



ד"ר ניר כרמי

# כלבחה בהדרים: טעימים יותר, חסרי זרעים, עתירי בריאות וזמינים כל השנה

יוסי יניב, ילנה פידל, אירינה סובולב, מירה וייסברג, רוית אשד, מור רובינשטיין, רון אופיר, עמיר שרמן, ניר כרמי / המחלקה לעצי פרי, המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני



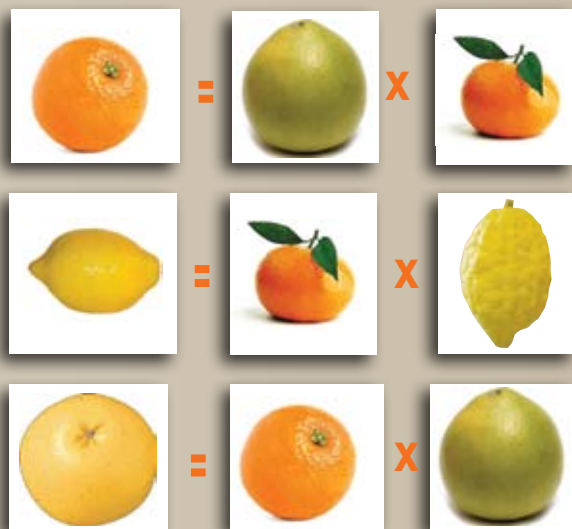
botanical.com



מטרות בפרויקט ההשבחה בהדרים כוללות מזה שנים רבות פיתוח מוצרים חדשים המצטיינים בטעם, מתקלפים בקלות, חסרי זרעים, מקדימים כמו גם אפילים, בעלי יכול גבוה, לא סירוגי ועתירי "בריאות". כיום עומדות לשנות את מערך ההשבחה שיטות חדשות ומתקדמות, ולא ירחק היום שהודסה גנטית בהדרים לא תהיה מילה גסה

## מבוא

מקור ההדרים בדרום מזרח אסיה. שלושת מיני הבר העיקריים ששימשו אבות לזני התרבות הם פומלו, מנדרינה ואתרוג: מהכלאה בין פומלו למנדרינה נוצרו התפוז המתוק והמר (חושחש), מהכלאה בין אתרוג למנדרינה התקבל הלימון ומהכלאה בין פומלו לתפוז מתוק, שהתרחשה לפני כ-200 שנה בברבדוס שבאיים הקריביים, התקבלה אשכולית. בתקופת בית שני הפך האתרוג לאחד מארבי-עת המינים, כאשר החליף את "פרי עץ הדר" המוזכר בתורה שהיה בשימוש בבית ראשון אך אין אנו יודעים מהו, אולם כתוצאה מכך התגלגל השם הדרים.



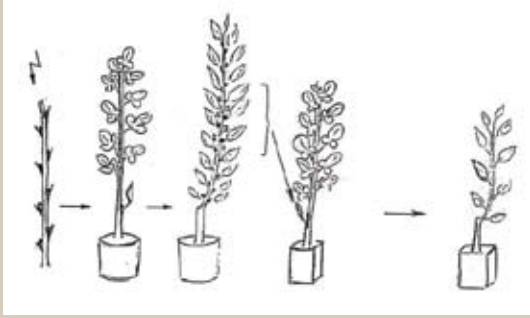
תמונה 1: מקור זני התרבות של ההדרים

## קצת היסטוריה

ההדרים הגיעו לאזורנו כתוצאה מאירוע היסטורי מכונן - כיבוש קונסטנטינופול בידי הטורקים העותומניים ב-1453. הכיבוש הביא לנתק בין

# בלבחה באטעים

איור 1: הליך השראת מוטציות



תמונה 2:  
הון 'אודם', קליף  
אפיל מועט זרעים



תמונה 3:  
הון 'סיל', קליף  
אפיל חסר זרעים

נסרקת למוטנטים חסרי זרעים במשך שתי עונות. על פי הגישה השנייה מבצעים הכלאות בין הורה תורם אבקה (טטרפלואיד) להורה תורם ביציות (דיפלואיד), כאשר הסקר והביורור בצאצאים הטריפלואידים מתבצעים בה בעת לפני מצטיין וחסר זרעים. אולם לגישה זאת, שעל פניו נראית יעילה וחוסכת את שלב ההקנה, ישנן כמה חסרונות: על פי רוב לטריפלואידים תקופת יוביליות ארוכה ועל כן החיסכון בזמן לעומת תהליך ההקנה מתבטל. הטריפלואידים במקרים רבים מאד קוצניים והפירות שהם נושאים בעלי קליפה עבה וגסה.

המצטיינים שמורר ונחונים, בשיתוף עם שה"מ, להתאמתם לננות שונות ולאזורי גידול שונים ברחבי הארץ. בחלקות תצפית אלו מתבצעים טיפולים אגרוטכניים להעלאת יכולת גידול פרי אופטימלי, צמצום סירויות ועוד. במהלך הבחינה נשלחות לשווקים באירופה דיגמות למבחני טעימה. במקביל, ביחידה לאחסון מפתח הצוות, בראשות ד"ר רון פורת, מבחני טעימה בתנאי אחסון שונים וכן פרוטוקול לאחסון בתנאים אופטימליים לכל זן. אלה שעברו את הבחינה בהצלחה מופצים למשתלות דרך בית הגרעין בגילת. לאחרונה עבר את הבחינה בהצלחה הון 'אודם' (תמונה 2) וכיום נטועים כ-4,000 ד' מן זה. ה'אודם' מצטיין בצבעו

אירופה למזרח הרחוק, במיוחד להפסקת סחר התבלינים מהודו שעבר דרך קונסטנטינופול. האירופים נאלצו למצוא דרכי סחר חדשות. קולומבוס שיכנע את מלכי ספרד שאפשר להגיע להודו ממערב וכתוצאה מכך התגלתה אמריקה. הפורטוגלים הפליגו מזרחה, הקיפו את אפריקה והגיעו למזרח, אולם במסע הארוך ללא מזון טרי חלו המלחים בצפדינה, מחלה המתפתחת מחסר בוויט' C. אלה ששרדו ואכלו פירות הדר התאושו והחלימו. הפורטוגלים הפיצו את ההדרים לאורך נתיבי הסחר שלהם וכך הגיעו ההדרים לאזורנו.

למעשה רוב בעלי החיים מייצרים ויטמין C. יוצאי דופן הם הקופים, האדם, עטלפי פירות, ציפור בולבול (שניזונה מפירות) ושרקנים. פגם גנטי המשותף לכל דמויי הקוף הוא מוטציה בגן של גולונולאקטון אוקסידז, האנזים האחרון בשרשרת הייצור של ויטמין C בגוף. כתוצאה מכך הפך גן זה לפסאודוגן (שכ"פול של גן אחר שאינו פעיל ואינו מתורגם לחלבון), ובריאות האדם תלויה על כן באספקת הויטמין מבחוץ.

להדרים תופעה ייחודית ומעניינת של זנים נוצלריים: הפירות נושאים זרעים שאינם זיגוטיים אלא נוצלריים, כלומר העתק של האם. לתופעה זו יתרון המאפשר ריבוי כנות באמצעות זרעים. חיסרון של תופעה זו בהגבלת המשביח למספר מוגבל של תורמי ביציות שאינם יכולים להיות זנים נוצלריים. מאידך, לתורמי האבקה אין מגבלה.

ב-500 השנים האחרונות התגלו מוטציות ספונטניות על ענפים, שהופצו והפכו לזנים: אשכוליות חסרות זרעים ואדומות, השמוטי שיצא מהבלאדי לפני כ-170 שנה, תפוז דם שהתגלה באיטליה... במקרה זה מתברר לאחרונה שרטורנספוזון (גורמים גנטיים שמעתיקים את עצמם ל-RNA ובאמצעות רוורס טרנסקריפטאז חזרה ל-DNA), שהתמקם ליד גן המקדד לחלבון בקרה במסלול סיתות האנטוציאין, אחראי לצבירת הצבע האדום בתפוז דם. אזור הבקרה LTR של הרטורנספוזון משופעל בקור, מה שמסביר את הצטברות האנטוציאין בתפוזי דם בקור.

בעשרות שנים האחרונות קמו כמה פרויקטים של השבחת הדרים במספר מדינות, כולל במדינה המחקר החקלאי בישראל. המטרות בפרויקטים השונים דומות: פיתוח קליפים חדשים המצטיינים בטעם, מתקלפים בקלות, חסרי זרעים, מקדימים כמו גם אפילים, מניבים מעל 3 טון לדונם, אינם סירוטיים; פיתוח קליפים עתירי אנטוציאין ואשכוליות חסרות פורנוקומרינים; פיתוח סמונים מולקולריים לתכונות חשובות וכן השבחה באמצעות הנדסה גנטית. ב-30 השנים האחרונות מופנה עיקר המאמץ לפיתוח קליפים אפילים חסרי זרעים. ואכן, הון 'אור', תוצר פרויקט ההשבחה, מוביל בנטיעות הדרים ברחבי הארץ, נחשב קליף מוביל בעולם לפני כל הזנים המתחרים וזוכה למחירי פרי מיום. זני קליפים איכותיים נוספים נמצאים כיום בבחינה בחלקות תצפית ברחבי הארץ וממתנים בקנה... גם תורם יגיע.

הליך ההשבחה היווה רב שלבי וממושך. שתי גישות מאפשרות במחקר בארץ לקבל פירות חסרי זרעים: על פי גישה אחת מכילאים בין זנים דיפלואידיים, בעונה הבאה זורעים ולאחר עונת גידול מרכיבים על כנה. לאחר עוד עונת גידול נוסעים בשטח, לאחר כארבע עונות נטיעה סורקים את פירות המכלואים ובמשך שתיים-שלוש עונות בוררים את המצטיינים. את אותם מצטיינים מקרינים בקרינת גמא על מנת להשרות מוטציות לחוסר זרעים. תהליך זה מורכב משני שלבים (איור 1): הקרנת ענפים והרכבת עיניים (MV1). לאחר עונה נוספת מרכיבים שוב (MV2), זאת כדי להימנע מכימרה, כלומר להימנע ממצב שבו אותו עץ מכיל ענפים הנושאים פירות חסרי זרעים וענפים הנושאים פירות עם זרעים. לאחר עוד עונה הצמחים ניטעים ולאחר ארבע עונות גידול החלקה



תמונה 4:  
אשכולית  
מזן 'עליזה'

הקוסמטי מוריד את ערכו השיווקי וגורם להפסדים ניכרים למגדלים. בשיתוף פעולה עם ד"ר **דוד עזרא**, אנו בוחנים כל זן לפיתוח לעמידות לאלטרנריה. פיתוח סמן מולקולרי לעמידות יאפשר לנו בירור יעיל בשלב הצעיר בבית הרשת, ועל כן נטיעות לסקר מכלואים עמידים בלבד. הוחל באיפיון וכימות אוכלוסיית האוסף הקיים לתכונות שונות, ובעתיד הקרוב מתוכנן לייצר סמונים לתכונות חשובות נוספות, כגון קליפות, מועד הבשלה, חוסר זרעים ועוד.

### השבחה באמצעים ביוטכנולוגיים

■ **החדרת גן לייעול הטרוספירציה:** גישה חדשנית זאת נוסתה בהצלחה בצמחי עגבניה במינהל המחקר על ידי ד"ר **דוד גרנות**, איש המחלקה

האטרקטיבי, כאשר הבשלתו במהלך חג המולד יתכן ותהווה יתרון שיווקי. הזן 'סיגל' (תמונה 3) - זן דיפלואידי חסר זרעים לחלוטין וללא השראת מוטציות, נמצא בשלבי פיתוח מתקדמים ועולה במבחני טעימה על הזן 'אור'.

### פיתוח אשכוליות חסרות פורנוקומרינים

כאמור האשכוליות מקורן מהכלאה בין פומלו לתפוז מתוק. זני פומלות רבים מכילים תרכובות מסוג פורנוקומרינים (רעלן צמחי) המעכבים את ציטוכרום p4503A וכתוצאה מכך נמוע פירוק של תרופות. תרופות שאינן מתפרקות עלולות להצטבר בגוף האדם לריכוזים גבוהים שעלולים לגרום לנזקים לכליות, לכבד ואף למוות. נוסלי תרופות מסוג סטטינים, מעכבי סיתוזת כולסטרול, אינם יכולים לצרוך אשכוליות. אוכלוסיית נוסלי הסטטינים הינה הצרכנית העיקרית של אשכוליות. בארה"ב ובישראל מפתחים אשכוליות חדשות חסרות פורנוקומרינים. סרקנו מספר זני אשכוליות ופומלות שפיתחנו לתכולת הפורנוקומרינים השונים ולשמחתנו אחת האשכוליות, הנקראת 'עליזה', אשכולית מתוקה חסרת זרעים, אינה מכילה פורנוקומרינים (תמונה 4).

### פיתוח סמונים מולקולריים

פיתוח סמונים מולקולריים יעיל את הליך השבחה. בשיתוף פעולה עם ד"ר **עמיר שרמן** וד"ר **רון אופיר** מהמחלקה לעצי פרי, הוחל בפיתוח סמונים לעי מידות לחלפת (אלטרנריה). פטריית החלפת תוקפת את קליפת הפרי והנוק

ספציפי, מבלי שהתוצר יחשב טרנסג'ני. בעזרת טכנולוגיית השיבוש הממוקד ניתן יהיה לשבש את האללים האחראים לפגם במיזוה, ולהיפוך כל זן לחסר זרעים מוחלט כדוגמת הנקטר. חיסכון גדול יהיה בזמן ובתועלת לעומת גישת השראה של מוטציות.

## סיכום

בעשורים האחרונים התבססה השבחת ההדרים על הכלאות קלאסיות ובירור, לאחר מכן השראת מוטציות ובירור לקבלת טיפוסים מוטנטיים ופירות חסרי זרעים. ההשבחה עומדת לשנות את פניה בעקבות ריצוף גנום ההדרים, וכן עקב פיתוח טכנולוגיות חדשות, כגון ריצוף והזלת עלויות הריצוף, קביעת שונות באמצעות סניפים ופיתוח כלים ביואינופומטיים, שהכניסו מימד חדש שיאפשר בעתיד הקרוב פיתוח סמונים מולקולריים לתכונות חשובות למשביח ובכך ייעלו את תהליך ההשבחה. הוחל בריצוף חלק מהזנים שבידינו ואנו מקווים לרצוף זנים חשובים נוספים. אנו מניחים שבשנים הקרובות יהיו סמונים מולקולריים כלי מרכזי בפיתוח זנים. כן פותחה מערכת של החדרת גנים להדרים, ובמקביל להשבחה הקלאסית יפותחו זני הדרים מותמרים לגנים בעלי חשיבות חקלאית. אנו מקווים שהשוק האירופי יפתח בעתיד לצמחים מהונדסים ונערכים לכך בפיתוח הדרים מהונדסים. בבוא העת יהיו בידינו זני הדרים מהונדסים מוכנים לשיווק. ■

לחקר ירקות. תירבות גידולים רבים לוו בהגדלת יכולת, אך טרנספירציה "בזבזנית". בצמחי עגבניה, בעזרת ביטוי אנונימי לזרחון סוכרים (הקסוקינאז) בפיוניות, נצפה חיסכון של 20% בצריכת המים ללא פגיעה ביבול. גן זה הוחדר להדרים ובקרוב יוחל במבחי עמידות ליובש. ישנן עדויות שהשיטה פועלת, כאשר הפטנט שייך למינהל המחקר. החיסרון בשיטה זו הוא שיש לכייל מערכת טרנספורמציה לכל זן והפירות היום טרנסג'ניים. הוחל בייצור הדרים מותמרים המבטאים הקסוקינאז בפיוניות ובעתיד הקרוב יוחל במבחי עמידות ליובש.

■ **החדרת גן להעמקת שורשים:** המטרה: שיפור עמידות ליובש. לגישה זאת שני יתרונות: אפשר להרכיב זנים שונים על אותה כנה ואין צורך להתמיר כל זן בנפרד, וכן הכנה טרנסג'נית, אך הפרי אינו כזה. יקל להתגבר על ההתנגדות לצמחים מהונדסים. בגישה זאת מפ"תחים כיום זני אורח ותירס עמידים ליובש. ד"ר **ענת שדות**, כיום בצוות המחלקה לפרחים במינהל המחקר, סיפקה לנו את הגן *ric1* ושיבטנו אותו לפרומטר המבטא את הגן בעודף. הגן הוחדר לצמחי הדרים ובעתיד הקרוב תיבדק השפעתו על התארכות שורשים. מבחיני עמידות ליובש יתבצע עם ד"ר **ערן רוה** ממרכז גילת ושוקי קוניץ' משה"מ.

## פיתוח פירות חסרי זרעים בגישה חדשנית

בהכלאה עצמית של הזן 'וילקינג' כרבע מהאוכלוסיה חנוטה פירות חסרי זרעים. ד"ר **עליזה ורדי**, חוקרת ומשביחה של זני הדרים, בחנה את התופעה וגילתה שישנו פגם בהליך המיזוה הנובע ככל הנראה מאלל פגום. יצרנו אוכלוסיה מהכלאה עצמית של 'וילקינג'. בשלב ראשון יפותחו סמונים מולקולריים בתא אחיזה לגן, ובשלב השני ייעשה ניסיון לאתר את הגן. טכנולוגיה שפותחה לאחרונה מאפשרת לשבש כל גן בו אנו מעוניינים באופן