

## ผลของการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ต่อการเกิดสีน้ำตาลและการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของ มะม่วงดิบตัดแต่ง

### Effects of Ultrasound on Browning and Antioxidant Activity of Fresh-Cut Unripe Mango

สุริยันท์ สุภาพวานิช<sup>1</sup> และ ชัยรัตน์ เตชวุฒิปพร<sup>1\*</sup>

Suriyan Supapvanich<sup>1</sup> and Chairat Techavuthiporn<sup>1\*</sup>

Received: September 29, 2022

Revised: December 28, 2022

Accepted: December 28, 2022

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลการใช้คลื่นอัลตราโซนิก (40 กิโลเฮิร์ตซ์ และ 150 วัตต์) ต่อการเกิดสีน้ำตาลและคุณภาพมะม่วงดิบตัดแต่ง โดยระยะเวลาในการให้คลื่นอัลตราโซนิก ได้แก่ 0 (ชุดควบคุม) 5 10 15 และ 20 นาที ต่อคุณภาพด้านสี โดยเก็บรักษามะม่วงดิบตัดแต่งไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วง 6 วันของการเก็บรักษา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในด้านความแตกต่างของค่าสี และดัชนีการเกิดสีน้ำตาลพบมากที่สุด ในมะม่วงดิบตัดแต่งชุดควบคุม โดยชุดการทดลองที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่น ดังนั้น ได้คัดเลือกชุดการทดลองที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิกระยะเวลา 15 นาที มาศึกษาเปรียบเทียบกับชุดควบคุมในการทดลองต่อไป สำหรับผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสี กิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส การต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปริมาณสารฟีนอล และปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ พบว่า การใช้คลื่นอัลตราโซนิกช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงให้เห็นถึงค่าความสว่างที่มากกว่า และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลที่น้อยกว่าชุดควบคุม รวมไปถึงการควบคุมกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส นอกจากนี้ การใช้คลื่นอัลตราโซนิกมีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยวิธี ferric reducing antioxidant potential และสารฟีนอล ในขณะที่ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ในชุดการทดลองที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิกมีแนวโน้มน้อยกว่าชุดควบคุม

**คำสำคัญ:** อัลตราโซนิก มะม่วงดิบ ผลิตกัณฑ์แปรรูปขั้นต่ำ

#### ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the effect of ultrasonic (40 KHz and 150 Watt) on browning and quality of fresh-cut unripe mangoes. The treatment time of ultrasonic was investigated for 0 (as control), 5, 10, 15 and 20 min on the color maintenance. All samples were kept at 4°C and analyzed during 6 d of the refrigeration. The most change including color differences and browning index (BI) on cutting surface of fresh-cut unripe mangoes obtained in control. It was also found that the sample treated with ultrasonic for 15 min retarded browning development being significantly greater than other treatments. Therefore, ultrasonic treatment for 15 min was selected to investigate physicochemical qualities comparing with untreated samples. The investigated biological parameter were color attributes, polyphenol oxidase, antioxidant activities, total phenols concentration and malondialdehyde content. The ultrasonic treatment significantly reduced the development of browning. Browning retardation occurred concurrently with the retention of higher lightness and lower browning values. The polyphenol oxidase (PPO) activity was controlled by ultrasound rather than control. Sonication treatment enhanced ferric reducing antioxidant potential (FRAP) and total phenolic content after storage for 6 d. Moreover, the increased malondialdehyde content was inhibited by ultrasonic treatment compared with control treatment.

**Keywords:** ultrasonic, unripe mango, minimally processed products

\*Corresponding author: chairat.te@kmitl.ac.th

<sup>1</sup>ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

<sup>1</sup>Department of Agricultural Education, School of Industrial Education and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

## บทนำ

คลื่นอัลตราโซนิก (ultrasonic waves) เป็นพลังงานที่เกิดจากคลื่นเสียงที่มีการสั่นของคลื่น หรือหมายถึงคลื่นความดันที่มีความถี่สูงกว่าคลื่นเสียงปกติ [1] ทั้งนี้การใช้คลื่นอัลตราโซนิกซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ไม่เป็นพิษ มีความปลอดภัย และยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยมีการใช้เทคโนโลยีอัลตราโซนิกกันอย่างแพร่หลาย ในเกือบทุกด้านของอุตสาหกรรมอาหาร รวมถึงการยับยั้งจุลินทรีย์ [2] การกรอง [3] และการสกัด [4] รวมไปถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในการควบคุมโรคและการควบคุมคุณภาพของผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ การคงรักษาคุณภาพและการยืดอายุการเก็บรักษาและอายุการวางจำหน่ายในผลพลัม [5] และมะเขือเทศ [6] อย่างไรก็ตาม ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอัลตราโซนิก คือ กำลังของคลื่นอัลตราโซนิกและระยะเวลาที่ใช้ ดังนั้น เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการควบคุมโรคและการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว จึงต้องมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมก่อนนำไปประยุกต์ใช้

มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีความต้องการมากในตลาดโลก อีกทั้งยังมีปริมาณการผลิตสูงเป็นอันดับที่ 5 ของโลก รองจากผลไม้ชนิดอื่น ได้แก่ กล้วย แอปเปิล ฝรั่ง และส้ม ตามลำดับ โดยประเทศผู้ผลิตมะม่วงที่สำคัญ ได้แก่ จีน ไทย ปากีสถาน และ เม็กซิโก ทั้งนี้ ความนิยมของผู้บริโภคนั้นเนื่องมาจากเนื้อมะม่วงมีกลิ่นและรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์และอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการและแร่ธาตุต่างๆ นอกจากนี้ มะม่วงยังสามารถบริโภคได้ทั้งในระยะผลดิบและผลสุก ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคด้านความสะดวกสบาย เช่น มะม่วงสดตัดแต่งพร้อมบริโภค เป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีความต้องการเพิ่มมากขึ้น โดยที่ผลิตผลสดตัดแต่งหรือผลิตผลที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำ (minimally processed หรือ fresh-cut) หมายถึง ผักหรือผลไม้สดที่ผ่านกระบวนการต่างๆ ได้แก่ ล้าง ปอก เปลือกผ่าซีก นำเมล็ดออกตัดแต่ง หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ บรรจุใส่บรรจุภัณฑ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และวางจำหน่ายเพื่อพร้อมบริโภค ซึ่งมะม่วงดิบตัดแต่งเป็น

ผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพไปจากเดิม แต่ยังคงมีความสดเหมือนเดิมอยู่ ทั้งนี้ มีการวางจำหน่ายมะม่วงดิบตัดแต่งตามท้องตลาดแล้วนั้น ยังมีการจำหน่ายมะม่วงดิบตัดแต่งในรูปแบบพร้อมรับประทานในร้านสะดวกซื้อด้วย

ลักษณะปรากฏ เช่น สี รูปร่าง และลักษณะโดยรวม ถูกนำมาใช้เป็นปัจจัยเบื้องต้นในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดตัดแต่ง ลักษณะที่ชัดเจน คือ การเปลี่ยนแปลงสี โดยเฉพาะการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัดที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษา โดยที่เนื้อเยื่อที่เกิดบาดแผล สามารถกระตุ้นกระบวนการสังเคราะห์และการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ [7] โดยเฉพาะมะม่วงตัดแต่งทั้งที่เป็นระยะสุกและระยะดิบที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเนื้อที่มีสีเหลือง (สำหรับผลสุก) และที่มีสีเขียว (สำหรับผลดิบ) เปลี่ยนเป็นสีที่คล้ำขึ้นภายหลังกระบวนการแปรรูปขึ้นต่ำได้ ในทางปฏิบัติป้องกันนั้น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจัดเป็นวิธีที่ถูกแนะนำและจำเป็นสำหรับการควบคุมการเกิดสีน้ำตาล รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตผลสดตัดแต่ง [8] นอกจากนี้ ยังมีเทคโนโลยีอื่นๆ ที่ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมการเกิดสีน้ำตาลและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา โดยมุ่งเน้นเทคโนโลยีที่ไม่ใช้สารเคมีและปลอดภัยต่อผู้บริโภค ซึ่งการใช้สารเคมีอาจก่อให้เกิดอาการแพ้หรืออันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ โดยเฉพาะวิธีการใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงสีและลดการสูญเสียสารแอนโทไซยานินในเปลือกส้ม [9] และชะลอการเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัดของแอปเปิลตัดแต่งได้ [10] ทั้งนี้ ปัจจัยที่สำคัญในการใช้คลื่นอัลตราโซนิก คือ ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับผลิตผลแต่ละชนิดมีผลกระทบที่แตกต่างกัน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของการใช้คลื่นอัลตราโซนิกกับมะม่วงดิบตัดแต่งที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของมะม่วงดิบตัดแต่งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6

\*Corresponding author: chairat.te@kmitl.ac.th

<sup>1</sup>ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

<sup>1</sup>Department of Agricultural Education, School of Industrial Education and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาของอายุการวางจำหน่ายของผลิตภัณฑ์แต่งพร้อมบริโภค

## วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

### 1. วัตถุดิบและการทดลอง

เลือกใช้มะม่วงดิบพันธุ์มันเดือนกึ่งที่มีอายุการเก็บเกี่ยวเป็นเวลา 90 วัน หลังดอกบาน (มีร้อยละความสุกแก่ของมะม่วงอยู่ที่ ร้อยละ 60 ซึ่งเน้นการบริโภคแบบดิบ) โดยรับวัตถุดิบจากตลาดในพื้นที่เขตห้วยตะไคร้ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร นำมายังห้องปฏิบัติการและทำการคัดเลือกผลที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ล้างด้วยน้ำเปล่าเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดมา และจุ่มในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลา 5 นาที เพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น แล้วนำมะม่วงมาปอกเปลือก และล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่าอีกครั้ง จากนั้นจึงหั่นให้เป็นชิ้นตามแนวยาวของผล (ความหนา 2 เซนติเมตร ความกว้าง 2 เซนติเมตร และความยาว 12 เซนติเมตร) ก่อนนำเข้าสู่การทดลองต่อไป โดยในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 ศึกษาผล

ของการใช้คลื่นอัลตราโซนิกระยะเวลา 0 (ชุดควบคุม) 5 10 15 และ 20 นาที ตามลำดับ ในการทดลองนี้ใช้เครื่อง Ultrasonicator ที่ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ และมีกำลังอัลตราโซนิก 150 วัตต์ (รุ่น GT-1860QTS, ประเทศจีน) ทำการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงสี และดัชนีสีน้ำตาล ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน เพื่อนำชุดการทดลองที่ให้ผลดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 มาวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงสี กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส กิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันตามวิธี FRAP (ferric reducing antioxidant power assay) ปริมาณสารประกอบฟีนอล และปริมาณมาลันไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde) เปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยทำการวิเคราะห์ทุกๆ 2 วัน ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน ในการทดลองแต่ละครั้งทำซ้ำทั้งหมด 4 ซ้ำ (replications) แต่ละซ้ำใช้ตัวอย่างมะม่วงดิบตัดแต่งประมาณ 200 กรัม บรรจุในบรรจุภัณฑ์พร้อมจำหน่ายพลาสติกชนิด polyethylene terephthalate แบบ clamshell (Figure 1)



Figure 1 Fresh-cut unripe mango packed in clamshell package

### 2. การตรวจวัดสี

ทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อมะม่วงดิบ ด้วยเครื่อง Minolta chromameter (รุ่น

DP-300, โอซาก้า, ประเทศญี่ปุ่น) รายงานผลค่าสีเป็น  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  และ hue angle ทำการคำนวณค่าความแตกต่างของสีเปรียบเทียบกับวันเริ่มต้น และค่าดัชนีสี

\*Corresponding author: chairat.te@kmitl.ac.th

<sup>1</sup>ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

<sup>1</sup>Department of Agricultural Education, School of Industrial Education and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

น้ำตาลด้วยสมการ  $BI = [100 \times (X-0.31)] / 0.17$  โดยที่  $X = (a^* + 1.75L^*) / (5.645L^* + a^* - 3.012b^*)$  [11]

### 3. การวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

ทำการตรวจวัดกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ตามวิธีของ Galeazzi et al. [12] โดยบดตัวอย่างมะม่วงจำนวน 5 กรัม ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (พีเอช 6.8) ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที นำตัวอย่างสกัดผสมกับแคทีคอล (catechol) ที่ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (พีเอช 6.8) ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ วัดกิจกรรมโดยการหาค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น UV-5100 (METASH, ประเทศจีน) ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร รายงานหน่วยของเอนไซม์เป็น ยูนิต์ต่อกรัม

### 4. การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ศึกษาสมบัติต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (ferric reducing antioxidant power assay) ทำการวิเคราะห์ตามวิธีของ Benzie and Strain [13] โดยการบดตัวอย่างในเอทานอล ความเข้มข้น ร้อยละ 60 จากนั้นจึงนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 6000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จึงนำส่วนใสมาทำการวิเคราะห์โดยทำการผสมกับสารละลาย FRAP reagent (เตรียมจากอะซิเตทบัฟเฟอร์ (พีเอช 3.0) ที่พีทีแซด (TPTZ) ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ และเฟอร์ริกคลอไรด์ ในอัตราส่วน 10:1:1) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 30 นาที จึงนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น UV-5100 (METASH, ประเทศจีน) ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร โดยใช้โทรลอกซ์ (trolox) เป็นสารมาตรฐาน รายงานผลเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม

### 5. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล

ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลตามวิธีของ Slinkard and Singleton [14] โดยการบดตัวอย่างในเอทานอล ความเข้มข้น ร้อยละ 60 จากนั้น

จึงนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 6000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จึงนำส่วนใสมาทำการวิเคราะห์โดยนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย Folin-Ciocalteu ความเข้มข้น ร้อยละ 50 (v/v) และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $Na_2CO_3$ ) ในอัตราส่วน 1:1:2 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 30 นาที จึงนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น UV-5100 (METASH, ประเทศจีน) ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร คำนวณค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid) รายงานผลเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม

### 6. การวิเคราะห์ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์

นำตัวอย่างมะม่วงดิบตัดแต่งมาบดให้ละเอียดกับสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก (trichloroacetic acid; TCA) ความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 นำไปปั่นตกตะกอนด้วยความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที จึงนำส่วนของเหลวใสผสมกับสารละลายกรดไทโอบาร์บิทริก (thiobarbituric acid; TBA) ความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 และ TCA ความเข้มข้น ร้อยละ 20 จากนั้นจึงนำไปเร่งการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นทันทีในอ่างน้ำแข็ง นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น UV-5100 (METASH, ประเทศจีน) ที่ความยาวคลื่น 532 และ 600 นาโนเมตร ทำการคำนวณหาปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ โดยใช้ค่า extinction coefficient ที่ 155 มิลลิโมลาร์ต่อตารางเซนติเมตร (ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ =  $(A_{532} - A_{600}) / 155$ ) [15]

### 7. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลตามการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย ANOVA (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range test (DMRT) และระดับนัยสำคัญที่ใช้ในการ

\*Corresponding author: chairat.te@kmitl.ac.th

<sup>1</sup>ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

<sup>1</sup>Department of Agricultural Education, School of Industrial Education and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

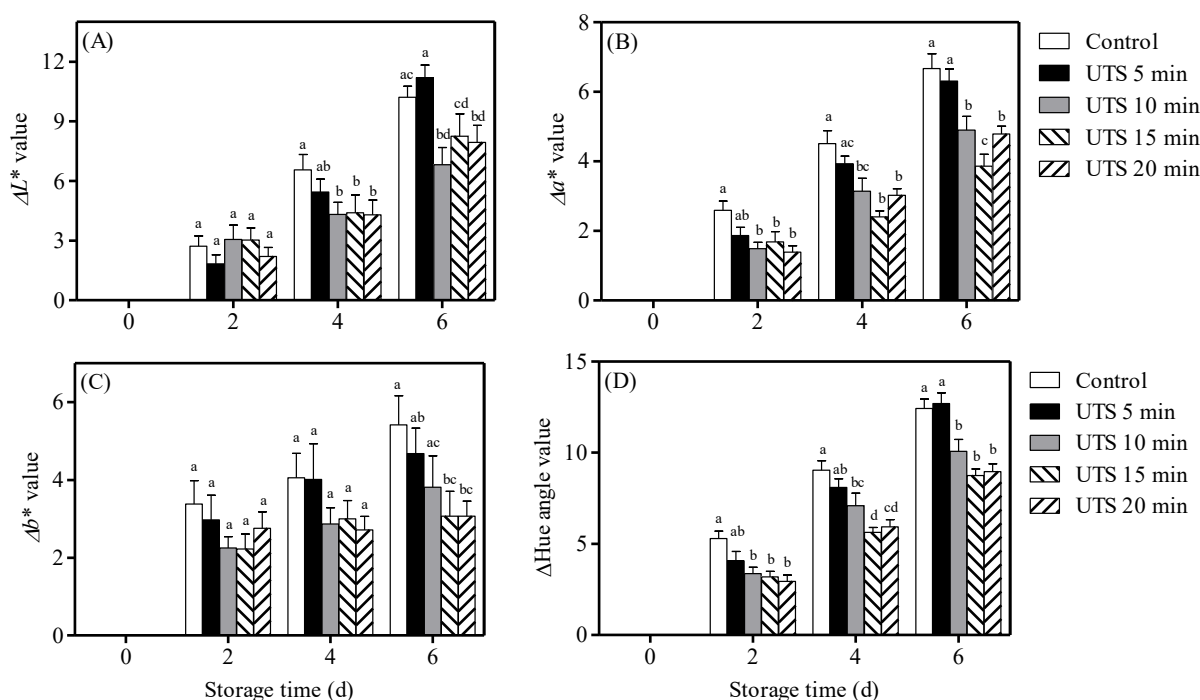
ทดลองระบุที่ 0.05 ( $p < 0.05$ ) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS for windows version 21.0 (IBM, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

### ผลการทดลอง และวิจารณ์

#### ผลของระยะเวลาการใช้คลื่นอัลตราโซนิกต่อการเปลี่ยนแปลงสีของมะม่วงดิบตัดแต่ง

การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อมะม่วงดิบตัดแต่งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 6 วัน แสดงดัง Figure 2 และ 3 จากการทดลอง พบว่า ความแตกต่างของค่าสี  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  และ hue angle (Figure 2) ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา และพบเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในช่วงควบคุม สำหรับชุดการทดลองที่มีการใช้คลื่นอัลตราโซนิกมีความแตกต่างของค่าสีที่น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) จะเห็นได้ว่า

ระยะเวลาในการให้คลื่นอัลตราโซนิกที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของมะม่วงดิบตัดแต่งในระยะเวลา 6 วัน ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม การแสดงผลค่าความแตกต่างของค่าสีในช่วงการทดลอง ระยะเวลา 10 นาที ให้ผลใกล้เคียงกับชุดการทดลอง ระยะเวลา 15 และ 20 นาที โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ยกเว้น ความแตกต่างของค่า  $a^*$  นอกจากนี้ ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา (Figure 3) โดยเฉพาะชุดควบคุมที่ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นสูงเป็น 2 เท่าของวันเริ่มต้น สำหรับชุดการทดลองที่ระยะเวลา 15 นาที มีการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลอย่างเห็นได้ชัดเจนในวันที่ 4 และ 6 ของการเก็บรักษา โดยในวันที่ 6 นั้น พบว่า มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

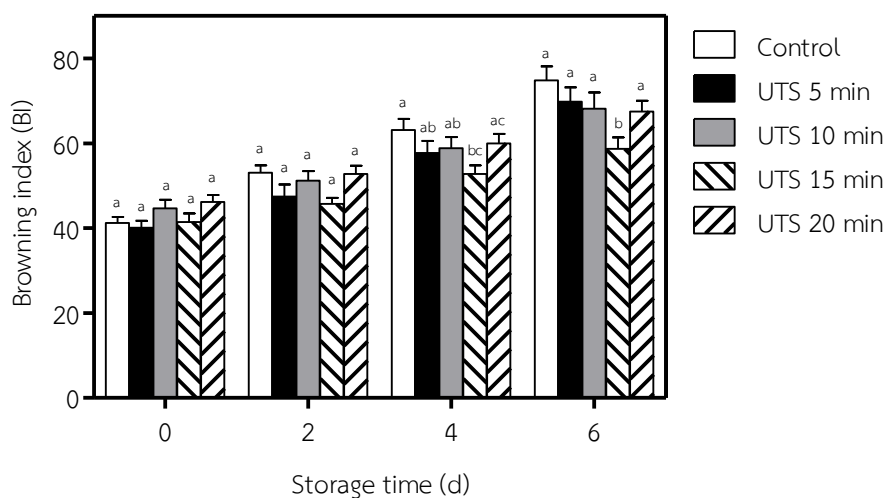


**Figure 2** Color difference of  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  and hue angle of untreated fresh-cut unripe mango (control) and treated with ultrasonic (UTS) for 5, 10, 15 and 20 min during storage at 4 °C for 6 day. Results are means  $\pm$  standard deviation. The different letters denote significance among treatments in each storage time.

\*Corresponding author: chairat.te@kmitl.ac.th

<sup>1</sup>ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

<sup>1</sup>Department of Agricultural Education, School of Industrial Education and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand



**Figure 3** Browning index (BI) of untreated fresh-cut unripe mango (control) and treated with ultrasonic (UTS) for 5, 10, 15 and 20 min during storage at 4 °C for 6 day. Results are means  $\pm$  standard deviation. The different letters denote significance among treatments in each storage time.

จากผลการทดลองเบื้องต้น แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาของการให้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นปัจจัยที่สำคัญ ซึ่งระยะเวลาน้อยกว่า (5 และ 10 นาที) และระยะเวลามากกว่า (20 นาที) ไม่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้ ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Supapvanich et al. [16] พบว่า ในการให้คลื่นอัลตราโซนิกที่ระยะเวลาต่างกันั้น มีผลต่อลักษณะปรากฏทางด้านสีของผิวผลฝรั่งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 วัน อีกทั้งยังพบว่า ระยะเวลาในการให้คลื่นอัลตราโซนิกที่นานเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดความเสียหายของเนื้อเยื่อและการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ได้ เมื่อพิจารณาจากการทดลอง ชุดการทดลองคลื่นอัลตราโซนิกที่ระยะเวลา 15 นาที ให้ผลที่ดีที่สุดในการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของมะม่วงดิบตัดแต่ง ดังนั้น จึงเลือกใช้ระยะเวลาดังกล่าวนี้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมี พบว่า ค่าความสว่าง (Figure 4A) และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Figure 4B) ในชุดการทดลองคลื่นอัลตราโซนิกมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.01$ ) โดยเฉพาะค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล ที่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่วันที่ 0 จนกระทั่งสิ้นสุด

การทดลอง อีกทั้งยังพบการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส โดยในวันที่ 2 และ 4 ของการเก็บรักษา พบว่า ในชุดควบคุมนั้น มีกิจกรรมของเอนไซม์ที่สูงมากกว่าชุดการทดลองคลื่นอัลตราโซนิก อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในกิจกรรมของเอนไซม์ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา (Figure 4C)

จากการทดลองการใช้คลื่นอัลตราโซนิกกับมะม่วงดิบตัดแต่งแสดงให้เห็นว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในด้านการควบคุมคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะในด้านลักษณะปรากฏด้านสีของมะม่วงดิบตัดแต่งที่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีทั้งในด้านความสว่าง และการเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณรอยตัด ทั้งนี้ การยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีด้วยการใช้คลื่นอัลตราโซนิกอาจมีผลจากการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการใช้คลื่นอัลตราโซนิกในมันฝรั่งตัดแต่ง ที่ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ระยะเวลา 5 นาที [17] และ ในมันหวานตัดแต่ง ที่ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ระยะเวลา 10 นาที [18] โดยในการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้า 200 วัตต์ ที่ความถี่คงที่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ เป็นเวลา 15 นาที มี

\*Corresponding author: chairat.te@kmitl.ac.th

<sup>1</sup>ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

<sup>1</sup>Department of Agricultural Education, School of Industrial Education and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

ศักยภาพเพียงพอในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของ มะม่วงดิบตัดแต่งได้ นอกจากนี้ Da Silva and Dobránszki [19] รายงานว่า คลื่นอัลตราโซนิกสามารถ กระตุ้นระบบป้องกันสารต้านอนุมูลอิสระในพืชและเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าการเกิดสีน้ำตาลของผักและผลไม้เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและสารประกอบฟีนอล โดยการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์และสารต้านอนุมูลอิสระนี้ เป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาลของผลไม้ได้เช่นกัน [20] นอกจากนี้ การใช้คลื่นอัลตราโซนิกสามารถกระตุ้นความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้มีการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและสารประกอบฟีนอล ส่งผลต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ [21] นอกจากนี้ Nadar and Rathod [22] ได้สรุปว่าการเกิดคาวิเทชัน (Cavitation) จากการให้คลื่นอัลตราโซนิกทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างเอนไซม์ได้ ดังนั้น การเกิดสีน้ำตาลของมะม่วงดิบตัดแต่งถูกยับยั้งโดยการใช้คลื่นอัลตราโซนิกเนื่องจากระบบต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของการเกิดสีน้ำตาลและผลของการเกิดคาวิเทชันต่อโครงสร้างเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

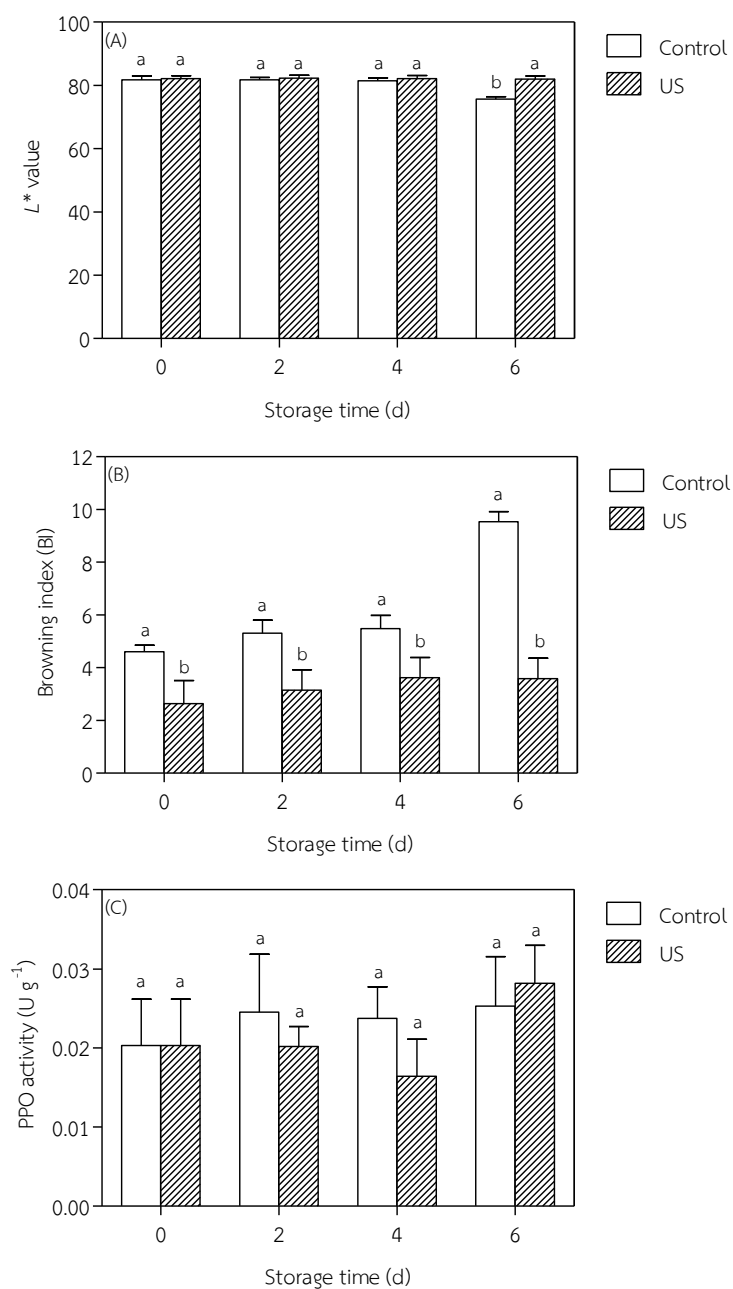
Figure 5 แสดงผลกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP ปริมาณสารประกอบฟีนอล

และปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ ของมะม่วงดิบตัดแต่งในชุดควบคุม และชุดการทดลองที่ผ่านการใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน พบว่าความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันมีแนวโน้มคงที่ทั้งสองชุดการทดลองในระหว่างวันที่ 0 ถึง 4 แต่พบการเพิ่มขึ้นของค่า FRAP ในชุดการทดลองคลื่นอัลตราโซนิกในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p < 0.01$ ) ในทำนองเดียวกันกับปริมาณสารประกอบฟีนอลที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคงที่ในระหว่างวันที่ 0 ถึง 4 แต่พบการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลในชุดการทดลองคลื่นอัลตราโซนิกในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p < 0.01$ ) นอกจากนี้ ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ในชุดควบคุมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในวันที่ 2 และค่อยๆ ลดลงในวันที่ 4 และ 6 ของการเก็บรักษา ในทำนองเดียวกันในชุดการทดลองคลื่นอัลตราโซนิกมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ แต่มีปริมาณที่น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในวันที่ 2 และ 4 ของการเก็บรักษา ( $p < 0.01$ ) ในขณะที่ ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา พบว่า มีปริมาณมากกว่าในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

\*Corresponding author: chairat.te@kmitl.ac.th

<sup>1</sup>ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

<sup>1</sup>Department of Agricultural Education, School of Industrial Education and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand



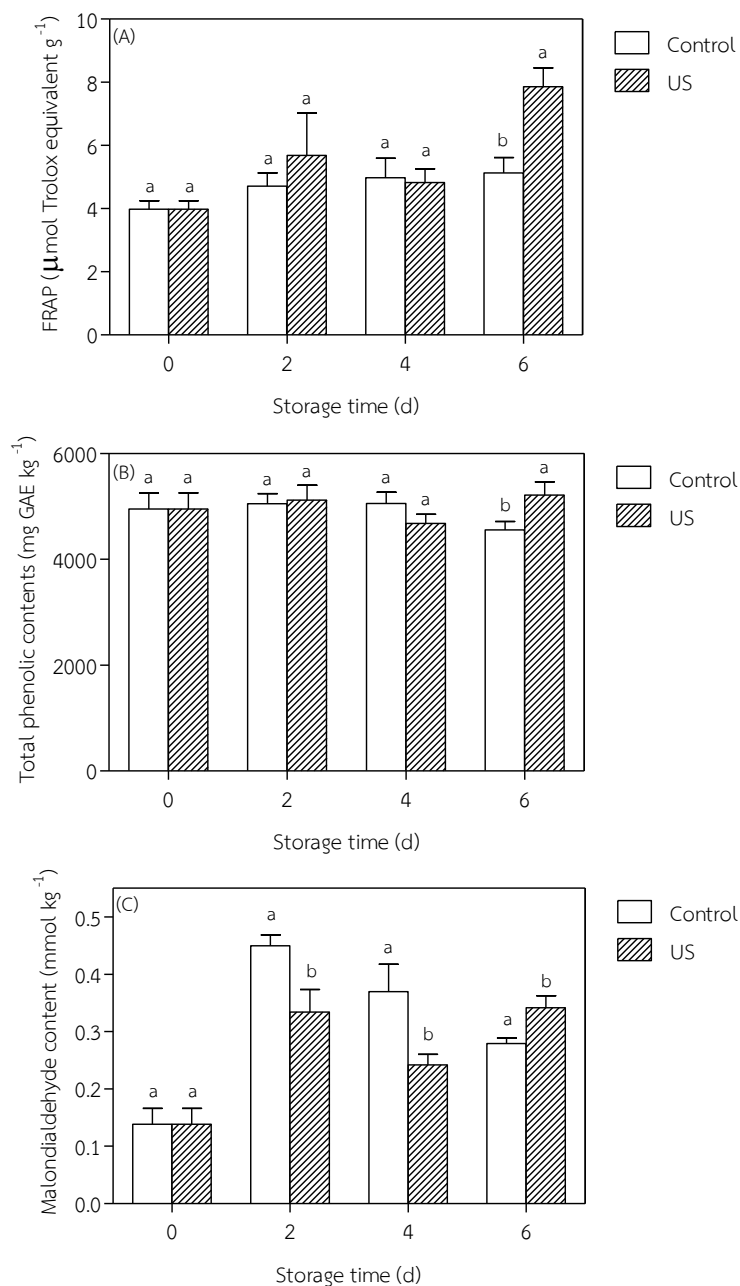
**Figure 4** Lightness ( $L^*$ -value) (A), browning index (BI) (B) and polyphenol oxidase activity (C) of untreated fresh-cut unripe mango (control) and treated with ultrasonic for 15 min during storage at 4 °C for 6 day. Results are means  $\pm$  standard deviation. The different letters denote significance between untreated (control) and ultrasonic treated fresh-cut unripe mango in each storage time.

\*Corresponding author: chairat.te@kmitl.ac.th

<sup>1</sup>ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

<sup>1</sup>Department of Agricultural Education, School of Industrial Education and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand





**Figure 5** FRAP (A), total phenol contents (B) and malondialdehyde content (C) of untreated fresh-cut unripe mango (control) and treated with ultrasonic for 15 min during storage at 4 °C for 6 day. Results are means  $\pm$  standard deviation. The different letters denote significance between untreated (control) and ultrasonic treated fresh-cut unripe mango in each storage time.

การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (FRAP) และสารประกอบฟีนอลในชุดการทดลองคลื่นอัลตราโซนิกเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ชี้ให้เห็นว่า การให้คลื่นอัลตราโซนิกสามารถเพิ่มระบบการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการสังเคราะห์สารทุติยภูมิ ได้แก่ สารประกอบฟีนอล ในมะม่วงดิบตัดแต่ง

\*Corresponding author: chairat.te@kmitl.ac.th

<sup>1</sup>ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

<sup>1</sup>Department of Agricultural Education, School of Industrial Education and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

ระหว่างการเก็บรักษาได้ ทั้งนี้ สารทุติยภูมิเป็นกลุ่มของสารเคมีที่สร้างโดยพืชเมื่อมีความจำเป็นต้องใช้เพื่อการดำรงชีวิตภายใต้สภาวะที่ไม่เหมาะสมแบ่งเป็นความเครียดจากปัจจัยทางกายภาพ (abiotic stress) และความเครียดจากปัจจัยทางชีวภาพ (biotic stress) สำหรับสารทุติยภูมินั้นสามารถจำแนกได้ 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ เทอร์พีน (terpene) แอลคาลอยด์ (alkaloid) และ สารประกอบฟีนอล โดยอาศัยการสังเคราะห์จากวิถีที่แตกต่างกัน เป็นที่ทราบกันดีว่าการใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นวิธีทางกายภาพที่สามารถกระตุ้นกลไกการป้องกันของพืชได้ [21] ทั้งนี้ การเกิดควิเทชันส่งผลต่อความเครียดจากปัจจัยทางกายภาพในเนื้อเยื่อพืช ซึ่งเป็นการกระตุ้นการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและการสังเคราะห์ทางชีวภาพของสารทุติยภูมิเพื่อป้องกันความเครียด [23] โดย Chen et al. [23] และ Wu and Lin [24] ได้พิสูจน์แล้วว่าคลื่นอัลตราโซนิกก่อให้เกิดกลไกการป้องกันโดยการกระตุ้นวิถีฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoid pathway) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในมะเขือเทศ [25] องุ่น [26] สับปะรดตัดแต่งพร้อมบริโภค [27]

นอกจากนี้ ได้มีการแสดงให้เห็นว่าคลื่นอัลตราโซนิกนั้นมีผลต่อการลดลงของปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ รวมไปถึงการคงรักษาความแข็งแรงของผนังเซลล์ในแตงกวาตัดแต่ง [28] ทั้งนี้ ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์คือ ผลิตภัณฑ์หนึ่งจากกระบวนการลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) และถูกนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ของการเกิดความเครียดในผักและผลไม้ [29] จากการทดลอง พบว่า มะม่วงดิบตัดแต่งมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ในระหว่างการเก็บรักษาโดยการเพิ่มขึ้นดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุของสภาวะที่ขาดน้ำและชักนำภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) ต่อเยื่อหุ้มเซลล์ได้ นอกจากนี้ จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของคลื่นอัลตราโซนิกที่สามารถลดการผลิตมาลอนไดอัลดีไฮด์ได้ ซึ่งมีความสอดคล้องกับรายงานของ Li et al. [30] ที่รายงานว่า การใช้คลื่นอัลตราโซนิกกับเห็ดตัดแต่ง ทำให้ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ลดลงเมื่อมีการให้คลื่นอัลตราโซนิกเป็น

เวลา 10 นาที ทั้งนี้บ่งชี้ให้เห็นถึงความแข็งแรงของเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีมากกว่าตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา อีกทั้งการใช้คลื่นอัลตราโซนิกอาจส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สามารถป้องกันการกระตุ้นให้ผลิตสารมาลอนไดอัลดีไฮด์ที่จะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของเซลล์ต่อไปได้ [31]

## สรุปผล

การใช้คลื่นอัลตราโซนิกมีผลต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล โดยการป้องกันการลดลงของค่าความสว่าง (ค่า  $L^*$ ) และการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล ในระหว่างการเก็บรักษามะม่วงดิบตัดแต่งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน อีกทั้งยังมีผลต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลิฟีนอลออกซิเดส การต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารฟีนอลในมะม่วงดิบตัดแต่ง นอกจากนี้ ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ในชุดการทดลองที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิกมีปริมาณที่น้อยกว่าชุดควบคุม จึงสรุปได้ว่าการใช้คลื่นอัลตราโซนิกอาจเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีทางเลือกที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคได้ และอาจนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ ที่เสริมประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีให้มากขึ้นต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากเงินอุดหนุนการวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง [2564-02-03-001]

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Hoover, D.G. (2000). Ultrasound. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. *Journal of Food Science Supplement*: 93-95.
- [2] Zinoviadou, K.G., Galanakis, C.M., Brncic, M., Grimi, N., Boussetta, N., Mota, M.J., and Barba, F.J. (2015). Fruit juice sonication:

\*Corresponding author: chairat.te@kmitl.ac.th

<sup>1</sup>ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

<sup>1</sup>Department of Agricultural Education, School of Industrial Education and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

- implications on food safety and physicochemical and nutritional properties. Food Research International. 77: 743-752.
- [3] Galanakis, C.M. (2015). Separation of functional macromolecules and micromolecules: from ultrafiltration to the border of nanofiltration. Trends in Food Science & Technology. 42: 44-63.
- [4] Galanakis, C.M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: conventional, emerging technologies and commercialized applications. Trends in Food Science & Technology. 26: 68-87.
- [5] Chen, Z. and Zhu, C. (2011). Combined effects of aqueous chlorine dioxide and ultrasonic treatments on postharvest storage quality of plum fruit (*Prunus salicina* L.). Postharvest Biology and Technology. 61:117-123.
- [6] Brilhante São José, J.F. and Vanetti, M.C.D. (2012). Effect of ultrasound and commercial sanitizers in removing natural contaminants and *Salmonella enterica* Typhimurium on cherry tomatoes. Food Control. 24: 95-99.
- [7] Rolle, R.S. and Chism, G.W. (1987). Physiology consequences of minimally processed fruits and vegetables. Journal of Food Quality. 10: 157-177.
- [8] Min, T., Xie, J., Zheng, M., Yi, Y., Hou, W., Wang, L., Ai, Y. and Wang, H. (2017). The effect of different temperatures on browning incidence and phenol compound metabolism in fresh-cut lotus (*Nelumbo nucifera* G.) root. Postharvest Biology and Technology. 123: 69-76.
- [9] Chen, Y., Jiang, Y., Yang, S., Yang, E., Yang, B. and Prasad, K.N. (2012). Effects of ultrasonic treatment on pericarp browning of postharvest litchi fruit. Journal of Food Biochemistry. 36: 613-620.
- [10] Jang, J., Kim, S. and Moon, K. (2009). Inhibitory effects of ultrasound in combination with ascorbic acid on browning and polyphenol oxidase activity of fresh-cut apples. Food Science and Biotechnology. 18(6): 1417-1422.
- [11] Palou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canovas, G.V., Welte-Chanes, J. and Swanson, GB. (1999). Polyphenoloxidase activity and colour of balanced and high hydrostatic pressure treated banana puree. Journal of Food Science. 64: 42-45.
- [12] Galeazzi, M.A.M., Sgarbieri, V.C. and Costantinides, S.M. (1981). Isolation, purification and physico-chemical characterization of polyphenol oxidase (PPO) from a dwarf variety of banana (*Musa cavendishii* L.). Journal of the Science of Food and Agriculture. 46: 150-155.
- [13] Benzie, I.F.F. and Strain, J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. Analytical Biochemistry. 239: 70-76.
- [14] Slinkard, K. and Singleton, V.L. (1997). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods.

\*Corresponding author: chairat.te@kmitl.ac.th

<sup>1</sup>ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520<sup>1</sup>Department of Agricultural Education, School of Industrial Education and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

- American Journal of Enology and Viticulture. 28: 49–55.
- [15] Velikova, V., Yordanov, I. and Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant system in acid rain-treated bean plant protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*. 51: 59-66.
- [16] Supapvanich, S., Sittiprasert, W. and Techavuthiporn, C. (2022). Application of ultrasonic incorporated with calcium gluconate maintains physicochemical quality of pink guavas during short-term storage at room temperature. *Food Science and Biotechnology*. 31(3): 285-294.
- [17] Amaral, R.D.A., Benedetti, B.C., Pujola, M., Achaerandio, I. and Bachelli, M.L.B. (2015). Effect of ultrasound on quality of fresh-cut potatoes during refrigerated storage. *Food Engineering Reviews*. 7: 176–184.
- [18] Pan, Y., Chen, L., Pang, L., Chen, X., Jia, X. and Li, X. (2020). Ultrasound treatment inhibits browning and improves antioxidant capacity of fresh-cut sweet potato during cold storage. *RSC Advances*. 10(16): 9193–9202
- [19] da Silva, J.A. and Dobránszki, J. (2014). Sonication and ultrasound: impact on plant growth and development. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 117: 131–143.
- [20] Lo'ay, A.A. and Taher, M.A. (2018). Influence of edible coatings chitosan/PVP blending with salicylic acid on biochemical fruit skin browning incidence and shelf life of guava fruits cv. 'Banati'. *Scientia Horticulturae*. 235: 424-436.
- [21] Xu, Y., Zhang, L., Zhong, J., Shu, J., Ye, X. and Liu, D. (2013). Power ultrasound for the preservation of postharvest fruits and vegetables. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 6(2): 116-125.
- [22] Nadar, S.S. and Rathod, K. (2017). Ultrasound assisted intensification of enzyme activity and its properties: a mini-review. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 33:170.
- [23] Chen, B., Huang, J., Wang, J. and Huang, L. (2008). Ultrasound effects on the antioxidative defense systems of *Porphyridium cruentum*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 61: 88–92.
- [24] Wu, J. and Lin, L. (2002). Elicitor-like effects of low-energy ultrasound on plant (*Panax ginseng*) cells: induction of plant defense responses and secondary metabolite production. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 59:51–57.
- [25] Ding, T., Ge, Z., Shi, J., Xu, Y.T., Jones, C.L. and Liu, D.H. (2015). Impact of slightly acid electrolyzed water (SAEW) and ultrasound on microbial loads and quality of fresh fruits. *LWT - Food Science and Technology*. 60: 1195-1199.
- [26] Bal, E., Kok, D. and Torcuk, A.I. (2017). Postharvest putrescine and ultrasound treatments to improve quality and postharvest life of table grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Michele Palieri. *Journal of*

\*Corresponding author: chairat.te@kmitl.ac.th

<sup>1</sup>ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520<sup>1</sup>Department of Agricultural Education, School of Industrial Education and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

- Central European Agriculture. 18(3): 598–615.
- [27] Joyce, E., Phull, S.S., Lorimer, J.P. and Mason, T.J. (2003). The development and evaluation of ultrasound for the treatment of bacterial suspensions: A study of frequency, power, and sonication time on cultured *Bacillus* species. *Ultrasonics Sonochemistry*. 10(6): 315-318
- [28] Fan, K., Zhang, M. and Jiang, F.J. (2019). Ultrasound treatment to modified atmospheric packaged fresh-cut cucumber: influence on microbial inhibition and storage quality. *Ultrasonics Sonochemistry*. 54: 162–170.
- [29] Valenzuela, L.J., Manzano, S., Palma, F., Carvajal, F., Garrido, D. and Jamilena, M. (2017). Oxidative stress associated with chilling injury in immature fruit: postharvest technological and biotechnological solutions. *International Journal of Molecular Sciences*. 18: 1467.
- [30] Li, N., Chen, F., Cui, F., Sun, W., Zhang, J., Qian, L., Yang, Y., Wu, D., Dong, Y. and Jiang, J. (2017). Improved postharvest quality and respiratory activity of straw mushroom (*Volvariella volvacea*) with ultrasound treatment and controlled relative humidity. *Scientia Horticulturae*. 225: 56-64.
- [31] Blokhina, O., Virolainen, E. and Fagerstedt, K.V. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: A review. *Annals of Botany*. 91: 179– 194.

\*Corresponding author: chairat.te@kmitl.ac.th

<sup>1</sup>ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

<sup>1</sup>Department of Agricultural Education, School of Industrial Education and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand