlwanger, E., Eduardo, I., Gao, Z. S., Gasic, K., Arús, P. (2019). Prunus genetics and applications after de novo genome sequencing: achievements and prospects. Horticulture Research, 6(1). <https://doi.org/10.1038/s41438-019-0140-8>

Brukental, H., Doron-Faigenboim, A., Bar-Ya'akov, I., Harel-Beja, R., Attia, Z., Azoulay-Shemer, T., & Holland, D. (2021). Revealing the genetic components responsible



איור מספר 4. השפעה של תכונת הגבעול המטמיע על יבול. ציר Y מייצג רמת יבול ממוצעת בק"ג של שלוש שנים עוקבות (A, B, C). ציר X מייצג את כל הפרטים באוכלוסייה עם הסמן לתכונת הגבעול המטמיע בחורף (+) ולעומת הפרטים ללא הסמן לתכונה (-). הוכיחו מייצגות רמת מובהקות ( $p \text{ value} < 0.001$ ).

הפרטים באוכלוסיית המכלוא. על מנת לברר האם קימת קורלציה בין תכונת הגבעול המטמיע (הפוטוסינטטי) והיבול, חילקנו את אוכלוסיית המכלוא לפרטים עם הסמן הגנטי שנמצא לתכונת הגבעול המטמיע לעומת פרטים ללא סמן זה, וזיהינו הבדל מובהק ברמת היבול (איור 4). עצים באוכלוסיית המכלוא שבין שקד הבר הערבי והשקד המסחרי א.א.פ, אשר כללו את המופע הגנטי ליכולת ההטמעה בחורף הראו רמות יבול הגבוהות בצורה מובהקת לאורך שלושת השנים. גם כאשר השונו בין הממוצע של שלושת השנים ביחד נמצא הבדל מובהק בין הקבוצות (רמת מובהקות קטנה מ-0.001, התוצאה אינה מוצגת). תוצאות אלו תומכות בהשערת המחקר שהטמעה נוספת דרך הגבעול יכולה לתרום בהעלאת יבול.

**סיכום ומסקנות**

ענפיו הירוקים של השקד הערבי מבצעים פוטוסינתזה

within native Iranian almond (*Prunus* spp.) species and their breeding potential. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56(7), 947-961. <https://doi.org/10.1007/s10722-009-9413-7>

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. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107643>

Sánchez-Pérez, R., Pavan, S., Mazzeo, R., Moldovan, C., Aiese Cigliano, R., Del Cueto, J., Møller, B. L. (2019). Mutation of a bHLH transcription factor allowed almond domestication. *Science*, 364(6445), 1095-1098

Trainin, T., Brukental, H., Shapira, O., Attia, Z., Tiwari, V., Hatib, K., ... & Azoulay-Shemer, T. (2022). Physiological characterization of the wild almond *Prunus arabica* stem photosynthetic capability. *Frontiers in Plant Science*, 13, 941504

for the unique photosynthetic stem capability of the wild almond *prunus arabica* (Olivier) meikle. *Frontiers in Plant Science*, 12, 779970

Gabay, G., Dahan, Y., Izhaki, Y., Faigenboim, A., Ben-Ari, G., Elkind, Y., & Flaishman, M. A. (2018). High-resolution genetic linkage map of European pear (*Pyrus communis*) and QTL fine-mapping of vegetative budbreak time. *BMC Plant Biology*, 18(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1386-2>

Nilsen, E. (1995). Stem photosynthesis: extent, patterns and rol in plant carbon economy. *Plant Stems: Physiology and Functional Morphology*, 223-240

Sorkkeh, K., Shiran, B., Khodambshi, M., Rouhi, V., & Ercisli, S. (2011). In vitro assay of native Iranian almond species (*Prunus L. spp.*) for drought tolerance. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 105(3), 395-404. <https://doi.org/10.1007/s11240-010-9879-1>

Sorkkeh, K., Shiran, B., Rouhi, V., Asadi, E., Jahanbazi, H., Moradi, H., Martínez-Gómez, P. (2009). Phenotypic diversity



# חיישן למידדת רמות החנקן בקרקע cropx

חישה ברמה אחרת



לפרטים: ערן גיחון טל: 054-8178921  
[eran@hydroeco.com](mailto:eran@hydroeco.com)

שווה  
לחכות,  
עוד קצת  
סבלנות  
והוא מגיע  
חדש..