

การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากเศษเหลือกากกะทิโดยใช้ยีสต์และบาซิลลัสซัปติลิส เพื่อพัฒนาเป็นอาหารสัตว์

The Production of Single Cell Protein from Copra Meal Residue by *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus subtilis* for Development as Animal Feedstuff

มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี^{1*} วรางคณา กิจพิพิธ¹ อณัญญา ปานทอง² และ กฤติยา เลิศขุนทดเกียรติ¹

¹ อาจารย์ สาขาวิชาสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร
จังหวัดเพชรบุรี 76120

² อาจารย์ คณะสัตวศาสตร์ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี 76120

บทคัดย่อ

การทดลองในครั้งนี้เพื่อศึกษาการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิร่วมกับเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) และบาซิลลัสซัปติลิส (*Bacillus subtilis*) เพื่อพัฒนาเป็นอาหารสัตว์ โดยวางแผนการทดลองแบบ 4x3 factorial in CRD แบ่งเป็น 2 ปัจจัย คือ ปัจจัย A ได้แก่ ระยะเวลาที่แตกต่างกัน (0, 15, 30 และ 45 วัน) และปัจจัย B ได้แก่ ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ (ยีสต์ บาซิลลัสซัปติลิส และเชื้อผสมยีสต์กับบาซิลลัสซัปติลิส S+B) ผลการทดลองพบว่า อิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อสภาพของการหมักคือ ค่าความเป็นกรดต่าง 4.00-4.53 และเปอร์เซ็นต์ผลผลิต 29.21-33.80 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) แต่อิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีผลต่ออุณหภูมิของการหมัก ($P \geq 0.05$) เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางโภชนาของโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิ พบว่ากากกะทิที่หมักด้วยร่วมกับยีสต์ร่วมกับบาซิลลัสซัปติลิสจะมีค่าโปรตีนในผลิตภัณฑ์โปรตีนเซลล์เดียวจากเศษเหลือกากกะทิสูงกว่าการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์เดี่ยวทั้งสองชนิดอื่น ($P < 0.01$) และระยะเวลาการหมักที่เหมาะสมที่สุดคือ 45 วัน โดยจะให้ค่าโปรตีนในผลิตภัณฑ์โปรตีนเซลล์เดียวจากเศษเหลือกากกะทิเท่ากับ 14.77 เปอร์เซ็นต์ และค่าการย่อยได้ของโปรตีนด้วยเอนไซม์เปปซินเท่ากับ 66.60 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) จากผลการทดลองครั้งนี้ชี้ให้เห็นแนวทางในการผลิตแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ทางเลือกที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในอนาคตต่อไป

Abstract

This experiment was conducted to study on single cell protein production from copra meal residue by *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus subtilis* as animal feedstuffs. The experimental design was 4x3 factorial in CRD experiment with two factors were design to experiment. The first factor was comprised of fermented period (0, 15, 30 and 45 days). While, the second factor B was comprised of microorganism type (*Saccharomyces cerevisiae*, *Bacillus subtilis* and *Saccharomyces cerevisiae* combined with *Bacillus subtilis*). The results showed that interaction between factor A and B on pH (4.00-4.53) and percentage yield (29.21-33.80) were highly significantly different ($P < 0.01$). However, Incubation temperature were not related between factor A and B. Additional, both factor have no effect to incubation temperature ($P \geq 0.05$). For nutrients composition, the group was fermented *Saccharomyces cerevisiae* combined with *Bacillus subtilis* showed higher Crude Protein than other treatments ($P < 0.01$). Optimum of period at days 45 showed that crude protein 14.77 percent was significantly ($P < 0.01$) and pepsin digestibility 66.60 percent was significantly ($p < 0.01$)

คำสำคัญ : โปรตีนเซลล์เดียว กากกะทิ ยีสต์ บาซิลลัสซัปติลิส อาหารสัตว์

Keywords : Single cell protein, Copra meal residue, *Saccharomyces cerevisiae*, *Bacillus subtilis* and Feedstuff

*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ manatsanun@su.ac.th โทร. 0 3228 2978

1. บทนำ

ปัจจุบันโลกของเรากำลังประสบปัญหาการขาดแคลนอาหาร โดยเฉพาะแหล่งอาหารประเภทโปรตีน เนื่องจากความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรอาหารที่ลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นทำให้ผลผลิตแหล่งอาหารประเภทโปรตีนมีจำนวนลดลง จึงก่อให้เกิดการแย่งแย่งอาหารของมนุษย์และสัตว์ ซึ่งส่งผลให้อาหารสัตว์ที่ให้โปรตีนมีราคาเพิ่มสูงขึ้น ภาคการผลิตปศุสัตว์จึงมีแนวคิดในการแสวงหาแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์และพัฒนาแหล่งของโปรตีนทดแทนมากขึ้น รวมถึงการผลิตโปรตีนจากสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว (Single cell protein) (Muller, 1974) จากการที่จังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์เป็นแหล่งผลิตมะพร้าวที่สำคัญของประเทศไทยอีกทั้งยังมีโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว ทำให้มีเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปมะพร้าวคือ กากกะทิ (Muller, 1975) หากแต่เศษเหลือเหล่านี้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นอาหารสัตว์เพราะมีคุณค่าทางโภชนาต่ำและการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ (Perez and Hsu, 1973) จากรายงานของ พงศกรและสรราช (2553) พบว่า กากมะพร้าวจากการคั้นกะทิ มีปริมาณโปรตีน 1.2 % ดังนั้นจึงจำเป็นต้องการแสวงหาวิธีการพัฒนาและแก้จุดด้อยเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาและการใช้ประโยชน์ได้ต่ำ และการนำเทคโนโลยีการหมักแบบแห้ง (Solid state) ร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาและการย่อยได้ของกากกะทิ อันจะส่งผลต่อการเพิ่มสมรรถนะการผลิตให้แก่สัตว์ได้ และเป็นการเพิ่มมูลค่าของกากกะทิด้วย จากรายงานของ กรทิพย์และคณะ (2552) กล่าวว่า ยีสต์มีปริมาณโปรตีนสูงที่ 35 % และผนังเซลล์ของยีสต์จะประกอบด้วยสารในกลุ่มแมนโนโอลิโกแซคคาไรด์จำนวนมาก (ศรีณรัชต์, 2552.) และยังพบอีกว่าบาซิลลัสซัปติลิสจะมีเอนไซม์ carbohydrase และ protease ที่สามารถเพิ่มการย่อยได้ของแป้งและโปรตีน (Evan and Dawson, 2007) นอกจากนั้นแล้วยีสต์และบาซิลลัสซัปติลิสยังมีคุณสมบัติในการเป็นโปรไบโอติกส์ด้วย (สาโรช, 2547) จากรายงานของ สิทธิพงษ์ (2551) และ Kogen and Kocher (2007) ได้ทำการเสริมยีสต์ที่มี MOS เป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการป้องกันเชื้อก่อโรคในท่อทางเดินอาหารได้ จากรายงานของ อรทัยและคณะ (2551) และ (พัชรและคณะ, 2552) ได้ทำการเสริมโปรไบโอติกส์และเสริมบาซิลลัสซัปติลิสแห้งช่วยในการเพิ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทั้ง *Lactobacillus* spp อีกทั้งยังช่วยลดจุลินทรีย์ก่อโทษคือ *Salmonella enteritidis* และ *E Coli* ได้

การทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงศักยภาพและวิธีการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิโดยใช้ยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) และบาซิลลัสซัปติลิส (*Bacillus subtilis*) ต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางโภชนาในโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิ รวมถึงการทดสอบการย่อยได้ภายนอกร่างกายสัตว์ (*In vitro* digestibility) ของโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิเพื่อพัฒนาเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์โปรตีนทางเลือกในอนาคต

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 แผนการทดลอง

ปัจจัยทดลอง

ปัจจัย A คือ เวลาที่ใช้หมัก (0, 15, 30 และ 45 วัน)

ปัจจัย B คือ ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ (*Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ SC-105 (S), *Bacillus subtilis* BSC-23 (B) และ เชื้อจุลินทรีย์ผสม S+B (50:50)

การทดลองครั้งนี้วางแผนการทดลองแบบ 4x3 factorial in CRD โดยมีทั้งหมด 12 ทรีทเมนต์คอมบินเนชัน ทรีทเมนต์ละ 3 ซ้ำ มี 36 หน่วยทดลอง

2.2 วิธีการทดลอง

- 1) นำกากกะทิมาผสมคลุกเคล้ากับน้ำกลั่น น้ำตาล และรำละเอียด ในสัดส่วน 80:15:2.5:2.5 ตามลำดับ แล้วบรรจุลงในโหลขนาด 5 ลิตรให้เต็มแล้วนำแผ่นกระดาษอะลูมิเนียมมาปิดทับบริเวณปากโหลและปิดฝาให้สนิท
- 2) เก็บโหลตัวอย่างที่หมักไว้ในอุณหภูมิห้องเพื่อให้เกิดกระบวนการหมักตามช่วงระยะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 0, 15, 30 และ 45 วัน
- 3) วัดสภาพการหมักคือ อุณหภูมิ และ pH ของการหมักด้วย pH meter ยี่ห้อ AZ Instrument รุ่น 8601 เมื่อครบระยะเวลาการหมักที่กำหนด
- 4) เก็บตัวอย่างโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิ แล้วนำไปตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง ยี่ห้อ Olympus ที่กำลังขยาย 40x
- 5) เก็บตัวอย่างโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิตามระยะเวลาที่กำหนดทั้งหมด ใส่กรดอะลูมิเนียม แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C ประมาณ 72 ชั่วโมงจนแห้งสนิท เพื่อเตรียมตัวอย่างเข้าวิเคราะห์องค์ประกอบโภชนาและการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์เปปซิน จากนั้นชั่งน้ำหนักผลผลิตหลังจากการอบแห้งเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิ
- 6) วิเคราะห์ตัวอย่างโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิเพื่อหาองค์ประกอบโภชนาด้วยวิธีการประมาณ (Proximate analysis) ตามวิธีของ AOAC (1985) และการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์เปปซินตามวิธีของ AOAC (1985)

2.3 ข้อมูลและการคำนวณ

บันทึกผลการวิเคราะห์ค่าวัตถุแห้ง เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และ พลังงาน ที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบโภชนา รวมถึงค่าการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์เปปซิน นอกจากนี้จะนำค่าน้ำหนักผลผลิตก่อนทำการหมักและหลังจากการหมักการอบแห้งแล้วมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิต

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ด้วย Proc GLM วิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูล (Trend Analysis) ด้วย Orthogonal Polynomials และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วย Duncan's new multiple range test, DMRT โดยใช้แผนการทดลองแบบ 4x3 factorial in CRD โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ตามวิธีของมนต์ชัย (2544)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการตรวจสอบสภาพการหมักโปรตีนแห้งอนาคตจากกากกะทิ

จากการทดลองนำกากกะทิมาหมักในระยะเวลาที่แตกต่างกันคือ 0, 15, 30 และ 45 วัน กับเชื้อจุลินทรีย์คือ ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* (S), เชื้อ *Bacillus subtilis* (B) และ S+B รวมกัน ผลการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปของการหมักและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ต่อค่า pH อยู่ของการหมักในช่วง 4.00-4.53 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ดัง Table 1 แต่จะไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ต่อค่าอุณหภูมิการหมัก ซึ่งผลิตโปรตีนแห้งอนาคตครั้งนี้จะมีค่าอุณหภูมิของการหมักอยู่ในช่วง 29.18-29.73 นอกจากนี้ไม่พบความแตกต่างของทั้งสองปัจจัยต่อค่าอุณหภูมิของการหมักด้วย ($P \geq 0.05$) นอกจากนี้จะพบอิทธิพลร่วมระหว่าง ระยะเวลาในการหมักและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ต่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่อยู่ในช่วง 29.21-33.80

เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยระดับของ pH ที่เกิดขึ้นในการทดลองครั้งนี้จะอยู่ในช่วง 4-4.5 ซึ่งเชื้อยีสต์เจริญได้ดีในระดับนี้ (pH 3.5- 5.5) ทั้งนี้ยังสามารถช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียส่วนใหญ่ด้วย เนื่องจากแบคทีเรียส่วนใหญ่เจริญได้ดีในสภาพ pH ที่เป็นกลาง ยกเว้นแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติกที่เจริญได้ดีใน pH ที่ยีสต์เจริญ ฉะนั้นค่า pH ในการทดลองจึงทำให้ยีสต์และบาซิลลัสซบติลิสสามารถเจริญได้ดีและยับยั้งแบคทีเรียชนิดอื่นได้อีกด้วย (วรารุณี, 2529) และจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 29.18-29.73 นั้น สอดคล้องกับประภาส (2553) ที่รายงานว่ายีสต์สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส สาเหตุที่เปอร์เซ็นต์ผลผลิตลดลงเนื่องจากยีสต์จะใช้คาร์บอนจากน้ำตาลในกระบวนการเจริญเติบโต แล้วเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ (ประภาส, 2553) ประกอบกับการที่ *Bacillus subtilis* สามารถสร้างเอนไซม์ช่วยย่อยโปรตีนแป้งและเอนไซม์ย่อยเยื่อใย (อรพิน, 2546)

3.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการโปรตีนแห้งจากกากกะทิ

จากการทดลองนำกากกะทิมาหมักกับเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* (S), เชื้อ *Bacillus subtilis* (B) และ S+B รวมกัน โดยแบ่งระยะเวลาการหมักออกเป็น 4 ช่วงคือ 0, 15, 30 และ 45 วัน เมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบโภชนาการพบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการหมักและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ต่อค่าโปรตีนหยาบและไขมันรวมจะอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ดัง Table 2 แต่ไม่พบปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ต่อค่าวัตถุแห้ง เยื่อใยหยาบ เถ้า พลังงานรวม และค่าการย่อยได้ด้วยเอนไซม์เปปซิน ($P \geq 0.05$) โดยระยะเวลาการหมักจะส่งผลการเปลี่ยนแปลงค่าวัตถุแห้ง เยื่อใยหยาบ เถ้า พลังงานรวม และค่าการย่อยได้ด้วยเอนไซม์เปปซินอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$)

Table 1 Incubation condition of single cell protein production from copra meal residue by *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus subtilis*

Parameter	Incubation condition		
	pH	Temperature (°C)	Yield (%)
Fermentation period (Factor A)			
- 0 day	4.29	29.69	33.80 ^a
- 15 day	4.26	29.60	32.72 ^{ab}
- 30 day	4.18	29.16	31.77 ^b
- 45 day	4.22	29.52	30.38 ^c
Microorganism type (Factor B)			
- <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (S)	4.23	29.38	34.82 ^a
- <i>Bacillus subtilis</i> (B)	4.15	29.73	32.48 ^b
- S + B	4.33	29.38	29.21 ^c
SEM	0.52	0.50	1.36
ANOVA	-----	P-Value	-----
Fermentation period (Factor A)	NS	NS	**
Microbial type (Factor B)	NS	NS	**
Factor A × Factor B	NS	NS	*

NS, *, **: NS= Not significantly, *Significantly difference at $P \leq 0.05$, ** Significantly difference at $P \leq 0.01$, respectively.

a, b, c, d Mean in the same column with difference letter are significantly difference at $P \leq 0.05$ by DMRT.

โดยพบว่าเมื่อมีการเวลาการหมักที่เพิ่มขึ้น (0, 15, 30 และ 45 วัน) ทั้งค่าโปรตีนหยาบ คือ 2.61, 9.44, 11.93, 14.77 และไขมันรวม 23.08, 31.47, 31.07 และ 33.32 จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกันกับค่าเยื่อใยหยาบมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นแบบเส้นตรง 24.63, 27.55, 28.78 และ 30.61 ตามลำดับ ($P<0.01$) ถ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเป็นแบบเส้นโค้งกำลังสาม 1.84, 2.34, 2.25 และ 2.65 ตามลำดับ ($P<0.05$) พลังงานรวมมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นแบบเส้นโค้งกำลังสอง ($P<0.05$) 4,950.47, 5,127.02, 5,439.99 และ 5,348.17 และค่าการย่อยได้ด้วยเอนไซม์เปปซินมีค่าเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรง ($P<0.01$) 42.66, 47.01, 49.17 และ 66.60 ตามลำดับ

Table 2 Nutrients composition of single cell protein from copras meal residue fermented with *Sacchomyces cerevesiae* and *Bacillus subtilis*

Parameter	Nutrients composition ¹						
	PD	CP	DM	CF	EE	Ash	GE
Fermentation period (Factor A)							
- 0 day	42.66 ^c	2.61 ^c	94.91 ^a	24.63 ^c	23.08 ^b	1.84 ^c	4,950.47 ^b
- 15 day	47.01 ^b	9.44 ^b	92.00 ^c	27.55 ^b	31.47 ^a	2.34 ^b	5,127.02 ^b
- 30 day	49.17 ^b	11.93 ^{ab}	94.10 ^{ab}	28.78 ^{ab}	31.07 ^a	2.25 ^b	5,439.99 ^a
- 45 day	66.60 ^a	14.77 ^a	93.30 ^b	30.61 ^a	33.32 ^a	2.65 ^a	5,348.17 ^a
Microorganism type (Factor B)							
- <i>Sacchomyces cerevesiae</i> (S)	42.24 ^b	7.69 ^b	93.13 ^b	29.24	30.94 ^a	2.28	5,224.98
- <i>Bacillus subtilis</i> (B)	44.62 ^b	6.62 ^b	94.87 ^a	27.54	30.38 ^a	2.12	5,201.92
- S + B	52.22 ^a	14.74 ^a	92.74 ^b	26.90	27.89 ^b	2.41	5,222.34
SEM	2.68	0.51	0.26	0.41	0.44	0.05	32.71
ANOVA	----- P-Value -----						
Fermentation period (Factor A)	**	**	**	**	**	**	**
Microbial type (Factor B)	**	**	NS	*	NS	NS	NS
Factor A × Factor B	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Factor A Linear	NS	**	**	**	**	**	**
Factor A Quadratic	**	**	NS	**	NS	*	NS
Factor A Cubic	**	NS	NS	**	NS	NS	NS

¹DM = Dry Matter, PD = Pepsin Digestibility, CP = Crude Protein, CF = Crude Fiber, GE = Gross Energy, EE = Ether Extract

NS, *, **: NS= Not significantly, *Significantly difference at $P\leq 0.05$, ** Significantly difference at $P\leq 0.01$, respectively.

a, b, c, d Mean in the same column with difference letter are significantly difference at $P\leq 0.05$ by DMRT.

ซึ่งส่วนทางกับวัตถุแห้งที่มีค่าลดลงแบบเส้นโค้งกำลังสาม ($P<0.01$) 94.91, 92.00, 94.10 และ 93.30 ตามลำดับ ส่วนผลจากชนิดของเชื้อที่ใช้ในการหมัก พบว่าค่าวัตถุแห้งจะสูงที่สุดเมื่อใช้จุลินทรีย์ B, S และ S+B ตามลำดับ คือ 94.87, 93.13 และ 92.74 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ค่าโปรตีนหยาบจะสูงที่สุดเมื่อใช้จุลินทรีย์ S+B, S และ B ตามลำดับ คือ 14.74, 7.69 และ 6.62 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ไขมันรวมจะสูงที่สุด เมื่อใช้จุลินทรีย์ชนิด S, B และ S+B ตามลำดับคือ 30.94, 30.38 และ 27.89 แต่ชนิด

ของเชื้อที่ใช้ในการหมักจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเยื่อใยหยาบ เถ้า พลังงานรวม และค่าการย่อยได้ด้วยเอนไซม์ เปปซินที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ค่าโปรตีนหยาบที่เพิ่มขึ้นจาก 2.61 เป็น 14.77 เปอร์เซ็นต์นั้น เนื่องจากยีสต์สามารถที่จะเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเซลล์ โดยยีสต์และบาซิลลัสซับติลิสจะใช้ประโยชน์จากสารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตในกากกะทิ รวมถึงการสร้างเอนไซม์ของบาซิลลัสซับติลิสในการย่อยสลายเยื่อใยของกากกะทิให้เป็นคาร์โบไฮเดรตสายสั้นๆที่เป็นอาหารตั้งต้นให้ยีสต์ใช้เป็นสารอาหารในการดำรงชีวิตและการเพิ่มจำนวนด้วย นอกจากนั้นแล้วเชื้อจุลินทรีย์ยังจะขับถ่ายอาหารที่ประกอบด้วยสารพวกโปรตีน วิตามิน แร่ธาตุออกมา ซึ่งสัตว์กระเพาะเดียวทั้งสุกรและสัตว์ปีกจะสามารถย่อยและใช้ประโยชน์ได้ ปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นนั้นจะได้มาจากเซลล์ยีสต์ที่เพิ่มขึ้น (สมุนและคณะ, 2547) ซึ่งโปรตีนที่เพิ่มขึ้นมานั้นจะเป็นว่าแมนแนนโอลิโกแซคคาไรด์ (Mannan Oligosaccharide; MOS) เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากผนังเซลล์โดยของยีสต์ซึ่ง MOS จะประกอบด้วยกลูแคน (Gulcan, 30%) แมนแนน (Mannan, 30%) และไคติน (Chitin, 12.5%) ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ในการทดลองพบว่าค่าเยื่อใยหยาบและค่าพลังงานรวมมีค่าสูงขึ้นและส่งผลให้ค่าวัตถุดิบเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Kogan and Korcher, 2546)

จากผลการวิจัยโปรตีนที่ย่อยสลายได้สูงด้วย ส่วนค่าโภชนาอื่นที่เพิ่มขึ้นทั้งไขมัน เยื่อใย พลังงาน และ เถ้า แต่เห็นผลที่ไม่เด่นชัดนั้นอาจจะเป็นการเพิ่มขึ้นที่มีการแปรผันตรงกับปริมาณสิ่งแห้งที่ลดลง เพราะหาปริมาณสิ่งแห้งลดลงนั้นจะแสดงถึงการสูญเสียในรูปของความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโภชนาในผลิตภัณฑ์ ศรีนรัชต์ (2552) ยังรายงานทั้งหมดในครั้งนีชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้กากกะทิเพื่อเป็นแหล่งโภชนาตั้งต้นของกระบวนการหมักร่วมกับยีสต์และบาซิลลัสซับติลิสในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวในแง่ของการเพิ่มปริมาณโปรตีนและเพิ่มการย่อยได้ของโปรตีนได้มากขึ้น ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้จะนำไปสู่การต่อยอดงานวิจัยในอนาคต ในการพัฒนาการและสร้างนวัตกรรมผลิตแหล่งโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิ เพื่อใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์โปรตีนทางเลือกและลดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบโปรตีนในอนาคต รวมถึงการวิจัยถึงการย่อยได้ในตัวสัตว์ (*In vivo* Digestibility) และการใช้ประโยชน์ได้ในการผลิตสัตว์เศรษฐกิจต่อไป

4. สรุป

จากการศึกษาการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิหมักด้วยยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) และบาซิลลัส ซับติลิส (*Bacillus subtilis*) ที่ระยะเวลา 0, 15, 30 และ 45 วัน สามารถสรุปได้ว่า จะต้องทำการหมักกากกะทิด้วยเชื้อผสมระหว่างยีสต์และบาซิลลัสซับติลิส โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 45 วัน จะทำให้สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนจาก 2.61 เปอร์เซ็นต์ เป็น 14.77 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าการย่อยโปรตีนได้ ด้วยเอนไซม์เปปซินที่ 66.60 เปอร์เซ็นต์

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากรที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ภายใต้โครงการวิจัยเรื่องการผลิตโปรตีนแหล่งอนาคตจากเศษเหลือในกระบวนการแปรรูปพืชเศรษฐกิจภาคตะวันออกโดยใช้ยีสต์และบาซิลลัสซับติลิสเพื่อพัฒนาเป็นอาหารสัตว์ และขอขอบคุณนักศึกษาช่วยวิจัย 3 ท่าน คือนางสาวศิรินทรา แซ่เฮง นายจักรพงษ์ ยิ้มพงษ์ และนายสถาปัตย์ จูโกคาทรัพย์ที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

6. เอกสารอ้างอิง

กรทิพย์ กันนิการ์ ดุจฤดี ปานพรหมมินทร์ นิวุฒิ หวังชัย และ ชนกกันต์ จิตมนัส. 2552. ผลการใช้บีเวอร์ยีสต์ในอาหารปลานิลต่อการเจริญเติบโตและตอบสนองภูมิคุ้มกัน. คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา

- ประกาศ โสภณพันธ์รัตน์. 2553. การเพาะเลี้ยงยีสต์. แหล่งที่มา: <http://homekku.ac.th/pracha/yeast.htm>, 12 สิงหาคม 2554.
- พัชร ชนะชัย ญัฐภูมิ ครูทไทย ราชาวดี ยอดเสถณี และชัยภูมิ บัญชาศักดิ์. 2552. ผลของการเสริมฟรีไบโอติก (Fermacto) สมรรถนะภาพการผลิต คุณภาพไข่ และจุลินทรีย์ในไส้ตึงของไก่. **วารสารเกษตร.25** (suppl): 281-286
- พงศกร นาสา และสรชัย สรแพ. 2553. การศึกษาการย่อยได้ของกากกะทิในไก่เนื้อ. **ปัญหาพิเศษ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
- มนต์ชัย ดวงจินดา. 2544. การใช้โปรแกรม SAS เพื่อการวิจัยทางสัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วรารุณี ครูส่ง และรุ่งนภา พงสวัสดิ์มานิต. 2532. เทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 209 น.
- วรพงษ์ สุริยจันทร์ทอง และวิภา ตั้งนิพนธ์. 2528. ส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอาหารกระป๋องสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์. **เอกสารเผยแพร่อัดสำเนา 13 น.**
- ศรินทร์ชต์ ประทุมทอง. 2552. ผลของการเสริมแมนแนนโอลิโกแซคคาไรด์ในอาหารต่อภูมิคุ้มกันในไก่และสุกร. **การประชุมสัมมนาทางวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.**
- สาโรช. 2547. **อาหารและการให้อาหารสัตว์ปีก** พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชา สัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สิทธิพงษ์ สุขยีน เพิ่มศักดิ์ ศิริวรรณ และนรินทร์ ทองวิทยา. 2551. ผลการเสริมเปลือกสับประรดหมักเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตในไก่เนื้อ. **วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร. 25(2): 9-16**
- สมุน โพธิ์จันทร์, ประเสริฐ โพธิ์จันทร์ และวิโรจน์ วนาสทชัยวัฒน์. 2547. การเสริมยีสต์มีชีวิตในอาหารไก่ไข่. **รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2547 กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 261-268 น.**
- อรพิน ภูมิภมร และบุญเรียง ลำชัยภูมิ. 2546. การผลิตจุลินทรีย์ที่เป็นสารเสริมชีวนะเพื่อใช้ในการเลี้ยงไก่. **การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 277-293 น.**
- อรทัย ศรีรุ่งเรือง นรินทร์ ทองวิทยา และมงคล ธิระบุญยานนท์. 2551. ผลการเสริมตัวเชื้อแห้งของบาซิลลัสซับติลิส ในอาหารต่อสมรรถภาพของไก่เนื้อ. **การประชุมสัมมนาทางวิชาการและเสนอผลงานวิจัยครั้งที่ 1 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**
- AOAC. 1985. Official method of analysis. 14th ed. Association of analytical chemist. Washington D.C.
- Evans J. and K. A. Dawson. 2007. The ability of mycosorb to bind toxin present in Entopyte-infected tall fescue. **North American Biosciences. USA.**
- Kogan, G. and A. Korcher. 2007. Role of yeast cell wall polysaccharide in pig nutrition and health protection. **Livestock Science (109):161-165.**
- Muller, Z. O. 1974. **Feasibility studies on the utilization of pineapple wastes.** Singapore, Mimeographed report.
- Muller, Z. O. 1975. Feed resources of weet malaysia with special reference to cattle ration on Majuterna cattle farms. Berlin. **Mimeographed report**
- Perez, C. B., and C. T. Hsu. 1973. **Farm by-product and beef production.** Fd. Fert. Tech.Cent. Ext. Bull. 32.