

อายุการเก็บเกี่ยวผลกล้วยน้ำว้าที่เหมาะสมต่อการผลิตกล้วยตากลดปริมาณน้ำตาลด้วยเทคโนโลยีอัลตราโซนิกส์

Appropriate harvest date of Nam Wah banana on the production of reduced sugar solar dried banana using ultrasonic technology

จักรพันธุ์ รอดทรัพย์¹ เมรานี อินคำ² วรรณภา สระพินครบุรี¹ เมธาวิ ณะวัชกุล¹
และ อรรณพ ทศนอุดม^{1*}

Jakapan Rodsup¹, Meranee Inkam², Wannapa Srapinkornburee¹, Metawee Anawachkul¹
and Unnop Tassanaudom^{1*}

บทคัดย่อ

ระยะสุกของกล้วยน้ำว้าส่งผลให้กล้วยตากมีปริมาณน้ำตาลสูง การใช้กล้วยน้ำว้าที่เก็บเกี่ยวเร็วกว่าปกติเป็นวัตถุดิบ และการใช้อัลตราโซนิกส์ซึ่งช่วยให้เกิดรูพรุนในเซลล์พืช อาจเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยตากลดปริมาณน้ำตาล งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตกล้วยตากลดปริมาณน้ำตาล โดยเปรียบเทียบการใช้วัตถุดิบกล้วยสดที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน 3 ระยะ ร่วมกับการให้อัลตราโซนิกส์กับกล้วยก่อนตาก ที่ความถี่ 40, 80, 135 และ 200 กิโลเฮิร์ต (KHz) นาน 30 และ 60 วินาที พบว่ากล้วยน้ำว้าสดอายุ 110 วัน เหมาะสมที่จะแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กล้วยตาก โดยมีอัตราส่วนของคาบรีกซ์ต่อกรด 787.87 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 26.0 องศาบริกซ์ กรดมาลิก ร้อยละ 0.033 น้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลนอนรีดิวซ์ 136.05 และ 27.30 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การให้อัลตราโซนิกส์ที่ความถี่ทั้ง 4 ระดับ นาน 30 วินาที ลดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลนอนรีดิวซ์ในกล้วยตากลงได้ร้อยละ 13.89-15.28, 10.30-25.29 และ 27.47-46.69 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มเวลาการให้อัลตราโซนิกส์นาน 60 วินาที จะลดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลนอนรีดิวซ์ได้ถึงร้อยละ 19.69-30.32 และ 42.97-56.59 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับกล้วยตากที่ใช้กระบวนการตากแบบดั้งเดิม ยังพบอีกว่ากล้วยตากที่ได้จากกล้วยน้ำว้าสดที่ผ่านการให้อัลตราโซนิกส์จะมีความแข็งกระด้างลดลง จึงมีความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีอัลตราโซนิกส์มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตกล้วยตากลดปริมาณน้ำตาล

คำสำคัญ: กล้วยน้ำว้า กล้วยตาก น้ำตาลต่ำ อัลตราโซนิกส์

Abstract

The ripening stage of bananas resulted in high sugar content in solar-dried bananas. Utilizing early-harvested bananas as raw materials and applying ultrasonic technology for porous in plant tissue may be an

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก

¹ Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Phitsanulok Campus

² หน่วยวิจัยและพัฒนาความเป็นเลิศทางนวัตกรรมอาหารสำหรับผู้ประกอบการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก

² Center of Food Innovation Excellence for Entrepreneurs, Rajamangala University of Technology Lanna, Phitsanulok Campus

* Corresponding author. E-mail: unnop_tas@mutl.ac.th

approach in the development of reduced-sugar solar-dried banana products. This research aims to produce reduced-sugar solar-dried bananas by comparing three banana harvest ages and applying ultrasonic treatment to fresh bananas before drying at frequencies of 40, 80, 135, and 200 KHz for 30 or 60 seconds. It was determined that bananas harvested at 110 days after flowering (DAF) were found to be suit for solar-dried banana production, exhibiting a Brix/acid ratio of 787.87, total soluble solids (TSS) of 26.0°Brix, malic acid of 0.033%, reducing sugar of 136.05 mg/g, and non-reducing sugar of 27.30 mg/g, respectively. Samples subjected to 30 seconds of four ultrasonic treatments showed reductions in the concentration of TSS, reducing sugar, and non-reducing sugar ranging from 13.89% to 15.28%, 10.30% to 25.29%, and 27.47% to 46.96%, respectively. Furthermore, samples performed with 60 seconds of ultrasonic treatment showed significantly greater decreases in reducing sugar (19.69% to 30.32%) and non-reducing sugar (42.97% to 56.59%) compared to samples dried using the conventional method. It was also found that subjecting fresh bananas to ultrasonic treatment before drying could reduce the hardness of solar-dried bananas. These findings indicate the potential application of ultrasonic technology in the production of reduced-sugar solar-dried bananas.

keywords: Nam Wah banana, solar dried banana, low sugar content, ultrasonic technology

บทนำ

กล้วยตากเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากกล้วยน้ำว้า ที่มีวางจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศมากที่สุด (Silayoi, 2002) ในปี 2565 ประเทศไทยมีการส่งออกกล้วยตากอบแห้ง 5,499 ตันต่อปี มีมูลค่าประมาณ 141-230 ล้านบาท (Office of Agricultural Economics, 2022) จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยยังมีความต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวซึ่งถือเป็นอาหารที่มีรสชาติดี มีคุณค่าทางโภชนาการ และให้พลังงานสูง เนื่องจากมีแป้งและน้ำตาลสูง เป็นแหล่งของวิตามินเอและซี โพแทสเซียม แคลเซียม โซเดียม และแมกนีเซียม (Tavakolipour, & Zirjani, 2014) อย่างไรก็ตามในกลุ่มผู้ควบคุมการบริโภคน้ำตาลและผู้ป่วยเบาหวาน กล้วยตากถือเป็นอาหารต้องห้ามเนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงถึง 145-295 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมบริโภค (Tassanaudom et al., 2022) มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์

ชนิดกลูโคส และฟรุกโตส อยู่ในช่วง 40-48, 20-24 และ 19-24 กรัมต่อ 100 กรัมบริโภค ตามลำดับ (Wongwaiwech et al., 2022) การรับฟรุกโตสเข้าสู่ร่างกายที่ระดับ 25-50 กรัมต่อวัน เป็นระดับที่ปลอดภัย แต่ถ้ารับเกินกว่า 100 กรัมต่อวัน จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพในระยะยาวได้ (Lubawy, & Formanowicz, 2023) มีรายงานวิจัยหลายฉบับยืนยันว่าการบริโภคน้ำตาลรีดิวซ์มากเกินไปก่อปัญหาสุขภาพหลายประการ ได้แก่ โรคหลอดเลือดหัวใจ ความดันโลหิตสูง และโรคเบาหวาน (Rizkalla, 2010; Taskinen, Packard, & Borén, 2019; Lubawy, & Formanowicz, 2023) หากรับประทานกล้วยตากจำนวน 4 ผล (น้ำหนักประมาณ 25 กรัมต่อผล) อาจทำให้ร่างกายได้รับน้ำตาลทั้งหมดสูงถึง 44 กรัม ในจำนวนนี้อาจประกอบด้วยกลูโคสและฟรุกโตสอย่างละ 22 กรัม หรือประมาณร้อยละ 44 ของปริมาณฟรุกโตสที่ได้รับ การแนะนำว่าปลอดภัยต่อการบริโภคในหนึ่งวัน

การผลิตกล้วยตากที่มีปริมาณน้ำตาลลดลง จึงเป็นแนวคิดหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยตากสำหรับกลุ่มผู้บริโภคข้างต้น ทั้งนี้อายุของผลกล้วยน้ำว้าที่นำมาใช้ในการผลิตกล้วยตากเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์สุดท้าย หากควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบดังกล่าวได้ อาจจะสามารถลดปริมาณน้ำตาลในกล้วยตากลงได้ กล้วยเป็นผลไม้จำพวก climacteric fruit ซึ่งปมให้สุกได้ ระหว่างการสุกมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพเกิดขึ้นหลายอย่าง เช่น เปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นเหลือง ผลนุ่มลง มีกลิ่นหอม ปริมาณกรดลดลง ปริมาณของแข็งที่ละลายเพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น เป็นต้น Wongwaiwech et al. (2022) รายงานว่าปริมาณความชื้นน้ำตาลทั้งหมด และของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อกล้วยน้ำว้ามีระดับความสุกที่มากขึ้น

อัลตราโซนิกเป็นคลื่นเสียงความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ต (KHz) ซึ่งเกินช่วงความถี่ที่มนุษย์ได้ยิน ถูกนำมาใช้กับการแปรรูปอาหาร เช่น การสกัด การควบคุม เอนไซม์ การผสม และการเตรียมวัตถุดิบก่อนการแปรรูปอาหาร ได้แก่ เนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ ธัญพืช และผลิตภัณฑ์นม เป็นต้น (Bhargava, Mor, Kumar, & Sharanagat, 2021) เนื้อเยื่อของผักผลไม้ที่ผ่านการใช้อัลตราโซนิกจะเกิดโพรง (cavitation) หรือรูพรุนจำนวนมาก และเกิดสภาพฟองน้ำ (sponge effect) ซึ่งเป็นผลจากโครงสร้างเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลายอย่างถาวร รูพรุนจำนวนมากเหล่านี้เป็นช่องทางให้เกิดการถ่ายเทมวลสาร ส่งผลต่อเนื้อให้อัตราการทำแห้ง การถ่ายเทมวลสารและความร้อน การกำจัดน้ำ และการดึงน้ำตาลออกจากเซลล์เพิ่มสูงขึ้น (Rodrigues, Oliveira, Gallao, & Fernandes, 2009; Nowacka, Dadan,

& Tylewicz, 2021) การนำอัลตราโซนิกมาประยุกต์ใช้ ในกระบวนการแปรรูปอาหารนั้น มีความหลากหลาย และแตกต่างกันไปตามชนิดหรือประเภทของอาหาร และวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ (Mason, 1998) เช่น ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ใช้ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ ใช้ในกระบวนการเซอร์ไรเซชันเพื่อลดการปนเปื้อนที่บริเวณพื้นผิว หรือนำมาทำให้เกิดอิมัลชัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การนำมาใช้ในการสกัดสารต่าง ๆ จากตัวอย่างผักผลไม้ เช่น การสกัดโปรตีนจากสาหร่าย และถั่วเหลือง การสกัดสารสำคัญในชา และการสกัดน้ำตาลออกจากหัวบีท (Mizrach, Galili, & Rosenhouse, 1994; Mason, 1998; De Gennaro, Cavella, Romano, & Masi, 1999) มีรายงานว่า การสกัดน้ำตาลจากหัวบีท (sugar beet) ด้วยอัลตราโซนิกที่มีความถี่ 40 KHz ที่อุณหภูมิ 50°C สามารถสกัดน้ำตาลซูโครสได้เพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 15 (Mason, 1998) จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้เทคโนโลยีอัลตราโซนิกในการลดปริมาณน้ำตาล อย่างไรก็ตาม การศึกษาวิจัยก่อนหน้านี้ ยังไม่พบว่ามีการศึกษาในส่วนของการลดปริมาณน้ำตาลของกล้วยตากลง ส่วนมากจะเป็นการศึกษาด้านกระบวนการผลิต และการเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยตาก ทั้งนี้ความแตกต่างของอายุของวัตถุดิบกล้วยน้ำว้าที่แตกต่างกัน ย่อมส่งผลต่อโครงสร้างทางกายภาพของผลกล้วยที่แตกต่างกันด้วย และอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดน้ำตาลด้วยอัลตราโซนิก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินอายุการเก็บเกี่ยวผลกล้วยน้ำว้าที่เหมาะสม และศึกษากระบวนการผลิตกล้วยตากลดปริมาณน้ำตาล โดยใช้การคัดเลือกวัตถุดิบที่มีอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอัลตราโซนิกใน

กระบวนการผลิต เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยตากรูปแบบใหม่ สำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่ต้องควบคุมการบริโภคน้ำตาลและผู้ป่วยเบาหวาน

วิธีการศึกษา

1. การตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบกล้วยน้ำว่าที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

นำตัวอย่างวัตถุดิบกล้วยน้ำว่า จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ.พี.บานาน่า (จากพื้นที่อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก) ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ โดยใช้อายุวันหลังจากออกดอกของผลกล้วยเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยว ซึ่งอ้างอิงมาจากกลุ่มผู้ผลิตกล้วยตากภายในจังหวัดพิษณุโลก ได้แก่ 1) กล้วยปกติที่ใช้ในการผลิตกล้วยตากอายุ 110 วันหลังจากออกดอก 2) กล้วยที่มีอายุลดลงมา 10 วัน ของกล้วยปกติที่ใช้ในการผลิตกล้วยตาก อายุ 100 วันหลังจากออกดอก และ 3) กล้วยที่มีอายุลดลงมา 20 วัน ของกล้วยปกติที่ใช้ในการผลิตกล้วยตาก อายุ 90 วันหลังจากออกดอก หลังจากเก็บเกี่ยวบ่มกล้วยนาน 4 วัน ในโรงบ่มที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) สุ่มตัวอย่างกล้วยหลังบ่มตัวอย่างละ 100 ผล นำมาปอกเปลือก (ไม่ผ่านการล้าง) โดยใช้มีดขนาดเล็ก ตัดที่จุดด้านล่างผลกล้วยแล้วดึงลอกเปลือกออก นำไปตากในพาราโบลาโดม อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส โดยใช้วิธีการ/กระบวนการตากแบบดั้งเดิมของผู้ประกอบการกล้วยตาก (ระหว่างการตากระยะเวลา 6 วัน) โดยในทุก ๆ วัน ของการตาก (วันที่ 0, 1, 3 และ 6) จะนำตัวอย่างกล้วยในแต่ละสิ่งทดลองไปทำการวัดค่าสี (L^* , a^* , b^* , C^* , h^* และ ΔE)

ด้วยเครื่อง hunter lab (Colorflex®, Hunter Association, Laboratory, USA) ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) ด้วยเครื่อง texture analyzer (Texture analyzer) (TA.XT.Plus, England) ใช้หัววัด P/2 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2019) ค่าพีเอช ด้วยเครื่อง pH meter (PB-10, Sartorius, Germany) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยเครื่อง hand refractometer (2373-E04, ATAGO, Japan) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และนอนรีดิวซ์ (AOAC, 2019) เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของผลกล้วยในระหว่างกระบวนการตาก ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ทำการคัดเลือกวัตถุดิบกล้วยที่เหมาะสม โดยพิจารณาของคุณลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งในการศึกษานี้จะทำให้สามารถควบคุมคุณภาพวัตถุดิบกล้วยที่จะนำมาแปรรูปเป็นกล้วยตากได้ ว่าควรมีดัชนีความแก่อ่อน (ค่าอัตราส่วนปริกซ์ต่อกรด) ในช่วงเท่าใด โดยค่า Brix/acid ratio คำนวณจาก $^{\circ}\text{Brix value/percentage acid}$ (ในรูปกรดมาลิก (malic acid, 0.0067 (AOAC, 2019))

2. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอัลตราโซนิกส์เพื่อลดปริมาณน้ำตาลในการผลิตกล้วยตาก

นำตัวอย่างกล้วยน้ำว่าสดที่คัดเลือกได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ ซึ่งเป็นกล้วยที่เก็บเกี่ยวตามอายุที่กำหนด บ่มกล้วยนาน 4 วัน ในโรงบ่มที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) จากนั้นปอกเปลือก (ด้วยวิธีการเดียวกับในข้อ 1) ให้ได้ผลกล้วยประมาณ 500 กรัม (8-10 ผล) นำไปให้อัลตราโซนิกส์นาน 30 และ 60 วินาที โดยเรียงผลกล้วยไม่ให้ซ้อนทับกัน ใช้อัตราส่วนกล้วยต่อน้ำในอ่างอัลตราโซนิกส์ขนาด

5 ลิตร เท่ากับ 1 ต่อ 10 (อ้างอิงจากบริษัทผู้ผลิตอ่างอัลตราโซนิคส์และทดสอบในสภาวะการใช้งานจริงเบื้องต้น) โดยแปรสภาวะคลื่นอัลตราโซนิคส์ที่ความถี่ 4 ระดับ ได้แก่ 40, 80, 135 และ 200 กิโลเฮิร์ต (adapted from Mason, 1998) นำไปตากในพาราโบลาโดม (อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส) จนครบ 6 วัน จากนั้นจึงนำตัวอย่างกล้วยตากที่ได้ มาทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และนอมนรีดิวซ์ (AOAC, 2019) ค่าพีเอช (AOAC, 2019) และลักษณะเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) คัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ลดลงมากกว่าร้อยละ 20 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของกล้วยตากที่ใช้เทคโนโลยีอัลตราโซนิคส์ลดปริมาณน้ำตาล

เปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาค (microstructure) ของกล้วยตากที่ใช้เทคโนโลยีอัลตราโซนิคส์ลดปริมาณน้ำตาล กับกล้วยตากที่ใช้กระบวนการผลิตแบบดั้งเดิมของผู้ประกอบการ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากภาพตัดขวางบริเวณผิวด้านในของตัวอย่างกล้วยตากที่กำลังขยาย 50 และ 500 เท่า เตรียมตัวอย่างโดยนำกล้วยตากมาตัดเป็นชิ้น ขนาด $0.5 \times 0.5 \times 0.25$ เซนติเมตร คงสภาพชิ้นตัวอย่างโดยนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำแห้งด้วยกระบวนการทำแห้งแบบฟรีซดราย (freeze dry) โดยใช้เครื่องฟรีซดราย (Labconco, USA) ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ภายใต้สุญญากาศ 0.05 Torr แล้วจึงนำชิ้นตัวอย่างที่แห้งแล้วมาติดบนแท่นวางตัวอย่าง (stub) ด้วยเทปกาวยสองหน้าชนิดคาร์บอน (double sided carbon tape) เคลือบผิวตัวอย่าง

ด้วยทองคำ ความหนา 10 นาโนเมตร นำตัวอย่างไปศึกษาโครงสร้างของกล้วยตากด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM: Thermo Scientific, Prisma E, USA) โดยใช้โหมดความเป็นสุญญากาศสูง (high vacuum mode) ที่กำลังขยาย 50 และ 500 เท่า ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 10 กิโลโวลต์ (Tassanaudom et al., 2022)

4. การตรวจสอบคุณภาพและความปลอดภัยของกล้วยตากที่ใช้เทคโนโลยีอัลตราโซนิคส์ลดปริมาณน้ำตาล

นำกล้วยตากที่ใช้เทคโนโลยีอัลตราโซนิคส์ลดปริมาณน้ำตาล กับกล้วยตากที่กระบวนการผลิตแบบดั้งเดิมของผู้ประกอบการ มาวัดค่าสี (L^* , a^* , b^* , C^* , h^* และ ΔE) ความแข็ง ปริมาณความชื้น (AOAC, 2019) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) ด้วยเครื่องวัดค่า water activity (Series 3TE, Aqua lab, USA) ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และนอมนรีดิวซ์ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* sp., *Escherichia coli* และเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก (Downes, & Ito, 2001)

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design: CRD) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองด้วยวิธี Tukey's range test (Tukey-Kramer) และ T-test (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผลการศึกษา

1. การตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบกล้วยน้ำว้าที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

ลักษณะสีเปลือกของกล้วยน้ำว้า เมื่อสังเกตด้วยสายตาจะมีสีเหลืองและลักษณะของผล (ความเป็นเหลี่ยม) ที่ไม่แตกต่างกัน และผลกล้วยน้ำว้าทั้ง 3 กลุ่ม หลังจากปอกเปลือกแล้ว พบว่ายังคงมีลักษณะปรากฏเป็นสีขาวขุ่นไม่แตกต่างกันดัง (Figure 1) อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยกลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 จะลดลงตามความแก่-อ่อนของกล้วย โดยพบอยู่ในช่วง 25.70-26.30, 21.6-22.40 และ 19.9-20.10 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณกรดที่พบในกล้วยแต่ละกลุ่มในรูปของกรดมาลิกนั้นจะแปรผกผันกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ กล่าวคือในกล้วยปกติที่ใช้ในการผลิตกล้วยตากจะมีปริมาณกรดมาลิกต่ำกว่าในกล้วยที่มีอายุลดลงมา 10 และ 20 วันของกล้วยปกติที่ใช้ในการผลิตกล้วยตาก ตามลำดับกล้วยที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวประมาณ 110 วัน (กลุ่มที่ 1) ซึ่งมีลักษณะสุกงอม จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงกว่ากล้วยที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 100 และ 90 วัน ตามลำดับ โดยกล้วยที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 100 และ 90 วัน จะมีลักษณะห่าม ซึ่งมีปริมาณกรดมาลิกสูงกว่ากล้วยที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 110 วัน ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้อัตราส่วนปริกซ์ต่อกรดมีค่าต่ำกว่ากล้วยที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวประมาณ 110 วัน อย่างชัดเจน โดยค่า

อัตราส่วนปริกซ์ต่อกรดจะแสดงถึงรสชาติของผลกล้วยน้ำว้า ซึ่งหากมีค่ามากแสดงว่าผลกล้วยมีรสหวานเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับรสเปรี้ยว (หรือความฝาด) ดัง (Table 1)

จากการนำวัตถุดิบกล้วยน้ำว้าทั้ง 3 กลุ่มมาแปรรูปเป็นกล้วยตาก พบว่าในระหว่างระยะเวลา 6 วัน ของการตาก มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีต่างๆ อย่างชัดเจน โดยค่า L^* (ค่าความสว่าง) ในวันแรกของการตาก พบอยู่ในช่วง 72.94-77.20 เมื่อผ่านกระบวนการตากภายในพาราโบลาโดมครบ 6 วัน จนได้เป็นกล้วยตากที่มีสีน้ำตาลแดง โดยค่า L^* จะลดลง อยู่ในช่วง 34.54-41.88 จึงทำให้ตัวอย่างกล้วยตากค่อย ๆ มีความคล้ำ (สีน้ำตาลเข้ม) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ค่า a^* (ค่าความเป็นสีแดง) จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสวนทางกับค่า L^* โดยค่า a^* จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากเริ่มต้นในช่วง 1.22-1.37 จะเพิ่มขึ้นในช่วง 10.33-13.17 ส่วนค่า b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) และค่า C^* (ค่าที่แสดงให้เห็นถึงความเข้มตัวของสี) จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน ซึ่งพบว่าจะเพิ่มขึ้นจากวันที่ 1 และเพิ่มสูงสุดในวันที่ 3 ของการตาก จากนั้นค่าดังกล่าวจะลดลงจนครบกำหนดระยะเวลาตาก ในขณะที่ค่า h^* (ค่าเฉดสี ที่แสดงสีที่แท้จริงของวัตถุ) ของกล้วยตากทั้ง 3 กลุ่ม หลังผ่านกระบวนการตากภายในพาราโบลาโดมครบ 6 วัน ที่วัดได้จะอยู่ในช่วง 60.07-66.20 แสดงสีส้มแดงถึงเหลือง โดยค่าองศาที่ต่ำจะออกสีส้มแดงมากกว่า ดัง (Table 2)

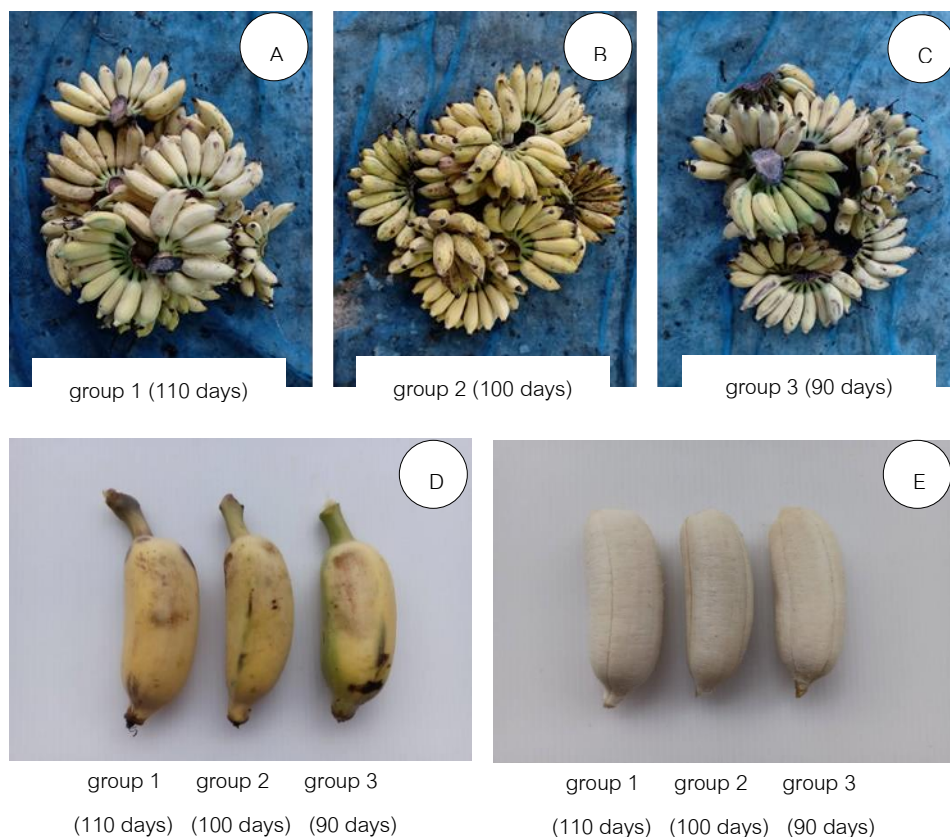


Figure 1 External (A, B, C and D) and internal appearances of Nam Wah banana (E) at different harvesting times.

Table 1 Brix/acid ratio comparison of each Nam Wah banana group.

parameters	Nam Wah banana		
	group 1 (N=300)	group 2 (N=300)	group 3 (N=300)
	(110 days)	(100 days)	(90 days)
total soluble solids (TSS) (°Brix)	26.00±0.30 ^a	22.00±0.40 ^b	20.00±0.10 ^c
malic acid content (%)	0.033±0.000 ^c	0.037±0.001 ^b	0.040±0.000 ^a
Brix/acid ratio	787.87 ^a	594.59 ^b	500.00 ^c

note: results are expressed as mean values ± standard deviation.

different letters within the same row are significantly different ($p \leq 0.05$).

ความชื้นของกล้วยทั้ง 3 กลุ่ม ในระหว่างการ
ตากนาน 6 วัน จะลดลงอย่างต่อเนื่อง ดัง (Table 2)

โดยจากความชื้นเริ่มต้นที่มีค่าใกล้เคียงกันของกล้วย
กลุ่มที่ 1 (110 วัน) กล้วยในกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3

ที่ร้อยละ 69.68 ± 0.08 , 68.13 ± 0.15 และ 67.05 ± 0.46 ตามลำดับ โดยหลังการตากนาน 6 วัน จะมีความชื้นเหลือเพียงร้อยละ 19.87 ± 0.14 , 19.71 ± 0.01 และ 19.62 ± 0.02 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเอส (มอก. เอส 95-2563 ก้วยอบ) ที่กำหนดให้ความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก

ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) ของกล้วยทั้ง 3 กลุ่ม ในระหว่างการตากนาน 6 วัน จะเพิ่มขึ้น (แข็งขึ้น) อย่างต่อเนื่อง โดยพบว่ากล้วยกลุ่มที่ 3 จะมีเนื้อสัมผัสแข็งที่สุด (จากเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการตาก คือ $46.15-213.22$ g.force) รองลงมา คือ กล้วยกลุ่มที่ 2 เท่ากับ $39.92-163.88$ g.force ในขณะที่กล้วยกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นกล้วยปกติที่ใช้ในการผลิตกล้วยตากนั้น จะมีค่าความแข็งเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการตากต่ำกว่ากล้วยในกลุ่มที่ 2 และ กลุ่มที่ 3 ตามลำดับ โดยพบว่ามีค่าความแข็งเพียง $37.04-116.30$ g.force เท่านั้น ในขณะที่ค่าพีเอชของกล้วยทั้ง 3 กลุ่ม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยจะเพิ่มจากค่าเริ่มต้นในช่วง $4.60-4.63$ เป็น $4.95-5.10$ ในวันสุดท้ายของการตาก นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้ำตาลรีดิวซ์และนอนรีดิวซ์ จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในกล้วยทุกกลุ่ม โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของกล้วยกลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 มีค่าอยู่ในช่วง $26.0-67.0$, $22.10-65.00$ และ $19.80-63.00$ องศาบริกซ์ตามลำดับ มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ในช่วง $136.05-294.95$, $134.86-272.94$ และ $115.36-271.67$ มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ และปริมาณน้ำตาลนอนรีดิวซ์พบอยู่ในช่วง $27.30-76.15$, $29.20-79.25$ และ $30.52-79.87$ มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ดัง (Table 2)

2. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอัลตราโซนิกส์เพื่อลดปริมาณน้ำตาลในการผลิตกล้วยตาก

ตัวอย่างผลกล้วยน้ำว้าสด หลังให้อัลตราโซนิกส์ที่ความถี่ 40, 80, 135 และ 200 กิโลเฮิร์ต (KHz) นาน 30 และ 60 วินาที ที่มีน้ำสะอาดปริมาตร 4 ลิตร อัตราส่วนกล้วยต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 10 (ใช้กล้วย 8 ลูก (400 กรัม) น้ำ 4 ลิตรต่อครั้ง) แล้วนำไปตากในพาราโบลาโดมจนครบ 6 วัน พบว่าวัตถุดิบกล้วยสดหลังผ่านการให้อัลตราโซนิกส์ที่สภาวะต่าง ๆ ณ อุณหภูมิ 30 ± 2.0 °C จะมีสีแดงเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ที่ผิวของผลกล้วยมีลักษณะนิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยสดที่ไม่ผ่านการให้อัลตราโซนิกส์ (จากการสังเกตด้วยสายตา และบีบด้วยมือร่วมกับผู้ประกอบการ) โดยสีแดงและความนิ่มที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตรงกับความถี่และระยะเวลาในการให้อัลตราโซนิกส์ที่เพิ่มขึ้น ดัง (Table 3) หลังจากผ่านกระบวนการตากจนครบ 6 วัน พบว่าผลกล้วยน้ำว้าสดหลังผ่านการให้อัลตราโซนิกส์นาน 30 และ 60 วินาที (ที่ทุกความถี่) จะมีสีเหลืองทอง (ออกแดง) เข้มขึ้น และที่ผิวของผลกล้วยตากมีลักษณะนิ่มเป็นเงามากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยตากที่ผลิตจากกล้วยสดที่ไม่ผ่านการให้อัลตราโซนิกส์ ทั้งนี้จากการทดลองบีบด้วยมือและรับประทานร่วมกับผู้ประกอบการ พบว่ากล้วยตากที่ผ่านการให้อัลตราโซนิกส์ที่ความถี่ 200 กิโลเฮิร์ต (KHz) จะมีลักษณะเนื้อที่นิ่มกว่ากล้วยตากที่ผ่านการให้อัลตราโซนิกส์ที่ความถี่ 135, 80 และ 40 กิโลเฮิร์ต (KHz) ตามลำดับ และพบว่าระยะเวลาที่ให้อัลตราโซนิกส์ที่ 60 วินาที ส่งผลให้ผลกล้วยตากมีลักษณะนิ่มกว่ากล้วยตากที่ให้อัลตราโซนิกส์นาน 30 วินาที ดัง (Table 3)

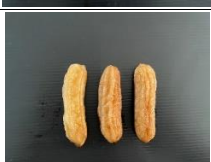
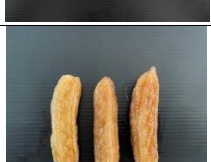
Table 2 The property changing of Nam Wah banana during solar dried banana production.

parameters	day 0			day 1			day 3			day 6		
	group 1 (110 days)	group 2 (100 days)	group 3 (90 days)	group 1 (110 days)	group 2 (100 days)	group 3 (90 days)	group 1 (110 days)	group 2 (100 days)	group 3 (90 days)	group 1 (110 days)	group 2 (100 days)	group 3 (90 days)
appearance												
L*	77.30±0.14 ^a	74.58±0.54 ^b	72.94±0.06 ^c	53.22±0.90	53.88±0.03	53.71±0.03	50.32±0.23 ^a	49.84±0.06 ^b	41.75±0.10 ^c	41.88±0.13 ^a	39.14±0.05 ^b	34.54±0.02 ^c
a*	1.37±0.01 ^a	1.36±0.01 ^a	1.22±0.01 ^b	8.85±0.05 ^a	8.40±0.01 ^b	7.51±0.01 ^c	9.95±0.06 ^a	9.45±0.01 ^b	9.29±0.01 ^c	13.17±0.08 ^a	11.42±0.03 ^b	10.33±0.01 ^c
b*	19.55±0.12 ^c	23.32±0.04 ^b	24.01±0.13 ^a	29.18±0.03 ^a	25.88±0.09 ^c	27.24±0.31 ^b	31.18±0.11 ^a	29.69±0.09 ^b	25.23±0.15 ^c	26.06±0.08 ^a	25.29±0.34 ^b	16.32±0.10 ^c
C*	19.64±0.05 ^b	23.37±0.05 ^a	23.98±0.04 ^a	30.48±0.03 ^a	27.12±0.05 ^c	28.54±0.02 ^b	32.43±0.04 ^b	33.22±0.02 ^a	27.34±0.03 ^c	27.21±0.21 ^b	28.77±0.16 ^a	18.84±0.13 ^c
h°	86.15±0.13	86.87±0.17	86.69±0.06	74.25±0.07 ^a	73.33±0.14 ^b	72.25±0.04 ^c	73.29±0.09 ^a	72.10±0.03 ^b	67.62±0.24 ^c	66.20±0.03 ^a	63.37±0.04 ^b	60.07±0.06 ^c
ΔE	79.74±0.17 ^a	78.15±0.51 ^a	76.80±0.01 ^b	61.34±0.76	60.18±0.06	60.69±0.11	60.02±0.15 ^a	58.78±0.00 ^b	49.66±0.01 ^c	51.05±0.12 ^a	47.97±0.23 ^b	39.57±0.03 ^c
moisture content (%)	69.68±0.08 ^a	68.13±0.15 ^b	67.05±0.46 ^b	60.56±0.11 ^b	59.88±0.03 ^b	61.02±0.52 ^a	43.90±0.35 ^a	43.09±0.05 ^a	39.89±0.26 ^b	19.87±0.14 ^a	19.71±0.02 ^a	19.62±0.02 ^b
hardness (g/force)	37.04±0.22 ^c	39.92±0.28 ^b	46.15±0.98 ^a	47.15±0.28 ^c	52.80±0.49 ^b	56.88±0.76 ^a	48.77±1.06 ^b	62.35±0.96 ^a	64.67±0.90 ^a	116.30±1.81 ^b	163.88±0.76 ^b	213.22±1.62 ^a
pH	4.60±0.00	4.62±0.02	4.63±0.01	4.76±0.01 ^b	4.81±0.01 ^a	4.76±0.01 ^b	4.99±0.01 ^a	4.91±0.02 ^b	4.88±0.01 ^b	4.95±0.01 ^c	5.06±0.01 ^b	5.10±0.01 ^a
TSS (Brix)	26.00±0.10 ^a	22.10±0.10 ^b	19.80±0.40 ^c	31.00±0.00 ^a	30.00±0.00 ^b	28.00±0.00 ^c	40.00±0.00 ^a	39.00±0.00 ^b	39.00±0.00 ^b	67.00±0.00 ^a	65.00±0.00 ^b	63.00±0.00 ^c
reducing sugar (mg/100g)	136.05±0.84 ^a	134.86±0.52 ^a	115.36±1.60 ^b	147.25±0.64 ^b	174.78±6.55 ^a	167.82±0.51 ^a	260.32±0.63	264.92±3.54	261.75±1.71	294.95±0.21 ^a	272.94±0.46 ^b	271.67±2.03 ^b
non-reducing sugar (mg/100g)	27.30±0.50 ^b	29.20±0.77 ^a	30.52±0.19 ^a	36.74±0.14 ^b	37.38±2.06 ^b	43.92±0.63 ^a	46.04±0.57 ^c	59.59±0.22 ^b	62.69±0.08 ^a	76.15±0.21 ^b	79.25±0.08 ^a	79.87±0.05 ^a

note: results are expressed as mean values ± standard deviation, determined in triplicate.

different letters within the same row for each dehydration date are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 3 Appearance of Nam Wah banana with untreated and treated ultrasonic conditions.

ultrasonic condition	appearance of sample	
	fresh banana	solar dried banana
1. untreated ultrasonic and treated ultrasonic at 40 KHz for 30 and 60 sec.		
2. untreated ultrasonic and treated ultrasonic at 80 KHz for 30 and 60 sec.		
3. untreated ultrasonic and treated ultrasonic at 135 KHz for 30 and 60 sec.		
4. untreated ultrasonic and treated ultrasonic at 200 KHz for 30 and 60 sec.		

ผลการตรวจวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และนอกรีตวืคซ์ ค่าพีเอช และ ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) ของตัวอย่างกล้วยตากที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้าสดที่ไม่ผ่านการให้อัลตราซาวนิกส์ ผ่านการให้อัลตราซาวนิกส์นาน 30 วินาที และผ่านการให้อัลตราซาวนิกส์นาน 60 วินาที พบว่าที่ระยะเวลาให้อัลตราซาวนิกส์นาน 30 วินาที การเพิ่มความถี่จาก 40, 80, 135 และ 200 กิโลเฮิร์ต (KHz) จะทำให้กล้วยตากที่ผลิตได้ มีแนวโน้มของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลนอกรีตลดลง โดยทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยตากที่ผลิตจากผู้ประกอบการ (ไม่ผ่านการให้อัลตราซาวนิกส์) พบว่าร้อยละการลดลงของค่าปริมาณของแข็งที่

ละลายได้ น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลนอกรีตวืคซ์ในกล้วยตากที่ผลิตได้จะอยู่ในช่วงร้อยละ 13.89-15.28, 10.30-25.59 และ 27.47-46.96 ตามลำดับ ดัง (Table 4) ส่วนการให้อัลตราซาวนิกส์ระยะเวลา 60 วินาที จะมีประสิทธิภาพในการสกัดน้ำตาลออกจากวัตถุดิบกล้วยน้ำว้าสดเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเพิ่มความถี่ของอัลตราซาวนิกส์ให้กับวัตถุดิบกล้วยสด มีแนวโน้มของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลนอกรีตลดลง (เช่นเดียวกับการให้อัลตราซาวนิกส์นาน 30 วินาที) ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยตากที่ผลิตจากผู้ประกอบการ พบว่าร้อยละการลดลงของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลนอกรีตวืคซ์ในกล้วยตากที่ผลิตได้จะอยู่ในช่วง

ร้อยละ 15.28-16.67, 19.69-30.32 และ 42.97-56.59 ตามลำดับ ดัง (Table 4) และยังพบว่า การให้อัลตราโซนิกส์แก่กล้วยน้ำว้าสด ก่อนนำไปตาก เป็นผลทางด้านบวกแก่ผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยจะทำให้กล้วยตากที่ได้นั้นมีความแข็งกระด้างลดลง ในขณะที่ค่าพีเอชของกล้วยตากที่ผลิตจากวัตถุดิบกล้วยน้ำว้าสดที่ผ่านการให้อัลตราโซนิกส์จะมีแนวโน้มคงที่ ดัง (Table 4-5)

3. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของกล้วยตากที่ใช้เทคโนโลยีอัลตราโซนิกส์ลดปริมาณน้ำตาล

ผลการเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของกล้วยตากที่ผ่านการสกัดน้ำตาลออกจากวัตถุดิบกล้วยสด โดยการให้อัลตราโซนิกส์ (200 กิโลเฮิร์ต (KHz) นาน 60 วินาที แล้วนำไปตากต่ออีก 6 วัน ในพาราโบลาโดม) กับกล้วยตากที่ผลิตตามกระบวนการแบบดั้งเดิม ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากภาพตัดขวางบริเวณผิวด้านในของ

ตัวอย่างกล้วยตากทั้ง 2 ตัวอย่างที่กำลังขยาย 50 และ 500 เท่า (ภาพขนาดใหญ่และภาพขนาดเล็กตามลำดับ) ดัง (Figure 2) พบว่าตัวอย่างกล้วยตากที่ผ่านการการสกัดน้ำตาลออกจากวัตถุดิบกล้วยสด โดยการให้อัลตราโซนิกส์ จะปรากฏปริมาณของเส้นริ้วเพิ่มขึ้นจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยตากที่ผลิตตามกระบวนการแบบดั้งเดิมของผู้ประกอบการ ปริมาณและขนาดของเส้นใยที่เกิดขึ้นส่งผลให้กล้วยตากมีความต้านทานมากขึ้นต่อแรงที่มากระทำ และให้เนื้อสัมผัสมีลักษณะของความนุ่มหนึบมากขึ้น จึงทำให้ต้องใช้แรงในการตัดมากขึ้น อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ใช้หัตถ์แบบเจาะทะลุ ค่าแรงลัพท์ที่ได้จึงเป็นค่าความแข็ง แต่ไม่ส่งผลให้เกิดความแข็งกระด้างเพิ่มขึ้น จึงสามารถอธิบายค่าความแข็งของกล้วยตากที่สูงขึ้นจากการให้อัลตราโซนิกส์ ดัง (Table 4-5)

Table 4 Effect of ultrasonic treatment for 30 seconds at different frequency waves on desugaring from fresh bananas.

parameters	conventional	ultrasonic technology (30 sec.)			
	method	40 KHz	80 KHz	135 KHz	200 KHz
TSS (^o Brix)	72.00±2.80 ^a	62.00±0.00 ^b	62.00±0.00 ^b	62.00±2.80 ^b	61.00±1.40 ^b
% reduction		13.89	13.89	13.89	15.28
reducing sugar (mg/100g)	147.72±1.02 ^a	132.50±8.10 ^b	123.13±7.64 ^c	110.95±13.36 ^d	110.36±14.18 ^d
% reduction		10.30	16.65	24.89	25.29
non-reducing sugar (mg/100g)	29.87±5.11 ^a	21.66±1.83 ^b	18.26±3.57 ^c	16.09±1.59 ^d	15.84±1.74 ^d
% reduction		27.47	38.86	46.14	46.96
pH	4.74±0.15	4.79±0.08	4.80±0.01	4.76±0.11	4.86±0.15
hardness (g.force)	112.50±5.51 ^c	152.87±2.96 ^a	148.96±6.19 ^a	144.7±11.08 ^{ab}	142.30±4.16 ^b

note: results are expressed as mean values ± standard deviation, determined in triplicate.

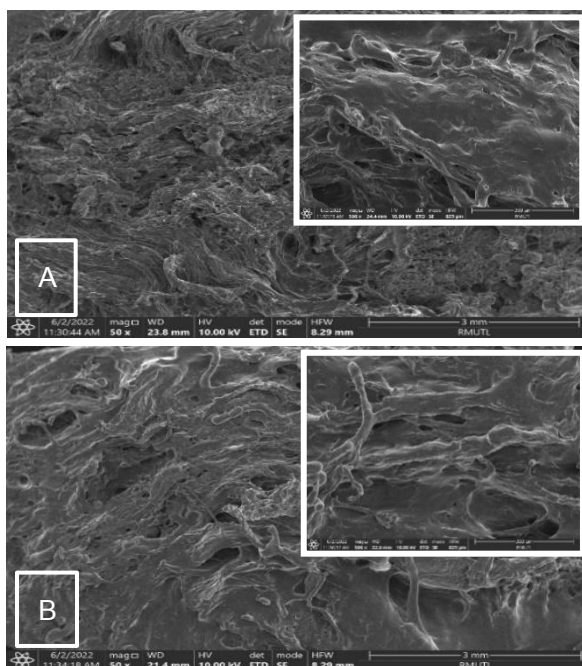
different letters within the same row are significantly different ($p \leq 0.05$).

Table 5 Effect of ultrasonic treatment for 60 seconds at different frequency waves on desugaring from fresh bananas.

parameters	conventional	ultrasonic technology (60 sec.)			
	method	40 KHz	80 KHz	135 KHz	200 KHz
TSS ($^{\circ}$ Brix)	72.00 $\pm$ 2.80 ^a	61.00 $\pm$ 1.40 ^b	61.00 $\pm$ 1.40 ^b	61.00 $\pm$ 1.40 ^b	60.00 $\pm$ 0.00 ^b
% reduction		15.28	15.28	15.28	16.67
reducing sugar (mg/100g)	147.72 $\pm$ 1.02 ^a	118.64 $\pm$ 13.59 ^b	110.50 $\pm$ 9.42 ^c	108.33 $\pm$ 7.54 ^c	102.93 $\pm$ 0.10 ^d
% reduction		19.69	25.19	26.66	30.32
non-reducing sugar (mg/100g)	29.87 $\pm$ 5.11 ^a	17.03 $\pm$ 1.14 ^b	15.32 $\pm$ 2.18 ^c	15.04 $\pm$ 2.18 ^c	12.97 $\pm$ 4.71 ^d
% reduction		42.97	48.72	49.66	56.59
pH	4.74 $\pm$ 0.15	4.71 $\pm$ 0.07	4.85 $\pm$ 0.07	4.88 $\pm$ 0.12	4.77 $\pm$ 0.10
hardness (g.force)	112.50 $\pm$ 5.51 ^c	143.19 $\pm$ 28.50 ^a	139.54 $\pm$ 22.46 ^{ab}	130.97 $\pm$ 1.48 ^b	129.30 $\pm$ 13.57 ^b

note: results were expressed as mean values $\pm$ standard deviation, determined in triplicate.

different letters within the same row are significantly different ($p \leq 0.05$).

**Figure 2** Microstructure of solar dried banana: A) untreated ultrasonic and B) treated ultrasonic obtained by SEM at 50 and 500 magnification.

4. การตรวจสอบคุณภาพและความปลอดภัยของกล้วยตากที่ใช้เทคโนโลยีอัลตราโซนิกส์ลดปริมาณน้ำตาล

สภาวะการลดปริมาณน้ำตาลในกล้วยตากด้วยการให้อัลตราโซนิกส์ จากวัตถุดิบกล้วยสดที่เหมาะสม คือ การให้อัลตราโซนิกส์ที่ 200 กิโลเฮิร์ต (KHz) นาน 60 วินาที แล้วนำไปตากจนครบ 6 วัน ในพาราโบลาโดม โดยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างของทางผู้ประกอบการพบว่า จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า L^* , a^* และ h^* ($p>0.05$) แต่พบว่าค่า b^* , C^* และ ΔE มีแนวโน้มลดลง ด้านเนื้อสัมผัสพบว่ากล้วยตากที่ผ่านการให้อัลตราโซนิกส์ จะมีแนวโน้มให้ค่าความแข็งสูงกว่ากล้วยตากที่ผลิตตามกระบวนการแบบดั้งเดิมของผู้ประกอบการ แต่ไม่

แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตาม พบว่า การให้อัลตราโซนิกส์จะทำให้กล้วยตากที่ได้มีความนุ่มหนึบขึ้น (นุ่มกว่ากล้วยตากที่ผลิตตามกระบวนการแบบดั้งเดิม) แต่การที่พบว่าค่าความแข็งที่เกิดขึ้นจากการให้อัลตราโซนิกส์มีค่าสูงนั้น เนื่องจากการที่เนื้อกล้วยตากมีความนุ่มหนึบ (เหนียว) มากขึ้น จึงต้องใช้ค่าแรงในการเจาะมากขึ้น (หัว P/2) ตามลำดับ การให้อัลตราโซนิกส์สามารถลดปริมาณน้ำตาลในกล้วยตากลงได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และนอกรีตลดลงอย่างชัดเจน และยังมีแนวโน้มต่อการลดลงของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา และแบคทีเรียกรดแลคติก เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตตามกระบวนการแบบดั้งเดิม ดัง (Table 6)

Table 6 Characteristics of solar dried bananas under different treatments.

parameters	solar dried banana	
	conventional method	ultrasonic technology
L^*	41.88±0.13	41.71±0.32
a^*	13.17±0.08	13.39±0.23
b^*	26.06±0.08 ^a	21.49±0.21 ^b
C^*	27.21±0.21 ^a	26.43±0.16 ^b
h^*	66.20±0.03	65.93±0.01
ΔE	51.05±0.12	48.56±0.10
hardness (g.force)	112.50±5.51	129.30±13.57
moisture content (%)	16.30±0.81 ^b	20.53±0.21 ^a
a_w	0.657±0.01 ^b	0.684±0.007 ^a
pH	4.95±0.01	4.77±0.10
TSS (°Brix)	67.00±0.00 ^a	60.00±0.00 ^b
reducing sugar (mg/100g)	147.72±1.02 ^a	102.56±0.63 ^b
non-reducing sugar (mg/100g)	29.87±5.11 ^a	14.80±0.24 ^b
total viable counts (log CFU/g)	2.23±0.03	2.16±0.20

Table 6 Characteristics of solar dried bananas under different treatments (continue).

parameters	solar dried banana	
	conventional method	ultrasonic technology
yeasts and molds (log CFU/g)	2.08±0.10	2.06±0.12
lactic acid bacteria (log CFU/g)	2.33±0.06	2.13±0.08
<i>Staphylococcus aureus</i> [*] (log CFU/g)	<10	<10
<i>Salmonella</i> sp. [*] (positive/negative)	negative	negative
<i>Escherichia coli</i> [*] (MPN/g)	<3	<3

note: results are expressed as mean values ± standard deviation, determined in triplicate.

the different letters within a same row indicate significant difference ($p < 0.05$).

<10 = undetectable in 25 g of sample at 10^{-1} dilution by pour plate technique

<3 = undetectable in 25 g of sample by MPN technique

negative = undetectable by qualitative determination with enrichment medium

^{*} Standard Criteria for Pathogenic Microorganisms in Foods in Notification of the Ministry of Public Health (No. 416) B.E. 2563 (2020) Issued by virtue of the Food Act B.E. 2522 (1979) Re: Prescribing the Quality or Standard, Principles, Conditions and Methods of Analysis for Pathogenic Microorganisms in Foods.

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่ากล้วยตากจะมีค่า C^{*} สูงกว่าในกล้วยน้ำว้า ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยตากจะเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (non-enzymatic browning) (Sawatsitang, 1995) เรียกว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) มิได้เกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบมีเอนไซม์เกี่ยวข้อง ที่เรียกว่า คาราเมลไลเซชัน (caramelization) ปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นจะต้องเป็นน้ำตาลเท่านั้น อีกทั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายโมเลกุลของน้ำตาลจะต้องสูงถึง 200 องศาเซลเซียส (Rattanapanont, 2002) และมิได้เกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบมีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (enzymatic browning) เนื่องจากในระหว่างขั้นตอนของการตากกล้วยที่ทำในโรงเรือน (มีลักษณะเป็นโดม สร้างจากวัสดุชนิดโพลีคาร์บอเนตแบบใส)

ที่พบว่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนจะสูงถึง 60-80 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวนี้สูงพอที่จะทำให้ลายและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ (Rattanapanont, 2002) สอดคล้องกับรายงานของ Sudprasert (2003) ที่พบว่ากิจกรรมการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสในกล้วยจะถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลานาน 10 นาที ในระหว่างการบ่มกล้วย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยตากจึงมีสาเหตุหลักจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด และปฏิกิริยาดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยตาก โดยเกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการผลิตที่มีการตากแดดเป็นระยะเวลา 6 วัน (6 แดด) ซึ่งมีอุณหภูมิสูงปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดจากน้ำตาลรีดิวซิง คีโตสและแอลโดส จะรวมตัวกับหมู่เอมิโน ซึ่งจะได้

เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และเมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไปจะทำให้กล้วยตากเกิดสารสีน้ำตาลที่เรียกว่า เมลานอยดิน (Melanoidins) (Rattanapanont, 2002) เนื่องจากในกล้วยตากยังคงมีปริมาณโปรตีนอยู่ถึง 2.2 กรัม ในส่วนที่กินได้ 100 กรัม (Division of Nutrition, 1987) และในกล้วยตากยังประกอบด้วยปริมาณน้ำตาลกลูโคส และฟรุคโตสที่เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ โดยมีอยู่ในอัตราส่วนประมาณ 4 ต่อ 3 (Thongampai, 2009) และจากผลการสำรวจของ Department of Industrial Promotion (2009) พบว่ากล้วยตากโดยทั่วไปควรมีค่าสี L^* อยู่ในช่วง 32-40 และต้องมีค่าสี b^* มากกว่า 11.31 โดยสีของกล้วยตากจะมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีน้ำตาลแดง ซึ่งจากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าตัวอย่างกล้วยตากมีค่าสี L^* และ b^* อยู่ในระดับที่กำหนด การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะเบื้องต้นของกล้วยตากในระหว่างการตาก ในภาพรวมพบว่าสีของกล้วยตากทั้ง 3 กลุ่ม จะเข้มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการตาก สอดคล้องกับผลการศึกษาที่พบว่าค่าสี L^* , b^* , C^* และ h° จะลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ค่าสี a^* จะเพิ่มสูงขึ้น (Kerddonfag, 2001) เมื่อพิจารณาค่าปริมาณสีน้ำตาลที่วัดได้ในตัวอย่างกล้วยสุกงอมและกล้วยสุก พบว่ามีค่าสูงกว่าที่วัดได้ในตัวอย่างกล้วยดิบ อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำตาลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดในกล้วย (Baini, & Langrish, 2009) ลักษณะเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) มีแนวโน้มที่จะมีความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากอิทธิพลของอุณหภูมิของการตากต่อเนื่องสัมผัสของกล้วยตาก ที่พบว่าหลังจากผ่านการตากครบกำหนดระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม จะส่งผลให้กล้วยตากสูญเสียรูปร่างและมีลักษณะที่กรอบแข็งขึ้น

(Boudhrioua, Michonand, Cuvelier, & Bonazzi, 2002) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ น้ำตาลรีดิวซ์ และนอกรีตจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการระเหยน้ำออกไปจากผลกล้วยในระหว่างกระบวนการตาก โดยทำให้ปริมาณความชื้นลดลง สามารถลดความชื้นจากร้อยละ 69.68 ร้อยละ 19.87 ภายในระยะเวลาการตากในพาราโบลาโดม 6 วัน เมื่อพิจารณาจากปริมาณกรดมาลิก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และอัตราส่วนปริกซ์ต่อกรดในวัตถุดิบกล้วยน้ำว่าสด ร่วมกับคุณลักษณะด้านสี ความแข็ง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และนอกรีตในกล้วยตากแล้วจึงคัดเลือกวัตถุดิบกล้วยน้ำว่าสดอายุ 110 วัน ไปทดลองต่อในส่วนของการลดปริมาณน้ำตาลด้วยการใช้แอลตราโซนิกส์

เมื่อนำวัตถุดิบกล้วยสดมาผ่านการลดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และนอกรีต ซึ่งมีน้ำเป็นตัวกลาง จึงทำให้น้ำตาลดังกล่าวสามารถละลายหรือถูกดึงออกมาในน้ำได้มากกว่านั่นเอง อีกทั้งการใช้กล้วยสดเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตกล้วยตากลดปริมาณน้ำตาลยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยตากที่ผลิตตามกระบวนการแบบดั้งเดิมของผู้ประกอบการ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยตากเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเกิดขึ้นจากอุณหภูมิในการตากที่ค่อนข้างสูง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และใช้เวลานาน ในขณะที่การใช้กล้วยสดมาเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตกล้วยตากลดปริมาณน้ำตาลซึ่งหลังจากผ่านกระบวนการลดปริมาณน้ำตาลลง จะทำให้ปริมาณน้ำตาลลดลงไปกว่าร้อยละ 25-30 เมื่อนำมาตากต่อในพาราโบลาโดม อีก 6 วัน จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดลดลง เนื่องจากสารตั้งต้น (น้ำตาล) ของปฏิกิริยาลดลง

การใช้อัลตราโซนิกส์ จะทำให้เนื้อสัมผัสของกล้วยตากที่ผลิตได้มีความนุ่มหนึบกว่ากล้วยตากที่ผลิตตามกระบวนการแบบดั้งเดิม เนื่องจากคลื่นอัลตราโซนิกส์จะทำให้เกิดกลไกการแตกหัก (fragmentation) ของเซลล์หรือเนื้อเยื่อ เป็นผลให้โครงสร้างเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลายอย่างถาวร (Sombat et al., 2020) ซึ่งนำไปสู่การเกิดรูพรุนจำนวนมากบริเวณเซลล์และรูพรุนเหล่านี้เป็นช่องทางให้เกิดการถ่ายโอนมวลสาร ภายใต้หลักการดึงน้ำตาลออกด้วยวิธีออสโมซิส (osmotic dehydration) จึงมีประสิทธิภาพสูงในการใช้สกัดสารต่าง ๆ เช่น รงควัตถุ โพลีฟีนอล และเพคติน สอดคล้องกับผลการเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของกล้วยตากที่ผ่านการสกัดน้ำตาลออกจากวัตถุดิบกล้วยสด โดยการใช้อัลตราโซนิกส์เปรียบเทียบกับกล้วยตากที่ผลิตตามกระบวนการแบบดั้งเดิมของผู้ประกอบการ ด้วยกล้อง SEM จากภาพตัดขวางบริเวณผิวด้านในของตัวอย่างกล้วยตากทั้ง 2 กลุ่ม พบว่าการใช้อัลตราโซนิกส์ จะทำให้เกิดลักษณะคล้ายเส้นริ้วเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยตากที่ผลิตตามกระบวนการแบบดั้งเดิมของผู้ประกอบการ โดยลักษณะของเส้นริ้วดังกล่าวเกิดขึ้นจากการสร้างความเสียหายแก่ผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อ ทำให้โครงสร้างเนื้อเยื่อของเซลล์ภายในกล้วยตากเกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดรูพรุนของเยื่อหุ้มเซลล์ จึงทำให้น้ำตาลหรือสารอาหารต่าง ๆ ซึมออกมาได้ง่ายขึ้น (Nabil, Fatine, Nikolai, Eugene, & Jean, 2011)

สรุป

วัตถุดิบกล้วยน้ำว้าสดอายุ 110 วัน เหมาะสมที่จะนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กล้วยตาก โดยมีค่า

อัตราส่วนบrixต่อกรดเฉลี่ยที่ 787.87 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ กรดมาลิก น้ำตาลรีดิวิซ์ และนอริดิวิซ์เฉลี่ยที่ 26 องศาบrix ร้อยละ 0.033, 136.05 และ 27.30 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ การใช้อัลตราโซนิกส์แกว้วัตถุดิบกล้วยน้ำว้าสดก่อนนำไปตากที่ 200 กิโลเฮิร์ต (KHz) นาน 30-60 วินาที จะทำให้กล้วยตากที่ได้นั้นมีปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ลดลงจากเดิมถึงร้อยละ 25-30 โดยพบว่าหากเพิ่มระยะเวลาในการใช้อัลตราโซนิกส์ก็จะยังสามารถลดปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ลงได้มากขึ้น ทั้งนี้ สภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาครั้งนี้ คือ การใช้อัลตราโซนิกส์ที่ 200 กิโลเฮิร์ต (KHz) นาน 60 วินาที แล้วนำกล้วยไปตากจนครบ 6 วัน ในพาราโบลาโดม นอกจากนี้การใช้อัลตราโซนิกส์ยังมีแนวโน้มทำให้เนื้อสัมผัสของกล้วยตากที่ผลิตได้มีความอ่อน/นุ่มขึ้นกว่าตัวอย่างกล้วยตากที่ผลิตด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมของผู้ประกอบการ (ไม่ผ่านการใช้อัลตราโซนิกส์) และสีที่ได้ก็มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากนัก จึงมีความเป็นไปได้ว่าสามารถนำเทคโนโลยีอัลตราโซนิกส์ มาประยุกต์ใช้ในการสกัดน้ำตาลออกจากวัตถุดิบกล้วยน้ำว้า ในกระบวนการผลิตกล้วยตากลดปริมาณน้ำตาล

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ.พี.บานาน่า ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

AOAC. (2019). *Official method of analytical* (21th ed.). Gaithersburg, MD: AOAC International.

- Baini, R., & Langrish, T. A. G. (2009). Assessment of colour development in dried bananas – measurements and implications for modeling. *Journal of Food Engineering*, 93, 177-182.
- Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics – Sonochemistry*, 70, 105293.
- Boudhrioua, N. M., Michonand, C., Cuvelier, G., & Bonazzi, C. (2002). Influence of ripeness and air temperature on changes in banana texture during drying. *Journal of Food Engineering*, 55(2), 115-121.
- Department of Industrial Promotion. (2009). *Test the dried banana market*. Retrieved 21 March 2010, from <http://www.ssmwiki.org/index.php>
- De Gennaro, L., Cavella, S., Romano, R., & Masi, P. (1999). The use of ultrasound in food technology I: inactivation of peroxidase by thermosonication. *Journal of Food Engineering*, 39(4), 401-407.
- Division of Nutrition. (1987). *The table shows the value of Thai food in the edible portion of 100 grams*. Bangkok: Department of Health.
- Downes, F. P., & Ito, K. A. (2001). *Compendium of methods for the microbiological examination of foods* (4th ed.). Washington D. C. : American Public Health Association.
- Kerddonfag, P. (2001). *Influence of honey drying conditions and effective retention on the browning of baked bananas* (Master's thesis). Kasetsart University, Bangkok.
- Lubawy, M., & Formanowicz, D. (2023). High-fructose diet-induced hyperuricemia accompanying metabolic syndrome—mechanisms and dietary therapy proposals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 3596.
- Mason, T. J. (1998). Power ultrasound in food processing – the way forward. In M. J. W. Povey, & T. J. Mason (Eds.), *Ultrasound in food processing* (pp. 105-126). London: Blackie Academic & Professional.
- Mizrach, A., Galili, N., & Rosenhouse, G. (1994). Determining quality of fresh products by ultrasonic excitation. *Food Technology*, 48, 68-71.
- Nabil, G., Fatine, M., Nikolai, L., Eugene, V., & Jean, V. (2011). Impact of apple processing modes on extracted juice quality: pressing assisted by pulsed electric fields. *Journal of Food Engineering*, 103, 52-61.
- Nowacka, M., Dadan, M., & Tylewicz, U. (2021). Current applications of ultrasound in fruit and vegetables osmotic dehydration processes. *Applied Sciences*, 11(3), 1269.
- Office of Agricultural Economics. (2022). *Agricultural economic data imports and exports*. Retrieved 20 February 2023, from <http://www.oae.go.th/view/1/siteunderconstruction/TH-TH>
- Rattanapanont, N. (2002). *Food chemistry*. Bangkok: Odeon Store.
- Rizkalla, S. W. (2010). Health implications of fructose consumption: A review of recent data. *Nutrition & Metabolism*, 7, 82.
- Rodrigues, S., Oliveira, F. I. P., Gallao, M. I., & Fernandes, F. A. N. (2009). Effect of immersion time in osmosis and ultrasound on papaya cell structure during dehydration. *Drying Technology*, 27, 220-225.
- Sawatsitang, P. (1995). Food browning and prevention control. *Food Journal*, 25(3), 160-169.

- Silayoi, B. (2002). *Banana*. Bangkok: Kasetsart University Press.
- Sombat, Ch., Malaiphruiwan, T., Kaewta, W., Saikaew, N., Kantala, Ch., & Inta, P. (2020). Effects of pulsed electric field on the osmotic dehydration and mass transfer kinetics of strawberries tissue. *Thai Science and Technology Journal*, 28(5), 928-948.
- Sudprasert, S. (2003). *Control of browning in dried banana Musa sapientum L. products* (Master's thesis). Chulalongkorn University, Bangkok.
- Taskinen, M. R., Packard, C. J., & Borén, J. (2019). Dietary fructose and the metabolic syndrome. *Nutrients*, 11(9), 1987.
- Tassanaudom, U., Wangchai, K., Inta, P., Sapinkhonburee, W., Rodsap, Ch., & Chaiwat, P. (2022). *Innovation for low sugar solar dried banana production using ultrasonic technology and pulses electric field* (research report). Phitsanulok: Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok.
- Tavakolipour, H., & Zirjani, L. (2014). Banana chips production by hot air and microwave dehydration methods: A comparative study. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 21(10), 1828-1836.
- Thongampai, P. (2009). *Dried banana nectar*. Retrieved 23 March 2010, from <https://www.komchadluek.net/kom-lifestyle/27417>
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probability and statistics for engineers and scientists*. Boston, MA: Prentice Hall, Pearson Education.
- Wongwaiwech, D., Kamchonemenukool, S., Ho, C. T., Li, S., Thongsook, T., Majai, N., Premjet, D., Sujipuli, K., & Weerawatanakorn, M. (2022). Nutraceutical difference between two popular Thai Namwa cultivars used for sun dried banana products. *Molecules*, 27(17), 5675.