



การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำเชื่อมกากข้าวโพดหวาน Study of Suitable Conditions of Sweet Corn Pulp Syrup Production

น้ำฝน ไทวงษ์¹ นันทพร ขอนโพธิ์¹ ปิยธิดา ชาทิงกุลเอม¹ อุทุมพร ไชยวงษ์² อรรวรา ผาสุก² อภิษฎา คล่องแคล่ว³
นัฏฐา คเชนทร์ภักดี⁴ และทิพย์วรินทร์ รีมลัดวน^{3*}

Numphon Thaiwong¹, Nantaporn Khonpho¹, Piyathida Chatngulueam¹ Utumporn Chaiwong²,
Onwara Phasuk², Apitsada Khlongkhlaeo³, Natta Kachenpukdee⁴ and Thipwarin Rimlumduan^{3*}

¹คณะนวัตกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

²ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา 30320

³คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

⁴คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

¹Faculty of Agricultural Innovation and Technology, Rajamangala University of Technology Isan,
Muang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

²National Corn and Sorghum Research Center, Faculty of Agriculture, Kasetsart University,
Pak Chong, Nakhon Ratchasima 30320, Thailand

³Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan,
Muang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

⁴Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of technology Srivijaya, Trang Campus,
Sikao, Trang 92150, Thailand

*Corresponding author, e-mail: thipwarin.ri@rmuti.ac.th

(Received: Feb 22, 2024; Revised: Jul 19, 2024; Accepted: Aug 14, 2024)

บทคัดย่อ

กากข้าวโพดหวานเป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำนมข้าวโพดที่เป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่ได้รับความนิยม การกำจัดกากข้าวโพดหวานโดยการขายเป็นอาหารสัตว์มีมูลค่าต่ำ งานวิจัยนี้สนใจผลิตน้ำเชื่อมเพื่อเพิ่มมูลค่ากากข้าวโพดหวาน โดยศึกษาสภาวะการผลิตน้ำเชื่อมที่ใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสเข้มข้นร้อยละ 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ที่เวลาทำปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของแอลฟา-อะไมเลสและเวลาส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงสีทั้งหมด (ΔE) ความหนาแน่น ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของน้ำเชื่อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ความชื้นและแอกทิวิตีของน้ำมีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่าพีเอชไม่แตกต่างกันทางสถิติ น้ำเชื่อมที่ผลิตจากแอลฟา-อะไมเลสร้อยละ 0.20 มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีทั้งหมด ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และความหนาแน่นมากกว่าน้ำเชื่อมที่ใช้แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นต่ำ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ใช้แอลฟา-อะไมเลสเข้มข้นระดับเดียวกันไม่ส่งต่อค่าแสงส่องผ่าน และความหนาแน่นของน้ำเชื่อม ($p > 0.05$) การใช้แอลฟา-อะไมเลสร้อยละ 0.05-0.15 ทำให้ร้อยละการผลิตของน้ำเชื่อมมีค่าสูงประมาณร้อยละ 33.75 $\pm$ 1.75 ถึง 35.33 $\pm$ 0.58 ($p > 0.05$) ขณะที่น้ำเชื่อมที่ใช้แอลฟา-อะไมเลสร้อยละ 0.10 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุดเท่ากับ 82.38 $\pm$ 2.9 กรัมต่อลิตร ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ การใช้แอลฟา-อะไมเลสร้อยละ 0.10 และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำเชื่อมกากข้าวโพดหวาน เนื่องจากเป็นสภาวะที่น้ำเชื่อมมีค่าร้อยละการผลิตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด ($p \leq 0.05$)

คำสำคัญ : กากข้าวโพดหวาน น้ำเชื่อม แอลฟา-อะไมเลส กลูโคสอะไมเลส เวลาในการทำปฏิกิริยา

Abstract

Sweet corn pulp, a byproduct of corn milk production, is often disposed of at low prices, resulting in economic inefficiency. This study aimed to explore the potential for value addition through syrup production from sweet corn pulp. The research investigated syrup production conditions using alpha-amylase at concentrations of 0.05%, 0.10%, 0.15%, and 0.20%, with reaction times of 30 and 60 minutes. Results indicated that increasing alpha-amylase concentration and reaction time enhanced the total color change (ΔE), density,

and total soluble solids of the syrup. Conversely, moisture content and water activity decreased, while pH remained statistically unchanged. Syrup produced using 0.20% alpha-amylase for 60 minutes exhibited significantly higher total color change values, total soluble solids, and density compared to syrups produced with lower alpha-amylase concentrations ($p \leq 0.05$). Notably, reaction times did not significantly affect transmittance values and syrup density at the same alpha-amylase concentration ($p > 0.05$). The application of 0.05-0.15% alpha-amylase for syrup production yielded approximately $33.75 \pm 1.75\%$ to $35.33 \pm 0.58\%$ ($p > 0.05$). Syrup produced with 0.10% alpha-amylase demonstrated the highest reducing sugar content of 82.38 ± 2.9 g/L ($p \leq 0.05$). Therefore, the optimal conditions for sweet corn pulp syrup production were determined to be 0.10 alpha-amylase concentration with a 30-minute reaction time, resulting in the highest yield and reducing sugar content ($p \leq 0.05$).

Keywords: Sweet corn pulp, Syrup, Alpha-amylase, Glucoamylase, Reaction time

บทนำ

น้ำเชื่อมกลูโคส (Glucose syrup) เป็นชื่อเรียกรวมของสารให้ความหวานแต่ละประเภทที่ใช้สตาร์ช (Starch) เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตระดับอุตสาหกรรม (Echemi, 2022) วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตสารให้ความหวานซึ่งได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแป้งมีหลากหลายชนิด แต่แหล่งสตาร์ชที่สำคัญที่สุดในโลก ได้แก่ ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าว มันฝรั่ง มันสำปะหลัง และสาหร่าย ประเภทของสตาร์ชและความบริสุทธิ์ส่งผลต่อกระบวนการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคส (Berski & Ziobro, 2017) ประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศอื่นๆ ใช้สตาร์ชจากข้าวโพดเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้การผลิตน้ำเชื่อมกลูโคส และฟรุคโตสไซรัปภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากข้าวโพดเป็นธัญพืชที่มีผลผลิตสูงที่สุดในโลก ข้าวโพดจึงเป็นแหล่งวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตสตาร์ชซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคส (Fatourehchi *et al.*, 2022) ข้าวโพดหวานมีสตาร์ชเป็นส่วนประกอบ 20.06 ± 0.50 ถึง 31.10 ± 2.11 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลซูโครส 26.92 ± 0.68 ถึง 22.56 ± 1.86 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลกลูโคส 2.32 ± 0.23 ถึง 2.12 ± 0.16 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ 43.91 ± 1.28 ถึง 40.34 ± 1.35 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และความชื้น 79.84 ± 0.37 ถึง 77.41 ± 0.22 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (Zhang *et al.*, 2022) การไฮโดรไลซิสสตาร์ชเพื่อให้ได้กลูโคสจะใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) และกลูโคอะไมเลส (Glucoamylase) ในการทำปฏิกิริยา หรืออาจใช้กรดร่วมกับอีกทางหนึ่ง (Fatourehchi *et al.*, 2022) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นปฏิกิริยาการย่อยสารโดยน้ำจะเป็นตัวแยกพันธะเคมีของสาร การไฮโดรไลซิสสตาร์ชเป็นปฏิกิริยาที่ย่อยโมเลกุลสตาร์ชได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ได้แก่ มอลโทส โอลิโกแซ็กคาไรด์ เด็กซ์ทริน และกลูโคส (Rosida *et al.*, 2019) เอนไซม์ α -amylase เป็นเอนไซม์ที่ย่อยสายพอลิแซ็กคาไรด์ของสตาร์ชให้สั้นลงอย่างรวดเร็ว โดยการย่อยสายสตาร์ชจะเกิดขึ้นในโครงสร้างด้านในก่อนและจึงย่อยต่อไปยังด้านนอก โดยตัดพันธะไกลโคซิดิกชนิดแอลฟา-1,4 แบบสุ่ม ขณะที่เอนไซม์ Glucoamylase เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสพันธะไกลโคซิดิก ชนิดแอลฟา-1,4 (α -1,4) และแอลฟา-1,6 (α -1,6) จากปลายนอน-รีดิวซิง (Non-reducing end) (Jung *et al.*, 2017) อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิ ค่าพีเอช และเวลา เป็นปัจจัยสำคัญที่ควรคำนึงถึงในการไฮโดรไลซิสสตาร์ชในการผลิตน้ำเชื่อม (Rezvanian *et al.*, 2023)

ข้าวโพดหวาน (*Zea mays* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่ได้รับการส่งเสริมให้เกษตรกรทำการเพาะปลูก ปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยส่งออกข้าวโพดหวานประมาณ 26.6 เปอร์เซ็นต์ ของการส่งออกข้าวโพดหวานทั่วโลก (Thai Trade Centre New York, 2023) นอกจากนี้ ประเทศไทยยังเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวานแปรรูปอันดับที่ 2 ของโลก รองจากประเทศฮังการี (Food Intelligence Centre, 2019) ข้าวโพดหวานเป็นพืชที่มีศักยภาพสูงในด้านการผลิตและการตลาด มีระยะเวลาในการผลิตสั้นเพียง 70-75 วันเท่านั้น มีตลาดรองรับทั้งในรูปฝักสดและอุตสาหกรรมแปรรูป (Department of Agriculture, 2019) การแปรรูปข้าวโพดหวานนิยมนำมาแปรรูปเป็นน้ำนมข้าวโพด เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมบริโภคในกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพและผู้บริโภคกลุ่มมังสวิรัต ในกระบวนการผลิตน้ำนมข้าวโพดจะมีกากข้าวโพดหวานเหลือจากกระบวนการผลิต กากข้าวโพดหวานจะนำไปขายเป็นอาหารสัตว์ ซึ่งมีราคาประมาณกิโลกรัมละ 2-5 บาท งานวิจัยนี้จึงสนใจนำกากข้าวโพดหวานมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำเชื่อมจึงเป็นการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งให้มีมูลค่าสูงขึ้น โดยการศึกษาความเป็นไปได้และสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำเชื่อมโดยใช้เอนไซม์ในการผลิต จากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เอนไซม์ในการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสพบว่า Permanasari *et al.* (2018) ใช้แป้งข้าวฟ่างแดง

40 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารตั้งต้นในการผลิตน้ำเชื่อม และใช้เอนไซม์ α -amylase และ Glucoamylase เข้มข้นอย่างละ 0.27 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรต่อปริมาตร ได้น้ำเชื่อมที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุดเท่ากับ 191.60 กรัมต่อลิตร ขณะที่การผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสจากกล้วยโดยเอนไซม์ α -amylase เข้มข้น 0.25 เปอร์เซ็นต์ และ 0.50 เปอร์เซ็นต์พบว่า น้ำเชื่อมกลูโคส มีปริมาณกลูโคส 36.68 ± 1.20 เปอร์เซ็นต์ และ 38.32 ± 4.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Trisnaputri *et al.*, 2018) และการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสจากแป้งข้าวฟ่าง *Sorghum bicolor* L. Moench พันธุ์ Tabat และ *Pennisetum glaucum* พันธุ์ Wad-baco ที่กำหนดความเข้มข้นแป้งชนิดละ 30 เปอร์เซ็นต์ และใช้เอนไซม์ α -amylase เข้มข้น 1,000 ยูนิตต่อกรัมสตาร์ช Glucoamylase เข้มข้น 100 ยูนิตต่อกรัมสตาร์ช และพูลูลานาส (Pullulanase) เข้มข้น 0.5 ยูนิตต่อกรัมสตาร์ช ผลการศึกษาพบว่า น้ำเชื่อมกลูโคสจากข้าวฟ่าง Tabat และ Wad-baco มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 85.05 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ และ 81.73 ± 0.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Mohammed *et al.*, 2021) มาตรฐานของน้ำเชื่อมขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ส่วนผสม กรรมวิธีการผลิต และข้อกำหนดของแต่ละประเทศ กระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (United States Department of Agriculture) กำหนดมาตรฐานของน้ำเชื่อมที่บรรจุในภาชนะสำหรับการค้าจากวัตถุดิบและส่วนผสมของน้ำเชื่อม เช่น น้ำเชื่อมชนิดที่ 1 (น้ำเชื่อมผสม น้ำเชื่อมข้าวโพด น้ำเชื่อมข้าวโพดฟรุทโทสสูง) และ 2 (น้ำเชื่อมข้าวโพด) มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ไม่น้อยกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณเถ้าไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำเชื่อมชนิดที่ 3 (น้ำเชื่อมผสม น้ำเชื่อมข้าวโพด น้ำเชื่อมที่ได้จากการสกัด) ต้องมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ไม่น้อยกว่า 72 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณเถ้าไม่เกิน 1.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น (United States Department of Agriculture, 2017) ขณะที่มาตรฐานไซรัปจากเมเปิล แบ่งเกรดผลิตภัณฑ์จากสีของไซรัป ซึ่งไซรัปจากเมเปิลเกรดเอ และเกรดอุตสาหกรรม (Processing grade) มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ไม่เกิน 68.9 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (United States Department of Agriculture, 2016) ทั้งนี้ ประเทศไทยมีการกำหนดคุณภาพของน้ำเชื่อมที่ผลิตจากพืชในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไซรัปจากพืช (มพช.1500/2561) ที่กำหนดลักษณะปรากฏของไซรัปจากพืชต้องเป็นของเหลวข้น เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีผลึกน้ำตาล ไม่พบสิ่งแปลกปลอม สีและกลิ่นต้องเป็นไปตามธรรมชาติของไซรัปจากพืช มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต้องไม่น้อยกว่า 70 องศาบริกซ์ ห้ามใช้สี และวัตถุกันเสียทุกชนิด จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม แคลโมเนลลาต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม สแตฟีโลค็อกคัส ออเรียส ต้องน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์และรา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ขณะที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกลูโคสซีรัป (มอก. 268-2521) กำหนดคุณลักษณะทางเคมีของกลูโคสซีรัปต้องมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำสุดที่ 70 องศาบริกซ์ มีสมมูลเดซโตรสต่ำสุดที่ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก มีเถ้าอัลเฟตสูงสุดที่ 1.0 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักกลูโคสซีรัปที่แห้ง และมีค่าพีเอชระหว่าง 4.8-5.5 ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจในการนำกากข้าวโพดหวานมาแปรรูปเป็นน้ำเชื่อม โดยใช้ α -amylase ที่ความเข้มข้นต่างกัน 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์ และใช้เวลาการทำปฏิกิริยาต่างกันที่ 30 และ 60 นาที เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำเชื่อมจากข้าวโพดหวาน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

นำกากข้าวโพดหวานที่ได้จากไร้อุณหภูมิจากกลีจ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ซึ่งเป็นตัวอย่างแห้งแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ที่บรรจุอยู่ในถุงซิพชนิด LDPE มาทำการละลายให้กากข้าวโพดหวานมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ประมาณ 25 ± 2 องศาเซลเซียส นำกากข้าวโพดหวานมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามวิธี AOAC (2016) วัดค่าสี (Colorflex EZ 45-0(LAV), HunterLab, US) และวัดแอกทิวิตีของน้ำ (a_w) (LabTouch-aw with CM-3 Sensor, Novasina, Switzerland)

ชั่งกากข้าวโพดหวาน 100 กรัม ผสมกับน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 300 มิลลิลิตร ปั่นส่วนผสมให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นอาหาร (PHILIPS รุ่น HR3760/01, PHILIPS, Netherlands) ต้มกากข้าวโพดหวานปั่นละเอียดให้เดือดนาน 15 นาที ทำให้อุณหภูมิลดลงถึง 40 องศาเซลเซียส โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Thermo Scientific TSGP20 Digital General Purpose Water Bath, Thermo Fisher Scientific, US) นำกากข้าวโพดมาวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Hand held refractometer, Master-53M, Atago, Japan) วัดค่าพีเอชของกากข้าวโพดปั่น (pH Meter Benchtop F20, Mettler Toledo, Switzerland) โดยควบคุมให้กากข้าวโพดปั่นมีค่าพีเอชเท่ากับ 5.5-6.5

ตารางที่ 1 สภาวะการผลิตน้ำเชื่อมกากข้าวโพดหวาน

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น α -amylase (%)	เวลา (นาที)
ควบคุม	-	-
1	0.05	30
2	0.05	60
3	0.10	30
4	0.10	60
5	0.15	30
6	0.15	60
7	0.20	30
8	0.20	60

เติมเอนไซม์ α -amylase (Bacterially-derived enzyme, Still Spirits Distiller's Enzyme Alpha-Amylase, Bevie Handcraft NZ Limited, New Zealand) ซึ่งมีค่ากิจกรรมเอนไซม์ > 650 Kilo Novo alpha-amylase Units/gram (KNU-B/g) ที่ความเข้มข้น 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์ ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างกัน 30 และ 60 นาที ดังตารางที่ 1 เมื่อครบเวลาการทำปฏิกิริยาเติมเอนไซม์ Glucoamylase (Fungal-derived enzyme, Still Spirits Distiller's Glucoamylase Enzyme, Bevie Handcraft NZ Limited, New Zealand) ซึ่งมีค่ากิจกรรมเอนไซม์ > 100,000 หน่วยต่อกรัม ที่ความเข้มข้น 0.10 เปอร์เซ็นต์ ควบคุมอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เมื่อครบเวลาทำการหยุดปฏิกิริยาโดยนำตัวอย่างไปใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ทั้งให้เย็น กรองให้ได้สารละลายใส ชั่งน้ำหนักเริ่มต้น และนำตัวอย่างไประเหยน้ำด้วยเครื่องระเหย (รุ่น Rotavapor® R-100, BUCHI, Switzerland) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาทีต่อตัวอย่าง ชั่งน้ำหนักน้ำเชื่อมอีกครั้งเพื่อคำนวณค่าร้อยละการผลิต ทั้งนี้ ตัวอย่างควบคุมซึ่งเป็นตัวอย่างที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ α -amylase และ Glucoamylase นำไปใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำไปใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที หลังจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนการหยุดปฏิกิริยา ทั้งให้เย็น และกรองเหมือนกับตัวอย่างอื่น ๆ

2. คุณภาพทางกายภาพ

2.1 ค่าสีตัวอย่างด้วยเครื่องวัดค่าสี (Colorflex EZ 45-0(LAV), HunterLab, US) โดยวิเคราะห์ค่า L^* a^* b^* และคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE) ดังสมการ [1] ตามวิธีของ Osuji *et al.* (2020) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในประเมินการเปลี่ยนแปลงสีในภาพรวม

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad [1]$$

เมื่อ ΔL^* คือ ค่าความต่างระหว่างค่า L^* ของน้ำเชื่อมกับค่า L^* ของน้ำคั้นกากข้าวโพดหวาน (ควบคุม)

Δa^* คือ ค่าความต่างระหว่างค่า a^* ของน้ำเชื่อมกับค่า a^* ของน้ำคั้นกากข้าวโพดหวาน (ควบคุม)

Δb^* คือ ค่าความต่างระหว่างค่า b^* ของน้ำเชื่อมกับค่า b^* ของน้ำคั้นกากข้าวโพดหวาน (ควบคุม)

2.2 ค่าแสงส่องผ่าน (% Transmittance) วัดค่าแสงส่องผ่านของตัวอย่างที่ 560 นาโนเมตร (Double Beam Spectrophotometer UH5300, Hitachi, Japan) ตามวิธีของ Ait-Aissa *et al.* (2022) ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร เป็นความยาวคลื่นที่นำมาใช้บ่งชี้ความเข้มหรือความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่มีสีเหลืองได้ เช่น ไชร์ปจากเมเปิล (Head *et al.*, 2015)

2.3 ความหนาแน่น ตวงน้ำเชื่อมใส่กระบอกตวง 25 มิลลิตร หลังจากนั้นนำน้ำเชื่อมมาชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาค่าความหนาแน่นดังสมการ [2]

$$\rho = m/v \quad [2]$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิตร; m คือ น้ำหนักของน้ำเชื่อมที่ตวงได้ มีหน่วยเป็นกรัม; v คือ ปริมาตรของน้ำเชื่อม (งานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 25 มิลลิตร) มีหน่วยเป็นมิลลิตร

3. การวัดค่าคุณภาพทางเคมี

3.1 ความชื้นและแอกทิวิตีของน้ำ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Moisture Analyzer (MA37-1 SATORIUS, Satorius, Germany) และเครื่องวัดแอกทิวิตีของน้ำ (LabTouch-aw with CM-3 Sensor, Novasina, Switzerland) ตามลำดับ

3.2 ค่าพีเอชวิเคราะห์ด้วยเครื่อง pH meter (pH Meter Benchtop F20, Mettler Toledo, Switzerland)

3.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) วิเคราะห์ด้วย Hand held refractometer (Master-53M, Atago, Japan)

3.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS method (Dinitrosalicylic acid method) เตรียมสารละลาย 3,5-dinitrosalicylic acid (Loba, India) ตามวิธีของ Benhura *et al.* (2016) ปิเปตตัวอย่างน้ำเชื่อม 500 ไมโครลิตร เติมสารละลาย 3,5-dinitrosalicylic ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที เมื่อครบเวลาทำให้เย็น และเติมน้ำปราศจากไอออน 5 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานกลูโคส มีหน่วยเป็นกรัมต่อลิตร

4. ร้อยละการผลิต

นำน้ำหนักน้ำเชื่อมที่ได้จากข้อ 1 มาคำนวณร้อยละการผลิต (% Yield) ดังสมการ [3]

$$\% \text{ Yield} = (W_{FP}/W_{RM}) \times 100 \quad [3]$$

เมื่อ W_{FP} คือ น้ำหนักน้ำเชื่อม (กรัม); W_{RM} คือ น้ำหนักกากข้าวโพดหวาน (กรัม)

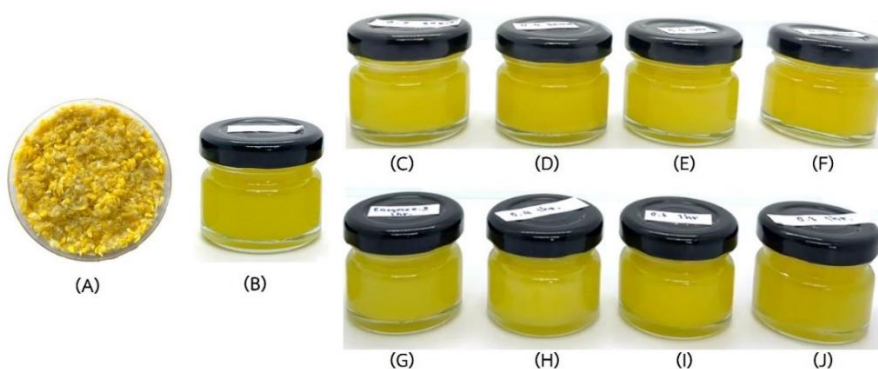
5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ 2×4 factorial experiments in CRD วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan multiple range test โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ IBM SPSS Statistics 26

ผลการวิจัย

1. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ ลักษณะปรากฏ ค่าสี ค่าแสงส่องผ่าน และความหนาแน่นของน้ำเชื่อม

ลักษณะปรากฏของกากข้าวโพดหวานและน้ำเชื่อมกากข้าวโพดหวาน แสดงดังภาพที่ 1 ค่าสี ค่าแสงส่องผ่าน และความหนาแน่นของกากข้าวโพดหวานและน้ำเชื่อมกากข้าวโพดหวานแสดงดังตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากข้าวโพดหวานมีปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน เยื่อใย โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 20.49 ± 0.63 2.09 ± 0.05 0.45 ± 0.01 0.08 ± 0.02 10.67 ± 1.86 และ 66.22 ± 0.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้ กากข้าวโพดบ่นมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เท่ากับ 4.67 ± 0.58 องศาบริกซ์ ซึ่งค่าสีของกากข้าวโพดหวานมีค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 79.80 ± 0.05 2.82 ± 0.12 และ 48.61 ± 0.09 ตามลำดับ และมีแอกทิวิตีของน้ำเท่ากับ 0.97 ± 0.01



ภาพที่ 1 (A) ลักษณะปรากฏของกากข้าวโพดหวาน; (B) ตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมเอนไซม์);

(C) น้ำเชื่อมที่ใช้ 0.05% α -amylase นาน 30 นาที; (D) น้ำเชื่อมที่ใช้ 0.10% α -amylase นาน 30 นาที;

(E) น้ำเชื่อมที่ใช้ 0.15% α -amylase นาน 30 นาที; (F) น้ำเชื่อมที่ใช้ 0.20% α -amylase 0.8% นาน 30 นาที;

(G) น้ำเชื่อมที่ใช้ 0.05% α -amylase นาน 60 นาที (H) น้ำเชื่อมที่ใช้ 0.10% α -amylase นาน 60 นาที;

(I) น้ำเชื่อมที่ใช้ 0.15% α -amylase นาน 60 นาที; (J) น้ำเชื่อมที่ใช้ 0.20% α -amylase 0.8% นาน 60 นาที

ตารางที่ 2 ค่าสี ค่าแสงส่องผ่าน และความหนาแน่นน้ำเชื่อมกากข้าวโพดหวาน

ตัวอย่าง	ค่าสี				ค่าแสงส่องผ่าน	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิเมตร)
	L^*	a^*	b^*	ΔE		
ควบคุม	19.87±0.85 ^a	-1.64±0.12 ^b	0.82±0.29 ^{bc}	-	1.98±0.03 ^e	1.0100±0.0740 ^c
1	17.75±1.70 ^{ab}	-1.37±0.27 ^b	0.87±0.22 ^{bc}	1.78±0.83 ^d	2.33±0.11 ^{ab}	1.2060±0.0197 ^b
2	15.46±0.77 ^{bc}	-1.63±0.29 ^b	1.37±0.23 ^b	1.32±0.76 ^d	2.34±0.07 ^a	1.2227±0.0230 ^{ab}
3	15.56±1.18 ^{bc}	-2.16±0.41 ^c	2.74±1.41 ^a	2.24±0.71 ^{cd}	2.23±0.13 ^{abcd}	1.2520±0.0087 ^{ab}
4	12.93±2.11 ^{cd}	-1.44±0.27 ^b	-0.15±0.14 ^{cd}	4.25±1.90 ^{bc}	2.30±0.15 ^{abc}	1.2467±0.0342 ^{ab}
5	12.68±1.83 ^{cd}	-1.28±0.14 ^b	-0.95±0.24 ^d	4.87±1.51 ^b	2.12±0.12 ^{cde}	1.2627±0.0247 ^{ab}
6	11.26±1.24 ^{de}	-0.64±0.26 ^a	-2.17±0.18 ^e	6.75±0.89 ^{ab}	2.13±0.09 ^{bcde}	1.2640±0.0183 ^{ab}
7	11.92±1.79 ^{de}	-0.67±0.09 ^a	-1.98±0.72 ^e	6.18±1.22 ^{ab}	2.06±0.10 ^{de}	1.2880±0.0352 ^a
8	9.53±2.17 ^e	-0.54±0.22 ^a	0.08±0.03 ^c	7.46±2.07 ^a	2.03±0.12 ^{de}	1.2793±0.0345 ^a

หมายเหตุ ตัวอย่างควบคุมเป็นตัวอย่างกากข้าวโพดที่ไม่มีการเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์; ตัวอักษร ^{a b c d e} ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 2 ตัวอย่างควบคุมมีค่า L^* มากที่สุด เท่ากับ 19.87 ± 0.85 ซึ่งตัวอย่าง 1 (0.05% α -amylase เวลา 30 นาที) มีค่า L^* อยู่ในระดับเดียวกัน ($p > 0.05$) ขณะที่ตัวอย่าง 8 (0.20% α -amylase เวลา 60 นาที) มีค่า L^* น้อยที่สุด โดยที่ค่า L^* ของตัวอย่าง 6 (0.15% α -amylase เวลา 30 นาที) และ 7 (0.20% α -amylase เวลา 30 นาที) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อพิจารณาค่า a^* พบว่า ตัวอย่าง 8 มีค่า a^* มากที่สุด และไม่แตกต่างทางสถิติกับตัวอย่าง 6 และตัวอย่าง 7 มีค่า a^* อยู่ในระดับเดียวกัน ($p > 0.05$) ขณะที่ตัวอย่าง 3 (0.10% α -amylase เวลา 30 นาที) มีค่า a^* น้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม ตัวอย่าง 3 มีค่า b^* มากที่สุด ($p \leq 0.05$) ขณะที่ตัวอย่าง 6 มีค่า b^* น้อยที่สุด และไม่แตกต่างทางสถิติกับตัวอย่าง 7 และจากการประเมินการเปลี่ยนแปลงสีทั้งหมด (ΔE) พบว่า ตัวอย่าง 8 มีค่า ΔE มากที่สุด (7.46 ± 2.07) และไม่แตกต่างทางสถิติกับ 6 และ 7 และตัวอย่าง 2 (0.10% α -amylase นาน 60 นาที) มีค่า ΔE น้อยที่สุด (1.32 ± 0.76) ซึ่งตัวอย่าง 1 และ 3 มีค่า ΔE อยู่ในระดับเดียวกัน ($p > 0.05$) การวัดค่าแสงส่องผ่านน้ำเชื่อมกากข้าวโพดหวานพบว่า ตัวอย่าง 2 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 2.34 ± 0.07 ซึ่งค่าแสงส่องผ่านของตัวอย่าง 1 3 และ 4 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีค่าแสงส่องผ่านน้อยที่สุด โดยที่ ตัวอย่าง 5 6 7 และ 8 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) และการศึกษาความหนาแน่นของน้ำเชื่อมกากข้าวโพดหวานพบว่า ตัวอย่างควบคุมมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดเท่ากับ 1.0100 ± 0.0740 กรัมต่อมิลลิเมตร ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้เอนไซม์ในการทำปฏิกิริยามีค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งตัวอย่าง 7 มีความหนาแน่นมากที่สุด (1.2880 ± 0.0352 กรัมต่อมิลลิเมตร)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่า ปริมาณเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำเชื่อมมีค่า L^* และ a^* ลดลง ซึ่งเวลาในการทำปฏิกิริยาไม่ส่งผลต่อค่า L^* แต่การเพิ่มเวลาส่งผลให้ค่า a^* มีแนวโน้มลดลง ในทางกลับกัน ค่า b^* ของน้ำเชื่อมมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเวลาส่งผลให้ค่า b^* เปลี่ยนแปลง แต่เปลี่ยนแปลงแบบไม่ไปในทิศทางเดียวกัน โดยตัวอย่างที่ใช้ α -amylase เข้มข้น 0.05 และ 0.20% จะมีค่า b^* เพิ่มขึ้น ขณะที่ตัวอย่างที่ใช้ α -amylase เข้มข้น 0.10 และ 0.15% มีค่า b^* ลดลง อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่า ΔE ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ L^* a^* และ b^* พบว่า การเพิ่มปริมาณเอนไซม์และเวลาในการทำปฏิกิริยาส่งผลให้ค่า ΔE ของน้ำเชื่อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การเพิ่มปริมาณเอนไซม์ส่งผลให้ค่าแสงส่องผ่านและความหนาแน่นของน้ำเชื่อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่ส่งผลต่อค่าทั้งสอง

2. ความชื้น แอกวิตติของน้ำ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และค่าพีเอช

ความชื้น แอกวิตติของน้ำ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และค่าพีเอชของน้ำเชื่อมกากข้าวโพดหวานแสดงดังตารางที่ 3 จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างควบคุมมีปริมาณความชื้นและค่าแอกวิตติของน้ำมากที่สุดเท่ากับ $84.18 \pm 0.74\%$ และ 0.9627 ± 0.0024 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่าง 5 (0.15% α -amylase ทำปฏิกิริยา 30 นาที) มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดเท่ากับ $66.08 \pm 0.95\%$ ($p \leq 0.05$) และตัวอย่าง 2 มีค่าแอกวิตติของน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 0.7606 ± 0.0017 ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้พบว่า ตัวอย่าง 8 มีค่ามากที่สุด ($29.67 \pm 0.76^\circ \text{Brix}$) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับตัวอย่าง 7 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้ ค่าพีเอชของน้ำเชื่อมกากข้าวโพด

หวานทุกตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าพีเอชระหว่าง 6.00 ± 0.16 ถึง 6.13 ± 0.11 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณเอนไซม์และเวลาในการทำปฏิกิริยาส่งผลให้ปริมาณความชื้นและแอกทิวิตีของน้ำมีค่าลดลง ในทางกลับกันปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเอนไซม์เพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาส่งผลให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

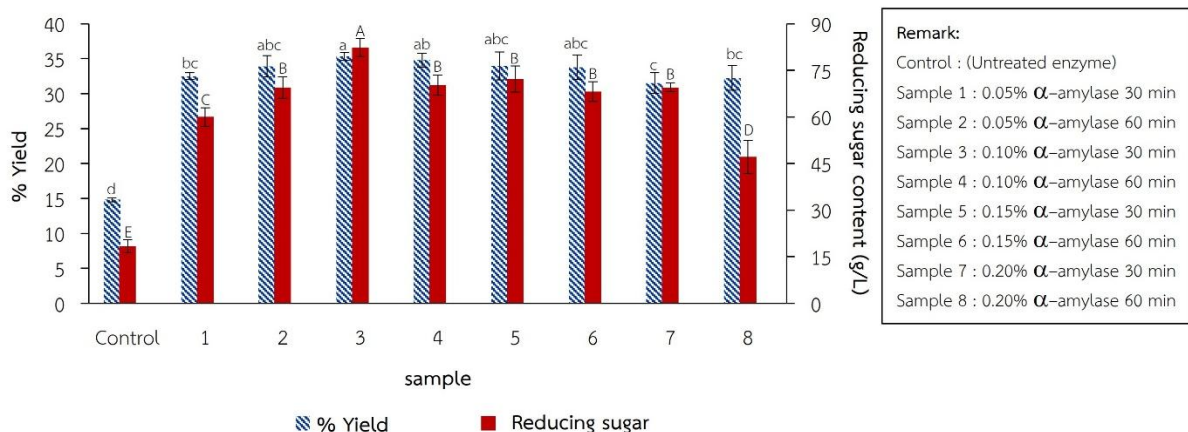
ตารางที่ 3 ปริมาณความชื้น แอกทิวิตีของน้ำ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ และค่าพีเอชของน้ำเชื่อมกากข้าวโพดหวาน

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	แอกทิวิตีของน้ำ (a_w)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ($^{\circ}$ Brix)	พีเอช (pH)
ควบคุม	84.18 ± 0.74^a	0.9627 ± 0.0024^a	16.50 ± 0.50^e	6.13 ± 0.11^{ns}
1	74.27 ± 1.10^b	0.8117 ± 0.0016^b	27.83 ± 1.53^{bc}	6.07 ± 0.08^{ns}
2	72.55 ± 0.51^{bc}	0.7606 ± 0.0017^s	25.50 ± 0.50^d	6.08 ± 0.22^{ns}
3	73.66 ± 0.77^{bc}	0.7999 ± 0.0023^c	26.37 ± 0.81^{cd}	6.06 ± 0.10^{ns}
4	72.71 ± 1.38^{bc}	0.7693 ± 0.0024^f	26.20 ± 0.62^{cd}	6.02 ± 0.18^{ns}
5	66.08 ± 0.95^e	0.7905 ± 0.0018^d	26.00 ± 1.32^d	6.02 ± 0.36^{ns}
6	72.41 ± 0.60^c	0.7713 ± 0.0028^f	27.07 ± 0.40^{bcd}	6.06 ± 0.16^{ns}
7	69.20 ± 1.21^d	0.7903 ± 0.0027^d	28.23 ± 1.10^{ab}	6.00 ± 0.16^{ns}
8	69.96 ± 1.07^d	0.7789 ± 0.0012^e	29.67 ± 0.76^a	6.05 ± 0.13^{ns}

หมายเหตุ: ตัวอย่างควบคุมเป็นตัวอย่างกากข้าวโพดที่ไม่มีการเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์; ตัวอักษร ^{a b c d e} ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%; ตัวอักษร ^{ns} ที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันทางสถิติ

3. ร้อยละการผลิตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ร้อยละการผลิตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ร้อยละการผลิตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำเชื่อมกากข้าวโพดหวาน

จากภาพที่ 2 พบว่า ร้อยละการผลิตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีในน้ำเชื่อมกากข้าวโพดหวานมีค่าระหว่าง 14.83 ± 0.29 ถึง 35.33 ± 0.58 เปอร์เซ็นต์ และ 17.11 ± 5.39 ถึง 82.38 ± 2.90 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ตัวอย่าง 3 (0.10% α -amylase เวลา 30 นาที) มีค่าร้อยละการผลิตมากที่สุด (35.33 ± 0.58 เปอร์เซ็นต์) โดยตัวอย่าง 2 4 5 และ 6 มีค่าร้อยละการผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ ตัวอย่าง 3 ยังเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุดเท่ากับ 82.38 ± 2.90 กรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างทั้งหมด ($p\leq0.05$) ทั้งนี้ตัวอย่างควบคุมเป็นตัวอย่างที่มีค่าร้อยละการผลิตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อยที่สุด ($p\leq0.05$) ค่าร้อยละการผลิตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเอนไซม์เพิ่มขึ้นจาก 0.05 และ 0.10 เปอร์เซ็นต์ แต่เริ่มมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเอนไซม์เป็น 0.15 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเวลาในการทำปฏิกิริยาไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าร้อยละการผลิตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของตัวอย่างที่ใช้เอนไซม์เข้มข้น 0.10 และ 0.15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ใช้เอนไซม์ที่ 0.05 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าร้อยละ

การผลิตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น ขณะที่การเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ใช้เอนไซม์ที่ 2.0 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าร้อยละการผลิตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากข้าวโพดหวานที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Panyasak & Tumwasorn (2015) ที่รายงานปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน เยื่อใย โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตของกากข้าวโพดหวานเพื่อนำไปทำอาหารสัตว์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.56 3.14 0.93 32.77 7.54 และ 55.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการศึกษาสภาวะการผลิตน้ำเชื่อมกากข้าวโพดหวานโดยใช้ α -amylase ซึ่ง α -amylase จะย่อยสายสตาร์ชโดยตัดพันธะไกลโคซิดิกชนิด α -1,4 แบบสุ่ม จากโครงสร้างด้านในก่อนและทำการย่อยต่อไปยังด้านนอกของสตาร์ชได้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (Jung *et al.*, 2017) การทำงานของ α -amylase ขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ชและระบบของเอนไซม์ ร้อยละการไฮโดรไลซิส (% hydrolysis) ของเอนไซม์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเม็ดสตาร์ชจับกับ α -amylase อย่างเหมาะสม ความไวในการทำปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดสตาร์ชและความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไฮโดรไลซิส (Jayanti, 2011 as cited in Marwati *et al.*, 2017) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ ได้แก่ ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ แรงดัน ค่าพีเอช โคแฟกเตอร์ และตัวยับยั้ง และความจำเพาะเจาะจงของเอนไซม์ (Scanlon *et al.*, 2018)

จากภาพที่ 2 การใช้ α -amylase ที่ความเข้มข้น 0.15 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำเชื่อมมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำกว่าการใช้ α -amylase ที่ 0.10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการใช้เอนไซม์มากเกินไปจะทำให้อัตราการเกิดของปฏิกิริยาไม่เพิ่มขึ้น เพราะไม่มีสตาร์ชซึ่งเป็นสารตั้งต้นเหลือพอที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้อยลง (Scanlon *et al.*, 2018) นอกจากนี้ อาจเป็นเพราะเกิดการยับยั้งปฏิกิริยาในระหว่างขั้นตอนการทำให้เป็นของเหลว (Liquefaction) หรือขั้นตอนการเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำตาล (Saccharification) เนื่องจากมีแป้งหรือกลูโคสเข้มข้นสูง (Acosta-Pavas *et al.*, 2020) ทั้งนี้ การใช้ α -amylase ที่ความเข้มข้น 0.10 เปอร์เซ็นต์ เวลา 30 นาที เป็นสภาวะที่กิจกรรมของเอนไซม์เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด การเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาอาจกระตุ้นให้โครงสร้างสามมิติของ α -amylase เกิดการเปลี่ยนแปลง เป็นผลให้ความจำเพาะเจาะจงของเอนไซม์กับสารตั้งต้นเปลี่ยนไป (Wang *et al.*, 2018) น้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงเกิดขึ้นน้อยลง อย่างไรก็ตาม การเพิ่มเวลาการทำปฏิกิริยาที่ α -amylase ระดับความเข้มข้นต่ำ (0.05 และ 0.10 เปอร์เซ็นต์) ส่งผลให้น้ำเชื่อมมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มเวลาการทำปฏิกิริยาเป็นการเพิ่มโอกาสให้สตาร์ชซึ่งเป็นสารตั้งต้นจับกับเอนไซม์และเปลี่ยนเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่ง α -amylase ที่ความเข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์ อาจเป็นความเข้มข้นที่เอนไซม์มีน้อยกว่าปริมาณสารตั้งต้น งานวิจัยนี้มีผลการทดลองสอดคล้องกับการไฮโดรไลซ์สตาร์ชจากข้าวฟ่างหวานด้วย α -amylase ที่ได้จาก *Bacillus licheniformis* เพื่อผลิตน้ำตาลกรวด โดยกำหนดความเข้มข้นของ α -amylase ที่ 0 20 40 60 80 100 และ 120 ไมโครลิตรต่อ 100 มิลลิตร ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การใช้ α -amylase ที่มากกว่า 80 ไมโครลิตรต่อ 100 มิลลิตร ในการทำเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของผลิตภัณฑ์ลดลง (Marwati *et al.*, 2017) อย่างไรก็ตาม การไฮโดรไลซิสสตาร์ชเพื่อผลิตน้ำเชื่อมจะมีน้ำตาลกลูโคสเกิดขึ้นด้วยเช่นกัน น้ำเชื่อมที่ได้จากการไฮโดรไลซิสข้าวพันธุ์พื้นเมืองของประเทศไนจีเรีย 10 สายพันธุ์ ด้วยเอนไซม์ α -amylase มีปริมาณกลูโคสซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 5.03 ± 0.01 ถึง 6.13 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ และมีน้ำตาลซูโครสเท่ากับ 2.86 ± 0.01 ถึง 3.58 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ (Ofoedu *et al.*, 2019) และเมื่อพิจารณาร้อยละการผลิต (ภาพที่ 2) พบว่า การใช้ α -amylase ที่ 0.10 เปอร์เซ็นต์ เวลา 30 นาที เป็นสภาวะที่มีร้อยละการผลิตมากที่สุด ($p < 0.05$) ซึ่งความเข้มข้นของเอนไซม์เป็นปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญต่อค่าร้อยละการผลิตของไซรัป ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่มากเกินไปไม่สามารถเปลี่ยนสารตั้งต้นเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ได้อีก เพราะสตาร์ชเปลี่ยนเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ไปหมดแล้ว โดยน้ำตาลรีดิวซ์จะสะสมรวมตัวกันอยู่ในรูปน้ำตาลต่อไปเรื่อย ๆ หากยังมีขั้นตอนการทำให้เป็นของเหลว และขั้นตอนการเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำตาลเกิดขึ้น (Permanasari *et al.*, 2018) จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความเข้มข้นของ α -amylase ที่ 0.15 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นความเข้มข้นที่มากเกินไปไม่สามารถทำให้สตาร์ชเปลี่ยนเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้อีก ทั้งนี้ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น ชนิดของสตาร์ช ความเข้มข้นของเอนไซม์ เวลาการทำปฏิกิริยา ความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยง ขนาดของเม็ดสตาร์ช และความหนืดของสตาร์ชวัตถุดิบ จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าร้อยละการผลิตของน้ำเชื่อมโดยเอนไซม์ (Mohammed *et al.*, 2021) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำเชื่อมจะส่งผลต่อลักษณะปรากฏ ค่าสี (L^* , a^* , b^* และ ΔE) ค่าแสงส่องผ่าน ความหนาแน่นของน้ำเชื่อม ความชื้น แอกวัตติของน้ำ และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

เนื่องจากกระบวนการผลิตน้ำเชื่อมจากข้าวโพดหวานโดยใช้เอนไซม์ α -amylase เพื่อไฮโดรไลซิสสตาร์ชให้ได้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้ความร้อนไม่เกิน 90 องศาเซลเซียส ในการแปรรูป จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์เกิดขึ้นในระหว่างการผลิต ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่น้ำตาลรีดิวซ์ กรดแอมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ ทำปฏิกิริยากัน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสารเมลานอยดิน (Melanoidins) ซึ่งเป็นสารสีน้ำตาล (Sharma *et al.*, 2021) นอกจากนี้ การแปรรูปด้วยความร้อนยังอาจส่งผลให้สารประกอบบางชนิดที่อยู่ในวัตถุดิบเกิดการเสื่อมสภาพและย่อยสลายออกมา (N'Guyen *et al.*, 2018) จากสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด และสารประกอบอื่นๆ ที่เกิดขึ้นจากการแปรรูปด้วยความร้อนจึงส่งผลให้น้ำเชื่อมมีสีเข้มขึ้น ความสว่างลดลง และเมื่อน้ำเชื่อมมีสีน้ำตาลเกิดขึ้นค่าสีจึงโน้มเอียงเป็นทางสีแดงและสีน้ำเงินมากขึ้น และจากค่า ΔE ซึ่งเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงสีทั้งหมด เป็นค่าที่นิยมใช้ระบุลักษณะการเปลี่ยนแปลงสีในอาหารที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิต (Nkhata, 2020) ดังนั้น ยังมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และสารประกอบอื่น ๆ เกิดขึ้นในน้ำเชื่อมมากเท่าไรก็ยิ่งทำให้มีโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและสารประกอบบางชนิดที่เกิดจากการแปรรูปด้วยความร้อน ส่งผลให้ค่า L^* a^* และ b^* ของน้ำเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงมากเพิ่มขึ้น ค่า ΔE จึงเพิ่มขึ้นตาม

ค่าแสงส่องผ่าน ความหนาแน่น และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของน้ำเชื่อมมีความสัมพันธ์กัน โดยน้ำตาลรีดิวซ์และสารประกอบอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นจากการไฮโดรไลซิสสตาร์ชจะทำให้ค่าแสงส่องผ่านของน้ำเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำเชื่อม อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่มีอยู่วัตถุดิบอาจส่งผลต่อค่าแสงส่องผ่านและค่าสีของน้ำเชื่อมได้เช่นกัน (Cabral *et al.*, 2022) และสาเหตุที่ความหนาแน่นของน้ำเชื่อมจากข้าวโพดหวานมีค่าเพิ่มขึ้นเพราะปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้นร่วมกับปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากขั้นตอนการระเหย อย่างไรก็ตาม ความหนาแน่นของน้ำเชื่อมจากข้าวโพดหวานมีค่าต่ำกว่าน้ำเชื่อมเมเปิลและน้ำเชื่อมข้าวโพด (Corn syrup) ที่มีค่าเท่ากับ 1.33 และ 1.48 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Vitz *et al.*, 2023) นอกจากนี้ ขั้นตอนการระเหยน้ำในกระบวนการผลิตน้ำเชื่อมเป็นการลดปริมาณความชื้นและค่าแอกทิวิตีของน้ำทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีสัดส่วนเพิ่มขึ้น การเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาในการทำปฏิกิริยาทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เพราะ α -amylase ที่ความเข้มข้นต่ำและเวลาน้อย อะไมโลสและอะไมโลเพคตินจะเริ่มเปลี่ยนเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ α -amylase และเวลาในการทำปฏิกิริยาจะทำให้อะไมโลสและอะไมโลเพคตินเปลี่ยนเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้มากขึ้นจึงทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (Permanasari *et al.*, 2018) นอกจากนี้ น้ำยังมีบทบาทสำคัญต่อการไฮโดรไลซิสสตาร์ชด้วยเอนไซม์ การให้ความร้อนแก่มวลของสตาร์ชที่มีส่วนผสมของน้ำมากเกินไปจะไปรบกวนโครงสร้างผลึกและโมเลกุลน้ำที่จับกับหมู่ไฮดรอกซิลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ทำให้สตาร์ชเกิดการบวมขึ้นและละลายน้ำได้ (Vanier *et al.*, 2017) ทั้งนี้ น้ำเชื่อมที่ใช้วัตถุดิบจากข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลีมีปริมาณความชื้นประมาณ 73.6 และ 70.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Alatyrev *et al.*, 2020) ขณะที่น้ำเชื่อมจากข้าวฟ่างและลูกเดือยสายพันธุ์ประเทศชูดานมีความชื้นประมาณ 50.9-59.79 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เท่ากับ 39-41 องศาบริกซ์ (Mohammed *et al.*, 2021) และผลจากการศึกษาค่าพีเอชของน้ำเชื่อม (ตารางที่ 3) พบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาในการทำปฏิกิริยาไม่มีผลต่อค่าพีเอชของน้ำเชื่อม อย่างไรก็ตาม ค่าพีเอชเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการไฮโดรไลซิสสตาร์ชด้วยเอนไซม์ อย่างไรก็ตาม α -amylase ที่มาจากแหล่งที่มาต่างกันจะมีค่าพีเอชที่ทำงานได้ดีที่สุดต่างกัน เช่น α -amylase จาก *Aspergillus niger* ทำงานได้ดีที่สุดที่พีเอช 6.5 (Nyarko *et al.*, 2019) ขณะที่ α -amylase จาก *B. subtilis* ITBCCB148 สามารถทำงานได้ดีที่สุดที่พีเอช 5.5 (Yandri *et al.*, 2020) และ α -amylase จาก *B. subtilis* QM3 ทำงานได้ดีที่สุดที่พีเอช 6.0 (Hu & Liu, 2021) เป็นต้น งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การผลิตน้ำเชื่อมโดยใช้กากข้าวโพดหวานเป็นวัตถุดิบมาแปรรูปเป็นน้ำเชื่อม ที่ใช้ α -amylase เข้มข้น 0.10 เปอร์เซ็นต์ และใช้เวลาการทำปฏิกิริยา 30 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำเชื่อมจากข้าวโพดหวาน

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำเชื่อมจากข้าวโพดหวาน ได้แก่ การใช้ α -amylase ความเข้มข้น 0.10 เปอร์เซ็นต์ และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที โดยมีค่าร้อยละการผลิตและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุดเท่ากับ 35.33 ± 0.58 เปอร์เซ็นต์ และ 82.38 ± 2.90 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และน้ำเชื่อมที่สภาวะดังกล่าวนี้มีความชื้นเท่ากับ 73.66 ± 0.77 เปอร์เซ็นต์ แอกทิวิตีของน้ำเท่ากับ 0.7999 ± 0.0023 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เท่ากับ 26.37 ± 0.81 องศาบริกซ์ ค่าพีเอชเท่ากับ



6.06±0.10 ค่าแสงส่องผ่านเท่ากับ 2.23±0.13 และความหนาแน่นเท่ากับ 1.2520±0.0087 กรัมต่อมิลลิลิตร

อย่างไรก็ตาม น้ำเชื่อมกากข้าวโพดหวานที่จากงานวิจัยนี้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของไซรัปจากพืช (มพช. 1500/2561) ที่กำหนดให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีปริมาณไม่น้อยกว่า 70 องศาบริกซ์ รวมถึงยังไม่มีข้อมูลที่ศึกษาคุณภาพด้านจุลินทรีย์และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่ยืนยันความปลอดภัยและการยอมรับของผู้บริโภคมีต่อผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้จึงยังต้องศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการระเหยน้ำเชื่อมกากข้าวโพดหวาน คุณภาพทางจุลินทรีย์ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นตามมาตรฐาน มีความปลอดภัย ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค และสามารถประยุกต์ใช้ในการผลิตจริงได้

เอกสารอ้างอิง

- Acosta-Pavas, J. C., Alzate-Blandon, L. & Ruiz-Colorado, A. A. (2020). Enzymatic hydrolysis of wheat starch for glucose syrup production. *DYNA*, 87(214), 173-182.
- Ait-Aissa, A., Gerliani, N., Orlova, T., Sadeghi-Tabatabai, B. & Aider, M. (2020). Development of a process for color improvement of low-grade dark maple syrup by adsorption on activated carbon. *ACS Omega*, 5(33), 21084–21093.
- Alatyrev, S. S., Alatyrev, A. S., Zaitsev, P. V., Bulatov, S. Y., Nechaev, V. N., Sizova, Y. V. & Moiseev, A. I. (2020). Results of comparative studies of grain syrup quality. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 433, 012031
- AOAC. (2016). *Official methods of analysis of AOAC international* (20th ed.). MD: AOAC International.
- Benhura, C., Kugara, J., Muchuweti, M., Nyagura, S. F., Gombero, P. E. & Dotito, P. (2016). Effect of drying temperature on the content of reducing sugars in syrups of *Parinari curatellifolia* Planch. Ex Benth. Fruit and cereal based products, zimbabwe. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 15(3), 494-499.
- Berski, W. & Ziobro, R. (2017). Pasting and gel characteristics of normal and waxy maize starch in glucose syrup solutions. *Journal of Cereal Science*, 79, 253-258.
- Cabral, M. M. S., de Almeida, Y. M. B., Andrade, S. A. C., Caldas, C. S., de Freitas, J. D., Costa, C. C. B. & Soletti, J. I. (2022). Influence of phenolic compounds on color formation at different stages of the VHP sugar manufacturing process. *Scientific Reports*, 12, 19922.
- Department of Agriculture. (2019). *Hybrid sweet corn seed (pilot) loss adjustment standards handbook* [Online]. Retrieved February 21, 2024, from: <https://www.rma.usda.gov/sites/default/files/handbooks/2019-Hybrid-Sweet-Corn-Seed-Pilot-Loss-Adjustment.pdf>
- Echemi. (2022). *All about glucose syrup* [Online]. Retrieved February 21, 2024, from: <https://www.echemi.com/cms/757841.html>
- Fatourehchi, F., Farrokhi, F., Eyvazzadeh, O., Bahadori, A. & Yaghoubi, A. A. S. (2022). Production of glucose syrup through enzymatic hydrolysis of flint and floury corn flour mixtures and evaluating its properties as cost-effective syrup. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 129(19), 23-38.
- Food Intelligence Centre. (2019). *Situation of the processed sweet corn product industry in Thailand* [Online]. Retrieved February 21, 2024, from: <https://fic.nfi.or.th/sector-monitor-detail.php?cat=15&type=&smid=2130#>. (in Thai)
- Head, J., Kinyunjui, J., Talbott, M. & Clifford, R. (2015). *Maple syrup color analysis using US/VIS spectrophotometry* [Online]. Retrieved March 9, 2024, from: <https://www.americanlaboratory.com/914-Application-Notes/180188-Maple-Syrup-Color-Analysis-Using-UV-VIS-Spectrophotometry/>



- Hu, Q. & Liu, J. (2021). Production of α -amylase by *Bacillus subtilis* QM3 and its enzymatic properties. *Open Access Library Journal*, 8, e7291.
- Jung, Y., Lee, B. & Yoo, S. (2017). Physical structure and absorption properties of tailor-made porous starch granules produced by selected amylolytic enzymes. *PLoS ONE*, 12(7), e0181372.
- Marwati, T., Cahyaningrum, N., Widodo, S., Astiati, U. T., Budiyo, A., Wahyudiono, Arif, A. B. & Richana, N. (2018). The effect of alpha amylase enzyme on quality of sweet sorghum juice for crystal sugar. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 102, 012090.
- Mohammed, O. E. F., Mustafa, A. M. I., Mohamed, B. E. & Ahmed, I. A. M. (2021). Enzymatic production of glucose syrup from Sudanese sorghum and millet. *National Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 6(3), 14-18.
- N'Guyen, G. Q., Martin, N., Jain, M., Lagace, L., Landry, C. R. & Filteau, M. (2018). A systems biology approach to explore the impact of maple tree dormancy release on sap variation and maple syrup quality. *Scientific Reports*, 8(1), 14658.
- Nkhata, S. G. (2020). Total color change (ΔE^*) is a poor estimator of total carotenoids lost during post-harvest storage of biofortified maize grains. *Heliyon*, 6, e05173.
- Nyarko, C., Mills, J. A., Afortude, J. K., Kizzie, N., Agbale, C. M. & Nyarko, S. B. (2019). Effect of pH stability of alpha amylase extracted from *Aspergillus niger* on starch from local rice in Ghana. *Asian Journal of Microbiology and Biotechnology*, 4(1), 24-34.
- Ofoedu, C. E., Osuji, C. M. & Ojukwu, M. (2019). Sugar profile of syrups from malted and unmalted rice of different varieties. *Journal of Food Research*, 8(1), 52-59.
- Osuji, C. M., Ofoedu, C. E., Omeire, G. C. & Ojukwu, M. (2020). Colour analysis of syrup from malted and unmalted rice of different varieties. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 12(1), 130-138.
- Panyasak, A. & Tumwasorn, S. (2015). Effect of moisture content and storage time on sweet corn waste silage quality. *Walailak Journal of Science and Technology*, 12(3), 237-243.
- Permanasari, A. R., Yulistiani, F., Purnama, R. W., Widjaja, T. & Gunawan, S. (2018). The effect of substrate and enzyme concentration on the glucose syrup production from red sorghum starch by enzymatic hydrolysis. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 160, 012002.
- Rosida, D. F., Djajati, S. & Susanti, F. S. (2019). Production of maltodextrin from Cocoyams (*Xanthosoma Sagittifolium*) starch using A-amylase enzyme. *Journal of Physics: Conference Series*, 1569, 042052.
- Rezvanian, K., Jafarinejad, S. & Bovell-Benjamin, A. C. (2023). A review on sweet potato syrup production process: effective parameters and syrup properties. *Processes*, 11, 3280.
- Sharma, J. K., Sihmar, M., Santal, A. R., Prager, L., Carbonero, F. & Singh, N. P. (2021). Barley melanoidins: key dietary compounds with potential health benefits. *Frontiers in Nutrition*, 8, 708194.
- Scanlon, M. G., Henrich, A. W. & Whitaker, J. R. (2018). Factors affecting enzyme activity in food processing In Yada, R. Y. (Ed.), *Proteins in Food Processing* (pp. 337-365). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Thai Trade Centre New York. (2023). *US corn market trends* [Online]. Retrieved February 21, 2024, from: <https://www.ditp.go.th/post/140972>. (in Thai)
- Trisnaputri, A. C., Usman, N. R., Mustawa, M. A. & Jaya, A. M. (2018). Production banana glucose syrup with the α -amylase supplementation. *International Journal of Applied Biology*, 2(1), 61-65.
- Vanier, N. L., Halal, S. L. M. E., Dias, A. R. G. & Zavareze, E. R. (2017). Molecular structure, functionality and applications of oxidized starches: A review. *Food Chemistry*, 221, 1546-1559.



- Vitz, E., Moore, J. W., Shorb, J., Prat-Resina, X., Wendorff, T. & Hahn, A. (2023). *Sugar soluble density* [Online]. Retrieved February 29, 2024, from: https://chem.libretexts.org/Ancillary_Materials/Exemplars_and_Case_Studies/Exemplars/Foods/Sugar_Solution_Density.
- United States Department of Agriculture. (2016). *United states standards for grades of maple syrup* [Online]. Retrieved March 9, 2024, from: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/MapleSyrupStandards.pdf>
- United States Department of Agriculture. (2017). *Commercial item description syrup (not including maple syrup)* [Online]. Retrieved March 9, 2024, from: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/CID%20Syrup.pdf>
- Wang, M., Jin, Z., Liu, L., Wang, Z., Li, F., Sun, W., *et al.* (2018). Inhibition of cyclodextrins on the activity of α -amylase. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, 90(3-4), 351–356.
- Yandri, Witazora, Y., Suhartati, T. & Hadi, H. S. S. (2020). Production, purification, and characterization of the α -amylase from local bacteria isolate *Bacillus subtilis* ITBCCB148. *Journal of Physics: Conference Series*, 1751, 012096.
- Zhang, W., Zhu, B., Childs, H., Whent, M., Yu, L., Pehrsson, P. R., *et al.* (2022). Effects of boiling and steaming on the carbohydrates of sweet corn. *ACS Food Science & Technology*, 2, 951–960.