

การเปรียบเทียบการใช้ยีสต์สำเร็จรูปในการปรับปรุงคุณภาพกากมันสำปะหลัง สูตรต่างๆ

Comparison of the use of finished yeast to improve the quality of cassava residue

วศิน วุฒิวิชยานันต์^{1*} อรุณีพงษ์ ศรีสถาพร¹ บัณฑิต ยวงสร้อย¹ และสมสมร แก้วบริสุทธิ¹

Wasin Wuttivichayanant^{1*} Aruneepong Srisathaporn¹ Bundit Yuangsoi¹ and Somsamorn Kaewborisut¹

¹ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40002

¹Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen Thailand 40002

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบการใช้ยีสต์สำเร็จรูป 2 ชนิด คือ ยีสต์ขนมปังกับยีสต์หมักสำเร็จรูปสำหรับทำกากมันหมักเพื่อปรับปรุงคุณภาพกากมันสำปะหลังหมักรวมกับมันสำปะหลังบดและกากถั่วเหลืองที่อัตราส่วนแตกต่างกัน 4 สูตรคือ สูตรที่1 อัตราส่วน 100: 0: 0% สูตรที่2 อัตราส่วน 90: 5: 5% สูตรที่3 อัตราส่วน 80: 10: 10% และสูตรที่4 อัตราส่วน 70: 15: 15% พีเอชเริ่มต้น 5.1 – 5.2 ความชื้น 89 - 90% หมักที่อุณหภูมิห้อง และระยะเวลาการหมัก 14 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ชนิดของยีสต์และสูตรกากมันมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีนของกากมันหมักแต่ละสูตรแตกต่างกัน ($P < 0.05$) โดยยีสต์ขนมปังจะทำให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีนของกากมันหมักสูงกว่ายีสต์หมักสำหรับทำกากมันหมัก ประสิทธิภาพการย่อยได้โดยเอนไซม์เปปซินพบว่าชนิดของยีสต์ไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยได้แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่สูตรของกากมันที่หมักด้วยยีสต์ขนมปังพบว่าประสิทธิภาพการย่อยได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสูตรที่ 4 มีค่าการย่อยได้สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบค่าความคุ้มค่า พบว่าชนิดของยีสต์และสูตรของกากมันมีปฏิริยาสัมพันธ์กันส่งผลทำให้ค่าความคุ้มค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสูตรที่หมักด้วยยีสต์ขนมปังทุกสูตรจะให้ค่าความคุ้มค่าสูงกว่าสูตรที่หมักด้วยยีสต์หมักกากมัน จากผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ยีสต์ขนมปังเป็นทางเลือกสำหรับทดแทนยีสต์หมักกากมันสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายทางการค้าได้ดีเทียบเท่าถึงดีกว่าและกระบวนการหมักสามารถปรับปรุงคุณภาพกากมันสำปะหลังให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกสำหรับสัตว์น้ำได้

คำสำคัญ: กากมันสำปะหลัง, ประสิทธิภาพการย่อยได้, ยีสต์

Abstract

Two types of finished yeasts, baker's yeast and fermented yeast were compared to improve the quality of 4 formulas of cassava residue mixed with cassava meal and soybean meal at different ratios. Formula1 100: 0: 0%, formula2 90: 5: 5%, formula3 80: 10: 10% and formula4 70: 15: 15%. Fermentation conditioning at initial, pH 5.1 - 5.2, moisture content at 89 - 90% and all formulas were kept at room temperature for 2 weeks. The yeast type and cassava formula resulted in a different increasing of percent protein in each formulas ($P < 0.05$), the baker's yeast showed higher of percent

protein increase than that of the fermented yeast. Yeast types showed no different statistically significant ($P>0.05$) on pepsin digestibility, however the cassava formula fermented with baker's yeast had a significant difference in pepsin digestibility ($P<0.05$) by formula 4 showed higher pepsin digestibility than the others. The significantly different interaction ($P<0.05$) were found between yeast type and cassava formulation as considered the benefit return, the cost of protein (grams), the all recipe of finished baker's yeast formula showed higher benefit return than that of commercial fermented yeast. This study reveal that finished baker's yeast can be utilized as alternative yeast source to replace fermented yeast in improving cassava residue and fermentation process could improve the functional properties of cassava residue as alternative feed that suitable for aquatic animal.

Keyword: cassava residue, efficacy digestibility, fermentation

คำนำ

กากมันสำปะหลังเป็นสิ่งเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง หลังจากผ่านกระบวนการสกัดแป้งออกแล้วจะเหลือกากมันสำปะหลังในปริมาณมาก เปรียบเทียบคือเมื่อใช้หัวมัน 47.8 ตัน/ชั่วโมง จะได้แป้งมัน 12.43 ตัน/ชั่วโมง และจะได้กากมันถึง 12.86 ตัน/ชั่วโมง (Kasetsart University Research and Development Institute, 2556: online) ราคาของกากมันสำปะหลังมีราคาถูกประมาณ 0.2 - 0.4 บาทต่อกิโลกรัม โดยจากการนำมาวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาที่เหลืออยู่พบว่า มีแป้ง 53.55% เถ้า 2.83% โปรตีน 1.98% เยื่อใย 13.59% และไขมัน 0.13% (Khempaka *et al.*, 2009) และมีสารพิษคือกรดไฮโดรไซยานิกที่เหลืออยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ ซึ่งสามารถนำมาผสมลงในอาหารสัตว์ได้ อย่างไรก็ตามแม้จะมีรายงานการนำกากมันสำปะหลังมาเป็นวัตถุดิบพลังงานในการใช้เลี้ยงสัตว์อย่างแพร่หลาย แต่ในสัตว์น้ำยังไม่พบรายงานการนำมาใช้ เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีค่าโปรตีนที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับวัตถุดิบพลังงานตัวอื่น ดังนั้นหากมีการปรับปรุงกากมันสำปะหลัง โดยการใช้เทคโนโลยีการหมักโดยอาศัยกระบวนการหมักของจุลินทรีย์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาซึ่งเป็นทางเลือกที่น่าสนใจที่ปรับปรุงคุณภาพของกากมันให้เป็นวัตถุดิบทางเลือกราคาถูกในการใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำได้

การปรับปรุงกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการหมักเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย การศึกษาในปัจจุบันพบว่าการหมักกากมันสำปะหลังด้วยยีสต์และเชื้อราเป็นวิธีที่เพิ่มปริมาณโปรตีนดีที่สุดโดยใช้ยูเรียเป็นแหล่งของไนโตรเจนสำหรับการเจริญเติบโตของยีสต์และเชื้อรา (Bayitse *et al.*, 2015) ซึ่งยีสต์ส่วนใหญ่สามารถเจริญได้ดีที่พีเอชเท่ากับ 3.5 และ 6.5 และสามารถเจริญได้ในช่วงกว้าง 3 - 11 อย่างไรก็ตามพีเอชไม่มีความสำคัญในการจัดจำแนกชนิดของยีสต์ เนื่องจากพีเอชขึ้นกับปัจจัยอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ ค่า water activity ทำให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ยีสต์สามารถเจริญในช่วงอุณหภูมิได้กว้าง ซึ่งยีสต์ส่วนใหญ่สามารถเจริญได้ที่ 0 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่านี้ได้แต่เจริญในอัตราที่ช้ามาก ในบางชนิดสามารถเจริญได้ในช่วง 46 - 47 องศาเซลเซียส แต่ส่วนใหญ่จะมีค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25 - 30 องศาเซลเซียส ยีสต์ที่นิยมนำมาใช้ในการหมักคือ

Seccharomyces cerevisiae ปัจจุบันมีการนำยีสต์ดังกล่าวมาผลิตเป็นยีสต์หมักสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการหมัก โดยเฉพาะ และจำหน่ายทางการค้าจนได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มเกษตรกร แต่มีราคาค่อนข้างสูง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักพบว่ากากหมักกากมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีน เพิ่มขึ้น 48 เปอร์เซ็นต์ (Bayitse *et al.*, 2015) แต่ยังไม่สูงเพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นอาหารปลาโดยตรง จากการทดลองเบื้องต้นในรายวิชาปัญหาพิเศษของตัวผู้วิจัยเอง ที่ทดลองปรับปรุงกากมันสำปะหลังโดยการนำกากถั่วเหลืองมาผสมในสัดส่วนแตกต่างกันก่อนนำมาหมักด้วยยีสต์ขนมปังเปรียบเทียบกับกากหมักกากมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว ซึ่งพบว่ากากหมักกากมันสำปะหลังร่วมกับกากถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 85: 15 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณโปรตีนที่คุ้มต่อต้นทุนมากที่สุด จากผลการศึกษาดังกล่าวจึงนำมาต่อยอดในการปรับปรุงสูตรกากมันสำปะหลังก่อนการหมัก ด้วยการเสริมมันสำปะหลังบดลงในสูตรร่วมกับกากถั่วเหลืองในสัดส่วนต่าง ๆ การเสริมด้วยมันสำปะหลังบดเพื่อเป็นการเพิ่มคาร์โบไฮเดรต (Saranlom, 1985 cited in Pratoomchat, 2010) เพื่อให้ยีสต์เจริญเติบโตได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงศึกษาปริมาณโปรตีน ประสิทธิภาพการย่อยได้โดยเอนไซม์เปปซิน และค่าความคุ้มทุนของกากมันสำปะหลังหมักร่วมกับมันสำปะหลังบดและกากถั่วเหลืองที่ระดับต่างกัน ด้วยยีสต์สองชนิด คือ ยีสต์ขนมปังกับยีสต์หมักสำเร็จรูปสำหรับหมักกากมัน

วิธีดำเนินงานวิจัย

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล กำหนดปัจจัย A เป็นชนิดยีสต์ 2 ชนิด คือยีสต์ขนมปังกับยีสต์หมักสำเร็จรูป และปัจจัย B เป็นสูตรของกากมันสำปะหลัง (cassava residue: CR) ที่รวมกับมันสำปะหลังบด (cassava meal: CM) และกากถั่วเหลือง (soybean meal :SB) ที่ระดับต่างกันทั้งหมด 4 สูตร คือ CR: CM: SB สูตรที่ 1 100: 0: 0%, สูตรที่ 2 90: 5: 5%, สูตรที่ 3 80: 10: 10% และสูตรที่ 4 70: 15: 15% จะได้ชุดการทดลองทั้งหมด 8 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ โดยทุกชุดการทดลองจะใช้ยีสต์ กากน้ำตาล เกลือแอมโมเนีย (แอมโมเนียมซัลเฟต) ที่อัตราส่วน 2: 40: 20 กรัม ตามลำดับ ต่อน้ำสะอาด 4 ลิตร สำหรับเตรียมน้ำหมักต่อสิ่งหมัก 2 กิโลกรัม และใช้ในปริมาณเท่ากันทุกสูตร (Kampha, 2010) เทส่วนผสมวัตถุดิบทั้งหมดลงในถังผสม ใช้ไม้คนให้วัตถุดิบละลายเข้ากันเพื่อเป็นการให้อากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักกากมันสำปะหลัง มันสำปะหลังบด และกากถั่วเหลืองตามอัตราส่วนในแต่ละชุดการทดลอง โดยคำนวณจากน้ำหนักทั้งหมด 2 กิโลกรัม แล้วนำน้ำหมักที่เตรียมไว้จนครบ 1 ชั่วโมงมาผสมคลุกเคล้ากับวัตถุดิบให้เข้ากันดี หมักไว้ในถุงพลาสติกที่รัดอากาศออกแล้วปิดปากถุงให้มิดชิด ใช้ระยะเวลาการหมัก 14 วัน ควบคุมความชื้นให้เท่ากันทุกชุดการทดลองที่ความชื้น 89 - 90 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้อง

หลังจากหมักกากมันสำปะหลังหมักทั้ง 8 ชุดการทดลองครบ 14 วัน นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แล้วนำไปวิเคราะห์โปรตีน ด้วยวิธี Proximate analysis ตามวิธีของ AOAC (1990) และวิเคราะห์การย่อยได้ของกากมันสำปะหลังหมักโดยใช้เอนไซม์เปปซิน ตามวิธีการของ Helrich, (1990) โดยการนำกากมันสำปะหลังหมักที่อบแห้งแล้วไปสกัดไขมันด้วย Petroleum ether แล้วนำไปอบให้แห้งอีกรอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นสุ่มชั่งตัวอย่างที่สกัดไขมันและอบแห้งแล้วประมาณ 0.5 กรัม ใส่ลงในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายเอนไซม์เปปซินที่ประกอบด้วยเอนไซม์เปปซินเข้มข้น 0.2

เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.075 นอร์มอล 150 มิลลิลิตร (เตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนใช้) จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรองวอร์ทแมนเบอร์ 4 (Whatman) ล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldah

นำข้อมูลผลของการหมักกากมันสำปะหลังทั้ง 4 สูตรด้วยยีสต์ 2 ชนิด ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีน ประสิทธิภาพการย่อยได้ ความเข้มข้นของโปรตีนที่ได้ (กรัม) ต่อเงิน 1 บาท วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง Treatment ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการศึกษา

ข้อมูลการศึกษา แสดงใน Table 1. เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีนในทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วง 76.18 – 93.97 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าชนิดของยีสต์ที่ใช้ในการหมักและสูตรของกากมันสำปะหลัง มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กากมันสูตรเดียวกันหมักด้วยยีสต์ต่างชนิดกันมีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของโปรตีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสูตรกากมันที่หมักด้วยยีสต์ขนมปังมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของโปรตีนสูงกว่าสูตรที่หมักด้วยยีสต์หมักสำเร็จรูปในทุกสูตร โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีนอยู่ในช่วง 84.84 – 93.97 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรที่หมักด้วยยีสต์ขนมปัง และ 76.18 – 90.93 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรที่หมักด้วยยีสต์หมักสำเร็จรูป ข้อมูลดังแสดงใน Table1., Figure1. ส่วนประสิทธิภาพการย่อยได้โดยเอนไซม์เปปซินทุกชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 62 – 83.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งชนิดของยีสต์ไม่ทำให้ค่าการย่อยได้ด้วยเอนไซม์เปปซินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่พบว่าสูตรของกากมันที่ใช้มีผลทำให้ค่าการย่อยได้ด้วยเอนไซม์เปปซินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสูตรที่มีประสิทธิภาพการย่อยได้โดยเอนไซม์เปปซินสูงที่สุดคือสูตรที่ 4 ที่หมักด้วยยีสต์ขนมปังและยีสต์หมักสำเร็จรูป มีค่าเท่ากับ 83.21 ± 0.72 เปอร์เซ็นต์ และ 83.50 ± 0.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสูตรของกากมันที่มีค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ต่ำที่สุดคือสูตรที่ 1 มีค่าเท่ากับ 62.00 ± 0.98 และ 62.94 ± 0.48 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรที่หมักด้วยยีสต์หมักสำเร็จรูปและยีสต์ขนมปัง ตามลำดับ (Table1., Figure2.) และค่าความเข้มข้นที่คิดจากปริมาณโปรตีน (กรัม) ต่อเงิน 1 บาท พบว่าชนิดของยีสต์ที่ใช้หมักและสูตรกากมันมีปฏิสัมพันธ์กันโดยพบว่ายีสต์ต่างชนิดกัน แม้จะใช้หมักกากมันสูตรเดียวกันก็ส่งผลต่อความเข้มข้นแตกต่างกัน หรือแม้จะเป็นการใช้ยีสต์ชนิดเดียวกันแต่ใช้หมักกากมันต่างสูตรก็มีผลต่อความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยสูตรที่ 1 - 4 หมักด้วยยีสต์ขนมปังมีค่าความเข้มข้นที่ 24.34 – 29.22 กรัมโปรตีนต่อเงิน 1 บาท ส่วนสูตรที่ 1 - 4 หมักด้วยยีสต์หมักสำเร็จรูปมีค่าความเข้มข้นที่ 17.85 – 25.66 กรัมโปรตีนต่อเงิน 1 บาท (Table1., Figure3.)

Table 1. mean values comparison of Initial protein, Final protein, Protein increase (%), Pepsin digestibility (%) Cost and pH.

Treatment	Initial protein Day0	Final protein Day14	Protein ¹ increase (%)	Pepsin digestibility (%)	Cost ² G Protein/1 Baht	pH
Baker yeast						
Formula1	4.77±0.19 ^f	8.81±0.13 ^h	84.84±5.87 ^b	62.94±0.48 ^e	24.34±0.35 ^e	4.91±0.01 ^a
Formula2	6.90±0.09 ^e	13.26±0.13 ^g	92.24±1.15 ^a	74.67±2.00 ^d	28.09±0.29 ^b	3.90±0.05 ^c
Formula3	8.47±0.25 ^c	16.39±0.26 ^c	93.57±2.97 ^a	77.74±0.89 ^{bc}	28.16±0.45 ^b	3.80±0.01 ^d
Formula4	10.43±0.17 ^b	20.22±0.12 ^a	93.97±2.10 ^a	83.21±0.72 ^a	29.22±0.18 ^a	3.81±0.01 ^d
Fermented yeast						
Formula1	4.46±0.52 ^g	7.86±0.11 ⁱ	76.18±2.49 ^c	62.00±0.98 ^e	17.85±0.26 ^f	4.34±0.08 ^b
Formula2	7.20±0.34 ^d	13.73±0.07 ^f	90.87±0.15 ^a	75.53±0.97 ^{cd}	24.97±0.13 ^d	3.91±0.09 ^c
Formula3	8.43±0.01 ^c	16.10±0.05 ^d	90.93±0.77 ^a	78.92±0.67 ^b	24.40±0.08 ^e	3.83±0.03 ^{cd}
Formula4	10.76±0.13 ^a	19.76±0.23 ^b	83.62±0.65 ^b	83.50±0.34 ^a	25.66±0.30 ^c	3.83±0.04 ^{cd}
P-Values						
Yeast (A)	0.125	0.000	0.000	0.266	0.000	0.000
Formula (B)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A × B	0.000	0.000	0.023	0.185	0.000	0.000

Mean values in the same column followed by different superscript are significantly (P<0.05). All values are means ± SD.

$$^1\text{Protein increase (\%)} = \left\{ \frac{\text{Final protein} \times 100}{\text{Initial protein}} \right\} - 100, \quad ^2\text{Cost G Protein/1 Baht} = \frac{\text{Final Protein} \times 10}{\text{Cost per kilogram}}$$

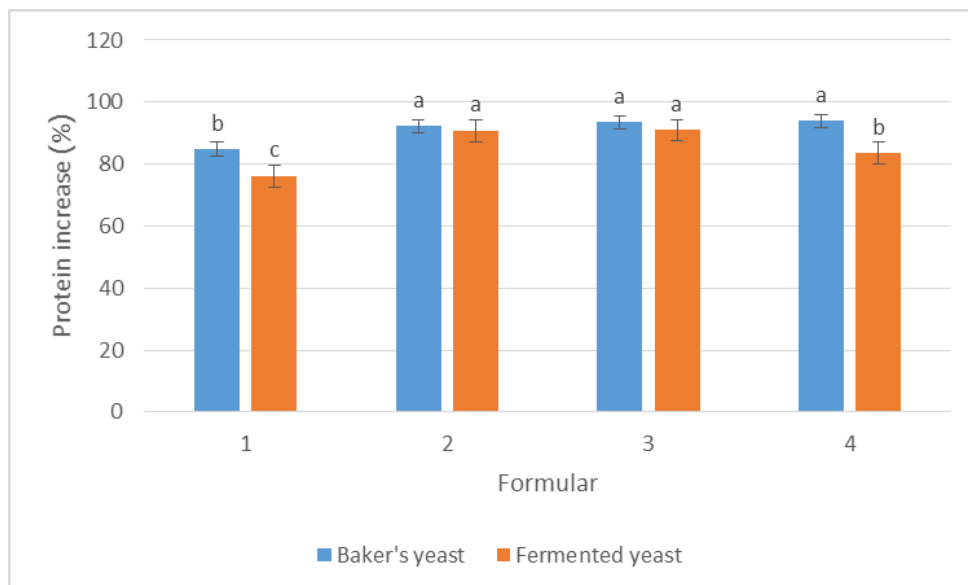


Figure 1 mean values of percent protein increase. The yeast type and cassava formula resulted in a different increasing of percent protein in each formulas ($P < 0.05$), the baker's yeast showed higher of percent protein increase than that of the fermented yeast

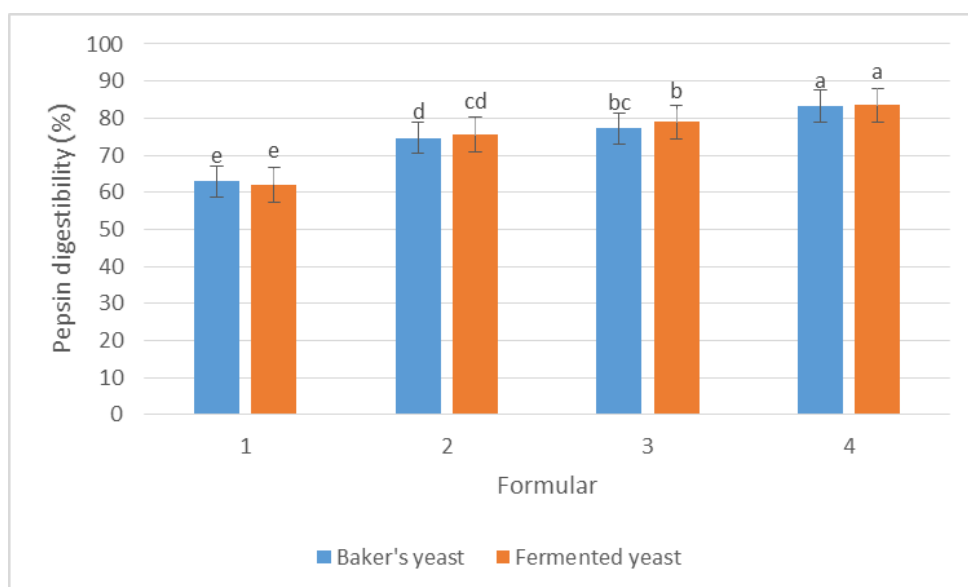


Figure 2 mean values of pepsin digestibility. Yeast types showed no different statistically significant ($P > 0.05$) on pepsin digestibility, however the cassava formula fermented with baker's yeast had a significant difference in pepsin digestibility ($P > 0.05$) by formula 4 showed higher pepsin digestibility than the others

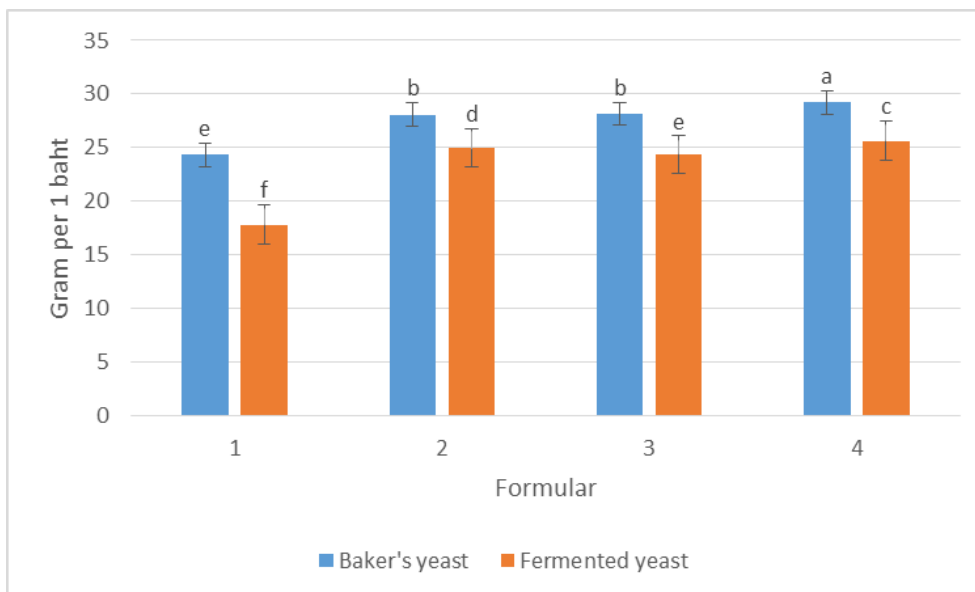


Figure 3 mean values of cost (grams of protein per 1 baht). The significantly different interaction ($P < 0.05$) were found between yeast type and cassava formulation as considered the benefit return, the cost of protein (grams), the all recipe of finished baker's yeast formula showed higher benefit return than that of commercial fermented yeast

วิจารณ์ผลการศึกษา

จากการศึกษาการใช้ยีสต์ 2 ชนิด หมักกากมันสำปะหลังต่าง ๆ ซึ่งแต่ละสูตรประกอบด้วย กากมันสำปะหลังมันสำปะหลังบด และกากถั่วเหลืองในสัดส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าทุกชุดการทดลองมีผลไปในทางเดียวกัน คือ มีปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Suksombat and Launglawan (2010) และ Ganiyu (2006) พบว่าการหมักกากมันสำปะหลังโดยการใช้จุลินทรีย์สามารถเพิ่มโปรตีนได้ดีกว่าการหมักโดยไม่ใช้จุลินทรีย์ การหมักโดยการใช้จุลินทรีย์มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าการหมักโดยไม่ใช้จุลินทรีย์เนื่องจากจุลินทรีย์จะเปลี่ยนแป้งที่อยู่ในกากมันสำปะหลังและมันสำปะหลังบดไปเป็นน้ำตาลเพื่อใช้ในการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ และสอดคล้องกับรายงานของ Bayitse *et al.*, (2015) ที่รายงานว่าสามารถทำให้การเพิ่มขึ้นของโปรตีนได้สูงสุด 48.1 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ยูเรียเป็นแหล่งของสารอาหารเพื่อการเจริญของเชื้อรา ในการศึกษาครั้งนี้ใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งของไนโตรเจนและใช้ยีสต์ในการหมักพบว่าเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีนสูงถึง 76.18 – 93.97 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าที่ Bayitse *et al.*, (2015) รายงาน ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลเนื่องจากชนิดของจุลินทรีย์และวัสดุที่ใช้หมักต่างชนิดกัน โดยยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้เร็วและมีโปรตีนสูงกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ รวมถึงเชื้อรา อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง การหมักด้วยยีสต์แต่ละชนิด ในการทดลองนี้พบว่าสูตรของกากมันสำปะหลังที่หมักด้วยยีสต์ขนมปังจะมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีนสูงกว่าในสูตรกากมันสำปะหลังที่หมักด้วยยีสต์หมักสำเร็จรูปทุกสูตร ซึ่งผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่ายีสต์ขนมปังสามารถใช้แบ่งจากกากมันทุกสูตร ในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้ดีกว่ายีสต์หมักในช่วงเวลาการหมักที่เท่ากันคือ 14 วัน และในการทดลองครั้งนี้พบว่าค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของกากมันหมักโดยเอนไซม์เปปซินแตกต่างกัน

กัน เป็นผลจากวัสดุที่ใช้หมักหรือสูตรของกากมันที่แตกต่างกัน ซึ่งประสิทธิภาพการย่อยได้จะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของกากมัน มันสำปะหลังบดและกากถั่วเหลืองที่เสริมเข้าไปในแต่ละสูตรของกากมัน โดยกากมันสูตรที่ 4 ที่วัสดุหมักประกอบด้วย กากมันสำปะหลัง มันสำปะหลังบด และกากถั่วเหลือง ในสัดส่วน 70: 15: 15 ที่หมักด้วยยีสต์ทั้งสองชนิดนั้นมีความสูงกว่าทุกสูตร คือมีค่าระหว่าง 83.2 – 83.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สูตรที่ 1 ซึ่งวัสดุหมักมีเพียงกากมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวมีค่าประสิทธิภาพการย่อยได้โดยเอนไซม์เปปซินต่ำสุดคือมีค่าระหว่าง 62.00 – 62.94 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการหมักด้วยยีสต์สามารถย่อยสลายส่วนโครงสร้างที่มีความซับซ้อนของวัสดุหมักเช่นกากถั่วเหลืองทำให้โปรตีนถูกปลดปล่อยออกมาให้อยู่ในรูปแบบโมเลกุลเล็กหรืออยู่ในรูปกรดอะมิโนอิสระมากขึ้น จึงทำให้ค่าการย่อยได้ของโปรตีนเพิ่มขึ้นนั่นเอง ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของ Teng *et al.*, (2012) ที่ศึกษาการหมักกากถั่วเหลืองด้วยแบคทีเรีย (*Bacillus subtilis*) และ เชื้อรา (*Aspergillus oryzae*) เปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก พบว่าการย่อยได้ในหลอดทดลองด้วยเอนไซม์เปปซิน ของกากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการหมักด้วยแบคทีเรียและเชื้อรามีค่าสูงกว่ากากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก เท่ากับ 76.06, 67.36 และ 60.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการหมักกากถั่วเหลืองจะช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายอาหาร ซึ่งระหว่างกระบวนการหมักส่วนประกอบที่ย่อยยากจะถูกทำให้อยู่ในรูปที่ย่อยง่าย และมีประโยชน์ต่อร่างกายมากขึ้น เนื่องจากปริมาณสารอาหารที่ละลายน้ำได้จะมีมากขึ้น (water soluble nutrients) ส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารทำงานได้ดีขึ้น (Penalvo *et al.*, 2004) และ Hidayat *et al.*, (2018) ศึกษาการหมักมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก พบว่ามันสำปะหลังที่ผ่านการหมักจะเพิ่มปริมาณโปรตีนได้จาก 0.92 ถึง 6.98 เปอร์เซ็นต์ Sulisty and Nakahara (2013) รายงานว่าการหมักมันสำปะหลังมีผลต่อการย่อยแป้งของเอนไซม์ ซึ่งสูตรที่ 1 จากการหมักด้วยยีสต์ทั้งสองชนิดมีค่าต่ำกว่าทุกสูตร ซึ่งต่ำกว่า 63 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในตัวของกากมันสำปะหลังนั้นมีเยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำ มีคุณสมบัติในการดูดน้ำ ทำให้เอนไซม์เปปซินย่อยไม่สมบูรณ์

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่ากากมันหมักที่มีการปรับปรุงด้วยการเสริมมันสำปะหลังบด และกากถั่วเหลือง (สูตรที่ 2, 3 และ 4) ที่หมักด้วยยีสต์ ขนมปังหรือยีสต์หมักสำเร็จรูป มีค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีน ค่าประสิทธิภาพการย่อยได้โดยเอนไซม์เปปซินและ ความคุ้มค่าของปริมาณโปรตีนต่อเงิน 1 บาท ดีกว่า สูตรกากมันที่ไม่ได้ปรับปรุง (สูตรที่ 1) การหมักด้วยยีสต์หมักขนมปัง มีค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของโปรตีน ค่าประสิทธิภาพการย่อยได้โดยเอนไซม์ เปปซิน และความคุ้มค่าของปริมาณโปรตีนต่อเงิน 1 บาท สูงกว่าการหมักด้วยยีสต์หมักสำเร็จรูป และสูตรกากมันปรับปรุงสูตรที่ 4 ที่หมักด้วยยีสต์ขนมปังมีความคุ้มค่าสูงสุดเท่ากับ 29.22 กรัมต่อเงิน 1 บาท จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ยีสต์ขนมปังเป็นทางเลือกสำหรับทดแทนยีสต์หมักกากมันสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายทางการค้าได้ดีเทียบเท่าถึงดีกว่า และกระบวนการหมักสามารถปรับปรุงคุณภาพกากมันสำปะหลังให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นตัวเติมทางเลือกสำหรับสัตว์น้ำได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2562 ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยภายใต้แผนงานเสริมสร้างศักยภาพและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ตามทิศทางการยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 1990. Official Method of Analysis of the Association of official Analysis Chemists. 15th Ed. Edited by Helrich. Association of official Analytical Chemists Inc. Suite 400, 2200 Wilson Boulevard, Arlington, Virginia 22201 USA.
- Bayitse R., Hou X., Laryea G. and Bjerre AB. 2015. Protein enrichment of cassava residue using *Trichoderma pseudokoningii* (ATCC 26801). AMB Express a Springer Open Journal 5:80p.
- Ganiyu Oboh. 2006. Nutrient enrichment of cassava peels using a mixed culture of *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus* spp solid media fermentation techniques. Electronic Journal of Biotechnology ISSN: 0717 – 3458p.
- Helrich, K. (1990) Method 988.05. Official Methods of Analysis, 15th Edition, The Association of Official Analytical Chemists Inc., Arlington.
- Hidayat B., Hasanudin U., Nurjanah S. and Yuliana N. 2018. Improvement of cassava bagasse flour characteristics to increase their potential use as food. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 209: 012-006.
- Kasetsart University Research and Development Institute. 2013. Tapioca: Utilization of products from cassava. Available from: URL: <http://www3.rdi.ku.ac.th/?p=17866> [2016, April 1]
- Kampha S. 2010. Cassava residue fermentation by yeast. Publication documents. Faculty of Agricultural Technology Rajabhat Maha Sarakham University.
- Khempaka, S., W. Molee, and M. Guillaume. 2009. Dried cassava pulp as an alternative feedstuff for broilers: Effect on growth performance, carcass traits, digestive organs, and nutrient digestibility. Poultry Science Association: 488 – 493p.
- Penalvo, J. L., Castilho, M. C., Silveira, M. I. N., Matallana, M. C. and Torija, M. E. 2004. Fatty acid profile of traditional soymilk. Eur. Food Res. Technol. 219: 251-253p.
- Saranlom P. 1985. Basic knowledge about cassava. For a degree education. Chanthaburi Teachers College. Chanthaburi. 417p. cited in Pratoomchat B. 2010. Burapha Sci. J.15. Effect of Cassava Starch Replacement as Carbohydrate Source in Shrimp Feed on Growth, Size Variation, Feed Conversion Ratio, Molting Frequency, Survival Rate and Hepatopancreatic Index of *Litopenaeus vannamei* Juvenile. 29-36p.

- Suksombat W. and Launglawan P. 2010. Increasing protein content in cassava pulp and cassava peel using microorganisms. 50: 43 – 50p.
- Sulistyo J. and Nakahara K. 2013. Cassava Flour Modification by Microorganism. Conference: The 1st International Symposium on Microbial Technology for Food and Energy Security, At Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
- Teng D., Gao M., Yang Y., Liu B., Tian Z. and Wang J. 2012. Bio-modification of soybean meal with *Bacillus subtilis* or *Aspergillus oryzae*. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 1:32–38p.