การปรับปรุงคุณภาพเศษก๋วยเตี๋ยวโดยการหมักยีสต์เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์

Improvement of Noodle Waste by Yeast for Use as Animal Feed

ยิ่งลักษณ์ มูลสาร[1*] ปรีชา มูลสาร [1]

Yingluck Moonsarn[1*] Preecha Moonsarn[1]

บทคัดย่อ

เศษก๋วยเตี๋ยวเป็นของเหลือราคาถูก ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปข้าว และมีคุณค่าทางโภชนะใกล้เคียงกับปลายข้าว สภาวะที่เหมาะสมในการหมักยีสต์ (*Saccharomyce cerevisiae*) เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนะให้กับเศษก๋วยเตี๋ยวสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์จึงถูกศึกษาโดยใช้แผนการทดลองแบบ 4 × 7 แฟคทอเรียลในการสุ่มแบบสมบูรณ์ที่มี 2 ปัจจัย คือ 1) อุณหภูมิในการหมัก (ได้แก่ อุณหภูมิ 25, 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส) และ 2) ระยะเวลาในการหมัก (ได้แก่ระยะเวลา 24, 48, 72, 96, 120, 144 และ 168 ชั่วโมง) ผลการศึกษา พบว่าโปรตีนของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักในทุกระดับอุณหภูมิ ($P < 0.05$) พลังงานหยาบของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักมีค่ามากกว่า 4,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมในทุกสภาวะการหมักและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ทั้งนี้การหมักเศษก๋วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ถึง 144 ชั่วโมงสามารถเพิ่มโปรตีนได้สูงที่สุด (เฉลี่ยร้อยละ 25; $P < 0.05$) ด้วยเหตุนี้การหมักยีสต์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพทางโภชนะของเศษก๋วยเตี๋ยวเพื่อเป็นอาหารสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เศษก๋วยเตี๋ยว, การหมักยีสต์, ปลายข้าว

Abstract

Noodle waste has a low price, derived from rice processing factories, and has nutrients close to broken rice. To improve the nutritive quality of noodle waste for use as animal feed, optimum condition for yeast fermentation (*Saccharomyce cerevisiae*) was then studied using a 4 × 7 factorial in completely randomized design with two factors, which were 1) the temperature in fermentation (i.e., 25, 30, 35 and 40°C) and 2) the duration of fermentation

[1] สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

* Corresponding author, e-mail : kyingluck@yahoo.com

(i.e.,24, 48, 72, 96, 120, 144 and 168 hours) The results revealed that proteins of noodle waste were increased by temperature and duration of fermentation ($P < 0.05$). Gross energy of noodle waste was greater than 4,000 kcal per kg in all fermentation conditions, and they tended to increase by the duration time. Yeast fermentation at 30°C for 72 to 144 hours has the highest protein content (25% in average; $P < 0.05$). With these results, yeast fermentation is an effective method that can be used to improve the nutritive quality of noodle waste to be as feedstuff.

Keyword: noodle waste, yeast fermentation, broken rice

บทนำ

ก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวที่มีผู้นิยมรับประทานกันมาก วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวประกอบด้วยข้าวเจ้าและน้ำ เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากโรงงานขนาดเล็กมักมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ และมีเศษเหลือจากกระบวนการผลิต โดยเฉพาะขั้นตอนการตัดเส้นซึ่งมักมีเศษแป้งเหลือทิ้ง ประมาณร้อยละ 10 ถึง 50 ขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ความชำนาญ และการจัดการ (งามชื่น, 2550)

เศษก๋วยเตี๋ยวมีองค์ประกอบทางโภชนะใกล้เคียงกับปลายข้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานที่สำคัญในสุกร โดยเศษก๋วยเตี๋ยวมีโปรตีนร้อยละ 7 และมีพลังงาน 3,746 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าปลายข้าวเล็กน้อย มีเยื่อใยค่อนข้างต่ำพบเพียงร้อยละ 1.74 แต่มีไขมันผันแปรได้ตั้งแต่ ร้อยละ 2 ถึง 10 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเศษก๋วยเตี๋ยวและกรรมวิธีการผลิต เศษก๋วยเตี๋ยวสามารถใช้ทดแทนปลายข้าวได้ในสูตรอาหารสุกรรุ่น (ยิ่งลักษณ์, 2552) และสุกรขุน (ปรีชา, 2553) และมีผลในการลดต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักสุกรหนึ่งกิโลกรัมได้เป็นอย่างดี เศษก๋วยเตี๋ยวจึงมีศักยภาพในการเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ และควรศึกษาแนวทางในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะ โดยเฉพาะการใช้จุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นโปรไบโอติค (probiotic) ซึ่งเป็นที่ยอมรับว่า มีประโยชน์ในการช่วยปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของสัตว์ กระตุ้นให้เกิดภูมิต้านทาน ช่วยให้ร่างกายสัตว์แข็งแรง ย่อยและใช้ประโยชน์จากอาหารได้ดีขึ้น (พันทิพา, 2539) มาช่วยในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับเศษก๋วยเตี๋ยวในการใช้เป็นอาหารสัตว์

ยีสต์ (*S. cerevisiae*) หรือ ยีสต์ทำขนมปัง เป็นจุลินทรีย์โปรไบโอติคชนิดหนึ่งที่นิยมเติมในอาหารสัตว์เพื่อช่วยให้วัตถุดิบอาหารสัตว์มีคุณภาพดีขึ้น และช่วยสร้างสารปฏิชีวนะธรรมชาติ จึงสามารถนำมาใช้ในอาหาร

สัตว์ เพื่อส่งเสริมสุขภาพและสนับสนุนการเจริญเติบโตของสัตว์ อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนการผลิตเนื่องจากสามารถลดปริมาณการใช้ยาและสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพและการเจริญเติบโต ทำให้มียาและสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์สัตว์ (Cheeke, 1999; Dolye, 2007) อย่างไรก็ตาม การเสริมโปรไบโอติคจะได้ผลดีมากในกรณีใช้กับลูกสัตว์หรือสัตว์วัยอ่อนซึ่งระบบการย่อยอาหารยังทำงานได้ไม่เต็มที่ หรือในกรณีที่สัตว์อยู่ในสภาวะเครียด (Dolye, 2007) ส่วนการใช้ยีสต์เสริมในอาหารสัตว์สามารถใช้ได้ทั้งในลักษณะเชื้อเป็นและเชื้อตาย (พันทิพา, 2539) Martin and Nisbet (1992) พบว่า การเติมยีสต์ในอาหารลูกสุกรสามารถช่วยปรับปรุงการย่อยได้ของโปรตีน และเยื่อใยประเภทเฮมิเซลลูโลส และจากการศึกษาของ Mathew *et al*. (1998) พบว่า การเสริมยีสต์มีชีวิตในอาหารสุกรหลังหย่านมจะช่วยปรับปรุงการใช้ประโยชน์ของเยื่อใยในอาหารได้ดีขึ้น

การหมักวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิดด้วยยีสต์ สามารถทำให้คุณค่าทางโภชนะเพิ่มขึ้นได้ กฤษฎา (2551) รายงานว่า วิธีการหมักยีสต์ สามารถเพิ่มระดับโปรตีนในและมันสดได้ถึงร้อยละ 30.4 และ 18.9 และเพิ่มระดับไขมันได้ร้อยละ 5.8 และ 3.0 ในทำนองเดียวกับจิรพรรณ และคณะ(2551)ที่ศึกษาการใช้ยีสต์(*S. cerevisiae*) ปรับปรุงคุณภาพของข้าวเปลือกพบว่า สุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวเปลือกบดหมักยีสต์ทดแทนปลายข้าวทั้งหมดมีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันและอัตราการแลกเนื้อดีกว่าทุกกลุ่ม ส่วนสุกรกลุ่มที่ได้รับข้าวเปลือกบดทดแทนปลายข้าวทั้งหมดมีอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการแลกเนื้อด้อยกว่ากลุ่มอื่น ๆ แม้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ก็แสดงให้เห็นว่า ข้าวเปลือกบดละเอียดที่ผ่านการหมักยีสต์มีคุณภาพสูงขึ้น สุกรจึงนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตและมีอัตราการแลกเนื้อดีขึ้น

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ที่สภาวะการหมักที่อุณหภูมิ (4 ระดับอุณหภูมิ) และช่วงเวลา (7 ระยะ) แตกต่างกัน

วิธีการศึกษา

วัสดุ และอุปกรณ์

1) เศษก๋วยเตี๋ยว เศษก๋วยเตี๋ยวที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากโรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง มีลักษณะเป็นเศษก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ได้ขนาด แตกหัก มีสภาพแห้งสนิท สะอาด ปราศจากเชื้อราและสิ่งอื่นปะปน ที่ถูกบดละเอียด และผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร

2) ยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisae*

3) น้ำตาลทราย แป้งข้าวเหนียว น้ำกลั่น

4) เครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องแก้ว และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ได้แก่ บิกเกอร์ แท่งแก้วคน ช้อนตักสาร ทัพพี ไม้พาย ภาชนะสำหรับผสม และหมักแป้งเชื้อ เช่น กาละมัง เทอร์โมมิเตอร์ นาฬิกาจับเวลา อุปกรณ์จดและบันทึกข้อมูล

5) ถุงพลาสติก (ถุงร้อน) ขนาด 7 × 11 นิ้ว คอขวดพลาสติก สำลีที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว หนังยาง

6) ตู้บ่ม (incubator) ควบคุมอุณหภูมิได้

7) ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

8) สารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะ (วัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน เยื่อใย สารอินทรีย์ และพลังงาน) โดยวิธี Proximate Analysis ตามวิธีการของ A.O.A.C. (2000)

แผนการทดลอง

อุณหภูมิ (4 ระดับอุณหภูมิ) และช่วงเวลา (7 ระยะ) ที่เหมาะสมในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ ถูกศึกษาโดยใช้แผนการทดลองแบบ 4 × 7 factorial in completely randomized design ซึ่งมีการทดลอง 3 ซ้ำ ทั้งนี้ อุณหภูมิในการหมัก (ปัจจัยที่ 1) มี 4 ระดับ ได้แก่ 25, 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่ใช้หมัก (ปัจจัยที่ 2) มี 7 ระยะ ได้แก่ 24, 48, 72, 96, 120, 144 และ 168 ชั่วโมง ตามลำดับ

โดยมีขั้นตอนในการหมัก ดังนี้

1) การทำแป้งเชื้อ ตามวิธีการของ จิรพรรณ และคณะ (2551) เพื่อกระตุ้นให้การหมักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยใช้ยีสต์ (*S. cerevisae*) จำนวน 10 กรัม ผสมกับน้ำตาลทราย 200 กรัม แป้งข้าวเหนียว 1 กิโลกรัม และน้ำกลั่น 1 ลิตร โดยนำน้ำตาลที่ชั่งเตรียมไว้ไปละลายในน้ำ แล้วเทลงในภาชนะที่บรรจุแป้งข้าวเหนียว ใส่เชื้อยีสต์ลงไปแล้วคลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน คลุมด้วยพลาสติก ทิ้งไว้ประมาณ 1 ถึง 2 ชั่วโมง หากเชื้อยีสต์ที่ใช้มีคุณภาพดีจะสังเกตเห็นส่วนผสมแป้งฟูขึ้น จากนั้นจึงนำไปใช้เป็นแป้งเชื้อสำหรับหมักเศษก๋วยเตี๋ยวได้

2) การหมักเศษก๋วยเตี๋ยว มีขั้นตอนดังนี้

2.1) คัดเลือกสิ่งปลอมปนที่อาจติดมากับเศษก๋วยเตี๋ยวออกให้หมด

2.2) ชั่งเศษก๋วยเตี๋ยวบรรจุในถุงพลาสติกใส ขนาด 7 × 11 นิ้ว ถุงละ 100 กรัม ระดับอุณหภูมิละ 7 ช่วงเวลา ๆ ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 1 ถุง รวมเป็น 21 ถุงต่อหนึ่งระดับอุณหภูมิ

2.3) คนแป้งเชื้อให้เข้ากัน แล้วชั่งแป้งเชื้อหนัก 2 กรัม ใส่ในบีกเกอร์

2.4) เติมน้ำกลั่นลงในบีกเกอร์ 80 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้แป้งเชื้อละลายดี

2.5) เทสารละลายแป้งเชื้อ ลงในถุงเศษก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมไว้ คลุกเคล้าให้เข้ากันดีอย่างรวดเร็ว และขยี้ให้กระจายไม่จับตัวเป็นก้อน

2.6) ใช้คอขวดพลาสติกสำหรับการเพาะเห็ด สวมเข้ากับถุงเศษก๋วยเตี๋ยว พับตลบปากถุงลงมา รัดด้วยหนังยาง และอุดปากถุงด้วยสำลีที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว

2.7) ทำการหมักในตู้บ่มที่ควบคุมอุณหภูมิได้ ตามปัจจัยที่กำหนด โดยเริ่มจากอุณหภูมิการหมักที่ 25 องศาเซลเซียสก่อน เมื่อครบเวลา 24 ชั่วโมง นำถุงเศษก๋วยเตี๋ยวหมักออกจากตู้บ่ม 3 ถุง สังเกตและบันทึกลักษณะความเปลี่ยนแปลงของเศษก๋วยเตี๋ยว เช่น กลิ่น สี ความแฉะ จากนั้นนำเศษก๋วยเตี๋ยวหมักในแต่ละถุงใส่ถาดอลูมิเนียม เกลี่ยให้กระจาย อบแห้งในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง เก็บไว้เพื่อรอการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะ ทำเช่นเดิมจนครบทั้ง 7 ช่วงเวลา

2.8) ทำการหมักที่อุณหภูมิ 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยวิธีเดียวกัน

2.9) วิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะ ได้แก่ ปริมาณวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน สารอินทรีย์ และพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปของเศษก๋วยเตี๋ยวที่หมักยีสต์อบแห้ง เปรียบเทียบกับเศษก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ผ่านการหมักและเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ที่ 0 ชั่วโมง โดยวิธี Proximate Analysis (A.O.A.C., 2000)

กลุ่มตัวอย่าง และวิธีการเก็บข้อมูล

กลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษาได้แก่ เศษก๋วยเตี๋ยวที่ทำการหมักด้วยยีสต์ใน 4 ระดับอุณหภูมิ (25, 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาที่ใช้หมัก 7 ระยะ (24, 48, 72, 96, 120, 144 และ 168 ชั่วโมง) ช่วงเวลาละ 3 ซ้ำๆ ละ 1 ถุง รวมจำนวน 84 ถุง โดยทำการบันทึกข้อมูล องค์ประกอบทางโภชนะของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ที่สภาวะต่างๆ ตามที่ทำการวิเคราะห์ได้

การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มการทดลอง โดยใช้วิธี Duncan’s New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (α = 0.05)

ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะของยีสต์ผง เศษก๋วยเตี๋ยวไม่ผ่านการหมัก และเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ที่ 0 ชั่วโมง (ตารางที่ 1) ซึ่งพบว่า ยีสต์มีองค์ประกอบทางโภชนะในระดับสูงที่สุด ($P < 0.05$) เมื่อ

เปรียบเทียบกับเศษก๋วยเตี๋ยวชนิดไม่หมัก และเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ที่ระยะเวลา 0 ชั่วโมง โดยยีสต์มีวัตถุแห้ง โปรตีน เท่ากับร้อยละ 95.46 และ 43.51 ตามลำดับ และมีพลังงานเท่ากับ 4,645.57 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

เศษก๋วยเตี๋ยวไม่ผ่านการหมักมีวัตถุแห้งต่ำที่สุด คือร้อยละ 88.82 ไขมันสูงที่สุด ($P <$ 0.05; ร้อยละ 1.21) การหมักยีสต์ที่ 0 ชั่วโมง ทำให้เศษก๋วยเตี๋ยวมีองค์ประกอบเถ้าต่ำลง ($P < 0.05$; ร้อยละ 0.22) จากร้อยละ ซึ่งสูงกว่ายีสต์ที่มีสารอินทรีย์เท่ากับร้อยละ 90.40 ส่วนองค์ประกอบโภชนะอื่น ๆ ได้แก่ โปรตีน เถ้า พลังงาน ไม่แตกต่างไปจากเศษก๋วยเตี๋ยวไม่ผ่านการหมัก ยกเว้นวัตถุแห้ง และไขมันที่มีค่าใกล้เคียงกับยีสต์

ตารางที่ 1 องค์ประกอบโภชนะของยีสต์ผง เศษก๋วยเตี๋ยวไม่ผ่านการหมัก และเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ที่เวลาเริ่มต้น (0 ชั่วโมง)

องค์ประกอบโภชนะ (ร้อยละของวัตถุแห้ง)	**ชนิดของสิ่งที่ศึกษา**		
	ยีสต์ผง	**เศษก๋วยเตี๋ยวไม่ผ่านการหมัก**	**เศษก๋วยเตี๋ยวหมัก 0 ชั่วโมง**
วัตถุแห้ง (สภาพสด)	-	-	48.61±0.11
วัตถุแห้ง (สภาพแห้ง)	95.46±0.02^{a}	88.82±0.03^{c}	94.49±0.14^{b}
เถ้า	5.06±0.06^{a}	0.30±0.00^{b}	0.22±0.01^{b}
โปรตีน	43.51±0.39^{a}	7.50±0.04^{b}	7.88±0.05^{b}
ไขมัน	0.74±0.04^{b}	1.21±0.09^{a}	0.79±0.01^{b}
เยื่อใย	2.81±0.49^{a}	2.15±0.01^{b}	1.60±0.08^{c}
พลังงาน (kcal/kg)	4,645.57±14.61^{a}	4,108.20±7.99^{b}	4,126.20±7.29^{b}

หมายเหตุ : 1. ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± standard deviation)

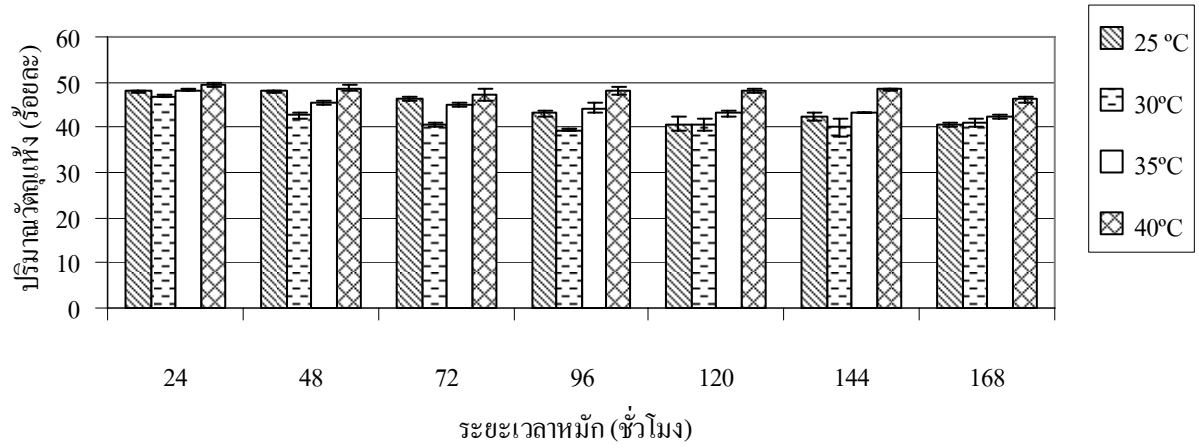
2. ^{a,b,c} อักษรแตกต่างกันที่อยู่ในแถวเดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักด้วยยีสต์ที่อุณหภูมิ 25, 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส ณ ระยะเวลา 24, 48, 72, 96, 120, 144 และ 168 ชั่วโมง องค์ประกอบโภชนะทั้งหมดที่

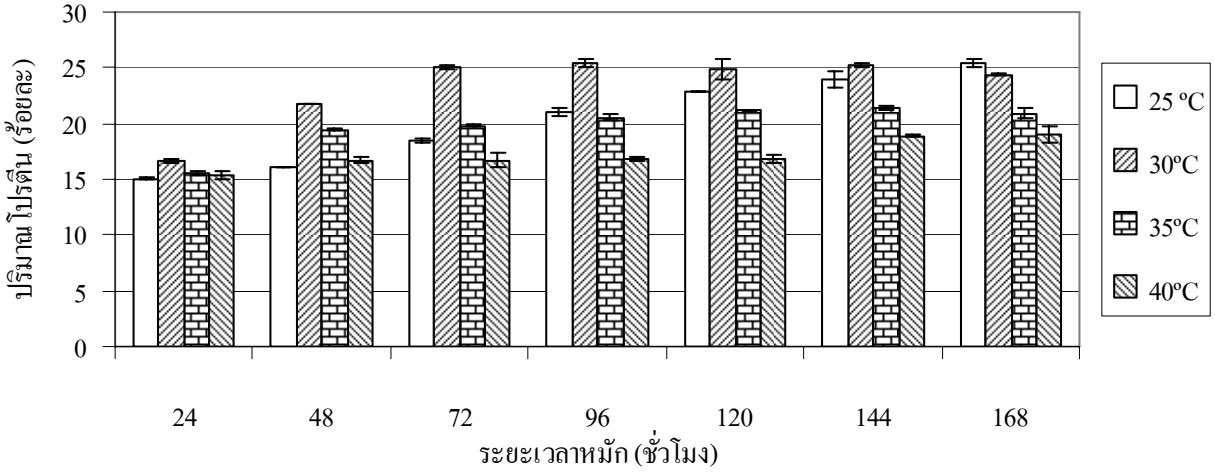
วิเคราะห์ได้รายงานในฐานวัตถุแห้งมีค่าผันแปรแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่ศึกษา ($P < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2 รูปที่ 1, 2 และ 3

วัตถุแห้งในระยะเริ่มต้นของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักด้วยยีสต์ที่ทุกระดับอุณหภูมิที่ศึกษา มีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาหมักยาวนานขึ้นวัตถุแห้งมีแนวโน้มลดลง เศษก๋วยเตี๋ยวหมักด้วยยีสต์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 ถึง 168 ชั่วโมง มีวัตถุแห้งต่ำที่สุด (ร้อยละ 39 ถึง 41) ดังรูปที่ 1 และตารางที่ 2

เมื่อทำการหมักเศษก๋วยเตี๋ยวด้วยยีสต์ พบว่า ระดับโปรตีนจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักในทุกระดับอุณหภูมิ โดยในช่วงเวลาการหมัก 24 ชั่วโมงแรกที่ระดับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถช่วยให้ระดับโปรตีนของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักเพิ่มขึ้น เท่ากับร้อยละ 16.68 ซึ่งสูงกว่าการหมักที่อุณหภูมิอื่น ในทำนองเดียวกันในช่วงเวลาการหมักเศษก๋วยเตี๋ยวด้วยยีสต์ที่ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถทำให้ระดับโปรตีนสูงกว่าการหมักที่อุณหภูมิอื่นๆ ($P < 0.05$; ร้อยละ 21.80) นอกจากนี้การหมักเศษก๋วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในช่วงระยะเวลา 72 ถึง 144 ชั่วโมง สามารถเพิ่มระดับโปรตีนได้มากที่สุด ($P < 0.05$; ในระดับร้อยละ 25 ขึ้นไป) รองลงมา คือ การหมักที่ 25 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 168, 144 และ 120 ชั่วโมง ซึ่งทำให้ระดับโปรตีนของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักเพิ่มขึ้น ร้อยละ 25.44, 23.96 และ 22.84 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการหมักเศษก๋วยเตี๋ยวสูงขึ้นเป็น 35 และ 40 องศาเซลเซียส ระดับโปรตีนกลับเพิ่มขึ้นน้อยลงอยู่ในระดับร้อยละ 15 ถึง 20 แต่ยังคงสูงกว่าเศษก๋วยเตี๋ยวไม่หมักและเศษก๋วยเตี๋ยวหมักที่ 0 ชั่วโมง ดังรูปที่ 2 และตารางที่ 2



รูปที่ 1 วัตถุแห้งของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีนต์ ณ สภาวะการหมักต่างๆ



รูปที่ 2 ระดับโปรตีนของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีนส์ ณ สภาวะการหมักต่างๆ

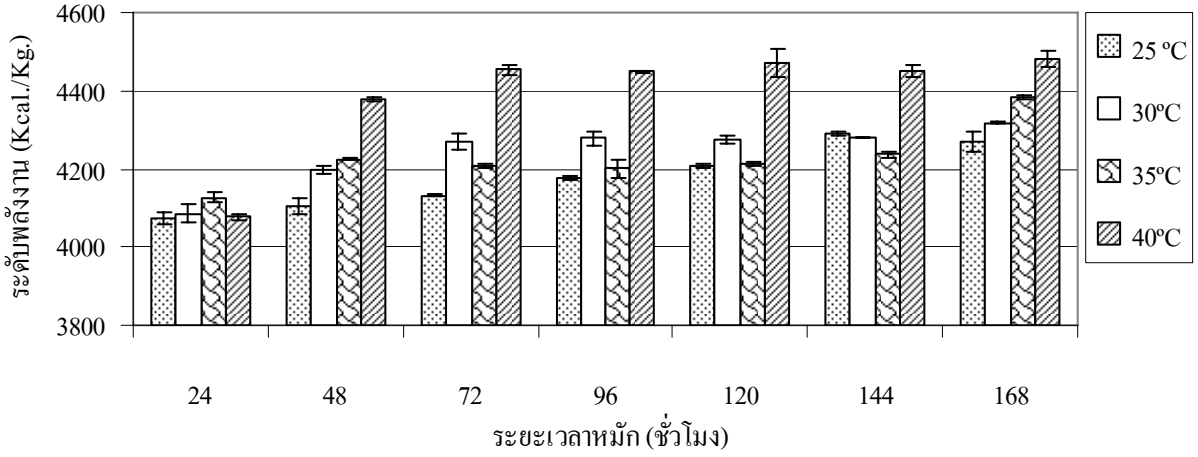
การหมักเศษก๋วยเตี๋ยวด้วยยีสต์ ที่ระดับอุณหภูมิและช่วงเวลาต่างๆ ไม่มีผลกระทบต่อระดับไขมัน อย่างไรก็ตาม พบว่าระดับไขมันของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อยู่ในระดับสูงที่สุด ($P < 0.05$; ร้อยละ 1.12 ถึง 1.68) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเศษก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ผ่านการหมัก ส่วนเถ้าของเศษก๋วยเตี๋ยวนั้นมีค่าอยู่ในระดับต่ำ (ร้อยละ 0.30) เมื่อนำเศษก๋วยเตี๋ยวมาหมักกับยีสต์ที่อุณหภูมิต่างๆ ในระยะเวลา 24 ชั่วโมงแรก พบว่า มีระดับเถ้าลดลง (โดยเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 0.20) แต่เมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น เศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์จะมีปริมาณเถ้าเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นในทุกช่วงอุณหภูมิ

ในระยะการหมัก 24 ชั่วโมงแรก ในทุกระดับอุณหภูมิ เศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์มีระดับเยื่อใยต่ำใกล้เคียงกับเศษก๋วยเตี๋ยวที่ไม่หมัก และเศษก๋วยเตี๋ยวหมักที่ 0 ชั่วโมง หลังจากนั้น ระดับเยื่อใยมีแนวโน้มลดลงตามระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยเศษก๋วยเตี๋ยวหมักที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 48 ชั่วโมง มีเยื่อใยสูงที่สุด ($P < 0.05$; ร้อยละ 5.13) และลดลงเรื่อย ๆ จนเหลือร้อยละ 3.73 ที่เวลา 168 ชั่วโมง ส่วนเศษก๋วยเตี๋ยวหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสนั้น มีค่าเยื่อใยต่ำกว่าที่หมักโดยการใช้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในทุกช่วงระยะเวลา ในทำนองเดียวกับที่ระยะเวลา 35 และ 40 องศาเซลเซียส

ไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรคในเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ มีความผันแปรค่อนข้างสูงและมีระดับต่ำกว่าทั้งเศษก๋วยเตี๋ยวไม่หมักและเศษก๋วยเตี๋ยวหมักที่ 0 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรคสูงมาก (ร้อยละ 75 ถึง 85) อย่างไรก็ตาม ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงแรกของทุกระดับอุณหภูมิ ที่ใช้ในการหมัก เศษก๋วยเตี๋ยวจะมีค่าไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรคสูงกว่าเมื่อใช้ระยะเวลาการหมักที่ยาวนานขึ้น (ร้อยละ 30 ถึง 31) อย่างไรก็ตาม ระดับไนโตรเจนฟรี

เอ็กซ์แทรคในเศษก๋วยเตี๋ยวหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสมีค่าต่ำที่สุด (ร้อยละ 24.76) และมีแนวโน้มสูงที่สุดที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สำหรับการหมักในทุกช่วงระยะเวลา

เศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ทุกระดับอุณหภูมิและทุกช่วงเวลาการหมักมีค่าพลังงาน อยู่ในระดับสูง และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลา อย่างไรก็ตาม การหมักเศษก๋วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในทุกช่วงเวลา ช่วยให้มีค่าพลังงานสูงกว่าการหมักที่อุณหภูมิอื่น ทั้งนี้ พบว่า เศษก๋วยเตี๋ยวหมักมีพลังงานสูงสุด ($P < 0.05$) ที่ระยะเวลาการหมัก 168 ชั่วโมง (4,481 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) ดังรูปที่ 3 และตารางที่ 2



รูปที่ 3 ระดับพลังงานของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีนส์ ณ สภาวะการหมักต่างๆ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบโภชนะของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ ณ สภาวะการหมักต่าง ๆ

เวลาหมัก (ชม.)	25 องศาเซลเซียส			30 องศาเซลเซียส			35 องศาเซลเซียส			40 องศาเซลเซียส		
	DM (%)	CP (%)	EE (%)	DM (%)	CP (%)	EE (%)	DM (%)	CP (%)	EE (%)	DM (%)	CP (%)	EE (%)
24	47.92±0.35^{bc}	15.04±0.07^{ij}	0.97±0.35^{e}	46.84±0.19^{cde}	16.68±0.14^{hi}	0.71±0.00^{ghi}	46.23±0.26^{def}	15.54±0.19^{ij}	0.83±0.08^{efg}	49.40±0.35^{ab}	15.34±0.35^{ij}	0.66±0.35^{hi}
48	47.88±0.33^{bc}	16.06±0.04^{i}	0.85±0.09^{efg}	45.51±0.55^{efg}	21.80±0.05^{c}	0.61±0.15^{ij}	45.51±0.74^{efg}	19.45±0.05^{e}	0.36±0.11^{kl}	48.60±0.70^{ab}	16.70±0.26^{hi}	1.12±0.15^{d}
72	46.33±0.35^{def}	18.47±0.20^{g}	0.84±0.11^{efg}	44.94±0.39^{fg}	24.99±0.06^{a}	0.28±0.20^{l}	44.94±0.35^{fg}	19.79±0.19^{e}	0.49±0.32^{jk}	47.27±1.18^{bcd}	16.71±0.58^{hi}	1.31±0.15^{c}
96	43.11±0.71^{hi}	21.05±0.41^{cde}	0.66±0.35^{hi}	42.46±1.06^{i}	25.41±0.30^{a}	0.31±0.08^{l}	44.32±0.24^{gh}	20.52±0.42^{de}	0.34±0.03^{l}	48.28±0.87^{abc}	16.87±0.20^{h}	1.46±0.18^{b}
120	40.72±1.65^{kl}	22.84±0.06^{bc}	0.76±0.01^{efg}	41.01±0.70^{jk}	24.83±0.09^{a}	0.89±0.12^{ef}	43.06±1.38^{hi}	21.20±0.90^{cd}	0.89±0.06^{ef}	48.05±0.48^{abc}	16.90±0.35^{1h}	1.55±0.24^{ab}
144	40.22±0.94^{kl}	23.96±0.74^{b}	0.73±0.01^{ghi}	39.46±0.03^{l}	25.25±0.23^{a}	0.72±0.05^{ghi}	43.17±2.07^{hi}	21.37±0.21^{cd}	0.73±0.02^{ghi}	48.38±0.19^{ab}	18.87±0.92^{efg}	1.48±0.06^{b}
168	40.44±0.47^{kl}	25.44±0.39^{a}	0.78±0.01^{efg}	40.47±0.42^{kl}	24.39±0.45^{ab}	0.68±0.10^{hi}	42.45±0.81^{i}	20.93±0.10^{de}	0.79±0.01^{fgh}	46.12±0.82^{def}	19.01±0.73^{ef}	1.67±0.15^{a}

หมายเหตุ : 1. อักษรย่อ DM, วัตถุแห้ง; CP, โปรตีนหยาบ; EE, ไขมัน

2. ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± standard deviation)

3. อักษร a, b, ... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบโภชนะในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $P < 0.05$

4. อักษร a, b, ... ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบโภชนะในอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $P < 0.05$

ตารางที่ 2 องค์ประกอบโภชนะของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ ณ สภาวะการหมักต่าง ๆ (ต่อ)

เวลาหมัก (ชม.)	25 องศาเซลเซียส		30 องศาเซลเซียส		35 องศาเซลเซียส		40 องศาเซลเซียส	
	CF (%)	ASH (%)	CF (%)	ASH (%)	CF (%)	ASH (%)	CF (%)	ASH (%)
24	2.06±0.05^{o}	0.24±0.01^{ij}	1.38±0.05^{d}	0.16±0.00^{k}	1.62±0.35^{o}	0.14±0.04^{k}	1.67±0.15^{o}	0.14±0.22^{k}
48	5.13±0.04^{a}	0.21±0.01^{j}	3.61±0.05^{ef}	0.45±0.03^{b}	2.16±0.11^{lm}	0.26±0.04^{hi}	2.06±0.64^{mn}	0.46±0.01^{b}
72	5.09±0.20^{a}	0.34±0.01^{ef}	3.77±0.10^{e}	0.38±0.01^{cd}	2.71±0.23^{ij}	0.38±0.01^{cd}	2.43±0.08^{jkl}	0.39±0.04^{c}
96	4.95±0.07^{ab}	0.39±0.01^{c}	3.70±0.14^{e}	0.26±0.01^{hi}	3.37±0.09^{fg}	0.44±0.02^{b}	2.35±0.04^{klm}	0.26±0.01^{hi}
120	4.66±0.21^{bc}	0.28±0.01^{gh}	3.32±0.30^{fg}	0.46±0.01^{b}	2.01±0.31^{n}	0.48±0.01^{b}	2.23±0.02^{klmn}	0.47±0.01^{b}
144	4.17±0.23^{d}	0.36±0.01^{cde}	3.35±0.21^{fg}	0.44±0.01^{b}	2.51±0.45^{jk}	0.46±0.00^{b}	3.10±0.13^{gh}	0.44±0.01^{b}
168	3.73±0.16^{e}	0.36±0.01^{cde}	2.94±0.07^{hi}	0.55±0.01^{a}	1.61±0.43^{o}	0.57±0.01^{a}	2.30±0.08^{klmn}	0.57±0.00^{a}

หมายเหตุ :

1. อักษรย่อ CF, เยื่อใย; ASH, เถ้า
2. ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± standard deviation)
3. อักษร a, b, ... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบโภชนะในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $P < 0.05$
4. อักษร a, b, ... ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบโภชนะในอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $P < 0.05$

ตารางที่ 2 องค์ประกอบโภชนะของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ ณ สภาวะการหมักต่าง ๆ (ต่อ)

เวลาหมัก (ชม.)	25 องศาเซลเซียส		30 องศาเซลเซียส		35 องศาเซลเซียส		40 องศาเซลเซียส	
	NFE (%)	GE (kcal/kg)	NFE (%)	GE (kcal/kg)	NFE (%)	GE (kcal/kg)	NFE (%)	GE (kcal/kg)
24	31.00±0.35 ^{c}	4,073.09±16.97 ^{p}	24.76±0.27 ^{e}	4,085.18±12.22 ^{op}	30.73±0.25^{c}	4,127.35±21.99^{lm}	31.88±0.23^{c}	4,076.29±8.62 ^{p}
48	25.23±0.32 ^{de}	4,103.60±19.89^{no}	16.98±0.77 ^{hi}	4,197.53±3.39 ^{j}	22.75±0.73^{f}	4,224.16±9.84 ^{hi}	28.60±1.18^{d}	4,378.79±6.70 ^{d}
72	21.39±0.47 ^{fg}	4,132.60±7.46 ^{l}	11.95±0.73 ^{j}	4,268.66±2.86 ^{g}	21.75±0.35^{fg}	4,207.81±21.27 ^{ij}	26.20±1.78^{de}	4,454.92±12.75 ^{bc}
96	16.10±1.05 ^{hi}	4,176.00±3.31 ^{k}	10.93±1.41^{jk}	4,278.57±23.49 ^{fg}	20.17±0.77^{fg}	4,200.54±16.72 ^{j}	27.46±1.22^{d}	4,450.22±2.64 ^{c}
120	11.04±1.40 ^{j}	4,207.62±6.45 ^{ij}	10.88±0.42 ^{jk}	4,274.63±6.27 ^{fg}	18.45±0.13^{gh}	4,212.07±8.62 ^{ij}	26.71±0.59^{d}	4,472.21±15.85 ^{ab}
144	15.10±1.42 ^{i}	4,289.30±4.53 ^{f}	9.87±0.45^{kl}	4,280.17±9.02 ^{fg}	18.07±1.84^{gh}	4,236.64±2.16^{h}	24.83±0.35^{e}	4,450.23±17.31 ^{c}
168	10.79±1.05 ^{jkl}	4,268.40±24.71 ^{g}	9.55 ±1.05^{kl}	4,316.90±5.74 ^{e}	19.13±0.47^{g}	4,385.16±3.13 ^{d}	22.01±1.49^{g}	4,481.42±18.88^{a}

หมายเหตุ :

1. อักษรย่อ NFE, คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย; GE พลังงานหยาบ
2. ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± standard deviation)
3. อักษร a, b, ... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบโภชนะในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $P < 0.05$
4. อักษร a, b, ... ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบโภชนะในอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $P < 0.05$

สรุปผลการศึกษา

การหมักเศษก๋วยเตี๋ยวด้วยยีสต์ที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน ทำให้คุณค่าองค์ประกอบทางโภชนะของเศษก๋วยเตี๋ยวเพิ่มขึ้น โดยพบว่าสภาวะการหมักที่เหมาะสมที่สุดในการหมักเศษก๋วยเตี๋ยวด้วยยีสต์เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ คือ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสโดยใช้ระยะเวลาการหมัก 72 ชั่วโมง และที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสโดยใช้ระยะเวลาการหมัก 168 ชั่วโมง ซึ่งทั้งสองสภาวะมีผลทำให้เศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์มีโปรตีนสูงใกล้เคียงกันและมีระดับสูงสุด (ร้อยละ 25) นอกจากนี้ การหมักด้วยยีสต์ในทุกสภาวะที่ศึกษา (อุณหภูมิและระยะเวลา) ช่วยให้เศษก๋วยเตี๋ยวหมักมีพลังงานสูงกว่าปลายข้าว และเศษก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ผ่านการหมักยีสต์

การอภิปราย

เศษก๋วยเตี๋ยวเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย ได้มาจากข้าวหรือปลายข้าวนำมาผ่านกระบวนการผลิตซึ่งต้องใช้ความร้อน และความชื้น คือ การนำไปนึ่งด้วยไอน้ำเป็นแป้งสุก ในภาวะดังกล่าวจะทำให้แป้งเกิดจับตัวกันทำให้มีการย่อยได้สูงขึ้น (ยิ่งลักษณ์, 2552) จึงน่าจะทำให้ยีสต์สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารเพื่อการเจริญเติบโต เพิ่มจำนวนเซลล์ และถูกเปลี่ยนเป็นโปรตีนในก๋วยเตี๋ยวหมักได้มาก เศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ที่สภาวะต่าง ๆ มีคุณค่าทางโภชนะเปลี่ยนแปลงไป แต่ระยะเวลาการหมักที่ยาวนานขึ้นมีผลให้วัตถุแห้ง ไขมัน ไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรคในเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ลดลง ตรงข้ามกับระดับความชื้น โปรตีน และพลังงานซึ่งเพิ่มขึ้น โดยพบว่ายีสต์สามารถเพิ่มระดับโปรตีนในเศษก๋วยเตี๋ยว จากระดับร้อยละ 7.50 ได้ประมาณ 3 เท่า เป็นระดับร้อยละ 25 ขึ้นไป หรือมากกว่า 3 เท่า เนื่องจากในเซลล์ยีสต์เองมีโปรตีนในระดับสูง ในระหว่างกระบวนการหมักเศษก๋วยเตี๋ยว ยีสต์จะมีการเจริญและเพิ่มจำนวนขึ้นด้วย ทำให้เศษก๋วยเตี๋ยวหมักมีระดับโปรตีนสูงขึ้น

สอดคล้องกับรายงานของ Joshi and Sandhu (1996) ซึ่งทำการหมักกากแอปเปิ้ลโดยใช้เชื้อยีสต์สายพันธุ์ต่าง ๆ และพบว่า เชื้อ *S. cerevisiae* สามารถเพิ่มระดับโปรตีนในกากแอปเปิ้ลได้ 3 เท่า ไขมัน 1.5 ถึง 3.0 เท่า และวิตามินซี 2 เท่า เช่นเดียวกับผลการทดลองของ Oboh and Akindahunsi (2003) ที่พบว่าการใช้ยีสต์ (*S. cerevisiae*) หมักแป้งมันสำปะหลัง ทำให้ระดับโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4.4 เป็นร้อยละ 10.9 ซึ่งอธิบายว่าเป็นผลอันเนื่องมาจากการที่ยีสต์สามารถสร้างเอนไซม์ซึ่งเป็นสารโปรตีน

ออกมาในระหว่างกระบวนการหมัก และรายงานเพิ่มเติมว่าการหมักยีสต์ทำให้ระดับไขมันในแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 3.6 เป็น 4.5 โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับเยื่อใย ส่วนคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายมีปริมาณลดลงจากร้อยละ 85.7 เป็น 77.9 เนื่องจากมีการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลและแอลกอฮอล์เถ้าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2.1 เป็น 3.5

กฤษฎา (2551) ศึกษากระบวนการผลิตและการใช้ประโยชน์ของโปรตีนจากมันเส้นหมักยีสต์ (*S. cerevisiae*) ต่อกระบวนการหมัก การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน และความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะในสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยหมักมันสำปะหลังด้วยยีสต์เป็นเวลา 132 ชั่วโมง ในสภาพอุณหภูมิห้อง พบว่ากระบวนการหมักของเชื้อยีสต์สามารถเพิ่มระดับโปรตีนในมันเส้นและมันสดได้ถึงร้อยละ 30.4 และ 18.9 และเพิ่มระดับไขมันได้ร้อยละ 5.8 และ 3.0

ในการทดลองนี้พบว่า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการหมัก 3 วัน เป็นระยะเวลาที่สั้นที่สุด ที่สามารถเพิ่มระดับโปรตีนของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักได้สูงกว่าสภาวะอื่น ๆ อยู่ในระดับร้อยละ 25 ขึ้นไป น่าจะเป็นผลมาจากอุณหภูมิดังกล่าวเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของยีสต์มากที่สุด เมื่ออุณหภูมิการหมักสูงขึ้นเป็น 35 และ 40 องศาเซลเซียส ระดับโปรตีนกลับเพิ่มขึ้นน้อยลง แต่ยังคงสูงกว่าเศษก๋วยเตี๋ยวไม่หมัก และเศษก๋วยเตี๋ยวหมักที่ 0 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นกว่านี้ พบว่ามีการสูญเสียวัตถุแห้งมากขึ้น

สอดคล้องกับการผลิตยีสต์ 2553) ที่รายงานว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเลี้ยงยีสต์(*S. cerevisiae*) คือ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาเลี้ยงเชื้อประมาณ 24 ชั่วโมง ซึ่งสภาวะเช่นนี้เชื้อยีสต์จะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นผลผลิตเซลล์ยีสต์ได้สูงและมีคุณภาพดี เมื่อเปรียบเทียบกับการหมักในช่วงอุณหภูมิ 28 และ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้เชื้อยีสต์ที่มีคุณภาพไม่ดี โดยพิจารณาจากความสามารถในการทำให้ขนมปังขึ้นฟูซึ่งด้อยกว่ายีสต์ที่ผลิตที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับการทดลองของ ณรงค์ (2532) ซึ่งใช้ยีสต์สายพันธุ์ *Schwanniomyces castellii* CBS 2863 หมักกับมันสำปะหลังแห้ง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการหมัก คือ ที่อุณหภูมิ 25 ถึง 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการหมัก 96 ชั่วโมง ซึ่งสามารถเพิ่มระดับโปรตีนได้ถึง 2 เท่า (จากร้อยละ 0.69 เป็น 1.64 ของน้ำหนักแห้ง)

พลังงานของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์โดยทั่วไปทุกระดับอุณหภูมิ และทุกช่วงเวลาอยู่ในระดับสูง คือมีค่าพลังงานหยาบอยู่ในระดับสูงกว่า 4,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมทั้งสิ้น น่าจะเนื่องมาจากการที่ยีสต์สามารถเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลและแอลกอฮอล์ซึ่งมีค่าพลังงานสูงกว่าคาร์โบไฮเดรตและไขมัน นอกจากนี้พบว่า พลังงานหยาบมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การหมักที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสช่วยให้มีพลังงานสูงกว่าการหมักที่ระดับอุณหภูมิอื่นในทุกช่วงระยะเวลา โดยมีพลังงานสูงสุด (4,481 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) ที่ระยะเวลาการหมัก 168 ชั่วโมง

จากการทดลองนี้พบว่า สภาวะการหมักที่เหมาะสมที่สุดในการหมักเศษก๋วยเตี๋ยวด้วยยีสต์เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ คือ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้ระยะเวลาการหมักสั้นเพียง 72 ชั่วโมง ซึ่งไม่ทำให้เศษก๋วยเตี๋ยวสูญเสียวัตถุแห้งมากเกินไป หรือที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาการหมักที่ยาวนานขึ้นเป็น 168 ชั่วโมง สภาวะการหมักดังกล่าวทำให้เศษก๋วยเตี๋ยวหมักมีโปรตีนสูงใกล้เคียงกัน ในระดับร้อยละ 25 และเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ยังมีพลังงานที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าปลายข้าวและเศษก๋วยเตี๋ยวไม่ผ่านการหมักในทุกสภาวะการหมัก นอกจากนี้อุณหภูมิทั้งสองระดับ (25 และ 30 องศาเซลเซียส) มีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องจึงง่ายต่อการนำไปปฏิบัติในระดับเกษตรกร

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ที่มีประโยชน์ ครอบคลุมทุกด้าน ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึง

1. การย่อยได้ของเศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ในอาหารสุกร และ/หรือสัตว์เศรษฐกิจชนิดอื่น

2. สมรรถภาพ และต้นทุนการผลิตของการใช้เศษก๋วยเตี๋ยวหมักยีสต์ในสูตรอาหารสุกร และ/หรือสัตว์เศรษฐกิจชนิดอื่น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ประจำปีงบ ประมาณ พ.ศ. 2552 ผ่านการพิจารณาของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โดยได้รับความสนับสนุนจากหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก และ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระพงษ์ อินทร์ทอง ที่กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และให้การสนับสนุน จนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้

เอกสารอ้างอิง

กฤษฎา บุญนพ. 2551. การศึกษากระบวนการผลิต และการใช้ประโยชน์ของโปรตีนจากมันเส้นหมักยีสต์ต่อกระบวนการหมัก การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน และความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะในสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

การผลิตยีสต์. 2553. [Online]. Available: http:// rde.biotec.or.th/rdedocs/proposal/45PP/Abstract CTh.doc. [10 ธันวาคม 2553].

งามชื่น คงเสรี. 2550. ผลิตภัณฑ์จากข้าว. [Online]. Available: http://www.charpa.co.th/ index.html. [2 มิถุนายน 2550].

จิรพรรณ นพวงศ์ ณ อยุธยา, ปกรณ์ ภู่ประเสริฐ, สมคิด พรหมมา, สุภาวัลย์ บรรเลงทอง, สมมาตร สุวรรณมาโจ และภิญโญ ธนะสุข. 2551. การใช้ข้าวเปลือกหมักเป็นอาหารสุกร. [Online]. Available: http://www.dld.go.th. [21 กรกฎาคม 2551].

ณรงค์ วงษ์พานิช. 2532. การผลิตโปรตีนเซลล์เดี่ยวจากมันสำปะหลังโดยการหมักด้วยยีสต์. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปรีชา มูลสาร. 2553. การใช้เศษก๋วยเตี๋ยวทดแทนปลายข้าวในสูตรอาหารสุกรขุน. วารสารวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. 11(1) 1–9.

พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2539. หลักการอาหารสัตว์. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, เชียงใหม่. 576 น.

ยิ่งลักษณ์ มูลสาร. 2552. การใช้เศษก๋วยเตี๋ยวทดแทนปลายข้าวในสูตรอาหารสุกรระยะรุ่น. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร. 1(1) 15–24.

A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. EUA.

Cheeke, P. R. 1999. Applied Animal Nutrition; Feed and Feeding. McMillan Publishing Company, New York. 503 p.

Doyle, E. 2007. Alternative to Antibiotic Use for Growth Promotion in Animal Husbandry. University of Wisconsin-Madison, Madison.

Joshi, V. K. and D. K. Sandhu. 1996. Preparation and Evaluation of an Animal Feed Byproduct Produced by Solid-State Fermentation of Apple Pomace. J. Biores. Tech. 56 (1996): 251-255.

Martin, S.A. and D.J. Nisbet. 1992. Effects of a Direct-Fed Microbial on Rumen Microbial Fermentation. J. Dairy Sci. 75(1992): 1736-1744.

Mathew, A.G., Chattin, S.E., Robbins, C.M. and D.A. Golden. 1998. Effects of a Direct-Fed Yeast Culture on Enteric Microbial Populations, Fermentation Acids, and Performance of Weanling Pigs. J. Anim. Sci. 76(1998): 2138-2145.

Oboh, G. and A.A. Akindahunsi. 2003. Biochemical changes in cassava products (flour & gari) subjected to Saccharomyces cerevisae solid media fermentation. J. Food Chem. 82(2003): 599–602.