

การพัฒนากระบวนการผลิตหน่อไม้ไผ่รวกที่เหมาะสมสำหรับวิสาหกิจชุมชน: ผลของการต้มและการนึ่ง
ต่อคุณภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และประสิทธิภาพการผลิต
Development of Appropriate Processing of *Thyrsostachys siamensis* Bamboo Shoots
for Community Enterprises: Effects of Boiling and Steaming on Quality, Nutritional
Characteristics, and Production Efficiency

วเลิวรรณ แฉ่งประเสริฐ¹ พลอยไพลิน สุวรรณเนตร¹ พิมพ์สิรี สุวรรณ² และอารณี โชติโก^{1,*}
Waleewan Changpasert¹, Ploypailin Suwannate¹, Pimsiree Suwan², Arranee Chotiko^{1,*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และการจัดการเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

²ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

¹Division of Food Science and Technology Management, Faculty of Science and Technology,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand

²Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand

Received: 07-06-2026, Revised: 28-06-2026, Accepted: 28-06-2026, Published: 22-09-2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการแปรรูปหน่อไม้ไผ่รวกแบบต้มของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดปราจีนบุรีให้มีประสิทธิภาพ คงไว้ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ รวมทั้งมีคุณภาพตามมาตรฐานที่ผู้บริโภคยอมรับ หน่อไม้ไผ่รวกของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดปราจีนบุรีที่มีความยาวแตกต่างกันถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนตามตำแหน่งความยาวได้แก่ ส่วนปลาย ส่วนกลาง และส่วนท้าย ถูกนำไปต้มและนึ่ง และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน เยื่อใย สารประกอบฟีนอลิก และการเปลี่ยนแปลงของค่าสีและเนื้อสัมผัส และกระบวนการที่เหมาะสมถูกนำไปขยายขนาดกำลังการผลิตเพื่อประเมินระยะเวลาในการผลิตที่เหมาะสม ผลการทดลองพบว่า ปริมาณโปรตีนในหน่อไม้ไผ่รวกที่ตำแหน่งความยาวของหน่อไม้ (จากปลายยอดถึงโคน) มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยส่วนปลายจะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าส่วนกลางและส่วนท้าย ในทางตรงกันข้ามปริมาณเยื่อใยจะพบมากที่สุดในส่วนท้าย ตามด้วยส่วนกลาง และส่วนปลายของหน่อไม้ตามลำดับ เมื่อให้ความร้อนกับหน่อไม้โดยการต้มและการนึ่งพบว่า รูปแบบการแพร่กระจายความร้อนและระยะเวลาในการส่งผ่านความร้อนของหน่อไม้ส่วนปลายจะมีอุณหภูมิที่คงที่เร็วกว่าส่วนกลางและส่วนท้าย แต่อย่างไรก็ตามอัตราเร็วในการแพร่กระจายความร้อนในหน่อไม้ระหว่างการต้มและการนึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) หน่อไม้หนึ่งมีปริมาณโปรตีนและสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าหน่อไม้ที่ผ่านการต้ม ค่าสีและเนื้อสัมผัสของหน่อไม้ที่ผ่านการนึ่งจะมีค่าความแข็งน้อยกว่าการต้ม และมีสีเหลืองที่เข้มกว่า กระบวนการนึ่งจึงถูกคัดเลือกเพื่อนำไปทดลองในระดับขยายขนาดด้วยหม้อนึ่ง ความดันไอน้ำในปริมาณ 1 และ 5 กิโลกรัมต่อถุง ที่ระดับกำลังการผลิต 1 ตันต่อรอบการผลิต ผลการทดลองพบว่า การนึ่งหน่อไม้ในถุงขนาดบรรจุ 1 กิโลกรัมต่อถุง จะใช้ระยะเวลาในการนึ่งนาน 9 ชั่วโมง ในขณะที่หน่อไม้บรรจุถุงขนาด 5 กิโลกรัมจะใช้เวลา 14 ชั่วโมง โดยคุณสมบัติทางกายภาพของหน่อไม้ (สีและความแข็ง) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการนึ่งหน่อไม้ด้วยไอน้ำเป็นกระบวนการผลิตที่เหมาะสมกว่าการต้ม ช่วยลดการทำลายของสารสำคัญในหน่อไม้ และสามารถขยายกำลังการผลิตสู่ระดับวิสาหกิจชุมชนได้

คำสำคัญ : หน่อไม้ไผ่รวก, การแปรรูปด้วยความร้อน, การบรรจุแบบร้อน

Abstract

The aim of this study is to develop a processing method to preserve the nutritional value and bioactive compounds of bamboo shoots produced by a community enterprise in Prachinburi Province, as well as ensuring consumer-acceptable quality attributes. *Thyrsostachys siamensis* bamboo shoots with different lengths were divided into three parts according to their position of the shoot, namely the tip, middle, and basal portions. The shoots were boiled or steamed, then determined for protein content, dietary fiber, total phenolic compounds, and physical properties, including texture and colors. Evaluation of the appropriate processing time at a scaled-up level was also observed. The results showed that the position of the shoot had an impact on protein contents in the shoot. The tip of the bamboo shoot had higher protein content than the middle and basal sections. In contrast, the highest dietary fiber content was found in the basal section, followed by the middle and tip sections. During both boiling and steaming, the bamboo shoot's tip reached a stable temperature more rapidly than the middle and basal parts. However, the heat transfer rates of boiling and steaming processes were not significantly different. Steamed bamboo shoots had significantly higher protein and total phenolic contents than boiled bamboo shoots. However, the steamed bamboo shoots had lower hardness but more yellow than the boiled samples. The bamboo shoots were then steamed in a steam-pressure machine with the production capacity of one ton per batch and scaled up to 1 and 5 kg per bag. The results indicated that the 1-kg packed bamboo shoots required 9 h of steaming, while that of 5-kg bags required 14 h. No significant differences in color and hardness were observed between the two packaging sizes. The findings demonstrate that steam processing is more suitable for bamboo shoot production than the boiling method as it could preserve nutritional quality and bioactive compounds as well as maintain desirable physical characteristics. Furthermore, the steaming process can be successfully scaled up for community-enterprise production.

Keywords: Siamese bamboo shoot, Thermal processing, Hot filling

1. บทนำ

ไผ่รวก (*Thyrsostachys siamensis* Gamble) เป็นสายพันธุ์ไผ่ที่มีการกระจายพันธุ์อย่างหนาแน่นในพื้นที่ป่าเบญจพรรณและป่าดิบแล้ง พบมากในเขตภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมถึงประเทศไทย (Sungkaew et al., 2009) ไผ่รวกไม่เพียงแต่มีบทบาทสำคัญในเชิงนิเวศวิทยาในการช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และรักษาความชุ่มชื้นของหน้าดินเท่านั้น แต่ยังเป็นแหล่งความมั่นคงทางอาหารที่สามารถสร้างรายได้หลักให้แก่ชุมชน หน่อไม้จัดเป็นผลผลิตที่สำคัญที่สุดของไผ่รวกซึ่งเจริญเติบโตจากเหง้าใต้ดินในช่วงฤดูฝน (ระหว่างเดือนมิถุนายนถึงตุลาคม) หน่อไม้ไผ่รวกได้รับความนิยมในการบริโภคสูงเนื่องจากมีเนื้อสัมผัสที่กรอบ แน่น มีกลิ่นรสที่เป็นเอกลักษณ์ และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเป็นแหล่งของใยอาหาร โปรตีน กรดอะมิโนที่จำเป็น วิตามินเอ วิตามินซี และแร่ธาตุ เช่น โพแทสเซียมและฟอสฟอรัส ในขณะที่มีปริมาณไขมันและแคลอรีต่ำ (Bajwa et al., 2021) อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของหน่อไม้ไผ่รวกสดคือ มีอัตราการหายใจสูงมากหลังการเก็บเกี่ยว ส่งผลให้เกิดกระบวนการเสื่อมสลายอย่างรวดเร็ว เนื้อสัมผัสจะเริ่มเหนียวและแข็งกระด้างขึ้นเนื่องจากการสะสมของสารลิกนิน (lignification) นอกจากนี้ หน่อไม้สดตามธรรมชาติยังมีสารกลูโคไซด์ที่ปล่อย

ไซยาไนด์ได้ (cyanogenic glycoside) คือ สารแทกซิฟิลลิน (taxiphyllin) ซึ่งเมื่อถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ภายในเนื้อเยื่อจะปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ (hydrogen cyanide: HCN) ซึ่งเป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและระบบประสาทของผู้บริโภคหากได้รับในปริมาณที่เกินมาตรฐาน (Singhal et al., 2013) ด้วยเหตุนี้การบริโภคหรือการส่งจำหน่ายหน่อไม้ไผ่รวกในรูปของสดจึงทำได้จำกัดในด้านเวลาและระยะทาง และการแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและลดปริมาณสารพิษจึงเป็นขั้นตอนที่จำเป็นสำหรับการบริโภค

กระบวนการแปรรูปหน่อไม้ไผ่รวกในระดับชุมชนและอุตสาหกรรม อาศัยเทคโนโลยีการใช้ความร้อนเป็นหลัก การต้มในน้ำเดือดเป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้เพื่อยืดอายุในการเก็บรักษาและแปรรูปสำหรับการบริโภค นอกจากนี้ยังพบว่าการต้มหน่อไม้ในน้ำเดือดกำจัดสารพิษในกลุ่มไซยาไนด์ได้ ทำให้สามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย (Pattarathitiwat et al., 2021) อย่างไรก็ตามการต้มเป็นเวลานานมักส่งผลให้เกิดการสูญเสียสารอาหารที่ละลายในน้ำออกไปกับน้ำที่ใช้ต้มซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณค่าทางโภชนาการและรสชาติหวานตามธรรมชาติของหน่อไม้ (Techamahasaranont et al., 2024) ในขณะเดียวกัน การนึ่งด้วยไอน้ำร้อนเป็นกระบวนการแปรรูปที่น่าสนใจเนื่องจากไอน้ำไม่ได้สัมผัสกับเนื้อเยื่อของหน่อไม้โดยตรงในลักษณะของการแช่ สามารถช่วยลดการสูญเสียสารอาหารที่ละลายในน้ำได้ดีกว่า รายงานวิจัยพบว่าการนึ่งสามารถทำลายเอนไซม์ฟีนอลเลส (phenolase) และเปอร์ออกซิเดส (peroxidase) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (enzymatic browning reaction) ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้หน่อไม้แปรรูปมีสีเหลืองนวลน่ารับประทานและคงความกรอบได้ดี (raw texture retention) (Satya et al., 2010) ปัจจุบันรายงานวิจัยการแปรรูปหน่อไม้ไผ่รวกเกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูป ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (sensory attributes) ที่ผู้บริโภคยอมรับ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหน่อไม้ระหว่างการต้มและการนึ่งยังมีจำกัด

จากความสำคัญข้างต้น งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของกระบวนการต้มและการนึ่งที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของหน่อไม้ไผ่รวก และการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิก ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะใช้เป็นแนวทางและเกณฑ์มาตรฐาน (benchmark) ให้แก่อุตสาหกรรมอาหารชุมชนและโรงงานแปรรูปขนาดใหญ่ในการปรับปรุงสายการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หน่อไม้แปรรูปที่มีความปลอดภัยสูง คงคุณค่าทางโภชนาการสูงสุด และตอบสนองต่อความต้องการของตลาดผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพในปัจจุบัน

2. วัสดุและวิธีการทำวิจัย

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

หน่อไม้ไผ่รวกจากวิสาหกิจชุมชนไผ่เขียวพัฒนา ตำบลโพธิ์งาม อำเภอประจันตคาม จังหวัดปราจีนบุรี ถูกนำมาใช้ในการวิจัยนี้ สารเคมีที่ใช้ประกอบด้วย กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (sulfuric acid), กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid), สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) และสารละลายเอทานอล (ethanol) เข้มข้นร้อยละ 99 จัดซื้อจากบริษัท Fisher Scientific (Fair Lawn, NJ, USA) สารโพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate) และคอปเปอร์ซัลเฟต (copper sulfate) จัดซื้อจากบริษัท Sisco Research Laboratories (Mumbai, Maharashtra, India) ในส่วนสารเคมีฟอลิน-ซีโอคาลทู (Folin-Ciocalteu reagent) ความเข้มข้นร้อยละ 10 และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) ความเข้มข้นร้อยละ 20 จัดซื้อจากบริษัท Fisher Scientific (Fair Lawn, NJ, USA)

2.2 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของหน่อไม้สด

ตัวอย่างหน่อไม้ไผ่รวกที่มีขนาด 30, 40 และ 50 เซนติเมตร จำนวนขนาดละ 20 หน่อ จากวิสาหกิจชุมชนไผ่เขียวพัฒนา ตำบลโพธิ์งาม อำเภอประจันตคาม จังหวัดปราจีนบุรี ที่เก็บเกี่ยวไม่เกิน 24 ชั่วโมง

ถูกนำมาปอกเปลือกออก แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนยอด (Tip; T) ส่วนกลาง (Middle; M) และส่วนปลาย (Bottom; B) ถูกนำมาบดและทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (CCS300 ScanVac, LaboGene, Allerød, Denmark) เก็บรักษาไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟลอยด์ก่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนและเส้นใย

2.3 การต้มและการนึ่ง

2.3.1 ระดับห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างหน่อไม้ทั้ง 3 ส่วนจำนวน 200 กรัม ถูกนำมาต้มในน้ำอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างหน่อไม้ต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 เป็นเวลานาน 120 นาที หรือ ถูกนำมานึ่งภายใต้ไอน้ำเดือดเป็นเวลา 240 นาที โดยเก็บตัวอย่างทุก ๆ 60 นาที ในระหว่างการต้มและนึ่งแบบไอน้ำทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเพื่อหาลักษณะการแพร่กระจายความร้อนด้วยโพรบวัดอุณหภูมิ ชนิด K (thermocouple type K) (TM-747D, Tenmars, China) โดยทำการติดโพรบวัดอุณหภูมิไว้ที่แกนกลางของหน่อไม้แต่ละส่วน หลังจากการต้มหรือนึ่ง ตัวอย่างหน่อไม้ถูกจัดเก็บใส่ถุงลามิเนต (nylon/LLDPE) ปิดผนึกให้สนิท และทำให้เย็นในทันทีเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน เส้นใย ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และคุณสมบัติทางกายภาพ (สีและความแข็ง)

2.3.2 ระดับขยายขนาด (Up-scale)

นำหน่อไม้ปอกเปลือกแล้วที่ส่วนท้ายมีความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยระหว่าง 1.5-2.0 เซนติเมตร (ขนาดเล็ก: S) และ 2.5-3.0 เซนติเมตร (ขนาดใหญ่: B) จำนวน 1.0 กิโลกรัม มาบรรจุในถุงลามิเนต นำมานึ่งในหม้อนึ่งแรงดันไอน้ำขนาดความจุ 1 ตัน และให้ความร้อนด้วยฟืน ในระหว่างการให้ความร้อนบันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในหม้อนึ่งด้วยโพรบวัดอุณหภูมิ ชนิด K เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการแพร่กระจายความร้อน ภายหลังให้ความร้อน หน่อไม้ทั้งถูกนำมาประเมินคุณสมบัติด้านสีและความแข็ง

2.3.3 การวิเคราะห์

1) การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

ตัวอย่างหน่อไม้ถูกทำแห้งด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและบดเป็นผงก่อนนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของโปรตีนในตัวอย่างหน่อไม้ด้วยวิธีเจลดาล์ (Kjeldahl method) (AOAC 920.152, 2019) นำตัวอย่างหน่อไม้ผงปริมาณ 1 กรัม ผสมกับโพแทสเซียมซัลเฟตและคอปเปอร์ซัลเฟตในอัตราส่วน 9:1 ปริมาณ 5 กรัม ทำการเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 200 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำการต้มจนกระทั่งตัวอย่างใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นหรือเติมน้ำกลั่นปริมาตร 60 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องเพื่อทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มอลิตี้นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (ร้อยละ)

$$= \frac{\text{ปริมาตรของกรดที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)} \times \text{ความเข้มข้นของกรด (นอร์มอลิตี)} \times 14.007 \times 6.25}{\text{น้ำหนักตัวอย่างอาหารแห้ง (กรัม)}}$$

2) การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย

ตัวอย่างหน่อไม้ถูกทำด้วยแห้งด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและบดเป็นผงก่อนนำมาวิเคราะห์ ตัวอย่างหน่อไม้ที่ผ่านการหาความชื้นถูกนำมาหาปริมาณเส้นใยด้วยเครื่องวิเคราะห์เส้นใย (FIWE Raw Fiber Extractor, VELD Scientifica, Usmate Velate, Italy) ตามวิธีการ AOAC 962.09 (2019) ตัวอย่างจำนวน 1 กรัมในถ้วย crucible มาทำการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 1.25 จำนวน

150 มิลลิลิตร ที่อุ่นให้ร้อนไว้ก่อน ต้มตัวอย่างจนเดือดเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นทำการดูดกรองออกจากตัวอย่าง ตัวอย่างถูกนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน (30 มิลลิลิตร) จำนวน 3 ครั้ง หลังล้างน้ำครั้งสุดท้ายหมด เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.25 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดนาน 30 นาที กำจัดโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ออกและล้างด้วยน้ำกลั่นร้อนและน้ำกลั่นเย็น ตามด้วยอะซิโตน ปริมาตร 25 มิลลิลิตร หลังจากนั้น นำตัวอย่างไปทำให้แห้งโดยอบที่ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปลอ่ยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักตัวอย่างพร้อม crucible บันทึกค่า (น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง) นำตัวอย่างเข้าเผาที่ 550 องศาเซลเซียส จนเถ้าเป็นสีขาว หลังจากนั้นปลอ่ยให้เย็นในโถดูดความชื้นชั่งน้ำหนักหลังเผา (น้ำหนักของเถ้า) นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าเยื่อใยหยาบ

$$\text{ปริมาณเส้นใย (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของกาก} - \text{น้ำหนักของเถ้า}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างอาหารแห้ง}} \times 100$$

3) การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

นำหน่อไม้ตัวอย่างละ 5 กรัม มาสกัดด้วยเครื่องปั่นกับสารละลายเอทานอลเข้มข้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 99 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จากนั้นทำการกรองด้วยกระดาษกรอง และตัวอย่างส่วนใส ปริมาตร 200 ไมโครลิตรมาวิเคราะห์ และเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu Reagent ร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร จากนั้นเติมโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ปริมาตร 685 ไมโครลิตร โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เขย่าให้สารละลายผสมกัน แล้วนำไปตั้งไว้ในที่มืด เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อเกิดปฏิกิริยาสารละลายจะเกิดการเปลี่ยนสีเหลืองเป็นสีน้ำเงิน แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (GENESYS 10S UV-Vis, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) และคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (gallic acid) ที่ความเข้มข้น 0-300 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่า r^2 เท่ากับ 0.95 และรายงานผลการทดลองเป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

4) การวัดค่าสี

ตัวอย่างหน่อไม้จำนวน 5 ชิ้น ถูกนำมาวัดค่าสีโดยเครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) รุ่น Minnota DP-301 (Konica Minolta, Tokyo, Japan) ด้วยระบบ Lab โดย ค่าสี L^* คือ ค่าความสว่าง ค่าสี $+a^*$ แสดงค่าความเป็นสีแดง และค่าสี $+b^*$ แสดงค่าความเป็นสีเหลือง ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ครั้ง และบันทึกผล

5) การวัดค่าความแข็ง

ตัวอย่างหน่อไม้จำนวน 5 ชิ้น ถูกนำมาวัดค่าความแข็ง (hardness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (TA.XT.Plus, Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK) โดยใช้โปรแกรม Texture Exponent และเลือก TPA เพื่อทำการวัดโดยใช้หัวกด No. P/5s Spherical probe, Pre-test 2.0 mm/s, Test Speed 1.7 mm/s, Post Test Speed 10 mm/s, ความสูง 10 มิลลิเมตร กดลงไปที่ร้อยละ 15 ของชิ้นหน่อไม้ ค่าที่วัดได้จะแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งต่อตัวอย่าง บันทึกผล

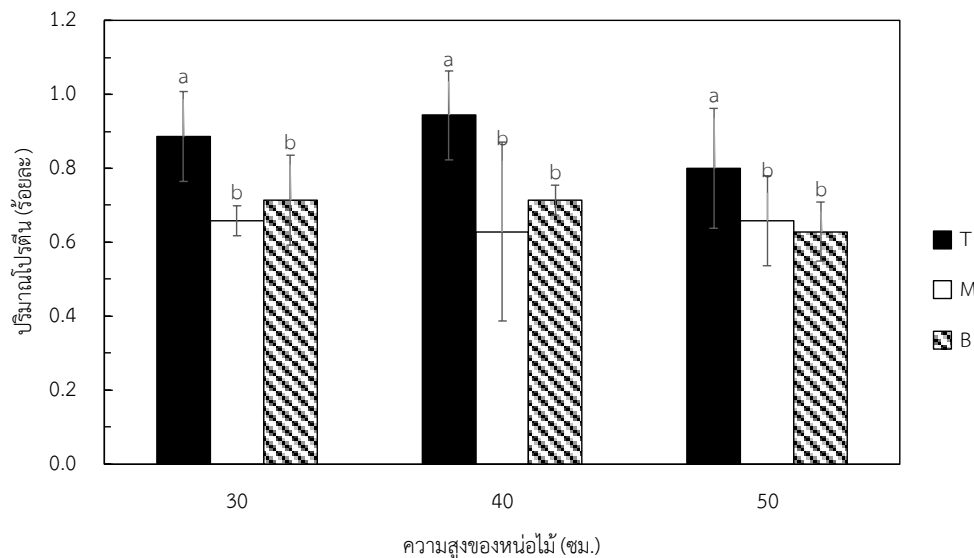
2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95

3. ผลและอภิปรายผลการวิจัย

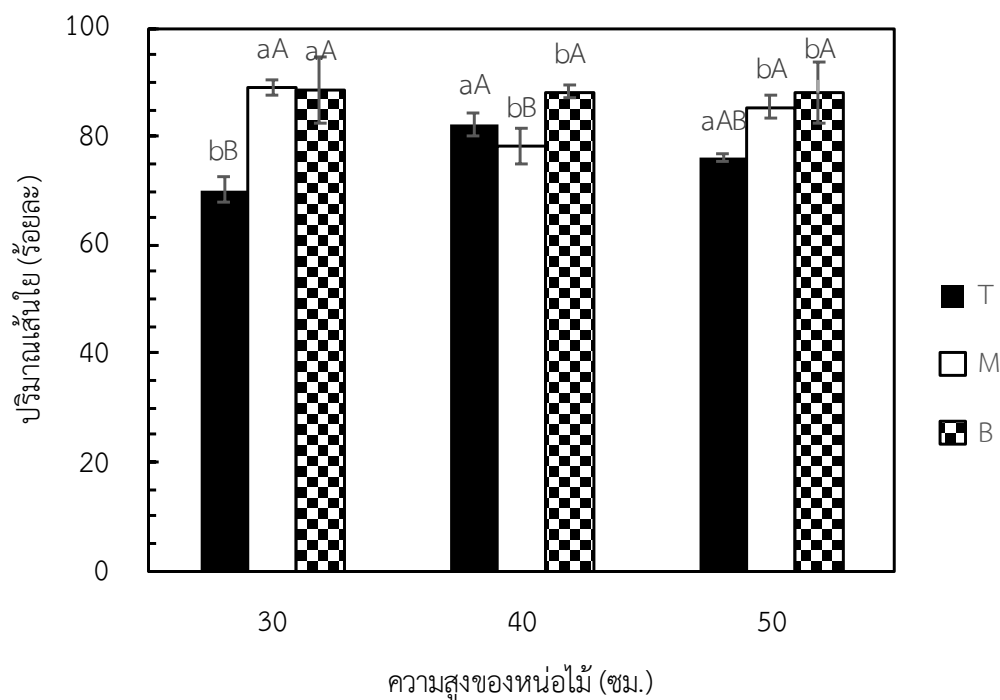
3.1 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและเส้นใยของหน่อไม้ไผ่รวกที่มีขนาดแตกต่างกัน

หน่อไม้รวกเป็นหน่อไม้ที่นิยมปลูกในเขตพื้นที่จังหวัดปราจีนบุรี มักถูกนำมาแปรรูปโดยการต้มและนึ่งเพื่อนำไปปรุงอาหาร มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณประโยชน์ในด้านคุณค่าทางโภชนาการของหน่อไม้พบว่าสารอาหารหลักที่มีในหน่อไม้คือ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เส้นใย เกลือแร่ น้ำตาล และเกลืออนินทรีย์ (Jana et al., 2025) หน่อไม้จัดเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่อุดมด้วยกรดอะมิโน 17 ชนิดและมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย 8 ชนิด (Ma et al., 2024) ในการทดลองนี้พบว่า ความสูงของหน่อไม้รวกที่แตกต่างกัน (30-50 เซนติเมตร) ไม่ส่งผลต่อปริมาณโปรตีน แต่ตำแหน่งตามความยาวของหน่อไม้ (จากปลายยอดถึงโคน) มีปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จากการวิเคราะห์พบว่าหน่อไม้รวกที่มีความยาวระหว่าง 30-50 เซนติเมตร มีปริมาณโปรตีนระหว่างร้อยละ 0.63 ± 0.08 - 0.94 ± 0.12 ของน้ำหนักแห้ง โดยส่วนปลายมีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 0.89 ± 0.12 สำหรับหน่อไม้ความยาว 30 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกันกับหน่อไม้ที่มีความยาว 40 เซนติเมตร (ร้อยละ 0.94 ± 0.12) และ 50 เซนติเมตร (ร้อยละ 0.80 ± 0.12) แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณโปรตีนของส่วนปลายจะมีมากกว่าส่วนกลางและส่วนท้ายอย่างมีนัยสำคัญ หน่อไม้ที่มีความยาว 30, 40 และ 50 เซนติเมตร มีปริมาณโปรตีนส่วนกลางเท่ากับร้อยละ 0.66 ± 0.04 , 0.63 ± 0.24 และ 0.66 ± 0.12 ในขณะที่ส่วนท้ายเท่ากับร้อยละ 0.71 ± 0.12 , 0.71 ± 0.04 และ 0.63 ± 0.08 ตามลำดับ (ภาพที่ 1) Phuseerit et al. (2026) ระบุว่าหน่อไม้มีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่างร้อยละ 21.1-25.8 ต่อน้ำหนักแห้งหรือประมาณร้อยละ 2.7 ต่อน้ำหนักสด โปรตีนในหน่อไม้มีการกระจายตัวในแนวตั้งที่แตกต่างกันไปตั้งแต่บริเวณส่วนปลายยอดไล่ลงไปจนถึงส่วนโคน อีกทั้งปริมาณโปรตีนยังขึ้นอยู่กับชนิดสายพันธุ์และความแก่ของหน่อไม้อีกด้วย นอกจากโปรตีนแล้ว หน่อไม้ยังมีเส้นใยเป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก จากผลการทดลองพบว่า หน่อไม้รวกนี้มีปริมาณเส้นใยอยู่ระหว่างร้อยละ 70.21 ± 6.19 และร้อยละ 89.09 ± 1.39 ต่อน้ำหนักแห้ง โดยความสูงและตำแหน่งตามความยาวของหน่อไม้จะมีผลต่อปริมาณเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) หน่อไม้ขนาด 30 เซนติเมตร มีปริมาณเยื่อใย โดยส่วนท้ายจะมีปริมาณเส้นใยเฉลี่ยสูงที่สุดร้อยละ 88.11 ± 0.53 รองลงมาคือ ส่วนกลางร้อยละ 84.19 ± 5.53 และส่วนปลายร้อยละ 77.20 ± 6.26 ตามลำดับ (ภาพที่ 2) Phuseerit et al. (2026) พบว่าหน่อไม้มีเยื่อใยประเภทไม่ละลายน้ำเป็นส่วนประกอบหลักซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 60-90 ของปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดในน้ำหนักแห้ง โดยปริมาณและองค์ประกอบของเยื่อใยเหล่านี้จะแปรผันตามอายุและตำแหน่งส่วนต่าง ๆ ของหน่อไม้ (Ma et al., 2024) มีรายงานระบุว่าหน่อไม้สายพันธุ์ *Yushania alpina* มีปริมาณเยื่อใยในส่วนปลายยอด 23.9 กรัม/100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งน้อยกว่าส่วนโคน (30.7 กรัมต่อ 100 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญ (Chandramouli & Viswanath, 2012)



ภาพที่ 1 ปริมาณโปรตีนทั้งหมดของหน่อไม้ไผ่รวมส่วนปลาย (T), ส่วนกลาง (M) และส่วนท้าย (B) ที่มีขนาดความยาวที่แตกต่างกัน

^{a-b}ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD, $n = 3$) อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกัน ที่ความสูงของหน่อไม้เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95



ภาพที่ 2 ปริมาณเส้นใยหน่อไม้ไผ่รวมส่วนปลาย (T), ส่วนกลาง (M) และส่วนท้าย (B) ที่มีขนาดความยาวที่แตกต่างกัน

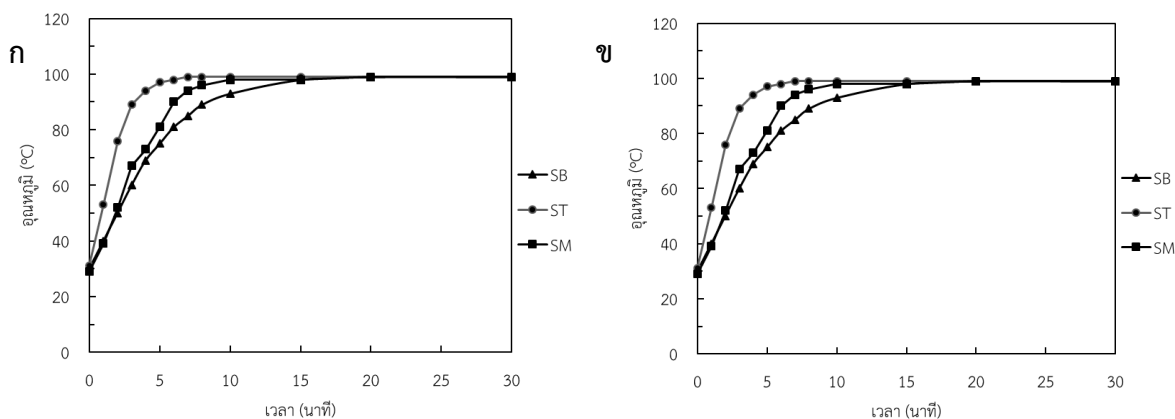
^{a-b}ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD, $n = 3$) อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกัน ที่ความสูงของหน่อไม้เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95

^{A-B}ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD, $n = 3$) อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกัน ที่ตำแหน่งของหน่อไม้เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95

3.2 การต้มและนึ่งหน่อไม้ระดับห้องปฏิบัติการ

3.2.1 การแพร่กระจายความร้อน

เมื่อนำหน่อไม้รวกไปต้มและนึ่งที่อุณหภูมิน้ำเดือด พบว่าส่วนของหน่อไม้มีผลต่อระยะเวลาในการกระจายความร้อน โดยอัตราเร็วในการแพร่กระจายความร้อนของการต้มและการนึ่งไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ส่วนปลายจะเข้าสู่สภาวะคงที่เร็วกว่าส่วนกลางและส่วนท้าย โดยใช้เวลา 6, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ (ภาพที่ 3)

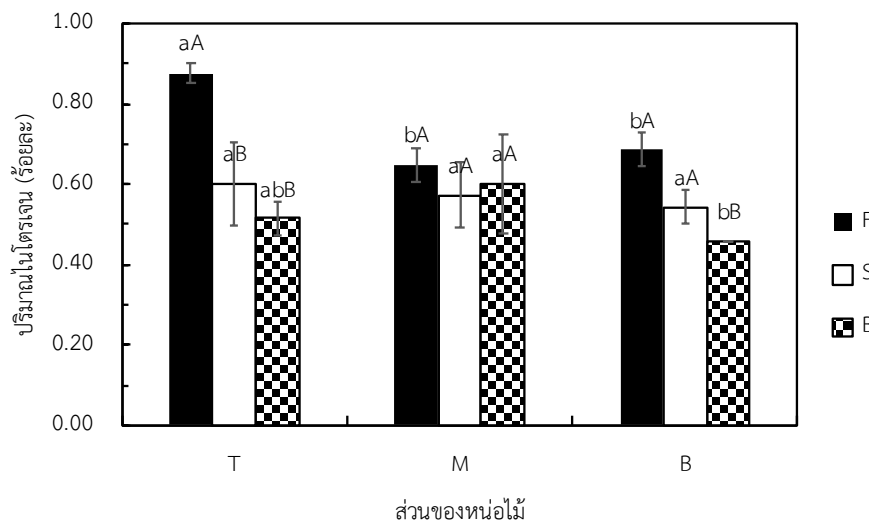


ภาพที่ 3 การแพร่กระจายความร้อนจากการนึ่ง (ก) และการต้ม (ข) ของหน่อไม้ส่วนปลาย (BT), กลาง (BM) และท้าย (BB)

3.2.2 ปริมาณโปรตีนและเส้นใยของหน่อไม้ไผ่รวกนึ่งและต้ม

ภายหลังการนึ่งและต้มเป็นเวลา 240 และ 120 นาที ตามลำดับ หน่อไม้แต่ละส่วนถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนและเส้นใยเปรียบเทียบกับหน่อไม้สด ผลการทดลองพบว่าปริมาณโปรตีนของหน่อไม้ทั้งนึ่งและต้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับหน่อไม้สดในทุกส่วน ($p > 0.05$) (ภาพที่ 4) ภายหลังการนึ่งและต้มส่วนปลายของหน่อไม้มีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 0.60 ± 0.04 และร้อยละ 0.51 ± 0.04 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อเทียบปริมาณโปรตีนในหน่อไม้สดซึ่งมีเท่ากับร้อยละ 0.88 ± 0.02 พบว่าปริมาณโปรตีนลดลงเท่ากับร้อยละ 31.52 และ 41.30 ตามลำดับ เช่นเดียวกับส่วนท้าย ความร้อนมีผลต่อการลดลงของโปรตีนจากเดิมในหน่อไม้สด พบร้อยละ 0.69 ± 0.04 ภายหลังการนึ่งและต้ม หน่อไม้มีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 0.54 ± 0.12 และร้อยละ 0.46 ± 0.01 ซึ่งลดลงจากหน่อไม้สดร้อยละ 20.83 และร้อยละ 33.33 ตามลำดับ สำหรับส่วนกลางภายหลังได้รับความร้อนปริมาณโปรตีนลดลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนปลายและท้าย หน่อไม้ส่วนกลางที่ผ่านการนึ่งมีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 0.57 ± 0.08 และหน่อไม้ต้มเท่ากับร้อยละ 0.60 ± 0.04 ลดลงร้อยละ 11.76 และร้อยละ 7.35 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีนของหน่อไม้สดร้อยละ 0.65 ± 0.10 ซึ่งให้เห็นว่าการต้มส่งผลต่อการลดลงของปริมาณโปรตีนมากกว่าการนึ่ง ผลการทดลองสอดคล้องกับ Bajwa et al. (2021) รายงานว่าการแปรรูปหน่อไม้ด้วยความร้อนทำให้ปริมาณโปรตีนลดลงประมาณร้อยละ 25 เช่นเดียวกับวิตามินซี และวิตามินอี เนื่องจากความร้อนทำลายโปรตีนและวิตามินในหน่อไม้ เช่นเดียวกัน มีงานวิจัยรายงานว่าหน่อไม้สดที่ผ่านการต้มในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มีปริมาณโปรตีนลดลงสูงถึงร้อยละ 50.2 ในขณะที่การนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ (steam sterilization) ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนลดลงน้อยกว่าคือร้อยละ 15.8 และตรวจพบโปรตีนและกรดอะมิโนในน้ำที่ใช้ต้มหน่อไม้โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญ (Tang et al., 2021) เมื่อหน่อไม้ได้รับความร้อนสูงจากการต้มหรือนึ่ง โครงสร้างผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ และเยื่อหุ้มแวคิวโอลจะถูกทำลายโดยสมบูรณ์ ส่งผลให้เนื้อเยื่อของหน่อไม้สูญเสียความสามารถในการควบคุมการเข้าออกของสาร สารประกอบ

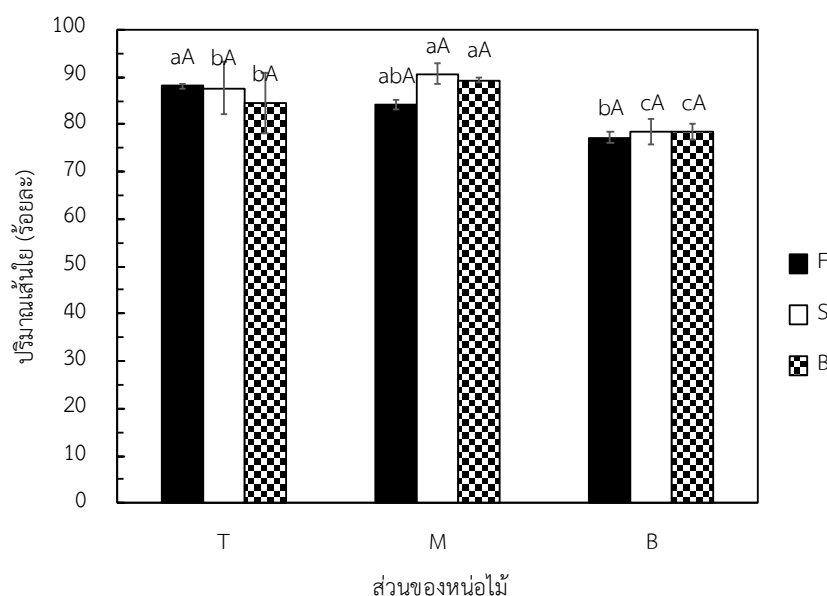
ต่าง ๆ ภายในเซลล์ไม่ถูกกักเก็บไว้ เกิดการรั่วไหลออกมา (Ogbadoyi et al., 2006) สำหรับปริมาณเส้นใยในหน่อไม้สดและหน่อไม้ต้มในส่วนต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 4 ปริมาณโปรตีนของหน่อไม้ไผ่รวมส่วนปลาย (T), กลาง (M) และท้าย (B) ที่ผ่านกระบวนการนึ่ง (B) และต้ม (S) ในระดับห้องปฏิบัติการ เมื่อเทียบกับหน่อไม้สด (F)

^{a-b}ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD, $n = 3$) อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันที่กลุ่มหน่อไม้เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95

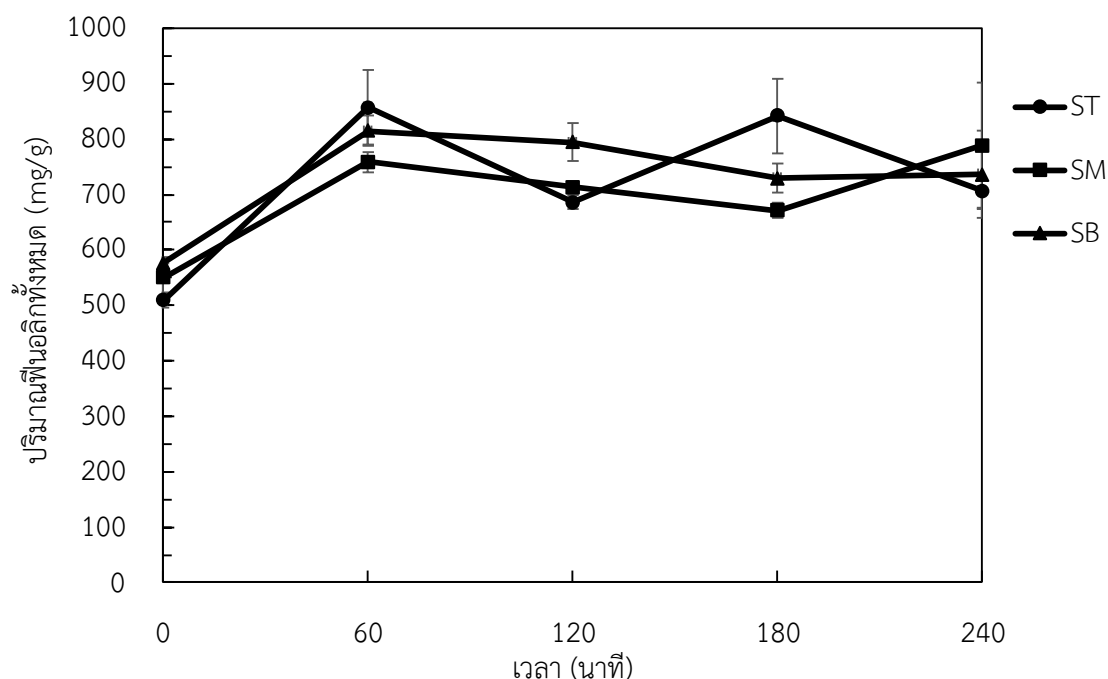
^{A-B}ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD, $n = 3$) อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งของหน่อไม้เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95



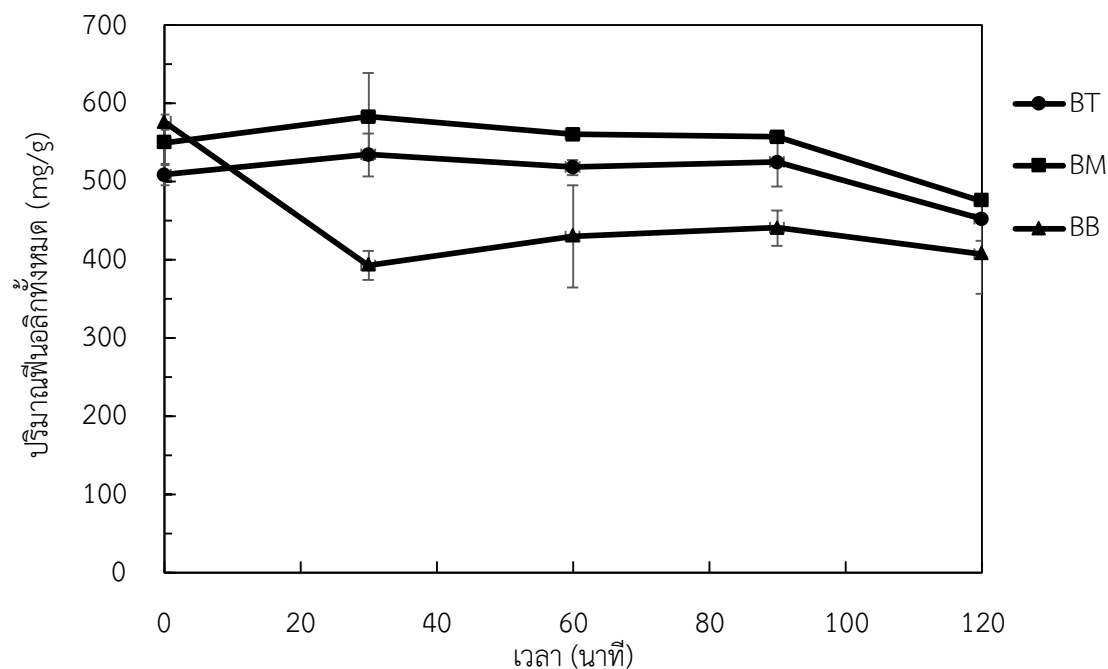
ภาพที่ 5 ปริมาณเส้นใยของหน่อไม้ไผ่รวมส่วนปลาย (T), กลาง (M) และท้าย (B) ที่ผ่านกระบวนการนึ่ง (B) และต้ม (S) ในระดับห้องปฏิบัติการ เมื่อเทียบกับหน่อไม้สด (F)

^{a-c}ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD, $n = 3$) อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันที่กลุ่มหน่อไม้เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95

^{A-B}ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD, $n = 3$) อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งของหน่อไม้เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในระหว่างการนึ่งหน่อไม้ส่วนปลาย (ST), กลาง (SM) และท้าย (SB)



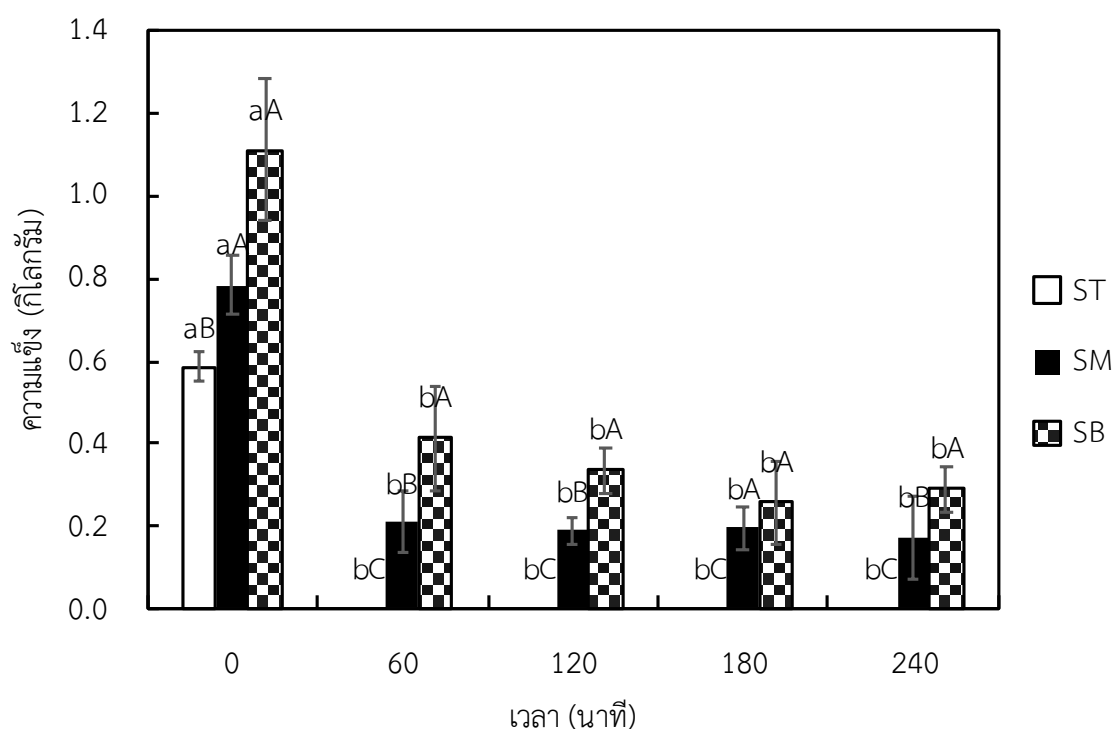
ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในระหว่างการต้มหน่อไม้ส่วนปลาย (BT), กลาง (BM) และท้าย (BB)

3.2.3 ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

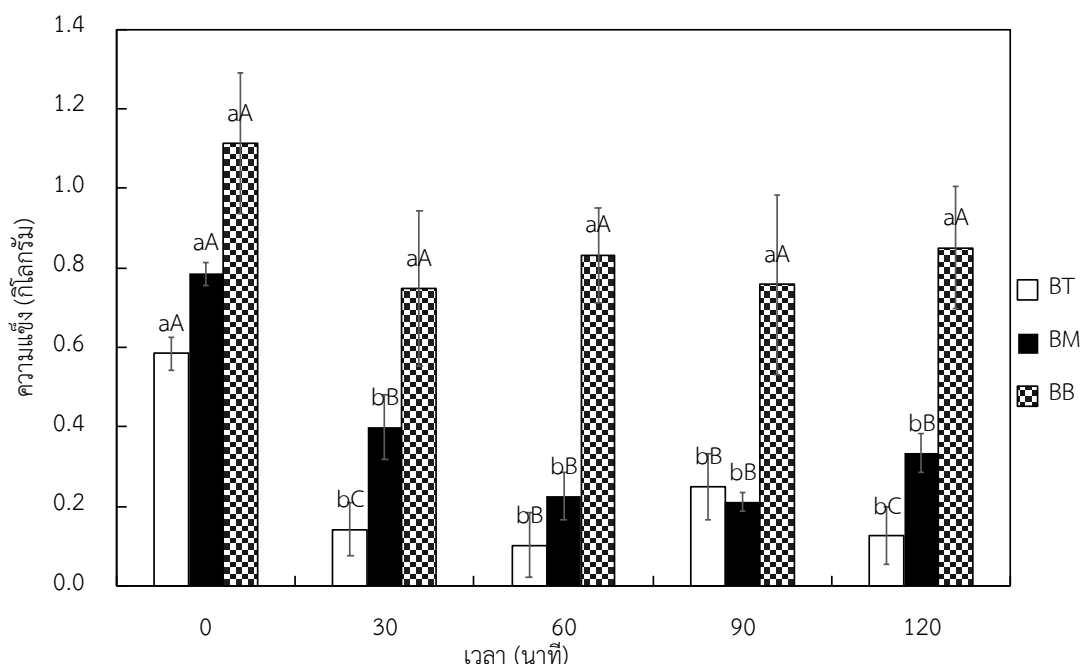
จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าหน่อไม้ในแต่ละส่วนมีปริมาณของฟีนอลิกที่แตกต่างกัน โดยส่วนกลางจะมีปริมาณสารฟีนอลิกสูงกว่าส่วนปลายและส่วนท้ายอย่างมีนัยสำคัญทั้งในหน่อไม้หนึ่ง (ภาพที่ 6) และหน่อไม้ต้ม (ภาพที่ 7) หน่อไม้ที่ผ่านการนึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าหน่อไม้ต้ม จากการวิเคราะห์พบว่า ภายหลังการนึ่งเป็นเวลา 240 นาที หน่อไม้ส่วนปลาย กลาง และท้ายมีปริมาณสารฟีนอลิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เท่ากับ 706.5 ± 30.86 , 788.65 ± 14.17 และ 736.3 ± 79.20 มิลลิกรัม

สมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในหน่อไม้สด ก่อนต้ม 508.5±12.86, 550.5±26.23 และ 576.5±10.02 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ในขณะที่หน่อไม้ที่ต้มเป็นเวลา 120 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงเมื่อเทียบกับหน่อไม้สดก่อนต้มอย่างมีนัยสำคัญเท่ากับ 452.1±28.28, 475.78±10.03 และ 407.8± 50.40 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง สำหรับส่วนปลาย ส่วนกลาง และส่วนท้าย ตามลำดับ

สารประกอบฟีนอลิกที่พบมากในหน่อไม้เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในกลุ่มของกรดฟีนอลิก ได้แก่ กรดโปรโตคาเทคูอิก (protocatechuic acid), กรดเจนทิสิก (gentisic acid), กรดแกลลิก และ กรดคาเฟอิก (caffeic acid) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ (Phuseerit et al., 2026) สารประกอบฟีนอลิกสามารถถูกทำลายได้ด้วยความร้อน การต้มทำให้ สารประกอบฟีนอลิก ลดลงร้อยละ 22 ส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงร้อยละ 44.6 และ ABTS ลดลงร้อยละ 59.7 การลดลงดังกล่าวเกิดจากการสลายตัวของสารประกอบเนื่องจากความร้อน และบางส่วนละลายไปกับน้ำต้ม (Techamahasaranont et al., 2026) นอกจากนี้ความร้อนยังทำลายและ ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Phenylalanine ammonia-lyase เอนไซม์สำคัญในการสังเคราะห์ สารประกอบฟีนอลิกในหน่อไม้ (Luo et al., 2012) ในทางกลับกันงานวิจัยนี้พบว่า หน่อไม้ที่ผ่านการนึ่งมี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น อาจเป็นไปได้ว่าในระหว่างกระบวนการนึ่งซึ่งเป็นการทำให้สุกโดยใช้ความร้อนผ่านไอน้ำทำลายโครงสร้างผนังเซลล์ของหน่อไม้ทำให้สารประกอบฟีนอลิกแบบยึดเกาะ (bound phenolics) ซึ่งมีมากกว่าสารประกอบฟีนอลิกอิสระ (Li et al., 2021) ถูกปลดปล่อยและแตกตัวออกเป็นสารประกอบ ฟีนอลิกอิสระแพร่กระจายออกจากเนื้อหน่อไม้และไม่ละลายไปกับน้ำต้ม (Tang et al., 2021)



ภาพที่ 8 ความเข้มของหน่อไม้ส่วนปลาย (BT), กลาง (BM) และท้าย (BB) ที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการนึ่ง
^{a-b}ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD, n = 3) อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกัน
 ที่ตำแหน่งของหน่อไม้เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95
^{A-C}ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD, n = 3) อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันที่เวลา
 เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95



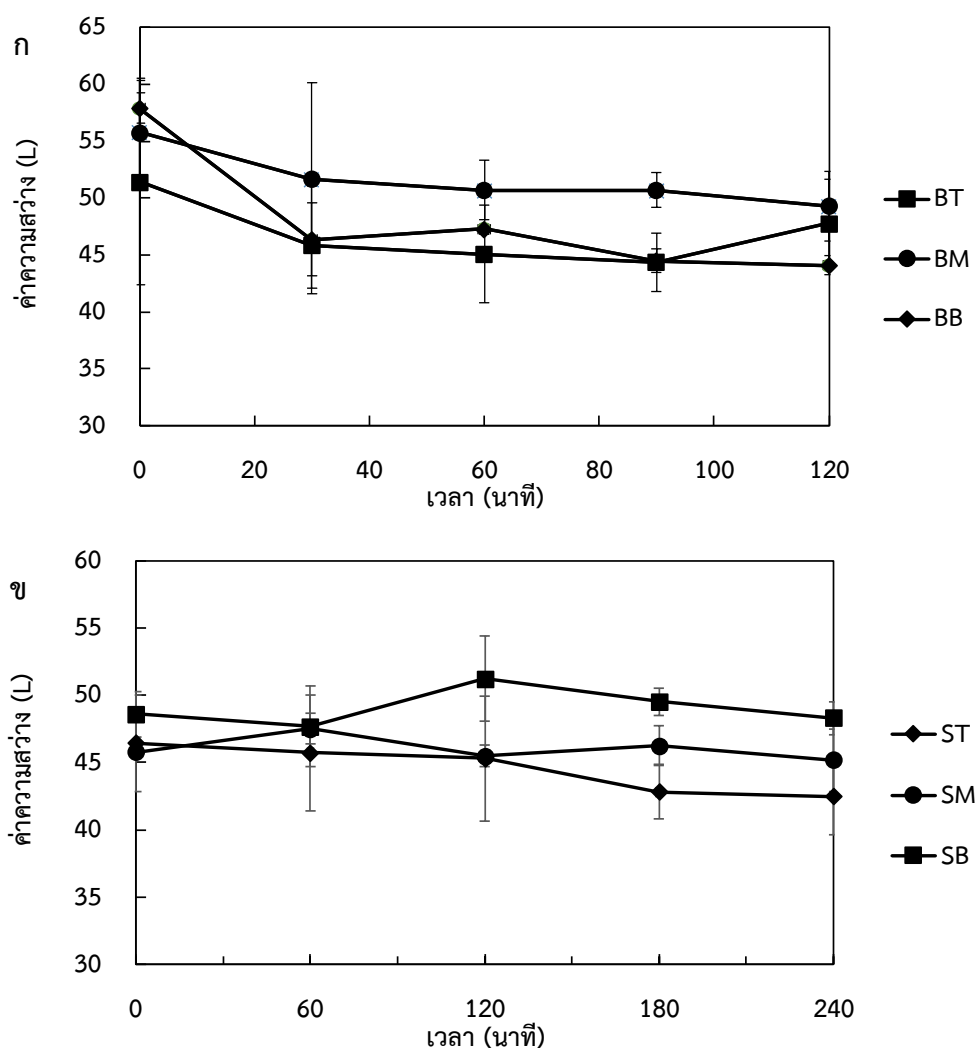
ภาพที่ 9 ความแข็งแรงของหน่อไม้ส่วนปลาย (ST), กลาง (SM) และท้าย (SB) ที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการต้ม α -b ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD, $n = 3$) อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกัน ที่ตำแหน่งของหน่อไม้เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95 $A-C$ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD, $n = 3$) อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันที่เวลาเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95

3.2.4 สมบัติทางกายภาพ

1) ความแข็งแรงของหน่อไม้

ภายหลังจากการต้ม 120 นาที และหนึ่ง 240 นาที พบว่าหน่อไม้มีความแข็งแรงลดลง โดยจะลดลงตามระยะเวลาในการต้ม (ภาพที่ 8) หรือต้ม (ภาพที่ 9) ส่วนของหน่อไม้จะมีค่าความแข็งแรงที่แตกต่างกัน โดยส่วนปลายเป็นส่วนที่มีความแข็งแรงต่ำที่สุด รองลงมาคือ ส่วนกลาง และส่วนท้าย กล่าวคือหน่อไม้ต้ม ส่วนปลาย ส่วนกลาง และส่วนท้าย มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 0.126 ± 0.073 , 0.174 ± 0.048 และ 0.851 ± 0.153 กิโลกรัม การต้มจะส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของหน่อไม้มากกว่าการต้ม โดยเฉพาะในส่วนปลาย ซึ่งไม่สามารถวัดค่าความแข็งแรงของส่วนปลายหน่อไม้ภายหลังการต้มเป็นเวลา 30 นาที อาจเป็นเพราะลักษณะของหน่อไม้ในส่วนปลายที่มักจะมีลักษณะกลวง มีปริมาณเยื่อใยน้อย ทำให้เปื่อยยุ่ยง่าย

ภายหลังการต้ม 240 นาที ส่วนกลางและส่วนท้ายของหน่อไม้มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 0.174 ± 0.099 และ 0.290 ± 0.057 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับหน่อไม้ต้ม มีงานวิจัยรายงานว่า การลวกหรือการต้มจะทำให้เนื้อสัมผัสของหน่อไม้สูญเสียความแข็งแรงตั้งแต่ช่วง 5 นาทีแรก เนื่องจากสารลิกนินและเซลลูโลสในผนังเซลล์ถูกทำลายและเกิดการสลายตัวไปกับน้ำต้ม อุณหภูมิ และระยะเวลาที่สูงขึ้นทำให้การสูญเสียเนื้อสัมผัสของหน่อไม้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Badwaik et al., 2015) นอกจากนี้เนื้อสัมผัสของหน่อไม้ต้มหรือหนึ่งมีผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ผู้บริโภคมีความชื่นชอบหน่อไม้ที่มีความอ่อนนุ่ม เคี้ยวง่าย แต่ยังคงคงด้วยความกรอบ และไม่ยอมรับเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้างและเป็นเส้นไหม (Asawawibul et al., 2025)

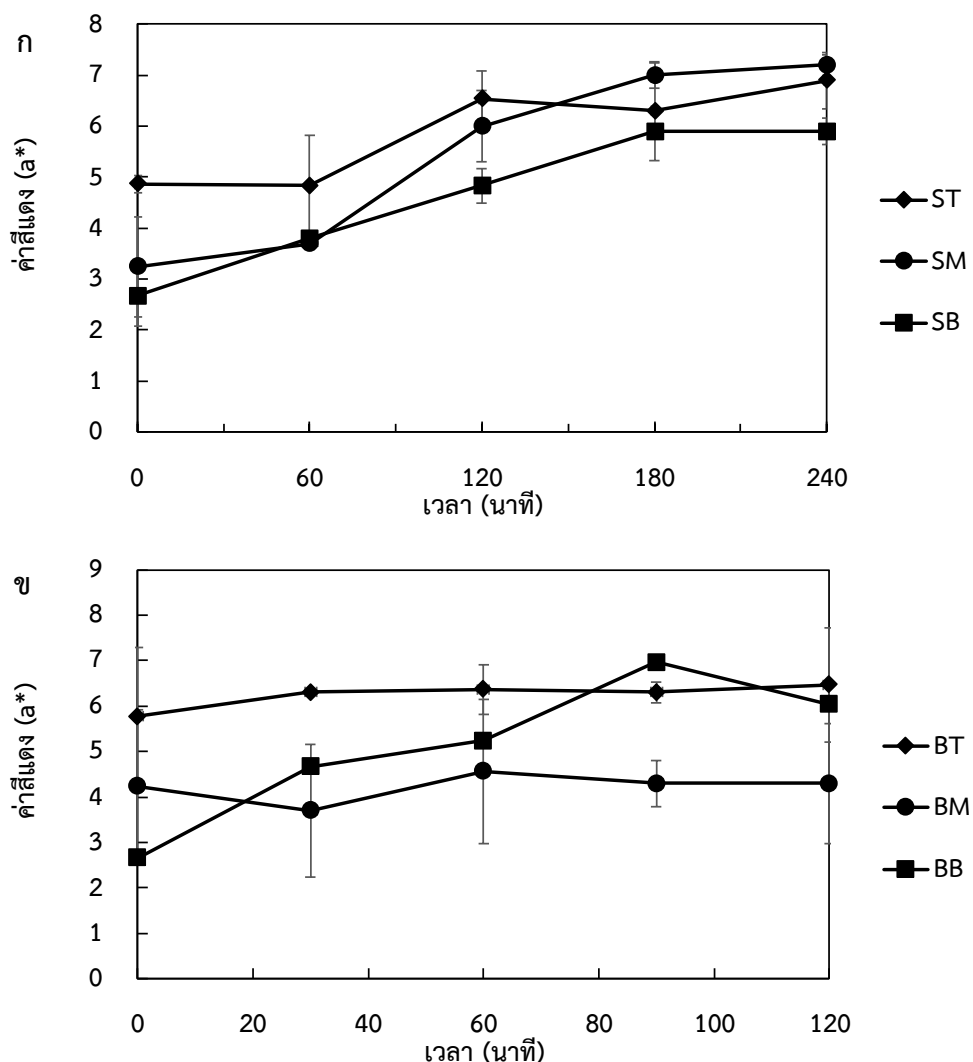


ภาพที่ 10 ค่าความสว่างของหน่อไม้ฝรั่ง (ก) และหน่อไม้ต้ม (ข) ส่วนปลาย (T), กลาง (M) และท้าย (B)

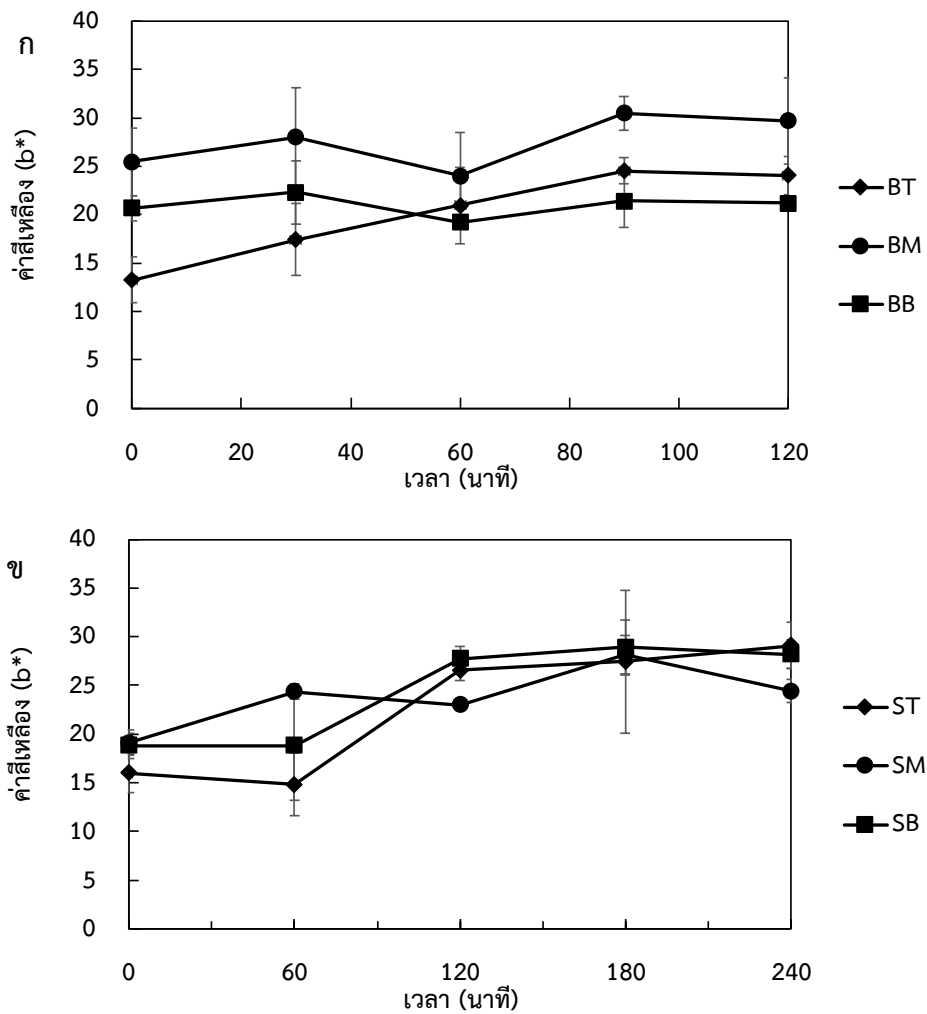
2) สีของหน่อไม้

เมื่อหน่อไม้โดนความร้อนจะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ หรือปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยากันระหว่างโปรตีน กรดอะมิโน และน้ำตาลรีดิวซ์ภายในหน่อไม้ ก่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล ทำให้ในระหว่างการให้ความร้อน หน่อไม้เกิดการเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลือง (Tang et al., 2021) จากผลการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้สีของหน่อไม้มีความสว่างลดลง ในขณะที่สีแดงและสีเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้น หน่อไม้ที่ต้มเป็นเวลา 120 นาที มีค่าความสว่าง (L^*) ส่วนปลาย (47.8 ± 3.8) ส่วนกลาง (49.3 ± 3.0) และส่วนท้าย (44.1 ± 0.8) ลดลงจากก่อนต้มอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 51.5 ± 9.1 , 55.8 ± 4.5 และ 57.9 ± 1.4 ตามลำดับ เช่นเดียวกับการให้ความร้อนโดยการนึ่งจะมีผลต่อการลดลงของความสว่างของหน่อไม้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (เฉพาะส่วนปลายและกลาง) แต่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการต้ม หลังจากนึ่งเป็นระยะเวลา 240 นาที พบว่า ค่าความสว่างของหน่อไม้ส่วนปลาย ต้น และท้าย เท่ากับ 42.5 ± 2.85 , 45.2 ± 2.34 และ 48.3 ± 1.22 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างเมื่อเทียบหน่อไม้ก่อนนึ่งที่มีความสว่างเท่ากับ 46.5 ± 3.59 , 45.8 ± 0.12 และ 48.6 ± 1.72 ตามลำดับ (ภาพที่ 10) สำหรับค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ดังภาพที่ 11 และ 12 เมื่อหน่อไม้ได้รับความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับหน่อไม้สด ซึ่งเกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดประกอบด้วยสารประกอบ 3 กลุ่ม ได้แก่ สารประกอบฟิวแรน

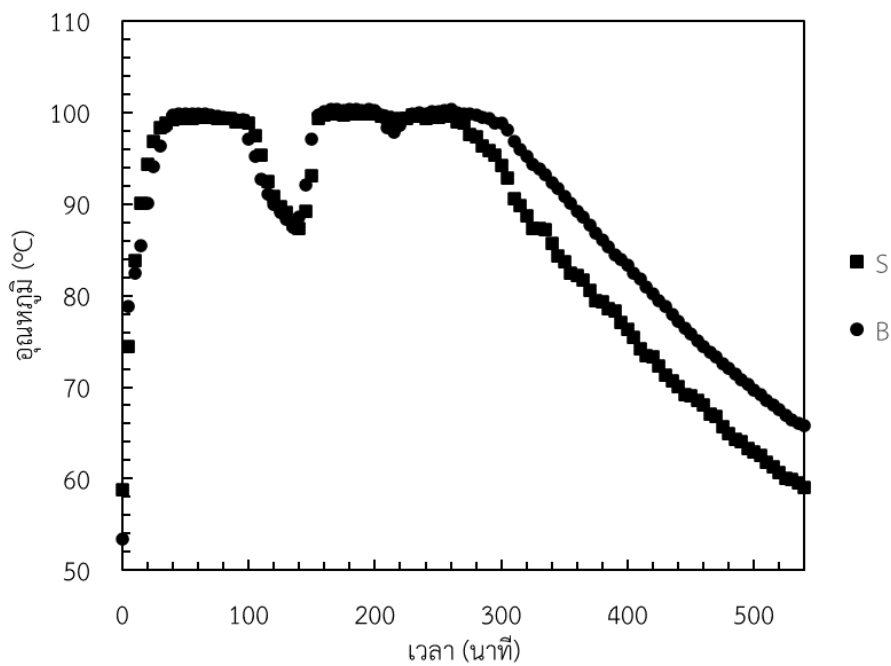
(furan compounds) จัดเป็นสารประกอบที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ สารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไพราซีน (pyrazine) ไพร์โรล (pyrrole) และออกซาโซลีน (oxazoline) และสารประกอบซัลเฟอร์ เช่น ไทอาโซล (thiazole) และฟิวแรน-เมอร์แคปแทน (furan mercaptan) (Starowicz & Zielinski, 2019) สีแดงของหน่อไม้ต้มหลังจากให้ความร้อนเป็นเวลา 120 มีค่าความเป็นสีแดงส่วนท้ายเท่ากับ 6.47 ± 1.25 ส่วนกลางเท่ากับ 4.30 ± 1.32 และส่วนปลายเท่ากับ 5.23 ± 0.95 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากหน่อไม้สดก่อนต้มที่มีค่าความเป็นสีแดงส่วนปลาย กลาง และท้ายเท่ากับ 5.77 ± 1.53 , 4.23 ± 1.68 และ 2.67 ± 0.85 ตามลำดับ และสีเหลืองจากเดิมส่วนปลาย กลาง และท้ายเท่ากับ 13.2 ± 2.38 , 25.5 ± 3.51 และ 20.7 ± 1.33 ตามลำดับ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเป็น 24.0 ± 2.00 , 29.7 ± 4.43 และ 21.2 ± 0.45 เช่นเดียวกับการนึ่งหน่อไม้เป็นเวลา 240 นาทีส่งผลต่อสีแดงในหน่อไม้จากเดิมส่วนปลาย กลาง และ ท้าย เท่ากับ 4.87 ± 0.17 , 3.24 ± 0.98 และ 2.67 ± 0.59 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 6.90 ± 0.56 , 7.20 ± 0.21 และ 5.90 ± 0.25 ตามลำดับ และสีเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจาก 16.0 ± 1.97 , 19.1 ± 1.31 และ 18.8 ± 1.27 เป็น 27.4 ± 2.33 , 28.2 ± 1.17 และ 28.9 ± 1.47 ตามลำดับ (ภาพที่ 12-13) สีของผลิตภัณฑ์หน่อไม้ต้มมีผลต่อการยอมรับและตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคมากกว่าผลิตภัณฑ์หน่อไม้แปรรูปอื่น ๆ เช่น หน่อไม้ดอง และหน่อไม้ปรุงรส สาเหตุหลักมาจากความคาดหวังและความคุ้นเคยของสีเหลืองของหน่อไม้ต้มของผู้บริโภคซึ่งถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินความใหม่และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ก่อนการตัดสินใจซื้อ (Asawawibul et al., 2025)



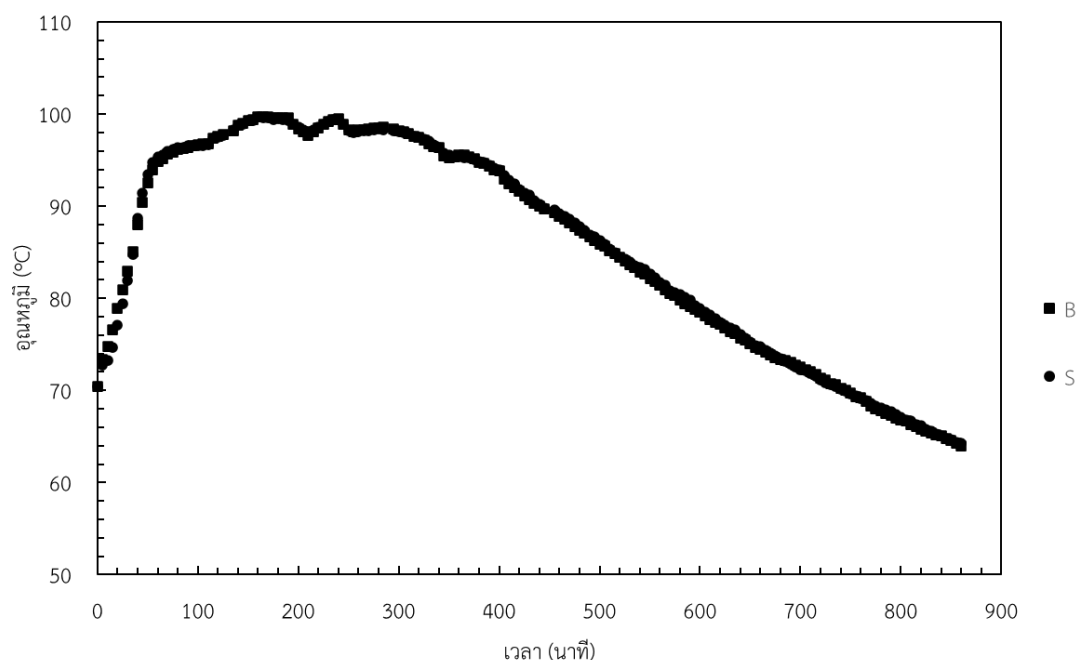
ภาพที่ 11 ค่าความเป็นสีแดงของหน่อไม้หนึ่ง (ก) และหน่อไม้ต้ม (ข) ส่วนปลาย (T), กลาง (M) และท้าย (B)



ภาพที่ 12 ค่าความเป็นสีเหลืองของหน่อไม้หนึ่ง (ก) และหน่อไม้ต้ม (ข) ส่วนปลาย (T), กลาง (M) และท้าย (B)



ภาพที่ 13 การแพร่กระจายความร้อนจากการนึ่งหน่อไม้ขนาดใหญ่ (B) และขนาดเล็ก (S) ในหม้อนึ่งระดับขยายขนาดในห้องปฏิบัติการ (1 กิโลกรัมต่อถุง)



ภาพที่ 14 การแพร่กระจายความร้อนจากการนึ่งหน่อไม้ในหม้อนึ่งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน (5 กิโลกรัมต่อถุง) ขนาดใหญ่ (B) และขนาดเล็ก (S)

3.3 การนึ่งในระดับขยายขนาด

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบการต้มและการนึ่งของหน่อไม้ที่มีผลต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของหน่อไม้ ได้แก่ โปรตีน เยื่อใย สารประกอบฟีนอลิก ความแข็ง และสี พบว่าการนึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกได้ดีกว่าการต้ม ในขณะที่ยังสามารถคงไว้ซึ่งเนื้อสัมผัสและสีที่มีลักษณะเป็นไปตามผลิตภัณฑ์หน่อไม้ต้มตามท้องตลาด อีกทั้งระยะเวลาการกระจายความร้อนเข้าสู่แกนกลางของหน่อไม้ในระดับห้องปฏิบัติการระหว่างการนึ่งและการต้มไม่แตกต่างกัน การนึ่งจึงถูกนำมาทดลองเพื่อขยายขนาดการผลิตจาก 100-200 กรัมเป็นขนาด 1 และ 5 กิโลกรัม โดยใช้หน่อไม้รวกที่ตัดส่วนปลายออกและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน ขนาดเล็ก (S) เท่ากับ 1.5-2.0 เซนติเมตร และขนาดใหญ่ (B) เท่ากับ 2.5-3.0 เซนติเมตร พร้อมกับนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่พัฒนาโดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชนไผ่เขียวพัฒนาตั้งอยู่ที่ตำบลโพธิ์งาม อำเภอประจันตคาม จังหวัดปราจีนบุรี การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของหน่อไม้ในหม้อนึ่งความดันไอน้ำของหน่อไม้ต้มระดับขยายขนาด 1 กิโลกรัมต่อถุง และ 5 กิโลกรัมต่อถุง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกันแสดงในภาพที่ 13 และ 14 ชี้ให้เห็นว่าขนาดของหน่อไม้ที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่มีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของความร้อน แต่น้ำหนักของหน่อไม้ต่อถุงจะมีผลต่อการกระจายความร้อนกล่าวคือ ปริมาณหน่อไม้ในถุง (1 กิโลกรัมต่อถุง) จะมีการกระจายความร้อนที่เร็วกว่า เมื่อพิจารณาการแพร่กระจายความร้อนจะพบว่า หน่อไม้ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนขนาด 5 กิโลกรัมต่อถุงระหว่างกระบวนการนึ่งใช้เวลาประมาณ 60 นาที ในการเพิ่มอุณหภูมิจาก 70 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และใช้เวลาอีก 1.25 ชั่วโมงในการเพิ่มอุณหภูมิจาก 90 องศาเซลเซียส เป็น 99 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นมีการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลารวมทั้งสิ้น 5 ชั่วโมง ก่อนที่อุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงจนถึง 63 องศาเซลเซียส ใช้เวลาทั้งสิ้น 9 ชั่วโมง 15 นาที แต่ในหน่อไม้ขนาด 1 กิโลกรัมต่อถุง อุณหภูมิจะขึ้นถึง 99 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 40 นาที หลังจากนั้นมีการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลารวมทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง และจะใช้เวลา 5 ชั่วโมง ในการลดระดับอุณหภูมิลงมาต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่สามารถนำหน่อไม้ไปปิดผนึกได้ โดยหน่อไม้ที่มีขนาดเล็กจะมี

อัตราการลดลงของอุณหภูมิเร็วกว่าหน่อไม้ขนาดใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ สีและความแข็งของหน่อไม้ต้มทั้ง 2 ตัวอย่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญ หน่อไม้จากถุงขนาด 1 กิโลกรัม มีค่าความแข็งเท่ากับ 2.45 ± 0.33 กิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับหน่อไม้ในถุง 5 กิโลกรัมที่มีค่าความแข็งเท่ากับ 2.28 ± 0.25 กิโลกรัม ค่าความสว่าง สีแดง และสีเหลืองของหน่อไม้ถุง 1 กิโลกรัม เท่ากับ 61.4 ± 5.3 , 2.54 ± 0.24 และ 27.7 ± 4.91 ตามลำดับ และถุง 5 กิโลกรัมเท่ากับ 60.8 ± 3.02 , 2.7 ± 2.85 และ 31.9 ± 6.82 นอกจากนี้ไม่พบการเจริญของ *Escherichia coli* ยีสต์รา และจุลินทรีย์ทั้งหมดเมื่อเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 เดือน (ไม่ได้แสดงข้อมูล) จากการศึกษาคะแนนความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 100 คน ต่อผลิตภัณฑ์หน่อไม้หนึ่งโหนดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนดังกล่าวถูกนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยการวัดระดับความชอบสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม และวัดระดับความชอบแบบ 9-point hedonic scale และรายงานผลโดย Asawawibul et al. (2025) พบว่าหน่อไม้หนึ่งโหนดได้รับคะแนนความชอบด้านสีสูงสุดที่ 7.0 คะแนน ด้านเนื้อสัมผัสที่ 7.1 คะแนน และความชอบโดยรวมสูงสุด 7.0 คะแนน ซึ่งสัมพันธ์กับความตั้งใจซื้อที่สูงถึงร้อยละ 88.5

4. สรุปผลการวิจัย

การพัฒนากระบวนการแปรรูปหน่อไม้ไผ่รวกที่เหมาะสมโดยศึกษาผลของการต้มและการนึ่งต่อปริมาณโปรตีน เยื่อใย สารประกอบฟีนอลิก และคุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความแข็งและสี พบว่า กระบวนการนึ่งด้วยไอน้ำเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการต้ม เนื่องจากสามารถลดการสูญเสียโปรตีน อีกทั้งยังพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สูงกว่าการต้มอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะเดียวกัน กระบวนการนึ่งสามารถคงไว้ซึ่งสีและความแข็งที่ผู้บริโภคให้การยอมรับ เมื่อนำมาทดสอบขยายกำลังการผลิตสู่ระดับวิสาหกิจชุมชน (ขนาดบรรจุ 1 และ 5 กิโลกรัม) พบว่าสามารถนำไปปฏิบัติได้จริงโดยไม่ทำให้คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง โดยระยะเวลาที่เหมาะสมของการนึ่งหน่อไม้ไผ่รวกในระดับขยายขนาดเท่ากับ 9 ชั่วโมงสำหรับขนาดบรรจุ 1 กิโลกรัม และ 14 ชั่วโมง สำหรับขนาดบรรจุ 5 กิโลกรัม แนวทางวิจัยในอนาคตควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการประเมินอายุการเก็บรักษา และความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์หน่อไม้หนึ่งโหนดในบรรจุภัณฑ์เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการรับรองมาตรฐานตามและยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยภายใต้กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม โครงการ Flagship ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 ประจำปีงบประมาณ และกลุ่มวิสาหกิจชุมชนไผ่เขียวพัฒนา ต.ทุ่งโพธิ์ อ.ประจันตคาม จ.ปราจีนบุรี สำหรับความอนุเคราะห์ตัวอย่างหน่อไม้และการร่วมมือดำเนินโครงการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Asawawibul, S., Phakawan, J., Phothisuwan, S., Chanadang, S., & Wannasawad, K. (2025). The assessment of customer behavior, intention and preference of bamboo shoot-processed food from small and medium enterprises products, Prachinburi, Thailand. *Research on World Agricultural Economy*, 6(1), 491-507.

- Badwaik, L. S., Gautam, G., & Deka, S. C. (2015). Influence of blanching on antioxidant, nutritional and physical properties of bamboo shoot. *The Journal of Agricultural Sciences*, 10(3), 140-150.
- Bajwa, H. K., Santosh, O., & Nirmala, C. (2021). Bamboo shoot for food and nutritional security. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(4), 24-30.
- Chandramouli, S., & Viswanath, S. (2012). Bamboo shoots—An emerging new age health food. *ENVIS-Forestry Bulletin*, 12(2), 21-28.
- Jana, U. K., Bhardwaj, P. K., Jeyaram, K., Shukla, J. K., Somkuwar, B. G., & Mukherjee, P. K. (2025). Bamboo shoots: Comprehensive perspectives on food composition, nutritional value, and therapeutic potential. *Journal of Food Composition and Analysis*, 140, 107198.
- Li, J. Q., Li, W. T., Deng, Z. Y., Li, H. Y., Yu, Y., & Zhang, B. (2021). Comparison of free, conjugated, and insoluble-bound phenolics and their antioxidant activities in oven-drying and freeze-drying bamboo (*Phyllostachys edulis*) shoot tips. *Journal of Food Science*, 86, 4223–4243.
- Luo, Z., Feng, S., Pang, J., Mao, L., Shou, H., & Xie, J. (2012). Effect of heat treatment on lignification of postharvest bamboo shoots (*Phyllostachys praecox* f. *prevernalis*). *Food Chemistry*, 135(4), 2182–2187.
- Ma, T., Mo, W., Lv, B., Wang, W., He, H., Jian, C., Liu, X., Li, S., & Guo, Y. (2024). A review of the nutritional composition, storage challenges, processing technology and widespread use of bamboo shoots. *Foods*, 13, 3539.
- Ogbadoyi, E.O., Makun H.A., Bamigbade R.O., Oyewale A.O., Oladiran J.A. (2006). The effect of processing and preservation methods on the oxalate levels of some Nigerian leafy vegetables. *Biokemistri*, 18(2), 21-125.
- Pattarathitiwat, P., Chinvongamorn, C., & Sansenya, S. (2021). Evaluation of cyanide content, volatile compounds profile, and biological properties of fresh and boiled sliced thai bamboo shoot (*Dendrocalamus asper* Back.). *Preventive Nutrition and Food Science*, 26(1), 92.
- Phuseerit, O., Seewaeng, P., Boonarsa, P., Seephua, N., & Siriamornpun, S. (2026). Effects of processing on antinutrients, bioactives and functional properties of bamboo shoots (*Bambusa beecheyana*). *Foods*, 15(5), 854.
- Satya, S., Bal, L. M., Singhal, P., & Naik, S. N. (2010). Bamboo shoot processing: food quality and safety aspect (a review). *Trends in Food Science & Technology*, 21(4), 181-189.
- Singhal P, Bal LM, Satya S, Sudhakar P, Naik SN. Bamboo shoots: a novel source of nutrition and medicine. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 517-534.
- Starowicz, M., & Zieliński, H. (2019). How Maillard reaction influences sensorial properties (color, flavor and texture) of food products? *Food Reviews International*, 35, 707–725.
- Sungkaew, S., Stapleton, C. M., Salamin, N., & Hodkinson, T. R. (2009). Non-monophyly of the woody bamboos (Bambuseae; Poaceae): a multi-gene region phylogenetic analysis of Bambusoideae s.s. *Journal of Plant Research*, 122(1), 95-108.

- Tang, J., Zhang, Z., Zheng, S., Gao, N., Li, Z., & Li, K. (2021). Changes of main nutrient components and volatile flavor substances in processing of canned bamboo shoots. *Fermentation*, 7, 293.
- Techamahasaranont, J., Ponpang-nga, P., & Sirijariyawat, A. (2025). Physical and antioxidant properties of bamboo shoot: Impact of boiling on purine content and antioxidant activity. *Current Applied Science and Technology*, 26(2), e0264212.