วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ
การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากเศษเหลือกากกะทิโดยใช้ยีสต์และบาซิลัสซับติลิส 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 กิจพิพิธ[1] อณัญญา ปานทอง[2] และ กฤติยา เลิศชุณหเกียรติ[1]

[1] อาจารย์ สาขาวิชาสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดเพชรบุรี 76120

[2] อาจารย์ คณะสัตวศาสตร์ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี 76120

บทคัดย่อ

การทดลองในครั้งนี้เพื่อศึกษาการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิร่วมกับเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) และบาซิลัสซับติลิส (*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 บาซิลัสซับติลิส และเชื้อผสมยีสต์กับบาซิลัสซับติลิส S+B) ผลการทดลองพบว่า อิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อสภาพของการหมักคือ ค่าความเป็นกรดด่าง 4.00-4.53 และเปอร์เซ็นต์ผลผลิต 29.21-33.80 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) แต่อิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีผลต่ออุณหภูมิของการหมัก ($P\geq0.05$) เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางโภชนะของโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิ พบว่ากากกะทิที่หมักด้วยร่วมกับยีสต์ร่วมกับบาซิลัสซับติลิสจะมีค่าโปรตีนในผลิตภัณฑ์โปรตีนเซลล์เดียวจากเศษเหลือกากกะทิสูงกว่าการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์เดี่ยวทั้งสองชนิดอื่น ($P<0.01$) และระยะเวลาการหมักที่เหมาะสมที่สุดคือ 45 วัน โดยจะให้ค่าโปรตีนในผลิตภัณฑ์โปรตีนเซลล์เดียวจากเศษเหลือกากกะทิเท่ากับ 14.77 เปอร์เซ็นต์ และค่าการย่อยได้ของโปรตีนด้วยเอนไซม์เปปซินเท่ากับ 66.60 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) จากผลการทดลองครั้งนี้ชี้ให้แนวทางในการผลิตแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ทางเลือกที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในอนาคตต่อไป

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 ($P\geq0.05$). 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 บาซิลัสซับติลิส 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 เนื่องมาจากความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรอาหารที่ลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นทำให้ผลผลิตแหล่งอาหารประเภทโปรตีนมีจำนวนลดลง จึงก่อให้เกิดการแก่งแย่งอาหารของมนุษย์และสัตว์ ซึ่งส่งผลให้อาหารสัตว์ที่ให้โปรตีนมีราคาเพิ่มสูงขึ้น ภาคการผลิตปศุสัตว์จึงมีแนวคิดในการแสวงหาแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์และพัฒนาแหล่งของโปรตีนทดแทนมากขึ้น รวมถึงการผลิตโปรตีนจากสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว (Single cell protein) (Muller,1974) จากการที่จังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์เป็นแหล่งผลิตมะพร้าวที่สำคัญของประเทศไทยอีกทั้งยังมีโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว ทำให้มีเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปมะพร้าวคือ กากกะทิ (Muller,1975) หากแต่เศษเหลือเหล่านี้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นอาหารสัตว์เพราะมีคุณค่าทางโภชนะต่ำและการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ (Parez and Hsu, 1973) จากรายงานของ พงศกรและสรรชัย (2553**)** พบว่า กากมะพร้าวจากการคั้นกะทิมีปริมาณโปรตีน 1.2 %ดังนั้นจึงจำเป็นต้องการแสวงหาวิธีการพัฒนาและแก้จุดด้อยเกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนะและการใช้ประโยชน์ได้ต่ำ และการนำเทคโนโลยีการหมักแบบแห้ง (Solid state) ร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะและการย่อยได้ของกากกะทิ อันจะส่งผลต่อการเพิ่มสมรรถนะการผลิตให้แก่สัตว์ได้และเป็นการเพิ่มมูลค่าของกากกะทิด้วย จากรายงานของ กรทิพย์และคณะ (2552) กล่าวว่า ยีสต์มีปริมาณโปรตีนสูงที่ 35 % และผนังเซลล์ของยีสต์จะประกอบด้วยสารในกลุ่มแมนโนโอลิโกแซคคาร์ไรด์จำนวนมาก (ศรัณรัชต์, 2552.) และยังพบอีกว่าบาซิลัสซับติลิสจะมีเอมไซม์ carbohydease และ protease ที่สามารถเพิ่มการย่อยได้ของแป้งและโปรตีน (Evan and Dawson, 2007) นอกจากนั้นแล้วยีสต์และบาซิลัสซับติลิสยังมีคุณสมบัติในการเป็นพรีไบโอติกส์ด้วย (สาโรช, 2547) จากรายงานของ สิทธิพงษ์ (2551) และ Kogen and Kocher (2007) ได้ทำการเสริมยีสต์ทีมี MOS เป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการป้องกันเชื้อก่อโรคในท่อทางเดินอาหารได้ จากรายงานของ อรทัยและคณะ (2551) และ (พัชรีและคณะ, 2552) ได้ทำการเสริมพรีไบโอติกส์และเสริมบาซิลัสซับติลิสแห้งช่วยในการเพิ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทั้ง *Lactobacilus* spp อีกทั้งยังช่วยลดจุลินทรีย์ก่อโทษคือ *Salmonella enterilitdis* และ *E Coli* ได้

การทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงศักยภาพและวิธีการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิโดยใช้ยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) และบาซิลัสซับติลิส (*Bacillus subtilis*) ต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางโภชนะในโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิ 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 (*Sacchromyces cerevesiae* สายพันธุ์ SC-105 (S), *Bacilus subtilis* BSC-23 (B) และ เชื้อจุลินทรีย์ผสม S+B (50:50)

การทดลองครั้งนี้วางแผนการทดลองแบบ 4x3 factorial in CRD โดยมีทั้งหมด 12 ทรีทเมนต์คอมบิเนชั่น 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) เก็บโหลตัวอย่างที่หมักไว้ในอุณหภูมิห้องเพื่อให้เกิดกระบวนการหมักตามช่วงระยะเวลาต่างๆกัน 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 ใส่ถาดอลูมิเนียม แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C ประมาณ 72 ชั่วโมงจนแห้งสนิท เพื่อเตรียมตัวอย่างเข้าวิเคราะห์องค์ประกอบโภชนะและการย่อยโปรตีนด้วยเอมไซม์เปปซิน จากนั้นชั่งน้ำหนักผลผลิตหลังจากการอบแห้งเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิ

6) วิเคราะห์ตัวอย่างโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิเพื่อหาค่าองค์ประกอบโภชนะด้วยวิธีการประมาณ (Proximate analysis) ตามวิธีของ AOAC (1985) และการย่อยโปรตีนด้วยเอมไซม์เปปซินตามวิธีของ AOAC (1985)

2.3 ข้อมูลและการคำนวณ

บันทึกผลการวิเคราะห์ค่าวัตถุแห้ง เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และ พลังงาน ที่ได้จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบโภชนะ รวมถึงค่าการย่อยโปรตีนด้วยเอมไซม์เปปซิน นอกจากนี้จะนำค่าน้ำหนักผลผลิตก่อนทำการหมักและหลังจากการหมักการอบแห้งแล้วมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิต

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (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 ผลการตรวจสอบสภาพการหมักโปรตีนแห่งอนาคตจากกากกะทิ

จากการทดลองนำกากกะทิมาหมักในระยะเวลาที่แตกต่างกันคือ 0, 15, 30 และ 45 วัน กับเชื้อจุลินทรีย์คือ ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* (S), เชื้อ *Bacillus subtilis* (B) และ S+B รวมกัน ผลการทดลองพบว่ามีอิทธิพลร่วมของระยะเวลาในการหมักและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ต่อค่า pH อยู่ของการหมักในช่วง 4.00-4.53 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ดัง Table 1 แต่จะไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ต่อค่าอุณหภูมิการหมัก ซึ่งผลิตโปรตีนแห่งอนาคตครั้งนี้จะมีค่าอุณหภูมิของการหมักอยู่ในช่วง 29.18-29.73 นอกจากนี้ไม่พบความแตกต่างของทั้งสองปัจจัยต่อค่าอุณหภูมิของการหมักด้วย($P\geq0.05$) นอกจากนี้จะพบอิทธิพลร่วมระหว่าง ระยะเวลาในการหมักและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ต่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่อยู่ในช่วง 29.21-33.80

เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยระดับของ pH ที่เกิดขึ้นในการทดลองครั้งนี้จะอยู่ในช่วง 4-4.5 ซึ่งเชื้อยีสต์เจริญดีในระดับนี้ (pH 3.5- 5.5) ทั้งนี้ยังสามารถช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียส่วนใหญ่ด้วย เนื่องจากแบคทีเรียส่วนใหญ่เจริญได้ดีในสภาพ pH ที่เป็นกลาง ยกเว้นแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติคที่เจริญได้ดีใน pH ที่ยีสต์เจริญ ฉะนั้นค่า pH ในการทดลองจึงทำให้ยีสต์และบาซิลัสซับติลิสสามารถเจริญได้ดีและยับยั้งแบคทีเรียชนิดอื่นได้อีกด้วย (วราวุฒิ, 2529) และจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 29.18-29.73 นั้น สอดคล้องกับประภาส (2553) ที่รายงานว่ายีสต์สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส สาเหตุที่เปอร์เซ็นต์ผลผลิตลดลง เนื่องจากยีสต์จะใช้คาร์บอนจากน้ำตาลในกระบวนการเจริญเติบโต แล้วเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ (ประภาส, 2553) ประกอบกับการที่ *Bacillus subtilis* สามารถสร้างเอนไซม์ช่วยย่อยโปรตีนแป้งและเอนไซม์ย่อยเยื่อใย (อรพิน, 2546)

3.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะโปรตีนแห่งอนาคตจากกากกะทิ

จากการทดลองนำกากกะทิมาหมักกับเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* (S), เชื้อ *Bacillus subtilis* (B) และ S+B รวมกัน โดยแบ่งระยะเวลาการหมักออกเป็น 4 ช่วงคือ 0, 15, 30 และ 45 วัน เมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบโภชนะพบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการหมักและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ต่อค่าโปรตีนหยาบและไขมันรวมจะอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) ดัง Table 2 แต่ไม่พบปัจจัยร่วมระหว่างระยะเวลาและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ต่อค่าวัตถุแห้ง เยื่อใยหยาบ เถ้า พลังงานรวม และค่าการย่อยได้ด้วยเอนไซม์เปปซิน (P≥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)			
-*Sacchromyces cerevesiae* (S)	4.23	29.38	34.82[a]
- *Bacillus subtilis* (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≤ 0.05,** Significantly difference at P≤0.01, respectively.

[a, b, c, d] Mean in the same column with difference letter are significantly difference at P≤ 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 ($P<0.01$) เถ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเป็นแบบเส้นโค้งกำลังสาม 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 *Sacchromyces 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)							
-*Sacchromyces cerevesiae* (S)	42.24^{b}	7.69^{b}	93.13^{b}	29.24	30.94^{a}	2.28	5,224.98
-*Bacillus subtilis* (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

[1]DM = 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≤0.05,** Significantly difference at P≤0.01, respectively.

a, b, c, d Mean in the same column with difference letter are significantly difference at P≤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 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ค่าโปรตีนหยาบจะสูงที่สุดเมื่อใช้จุลินทรีย์ S+B, S และ B ตามลำดับ คือ 14.74, 7.69 และ 6.62 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ไขมันรวมจะสูงที่สุด เมื่อใช้จุลินทรีย์ชนิด S, B และ S+B ตามลำดับคือ 30.94, 30.38 และ 27.89 แต่ชนิด

ของเชื้อที่ใช้ในการหมักจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเยื่อใยหยาบ เถ้า พลังงานรวม และค่าการย่อยได้ด้วยเอมไซม์เปปซินที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P≥0.05) ค่าโปรตีนหยาบที่เพิ่มขึ้นจาก 2.61 เป็น 14.77 เปอร์เซ็นต์นั้น เนื่องจากยีสต์สามารถที่จะเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเซลล์ โดยยีสต์และบาซิลัสซับติลิสจะใช้ประโยชน์จากสารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตในกากกะทิ รวมถึงการสร้างเอมไซม์ของบาซิลัสซับติลิสในการย่อยสลายเยื่อใยของกากกะทิให้เป็นคาร์โบไฮเดรตสายสั้นๆที่เป็นอาหารตั้งต้นให้ยีสต์ใช้เป็นสารอาหารในการดำรงชีวิตและการเพิ่มจำนวนด้วย นอกจากนั้นแล้วเชื้อจุลินทรีย์ยังจะขับถ่ายอาหารที่ประกอบด้วยสารพวกโปรตีน ไวตามิน แร่ธาตุออกมา ซึ่งสัตว์กระเพาะเดี่ยวทั้งสุกรและสัตว์ปีกจะสามารถย่อยและใช้ประโยชน์ได้ ปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นนั้นจะได้มาจากเซลล์ยีสต์ที่เพิ่มขึ้น (สุมนและคณะ, 2547) ซึ่งโปรตีนที่เพิ่มขึ้นมานั้นจะเป็นว่าแมนแนนโอลิโกแซคคาไรด์ (Mannan Oligosaccharide; MOS) เป็นโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากผนังเซลล์โดยของยีสต์ซึ่ง MOS จะประกอบด้วยกลูเคน (Gulcan, 30%) แมนแนน (Mannan, 30%) และไคติน (Chitin, 12.5%) ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ในการทดลองพบว่าค่าเยื่อใยหยาบและค่าพลังงานรวมมีค่าสูงขึ้นและส่งผลให้ค่าวัตถุแห้งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Kogan and Korcher, 2546)

จากผลการวิจัยโปรตีนที่ย่อยสลายได้สูงด้วย ส่วนค่าโภชนะอื่นที่เพิ่มขึ้นทั้งไขมัน เยื่อใย พลังงาน และ เถ้า แต่เห็นผลที่ไม่เด่นชัดนั้นอาจจะเป็นการเพิ่มขึ้นที่มีการแปรผันตรงกับปริมาณสิ่งแห้งที่ลดลง เพราะหามีปริมาณสิ่งแห้งลดลงนั้นจะแสดงถึงการสูญเสียในรูปของความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโภชนะในผลิตภัณฑ์ ศรัณรัชต์ (2552) ยังรายงานทั้งหมดในครั้งนี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้กากกะทิเพื่อเป็นแหล่งโภชนะตั้งต้นของกระบวนการหมักร่วมกับยีตส์และบาซิลัสซับติลิสในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวในแง่ของการเพิ่มปริมาณโปรตีนและเพิ่มการย่อยได้ของโปรตีนได้มากขึ้น ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้จะนำไปสู่การต่อยอดงานวิจัยในอนาคต ในการพัฒนาการและสร้างนวัตกรรมผลิตแหล่งโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิ เพื่อใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์โปรตีนทางเลือกและลดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบโปรตีนในอนาคต รวมถึงการวิจัยถึงการย่อยได้ในตัวสัตว์ (*In vivo* Digestibility) และการใช้ประโยชน์ได้ในการผลิตสัตว์เศรษฐกิจต่อไป

4. สรุป

จากการศึกษาการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากกากกะทิหมักด้วยยีสต์(*Saccharomyces cerevisiae*) และบาซิลัส 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 ภายใต้โครงการวิจัยเรื่องการผลิตโปรตีนแห่งอนาคตจากเศษเหลือในกระบวนการแปรรูปพืชเศรษฐกิจภาคตะวันตกโดยใช้ยีสต์และบาซิลัสซับทิลิสเพื่อพัฒนาเป็นอาหารสัตว์ และขอขอบคุณนักศึกษาช่วยวิจัย 3 ท่าน คือ นางสาวศิรินทรา แซ่เฮง นายจักรพงษ์ ยิ้มพงษ์ และนายสถาปัตย์ จูโภคาทรัพย์ที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

6. เอกสารอ้างอิง

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

ประภาศ โศลกพันธ์รัตน์. 2553. **การเพาะเลี้ยงยีสต์**. แหล่งที่มา: http://homekku.ac.th/ pracha/yeast.htm, 12 สิงหาคม 2554.

พัชรี ชนะชัย ณัฐวุฒิ ครุฑไทย ราชาวดี ยอดเศรณี และชัยภูมิ บัญชาศักดิ์. 2552. ผลของการเสริมพรีไบโอติก (Fermacto) สมรรถนะภาพการผลิต คุณภาพไข่ และจุลินทรีย์ในไส้ติ่งของไก่.**วารสารเกษตร.**25 (suppl): 281-286

พงศกร นาสา และสรรชัย สระแพ. 2553**.** การศึกษาการย่อยได้ของกากกะทิในไก่เนื้อ. **ปัญหาพิเศษ** สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มนต์ชัย ดวงจินดา. 2544**. การใช้โปรแกรม SAS เพื่อการวิจัยทางสัตว์.** พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วราวุฒิ ครูส่ง และรุ่งนภา พงสวัสดิ์มานิต. 2532. **เทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม.** โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 209 น.

วรพงษ์ สุริยจันทราทอง และวิภา ตั้งนิพนธ์. 2528. ส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือใช้ยางอย่างจาก โรงงานอาหารกระป๋องสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์. **เอกสารเผยแพร่อัดสำเนา** 13 น.

ศรัณรัชต์ ประทุมทอง. 2552. ผลของการเสริมแมนแนนโอลิโกแซคคาไรด์ในอาหารต่อภูมิคุ้มกันในไก่และ**สุกร. การประชุมสัมมนาทางวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา.** มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สาโรช. 2547. **อาหารและการให้อาหารสัตว์ปีก** พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชา สัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สิทธิพงษ์ สุขยืน เพิ่มศักดิ์ ศิริวรรณ และนรินทร์ ทองวิทยา. 2551. ผลการเสริมเปลือกสับประรดหมักซื้อจุลินทรีย์ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตในไก่เนื้อ. **วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร.** 25(2): 9-16

สุมน โพธิ์จันทร์, ประเสริฐ โพธิ์จันทร์ และวิโรจน์ วนาสิทธชัยวัฒน์. 2547. การเสริมยีสต์มีชีวิตในอาหารไก่ไข่. **รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2547** กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 261-268 น.

อรพิน ภูมิภมร และบุญเรียง ล้ำชัยภูมิ. 2546. การผลิตจุลินทรีย์ที่เป็นสารเสริมชีวนะเพื่อใช้ในการเลี้ยงไก่. **การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 4**. **มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** 277-293 น.

อรทัย ศรีรุ่งเรือง นรินทร์ ทองวิทยา และมงคล ถิระบุญยานนท์. 2551. ผลการเสริมตัวเชื้อแห้งของบาซิลัสซับติลิสในอาหารต่อสมรรถภาพของไก่เนื้อ.**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 Biosciencees**. 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.