

สภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยกระบวนการทางเอนไซม์ขั้นตอนเดียว

จิราพร เกตุวรารณ^{1,*}, ณัฐวัตร ทุมคำ², ภูมิพลวรรณ เขียวกล้า², วุฒิชัย โรจน์รติวงศ์²,
ดวงพร อารยะ¹ และฉลอง สังข์เงิน¹

¹สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ จังหวัดอุดรดิตถ์ ประเทศไทย

²สาขาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ จังหวัดอุดรดิตถ์ ประเทศไทย

บทคัดย่อ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* Linn.) ประกอบไปด้วยแป้งที่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส โดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสทำหน้าที่สลายพันธะ 1,4-ไกลโคซิดิกของแป้ง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม (ที่ 5.0, 6.0 และ 7.0) อุณหภูมิที่เหมาะสม (65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส) และเวลาที่เหมาะสม (30, 60, 120 และ 240 นาที) จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแป้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสคือ ความเป็นกรด-ด่างที่ 6.0 อุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการย่อยนาน 120 นาที ค่าสมมูลเด็กซ์โทรสที่ได้มีค่าเท่ากับ 59.9 ซึ่งสอดคล้องกับค่าสมมูลเด็กซ์โทรสชนิดของน้ำเชื่อมกลูโคสในทางอุตสาหกรรมอาหาร โดยนำไปใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบของขนมปัง เครื่องดื่ม และไอศกรีมได้

*ผู้เขียนหลัก : j.ketwaraporn@gmail.com

คำสำคัญ : ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์, เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส, ไฮโดรไลซิส

SCIENCE AND TECHNOLOGY
UTTARADIT RAJABHAT UNIVERSITY

Optimal Condition for Hydrolysis of *Zea mays* Linn. by One Step of Enzymatic Process

Jiraporn Ketwaraporn^{1,*}, Nattawat Thumkham², Pimonwan Kaeiwklam², Wuttichai Rotratiwong²,
Duangporn Areeya¹ and Chalongsungngoen¹

¹Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University,
Uttaradit, Thailand

²Chemistry Program, Faculty of Education, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit, Thailand

Abstract

Zea mays Linn. was contained starch which was hydrolyzed by alpha-amylase. Alpha-amylase played to cleave the alpha-1,4-glycosidic linkage in starch. This research was aimed to study the optimal conditions for enzyme hydrolysis. The studied parameters were included optimal pH (5.0, 6.0 and 7.0), optimal temperature (65, 75 and 85 °C) and optimal time (30, 60, 120 and 240 minutes). From the results, it could be concluded that the optimal conditions for corn-based starch hydrolysis of alpha-amylase were at pH 6.0, 65 °C and 120 minutes. The obtained dextrose equivalent value was 59.9 which was corresponding to syrups was also widely applied in processed food, bakery products, beverages and ice-creams.

*Corresponding Author : j.ketwaraporn@gmail.com

Keywords : *Zea mays* Linn., alpha-amylase, hydrolysis

SCIENCE AND TECHNOLOGY
UTTARADIT RAJABHAT UNIVERSITY

1. บทนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ซีเมส (*Zea mays* Linn.) หรือ corn เป็นพืชที่มีการปลูกอย่างแพร่หลายในทั่วทุกภาคของประเทศไทย กลุ่มส่งเสริมการผลิตพืชไร่นาได้กล่าวถึงศักยภาพในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไว้ว่า ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มได้หลากหลาย เช่น อาหารสัตว์ น้ำมันข้าวโพด แป้งข้าวโพดที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เอทานอล (ทดแทนพลังงาน) พลาสติกชีวภาพ (ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม) เป็นต้น แต่ยังมี การนำข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ไปสร้างมูลค่าเพิ่มในอุตสาหกรรมมีน้อย และยังขาดการวิจัย ซึ่งแนวทางการแก้ไขปัญหาของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ควรที่จะมีแนวทางการวิจัยและพัฒนาวิจัยและพัฒนาข้าวโพดให้มีความหลากหลายทั้งในรูปผลิตภัณฑ์อาหารและไม่ใช่อาหาร^[1] ดังนั้น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จึงเป็นพืชที่น่าสนใจสำหรับนำมาศึกษาการแปรรูปเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ

ในเมล็ดข้าวโพดส่วนที่เป็นแป้ง (Starch) จะประกอบไปด้วยอะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเพกติน (Amylopectin) โดย อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะอัลฟา-1,4-ไกลโคซิดิก (alpha-1,4-glucosidic linkage) ส่วนอะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งที่ประกอบด้วยกลูโคส โดยส่วนที่ต่อกันเป็นเส้นตรงจะเชื่อมกันด้วยพันธะอัลฟา-1,4-ไกลโคซิดิก (alpha-1,4-glucosidic linkage) และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาจะเชื่อมกันด้วยพันธะอัลฟา-1,6-ไกลโคซิดิก (alpha-1,6-glucosidic linkage) ในการย่อยแป้งสามารถย่อยได้ด้วยวิธีการทางเคมีโดยใช้กรด และวิธีการทางชีวภาพโดยใช้เอนไซม์ แต่ปัจจุบันนิยมใช้กระบวนการทางเอนไซม์เนื่องจากสามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย ใช้สภาวะที่ไม่รุนแรง มีความเฉพาะเจาะจง และไม่เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียง อีกทั้งภาชนะที่ใช้ไม่เกิดการกัดกร่อนจากกรดอีกด้วย^[2]

เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยแป้งได้แก่ เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (Alpha-Amylase) เพื่อย่อยแป้งให้มีขนาดเล็กลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ มอลโตส มอลโตไตรออส และเดกซ์ทริน เป็นต้น จากนั้นจึงทำการย่อยต่อด้วยเอนไซม์เบต้าอะไมเลส (Beta-Amylase) มอลโตจินเนส (Maltogenase) หรือพูลูลานเนส (Pullulanase) เพื่อเปลี่ยนเดกซ์ทรินเป็นมอลโตส^[3]

โดยทั่วไป กระบวนการย่อยแป้งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ เจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ลิควิแฟกชัน (Liquefaction) และแซ็กคาริฟิเคชัน (Saccharification) ดังนี้ เริ่มจากการเจลาติไนเซชันเป็นขั้นตอนการให้ความร้อนกับน้ำแป้ง เพื่อละลายเม็ดเกรนูลของแป้งที่มีขนาดเล็กให้กลายเป็นซัสเพนชัน (suspension) ที่มีความหนืด จากนั้นจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์หรือกรดต่อมาขั้นตอนที่สอง ลิควิแฟกชัน เป็นขั้นตอนการไฮโดรไลซ์แป้งบางส่วน โดยเอนไซม์อะไมเลส ซึ่งจะเป็นการย่อยแบบสุ่ม ทำให้ได้แซ็กคาไรด์สายสั้นคือ เดกซ์ทรินและโอลิโกพอลิแซ็กคาไรด์ แป้งจะมีความ

หนึ่ดลดลงอย่างรวดเร็ว และสุดท้ายการแช่คาร์บอนเป็น การย่อยเดกซ์ทรินให้น้ำตาลโมเลกุลคู่ และน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่างๆ ตามชนิดของเอนไซม์ที่ใช้^[4]

ในอุตสาหกรรมแป้งจะใช้ปริมาณความหวานหรือค่าสมมูลเดกซ์โทรส (Dextrose equivalent, DE) ในการอธิบายผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ดังนั้น ปริมาณความหวานหรือค่า DE จะบอกให้ทราบถึงเปอร์เซ็นต์การไฮโดรไลซ์ (Hydrolyze) แป้งหรือปริมาณแป้งที่ถูกย่อย สำหรับค่าสมมูลเดกซ์โทรสของน้ำเชื่อมกลูโคส (Glucose syrup) หมายถึง ปริมาณน้ำตาลเดกซ์โทรส (Dextrose) ซึ่งก็คือกลูโคส (D-glucose) ที่มีอยู่ในน้ำเชื่อมกลูโคสทั้งหมด โดยน้ำหนักแห้ง หากแป้งถูกไฮโดรไลซ์เป็นน้ำตาลกลูโคสมาก จะทำให้ได้น้ำเชื่อมกลูโคสที่มีค่า DE สูงมีความหวานมาก และมีความใสมากขึ้น^[3]

ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยเอนไซม์ในขั้นตอนเดียว สภาวะที่ทำการศึกษได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และเวลา เอนไซม์ที่ใช้คือ เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส สารสกัดที่ได้จากการย่อยจะถูกนำมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และค่า DE เพื่อบ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำเชื่อมที่ได้ สำหรับประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยคือ ผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์แป้งด้วยกระบวนการทางเอนไซม์ในขั้นตอนเดียว ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ เช่น ขนมปัง เครื่องดื่ม และไอศกรีม เป็นต้น และเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของเม็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อีกด้วย

2. วิธีดำเนินการ

2.1 วัตถุดิบ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้จากบริษัทพัฒนานิคมเกษตรจำกัด อำเภอด่านซ้าย จังหวัดแพร่

2.2 สารเคมี

กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) ได้จากบริษัท Fisher Scientific ประเทศอังกฤษ แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium Chloride) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ได้จากบริษัท LabScan ประเทศไทย โซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต (Sodium Potassium Tartrate) ได้จากบริษัท Loba ประเทศอินเดีย 3,5-ไดไนโตรซาลิไซลิก (3,5-dinitrosalicylic acid, DNS) ได้จากบริษัท Acros ประเทศจีน และเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (Alpha-Amylase) มีค่ากิจกรรมทำงานของเอนไซม์ที่ 151,800 ยูนิตต่อมิลลิกรัม (U/mg) ได้จากบริษัท Omnimax Bio ประเทศไทย

2.3 การเตรียมวัตถุดิบ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้จากบริษัทพัฒนานิคมเกษตรจำกัดถูกนำมาบดให้มีขนาดเล็กโดยใช้เครื่องปั่นไฟฟ้า (Philips, Japan) แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเพื่อแยกส่วนที่มีขนาดใหญ่ออกไป ให้ได้ข้าวโพด

เม็ดแตกที่บดละเอียดซึ่งมีขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำมาเก็บในภาชนะที่ปิดสนิทและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2.4 การศึกษาความเป็นกรด-เบสหรือค่า pH ที่เหมาะสมต่อการย่อยข้าวโพดเม็ดแตก

เริ่มต้นทำการเตรียมสารละลายวัสดุข้าวโพดที่ความเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร (35 %w/v) โดยใช้น้ำกลั่นที่เย็นเป็นตัวทำละลาย ซึ่งทำการปรับ pH ของสารละลายข้าวโพดโดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 6 โมลาร์ (M) ให้มีค่า pH เท่ากับ 5.0, 6.0 และ 7.0 ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการปั่นให้เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที ต่อมาเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสลงในสารละลายข้าวโพด ที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ 150 ยูนิตต่อกรัมของวัตถุดิบ (U/g) นอกจากนี้ยังใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 200 ppm ช่วยในการทำงานของเอนไซม์ แล้วทำการไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิคงที่ 75 องศาเซลเซียส และปั่นด้วยความเร็วคงที่เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นทำการหยุดการทำงานของเอนไซม์โดยใช้ความร้อนสูงเป็นเวลา 15 นาที และทำให้เย็น ทำการกรองด้วยผ้าขาวบางและปั่นแยกตะกอนออกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ต่อมาจึงนำส่วนของเหลวที่ได้มาทำการทดสอบหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS รีเอเจนต์

2.5 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยข้าวโพดเม็ดแตก

สำหรับการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเตรียมน้ำเชื่อม ได้ทำการแปรผันอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาคือ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส ซึ่งสภาวะอื่นที่ใช้ในการไฮโดรไลซิสได้แก่ ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ 150 U/g สารละลายข้าวโพดเตรียมความเข้มข้น 35%w/v ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ใช้ที่ 200 ppm pH ในการไฮโดรไลซิสที่ 6.0 และเวลาที่ใช้คือ 4 ชั่วโมง ซึ่งกระบวนการในการเตรียมนมโอดีเด็กซ์ทรินนั้นได้ทำเหมือนกับการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสม เมื่อเตรียมสารละลายนมโอดีเด็กซ์ทรินเสร็จแล้ว จึงนำส่วนของเหลวที่ได้มาทำการทดสอบหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS รีเอเจนต์

2.6 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมต่อการย่อยข้าวโพดเม็ดแตก

การศึกษาเวลาที่เหมาะสม โดยทำการแปรผันเวลาที่ใช้ได้แก่ 30, 60, 120 และ 240 นาที สภาวะอื่นที่ใช้ได้แก่ ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ 150 U/g สารละลายข้าวโพดเตรียมความเข้มข้น 35%w/v ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ใช้ที่ 200 ppm pH ในการไฮโดรไลซิสที่ 6.0 และใช้อุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส และสุดท้ายนำส่วนของเหลวที่ได้มาทำการทดสอบหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS รีเอเจนต์

2.7 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และค่าสมมูลเด็กซ์โทรส

การทดสอบหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS รีเอเจนต์ โดยใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นสารมาตรฐาน เริ่มแรกทำเตรียมสารละลายกลูโคสที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 6 ความเข้มข้นได้แก่ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อลิตร ลงในหลอดทดลองปริมาตร 2 มิลลิลิตร เติมน้ำตาลละลายกรด 3,5-ไดไนโตรซาลิไซลิก (DNS) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำหลอดทดลองไปแช่ในอ่างน้ำแข็งเป็นเวลา 5 นาที ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคสเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของสารตัวอย่าง

สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของสารตัวอย่าง จะเปลี่ยนจากสารละลายกลูโคสมาเป็นของเหลวที่ได้จากการย่อยสารละลายแป้งข้าวโพดที่สภาวะต่างๆ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาแปลผลเป็นค่าความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีอยู่ในของเหลวตัวอย่างในสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐาน ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีอยู่ในของเหลวตัวอย่างจะแสดงในหน่วยมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (mg/mL)

การหาค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (Dextrose Equivalent, DE)^[5] สามารถหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$DE = (\text{ร้อยละน้ำตาลรีดิวซ์} / \text{ร้อยละปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในตัวอย่าง}) \times 100$$

3. ผลการวิจัย

จากการศึกษาความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมต่อการย่อยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ย่อยที่ pH 5.0, 6.0 และ 7.0 ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ที่สภาวะความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 6.0 เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสมีความสามารถในการย่อยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้ดีที่สุด ซึ่งสังเกตได้จากค่า DE ที่มีค่าสูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสมมูลเด็กซ์โทรสที่ได้จากการย่อยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สภาวะความเป็นกรด-เบสต่างๆ

ค่า pH	ค่าสมมูลเด็กซ์โทรส
5.0	43.7 ± 1.5
6.0	56.7 ± 2.7
7.0	50.3 ± 7.2

จากการเตรียมน้ำเชื่อมที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส ได้ค่าสมมูลเด็กซ์โทรสเท่ากับ 62.7, 56.7 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ส่วนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ภายหลังจากไฮโดรไลซิสแล้วนั้น ไม่สามารถทำการแยกส่วนของเหลวออกจากส่วนที่เป็นของแข็งได้ ทำให้ไม่สามารถทำการหาปริมาณ

น้ำตาลรีดิวซ์ของอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสได้ ดังนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการย่อยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์คือ 65 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีค่าสมมูลเด็กซ์โทรสสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hirary และคณะ^[6] ที่ได้ทำการผลิตน้ำเชื่อมมอลโตสความเข้มข้นสูงด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสจากแป้งมันสำปะหลัง พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำเชื่อมมอลโตสคือ อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส ซึ่งได้น้ำเชื่อมมอลโตสเท่ากับ 79.0 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 2 ค่าสมมูลเด็กซ์โทรสที่ได้จากการย่อยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าสมมูลเด็กซ์โทรส
65	62.7 ± 5.3
75	56.7 ± 2.7

ในการศึกษาเวลาที่เหมาะสมต่อการย่อยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยทำการแปรผันเวลาที่ใช้ได้แก่ 30, 60, 120 และ 240 นาที จากค่าสมมูลเด็กซ์โทรสที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3 ปรากฏว่า เวลาที่มีผลต่อการย่อย เมื่อเพิ่มเวลาในการย่อยมากขึ้นจะทำให้ได้น้ำตาลมากขึ้น ถึงแม้ว่า การย่อยที่เวลา 240 นาที จะทำให้ได้ค่าสมมูลเด็กซ์โทรสสูงที่สุด คือ 59.9 แต่เวลาที่เหมาะสมต่อการย่อยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์คือ 120 นาที เพราะค่าสมมูลเด็กซ์โทรสซึ่งได้จากการย่อยที่เวลา 240 นาที มีค่าเท่ากับ 62.7 มีค่าไม่ได้ห่างกันมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสมมูลเด็กซ์โทรสที่ได้จากการย่อยที่เวลา 60 นาที คือ 52.8 ซึ่งห่างจากที่เวลา 120 นาทีมากกว่า ดังนั้น การใช้เวลาในการย่อยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ 120 นาที จึงเหมาะสมที่สุด เพราะช่วยประหยัดเวลาและพลังงานที่ใช้ในการย่อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ดวงใจ และสุชาดา^[7] ที่ได้ศึกษาผลของเวลา อุณหภูมิ และกิจกรรมของแอลฟาอะไมเลสในการย่อยแป้งข้าวก้าวหอมมะลิ โดยกล่าวไว้ว่า ระยะเวลาในการย่อยและกิจกรรมของเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสมมูลเด็กซ์โทรสเพิ่มขึ้น อีกทั้งอุณหภูมิในการย่อยแป้งมีปฏิสัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์โดยการย่อยแป้งที่ใช้กิจกรรมของเอนไซม์มาก

ตารางที่ 3 ค่าสมมูลเด็กซ์โทรสที่ได้จากการย่อยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาที)	ค่าสมมูลเด็กซ์โทรส
30	46.5 ± 1.5
60	52.8 ± 4.8
120	59.9 ± 3.4
240	62.7 ± 5.3

4. อภิปรายผล

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลกลูโคส ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-เบส อุณหภูมิ และเวลา สามารถสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์คือ ที่ค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 6.0 ใช้อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการย่อยนาน 120 นาที เมื่อใช้สารละลายข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 35 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่ 200 ppm และใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ 150 ยูนิตต่อกรัมวัตถุดิบ มีค่าสมมูลเด็กซ์โทรสเท่ากับ 59.9 โดยทั่วไปการใช้งานของน้ำเชื่อมกลูโคสจะขึ้นอยู่กับค่าสมมูลเด็กซ์โทรส และสำหรับน้ำเชื่อมที่ได้ในงานวิจัยนั้นสามารถนำไปใช้งานในเครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ และการหมักสุราได้ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณบริษัทพัฒนานิคมเกษตรจำกัดเป็นอย่างยิ่งที่อนุเคราะห์วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย และการสนับสนุนบวิจัย ขอขอบคุณอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคเหนือ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์เป็นอย่างสูง ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการทำงานในครั้งนี้ และขอขอบคุณสาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่ที่ใช้ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กลุ่มส่งเสริมการผลิตพืชไร่. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/view/1/ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์/TH-TH>. ค้นเมื่อ 20 มิถุนายน, 2561.
- [2] พักตร์ประไพ ประจำเมือง. การผลิตกลูโคสไซรัปจากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ ในถึงปฏิกรณ์ชีวภาพระดับโรงงานต้นแบบ. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2546.
- [3] ปราณี พัฒนพิพิธไพศาล. เอนไซม์เทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.
- [4] กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. เทคโนโลยีแป้ง. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- [5] Dextrose Equivalent (Lane and Eynon). Analytical Methods of the Member Companies of the Corn Refiners Association Inc. 2010. Available at: <https://corn.org/wp-content/uploads/2018/06/Dextrose2.pdf>. Accessed June 20, 2018

- [6] E. M. M. Hilary, T. K. Catherine and M. F. William, High maltose-producing amylolytic system of *Streptomyces* sp., *Biotechnol. Lett.*, no. 21, pp. 23-24, 1999.
- [7] ดวงใจ ถิรธรรมถาวร และสุชาดา ปานมัน. ผลของเวลา อุณหภูมิ และกิจกรรมของแอลฟาอะไมเลส ในการย่อยแป้งข้าวกล้องหอมมะลิ. การประชุมวิชาการระดับชาติศิลปการวิจัยและสร้างสรรค์ ครั้งที่ 8 : บูรณาการศาสตร์และศิลป์, 2556.



SCIENCE AND TECHNOLOGY
UTTARADIT RAJABHAT UNIVERSITY