



<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index>

บทความวิจัย

การศึกษาและพัฒนาตู้อบแห้งทรงกระบอกแบบถาดหมุนโดยใช้อากาศร้อน เพื่อใช้ในกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรประเภทอบแห้ง

รักพงษ์ ชันธวิวิ¹ สวาส อาจสาสิทธิ์² กันตพงษ์ แซ่โล³ และปิยะพงษ์ สิงห์บัว^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 ประเทศไทย

²สาขาวิชาการจัดการและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 ประเทศไทย

³ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002 ประเทศไทย

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history	การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาตู้อบแห้งทรงกระบอกแบบถาดหมุนโดยใช้อากาศร้อนสำหรับใช้ในกระบวนการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร การทดสอบได้ดำเนินการกับกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการทอดและสไลด์น้ำมัน เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการอบ ได้แก่ อุณหภูมิการอบ 3 ระดับ (70, 80 และ 90°C และระยะเวลาในการอบ 4 ระดับ (5, 10, 15 และ 20 นาที) ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิและเวลาที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการลดความชื้นและการใช้พลังงาน โดยที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 20 นาที สามารถลดความชื้นของกล้วยทอดจาก 5.05 % เหลือ 2.85 % ซึ่งได้สีของผลิตภัณฑ์หลังการอบตามที่ต้องการ โดยใช้พลังงาน 1.62 kWh ผลการวิจัยยังพบว่า อุณหภูมิสูงส่งผลให้การลดความชื้นเร็วขึ้น แต่ก็ใช้พลังงานมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับตู้อบลมร้อนทรงสี่เหลี่ยมทั่วไป ตู้อบทรงกระบอกแบบถาดหมุนที่พัฒนาขึ้นสามารถทำให้การไหลของอากาศร้อนสม่ำเสมอ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ได้ดียิ่งขึ้น การศึกษานี้จึงเสนอว่าตู้อบทรงกระบอกแบบถาดหมุนเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร และลดต้นทุนพลังงานในกระบวนการอบแห้ง โดยสามารถปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับการผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป
รับ: 26 กันยายน 2567	
แก้ไข: 30 ตุลาคม 2567	
ตอบรับการตีพิมพ์: 11 พฤศจิกายน 2567	
ตีพิมพ์ออนไลน์: 25 พฤศจิกายน 2567	
คำสำคัญ	
กล้วย	
อบลดความชื้น	
ผลิตภัณฑ์แปรรูป	

บทนำ

กล้วย ชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa sp.* เป็นพันธุ์ไม้ท้องถิ่นของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีคุณค่าอาหารสูง ให้พลังงาน 100 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม กล้วยสุกย่อยง่าย ให้คาร์โบไฮเดรตและวิตามินเอสูง ทั้งกล้วยดิบและกล้วยสุกนำมาใช้แก้อาการผิดปกติของทางเดินอาหาร แก้อาการของโรคกระเพาะ แก้อาการท้องผูก ช่วยแก้ปวดข้อ แก้ไข ช่วยลดความดันโลหิตสูง แก้เจ็บคอ แก้เบาหวาน แก้ปัสสาวะขัด และริดสีดวงทวาร (Horticultural Research Institute, 2024) สามารถนำทุกส่วนของกล้วยมาใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่ใบ กาบ หัวปลี และผล ทั้งในรูปแบบของอาหาร ไม้ใช้อาหาร พืชกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน และใช้เป็นยารักษาโรค ปัจจุบันกล้วยที่นิยมปลูกเพื่อเป็นการค้าในประเทศไทย มีอยู่ 3 ชนิด คือ กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอม (Database for Promoting and Upgrading the Quality of OTOP Products, 2024) ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วย

ประมาณ 481,639 ไร่ ในจำนวนนี้มีพื้นที่ปลูกกล้วยน้ำว้ามากที่สุด จำนวน 328,456 ไร่ กล้วยไข่จำนวน 63,233 ไร่ กล้วยหอมจำนวน 62,525 ไร่ และกล้วยอื่น ๆ จำนวนประมาณ 27,425 ไร่ (Kamphaeng Phet Provincial Agriculture and Cooperatives Office, 2023) ในปี 2566 ประเทศไทยได้มีผลผลิตกล้วยหอมทอง 120,397 ตัน ซึ่งได้ทำการส่งออกกล้วยหอมทองอยู่ที่ 1,521 ตัน คิดเป็นมูลค่า 53 ล้านบาท โดยประเทศไทยได้โควตาส่งออกกล้วยหอมทองไปญี่ปุ่นปีละ 8,000 ตัน แต่ปัจจุบันส่งออกได้เพียง ปีละ 1,521 - 6,446 ตัน (2564-2566) เนื่องจากผลผลิตไม่ได้ตามคุณภาพที่ญี่ปุ่นกำหนด (Ministry of Commerce, 2024) จึงมีการนำผลผลิตกล้วยที่ไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการมาแปรรูป เพื่อไม่ให้ไร้ประโยชน์ และสามารถเก็บได้นานขึ้น อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลผลิตกล้วย (Thai Encyclopedia for Youth, 2022) กล้วยอบแห้ง จึงกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมนำมาแปรรูป เนื่องจากกระบวนการอบแห้งไม่ได้ทำให้

*Corresponding author

E-mail address: piyapong_sin@vu.ac.th (P. Singbua)

Online print: 25 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.49>

คุณค่าของกล้วยสูญหายไป เพียงแค่เนื้อสัมผัสแห้งลง เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับคนรักสุขภาพ (Maneefruit, 2019)

การอบแห้ง เป็นหนึ่งในกระบวนการปัจจัยหลักของเกือบทุกการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่สำคัญ เป็นกระบวนการที่น้ำถูกดึงออกจากอาหารเพื่อหยุดหรือชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เน่าเสีย เช่นเดียวกับการชะลอปฏิกิริยาเคมี (Pornchaloempong & Rattanapanon, 2024) การทำแห้ง สามารถทำได้หลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น การตากแห้งอาหาร (food drying) หมายถึง การทำแห้งโดยอาศัยธรรมชาติ เช่น การตากแดด ส่วนการทำแห้งอาหาร (food dehydration) หมายถึง การทำแห้งโดยอาศัยเครื่องมือในการอบแห้ง เช่น ตู้อบ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry) และอื่น ๆ ภายใต้สภาวะที่มีการควบคุม (Potter & Hotchkiss, 1998) ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลักการพื้นฐานของเครื่องอบหรือการอบเพื่อลดความชื้นแก่วัสดุนั้นมีความคล้ายคลึงกัน แต่แตกต่างกันในด้านการลำเลียงความร้อน หรือการนำความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบ รวมถึงการกำหนดวัสดุที่นำมาอบจะให้อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ได้ และส่วนมากลักษณะของตูอบนั้นจะมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งจากหลายงานวิจัยที่ทำการจำลองการไหลของความร้อนด้วยคอมพิวเตอร์จะพบว่า ผนังห้องอบที่เป็นกล่องนั้นจะสะท้อนความร้อนและทำให้การไหลมีความแปรปรวนภายในระบบ โดยในงานวิจัยที่ผ่านมาได้ระบุว่าตูอบแห้งแบบสี่เหลี่ยมมีปัญหาความแปรปรวนในการกระจายความร้อนและการสะท้อนของผนังห้องอบ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาความไม่สม่ำเสมอในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ นอกจากนี้ ยังพบว่าการออกแบบที่เป็นทรงกระบอกสามารถช่วยให้การไหลของความร้อนและอากาศในระบบเป็นไปได้อย่างราบรื่นมากขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนและลดพลังงานที่สูญเสียไป (Dev & Raghavan, 2012)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาตูอบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนโดยใช้อากาศร้อนเพื่อใช้ในการกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรประเภทอบแห้ง โดยตูอบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนที่พัฒนาขึ้นนี้ถือเป็นนวัตกรรมที่มุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาของตูอบแบบเดิม โดยเฉพาะในด้านการกระจายความร้อนและการไหลเวียนของอากาศภายในตูอบ โดยตูอบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนได้รับการออกแบบมาให้มีการหมุนของลาดเพื่อช่วยให้อากาศร้อนสามารถไหลเวียนไปทั่วทุกมุมของวัสดุที่นำมาอบ ช่วยลดปัญหาการสะสมของความชื้นในบางส่วน ทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพการอบที่สม่ำเสมอ ลดการสูญเสียพลังงาน

ที่ไม่จำเป็น และลดระยะเวลาในการอบลง อีกทั้งการออกแบบรูปทรงกระบอกช่วยลดการสะท้อนความร้อนจากผนังที่พบในตูอบแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งส่งผลให้การไหลเวียนของอากาศภายในตูอบมีประสิทธิภาพมากขึ้น การไหลเวียนของความร้อนและอากาศที่ดีขึ้นจะช่วยลดความแปรปรวนของความร้อนและความชื้น ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะในกระบวนการแปรรูปกล้วยน้ำว้าอบแห้งซึ่งต้องการคุณภาพที่สม่ำเสมอและปราศจากความชื้นส่วนเกิน ซึ่งจะทำให้การทดสอบกับกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการทอดและสไลด์น้ำมัน ซึ่งได้จากกลุ่มกิจการบ้านสวนฉิมพลี เลขที่ 222 หมู่ที่ 2 ตำบลหนองจะบก อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ที่ได้ทำการประกอบกิจการแปรรูปสินค้าทางการเกษตรประเภทกล้วย โดยมีผลิตภัณฑ์หลักหลากหลายชนิด เช่น กล้วยน้ำว้าทอดกรอบรสชาติต่าง ๆ 5 รสชาติ และ กล้วยทอดกรอบใส่ไส้มะขาม เป็นต้น โดยจะเปรียบเทียบกับตูอบลมร้อนทรงสี่เหลี่ยมตามท้องตลาดของกลุ่ม พร้อมศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการอบตูอบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุน ได้แก่ อุณหภูมิการอบ มีค่าชี้ผลในการศึกษาได้แก่ 1) ความชื้นหลังการอบ 2) ระยะเวลาในการอบ 3) พลังงานที่ใช้ในการอบ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการคำนวณกำลังการผลิต ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่อไป โดยมีการตั้งสมมุติฐานคือ อุณหภูมิในการอบที่เหมาะสมจะช่วยลดปริมาณความชื้นในผลผลิตได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งจะช่วยลดโอกาสการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงได้คุณลักษณะตามที่ต้องการของกลุ่ม

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

แนวความคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องจักร

จากการศึกษาและการวิจัยรูปแบบเครื่องอบชนิดต่าง ๆ ตามท้องตลาด ซึ่งประสบปัญหาการสะท้อนของลมร้อนดังนั้นในงานนี้จึงมีการศึกษาและออกแบบตูอบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนที่ออกแบบให้มีทางเข้าของอากาศร้อนไหลเวียนในตูอบตามแนวเส้นสัมผัสวงกลม ซึ่งจะช่วยให้การไหลของอากาศนั้นมีความสม่ำเสมอ (Aktaş, et al., 2017) และจะเพิ่มช่องว่างตรงกลางของลาดใส่ผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อน และพาความร้อนของผลิตภัณฑ์ออกไปทั้งสู่บรรยากาศได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมีแบบร่างเครื่องต้นแบบดังแสดงใน Figure 1

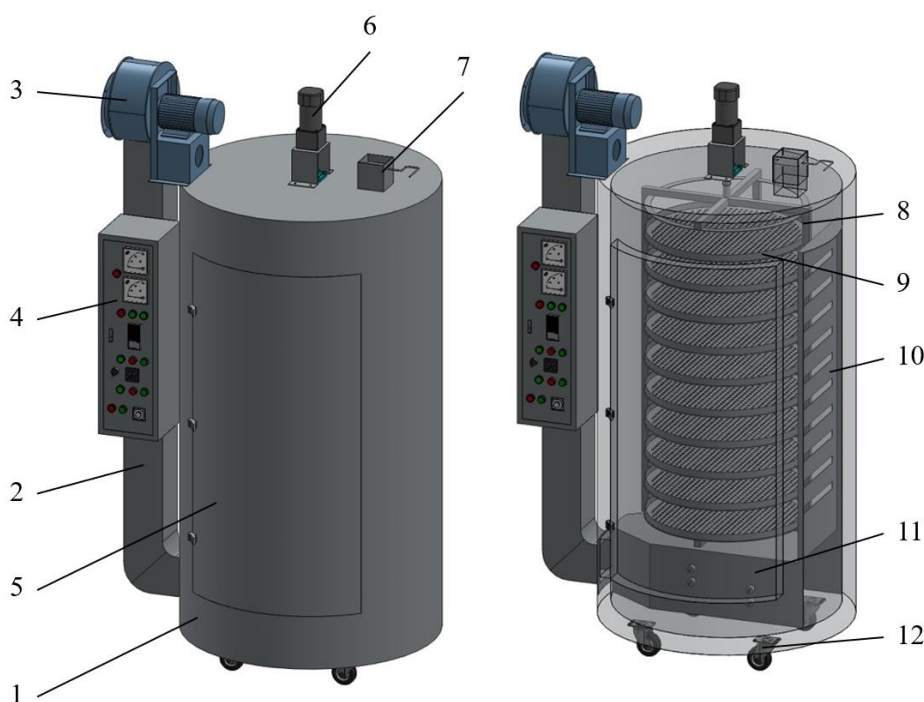


Figure 1 Rotating tray air-circulating drying.

1 = Cylindrical drying chamber, 2 = Air inlet pipe, 3 = Air intake fan, 4 = Control panel, 5 = Drying chamber door,

6 = Tray rack rotation motor, 7 = Air outlet pipe, 8 = Tray rack, 9 = Storage tray, 10 = Hot air outlet inside the drying chamber, 11 = Heater, 12 = Wheels.

หลักการทำงานของเครื่องดัง Figure 1 คือ เมื่อทำการเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการอบ จะทำการจัดเรียงวัตถุดิบลงในถาดบรรจุ (หมายเลข 9) ทำการเปิดประตูถังอบ (หมายเลข 5) ที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของถังอบทรงกระบอก (หมายเลข 1) ที่มีล้อ (หมายเลข 12) ช่วยในการเคลื่อนย้าย ทำการบรรจุถาดบรรจุ (หมายเลข 9) ลงในชั้นวางถาด (หมายเลข 8) เมื่อทำการบรรจุถาดเสร็จสิ้น ทำการปิดประตูถังอบ (หมายเลข 5) ทำการปรับตั้งอุณหภูมิ ความเร็วลม และความเร็วถาดหมุนที่ตู้ควบคุม (หมายเลข 4) เมื่อทำการสั่งเปิดการทำงานของเครื่อง ฮีตเตอร์ (หมายเลข 11) จะทำการดึงกระแสไฟเพื่อสร้างความร้อน พัดลมดูดอากาศเข้า (หมายเลข 3) จะทำการดึงอากาศจากสภาพแวดล้อม ผ่านท่ออากาศเข้า (หมายเลข 2) ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนกับฮีตเตอร์ (หมายเลข 11) ก่อนจะเข้าไปยังห้องการอบผ่านช่องทางออกอากาศร้อนในถังอบ (หมายเลข 10) โดยจะกระทบกับถาดบรรจุ (หมายเลข 9) เพื่อเกิดการไล่ความชื้น โดยมีมอเตอร์หมุนชั้นวางถาด (หมายเลข 6) จะทำการหมุนชั้นวางถาด (หมายเลข 8) เพื่อให้เกิดการไล่ความชื้นได้อย่างทั่วถึง

การทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง

ทำการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการอบตู้อบแห้งทรงกระบอกแบบถาดหมุน ได้แก่ อุณหภูมิการอบ (A) 3 ระดับ ได้แก่ 70, 80, และ 90°C และ ระยะเวลาในการอบ (B) 4 ระดับ ได้แก่ 5, 10, 15, และ 20 นาที มีค่าชี้ผลในการศึกษาได้แก่ 1) ความชื้นหลังการอบ 2) พลังงานที่ใช้ในการอบ โดยมีปัจจัยควบคุมได้แก่

ปริมาณการอบ 120 กรัมต่อถาด จำนวน 9 ถาดต่อครั้งการอบ (ประสิทธิภาพสูงสุด) โดยมีการคำนึงถึงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการอบแห้ง เพื่อให้การทดลองมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น จะมีการหลีกเลี่ยงการเปิดประตูหรือสัมผัสกับวัตถุดิบในระหว่างการทดลอง เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนและการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในเครื่องอบแห้ง หลังจากนั้นทำการสุ่มกล้วยทอดหลังการอบทุก ๆ 5 นาที ไปอบลดความชื้นที่ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาความชื้นสุดท้ายของตัวอย่าง ตามสมการที่ 1 (Chandramohan & Talukdar, 2014) พร้อมทั้งทำการทดสอบความมีนัยสำคัญด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อทดสอบว่าระดับอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความชื้นอย่างไร พร้อมทั้งทำการทดสอบเปรียบเทียบคู่อื่น Least Significant Difference (LSD) เพื่อระบุค่าที่เหมาะสมที่สุดของอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบ

$$M_{wb} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \%$$

เมื่อ M_{wb} คือ ความชื้นฐานเปียก (% w.b.), m_i คือ มวลของวัสดุเริ่มต้น (kg), m_f คือ มวลของวัสดุแห้ง (ผ่านการอบ) (kg)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง

จากการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่อง ซึ่งทำการ

ทดสอบปัจจัยในด้านของอุณหภูมิการอบ 3 ระดับ ได้แก่ 70, 80, และ 90°C และ ระยะเวลาในการอบ 4 ระดับ ได้แก่ 5, 10, 15, และ 20 นาที โดยมีการจัดวางวัตถุดิบดังแสดงใน Figure 2 ได้ผลการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสม ดังแสดงใน Figure 3 และ Table 1



Figure 2 Arrangement of raw material.

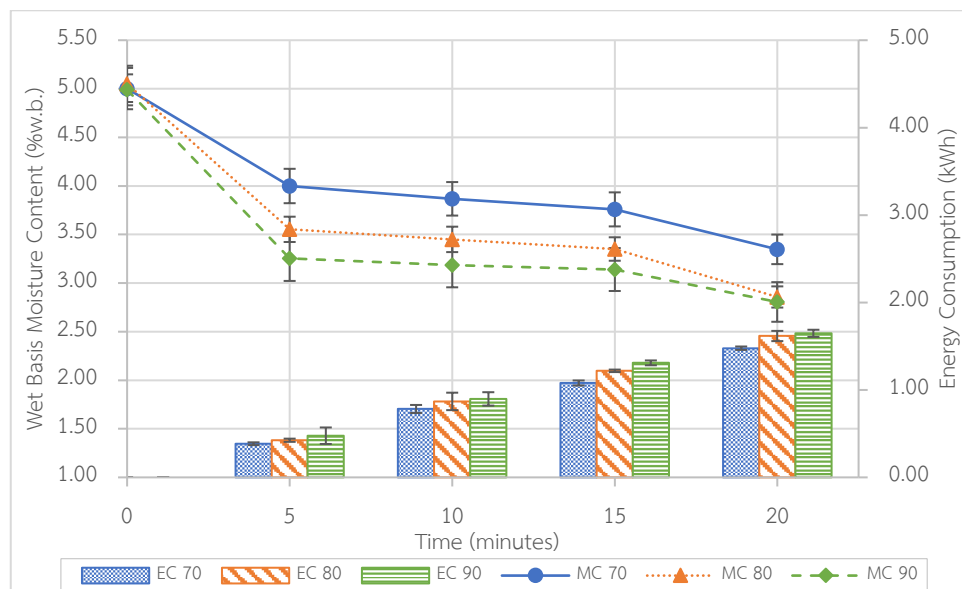


Figure 3 Relationship between moisture content, specific energy, and drying time at different drying temperatures, when MC is moisture content, and EC is Energy consumption.

Table 1 Moisture and energy data used in Drying fried bananas

Temperature (°C)	Time (minutes)	Wet Basis Moisture Content (%)	Energy Consumption (kWh)
70	0	5.00±0.21 ^A	-
	5	4.00±0.18 ^B	0.38±0.02
	10	3.87±0.17 ^{BC}	0.78±0.05
	15	3.76±0.18 ^C	1.08±0.03
	20	3.35±0.15 ^{EF}	1.48±0.02
80	0	5.05±0.19 ^A	-
	5	3.55±0.13 ^D	0.42±0.02
	10	3.45±0.13 ^{DE}	0.87±0.10
	15	3.35±0.12 ^{EF}	1.22±0.01
	20	2.86±0.11 ^H	1.62±0.06
90	0	4.99±0.16 ^A	-
	5	3.25±0.23 ^{FG}	0.48±0.09
	10	3.18±0.23 ^G	0.90±0.08
	15	3.14±0.22 ^G	1.31±0.03
	20	2.81±0.20 ^H	1.65±0.04

The ANOVA results indicate significant effects of both temperature ($F = 120.41$, $P < 0.001$) and time ($F = 604.19$, $P < 0.001$) on moisture content, along with a significant interaction between temperature and time ($F = 8.50$, $P < 0.001$). This suggests that both factors and their interaction are crucial in influencing moisture levels after drying. The Coefficient of Variation (CV) of 4.36 % reflects high reliability in the experimental data, with a Grand Mean moisture content of 3.7073 %. Alpha 0.05, Standard Error for Comparison 0.0762, Critical T Value 1.981, Critical Value for Comparison 0.1511. There are 8 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

จากกราฟ Figure 3 ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นตามฐานเปียก (Wet Basis Moisture Content) และการใช้พลังงานในกระบวนการอบกล้วยทอดที่อุณหภูมิต่าง ๆ (70, 80, และ 90°C) เทียบกับเวลาที่แตกต่างกัน พบว่าความชื้นของกล้วยลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเวลาผ่านไป โดยเฉพาะในช่วงเวลาเริ่มต้น การลดความชื้นมีแนวโน้มเร็วที่สุดในอุณหภูมิ 90°C กราฟแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า (80 และ 90°C) ความชื้นลดลงเร็วกว่าอุณหภูมิ 70°C อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การใช้พลังงานยังเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยในอุณหภูมิสูงกว่าจะต้องใช้พลังงานมากกว่าเช่นเดียวกัน และจาก Table 1 ซึ่งแสดงข้อมูลความชื้นและพลังงานที่ใช้ในการอบกล้วยทอด พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่มีผลอย่างชัดเจนต่อความชื้นของกล้วยและการใช้พลังงาน การอบที่อุณหภูมิ 70°C มีแนวโน้มลดความชื้นจาก 5 % ที่เวลาศูนย์นาที่ เป็น 3.35 % ที่เวลา 20 นาที พร้อมกับการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานจาก 0.38 kWh ที่เวลา 5 นาที เป็น 1.48 kWh ที่เวลา 20 นาที การเปลี่ยนแปลงนี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบและพลังงานที่ใช้ โดยเฉพาะเมื่อเวลาการอบนานขึ้น การใช้พลังงานก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในกรณีของการอบที่อุณหภูมิ 80°C ความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 5.05 % และลดลงอย่างมีนัยสำคัญถึง 2.86 % ภายใน 20 นาที การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 0.42 kWh ที่เวลา 5 นาทีไปจนถึง 1.62 kWh ที่เวลา 20 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้การลดความชื้นเร็วขึ้น แต่ใช้พลังงานมากขึ้น เมื่อทำการอบที่อุณหภูมิสูงสุดที่ 90°C พบว่าความชื้นเริ่มต้นที่ 4.99 % ลดลงเป็น 2.81 % ที่เวลา 20 นาที ซึ่งใกล้เคียงกับการอบที่อุณหภูมิ 80°C อย่างไรก็ตาม การใช้พลังงานที่อุณหภูมิ 90°C

มีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยที่เวลา 20 นาที การใช้พลังงานอยู่ที่ 1.65 kWh ซึ่งสูงกว่าการอบที่อุณหภูมิ 80°C เล็กน้อย จากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบกล้วยทอดเพื่อลดความชื้นอย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้พลังงานให้น้อยที่สุด สำหรับการอบที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ความชื้นลดลงเร็ว แต่ต้องใช้พลังงานมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาปัจจัยเหล่านี้เพื่อหาสมดุลระหว่างความประหยัดพลังงานและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีลักษณะของผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการอบ ดังแสดงใน Figure 4

จากการพิจารณาองค์ประกอบภายนอก หรือค่าสีของกล้วยหลังอบโดยกลุ่มกิจการบ้านสวนฉิมพลี เลขที่ 222 หมู่ที่ 2 ตำบลหนองจบก อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมาเป็นผู้พิจารณา จึงสามารถสรุปปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มประกอบการ คือตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ 80°C เป็นระยะเวลา 20 นาที เนื่องจากให้ลักษณะของสีตามที่กลุ่มต้องการ เนื่องจากลักษณะของสีมีสีเหลืองที่เข้มขึ้นอย่างชัดเจน โดยสีเริ่มเปลี่ยนไปในโทนส้มอ่อน แสดงให้เห็นว่าการอบที่อุณหภูมินี้ทำให้กล้วยสูญเสียความชื้นได้มากขึ้น ทำให้สีของกล้วยเปลี่ยนไปอย่างชัดเจน แต่สำหรับที่ 70°C ยังคงความคล้ายคลึงกับสีของกล้วยสด และ 80°C มีสีเหลืองเข้มจนเกือบจะเป็นสีส้ม ซึ่งแสดงถึงการสูญเสียน้ำมากที่สุดจากทั้งสามระดับอุณหภูมิ สีของกล้วยมีความเข้มและดูกระด้างกว่า โดยสามารถคำนวณเป็นกำลังการผลิตเท่ากับ 4.55 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือคิดเป็น 36.38 กิโลกรัมต่อวัน และสามารถคำนวณต้นทุนการผลิตต่อหน่วยจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ที่ 6.47 บาทต่อชั่วโมง หรือคิดเป็น 51.74 บาทต่อวัน เมื่อนำตัวอย่างที่ผ่านการอบที่ปัจจัยที่เหมาะสม จะมีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังแสดงใน Figure 5

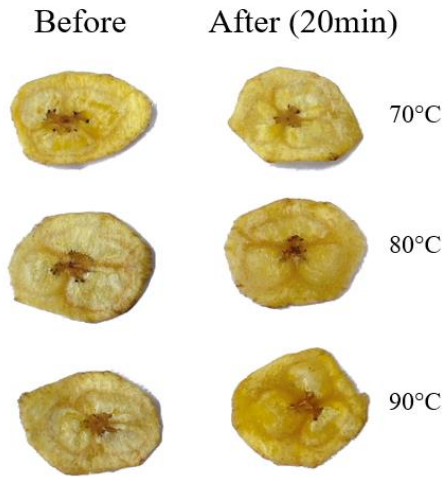


Figure 4 Color samples of bananas after drying for 20 minutes at different temperatures.



Figure 5 Banana drying products.

การเปรียบเทียบเครื่องต้นแบบ

เมื่อทำการเปรียบเทียบเครื่องต้นแบบกับงานวิจัยอื่น ที่มีการอบผลิตภัณฑ์กล้วยในรูปแบบต่าง ๆ การวิจัยในงานนี้ใช้วิธีการอบแห้งด้วยถาดหมุนและระบบหมุนเวียนอากาศที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 20 นาที โดยความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 5.05 % ฐานเปียก และลดลงเหลือ 2.85 % ฐานเปียก ในขณะที่งานวิจัยอื่น ๆ ใช้เทคนิคและเครื่องมือที่แตกต่างกัน เช่น การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้เวลา 36 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C (Keawsuntia, 2021) หรือการใช้วิธีการอบแห้งด้วยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 170°C เป็นเวลา 60-80 นาที

ซึ่งสามารถลดความชื้นจาก 68 % ลงเหลือ 15 % (Inprasit et al., 2021) อีกทั้งยังมีการใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบอ้อมที่อุณหภูมิ 80°C ใช้เวลา 16 ชั่วโมง โดยมีอัตราส่วนความชื้นสุดท้ายที่ 0.20 (Mawire et al., 2024) และการใช้เครื่องอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่พัฒนาให้ใช้พลังงานความร้อนจากกระบวนการผลิตถ่านที่อุณหภูมิ 70°C ใช้เวลา 17.75 ชั่วโมง โดยมีความชื้นสุดท้ายที่ 34.21 % (Chunkaew et al., 2018) การเปรียบเทียบนี้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของวิธีการอบและผลลัพธ์ด้านความชื้นในกล้วยอบแห้ง ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Comparison of research

Research	Tools	Test Results	References
Study and development of a rotating tray air-circulating drying cylindrical chamber for application in the agricultural product drying process	Rotating Tray Air-Circulating Drying	80°C 20 mins The initial moisture content is 5.05 % (w.b.) and reduced to 2.85 % (w.b.).	This study
Design and Testing of a Passive Solar Dryer for Banana Drying	Solar Dryer	55°C 36 hrs The initial moisture content is 80 % (w.b.) and reduced to 10 % (w.b.).	Keawsuntia (2021)

Table 2 Comparison of research (Continue)

Research	Tools	Test Results	References
Study of Drying Raw Banana by Vacuum Cooperate with Superheated Steam Technique	Vacuum Cooperate with Superheated Steam	170°C 60-80 mins (vacuum drying) - The initial moisture content is 68 % (w.b.) and reduced to 15 % (w.b.).	Inprasit et al. (2021)
An experimental evaluation of drying banana slices using a novel indirect solar dryer under variable conditions	Indirect solar dryer	80°C 16 hrs - The final moisture ratios are 0.20	Mawire et al. (2024)
Bananas Drying Performance with a Developed Hot Air Dryer Using Waste Heat from Charcoal Production Process	Hot Air Dryer	70°C 17.75 hrs - The final moisture content is 34.21 % (w.b.)	Chunkaew et al. (2018)
Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season	Air-drying of banana	Drying times to reach 70 % mass loss for drying 1 cm banana slabs: 30°C: 100 hrs 40°C: 42 hrs 50°C: 31 hrs 60°C: 22 hrs 70°C: 11 hrs	Nguyen & Price (2007)

จาก Table 2 ตารางเปรียบเทียบการวิจัยที่ใช้วิธีการอบแห้งด้วยเครื่องอบประเภทต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของเทคโนโลยีที่ใช้ในการลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ เช่น การใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อน การอบแห้งแบบทางอ้อม และการอบแห้งด้วยลมร้อน ในแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป เช่น การใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พลังงานต่ำแต่ใช้เวลานานกว่าและมีความเสถียรของอุณหภูมิที่ไม่คงที่

วิธีการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนที่ผู้วิจัยเลือกใช้นั้นได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อตอบโจทย์ข้อจำกัดของเทคโนโลยีแบบเดิม โดยมีจุดเด่นคือการกระจายความร้อนที่สม่ำเสมอและการไหลเวียนของอากาศที่มีประสิทธิภาพ ด้วยการออกแบบให้ลาดหมุนอยู่ภายในตู้อบ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนจากทุกทิศทาง ทำให้อลดความชื้นได้รวดเร็วและประหยัดพลังงานมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถปรับอุณหภูมิและเวลาการอบได้อย่างแม่นยำเพื่อให้ได้ความชื้นและสีของผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ โดยประสิทธิภาพของตู้อบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนในการลดความชื้น สามารถทำได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ ซึ่งเหมาะสมกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอื่น ๆ

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองพัฒนาตู้อบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนโดยใช้อากาศร้อนเพื่อใช้ในการกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรประเภทอบแห้ง พบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการอบคืออุณหภูมิที่

80°C เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งสามารถลดความชื้นของกล้วยทอดจาก 5.05 % ลงเหลือ 2.85 % โดยใช้พลังงาน 1.62 kWh หรือคิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า 0.07 บาทต่อกรัมวัตถุดิบ ในระยะเวลา 20 นาที กำลังการผลิตเท่ากับ 4.55 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือคิดเป็น 36.38 กิโลกรัมต่อวัน และสามารถคำนวณต้นทุนการผลิตต่อหน่วยจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ที่ 6.47 บาทต่อชั่วโมง หรือคิดเป็น 51.74 บาทต่อวัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ตู้อบแห้งทรงกระบอกแบบลาดหมุนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งได้เมื่อเปรียบเทียบกับตู้อบลมร้อนทรงสี่เหลี่ยมทั่วไป ทั้งนี้ การเลือกอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการลดความชื้นและการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้ง การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงช่วยให้การลดความชื้นเป็นไปได้เร็วขึ้น แต่ก็ต้องใช้พลังงานมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งควรพิจารณาเพื่อหาสมดุลระหว่างคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล กิจการบ้านสวนฉิมพลี ผู้สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้ง ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และบุคลากร เพื่อให้งานวิจัยนี้เสร็จเรียบร้อยสมบูรณ์

References

Aktaş, M., Khanlari, A., Aktekel, B., & Amini, A. (2017). Analysis of a new drying chamber for heat pump mint leaves dryer.

- International Journal of Hydrogen Energy*, 42(28), 18034–18044. doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.03.007
- Chandramohan, V. P., & Talukdar, P. (2014). *Estimation of equilibrium moisture content and drying time of potato through hot air drying*. August 30, 2024. Retrieved from file:///C:/Users/ACER24/Downloads/chp-10.10072F978-81-322-2743-4_21.pdf
- Chunkaew, P., Tavata, A., Khadwilard, A., & Sriudom, Y. (2018). Bananas drying performance with a developed hot air dryer using waste heat from charcoal production process. *RMUTP Research Journal*, 12(1), 147–158. doi: 10.14456/jrmutp.2018.13
- Database for Promoting and Upgrading the Quality of OTOP Products. (2024). *Banana processing*. Accessed August 12, 2024. Retrieved from <http://otop.dss.go.th/index.php/en/knowledge/informationpack/139-2017-07-04-04-00-08?showall=1&limitstart=> (in Thai)
- Dev, S. R. S., & Raghavan, V. G. S. (2012). Advancements in drying techniques for food, fiber, and fuel. *An International Journal*, 30(Spec. 11–12), 1147–1159. doi: 10.1080/07373937.2012.692747
- Horticultural Research Institute. (2024). *Banana*. Accessed August 13, 2024. Retrieved from https://www.doa.go.th/hort/?page_id=52843 (in Thai)
- Inprasit, C., Fungthongcharoen, T., & Apinaonivej, P. (2021). Study of drying raw banana by vacuum cooperate with superheated steam technique. *Journal of Science and Technology*, 10(3), 25–34. (in Thai)
- Kamphaeng Phet Provincial Agriculture and Cooperatives Office. (2023). *Banana variety “Sukhothai 1” high yield, excellent nutritional value*. Accessed August 13, 2024. Retrieved from https://www.opsmoac.go.th/kamphaengphet-local_wisdom-preview-451491791824 (in Thai)
- Keawsuntia, Y. (2021). Design and testing of a passive solar dryer for banana drying. *Journal of Vongchavalitkul University*, 34(1), 60–74. (in Thai)
- Maneefruit. (2019). *Dried bananas*. Accessed August 13, 2024. Retrieved from <http://www.maneefruit.com/article/18/> (in Thai)
- Mawire, A., Ramokali, M., Mothupi, M., & Vanierschot, M. (2024). An experimental evaluation of drying banana slices using a novel indirect solar dryer under variable conditions. *Heliyon*, 10(7), e28268. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e28268
- Ministry of Commerce. (2024). *Gros Michel banana*. Accessed August 13, 2024. Retrieved from <https://regional.moc.go.th/th/file/get/file/202404296bc608228650237357e6e42b033fc6b1094417.pdf> (in Thai)
- Nguyen, M. H., & Price, W. E. (2007). Air-drying of banana: influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 200–207. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.01.063
- Pornchaloempong, P., & Rattanapanon, N. (2024). *Dehydration*. Accessed August 19, 2024. Retrieved from <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0277/dehydration-%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%97%E0%B8%B3%E0%B9%81%E0%B8%AB%E0%B9%89%E0%B8%87> (in Thai)
- Potter, N. N., & Hotchkiss, J. H. (1998). *Food Science* (5th ed.). Maryland, United States: Aspen Publishers, Inc.
- Thai Encyclopedia for Youth. (2022). *Banana processing*. Accessed August 13, 2024. Retrieved from https://saranukromthai.or.th/ebooks/?page_id=224 (in Thai)

Research article

Study and development of a rotating tray air-circulating drying cylindrical chamber for application in the agricultural product drying process

Rakpong Khanthawithi¹ Swas Oajsalee² Kantapong Khaeso³ and Piyapong Singbua^{1*}

¹Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering and Architecture, Vongchavalitkul University, Nakhon Ratchasima Province 30000, Thailand

²Department of Management and Logistics Engineering Faculty of Engineering and Architecture, Vongchavalitkul University, Nakhon Ratchasima Province 30000, Thailand

³Agricultural Machinery and Postharvest Technology Center, Khon Kaen University, Khon Kaen Province 40002, Thailand

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 26 September 2024

Revised: 30 October 2024

Accepted: 11 November 2024

Online published: 25 November 2024

Keyword

Banana

Dehydrated

Processed products

ABSTRACT

This research aimed to study and develop a cylindrical rotating tray dryer using hot air for drying agricultural products. The experiment was conducted on fried and oil-drained bananas to determine the optimal drying factors, which included three temperature levels (70, 80, and 90°C) and four drying times (5, 10, 15, and 20 minutes). The results showed that temperature and time significantly affected moisture reduction and energy consumption. At a temperature of 80°C for 20 minutes, the moisture content of fried bananas was reduced from 5.05 % to 2.85 %, achieving the desired color of the product with an energy consumption of 1.62 kWh. The study also found that higher temperatures resulted in faster moisture reduction but increased energy usage. Compared to conventional rectangular hot-air dryers, the developed cylindrical rotating tray dryer provided more uniform hot air flow and enhanced moisture removal efficiency from the product. This study suggests that the cylindrical rotating tray dryer is a promising option for improving the drying efficiency of agricultural products and reducing energy costs in the drying process, with the potential for further adaptation for commercial production.

*Corresponding author

E-mail address: piyapong_sin@vu.ac.th (P. Singbua)

Online print: 25 November 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.49>