

בקרת הטעם של פרי הדר

רון פורת¹

בשנים האחרונות חלה עלייה במודעות הציבור לאיכות התוצרת החקלאית ובכלל זה לטעמה וערכה התזונתי. בכתבה זו נסקור מהם המרכיבים הביוכימיים המבקרים את היווצרות הטעם והארומה הייחודיים של מיני פירות הדר שונים, ובכללם תפוזים, מנדרינות, אשכוליות ולימונים.

רקע

פרי הדר מהווה את גידול עצי הפרי הגדול והנרחב ביותר בעולם, עם היקף ייצור של מעל 100 מיליון טון בשנה, כאשר התוצרת משמשת הן לצריכה של פרי טרי למאכל והן לייצור מיץ. פרי ההדר מוכר מזה עשרות שנים בזכות ערכיו התזונתיים וסגולותיו הבריאותיות, והוא מהווה מקור עיקרי לצריכה של ויטמינים שונים (ויטמין A ו-C וחומצה פולית), קארוטנואידים, פקטין ופלבנואידים ולימונאידים שונים. עם זאת הביקוש הרב לצריכת פרי הדר נובע בראש ובראשונה מטעמו המעולה ומניחוחו הפירותי והמרענן.

הסוג הדרים (Citrus) כולל מינים רבים ושונים בעלי חשיבות מסחרית, ובכללם תפוז (*C. sinensis*), מנדרינה (*C. reticulata*), אשכולית (*C. paradisi*), לימון (*C. limon*), פומלו (*C. grandis*), אתרוג (*C. medica*), ליים (*C. aurantifolia*) ועוד, ולכל מין טעם, ארומה ומראה ייחודיים משלו. בכתבה זו אנו נסקור את המרכיבים הביוכימיים העיקריים המבקרים את היווצרות טעמם הייחודי של מיני פירות הדר שונים.

חישת טעם וארומה

הטעם הכולל של הפרי (מה שמכונה באנגלית flavor) נקבע באמצעות שני חושים: טעם וריח. הטעם נקבע בחישה של חומרים מסיסים על ידי קולטנים הנמצאים על פני הלשון ובפה, ואילו הארומה נקבעת בחישה של חומרים נדיפים על ידי קולטנים הנמצאים בחלל האף, והשילוב של הטעם והארומה ותחושת הפה בעת אכילת המזון מקנה את חוויית הטעם

הכוללת של הפרי (Goff and Klee, 2006).

כשמדובר בפרי הדר, חוויית הטעם נקבעת בעיקר על ידי תכולת הסוכרים והחומצה במיץ והיחס ביניהן, וכן מנוכחות פלבנואידים ספציפיים, כגון נרינגין, המקנים טעם מר בפירות מסוימים כגון פומלו ואשכולית. לעומת זאת הארומה של הפרי נקבעת על ידי נוכחותם של עשרות חומרי ארומה נדיפים שונים וביניהם טרפנים, כוהלים, אלדהידים, אסטרים, לקטונים ועוד, המקנים סוגי ריחות שונים כגון מתקתק, פירותי, פרחוני, מנטה, כוהלי, פטרייתי, ועוד. בפרקים הבאים נסקור מהם מרכיבי הטעם והארומה העיקריים המקנים את טעמם המיוחד של פירות הדר שונים.

בקרת הטעם של פרי הדר

טעמם של פירות הדר נקבע בעיקר על ידי רמות הסוכר והחומצה במיץ והיחס ביניהם, המכונה גם יחס ההבשלה של הפרי. ראוי לציין כי במהלך ההבשלה של הפרי חלה עלייה מתמדת בתכולת הסוכר במיץ וירידה מתמדת בתכולת החומצה במיץ, והללו מתבטאות בעלייה רציפה ביחס ההבשלה של הפרי. כך למשל, יחס ההבשלה של פירות תפוז מזן 'טבורי' הוא נמוך מאוד (יחס הבשלה = 6) בחודש ספטמבר, וגבוה מאוד (יחס הבשלה = 20) בחודש ינואר (Obenland et al., 2009). בגלל השינויים ברמות הסוכר והחומצה במיץ במהלך ההבשלה, הפרי חמוץ יחסית בתחילת העונה של כל זן, מתוק יותר עם התקרבות מועד ההבשלה עד שנהיה תפל וחסר חמיצות בסוף תקופת ההבשלה. בעקבות זאת הוגדרו במדינות שונות בעולם רמות סוכר וחומצה שונות המהוות מדדי מינימום

¹ ד"ר רון פורת - המכון לחקר אחסון ואיכות תוצרת חקלאית ומזון, מנהל המחקר החקלאי מרכז וולקני, בית דגן



תפוז ומנדרינה מכילות בעיקר את הפלבנואיד הספרידין שהוא חסר טעם, ואילו הפירות אשכולית ופומלו מכילים בעיקר את הפלבנואיד נרינגין המקנה טעם מר. בנוסף לבקרת המרירות בפרי טרי, ישנה גם בעיה של התפתחות מרירות לאחר סחיטת המיץ, ובעיה זו מיוחסת בעיקר להצטברות של החומר לימונין, הנוצר בתנאים של חומציות גבוהה לאחר סחיטת המיץ. במקרים רבים דבר זה מחייב יצרני מיצים לנקוט פעולות לצורך הסרת החומרים המרים מהמיץ (Puri et al., 1996).

בקרת הארומה של פרי הדר

הארומה (ניחוח) של פרי הדר מבוקרת באמצעות נוכחותם של עשרות ואף מאות חומרי ארומה נדיפים שונים במיץ, וההרכב והיחס בין הנדיפים הללו מקנים בסופו של דבר את הארומה הייחודית של כל מין וזן. כך למשל, דווח כי בפירות תפוז זהו עד עתה מעל 300 חומרי ארומה שונים, אך רק 36 מהם מכילים ריכוזים גבוהים מספיק כדי להשפיע על טעם הפרי (Perez-Cacho and Rouseff, 2008).

חומרי הארומה של פרי הדר משתייכים למספר קבוצות ביוכימיות שונות, ובעיקרן טרפנים, כוהלים, אלדהידים, אסטרים, לקטונים ועוד (איור 2). הקבוצה העיקרית של חומרי הארומה בהדרים היא ללא ספק טרפנים, ובעיקר המונוטרפן limonene, המהווה לבדו כ-90 עד 95% מכלל חומרי הארומה בהדרים. הטרפנים השונים, כגון limonene, β -pinene, β -myrcene, מקנים את הריח הטיפוסי והמיוחד של פרי הדר, בעיקר את הריח העצי, טרפני, ופירותי של פרי הדר. חומרי ארומה שונים מקבוצת האלדהידים, כגון decanal, nonanal, ו-octanal, מקנים ריח ירוק, מנטה ותחושת טריות למיץ ולפרי הדר, וחומרים מקבוצת האסטרים, כגון ethyl butanoate ו-ethyl hexanoate, מקנים ריח פירותי עז.

בחלק מפירות ההדר, כגון באשכולית ולימון, זהו חומרי ארומה ספציפיים הנקראים character-impact compounds, המקנים לבדם את הארומה הייחודית של הפרי, ואילו ברוב פירות ההדר



מנדרינה

לקטיף, ואסור לקטוף ולשווק פרי לפני שהגיע לרמות מינימאליות אלו. לדוגמה, בישראל נקבע כי מותר לקטוף ולשווק פירות מנדרינה מזן 'סצומה' (פרי בכיר שנקטף לקראת ראש השנה) רק כאשר רמת הסוכר במיץ היא מעל 12% ורמת החומצה נמוכה מ-1.3%, כלומר, כשיחס ההבשלה של הפרי גדול מ-7. תקנות אלה נאכפות על ידי יחידת השירותים להגנת הצומח במשרד החקלאות, ונועדו למנוע שיווק של פרי לא בשל וחמוץ מדי.

הסוכרים העיקריים בפרי הדר הם גלוקוז, פרוקטוז וסוכרוז (איור 1 בעמוד 10). פרוקטוז מקנה את רמת המתקיות הגבוהה ביותר ולאחריו סוכרוז וגלוקוז, כך שלא רק התכולה הכללית של הסוכרים אלא גם הרכב הסוכרים במיץ משפיע על רמת מתקיות הפרי. כיוון שהסוכרים מהווים כ-80% מכלל המוצקים המומסים (כמ"מ) במיץ, נהוג בדרך כלל לבדוק את רמות הסוכר במיץ באמצעות מדידה פשוטה של תכולת כמ"מ בעזרת מכשיר רפרקטומטר. הערכים הממוצעים של רמות הכמ"מ במיץ של פירות תפוז, מנדרינה, אשכולית ולימון הם 11.6%, 12.0%, 10.5% ו-8.6% בהתאמה (טבלה א').

תחושת החמיצות של פרי הדר נובעת מנוכחותן של חומצות אורגניות במיץ. חומצה ציטרית מהווה את החומצה העיקרית בפרי הדר ומבחינה כמותית מהווה כ-90% מכלל החומצות האורגניות במיץ. רמות החומצה הממוצעות במיץ של פירות תפוז ומנדרינה הן בסביבות 1.0%-0.9% בפירות אשכולית - כ-1.6%, ובפירות לימון רמת החומצה מגיעה עד לכדי 5.4% מתכולת המיץ (טבלה א').

טבלה א': רמות כלל מוצקים מומסים (כמ"מ) וחומצה ממוצעים במיץ פירות הדר שונים.

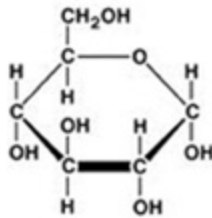
פירות	כמ"מ (%)	חומצה (%)	יחס סוכר/ חומצה
תפוז	11.6	1.0	11.6
מנדרינה	12.0	0.9	13.3
אשכולית	10.5	1.6	6.6
לימון	8.6	5.4	1.6

מבחינת חישת טעם מר, ראוי לציין כי חלק מפירות ההדר, כגון תפוז ומנדרינה הם חסרי מרירות, אך לעומתם טעמם של הפירות אשכולית ופומלו הוא מר. חישת המרירות של הפרי מבוקרת על ידי הרמות וההרכב של הפלבנואידים במיץ. הפירות

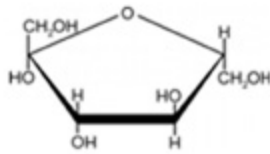


סוכרים

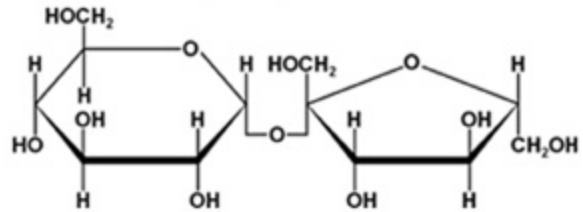
גלוקוז (חד סוכר)



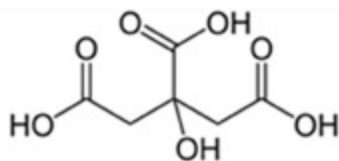
פרוקטוז (חד סוכר)



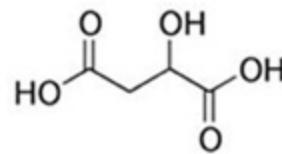
סוכרוז (דו סוכר)



חומצה ציטרית



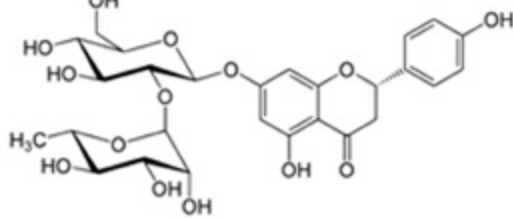
חומצה מאלית



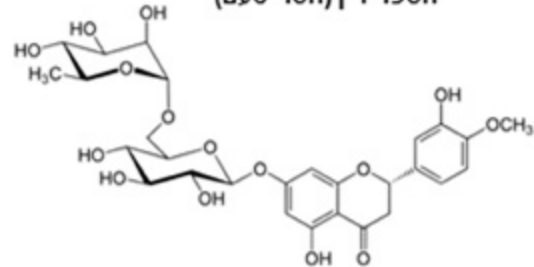
חומצות

פלבנואידים (flavanone glycosides)

נרינג'ין (טעם מר)



הספרידין (חסר טעם)



איור 1: חומרי טעם עיקריים בפרי הדר

אופייני, ומיץ תפוזים סטנדרטי מכיל במוצק כ- 10%-12% סוכר ו-1%-1.2% חומצה. הארומה של פרי הדר נובעת מתערובת של חומרי ארומה שונים המקנים

ריח פירותי, ריח הדרים, ריח עשבוני וריח פרחוני. חומרי הארומה המשפיעים ביותר על הניחוח של תפוזים והנמצאים בריכוזים של פי אלף מעל סף החישה שלהם, הם האסטר ethyl



תפוז

האחרים, ובכללם מנדרינה ותפוז, רק תערובת של כ-25 עד 36 חומרי ארומה שונים יחד יכולים להקנות את הארומה הייחודית של הפרי. בפרקים הבאים נסקור מהם חומרי הטעם והארומה המקנים את הטעם הייחודי של הפירות תפוז, מנדרינה, אשכולית ולימון.

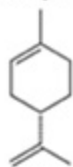
בקרת הטעם של תפוזים

תפוזים מהווים את גידול ההדרים הנרחב ביותר בעולם, שכן הם משמשים חומר גלם עיקרי בתעשיית המיץ, ובזכות זאת נערכו מחקרים רבים כדי ללמוד את הנושא של מרכיבי הטעם והארומה של הפרי. מבחינת טעם הפרי, תפוזים ניחנים בטעם חמוץ/מתוק

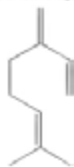


טרפנים

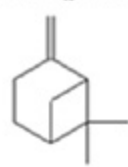
limonene (ריח הדורים)



β -myrcene (עיפוש, טחב)

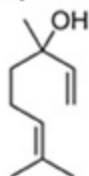


β -pinene (ריח אורן)

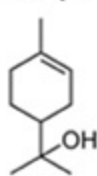


טרפנים כוהלים

linalool (ריח פרחוני)

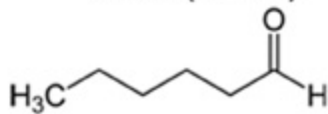


α -terpineol (ריח פרחוני)

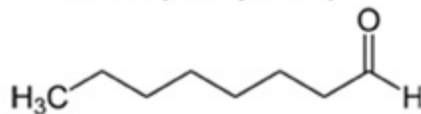


אלדהידים

hexanal (ריח דשא)

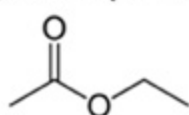


octanal (ריח ירוק לימוני)

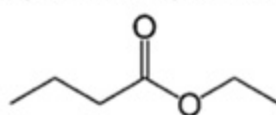


אסטרים

ethyl acetate (ריח פירותי)

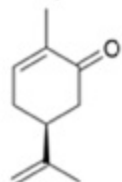


ethyl butanoate (ריח פירותי)

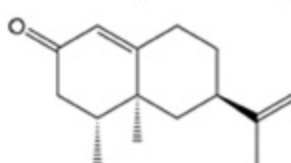


קטונים

carvone (ריח מנטה)



nootkatone (ריח אשכולית)



איור 2: חומרי ארומה עיקריים בפרי הדר

בקרת הטעם של מנדרינות

פירות מנדרינה הם טעימים וקלים לקילוף (easy peeling), ואי לכך אנו עדים בשנים האחרונות לעלייה מתמדת בביקוש ובצריכה של מנדרינות. עם זאת פירות מנדרינה רגישים ומתכלים מהר יותר מתפוזים, ולכן יש להקפיד לקטוף את הפרי במועד המתאים ולקצר

butanoate המקנה ריח פירותי, הכוהל הטרפני linalool המקנה ריח פרחוני והאלדהיד octanal המקנה ניחוח ירוק ורענן של תפוזים (Averbeck and Schieberle, 2009). במחקרים שנערכו בגרמניה נמצא שניתן ליצור באופן מלאכותי ריח של מיץ תפוזים טרי באמצעות תערובת של 14 ריחנים שונים (Averbeck and Schieberle, 2009).



אשכולית

עד 6.4% חומצה ציטרית במיץ, המקנה טעם חמוץ דומיננטי. בנוסף לטעם החמוץ מיץ לימון מכיל גם בין 25-36 חומרי ארומה שונים המקנים לו ריח פירותי אופייני. בדומה לאשכולית, גם מיץ לימון מכיל חומר ארומה ייחודי (האלדהיד citral) המקנה ריח לימון אופייני, ולכן נמצא בשימוש נרחב בתעשיית המיץ.

סיכום

הטעם והארומה הייחודיים של מיני פירות הדר שונים, כגון תפוזים, מנדרינות, אשכוליות ולימונים, נובע מתערובת ייחודית של חומרי טעם וארומה שונים, ובכללם סוכרים, חומצות, פלבנואידים וחומרי ארומה מקבוצות ביוכימיות שונות. במחקרים שנערכים כיום במכון וולקני ובמוסדות מחקר אחרים בעולם, אנו מנסים לפענח את התערובות הייחודיות של חומרי טעם וארומה המקנות את העדפת הטעם הגבוהה ביותר למיני פירות הדר שונים, וזאת על מנת לפתח זנים חדשים בעלי תכונות רצויות, כגון מראה יפה, קליפות טובה, חוסר זרעים, יבול רב, עמידות למחלות ובעיקר טעם וניחוח מעולים.

רשימת ספרות

Averbeck, M. & Schieberle, P.H. (2009) Characterization of the key aroma compounds in a freshly reconstituted orange juice from concentrate. *Eur. Food Res. Technol.* 229, 611-622.

Buettner, A. & Schieberle, P. (2001) Evaluation of key aroma compounds in hand-squeezed grapefruit juice (*Citrus paradisi* Macfayden) by quantitation and flavor reconstitution experiments. *J. Agric. Food Chem.* 49, 1358-1363.

Goff, S.A. & Klee, H.J. (2006) Plant volatile compounds: sensory cues for health and nutritional value? *Science* 311, 815-819.

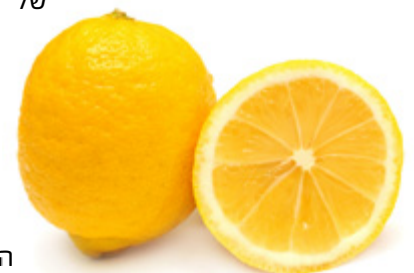
את משך האחסון והשיווק ככל הניתן. מבחינת טעם הפרי, פירות מנדרינה מתוקים מעט יותר מתפוזים ומכילים בממוצע כ-13% סוכר ו-0.8%-1.2% חומצה בלבד. בדומה לתפוזים, אין חומר ארומה יחיד המקנה ריח של מנדרינה, אלא הריח נוצר מתערובת של ריחנים שונים. שמונת חומרי הארומה העיקריים המצויים בריכוזים הגבוהים ביותר במיץ של פירות מנדרינה הם linalool (ריח פירותי), a-terpineol (ריח פרחוני), terpinen-4-ol (ריח עצי), nonanal (ריח אורן והדרים), decanal (ריח מעופש), carvone (ריח מנטה), limonene (ריח קליפות הדר), a-pinene (ריח אורן) ו-b-myrcene (ריח עיפוש ואדמה רטובה) (Tietel et al., 2011).

בקרת הטעם של אשכוליות

פירות אשכולית חמוצים יותר מתפוזים ומנדרינות, וזאת בגלל שהם מכילים רמות גבוהות יותר (של כ-1.4%-1.8%) חומצה. כמו כן, בניגוד לפירות תפוז ומנדרינה שהם חסרי מרירות, מיץ אשכולית מכיל רמות גבוהות של הפלבנואיד נרינג'ין המקנה טעם מר לפרי. בדומה לפירות ההדר האחרים, הארומה של פירות אשכולית נובעת מתערובת של בין 25 עד 37 חומרי ארומה שונים הנמצאים במיץ בריכוזים גבוהים מסף החישה שלהם, ואולם הארומה האופיינית של אשכולית מתקבלת גם על ידי חומרי ארומה ספציפיים, כגון 4-mercapto-4- nootkatone, 1-p-menthene-8-thiol ו-character-impact compounds, methylpentan-2-one, הנקראים ומקנים ריח אשכולית טיפוסי (Buettner and Schieberle, 2001). מידע זה הוא בעל חשיבות רבה עבור תעשיית המיץ, שכן ניתן ליצור ארומה של אשכולית במשקאות שונים באמצעות הוספה של חומר ארומה יחיד כגון nootkatone. ראוי לציין כי חומר הארומה הגופרית 1-p-menthene-8-thiol המקנה ריח פירותי אופייני של אשכולית. הוא אחד מחומרי הריח החזקים ביותר שנתגלו בטבע, ובעל סף חישה נמוך ביותר של 1×10^{-4} חלקי ביליון, כלומר, ניתן לזיהוי בריכוז של 1×10^{-4} מ"ג ב-1,000 ליטר מים!

בקרת הטעם של לימונים

הטעם של פירות לימון מבוקר כמעט באופן בלעדי על ידי הרמות הגבוהות של בין 4.4%



לימון



Puri, M., Marwaha, S.S., Kothari, R.M. & Kennedy, J.F. (1996) Biochemical basis of bitterness in citrus fruit juice and biotech approaches for debittering. Crit. Rev. Biotechnol. 16, 145-155.

Tietel, Z., Plotto, A., Fallik, E., Lewinsohn, E. & Porat, R. (2011a) Taste and aroma of fresh and stored mandarins. J. Sci. Food Agric. 91, 14-23.

Obenland, D., Collin, S., Mackey, B., Sievert, J., Fjeld, K. & Arpaia, M.L. (2009) Determinants of flavor acceptability during the maturation of navel oranges. Postharv Biol Technol 52, 156-163.

Perez-Cacho, P.R. & Rouseff, R.L. (2008) Fresh squeezed orange juice odor: a review. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 48, 681-695.

6. ליישם את הערכים הרגשיים, החברתיים והטיפוליים של החקלאות באמצעות חיבור בין נוער עם צרכים מיוחדים ועשייה חקלאית ומדעית.

היחידה מציעה

- ימי עיון - לתלמידי חטיבה עליונה ותלמידים מצטיינים; בחטיבת הביניים;
- השתלמויות למורים;
- ביצוע עבודות גמר, עבודות, פרויקטים כיתתיים של ביוחקר, ביוטק ואקוטופ; מחקר בהנחיית חוקרים בנושאים הנמצאים בחזית המחקר;
- מחנה קיץ: המחנה מיועד לתלמידים בעלי הישגים טובים בלימודים;
- "החממה": פרויקט ייחודי לנוער ממסגרות של חינוך מיוחד ונוער בסיכון. הפרויקט שמרכזו גן ירק אורגני מתקיים מאז אביב 2006. חלק מהתלמידים ניגשים לבחינת בגרות מעשית ועיונית במדעי החקלאות;
- חלק מהתלמידים ניגשים לבחינת בגרות מעשית ועיונית במדעי החקלאות;

היחידה לנוער שוחר מדע

מרכז וולקני - ת.ד. 6 בית דגן 250-50
טל: 03-9683650/3775, פקס: 03-9683696
<http://www.agri.gov.il/he/pages/282.aspx>

היחידה לנוער שוחר מדע - מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני

ד"ר הדר הור, ד"ר ג'אנט טלמון ושלומית זילברברג

היחידה לנוער שוחר מדע ע"ש יהושע ווקס ז"ל הוקמה במינהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני בשנת 1973 בשיתוף עם המינהל לחינוך התיישבותי במשרד החינוך. המפגש של תלמידים ומורים עם המחקר המתקדם בתחומי מדעי החקלאות, הביולוגיה, הביוטכנולוגיה ואיכות הסביבה הוא ייחודי ליחידה לנוער שוחר מדע שבמרכז וולקני.

פעילותה החינוכית של היחידה מאפשרת שילוב חוקרים פעילים, ציוד מדעי מתוחכם ותנאי סביבה ייחודיים לפעילות תלמידים ומורים במטרה לקדם את החינוך המדעי.

ממטרות היחידה

1. לפתוח לציבור התלמידים שוחרי המדע צוהר אל עולם החקלאות המודרנית.
2. לטפח את המצוינות המדעית בקרב תלמידים בכלל ובקרב תלמידים הלומדים חקלאות בכפרי נוער בפרט.
3. ללמד את הקשר בין המדע הבסיסי למחקר היישומי במדעי החקלאות, הביולוגיה, הביוטכנולוגיה והסביבה.
4. לחזק את הקשר בין האדם לסביבתו ואת יכולתו להשפיע באמצעות לימוד ושילוב טכנולוגיות חדשניות בחקלאות.
5. לקרב את התלמידים והמורים לעשייה ולמחקר החקלאי.