

ציפויים אכילים פעילים ככלי להפחתת איבוד המזון העולמי

יבגניה שביס², ילנה פוברנוב¹

פיתוח חומרים אכילים המבוססים על סיבים תזונתיים שימשו לציפוי חיצוני של פירות וירקות הוא אתגר חשוב בשימור תוצרת חקלאית. הציפוי האכיל יאפשר צמצום אובדן מזון עקב הארכת חיי מדף של תוצרת חקלאית. הציפויים יסייעו במניעת הצטמקות הפרי ושימור חומרי הארומה הטבעיים של הפרי או הירק. האתגר הוא מציאת חומרים יציבים, בעלי יכולת הדבקות טובה למוצר שמאפשרים פעפוע תקין של חמצן ופחמן דו חמצני ופיתוח שיטות ציפוי מתאימות.

מבוא

קרוב ל-1.3 מיליארד טון של מזון אובד כיום בעולם, וממנו כ-45% נובע מאיבוד של פירות וירקות (FAO). גורמים סביבתיים רבים, ובהם שינויי טמפרטורה קיצוניים, עלייה באחוזי לחות, עלייה ברמת הפחמן הדו-חמצני, יחד עם זיהומים של מיקרואורגניזמים שונים (חיידקים, שמרים, פטריות וכולי), גורמים לפגיעה באיכות התוצרת החקלאית ולאובדן מזון.

מנגד, הגדילה האקספוננציאלית של האוכלוסיה העולמית והעלייה בצורך לספק מזון לכלל האוכלוסיה הגדלה, מעלות את החשיבות במציאת פתרון ממשי להפסקת אובדן המזון, שיהיה ידידותי לבריאות ולסביבה ויעיל כלכלית.

ההתכלות והתפתחות הריקבון של התוצרת מתחילה להתרחש עוד לפני הקטיף, ומואצת במהלך האחסון והשיווק. שינויים סביבתיים, זיהומים חיידקיים, שאריות של כימיקלים לאחר הריסוס, אלו רק חלק מהגורמים הפוגעים באיכות התוצרת החקלאית ובכמותה הזמינה לצרכנים ברחבי העולם (Azad, Mohd & Siddiqui, 2019).

קיים צורך ממשי במציאת פתרונות הן למניעת אובדן המזון והן למניעת פגיעה כלכלית בחקלאים.

אחת הגישות החדשניות להארכת חיי המדף של תוצרת חקלאית

היא שימוש בציפויים אכילים המבוססים על חומרים טבעיים. חומרים אלו הם "ירוקים", בטוחים למאכל, מתכלים, עלותם נמוכה (Basharat, Ovais, Qadri & Kumar, 2018), והם מאיטים את תהליכי ההבשלה והקלקול של הירקות והפירות וכך מסייעים בהפחתת אובדן המזון.

ציפויים אכילים

ציפוי אכיל הוא שכבה דקה המבוססת על סיבים תזונתיים המושרים על גבי רקמת הפרי באופן חיצוני. ציפוי אכיל צריך לעמוד בכמה קריטריונים, ובהם קריטריונים של ה-FDA (Gras; Generally recognized and safe): בטוח לאכילה (לא רעיל, כמעט לא אלרגני); מראה ומוצקות משופרים של המוצרים החקלאיים; ידידותי לסביבה; והקריטריון העיקרי - שהמוצר יהיה בעל יכולת להפחית התקפות של חיידקים, פטריות, שמרים וזחלי חרקים (Kokoszka & Lenart, 2007).

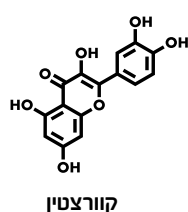
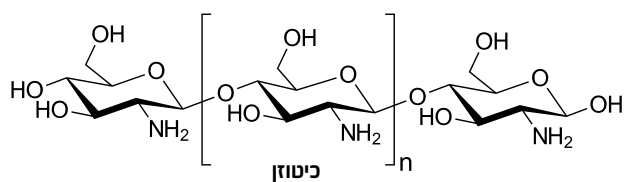
ציפוי אכיל טוב מונע תופעות כמו הצטמקות הפרי בעקבות אובדן מים ומשמר את חומרי הארומה הטבעיים של התוצרת החקלאית. בשל העובדה שציפויים אכילים נחשבים לרכיב מזון, עליהם לעמוד בכל הקריטריונים המוגדרים של מוצרי מזון המאושרים על ידי ה-FDA; עליהם להיות יציבים מבחינה כימית ומבחינה

1. ד"ר ילנה פוברנוב, כימאית וחוקרת ממכון וולקני, עוסקת במציאת תחליפים לאריזות הפלסטיק ובפיתוח אריזות מזון חכמות המבוססות על חומרים ממקור טבעי; המחקר לחקר תוצרת חקלאית ומזון, מנהל המחקר החקלאי, מכון וולקני.

2. יבגניה שביס, MSc בביוטכנולוגיה, לקראת סיום PhD בנושא פיתוח חומרים פעילים חדשים מפולימרים ואוליגומרים מתכלים לשימוש בחקלאות ובמזון; הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים.

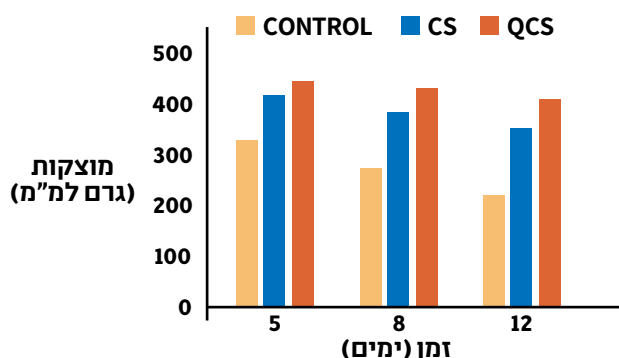
תפוח עץ, תותים, פירות הדר, פלפלים ועוד, כאשר הציפוי נבדק לעיתים על הפרי השלם ולעיתים על פרי חתוך.

דוגמה לכך היא בציפוי משולב של קוורצטין-כיטוזן (Shebis et al., 2022). כיטוזן הוא רב סוכר המופק לרוב מפטריות ומקליפות חסילונים. יעילותו הביולוגית בחקלאות נחקרת לאורך שנים, והוא ידוע כמעכב זיהום על ידי מיקרואורגניזמים של תוצרת חקלאית.



קוורצטין הוא פוליפנול המגן על הפרי או הירק מנזקים חמצוניים אך אינו מסיס במים. התרכובת המשולבת של הציפוי סונתזה במעבדה בדרך חדשה של קישור קוולנטי שלא יוצרת רדיקלים חופשיים, אשר אפשרה שמירה על התכונות של הכיטוזן

ושל הקוורצטין. החומר אופיין לשם הוכחה כי הקישור בין שתי המולקולות אכן הצליח בשיטות ספקטרוסקופיות וכן נבדק בשיטות פיזיקליות. החומר המשולב אפשר לנו לקבל חומר המסיס במים ובכך לבדוק את השפעתו כציפוי אפקטיבי על פרי מודל, במקרה זה מלון ותפוח עץ. הבדיקות הראו כי החומר המשולב הינו בעל מאפיינים אנטיאוקסידנטיביים משופרים, וציפוי הפרי בחומר זה שמר בין היתר על אחוזי הלחות של הפרי תוך מזעור איבוד המשקל ושמירה על מוצקותו (איור 1).



פיזיקלית, בעלי יכולת הידבקות טובה על פני המוצר, לאפשר מעבר תקין של גזים (חמצן ופחמן דו-חמצני), לעכב את הלחות הנספגת בפרי או בירק, למנוע אובדן של החומרים הנדיפים מהתוצרת ולהיות חסרי טעם וצבע.

ציפויים אכילים יכולים להיות מבוססים על רב-סוכרים, על חלבונים, על שומנים או על תערובות שלהם. החומרים הללו מותאמים ביולוגית לגוף האדם ולכן עונים על הביקוש הצרכני למזון בטוח ובריא (Han & Gennadios, 2005).

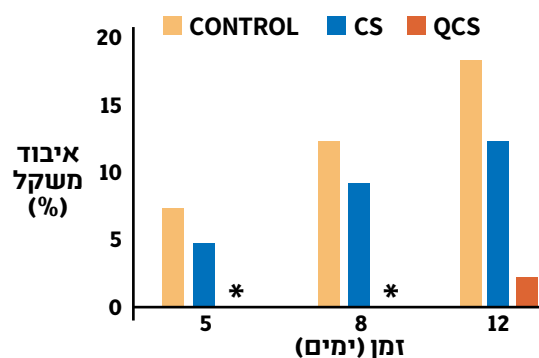
פיתוח ציפויים אכילים

קבוצת המחקר של ד"ר ילנה פוברנוב מפתחת ציפויים אכילים מבוססי סיבים תזונתיים, היכולים לשפר את האיכות ואורך חיי המדף של תוצרת חקלאית, כגון פירות וירקות. הסיבים התזונתיים הם ממקורות טבעיים, ומסיסים במים, ובכך נמנע השימוש בתוספים סינתטיים וכימיים.

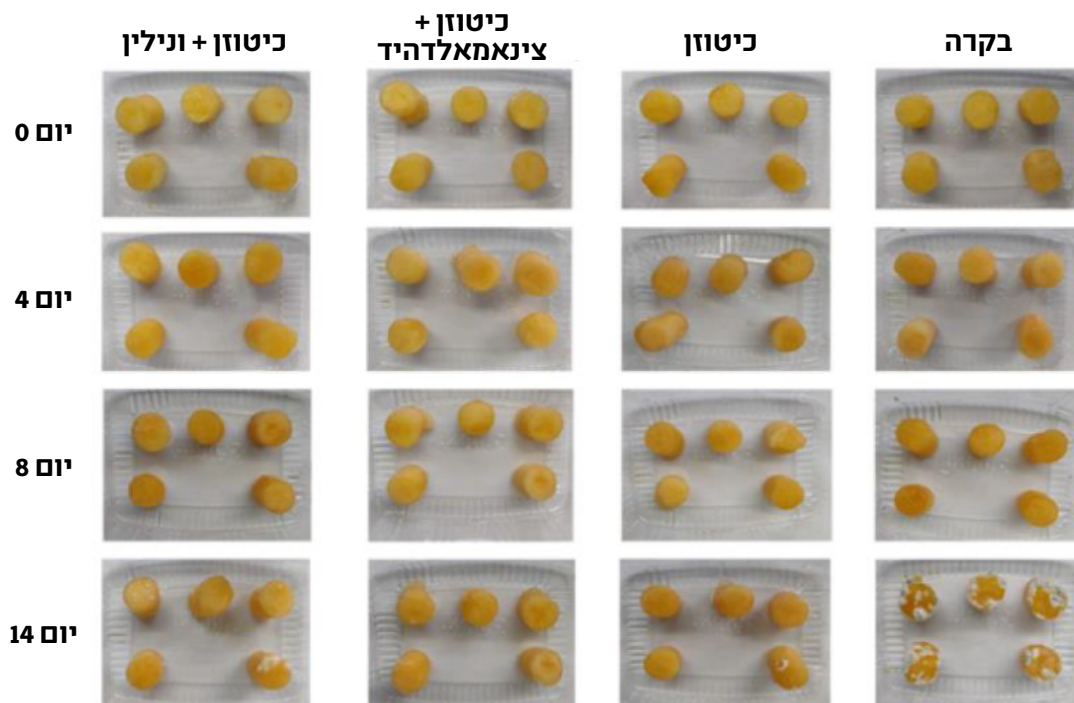
יישום של ציפוי אכיל יכול להתבצע בשתי שיטות עיקריות: שיטת שכבה-על-שכבה של חומרים שונים, כאשר חומר הבסיס שהוא לרוב סוכר מורכב משמש שכבת הבסיס, ועליה נוספת שכבת חומר פעיל, כמו ונילין. השיטה השנייה היא יצירת תערובת הטרוגנית של שילוב החומרים יחד, על ידי ערבובם בדרכים מכניות שונות (Slagman, Zuilhof & Franssen, 2018).

עד כה פותחו במעבדתנו עשרות ציפויים שונים אשר הראו הארכת חיי מדף של תוצרת חקלאית; מניעת התפתחות חיידקים, שמרים ופטריות; עיכוב תהליכי רקבון תוך כדי שמירה על הערכים התזונתיים ועוד.

הציפויים השונים נבדקו על עשרות פירות שונים, ובהם מלון,



איור 1: השוואה בין טיפולים שונים (ציפוי בכיטוזן -CS, ציפוי בקוורצטין-כיטוזן -QCS) של מוצקות (משמאל) ושל איבוד במשקל הפרי (מימין) של מלון טרי חתוך לאחר 5, 8 ו-12 ימי אחסון ב-8 מעלות. (מתוך Shebis et al. 2022).



איור 2: השפעת ציפויים שונים מבוססי כיטוזן על חיי המדף של מלון חתוך (הופעת רקבון) לאורך 14 יום בטמפרטורה של 7 מעלות. לקוח מ: Arnon-Rips et al, 2021.

ציפוי זה הראה גם שמירה מוגברת על המלון מפני התפתחות מואצת של חיידקים, שמרים ופטטריות לאורך הזמן, מניעת נזק חמצוני לפרי ושמירה על הצבע שלו. דוגמה נוספת היא ציפוי שקבוצתנו פיתחה אשר האריך את חיי המדף של פלפלים מ-10 ל-21 ימים בטמפרטורת אחסון נמוכה, ומ-5 ל-10 ימים בטמפרטורת החדר. הציפוי עיכב באופן משמעותי את הצטמקות הפלפל ואת רקבוננו, יחד עם עיכוב משמעותי בנזקים הנגרמים כתוצאה מחשיפה לפטרייה (*Botrytis cinerea*) הידועה כמזיקה לפלפלים. פורמולציה (בעברית: מִתְכַּוֵּן) נוספת של ציפוי מבוסס רב-סוכר שנבדקה על פירות הדר, הראתה שיפור משמעותי באיכותם של פירות מסוגים שונים ובהארכת חיי האחסון שלהם. במקרה של פירות הדר, הציפויים האכילים הם חלופה ירוקה ובריאה לשעווה הסינתטית, שבה עושים שימוש כיום. בפרויקט אחר, אשר נעשה במלונים חתוכים מוכנים לאכילה (Arnon-Rips et al., 2021), נבדקו מספר מתכונים של חומרי ציפוי של כיטוזן עם חומרים פעילים נוספים, ובהם ונילין (תרכובת אורגנית פעילה המופקת מצמח הונויל וידועה כאנטימיקרוביאלית)

וצינאמאלדהיד (תרכובת קינמון טבעית). הודות לציפוי, נראה שיפור באורך חיי המדף של הפרי החתוך בערך פי 400% (איור 2). לסיכום, השימוש בציפויים אכילים הוא שיטה פשוטה ובטוחה לשיפור איכותה של תוצרת חקלאית, ולשמירה על חיי המדף שלה ואף להארכתם. ציפויים אכילים מונעים אובדן מזון, שומרים על הערכים התזונתיים של התוצרים ובתוך כך גם על בריאות הצרכנים. פיתוח הציפויים האכילים שומר על הסביבה, שכן תהליך הפקתם והכנתם נעשה בשימוש שיטות הפקה "ירוקות" ובעלות נמוכה וכן יכולים למנוע נזק כלכלי לחקלאים ברחבי העולם.

המחקר במעבדה שואף לפתח פתרונות יעילים וטבעיים לשמירה על התוצרת החקלאית עבור אוכלוסיית בני האדם ההולכת וגדלה, במטרה לצמצם את אובדן המזון העולמי ולשמר את ערכי התוצרת החקלאית לאורך זמן.

מקורות מידע

Arnon-Rips, H., Cohen, Y., Saidi, L., Porat, R. & Poverenov, E. (2021). Covalent linkage of bioactive volatiles to a polysaccharide support as a potential approach for

extending the shelf life of cut melon (appearance of rot) over 14 days at 7°C. לקוח מ: Arnon-Rips et al, 2021.

extending the shelf life of cut melon (appearance of rot) over 14 days at 7°C. לקוח מ: Arnon-Rips et al, 2021.

Kokoszka, S. & Lenart, A. (2007). Edible coatings-formation, characteristics and use-a review. *Polish Journal of Food Nutrition Sciences*, 57, 399-404.

Shebis, Y., Laskavy, A., Molad-Filosof, A., Arnon-Rips, H., Natan-Warhaftig, M., Jacobi, G., Fallik, E., Banin, E. & Poverenov, E. (2022). Non-radical synthesis of chitosan-quercetin polysaccharide: Properties, bioactivity and applications. *Carbohydrate Polymers* 284, 1-11.

Slagman, S., Zuilhof, H. & Franssen, M.C.R. (2018). Laccase-Mediated Grafting on Biopolymers and Synthetic Polymers: A Critical Review. *ChemBioChem*, 8,19, 288-311.

preparing active edible coatings and delivery systems for food products. *Food Chemistry* 338, 1-10.

Azad, Z.R., Mohd, F.A. & Siddiqui, W. (2019). Food spoilage and food Contamination". In: A. Malik, Z. Erginkaya & H. Erten (Eds.), *Health and Safety Aspects of Food Processing Technologies*: 9-28. Springer International Publishing.

Basharat, Y., Ovais, S., Qadri, A. & Kumar, S. (2018). Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: A review. *LWT*, 89, 198-209.

FAO (Food and Agriculture Organization), <https://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/flw-data>).

Han, J.H. & Gennadios, A. (2005). Edible films and coatings: a review. *Innovations in Food Packaging*. In: J.H. Han (Ed.), *Food Science and Technology*, pp. 239-262. Elsevier Ltd.

מן המאמר אל שדה ההוראה

המאמר, אשר מציג מחקר מדעי המוביל לפיתוח טכנולוגי של חומרי ציפוי לירקות ופירות, מזמן עבודות חקר של תלמידים למציאת שיטות להארכת חיי מדף של מזון. עם המשתנים הבלתי-תלויים נמנים בין היתר טמפרטורת האחסון, תנאי לחות, ריכוזי גזים באוויר, סוגי אריזות ואופן האריזה - ועוד. יש לקבל החלטות בנוגע למשתנים התלויים הנבדקים, כמו חוזק הפרי והקליפה, מראה וריח, והשתנות מסת הפרי או הירק לאורך זמן. יש להימנע מטעימה בלתי-מבוקרת, מחשש להתפתחות חומרים רעילים, עובשים וכדומה. בחינת פרופיל של מיקרואורגניזמים מתפתחים יש לערוך רק על פי הנחיות הבטיחות.

