

เนื้อมะม่วงสดตัดแต่ง: สรีรวิทยาและปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพ Fresh-Cut Mango: Physiology and Critical Factors Affecting Quality

พนิดา งามเชื้อชิต*
Panita Ngamchuachit*

บทคัดย่อ

มะม่วง (*Mangifera indica* L.) เป็นผลไม้เขตร้อนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและได้รับความนิยมในการบริโภคอย่างสูงในตลาดโลกปัจจุบัน เนื่องจากมีกลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวและคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่เนื่องจากการเตรียมเนื้อมะม่วงเพื่อการบริโภคให้มีทั้งคุณภาพและความปลอดภัยนั้น ต้องอาศัยการคัดสรรวัตถุดิบ การเตรียมอุปกรณ์ที่เหมาะสม และมีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอนที่ได้มาตรฐาน เพื่อให้เนื้อมะม่วงสดตัดแต่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพและเติบโตอย่างต่อเนื่องในตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ ผู้บริโภคเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งคาดหวังว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอและความปลอดภัยในการบริโภค อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในด้านอายุการเก็บรักษาเนื่องจากเสื่อมเสียได้ง่ายซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการสูญเสียลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความปลอดภัย ดังนั้นในบทความนี้จะกล่าวถึง การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและการตอบสนองของเนื้อเยื่อมะม่วงที่เซลล์บางส่วนถูกทำลายจากกระบวนการตัดแต่ง ได้แก่ การผลิตเอทิลีนและอัตราการหายใจ การเสียสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ การเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ การสูญเสียความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติ การสูญเสียสี การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่ง ได้แก่ ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวและการสุก กระบวนการตัดแต่ง สภาพที่ใช้ในการเก็บรักษา และการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์

คำสำคัญ: *Mangifera indica* L. การเก็บเกี่ยว การแปรรูปบรรจุภัณฑ์ สภาพการเก็บรักษา

มะม่วง

มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดจากแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอินเดียมากกว่า 4,000 ปี [1] โดยเมล็ดมะม่วงได้ถูกนำไปยังตะวันออกกลาง แอฟริกาตะวันตกและตะวันออก และอเมริกาใต้ระหว่างช่วง 300-400 ปีก่อนคริสตกาล ปัจจุบันมะม่วงเป็นผลไม้ที่ตลาดโลกมีความต้องการมากและมีปริมาณการผลิตสูงเป็นอันดับที่ 5 ของโลก รองจากกล้วย แอปเปิล องุ่น และส้ม ตามลำดับ ประเทศผู้ผลิตมะม่วงที่สำคัญของโลก ได้แก่ จีน ไทย ปากีสถาน และ เม็กซิโก โดยสหรัฐอเมริกาเป็นประเทศผู้นำเข้าผลมะม่วงเป็นอันดับ 1 ของโลก โดยในปี ค.ศ. 2013 ผลผลิตมะม่วงทั่วโลกมีมากถึง 44 ล้านตัน [2] คิดเป็นร้อยละ 38 ของการผลิตผลไม้เขตร้อนทั้งหมด ความนิยมจากผู้บริโภคนั้นเนื่องมาจากเนื้อมะม่วงมีกลิ่นและรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์และอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ เป็นแหล่งวิตามินซี บีตา-แคโรทีน และแร่ธาตุต่างๆ [3]

เนื้อมะม่วงสดตัดแต่ง

ผลไม้สดตัดแต่งหรือผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำ (minimally processed fruit หรือ fresh-cut fruit) หมายถึงผลไม้สดที่ผ่านกระบวนการล้าง ปอกเปลือก ฝานหั่น นำเมล็ดออก ตัดแต่ง หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ บรรจุใส่บรรจุภัณฑ์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และวางจำหน่ายพร้อมบริโภค The International Fresh-cut Produce Association หรือ IFPA ให้นิยามผักและผลไม้สดตัดแต่ง คือ ผักและผลไม้ที่ผ่านการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพไปจากผักและผลไม้เดิมแต่ยังคงความสดอยู่ [4] มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์และเป็นอาหารสุขภาพที่ได้รับความนิยม

* Panita.N@chula.ac.th

เพิ่มสูงขึ้นในตลาดโลก นอกจากผลมะม่วงแล้ว ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองต่อกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องการความสะดวกสบาย เช่น เนื้อมะม่วงสดตัดแต่งซึ่งเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีความต้องการเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน โดยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพและเติบโตอย่างต่อเนื่องในตลาดมะม่วงโลก [5]

การเตรียมเนื้อมะม่วงสดเพื่อการบริโภคนั้นต้องใช้หลายขั้นตอนเพื่อให้ได้เนื้อมะม่วงสดที่มีคุณภาพและความปลอดภัยสำหรับบริโภค โดยต้องอาศัยการคัดสรรวัตถุดิบ การเตรียมอุปกรณ์ที่เหมาะสม และกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน และเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อมะม่วงสดตัดแต่งที่มีคุณภาพสูงที่สุดนั้น ต้องมีการดูแลจัดการผลมะม่วงก่อนการตัดแต่งรวมถึงกระบวนการผลิตและเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่เหมาะสม (ดังแสดงใน Figure 1) โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ส่งผลอย่างมากต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่ง กระบวนการตัดแต่งเนื้อมะม่วงสดนั้น มีขั้นตอนดังนี้

1. การตรวจรับและการเก็บรักษาวัตถุดิบ

ในการตรวจรับผลมะม่วงเบื้องต้นนั้น ควรคัดผลมะม่วงที่ไม่เป็นโรคและไม่มีตำหนิหรือมีรูปร่างผิดปกติ เพื่อลดการปนเปื้อนข้ามของจุลินทรีย์และลดการเสื่อมเสียระหว่างกระบวนการผลิต และเพื่อให้ง่ายต่อกระบวนการตัดแต่ง เนื่องจากมะม่วงเป็นผลไม้เขตร้อนซึ่งอาจเกิดการสะสมของน้ำหวานได้หากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเกินไป โดยก่อให้เกิดการสูญเสียกลิ่นและรสชาติ การเกิดตำหนิบนเปลือกผลมะม่วง (มีสีของเปลือกและรอยแยกบนเปลือกมากกว่าปกติ และมีรอยบวมที่เปลือก) และการยับยั้งการสุกของผลมะม่วง [6] ดังนั้นในการเก็บรักษาระหว่างรอการตัดแต่งควรเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิที่ไม่ก่อให้เกิดอาการสะสมของน้ำหวาน คือที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส สำหรับมะม่วงดิบ และที่ 10 องศาเซลเซียส สำหรับผลมะม่วงที่ค่อนข้างสุกหรือมะม่วงสุก และในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์

ประมาณร้อยละ 90 ถึง 95 [7] นอกจากนี้การเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิระหว่าง 15.5 ถึง 30 องศาเซลเซียส อาจทำให้เกิดการสุกของมะม่วงเพิ่มขึ้นอีกด้วย [6]

2. การทำความสะอาดและการฆ่าเชื้อ

น้ำที่ใช้สำหรับทำความสะอาดผลมะม่วงนั้นต้องเป็นน้ำที่สะอาดและปลอดภัยต่อการบริโภค โดยสามารถชำระล้างฝุ่นละออง ยางมะม่วง สิ่งปนเปื้อน รวมถึงสารเคมีที่ใช้ระหว่างการผลิตได้ น้ำที่ใช้ในการล้างผลมะม่วงในถังรองรับวัตถุดิบเริ่มต้น (dump tank) มักเป็นแหล่งสะสมของเชื้อก่อโรคพืช (plant pathogen) ดังนั้นจึงต้องเติมสารฆ่าเชื้อและเปลี่ยนถ่ายน้ำอยู่เสมอเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อและลดการปนเปื้อนข้ามจากผลมะม่วงที่เป็นโรคมายังผลมะม่วงที่ดี ผ่านทางรอยตัดหรือบริเวณที่เซลล์พืชได้รับบาดเจ็บ โดยน้ำที่ใช้สำหรับทำความสะอาดอาจมีการเติมสารประกอบคลอรีนซึ่งสามารถฆ่าเชื้อได้รวดเร็วและมีราคาถูก โดยสารประกอบคลอรีนที่นิยมใช้ ได้แก่ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (CaOCl₂) คลอรีนไดออกไซด์ (ClO₂) และก๊าซคลอรีน (Cl₂) โดยเมื่อเติมลงในน้ำ สารประกอบคลอรีนจะแตกตัวเป็นคลอรีนอิสระซึ่งสามารถฆ่าเชื้อก่อโรคพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อราได้ ซึ่งคลอรีนอิสระจะทำงานได้มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อมีปริมาณคลอรีนอิสระในน้ำ 100-150 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 6.5-7.5 [6]

3. การปอกเปลือก การนำเมล็ดออก และการตัดแต่ง

เนื่องจากผลมะม่วงที่ใช้ในการตัดแต่งมีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างนิ่ม การปอกเปลือกและการตัดแต่งจึงมักใช้การตัดแต่งด้วยมือโดยผู้ชำนาญด้วยอุปกรณ์การตัดแต่งแทนการใช้เครื่องจักร [8] ได้แก่ มีด ซึ่งใบมีดต้องสะอาดและมีความคม ใบมีดที่ทื่อจะทำให้เกิดการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อพืชมากกว่าใบมีดที่คม Portela และ Cantwell (2001) รายงานว่าเนื้อแคนตาลูปสดตัด

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

แต่งด้วยใบมีดที่มีปริมาณเอทานอลซึ่งเป็นสารระเหยง่ายที่ก่อให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (off-odor) สูงกว่า และมีอายุการเก็บรักษาสั้นกว่าเนื้อแคนตาลูปตัดแต่งด้วยใบมีดที่คม [9]

4. การล้าง การลดอุณหภูมิ และการใช้พรีดเมนต์ทางเคมี

ในระหว่างกระบวนการตัดแต่งเนื้อมะม่วงนั้นของเหลวและองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์ที่ถูกทำลายจะไหลออกมาภายนอกเซลล์ ก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีและการเจริญของจุลินทรีย์ได้ง่าย การล้างผิวหน้าของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งด้วยน้ำหรือน้ำคลอรีน (50-100 มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่มีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสสามารถลดการเจริญของจุลินทรีย์และช่วยลดอุณหภูมิของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งลงได้ นอกจากนี้ยังอาจมีการเติมสารชุบ (dipping solution) ที่มีสารช่วยชะลอการสูญเสีย น้ำ (เช่น สารละลายไคโทซาน และสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์ เป็นต้น) การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (เช่น กรดแอสคอร์บิก และกรดซิตริก เป็นต้น) และการสูญเสียความแน่นเนื้อ (เช่น สารละลายแคลเซียม เป็นต้น) ของเนื้อเยื่อผลไม้ได้อีกด้วย

5. การลดปริมาณน้ำจากเนื้อมะม่วงสดตัดแต่ง

หลังจากกระบวนการล้างเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งมักมีปริมาณน้ำส่วนเกินบริเวณผิวหน้าของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งอยู่มาก จึงต้องกำจัดน้ำส่วนเกินนี้ออกจากผลิตภัณฑ์ก่อนการบรรจุ กระบวนการนี้จะช่วยป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่หลงเหลือจากกระบวนการฆ่าเชื้อลงได้ โดยอาจปล่อยให้สะเด็ดน้ำบนตะแกรงเหล็กกล้าไร้สนิม หรืออาจทำได้โดยลำเลียงเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งผ่านระบบกึ่งฟลูอิดไซ์เบด (semi-fluidized bed) ด้วยลมดัน (forced air) เพื่อลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ลง [8]

6. การบรรจุ การเก็บรักษา และการขนส่ง

เพื่อให้เนื้อมะม่วงสดตัดแต่งมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น การเลือกชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บ

รักษาให้เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่ง โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดและเกี่ยวข้องโดยตรงกับอายุการเก็บรักษาของเนื้อผลไม้สดตัดแต่ง โดยการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมนั้นมักจะสัมพันธ์กับการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ ความปลอดภัยทางอาหาร และการชะลอการสูญเสีย น้ำ การหายใจ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางชีวเคมี โดยตลอดกระบวนการผลิต การบรรจุ การขนส่ง และการเก็บรักษานั้นควรดำเนินการภายใต้อุณหภูมิ 2 ถึง 5 องศาเซลเซียส [10-12] Chantanawarangoon (2000) พบว่าเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งพันธุ์ 'Kent' ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มากกว่า 10 วัน มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนสูงขึ้น และปรากฏสีเทาบริเวณผิวหน้าของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่ง ซึ่งเป็นอาการสะท้อนหนว [10] นอกจากนี้ในระหว่างการขนส่ง ควรหลีกเลี่ยงการสั่นสะเทือนหรือการกระแทก ซึ่งจะทำให้เนื้อเยื่อเกิดการชอกช้ำเพิ่มขึ้นได้ส่งผลให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่ง

มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีการหายใจแบบไคลแมคเทอร์ริก (climacteric fruit) กล่าวคือผลมะม่วงมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างกระบวนการสุก ภายใต้การกระตุ้นของแก๊สเอทิลีนที่ผลมะม่วงปล่อยออกมามากขึ้นในระยะการสุก และเมื่อผลมะม่วงผ่านกระบวนการตัดแต่งเนื้อเยื่อที่เกิดบาดแผลจากกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การปอกเปลือก การนำเมล็ดออก การหั่นตามยาว และการหั่นเป็นทรงลูกเต๋า เป็นต้น (Figure 1) ซึ่งทำให้เซลล์ถูกทำลาย ของเหลวและองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์ที่ถูกทำลายจะไหลออกมาภายนอกเซลล์ การเสียหายของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์จากกระบวนการแปรรูปนั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่แตกต่างจากมะม่วงทั้งผล [14] เมื่อเซลล์เกิดบาดแผลจากแรงกลภายนอก เซลล์จะส่งสัญญาณทั้ง เคมี ไฟฟ้า และฮอร์โมน จากบริเวณที่เกิดบาดแผลออกไปยังเซลล์ข้างเคียง ซึ่งจะขยายสัญญาณดังกล่าวนำไปสู่การเพิ่มขึ้น

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

ของอัตราการหายใจและการผลิตแก๊สเอทิลีน การสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล และการกระตุ้นให้เกิดกลไกการซ่อมแซมของเซลล์พืช นอกจากนี้เนื้อเยื่อชั้นนอกสุดของเซลล์ (epidermis) ซึ่งถูกทำลายและสูญเสียไปเนื่องจากกระบวนการตัดแต่งยังส่งผลให้เนื้อเยื่อของผลไม้สดตัดแต่งนั้นสูญเสียน้ำและเกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ง่าย (Figure 2) การเปลี่ยนแปลงที่กล่าวมาข้างต้นนั้นก่อให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ การสูญเสียน้ำหนัก การสูญเสียคุณภาพด้าน

ลักษณะปรากฏ กลิ่นและรสชาติ และเนื้อสัมผัส รวมถึงการปนเปื้อนและการเจริญของจุลินทรีย์ [15-18] อย่างไรก็ตาม ความไวต่อการเกิดบาดแผลของเนื้อเยื่อพืชนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ที่สำคัญด้วย ได้แก่ พันธุ์ (cultivar) ความบ่มิบูรณ์ (maturity) ระยะการสุก (ripening) ความรุนแรงของแรงกลที่ได้รับ สภาพการเก็บรักษา (อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ส่วนประกอบของบรรยากาศ) และสารเคมีที่ใช้ร่วมในกระบวนการแปรรูป [18]

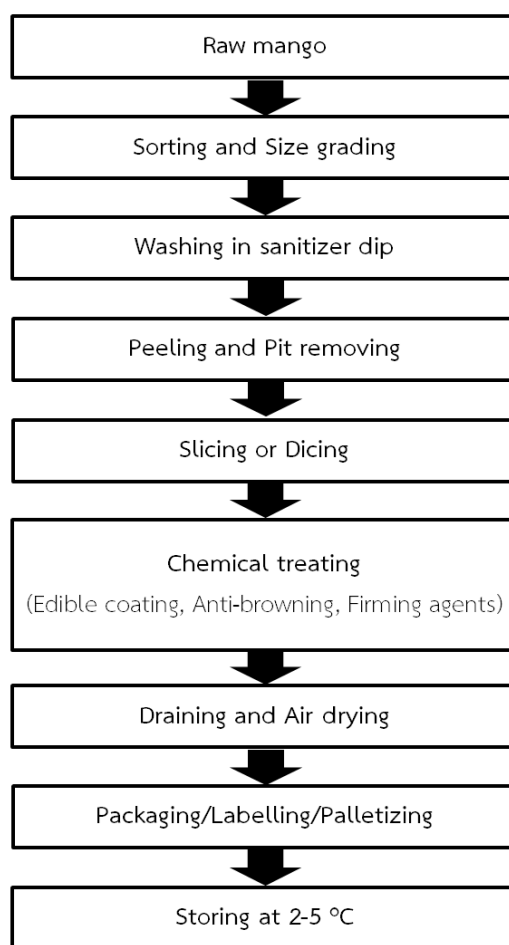


Figure 1 Fresh-cut mango processing
Modified from Garcia and Barrett (2005) [8]

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

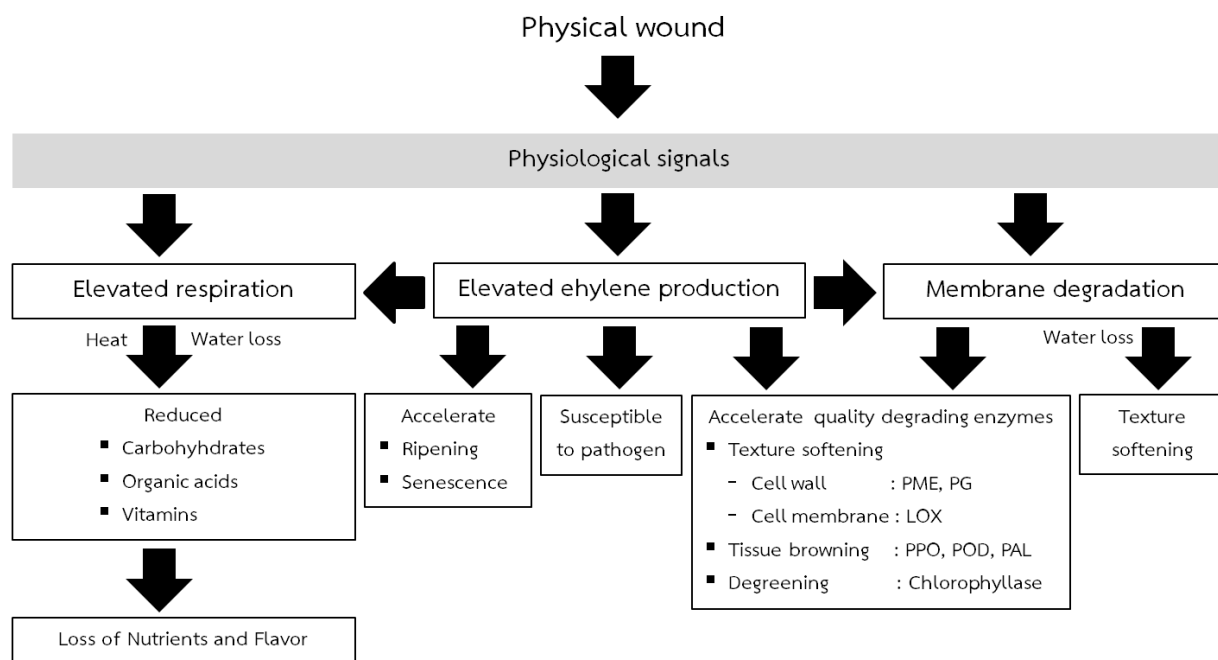


Figure 2 Wound responses of fresh-cut cells

Modified from Brecht et al. (2004) [13]

1. การผลิตเอทิลีนและอัตราการหายใจ

ในผลไม้กลุ่มโคลแมคเทอริก เซลล์ที่เกิดบาดแผลจากกระบวนการตัดแต่งสามารถเร่งการผลิตเอทิลีนได้โดยอาจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทันทีหรือหลายชั่วโมงหลังกระบวนการตัดแต่ง [19, 20] เอทิลีนที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในผลไม้สดตัดแต่งมากกว่าในผลไม้ทั้งผล [18, 21] โดยอัตราการผลิตเอทิลีนแปรผันตรงกับปริมาณการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากมะม่วงเป็นผลไม้ที่ผลิตเอทิลีนได้ในปริมาณต่ำ ($0.1-2 \mu\text{L/kg/h}$) จึงตรวจพบการเปลี่ยนแปลงได้ค่อนข้างยากในระหว่างการเก็บรักษา [22, 23]

การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจของผลไม้สดตัดแต่งเป็นผลมาจากปริมาณเอทิลีนที่เพิ่มขึ้นของเนื้อเยื่อที่มีบาดแผล การตอบสนองของเนื้อเยื่อต่ออัตราการหายใจนี้จะค่อนข้างล่าช้ากว่าอัตราการผลิตเอทิลีน [18] นอกจากนี้อัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมา

จากความสามารถแลกเปลี่ยนแก๊สของเนื้อเยื่อที่เพิ่มขึ้นในผลไม้สดตัดแต่งเนื่องจากคิวติเคิล (cuticle) และเนื้อเยื่อชั้นนอกสุดถูกตัดออกไป ทำให้เนื้อเยื่อมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรในการแลกเปลี่ยนแก๊สเพิ่มขึ้น อัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้เซลล์นำน้ำตาล กรดอินทรีย์ และสารอาหาร ไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของเซลล์มากขึ้น และนำไปสู่การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการและสูญเสียกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์ [24] อัตราการหายใจจะแปรผกผันกับอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นหากมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นจากกระบวนการตัดแต่งจึงส่งผลให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สั้นลง [25, 26] จากผลงานวิจัยพบว่าเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งพันธุ์ ‘Graham’ ‘Julie’ [22] และ ‘Kent’ [11] มีอัตราการหายใจสูงมากภายหลังการตัดแต่งและค่อยๆ ลดลงใน 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส โดยอัตราการหายใจสูงกว่ามะม่วงทั้งผลที่

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

เก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกัน 1.5 ถึง 2 เท่า และตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจต่ำกว่าที่เก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส [11] นอกจากนี้ระยะความสมบูรณ์และระยะการสุกของผลไม้ยังส่งผลต่ออัตราการหายใจของเนื้อผลไม้สดตัดแต่งเช่นกัน Allong และคณะ (2001) พบว่าผลไม้สดตัดแต่งในระยะดิบ (mature green) มีอัตราการหายใจสูงกว่าระยะเริ่มสุก (firm-ripe) หรือ ระยะสุกนุ่ม (soft-ripe) [22] ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยที่พบว่าเนื้อเยื่อพืชในระยะก่อนโคลแมคเทอริกจะตอบสนองต่อการเกิดบาดแผลมากกว่าระยะหลังโคลแมคเทอริก [27]

2. การเสียดสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์

การเสียดสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์จากกระบวนการตัดแต่งทำให้การจัดแบ่งส่วนต่างๆ ของเซลล์และออร์แกเนลล์ถูกทำลายและไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามปกติ [18, 28] ส่งผลกระทบที่สำคัญคือเอนไซม์และสารตั้งต้นที่เคยแยกจากกันอยู่ภายในเซลล์ถูกปล่อยออกมาและทำปฏิกิริยากันและส่งผลให้เกิดการเสื่อมคุณภาพด้านต่างๆ เช่น ลักษณะปรากฏ (การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์) เกิดกลิ่นและรสชาติไม่พึงประสงค์ และลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มลง นอกจากนี้ยังลดสมบัติการเป็นเยื่อเลือกซึมผ่านได้ของเยื่อหุ้มเซลล์และลดการสังเคราะห์ฟอสโฟลิพิดอีกด้วย [21] เนื้อเยื่อที่เกิดบาดแผลสามารถกระตุ้นให้เกิดการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ จากการทำงานของเอนไซม์ phospholipase D และ lipid acyl hydrolases เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ ซึ่งกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นนี้เป็นพิษต่อเซลล์และยังก่อให้เกิดการย่อยออร์แกเนลล์ อีกทั้งกรดไขมันอิสระดังกล่าวสามารถจับและยับยั้งการทำงานของโปรตีนได้ และยังสามารถเกิดปฏิกิริยา α -oxidation หรือทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ลิพอกซีจีเนส (lipoxygenase) เกิดอนุมูลอิสระซึ่งทำลายเยื่อหุ้มเซลล์มากยิ่งขึ้นอีกด้วย [18] Dea และคณะ (2009) ได้รายงานว่ายื่อหุ้มเซลล์ของผลไม้พันธุ์ 'Kent' มีความสมบูรณ์มากกว่าเนื้อผลไม้

สดตัดแต่ง [11] โดยวัดจากค่าการรั่วซึมของไอออน (ion leakage) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการบ่งชี้การถูกทำลายของเยื่อหุ้มเซลล์ [29]

3. การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์

ลักษณะปรากฏเป็นปัจจัยเบื้องต้นที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดตัดแต่ง [30] การเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดหรือผิวหน้าของผลไม้ตัดแต่งเป็นข้อจำกัดที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และอายุการเก็บรักษา เนื้อเยื่อที่มีบาดแผลยังสามารถกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ [26] โดยสารสีน้ำตาลนี้เกิดจากปฏิกิริยาของสารตั้งต้น คือ พอลิฟีนอล (polyphenol) จากแควคิวโอล และเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO) จากไซโทพลาซึมภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน [31] (Figure 3) โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นหลังจากกระบวนการตัดแต่งซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งทำหน้าที่จัดแบ่งส่วนต่างๆ ของเซลล์และออร์แกเนลล์ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์นี้มี 2 ขั้นตอน คือ กระบวนการ hydroxylation ซึ่งเปลี่ยนสารกลุ่มมโนฟีนอล (monophenols) ได้เป็นสารกลุ่มไดฟีนอล (diphenols) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างช้าและให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารที่ไม่มีสี และเกิดกระบวนการ oxidation เป็นขั้นตอนต่อไปที่เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วโดยเปลี่ยนสารกลุ่มไดฟีนอลเป็นสารกลุ่มควิโนน (quinones) ซึ่งเป็นสารที่มีสีและมีความไวในการเกิดปฏิกิริยามาก สารกลุ่มควิโนนนี้ สามารถเกิดการพอลิเมอไรเซชันเป็นสารเมลานิน (melanins) หรือสารที่ให้สีน้ำตาลหรือสีดำกับเนื้อเยื่อพืช โดยสารเมลานินนี้ยังสามารถทำปฏิกิริยาต่อกับกรดอะมิโน และโปรตีนเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ทำให้เกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นได้อีกด้วย [16, 19, 31]

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

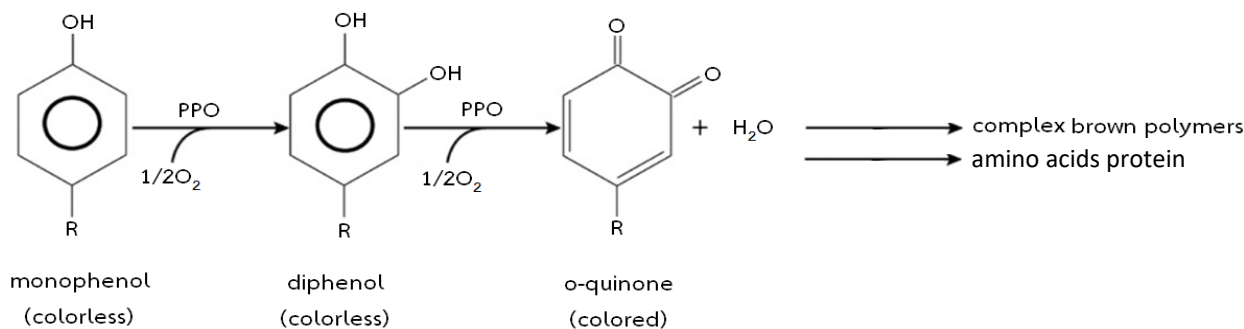


Figure 3 The mechanism for polyphenol oxidase action

Modified from Walker (1977) [32]

เอนไซม์ peroxidase (POD) มีบทบาทต่อการเกิดสีน้ำตาลได้เช่นกัน ถึงแม้พบสารตั้งต้นไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ปริมาณน้อยในเซลล์พืช [19] ผลการศึกษาวิจัยในมะม่วงพันธุ์ ‘Pairi’ พบว่าเปลือกมะม่วงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงกว่าเนื้อมะม่วง [33] ดังนั้นจึงควรปอกเปลือกมะม่วงออกให้หมดด้วยใบมีดที่คม เพื่อลดการปนเปื้อนของสารประกอบฟีนอลจากเปลือกสู่เนื้อมะม่วง [34, 35] นอกจากนี้ปริมาณเอนไซม์ PPO และสารประกอบฟีนอลยังพบมากบริเวณเนื้อเยื่อมะม่วงสดตัดแต่งบริเวณที่ติดกับเมล็ดมากกว่าบริเวณอื่น ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมากกว่าบริเวณอื่น [36]

4. การสูญเสียความแน่นเนื้อ

ความแน่นเนื้อ (firmness) และลักษณะเนื้อฉ่ำน้ำ (juiciness) เป็นลักษณะเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อสัมผัสอื่นๆ [19] การสูญเสียความแน่นเนื้อจึงเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่จำกัดคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เนื้อผลไม้สดตัดแต่ง [16, 17] ความแน่นเนื้อในผลไม้ทั้งผลนั้นเกิดจากลักษณะทางกายภาพของเนื้อเยื่อ ขนาดและรูปร่าง การเรียงตัวของเซลล์ ความหนาและความแข็งแรงของผนังเซลล์ และแรงยึดระหว่างเซลล์ ร่วมกับแรงดันเต่ง กล่าวคือความแน่นเนื้อของผลไม้ นั้นมาจากความแข็งแรงจากผนังเซลล์

และแรงดันเต่งที่เกิดขึ้นภายในเยื่อหุ้มเซลล์ [19, 37] ในผลไม้ทั้งผลนั้นการสูญเสียความแน่นเนื้อในกระบวนการสุกตามธรรมชาติเกิดจากสารประกอบเพกตินถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายผนังเซลล์ ได้แก่ เอนไซม์เพกตินเมทิลเอสเทอเรส (pectin methylesterase; PME) และเอนไซม์พอลิกลาแล็กตูโรเนส (polygalacturonase; PG) การสูญเสียแรงดันเต่งของเยื่อหุ้มเซลล์จากการสะสมของตัวถูกละลายต่างๆ บริเวณช่องว่างในผนังเซลล์ [38] และการสูญเสียน้ำในระหว่างการสุก [39] ในผลไม้สดตัดแต่ง นอกจากการสูญเสียความแน่นเนื้อ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการสุกตามธรรมชาติแล้ว การกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์โดยเอทิลีนจากเนื้อเยื่อที่เกิดบาดแผล และการสูญเสียแรงดันเต่งจากกระบวนการตัดแต่งเป็นอีกปัจจัยร่วมที่สำคัญที่ทำให้อัตราการสูญเสียความแน่นเนื้อในผลไม้สดตัดแต่งนั้นสูงกว่าในผลไม้ทั้งผล [40-42] Dea (2009) พบว่าค่าการรั่วซึมของไอออนซึ่งเป็นพารามิเตอร์บ่งชี้ความแข็งแรงของเยื่อหุ้มเซลล์ในผลไม้สดตัดแต่งมีค่ามากกว่า (มีความแข็งแรงของเยื่อหุ้มเซลล์ต่ำกว่า) ค่าจากมะม่วงทั้งผล 2 ถึง 3 เท่าในระหว่างการเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียส [11] Karakurt และ Huber (2003) ได้รายงานว่ากิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายผนังเซลล์ ได้แก่ PG, α - และ β -

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

galactosidases และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายเยื่อหุ้มเซลล์ ได้แก่ เอนไซม์ลิพอกซิจีเนส (lipoxygenase; LOX) และ ฟอสโฟลิเพสดี (phospholipase D) มีค่าแปรผันโดยตรงกับการสูญเสียความแน่นเนื้อของเนื้อมะละกอสดัดแต่ง [41]

5. กลิ่นและรสชาติ

ผู้บริโภคผลไม้สดตัดแต่งมีความคาดหวังให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นและรสชาติใกล้เคียงกับกลิ่นและรสชาติตามธรรมชาติของผลไม้ชนิดนั้นๆ อย่างไรก็ตาม กลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์มักมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วภายหลังกระบวนการตัดแต่ง โดยพบว่ามีกลิ่นหืนและสูญเสียกลิ่นผลไม้สดตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ [43] กลิ่นและรสชาติของผลไม้สดนั้นมาจากน้ำตาล (รสหวาน) กรดอินทรีย์ (รสเปรี้ยว) สารประกอบฟีนอล (รสขม รสฝาด) และสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ [44] ถึงแม้ว่าน้ำตาลและกรดอินทรีย์จะเป็นองค์ประกอบหลักที่ให้รสชาติในเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งแต่ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (SSC) ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA) กลับไม่พบว่ามีความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ดังกล่าวกับรสหวานและรสเปรี้ยวของผลไม้ และจากผลงานวิจัยพบว่าค่า TA SSC และ SSC/TA ไม่สามารถบ่งชี้รสเปรี้ยวและรสหวานของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งได้ดี เนื่องจากไม่พบความแตกต่างของค่าดังกล่าวระหว่างการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสดตัดแต่ง [42, 45-47] Malundo และคณะ (2001) ได้รายงานว่าน้ำตาลซูโครสและฟรักโทส และกรดซิตริกสามารถเพิ่มการรับรู้ต่อกลิ่นและรสชาติสำคัญในมะม่วงได้ และจากผลงานวิจัยยังพบว่าค่า SSC ไม่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีของรสหวานในเนื้อมะม่วงได้ อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง TA และ SSC/TA นั้นสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ของรสเปรี้ยว รสฝาด และ biting sensation ในมะม่วงพันธุ์ ‘Tommy Atkins’ [48] สำหรับกลิ่นในมะม่วงนั้นส่วนมากเป็นผลิตภัณฑ์ที่

ได้มาจากกระบวนการบีตา-ออกซิเดชัน (β -oxidation) และผลิตภัณฑ์จากการออกซิเดชันของกรดไขมันโดยเอนไซม์ LOX ได้ผลิตภัณฑ์คือสารแอลดีไฮด์และคีโตน [49] นอกจากนี้เอนไซม์เอสเทอเรส (esterase) ที่ถูกกระตุ้นจากเนื้อเยื่อที่เกิดบาดแผลนั้นยังเปลี่ยนเอสเทอร์ (ester) ในมะม่วงเป็นกรดและแอลกอฮอล์ [50] โดยสารระเหยกลุ่มแอลกอฮอล์และแอซีทัลดีไฮด์ (acetaldehyde) ให้กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์และสูญเสียกลิ่นของมะม่วงสดในผลิตภัณฑ์เนื้อมะม่วงสดตัดแต่งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ [51-54]

6. การสูญเสีย น้ำ

การสูญเสีย น้ำในผลไม้สดตัดแต่งนั้นเป็นผลเนื่องมาจากการสูญเสียควิตีเคิลและเนื้อเยื่อชั้นนอกสุดของผลไม้จากกระบวนการตัดแต่ง (ได้แก่ การปอกเปลือกและการหั่นชิ้น) และการเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของผลไม้ ทำให้น้ำสามารถระเหยออกได้ง่ายและส่งผลโดยตรงต่อการสูญเสียน้ำหนักและการเหี่ยวหรือการหดตัวของผลิตภัณฑ์ จากผลงานวิจัยพบว่าวิธีการปอกเปลือกนั้นส่งผลต่อการสูญเสียน้ำในแครอทอย่างมาก การปอกเปลือกแครอทด้วยมือโดยใช้ใบมีดที่คมมีอัตราการสูญเสียน้ำต่ำกว่าการปอกเปลือกด้วยการชุบโดยใช้เครื่องจักรถึง 3 เท่า [55] การสูญเสียน้ำส่งผลให้เกิดลักษณะปรากฏที่ส่งผลต่อคุณภาพของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่ง โดยจากผลงานวิจัยพบว่าลักษณะแห้งที่บริเวณผิวหนังของผลิตภัณฑ์เป็นหนึ่งในปัจจัยเชิงคุณภาพสำคัญที่ใช้ในการกำหนดอายุการเก็บรักษาในเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งพันธุ์ ‘Keitt’ ‘Kensington’ ‘Palmer’ และ ‘Tommy Atkins’ [53, 56, 57]

7. การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ

เนื้อเยื่อที่บาดเจ็บเนื่องจากกระบวนการตัดแต่งทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการได้ ผลงานวิจัยพบว่าสารแคโรทีนอยด์ในเนื้อผลไม้สดตัดแต่งมีปริมาณน้อยกว่าผลไม้ทั้งผล เนื่องจากกระบวนการตัดแต่งทำให้แคโรทีนอยด์สัมผัสกับน้ำผลไม้ซึ่งมีค่า pH ต่ำ (ความเป็นกรดสูง) ออกซิเจน

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

และแสง ทำให้แคโรทีนอยด์มีเสถียรภาพต่ำลง ส่งผลให้อัตราการสูญเสียของแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้น [58] นอกจากนี้แคโรทีนอยด์ยังสูญเสียจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เร่งด้วยเอนไซม์ LOX ซึ่งมาจากเนื้อเยื่อที่บาดเจ็บอีกด้วย [58] อย่างไรก็ตามอายุการเก็บรักษาของผลไม้สดตัดแต่งมักถูกกำหนดจากปัจจัยด้านลักษณะปรากฏภายนอกและการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณแคโรทีนอยด์ นอกจากนี้ผลงานวิจัยยังพบว่ามะม่วงพันธุ์ ‘Atafo’ มีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงร้อยละ 25 ของปริมาณเริ่มต้นในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน [34]

ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในผลไม้สดตัดแต่งนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยก่อนการเก็บเกี่ยวหลายปัจจัย (ได้แก่ พันธุ์ การดูแลรักษา และสภาพภูมิอากาศ) หลังการเก็บเกี่ยว (ได้แก่ ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว และอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษา) และระหว่างการแปรรูปและเก็บรักษา (ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษา ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง บรรยากาศ ความร้อน อุปกรณ์ในการตัดแต่ง ชนิดของบรรจุภัณฑ์ และระยะเวลาการเก็บรักษา) อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่ากรดแอสคอร์บิกสามารถสังเคราะห์ในระหว่างการเก็บรักษาของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งได้เช่นกัน [23, 34] ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการสังเคราะห์กรดแอสคอร์บิกโดยเอนไซม์ L-galactono- γ -lactone dehydrogenase จากเนื้อเยื่อที่บาดเจ็บ [59] หรือการสังเคราะห์กรดแอสคอร์บิกจากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเนื่องจากพืชสามารถสังเคราะห์กรดแอสคอร์บิกได้จากน้ำตาลกลูโคส (D-glucose) อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของกรดแอสคอร์บิกอาจเป็นเพียงผลจากการสูญเสียน้ำของเนื้อผลไม้สดตัดแต่งซึ่งส่งผลให้น้ำหนักเปียก (wet basis) ของปริมาณกรดแอสคอร์บิกของเนื้อผลไม้สดตัดแต่งเพิ่มขึ้น [60]

ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพของมะม่วงสดตัดแต่ง

1. ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวและระยะการสุก

ผลไม่มีสารพิษและกิจกรรมของเซลล์แตกต่างกันตามระยะเวลาการสุกและระยะการเก็บเกี่ยว ผลมะม่วงที่นำมาใช้ในการผลิตเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งนั้นมักเก็บเกี่ยวในระยะผลดิบ (mature-green) เนื่องจากสามารถทนทานต่อการจัดการหลังเก็บเกี่ยว การขนส่งระยะไกลได้ [46] และเมื่อนำมาแปรรูปจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏค่อนข้างคงที่ และสามารถเก็บรักษาได้นานกว่าการใช้ผลมะม่วงที่ค่อนข้างสุก แต่ยังพบข้อจำกัดด้านกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค [11, 45, 53] สำหรับผลมะม่วงพันธุ์ ‘Graham’ ‘Haden’ ‘Julie’ ‘Palmer’ และ ‘Tommy Atkins’ ระยะค่อนข้างสุกจะเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งเนื่องจากให้คุณภาพด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และรสชาติเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและมีเนื้อสัมผัสนิ่มลง ซึ่งส่งผลต่ออายุการเก็บรักษา [22, 35] Beaulieu และ Lea (2003) ได้รายงานวามะม่วงพันธุ์ ‘Keitt’ และ ‘Palmer’ ในระยะเริ่มสุก (firm-ripe, SSC 9-10% ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงทั้งผลเริ่มต้น 86 ถึง 92N จากการวัดด้วย hand-held McCormick, FT327, Italy, หัววัดขนาด 11.3 มิลลิเมตร) เมื่อนำมาแปรรูปเป็นเนื้อมะม่วงสดตัดแต่ง ผลิตภัณฑ์ไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค เนื่องจากข้อจำกัดด้านกลิ่น ถึงแม้จะมีอายุการเก็บรักษาที่นานกว่าเนื้อมะม่วงจากระยะสุกอม (soft-ripe, SSC 12-14% ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงทั้งผลเริ่มต้น 27 ถึง 29N) [53] Rattanapanone และ Watada (2000) ได้รายงานวามะม่วงพันธุ์ ‘Tommy Atkins’ และ ‘Kent’ ทั้งผลที่มีความแน่นเนื้อเริ่มต้นอยู่ระหว่าง 13 ถึง 27N (จากการวัดด้วย Magness Taylor penetrometer หัววัดขนาด 11.1 มิลลิเมตร) จะให้ผลิตภัณฑ์เนื้อมะม่วงสดตัดแต่งที่มีคุณภาพและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยยังคงมีข้อจำกัดด้านอายุการเก็บรักษาที่เกิดจากลักษณะ

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

ปรากฏฉ่ำน้ำ มีสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดและผิวหน้า และมีการเจริญของจุลินทรีย์ [61] นอกจากนี้ Desouza และคณะ (2005) ยังพบว่าเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งพันธุ์ 'Tommy Atkins' ที่สุกตามธรรมชาติมีกลิ่นและรสชาติดี และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากกว่าผลมะม่วงที่เก็บเกี่ยวในระยะดิบและบ่มให้ผลสุกด้วยเอทิลีนที่อุณหภูมิ 25 ถึง 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง [62]

2. กระบวนการตัดแต่ง

อุปกรณ์ในการตัดแต่ง เช่น มีดที่คมจะช่วยลดการเกิดรอยชำที่บาดแผลของเนื้อเยื่อผลไม้ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้สดตัดแต่งได้ [51] ใบมีดที่ทื่อจะทำให้เกิดการสะสมของตัวถูกละลายต่างๆ ในบริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์ ซึ่งลดการซึมผ่านของแก๊สและทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนและเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นแอลกอฮอล์จากการสังเคราะห์เอทานอล ในขณะที่ใบมีดที่มีความคมจะสามารถลดการเกิดรอยชำของเนื้อเยื่อและผลกระทบจากเนื้อเยื่อที่เกิดบาดแผลได้ เช่น การผลิตเอทิลีน การหายใจ การสูญเสียน้ำ การสูญเสียความแน่นเนื้อ หรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ เป็นต้น [63, 64] เนื้อมะม่วงสดตัดแต่งพันธุ์ 'Kent' มีอัตราการหายใจสูงกว่ามะม่วงทั้งผลปอกเปลือกถึง 1.5 เท่า [10] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนในการตัดแต่งมีผลต่ออัตราการหายใจของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่ง Kader (2008) ได้รายงานว่าการใช้ใบมีดที่มีความคมเท่ากันการปอกเปลือกด้วยมือจะก่อให้เกิดความเสียหายของเนื้อเยื่อน้อยกว่าการปอกเปลือกด้วยเครื่องจักร [65] ลักษณะหรือรูปร่างของผลไม้สดตัดแต่งยังมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เช่นกัน เช่น เนื้อมะละกอสดตัดแต่งที่หั่นเป็นชิ้นตามยาวสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าและมีคุณภาพโดยรวมสูงกว่าเนื้อมะละกอสดตัดแต่งเป็นลูกเต๋า [66] ส่วนในเนื้อแตงเมลอนสดที่ตัดแต่งทรงสี่เหลี่ยมคางหมูมีอายุการเก็บรักษานานกว่าแบบตัดแต่งเป็นชิ้นยาว

หรือแบบทรงกระบอก [67] การล้างผลิตภัณฑ์ภายหลังการตัดแต่งก็เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลไม้สดตัดแต่ง เนื่องจากสามารถล้างสารที่ส่งสัญญาณต่างๆ ออกจากบริเวณรอยตัดหรือผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ เช่น สารแอซีทาลดีไฮด์ และสารประกอบฟีนอล [19] และยังพบว่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ catalase POD และ superoxide dismutase เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งช่วยในการดักจับอนุมูลออกซิเจนอิสระ ส่งผลให้ชะลอการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ที่อาจถูกทำลายจากอนุมูลอิสระได้ [19]

3. สภาพในการเก็บรักษา

การจัดการอุณหภูมิหลังเก็บเกี่ยว การขนส่ง และการแปรรูปส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลไม้สดตัดแต่ง โดยหากสามารถควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำลงได้จะสามารถรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น มะม่วงเป็นผลไม้เขตร้อนที่ไวต่ออาการสะท้านหนาว (chilling sensitive) ซึ่งเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียสแต่สูงเหนือจุดเยือกแข็ง ดังนั้นปัจจัยด้านอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จึงมีความสำคัญและส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ผลไม้สดตัดแต่งมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น โดยมีอัตราการเสื่อมเสียที่เกิดจากกระบวนการสุกและชราภาพตามธรรมชาติของผลไม้และจากกระบวนการตัดแต่งสูงกว่าการเสื่อมเสียจากอาการสะท้านหนาว [43] ดังนั้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำยังคงเป็นที่นิยมของผู้ขายสินค้าปลีกทั่วไป เนื่องจากการแสดงอาการสะท้านหนาวจะปรากฏเมื่อผลไม้สัมผัสกับอุณหภูมิสูงขึ้นเป็นระยะเวลาหนึ่ง ดังนั้นหากเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวอย่างต่อเนื่อง ผลไม้สดตัดแต่งนั้นจะยังไม่แสดงลักษณะปรากฏของอาการสะท้านหนาวในขณะวางจำหน่ายสินค้า [11] ซึ่งจากผลงานวิจัยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งนั้นอยู่ระหว่าง 2 ถึง 5 องศาเซลเซียส [10-12] หรืออาจเก็บรักษาที่

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

อุณหภูมิ 0 ถึง 1 องศาเซลเซียส ได้โดยไม่แสดงอาการ สะท้อนหนาวหากเก็บรักษาน้อยกว่า 10 วัน [12] สำหรับเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งพันธุ์ 'Tommy Atkins' และ 'Kent' สามารถยืดอายุการเก็บรักษาจาก 5 วันที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็น 8 วัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส [68] การเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งพันธุ์ 'Kent' ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส พบว่ามีสีเทาที่บริเวณรอยตัดในวันที่ 13 ของการเก็บรักษาและมีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 และ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวเป็นอุณหภูมิที่ไม่พบว่าเกิดลักษณะปรากฏของอาการสะท้อนหนาว [10, 11] เนื้อมะม่วงสดตัดแต่งพันธุ์ 'Mahachanok' มีอายุการเก็บรักษา 6 วันเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 7 องศาเซลเซียส ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษาเพียง 4 และ 1 วันตามลำดับ [69]

การลดอัตราการหายใจในผลิตภัณฑ์ผลไม้สดตัดแต่งเป็นสิ่งสำคัญที่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีได้ การยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สามารถใช้การจัดการอุณหภูมิ ร่วมกับการดัดแปรสภาพบรรยากาศภายใต้สภาวะออกซิเจนต่ำ และ/หรือสภาวะคาร์บอนไดออกไซด์สูง ซึ่งนอกจากจะลดอัตราการหายใจแล้ว ยังลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์และการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ รวมไปถึงการลดการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ จึงได้การเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งภายใต้สภาวะดัดแปรบรรยากาศและใช้บรรจุภัณฑ์ดัดแปรบรรยากาศ การเก็บรักษาในสภาวะออกซิเจนต่ำ (ร้อยละ 2 หรือ 4) ร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์สูง (ร้อยละ 10) ที่อุณหภูมิ 5 หรือ 10 องศาเซลเซียส สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งพันธุ์ 'Tommy Atkins' และ 'Kent' (เนื้อมะม่วงสด 250 กรัมบรรจุในโพลีเอทิลีน 2 ลิตร) ออกไปได้อีก 1-2 วัน [68] สภาวะบรรยากาศที่

มีคาร์บอนไดออกไซด์สูง (ร้อยละ 10) สามารถชะลอการเกิดลักษณะปรากฏฉ่ำน้ำของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่ง (เนื้อมะม่วงสด 100 กรัมบรรจุในกล่องพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร) พันธุ์ 'Carabao' ที่อุณหภูมิ 5 และ 13 องศาเซลเซียส และพันธุ์ 'Nam Dokmai' ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ได้ [70] ส่วนการเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศที่มีออกซิเจนสูง (ร้อยละ 60) สามารถลดอัตราการหายใจของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่ง (เนื้อมะม่วงสด 100 กรัมบรรจุในกล่องพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร) ระยะกึ่งสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ลงได้ แต่เร่งอัตราการหายใจหลังจากวันที่ 2 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส [71] อายุการเก็บรักษาของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งพันธุ์ 'Nam Dokmai' สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ดัดแปรบรรยากาศ propylene film (O_2 ร้อยละ 5 และ CO_2 ร้อยละ 10) ได้นานถึง 13 วัน [72]

4. การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์

เนื่องจากผลไม้สดตัดแต่งมีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน ซึ่งทำลายการปกป้องตามธรรมชาติของผลไม้และเกิดการปนเปื้อนของวัตถุดิบเริ่มต้นหรือในระหว่างกระบวนการตัดแต่ง การบรรจุ การเก็บรักษา หรือการขนส่ง ส่งผลให้เกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ง่าย ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาสั้นลง ผลไม้เป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการ น้ำผลไม้และน้ำตาลที่ไหลออกมาจากเนื้อเยื่อที่เกิดบาดแผลจากกระบวนการตัดแต่งนั้นเอื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ในสภาวะที่มีความเป็นกรดค่อนข้างสูงในผลไม้สดตัดแต่ง จุลินทรีย์ที่เจริญได้ดี ได้แก่ กลุ่มยีสต์ รา และแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดแลกติก [73] โดยอัตราการเจริญของจุลินทรีย์นั้นขึ้นกับอุณหภูมิ เวลา ความชื้นสัมพัทธ์ บรรยากาศ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณน้ำ และสารอาหาร การชะลอการเจริญของจุลินทรีย์บริเวณผิวนอกของผลิตภัณฑ์โดยการทำความสะอาดหรือฆ่าเชื้อวัตถุดิบเริ่มต้น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การใช้

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

บรรจุภัณฑ์ตัดแปรรบายอากาศ และการใช้สารต้านจุลินทรีย์ เป็นต้น ผลจากงานวิจัยพบว่าการฆ่าเชื้อที่ผิวผลไม้ด้วยเอทานอล ร้อยละ 80 ก่อนกระบวนการตัดแต่งและเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ตัดแปรรบายอากาศ LDPE (O_2 ร้อยละ 1.5 และ CO_2 ร้อยละ 11) ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ของเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งได้ 3 สัปดาห์ [74] การฆ่าเชื้อที่ผิวของมะม่วงด้วยสารละลายกรดเพอร์ออกซิแอซีติก (peroxyacetic acid; PPA) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามด้วยการล้างเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งด้วย PPA ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.5) สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียได้ถึง 3 สัปดาห์ ซึ่งใช้ได้ผลดีกว่าการล้างผลมะม่วงทั้งผลด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.5) เพียงอย่างเดียว [75] Ngarmsak และคณะ (2005) ได้รายงานว่เนื้อมะม่วงสดตัดแต่งพันธุ์ ‘Chok Anan’ ที่ได้จากการตัดแต่งผลมะม่วงที่ล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีการเจริญของจุลินทรีย์ต่ำกว่าตัวอย่างเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งควบคุมที่เตรียมจากผลมะม่วงที่ไม่ผ่านการล้างโซเดียมไฮโปคลอไรต์ อย่างมีนัยสำคัญ ตลอดอายุการเก็บรักษา 7 วันที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส [76] Alikhani (2014) ได้รายงานว่าการใช้สารเคลือบผิวที่บริโภคได้จากเมือกของ cactus pear (Opuntia) ผสมกับน้ำมันจากโรสแมรี่ ซึ่งเป็นสารต้านจุลินทรีย์เพื่อเคลือบผิวเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งพันธุ์ ‘Chaunsa’ สามารถรักษาคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และวิตามินซีได้ดี อีกทั้งยังสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีตลอดอายุการเก็บรักษา 9 วันที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส [77] Nongtaodum และ Jangchud (2009) พบว่าเนื้อมะม่วงสดตัดแต่งพันธุ์ ‘Fa-lun’ เคลือบด้วยฟิล์มไคโทซานซึ่งเป็นสารต้านจุลินทรีย์ที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 และ 0.8 เก็บ

รักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส สามารถลดการสูญเสีย น้ำ ชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ และได้รับการยอมรับที่ดีจากผู้บริโภค

บทสรุป

จากผลงานวิจัยต่างๆ แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลไม้สดตัดแต่งมีการเปลี่ยนแปลงและแตกต่างกันอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้สดทั้งผล ซึ่งไม่เพียงแต่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของผลมะม่วงเท่านั้น แต่ยังเกิดจากความรุนแรงของบาดแผลของเนื้อเยื่อเนื่องจากกระบวนการตัดแต่งด้วย ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ การชะลอการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวกระทำได้โดยการจัดการเพื่อลดการปนเปื้อนของวัตถุดิบ ระหว่างการแปรรูป การเก็บรักษา การจัดการอุณหภูมิ การเลือกใช้อุปกรณ์ในการตัดแต่ง และเลือกใช้บรรจุภัณฑ์และสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมนั้น จะเป็นตัวชี้สำคัญที่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เพื่อรักษาคุณภาพ รสชาติ และความปลอดภัยตามที่ผู้บริโภคคาดหวังจากผลิตภัณฑ์ผลไม้สดตัดแต่งนี้ได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] De Candolle, A. (1901). Plants cultivated for their fruits. pp. 201-245. In K. Paul (ed.). Origin of cultivated plant. Trench. London:
- [2] FAO. (2013). FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Statistics Division. [Online]. Available: <http://faostat.fao.org/>. (9 September 2016).

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

- [3] Tharanathan, R.N., Yashoda, H.M. and Prabha, T.N. (2006). Mango (*Mangifera indica* L.), "The king of fruits"-an overview. Food Reviews International. 22: 95-123.
- [4] IFPA. (1999). Handling guidelines for the fresh-cut produce industry. Alexandria, Virginia: International fresh-cut produce association and the produce marketing association. pp. 5.
- [5] James, J.B. and Ngarmsak, T. (2010). Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: a technical guide. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Online]. Available: www.fao.org/docrep/014/i1909e/i1909e00.pdf. (30 November 2016).
- [6] Brecht, J.K. (2010). Mango: postharvest best management practices manual. National mango board. Orlando, Florida. pp. 1-73.
- [7] Kader, A.A. (1997). Mango : recommendations for maintaining postharvest quality. [Online]. Available: http://ucanr.edu/sites/Postharvest_Technology_Center/_Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Vegetables_English/?uid=19&ds=799. (30 November 2016).
- [8] Garcia, E. and Barrett, D.M. (2005). Fresh-cut fruits. pp. 53-72. In D.M. Barrett, L. Somogyi and H. Ramaswamy (eds.). Processing fruits: science and technology. CRC Press LLC. Boca Raton, Florida.
- [9] Portela, S.I. and Cantwell, M.I. (2001). Cutting blade sharpness affects appearance and other quality attributes of fresh-cut cantaloupe melon. Journal of Food Science. 66(9): 1265-1270.
- [10] Chantanawarangoon, S. (2000). Quality maintainance of fresh-cut mango cubes. Master's thesis, University of California, Davis, California, USA.
- [11] Dea, S. (2009). Establishment of favorable physical and environmental conditions for the optimization of the total product quality of fresh-cut 'Kent' mangoes. PhD's thesis, University of Florida, Gainesville, Florida, USA.
- [12] Siddiq, M., Akhtar, S. and Siddiq, R. (2012). Mango processing, products and nutrition. pp. 277-298. In M. Siddiq (ed.). Tropical and subtropical fruits: postharvest physiology, processing and packaging. John Wiley & Sons, Inc. Iowa.
- [13] Brecht, J.K., Salveit, M.E., Talcott, S.T., Schneider, K.R., Felkey, K. and Bartz, J.A. (2004). Fresh-cut vegetables and fruits. Horticultural Reviews. 30: 185-251.
- [14] Rosen, J.C. and Kader, A.A. (1989). Postharvest physiology and quality maintainance of sliced pear and strawberry fruits. Journal of Food Science. 54: 656-659.
- [15] Saltveit, M.E. (1997). Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. pp. 205-220. In F.A.Tomás-Barberán and R.J. Robins (eds.). Phytochemistry of fruits and vegetables. Oxford University Press. London.

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

- [16] Beaulieu, J.C. and Gorny, J.R. (2004). Fresh-cut fruits in the commercial storage of fruits, vegetables and florist and nursery stocks. In K.C. Gross, C.Y. Wang, and M. Saltveit (eds.). *Agricultural Handbook Number 66*. USDA-ARS.
- [17] Soliva-Fortuny, R.C. and Martín-Belloso, O. (2003). New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 14(9): 341-353.
- [18] Brecht, J.K. (1995). Physiology of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience*. 30(1): 18-22.
- [19] Toivonen, P.M.A. and Brummell, D.A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 42: 1-14.
- [20] Yang, S.F. and Hoffman, N.E. (1984). Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 35: 155-189.
- [21] Watada, A., Abe, K. and Yamuchi, N. (1990). Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. *Food Technology*. 44(5): 116-122.
- [22] Allong, R., Wickham, L.D. and Mohammed, M. (2001). Effect of slicing on the rate of respiration, ethylene production and ripening of mango fruit. *Journal of Food Quality*. 24: 405-419.
- [23] Tovar, B., Garcia, H.S. and Mata, M. (2001). Physiology of pre-cut mango. I. ACC and ACC oxidase activity of slices subjected to osmotic dehydration. *Food Research International*. 34: 207-215.
- [24] Cantwell, M.I. and Suslow, T.V. (2002). Postharvest handling systems: fresh-cut fruits and vegetables. pp. 445-464. In A.A. Kader (ed.). *Postharvest technology of horticultural crops*. University of California Agriculture and Natural Resources. California.
- [25] Kader, A.A. (1987). Respiration and gas exchange of vegetables. pp. 25-43. In J. Weichmann (ed.). *Postharvest physiology of vegetables*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- [26] Rolle, R.S. and Chism, G.W. (1987). Physiology consequences of minimally processed fruits and vegetables. *Journal of Food Quality*. 10: 157-177.
- [27] Abeles, F.B., Morgan, P.W. and Saltveit, M.E. (1992). *Ethylene in plant biology*. Academic Press. San Diego, California.
- [28] Picchioni, G.A., Watada, A.E., Roy, S., Whitaker, B.D. and Wergin, W.P. (1994). Membrane lipid metabolism, cell permeability, and ultrastructural changes in lightly processed carrots. *Journal of Food Science*. 59: 597-601.
- [29] Nyanjage, M.O., Wainwright, H. and Bishop, C.F.H. (1999). Effects of hot-water treatment and storage temperature on electrolyte leakage of mangoes (*Mangifera indica* Linn.). *The Journal of*

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

- Horticultural Science and Biotechnology. 74: 566-572.
- [30] Bruhn, C. (1995). Consumer perception of fresh-cut produce. *Perishables handling newsletter*. 81: 18-19.
- [31] Martinez, M.V. and Whitaker, J.R. (1995). The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends in Food Science & Technology*. 6: 195-200.
- [32] Walker, J.R.L. (1977). Enzymatic browning in foods. Its chemistry and control. *Food Technology in New Zealand*. 12: 19-25.
- [33] Abou Aziz, A.B., Abdel-Wahab, F.K. and El-Ghandour, M.A. (1976). Effect of different storage temperatures on phenolic compounds in banana and mango fruit. *Scientia Horticulturae*. 4: 309-315.
- [34] Gil, M.I., Aguayo, E. and Kader, A.A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54: 4284-4296.
- [35] Limbanyen, A., Brecht, J.K., Sargent, S.A. and Bartz, J.A. (1998). Fresh-cut mango fruit slices. *HortScience*. 33: 457.
- [36] Dea, S., Brecht, J.K. and Nunes, M.C. (2007). Visualization of polyphenol oxidase and phenolics distribution in mesocarp of fresh-cut mango (cv. Kent) during storage. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 120: 263-266.
- [37] Shackel, K.A., Greve, C., Labavitch, J.M. and Ahmadi, H. (1991). Cell turgor changes associated with ripening in tomato pericarp tissue. *Plant Physiology*. 97: 814-816.
- [38] Almeida, D.P.F. and Huber, D.J. (2007). Polygalacturonase-mediated dissolution and depolymerization of pectins in solutions mimicking the pH and mineral composition of tomato apoplast. *Plant Science*. 172: 1087-1094.
- [39] Saladié, M., Matas, A.J., Isaacson, T., Jenks, M.A., Goodwin, S.M., Niklas, K.J. et al. (2007). A re-evaluation of the key factors that influence tomato fruit softening and integrity. *Plant Physiology*. 144: 1012-1028.
- [40] Paull, R.E. and Chen, W. (1997). Minimal processing of papaya (*Carica papaya* L.) and the physiology of halved fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 12: 93-99.
- [41] Karakurt, Y. and Huber, D.J. (2003). Activities of several membrane and cell-wall hydrolases, ethylene biosynthetic enzymes, and cell wall polyuronide degradation during low-temperature storage of intact and fresh-cut papaya (*Carica papaya*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 28: 219-229.
- [42] Dea, S., Brecht, J.K., Nunes, M.C.N. and Baldwin, E.A. (2010). Quality of fresh-cut 'Kent' mango slices prepared from hot water or non-hot water-treated fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 56: 171-180.

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

- [43] Watada, A.E. and Qi, L. (1999). Quality of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology*. 15: 201-205.
- [44] Kader, A.A. (2002). Quality parameters of fresh-cut fruit and vegetable products. pp. 11-20. In O. Lamikanra (ed.). *Fresh-cut fruits and vegetables: science, technology, and market*. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- [45] Ngamchuachit, P., Siverten, H.K., Mitcham, E.J. and Barrett, D.M. (2015). Influence of cultivar and ripeness stage at the time of fresh-cut processing on instrumental and sensory qualities of fresh-cut mangos. *Postharvest Biology and Technology*. 106: 11-20.
- [46] Padda, M.S., do Amarante, C.V.T. and Garcia, R.M. (2011). Methods to analyze physico-chemical changes during mango ripening: a multivariate approach. *Postharvest Biology and Technology*. 62: 267-274.
- [47] Ngarmsak, M., Ngarmsak, T., Delaquis, P.J. and Toivonen, P.M.A. (2005). Effect of sanitation treatments on the microbiology of fresh-cut Thai mango. In S. Kanlayanarat and W.B. McGlasson (eds.). *Proceeding of the APEC symposium on assuring quality and safety of fresh produce*. pp. 347-354. September 1-3, 2005, KMUTT, Bangkok, Thailand.
- [48] Malundo, T.M.M., Shewfelt, R.L., Ware, G.O. and Baldwin, E.A. (2001). Sugars and acids influence flavor properties of mango (*Mangifera indica*). *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 126: 115-121.
- [49] Beaulieu, J.C. and Baldwin, E.A. (2002). Flavor and volatile aroma of fresh-cut fruits and vegetables. In O. Lamikanra (ed.). *Fresh-cut fruits and vegetables: science technology and market*. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- [50] Gamba-Invernizzi, A., Garlaschelli, L., Rossi, A., Vidari, G. and Vita-Finzi, P. (1993). New farneasane sesquiterpenes from *Lactarius portninsis*. *Journal of Natural Products*. 56: 1948-1953.
- [51] Hodges, D.M. and Toivonen, P.M.A. (2008). Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress. *Postharvest Biology and Technology*. 48: 155-162.
- [52] Lamikanra, O. and Richard, O.A. (2002). Effect of storage on some volatile aroma compounds in fresh-cut cantaloupe melon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 4043 -4047.
- [53] Beaulieu, J.C. and Lea, J.M. (2003). Volatile and quality changes in fresh-cut mangos prepared from firm-ripe and soft-ripe fruit, stored in clamshell containers and passive MAP. *Postharvest Biology and Technology*. 30: 15-28.
- [54] Sothornvit, R. and Rodsamran, P. (2008). Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

- mangoes. *Postharvest Biology and Technology*. 47: 407-415.
- [55] Barry-Ryan, C. and O’Beirne, D. (1998). Quality and shelf-life of fresh-cut carrot slices as affected by slicing method. *Journal of Food Science*. 63: 851-856.
- [56] De Souza, B.S., O’Hare, T.J., Durigan, J.F. and De Souza, P.S. (2006). Impact of atmosphere, organic acids, and calcium on quality of fresh-cut ‘Kensington’ mango. *Postharvest Biology and Technology*. 42: 161-167.
- [57] Ngamchuachit, P., Mitcham, E.J. and Barrett, D.M. (2016). Spatial variance of physicochemical properties within mangos and the effect of initial ripeness stage on the quality of fresh-cut mangos. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 96: 3613-3602.
- [58] Wright, K.P. and Kader, A.A. (1997). Effect of controlled-atmosphere storage on the quality and carotenoid content of sliced persimmons and peaches. *Postharvest Biology and Technology*. 10: 89-97.
- [59] Ôba, K., Fukui, M., Imai, Y., Iriyama, S. and Nogami, K. (1994). L-galactono- γ -lactone dehydrogenase, partial characterization, induction of activity and role in the synthesis of ascorbic acid in wounded white potato tuber tissue. *Plant and Cell Physiology*. 35: 473-478.
- [60] Nunes, M.C.N., Emond, J.P., Rauth, M., Dea, S. and Chau, K.V. (2009). Environmental conditions encountered during typical consumer retail display affect fruit and vegetable quality and waste. *Postharvest Biology and Technology*. 51: 232-241.
- [61] Rattanapanone, N. and Watada, A.E. (2000). Respiration rate and respiratory quotient of fresh-cut mango (*Mangifera indica* L.) in low oxygen atmosphere. *Acta Horticulturae*. 509: 471-478.
- [62] De Souza, B.S., Durigan, J.F., Donadon, J.R., Teixeira, G.H.A. and Durigan, M.F.B. (2005). Respiratory and storage behavior of fresh cut ‘Tommy Atkins’ mango. *Acta Horticulturae*. 682: 1909-1915.
- [63] González-Aguilar, G.A., Celis, J., Sotelo-Mundo, R.R., Rosa, L.A., Rodrigo-Garcia, J. and Alvarez-Parrilla, E. (2007). Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivars stored at 5 °C. *International Journal of Food Science & Technology*. 43: 91-101.
- [64] Portela, S.I. and Cantwell, M.I. (2001). Cutting blade sharpness affects appearance and other quality attributes of fresh-cut cantaloupe melon. *Journal of Food Science*. 66: 1265-1270.
- [65] Kader, A.A. (2008). Fresh-cut mangos as a value added product (literature review and interviews). National Mango Board. [Online]. Available: www.mango.org. (18 July 2009).
- [66] Rivera-López, J., Vázquez-Ortiz, F.A., Ayala-Zavala, F., Sotelo-Mundo, R.R. and González-Aguilar, G.A. (2005). Cutting

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

- shape and storage temperature affect overall quality of freshcut papaya cv. 'Maradol'. *Journal of Food Science*. 70: 482-489.
- [67] Aguayo, E., Escalona, V.H. and Artés, F.A. (2008). Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh-cut 'Amarillo' melon. *Postharvest Biology and Technology*. 47: 397-406.
- [68] Rattanapanone, N., Lee, Y., Wu, T. and Watada, A.E. (2001). Quality and microbial changes of fresh-cut mango cubes held in controlled atmosphere. *HortScience*. 36: 1091-1095.
- [69] Boonyaritthongchai, P., Puthmee, T. and Wongs-Aree, C. (2015). Quality changes of fresh-cut 'Mahachanok' mango at different storage temperature. *Acta Horticulturae*. 1088: 431-434.
- [70] Poubol, J. and Izumi, H. (2005). Shelf life and microbial quality of fresh-cut mango cubes stored in high CO₂ atmospheres. *Journal of Food Science*. 70(1): M69-M74.
- [71] Poubol, J. and Izumi, H. (2005). Physiology and microbiological quality of fresh-cut mango cubes as affected by high O₂ controlled atmospheres. *Journal of Food Science*. 70(5): M286-291.
- [72] Apichartvorasilp, S., Chonhenchob, V. and Harte, B.R. (2005). Effect of polymeric films and modified atmosphere packaging on quality of fresh-cut mangoes. *Proceedings of 43rd Kasetsart University Annual Conference : Animals, Agro-Industry*. pp. 119-127. Feb 1-4, 2005, Bangkok, Thailand.
- [73] Brackett, R.E. (1987). Microbial consequences of minimally processed fruits and vegetables. *Journal of Food Quality*. 10: 195-206.
- [74] Thambaramaya, V.G. (1997). Minimal processing of fruit (apple, custard apple, mandarin, mango, pawpaw). *Dissertation Abstracts International*. B.58(3): 1037.
- [75] Narciso, J. and Plotto, A. (2005). A comparison of sanitation systems for fresh-cut mango. *HortTechnology*. 15(4): 837-842.
- [76] Ngarmsak, M., Ngarmsak, T., Ooraikul, B., Delaquis, P.J., Toivonen, P.M.A. and Mazza, G. (2005). Effect of sanitation treatments with heated chlorinated water on the microbiology of fresh-cut Thai mangoes. *Acta Horticulturae*. 682: 1895-1900.
- [77] Alikhani, M. (2014). Enhancing safety and shelf life of fresh-cut mango by application of edible coatings and microencapsulation technique. *Food Science & Nutrition*. 2(3): 210-217.

* Panita.N@chula.ac.th

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

Department of Food Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok