การประยุกต์ใช้เอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเซลลูเลส ในการพัฒนาไซรัปจากกล้วยหอมทองตาก

APPLICATION OF PECTINASE AND CELLULASE IN SYRUP DEVELOPMENT FROM DRIED HOM THONG BANANA

อาฒยา สันตะกุล[1] สวรักษ์ จันทรเทพธิมากุล[1] ดิเรก บุญธรรม[2] นฤมล จอมมาก[1] และสุวิช คงสาคร[1]*

Ataya Santakul[1], Savarak Chantaratheptimakul[1], Direk Boonthum[2], Naruemon Jommark[1] and Suwit Kongsakorn[1]*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้เอนไซม์เพคติเนสและเซลลูเลสในการผลิตไซรัปจากกล้วยหอมทองตาก รวมถึงการประเมินคุณภาพทางกายภาพ เคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยทำการสกัดกล้วยหอมทองตากด้วยเอนไซม์เพคติเนสและเซลลูเลสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.05–0.15 (โดยน้ำหนัก) ผลการศึกษา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมคือการใช้เอนไซม์เพคติเนสร้อยละ 0.10 ร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสร้อยละ 0.15 ซึ่งให้ค่าผลผลิต (%Yield) ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids; TSS) และค่าความใส (%Transmittance at 670 nm; %T670) สูงที่สุด เมื่อทำการระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส เพื่อผลิตไซรัป ผลิตภัณฑ์มีค่า TSS อยู่ในช่วง 72–74 °Brix ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานไซรัปผลไม้ โดยมีค่าความสว่าง (L*) ลดลง ขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการระเหยสูงขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง และไซรัปที่ผลิตภายใต้สภาวะที่เหมาะสมได้รับคะแนนการยอมรับในระดับสูง โดยเฉพาะด้านสี ความใส และความชอบโดยรวม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใช้เอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเซลลูเลส ร่วมกับกระบวนการทำเข้มข้นแบบสุญญากาศ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดและยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับกล้วยหอมทองตาก

คำสำคัญ: กล้วยหอมทองตาก เอนไซม์เพคติเนส เอนไซม์เซลลูเลส ไซรัป

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เขตสาทร จังหวัดกรุงเทพฯ 10120

Faculty of Science and Technology, Sathon District, Rajamangala University of Technology Bangkok, Bangkok Province 10120

*corresponding author e-mail: suwit.k@mail.rmutk.ac.th

Received: 6 October 2025; Revised: 8 April 2026; Accepted: 10 April 2026

DOI: https://doi.org/10.14456/lsej.2026.10

Abstract

This study aimed to determine the optimal conditions for syrup production from dried *Hom Thong* banana using pectinase and cellulase, as well as to evaluate the physicochemical properties and sensory acceptability of the developed product. Dried Hom Thong banana was extracted using pectinase and cellulase at concentrations ranging from 0.05–0.15% (w/w). The results indicated that the optimal condition was the combination of 0.10% pectinase and 0.15% cellulase, which yielded the highest extraction yield, total soluble solids (TSS), and clarity (% transmittance at 670 nm; $\%T_{670}$). The extracted juice was subsequently concentrated under vacuum at 60 and 70°C to produce syrup. The resulting syrup had TSS values in the range of 72–74 °Brix, complying with the standard for fruit syrups. In terms of physicochemical properties, lightness (L*) decreased, while redness (a*) and yellowness (b*) increased with increasing evaporation temperature. Reducing sugar content significantly increased ($p < 0.05$), whereas total phenolic content decreased. Sensory evaluation revealed that the syrup produced under the optimal condition received high acceptance scores, particularly in color, clarity, and overall acceptability. These findings demonstrate that the combined use of pectinase and cellulase, together with vacuum concentration, can effectively enhance extraction efficiency and improve product quality. This approach also shows strong potential for commercial application, adding value to dried Hom Thong banana.

Keywords: Dried *Hom Thong*, Pectinase, Cellulase, Syrup

บทนำ

กล้วยหอมทอง (*Musa AAA group*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย เนื่องจากสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีและเจริญเติบโตได้ดีในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น อีกทั้งยังเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในประเทศและการส่งออก (Pongprasert & Srilaong, 2014) ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา พื้นที่เพาะปลูกกล้วยหอมทองของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดี และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะการอุดมด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบตาแคโรทีน และฟลาโวนอยด์ (Fernando et al., 2014) อย่างไรก็ตาม แม้ว่ากล้วยหอมทองจะเป็นผลผลิตที่มีศักยภาพทางเศรษฐกิจสูง แต่ยังคงประสบปัญหาสำคัญด้านการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากจัดอยู่ในกลุ่มผลไม้ประเภท climacteric ซึ่งมีอัตราการหายใจและการสุกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยว

ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษาสั้นเพียง 5–7 วัน (Qamar & Shaikh, 2018) ข้อจำกัดดังกล่าวก่อให้เกิดการสูญเสียผลผลิตในห่วงโซ่อุปทาน โดยเฉพาะในช่วงที่ผลผลิตออกสู่ตลาดพร้อมกัน ส่งผลให้เกิดภาวะอุปทานส่วนเกิน (oversupply) ราคาผลผลิตตกต่ำ และนำไปสู่ความสูญเสียทางเศรษฐกิจทั้งในระดับเกษตรกรและชุมชน

เพื่อแก้ปัญหาการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว กล้วยหอมทองส่วนหนึ่งจึงถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กล้วยตาก ซึ่งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่นิยมในหลายพื้นที่ โดยอาศัยกระบวนการลดความชื้นของผลกล้วยสุกผ่านการตากแดดหรือการอบแห้ง (Mohapatra et al., 2011) การแปรรูปดังกล่าวช่วยยืดอายุการเก็บรักษา เพิ่มมูลค่า และสร้างรายได้เสริมให้กับเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชน ในปัจจุบันแนวโน้มการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอมทองตากมุ่งไปสู่รูปแบบของผลิตภัณฑ์ของเหลว สารสกัด และสารให้ความหวานธรรมชาติ ซึ่งสามารถเพิ่มศักยภาพการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ไซรัปที่สามารถนำไปใช้เป็นสารให้ความหวานธรรมชาติ (natural sweetener) และสารแต่งกลิ่นรส (flavoring agent) ในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ขนมหวาน ไอศกรีม และเครื่องดื่มฟังก์ชันนัล ซึ่งช่วยเพิ่มโอกาสทางการตลาดและสร้างมูลค่าเพิ่มในเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่นำกล้วยหอมทองมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยใช้เทคนิค foam mat drying ร่วมกับสารทำโฟม เช่น egg albumin และ carboxymethyl cellulose (CMC) (Chantaratheptimakul et al., 2025) อย่างไรก็ตาม แม้ว่ากล้วยตากจะได้รับความนิยม แต่ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังมีข้อจำกัดด้านคุณภาพ โดยเฉพาะเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน มักเกิดการเปลี่ยนสีคล้ำจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลทั้งที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browning) และไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning)

กระบวนการทำแห้งส่งผลให้เกิดการสะสมของน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugars) ในระดับสูง ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำคัญของปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) อันเป็นสาเหตุหลักของการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียความสามารถในการยอมรับทางการตลาด ราคาจำหน่ายลดลง และในบางกรณีไม่สามารถวางจำหน่ายได้ ส่งผลให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจต่อผู้ผลิตและชุมชน (da Mota et al., 2000) หนึ่งในแนวทางสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำผลไม้และผลิตภัณฑ์ไซรัป คือการประยุกต์ใช้เอนไซม์ โดยเฉพาะเอนไซม์เพคติเนสและเซลลูเลส ซึ่งมีบทบาทในการย่อยสลายโครงสร้างผนังเซลล์และสารประกอบเพคตินในเนื้อผลไม้ ช่วยลดความหนืด เพิ่มประสิทธิภาพการสกัด และปรับปรุงความใสของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ Tadakittisarn et al. (2007) รายงานว่าการใช้เอนไซม์เพคติเนสในการผลิตไซรัปจากกล้วยพันธุ์ Gros Michel สามารถเพิ่มผลผลิตและความใสของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ Kumar et al. (2023) พบว่าการใช้เอนไซม์ร่วมกันหลายชนิด เช่น เพคติเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลส สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำกล้วยได้

ถึงร้อยละ 79 และลดค่าความขุ่นลงเหลือเพียง 7 NTU ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่เหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ไซรัปและเครื่องดื่ม (Dowerah et al., 2023; Tapre & Jain, 2014)

เอนไซม์เพคติเนสทำหน้าที่เร่งการย่อยสลายพันธะไกลโคซิดิกในโครงสร้างพอลิเมอร์ของเพคติน ส่งผลให้โมเลกุลเพคตินที่เชื่อมโยงอยู่ในผนังเซลล์แตกตัวเป็นหน่วยที่มีขนาดเล็กลง ทำให้ความสามารถในการกักเก็บน้ำและสารประกอบต่าง ๆ ภายในเนื้อผลไม้ลดลง ขณะที่เอนไซม์เซลลูเลสมีบทบาทในการย่อยสลายพอลิแซ็กคาไรด์ของเซลลูโลสในผนังเซลล์ ซึ่งช่วยเพิ่มการปลดปล่อยน้ำและสารที่ละลายได้ออกจากเนื้อเยื่อพืช การทำงานร่วมกันของเอนไซม์ทั้งสองชนิดจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสกัดเพิ่มขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความใสและมีคุณลักษณะทางกายภาพที่ดี ตลอดจนช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นเครื่องดื่มหรือไซรัป (De Lange, 1988; Koffi et al., 1991)

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีงานวิจัยจำนวนมากที่ประสบความสำเร็จในการใช้เอนไซม์เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำผลไม้สด เช่น มะม่วง สับปะรด และกล้วยสด (Kumar et al., 2023; Tadakittisarn et al., 2007) แต่การประยุกต์ใช้เอนไซม์ในกล้วยหอมทองตาก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งจากกล้วยสุก ยังมีรายงานในเชิงระบบค่อนข้างจำกัด กล้วยตากมีโครงสร้างแตกต่างจากกล้วยสด เนื่องจากผ่านกระบวนการลดความชื้น ส่งผลให้เนื้อแน่นขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี เช่น การเพิ่มขึ้นของน้ำตาลรีดิวซ์และการเกิดสีน้ำตาล (Mohapatra et al., 2011) ปัจจัยดังกล่าวอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของเอนไซม์และคุณภาพของไซรัปที่ได้

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้เอนไซม์เพคติเนสและเซลลูเลสในการผลิตไซรัปจากกล้วยหอมทองตาก รวมทั้งประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านกายภาพ เคมี และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองตากและพัฒนาสู่การใช้ประโยชน์ในระดับชุมชนและอุตสาหกรรม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ และเอนไซม์

กล้วยหอมทองตากได้มาจากวิสาหกิจชุมชนวัยหวาน จังหวัดเพชรบุรี ดังแสดงในภาพที่ 1 (Figure 1) เอนไซม์เพคติเนส (5,000 PECTU/g) และเอนไซม์เซลลูเลส (120,000 IU/g) เกรดอาหาร (food grade) จัดหาจากบริษัทโนโวไซม์ (ประเทศไทย) จำกัด

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย กรดแกลลิก (ใช้เป็นสารมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด; Total Phenolic Content, TPC) จากบริษัท Thermo Scientific ประเทศฟินแลนด์ สารละลาย Folin–Ciocalteu จากบริษัท Loba Chemie Pvt., ประเทศอินเดีย โซเดียมคาร์บอเนต เมทานอล และกรดซิตริก



Figure 1 Dried *Hom Thong* Banana.

Table 1 Factors and concentration levels of enzymes used for the extraction of juice from dried *Hom Thong* banana.

Sample	Enzyme Concentration (%w/w)	
	Pectinase	Cellulase
1	0.15	0.05
2	0.10	0.05
3	0.05	0.05
4	0.15	0.10
5	0.10	0.10
6	0.05	0.10
7	0.15	0.15
8	0.10	0.15
9	0.05	0.15

Remark Pectinase and cellulase were used as experimental factors at concentration levels of 0.05%, 0.10%, and 0.15% (w/w). These treatments were applied to evaluate their effects on juice yield physical and chemical properties of the extracted banana juice.

2. การสกัดน้ำกล้วยหอมทองตาก

กล้วยหอมทองตากถูกหั่นและต้มในน้ำสะอาดที่อัตราส่วน 1:2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาปั่นจนเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) และปล่อยให้เย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง (น้ำสกัดกล้วยหอมทองตากก่อนการใช้เอนไซม์) ทำการย่อยด้วยเอนไซม์เพคติเนสและเซลลูเลสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.05–0.15 (w/w) ตามแผนการทดลองในตารางที่ 1 (Table 1) โดยตัวอย่างถูกบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที เพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์เพคติเนส จากนั้นบ่มต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที เพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลส ภายใต้สภาวะอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ หลังจากนั้นทำการหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์โดยให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ และนำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพ

. **3. การเตรียมไซรัปกล้วยหอมทองตาก**

น้ำสกัดที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนที่ 2 ถูกนำไปทำให้เข้มข้นด้วยการระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 55 mmHg จนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids; TSS) อยู่ในช่วง 72–74 °Brix เพื่อให้สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ไซรัปผลไม้ตาม Codex Alimentarius Commission (1992) และ Tadakittisarn et al. (2007) ซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 70 °Brix จากนั้นไซรัปที่ได้ถูกบรรจุในภาชนะขณะร้อน ปิดผนึก และปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง

4. การวิเคราะห์คุณภาพของสารสกัด

4.1 ร้อยละของผลผลิต (% yield) คำนวณร้อยละของผลผลิต ตามวิธีของ Mohapatra et al. (2011) โดยเปรียบเทียบมวลของสารสกัดที่ได้กับมวลของวัตถุดิบเริ่มต้น และคูณด้วย 100 เพื่อแสดงผลในรูปของร้อยละ

4.2 ค่าการส่องผ่านแสง (%Transmittance) วัดค่าการส่องผ่านแสงของสารสกัดโดยใช้เครื่อง spectrophotometer (V-730, JASCO, Japan) ที่ความยาวคลื่น 670 nm และรายงานผลเป็นร้อยละการส่องผ่านแสง ($\%T_{670}$) โดยค่าที่สูงขึ้นบ่งชี้ถึงความใสของตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น วิธีการดังกล่าวอ้างอิงจาก Molaee Parvarei et al. (2021)

4.3 ค่าสี (CIE L* a* b*) วิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างด้วยเครื่อง color meter (YS3010, 3NH, China) ในระบบ CIE L*, a*, b* โดยรายงานค่า L* (ความสว่าง) a* (สีแดง/สีเขียว) และ b* (สีเหลือง/สีน้ำเงิน) ซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของสีในกระบวนการผลิต (Cho et al., 2016)

4.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solids; TSS) วัดค่า TSS ด้วยเครื่อง hand refractometer (Atago, PAL-1, Japan) และรายงานผลเป็นองศาบริกซ์ (°Brix) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในตัวอย่าง วิธีการดังกล่าวเป็นมาตรฐานที่ใช้ทั่วไปในการประเมินคุณภาพของน้ำผลไม้และผลิตภัณฑ์ไซรัป (AOAC, 2000)

4.5 ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) วัดค่าความเป็นกรด–ด่างของตัวอย่างด้วยเครื่อง pH meter (ST20C-C, OHAUS, USA) โดยปรับเทียบเครื่องด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ pH 4.0 และ 7.0 ก่อนการวัดทุกครั้ง และรายงานผลเป็นค่าพีเอช (pH) ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (2000)

4.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content; TPC) วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin–Ciocalteu โดยดัดแปลงจาก Ainsworth & Gillespie (2007) โดยผสมตัวอย่างปริมาตร 0.1 mL กับสารละลาย Folin–Ciocalteu 0.5 mL และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 1.5 mL เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวม 10 mL และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก และรายงานผลเป็นมิลลิกรัมกรดแกลลิกสมมูลต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (mg GAE/100 g)

4.7 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugars) วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS method) ตาม Ismail (2024) โดยผสมตัวอย่างปริมาตร 1 mL กับสารละลาย DNS reagent 3 mL จากนั้นให้ความร้อนที่ 100°C เป็นเวลา 5 นาที ปล่อยให้เย็น และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 nm ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกลูโคส และรายงานผลเป็นกรัมกลูโคสสมมูลต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (g glucose equivalent/100 g)

5. การประเมินทางด้านประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสได้รับการยกเว้นการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ (Exempt Category) จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ โดยดำเนินการประเมินการยอมรับของผลิตภัณฑ์กับผู้บริโภคจำนวน 30 คน ในช่วงอายุ 20-25 ปี ผู้ทดสอบประเมินคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม โดยใช้มาตราส่วนความชอบแบบ 7 ระดับ (7-point hedonic scale; 1 = ไม่ชอบอย่างยิ่ง ถึง 7 = ชอบอย่างยิ่ง) และนำผลคะแนนไปวิเคราะห์เพื่อประเมินระดับการยอมรับของผู้บริโภค

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ (triplicate) ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเมื่อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) และ Independent Samples t-test ที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.05$ โดยใช้โปรแกรม SPSS

ผลการวิจัย

1. คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำสกัดกล้วยหอมทองตาก

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำสกัดกล้วยหอมทองตากเบื้องต้นก่อนการใช้เอนไซม์ พบว่ามีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids; TSS) เฉลี่ย 24.53±0.15 °Brix และมีค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) อยู่ที่ 4.94±0.16

เมื่อดำเนินการสกัดด้วยเอนไซม์เพคติเนสและเซลลูเลสตามแผนการทดลอง ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 2 (Table 2) พบว่าน้ำสกัดภายหลังการใช้เอนไซม์มีค่าร้อยละของผลผลิต (%yield) ระหว่างร้อยละ 34.56 ถึง 46.28 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) มีค่าอยู่ในช่วง 28.60 ถึง 31.20 °Brix และค่าการส่องผ่านแสง (%T670) ซึ่งสะท้อนถึงความใสของผลิตภัณฑ์ มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 43.59 ถึง 67.39 โดยชุดการทดลองที่ 7 และ 8 ให้ผลผลิตสูงที่สุด ขณะที่ค่าการส่องผ่านแสงชุดทดลองที่ 8 มีค่าความใสสูงที่สุดในทุกกลุ่มการทดลอง ส่วนค่าสีตามระบบ CIE L*, a*, b* แสดงในตารางที่ 3 (Table 3) พบว่าน้ำสกัดกล้วยหอมทองตากมีค่าความสว่าง (L*) อยู่ระหว่าง 25.80 ถึง 26.98 ขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a*) มีค่าอยู่ในช่วง 0.10 ถึง 0.70 และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีค่าอยู่ระหว่าง 2.87 ถึง 3.93

Table 2 Yield (%), total soluble solids (TSS, °Brix), and light transmittance (%T_{670}) of juice extracted from dried *Hom Thong* banana under different enzyme treatments.

Sample	%yield	TSS (°Brix)	%T_{670}
1	35.53±2.07^{a}	28.60±0.55^{a}	54.14±0.08^{c}
2	34.56±1.97^{a}	29.73±0.08^{c}	62.36±0.12^{d}
3	35.39±3.13^{a}	29.25±0.39^{b}	49.05±0.05^{abc}
4	41.52±2.22^{bc}	31.20±0.33^{e}	49.78±0.04^{abc}
5	42.61±3.41^{c}	29.75±0.08^{c}	46.90±0.07^{abc}
6	39.30±2.19^{b}	30.42±0.40^{c}	52.39±0.02^{bc}
7	46.28±3.23^{d}	30.47±0.48^{c}	43.59±0.04^{a}
8	46.28±1.53^{d}	30.30±0.11^{c}	67.39±0.03^{d}
9	44.45±3.55^{cd}	30.55±0.48^{c}	45.83±0.00^{ab}

Remark Values are expressed as mean ± SD (n = 9). Different superscript letters within the same column indicate significant differences at $p < 0.05$ according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

Table 3 Color measurements (L*, a*, and b*) of juice extracted from dried *Hom Thong* banana under different enzyme treatments.

Sample	L*	a*	b*
1	26.98±0.42^{d}	0.10±0.16^{a}	3.22±0.02^{ab}
2	26.47±0.06^{c}	0.50±0.15^{b}	3.19±0.29^{ab}
3	26.70±0.16^{c}	0.70±0.16^{b}	3.72±0.24^{bc}
4	26.47±0.04^{c}	0.50±0.36^{b}	3.61±0.34^{bc}
5	26.47±0.03^{c}	0.51±0.07^{b}	3.46±0.04^{abc}
6	26.48±0.44^{c}	0.64±0.48^{b}	3.93±1.19^{c}
7	25.82±0.23^{a}	0.68±0.27^{b}	3.07±0.59^{ab}
8	25.80±0.01^{a}	0.42±0.03^{ab}	2.87±0.09^{a}
9	26.17±0.04^{b}	0.63±0.46^{b}	3.29±0.43^{abc}

Remark Values are expressed as mean ± SD (n = 9). Different superscript letters within the same column indicate significant differences at $p < 0.05$ according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic Content; TPC) แสดงในตารางที่ 4 (Table 4) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 4.82 ถึง 4.92 และ 8.10 ถึง 32.82 mg GAE/100g ตามลำดับ โดยชุดทดลองที่ 7 และ 8 นั้น มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพควบคู่กัน พบว่าชุดทดลองที่ 8 ให้ลักษณะทางกายภาพที่ดีทั้งด้านร้อยละของผลผลิตและความใสซึ่งเป็นลักษณะที่เหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาเชิงพาณิชย์ ดังนั้นจึงเลือกชุดทดลองที่ 8 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปศึกษาต่อ

Table 4 pH and total phenolic content (TPC) of juice extracted from dried *Hom Thong* banana under different enzyme treatments.

Sample	pH	TPC (mg GAE/100g)
1	4.84±0.07^{a}	21.88±0.07^{bc}
2	4.82±0.01^{a}	17.79±0.01^{ab}
3	4.88±0.05^{ab}	29.74±0.06^{cd}
4	4.83±0.02^{a}	15.64±0.01^{ab}
5	4.87±0.06^{ab}	15.64±0.01^{ab}
6	4.86±0.02^{a}	32.82±0.23^{d}
7	4.92±0.04^{b}	16.89±0.01^{ab}
8	4.89±0.03^{a}	14.33±0.02^{ab}
9	4.85±0.02^{a}	8.10±0.02^{a}

Remark Values are expressed as mean ± SD (n = 9). Different superscript letters within the same column indicate significant differences at $p < 0.05$ according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

2. คุณภาพทางกายภาพและเคมีของไซรัปกล้วยหอมทองตาก

สำหรับการศึกษาคุณภาพของไซรัปกล้วยหอมทองตากที่ผ่านการระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบด้านสมบัติทางกายภาพแสดงดังตารางที่ 5 (Table 5) พบว่าร้อยละของผลผลิตไซรัปมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 37.21 ถึง 37.51 และค่าความสว่าง (L*) มีค่าอยู่ระหว่าง 24.61 ถึง 24.74 ซึ่งทั้งสองตัวแปรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกับค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.90 ถึง 1.92 อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิการระเหยเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 70 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดง (a*) ลดลงจาก 0.97 เป็น 0.47 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ค่าการส่องผ่านแสง ($\%T_{670}$) เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 34.47 เป็น 44.33 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ในด้านสมบัติทางเคมีและองค์ประกอบของไซรัปตามที่แสดงในตารางที่ 6 (Table 6) พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าอยู่ระหว่าง 4.49 ถึง 4.60 โดยการเพิ่มอุณหภูมิการระเหยส่งผลให้ค่า pH ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugar) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 20.22 ถึง 55.24 g/100g โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิการระเหยสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำตาล

รีดิวซ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic Content; TPC) มีค่าอยู่ระหว่าง 9.50 ถึง 13.16 mg GAE/100g ซึ่งอุณหภูมิการระเหยที่สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Table 5 Effects of vacuum evaporation temperature on yield, color parameters, and physical characteristics of syrup from dried *Hom Thong* banana.

Temperature (°C)	60	70
%yield^{ns}	37.51±2.53	37.21±4.81
L*^{ns}	24.74±0.30	24.61±0.37
a*	0.97±0.12^{a}	0.47±0.17^{b}
b*^{ns}	1.92±0.13	1.90±0.26
$\%T_{670}$	34.47±0.05^{b}	44.33±0.09^{a}

Remark Values are expressed as mean ± SD (n = 9). Different superscript letters within the same row indicate significant differences at $p < 0.05$ according to Independent Samples t-test.

Table 6 Effects of vacuum evaporation temperature on chemical properties, and composition of syrup from dried *Hom Thong* banana

Temperature (°C)	60	70
pH	4.60±0.04^{a}	4.49±0.02^{b}
Reducing Sugar (g/100g)	20.22±0.78^{a}	55.24±1.17^{b}
TPC (mg GAE/100g)	13.16±0.02^{a}	9.50±0.01^{b}

Remark Values are expressed as mean ± SD (n = 9). Different superscript letters within the same row indicate significant differences at $p < 0.05$ according to Independent Samples t-test.

3. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไซรัปกล้วยหอมทองตาก

จากผลการวิเคราะห์ด้านคุณภาพทางกายภาพและเคมีของไซรัปกล้วยหอมทองตาก จึงนำไซรัปกล้วยหอมทองตากที่ใช้อุณหภูมิการระเหยที่ 60 องศาเซลเซียส มาทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ผลการประเมินการยอมรับของผู้บริโภคดังแสดงในภาพที่ 2 (Figure 2) พบว่า ไซรัปกล้วยหอมทองตากได้รับคะแนนความชอบในระดับสูงในทุกด้าน โดยมีคะแนนด้านลักษณะปรากฏเท่ากับ 6.03±1.07 คะแนน ด้านสี 6.00±0.98 คะแนน และความชอบโดยรวม 6.10±0.76 คะแนน ซึ่งแสดงถึงความชอบมาก สำหรับด้านกลิ่นและรสชาติ ได้รับความชอบปานกลาง โดยมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 5.47±1.17 และ 5.53±1.20 ตามลำดับ

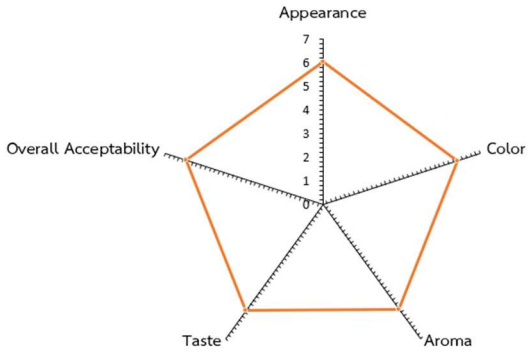


Figure 2 Sensory Evaluation of Sun-Dried *Hom Thong* Banana Syrup.

อภิปรายผล

1. คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำสกัดกล้วยหอมทองตาก

น้ำสกัดกล้วยหอมทองตากเบื้องต้นก่อนการใช้เอนไซม์มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เฉลี่ย 24.53±0.15 °Brix นั้นสอดคล้องกับลักษณะของกล้วยที่ผ่านกระบวนการทำแห้ง ซึ่งมักมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูง เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำระหว่างกระบวนการตาก (Mohapatra et al., 2011) อย่างไรก็ตาม ค่า TSS ที่ได้ในงานวิจัยนี้ต่ำกว่าช่วงที่รายงานในผลิตภัณฑ์กล้วยตากเชิงพาณิชย์ (ประมาณ 47–70%) เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างนั้นมีการเติมน้ำเพื่อช่วยในการบดผสม ส่งผลให้ค่า TSS ที่วัดได้เกิดการเจือจาง ทั้งนี้ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Chavan et al. (2010) ที่ระบุว่ากระบวนการเติมน้ำหรือการคืนน้ำ (rehydration) สามารถลดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูป ส่วนค่า pH ของน้ำสกัดนี้ พบว่ามีค่าเฉลี่ย 4.94 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสและเซลลูเลส (pH 4.5–5.0) ซึ่งบ่งชี้ว่าวัตถุดิบมีสภาวะที่เอื้อต่อการทำงานของเอนไซม์ และสามารถสนับสนุนประสิทธิภาพของกระบวนการสกัดได้ (Kumar et al., 2023)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำสกัดกล้วยหอมทองตากภายหลังการใช้เอนไซม์ ให้ร้อยละของผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 46.28 และมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 28.60–31.20 °Brix ทั้งหมดซึ่งสามารถอธิบายได้จากการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสที่ย่อยสลายเพคตินในบริเวณ middle lamella ส่งผลให้โครงสร้างเนื้อเยื่ออ่อนตัวและลดความหนืดของสารละลาย ขณะที่เอนไซม์เซลลูเลสช่วยย่อยสลายเซลลูโลสในผนังเซลล์ ทำให้โครงสร้างเซลล์แตกตัวและปลดปล่อยน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ออกมาเพิ่มขึ้น การทำงานร่วมกันของเอนไซม์ทั้งสองชนิดจึงก่อให้เกิดผลเสริมฤทธิ์ (synergistic effect) ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดและความใสของผลิตภัณฑ์ (Molaee Parvarei et al., 2021; Sharma et al., 2014) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Tadakittisarn et al. (2007) ที่พบว่าการใช้เอนไซม์เพคติเนสสามารถเพิ่มผลผลิตและความใสของน้ำกล้วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งสอดคล้องกับ Handique et al. (2019) ซึ่งรายงานว่าการใช้เอนไซม์เพคติเนสและเซลลูเลสร่วมกัน

สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำกล้วยได้สูงถึงร้อยละ 74.15 และลดความหนืดของน้ำผลไม้อย่างมีนัยสำคัญ และ Kumar et al. (2023) รายงานว่าการใช้เอนไซม์หลายชนิดร่วมกันสามารถเพิ่มผลผลิตน้ำกล้วยได้ถึง 79% และลดค่าความขุ่นลงเหลือ 7 NTU ซึ่งสะท้อนถึงผลเสริมฤทธิ์ของเอนไซม์ (synergistic effect) ต่อประสิทธิภาพการสกัด อย่างไรก็ตามค่าร้อยละของผลผลิต ที่ได้ในงานวิจัยนี้ต่ำกว่าบางรายงานในวรรณกรรม ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของชนิดวัตถุดิบและโครงสร้างของเนื้อเยื่อกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแล้วมีความหนาแน่นสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกล้วยสด ส่งผลให้การเข้าถึงของเอนไซม์ต่อผนังเซลล์ลดลง และจำกัดประสิทธิภาพในการย่อยสลายโครงสร้างพอลิแซ็กคาไรด์

ขณะที่ผลการศึกษาค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิการระเหยเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยา Maillard และคาราเมลไลเซชันที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะให้ความร้อน (Anese et al., 1999) ส่วนค่า a* และ b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในบางสภาวะ สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของสีไปในทิศทางที่เข้มขึ้น ค่า pH ของน้ำกล้วยหอมทองตากภายหลังการใช้เอนไซม์อยู่ในช่วง 4.82–4.92 โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มทดลอง ($p \geq 0.05$) ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์และความเสถียรของผลิตภัณฑ์ (Sharma et al., 2014)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content; TPC) ของน้ำสกัดกล้วยหอมทองตากมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยภายใต้สภาวะที่ใช้เอนไซม์ โดยเฉพาะเมื่อใช้อุณหภูมิสูงในระหว่างการบ่ม ดังตารางที่ 4 (Table 4) การลดลงดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกภายใต้อุณหภูมิสูง (thermal degradation) และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Ribeiro et al. (2010) ที่พบว่าการให้ความร้อนส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกลดลงในน้ำผลไม้หลายชนิด นอกจากนี้ปริมาณฟีนอลิกยังมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารฟีนอลิกบางชนิดมีความสัมพันธ์กับรสฝาด และความเข้มของสี ซึ่งการลดลงของสารดังกล่าวช่วยให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความยอมรับทางประสาทสัมผัสเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม สารฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ ซึ่งมีบทบาทต่อการชะลอการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการควบคุมสภาวะการผลิตและค่า pH ที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญในการรักษาสมดุลระหว่างคุณประโยชน์ด้านสุขภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัส สารฟีนอลิกยังมีบทบาทในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล (browning) โดยเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารฟีนอลิกในสภาวะที่มีออกซิเจน เมื่อเกิดร่วมกับความร้อนอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการควบคุมค่า pH และระดับของสารฟีนอลิกให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมจึงมีบทบาทสำคัญในการรักษาคุณภาพของไซรัป (Argo et al., 2021)

จากผลการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ พบว่าชุดการทดลองที่ 8 การใช้เอนไซม์เพคติเนสร้อยละ 0.10 และเอนไซม์เซลลูเลสร้อยละ 0.15 ให้ค่าร้อยละของผลผลิต ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และ $\%T_{670}$ สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 46.28 30.30 °Brix และ 67.39 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 (Table 2)

ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้เอนไซม์เพคติเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสในระดับความเข้มข้นปานกลาง (ร้อยละ 0.10) มีความเหมาะสมต่อการสกัดน้ำกล้วยตาก เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ขณะเดียวกันยังคงความใสของผลิตภัณฑ์ในระดับที่เหมาะสม ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Kumar et al. (2023) ที่รายงานว่าการใช้เอนไซม์ร่วมกันสามารถเพิ่มทั้งค่าร้อยละของผลผลิต และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้เอนไซม์ในความเข้มข้นสูงเกินไป อาจส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยสารที่ไม่ละลายน้ำจากผนังเซลล์ ทำให้ความขุ่นของสารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งสะท้อนถึงความสัมพันธ์เชิงผกผันระหว่างประสิทธิภาพการสกัดและความใสของผลิตภัณฑ์ แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับ Bhardwaj et al. (2021) ที่รายงานถึงผลเสริมฤทธิ์ (synergistic effect) ของเอนไซม์ต่อ yield แต่มีข้อจำกัดด้านความใส ด้วยเหตุนี้สภาวะของชุดการทดลองที่ 8 จึงเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตไซรัปกล้วยหอมทองตากในขั้นตอนถัดไป แต่อย่างไรก็ตาม ค่า TSS ที่ได้ (30.30 °Brix) ดังกล่าวยังต่ำกว่ามาตรฐานของไซรัปผลไม้สำเร็จรูป (≥70 °Brix) (Codex Alimentarius Commission, 1992) จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการทำเข้มข้นเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน

2. คุณภาพทางกายภาพและเคมีของไซรัปกล้วยหอมทองตาก

ในส่วนของกระบวนการเตรียมไซรัปจากน้ำกล้วยหอมทองตากด้วยการระเหยสุญญากาศ จากผลการทดลองในตารางที่ 5 (Table 5) พบว่าอุณหภูมิการระเหยสุญญากาศส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ โดยทำให้ค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิการระเหยเพิ่มจาก 60°C เป็น 70°C ขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวบ่งชี้ถึงการเกิดสีที่เข้มขึ้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากปฏิกิริยา Maillard และการคาราเมลไลเซชันของน้ำตาลรีดิวซ์ภายใต้สภาวะให้ความร้อน (Anese et al., 1999) แนวโน้มนี้สอดคล้องกับ Molaee Parvarei et al. (2021) ที่รายงานว่าการทำเข้มข้นน้ำผลไม้ด้วยความร้อนส่งผลให้ค่า L* ลดลง และค่า a* และ b* เพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความเข้มของสีในด้านความใส ($\%T_{670}$)

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีในตารางที่ 6 (Table 6) ได้แสดงให้เห็นว่าน้ำกล้วยก่อนการทำให้เข้มข้น มีค่า pH อยู่ในช่วงกรดอ่อน ถือว่าเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์และความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ (อยู่ในช่วง 4.49–4.60) ขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิการระเหยเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ 70°C ซึ่งสามารถอธิบายได้จากการสลายตัวทางความร้อน (thermal degradation) และการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก สอดคล้องกับรายงานของ Anese et al. (1999) และ Hafizov & Hafizov (2020) ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นผลจากการสลายตัวของน้ำตาลโมเลกุลคู่ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคสและฟรุกโตส แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับ Abdella & Ibrahim (2024) และ Arsad et al. (2015) ที่รายงานว่ากระบวนการให้ความร้อนและการทำงานของเอนไซม์สามารถ

ส่งเสริมการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำผลไม้ได้ การเปลี่ยนแปลงของ TPC และน้ำตาลรีดิวซ์ดังกล่าวสะท้อนถึงความสัมพันธ์เชิงผกผันระหว่างคุณสมบัติด้านสารต้านอนุมูลอิสระและความหวานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดคุณภาพทั้งด้านโภชนาการและการยอมรับของผู้บริโภค

3. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไซรัปกล้วยหอมทองตาก

จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยหอมทองตากได้รับการยอมรับในระดับสูงจากผู้บริโภค โดยเฉพาะในด้านสีและความใส ซึ่งได้รับคะแนนสูงที่สุด สะท้อนถึงผลของการใช้เอนไซม์ที่ช่วยปรับปรุงความใสและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับ Bhardwaj et al. (2021) ที่รายงานว่าน้ำผลไม้ที่ผ่านกระบวนการทำใสด้วยเอนไซม์ได้รับคะแนนการยอมรับด้านสีและลักษณะปรากฏสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ผ่านการปรับปรุง ในทำนองเดียวกัน Handique et al. (2019) พบว่าการใช้เอนไซม์ช่วยเพิ่มคะแนนด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์น้ำกล้วยอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ในด้านกลิ่นและรสชาติ พบว่าผลิตภัณฑ์มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 5.47±1.17 และ 5.53±1.20 ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งสามารถอธิบายได้จากการใช้กระบวนการระเหยสุญญากาศที่ช่วยลดการสูญเสียสารประกอบกลิ่นและรสระเหยง่ายเมื่อเทียบกับการระเหยในสภาวะบรรยากาศปกติ (Rasoulian et al., 2017) สำหรับความชอบโดยรวม พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำเข้มข้นที่อุณหภูมิ 70°C ได้รับคะแนนการยอมรับสูงที่สุด ซึ่งสะท้อนถึงความสมดุลของคุณลักษณะด้านสี ความใส และรสชาติของผลิตภัณฑ์ แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Abdella & Ibrahim (2024) ที่ระบุว่าความใสของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการยอมรับของผู้บริโภค

แม้ว่าคะแนนด้านกลิ่นและรสชาติจะยังได้รับอิทธิพลจากกระบวนการให้ความร้อน แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการทำเข้มข้นที่อุณหภูมิต่ำ หรือเทคโนโลยีเมมเบรนอาจช่วยรักษากลิ่นและรสได้ดียิ่งขึ้น ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสยืนยันว่าการใช้เอนไซม์ร่วมกับกระบวนการระเหยสุญญากาศสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ไซรัปกล้วยหอมทองตากที่มีคุณภาพดีและได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในระดับสูง ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพในการพัฒนาเชิงพาณิชย์ในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสภาวะการผลิตไซรัปจากกล้วยหอมทองตาก พบว่า การใช้เอนไซม์เพคติเนสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 (w/w) ร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.15 (w/w) ให้ค่า Yield (%), ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids; TSS) และค่าการส่องผ่านแสง (%T670) สูงที่สุดในสภาวะที่ศึกษา ภายหลังการทำให้เข้มข้นด้วยการระเหยสุญญากาศ พบว่าไซรัปมีค่า TSS อยู่ในช่วง 72–74 °Brix ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ไซรัปผลไม้ (≥70 °Brix) อย่างไรก็ตาม การเพิ่มอุณหภูมิการระเหยส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) ลดลง และค่าความเป็นสีแดง (a*)

และสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้น รวมถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความใสของผลิตภัณฑ์ ในด้านองค์ประกอบทางเคมี พบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงตามอุณหภูมิการระเหยที่สูงขึ้น ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ไซรัปได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในระดับสูง โดยเฉพาะด้านสี ความใส และความชอบโดยรวม สะท้อนถึงศักยภาพของกระบวนการผลิตในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดิน กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) งบประมาณด้าน ววน. Full Proposal ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2564 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่และอุปกรณ์ รวมถึงขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Abdella MA, Ibrahim GE. Application of statistical designs strategy to improve cellulase production using agro-waste residue by a novel isolate Bacillus licheniformis strain-MA1 and assessing the enzyme effect on apple juice quality. BMC microbiology 2024;24(1):511.

Ainsworth EA, Gillespie KM. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent. Nature protocols 2007;2(4):875-877.

Anese M, Nicoli MC, Massini R, Lerici CR. Effects of drying processing on the Maillard reaction in pasta. Food Research International 1999;32(3):193-199.

AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. City: AOAC International; 2000.

Argo BD, Damayanti C, Wulandari A, Mianadhiroh U. Effect of temperature and duration of thermal pasteurization on polyphenol oxidase (PPO) enzyme activity, total plate count (TPC), physicochemical and organoleptic properties of Cavendish banana fruit juice (Musa cavendishii). Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering (AFSSAAE) 2021;4(2):117-130.

Arsad P, Sukor R, Wan Ibadullah W, Mustapha N, Meor Hussin A. Effects of enzymatic treatment on physicochemical properties of sugar palm fruit juice. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology 2015;5(5):308-312.

Bhardwaj N, Kumar B, Agrawal K, Verma P. Current perspective on production and applications of microbial cellulases: a review. Bioresources and Bioprocessing 2021;8(1):95.

Chantaratheptimakul S, Santakul A, Boontham D, Jommark N. Effect of egg albumin concentration and carboxymethyl cellulose on properties of hom-thong banana [Musa acuminata (AAA group)'Gros Michel'] foam snack produced by foam mat drying. International Food Research Journal 2025;32(2).

Chavan U, Prabhukhanolkar A, Pawar V. Preparation of osmotic dehydrated ripe banana slices. Journal of food science and technology 2010;47(4):380-386.

Cho J-S, Lee H-J, Park J-H, Sung J-H, Choi J-Y, Moon K-D. Image analysis to evaluate the browning degree of banana (Musa spp.) peel. Food chemistry 2016;194:1028-1033.

Codex Alimentarius Commission. Codex alimentarius. City: Food & Agriculture Org.; 1992.

da Mota RV, Lajolo FM, Cordenunsi BR, Ciacco C. Composition and functional properties of banana flour from different varieties. Starch-Stärke 2000;52(2-3):63-68.

De Lange R. Enzymatic extraction and clarification of banana juice (Musa sapientum Linn. var. suaveolus); 1988.

Dowerah SS, Das A, Singla M, Sit N. Comparison of yield and properties of banana juice extracted by hot water extraction method and different enzymes and preparation of wine from the extracted juices. Food Bioengineering 2023;2(4):317-327.

Fernando H, Srilaong V, Pongprasert N, Boonyaritthongchai P, Jitareerat P. Changes in antioxidant properties and chemical composition during ripening in banana variety'Hom Thong'(AAA group) and'Khai'(AA group). International Food Research Journal 2014;21(2):749.

Hafizov SG, Hafizov GK. Effect of heat treatment and pH factor on phenolic components of pomegranate juice. Journal of Hygienic Engineering & Design 2020;33.

Handique J, Bora SJ, Sit N. Optimization of banana juice extraction using combination of enzymes. Journal of food science and technology 2019;56(8):3732-3743.

Ismail BP. Nielsen's Food Analysis Laboratory Manual. City: Springer; 2024.

Koffi E, Sims C, Bates R. Viscosity reduction and prevention of browning in the preparation of clarified banana juice. Journal of Food Quality 1991;14(3):209-218.

Kumar R, Singh AK, Yadav SK, Kumar M. Response Surface Optimization Of Banana (Musa Sp.) Fruit Juice Clarification Using Multi-Enzyme System (Pectinase, Cellulase And Hemicellulase). Journal of Namibian Studies 2023;35.

Mohapatra D, Mishra S, Singh CB, Jayas DS. Post-harvest processing of banana: opportunities and challenges. Food and bioprocess technology 2011;4(3):327-339.

Molaee Parvarei M, Khorshidian N, Yousefi M, Zendeboodi F, Mirsaeedghazi H. Effect of membrane clarification on the physicochemical properties of fruit juices: A review. Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering 2021.

Pongprasert N, Srilaong V. A novel technique using 1-MCP microbubbles for delaying postharvest ripening of banana fruit. Postharvest Biology and Technology 2014;95:42-45.

Qamar S, Shaikh A. Therapeutic potentials and compositional changes of valuable compounds from banana-A review. Trends in Food Science & Technology 2018;79:1-9.

Rasoulian SS, Aminifar M, Rashidi L. Investigating the effect of two different thermal methods of rotary evaporation and microwave on the phenolic content, antioxidant activity and color of grapefruit juice concentrate. 2017.

Ribeiro DS, Henrique SM, Oliveira LS, Macedo GA, Fleuri LF. Enzymes in juice processing: a review. International Journal of Food Science and Technology 2010;45(4):635-641.

Sharma HP, Patel H, Sharma S. Enzymatic extraction and clarification of juice from various fruits–a review. Trends Post Harvest Technol 2014;2(1):1-14.

Tadakittisarn S, Haruthaithanasan V, Chompreeda P, Suwonsichon T. Optimization of pectinase enzyme liquefaction of banana 'Gros Michel'for banana syrup production. Agriculture and Natural Resources 2007;41(4):740-750.

Tapre A, Jain R. Effect of enzymatic treatment on juice yield, viscosity and clarity of banana juice. Asian Journal of Dairy and Food Research 2014;33(1):25-31.