ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ สัตวบาล

สาขา **ภาควิชา**

เรื่อง ผลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากในสุกรขุน

Effect of Protease Supplementation on Growth Performance and Carcass Traits of Fattening Pigs

นามผู้วิจัย นางสาวมลฤดี สหกิจภิญโญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุวเรศ เรืองพานิช, Ph.D)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สุกัญญา รัตนทับทิมทอง, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D. Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากในสุกรขุน

Effect of Protease Supplementation on Growth Performance and Carcass Traits of Fattening Pigs

โดย

นางสาวมลฤดี สหกิจภิญโญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)
พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มลฤดี สหกิจภิญโญ 2555: ผลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากในสุกรขุน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาโภชน-ศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D. 70 หน้า

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลการเสริมเอนไซม์โปรติเอส ต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากของสุกรขุน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองย่อย โดยอาหารทดลองแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัย คือ ปัจจัย 1 ระดับโปรตีนและกรดอะมิโน (ระดับควบคุม และลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม) ปัจจัย 2 การเสริมเอนไซม์โปรติเอส (การเสริมและไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอสที่ระดับ 0.05 เปอร์เซ็นต์)

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลการเสริมเอนไซม์โปรติเอส ต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก รุ่น และขุน ตลอดจนคุณภาพซากสุกรขุนโดยคัดเลือกสุกรอนุบาล จำนวน 240 ตัว แบ่งเป็น 4 กลุ่มการทดลอง กลุ่มละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัวแบ่งเป็นเพศผู้ 3 ซ้ำ เพศเมีย 3 ซ้ำ ผลการศึกษาพบว่า สุกรทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสุกร ปริมาณการกินอาหารต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตต่อวันและอัตราการแลกเนื้อในทุกระยะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนคุณภาพซาก พบว่าค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง และ ความหนาไขมันสันหลังมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ความหนาไขมันสันหลังมีแนวโน้มลดลง เมื่อเสริมเอนไซม์โปรติเอสร่วมกับการลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโน ($P = 0.0516$)

การทดลองที่ 2 ศึกษาการเสริมโปรติเอสต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานในอาหาร โดยใช้สุกรรุ่นจำนวน 20 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ซ้ำๆละ 1 ตัว เพื่อหาสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะ พบว่าค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงาน ทั้ง 4 กลุ่มทดลองแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กลุ่มลดระดับโปรตีนในอาหารมีแนวโน้มการย่อยได้ของโปรตีนต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P = 0.1550$) และการเสริมโปรติเอสไม่ทำให้การย่อยได้ของโปรตีนดีขึ้น

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Monrudee Sahakitpinyo 2012: Effect of Protease Supplementation on Growth Performance and Carcass Traits of Fattening Pigs. Master of Science (Animal Nutrition and Feed Technology), Major Field: Animal Nutrition and Feed Technology, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Seksom Attamangkune, Ph.D. 70 pages.

The objectives of this study were to determine the effect of protease supplementation on nutrient digestibility, growth performance and carcass traits of fattening pigs. The study was divided into two experiments. The trial design in both experiment was a 2x2 factorial with crude protein and amino acid levels (positive control and 7.5% reduction of protein and amino acid level) and with (at the level of 0.05%) or without protease enzyme.

Experiment 1. the effect of protease supplementation on growth performance and carcass quality in fattening pigs were evaluated. Two hundred and forty, DxLRxLW, 22 kg pigs were divided into 4 dietary treatments with 6 replications/treatment and 10 pigs/replication. The experimental design was a 2x2 factorial with 2 levels of crude protein (positive control and 7.5% reduction of protein level) and protease enzyme supplementation (with or without). There were no effect of either crude protein level or protease supplementation in the diets on body weight, ADFI, ADG and FCR of pig (P> 0.05). The carcass quality of pig in all treatments was not significantly different (P> 0.05). However, back fat thickness of fattening pigs fed CP reduction diet with protease supplementation was lower than those of pigs fed other diets (P= 0.0516).

Experiment 2. the effect of protease supplementation on nutrient digestibility was studied. Twenty barrows, LRxLW, 60 kg pigs were allotted into 4 dietary treatments as in Exp. 1 and used to determine the digestibility coefficient of nutrients. Each treatment consisted of 5 replications (1 pig/replication). Digestibility coefficient of dry matter (DM), crude protein (CP) and digestible energy (DE) and metabolizable energy (ME) were not significantly different among treatments (P> 0.05). Pigs fed negative CP diet without protease supplementation tended to have lower CP digestibility (P = 0.1550). However, CP digestibility was not improved with protease supplementation.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสม อาตมางกูร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุวเรศ เรืองพานิช และอาจารย์ ดร. สุกัญญา รัตนทับทิมทอง สำหรับการให้คำปรึกษา แนะนำ สนับสนุนและให้การตรวจแก้ไขข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เนรมิตร สุขมณี และรองศาสตราจารย์ ดร. วาณี ชัยวัฒนสิน ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือมาโดยตลอด ขอขอบคุณผู้บริหาร ผู้จัดการ ผู้ประสานงาน และพนักงานของบริษัทไบโอเจน ฟีดมิลล์ จำกัด และไบโอเจนฟาร์ม ทุกท่านที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการผลิตอาหารและสถานที่ในการทำการทดลองให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในทุกด้าน จนการทดลองเสร็จสิ้นไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบริษัทโนวัส อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนแหล่งเงินทุนในการวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนพนักงานบริษัทโนวัส อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด ทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือ และให้คำแนะนำมาโดยตลอด

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะ ขอขอบคุณสถานีวิจัยทับกวาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ. แก่งคอย จ.สระบุรีที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการทดลองหาค่าการย่อยได้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบุคคลสำคัญอันได้แก่ พ่อ แม่ พี่สาว ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนด้านการศึกษาของข้าพเจ้ามาโดยตลอด รวมไปถึงเพื่อน รุ่นพี่ และรุ่นน้องปริญญาโททุกคน ที่ให้คำปรึกษา คอยเป็นกำลังใจ และช่วยเหลือทุกๆ อย่าง ขอขอบคุณสุกรทดลองทุกตัวที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

มลฤดี สหกิจภิญโญ

เมษายน 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	16
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	30
สรุปและข้อเสนอแนะ	56
สรุป	56
ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารสิ่งอ้างอิง	57
ภาคผนวก	64
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	70

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนะของอาหารทดลองสำหรับสุกรระยะเล็ก (น้ำหนัก 22–50 กิโลกรัม) ที่ใช้ในการทดลองที่ 1	18
2	ส่วนประกอบ และคุณค่าทางโภชนะของอาหารทดลองสำหรับสุกรระยะรุ่น (น้ำหนัก 50–80 กิโลกรัม) ที่ใช้ในการทดลองที่ 1 และ 2	20
3	ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนะของอาหารทดลองสำหรับสุกรระยะขุน (น้ำหนัก 80–100 กิโลกรัม) ที่ใช้ในการทดลองที่ 1	22
4	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสุกรระยะเล็ก (22-50 กิโลกรัม)	31
5	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารระยะรุ่น (50-80 กิโลกรัม)	32
6	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารระยะขุน (80-100 กิโลกรัม)	33
7	อิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก (22-50 กิโลกรัม)	37
8	อิทธิพลของระดับโปรตีนต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก	38
9	อิทธิพลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก	38
10	อิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะรุ่น (50-80 กิโลกรัม)	39
11	อิทธิพลของระดับโปรตีนต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะรุ่น	40
12	อิทธิพลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะรุ่น	40
13	อิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะขุน (80-100 กิโลกรัม)	41
14	อิทธิพลของระดับโปรตีนต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะขุน	42
15	อิทธิพลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะขุน	42
16	อิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก-ขุน (22-100 กิโลกรัม)	43
17	อิทธิพลของระดับโปรตีนต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก-ขุน	44

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	อิทธิพลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก-ขุน	44
19	อิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อคุณภาพซาก	47
20	อิทธิพลของระดับโปรตีนต่อคุณภาพซาก	47
21	อิทธิพลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อคุณภาพซาก	47
22	ต้นทุนค่าอาหารสุกร (บาทต่อกิโลกรัม) ในการทดลองที่ 1	49
23	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารระยะรุ่น (60 กิโลกรัม) การทดลองที่ 2	51
24	อิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อการย่อยได้ของวัตถุ แห้ง โปรตีน และพลังงานของสุกรระยะรุ่น (60 กิโลกรัม)	54
25	อิทธิพลของระดับโปรตีนต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของสุกรระยะรุ่น (60 กิโลกรัม)	55
26	อิทธิพลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของสุกรระยะรุ่น (60 กิโลกรัม)	55

ตารางผนวกที่

1	ผลการวิเคราะห์ enzyme activity ของเอนไซม์โปรติเอสในอาหารสุกรแต่ละระยะ	65

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพผนวกที่		หน้า
1	ลักษณะภาพที่ได้จากเครื่อง real time ultrasound	68

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากในสุกรขุน

Effect of Protease Supplementation on Growth Performance and Carcass Traits of Fattening Pigs

คำนำ

ต้นทุนหลักของการเลี้ยงสุกรเชิงพาณิชย์มาจากอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากอาหารสุกรเล็ก รุ่น และขุน (Heugten, 2010) ซึ่งในอาหารมีโปรตีนเป็นแหล่งโภชนะที่สำคัญในการดำรงชีวิตและเจริญเติบโตของสุกร แต่เป็นสารอาหารที่มีราคาแพง (บุญล้อม, 2546) วัตถุดิบที่นิยมใช้เป็นแหล่งโปรตีนอาหารสุกรคือ กากถั่วเหลือง ซึ่งปัจจุบันยังมีการใช้วัตถุดิบทางเลือกซึ่งเป็นผลพลอยได้ (by products) เช่น distillers dried grains with solubles (DDGS) จากการผลิตเอทธานอลกากถั่วเขียวจากการผลิตวุ้นเส้นและกากคาโนล่า (canola meal) เป็นต้น แต่แหล่งโปรตีนจากพืชมักขาดสมดุลของกรดอะมิโน ระดับโภชนะไม่แน่นอน และมีสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ เช่น trypsin inhibitor และแทนนิน (tannin) เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน (Gabert *et al.,* 2001) เอนไซม์โปรติเอสเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทในการย่อยโปรตีน นอกจากนี้มีบางรายงานพบว่าการเสริมเอนไซม์โปรติเอสสามารถทำลาย trypsin inhibitor ในกากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านกระบวนการความร้อนได้ (Beal *et al.,* 1998) และพบว่าการเสริมโปรติเอสสามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบสูงขึ้น 5–10 เปอร์เซ็นต์ (Yan *et al.,* 2010) ส่งผลให้สุกรสามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนดีขึ้น (Wang *et al*., 2010) จึงน่าจะสามารถลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโน ในอาหารลงได้ประมาณ 5–10 เปอร์เซ็นต์ ประโยชน์ที่ได้รับจากการลดระดับโปรตีนในอาหารสุกร จะส่งผลให้สุกรมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในของเสียสู่สิ่งแวดล้อมลดลง (Kerr, 1995; Le Bellego *et al*., 2002) ดังนั้นการเสริมเอนไซม์โปรติเอสในอาหารจึงน่าจะสามารถลดระดับโปรตีนในอาหารที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสุกรได้ โดยไม่ส่งผลเชิงลบต่อประสิทธิภาพการผลิตสุกร

การวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาผลการเสริมเอนไซม์โปรติเอส โดยลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนในสูตรอาหาร 7.5 เปอร์เซ็นต์ ต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากของสุกรขุน ตลอดจนศึกษาค่าการย่อยได้ของโปรตีนในสุกรน้ำหนัก 60 กิโลกรัม เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเสริมเอนไซม์โปรติเอสในอาหารสุกรระยะเล็ก รุ่น และขุนต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลการเสริมเอนไซม์โปรติเอส โดยลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนในสูตรอาหาร 7.5 เปอร์เซ็นต์ ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของสุกรขุน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

2. เพื่อศึกษาค่าการย่อยได้ของโปรตีนเมื่อเสริมเอนไซม์โปรติเอส โดยลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนในสูตรอาหาร 7.5 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรน้ำหนัก 60 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

โปรตีนเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญต่อการสร้างเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย โดยร่างกายสัตว์โตเต็มวัยมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนมากมายหลายชนิดในโมเลกุลต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ ซึ่งสัตว์ชั้นสูงไม่สามารถสังเคราะห์โปรตีนจากสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนได้ จำเป็นต้องได้รับโปรตีนจากอาหาร ดังนั้นถ้าสัตว์ได้รับโปรตีนไม่เพียงพอต่อความต้องการ จะส่งผลต่อการสร้างกล้ามเนื้อและกระบวนการต่างๆ ในร่างกาย

ความสำคัญของโปรตีน

สัตว์ต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพ ซ่อมแซมร่างกาย เจริญเติบโต และสืบพันธุ์ ซึ่งโปรตีนมีบทบาทสำคัญในร่างกายดังนี้

1. ส่วนประกอบของเซลล์เนื้อเยื่อ และสร้างสารเซลล์ต่างๆ ที่เป็นของเหลวในร่างกาย เพื่อการเจริญเติบโต

2. ช่วยซ่อมแซมเนื้อเยื่อส่วนที่สึกหรอ ทำให้กล้ามเนื้อ และเอ็นแข็งแรง

3. องค์ประกอบของเลือด เอนไซม์ ฮอร์โมน และภูมิคุ้มกัน (immune antibody)

4. แหล่งพลังงาน เมื่อร่างกายขาดคาร์โบไฮเดรต และไขมัน แต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าไขมันและคาร์โบไฮเดรต

5. แหล่งสะสมอาหารสำหรับตัวอ่อน และลูกสัตว์ เช่น เคซีนในน้ำนม เป็นต้น (บุญล้อม, 2546)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การย่อยและดูดซึมโปรตีน

การย่อยโปรตีนในสัตว์กระเพาะเดี่ยวเกิดขึ้นที่กระเพาะอาหาร และลำไส้เล็กของสัตว์ โดยมีตับอ่อนเกี่ยวข้องในการผลิตเอนไซม์ร่วมในกระบวนการย่อย ซึ่งการย่อยโปรตีนในร่างกายสัตว์มีสารหลั่งที่ประกอบด้วย กรดเกลือ และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องดังนี้

กรดเกลือ (Hydrochloric acid; HCl) เป็นสารที่ผลิตจาก parietal cell ของกระเพาะอาหาร เมื่อหลั่งออกมาที่ช่องทางเดินอาหารในกระเพาะจะมี pH ประมาณ 2 ทำให้โปรตีนในอาหารที่มีรูปร่างซับซ้อนเกิดการทำลายพันธะที่เชื่อมภายในโมเลกุลของโปรตีนที่เป็นพันธะอ่อนได้เป็นสายโพลีเปปไทด์ที่ง่ายต่อการย่อยสลาย (นัยนา, 2546)

เอนไซม์ที่มีบทบาทในการย่อยโปรตีน แบ่งได้ 2 กลุ่มดังนี้

1. Endopeptidase ได้แก่ เปบซิน (pepsin) ทริฟซิน (trypsin) และไคโมทริฟซิน (chymotrypsin) เอนไซม์เหล่านี้จะย่อยโปรตีนหรือเปปไทด์เฉพาะตรงกลางของสายเปปไทด์ และที่ตำแหน่งเฉพาะเจาะจงเท่านั้น เอนไซม์ในกลุ่มนี้มักอยู่ในรูปที่ยังไม่สามารถทำงาน (inactive form) เป็นต้องมีสารกระตุ้นเพื่อให้อยู่ในรูป active ก่อน ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เอนไซม์เหล่านี้ย่อยผนังของระบบทางเดินอาหารของสัตว์ (นวลจันทร์ และสินชัย, 2544)

1.1 Pepsin กระเพาะอาหารหลั่ง pepsinogen ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของเอนไซม์ pepsin อยู่ในรูป inactive แต่เปลี่ยนรูป active เมื่อสัมผัสกับกรดเกลือ และทำงานได้ดีที่ pH 1-2 โดย pepsin จะย่อยตรงตำแหน่ง linkage ของ dicarboxylic acid ของกรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) และไทโรซีน (tyrosine) (บุญล้อม, 2546) แต่จะไม่ทำงานเมื่อ pH มากกว่า 6 (Rao *et al*., 1998)

1.2 Trypsin ผลิตจากตับอ่อนในรูป proenzyme trypsinogen ซึ่งอยู่รูป inactive และอยู่ในรูป active โดยเอนไซม์ enterokinase ซึ่งถูกขับออกจาก duodenal mucosa การ active นี้สามารถเร่งด้วย trypsin เองด้วยเช่นกัน (autocatalytic reaction) โดย trypsin จะย่อยตรงตำแหน่ง carboxyl group ของกรดอะมิโนไลซีน (lysine) และอาร์จีนีน (arginine) (บุญล้อม, 2546) ซึ่ง pH ที่เหมาะสมในการเกิดกิจกรรมอยู่ในช่วง pH 7-9 โดยมีความคงตัวที่ pH 3 (Uhlig, 1998)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 Chymotrypsin หลั่งในรูป inactive chymotrypsinogen ถูกกระตุ้นด้วย trypsin และย่อยพันธะตรง carboxyl group ของ aromatic amino acids เช่น กรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน ไทโรซีน หรือ ทริปโตเฟน (tryptophane) (บุญล้อม, 2546; Rao *et al.,* 1998)

2. Exopeptidase ผลจากการย่อยของเอนไซม์ในกลุ่ม endopeptidase จะได้เปปไทด์ที่มีสายสั้นๆ ซึ่งจะถูกเอนไซม์ในกลุ่ม exopeptidase ย่อยต่อจนได้กรดอะมิโนอิสระที่พร้อมสำหรับการดูด-ซึม โดยทั่วไปแล้วการทำงานของ exopeptidase จำเป็นต้องใช้แร่ธาตุบางชนิดในการกระตุ้น เช่น แมกนีเซียม สังกะสี และแมงกานีส เป็นต้น exopeptidase แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

2.1 Pro-carboxypeptidase เป็นเอนไซม์ที่หลั่งมาจากตับอ่อน ถูกกระตุ้นโดย trypsin กลุ่ม carboxypeptidase จะย่อยเปปไทด์ที่ตำแหน่ง carboxyl group

2.2 Aminopeptidase หรือ dipeptidase เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่สร้างขึ้นที่ผนังลำไส้เล็กกลุ่ม aminopeptidase จะย่อยเปปไทด์ตรงตำแหน่ง amino group ส่วน dipeptidase จะย่อยไดเปปไทด์ได้เป็นกรดอะมิโนอิสระ (นวลจันทร์ และสินชัย, 2544)

เมื่อโปรตีนผ่านการย่อยจนได้กรดอะมิโนอิสระและเปปไทด์สายสั้นจากนั้นกรดอะมิโนอิสระที่ได้จากการย่อยจะถูกดูดซึมโดยวิธี active transport ซึ่งจำเป็นต้องใช้พลังงาน และโซเดียม ส่วนการดูดซึมไดเปปไทด์ และไตรเปปไทด์จะดูดซึมที่ membrane ของลำไส้เล็กโดยผ่านโปรตีนจำเพาะ ดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิต และสู่ตับต่อไป (นัยนา, 2546)

การสะสมและการขับทิ้งโปรตีนในร่างกายสัตว์

โปรตีนถูกสังเคราะห์จากกรดอะมิโน ซึ่งอาจมาจากการย่อยอาหาร และดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็ก หรือ โดยการสังเคราะห์ขึ้นในร่างกายจากสารที่เกิดจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต สัตว์ชั้นสูงสามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนได้เฉพาะประเภทที่ไม่จำเป็นต้องมีในอาหารเท่านั้น ซึ่งการสังเคราะห์โปรตีนนั้นจำเป็น ต้องมีกรดอะมิโนทุกชนิดที่ต้องใช้ในสายเปปไทด์อยู่ครบถ้วน ถ้าขาดเพียงชนิดหนึ่งการสังเคราะห์โปรตีนจะเกิดขึ้นไม่ได้ กรดอะมิโนที่มีอยู่จะถูกทำลายหรือขับออกไป นอกจากนี้ถ้ามีกรดอะมิโนตัวใดตัวหนึ่งมากเกินจะไปขัดขวางการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนชนิดอื่น ดังนั้นต้องคำนึงถึงกรดอะมิโนที่จำเป็นให้มีเพียงพอกับความต้องการของสัตว์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และต้องให้อยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้สัตว์สามารถนำกรดอะมิโนเหล่านั้นไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนของร่างกาย (บุญล้อม, 2546)

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยและดูดซึมโปรตีน

1. สารตั้งต้น (substrate) และเอนไซม์ เอนไซม์ทำงานอย่างเฉพาะเจาะจงต่อสารตั้งต้น ซึ่งความจำเพาะของเอนไซม์ที่มีต่อสารตั้งต้นนั้น ต้องมีโครงสร้างที่เหมาะสมสอดคล้องพอดีกับเอนไซม์และโคแฟคเตอร์ หรือสามารถชักนำให้เกิดการรวมกันขึ้นได้ (lock and key) (ปราณี, 2547) เช่น โปรตีนของขนไก่ปัน มี keratin เป็นองค์ประกอบ ต้องอาศัยเอนไซม์ keratinase ในการย่อย keratin

2. ชนิดของโปรตีน โปรตีนที่มีคุณสมบัติละลายน้ำได้จะสามารถถูกดูดซึมได้ดีกว่าในขณะที่โปรตีนบางชนิดจะดูดซึมได้น้อย เช่น โปรตีนของขนไก่ปัน เป็นต้น (นวลจันทร์ และสินชัย, 2544) เนื่องจากโปรตีนที่มีคุณสมบัติละลายน้ำได้นั้นน้ำจะเข้าแทรกในกระบวนการตัดพันธะ ทำให้เอนไซม์สามารถเข้าทำงานได้ดีขึ้น (Rao *et al*., 1998)

3. ระดับเยื่อใยในอาหารอาหารที่มีเยื่อใยในระดับสูงมีผลในทางลบต่อการย่อยได้ของโปรตีน และการดูดซึมของกรดอะมิโน (Gabert *et al.,* 2001)

4. สารยับยั้งการใช้ประโยชน์ และสารพิษในอาหาร (antinutritive and toxic substances) โปรตีนจากพืชน้ำมันบางชนิดมีสารพิษหรือสารยับยั้งการใช้โภชนะอยู่ จำเป็นต้องขจัดออกไป หรือลดพิษก่อนใช้กากเป็นอาหารสัตว์ ซึ่งสารพิษเหล่านี้สามารถทำลายได้ด้วยความร้อนที่เหมาะสม แต่ถ้าผ่านกระบวนการความร้อนที่ไม่เหมาะสมจะทำให้มีสารพิษคงค้างอยู่ในวัตถุดิบอาหาร เมื่อสัตว์ได้รับจะไปยับยั้งการใช้โภชนะในอาหารสัตว์โดยเฉพาะโปรตีน ซึ่งส่งผลให้อัตราการแลกเนื้อได้ลดลง เช่น สารยับยั้ง trypsin inhibitor ในถั่วเหลือง (Grala *et al*., 1999), สารแทนนิน (tanin) และสารพิษจากเชื้อรา (mycotoxins) (Gabert *et al*., 2001)

5. กรรมวิธีการผลิตขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์จะมีผลต่อการย่อยของโปรตีนนั้นๆ เช่น วัตถุดิบที่ผ่านความร้อนสูงเกินไปจะทำให้น้ำตาล (reducing sugar) ในวัตถุดิบทำปฏิกิริยากับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรดอะมิโน เรียกว่า Maillard reaction มีผลทำให้เกิดสารประกอบที่สัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (นวลจันทร์ และสินชัย, 2544)

6. อายุสัตว์ พบว่าสัตว์ระยะเล็กจะมีการพัฒนาของระบบน้ำย่อยไม่สมบูรณ์ (Leibholz, 1984) จึงมีผลทำให้การย่อยสารอาหารได้น้อย และค่าการย่อยได้ของโปรตีนจะสูงขึ้นเมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้น ดังนั้นการเสริมเอนไซม์มีความจำเป็นในสุกรวัยอ่อน (Gabert *et al.*, 2001; Fedkiv *et al.,* 2009)

เอนไซม์โปรติเอส

เอนไซม์โปรติเอสเป็นเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน ซึ่งสามารถผลิตได้จากจุลินทรีย์ เชื้อรา พืช และสัตว์ (Rao *et al*., 1998) โดย 2 ใน 3 ของโปรติเอสที่ผลิตในเชิงการค้าได้จากจุลินทรีย์ (Gupta *et al*., 2002) ปัจจุบันในเชิงอุตสาหกรรมนิยมผลิตเอนไซม์จากแบคทีเรียในจีนัส Bacillus (Olajuyigbe and Ajele, 2008) โดยสมัยเริ่มแรกเอนไซม์โปรติเอสจะแบ่งตามขนาดของโมเลกุลประจุ และความจำเพาะเจาะจงกับสารตั้งต้น นอกจากนี้ในการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ เอนไซม์ที่ทำปฏิกิริยาที่ C-terminal หรือ N-terminal บริเวณปลายของสายโพลีเปบไทด์ คือ exopeptidase และเอนไซม์ที่ตัดภายในสายโพลีเปปไทด์ คือ endopeptidase

ปัจจุบัน International Union of Biochemistry and Molecular Biology (1992) ได้มีการจัดกลุ่มเอนไซม์โปรติเอสตามการทำงานของเอนไซม์ที่บริเวณเร่งปฏิกิริยา (active site) ของเอนไซม์ออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

1. Serine protease (EC 3.4.21)

Serine protease มี active site ระหว่างกรดอะมิโนเซอรีน (serine) แอสพาเตส (aspartate) และฮิสติดีน (histidine) เอนไซม์ผลิตได้จากไวรัส แบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา รวมทั้งพบได้ทั้ง exopeptidase และ endopeptidase (Rao *et al.,* 1998) เป็นเอนไซม์ที่สามารถทำงานได้ในสภาวะกลาง และด่าง สามารถทำงานได้ดีที่ pH 7-11 (Gupta *et al.,* 2002) และย่อยสลายพันธะเปปไทด์อย่างอิสระภายในสายพอลิเปปไทด์ โดย serine protease สามารถแบ่งย่อยได้ 2 กลุ่มคือ serine alkaline protease และ subtilisin ซึ่ง serine alkaline protease สามารถผลิตได้จากจุลินทรีย์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กลุ่ม *Bacillus spp*. และ Streptomyces เชื้อรา ส่วนเอนไซม์กลุ่ม subtilisin ผลิตได้จากจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus spp* เช่น *Bacillus licheniformis* และ *Bacillus amyloliquefaciens* ซึ่งในกลุ่มนี้มีรูปแบบการทำงานคล้าย trypsin และ chymotrypsin (Rao *et al.,*1998)

2. Cysteine protease หรือ thiol protease (EC 3.4.22)

Cysteine protease มี active site ระหว่างกรดอะมิโนซิสติอีน (cysteine) และฮิสติดีน เอนไซม์ในกลุ่มนี้เป็นเอนไซม์ที่สกัดจากพืชชั้นสูง เช่น papain จากมะละกอ bromilain จากสับปะรด และ ficin จากมะเดื่อ เป็นต้น และสร้างจากเชื้อแบคทีเรีย เช่น *Streptococcus protease* ซึ่งทำงานได้ดีที่ pH เป็นกลาง (6.0-7.5) และย่อยสลายพันธะเปปไทด์อย่างอิสระภายในสายพอลิ-เปปไทด์ (Rao *et al.,*1998)

3. Aspartic protease (EC 3.4.23)

Aspartic protease มี active site ระหว่างกรดอะมิโนที่เป็นกรด (acidic amino acids) เป็นเอนไซม์กลุ่มที่ทำงานในสภาวะเป็นกรด ทำงานที่ pH 3-4 เอนไซม์ในกลุ่มนี้ เช่น pepsin, pepsin like enzyme ซึ่งผลิตจาก *Aspergillus* และ *Penicillus* เป็นต้น และ renin-like enzyme ผลิตจาก *Endothia* และ *Mucor spp.* เป็นต้น (Rao *et al.,*1998)

4. Metalloprotease (EC 3.4.24)

Metalloprotease มี active site ระหว่างกรดอะมิโนกลูตามิค (glutamic acid) และอะตอมโลหะ (metal atom) เป็นเอนไซม์โปรติเอสที่มีไอออนของโลหะรวมอยู่ในโมเลกุลของเอนไซม์หรือมีส่วนร่วมในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยเป็นโคแฟกเตอร์ เป็นเอนไซม์ที่จำเป็นต้องใช้แร่ธาตุประจุ 2 เช่น Zn^{2+}, Co^{2+} เป็นต้น เอนไซม์ในกลุ่มนี้ เช่น collagenases, elastase และ hemorrhagic toxin จากงู carboxypeptidase เป็นต้น สามารถเกิดกิจกรรมสูงสุดที่ช่วง pH 6.0-7.5 ในกลุ่ม neutral metalloprotease ส่วน alkaline metalloprotease ทำงานได้ดีในช่วง pH 7.0-9.0 และย่อยสลายพันธะเปปไทด์จากปลายสายพอลิเปปไทด์ (Rao *et al.,*1998)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทำงานของเอนไซม์โปรติเอสในร่างกายสัตว์

การทำงานของเอนไซม์โปรติเอสในร่างกายสัตว์ ขึ้นกับสภาวะความเป็นกรด-ด่างแต่ละช่วงทางเดินอาหาร และชนิดของเอนไซม์โปรติเอสว่าทำงานได้ดีในสภาวะกรด กลาง และด่างโดยเอนไซม์โปรติเอสจะมีการทำงานหลักอยู่ส่วนต้นของทางเดินอาหารที่บริเวณกระเพาะและดูโอดินั่ม(duodenum) ของลำไส้เล็ก ซึ่งเอนไซม์โปรติเอสกลุ่มที่ทำงานในสภาวะเป็นกรด และกลางจะทำงานที่บริเวณกระเพาะอาหาร เนื่องจากที่กระเพาะอาหารมี pH 3.4-4.8 (Risley *et al*., 1992) ส่วนที่บริเวณลำไส้เล็กเอนไซม์โปรติเอสกลุ่มที่เป็นด่าง และกลางจะทำงานได้ดี เนื่องจากที่ลำไส้-เล็กมี pH 6.4-7.2 (Risley *et al*., 1992) ซึ่งเอนไซม์โปรติเอสทั้งจากแบคทีเรีย เชื้อรา และพืชสามารถผลิตเอนไซม์ที่ทำงานได้ทั้งสภาวะกรด กลาง และด่าง ซึ่งขึ้นกับชนิดของเอนไซม์ (Rao *et al*., 1998)

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์

สภาวะความเป็นกรด-ด่าง

เอนไซม์โปรติเอสที่ผลิตจากจุลินทรีย์ทำงานได้ในช่วง pH 5-8 (Rao *et al*., 1998) ซึ่งเอนไซม์โปรติเอสที่ผลิตจากจุลินทรีย์ *Bacillus licheniformis* สามารถทำงานได้ในช่วงที่ pH 5-11 และทำงานได้ดีที่สุดที่ pH 8 แต่ในเอนไซม์โปรติเอสที่ผลิตจากจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* ทำงานได้ดีที่สุดที่ pH 6.5 (Olajuyigbe and Ajele, 2008) ส่วนเอนไซม์ซึ่งผลิตจากเชื้อรา *Aspergillus oryzae* สามารถผลิตได้ทั้งเอนไซม์โปรติเอสที่ pH เป็นกรด กลาง และด่าง โดยทำงานได้ในช่วงที่ pH 4-11 แต่เอนไซม์ที่ผลิตจากเชื้อรา มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำกว่า และความทนร้อนต่ำกว่าเอนไซม์จากจุลินทรีย์ (Rao *et al*., 1998) โดยเอนไซม์จากเชื้อรา *Aspergillus oryzae* ทำงานได้ดีที่สุดที่ pH 8–9 (Samarntarn *et al*., 1999) ซึ่งสภาวะความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์โปรติเอส เนื่องจากความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อการแตกของไอออน (ionization) ของกรดอะมิโนบางชนิด เช่น ซิสติน ฮิสติดีน ที่อยู่บริเวณ active site ของเอนไซม์ ส่งผลให้เอนไซม์เกิดการเปลี่ยนโครงรูปสามมิติไปอยู่ในรูปที่ไม่เหมาะสมต่อการจับกับสารตั้งต้น หรือมีผลต่อการแตกไอออนของสารตั้งต้นหรือโคแฟกเตอร์ ทำให้การจับของสารตั้งต้นกับเอนไซม์เปลี่ยนแปลงไป (ปราณี, 2547)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุณหภูมิ

เอนไซม์โปรติเอสจาก *Bacillus licheniformis* ทำงานได้ดีขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นการทำงานของเอนไซม์จะลดลง (Olajuyigbe and Ajele, 2008) และพบว่าเอนไซม์โปรติเอสที่ผลิตจากเชื้อ *Bacillus* sp. เป็นเอนไซม์ที่มีความคงทนที่อุณหภูมิสูง (Kumar and Takagi, 1999) ส่วนเอนไซม์ซึ่งผลิตจากเชื้อรา *Aspergillus oryzae* ทำงานได้ดีสุดที่ 45 องศาเซลเซียส (Samarntarn *et al*., 1999)

แร่ธาตุ

เอนไซม์บางชนิดจำเป็นต้องมีแร่ธาตุเพื่อกระตุ้นให้เกิดการทำงาน เช่น เอนไซม์กลุ่ม metalloprotease หรือเพื่อให้การทำงานดีขึ้นหรือลดลงก็ได้ เช่น เอนไซม์โปรติเอสของ *Bacillus* sp. A39 นั้น ไอออนของโลหะ Ca^{2+}, Mg^{2+}, Ba^{2+} และ Cu^{2+} จะเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ส่วนไอออนของ Ni^{2+}, Zn^{2+}, Fe^{3+}, Co^{2+}, Mn^{2+} และ Hg^{2+} มีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (สุดธิดา, 2548) ส่วนเอนไซม์ที่ผลิตจาก *Bacillus stearothermophilus* ถูกกระตุ้นโดยไอออน Zn^{2+}, Mn^{2+} หรือ Co^{2+} เป็นต้น ส่วนเอนไซม์โปรติเอสจาก *Bacillus licheniformis* การทำงานเพิ่มขึ้นเมื่อมีไอออน Co^{2+} (Rao *et al*., 1998) นอกจากนี้ความคงทนของเอนไซม์โปรติเอสจาก *Bacillus* sp. จะเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพที่มีไอออน Ca^{2+} (Kumar and Takagi, 1999) เนื่องจากไอออนจะทำหน้าที่เป็นสะพานเกลือระหว่างหมู่อะมิโน และหมู่คาร์บอกซิลที่อยู่ใกล้กันในโมเลกุลของเอนไซม์ และจะช่วยรักษาโครงรูปสามมิติของเอนไซม์ให้คงสภาพอยู่ได้ จึงมีผลทำให้เอนไซม์ทนต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นได้ (Towatana *et al.,* 1999)

ผลการเสริมเอนไซม์และระดับโปรตีนในอาหารสัตว์

ผลการย่อยและใช้ประโยชน์ได้ในร่างกายของสัตว์

การศึกษาการเสริมเอนไซม์โปรติเอส (Cibenza™DP100) ในหลอดทดลอง (*in vitro*) เพื่อพิจารณาการย่อยได้ของเอนไซม์ของวัตถุดิบ เช่น กากถั่วเหลือง กากคาโนล่า (canola meal) กากฝ้าย DDGS ข้าวโพด ข้าวสาลี lupin เนื้อไก่ป่น เนื้อและกระดูกป่น ปลาป่น ขนไก่ป่น และเลือดป่น พบว่าในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์โปรติเอสมีประสิทธิภาพการย่อยได้ดีกว่าในกลุ่มควบคุม ($P < 0.0001$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(Yan *et al*., 2010) และจากการศึกษาของ Simbaya *et al.* (1996) พบว่าการเสริมเอนไซม์โปรติเอสที่แตกต่างกันในหลอดทดลอง ส่งผลให้การ hydrolysis ของโปรตีนในกากคาโนล่าแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นกับแหล่งที่มาของเอนไซม์โปรติเอส นอกจากนี้เมื่อนำเอนไซม์โปรติเอสเสริมร่วมกับเอนไซม์จากตับอ่อนของสุกร พบว่าการ hydrolysis ของโปรตีนในกากคาโนล่าดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมเอนไซม์จากตับอ่อนเพียงอย่างเดียว และมีรายงานในไก่ไข่โดยกลุ่มควบคุมให้อาหารที่มีโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับกลุ่มให้อาหารที่มีโปรตีน 17 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีนลดลง 5.64 เปอร์เซ็นต์ เมื่อลดระดับโปรตีนลง และการเสริมเอนไซม์โปรติเอสที่ระดับ 0, 0.05, 0.075 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อเสริมเอนไซม์โปรติเอส ที่ระดับ 0, 0.05, 0.075 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการลดระดับโปรตีน ทำให้สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีนแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) (Yadav and Sah, 2006) นอกจากนี้มีการศึกษาในสุกรอนุบาล พบว่าการให้โปรตีนที่ระดับสูง (20.3 เปอร์เซ็นต์ CP) และระดับโปรตีนต่ำ (18.3 เปอร์เซ็นต์ CP) ร่วมกับการเสริมเอนไซม์โปรติเอส (Cibenza^{TM}DP100) พบว่าสุกรในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์มีค่าการย่อยได้ของโปรตีน วัตถุแห้ง และพลังงานดีขึ้น 3.5, 2.2 และ 2.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ($P < 0.01$) (Wang *et al*., 2010) มีรายงานในสุกรรุ่น เมื่อเสริมเอนไซม์โปรติเอสที่ ระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์โปรติเอส พบว่าค่าการย่อยได้ของลำไส้-เล็กส่วนปลายแบบปรากฏ (ileal appearent digestion) ของโปรตีน วัตถุแห้ง และพลังงานดีขึ้น ($P < 0.05$) (Ao *et al*., 2010)

ผลต่อประสิทธิภาพการผลิต

รายงานการเสริมเอนไซม์โปรติเอส (Cibenza^{TM}DP100) ในอาหารลูกสุกรอนุบาล พบว่าเอนไซม์โปรติเอสทำให้เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโปรตีนดีขึ้น ส่งผลให้อัตราการแลกเนื้อดีขึ้น (1.605 และ 1.374 ในกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์โปรติเอส ตามลำดับ) ($P < 0.01$) (Wang *et al*., 2010) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Fedkiv *et al.* (2009) พบว่าการเสริมเอนไซม์จากตับอ่อน ส่งผลให้สุกรอนุบาลมีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและปริมาณการกินอาหารเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) และเมื่อเสริมเอนไซม์จากตับอ่อนในสุกรระยะรุ่น พบว่าการเสริมเอนไซม์ส่งผลให้ปริมาณการกินอาหารได้เพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตต่อวันเพิ่มขึ้น และอัตราการแลกเนื้อดีขึ้น ($P < 0.05$) นอกจากนี้มีรายงานการเสริมเอนไซม์โปรติเอส ร่วมกับแอลฟ่ากาแลคโตซิเดสในสุกรระยะรุ่นและขุน พบว่าการเสริมเอนไซม์โปรติเอส ทำให้สุกรมีอัตราการเจริญเติบโตดีขึ้นและอัตราการแลกเนื้อดีขึ้น ($P < 0.05$) (O'Doherty and Forde, 1999) และมีการศึกษาในสุกรระยะรุ่นโดยการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เสริมเอนไซม์โปรติเอสในอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองและข้าวโพดเป็นหลัก พบว่าการเสริมเอนไซม์โปรติเอส ทำให้อัตราการแลกเนื้อดีขึ้น (2.95 และ 3.05 ในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์ และกลุ่มควบคุม ตามลำดับ) ($P < 0.05$) นอกจากนี้มีกลุ่มที่เสริมเอนไซม์แมนแนนเนส เปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมเอนไซม์แมนแนนเนส ร่วมกับเอนไซม์โปรติเอส พบว่ากลุ่มที่เสริมเอนไซม์แมนแนนเนสร่วมกับเอนไซม์โปรติเอสมีการเจริญเติบโตต่อวันมากกว่ากลุ่มที่เสริมเอนไซม์แมนแนนเนสเพียงอย่างเดียว ($P < 0.05$) (Jo *et al.,* 2010) แต่ขัดแย้งกับผลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสในอาหารสุกรระยะรุ่นและขุน ซึ่งใช้กากถั่วเหลืองดิบ และกากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการไมโครไนเซชั่น (micronization) เป็นแหล่งโปรตีน พบว่าการเสริมเอนไซม์โปรติเอสส่งผลให้ปริมาณอาหารที่กินได้เฉลี่ยต่อวันและอัตราการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่การเสริมเอนไซม์โปรติเอสมีแนวโน้ม ทำให้สุกรระยะขุนในกลุ่มที่ได้รับกากถั่วเหลืองดิบมีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเนื้อดีขึ้น (Beal *et al*., 1998)

นอกจากนี้มีการศึกษาการเสริมเอนไซม์รวม (xylanase และ protease) ในอาหารที่มีกากคาโนล่าในไก่เนื้อ พบว่าการเสริมเอนไซม์รวม ทำให้ไก่มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการแลกเนื้อดีขึ้น ($P < 0.05$) (Bedford and Morgan, 1995) นอกจากนี้มีรายงานในไก่เนื้อโดยการเสริมเอนไซม์โปรติเอส (Cibenza^{TM}DP100) ร่วมกับลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนที่ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม พบว่าการเสริมเอนไซม์โปรติเอสสามารถลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนได้ 5–10 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม ขึ้นกับอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการแลกเนื้อ (Manangi *et al*, 2009)

ผลต่อคุณภาพซาก

การเสริมเอนไซม์ต่อคุณภาพซากในไก่ มีรายงานการเสริมเอนไซม์โปรติเอสในไก่ที่ระดับ 200 ppm ร่วมกับการลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุม พบว่าการเสริมเอนไซม์โปรติเอสทำให้น้ำหนักซากไก่ดีขึ้น และน้ำหนักเนื้ออกรวมเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์แต่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโน ($P < 0.05$) (Dozier *et al.,* 2010) ส่วนการศึกษาในสุกร พบว่าการเสริมเอนไซม์รวม (multi-enzyme: alpha-amylase, beta-glucanase, xylanase และ protease) ในสุกรขุน ทำให้สุกรกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวม มีความหนาไขมันสันหลัง (P2) และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(P > 0.05) (Leikus and Norviliene, 2006) เช่นเดียวกับการรายงานของ Reyna *et al*. (2006) พบว่าการเสริมเอนไซม์โปรติเอสในสุกรที่ระดับ 0, 0.25, 0.5 และ 0.75 กิโลกรัมต่อตันอาหาร ร่วมกับให้โปรตีน 14 และ 9.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าระดับโปรตีนที่แตกต่างกัน และการเสริมเอนไซม์ที่ระดับแตกต่างกัน ส่งผลให้คุณภาพซากของสุกรแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05) นอกจากนี้เมื่อเสริมเอนไซม์โปรติเอสในอาหารสุกรรุ่น และขุนที่ได้รับกากถั่วเหลืองดิบเป็นแหล่งโปรตีน พบว่าสุกรที่ได้รับเอนไซม์โปรติเอสมีสัดส่วนของเนื้อแดงต่อไขมันมากกว่าสุกรที่ได้รับกากถั่วเหลืองดิบเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05) ส่วนสุกรที่ได้รับกากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการไมโครไนเซชั่น ร่วมกับการเสริมเอนไซม์โปรติเอส พบว่าการเสริมเอนไซม์โปรติเอส ทำให้สัดส่วนของเนื้อแดงต่อไขมันของสุกรแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05) (Beal *et al*., 1998)

รายงานการทดลองระดับโปรตีนต่อคุณภาพซากในสุกรของ Le Bellego *et al.* (2002) พบว่าเมื่อให้สุกรขุนได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 17.5 และ 13.7 เปอร์เซ็นต์ สุกรที่ได้รับอาหารทั้ง 2 กลุ่มมีคุณภาพซาก และความหนาไขมันสันหลังแตกต่างกันอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05) นอกจากนี้มีการศึกษาในสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 21 และ 17.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองสุกรมีน้ำหนักซาก สัดส่วนของเนื้อแดง และไขมันแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (P > 0.05) แต่พบแนวโน้มความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P = 0.08) ในพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันโดย พบว่าเมื่อให้อาหารที่มีระดับโปรตีน 21 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สุกรมีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันมากกว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 17.5 เปอร์เซ็นต์ (Kerr *et al.,* 2003) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kendall *et al*. (1998) ที่รายงานว่าการลดระดับโปรตีนลงจาก 16.7 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 12.2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับให้ไลซีนที่ระดับ 0.85 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน พบว่าความหนาไขมันสันหลังแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05)

ผลต่อการขับของเสียสู่สิ่งแวดล้อม

การศึกษาของ Le Bellego *et al*. (2002) พบว่าการลดลงของระดับโปรตีนในสูตรอาหารลง 4 เปอร์เซ็นต์ส่งผลให้สุกรลดการขับทิ้งของไนโตรเจนสู่สิ่งแวดล้อมมากกว่า 37 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับรายงานของ Kerr (1995) ที่สรุปว่าการลดของระดับโปรตีนรวมลงทุกๆ 1 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้มีการขับไนโตรเจนทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมลดลง 8.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Deng *et al.* (2007) รายงานว่าการลดของระดับโปรตีนรวมลงทุกๆ 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการปรับสมดุลของกรดอะมิโนที่จำเป็น ส่งผลให้สุกรมีการขับไนโตรเจนทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมลดลง 7.6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Latimier *et al*. (1993) พบว่าการให้อาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการคงค้างของไนโตรเจน (nitrogen retention) ในร่างกายสุกร แต่สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนสูง มีการขับทิ้งของไนโตรเจนรวมมากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำ ดังนั้นการลดระดับโปรตีนในอาหารไม่ส่งผลเชิงลบต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซาก เป็นช่องทางหนึ่งในการลดการขับของเสียภายในฟาร์มสู่สิ่งแวดล้อม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมมติฐาน (hypothesis)

การเสริมเอนไซม์โปรติเอสในสูตรอาหารสุกรระยะเล็ก รุ่น และขุน ทำให้การย่อยได้ของโปรตีนดีขึ้น ดังนั้นสามารถลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนในสูตรอาหารได้ 7.5 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิต และคุณภาพซากของสุกรขุน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาในครั้งนี้ ได้แบ่งออกเป็นการวิจัยย่อยจำนวน 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การทดสอบหาสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซากของสุกรขุน

อุปกรณ์การทดลอง

1. โรงเรือนสำหรับเลี้ยงสุกร (โรงเรือนระบบเปิด) แบ่งออกเป็นคอก โดยแต่ละคอกมีขนาด 4.5 x 6 เมตร จำนวน 24 คอก แต่ละคอกเลี้ยงสุกรจำนวน 10 ตัว

2. เครื่องชั่งน้ำหนักอาหาร และสุกร

3. อุปกรณ์สำหรับให้อาหาร (ถังกล) และน้ำ (จุ๊บน้ำ)

4. เครื่องอัลตราซาวด์แบบ real time

สัตว์ทดลอง

การทดลองใช้สุกรลูกผสมพันธุ์ลาร์จไวท์ แลนด์เรช และดูรอค เพศผู้ตอนจำนวน 120 ตัว และเพศเมียจำนวน 120 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 20-25 กิโลกรัม โดยแบ่งสุกรแต่ละเพศออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัว แต่ละกลุ่มถูกจัดกลุ่มทดลองให้โดยการสุ่ม สุกรทุกตัวจะเลี้ยงในคอกขังรวม 10 ตัวโดยได้รับอาหาร และน้ำอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) ตลอดการทดลอง ใช้ระยะเวลาทดลอง 105 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาหารทดลอง

อาหารทดลองคำนวณสูตรอาหารให้มีองค์ประกอบและปริมาณโภชนะให้เหมาะสมตามช่วงระยะการเจริญเติบโตของสุกร 3 ระยะ คือ อาหารสุกรเล็ก (น้ำหนัก 22-50 กิโลกรัม) อาหารสุกรรุ่น (น้ำหนัก 50-80 กิโลกรัม) และอาหารสุกรขุน (น้ำหนัก 80-100 กิโลกรัม) โดยสุกรได้รับอาหารทดลองในรูปอาหารอัดเม็ด สุกรแต่ละกลุ่มจะได้รับการสุ่มให้ได้รับอาหารทดลองที่แตกต่างกัน 4 สูตร ดังนี้ (ตารางที่ 1-3)

กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม

กลุ่มที่ 2 กลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

กลุ่มที่ 3 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

กลุ่มที่ 4 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

แหล่งของเอนไซม์โปรติเอสในการทดลองนี้ได้มาจากผลิตภัณฑ์ Cibenza™DP100 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าของบริษัท โนวัส อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ผลิตจาก *Bacillus licheniformis* PWD-1 มีความสามารถในการทำงาน (activity) มากกว่า 600,000 U/กรัมผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนะของอาหารทดลองสำหรับสุกรระยะเล็ก (น้ำหนัก 22–50 กิโลกรัม) ที่ใช้ในการทดลองที่ 1

วัตถุดิบอาหาร	ปริมาณ (%)			
	สูตร 1 (ควบคุม)	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ข้าวโพด	39.33	39.33	42.67	42.67
มันเส้นบด	10.00	10.00	10.00	10.00
รำละเอียด	13.33	13.33	13.33	13.33
รำข้าวสาลี	5.33	5.33	5.67	5.67
กากถั่วเหลือง 47% CP	24.00	24.00	20.67	20.67
เนื้อกระดูกป่น 50 % CP	3.33	3.33	3.33	3.33
หินฝุ่น	1.00	1.00	0.93	0.93
ไดแคลเซียมฟอสเฟส	1.33	1.33	1.27	1.27
เกลือ	0.33	0.33	0.33	0.33
กากน้ำตาล	0.67	0.67	0.67	0.67
ยาปฏิชีวนะ [1]	0.37	0.37	0.37	0.37
พรีมิกซ์ [2]	0.20	0.20	0.20	0.20
แอล-ไลซีน	0.28	0.28	0.29	0.29
เมทไธโอนีน (MHA)	0.12	0.12	0.10	0.10
โปรติเอส	-	0.05	-	0.05
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00
คุณค่าทางโภชนะจากการคำนวณ (%)				
โปรตีน	19	19	17.6	17.6
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (กิโลแคลลอรี่/กก.)	3200	3200	3200	3200
ไขมัน	3.35	3.35	3.41	3.41
เยื่อใย	4.13	4.13	4.12	4.12
เถ้า	7.64	7.64	7.51	7.51
แคลเซียม	0.90	0.90	1.00	1.00
ฟอสฟอรัสรวม	0.65	0.65	0.65	0.65
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.45	0.45	0.45	0.45
ไลซีน	1.20	1.20	1.11	1.11
เมทไธโอนีน+ซีสติน	0.65	0.65	0.60	0.60
ทรีโอนีน	0.68	0.68	0.63	0.63
ทริปโตเฟน	0.22	0.22	0.20	0.20

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หมายเหตุ [1] ยาปฏิชีวนะ amoxycillin 200 ppm., tiamulin 150 ppm., colistin 150 ppm.

[2] พรีมิกซ์ โดยวิตามินแร่ธาตุ 2.5 กิโลกรัม ประกอบด้วย วิตามินเอ 12.5 MIU; วิตามีนดี 3.5 MIU; วิตามินอี 15.0 กรัม; วิตามินเค 0.37 กรัม; วิตามินบี 2 3.37 กรัม; วิตามินบี 12 15.0 มิลลิกรัม; กรดนิโคทินิก 15.0 กรัม; กรดแพนโททีนิค 10.35 กรัม; ซีลิเนียม 0.1 กรัม; ธาตุเหล็ก 180 กรัม; แมงกานีส 60 กรัม; สังกะสี 100 กรัม; ทองแดง 160 กรัม และไอโอดีน 0.2 กรัม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบ และคุณค่าทางโภชนะของอาหารทดลองสำหรับสุกรระยะรุ่น (น้ำหนัก 50–80 กิโลกรัม) ที่ใช้ในการทดลองที่ 1 และ 2

วัตถุดิบอาหาร	ปริมาณ (%)			
	สูตร 1 (ควบคุม)	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ข้าวโพด	27.14	27.14	30.20	30.20
รำข้าวสาลี	16.67	16.67	16.67	16.67
รำละเอียด	13.34	13.34	13.33	13.33
มันเส้นบด	13.34	13.34	13.33	13.33
กากถั่วเหลือง 47% CP	12.47	12.47	10.00	10.00
DDGS	10.00	10.00	9.70	9.70
เนื้อกระดูกป่น 53% CP	3.33	3.33	2.82	2.82
หินฝุ่น	1.17	1.17	1.26	1.26
กากน้ำตาล	0.67	0.67	0.68	0.68
ไดแคลเซียมฟอสเฟส	0.45	0.45	0.56	0.56
แอล-ไลซีน	0.33	0.33	0.34	0.34
เกลือ	0.27	0.27	0.29	0.29
ยาปฏิชีวนะ [1]	0.53	0.53	0.53	0.53
พรีมิกซ์ [2]	0.20	0.20	0.20	0.20
เมทไธโอนีน (MHA)	0.08	0.08	0.07	0.07
ทรีโอนีน	0.04	0.04	0.05	0.05
โปรติเอส	-	0.05	-	0.05
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00
คุณค่าทางโภชนะจากการคำนวณ (%)				
โปรตีน	17	17	15.7	15.7
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (กิโลแคลลอรี่/กก.)	3000	3000	3000	3000
ไขมัน	5.68	5.68	5.68	5.68
เยื่อใย	5.26	5.26	5.22	5.22
เถ้า	7.14	7.14	7.08	7.08
แคลเซียม	0.90	0.90	0.90	0.90
ฟอสฟอรัสรวม	0.86	0.86	0.84	0.84
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.42	0.42	0.42	0.42
ไลซีน	1.00	1.00	0.93	0.93
เมทไธโอนีน+ซีสติน	0.55	0.55	0.51	0.51

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 (ต่อ)

คุณค่าทางโภชนะจากการคำนวณ (%)	ปริมาณ (%)			
	สูตร 1 (ควบคุม)	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ทรีโอนีน	0.60	0.60	0.56	0.56
ทริปโตเฟน	0.20	0.20	0.18	0.18

หมายเหตุ [1] ยาปฏิชีวนะ amoxycillin 200 ppm., colistin 150 ppm.

[2] พรีมิกซ์ โดยวิตามินแร่ธาตุ 2.5 กิโลกรัม ประกอบด้วย วิตามินเอ 10 MIU; วิตามีนดี 3 MIU; วิตามินอี 10.2 กรัม; วิตามินเค 0.25 กรัม; วิตามินบี 2 2.3 กรัม; วิตามินบี 12 10.20 มิลลิกรัม; กรดนิโคทินิก 10.20 กรัม; กรดแพนโททีนิค 4.59 กรัม; ซีลิเนียม 0.1 กรัม; ธาตุเหล็ก 180 กรัม; แมงกานีส 60 กรัม; สังกะสี 100 กรัม; ทองแดง 160 กรัม และไอโอดีน 0.2 กรัม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนะของอาหารทดลองสำหรับสุกรระยะขุน (น้ำหนัก 80–100 กิโลกรัม) ที่ใช้ในการทดลองที่ 1

วัตถุดิบอาหาร	ปริมาณ (%)			
	สูตร 1 (ควบคุม)	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ข้าวโพด	27.93	27.93	30.43	30.43
รำข้าวสาลี	16.67	16.67	16.67	16.67
มันเส้นบด	13.33	13.33	13.33	13.33
DDGS	13.33	13.33	13.33	13.33
รำละเอียด	10.00	10.00	10.00	10.00
รำสกัด	6.57	6.57	6.67	6.67
กากถั่วเหลือง 47 % CP	6.80	6.80	4.17	4.17
เนื้อกระดูกป่น 53 % CP	2.00	2.00	2.00	2.00
หินฝุ่น	1.60	1.60	1.60	1.60
กากน้ำตาล	0.67	0.67	0.67	0.67
ไดแคลเซียมฟอสเฟส	0.39	0.39	0.39	0.39
แอล-ไลซีน	0.26	0.26	0.26	0.26
เกลือ	0.28	0.28	0.28	0.28
พรีมิกซ์ [1]	0.17	0.17	0.17	0.17
ทรีโอนีน	0.01	0.01	0.01	0.01
โปรติเอส	-	0.05	-	0.05
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00
คุณค่าทางโภชนะจากการคำนวณ (%)				
โปรตีน	15	15	14	14
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (กิโลแคลลอรี่/กก.)	2900	2900	2900	2900
ไขมัน	5.25	5.25	5.30	5.30
เยื่อใย	5.98	5.98	5.95	5.95
เถ้า	7.41	7.41	7.32	7.32
แคลเซียม	0.90	0.90	0.90	0.90
ฟอสฟอรัสรวม	0.82	0.82	0.81	0.81
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.38	0.38	0.38	0.38
ไลซีน	0.80	0.80	0.74	0.74
เมทไธโอนีน+ซีสติน	0.46	0.46	0.43	0.43
ทรีโอนีน	0.50	0.50	0.46	0.46

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 (ต่อ)

คุณค่าทางโภชนะจากการคำนวณ (%)	ปริมาณ (%)			
	สูตร 1 (ควบคุม)	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ทรีโอนีน	0.60	0.60	0.56	0.56
ทริปโตเฟน	0.20	0.20	0.18	0.18

หมายเหตุ [1] พรีมิกซ์ โดยวิตามินแร่ธาตุ 2.5 กิโลกรัม ประกอบด้วย วิตามินเอ 10 MIU; วิตามีนดี 3 MIU; วิตามินอี 10.2 กรัม; วิตามินเค 0.25 กรัม; วิตามินบี 2 2.3 กรัม; วิตามินบี 12 10.20 มิลลิกรัม; กรดนิโคทินิก 10.20 กรัม; กรดแพนโททีนิค 4.59 กรัม; ซีลิเนียม 0.1 กรัม; ธาตุเหล็ก 180 กรัม; แมงกานีส 60 กรัม; สังกะสี 100 กรัม; ทองแดง 160 กรัม และไอโอดีน 0.2 กรัม

การบันทึกข้อมูล

1. น้ำหนักตัวสุกร ทำการชั่งน้ำหนักทั้งหมด 4 ครั้ง ได้แก่ เมื่อเริ่มทดลองระยะสุกรเล็กอายุ 10 สัปดาห์ (น้ำหนักประมาณ 22 กิโลกรัม) ระยะรุ่นน้ำหนักประมาณ 50 กิโลกรัม ระยะขุนน้ำหนักประมาณ 80 กิโลกรัม และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักประมาณ 100 กิโลกรัม การชั่งน้ำหนักทุกครั้งกำหนดเวลา 07.00 น. น้ำหนักตัวที่ได้จะใช้คำนวณหาน้ำหนักตัวสุกรที่เพิ่มขึ้น

2. บันทึกปริมาณอาหาร อาหารที่ให้ทุกสัปดาห์ และอาหารที่เหลือ เพื่อนำมาหาอัตราการแลกเนื้อ

3. บันทึกการตายของสุกร เพื่อนำมาหาอัตราการตาย

4. บันทึกคุณภาพซาก เมื่อสิ้นสุดการทดลองระยะขุน ทำการสุ่มในแต่ละกลุ่ม กลุ่มละ 20 ตัว (ตัวผู้ 10 ตัว ตัวเมีย 10 ตัว) รวมทั้งหมด 80 ตัว โดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์แบบ real time วัดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (loin eye area) และวัดความหนาไขมันสันหลัง (back fat thickness) แล้วทำการคำนวณ เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง (lean meat percentage)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเก็บข้อมูล

1. บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว โดยชั่งสุกรทุกตัวในทุกกลุ่มทดลอง เมื่อสิ้นสุดระยะเล็ก รุ่น และขุน เพื่อคำนวณน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น

2. บันทึกปริมาณอาหารที่กินในแต่ละช่วงอายุของแต่ละกลุ่มทดลอง เพื่อคำนวณปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน

3. บันทึกจำนวนสุกรตายในแต่ละกลุ่มทดลอง เพื่อคำนวณอัตราการตาย

4. บันทึกพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน และความหนาไขมันสันหลัง และคำนวณเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง

5. สุ่มเก็บอาหารทดลองของทุกสูตร เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะและ enzyme activity

นำข้อมูลต่างๆ ที่บันทึกมาคำนวณหาน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการตาย ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน) (average daily gain)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดทดลอง - น้ำหนักตัวเมื่อเริ่มต้นทดลอง}}{\text{จำนวนวันที่ทดลอง}}$$

$$\text{ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน (กรัม) (average daily feed intake)} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่ให้ – ปริมาณอาหารที่เหลือ}}{\text{จำนวนสุกร x จำนวนวันที่เลี้ยง}}$$

$$\text{อัตราการแลกเนื้อ (feed conversion ratio)} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กิน}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น}}$$

$$\text{อัตราการตาย (เปอร์เซ็นต์) (mortality rate)} = \frac{\text{จำนวนสุกรที่ตาย x 100}}{\text{จำนวนสุกรเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโภชนะต่างๆ ในอาหารทดลองทุกสูตร คือ วัตถุแห้ง ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า โดย proximate analysis ตามวิธีของ A.O.A.C (1990) วิเคราะห์หาค่าพลังงานโดยใช้ bomb calorimeter (Parr 1260, Parr Instrument Company Moline, IL USA) และวิเคราะห์ enzyme activity โดยวิธีของ Novus International Inc. (2007)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองนี้จัดกลุ่มทดลองแบบ 2x2 Factorial ในแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design ดังสมการด้านล่าง โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_i + A_j + B_k + AB_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

เมื่อ Y_{ijk} = ค่าสังเกตในการเสริมเอนไซม์โปรติเอสที่ k, ระดับโปรตีนและกรดอะมิโนที่ j และจากบล็อกที่ i

μ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง

ρ_i = อิทธิพลของบล็อกที่ระดับ i เมื่อ i = เพศผู้, เพศเมีย

A_j = อิทธิพลของระดับโปรตีนและกรดอะมิโน ที่ระดับ j เมื่อ j = ระดับควบคุม, ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของระดับควบคุม

B_k = อิทธิพลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอส ที่ระดับ k เมื่อ k = การไม่เสริมเอนไซม์, การเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

AB_{jk} = อิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและกรดอะมิโน และการเสริมเอนไซม์โปรติเอส

ε_{ijk} = ค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 2 การหาค่าการย่อยได้แบบปรากฏของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงาน ในสุกรน้ำหนัก 60 กิโลกรัม

อุปกรณ์การทดลอง

1. โรงเรือนสำหรับเลี้ยงสุกร (โรงเรือนระบบเปิด)
2. กรงใช้ศึกษาการย่อยได้ของโภชนะ (metabolic cage)
3. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะ
4. pH-indicator strips pH 0-14
5. ตู้แช่แข็ง – 20 องศาเซลเซียส สำหรับเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะ

สัตว์ทดลอง

สุกรลูกผสมพันธุ์ลาร์จไวท์ และแลนด์เรช เพศผู้ตอน จำนวน 20 ตัว น้ำหนักเฉลี่ย 60 กิโลกรัม โดยแบ่งสุกรออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ตัว แต่ละกลุ่มทดลองมี 5 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ตัว เลี้ยงบนกรง metabolic cage เพื่อสุ่มเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะ

อาหารทดลอง

สุกรแต่ละกลุ่มได้รับอาหารทดลองในรูปอาหารผงและน้ำแบบเต็มที่ *(ad libitum)* โดยได้รับอาหารวันละ 4 เวลา คือ 07.00 น. 10.00 น. 14.00 น. และ 17.00 น. ในระยะแรกให้อาหารทดลองแก่สัตว์เป็นเวลา 8 วัน เพื่อให้สัตว์สามารถปรับตัวกับการกินอาหารและสภาพแวดล้อม จากนั้นในช่วงปรับสภาพสัตว์ก่อนเก็บตัวอย่าง 2 วัน ให้ผสมสารบ่งชี้ (โครมิกซ์ออกไซด์) 0.5 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอาหาร เพื่อให้มูลมีสารสีเขียวของโครมิกซ์ออกมาอย่างสม่ำเสมอ และเพื่อใช้โครมิกซ์เป็นสารบ่งชี้ในการศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนะ จากนั้นให้สุกรกินอาหารทดลองที่มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบ่งชี้ต่อไปอีกเป็นระยะเวลา 5 วัน เพื่อเก็บตัวอย่างมูลและปัสสาวะ ซึ่งอาหารทดลองมีสูตรอาหารดังตารางที่ 2 โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม

กลุ่มที่ 2 กลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

กลุ่มที่ 3 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

กลุ่มที่ 4 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

การเก็บตัวอย่าง และบันทึกข้อมูล

การเก็บมูลสุกรใช้วิธี indicator method โดยเมื่อสุกรได้รับอาหารที่มีโครมิกซ์ออกไซด์ผสมผ่านมา 2 วัน จนมูลสุกรมีสีเขียวของโครมิกซ์ออกไซด์สม่ำเสมอ จึงเริ่มเก็บมูล โดยสุ่มเก็บตัวอย่างมูลประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ใส่ถุงพลาสติก แล้วนำมูลที่ได้ในแต่ละวันเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการทดลองจึงนำมูลทั้งหมดมารวมกันและผสมจนเข้ากันดี สุ่มตัวอย่างมูลของแต่ละกลุ่มมาประมาณ 200 กรัม เพื่อนำมาอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำมูลที่อบแห้งแล้วมาบดให้ละเอียดเพื่อนำไปวิเคราะห์ทางเคมีต่อไป

การเก็บตัวอย่างปัสสาวะโดยเก็บปัสสาวะที่สัตว์ทดลองขับถ่ายในแต่ละวันลงในขวดพลาสติกประมาณ 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 6 N โดยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 5 เพื่อลดการระเหยของแอมโมเนียและหยุดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แล้วเก็บไว้ในตู้แช่-แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง คือ วัตถุแห้ง ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า โดยวิธี proximate analysis ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) โครมิกซ์ออกไซด์ตามวิธีของ Czarnocki *et al*. (1961) วิเคราะห์หาค่าพลังงานโดยใช้ bomb calorimeter (Parr 1260, Parr Instrument Company Moline, IL USA) และวิเคราะห์ enzyme activity โดยวิธีของ Novus International Inc. (2007)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของปัสสาวะ และมูลสุกรทดลอง คือ วัตถุแห้ง ความชื้น และโปรตีน โดยวิธี proximate analysis ตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) โครมิกซ์ออกไซด์ ตามวิธีของ Czarnocki *et al*. (1961) และวิเคราะห์หาค่าพลังงานโดยใช้ bomb calorimeter (Parr 1260, Parr Instrument Company Moline, IL USA) แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การย่อยได้แบบปรากฏของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงาน ดังสมการนี้

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้แบบปรากฏ (เปอร์เซ็นต์)

$$= 100 - 100 \frac{(\%\ \text{โครมิกซ์ออกไซด์ในอาหาร} \times \%\ \text{โภชนะในมูล})}{\%\ \text{โครมิกซ์ออกไซด์ในมูล} \times \%\ \text{โภชนะในอาหาร}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบ 2x2 Factorial ในแผนการทดลอง Completely Randomized Design ดังสมการด้านล่าง โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อ Y_{ij} = ค่าสังเกตในซ้ำที่ k เมื่อ k = 1, 2, 3, 4, 5 การเสริมเอนไซม์โปรติเอสที่ j และระดับโปรตีนและกรดอะมิโนที่ i

μ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง

A_i = อิทธิพลของระดับโปรตีนและกรดอะมิโน ระดับที่ i เมื่อ i = ระดับควบคุม, ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของระดับควบคุม

B_j = อิทธิพลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอส ระดับที่ j เมื่อ j = การไม่เสริมเอนไซม์, การเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

AB_{ij} = อิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและกรดอะมิโนและการเสริมเอนไซม์โปรติเอส

ε_{ij} = ค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถานที่ทำการวิจัย

1. ศึกษาสมรรถภาพการผลิตสุกรระยะเล็ก รุ่นและขุน ณ ไบโอ-เจน ฟาร์ม อ.เมือง จ.ลำพูน

2. การศึกษาค่าการย่อยได้ของสารอาหารภายในฟาร์มสุกรของสถานีวิจัยทับกวาง สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ. แก่งคอย จ.สระบุรี

3. วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

4. วิเคราะห์หาวัตถุแห้ง โปรตีน พลังงาน และปริมาณโครมิกซ์ออกไซด์ในอาหารทดลอง ปัสสาวะ และมูลสุกร ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

5. วิเคราะห์หาค่า enzyme activity ณ Novus International, Inc., USA

ระยะเวลาทำการวิจัย

เริ่มทำการทดลอง: พฤษภาคม 2553
สิ้นสุดการทดลอง: มกราคม 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 การทดสอบหาสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของสุกรขุน

ผลการวิเคราะห์ทางเคมี

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของโภชนะต่างๆ ในอาหารสุกรเล็ก รุ่นและขุนที่ใช้ในการทดลองที่ 1 แสดงไว้ในตารางที่ 4, 5 และ 6 ตามลำดับ พบว่าค่าวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุแห้ง ไขมัน เยื่อใย เถ้าและพลังงานรวมของอาหารทุกกลุ่มในแต่ละระยะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่าวิเคราะห์ทางเคมีของโปรตีนทุกกลุ่มมากกว่าที่คำนวณไว้ แต่ค่ามีแนวโน้มทิศทางเดียวกันในกลุ่มควบคุม และกลุ่มลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม โดยระดับโปรตีนที่วิเคราะห์ได้มากกว่าที่คำนวณของทุกกลุ่มทดลองเฉลี่ย 1.43 เปอร์เซ็นต์ แต่การทดลองนี้มีการวิเคราะห์ระดับโปรตีนในวัตถุดิบที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีนพบว่าระดับโปรตีนมีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณไว้ ดังนั้นระดับโปรตีนในอาหารแต่ละกลุ่มที่มากกว่าที่คำนวณในการทดลองนี้ อาจเกิดจากวัตถุดิบอื่นที่ใช้ในการทดลองนี้มีระดับโปรตีนสูงกว่าค่าที่นำมาใช้ในการคำนวณ หรือวัตถุดิบที่ใช้มีความแปรปรวนของระดับโภชนะสูงส่งผลให้ตัวอย่างวัตถุดิบที่นำมาวิเคราะห์มีระดับโปรตีนต่ำกว่าระดับโปรตีนจริงในวัตถุดิบ ทำให้อาหารที่ได้มีระดับโปรตีนสูงกว่าคำนวณไว้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารสุกรระยะเล็ก (22-50 กิโลกรัม)

องค์ประกอบทางเคมี	กลุ่มทดลอง			
	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4
วัตถุแห้ง (%)	90.34	90.44	90.55	90.83
โปรตีน (%)	20.27	20.08	18.96	18.99
ไขมัน (%)	5.27	5.02	5.16	5.25
เยื่อใย (%)	4.82	4.42	4.74	4.97
เถ้า (%)	7.82	7.77	7.45	7.51
พลังงานรวม (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม)	4400	4380	4393	4396

หมายเหตุ กลุ่มทดลองดังนี้

1 กลุ่มควบคุม

2 กลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

3 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

4 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารระยะรุ่น (50-80 กิโลกรัม)

	กลุ่มทดลอง			
องค์ประกอบทางเคมี	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4
วัตถุแห้ง (%)	89.98	90.22	90.19	90.26
โปรตีน (%)	18.60	18.77	17.78	17.91
ไขมัน (%)	6.42	6.37	6.48	6.45
เยื่อใย (%)	5.44	5.29	5.36	5.01
เถ้า (%)	7.92	7.69	7.40	7.57
พลังงานรวม (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม)	4393	4419	4441	4448

หมายเหตุ กลุ่มทดลองดังนี้

1 กลุ่มควบคุม

2 กลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

3 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

4 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารระยะขุน (80-100 กิโลกรัม)

องค์ประกอบทางเคมี	กลุ่มทดลอง			
	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4
วัตถุแห้ง (%)	89.17	89.86	89.43	90.16
โปรตีน (%)	15.96	16.34	15.06	15.01
ไขมัน (%)	6.11	5.93	6.09	6.32
เยื่อใย (%)	5.88	5.75	5.82	5.78
เถ้า (%)	7.25	7.41	7.44	7.32
พลังงานรวม (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม)	4420	4413	4397	4421

หมายเหตุ กลุ่มทดลองดังนี้

1 กลุ่มควบคุม

2 กลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

3 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

4 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

สมรรถภาพการผลิต

1. สมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก

สมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก (น้ำหนัก 22-50 กิโลกรัม) พบว่า ระดับโปรตีน ได้แก่ ระดับควบคุม และลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโน 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอส ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อสมรรถภาพการผลิต ($P > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 7 ซึ่งเมื่อศึกษาผลของระดับโปรตีนต่ออัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กินต่อตัว-ต่อวัน และอัตราการแลกเนื้อของสุกรในระยะเล็ก พบว่ามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 8 และการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอสในการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตอบสนองต่ออัตราการเจริญเติบโตปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน และอัตราการแลกเนื้อของสุกรแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05) ดังแสดงในตารางที่ 9

2. สมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะรุ่น

สมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะรุ่น (น้ำหนัก 50-80 กิโลกรัม) พบว่า ระดับโปรตีนได้แก่ ระดับควบคุมและลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโน 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอสไม่มีอิทธิพลร่วมต่อสมรรถภาพการผลิต (P > 0.05) ดังแสดงในตารางที่ 10 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการผลิตของสุกรที่ได้รับระดับโปรตีนควบคุมและลดระดับโปรตีน 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม พบว่า อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวันและอัตราการแลกเนื้อของสุกรมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05) ดังแสดงในตารางที่ 11 ส่วนการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอสมีการตอบสนองต่ออัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน และอัตราการแลกเนื้อของสุกรที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05) ดังแสดงในตารางที่ 12

3. สมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะขุน

สมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะขุน (น้ำหนัก 80-100 กิโลกรัม) พบว่า ระดับโปรตีนได้แก่ ระดับควบคุมและลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโน 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอสไม่มีอิทธิพลร่วมต่อสมรรถภาพการผลิต (P > 0.05) ดังแสดงในตารางที่ 13 โดยสุกรที่ได้รับระดับโปรตีนควบคุมและลดระดับโปรตีน 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05) ดังแสดงในตารางที่ 14 ส่วนการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอสมีการตอบสนองต่อ อัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน และอัตราการแลกเนื้อของสุกรที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05) ดังแสดงในตารางที่ 15

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. สมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก-ขุน

สมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก-ขุน (น้ำหนัก 22-100 กิโลกรัม) พบว่า ระดับโปรตีนได้แก่ ระดับควบคุมและลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโน 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอสไม่มีอิทธิพลร่วมต่อสมรรถภาพการผลิต ($P > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 16 ซึ่งเมื่อศึกษาผลของระดับโปรตีนต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรในระยะเล็ก-ขุน พบว่าอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน และอัตราการแลกเนื้อของสุกรมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 17 และการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอสมีการตอบสนองต่ออัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน และอัตราการแลกเนื้อของสุกรที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 18

จากผลการทดลองในสุกรทุกระยะ และตลอดการทดลอง พบว่าระดับของโปรตีนและกรดอะมิโน และการเสริมเอนไซม์โปรติเอสในสูตรอาหาร ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ดังนั้นจึงสามารถวิจารณ์ผลการทดลองในแต่ละปัจจัยหลัก โดยปัจจัยแรก การลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโน 7.5 เปอร์เซ็นต์ในอาหารควบคุมโดยไม่ส่งผลเชิงลบต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรในการทดลองนี้ เกิดจากอาหารที่ใช้ในการทดลองทุกกลุ่มในแต่ละระยะมีระดับโปรตีนมากกว่าที่คำนวณไว้ โดยเฉพาะสุกรในกลุ่มลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม จึงส่งผลให้สุกรได้รับโปรตีนเพียงพอกับความต้องการของร่างกายต่อวัน เนื่องจากเมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยปริมาณโปรตีนที่สุกรได้รับต่อวันในกลุ่มควบคุม กลุ่มควบคุมร่วมกับเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และกลุ่มลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุมร่วมกับการเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเล็ก 331.82, 328.91, 317.39 และ 312.77 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ส่วนระยะรุ่น 440.45, 445.98, 436.32 และ 422.14 กรัมต่อวัน ตามลำดับ และระยะขุน 389.90, 400.00, 379.81 และ 371.35 กรัมต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งปริมาณโปรตีนที่ NRC (1998) แนะนำในสุกรระยะเล็ก รุ่น และขุน คือ 333.9, 399.13 และ 405.9 กรัมต่อวัน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนที่สุกรได้รับต่อวันในการทดลองนี้กับค่าที่ NRC (1998) แนะนำพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณโปรตีนที่สุกรได้รับต่อวันทุกระยะในแต่ละกลุ่มมีระดับใกล้เคียงหรือสูงกว่าที่ NRC (1998) แนะนำ ดังนั้นสุกรกลุ่มที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์จากกลุ่มควบคุมจึงไม่แสดงผลเชิงลบต่อสมรรถภาพการผลิต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปัจจัยที่สองการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอสในอาหารสุกรทุกระยะ และตลอดการทดลอง พบว่าการเสริมเอนไซม์ไม่ช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตของสุกร ในการทดลองนี้อาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น ชนิดของเอนไซม์โปรติเอสที่เสริมกับวัตถุดิบในอาหาร ระดับการเสริมเอนไซม์ ความคงทนของเอนไซม์ต่อกระบวนการผลิตอาหาร ความคงทนของเอนไซม์ในทางเดินอาหารของสัตว์ การทำงานร่วมกันของเอนไซม์ที่เสริมในอาหารกับเอนไซม์ภายในร่างกายสัตว์ ชนิดของแหล่งโปรตีน และอายุของสัตว์ (Simbaya *et al*., 1996) ซึ่งในการทดลองนี้มีการวิเคราะห์ enzyme activity ในอาหารที่ใช้ในการทดลองหาสมรรถภาพในสุกรรุ่น และขุน พบว่ากลุ่มไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอสในอาหารนั้นไม่พบว่ามี enzyme activity ทั้งในอาหารผงก่อนอัดเม็ด และอาหารหลังอัดเม็ด ส่วนกลุ่มที่เสริมเอนไซม์โปรติเอสมี enzyme activity ในอาหารผงก่อนอัดเม็ด และอาหารหลังการอัดเม็ด ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 1 โดยระดับ enzyme activity ของเอนไซม์โปรติเอสที่ได้จากการวิเคราะห์ในอาหารผงทั้ง 2 กลุ่มที่เสริมเอนไซม์โปรติเอสในระยะรุ่นและขุน พบว่า อาหารมีระดับ enzyme activity ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ และเมื่ออาหารผงผ่านกระบวนการอัดเม็ดพบว่า อาหารที่เสริมเอนไซม์โปรติเอสทั้ง 2 กลุ่มในระยะรุ่นและขุน มี enzyme activity มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารผงก่อนอัดเม็ด แสดงว่าเอนไซม์โปรติเอสที่ใช้ในการทดลองนี้มีความคงทนต่อกระบวนการอัดเม็ดได้

นอกจากนี้เอนไซม์โปรติเอสที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอสทำงานได้ดีในสภาวะเป็นด่าง (สุพิชญา และคณะ, 2555) เมื่อสัตว์กินอาหารที่มีเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติ-เอสเข้าไปผ่านกระเพาะอาหารที่มี pH 3.02-3.95 (Rice *et al*., 2002; Canibe *et al*., 2005) ส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ในทางเดินอาหารได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาใน *In vitro* โดยจำลองอุณหภูมิ เวลา และค่า pH ใกล้เคียงกับกระเพาะอาหารของไก่เนื้อพบว่า สภาวะความเป็นกรดส่งผลกระทบต่อความสามารถของเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอสในการย่อยของโปรตีนได้ในหลอด-ทดลองลดลง (สุพิชญา และคณะ, 2555) เนื่องจากความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อการแตกของไอออน (ionization) ของกรดอะมิโนบางชนิด เช่น ซิสติน ฮิสติดีน ที่อยู่บริเวณ active site ของเอนไซม์ ส่งผลให้เอนไซม์เกิดการเปลี่ยนโครงรูปสามมิติไปอยู่ในรูปที่ไม่เหมาะสมต่อการจับกับสารตั้งต้น หรือมีผลต่อการแตกไอออนของสารตั้งต้น หรือโคแฟกเตอร์ ทำให้การจับของสารตั้งต้นกับเอนไซม์เปลี่ยนแปลงไป (ปราณี, 2547)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 อิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก (22-50 กิโลกรัม)

	กลุ่มทดลอง					
สมรรถภาพการผลิต	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4	SE	P value
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	22.19	22.35	22.40	22.27	-	-
น้ำหนักสิ้นสุด (กิโลกรัม)	58.46	57.99	57.94	58.47	-	-
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	740.39	727.31	725.34	738.79	7.224	0.3700
ปริมาณอาหารที่กิน (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	1.637	1.638	1.674	1.647	0.016	0.6712
อัตราการแลกเนื้อ	2.212	2.252	2.311	2.231	0.020	0.1584
อัตราการตาย (%)	1.67	0	1.67	0	-	-

หมายเหตุ กลุ่มทดลองดังนี้

1 กลุ่มควบคุม

2 กลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

3 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

4 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

– หมายถึง ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 อิทธิพลของระดับโปรตีนต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก

สมรรถภาพการผลิต	ระดับโปรตีน		SE	P value
	ควบคุม	ลดระดับโปรตีน		
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	22.27	22.33	-	-
น้ำหนักสิ้นสุด (กิโลกรัม)	58.23	58.21	-	-
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	733.85	732.07	0.894	0.9028
ปริมาณอาหารที่กิน (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	1.637	1.661	0.012	0.4778
อัตราการแลกเนื้อ	2.232	2.271	0.019	0.3582
อัตราการตาย (%)	0.83	0.83	-	-

หมายเหตุ – หมายถึง ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 9 อิทธิพลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก

สมรรถภาพการผลิต	เอนไซม์โปรติเอส		SE	P value
	ไม่เสริมเอนไซม์	เสริมเอนไซม์		
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	22.29	22.31	-	-
น้ำหนักสิ้นสุด (กิโลกรัม)	58.20	58.23	-	-
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	732.87	733.05	0.094	0.9898
ปริมาณอาหารที่กิน (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	1.656	1.642	0.007	0.6898
อัตราการแลกเนื้อ	2.261	2.241	0.034	0.2829
อัตราการตาย (%)	1.67	0	-	-

หมายเหตุ – หมายถึง ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 อิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะรุ่น (50-80 กิโลกรัม)

	กลุ่มทดลอง					
สมรรถภาพการผลิต	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4	SE	P value
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	58.46	57.99	57.94	58.47	-	-
น้ำหนักสิ้นสุด (กิโลกรัม)	85.71	85.63	85.55	85.86	-	-
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	778.33	789.70	788.88	782.67	14.556	0.7660
ปริมาณอาหารที่กิน (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	2.368	2.376	2.454	2.357	0.035	0.4590
อัตราการแลกเนื้อ	3.042	3.016	3.119	3.010	0.030	0.5046
อัตราการตาย (%)	0	1.67	1.67	0	-	-

หมายเหตุ กลุ่มทดลองดังนี้

1 กลุ่มควบคุม

2 กลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

3 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

4 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

– หมายถึง ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 อิทธิพลของระดับโปรตีนต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะรุ่น

สมรรถภาพการผลิต	ระดับโปรตีน		SE	P value
	ควบคุม	ลดระดับโปรตีน		
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	58.23	58.21	-	-
น้ำหนักสิ้นสุด (กิโลกรัม)	85.67	85.71	-	-
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	784.01	785.78	0.883	0.9523
ปริมาณอาหารที่กิน (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	2.372	2.405	0.017	0.6382
อัตราการแลกเนื้อ	3.029	3.065	0.018	0.5692
อัตราการตาย (%)	0.83	0.83	-	-

หมายเหตุ – หมายถึง ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 12 อิทธิพลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะรุ่น

สมรรถภาพการผลิต	เอนไซม์โปรติเอส		SE	P value
	ไม่เสริมเอนไซม์	เสริมเอนไซม์		
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	58.20	58.23	-	-
น้ำหนักสิ้นสุด (กิโลกรัม)	85.63	85.74	-	-
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	783.61	786.18	1.289	0.9304
ปริมาณอาหารที่กิน (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	2.411	2.367	0.022	0.5237
อัตราการแลกเนื้อ	3.080	3.013	0.034	0.2829
อัตราการตาย (%)	0.83	0.83	-	-

หมายเหตุ – หมายถึง ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 อิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะขุน (80-100 กิโลกรัม)

สมรรถภาพการผลิต	กลุ่มทดลอง				SE	P value
	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4		
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	85.71	85.63	85.55	85.86	-	-
น้ำหนักสิ้นสุด (กิโลกรัม)	101.30	101.21	101.06	101.29	-	-
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	820.60	819.92	816.26	811.90	15.055	0.9518
ปริมาณอาหารที่กิน (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	2.443	2.448	2.522	2.474	0.048	0.4707
อัตราการแลกเนื้อ	2.995	2.997	3.103	3.064	0.018	0.7916
อัตราการตาย (%)	1.67	1.67	0	0	-	-

หมายเหตุ กลุ่มอาหารทดลองดังนี้

1 กลุ่มควบคุม

2 กลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

3 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

4 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

– หมายถึง ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 อิทธิพลของระดับโปรตีนต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะขุน

สมรรถภาพการผลิต	ระดับโปรตีน		SE	P value
	ควบคุม	ลดระดับโปรตีน		
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	85.67	85.71	-	-
น้ำหนักสิ้นสุด (กิโลกรัม)	101.25	101.17	-	-
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	820.26	814.08	2.587	0.8395
ปริมาณอาหารที่กิน (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	2.445	2.498	0.007	0.1665
อัตราการแลกเนื้อ	2.996	3.084	0.033	0.8320
อัตราการตาย (%)	1.67	0	-	-

หมายเหตุ – หมายถึง ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 15 อิทธิพลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะขุน

สมรรถภาพการผลิต	เอนไซม์โปรติเอส		SE	P value
	ไม่เสริมเอนไซม์	เสริมเอนไซม์		
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	85.63	85.74	-	-
น้ำหนักสิ้นสุด (กิโลกรัม)	101.18	101.25	-	-
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	818.43	815.91	1.555	0.9342
ปริมาณอาหารที่กิน (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	2.482	2.461	0.018	0.5605
อัตราการแลกเนื้อ	3.049	3.030	0.026	0.8437
อัตราการตาย (%)	0.83	0.83	-	-

หมายเหตุ – หมายถึง ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 อิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก-ขุน (22-100 กิโลกรัม)

	กลุ่มทดลอง					
สมรรถภาพการผลิต	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4	SE	P value
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	22.19	22.35	22.40	22.27	0.211	0.9800
น้ำหนักสิ้นสุด (กิโลกรัม)	101.30	101.21	101.06	101.29	0.868	0.9283
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	766.22	766.24	762.65	769.45	8.197	0.8384
ปริมาณอาหารที่กิน (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	2.034	2.038	2.095	2.041	0.018	0.4254
อัตราการแลกเนื้อ	2.656	2.658	2.750	2.651	0.018	0.1718
อัตราการตาย (%)	3.33	3.33	3.33	0	-	-

หมายเหตุ กลุ่มอาหารทดลองดังนี้

1 กลุ่มควบคุม

2 กลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

3 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

4 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

– หมายถึง ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 อิทธิพลของระดับโปรตีนต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก-ขุน

สมรรถภาพการผลิต	ระดับโปรตีน		SE	P value
	ควบคุม	ลดระดับโปรตีน		
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	22.27	22.33	0.047	0.8775
น้ำหนักสิ้นสุด (กิโลกรัม)	101.25	101.17	0.029	0.9649
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	766.2	766.1	0.089	0.9915
ปริมาณอาหารที่กิน (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	2.036	2.068	0.016	0.3850
อัตราการแลกเนื้อ	2.657	2.701	0.022	0.2360
อัตราการตาย (%)	3.33	1.67	-	-

หมายเหตุ – หมายถึง ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 18 อิทธิพลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะเล็ก-ขุน

สมรรถภาพการผลิต	เอนไซม์โปรติเอส		SE	P value
	ไม่เสริมเอนไซม์	เสริมเอนไซม์		
น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	22.29	22.31	0.011	0.9704
น้ำหนักสิ้นสุด (กิโลกรัม)	101.18	101.25	0.028	0.9695
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	764.44	767.85	1.706	0.8373
ปริมาณอาหารที่กิน (กิโลกรัม/ตัว/วัน)	2.064	2.039	0.013	0.4879
อัตราการแลกเนื้อ	2.703	2.655	0.001	0.1946
อัตราการตาย (%)	3.33	1.67	-	-

หมายเหตุ – หมายถึง ไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คุณภาพซาก

การศึกษาลักษณะซากสุกรที่กินอาหารทดลองสูตรต่างๆ เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยสุกรมีน้ำหนักสิ้นสุด 100 กิโลกรัม พบว่าระดับโปรตีนได้แก่ กลุ่มควบคุมและลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโน 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอสไม่มีอิทธิพลร่วมต่อคุณภาพซาก ($P > 0.05$) ได้แก่ เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันแต่ความหนาไขมันสันหลังมีแนวโน้มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.052$) โดยพบว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุมร่วมกับเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มความหนาไขมันสันหลังต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆดังแสดงในตารางที่ 19 ส่วนปัจจัยของระดับโปรตีนพบว่า สุกรที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม และลดระดับโปรตีน 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม มีคุณภาพซากแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 20 และปัจจัยการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอส พบว่ามีการตอบสนองต่อคุณภาพซากแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 21

ส่วนปัจจัยของระดับโปรตีนในการทดลองนี้พบว่า ระดับโปรตีนได้แก่ กลุ่มควบคุมและลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโน 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุมไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน และความหนาไขมันสันหลัง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Le Bellego *et al.* (2002) พบว่าเมื่อให้สุกรขุนได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 17.5 และ 13.7 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสุกรที่ได้รับอาหารทั้ง 2 กลุ่มมีคุณภาพซาก และความหนาไขมันสันหลังแตกต่างกันอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งในการทดลองนี้การลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง โดยไม่ส่งผลต่อคุณภาพซาก เนื่องจากการที่ระดับโปรตีนในอาหารทุกกลุ่มทดลองมีระดับสูงกว่าที่คำนวณไว้ ส่งผลให้สุกรในกลุ่มลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโน 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุมได้รับโปรตีนเพียงพอกับความต้องการ ดังนั้นจึงไม่แสดงผลในเชิงลบต่อคุณภาพซาก ส่วนปัจจัยของการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอส พบว่าการเสริมเอนไซม์โปรติเอส ส่งผลให้คุณภาพซากแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการรายงานการเสริมเอนไซม์โปรติเอสที่ระดับ 0, 0.25, 0.50 และ 0.75 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเสริมเอนไซม์ที่ระดับต่างๆ ส่งผลให้คุณภาพซากแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (Reyna *et al*., 2006) และจากรายงานของ Beal *et al.* (1998) พบว่าเมื่อเสริมเอนไซม์โปรติเอสในอาหารสุกรระยะรุ่นและขุนร่วมกับการใช้กากถั่วเหลืองดิบและกากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการไมโครไนเซชั่นเป็นแหล่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โปรตีน พบว่าการเสริมเอนไซม์โปรติเอสไม่มีผลในการปรับปรุงสัดส่วนของเนื้อแดงต่อไขมันในสุกรกลุ่มที่ใช้กากถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการไมโครไนเซชั่น ($P > 0.05$) แต่การเสริมเอนไซม์โปรติเอสส่งผลให้สัดส่วนของเนื้อ-แดงต่อไขมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในสุกรกลุ่มที่ใช้กากถั่วเหลืองดิบเป็นแหล่งโปรตีน ซึ่งในการทดลองนี้ใช้แหล่งโปรตีนจากกากถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อนและเนื้อและกระดูก ดังนั้นจึงมีสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะต่ำ นอกจากนี้การเสริมเอนไซม์ไม่ปรับปรุงคุณภาพซาก เนื่องจากสภาวะความเป็นกรดในกระเพาะอาหาร ส่งผลกระทบต่อความสามารถของเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอสในการย่อยของโปรตีนได้ลดลง (สุพิชญา และคณะ, 2555) ดังนั้นการเสริมเอนไซม์โปรติเอสจึงไม่ปรับปรุงคุณภาพซากของสุกรขุนในการทดลองนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 19 อิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อคุณภาพซาก

	กลุ่มทดลอง					
คุณภาพซาก	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4	SE	P value
ความหนาไขมันสันหลัง (ซม.)	1.51	1.58	1.58	1.47	0.023	0.0516
พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (ซม.^{2})	40.07	40.29	40.51	40.17	0.221	0.4141
ปริมาณเนื้อแดง (%)	55.00	54.94	54.93	55.25	0.108	0.4672

หมายเหตุ กลุ่มอาหารทดลองดังนี้

1 กลุ่มควบคุม

2 กลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

3 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

4 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 20 อิทธิพลของระดับโปรตีนต่อคุณภาพซาก

	ระดับโปรตีน		SE	P value
คุณภาพซาก	ควบคุม	ลดระดับโปรตีน		
ความหนาไขมันสันหลัง (ซม.)	1.55	1.52	0.036	0.4136
พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (ซม.^{2})	40.18	40.25	0.047	0.9089
ปริมาณเนื้อแดง (%)	54.97	55.09	0.131	0.5169

ตารางที่ 21 อิทธิพลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อคุณภาพซาก

	เอนไซม์โปรติเอส			
คุณภาพซาก	ไม่เสริมเอนไซม์	เสริมเอนไซม์	SE	P value
ความหนาไขมันสันหลัง (ซม.)	1.55	1.51	0.045	0.3021
พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (ซม.^{2})	40.31	40.13	0.169	0.6834
ปริมาณเนื้อแดง (%)	54.97	55.09	0.152	0.4522

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต้นทุนการผลิต

จากผลการทดลองเสริมเอนไซม์โปรติเอสร่วมกับการลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรทั้งในด้านอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณการกินอาหารต่อวันต่อตัวและอัตราการแลกเนื้อ พบว่าไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (P>0.05) ดังนั้นต้นทุนการผลิตในส่วนนี้จึงเป็นผลมาจากราคาของอาหาร โดยในการผลิตอาหารสุกรในแต่ละระยะดังแสดงในตารางที่ 22 การลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุมพบว่า ทำให้ต้นทุนค่าอาหาร(บาทต่อกิโลกรัม) สุกรตลอดระยะการทดลองต่ำกว่ากลุ่มควบคุม โดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 บาทต่อกิโลกรัม หรือเท่ากับ 200 บาทต่อตันอาหาร จากการทดลองนี้ สุกรกินอาหารเฉลี่ยต่อตัวเท่ากับ 205 กิโลกรัม ตลอดระยะการทดลอง ดังนั้นจะลดต้นทุนค่าอาหารลงได้เท่ากับ 41 บาทต่อตัว ส่วนอาหารกลุ่มลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์จะมีต้นทุนค่าอาหารที่ใช้ในสูตรต่ำกว่ากลุ่มควบคุม โดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.067 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งต้นทุนการเสริมเอนไซม์โปรติเอสในอาหารร่วมกับการลดระดับโปรตีนในอาหารนั้นขึ้นกับ ราคาของแหล่งโปรตีน กรดอะมิโนสังเคราะห์ที่ใช้ในการปรับสมดุลกรดอะมิโน และเอนไซม์โปรติเอสที่เสริมในอาหาร ซึ่งปัจจุบันราคาวัตถุดิบอาหารมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากความต้องการอาหารสำหรับคนบริโภคมากขึ้น ร่วมกับการนำวัตถุดิบอาหารสัตว์มาเป็นแหล่งพลังงานทดแทน ทำให้มีการใช้วัตถุดิบทดแทนมากขึ้น ประกอบกับผู้ผลิตเอนไซม์มีการพัฒนาคุณภาพเอนไซม์เพื่อลดต้นทุนการผลิตเอนไซม์แข่งขันกันในตลาด ดังนั้นในอนาคตการเสริมเอนไซม์จึงน่าจะเป็นช่องทางหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนการผลิตสัตว์ลดลงได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 22 ต้นทุนค่าอาหารสุกร (บาทต่อกิโลกรัม) ในการทดลองที่ 1

	กลุ่มทดลอง			
ระยะสุกร	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4
สุกรเล็ก	10.61	10.74	10.38	10.51
สุกรรุ่น	10.16	10.29	9.94	10.07
สุกรขุน	9.66	9.79	9.52	9.65

หมายเหตุ กลุ่มอาหารทดลองดังนี้

1 กลุ่มควบคุม

2 กลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

3 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

4 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

การคำนวณต้นทุนค่าอาหารคิดจากราคาวัตถุดิบช่วงเดือนมิถุนายน ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 2 การหาค่าการย่อยได้แบบปรากฏของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานในสุกรน้ำหนัก 60 กิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของโภชนะต่างๆ ในอาหารที่ใช้ในการทดลองที่ 2 แสดงไว้ในตารางที่ 23 พบว่าค่าวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุแห้ง ไขมัน เยื่อใย เถ้าและพลังงานรวมของอาหารทุกกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าวิเคราะห์ทางเคมีของโปรตีนทุกกลุ่มมากกว่าที่คำนวณไว้ แต่ค่ามีแนวโน้มทิศทางเดียวกันในกลุ่มควบคุม และกลุ่มลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม โดยระดับโปรตีนที่วิเคราะห์ได้มากกว่าที่คำนวณของกลุ่มควบคุม กลุ่มควบคุมและเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 0.48, 0.79, 1.18 และ 1.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่การทดลองนี้มีการวิเคราะห์ระดับโปรตีนในวัตถุดิบที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีนพบว่า ระดับโปรตีนมีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณไว้ ดังนั้นระดับโปรตีนในอาหารแต่ละกลุ่มที่มากกว่าที่คำนวณในการทดลองนี้ อาจจะเกิดจากวัตถุดิบอื่นที่ใช้ในการทดลองนี้มีระดับโปรตีนสูงกว่าค่าที่นำมาใช้ในการคำนวณ หรือวัตถุดิบที่ใช้มีความแปรปรวนของระดับโภชนะสูง ส่งผลให้ตัวอย่างวัตถุดิบที่นำมาวิเคราะห์มีระดับโปรตีนต่ำกว่าระดับโปรตีนจริงในอาหาร ทำให้อาหารที่ได้มีระดับโปรตีนสูงกว่าคำนวณไว้

การย่อยได้แบบปรากฏของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงาน

ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างระดับโปรตีน ได้แก่ กลุ่มควบคุมและลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และการเสริมและไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อการย่อยได้แบบปรากฏของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของสุกรน้ำหนัก 60 กิโลกรัม แสดงไว้ในตารางที่ 24 ส่วนผลของปัจจัยระดับโปรตีนและกรดอะมิโนต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีนและพลังงานของสุกร แสดงในตารางที่ 25 และผลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อการย่อยได้แบบปรากฏของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของสุกร แสดงในตารางที่ 26

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 23 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารระยะรุ่น (60 กิโลกรัม) การทดลองที่ 2

องค์ประกอบทางเคมี	กลุ่มทดลอง			
	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4
วัตถุแห้ง (%)	89.10	89.26	88.93	89.16
โปรตีน (%)	17.48	17.79	16.88	16.84
ไขมัน (%)	5.78	6.08	5.80	5.64
เยื่อใย (%)	5.37	5.30	5.48	5.29
เถ้า (%)	8.18	8.65	7.79	7.65
พลังงานรวม (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม)	4521	4459	4443	4514

หมายเหตุ กลุ่มอาหารทดลองดังนี้

1 กลุ่มควบคุม

2 กลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

3 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

4 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองพบว่าระดับของโปรตีนและกรดอะมิโน และการเสริมเอนไซม์โปรติเอสในสูตรอาหาร ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ดังนั้นจึงสามารถวิจารณ์ผลการทดลองในแต่ละปัจจัยหลัก ซึ่งการศึกษาระดับโปรตีนในการทดลองนี้พบว่า เมื่อลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนในอาหาร ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้แบบปรากฏของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงาน ตลอดจนค่าพลังงานย่อยได้แบบปรากฏและค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ในสุกรกลุ่มควบคุม พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนมีแนวโน้มดีกว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Deng *et al*. (2007) รายงานว่าเมื่อให้อาหารที่มีระดับโปรตีน 18.2, 16.5, 15.5, 14.5 และ 13.6 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สัมประสิทธิ์การย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ในกลุ่มที่ได้รับโปรตีนที่ระดับ 13.6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนต่ำกว่ากลุ่มอื่น จากการทดลองนี้ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนในสูตรอาหาร โดยการลดสัดส่วนของแหล่งโปรตีนคุณภาพดี เช่น กากถั่วเหลือง และเนื้อและกระดูกป่นลง ทำให้สัดส่วนของข้าวโพดในสูตรอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบที่ให้พลังงานเป็นหลัก และมีโปรตีนประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ (สาโรจ, 2547) แต่โปรตีนในข้าวโพดมีคุณภาพต่ำกว่ากากถั่วเหลือง และเนื้อและกระดูกป่น ดังนั้นสุกรกลุ่มควบคุมจึงมีค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนที่ดีกว่าสุกรกลุ่มที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม เนื่องจากคุณภาพของแหล่งโปรตีนในอาหารที่เปลี่ยนไป

ส่วนการเสริมเอนไซม์โปรติเอสในการทดลองนี้พบว่า การเสริมเอนไซม์ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้แบบปรากฏของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงาน ตลอดจนค่าพลังงานย่อยได้แบบปรากฏ และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) จากการทดลองนี้มีการวิเคราะห์ enzyme activity ในอาหารพบว่า กลุ่มที่เสริมเอนไซม์โปรติเอสมี enzyme activity ในอาหาร ส่วนกลุ่มไม่เสริมเอนไซม์โปรติเอสในอาหารนั้นไม่พบว่ามี enzyme activity ในอาหาร ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 1 และพบว่า enzyme activity ของเอนไซม์โปรติ-เอสที่ได้จากการวิเคราะห์ในอาหารกลุ่มที่เสริมเอนไซม์โปรติเอส ทั้ง 2 กลุ่ม พบว่าอาหารมีระดับ enzyme activity มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยเป็นไปตามที่บริษัทกำหนดไว้ แต่ผลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสในการทดลองนี้ไม่ปรับปรุงค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีน ซึ่งขัดแย้งกับการรายงานของ Wang *et al.* (2010) ศึกษาการเสริมอัลคาไลน์โปรติเอสต่อค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนในสุกรอนุบาล พบว่าเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอสสามารถปรับปรุงค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนในอาหาร เนื่องจากการทดลองดังกล่าวศึกษาในสุกรวัยอ่อน ซึ่งมีพัฒนาการของระบบน้ำย่อยไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้กระเพาะอาหารในสุกรวัยอ่อนมีการผลิต HCl ได้ไม่ดี (Leibholz, 1984) ดังนั้นเมื่อเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอสผ่านเข้าไปในกระเพาะสุกรวัยอ่อนที่มี pH 4.5-7 ทำให้เอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอสสามารถคงทนในกระเพาะอาหารและผ่านไปที่ลำไส้เล็ก เพื่อย่อยโปรตีนในอาหารของทางเดินอาหารได้ ส่งผลให้การเสริมเอนไซม์อัลคาไลน์-โปรติเอสในสัตว์ วัยอ่อนสามารถปรับปรุงค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนในอาหารได้ แต่จากรายงานของ Yadav and Sah (1996) และ O'Doherty and Forde (1999) พบว่าการเสริมเอนไซม์ไม่ปรับปรุงค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนในสัตว์ เนื่องจากทั้ง 2 การทดลองนี้ใช้สัตว์ที่มีพัฒนาการของระบบน้ำย่อยสมบูรณ์แล้ว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ที่ทดลองในสุกรระยะรุ่น ซึ่งสุกรรุ่นสามารถผลิตเอนไซม์โปรติเอส และ HCl ได้สมบูรณ์แล้ว ดังนั้นกระเพาะอาหารสุกรที่มีสภาวะความเป็นกรด ส่งผลให้เอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอสจึงไม่ปรับปรุงค่าการย่อยได้แบบปรากฏของโปรตีนในอาหารได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลของสมมุติฐานการทดลอง

จากผลการทดลองทั้ง 2 การทดลอง สามารถสรุปได้ว่าการลดระดับโปรตีนและกรด-อะมิโน 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุมและการเสริมเอนไซม์โปรติเอสในอาหารสุกรระยะเล็ก รุ่น และขุน ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซาก ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ก่อนเริ่มการทดลอง เนื่องจากระดับโปรตีนในอาหารสูงกว่าที่กำหนดไว้ส่งผลให้สุกรไม่ได้รับการลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนในอาหารลงดังที่ได้กำหนดไว้ และการเสริมเอนไซม์-โปรติเอสไม่สามารถปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซาก นอกจากนี้การที่ระดับโปรตีนในอาหารสูงกว่าที่กำหนดไว้ ทำให้การลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโน 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุมต่อค่าการย่อยได้ของโปรตีนในอาหารของสุกรรุ่นไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ตลอดจนการเสริมเอนไซม์โปรติเอสไม่ปรับปรุงค่าการย่อยได้ของโปรตีนในอาหารสุกรรุ่น ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 24 อิทธิพลร่วมของระดับโปรตีนและการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของสุกรระยะรุ่น (60 กิโลกรัม)

พารามิเตอร์	กลุ่มทดลอง					
	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4	SE	P value
ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะ						
วัตถุแห้ง	73.70	73.96	72.50	73.57	0.372	0.9775
โปรตีน	79.28	79.39	76.54	78.69	0.568	0.3881
พลังงาน	76.34	76.47	75.31	76.07	0.357	0.6640
พลังงาน (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม)						
พลังงานย่อยได้แบบปรากฏ	3464	3416	3397	3439	15.854	0.1843
พลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏ	3351	3310	3275	3368	21.632	0.1449

หมายเหตุ กลุ่มอาหารทดลองดังนี้

1 กลุ่มควบคุม

2 กลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

3 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

4 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 25 อิทธิพลของระดับโปรตีนต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของสุกรระยะรุ่น (60 กิโลกรัม)

พารามิเตอร์	ระดับโปรตีน		SE	P value
	ควบคุม	ลดระดับโปรตีน		
ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะ				
วัตถุแห้ง	73.82	73.42	0.205	0.5901
โปรตีน	79.33	77.74	0.855	0.1550
พลังงาน	76.40	75.73	0.358	0.3337
พลังงาน (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม)				
พลังงานย่อยได้แบบปรากฏ	3443	3420	11.136	0.4939
พลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏ	3333	3326	4.650	0.8329

ตารางที่ 26 อิทธิพลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานของสุกรระยะรุ่น (60 กิโลกรัม)

พารามิเตอร์	เอนไซม์โปรติเอส		SE	P value
	ไม่เสริมเอนไซม์	เสริมเอนไซม์		
ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะ				
วัตถุแห้ง	73.48	73.74	0.142	0.7093
โปรตีน	78.07	79.01	0.562	0.3403
พลังงาน	75.88	76.25	0.221	0.5464
พลังงาน (กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม)				
พลังงานย่อยได้แบบปรากฏ	3434	3429	1.452	0.9283
พลังงานใช้ประโยชน์ได้แบบปรากฏ	3317	3342	13.031	0.5565

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ภายใต้เงื่อนไขการทดลองนี้การเสริมเอนไซม์โปรติเอสร่วมกับการลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของอาหารควบคุมไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกร

2. การเสริมเอนไซม์โปรติเอสร่วมกับการลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของอาหารควบคุมไม่มีผลต่อคุณภาพซาก

3. ผลของการเสริมเอนไซม์โปรติเอสร่วมกับการลดระดับโปรตีน และกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของอาหารควบคุมไม่มีผลต่อค่าการย่อยได้ของโภชนะ

ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองในครั้งนี้ผลการลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโน 7.5 เปอร์เซ็นต์ไม่ส่งผลเชิงลบต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซาก ตลอดจนค่าการย่อยได้ของโภชนะ ดังนั้นงานครั้งต่อไปควรลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนต่ำลง เพื่อศึกษาหาระดับโปรตีนและกรดอะมิโนที่ทำให้สุกรแสดงสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากในเชิงลบสุกร

2. การทดลองนี้พบว่าผลการเสริมเอนไซม์โปรติเอสไม่ส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซาก ตลอดจนค่าการย่อยได้ของโภชนะ ดังนั้นจึงควรศึกษาประสิทธิภาพของเอนไซม์ โดยพิจารณาการทำงานของเอนไซม์เมื่อผ่านความเป็นกรดในทางเดินอาหารโดยเฉพาะกระเพาะอาหาร และการทำงานร่วมกันของเอนไซม์โปรติเอสที่เสริมกับเอนไซม์ภายในร่างกายสัตว์ เนื่องจากกระบวนการที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์เมื่อเข้าไปในร่างกายสัตว์ได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

นวลจันทร์ พารักษา และสินชัย พารักษา. 2544. **อาหารสัตว์**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นัยนา บุญทวียุวัฒน์. 2546. **ชีวเคมีทางโภชนาการ**. บริษัทซิกม่า ดีไซน์กราฟฟิค, กรุงเทพฯ.

บุญล้อม ชีวอิสระกุล. 2546. **ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์**. ปรับปรุงครั้งที่ 2. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ปราณี อ่านเปรื่อง. 2547. **เอนไซม์ทางอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 4. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สาโรจน์ ค้าเจริญ. 2547. **อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, ขอนแก่น.

สุดธิดา แสงยนต์. 2548. **สมบัติของเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอสจากแบคทีเรียที่แยกได้จากดิน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุพิชญา เจริญศิลป์ ยุวเรศ เรืองพานิช เสกสม อาตมางกูร สุกัญญา รัตนทับทิมทอง และขุนพล พงษ์มณี. 2555. การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสที่ใช้เสริมในอาหารสัตว์แบบ *in–vitro* ภายใต้สภาพค่าความเป็นกรด–ด่างที่แตกต่างกัน. น.51-57. ใน **รายงานการทางประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50 (สาขาสัตว์)** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Ao, X., S.M. Hong, H.Y. Park, K.H. Son, B.H. Ku, D. H. Shin and J.H. Kim. 2010. Dietary supplementation with types of enzyme preparation improves nutrient digestibility in growing pigs, pp. 376. *In* **Nonruminant Nutrition: Enzymes.** Available Source: http://www.adsa.asas.org/meetings/2010/abstracts/0373.pdf. August 16, 2010.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

A.O.A.C. 1990. **Official Methods of Analysis**. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Virginia.

Beal, J.D., P.H. Brooks and H. Schulze. 1998. The effect of protease pre-treatment of raw or micronized soybean meal on the growth performance and carcass composition in liquid fed grower and finisher pigs, pp.161. **British Society of Animal Science Winter Meeting**, Scarborough, UK.

Bedford, M.R. and A.J. Morgan. 1995. The use of enzymes in canula-based diets, pp. 125-131. *In* W.V. Hartingsveldt, M. Hessing, J. P. van der Lugt and W. A. C. Somes, eds. **The 2 nd European Symposium on Feed Enzymes.** Proc. ESFE2. Noordwijkerhout, The Netherlands.

Canibe, N., O. Højberg, S. Højsgaard and B.B. Jensen. 2005. Feed physical form and formic acid addition to the feed affect the gastrointestinal ecology and growth performance of growing pigs. **J. Anim. Sci.** 83:1287-1302.

Czarnocki, J., I.R. Sibbald and E.V. Evand. 1961. The determination of chromic oxide in sample of feed and excreta by acid digestion and spectrophotometry. **Can. J. Anim. Sci.** 41: 167-179.

Deng, D., R.L. Huang, T.J. Li, G.Y. Wu, M.Y. Xie, Z.R. Tang, P. Kang, Y.M. Zhang, M.Z. Fan, X.F. Kong, Z. Ruan, H. Xiong, Z.Y. Deng and Y.L. Yin. 2007. Nitrogen balance in barrow fed low-protein diets supplemented with essential amino acids. **J. Lives. Sci.** 109: 220-223.

Dozier III, W.A., N.E. Ward and S.L. Vieira. 2010. Effect of Ronozyme ProAct supplementation on growth and meat yield response of broilers during a forty-two-day production, pp. 375. *In* **Nonruminant Nutrition: Enzymes.** Available Source: http://www.adsa.asas.org/meetings/2010/abstracts/0373.pdf, August 16, 2010.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Fedkiv, O., S. Rengman, B.R. Westrom and S.G. Pierzynomski. 2009. Growth is dependent on the exocrine pancrease function in young weaners but not in growing-finishing pigs. **J. Phys. Pharmacol.** 3 (60): 55-59.

Gabert, V.M., H. Jørgensen and C.M. Nyachoti. 2001. Bioavailability of amino acids in feedstuffs for swine, pp. 169-173. *In* A.J. Lewis and L.L. Southern, eds. **Swine Nutrition.** 2nd ed. CRC Press, Washington, D.C.

Grala, W., M.W.A. Verstegen, A.J.M. Jansman, J. Huisman, P. van Leeuwen and S. Tamminga. 1999. Effects of ileal endogenous nitrogen losses and dietary amino acid supplementation on nitrogen retention in growing pigs. **J. Anim. Feed Sci. Tech.** 80: 207-222.

Gupta, R., Q.K. Beg and P. Lorenz. 2002. Bacterial alkaline protease: molecular approaches and industrial applications. **Appl. Micro. Bio.** 59: 15-32.

Heugten, E.V. 2010. Growing-finishing swine nutrient recommendations and feeding management, pp. 80-96. *In* D.E. Reese, M.C. Shannon and D.J. Meisinger, eds. N**ational Swine Nutrition Guide.** Iowa. Available Source: http://www.usporkcenter.org/FileLibrary/External/USPCE/NSNG/NSNG-Growing-Finishing%20Nutrient%20Recommendations(1).pdf, January 8, 2012.

International Union of Biochemistry and Molecular Biology. 1992. **Enzyme nomenclature.** Academic press, Inc., Orlando.

Jo, J.K., P.L. Shinde, J.S. Kim, Y.W. Kim, K.H. Kim, J.D. Lohakare, C.S. Ra, J.H. Lee and B. J. Chae. 2010. Effects of supplementing different enzymes on performance, nutrient digestibility and blood metabolites in growing pigs, pp. 377. *In* **Nonruminant Nutrition: Enzymes.** Available Source: http://www.adsa.asas.org/meetings/2010/abstracts/0373.pdf, August 16, 2010.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kendall, D.C., K.M. Lemenager, B.T. Richert, A.T. Sutton, J.W. Frank, B.A. Belstra and D. Bundy. 1998. Effects of intact protein diets versus reduced crude protein diets supplemented with synthetic amino acids on pig performance and ammonia levels in swine buildings, **Swine Day**. Purdue University, Lafayette. . 141-146.

Kerr, B.J. 1995. Nutritional strategies for waste reduction management: nitrogen, pp. 47-68. *In* J.B. Longenecker and J.W.Spears, eds. **New Horizons in Animal Nutrition and Health**. Raleigh, NC.

_____, L.L. Southern, T.D. Binder, K.G. Friesen and R.A. Easter. 2003. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. **J. Anim. Sci**. 81: 3075-3087.

Kumar, C.G. and H. Takagi. 1999. Microbial alkaline protease: from a bioindustrial viewpoint. **Biotech. Advances.** 17: 561-594.

Latimier, P., J.Y. Dourmad, A. Corlouer, J. Chauvel, J. Le Pan, M. Gautier and D. Lesaicherre. 1993. Effect of three protein feeding strategies, for growing-finishing pigs on growth performance and nitrogen output in the slurry. **J. Rech. Proc. France.** 25: 295.

Le Bellego, L., J. Van Milgen and J. Noblet. 2002. Effect of high temperature and low protein diets on the performance of growing-finishing pigs. **J. Anim. Sci**. 80: 691-701.

Leibholz, J. 1984. Digestion in the pig. **J. Anim. Production Australia**. 15: 145-157.

Leikus, R. and J. Norviliene. 2006. The effect of enzymes on the quality of pig performance. **Vet. Zootech.** 36 (58): 1392-2130.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Manangi, M.K., M.E. Wehmeyer, J.D. Garlich, N. Odetallah and M. Vazquez-Anon. 2009. The effect of a protease on performance of broliers fed corn-soybean meal diets containing different levels of crude protein and amino acid,: 69. *In* **The 98th Annual Meeting Poultry Science Association**. Raleigh, North Carolina.

National Research Council (NRC). 1998. **Nutrient Requirements of Domestic Animals**. Nutrient Requirements of Swine. 10th rev. ed. National Academy Press, Washington, D.C.

Novus International Inc.. 2007. **Assay of Proteolytic activity via azocasein digestion.** No: MRP 2017-v1**.**

O'Doherty, J.V. and S. Forde. 1999. The effect of protease and alpha galactosidase supplementation on the nutritive value of peas for growing and finishing pigs. **Irish J. Agri. Food Res**. 38: 217-226.

Olajuyigbe, F.M. and J.O. Ajele. 2008. Some properties of extracellular protease from *Bacillus licheniformis* Lbbl-11 isolated from "iru", A traditionally fermented african locust bean condiment. **Global J. Biotech. Biochem**. 3 (1): 42-46.

Rao, M.B., A. M. Tanksale, M.S. Ghatge and V.V. Deshpande. 1998. Molecular and biotechnological aspects of microbial proteases. **Microbiol. Mol. Biol. Rev.** 62 (3): 597-635.

Reyna, L., J.L. Figueroa, V. Zamora, J.L. Cordero, M.T. Sanchez-Torres and M. Cuca. 2006. Addition of protease to standard diet or low-protein, amino acid-supplemented, sorghum-soybean meal diets for growing-finishing pigs. **J. Anim. Vet.** 5 (12): 1202-1208.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Rice, J.P., R.S. Pleasant and J.S. Radcliffe. 2002. The effect of citric acid, Phytase and, their interaction on gastric pH, and Ca, P, and dry matter digestibilites. **Purdue 2002 swine research report.** Available Source: http://www.ansc.purdue.edu/swine/swineday/sday02/6.htm, April 4, 2012.

Risley, C.R., E.T. Kornegay, M.D. Lindemann, C.M. Wood and W.N. Eigel. 1992. Effect of feeding organic acids on selected intestinal content measurements at varying times postweaning in pigs. **J. Anim. Sci.** 70: 196-206.

Samarntarn, W., S. Cheevadhanarak and M. Tanticharoen. 1999. Production of alkaline protease by genetically engineered *Aspergillus oryzae* U1521. **J. Gen. Appl. Microbiol.** 45: 99-103.

Simbaya, J., B.A. Slominski, W. Guenter and A. Morgan. 1996. The effects of protease and carbohydrase supplementation on the nutritive value of canola meal for poultry: *In vitro* and *in vivo* studies. **J. Anim. Feed Sci. Tech.** 61: 219-234.

Towatana, N.H., A. Painupong and P. Suntinanalert. 1999. Purification and characterization of an extracellular protease from alkaliphilic and thermophilic Bacillus sp. PS719. **J. Biosci. and Bioeng**. 87 (5): 581-587.

Uhlig, H. 1998. **Industrial Enzymes and their Applications.** John Wiley & Sons, Inc., New York.

Wang, D., X. Piao, F.C. Guo, H. Cao, J. Zhoa and R. J. Harrell. 2010. Effect of protease enzyme on performance of weanling piglets fed corn-soybean diets with different protein levels, pp. 377. *In* **Nonruminant Nutrition: Enzymes.** Available Source: http://www.adsa.asas.org/meetings/2010/abstracts/0373.pdf, August 16, 2010.

Yadav, J.L. and R.A. Sah. 2006. Supplementation of corn-soybean based layers diets with different levels of acid protease. **J. Inst. Agric. Anim. Sci.** 27: 93-102.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Yan F., P. Disbennett, M. Schulz, M. Vazquez-Anon, N. Odetallah, S. Carter, and D. Dowell. 2010. Protease increased *in vitro* digestibility of various feed ingredients: 377. *In* **Nonruminant Nutrition: Enzymes .** Available Source: http://www.adsa.asas.org/meetings/2010/abstracts/0373.pdf, August 16, 2010.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ enzyme activity ของเอนไซม์โปรติเอสในอาหารสุกรแต่ละระยะ

ระยะสุกร	ชนิดอาหาร (U/กรัมอาหาร)	กลุ่มทดลอง			
		กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4
สุกรรุ่น[1]	ผง	0	256	0	254
	เม็ด	0	206	0	236
สุกรขุน[1]	ผง	0	259	0	319
	เม็ด	0	240	0	337
สุกรรุ่น[2]	ผง	0	248	0	237

หมายเหตุ [1] การทดลองที่ 1 เพื่อศึกษาสมรรถภาพการผลิต

[2] การทดลองที่ 2 เพื่อศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของสารอาหาร

กลุ่มอาหารทดลองดังนี้

1 กลุ่มควบคุม

2 กลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

3 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม

4 กลุ่มอาหารที่ลดระดับโปรตีนและกรดอะมิโนลง 7.5 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มควบคุม และเสริมเอนไซม์โปรติเอส 0.05 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการวิเคราะห์ enzyme activity ของเอนไซม์โปรติเอส

ตามวิธีของ Novus International Inc. (2007)

การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม และเติม 10 มิลลิโมล Phosphate buffer ปริมาตร 40 มิลลิลิตร นำไปปั่นให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 40 นาที

2. นำสารละลาย 0.2% Azocasein solution ปริมาตร 2.4 มิลลิลิตร เติมในหลอดจำนวน 3 หลอด โดยแบ่ง 2 หลอดสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่าง ส่วน 1 หลอดสำหรับ blank

3. นำสารละลายจากข้อ 1 มา แล้วดูดสารที่ได้ปริมาตร 30 ไมโครลิตร ใส่ในหลอด จากข้อ 2 จำนวน 2 หลอด

4. นำหลอดทดลองมาปั่นสารละลายให้เข้ากัน แล้วนำหลอดทดลองทั้งหมด นำเข้าเครื่องบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที

5. นำตัวอย่างทั้งหมดออกจากเครื่องบ่ม และเติมสารละลาย TCA ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ทุกหลอดทดลอง แล้วนำมาปั่นสารละลายให้เข้ากัน

6. นำมาปั่นเหวี่ยงให้ตกตะกอนเวลา 5 นาที และนำสารละลายส่วนบน (supernatance) ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ 410 นาโนเมตร

การคำนวณ

ยูนิตของ enzyme activity คือ การเพิ่มค่า absorbance จาก 0.01 ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร ที่ pH 8 ภายใต้อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

$$U/ml = \frac{(\text{absorbance ที่ 410 nm})}{0.01} * \frac{(\text{dilution factor})}{10} * 1000$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินลักษณะซากของสุกรมีชีวิตโดยใช้เครื่อง real time ultrasound

การทำงานอาศัยคลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasonic) เคลื่อนผ่านเนื้อเยื่อที่แตกต่างกัน เช่น ไขมัน เนื้อเยื่อ และกระดูก เมื่อพบรอยต่อของตัวกลาง (interface) 2 ชนิด ทำให้เกิดการสะท้อนและการหักเหตลอดแนวทางที่เสียงเดินผ่านในตัวกลางต่างชนิดกัน เกิดการสะท้อนกลับมาสู่หัวตรวจในเปอร์เซ็นต์และองศาที่แตกต่างกัน จึงเกิดภาพปรากฏบนจอภาพ

อุปกรณ์และของเครื่องมือเครื่อง real time ultrasound ประกอบด้วย

1. ตัวเครื่อง ทำหน้าที่ส่งคลื่นความถี่ ultrasonic และแปลงสัญญาณเป็นภาพ โดยอาศัย transducer หรือ probe ซึ่งภายในประกอบด้วยคริสตัล (crystal) เรียงกันเป็นเส้นตรงจำนวน 46-100 อัน เมื่อให้ประจุไฟฟ้า (conversion of electricity) ผ่านเข้าสู่ผลึก ทำให้โมเลกุลในผลึกเกิดการสั่นสะเทือน (mechanical vibrations) แล้วปล่อย และรับสัญญาณคลื่นเสียงได้ 15-30 ครั้งต่อวินาที เมื่อคลื่นเสียงกระทบผลึกนี้ทำให้โมเลกุลภายในเกิดการสั่นสะเทือน แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อแปลงสัญญาณเป็นภาพ (Aloka)

2. เครื่องบันทึกภาพ

3. ซอฟแวร์ (software) โปรแกรมออสคี (auskey) ใช้สำหรับวิเคราะห์ และแปลผลภาพที่ได้จากเครื่อง real time ultrasound

วิธีการประเมินลักษณะซากของสุกรมีชีวิตโดยใช้เครื่อง real time ultrasound

1. ชั่งน้ำหนักสุกร

2. จัดสุกรให้ยืนอยู่ในท่ายืนตรงและนิ่ง

3. บันทึกข้อมูลของสุกรที่จะประเมินลักษณะซาก เช่น เบอร์ เพศ และน้ำหนักของสุกรลงในเครื่องก่อนที่จะบันทึกภาพลงในเครื่องบันทึกภาพ

4. ทาน้ำมันพืชลงบนหลังของสุกรบริเวณกระดูกซี่โครงซี่ที่ 11, 12 และ 13 เพื่อเป็นสื่อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. นำ transducer มาทาบลงบนหลังของสุกรบริเวณที่ทาน้ำมันพืช

6. เมื่อภาพของพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันปรากฏ ให้หยุดภาพให้นิ่ง เพื่อบันทึกภาพเก็บไว้ในเครื่องบันทึกภาพ

7. ดึงภาพพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันที่บันทึกภาพเก็บไว้ในเครื่องบันทึกภาพ เข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหาความหนาไขมันสันหลัง พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง โดยโปรแกรม auskey ซึ่งเป็น software ที่ใช้กับเครื่อง real time ultrasound

ภาพผนวกที่ 1 ลักษณะภาพที่ได้จากเครื่อง real time ultrasound

สมการถดถอยสำหรับประเมินคุณภาพซากเมื่อปรับน้ำหนักที่ 104 กิโลกรัม ด้วยซอฟแวร์ของ Auskey autodepth (animal ultrasound services, Inc. Ithaca, New York, USA)

น้ำหนักที่ปรับ (aWT) = 104 กิโลกรัม

ความหนาไขมันสันหลัง (aFD) = $\frac{FD*(1+ (104-WT)}{WT - 25*0.45}$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (aLMA) = $\frac{LMA*(1+ 104-WT)}{WT - 155*0.45}$

เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง (aLean)

$$aLean = 100*\frac{(3.95+81.05*104)+ (0.308-0.35*104)*\frac{WT}{0.45} - (16.44-0.114*104)*\frac{FD}{2.54} + (4.692-0.11*104)*\frac{LMA}{6.45}}{0.74*\frac{104}{0.45}}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	น.ส. มลฤดี สหกิจภิญโญ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	10 ธันวาคม พ.ศ. 2524
สถานที่เกิด	จ. กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	สัตวแพทยศาสตรบัณฑิต (สัตวแพทยศาสตร์) มหาวิทยาลัยมหิดล (พ.ศ. 2550)
สถานที่ทำงาน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์