

เทคนิคการประเมินค่าพลังงานได้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว
ในสัตว์ปีก

TECHNIQUES FOR EVALUATING THE METABOLIZABLE ENERGY
OF RICE BY-PRODUCTS FOR POULTRY

นันทนิถ กุลเจริญ
NUNTANIT KULCHAROEN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาและค้นคว้าวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย
สาขาวิชาสัตวศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
กำแพงแสน
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-246-7

เทคนิคการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว
ในสัตว์ปีก

TECHNIQUES FOR EVALUATING THE METABOLIZABLE ENERGY
OF RICE BY-PRODUCTS FOR POULTRY



นันทนิจ กุลเจริญ
NUNTANIT KULCHAROEN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วพ.

ว. 418 ท

2544

พ.ศ.2544

ISBN 974-648-246-7

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....40008
วัน, เดือน, ปี 20 ก.ค. 2544

.b.....
.i.....

TECHNIQUES FOR EVALUATING THE METABOLIZABLE ENERGY
OF RICE BY-PRODUCTS FOR POULTRY

NUNTANIT KULCHAROEN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN ANIMAL SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2001

ISBN 974-648-246-7

COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เทคนิคการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าวใน
สัตว์ปีก

TECHNIQUES FOR EVALUATING THE METABOLIZABLE
ENERGY OF RICE BY-PRODUCTS FOR POULTRY

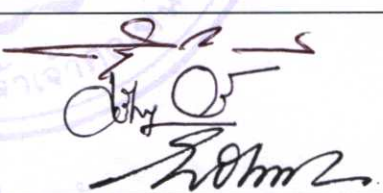
ชื่อนักศึกษา นางสาวนันทนิญ กุลเจริญ

รหัสประจำตัว 37065202

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา สัตวศาสตร์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สุชีพ สุขสุแพทย์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุชีพ	สุขสุแพทย์	
รศ.ศรีสกุล	วรจันทรา	
รศ.ดร.รณชัย	สิทธิไกรพงษ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 11 พฤษภาคม 2544 เวลา 13.00 เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้องโสตฯ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร ชั้น 3 (ตึก L)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัคร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 31 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2544

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เทคนิคการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้ จากข้าวในสัตว์ปีก
นักศึกษา	นางสาวนันท์นิช กุลเจริญ
รหัสประจำตัว	37065202
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สัตวศาสตร์
พ.ศ.	2544
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุชีพ สุขสุแพทย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเทคนิคการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าวในสัตว์ปีก ประกอบด้วย 3 การทดลอง คือ

การทดลองที่ 1 ศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในสัตว์ปีก โดยให้ปลายข้าวเจ้าเป็นตัวแทน ได้จัดปัจจัยการทดลองแบบ 2×3 แฟคทอเรียล ในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด(CRD) ปัจจัยแรกคือ อาหารทดสอบ มีปลายข้าวในสูตร 2 ระดับ คือ 99.5 % และ 75 % ส่วนปัจจัยที่สองคือวิธีการให้อาหารทดสอบ มี 3 วิธี ได้แก่ วิธีการให้กินแบบเต็มที วิธีการให้กินแบบจำกัดเวลา 1 ชั่วโมงและวิธีการให้กินแบบ 48 ชั่วโมง โดยใช้ไก่พันธุ์โรดไอแลนด์เรดเพศผู้โตเต็มวัย จำนวน 42 ตัว แบ่งออกเป็น 7 กลุ่มๆละ 6 ตัว โดยกลุ่มแรกเป็นกลุ่มควบคุม ไม่ได้รับอาหารทดสอบ ส่วนอีก 6 กลุ่ม ได้รับอาหารทดสอบตามแผนการทดลอง ผลการทดลอง พบว่าอาหารทดสอบสูตรปลายข้าว 99.5 % มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ(AME)ของปลายข้าวสูงกว่าอาหารทดสอบสูตรปลายข้าว 75 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่า AME เท่ากับ 3,944.57 และ 3,757.49 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และวิธีการทดสอบทั้ง 3 วิธี ให้ค่า AME เท่ากับ 3,947.23 , 3,751.95 และ 3,851.66 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่พบผลจากอิทธิพลร่วมระหว่างอาหารทดสอบกับวิธีการทดสอบ ($p > 0.05$) และได้พิจารณาในความเหมาะสมที่จะใช้เทคนิคอาหารทดสอบสูตรปลายข้าว 99.5 % ให้ไก่กินแบบจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง ในการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบผลพลอยได้จากข้าวในการทดลองต่อไป

การทดลองที่ 2 การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว 5 ชนิด คือ ปลายข้าวเจ้า ปลายข้าวเหนียว รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำหยาบ ชนิดละ 10 ตัวอย่าง ใช้เทคนิคอาหารทดสอบสูตรวัตถุดิบล้วน 99.5 % ให้ไก่กินอาหารแบบจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง ใช้ไก่พันธุ์โรดไอแลนด์เรด โตเต็มวัยเพศผู้ จำนวน 8 ตัว เพื่อทดสอบวัตถุดิบแต่ละตัวอย่าง

ผลการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ มีค่าเท่ากับ 3,593.75 , 3,658.39 , 2,682.36 , 1,651.44 และ 546.76 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง มีค่าเป็น 3,770.18 , 3,822.74 , 3,037.16 , 2,073.29 และ 1,141.29 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

การทดลองที่ 3 ศึกษาการสร้างสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าวโดยอาศัยค่าองค์ประกอบทางเคมี และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ที่ประเมินได้จากการทดลองที่ 2 โดยวิธีการสร้างสมการถดถอยแบบซับซ้อน (Multiple regression) ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งจะนำไปสร้างสมการได้ และมีความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของวัตถุดิบ โดยที่ค่า AME ของปลายข้าวเจ้า มีความสัมพันธ์กับค่าของไขมันและเยื่อใย ส่วนค่า TME ของปลายข้าวเจ้า พบว่า มีความสัมพันธ์กับค่าของNFE และเถ้า ค่า AME และ TME ของปลายข้าวเหนียว พบว่า มีความสัมพันธ์กับค่าของเถ้าและเยื่อใย ค่า AME และ TME ของรำละเอียด พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าของเยื่อใยเพียงค่าเดียว ค่า AME ของรำสกัดน้ำมัน พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าของเถ้า NFE เยื่อใย และโปรตีน ส่วนค่า TME ของรำสกัดน้ำมัน มีความสัมพันธ์กับค่าของไขมัน เถ้า และNFE ส่วนค่า AME และ TME ของรำหยาบ พบว่า มีความสัมพันธ์กับค่าของเถ้าเพียงค่าเดียวที่สามารถนำมาสร้างสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้

สำหรับสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ของวัตถุดิบรวมทั้ง 5 ชนิด มีดังนี้ คือ

$$\text{AME} = -1,250.64 + 74.49 (\text{Fat}) - 10.61(\text{Fiber}) + 58.95 (\text{NFE})$$

มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยที่มีค่า R-square = 0.8989 และค่า C(p) = 3.4318 และ

$$\text{TME} = -600.46 + 72.70 (\text{Fat}) - 6.35 (\text{Fiber}) + 53.08 (\text{NFE})$$

มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยที่มีค่า R-square = 0.9113 และค่า C(p) = 4.9174

จากผลการศึกษา ได้พบว่าวิธีการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ที่เหมาะสม ได้ใช้วิธีให้ไกโตเต็มวัยเพศผู้กินอาหารทดสอบแบบจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง ใช้วัตถุดิบที่จะทดสอบล้วน 99.5% อัดเม็ด นอกจากนั้นพบว่า มีความสัมพันธ์ของค่าพลังงานใช้ประโยชน์กับส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ทดสอบแตกต่างกันไป และสามารถสร้างสมการประมาณค่าพลังงานได้ โดยมีความเชื่อมั่นทางสถิติ ซึ่งใช้ได้กับวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าวแต่ละชนิด และรวมทั้ง 5 ชนิด ที่ทำการศึกษา

Thesis Title	Techniques for Evaluating the Metabolizable Energy of Rice By-Products for Poultry
Student	Miss Nuntanit Kulcharoen
Student ID	37065202
Degree	Master of Science
Programme	Animal Science
Year	2001
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Sucheep Suksupath

ABSTRACT

This thesis studied the techniques for evaluating the metabolizable energy of rice by – products for poultry.

The first experiment was conducted to study on techniques for evaluating the metabolizable energy of rice by-product by using broken rice as the representative. The experimental design was a 2x3 factorial in CRD with treatments of 99.5 % and 75 % broken rice in test diet and 3 feeding methods ; conventional assay, rapid assay with 1 h feeding and 48 h feeding. Forty-two mature Rhode Ireland Red roosters were used with 6 birds for each group. Results showed that the apparent metabolizable energy (AME) received from 99.5% broken rice feeding assays was significantly ($p<0.01$) higher than 75% broken rice feeding assays (3,944.57 and 3,751.49 Kcal/Kg respectively). The AME value from a conventional feeding assay had significantly ($p<0.05$) higher than the rapid assay with 1 h feeding but it had no significant difference with 48 h feeding (3,947.23 , 3,751.95 and 3,851.66 Kcal/Kg respectively). There was no interaction of the influence between test diet and feeding assays on AME evaluation.

The second experiments was conducted to determine the AME and TME of rice by-products i.e., broken rice, broken glutinous rice, rice bran, rice bran extract and rice hull. Ten samples of each feedstuffs were collected from various production sources. Rhode Ireland Red roosters were used with 8 birds for each sample. Results showed that the AME values were 3,593.75, 3,658.39, 2,682.36, 1,651.44 and 546.76 Kcal/Kg respectively and the TME values were 3,770.18, 3,822.74, 3,037.16, 2,073.29 and 1,141.29 Kcal/Kg respectively.

The third experiment was conducted to determine the equations that can predict the metabolizable energy of rice by-products relative to their proximate chemical composition by using the multiple regression analysis. Results showed that the AME of broken rice were found to related with fat and fiber and TME of broken rice were found to related with NFE and ash. The AME and TME values of broken glutinous rice were found to related with ash and fiber. The AME and TME values of rice bran were found to related only with fiber. The AME values of rice bran extract were found to related with ash, NFE, fiber and protein while the TME values were related with fat, ash and NFE. The AME and TME values of rice hull were found to related only with ash.

The equations predicting the AME and TME of rice by-products for poultry determined in this thesis were shown as follows:

$$\text{AME} = -1,250.64 + 74.49 (\text{Fat}) - 10.61(\text{Fiber}) + 58.95 (\text{NFE})$$

R-square values = 0.8989 and C(p) values = 3.4318

$$\text{TME} = -600.46 + 72.70 (\text{Fat}) - 6.35 (\text{Fiber}) + 53.08 (\text{NFE})$$

R-square values = 0.9113 and C(p)values = 4.9174

Data from this study demonstrate that the rapid assay with 1 h feeding is an appropriate rapidly technique to use for determining metabolizable energy in poultry. AME and TME of rice by-products relative with their specific chemical compositions and these equations can be used to predict AME and TME of rice by-products for poultry.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยการได้รับความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ.ดร.สุชีพ สุขสุแพทย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์ณัทชัย วิจิตรโรทัย และอาจารย์จรรยา คงฤทธิ์ นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ และพนักงานประจำฟาร์มทดลอง ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทดลองและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่และรุ่นน้อง นักศึกษาทั้งระดับปริญญาตรีและปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจข้าพเจ้าตลอดมา

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการศึกษาของข้าพเจ้าในครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ตลอดจนผู้ที่สามารถนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

นันทนิจ กุลเจริญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญภาพ.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 พลังงานในอาหารสัตว์.....	3
2.1.1 พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต.....	3
2.1.2 พลังงานจากไขมัน.....	4
2.1.3 พลังงานจากโปรตีน.....	5
2.2 พลังงานใช้ประโยชน์.....	5
2.2.1 ความสำคัญของพลังงานใช้ประโยชน์.....	5
2.2.2 ประเภทของพลังงานใช้ประโยชน์.....	6
2.2.2.1 พลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ.....	6
2.2.2.2 พลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อปรับสมดุลย์ในโตรเจนแล้ว.....	7
2.2.2.3 พลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง.....	7
2.2.2.4 พลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงเมื่อปรับสมดุลย์ในโตรเจนแล้ว.....	8
2.2.3 วิธีการหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์.....	8
2.2.3.1 การหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์โดยอ้อม.....	8
2.2.3.2 การหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์โดยตรง.....	10
2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานใช้ประโยชน์.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.5 ปัญหาและเทคนิคในการทำงานเกี่ยวกับ การทดสอบค่าพลังงานใช้ประโยชน์.....	14
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์และองค์ประกอบทางเคมี.....	15
2.3.1 โปรตีน.....	16
2.3.2 ไขมัน.....	17
2.3.3 คาร์โบไฮเดรต.....	19
2.3.4 ปัญหาหรือข้อบกพร่องในการใช้สมการประมาณค่าพลังงาน ใช้ประโยชน์.....	26
2.4 ข้าวและผลพลอยได้จากข้าว.....	27
2.4.1 ข้าว.....	27
2.4.2 ผลพลอยได้จากข้าว.....	30
2.4.2.1 การใส่ปลายข้าวในอาหารสัตว์ปีก.....	32
2.4.2.2 การใช้รำข้าวในอาหารสัตว์ปีก.....	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	34
3.1 วิธีการศึกษาทดลอง.....	34
3.1.1 ศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงาน ใช้ประโยชน์ในสัตว์ปีก.....	34
3.1.2 การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว.....	34
3.1.3 ศึกษาสมการที่เหมาะสมเพื่อใช้ประมาณค่าพลังงาน ใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว.....	34
3.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	34
3.3 วิธีการทดลอง.....	35
3.3.1 ศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงาน ใช้ประโยชน์ในสัตว์ปีก.....	35
3.3.2 การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว.....	37
3.3.3 ศึกษาสมการที่เหมาะสมเพื่อใช้ประมาณค่าพลังงาน ใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว.....	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	39
4.1 ศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงาน ใช้ประโยชน์ในสัตว์ปีก.....	49
4.1.1 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าว.....	39
4.1.2 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน ของปลายข้าว	40
4.1.3 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าว.....	41
4.1.4 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน ของปลายข้าว.....	41
4.2 การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว.....	41
4.2.1 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าวเจ้า.....	42
4.2.2 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าวเหนียว.....	42
4.2.3 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำละเอียด.....	42
4.2.4 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำสกัดน้ำมัน.....	43
4.2.5 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำหยาบ.....	46
4.3 ศึกษาสมการที่เหมาะสมเพื่อใช้ประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว.....	46
4.3.1 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าวเจ้า.....	46
4.3.2 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าวเหนียว.....	49
4.3.3 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าวทั้ง 2 ชนิด.....	51
4.3.4 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำละเอียด.....	52
4.3.5 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำสกัดน้ำมัน.....	55
4.3.6 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำหยาบ.....	57
4.3.7 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำข้าว.....	60
4.3.8 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ของผลพลอยได้จากข้าว.....	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 วิจัยรณัผลการทดลอง.....	63
5.1 การศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ในปลายข้าว.....	63
5.2 การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว	64
5.3 ศึกษาสมการที่เหมาะสมเพื่อใช้ประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว.....	65
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	67
6.1 สรุป.....	67
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	68
บรรณานุกรม.....	70
ภาคผนวก.....	76
ประวัติผู้เขียน.....	147

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าพลังงานรวมในอาหารบางชนิด.....	17
2.2 แสดงค่าความสัมพันธ์ของส่วนประกอบของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตเป็นเปอร์เซ็นต์.....	17
2.3 แสดงสมการรูปแบบต่างๆในการทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุลงlyph ในโตรเจน (กิโลจูลต่อ 1 กิโลกรัม วัตถุแห้ง).....	22
2.4 แสดงสรุปปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์.....	23
2.5 แสดงองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานชนิดต่างๆ.....	25
2.6 แสดงอัตราการสืข้าวเปลือกชั้นหนึ่ง 1,000 กิโลกรัม เป็นข้าวชนิดต่างๆ.....	31
2.7 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของรำข้าวชนิดต่างๆ.....	33
4.1 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานรวมในวัตถุดิบและอาหารทดสอบ ในการทดลองที่ 1.....	39
4.2 แสดงค่าเฉลี่ยพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าว (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม).....	40
4.3 แสดงค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อปรับ สมดุลงlyph ในโตรเจน ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง เมื่อปรับสมดุลงlyph ในโตรเจนของปลายข้าว ที่ให้กินแบบจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม).....	41
4.4 แสดงค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (AME) และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง (TME) ในปลายข้าวเจ้า มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม.....	43
4.5 แสดงค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (AME) และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง (TME) ในปลายข้าวเหนียว มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม.....	44
4.6 แสดงค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (AME) และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง (TME) ในรำละเอียด มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม.....	44
4.7 แสดงค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (AME) และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง (TME) ในรำสกัดน้ำมัน มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม.....	45
4.8 แสดงค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (AME) และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง (TME) ในรำหยาบ มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม.....	48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานชนิดต่างๆในปลายข้าวเจ้า.....	48
4.10 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง และค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเจ้า.....	48
4.11 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานชนิดต่างๆในปลายข้าวเหนียว.....	50
4.12 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง และค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเหนียว.....	50
4.13 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานชนิดต่างๆในรำละเอียด.....	53
4.14 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง และค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียด.....	53
4.15 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานชนิดต่างๆในรำสกัดน้ำมัน.....	56
4.16 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง และค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำสกัดน้ำมัน.....	56
4.17 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานชนิดต่างๆในรำหยาบ.....	59
4.18 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง และค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำหยาบ.....	59
7.1 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณการกินอาหาร น้ำหนักสิ่งขับถ่าย และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ของปลายข้าว ในการทดลองที่ 1.....	77
7.2 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าว ระดับปลายข้าวในอาหารทดสอบ และวิธีการทดสอบ ในการทดลองที่ 1.....	78
7.3 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าว 2 ระดับ ในสูตรอาหาร เมื่อทดสอบด้วยวิธีการให้กินแบบ 1 ชั่วโมง.....	79
7.4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อ ปรับสมดุลย์ในโตรเจนของปลายข้าว 2 ระดับในสูตรอาหาร เมื่อทดสอบด้วยวิธีการ ให้กินแบบ 1 ชั่วโมง.....	79
7.5 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าว 2 ระดับ ในสูตรอาหาร เมื่อทดสอบด้วยวิธีการให้กินแบบ 1 ชั่วโมง.....	80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
7.6 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงเมื่อปรับสมดุลง่ายในโตรเจนของปลายข้าว 2 ระดับในสูตรอาหารเมื่อทดสอบด้วยวิธีการให้กินแบบ 1 ชั่วโมง.....	80
7.7 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเจ้า.....	81
7.8 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเจ้า.....	85
7.9 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเหนียว.....	89
7.10 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเหนียว.....	93
7.11 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าว.....	97
7.12 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าว.....	101
7.13 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียด.....	106
7.14 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียด.....	109
7.15 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำสกัดน้ำมัน.....	112
7.16 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำสกัดน้ำมัน.....	117
7.17 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำหยาบ.....	121
7.18 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำหยาบ.....	124

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
7.19 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว.....	127
7.20 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว.....	131
7.21 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้จากข้าว.....	136
7.22 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้จากข้าว.....	142

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเมล็ดข้าว.....	29
2.2 แสดงขั้นตอนการสีข้าวและสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้าว.....	30

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจัยสำคัญในการผลิตสัตว์และถือเป็นต้นทุนการผลิตที่สำคัญคืออาหารสัตว์ อาหารสัตว์ที่คุณภาพดีและมีโภชนาเพียงพอแก่ความต้องการ จะช่วยให้สัตว์แสดงสมรรถภาพในการผลิตได้อย่างเต็มที่ โดยเฉพาะอาหารที่เป็นแหล่งโปรตีนและพลังงาน ซึ่งเป็นโภชนาหลักในสูตรอาหาร เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ในประเทศไทยทำนาปลูกข้าว จึงผลิตข้าวได้ปีละหลายสิบล้านตัน เช่น เมื่อปีการเพาะปลูก 2540/2541 มีผลผลิตข้าวนาปีรวมทั้งประเทศ 18.789 ล้านตันข้าวเปลือก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2542) ทั้งนี้ยังไม่ได้นับรวมถึงผลผลิตข้าวนาปรังอีกปีละ 4-5 ล้านตันข้าวเปลือก ทำให้มีผลพลอยได้จากการสีข้าวเป็นจำนวนมากถึงปีละเกือบ 10 ล้านตัน เช่น ปลายข้าว ปลายข้าวเหนียว รำละเอียด รำหยาบและรำสกัดน้ำมัน และได้นำผลพลอยได้เหล่านี้ไปเป็นวัตถุดิบที่เป็นแหล่งพลังงานในการผลิตอาหารสัตว์ แต่การนำเอาวัตถุดิบเหล่านี้มาใช้ประกอบสูตรอาหารสัตว์ปีก เราต้องอาศัยค่าพลังงานใช้ประโยชน์จากตารางแสดงองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์จากต่างประเทศ แต่ผลพลอยได้จากข้าวที่ปลูกในประเทศก็มีความหลากหลาย มีความผันแปรในองค์ประกอบทางเคมีในวัตถุดิบแต่ละชนิด และให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ไม่เหมือนกับวัตถุดิบของต่างประเทศ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสายพันธุ์ สภาพพื้นที่ การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว กระบวนการสีข้าว และการเก็บรักษา วัตถุดิบก่อนนำมาใช้ในการประกอบสูตรอาหาร

การศึกษาเทคนิคและวิธีการที่เหมาะสมในการหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ปีกในประเทศไทย ทำให้วัตถุดิบเหล่านั้นถูกใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดต้นทุนในการผลิตและสัตว์สามารถให้ผลผลิตได้อย่างเต็มที่ โดยที่สัตว์ปีกขับถ่ายมูลและปัสสาวะออกมาทางท่อเปิดเดียวกัน การหาค่าพลังงานย่อยได้จึงต้องผ่าตัดแยกท่อขับถ่ายมูลและท่อปัสสาวะออกจากกัน

ในการศึกษาเรื่องพลังงานในอาหารสัตว์ปีกจึงนิยมใช้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ (Metabolizable energy, ME) และระดับพลังงานในอาหารก็เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดปริมาณการกินอาหารของสัตว์ปีก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงเทคนิคและการหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในสัตว์ปีก โดยใช้ไก่เพศผู้โตเต็มที่เป็นตัวแทน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) เพื่อศึกษาเทคนิคที่เหมาะสม ในการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว
- 2) เพื่อประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าวในสัตว์ปีก
- 3) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ และส่วนประกอบทางเคมีของผลพลอยได้จากข้าว
- 4) เพื่อศึกษาแนวทางในการสร้างสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว 5 ชนิด ได้แก่ ปลายข้าวเจ้า ปลายข้าวเหนียว รำละเอียด รำหยาบ และรำสกัดน้ำมัน โดยวัตถุดิบแต่ละชนิดจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ ชนิดละ 10 ตัวอย่าง รวมเป็น 50 ตัวอย่าง และนำค่าพลังงานใช้ประโยชน์ที่ได้มาหาค่าความสัมพันธ์กับค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากการวิเคราะห์โดยประมาณ

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1) ตรวจเอกสาร
- 2) เก็บตัวอย่างวัตถุดิบจากแหล่งต่างๆ
- 3) เตรียมอุปกรณ์และสัตว์ทดลอง
- 4) ทำการทดลองที่ 1 เพื่อศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าวและรำข้าว
- 5) นำวิธีการที่ได้จากการทดลองที่ 1 มาทำการทดสอบหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในวัตถุดิบทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ปลายข้าวเจ้า ปลายข้าวเหนียว รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำหยาบ ชนิดละ 10 ตัวอย่าง รวม 50 ตัวอย่าง
- 6) นำวัตถุดิบทั้งหมดมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ
- 7) วิเคราะห์ทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน สรุปผลการทดลอง และ จัดทำรายงานผลการวิจัย

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานในอาหารสัตว์

สัตว์ได้รับพลังงานจากโภชนาในอาหาร 3 ประเภท ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีน โดยต้องผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ ศรีสกุล วรจันทรา และรณชัย สิทธิไกรพงษ์ (2539) ได้จำแนกแหล่งของพลังงานที่ได้จากอาหารเป็น 3 ประเภท คือ

2.1.1 พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ในเนื้อเยื่อพืช เช่น พืชอาหารสัตว์จะประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตมากถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และในอาหารชั้นก็มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบ ซึ่งอาจสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะธัญพืช ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช จะได้กลูโคสเป็นตัวกลาง ที่จะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์โบไฮเดรตรูปอื่นๆต่อไป ในทางโภชนศาสตร์ได้แบ่งประเภทของคาร์โบไฮเดรตไว้ดังนี้

2.1.1.1 โมโนแซ็กคาไรด์

เป็นสารที่ประกอบด้วยน้ำตาลเพียง 1 โมเลกุล มีคุณสมบัติในการละลายได้ในน้ำ และมีรสหวาน ตัวอย่างเช่น ไรโบส , อะราบิโนส , ไชโลส , กลูโคส , กาแลคโตส , ฟรุคโตส

2.1.1.2 โอลิโกแซ็กคาไรด์

เป็นสารที่ประกอบด้วยน้ำตาลตั้งแต่ 2 โมเลกุลขึ้นไป จนถึง 10 โมเลกุล ตัวอย่างเช่น ซูโครส , มอลโตส , แลคโตส

2.1.1.3 พอลิแซ็กคาไรด์

เป็นสารที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์ต่อกัน ตั้งแต่ 10 โมเลกุลขึ้นไป ส่วนมากไม่ละลายน้ำและไม่หวาน เมื่อย่อยสลายด้วยเอนไซม์หรือกรด จะแตกตัวและให้ผลผลิตขั้นสุดท้ายเป็นโมโนแซ็กคาไรด์ ตัวอย่างของพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีความสำคัญทางอาหารสัตว์ ได้แก่ แป้ง , เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เป็นต้น

แป้ง (starch) เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดและมีความสำคัญในด้านการให้พลังงานสำหรับสัตว์ แป้งประกอบด้วย โมเลกุลของกลูโคสจำนวนมากมาย ที่ต่อกันด้วยพันธะ 1,4' α -linkages มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่บ้าง นอกจากนี้ยังประกอบด้วย ไนโตรเจน กรดไขมันและฟอสเฟตบางชนิด เมื่อเอาแป้งไปต้มในน้ำแป้งจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) อะไมโลส (amylose) เป็นส่วนที่ละลายได้ในน้ำร้อน เมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีนจะได้สีน้ำเงิน ในวัตถุดิบธรรมชาติมี อะไมโลส ประมาณ 10 – 20 เปอร์เซ็นต์ ของแป้งทั้งหมด

2) อะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นส่วนที่ไม่ละลายในน้ำร้อน เมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีนจะได้สีม่วงแดง ในวัตถุดิบธรรมชาติมีอะไมโลเพคตินประมาณ 80–90 เปอร์เซ็นต์ ของแป้งทั้งหมด

อาหารคาร์โบไฮเดรตที่สัตว์ได้รับจะถูกย่อยเป็นน้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์ เช่น กลูโคส เพื่อสัตว์จะนำไปใช้เป็นพลังงานสำหรับกิจกรรมต่างๆและเพื่อใช้ในปฏิกิริยาเคมีต่างๆในขบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกาย เพื่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีพ และมีการสะสมไว้ในรูปของสาร ตัวกลางที่ให้พลังงานสูง ที่สำคัญ ได้แก่ adenosine triphosphate (ATP) ซึ่งปกติสัตว์จะเก็บสำรองพลังงานส่วนเกินไว้ในรูปไกลโคเจนที่ตับและกล้ามเนื้อ

2.1.2 พลังงานจากไขมัน

ไขมันมีความสำคัญและเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ คือ เป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็น ช่วยยกระดับพลังงานในอาหาร ช่วยละลายและดูดซึมวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ทำให้อาหารไม่เป็นฝุ่น รสชาติอาหารดีขึ้นและเพิ่มความน่ากิน ไขมันธรรมชาติเป็นไตรกลีเซอไรด์ มีชนิดและอัตราส่วนของกรดไขมันในโมเลกุลแตกต่างกันออกไป ไตรกลีเซอไรด์จากสัตว์ประกอบด้วยกรดไขมันพวกพาลมิติค สเตียริกและโอเลอิก เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีกรดไขมันอิ่มตัวอยู่มากกว่าไขมันจากพืช มักเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง จึงเรียกว่า ไขมัน เช่น ไขมันวัว ไขมันหมู ไขมันสัตว์ปีก ส่วนไตรกลีเซอไรด์จากสัตว์ ประกอบด้วยกรดไขมันพวกโอเลอิก และลิโนเลอิก เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากกว่าไขมันจากสัตว์ ยกเว้นน้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ ไขมันจากพืชจึงเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ที่เรียกว่า น้ำมัน

สัตว์มีการสะสมพลังงานส่วนหนึ่งในรูปของไกลโคเจนที่ตับและกล้ามเนื้อ แต่ส่วนใหญ่จะถูกสะสมในรูปของไขมันที่เซลล์ไขมัน (adipose tissues) ตามส่วนต่างๆของร่างกาย โดยไขมันให้พลังงานแก่สัตว์ได้ 2 ทาง คือพลังงานจากการเปลี่ยนกลีเซอรอลของไขมันเป็นกลูโคสหรือกรดไพรูวิกเพื่อเข้าวัฏจักรเครบส์ (crebs cycle) และพลังงานจากการเกิด β -oxidation ของกรดไขมัน

2.1.3 พลังงานจากโปรตีน

โปรตีนในอาหารส่วนหนึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นอนุพันธ์ของคาร์โบไฮเดรตหรือกรดไขมันได้ รวมทั้งสามารถเปลี่ยนต่อไปเป็นกลูโคส เพื่อช่วยรักษาระดับกลูโคสในเลือดให้ปกติ โดยเฉพาะเวลาที่อัตราส่วนของพลังงานต่อโปรตีนไม่เหมาะสม โดยทั่วไป โปรตีนจะให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ 4.1 กิโลแคลอรีต่อกรัม ถึงแม้ว่าโปรตีนสามารถให้พลังงานแก่สัตว์ได้ แต่ปกติแล้วจะ

ไม่ได้คำนึงถึงในแง่ที่เป็นแหล่งของพลังงานมากนัก (Annison. 1974) ในการประกอบสูตรอาหาร สัตว์ต้องคำนวณเปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหาร ให้เหมาะสมกับความต้องการของสัตว์ ถ้าให้โปรตีน สูงเกินความต้องการไป อาจถูกนำมาใช้เป็นพลังงานได้ ซึ่งมีผลเสีย คือ

- 1) ต้นทุนค่าอาหารสูง เพราะพลังงานจากโปรตีนมีราคาแพงกว่า พลังงานที่ได้จากไขมัน และคาร์โบไฮเดรต
- 2) สูญเสียพลังงานมาก ในการเปลี่ยนกรดอะมิโนเป็นกลูโคสเพื่อมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน
- 3) ทำให้ระบบเมตาบอลิซึมผิดปกติ เพราะถ้าสัตว์ใช้กรดอะมิโนเป็นแหล่งพลังงานมากๆ ร่างกายจะผลิตกรดยูริกและยูเรียเป็นจำนวนมาก ทำให้สัตว์อุจจาระเหลวและปัสสาวะบ่อย

2.2 พลังงานใช้ประโยชน์

2.2.1 ความสำคัญของพลังงานใช้ประโยชน์

ในกระบวนการต่างๆของสิ่งมีชีวิต เช่น การดำรงชีพ การเจริญเติบโต การทำกิจกรรมต่างๆ การย่อยและการใช้ประโยชน์ของอาหาร รวมทั้งการให้ผลผลิต นั้นขึ้นอยู่กับพลังงานในร่างกายทั้งสิ้น โดยสัตว์จะได้รับพลังงานเหล่านี้จากอาหารที่กิน ซึ่งปัจจัยขั้นต้นในการควบคุมปริมาณการกินได้ของอาหารในสัตว์ปีก คือ ความต้องการพลังงาน เมื่อมีการขาดแคลนโภชนะ สัตว์จะชดเชยด้วยการเพิ่มปริมาณการกินอาหาร เช่น อาหารที่มีความฟามสูง พลังงานต่ำ ไก่จะกินอาหารมากขึ้น เพื่อความสมดุลของโภชนะ ดังนั้น อาหารที่มีพลังงานสูงก็ควรมีสัดส่วนของโภชนะ อื่นๆสูงตามไปด้วย เพื่อให้สัตว์ได้รับโภชนะสมดุลกับพลังงาน (Vohra. 1972)

พลังงานที่มีอยู่ในอาหาร วัดได้จากพลังงานความร้อนที่ได้จากการนำสารหรืออาหาร เผาไหม้อย่างสมบูรณ์ โดยใช้เครื่องวัดค่าพลังงาน bomb calorimeter (สุวรรณา กิจภาภรณ์. 2530) หรืออาจเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า heat of combustion ซึ่งหน่วยของพลังงานที่วัดนี้ เรียกว่า แคลอรี (calorie หรือ cal) โดยพลังงานความร้อน 1 แคลอรี คือพลังงานความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส คือจาก 14 องศาเซลเซียส เป็น 15 องศาเซลเซียส (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2532)

ค่าพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้อาหารใน bomb calorimeter นี้ ถือเป็นค่าพลังงานรวมทั้งหมดของอาหาร (Gross energy หรือ GE) ซึ่งไม่ใช่ค่าพลังงานทั้งหมดที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สัตว์ไม่สามารถย่อยอาหารทั้งหมดที่กินเข้าไป อาหารส่วนที่ย่อยไม่ได้จะถูกขับออกมาทางมูล ซึ่งเป็นพลังงานส่วนที่สูญหายไป และพลังงานที่เหลืออยู่ก็คือพลังงานที่ได้มาจากอาหารที่ย่อยได้ เรียกพลังงานส่วนนี้ว่า ค่าพลังงานที่ย่อยได้ แต่ในสัตว์ปีกจะขับมูลและปัสสาวะออกมา รวมกัน พลังงานที่ได้จากสิ่งขับถ่ายจึงเป็นพลังงานรวมของมูลและปัสสาวะ การหาค่าพลังงานที่ย่อยได้ในสัตว์ปีกจึงต้องผ่าตัดแยกท่อขับถ่ายมูลออกจากปัสสาวะเสียก่อน (Vohra. 1972)

ดังนั้น ค่าพลังงานที่ย่อยได้จึงไม่นิยมใช้กันในสัตว์ปีก แต่จะนิยมใช้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ (Metabolizable energy หรือ ME) โดยอาศัยหลักการที่ว่า ค่าพลังงานที่สูญเสียไปในมูลและปัสสาวะของสัตว์ปีก เมื่อนำมาลบออกจากค่าพลังงานทั้งหมดของอาหาร ค่าพลังงานที่ได้ก็คือค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Milton *et al.* 1982) ส่วนพลังงานที่สูญเสียในรูปของแก๊สมีเทน (Methane energy) ในขบวนการย่อยอาหารในสัตว์ปีก พบว่ามีน้อยมากและไม่ทำให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์เปลี่ยนไป โดยในสัตว์ปีกที่ได้รับอาหารชั้นจะมีค่าพลังงานสูญเสียในรูปของแก๊สมีเทนไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ ของค่าพลังงานรวมทั้งหมดของอาหาร (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2532)

2.2.2 ประเภทของพลังงานใช้ประโยชน์

2.2.2.1 พลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (Apparent metabolizable energy, AME)

เป็นค่าพลังงานทั้งหมดของอาหารที่ลบออกด้วยค่าของพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของมูล ปัสสาวะและแก๊สที่ได้จากการย่อยอาหาร พลังงานในสิ่งขับถ่ายที่ได้เป็นส่วนหนึ่งของพลังงานจากอาหารส่วนที่ไม่ถูกย่อย นอกจากนี้ยังมีส่วนของ Endogenous energy loss (EEL) ซึ่งเป็นพลังงานจากสิ่งที่ขับมาจากภายในร่างกาย เช่น จากผนังลำไส้, น้ำดีและน้ำย่อยที่ไม่ถูกดูดซึม แต่ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏนี้ ถูกใช้อย่างกว้างขวางและเป็นพื้นฐานในการประกอบสูตรอาหารของสัตว์ปีก โดยค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$AME = \frac{(F_i \times GE_f) - (E \times GE_e)}{F_i} \quad (\text{สมการที่ 2.1})$$

โดยที่	AME	=	ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (kcal ต่ออาหาร 1 กรัม)
	F _i	=	ปริมาณอาหารที่สัตว์กิน (กรัม)
	E	=	ปริมาณสิ่งขับถ่ายที่สัตว์ขับถ่ายออกมา (กรัม)
	GE _f	=	พลังงานรวมเป็น kcal ในอาหาร 1 กรัม
	GE _e	=	พลังงานรวมเป็น kcal ของสิ่งขับถ่าย 1 กรัม

2.2.2.2 พลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนแล้ว (Nitrogen - corrected apparent metabolizable energy, AMEn)

คล้ายกับการหาพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ แต่ต้องนำค่าแตกต่างของไนโตรเจนในอาหารและในสิ่งขับถ่ายมาพิจารณาด้วย ถ้าสัตว์ได้รับอาหารแล้วมีสมดุลไนโตรเจนเป็นลบ แสดงว่าสัตว์ขับไนโตรเจนออกมาทางมูลและปัสสาวะมากกว่าที่กินเข้าไป เนื่องจากอาหารที่ให้พลังงานต่ำหรือสัตว์ถูกอดอาหาร สัตว์ต้องดึงเอาเนื้อเยื่อในร่างกายมาเผาผลาญให้ได้พลังงาน ดังนั้น ไนโตรเจนในปัสสาวะส่วนหนึ่งจึงไม่ได้มาจากอาหาร เมื่อนำค่านี้ไปลบออกจากค่าพลังงาน

ที่กินทำให้ค่าพลังงานที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง จึงควรหักค่าพลังงานในปัสสาวะส่วนที่ไม่ได้มาจากอาหารออกก่อน แต่ถ้าสมดุลไนโตรเจนเป็นบวก แสดงว่าสัตว์ขับไนโตรเจนออกมาน้อยกว่าที่กินเข้าไป ไนโตรเจนส่วนหนึ่งถูกสะสมในร่างกายแทนที่จะถูกขับออก ทำให้ค่าพลังงานในปัสสาวะต่ำกว่าความเป็นจริง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องปรับค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ให้อยู่ในระดับที่สมดุลไนโตรเจนเป็นศูนย์ (Zero nitrogen balance) (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2532) โดยที่ Hill and Anderson (1958) รายงานว่า ไนโตรเจนที่กักเก็บไว้ในร่างกาย 1 กรัม เมื่อนำมาสลายเป็นพลังงาน จะมีพลังงานที่ขับออกทางปัสสาวะ เท่ากับ 8.21 kcal จึงได้สมการสำหรับหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน ดังนี้

$$\text{AMEn} = \frac{(\text{Fi} \times \text{GEf}) - (\text{E} \times \text{GEE}) - (\text{NR} \times \text{k})}{\text{Fi}} \quad (\text{สมการที่ 2.2})$$

โดยที่ AMEn = ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (kcal ต่ออาหาร 1 กรัม)

NR = Nitrogen retention หรือ ปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์กักเก็บได้

NR = $(\text{Fi} \times \text{Nf}) - (\text{E} \times \text{Ne})$

Nf = ปริมาณไนโตรเจนต่ออาหาร 1 กรัม

Ne = ปริมาณไนโตรเจนต่อสิ่งขับถ่าย 1 กรัม

k = ค่าคงที่ของพลังงานที่ได้จากการสลายไนโตรเจน เท่ากับ 8.21 kcal/g

2.2.2.3 พลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง (True metabolizable energy, TME)

จากค่าของพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ นั้นยังไม่ถูกต้องนัก เนื่องจากในสิ่งขับถ่ายของสัตว์ยังมีส่วนของน้ำดี น้าย่อย และเยื่อผนังลำไส้ปนออกมาด้วย ซึ่งเป็นพลังงานส่วนที่ไม่ได้มาจากอาหารโดยตรง พลังงานในส่วนนี้จะเปลี่ยนแปลงตามชนิดของอาหารที่กิน แต่ไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณอาหารที่กิน (Harris. 1966) จึงต้องศึกษาในสัตว์ที่อดอาหารเพื่อนำค่าพลังงานในสิ่งขับถ่ายที่ไม่ได้มาจากอาหารมาหักลบออกไปด้วย โดยมีสมการหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์แท้จริง ดังนี้

$$\text{TME} = \frac{(\text{Fi} \times \text{GEf}) - (\text{E} \times \text{GEE}) + (\text{FEm} + \text{UEE})}{\text{Fi}} \quad (\text{สมการที่ 2.3})$$

โดยที่ TME = ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง (กิโลแคลอรีต่ออาหาร 1 กรัม)

FEm + UEE = พลังงานในสิ่งขับถ่ายของไก่ที่อดอาหาร

FEm	=	Metabolic fecal energy หรือ พลังงานในมูลของไก่ที่ถอดอาหาร
UEe	=	Endogenous urinary energy หรือ พลังงานในปัสสาวะของไก่ที่ถอดอาหาร

2.2.2.4 พลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนแล้ว (Nitrogen – corrected true metabolizable energy, TMEn)

มีวิธีการหาพลังงานคล้ายกับการหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง แต่นำค่าไนโตรเจนจากไก่ที่ถอดอาหารมาคิดด้วย เพราะเป็นไนโตรเจนที่ไม่ได้มาจากอาหารโดยตรง จึงต้องปรับให้มีค่าสมดุลไนโตรเจนเป็นศูนย์เสียก่อน ซึ่งเหมือนกับการปรับค่า AME เป็น AMEn แต่ค่า TMEn จะมีความแปรปรวนของวิธีการน้อยกว่าค่า AMEn ซึ่งค่า AMEn จะขึ้นกับสภาพการทดลองมากกว่า (Sibbald . 1985) สำหรับสูตรในการคำนวณมีดังนี้

$$TMEn = \frac{(Fi \times GEf) - (E \times GEe) - (NR \times k) + (FEm + UEe) + (NRo \times k)}{Fi} \quad (\text{สมการที่ 2.4})$$

โดยที่	TMEn	=	ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (กิโลแคลอรีต่ออาหาร 1 กรัม)
	NR	=	Nitrogen retention ในไก่ที่ได้รับอาหาร
	NRo	=	Nitrogen retention ในไก่ที่ถอดอาหาร

2.2.3 วิธีการหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์

2.2.3.1 การหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์โดยอ้อม

การหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์โดยอ้อมนี้ ใช้สำหรับการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ เมื่ออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการมีอยู่อย่างจำกัด และไม่มีเครื่องวัดค่าพลังงาน (bomb calorimeter) หรือไม่สามารถใช้งานได้ วิธีการทางฟิสิกส์และเคมีได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้หาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ได้อย่างรวดเร็วและประหยัด สำหรับใช้ในการประกอบสูตรอาหาร ควบคุมคุณภาพ วัตถุดิบที่ได้รับและผลิตอาหารสัตว์ (Sibbald . 1982) โดยใช้วิธีการต่างๆ ดังนี้

1) การทดสอบทางชีววิทยา (Biological assays)

เป็นวิธีการทดลองซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการวัดการเปรียบเทียบการเจริญเติบโต โดยดูจากการเจริญเติบโตของไก่ที่ได้รับอาหารมาตรฐาน (basal diet) แล้วแทนด้วยวัตถุดิบที่นำมาทดสอบ โดยมีระดับของวัตถุดิบที่ทราบค่าพลังงานใช้ประโยชน์อยู่เท่ากัน การทดลองนี้มีแนวโน้มว่าให้ความแปรปรวนมากแต่สามารถใช้ได้ดีกับวัตถุดิบที่มีความเป็นพิษสูงและไม่มีควม

น้ำหนัก ซึ่งการที่ไม่สามารถพิสูจน์ความเป็นพิษนี้ เป็นข้อได้เปรียบกว่าวิธีการทดสอบทางเคมีและทางฟิสิกส์ การทดลองวิธีนี้พบว่ามีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของ วัตถุประสงค์ที่ทดสอบกับค่าการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห่ง

2) การทดสอบทางฟิสิกส์ (Physical assays)

ค่าความหนาแน่น ถูกใช้เป็นตัวสำหรับการวัดคุณลักษณะของอาหารจำพวกเมล็ดธัญพืช และพบว่าคุณค่าของโภชนาจะเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจนำมาทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ เช่น ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของข้าวโอ๊ตจะเพิ่มขึ้นตาม bushel weight ส่วนค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แท้จริงจะสัมพันธ์กับความหนาแน่นในเมล็ด ส่วนธัญพืชชนิดอื่น เช่น ข้าวบาร์เลย์ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แท้จริงจะเพิ่มตามความหนาแน่น แต่ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของข้าวสาลีจะไม่แปรผันตามความหนาแน่น คือ มีความแปรปรวนน้อยกว่าข้าวโอ๊ตและข้าวบาร์เลย์ แสดงว่าค่าความหนาแน่นไม่ได้เป็นตัวทำนายค่าที่ไวต่อค่าพลังงานใช้ประโยชน์ จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้ค่าความหนาแน่นในการทำนายค่า

นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเครื่องมือในการวิเคราะห์คุณภาพอาหารสัตว์ โดยวิธีการใช้ near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) โดยอาศัยการสั้น การหมุนของโมเลกุล และการสะท้อนกลับของแสงที่เกิดจากการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของสาร ซึ่งเป็นวิธีการทางฟิสิกส์ และไม่ต้องใช้สารเคมีแต่อย่างใด ตัวอย่างที่นำมาทดสอบต้องอบให้แห้งแล้วบดให้มีขนาดอยู่ระหว่าง 0.25-1.0 มม. การใช้ NIRS จะสามารถวิเคราะห์ได้ทั้ง อาหารหยาบ อาหารผสมสำเร็จ และวัตถุดิบอาหารสัตว์ Valdes and Leeson (1992) ได้ทดลองหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (AMEn) โดยวิธีการใช้ NIRS พบว่าการใช้ค่า reflectance (R) ในรูปของ $\log(1/R)$ และใช้ค่าความยาวคลื่น 7 ค่า จะทำให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีมากที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุดคือ 0.99 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดด้วย

3) การทดสอบทางเคมี (Chemical assays)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ก็เพื่อนำค่ามาใช้ในการประเมินค่าของโภชนาที่มีอยู่ในสูตรอาหารและส่วนประกอบต่างๆ ระบบการวิเคราะห์ที่โดยประมาณไม่ได้ให้ค่าที่มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับค่าพลังงานในวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยจะมีความแตกต่างอย่างมากในการย่อยได้ของแป้งและน้ำตาลในวัตถุดิบที่แตกต่างกัน แต่จากการทดลองเรื่อง การย่อยได้ของ Carpenter and Clegg (1956) พบว่า ส่วนของแป้งและน้ำตาลมีการย่อยได้สูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

ในการหาสมการทำนายค่าพลังงานในอาหารสัตว์ปีกโดยอยู่บนพื้นฐานขององค์ประกอบทางเคมี โดยจะใช้สมการรีเกรซชันมาคำนวณค่าพลังงานจากส่วนประกอบต่างๆที่วิเคราะห์ได้จากวัตถุดิบนั้นๆ เช่น ไขมัน โปรตีน แป้ง และน้ำตาล แต่ก็ไม่พบว่าสมการใดที่สามารถเป็นตัวแทนของวัตถุดิบทุกชนิดได้ จึงต้องมีการจัดกลุ่มวัตถุดิบและหาสมการสำหรับกลุ่มนั้นๆ (Fisher. 1987)

ปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาในสูตรอาหารไก่ คือ ชนิดของสัตว์ที่ได้รับอาหาร คุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบ ความน่ากินของอาหารและราคาของวัตถุดิบ ดังนั้น การหาสมการทำนายค่าพลังงานจะต้องเหมาะสมกับสัตว์แต่ละประเภท เนื่องจากอายุของสัตว์มีอิทธิพลต่อค่าพลังงานของสูตรอาหาร จึงควรมี 2 ถึง 3 สมการตามอายุของสัตว์ ซึ่งจากการทดลองพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน ระหว่างสัตว์อายุน้อยและสัตว์โตเต็มวัย และการย่อยได้ของน้ำตาลในลูกไก่อายุ 4 สัปดาห์และไก่โตเต็มวัย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ถ้าสามารถควบคุมสัตว์ทดลองให้มีอายุสม่ำเสมอเพื่อเป็นมาตรฐานในการทดลองก็จะได้สมการทำนายค่าที่มีความแม่นยำมากขึ้น ตัวอย่างสมการสำหรับทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน ในอาหารผสมสำเร็จสำหรับสัตว์ปีกซึ่งเสนอโดย Fisher and McNab (1987) มีดังนี้

$$\text{AMEn (KJ/g DM)} = 0.343\% \text{ FAT} + 0.155\% \text{ CPR} + 0.1669\% \text{ STC} + 0.1301\% \text{ SUG}$$

(สมการที่ 2.5)

โดยที่ FAT, CPR (Crude protein), STC (Starch) และ SUG (Sugar) เป็นค่าของไขมัน โปรตีนหยาบ (N x 6.25) แป้ง และน้ำตาล ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยประมาณ

สมการสำหรับทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ซึ่งได้จากองค์ประกอบทางเคมีนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยในกลุ่มแรกค่าสัมประสิทธิ์จะได้มาจากค่าที่ทราบแล้ว หรือการประมาณค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์ของส่วนประกอบที่ทราบแน่นอน ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของกลุ่มที่สองจะได้มาจากการวิเคราะห์รีเกรซชันโดยในแต่ละกลุ่มอาจแบ่งแยกเป็นสมการที่ใช้สำหรับวัตถุดิบส่วนใหญ่และสมการที่ใช้สำหรับวัตถุดิบชนิดเดียว (Sibbald. 1982)

2.2.3.2 การหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์โดยตรง

ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในอาหารสามารถวัดได้โดยตรงจากค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อาหารตัวอย่างและสิ่งขับถ่ายที่ได้มาจากอาหารชนิดนั้น ในการหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์โดยวิธี single assay หรือการทดสอบโดยใช้วัตถุดิบชนิดเดียว จะเป็นการวัดค่าโดยตรงซึ่งมีความแม่นยำสูง เมื่อสิ่งขับถ่ายมีความเกี่ยวข้องกับอาหารที่กิน ในการประเมินค่าจึงใช้โครมิกออกไซด์เป็นตัวบ่งชี้ (indicator) โดยที่ความแปรปรวนที่พบไม่มากไปกว่าใช้วิธีการเก็บ

สิ่งขับถ่ายทั้งหมด (Total collection method) แต่เมื่อใช้ 2 วิธีการนี้ร่วมกัน พบว่าค่าที่ได้จากวิธีการใช้ตัวบ่งชี้จะมีค่าต่ำกว่า ในการวัดค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบที่ไม่สามารถวัดได้เพียงชนิดเดียวโดยตรง เราจะใช้วัตถุดิบชนิดนั้นแทนในสูตรอาหารมาตรฐาน โดยอาจใช้แทน 2 ระดับในสูตรหรือมากกว่า ส่วนการประมาณค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ ของวัตถุดิบชนิดเดียวนั้นจะมีข้อจำกัดในการปฏิบัติจริงๆ (Miller. 1974)

ในการหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ จำเป็นต้องเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับค่าที่ต้องการ โดยมีสิ่งที่จำเป็นต้องคำนึงถึง 3 ประการคือ สมดุลพลังงาน , ปริมาณอาหารที่สัตว์ได้รับ และ ค่า Endogenous energy loss (EEL) ส่วนปัจจัยอื่นๆ ก็อาจมีผล เช่น ความรวดเร็ว ราคา และความสะดวกในการทดสอบ โดย Fisher and McNab (1987) ได้เสนอรูปแบบของการทดสอบหลักๆ เป็น 2 แบบ ดังนี้

1) วิธีการทดสอบแบบดั้งเดิม (Traditional assays)

มีช่วงเวลาให้สัตว์ปรับตัวเข้ากับอาหารก่อนเริ่มการทดลองจริง เพื่อให้สัตว์กินอาหารทดลองได้ตามปกติและอยู่ในสภาพที่สมดุล (equilibrium conditions) เพื่อลดความแตกต่างของอาหารที่อยู่ในระบบทางเดินอาหารในระหว่างตอนต้นและตอนท้ายของการทดลอง โดยส่วนใหญ่จะให้อาหารที่ผสมสำเร็จแล้วจึงนำวัตถุดิบที่ต้องการทดสอบมาแทนในสูตรอาหาร (substitution methods) ในการทดลองแบบนี้จะให้อาหารทดลองเป็นกลุ่มละ 5-10 ตัว โดยไก่จะถูกเลี้ยงอยู่ในกรงเบตเตอรี ค่อยๆปรับให้ไก่ยอมรับอาหารทดสอบ และให้ไก่กินอาหารทดสอบได้ทั้งหมด ก่อนจะเริ่มทดสอบนาน 3 วัน เก็บสิ่งขับถ่ายในช่วงเวลาทดสอบซึ่งนาน 4 วัน โดยเก็บสิ่งขับถ่าย วันละ 2 ครั้ง กำจัดสิ่งปนเปื้อนในสิ่งขับถ่ายออกออก นำไปอบให้แห้งในตู้อบ ซึ่งน้ำหนักแห้งที่ได้ปรับสมดุลบรรยากาศแล้ว นำมาผสมและบดให้เข้ากันก่อนการสุ่มตัวอย่างไปวิเคราะห์ ในการให้อาหารทดสอบควรให้มีอาหารเหลือน้อยที่สุด นำอาหารส่วนที่เหลือมาชั่งน้ำหนักและ หักลบออกจากน้ำหนักอาหารที่ให้ เพื่อปรับให้ได้เป็นค่าน้ำหนักอาหารที่สัตว์กินเข้าไปจริงๆ วัดค่าพลังงานรวม (gross energy) ของอาหารและสิ่งขับถ่าย แล้วจึงนำมาคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ (Vohra. 1972)

ส่วนวิธีการของ Mollah (1983) นั้น ได้แจกแจงถึงรายละเอียดของไก่ทดลอง คือ ถ้าเป็นไก่กระทงอายุ 3 สัปดาห์ จะใช้ 10 ตัวต่อ 1 ซ้ำ จำนวน 4 ซ้ำ ถ้าไก่กระทงอายุ 6 สัปดาห์ จะใช้ 6 ตัวต่อ 1 ซ้ำ จำนวน 4 ซ้ำ หรือใช้ 1 ตัวต่อ 1 ซ้ำ จำนวน 8 ซ้ำ ส่วนไก่โตเต็มวัยจะใช้ซ้ำละ 1 ตัว จำนวน 6 ซ้ำ

2) วิธีการทดสอบแบบรวดเร็ว (Rapid assays) แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

2.1) โดยวิธีการให้กินอาหารทดสอบอย่างอิสระ

นิยมใช้อาหารแบบผสมสำเร็จแล้วแทนที่ในสูตรด้วยวัตถุดิบที่เราต้องการทดสอบ วิธีการนี้อาจเกิดปัญหาตรงที่มีกรกินได้ของอาหารต่ำและเกิดความแปรปรวนมาก ซึ่งเราอาจแก้ไขได้โดยการอัดเม็ดอาหารหรือใช้วิธีการค่อยๆปรับอาหารให้กับไก่ทดลองเพื่อให้เกิดการยอมรับมากขึ้น สำหรับเทคนิคการทดลองที่นิยมใช้กันก็คือการอดอาหารไก่ก่อนทดลองนาน 24 ชั่วโมงแล้วตามด้วยการให้กินแบบเต็มที่ (*ad libitum*) อีก 24 ชั่วโมงเช่นกัน เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดผลกระทบหลังสิ้นสุดการทดสอบ จึงทำการเก็บสิ่งขับถ่ายในชั่วโมงที่ 24 - 72 ของช่วงการทดลอง 3 วัน (Fisher. 1987) นอกจากนี้อาจจะใช้วิธีการฝึกและคัดเลือกไก่ให้สามารถกินอาหารทดสอบให้ได้ตัวละ 70 -100 กรัม ภายในเวลา 1 ชั่วโมงหลังการให้ไก่อดอาหารนาน 32 ชั่วโมง โดยไก่ทดลองเป็นไก่โตเต็มวัยเพศผู้ น้ำหนัก 2 - 2.5 กก. และใช้เวลาเก็บสิ่งขับถ่ายนาน 42 ชั่วโมงหลังจากให้อาหาร (Farrell. 1980)

2.2) โดยการบังคับให้สัตว์กินอาหารทดสอบ

ซึ่งเป็นการกรอกวัตถุดิบที่ต้องการทดสอบผ่านทางท่อหรือกรวยเข้าสู่กระเพาะพักโดยตรง วิธีการนี้จะไม่ค่อยแปรปรวนเพราะสามารถนำวัตถุดิบมาทดสอบได้เลยโดยไม่ต้องผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น วัตถุดิบที่นำมาทดสอบก็สามารถให้ได้มากพอสมควรโดยไก่ทดลองต้องอดอาหารมา 48 ชั่วโมง แล้วจึงกรอกอาหารให้โดยผ่านทางท่อหรือกรวยเข้าสู่กระเพาะพักโดยตรง จากนั้นจึงเก็บสิ่งขับถ่ายอีก 48 ชั่วโมง การทดลองวิธีนี้จะใช้อาหารทดสอบในปริมาณที่น้อยมาก พลังงานในสิ่งขับถ่ายที่ได้มาจากอาหารก็มีน้อยตามไปด้วย จึงอาจเกิดความแปรปรวน ความไม่ยุติธรรมในการหาค่าพลังงานสำหรับวัตถุดิบที่นำมาทดสอบได้ (Fisher. 1987)

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานใช้ประโยชน์

2.1.4.1 ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกกักเก็บ (Nitrogen – retention)

สัดส่วนของโปรตีนไนโตรเจนในอาหารที่ถูกกักเก็บไว้ในร่างกายจะสูงมากในไก่ที่อายุน้อยและจะลดลงเมื่ออายุมากขึ้น วัตถุประสงค์ของการปรับค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ให้เป็นสมมูลไนโตรเจนก็เพื่อกำจัดความแปรปรวนที่เกิดจากการกักเก็บไนโตรเจนที่แตกต่างกัน โดยปกติในการปรับค่า nitrogen-retention จะยึดหลักการที่ว่ากรอกออกซิเดชัน ของโปรตีนในเนื้อเยื่อ จะได้พลังงานต่อ 1 กรัมของไนโตรเจนเป็น 8.22 กิโลแคลอรี (Miller. 1974) ขณะที่ Hill and Anderson เสนอว่า ค่าพลังงานต่อ 1 กรัมของไนโตรเจนที่ได้จากการสลายเนื้อเยื่อ มีค่าเป็น 8.21 กิโลแคลอรี ส่วน Sibbald and Wolynetz (1985) รายงานว่า การนำค่าไนโตรเจนที่ถูกกักเก็บมาปรับค่า AME และ TME ให้เป็นค่า AMEn และ TME จะช่วยลดความแปรปรวนของค่าพลังงานใช้ประโยชน์

2.2.4.2 อุณหภูมิสภาพแวดล้อม

จากการทดลองวัดค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของอาหารอัดเม็ดในลูกไก่ ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันตั้งแต่ 7 องศาเซลเซียสจนถึง 32 องศาเซลเซียส พบว่าค่าพลังงานใช้ประโยชน์ มีความแปรปรวนตั้งแต่ 2.58 กิโลแคลอรีต่อกรัม สำหรับอุณหภูมิที่สูงที่สุดและมีค่าเป็น 2.35 กิโลแคลอรีต่อกรัม สำหรับอุณหภูมิต่ำที่สุด แต่สำหรับไก่ที่อายุมากกว่าไม่พบความแตกต่าง และเมื่อมีการปรับค่าสมดุลไนโตรเจนแล้ว ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ที่แตกต่างกันของลูกไก่จะไม่มีผลกระทบจากอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม

2.2.4.3 ปริมาณของอาหารที่ให้

จากการศึกษาในลูกไก่ พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนของอาหารมาตรฐาน ไม่มีผลมาจากปริมาณอาหารที่ได้รับต่างกัน แต่จะมีผลบ้างเล็กน้อยในระยะให้ไข่ (Miller, 1974) ส่วน Guillaume and Summers (1970) รายงานว่า การให้อาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของไก่ มีความจำเป็นในการทดสอบค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในไก่เพศผู้โตเต็มวัย การได้รับอาหารต่ำกว่า 50 กรัมต่อวัน ทำให้พลังงานใช้ประโยชน์ที่ได้มีค่าต่ำกว่าที่ควร

2.2.4.4 อายุ

จากผลการศึกษาถึงค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในลูกไก่ มีความแปรปรวน 0.27 กิโลแคลอรีต่อกรัม ในช่วงอายุ 2-3 สัปดาห์แรก โดยช่วงแรกเกิดมีค่าต่ำและจะเริ่มสูงขึ้นตอนอายุ 7-9 วัน และจะมีค่าสูงสุดที่อายุ 50 วัน (Miller, 1974) ส่วน Farrell (1994) รายงานว่า ลูกไก่มีความสามารถในการย่อยไขมันได้ต่ำกว่าไก่โตเต็มวัย จึงให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำข้าวต่ำกว่าไก่โตเต็มวัยถึง 28 – 35 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ Dale and Fuller (1980) รายงานว่า ไก่กระทงจะมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของวัตถุดิบชนิดเดียวกันต่ำกว่าไก่โตเต็มวัยแล้ว

2.2.4.5 ชนิดและสายพันธุ์

อาหารแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างของค่าพลังงานใช้ประโยชน์ แปรปรวนไปตามชนิดและสายพันธุ์ของไก่นั้นๆด้วย แต่ความแตกต่างนี้ก็มีค่าน้อยคือต่ำกว่า 0.07 กิโลแคลอรีต่อกรัม หรือประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ ของค่าพลังงานใช้ประโยชน์เฉลี่ย และยังจะน้อยลงเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนแล้ว (Miller, 1974)

2.2.4.6 ปัจจัยอื่นๆ

นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ จะมีผลมาจากขบวนการผลิตอาหารด้วย เช่น อาหารที่ผ่านการอัดเม็ดด้วยไอน้ำ (steam pelleting) จะมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์สูงขึ้น การเสริมยาปฏิชีวนะลงในอาหารของไก่กระทงมีผลให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น (Miller, 1974)

2.2.5 ปัญหาในการทำงานเกี่ยวกับการทดสอบค่าพลังงานใช้ประโยชน์

2.2.5.1 ความแปรปรวนของการสุ่มตัวอย่าง

โดยปกติแล้วองค์ประกอบของวัตถุดิบอาหารสัตว์มักจะมีค่าความแปรปรวนอยู่แล้ว การสุ่มตัวอย่างวัตถุดิบหรืออาหารที่ผสมแล้วจึงนับว่าเป็นจุดสำคัญของการทดลอง ยิ่งปริมาณวัตถุดิบมีน้อยเท่าไรความสำคัญของการสุ่มตัวอย่างก็จะมีมากขึ้น ความชื้นของวัตถุดิบจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมที่เราเก็บรักษาวัตถุดิบนั้นๆ หรืออาจเกิดจากขบวนการทางฟิสิกส์ เช่น การอบ ซึ่งมีผลให้ค่าวัตถุแห้งเปลี่ยนแปลงไปด้วย การใช้ตัวบ่งชี้ (indicator) จะช่วยลดปัญหานี้ได้เพราะสัดส่วนของพลังงานในอาหารกับตัวบ่งชี้จะมีค่าคงที่ถึงแม้ความชื้นจะเปลี่ยนแปลง (Sibbald. 1985)

2.2.5.2 การเก็บผลที่ได้จากอาหารทดสอบ

เทคนิคการเก็บผลแบบ total collection จะถือหลักการที่ว่า ต้องเก็บสิ่งขับถ่ายทั้งหมดที่ได้มาจากอาหารที่ให้ในช่วงเวลาทดลองนั้นๆ แต่ก็จะมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นได้เพราะอัตราการกินอาหารและอัตราในการขับถ่ายนั้นแตกต่างกัน การเพิ่มระยะเวลาในการเก็บผลออกเป็น 3 วันหรือมากกว่านั้นจะช่วยลดข้อผิดพลาดลงได้ โดยจุดประสงค์หลักของการเก็บผลแบบทั้งหมดนี้ก็คือปริมาณอาหารที่กินและสิ่งขับถ่ายทั้งหมดนั้นวัดได้ยาก อาหารที่เหลือ รวมทั้งเศษขน เกล็ดและรังแคที่ปนลงในสิ่งขับถ่ายทำให้การประมาณค่าทำได้ยากขึ้น โดยเฉพาะในลูกไก่ ซึ่งปัญหานี้อาจแก้ไขได้โดยทำการทดลองในไก่ที่โตเต็มวัยแล้ว หรือใช้ถุงเก็บผลผูกติดที่ก้นของไก่หรือใช้ถ้วยเก็บผลผูกติดไว้ที่ก้น (Revington *et al.* 1991) หรืออาจจะใช้เทคนิคการเก็บผลแบบที่มีการใช้ตัวบ่งชี้ (indicator technique) โดยไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการเก็บสิ่งขับถ่ายทั้งหมดและเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากระดับความชื้นในอาหารอีกด้วย โดยตัวบ่งชี้ที่ใช้จะต้องไม่ถูกดูดซึมหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านระบบทางเดินอาหาร และต้องมีอัตราการไหลผ่านในทางเดินอาหารที่คงที่ (Sibbald. 1982) ซึ่งตัวบ่งชี้ที่นิยมใช้ ได้แก่ โครมิกออกไซด์ (chromic oxide), เฟอร์ริกออกไซด์ (ferric oxide), แบเรียมซัลเฟต (barium sulfate), ซิลิกา (silica) และลิกนิน (lignin) โดยตัวบ่งชี้ที่มีคุณสมบัติครบถ้วนและใช้กันมาก ได้แก่ โครมิกออกไซด์ และ แบเรียมซัลเฟต (Vohra. 1972)

2.2.5.3 ปัญหาที่เกิดจากการใช้ตัวบ่งชี้

แบเรียมซัลเฟตจัดเป็นตัวบ่งชี้ที่ดี เพราะไม่มีไฟฟ้าสถิตย์และผสมเข้ากับอาหารได้ง่าย มีการกระจายตัวดี แต่การย่อยสลายทางเคมีทำได้ยากเพราะมันมีการรวมตัวกันทำให้สกัดออกได้ยาก ส่วนปัญหาของการใช้โครมิกออกไซด์ก็คือ การกระจายตัวในอาหารทำได้ยากเพราะมีไฟฟ้าสถิตย์ จึงเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนและยังมีปัญหาในการตรวจสอบทางเคมี เพราะเมื่อเกิด

การผิดพลาดในการตรวจสอบเพียงเล็กน้อยก็จะมีผลต่อการคำนวณค่าพลังงานใช้ประโยชน์เป็นอย่างมาก (Vohra.1972) จึงควรละลายน้ำก่อนการผสมเข้าในอาหารทดสอบ

2.2.5.4 การใช้วัตถุดิบที่นำมาทดสอบ

ถ้าเราต้องการทดสอบวัตถุดิบอย่างรวดเร็ว ก็อาจจะใช้วิธีการทดสอบแบบรวดเร็ว (rapid assay) แบบ การบังคับให้สัตว์กิน (force feeding หรือ tube feeding) โดยสามารถรอกวัตถุดิบนั้นให้ไก่ได้เลยโดยไม่ต้องผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น แต่โดยทั่วไปแล้วเราจะใช้วิธีการแบบ Conventional assay หรือ Traditional assay ซึ่งจะมีการให้อาหารมาตรฐานหรืออาหารเปรียบเทียบ (Reference diet) สำหรับไก่ในกลุ่มควบคุม แล้วจึงนำวัตถุดิบที่ต้องการทดสอบมาแทนที่บางส่วนในสูตรอาหารเปรียบเทียบ โดยที่ระดับวัตถุดิบทดสอบจะต้องไม่ต่ำหรือสูงเกินไป ถ้าใช้เพียง 5% ในสูตร ทำให้ผลการทดลองไม่น่าเชื่อถือ (Vohra. 1972) แต่การใช้ในอัตราที่สูงเราต้องคำนึงถึงคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบที่ทดสอบและความสมดุลของสูตรอาหารนั้นๆ ด้วยรวมทั้งความน่ากินและการยอมรับอาหารนั้นๆ ของไก่ทดลองด้วย

2.2.5.5 การเก็บรักษามูลที่ได้จากการทดสอบ

ความแปรปรวนของความชื้นก็มีผลต่อมูลด้วย โดยหลังจากที่อบมูลแห้งแล้วจะต้องปรับความชื้นของมูลให้อยู่ในสภาพเดียวกับบรรยากาศปกติ ก่อนทำการชั่งน้ำหนักและนำมูลนั้นไปวิเคราะห์ต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าเกิดการสูญเสียของวัตถุแห้งและไนโตรเจน เมื่อนำมูลมาอบที่ 60-70 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเป็นการอบแห้งแบบฟรีซดราย (freeze - dried) จะไม่พบการสูญเสียของคาร์บอนและมีไนโตรเจนสูญเสียไปบ้างเล็กน้อย (Sibbald. 1985)

2.2.5.6 สัตว์ทดลอง

โดยปกติแล้วจะนิยมใช้ไก่โตเต็มวัยเพศผู้ในการทดลองหาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากมีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้วและไม่ได้ใช้โภชนาไปเพื่อการสร้างผลผลิตใดๆ อัตราการใช้ประโยชน์ของพลังงานในอาหารก็จะคงที่ด้วย ส่วนการใช้ไก่ประเภทอื่น เช่น ไก่ไข่เพศเมีย ลูกไก่ ไก่กระทง ก็เพื่อการศึกษาค่า ME ที่มีความจำเพาะกับไก่ชนิดนั้นๆ

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์และองค์ประกอบทางเคมี

ในการประเมินคุณภาพของพลังงานในอาหารสัตว์ปีกนั้น Carre (1991) ได้แสดงให้เห็นว่ามีวิธีการหลักในการประเมินคุณภาพพลังงานอยู่ 3 วิธี คือ

1. การประเมินโดยทดสอบในตัวสัตว์ทดลอง (*in vivo* determination)
2. การใช้สมการทำนายค่าโดยอาศัยองค์ประกอบทางเคมี

3. การใช้สมการทำนายค่าโดยอาศัยค่าการย่อยได้โดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (*in vitro* determination)

โดยในวิธีการแรกนั้นจะมีความถูกต้องมากที่สุด แต่มีราคาแพงและสิ้นเปลืองเวลา ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น ส่วนวิธีการที่ 2 และ 3 นั้น มีค่าใช้จ่ายถูกกว่า ดังนั้นจึงได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ดังเช่น Clunies *et al.* (1984) ได้ทดสอบหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ โดยอาศัยการประมาณค่าจากการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการ (*in vitro* digestible energy, IVDE) โดยใช้เอ็นไซม์เปปซินและ 0.075 N HCl บ่มย่อยในขั้นแรก และใช้ Tris buffer [Tris(hydroxy-methyl) amino methane] เปรียบเทียบกับการทดสอบในไกโตเต็มวัยเพศผู้ พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนเฉลี่ย ที่ทดสอบโดยใช้ไกโตเต็มวัยเพศผู้ มีค่าเป็น 2.937 กิโลแคลอรีต่อกรัม ขณะที่ค่าพลังงานเฉลี่ยโดยวิธี IVDE มีค่าเป็น 2.969 กิโลแคลอรีต่อกรัม และจากการวิเคราะห์แบบรีเกรชัน พบว่า มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น $P < 0.01$ มีค่า $r = 0.93$ และได้สมการทำนายค่าพลังงาน ดังนี้

$$Y = 1.038X - 0.143 \quad (\text{สมการที่ 2.6})$$

โดยที่ Y = ค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (กิโลแคลอรีต่อกรัม)
X = ค่า IVDE มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกรัม

และมีค่า residual standard deviation (rsd) = ± 0.145 กิโลแคลอรีต่อกรัม

Carre (1991) ได้รายงานว่าการใช้ค่าการย่อยได้โดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ อาจมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการใช้องค์ประกอบทางเคมี และการใช้ค่าการย่อยได้โดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะถูกพัฒนาขึ้นเมื่อการใช้ค่าองค์ประกอบทางเคมีแสดงข้อจำกัดทางประสิทธิภาพ และการตรวจสอบคุณภาพอาหารสัตว์โดยการหาองค์ประกอบทางเคมีได้พัฒนาเป็นการสร้างสมการเพื่อการทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์โดยอาศัยองค์ประกอบทางเคมี โดยโมฆะที่มีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานใช้ประโยชน์ มีดังนี้คือ

2.3.1 โปรตีน

โปรตีนเป็นโมฆะอีกชนิดหนึ่งที่สามารถให้พลังงานแก่สัตว์ได้ ถึงแม้จะไม่ใช่แหล่งพลังงานหลักในอาหารสัตว์ แต่ก็มี ความเกี่ยวข้องกับค่าพลังงานใช้ประโยชน์ โดยในช่วงแรกที่มีการสร้างสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์นั้น ได้มีการนำค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนรวม มาเป็นพารามิเตอร์หนึ่งในสมการ และต่อมาได้มีการนำค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนและโปรตีนที่ย่อยได้มาใช้สร้างสมการทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่อง แต่โปรตีนไม่ได้ใช้เป็นแหล่งพลังงานหลัก และวัตถุดิบพลังงานมีโปรตีนอยู่ในระดับต่ำ จึงให้ความสนใจในโมฆะอื่นมากกว่า (Carre, 1990)

2.3.2 ไขมัน

สุวรรณภา กิจภากรณ์(2530) กล่าวว่า สารประเภทไขมันให้พลังงานสูงกว่าสารประเภทคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจาก ธาตุที่ประกอบขึ้นเป็นสารเหล่านี้มีปริมาณแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จำนวนออกซิเจนที่มีอยู่ในโมเลกุล ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าพลังงานรวมในอาหารบางชนิด

ชนิดของอาหาร	ค่าพลังงานรวม (กิโลแคลอรีต่อกรัมของ น.น.แห้ง)
กลูโคส	3.76
แป้ง	4.23
เซลลูโลส	4.18
เคซีน	5.86
ไขมันเนย	9.21
ไขมัน(จากเมล็ดพืชน้ำมัน)	9.33

ที่มา : Maynard *et al.* (1979)

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความสัมพันธ์ของส่วนประกอบของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตเป็นเปอร์เซ็นต์

ส่วนประกอบ	คาร์บอน	ไฮโดรเจน	ออกซิเจน	ไนโตรเจน
ไขมัน	77	12	11	-
โปรตีน	52	6	22	16
คาร์โบไฮเดรต	44	6	50	-

ที่มา : Maynard *et al.* (1979)

ในการเผาไหม้คาร์โบไฮเดรต จะเห็นว่าปริมาณในโมเลกุลเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไฮโดรเจนที่มีอยู่ แต่กรณีของไขมันปริมาณของออกซิเจนมีน้อยมาก จึงต้องการออกซิเจนจากภายนอกโมเลกุลมาช่วยในการออกซิเดชันกับไฮโดรเจนและคาร์บอน ซึ่งการเผาไหม้ไฮโดรเจน 1 กรัม จะให้ความร้อนเป็น 4 เท่าของการเผาไหม้คาร์บอน 1 กรัม (34.5 ต่อ 8 กิโลแคลอรีต่อกรัม) ดังนั้น ไขมันจึงให้พลังงานสูงกว่าคาร์โบไฮเดรต สำหรับความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้โปรตีน ก็ได้จากการออกซิเดชันของคาร์บอนและไฮโดรเจนเช่นกัน จากตารางที่ 2.1 จะเห็น

ได้ว่าไขมันให้ความร้อนสูงกว่าคาร์โบไฮเดรตอยู่ เท่ากับ 9.33 / 4.23 หรือ 2.205 เท่า ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ 2.25 เท่า (สุวรรณ กิจภากรณ์. 2530)

ในการศึกษาเรื่องไขมัน มักจะให้ความสำคัญกับกรดไขมัน และสัตว์ปีกก็มีความสามารถในการสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวได้ในสัดส่วนที่สูงกว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Wiseman. 1994) ในการสลาย Palmitate 1 โมเลกุล จะให้พลังงานมากถึง 2,430 กิโลแคลอรี และมีรายงานว่าปริมาณกรดไขมันอิสระก็มีผลต่อค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ดังเช่น Wiseman and Salvador (1991) ได้รายงานว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของไขมันจะลดลงเมื่อเพิ่มกรดไขมันอิสระในอาหาร และจะลดลงมากขึ้นในไก่อายุน้อย การใช้ไขมันสัตว์ซึ่งมีกรดไขมันอิสระ 138.4 กรัมต่อกิโลกรัม แล้วเปลี่ยนเป็น tallow acid oil ที่มีกรดไขมันอิสระ 952.1 กรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ลดลงจาก 7,382 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เป็น 4,873 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

จากสมการของ EEC ซึ่งนำเสนอโดย Cooke (1989) ได้แสดงถึงค่า ME ไว้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ME (MJ/Kg)} = & 0.3431 (\% \text{ fat}) + 0.1551 (\% \text{ crude protein}) + \\ & 0.1301 (\% \text{ total sugar (expressed as sucrose)}) + \\ & 0.1669 (\% \text{ starch}) \end{aligned} \quad (\text{สมการที่ 2.7})$$

โดยที่ไขมันนั้นวัดได้จากการย่อยด้วยกรด และตามด้วยการสกัดโดยใช้ petroleum ether ซึ่งให้ค่าคงที่ เท่ากับ 0.3431 และที่ 0.5% ของความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ไขมัน มีค่าเป็น 0.17MJ ME/Kg ส่วน Dolz and Bals (1992) ได้เสนอสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แท้จริงเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน ดังนี้

$$\text{AMEn (DM basis)} = -910 + 44.8 (\text{CP}) + 83.6 (\text{EE}) \quad (\text{สมการที่ 2.8})$$

โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.96 ที่ $P < 0.001$

$$\text{TMEEn (DM basis)} = 491 + 34.4 (\text{CP}) + 96.5 (\text{EE}) \quad (\text{สมการที่ 2.9})$$

โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.98 ที่ $P < 0.001$

และจากการทดสอบโดย Clunies *et al.* (1984) ซึ่งใช้ค่าการย่อยได้ของพลังงานโดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่า ถ้านำค่าของไขมันมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน จะช่วยให้ความแม่นยำในการทำนายค่าเพิ่มมากขึ้น โดยมีสมการทำนายค่าดังนี้ คือ

$$Y = 0.9169X_1 + 0.0518X_2 - 0.0213 \quad (\text{สมการที่ 2.10})$$

โดยที่ : Y = ค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกรัม

X_1 = ค่า IVDE มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกรัม

X_2 = เปอร์เซ็นต์ไขมัน (ether extract) ในอาหาร

และมีค่า $r = 0.98$ และ $rsd = \pm 0.073$ กิโลแคลอรีต่อกรัม

2.3.3 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตนับได้ว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ และมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์กับค่าพลังงานใช้ประโยชน์มากที่สุด Bolton (1967) ได้มีการสร้างสมการประมาณค่าพลังงาน โดยใช้ค่าของคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ประโยชน์ได้ ดังนี้

$$ME \text{ (kcal/kg)} = 40.81 [0.87 (\text{crude protein} + 2.25 \times \text{ether extract} + \text{available carbohydrate}) + K] \quad (\text{สมการที่ 2.11})$$

โดยที่ K มีค่าเท่ากับ 4.9 ในไก่โตเต็มวัย และ เท่ากับ 2.5 สำหรับลูกไก่

แต่ส่วนใหญ่ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำคาร์โบไฮเดรต มาแบ่งเป็นประเภทย่อยลงไปอีก ในการสร้างสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ โดยแบ่งเป็นกลุ่มที่ย่อยง่ายหรือ nitrogen free extract (NFE) เช่น starch , sugar และกลุ่มที่ย่อยยากหรือพวกเยื่อใย (crude fiber) โดยจะไดกล่าวถึง การนำค่าต่างๆไปใช้ในสมการ ดังนี้คือ

(1) Nitrogen free extract (NFE)

สามารถคำนวณโดยวิธีนำเอาเปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบต่างๆทางเคมี ไปลบออกจาก 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนี้ (ศรีสกุล วรจันทรา และรณชัย สิทธิไกรพงษ์. 2539)

$$\%NFE = 100 - (\% \text{ความชื้น} + \% \text{โปรตีน} + \% \text{ไขมัน} + \% \text{เยื่อใย} + \% \text{เถ้า}) \quad (\text{สมการที่ 2.12})$$

(2) แป้ง (Starch)

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดพอลิแซ็กคาไรด์ ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสจำนวนมาก ที่ต่อเชื่อมกันด้วยพันธะ 1,4 α -linkages เมื่อระเหยน้ำออกด้วยความร้อน โมเลกุลของแป้งจะกลายเป็นรูปร่างที่ไม่แน่นอน นอกจากนี้แป้งยังประกอบด้วย ไนโตรเจน 0.05 % รวมทั้งกรดไขมันและฟอสเฟตบางชนิด (ศรีสกุล วรจันทรา และรณชัย สิทธิไกรพงษ์. 2539)

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างแป้งและพลังงานใช้ประโยชน์ได้นั้น สามารถนำมาสร้างเป็นสมการประมาณค่าพลังงาน ได้หลายสมการ ดังนี้

1. Carpenter and Clegg (1956) ได้เสนอสมการที่ใช้แต่ค่าของแป้งเพียงอย่างเดียว คือ

$$Y = 34 \times (\% \text{ starch}) + 1,250 \quad (\text{สมการที่ 2.13})$$

โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน อยู่ที่ ± 180 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

2. Wiseman (1994) ได้เสนอสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (AMEn) ไว้ดังนี้

$$\text{AMEn (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)} = 37.1 \text{ CP} + 82 \text{ EE} + 40 \text{ S} + 31.1 \text{ SU} \quad (\text{สมการที่ 2.14})$$

โดยที่ CP คือ โปรตีนหยาบ (% crude protein)

EE คือ ไขมัน (% crude fat)

S คือ แป้ง (% starch)

SU คือ น้ำตาล (% free sugar)

(3) น้ำตาล (Sugar)

น้ำตาล เป็นคาร์โบไฮเดรตที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เร็วที่สุดและเป็นสารที่ให้พลังงานสูง Janssen (1989) ได้แสดงสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (ME_N) ของผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาล ได้แก่ กากน้ำตาล (beet or cane molasses) และน้ำตาล (sugar) โดยใช้พารามิเตอร์เพียงตัวเดียว คือ น้ำตาล (SUG) ดังนี้คือ

$$\text{กากน้ำตาล ; ME}_N \text{ (kcal/kg dry matter)} = 40.01 \times \% \text{SUG} \quad (\text{สมการที่ 2.15})$$

$$\text{น้ำตาล ; ME}_N \text{ (kcal/kg dry matter)} = 38.96 \times \% \text{SUG} \quad (\text{สมการที่ 2.16})$$

(4) เยื่อใย (Crude fiber)

เยื่อใยถือได้ว่าเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลใหญ่ และสลับซับซ้อน เดิมนั้นได้มีการนำค่าของเยื่อใยในอาหารไปใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ เช่น Janssen *et al.* (1979) ได้เสนอสมการประมาณค่าพลังงานของข้าวสาลีและผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลี โดยใช้ค่าของเยื่อใย หรือ crude fiber (CF) เพียงอย่างเดียว ในสมการดังนี้คือ

$$\text{ME}_n = 3,985 - 205 \times \%CF \quad (\text{meal form}) \quad (\text{สมการที่ 2.17})$$

$$\text{ME}_n = 3,926 - 181 \times \%CF \quad (\text{pellete form}) \quad (\text{สมการที่ 2.18})$$

ส่วน Moir and Connor (1977) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการสร้างสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของข้าวฟ่าง โดยใช้วิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้สมการ 3 สมการ ดังนี้คือ

$$\text{ME} = 3,062 + 887 \times \%CF - 202.5 \times (CF)^2 \quad (\text{สมการที่ 2.19})$$

$$\text{ME} = 4,412 - 90.34 \times \%ADF \quad (\text{สมการที่ 2.20})$$

$$\text{ME} = 3,773 + 35.73 \times \%APF - 3.272 \times (APF)^2 \quad (\text{สมการที่ 2.21})$$

โดยที่ ADF คือ acid detergent fiber และ APF คือ acid-pepsin fiber

จากสมการดังกล่าว จะเห็นได้ว่าการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์โดยอาศัยค่าของเยื่อใยนั้น นอกจากจะใช้ค่าของ %crude fiber แล้ว ยังสามารถใช้ค่าของเยื่อใยชนิดอื่นๆ ในการประมาณค่าได้อีก เช่น ค่า%ADF และค่า %APF จึงได้มีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของเยื่อใยแต่ละชนิดกับค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในเวลาต่อมา

จากข้อมูลต่างๆข้างต้น Fisher (1989) ได้สรุปการนำเสนอสมการทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน ในรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในตารางตารางที่ 2.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสมการที่ 1 และ 2 ซึ่งนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์หองค์ประกอบโดยประมาณนั้น มีความแตกต่างกันเพียงแค่ว่าคงที่ในสมการที่ 1 และค่าคงที่นี้ก็คือน้ำหนักของเยื่อใยซึ่งมีค่าพลังงานต่ำ (ค่าการย่อยได้เฉลี่ยเท่ากับ -0.023) น่าจะไม่ต้องใช้ในสมการ แต่เยื่อใยก็มีความสำคัญคือ มีผลต่อการลดค่าการย่อยได้ของโภชนะอื่น และเมื่อนำ สมการไปใช้ พบว่า ไม่มีนัยสำคัญของ interaction ระหว่างเยื่อใยกับไขมัน แต่จะมีนัยสำคัญของ interaction ระหว่างเยื่อใยกับคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (ในสมการที่ 3 และ 4) จากค่าสัมประสิทธิ์แสดงให้เห็นว่า ค่าพลังงานที่ได้จาก NFE จะลดลง 0.3-0.4 กิโลจูลต่อกรัม เมื่อค่าเยื่อใยเพิ่มขึ้น 1% และได้มีการพัฒนารูปแบบของสมการโดยการใช้ค่าของแป้งและน้ำตาล แทนที่ค่าของ NFE ดังสมการที่ 5 และ 6

ตารางที่ 2.3 แสดงสมการรูปแบบต่างๆในการทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมดุล ไนโตรเจน (กิโลจูลต่อ 1 กิโลกรัม วัตถุแห้ง)

สมการที่	สมการ	r^2	Rsd
1	$-2.664 + 34.87 X_1 + 17.72 X_2 - 15.23 X_3 + 17.42 X_4$	0.85	0.93
2	$31.97 X_1 + 14.14 X_2 - 18.37 X_3 + 14.48 X_4$	0.84	0.94
3	$-3.064 + 34.82 X_1 + 17.21 X_2 + X_4 (18.52 - 31.2 X_3)$	0.85	0.92
4	$31.36 X_1 + 12.75 X_2 + X_4 (15.30 - 38.1 X_3)$	0.85	0.93
5	$0.909 + 31.02 X_1 + 13.65 X_2 + 15.29 X_5 + 11.27 X_6$	0.92	0.70
6	$32.01 X_1 + 15.48 X_2 + 16.40 X_5 + 12.39 X_6$	0.91	0.71

- X_1 = ไขมัน มีหน่วยเป็น กรัม ต่ออาหาร 1 กรัม
 X_2 = โปรตีนหยาบ มีหน่วยเป็น กรัม ต่ออาหาร 1 กรัม
 X_3 = เยื่อใย มีหน่วยเป็น กรัม ต่ออาหาร 1 กรัม
 X_4 = NFE มีหน่วยเป็น กรัม ต่ออาหาร 1 กรัม
 X_5 = แป้ง มีหน่วยเป็น กรัม ต่ออาหาร 1 กรัม
 X_6 = น้ำตาล มีหน่วยเป็น กรัม ต่ออาหาร 1 กรัม

ที่มา : Fisher (1989)

(5) ผนังเซลล์ (Cell walls)

Carre(1990) กล่าวว่าโภชนะบางอย่างนั้นอาจนำไปสู่ความแปรปรวนในการทำนายค่าการย่อยได้และเป็นปัจจัยสำคัญที่มีความสำคัญกับค่าการย่อยได้ วัตถุดิบบางชนิดที่มีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่ำจะมีส่วนของผนังเซลล์สูง จึงได้เป็นผู้ริเริ่มให้ความสนใจในการนำค่าของ Water-insoluble cell wall (WICW) ซึ่งวิธีการวิเคราะห์หาค่า WICW นั้นได้ถูกพัฒนาให้มีวิธีการที่ง่ายและใกล้เคียงกับการวัดค่า NDF (Neutral detergent fiber) ดังเช่นวิธีการของ Carre (1991) โดย WICW เป็นส่วนที่แสดงถึงผนังเซลล์ของพืชที่ย่อยไม่ได้ทั้งหมด ซึ่งค่าของ WICW คือ ส่วนของลิกนิน เซลลูโลส water-insoluble hemicellulose และ water-insoluble pectic substance ส่วนค่าของ CF ไม่ได้รวม water-insoluble hemicellulose และ water-insoluble pectic substance และค่า NDF นั้นไม่ได้รวมค่า water-insoluble pectic substance โดยเฉพาะ ในเมล็ดพืชตระกูลถั่วจะมีส่วนของ water-insoluble pectic substance สูงมาก ดังนั้น การใช้ NDF เป็นพารามิเตอร์สำหรับการทำนายค่าจึงมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ค่า WICW

สำหรับตัวอย่างของสมการทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ที่นำเสนอโดย Carre และ Brillouet (1989) ได้แบ่งพารามิเตอร์เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของ GE, CP และ WICW และกลุ่มของ Fat, Ash และ WICW ดังนี้คือ

$$\text{AMEn} = 0.9362 \text{ GE} - 0.0643 \text{ CP} - 0.105 \text{ WICW} \quad (\text{สมการที่ 2.22})$$

(ค่า rsd = 0.22 MJ/kg D.M.)

และ $\text{AMEn} = 16.66 + 0.197 \text{ L} - 0.222 \text{ Ash} - 0.187 \text{ WICW} \quad (\text{สมการที่ 2.23})$

(ค่า rsd = 0.26 MJ/kg D.M.)

โดยที่ L คือ ไขมัน (Ether extract without hydrolysis)

การใช้ WICW แทนที่ CF หรือ NDF ในการทำนายค่า ทำให้สมการมีการพัฒนามากขึ้น เพราะ การวิเคราะห์โดยใช้สมการที่มี WICW จะมีความผันแปรน้อยกว่าการใช้พารามิเตอร์ในกลุ่มของไขมัน โปรตีน NFE และ การใช้พารามิเตอร์ WICW แทนที่ในส่วนของการแบ่งและน้ำตาล ไม่ทำให้ความแม่นยำในการทำนายค่าลดลงและทำให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น (Fisher. 1989)

ตารางที่ 2.4 แสดงสรุปปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์

อาหาร/วัตถุดิบ	ค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ใช้ทำนายค่า
วัตถุดิบทุกชนิด	FAT , CP , STC , SUG
วัตถุดิบทุกชนิด	FAT , CP , CF , NFE
วัตถุดิบทุกชนิด	Various ; mainly proximate components
อาหารชั้นโปรตีนทุกชนิด	FAT , CP , CF , STC , SUG
ข้าวสาลี	FAT , CP , CF , ASH , NFE , selenium
ข้าวโอ๊ต	CF
ข้าวบาร์เลย์	CP , CF , ASH , SUG
ข้าวบาร์เลย์	CF
ข้าวสาลี, ข้าวโอ๊ต, ข้าวบาร์เลย์	FAT , CP , CF , ASH , STC , SUG , NFE , CF
ข้าวโพดและผลิตภัณฑ์จากข้าวโพด	CP , CF , STC , SUG , GE
ข้าวฟ่าง	Tannin
ไขมันวัว	Free fatty acids
กากเมล็ดฝ้าย	FAT , CP , CF

ที่มา : ดัดแปลงจาก Fisher (1989)

Fisher (1989) ได้สรุปถึง ข้อจำกัดที่สำคัญในการสร้างสมการทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์ไว้ 3 ข้อ ได้แก่

1. สมการทำนายค่านั้นต้องสามารถคำนวณกลับไปอยู่ในรูปที่สามารถเปรียบเทียบได้ และควรได้มาจากค่าพารามิเตอร์ปกติ

2. ต้องมีการแบ่งคุณสมบัติทางเคมีออกเป็นกลุ่มอย่างกว้างๆ เช่น ไขมัน โปรตีน แป้ง โดยที่ไม่ต้องให้ความสนใจในรายละเอียดของวิธีการที่ใช้มากนัก

3. ไม่ควรใช้สมการที่ได้มาจากข้อมูลต่างๆ เช่น วัตถุดิบแต่ละชนิด หรืออาหารผสมที่แตกต่างกันอย่างมาก แต่ควรใช้สมการที่ได้จากวัตถุดิบตามปกติ ซึ่งเปรียบเทียบข้อมูลจากต่างแหล่งได้ และได้สรุปปัจจัยที่ใช้ในการสร้างสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ในตารางที่ 2.4

โดยสมการที่ได้รับความสนใจอย่างมาก ได้แก่ สมการของ Carpenter and Clegg (1956) ซึ่งได้เสนอสมการรวมในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ โดยใช้ธัญพืช 9 ชนิด และผลพลอยได้จากธัญพืช 4 ชนิด รวมทั้งอาหารผสมสำเร็จ 4 สูตร และทดสอบในไกโตเต็มวัยเพศเมีย ได้ผลการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมี และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ดังในตารางที่ 2.5 รวมทั้งได้ทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์ไว้ด้วย โดยใช้สมการดังนี้คือ

$$y = 53 + 38 (\% \text{crude protein} + 2.25 \times \text{ether extract} + 1.1\% \text{starch} + \% \text{sugar}) \quad (\text{สมการที่ 2.24})$$

(y คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

โดยพารามิเตอร์ที่ใช้คือ โปรตีน ไขมัน แป้ง และน้ำตาล และมีค่า regression coefficient เท่ากับ 3.8 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และค่า intercept เท่ากับ 0.053 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และมีค่า rsd เท่ากับ 40.1 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 2.5 แสดงองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานชนิดต่างๆ

Sample	% CP	% EE	% CF	% Ash	% NFE	% STC	% SUG	GE (Kcal/Kg)	Deter- minedME (Kcal/Kg)	Predicted ME (Kcal/Kg)
A. Cereals and by-products										
1. Maize	9.3	3.3	1.8	1.4	74.2	62.4	1.7	3,980	3,500	3,360
2. Sorghum	10.1	2.5	1.6	1.6	74.2	63.1	1.6	3,990	3,400	3,350
3. Wheat 1	12.4	1.3	1.5	1.7	73.1	60.5	2.8	3,910	3,300	3,270
4. Wheat 2	11.9	1.8	1.6	2.0	72.7	60.8	2.8	3,950	3,340	3,310
5. Barley 1	9.9	1.3	5.1	2.9	70.8	54.0	2.8	3,920	2,870	2,900
6. Barley 2	10.3	1.0	5.0	6.8	66.9	47.5	3.3	3,730	2,680	2,640
7. Oats 1	7.7	3.9	9.2	2.5	66.7	41.2	1.4	4,150	2,820	2,460
8. Oats 2	6.5	4.7	8.5	4.1	66.0	37.2	2.7	4,080	2,550	2,360
9. Oats 3	8.2	2.4	7.7	1.8	69.9	50.1	1.5	4,230	2,720	2,720
10. Wheat offal, fine parings	15.8	4.5	5.5	3.5	60.7	34.5	8.4	4,130	2,650	2,800
11. Wheat offal , French pollards	16.7	3.9	7.6	5.2	56.6	20.2	8.3	4,120	2,000	2,180
12. Wheat offas, coarse bran	14.0	4.4	10.6	6.4	54.6	11.6	6.5	4,120	1,320	1,700
13. Maize gluten	23.0	1.0	9.2	1.0	55.8	14.1	0.8	4,380	1,920	1,630
B. Mixed rations										
14. Maize-FM	19.0	4.6	2.6	4.1	59.7	50.7	3.3	4,020	3,220	3,410
15. Barley - FM	20.1	3.0	3.9	5.2	57.8	44.0	3.6	3,970	2,860	3,050
16. Maized-soya	12.1	2.4	2.0	5.2	68.3	53.5	3.5	3,820	3,100	3,090
17. Mixed cereal	11.3	2.0	6.9	8.5	61.2	40.0	3.3	3,680	2,410	2,450

ที่มา : Carpenter and Clegg (1956)

2.3.4 ปัญหาหรือข้อบกพร่องของการใช้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์

1) ในการหาสมการทำนายค่าพลังงาน จะต้องให้มีความเหมาะสมกับสัตว์แต่ละประเภท หรือแต่ละอายุ จึงควรมี 2 ถึง 3 สมการ ตามอายุของสัตว์ จากการทดลองพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อปรับสมมูลไนโตรเจน ระหว่างสัตว์ อายุ น้อยและสัตว์โตเต็มวัย และการย่อยได้ของน้ำตาลในไก่อายุ 4 สัปดาห์และไก่โตเต็มวัย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Sibbald. 1982)

2) การทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยอาศัยองค์ประกอบทางเคมีนั้น ถึงแม้จะประมาณค่าได้อย่างรวดเร็วและมีราคาไม่แพง โดยการใช้สมการรีเกรชันมาคำนวณค่า แต่ก็ไม่พบว่าสมการใดที่สามารถเป็นตัวแทนของวัตถุดิบทุกชนิดได้ จึงต้องมีการจัดกลุ่มวัตถุดิบและหาสมการเฉพาะสำหรับกลุ่มนั้นๆ (Fisher. 1989)

3) เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ต่างที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นมีความหลากหลายมาก แล้วแต่นักวิจัยคนใดจะเลือกมาเป็นตัวแทนเพื่อใช้ในการประมาณค่า ค่าพารามิเตอร์บางตัวถึงแม้จะมีความแม่นยำในการทำนายค่าพลังงาน แต่ก็เป็ค่าที่เราต้องทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมจากงานการวิเคราะห์โดยประมาณ การใช้พารามิเตอร์เหล่านั้นก็ต้องเพิ่มงานในการวิเคราะห์เข้าไปอีกด้วย

4) สมการทำนายค่าแต่ละสมการมีความเหมาะสมกับวัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบเพื่อสร้างสมการนั้นๆ ไม่ได้มีความเหมาะสมกับวัตถุดิบทุกชนิด ดังนั้น การเลือกเอาสมการหนึ่งๆ ขึ้นมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานนั้น จะต้องเป็นสมการที่เหมาะสมกับวัตถุดิบชนิดนั้น

5) ในการสร้างสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์นั้น จะต้องทดสอบกับวัตถุดิบหรืออาหารทดสอบจำนวนมาก เพื่อให้ได้สมการที่มีความเชื่อถือและลดความแปรปรวนในการประมาณค่า เช่น Carpenter and Clegg (1956) ใช้อาหารตัวอย่าง 22 ชนิด ส่วน Campbell *et al.* (1986) ใช้ตัวอย่างอาหารผสมถึง 86 ชนิด

6) วิธีการทดสอบหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยการทดสอบในตัวสัตว์เอง โดยวิธี Rapid assays ก็ใช้เวลาในการทดสอบไม่นานมากนัก ส่วนการนำค่าการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการมาประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ ก็ยังมีผู้ให้ความสนใจและพัฒนาประสิทธิภาพขึ้นเรื่อยๆ เช่น วิธีการของ Clunies *et al.* (1984) , Valdes and Leeson (1992) นอกจากนี้ยังมีการใช้ NIRS (Near infrared reflectance spectroscopy) มาใช้ในการวัดค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ ใกล้เคียงกับการทดสอบในตัวสัตว์ เช่น Valdes and Leeson (1994)

2.4 ข้าวและผลพลอยได้จากข้าว

2.4.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตระกูล *Oryza* ในวงศ์ Gramineae ซึ่งพืชในวงศ์นี้มีหลายตระกูล เช่น ตระกูล Triticineae ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวไรย์ ข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น ตระกูล Aveneae ได้แก่ ข้าวโอ๊ต ตระกูล Tripsaceae ได้แก่ ข้าวโพด พืชในวงศ์ Gramineae ถือเป็นพืชอาหารหลักที่สำคัญที่สุดของมนุษย์ ข้าวนั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ตามลักษณะการเกิดขึ้นเป็นอยู่ คือ ข้าวปลูก (Cultivated rice) เกิดขึ้นโดยการเพาะปลูกของมนุษย์ กับ ข้าวป่า (Wild rice) ซึ่งเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ และพบได้ทั่วไปในภูมิภาคเอเชียอาคเนย์ (เอี่ยม ทองดี, 2538)

ข้าวเจริญเติบโตได้ทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น สามารถปลูกได้ทั้งในที่ราบ ไปจนถึงที่ที่มีความสูง 2,500 เมตร จากระดับน้ำทะเล ไม่ว่าจะเป็นที่ลุ่มหรือแห้งแล้ง ดินที่ความเป็นกรดต่างหรือมีความเค็มต่างๆกัน ข้าวก็สามารถเจริญเติบโตได้ดี จึงทำให้มีพันธุ์ข้าวอยู่ทั่วโลกถึง 120,000 พันธุ์ และในประเทศไทยก็มีพันธุ์ข้าวประมาณ 3,500 พันธุ์โดยข้าวที่ปลูกเพื่อใช้เป็นอาหารแบ่งเป็น 2 ชนิด (species) คือ *Oryza sativa* ซึ่งปลูกในทวีปเอเชีย และ *Oryza glaberrima* ซึ่งปลูกในทวีปแอฟริกา ข้าวชนิด *Oryza sativa* มีจำนวนพันธุ์และความแตกต่างในลักษณะของพันธุ์มากกว่าข้าวชนิด *Oryza glaberrima* มาก และข้าวที่ผลิตขายในตลาดโลกในปัจจุบันเป็นข้าวชนิด *Oryza sativa* เกือบทั้งหมด โดยแบ่งออกเป็น 3 ชนิดย่อย (Subspecies) คือ

1) ข้าวอินดิกา (Indica)

เป็นข้าวที่ปลูกในภูมิภาคเอเชียเขตร้อน คือทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ไทย จีน ฟิลิปปินส์ เวียดนาม ลาว กัมพูชา พม่า มาเลเซีย อินโดนีเซีย และในแถบเอเชียใต้ เช่น อินเดีย ศรีลังกา ต่อมาได้มีการนำไปปลูกในทวีปอเมริกาด้วย ข้าวพวกนี้มีลักษณะเมล็ดยาว ต้นสูง ไรต่อช่วงแสง มีใบมากและโค้งงอ ไม่ตอบสนองต่อปุ๋ย จึงให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ แต่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมต่างๆได้ดี

2) ข้าวจาปอนิกา (Japonica) หรือซินิกา (Sinica)

เป็นข้าวที่ปลูกในเขตอบอุ่น เช่น ญี่ปุ่น จีน เกาหลี เป็นข้าวเมล็ดป้อม ต้นเตี้ย ใบตั้งและสั้น ไม่ค่อยไรต่อช่วงแสงและตอบสนองต่อปุ๋ยได้ดี ถ้าใส่ปุ๋ยจะให้ผลผลิตค่อนข้างสูง

3) ข้าวจาวานิกา (Javanica)

มีปลูกไม่มากนักในประเทศอินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ ข้าวประเภทนี้มีต้นสูงและมีเมล็ดป้อมใหญ่ แต่ให้ผลผลิตต่ำกว่าข้าวอินดิกาและไม่ค่อยตอบสนองต่อปุ๋ย จึงไม่นิยมปลูก

ชาญ มงคล (2536) รายงานว่า เมล็ดข้าว มีแป้งประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ แป้งที่ประกอบกันเป็นเมล็ดข้าวนั้น มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ อะไมโลส (เป็นโพลีเมอร์ของ D-glucose ที่มีโครงสร้างต่อกันเป็นเส้น) และอะไมโลเพคติน (เป็นโพลีเมอร์ของ D-glucose ที่มีโครงสร้างต่อกันเป็นแขนง) ความมายน้อยของแป้ง 2 ชนิด ทำให้ข้าวมีลักษณะแตกต่างกัน 2 ประเภท คือ

1. ข้าวเจ้า (non-glutinous rice, non-sticky rice, non-waxy rice)

ข้าวเจ้า ประกอบด้วยแป้งอะไมโลส 15-31 เปอร์เซ็นต์ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว แป้งที่เหลือจะเป็นอะไมโลเพคติน ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ อัมมาร สยามวาลา และวิโรจน์ ณ ระนอง (2533) ที่ว่า ข้าวเจ้ามีสัดส่วนของแป้งอะไมโลส ประมาณร้อยละ 14-35 ที่เหลือเป็นอะไมโลเพคติน โดยข้าวเจ้าก่อนหุงจะมีเมล็ดใสเมื่อหุงสุกแล้วเมล็ดจะขาวขุ่น ปริมาณอะไมโลสในข้าวเจ้าทำให้ข้าวเมื่อหุงสุกแล้วมีลักษณะอ่อนนุ่มหรือแข็งกระด้างต่างกันไป ข้าวพันธุ์ที่ยังมีอะไมโลสมากจะยิ่งแข็ง เช่น ข้าวพันธุ์ กข 1 มีอะไมโลส 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อหุงสุกแล้วแข็ง ส่วนพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีอะไมโลส 22 เปอร์เซ็นต์ เมื่อหุงสุกแล้วจึงอ่อนนุ่ม ส่วนข้าวญี่ปุ่นมีอะไมโลสเพียง 10-24 เปอร์เซ็นต์ เมื่อหุงสุกแล้วจึงเหนียวมากกว่าข้าวไทย (ชาญ มงคล. 2536)

2. ข้าวเหนียว (glutinous rice, sticky rice, waxy rice)

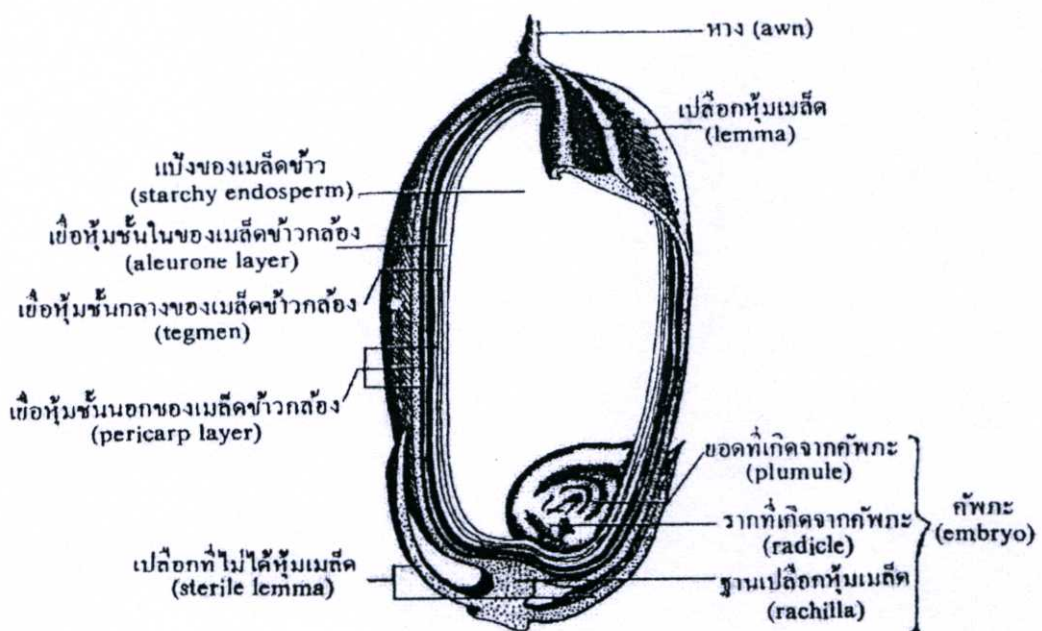
ข้าวเหนียว ประกอบด้วยแป้งประเภทอะไมโลเพคตินถึง 95 เปอร์เซ็นต์ มีแป้งประเภทอะไมโลสน้อยมากหรือบางพันธุ์ก็ไม่มีเลย ก่อนหุงเมล็ดจะขุ่นทึบ แต่เมื่อหุงสุกแล้วเมล็ดจะใสกว่าข้าวเจ้า ซึ่งทำให้ข้าวเหนียวมีลักษณะเหนียวเหนียวหนืดกว่าข้าวเจ้าเมื่อสุก (อัมมาร สยามวาลา และวิโรจน์ ณ ระนอง. 2533)

จากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2537) ทำให้ทราบว่า ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยมีส่วนแบ่งในตลาดโลกร้อยละ 28 และในปี 2532 เคยส่งออกข้าวมากถึง 6 ล้านตันข้าวสาร ซึ่งมีส่วนแบ่งในตลาดโลกถึงร้อยละ 40 โดยผลผลิตข้าวส่วนใหญ่เป็นข้าวนาปี ส่วนข้าวนาปรังจะปลูกได้ในช่วงฤดูแล้งเฉพาะในเขตชลประทานเท่านั้น และผลผลิตประมาณร้อยละ 70 เป็นข้าวเจ้า และเป็นข้าวเหนียวร้อยละ 30 ดังรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2542) ในปีเพาะปลูก 2540/2541 ประเทศไทยมีผลผลิตข้าวเจ้า 13,146 ล้านตันข้าวเปลือก และผลผลิตข้าวเหนียว 5,643 ล้านตัน โดยที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นภาคที่มีพื้นที่เพาะปลูกและให้ผลผลิตทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมากที่สุด

ประพาส วีระแพทย์ (2523) กล่าวว่า เมล็ดของข้าวหมายถึง ส่วนรวมที่เป็นแป้งที่เรียกว่า เอ็นโดสเปิร์ม (endosperm) และส่วนที่เป็น เอ็มบริโอ (embryo) ซึ่งถูกห่อหุ้มไว้โดยเปลือกนอกที่เรียกว่า เลมมา (lemma) และ พาเลีย (palea) เอ็นโดสเปิร์ม คือส่วนของแป้งที่เราบริโภค ขณะที่ เอ็มบริโอ (embryo) คือส่วนที่มีชีวิตและจะงอกออกมาเป็นต้นข้าวเมื่อเอาไปเพาะ

เมื่อละอองเกสรตัวผู้ลงไปผสมรวมตัวกับไข่และนิวเคลียสอื่นๆในรังไข่ นิวเคลียสที่รวมตัวกับไข่ก็จะเจริญเติบโตเป็นเอ็มบริโอ (embryo) ส่วนนิวเคลียสที่รวมตัวกับนิวเคลียสอื่น ๆ (polar nuclei) ก็จะเจริญเติบโตเป็นแบ่งที่เรียกว่า เอ็นโดสเปิร์ม (endosperm) หลังจากการผสมเกสรประมาณ 30 วัน เมล็ดข้าวก็จะแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้

เมื่อได้แก่เปลือกที่เป็น lemma และ palea ของเมล็ดข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวมาก็จะได้เมล็ดข้าวที่เรียกว่า ข้าวกล้อง หรือ brown rice เมล็ดข้าวกล้องมักจะเป็นสีน้ำตาลอ่อน ๆ และเมื่อได้ผ่าตัดเมล็ดข้าวกล้องออกตามความยาว ตามที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.1 ก็พบว่าเมล็ดข้าวกล้องประกอบด้วย เยื่อชั้นนอกบาง ๆ เรียกว่า เยื่อชั้นเพอริคาร์พ (pericarp layers) จำนวน 2 ชั้น เยื่อชั้นกลางหนึ่งชั้นเรียกว่า เยื่อชั้นเท็กเมนต์ (tegmen) และเยื่อชั้นในบาง ๆ อีกหนึ่งชั้นเรียกว่า เยื่อชั้นอะลูโรน (aleurone layer) ถ้าเยื่อชั้นเพอริคาร์พเป็นสีแดง เมล็ดข้าวกล้องก็จะเป็นสีแดง ส่วนภายในที่เป็นเอ็นโดสเปิร์ม จะมีลักษณะเป็นแบ่งสีขาวหรือใส มีจำนวนน้อยมากที่มีเอ็นโดสเปิร์มหรือส่วนของแบ่งเป็นสีแดง ข้าวเหนียวจะมีส่วนของแบ่งเป็นสีขาวขุ่น ส่วนข้าวเจ้ามีส่วนของแบ่งที่ขาวใสกว่า และแบ่งข้าวเจ้าอาจมีสีขาวขุ่นเกิดขึ้นที่ด้านข้างหรือตรงกลางเมล็ดก็ได้ ซึ่งเรียกว่า ท้องไข่ หรือท้องปลาชิว (chalkiness) ซึ่งอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม หรือเป็นลักษณะประจำพันธุ์ ซึ่งมีข้อเสีย คือ ทำให้เมล็ดหักง่ายเมื่อนำข้าวไปสี ได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวต่ำ

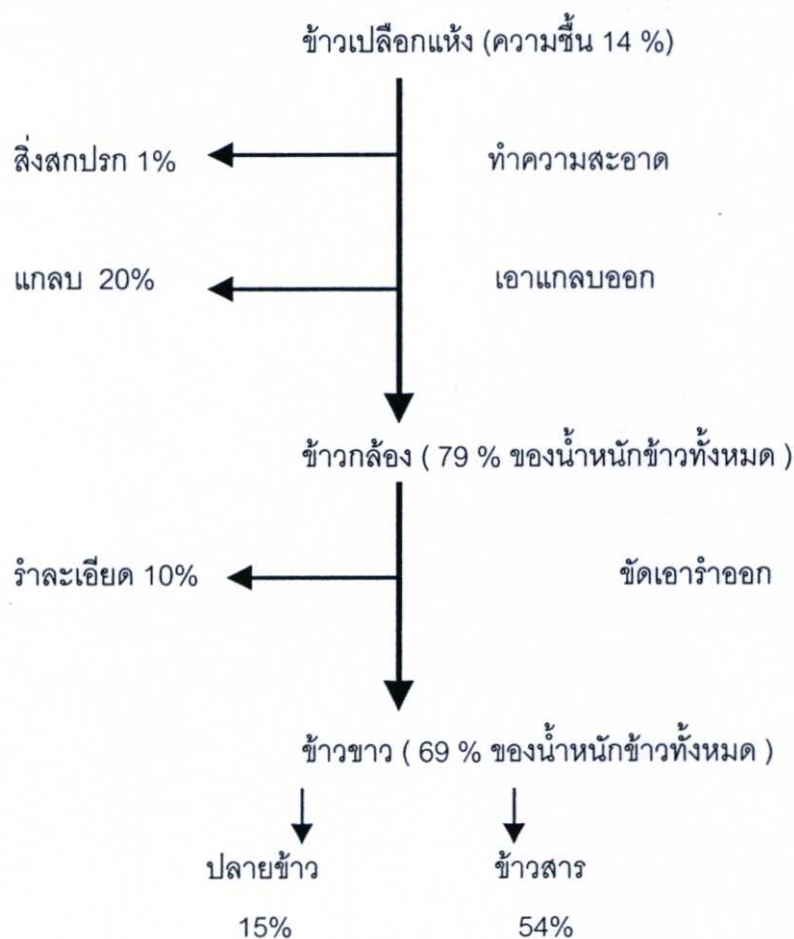


ภาพที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเมล็ดข้าว

ที่มา : ประพาส วีระแพทย์ (2523)

2.4.2 ผลพลอยได้จากข้าว

ตามปกติแล้วเกษตรกรจะนำข้าวเปลือกที่ได้ ไปสีที่โรงสีขนาดเล็กในท้องถิ่นครั้งละไม่มากนักเพื่อไว้บริโภคเองในครัวเรือน และทางโรงสีจะคิดค่าจ้างเป็นรำและปลายข้าวที่ได้จากการสี และนำผลพลอยได้เหล่านั้นไปจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์ ดังนั้น โรงสีขนาดเล็กจึงมีประสิทธิภาพในการสีข้าวต่ำเพื่อจะได้รำและปลายข้าวมากๆ ปัจจุบันเกษตรกรจึงเปลี่ยนมาจำหน่ายเป็นข้าวเปลือกให้กับโรงสีขนาดใหญ่หรือพ่อค้าคนกลางมากขึ้นเพื่อตัดปัญหาในการเก็บรักษาข้าวและมีการตกลงราคาซื้อขายที่แน่นอน ข้าวเปลือกที่ผลิตได้จะต้องมาผ่านกระบวนการสีข้าว ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนที่สำคัญ คือ ขั้นตอนแรกเป็นการกระเทาะเปลือกออกจากเมล็ดข้าวซึ่งจะได้เป็นข้าวกล้อง แกลบ และรำหยาบ ส่วนขั้นตอนที่สองเป็นการขัดข้าวกล้องให้เป็นข้าวสาร และได้รำละเอียดเป็นผลพลอยได้ จากนั้นทางโรงสีจะคัดขนาดข้าวเป็นชนิดต่างๆตามเปอร์เซ็นต์การหักของข้าว ตามที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการสีข้าว และสัดส่วนของผลิตผลพลอยได้จากข้าว
ที่มา : ดัดแปลงจาก อุทัย คันโร (2529)

จะเห็นได้ว่าในการสีข้าวเปลือก จะได้รำหยาบ รำละเอียด และปลายข้าวเป็นผลพลอยได้ โดยในการสีข้าวเปลือกเจ้า 1 ตันให้ได้เป็นข้าวขาว 100% ชั้น 2 เฉลี่ยแล้วจะได้ต้นข้าวหรือข้าวเต็มเมล็ด 360 กิโลกรัม ข้าวหัก 190 กิโลกรัม ปลายข้าว 90 กิโลกรัม รวมเป็น 640 กิโลกรัม และได้รำข้าวขาว 81 กิโลกรัม รำข้าวกล้อง 30 กิโลกรัม แกลบและสิ่งเจือปน 249 กิโลกรัม แต่ถ้าเป็นการสีข้าวเปลือกเหนียว 1 ตัน เพื่อให้ได้เป็น ข้าวเหนียว 10% จะได้ต้นข้าว 410 กิโลกรัม ปลายข้าว 220 กิโลกรัม รวมเป็น 630 กิโลกรัม ได้รำข้าว 92 กิโลกรัม และแกลบและสิ่งเจือปน 268 กิโลกรัม (กองวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2537) ส่วนรายงานของอัมมาร สยามวาลา และวิโรจน์ ณ ระนอง (2533) ที่แสดงอัตราการสีข้าวเฉลี่ยของโรงสีในสมาคมโรงสีแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นโรงสีขนาดกลาง(กำลังการสีข้าว 5-20 ตันต่อวัน) และโรงสีขนาดใหญ่ (กำลังการสีข้าวต่อวัน 20 ตัน ขึ้นไป) ให้ผลผลิตจากการสีข้าวใกล้เคียงกัน ตามที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.6

ขณะที่ Juliano (1985) ได้รายงานถึงผลพลอยได้จากการสีข้าว จะได้ข้าวขาวเต็มเมล็ด 50 - 66 เปอร์เซ็นต์ ปลายข้าว 1 -17 เปอร์เซ็นต์ รำข้าวขาว 2 - 3 เปอร์เซ็นต์ รำละเอียด 6 - 8 เปอร์เซ็นต์ และรำหยาบ 20 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.6 แสดงอัตราการสีข้าวเปลือกชั้นหนึ่ง 1,000 กิโลกรัม เป็นข้าวชนิดต่างๆ (กิโลกรัม)

	ชนิดของข้าวสารที่ต้องการสี						
	ข้าวขาว 100% ชั้น 2	ข้าวขาว 5%	ข้าวขาว 10%	ข้าวขาว 15%	ข้าวขาว 25%	ข้าวเหนียว 5%	ข้าวเหนียว 5%
ข้าวชนิดต่างๆ							
ต้นข้าว	390	395	405	435	495	580	385
ปลายข้าว A1(...)	(เลิศ)20	(เลิศ)15	(เลิศ) -	(พิเศษ)125	(พิเศษ)65	-	(พิเศษ) 170
ปลายข้าว A1	150	150	155	-	-	50	-
ปลายข้าว C1(...)	(เลิศ)70	(เลิศ)70	(เลิศ)70	(พิเศษ)70	(พิเศษ)70	(พิเศษ)70	(พิเศษ) 30
ปลายข้าว C3	20	20	20	20	20	-	20
รวม	650	650	650	650	650	650	605
ผลพลอยได้							
รำข้าวขาว	81	81	81	81	81	60	72
รำข้าวกล้อง	30	30	30	30	30	30	30
แกลบและสิ่งเจือปน	239	239	239	239	239	260	293
รวมทั้งหมด	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

ที่มา : อัมมาร สยามวาลา และวิโรจน์ ณ ระนอง (2533)

2.4.2.1 การใช้ปลายข้าวในอาหารสัตว์ปีก

ในประเทศไทยได้มีการนำผลพลอยได้จากข้าวมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะปลายข้าวและรำละเอียด สุวิทย์ ธีรพันธุ์วัฒน์ (2532) รายงานว่า ปลายข้าวมีโปรตีน 8.04 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานรวม 4,227 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ส่วนศรีสกุล วรจันทรา (2528) รายงานว่า ปลายข้าวมีโปรตีนประมาณ 8.50 เปอร์เซ็นต์ และให้พลังงานเท่ากับข้าวโพดคือ 3,400 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมในสัตว์ปีก ขณะที่ จารุรัตน์ เศรษฐภักดี (2528) รายงานว่า ปลายข้าวให้พลังงานใช้ประโยชน์ เท่ากับ 3,500 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมในสัตว์ปีก สามารถใช้ปลายข้าวแทนข้าวโพดได้ทั้งหมดในสูตรอาหาร แต่ควรต้องเสริมวิตามินเอและบีรวมให้เพียงพอแก่ความต้องการของสัตว์ รวมทั้งควรเสริมไบโกระดินหรือสารให้สีด้วยเมื่อนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ปีก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Ravindran and Blair (1991) ที่กล่าวว่า ปลายข้าวมีคุณค่าทางโภชนาใกล้เคียงกับข้าวโพด สามารถใช้แทนส่วนของข้าวโพดได้ทั้งหมดในสูตรอาหารสัตว์ปีกทุกระดับ โดยพิจารณาจากราคาของวัตถุดิบในขณะนั้น โดยที่ อุทัย คันโร (2529) ได้แนะนำว่าการใช้ปลายข้าวเหนียวล้วนๆ มาเลี้ยงสัตว์ อาจทำให้สัตว์ท้องผูกได้ ควรเสริมวัตถุดิบอาหารที่มีคุณสมบัติเป็นยาระบาย เช่น รำละเอียด หรือขังข้าวโพด ลงไปด้วย

2.4.2.2 การใช้รำข้าวในอาหารสัตว์ปีก

รำข้าวเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว เมล็ดข้าวจะถูกขัดส่วนที่เป็นจมูกข้าว (germ) และเยื่อหุ้มส่วนนอกของเมล็ด (pericarp) รวมทั้งชั้น aleulone layer ซึ่งอุดมไปด้วยโปรตีน น้ำมันและวิตามิน ถูกขัดออกมารวมเรียกว่า "รำข้าว" ในบางครั้งอาจมีส่วนของแป้ง (endosperm) หักออกมารวมอยู่ด้วยเล็กน้อย นอกจากนี้ยังมีกากรำหรือรำสกัดน้ำมัน ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืชอีกด้วย (ศรีสกุล วรจันทรา. 2528)

กองวิเคราะห์อาหารสัตว์ (2524) รายงานว่า รำหยาบ รำละเอียด และ รำสกัดน้ำมัน มีระดับโปรตีนแตกต่างกันคือ 6.09 , 12.38 และ 15.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ มีไขมัน 3.45, 18.82 และ 2.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนเยื่อใยในรำหยาบมีสูงถึง 25.59 เปอร์เซ็นต์ แต่ในรำละเอียดและรำสกัดน้ำมันมีเยื่อใย 6.18 และ 10.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนค่าโภชนาอื่นๆ นั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.7 สำหรับค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในสัตว์ปีกของรำละเอียดและรำสกัดน้ำมัน มีค่าเป็น 2,710 และ 1,890 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม นิรนาม (2541) ได้รายงานถึงขั้นตอนการสกัดน้ำมันจากรำข้าวไว้ว่า เริ่มจากโรงงานซื้อรำข้าวที่สดใหม่ มาทำความสะอาดแยกสิ่งเจือปนออก นำเข้าอบความดัน ที่ 135 องศาเซลเซียส เพื่อให้รำสุก เป็นการฆ่าเชื้อโรคและป้องกันการเหม็นหืน จากนั้นนำเข้าไปผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย เพื่อแยกเอาน้ำมันออกจากรำข้าว เสร็จแล้วจึงแยกเอาส่วนของกากรำส่งผ่านไปขบวนการคั่วให้สุกอีกรอบหนึ่ง เพื่อเป็นการไล่สารละลายเฮกเซนออกจากเนื้อรำ นำไปผ่านการอบแห้งและ

ทำให้เย็น บดให้มีขนาดเล็ก ก่อนนำมาบรรจุถุงเพื่อจำหน่ายเป็นรำสกัดน้ำมันในขั้นตอนต่อไป จากขบวนการผลิตข้างต้น จึงทำให้รำสกัดน้ำมันมีไขมันน้อย คือ 1-1.5 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนสูง ถึง 16 เปอร์เซ็นต์ จึงให้พลังงานต่ำกว่าแต่สามารถเก็บไว้ได้นานกว่ารำละเอียด ซึ่งมีไขมันสูงกว่า หืนง่าย เก็บรักษาไว้ได้ไม่นาน มีความฟามสูง ทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อย แต่อาจแก้ไขได้ด้วยการอัดเม็ดอาหารผสม

ตารางที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของรำข้าวชนิดต่างๆ (เปอร์เซ็นต์)

ชนิดของรำข้าว	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	แคลเซียม	ฟอสฟอรัส
รำหยาบ	9.74	6.09	3.45	25.59	16.54	0.09	0.30
รำละเอียด	9.65	12.38	18.82	6.18	8.60	0.06	1.74
รำข้าวขาว	10.00	11.80	13.20	3.00	8.00	0.04	1.42
รำโรงสีเล็ก	11.57	6.85	4.32	29.39	10.94	0.09	0.48
รำข้าวหนึ่ง	9.07	13.92	27.29	9.72	9.44	0.14	2.08
รำสกัดน้ำมัน	11.08	15.73	2.35	10.26	10.26	0.17	2.26

ที่มา : กรมปศุสัตว์ (2524)

ทวี แก้วคง (2527) รายงานว่า รำละเอียดมีโปรตีนและไขมันสูงกว่ารำหยาบ รำละเอียด จะมีเยื่อใยต่ำกว่ารำหยาบประมาณ 2.7 เปอร์เซ็นต์ มีวิตามินบี1 และบี2 ในระดับสูง เนื่องจากมีไขมันสูงประมาณ 19-20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เหม็นหืนได้ง่ายกว่ารำหยาบ ส่วนจารุรัตน์ เศรษฐภักดี (2528) กล่าวว่า รำละเอียดเป็นอาหารที่ให้พลังงานดีพอสมควร เป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็น และวิตามินบีหลายชนิด มีเยื่อใยสูงจึงเป็นยาระบายอ่อนๆ และมีลักษณะฟาม คือ มีน้ำหนักร้อยกว่าปริมาณมาก เมื่อผสมในอาหารมากๆ ทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยและการเจริญเติบโตลดลง

จากรายงานที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าผลพลอยได้จากข้าว ทั้งปลายข้าวและรำข้าว ชนิดต่างๆ สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ดี แต่ก็มีข้อจำกัดในการใช้อยู่บ้าง อีกทั้งข้าวที่ผลิตในประเทศไทยก็ยังมีหลากหลายทั้งด้านสายพันธุ์ แหล่งที่ผลิต ฤดูกาลผลิต รวมทั้งกรรมวิธีในการสีข้าว จึงทำให้การนำผลพลอยได้จากข้าวมาใช้เป็นอาหารสัตว์มีความแตกต่างกันทั้งในด้านของผลผลิตและการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานในสัตว์ปีก ดังนั้น การศึกษาการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในสัตว์ปีกของผลพลอยได้จากข้าวชนิดต่างๆในประเทศไทย จึงอาจจะเป็นแนวทางที่ทำให้สามารถใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพได้อีกทางหนึ่ง

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการศึกษาทดลอง

3.1.1 ศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในสัตว์ปีก

เป็นศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ โดยใช้ปลายข้าวเป็นตัวแทนของผลพลอยได้จากข้าวทั้ง 5 ชนิด คือ ปลายข้าวเหนียว ปลายข้าวเจ้า รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำหยาบ โดยจะนำเอาเทคนิคที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองนี้ ไปใช้ในการทดลองที่ 2

3.1.2 การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว

โดยศึกษาการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าวเจ้า ปลายข้าวเหนียว รำละเอียด รำหยาบ และรำสกัดน้ำมัน

3.1.3 ศึกษาสมการที่เหมาะสมเพื่อใช้ประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว

ทำการศึกษาสมการที่เหมาะสมเพื่อใช้ประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว ที่ได้ศึกษาในการทดลองที่ 1 และ 2 โดยอาศัยองค์ประกอบทางเคมี

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. วัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว ได้แก่ ปลายข้าวเจ้า ปลายข้าวเหนียว รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำหยาบ
2. ไก่พันธุ์โรดไอร์แลนด์เรดเพศผู้โตเต็มวัย
3. กรงทดลองพร้อมภาชนะให้อาหารและน้ำ
4. ถาดสำหรับรองรับสิ่งขับถ่ายและ ถาดขนาดเล็กสำหรับนำเข้าตู้อบ
5. เครื่องผสมอาหารขนาดเล็ก
6. เครื่องอัดเม็ดอาหาร
7. เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบตัวเลข
8. ตู้อบอาหารและมูลสัตว์
9. อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์โภชนาแบบ proximate analysis
10. เครื่องวัดค่าพลังงานแบบ Ballistic bomb calorimeter

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในสัตว์ปีก

เป็นการศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าว โดยการจัดปัจจัยการทดลองแบบ 2 x 3 แฟคทอเรียล ในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) ซึ่งประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 ได้แก่ อาหารทดสอบ 2 สูตร คือ สูตรปลายข้าว 99.5% และสูตรปลายข้าว 75% และปัจจัยที่ 2 ได้แก่ วิธีการทดสอบมี 3 วิธี คือ วิธีให้กินแบบเต็มที่ (Conventional assays) วิธีให้กินแบบจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง และวิธีให้กิน 48 ชั่วโมง โดยใช้ไก่ทดสอบ 6 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำๆ ละ 1 ตัว รวม 36 ตัว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กลุ่มที่ 1 ทดสอบด้วยวิธีให้กินแบบเต็มที่ และได้รับอาหารที่มีปลายข้าว 99.5%

กลุ่มที่ 2 ทดสอบด้วยวิธีให้กินแบบเต็มที่ และได้รับอาหารที่มีปลายข้าว 75%

กลุ่มที่ 3 ทดสอบด้วยวิธีให้กิน 1 ชั่วโมง และได้รับอาหารที่มีปลายข้าว 99.5%

กลุ่มที่ 4 ทดสอบด้วยวิธีให้กิน 1 ชั่วโมงและได้รับอาหารที่มีปลายข้าว 75%

กลุ่มที่ 5 ทดสอบด้วยวิธีให้กิน 48 ชั่วโมงและได้รับอาหารที่มีปลายข้าว 99.5%

กลุ่มที่ 6 ทดสอบด้วยวิธีให้กิน 48 ชั่วโมงและได้รับอาหารที่มีปลายข้าว 75%

โดยไก่แต่ละกลุ่มได้รับการทดสอบด้วยวิธีการ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) การเตรียมอาหารทดสอบ

1.1) นำปลายข้าว 99.5 ส่วน มาผสมกับพรีมิกซ์ 0.5ส่วน เป็นอาหารทดสอบสูตรปลายข้าว 99.5%

1.2) นำปลายข้าว 75 ส่วน แป้งข้าวโพด 24.5 ส่วน และพรีมิกซ์ 0.5 ส่วน ผสมให้เข้ากันแล้วเติมน้ำประมาณ 25 ส่วน นำเข้าเครื่องอัดเม็ดให้ได้อาหารเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม. ยาวประมาณ 1 ซม. ใส่ในถาดแอสแตนเลสเข้าอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำมาปรับความชื้นในสภาพบรรยากาศนาน 24 ชั่วโมง จะได้อาหารทดสอบสูตรปลายข้าว 75%

2) การทดสอบหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์

2.1) ไก่กลุ่มที่ทดสอบด้วยวิธีให้กินแบบเต็มที่ จะถูกเปลี่ยนจากอาหารเดิมเป็นอาหารทดสอบโดยค่อยๆปรับให้ไก่ยอมรับอาหารทดสอบและเพิ่มอัตราส่วนของอาหารทดสอบมากขึ้นจนไก่กินอาหารทดสอบได้ทั้งหมดโดยใช้เวลาในการปรับอาหารประมาณ 4 - 5 วัน จากนั้นจึงเริ่มทดสอบโดยชั่งน้ำหนักและให้อาหารทดสอบในเวลา 8.00น. ทุกวัน ชั่งน้ำหนักอาหารที่เหลือในตอนเช้าวันรุ่งขึ้นก่อนให้อาหารใหม่ทุกวัน วางถาดเก็บสิ่งขับถ่ายเวลา 13.00น. และเก็บสิ่งขับถ่ายออกทุกวันในเวลาเดียวกัน แยกสิ่งปนเปื้อนออกจากสิ่งขับถ่ายก่อนนำเข้าอบในตู้อบที่ 60

องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ทำต่อเนื่องนาน 3 วัน นำอาหารและสิ่งขับถ่ายไปวิเคราะห์หาค่าพลังงานโดยใช้เครื่องวิเคราะห์พลังงาน (Ballistic bomb calorimeter) เพื่อนำไปคำนวณค่าพลังงานใช้ประโยชน์

2.2) ไก่กลุ่มที่ทดสอบด้วยวิธีให้กิน 1 ชั่วโมง ต้องเป็นไก่ที่ได้รับการคัดเลือกจากไก่ในกลุ่มที่ฝึกให้กินอาหารให้ได้ 70-100 กรัม ภายในเวลา 1 ชั่วโมง โดยต้องอดอาหารก่อนทดสอบ 32 ชั่วโมง ให้กินอาหารทดสอบ 1 ชั่วโมง และวางถาดเก็บสิ่งขับถ่ายนาน 42 ชั่วโมง โดยเก็บสิ่งขับถ่ายออกทุกวัน นำเข้าอบและวิเคราะห์เช่นเดียวกับไก่กลุ่มที่ 1

2.3) ไก่กลุ่มที่ทดสอบด้วยวิธีให้กิน 48 ชั่วโมง ไก่กลุ่มนี้ไม่ต้องฝึกเหมือนกลุ่มที่ 2 แต่ต้องอดอาหารนาน 32 ชั่วโมง แล้วให้กินอาหารทดสอบนาน 48 ชั่วโมง วางถาดเก็บสิ่งขับถ่ายตั้งแต่เริ่มให้กินอาหาร และต่ออีก 42 ชั่วโมง และวิเคราะห์ค่าพลังงานเช่นเดียวกับไก่กลุ่มที่ 1

2.4) ไก่ทดสอบหาค่า Endogenous Energy Loss (EEL) ใช้ไก่ 6 ตัว เป็นไก่กลุ่มที่ไม่ได้รับอาหารทดสอบเลย ต้องอดอาหารนาน 32 ชั่วโมง แต่มีน้ำให้กินตลอดเวลา หลังจากนั้นจะถูกเก็บสิ่งขับถ่ายต่ออีก 42 ชั่วโมง เพื่อจะได้นำสิ่งขับถ่ายที่ได้ไปหาค่า Endogenous Energy Loss (EEL) เพื่อใช้ในการคำนวณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แท้จริง (TME)

3) การบันทึกข้อมูล

3.1) บันทึกน้ำหนักอาหารที่ให้และน้ำหนักอาหารที่เหลือ

3.2) บันทึกน้ำหนักสิ่งขับถ่ายหลังอบแห้งของไก่ทุกตัว

3.3) บันทึกค่าพลังงานในอาหารทดสอบและในสิ่งขับถ่ายของไก่แต่ละตัว เพื่อนำมาใช้คำนวณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ โดยใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

$$AME = \frac{(F_i \times GE_f) - (E \times GE_e)}{F_i} \quad (\text{สมการที่ 3.1})$$

โดยที่ AME = ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (kcal ต่ออาหาร 1 กรัม)

F_i = ปริมาณอาหารที่สัตว์กิน (กรัม)

E = ปริมาณสิ่งขับถ่ายที่สัตว์ขับถ่ายออกมา (กรัม)

GE_f = พลังงานรวมเป็น kcal ในอาหาร 1 กรัม

GE_e = พลังงานรวมเป็น kcal ของสิ่งขับถ่าย 1 กรัม

$$AMEn = \frac{(F_i \times GE_f) - (E \times GE_e) - (NR \times k)}{F_i} \quad (\text{สมการที่ 3.2})$$

F_i

โดยที่	AMEn	=	ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (kcal ต่ออาหาร 1 กรัม)
	NR	=	Nitrogen retention หรือ ปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์กักเก็บได้
	NR	=	$(F_i \times N_f) - (E \times N_e)$
	Nf	=	ปริมาณไนโตรเจนต่ออาหาร 1 กรัม
	Ne	=	ปริมาณไนโตรเจนต่อสิ่งขับถ่าย 1 กรัม
	k	=	ค่าคงที่ของพลังงานที่ได้จากการสลายไนโตรเจน เท่ากับ 8.21 kcal/g

3.4) บันทึกน้ำหนักและค่าพลังงานในสิ่งขับถ่ายที่ได้จากไก่กลุ่มที่อดอาหาร เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้แท้จริง โดยใช้สูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$TME = \frac{(F_i \times GE_f) - (E \times GE_e) + (FEm + UE_e)}{F_i} \quad (\text{สมการที่ 3.3})$$

โดยที่	TME	=	ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง (กิโลแคลอรีต่ออาหาร 1 กรัม)
	FEm + UEe	=	พลังงานในสิ่งขับถ่ายของไก่ที่อดอาหาร

$$TMEn = \frac{(F_i \times GE_f) - (E \times GE_e) - (NR \times k) + (FEm + UE_e) + (NR_o \times k)}{F_i} \quad (\text{สมการที่ 3.4})$$

โดยที่	TMEn	=	ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (กิโลแคลอรีต่ออาหาร 1 กรัม)
	NR	=	Nitrogen retention ในไก่ที่ได้รับอาหาร
	NRo	=	Nitrogen retention ในไก่ที่อดอาหาร

4) การวิเคราะห์ทางสถิติ

ในการทดลองที่ 1 นี้ ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติของข้อมูลที่ได้ศึกษาด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีตเมนต์ โดยวิธี Duncan's new multiple range test โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล Statistical Analysis System (SAS. 1985)

3.3.2 การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว

เป็นการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว 5 ชนิด คือ ปลายข้าวเจ้า ปลายข้าวเหนียว รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำหยาบ

1) วิธีการทดสอบ

โดยสุ่มเก็บตัวอย่างปลายข้าวเจ้า ปลายข้าวเหนียว รำละเอียด รำหยาบ และ รำสกัดน้ำมันชนิดละ 10 ตัวอย่าง จากแหล่งผลิตต่างๆ แล้วนำมาทดสอบหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์โดยการเตรียมอาหารทดสอบและเลือกวิธีการทดสอบที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองที่ 1 แต่ใช้ไก่ทดสอบ 8 ตัว ต่อวัตถุดิบ 1 ตัวอย่าง และบันทึกข้อมูลต่างๆเหมือนกับการทดลองที่ 1

2) การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยการหาค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel (1997) ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.3 ศึกษาสมการที่เหมาะสมเพื่อใช้ประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว

ศึกษาการสร้างสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าวโดยอาศัยค่าองค์ประกอบทางเคมี ที่ได้จากการทดลองที่ 2

1) วิธีการศึกษา

โดยวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) และค่าความน่าจะเป็น (Probability, P) ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ที่ได้จากการทดลองที่ 2 กับค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) โดยใช้หลักสถิติ ดังนี้

ถ้าค่า $P > 0.05$ แสดงว่า ตัวแปรทั้ง 2 มีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

$P < 0.05$ แสดงว่า ตัวแปรทั้ง 2 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

$P < 0.01$ แสดงว่า ตัวแปรทั้ง 2 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เพื่อนำค่าความสัมพันธ์ที่ได้ไปเป็นแนวทางในการสร้างสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว โดยใช้วิธีการสร้างสมการถดถอยแบบซับซ้อน (Multiple regression)

2) การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) เพื่อหาข้อสรุปว่า สมการเส้นตรงที่ได้นั้น มีการประมาณค่าเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ โดยใช้วิธี PROC REG, PROC RSQUARE และ PROC STEPWISE ในโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล Statistical Analysis System (SAS. 1985)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในสัตว์ปีก

ในการทดลองนี้ ใช้ปลายข้าวเป็นตัวแทนของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว เพื่อศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในสัตว์ปีก ได้ผลการทดลอง ดังนี้

4.1.1 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าว

การศึกษาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าวในไก่ โดยมี 2 ปัจจัย คือ อาหารทดสอบ 2 สูตร คือ สูตรปลายข้าว 99.5 % และสูตรปลายข้าว 75 % โดยแสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดสอบไว้ในตารางที่ 4.1 และวิธีการทดสอบทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีให้กินแบบเต็มที วิธีให้กินแบบจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง และวิธีให้กิน 48 ชั่วโมง ให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานรวมในวัตถุดิบและอาหารทดสอบในการทดลองที่ 1

วัตถุดิบ	ความชื้น (%)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	เยื่อใย (%)	เถ้า (%)	NFE (%)	GE (kcal/kg)
ปลายข้าว	10.74	0.43	7.01	0.02	0.29	81.51	4126.84
แป้งข้าวโพด	5.14	0.37	0.24	0.01	0.03	94.21	3903.23
พรีมิกซ์	9.53	0.45	1.94	18.26	54.59	15.23	1581.23
สูตรปลายข้าว 99.5%	10.64	0.42	6.82	0.07	0.52	81.53	4084.45
สูตรปลายข้าว 75%	7.52	0.41	5.49	0.07	0.50	86.01	4078.09

ผลจากอิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัย คือ อาหารทดสอบ 2 สูตร และวิธีการทดสอบทั้ง 3 วิธี ให้ค่าเฉลี่ยของพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และเมื่อพิจารณาทีละปัจจัย พบว่า ปัจจัยของส่วนประกอบที่มีปลายข้าว 99.5 % และ 75 % มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ เท่ากับ 3,944.57 และ 3,757.49 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนในด้านวิธีการทดสอบนั้น พบว่า วิธีให้กินแบบเต็มที วิธีให้กินแบบจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง และวิธีให้กิน 48 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยของพลังงานใช้

ประโยชน์ปรากฏ เท่ากับ 3,947.23, 3,751.95 และ 3,851.66 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังผลการทดลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

เมื่อวิเคราะห์ภายในกลุ่มไก่ที่กินอาหารทดสอบสูตรปลายข้าว 99.5% พบว่า วิธีการทดสอบทั้ง 3 วิธี ให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ขณะที่ไก่กลุ่มที่กินอาหารทดสอบสูตรปลายข้าว 75% ให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของวิธีการทดสอบทั้ง 3 วิธี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยวิธีการทดสอบแบบให้กินจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง และวิธีให้กิน 48 ชั่วโมง มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่มีค่าพลังงานต่ำกว่าและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีให้กินแบบเต็มที่ และพบว่าวิธีการทดสอบแบบให้กินเต็มที่ ได้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของทั้ง 2 สูตรอาหาร มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าว (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

วิธีการทดสอบ	ปลายข้าว 99.5 %	ปลายข้าว 75 %	ค่าเฉลี่ยของวิธีการทดสอบ
วิธีให้กินแบบเต็มที่	3,974.89 ⁿ	3,919.56 ⁿ	3,947.23 ^x
วิธีให้กินแบบจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง	3,892.63 ⁿ	3,611.27 ^u	3,751.95 ^y
วิธีให้กินแบบ 48 ชั่วโมง	3,966.19 ⁿ	3,737.13 ^u	3,851.66 ^z
ค่าเฉลี่ยของปัจจัยสูตรอาหาร	3,944.57 ^a	3,757.49 ^b	

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)
- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

4.1.2 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนของปลายข้าว

การศึกษาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนในการทดลองที่นี้ ได้ศึกษาเฉพาะไก่ในกลุ่มที่ทดสอบแบบให้กินจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ไก่ทั้ง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ได้รับปลายข้าว 99.5% และกลุ่มที่ได้รับปลายข้าว 75% มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนแล้วเป็น 3,802.22 และ 3,664.90 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และได้แสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อปรับสมดุล ในโตรเจน ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงและค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงเมื่อปรับสมดุลในโตรเจนของปลายข้าว ที่ให้กินแบบจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

	AME	AMEn	TME	TME _n
สูตรปลายข้าว 99.5	3,892.63 ⁿ	3,802.22 ⁿ	4,096.62 ⁿ	4,180.95 ⁿ
สูตรปลายข้าว 75%	3,611.27 ⁿ	3,664.90 ⁿ	4,024.40 ⁿ	4,013.53 ⁿ

- ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.1.3 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าว

การศึกษาค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงในการทดลองที่ 1 นี้ ศึกษาเฉพาะในไก่กลุ่มที่ทดสอบแบบให้กินจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ไก่ทั้ง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ได้รับปลายข้าว 99.5% และกลุ่มที่ได้รับปลายข้าว 75% มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าว เท่ากับ 4,096.62 และ 4,024.40 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 4.3

4.1.4 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงเมื่อปรับสมดุลในโตรเจนของปลายข้าว

จากการศึกษาในไก่กลุ่มที่ทดสอบแบบให้กินจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ไก่ทั้ง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ได้รับปลายข้าว 99.5% และกลุ่มที่ได้รับปลายข้าว 75% เมื่อนำค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงมาปรับสมดุลในโตรเจน โดยนำค่าในโตรเจนในสิ่งขบถ่ายของไก่อดอาหารมาปรับค่า ได้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงเมื่อปรับสมดุลในโตรเจน เท่ากับ 4,180.95 และ 4,013.53 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และได้แสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.3

จากการทดลองที่ 1 นี้ พบว่า อาหารทดสอบสูตรปลายข้าว 99.5% ให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏที่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ทั้ง 3 วิธีการทดสอบ ส่วนอาหารทดสอบสูตรปลายข้าว 75% ให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏที่มีความแปรปรวนและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 3 วิธี ($P < 0.05$) แต่วิธีการทดสอบแบบให้กินเต็มที่ของอาหารทดสอบทั้ง 2 สูตร ให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และเมื่อดูที่ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงและค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงเมื่อปรับสมดุลในโตรเจน เมื่อทดสอบแบบให้กินจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง ก็พบว่า มีความแตกต่างกัน

อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้น จึงเลือกใช้สูตรอาหารวัตถุดิบ 99.5% ในการหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าวทั้ง 5 ชนิด และเลือกใช้วิธีการทดสอบแบบให้กินจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง เนื่องจากทำได้สะดวก รวดเร็วกว่าวิธีการทดสอบแบบให้กินเต็มที่และแบบให้กิน 48 ชั่วโมง นำไปทดสอบค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในการทดลองที่ 2 ต่อไป

4.2 การทดลองที่ 2 การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว

ในการทดสอบการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว ได้ทำการทดสอบในวัตถุดิบ 5 ชนิด คือ ปลายข้าวเจ้า ปลายข้าวเหนียว รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำหยาบ มีผลการทดลองดังนี้

4.2.1 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าวเจ้า

จากการศึกษาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏและค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าวเจ้า จากแหล่งผลิตต่างๆ จำนวน 10 ตัวอย่าง ด้วยวิธีการให้อาหารแบบจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง ในไก่โตเต็มวัยเพศผู้ พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ มีค่าตั้งแต่ 3,331.71 ถึง 3,898.69 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ยคือ $3,593.75 \pm 189.56$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง มีค่าตั้งแต่ 3,465.89 ถึง 4,118.20 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ยคือ $3,770.18 \pm 188.38$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ได้แสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.4

4.2.2 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าวเหนียว

จากการศึกษาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏและค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าวเหนียว ด้วยวิธีการให้อาหารแบบจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ มีค่าตั้งแต่ 3,551.29 ถึง 3,757.10 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3,658.39 \pm 68.47$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง มีค่าตั้งแต่ 3,729.78 ถึง 3,914.99 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3,822.74 \pm 64.48$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ดังที่ได้แสดงผลการทดลองไว้ใน ตารางที่ 4.5

4.2.3 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำละเอียด

จากการศึกษาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏและค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำละเอียด ด้วยวิธีการให้อาหารแบบจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง ในไก่โตเต็มวัยเพศผู้ โดยใช้รำละเอียด จากแหล่งผลิตต่างๆ จำนวน 10 ตัวอย่าง พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ มีค่าตั้งแต่ 2,216.99 ถึง 3,137.24 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2,682.36 \pm 374.13$

กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง มีค่าตั้งแต่ 2,609.82 ถึง 3,442.29 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3,037.16 \pm 353.48$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยได้แสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.6

4.2.4 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำสกัดน้ำมัน

จากการศึกษาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏและค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำสกัดน้ำมัน จากแหล่งผลิตต่างๆ จำนวน 10 ตัวอย่าง ด้วยวิธีการให้อาหารแบบจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง ในไก่โตเต็มวัยเพศผู้ พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ มีค่าตั้งแต่ 1,132.01 ถึง 2,158.80 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,651.44 \pm 381.14$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง มีค่าตั้งแต่ 1,601.65 ถึง 2,646.55 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2,073.29 \pm 354.59$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ดังที่ได้แสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (AME) และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง (TME) ในปลายข้าวเจ้า (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

ตัวอย่างที่	ค่าพลังงาน	
	AME	TME
01	3,898.69	4,118.20
02	3,580.41	3,728.72
03	3,646.64	3,798.99
04	3,812.46	3,945.25
05	3,794.36	3,927.18
06	3,392.41	3,680.89
07	3,498.21	3,778.28
08	3,486.27	3,634.66
09	3,331.71	3,465.89
10	3,496.35	3,623.79
ค่าเฉลี่ย	3,593.75	3,770.18
Standard deviation (SD)	189.56	188.38

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (AME) และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง (TME) ในปลายข้าวเหนียว (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

ตัวอย่างที่	ค่าพลังงาน	
	AME	TME
01	3,688.91	3,878.42
02	3,757.10	3,896.25
03	3,730.01	3,861.26
04	3,656.23	3,830.33
05	3,724.06	3,914.99
06	3,669.45	3,791.85
07	3,604.85	3,753.07
08	3,551.29	3,729.78
09	3,578.36	3,756.83
10	3,623.68	3,814.61
ค่าเฉลี่ย	3,658.39	3,822.74
Standard deviation (SD)	68.47	64.48

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (AME) และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง (TME) ในรำละเอียด (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

ตัวอย่างที่	ค่าพลังงาน	
	AME	TME
01	2,364.41	2,748.97
02	2,505.19	2,848.09
03	2,344.42	2,842.91
04	2,385.61	2,609.82
05	2,683.94	2,965.54
06	3,126.32	3,563.82
07	3,207.35	3,456.66
08	2,216.99	2,676.20
09	2,852.09	3,217.35
10	3,137.24	3,442.29
ค่าเฉลี่ย	2,682.36	3,037.16
Standard deviation (SD)	374.13	353.48

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (AME) และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง (TME) ในรำสกัดน้ำมัน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

ตัวอย่างที่	ค่าพลังงาน	
	AME	TME
01	2,158.80	2,473.69
02	2,033.22	2,257.23
03	2,070.99	2,646.55
04	1,132.01	1,601.65
05	1,598.22	2,065.96
06	1,269.25	1,612.32
07	1,522.85	1,899.93
08	1,625.25	2,038.69
09	1,182.82	1,801.49
10	1,921.00	2,335.37
ค่าเฉลี่ย	1651.44	2073.29
Standard deviation (SD)	381.14	354.59

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (AME) และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง (TME) ในรำหยาบ (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

ตัวอย่างที่	ค่าพลังงาน	
	AME	TME
01	1,091.95	1,707.13
02	778.02	1,342.76
03	421.01	911.47
04	133.78	914.61
05	1,059.51	1,669.12
06	618.92	1,108.02
07	502.42	1,147.11
08	71.08	798.98
09	436.17	934.60
10	354.72	879.08
ค่าเฉลี่ย	546.76	1,141.29
Standard deviation (SD)	346.82	328.86

4.2.5 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำหยาบ

จากการศึกษาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏและค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำหยาบ จากแหล่งผลิตต่างๆ จำนวน 10 ตัวอย่าง ด้วยวิธีการให้อาหารแบบจำกัดเวลา 1 ชั่วโมง ในไก่โตเต็มวัยเพศผู้ พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ มีค่าตั้งแต่ 71.08 ถึง 1,091.95 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 546.76 ± 346.82 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง มีค่าตั้งแต่ 798.98 ถึง 1,707.13 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,141.29 \pm 328.86$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยแสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 4.8

4.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาการสร้างสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว

ในการศึกษาการสร้างสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว ทั้ง 5 ชนิด คือ ปลายข้าวเจ้า ปลายข้าวเหนียว รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำหยาบ ชนิดละ 10 ตัวอย่าง รวม 50 ตัวอย่าง ซึ่งได้จากผลการทดลองที่ 2 นำมาวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ กับค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากการวิเคราะห์โดยประมาณ ได้ผลดังนี้

4.3.1 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าวเจ้า

สำหรับค่าองค์ประกอบทางเคมีหรือโภชนะต่างๆในปลายข้าวเจ้าทั้ง 10 ตัวอย่างนั้นมีค่าเฉลี่ยของความชื้น เท่ากับ 11.27 % ไขมัน 0.73 % โปรตีน 7.08 % เยื่อใย 0.07 % เถ้า 0.59 % NFE 80.26 % และมีค่าเฉลี่ยของพลังงานรวม เท่ากับ 4,043.96 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยรายละเอียดค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเจ้า ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 และได้แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง และค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเจ้า ไว้ในตารางที่ 4.10

1) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าวเจ้า

เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเจ้า พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าวเจ้ามีค่าสหสัมพันธ์กับเยื่อใยสูงที่สุด คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation efficiency) เป็น 0.3366 รองลงมาคือ NFE เถ้า โปรตีน และ ไขมัน ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำที่สุด คือ 0.0161 แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการรีเกรชัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) เมื่อใช้ค่าโภชนะทั้ง 5 ประเภท มีค่าเป็น 0.2576 และมีค่าความน่าจะเป็นเมื่อนำมาวิเคราะห์ มีค่าเท่ากับ 0.0004 ซึ่งได้แสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.7 และเมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงาน

ใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้วิธี RSQUARE Test และ STEPWISE PROCEDURE พบว่า ค่าโภชนะ 2 ประเภท คือ เยื่อใย และ ไขมัน สามารถใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.2434 และมีค่า C(p) เท่ากับ 1.4163 และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าวเจ้า ดังนี้

$$\text{AME} = 2,798.33 + 648.73 (\text{Fat}) + 3,067.45 (\text{Fiber})$$

$$(R^2 = 0.2434) \quad (\text{สมการที่ 4.1})$$

โดยที่ AME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
 Fat คือ เปอร์เซ็นต์ไขมันในปลายข้าวเจ้า
 Fiber คือ เปอร์เซ็นต์เยื่อใยในปลายข้าวเจ้า

2) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าวเจ้า

เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเจ้า พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าวเจ้ามีค่าสหสัมพันธ์ในทางบวกกับเยื่อใยสูงที่สุด คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.1962 รองลงมาคือไขมัน และ โปรตีน ส่วน NFE มีค่าสหสัมพันธ์ในทางลบกับค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าวเจ้า สูงที่สุด คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.3166 เมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการรีเกรชัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) เมื่อใช้ตัวแปรหรือค่าโภชนะทั้ง 5 ประเภท มีค่าเป็น 0.2295 และมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0014 ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.8 และเมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้วิธี RSQUARE Test พบว่า โภชนะ 3 ประเภท คือ ไขมัน เยื่อใย และ NFE ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.2193 และมีค่า C(p) เท่ากับ 2.9733 แต่เมื่อทำการทดสอบด้วยวิธี STEPWISE PROCEDURE พบว่า ค่าโภชนะ 2 ประเภท คือ NFE และถั่ว สามารถใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าวเจ้า ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.1606 และมีค่า C(p) เท่ากับ 6.6150 โดยมีสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าวเจ้า ดังนี้

$$\text{TME} = 13,563.72 - 475.66 (\text{Ash}) - 119.90 (\text{NFE})$$

$$(R^2 = 0.1606) \quad (\text{สมการที่ 4.2})$$

โดยที่ TME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
 Ash คือ เปอร์เซ็นต์เถ้าในปลายข้าวเจ้า
 NFE คือ เปอร์เซ็นต์แป้งและน้ำตาลในปลายข้าวเจ้า

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานชนิดต่างๆในปลายข้าวเจ้า

ปลายข้าวเจ้า	ความชื้น (%)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	เยื่อใย (%)	เถ้า (%)	NFE (%)	GE (kcal/kg)	AME (kcal/kg)	TME (kcal/kg)
01	11.36	0.58	7.24	0.15	0.55	80.12	4,286.67	3,898.69	4,118.20
02	10.17	0.57	7.18	0.05	0.61	81.42	4,097.96	3,580.41	3,728.72
03	10.27	0.73	7.17	0.07	0.57	81.20	4,240.22	3,646.64	3,798.99
04	10.67	0.93	7.55	0.07	0.59	80.20	4,225.85	3,812.46	3,945.25
05	11.64	0.73	6.91	0.10	0.61	80.02	4,190.17	3,794.36	3,927.18
06	11.57	0.75	7.11	0.04	0.57	79.97	3,884.63	3,392.41	3,680.89
07	12.08	1.01	6.89	0.01	0.50	79.51	3,886.52	3,498.21	3,778.28
08	11.40	0.46	7.33	0.16	0.39	80.27	3,924.60	3,486.27	3,634.66
09	11.52	0.65	7.00	0.05	0.73	80.04	3,839.50	3,331.71	3,465.89
10	12.06	0.87	6.41	0.03	0.79	79.84	3,863.46	3,496.35	3,623.79
ค่าเฉลี่ย	11.27	0.73	7.08	0.07	0.59	80.26	4,043.96	3,593.75	3,770.18
SD	0.68	0.17	0.31	0.05	0.11	0.59	180.62	189.56	188.38

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง และค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเจ้า

	TME	AME	ไขมัน	โปรตีน	เยื่อใย	เถ้า	NFE
TME	1.0000	0.9451	0.1412	0.0854	0.1962	-0.2248	-0.3166 ^{1/}
	0.0	0.0001	0.2114	0.4513	0.0811	0.0450	0.0042 ^{2/}
AME		1.0000	0.0161	0.1105	0.3366	-0.1273	-0.1978
		0.0	0.8876	0.3291	0.0023	0.2603	0.0786
ไขมัน			1.0000	-0.3233	-0.7086	0.2797	-0.4745
			0.0	0.0034	0.0001	0.0120	0.0001
โปรตีน				1.0000	0.4891	-0.6139	0.3811
				0.0	0.0001	0.0001	0.0005
เยื่อใย					1.0000	-0.5205	0.1288
					0.0	0.0001	0.2550
เถ้า						1.0000	-0.0645
						0.0	0.5700
NFE							1.0000
							0.0

แถวที่ 1/ หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation)

แถวที่ 2/ หมายถึง ค่าความน่าจะเป็น (Probability, P)

4.3.2 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าวเหนียว

สำหรับค่าองค์ประกอบทางเคมีหรือโภชนะต่างๆในปลายข้าวเหนียวนั้น มีค่าเฉลี่ยของโภชนะต่างๆ ดังนี้ ไขมัน 1.74 % โปรตีน 7.14 % เยื่อใย 0.20 % เถ้า 0.37 % NFE 79.46 % และมีค่าเฉลี่ยของพลังงานรวม เท่ากับ 4,003.54 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งรายละเอียดค่าองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ของปลายข้าวเหนียวทั้ง 10 ตัวอย่าง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.11 ส่วนค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง และค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเหนียว แสดงไว้ในตารางที่ 4.12

1) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าวเหนียว

เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเหนียว พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าวเหนียวมีค่าสหสัมพันธ์กับเถ้าสูงที่สุด แต่เป็นไปในทางตรงข้าม คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น -0.3297 และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการรีเกรชัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R-square) เมื่อใช้ค่าโภชนะทั้ง 5 ประเภท มีค่าเป็น 0.1732 แต่มีค่าความน่าจะเป็นเมื่อนำค่าโภชนะทั้ง 5 ชนิดมาวิเคราะห์ มีค่าเท่ากับ 0.0135 ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.9 และเมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้วิธี RSQUARE Test และ STEPWISE PROCEDURE พบว่า มีค่าของเถ้าและเยื่อใย ที่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.1506 และมีค่า C(p) เท่ากับ 2.0151 และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าวเหนียว ดังนี้

$$\text{AME} = 3,721.61 + 260.70 (\text{Fiber}) - 347.85 (\text{Ash})$$

(R² = 0.1506) (สมการที่ 4.3)

โดยที่ AME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

Fiber คือ เปอร์เซนต์เยื่อใยในปลายข้าวเหนียว

Ash คือ เปอร์เซนต์เถ้าในปลายข้าวเหนียว

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานชนิดต่างๆในปลายข้าวเหนียว

ปลายข้าวเหนียว	ความชื้น (%)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	เยื่อใย (%)	เถ้า (%)	NFE (%)	GE (Kcal/Kg)	AME (Kcal/Kg)	TME (Kcal/Kg)
01	10.42	2.83	7.72	0.08	0.08	78.87	4,102.58	3,688.91	3,878.42
02	11.99	1.23	6.54	0.12	0.18	79.94	4,084.19	3,757.10	3,896.25
03	10.28	2.17	7.99	0.46	0.30	78.80	4,107.44	3,730.01	3,861.26
04	9.88	2.17	8.10	0.11	0.15	79.59	3,997.92	3,656.23	3,830.33
05	10.69	2.90	7.55	0.10	0.16	78.60	4,063.75	3,724.06	3,914.99
06	11.51	1.58	6.38	0.07	0.47	79.99	3,938.32	3,669.45	3,791.85
07	11.92	1.36	7.27	0.16	0.49	78.80	3,900.10	3,604.85	3,753.07
08	11.27	1.84	7.09	0.60	0.92	78.28	3,944.20	3,551.29	3,729.78
09	11.49	0.54	6.31	0.12	0.40	81.14	3,979.39	3,578.36	3,756.83
10	11.46	0.77	6.43	0.18	0.54	80.62	3,917.48	3,623.68	3,814.61
ค่าเฉลี่ย	11.09	1.74	7.14	0.20	0.37	79.46	4,003.54	3,658.39	3,822.74
SD	0.73	0.80	0.69	0.18	0.25	0.95	79.74	68.47	64.48

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง และค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเหนียว

	TME	AME	ไขมัน	โปรตีน	เยื่อใย	เถ้า	NFE
TME	1.0000	0.9226	0.3433	0.2226	-0.2195	-0.5010	-0.0918 ^{1/}
	0.0	0.0001	0.0018	0.0472	0.0505	0.0001	0.4178 ^{2/}
AME		1.0000	0.1941	0.2018	-0.0624	-0.3297	-0.0983
		0.0	0.0844	0.0726	0.5822	0.0028	0.3856
ไขมัน			1.0000	0.7951	0.0453	-0.4385	-0.7671
			0.0	0.0001	0.6901	0.001	0.0001
โปรตีน				1.0000	0.2020	-0.4102	-0.6914
				0.0	0.0724	0.0002	0.0001
เยื่อใย					1.0000	0.6571	-0.4809
					0.0	0.0001	0.0001
เถ้า						1.0000	-0.0695
						0.0	0.5400
NFE							1.0000
							0.0

แถวที่ 1/ หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation)

แถวที่ 2/ หมายถึง ค่าความน่าจะเป็น (Probability, P)

2) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าวเหนียว

ส่วนค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเหนียว พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงมีค่าสหสัมพันธ์กับค่าสูงสุดเช่นกัน และเป็นความสัมพันธ์แบบผกผัน คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น -0.5010 และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการรีเกรชัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) มีค่าเป็น 0.3244 และมีค่าความน่าจะเป็นเมื่อนำตัวแปรทั้ง 5 ตัว มาวิเคราะห์ มีค่าเท่ากับ 0.0001 ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.10 และเมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้วิธี RSQUARE Test และ STEPWISE PROCEDURE พบว่า มีค่าของค่าและเงื่อนไข ที่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.2723 และมีค่า C(p) เท่ากับ 5.7080 และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าวเหนียว ดังนี้

$$\text{TME} = 3,896.65 + 112.84 (\text{Fiber}) - 261.45 (\text{Ash})$$

$$(R^2 = 0.2723) \quad (\text{สมการที่ 4.4})$$

โดยที่ TME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
 Fiber คือ เปอร์เซนต์เยื่อใยในปลายข้าวเหนียว
 Ash คือ เปอร์เซนต์เถ้าในปลายข้าวเหนียว

4.3.3 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าวทั้ง 2 ชนิด

1) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าว

เมื่อนำค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าวทั้ง 2 ชนิดคือปลายข้าวเหนียวและปลายข้าวเจ้า มาวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์กับค่าองค์ประกอบทางเคมี พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าวมีค่าสหสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าสูงสุด คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น -0.3737 และเมื่อวิเคราะห์หาสมการรีเกรชัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) เมื่อใช้ค่าโภชนะทั้ง 5 ประเภท มีค่าเป็น 0.2323 และมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0001 ดังที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.11 และเมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้วิธี RSQUARE Test และ STEPWISE PROCEDURE พบว่า มีค่าโภชนะ 2 ประเภท คือ เถ้าและเยื่อใย ที่สามารถนำมาใช้ประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.2089 และมีค่า C(p) เท่ากับ 4.6923 และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าวดังนี้

$$\text{AME} = 3,740.34 + 382.71 (\text{Fiber}) - 390.67 (\text{Ash})$$

$$(R^2 = 0.2089) \quad (\text{สมการที่ 4.5})$$

โดยที่ AME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
 Fiber คือ เพอร์เซ็นต์เยื่อใยในปลายข้าว
 Ash คือ เพอร์เซ็นต์เถ้าในปลายข้าว

2) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าว

สำหรับค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าว พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงมีค่าสหสัมพันธ์แบบผกผันกับเถ้าสูงที่สุด คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น -0.4499 และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการรีเกรชัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) มีค่าเป็น 0.3328 และมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0001 และเมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์โดยใช้วิธี RSQUARE Test และ STEPWISE PROCEDURE พบว่า มีค่าโภชนะ 4 ประเภท คือ เถ้า NFE โปรตีน และเยื่อใย สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงได้ ดังที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.12 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.3315 และมีค่า C(p) เท่ากับ 4.2940 และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าว ดังนี้

$$\text{TME} = 9,130.31 - 84.11(\text{Protein}) + 222.68(\text{Fiber}) - 437.32(\text{Ash}) - 57.75(\text{NFE})$$

$$(R^2 = 0.3315) \quad (\text{สมการที่ 4.6})$$

โดยที่ TME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
 Protein คือ เพอร์เซ็นต์โปรตีนในปลายข้าว
 Fiber คือ เพอร์เซ็นต์เยื่อใยในปลายข้าว
 Ash คือ เพอร์เซ็นต์เถ้าในปลายข้าว
 NFE คือ เพอร์เซ็นต์แป้งและน้ำตาลในปลายข้าว

4.3.4 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำละเอียด

ค่าองค์ประกอบทางเคมีหรือโภชนะต่างๆของรำละเอียดนั้น มีค่าเฉลี่ยของไขมันอยู่ที่ 15.37% โปรตีน 13.34% เยื่อใย 5.53% เถ้า 9.06% NFE 47.63% และมีค่าเฉลี่ยพลังงานรวมเท่ากับ $4,662.58$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งรายละเอียดค่าองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ของรำละเอียดได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.13 และค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงและค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียด แสดงไว้ในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานชนิดต่างๆในรำละเอียด

รำละเอียด	ความชื้น (%)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	เยื่อใย (%)	เถ้า (%)	NFE (%)	GE (Kcal/Kg)	AME (Kcal/Kg)	TME (Kcal/Kg)
01	11.35	10.10	12.68	5.84	7.42	52.61	4,023.56	2,364.41	2,748.97
02	8.10	15.39	17.04	6.74	11.76	40.97	4,812.34	2,505.19	2,848.09
03	8.77	17.00	13.83	4.78	8.81	46.81	4,678.05	2,344.42	2,842.91
04	7.84	11.37	11.44	9.06	11.53	48.76	4,524.97	2,385.61	2,609.82
05	8.73	18.67	13.79	4.67	8.20	45.94	4,826.46	2,683.94	2,965.54
06	9.71	16.22	13.22	3.39	7.49	49.97	5,026.99	3,126.32	3,563.82
07	9.08	11.64	12.78	4.48	8.16	53.86	4,539.12	3,207.35	3,456.66
08	9.31	16.15	11.93	7.84	9.95	44.82	4,834.73	2,216.99	2,676.20
09	9.54	18.61	12.87	5.02	8.25	45.71	4,711.15	2,852.09	3,217.35
10	8.43	18.51	13.78	3.48	8.99	46.81	4,648.46	3,137.24	3,442.29
ค่าเฉลี่ย	9.09	15.37	13.34	5.53	9.06	47.63	4,662.58	2,682.36	3,037.16
SD	1.00	3.21	1.52	1.85	1.55	3.81	270.19	374.13	353.48

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง และค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียด

	TME	AME	ไขมัน	โปรตีน	เยื่อใย	เถ้า	NFE
TME	1.0000	0.9620	0.2546	0.0823	-0.6985	-0.4527	0.2611 ^{1/}
	0.0	0.0001	0.0227	0.4682	0.0001	0.0001	0.0193 ^{2/}
AME		1.0000	0.1525	0.0524	-0.5306	-0.3178	0.2441
		0.0	0.1769	0.6445	0.0001	0.0041	0.0291
ไขมัน			1.0000	0.3217	-0.4482	-0.1017	-0.6361
			0.0	0.0036	0.0001	0.3695	0.0001
โปรตีน				1.0000	-0.2468	0.2661	-0.5840
				0.0	0.0273	0.0170	0.0001
เยื่อใย					1.0000	0.7489	-0.2498
					0.0	0.0001	0.0254
เถ้า						1.0000	-0.6001
						0.0	0.0001
NFE							1.0000
							0.0

แถวที่ 1/ หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation)

แถวที่ 2/ หมายถึง ค่าความน่าจะเป็น (Probability, P)

1) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของรำละเอียด

เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียด พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของรำละเอียดมีค่าสหสัมพันธ์กับเยื่อใยสูงที่สุด แต่มีลักษณะผกผัน คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น -0.5306 และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการรีเกรชัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) มีค่าเป็น 0.3781 และมีค่าความน่าจะเป็นเมื่อนำตัวแปรทั้งหมดมาสร้างสมการ มีค่าเท่ากับ 0.0001 และเมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้วิธี RSQUARE Test และ STEPWISE PROCEDURE พบว่า ค่าของเยื่อใยเท่านั้นที่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.2815 และมีค่า C(p) เท่ากับ 9.4946 ดังที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.13 และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของรำละเอียด ดังนี้

$$\text{AME} = 3,526.78 - 152.70 (\text{Fiber})$$

$$(R^2 = 0.2815) \quad (\text{สมการที่ 4.7})$$

โดยที่ AME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
Fiber คือ เปอร์เซ็นต์เยื่อใยในรำละเอียด

2) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำละเอียด

เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียด พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำละเอียดมีค่าความสัมพันธ์กับเยื่อใยสูงที่สุด แต่มีลักษณะผกผันคือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น -0.6985 และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการรีเกรชัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) เมื่อใช้ค่าโภชนะทั้ง 5 ประเภท มีค่าเป็น 0.5779 และมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0001 โดยผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.14 และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้วิธี RSQUARE Test และ STEPWISE PROCEDURE พบว่า มีเพียงค่าของเยื่อใยเท่านั้น ที่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.4879 และมีค่า C(p) เท่ากับ 13.7603 และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำละเอียด ดังนี้

$$\text{TME} = 3,924.56 - 160.47 (\text{Fiber})$$

$$(R^2 = 0.4879) \quad (\text{สมการที่ 4.8})$$

โดยที่ TME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
Fiber คือ เปอร์เซ็นต์เยื่อใยในรำละเอียด

4.3.5 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำสกัดน้ำมัน

สำหรับค่าองค์ประกอบทางเคมีหรือโภชนะต่างๆในรำสกัดน้ำมันนั้น มีค่าเฉลี่ยของโภชนะต่างๆ ดังนี้ ไขมัน 1.85 % โปรตีน 15.87 % เยื่อใย 10.68 % เถ้า 11.99 % NFE 49.52 % และ พลังงานรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,878.61 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยรายละเอียด ค่าองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ของรำสกัดน้ำมันทั้ง 10 ตัวอย่างนั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.15 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง และค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำสกัดน้ำมัน แสดงไว้ในตารางที่ 4.16

1) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของรำสกัดน้ำมัน

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำสกัดน้ำมัน พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของรำสกัดน้ำมันมีค่าความสัมพันธ์กับเถ้าสูงที่สุด แต่มีความสัมพันธ์ลักษณะผกผัน คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น -0.6935 และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการ รีเกรซชัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) เมื่อใช้ตัวแปรหรือค่าโภชนะทั้ง 5 ประเภท มีค่าเป็น 0.5804 และมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0001 ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.15 และเมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้วิธี RSQUARE Test และ STEPWISE PROCEDURE พบว่า มีค่าของโภชนะ 4 ค่า คือ เถ้า NFE เยื่อใย และโปรตีน สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.5800 และมีค่า C(p) เท่ากับ 4.0696 และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของรำสกัดน้ำมัน ดังนี้

$$\text{AME} = 14,567.04 - 48.64(\text{Protein}) - 117.89(\text{Fiber}) - 403.47(\text{Ash}) - 122.13(\text{NFE})$$

$$(R^2 = 0.5800) \quad (\text{สมการที่ 4.9})$$

โดยที่ AME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
Protein คือ เปอร์เซ็นต์โปรตีนในรำสกัดน้ำมัน
Fiber คือ เปอร์เซ็นต์เยื่อใยในรำสกัดน้ำมัน
Ash คือ เปอร์เซ็นต์เถ้าในรำสกัดน้ำมัน
NFE คือ เปอร์เซ็นต์แป้งและน้ำตาลในรำสกัดน้ำมัน

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานชนิดต่างๆในรำสกัดน้ำมัน

รำสกัด น้ำมัน	ความชื้น (%)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	เยื่อใย (%)	เถ้า (%)	NFE (%)	GE (kcal/kg)	AME (kcal/kg)	TME (kcal/kg)
01	10.88	2.43	12.74	9.14	10.28	54.53	3904.91	2,158.80	2,473.69
02	11.52	2.27	16.08	11.67	11.65	46.81	3980.36	2,033.22	2,257.23
03	9.94	2.37	15.39	9.74	10.43	52.13	3924.75	2,070.99	2,646.55
04	10.14	1.42	19.09	14.92	14.64	39.79	4068.89	1,132.01	1,601.65
05	10.74	2.34	14.97	9.06	12.08	50.81	3686.73	1,598.22	2,065.96
06	11.81	0.71	17.15	11.97	14.07	44.29	3611.67	1,269.25	1,612.32
07	8.36	1.45	20.25	11.53	12.76	45.65	4199.98	1,522.85	1,899.93
08	10.14	1.42	14.49	10.91	10.89	52.15	3858.23	1,625.25	2,038.69
09	8.69	2.27	15.51	8.98	13.09	51.46	3537.87	1,182.82	1,801.49
10	8.74	1.81	13.02	8.84	9.99	57.60	4012.74	1,921.00	2,335.37
ค่าเฉลี่ย	10.10	1.85	15.87	10.68	11.99	49.52	3878.61	1,651.44	2,073.29
SD	1.19	0.58	2.41	1.93	1.63	5.31	209.56	381.14	354.59

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง และค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำสกัดน้ำมัน

	TME	AME	ไขมัน	โปรตีน	เยื่อใย	เถ้า	NFE
TME	1.0000	0.9876	0.5919	-0.5466	-0.5138	-0.7790	0.6089 ^{1/}
	0.0	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001 ^{2/}
AME		1.0000	0.4559	-0.4683	-0.3803	-0.6935	0.4842
		0.0	0.0001	0.0001	0.0005	0.0001	0.0001
ไขมัน			1.0000	-0.5132	-0.6082	-0.5535	0.5340
			0.0	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
โปรตีน				1.0000	0.7525	0.7747	-0.8770
				0.0	0.0001	0.0001	0.0001
เยื่อใย					1.0000	0.6982	-0.9079
					0.0	0.0001	0.0001
เถ้า						1.0000	-0.8761
						0.0	0.0001
NFE							1.0000
							0.0

แถวที่ 1/ หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation)

แถวที่ 2/ หมายถึง ค่าความน่าจะเป็น (Probability, P)

2) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำสกัดน้ำมัน

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำสกัดน้ำมัน พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำสกัดน้ำมันมีค่าสหสัมพันธ์กับค่าสูงสุด แต่มีความสัมพันธ์ลักษณะผกผัน คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น -0.7473 และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการ รีเกรซชัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) เมื่อใช้ค่าโภชนะทั้ง 5 ประเภท มีค่าเป็น 0.6811 และมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.001 และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้วิธี RSQUARE Test และ STEPWISE PROCEDURE พบว่า มีค่าของโภชนะ 3 ค่า คือ ไขมัน และ NFE สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำสกัดน้ำมันได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.6756 และมีค่า $C(p)$ เท่ากับ 3.2556 โดยแสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.16 และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำสกัดน้ำมัน ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{TME} &= 6,134.45 + 185.69 (\text{Fat}) - 246.83 (\text{Ash}) - 29.19 (\text{NFE}) \\ &\quad (R^2 = 0.6756) \end{aligned} \quad (\text{สมการที่ 4.10})$$

โดยที่ TME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
 Fat คือ เปอร์เซ็นต์ไขมันในรำสกัดน้ำมัน
 Ash คือ เปอร์เซ็นต์เถ้าในรำสกัดน้ำมัน
 NFE คือ เปอร์เซ็นต์แป้งและน้ำตาลในรำสกัดน้ำมัน

4.3.6 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำหยาบ

สำหรับค่าองค์ประกอบทางเคมีในรำหยาบนั้น พบว่า มีค่าเฉลี่ยของโภชนะต่างๆ ดังนี้ ไขมัน 2.54 % โปรตีน 5.12 % เยื่อใย 33.20 % เถ้า 16.05 % NFE 33.96 % และมีค่าเฉลี่ยของพลังงานรวม เท่ากับ $3,708.33$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยรายละเอียดค่าองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ของรำหยาบทั้ง 10 ตัวอย่างนั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.17 และได้แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงและค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำหยาบ ไว้ในตารางที่ 4.18

1) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของรำหยาบ

เมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำหยาบ พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของรำหยาบมีค่าความสัมพันธ์กับค่าสูงสุด แต่มีความสัมพันธ์ลักษณะผกผัน คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น -0.2889 และเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่ารีเกรซชัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) มีค่า

เป็น 0.1253 และมีค่าความน่าจะเป็นเมื่อนำวิเคราะห์ มีค่าเท่ากับ 0.0724 ($P > 0.05$) ซึ่งไม่สามารถนำมาสร้างสมการรีเกรชันได้ และเมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมี โดยใช้วิธี RSQUARE Test และ STEPWISE PROCEDURE พบว่า มีค่าของเก้าเพียงค่าเดียว ที่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.0835 และมีค่า C(p) เท่ากับ 1.5374 โดยได้แสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.19 และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของรำหยาบ ดังนี้

$$\text{AME} = 1,011 - 28.96(\text{Ash})$$

$$(\text{R}^2 = 0.0835) \quad (\text{สมการที่ 4.11})$$

โดยที่ AME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
Ash คือ เเปอร์เซ็นต์เถ้าในรำหยาบ

2) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำหยาบ

ส่วนค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำหยาบ พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำหยาบมีค่าความสัมพันธ์กับเถ้าสูงที่สุด แต่มีความสัมพันธ์ลักษณะผกผัน คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น -0.3520 แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการรีเกรชัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) มีค่าเพียง 0.1638 และมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0191 และเมื่อทดสอบโดยใช้วิธี RSQUARE Test และ STEPWISE PROCEDURE พบว่า มีค่าของเก้าเพียงค่าเดียว ที่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.1239 และมีค่า C(p) เท่ากับ 1.5285 โดยได้แสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.20 และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำหยาบ ดังนี้

$$\text{TME} = 1,652.99 - 31.88(\text{Ash})$$

$$(\text{R}^2 = 0.1239) \quad (\text{สมการที่ 4.12})$$

โดยที่ TME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
Ash คือ เเปอร์เซ็นต์เถ้าในรำหยาบ

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานชนิดต่างๆในรำหยาบ

รำหยาบ	ความชื้น (%)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	เยื่อใย (%)	เถ้า (%)	NFE (%)	GE (kcal/kg)	AME (kcal/kg)	TME (kcal/kg)
01	8.35	0.84	3.68	39.91	17.69	29.53	3,688.97	1,091.95	1,707.13
02	10.15	1.38	4.86	36.68	14.92	32.01	3,726.10	778.02	1,342.76
03	7.98	1.81	4.20	38.68	15.02	32.31	3,850.76	421.01	911.47
04	10.31	1.21	4.87	36.43	11.49	35.69	3,843.36	133.78	914.61
05	10.22	2.63	6.84	23.27	8.88	48.16	3,873.70	1,059.51	1,669.12
06	8.73	4.09	5.25	30.98	13.14	37.81	3,894.00	618.92	1,108.02
07	8.35	7.61	6.11	30.66	13.12	34.15	3,887.50	502.42	1,147.11
08	8.19	2.66	4.37	32.25	22.77	29.76	3,376.78	71.08	798.98
09	8.17	1.89	6.02	36.00	19.53	28.39	3,553.18	436.17	934.60
10	10.85	1.25	5.01	27.12	23.97	31.80	3,388.90	354.72	879.08
ค่าเฉลี่ย	9.13	2.54	5.12	33.20	16.05	33.96	3,708.33	546.76	1,141.29
SD	1.11	2.02	0.97	5.31	4.88	5.76	202.53	346.82	328.86

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง และค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำหยาบ

	TME	AME	ไขมัน	โปรตีน	เยื่อใย	เถ้า	NFE
TME	1.0000	0.9563	-0.0335	0.1067	-0.0633	-0.3520	0.3321 ^{1/}
	0.0	0.0001	0.7678	0.3460	0.5770	0.0014	0.0026 ^{2/}
AME		1.0000	-0.0405	0.1175	-0.0598	-0.2889	0.2840
		0.0	0.7215	0.2991	0.5981	0.0093	0.0107
ไขมัน			1.0000	0.4895	-0.3632	-0.2968	0.2176
			0.0	0.0001	0.0009	0.0075	0.0525
โปรตีน				1.0000	-0.7028	-0.4333	0.6281
				0.0	0.0001	0.0001	0.0001
เยื่อใย					1.0000	0.1159	-0.6849
					0.0	0.3059	0.0001
เถ้า						1.0000	-0.7488
						0.0	0.0001
NFE							1.0000
							0.0

แถวที่ 1/ หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation)

แถวที่ 2/ หมายถึง ค่าความน่าจะเป็น (Probability, P)

4.3.7 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำข้าว

1) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของรำข้าว

เมื่อนำค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของรำข้าวทั้ง 3 ชนิด คือ รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำหยาบ มาวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์กับค่าองค์ประกอบทางเคมี พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของรำข้าวมีค่าความสัมพันธ์ทางบวกกับไขมันสูงสุด คือ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.7070 ส่วนเยื่อใยมีค่าความสัมพันธ์ในลักษณะผกผันกับค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของรำข้าวสูงสุด คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น -0.8266 และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการรีเกรชัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) เท่ากับ 0.7794 และมีค่าความน่าจะเป็น เท่ากับ 0.0001 ($P < 0.05$) แต่ไม่สามารถนำค่ารีเกรชันที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้เป็นสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าวได้ ดังที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.21 และเมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้วิธี RSQUARE Test และ STEPWISE PROCEDURE พบว่า ค่าของไขมัน เยื่อใย และเถ้าสามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.7776 และมีค่า C(p) เท่ากับ 3.9511 โดยแสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.21 และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของรำข้าว ดังนี้

$$\text{AME} = 2,593.19 + 44.62 (\text{Fat}) - 41.65 (\text{Fiber}) - 46.43 (\text{Ash})$$

$(R^2 = 0.7776)$ (สมการที่ 4.13)

โดยที่ AME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

Fat คือ เปอร์เซ็นต์ไขมันในรำข้าว

Fiber คือ เปอร์เซ็นต์เยื่อใยในรำข้าว

Ash คือ เปอร์เซ็นต์เถ้าในรำข้าว

2) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำข้าว

ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำข้าวทั้ง 3 ชนิด คือ รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำหยาบ เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์กับค่าองค์ประกอบทางเคมี พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำข้าวมีค่าความสัมพันธ์ทางบวกกับไขมันสูงสุด คือ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.7351 ส่วนเยื่อใยมีค่าความสัมพันธ์ในลักษณะผกผันกับค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำข้าวสูงสุด คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น -0.8312 และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการรีเกรชัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) เท่ากับ 0.8146 และมีค่าความ

น่าจะเป็น เท่ากับ 0.0001 แต่ไม่สามารถนำค่ารีเกรซชันที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้เป็นสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าวได้ ดังที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.22 และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้วิธี RSQUARE Test และ STEPWISE PROCEDURE พบว่า ค่าของเยื่อใย ไขมัน NFE และเถ้า สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำข้าวได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.8146 และมีค่า C(p) เท่ากับ 4.0032 และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำข้าว ดังนี้

$$\text{TME} = 1,259.25 + 58.34 (\text{Fat}) - 20.85 (\text{Fiber}) - 23.53 (\text{Ash}) + 24.59 (\text{NFE})$$

$$(\text{R}^2 = 0.8146) \quad (\text{สมการที่ 4.14})$$

โดยที่ TME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
 Fat คือ เปอร์เซ็นต์ไขมันในรำข้าว
 Fiber คือ เปอร์เซ็นต์เยื่อใยในรำข้าว
 Ash คือ เปอร์เซ็นต์เถ้าในรำข้าว
 NFE คือ เปอร์เซ็นต์แป้งและน้ำตาลในรำข้าว

4.3.8 สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว

1) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของผลพลอยได้จากข้าว

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้จากข้าวทั้ง 5 ชนิดคือ ปลายข้าวเจ้า ปลายข้าวเหนียว รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำหยาบ พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของผลพลอยได้จากข้าวมีค่าสหสัมพันธ์ทางบวกกับ NFE สูงที่สุด คือ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8717 ส่วนเยื่อใยและเถ้ามีค่าความสัมพันธ์ในลักษณะผกผันกับค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของผลพลอยได้จากข้าวสูงมาก คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น -0.8916 และ -0.8954 ตามลำดับ และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการรีเกรซชัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) เท่ากับ 0.8992 และมีค่าความน่าจะเป็น เท่ากับ 0.0001 แต่ไม่สามารถนำค่ารีเกรซชันที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าโภชนาการทั้ง 5 ชนิด ไปใช้เป็นสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของผลพลอยได้จากข้าวได้ โดยได้แสดงไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.23 และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์โดยใช้วิธี RSQUARE Test และ STEPWISE PROCEDURE พบว่า ค่าของไขมัน เยื่อใย และ NFE สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.8989 และมี

ค่า C(p) เท่ากับ 3.4318 และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของผลพลอยได้จากข้าว ดังนี้

$$\text{AME} = -1,250.64 + 74.49 (\text{Fat}) - 10.61 (\text{Fiber}) + 58.95 (\text{NFE})$$

$$(R^2 = 0.8989) \quad (\text{สมการที่ 4.15})$$

โดยที่ AME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
 Fat คือ เปอร์เซ็นต์ไขมันในวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว
 Fiber คือ เปอร์เซ็นต์เยื่อใยในวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว
 NFE คือ เปอร์เซ็นต์แป้งและน้ำตาลในวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว

2) สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของผลพลอยได้จากข้าว

สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้จากข้าวทั้ง 5 ชนิด คือ ปลายข้าวเจ้า ปลายข้าวเหนียว รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน และรำหยาบ พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของผลพลอยได้จากข้าวมีค่าสหสัมพันธ์กับ NFE สูงที่สุด คือ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.8667 ส่วนเยื่อใยและเถ้ามีค่าสหสัมพันธ์ในลักษณะผกผันกับค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของผลพลอยได้จากข้าวสูงมาก คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น -0.8948 และ -0.8990 ตามลำดับ และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการรีเกรชัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) เท่ากับ 0.9119 และมีค่าความน่าจะเป็น เท่ากับ 0.0001 แต่ไม่สามารถนำค่ารีเกรชันที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้เป็นสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของผลพลอยได้จากข้าวได้ โดยแสดงการวิเคราะห์ไว้ในภาคผนวกตารางที่ 7.24 และเมื่อพิจารณาค่าความสัมพันธ์โดยใช้วิธี RSQUARE Test และ STEPWISE PROCEDURE พบว่า ค่าของไขมัน เยื่อใย และ NFE สามารถใช้ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น 0.9113 และมีค่า C(p) เท่ากับ 4.9174 และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของผลพลอยได้จากข้าว ดังนี้

$$\text{TME} = -600.46 + 72.70 (\text{Fat}) - 6.35 (\text{Fiber}) + 53.08 (\text{NFE})$$

$$(R^2 = 0.9113) \quad (\text{สมการที่ 4.16})$$

โดยที่ TME คือ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
 Fat คือ เปอร์เซ็นต์ไขมันในวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว
 Fiber คือ เปอร์เซ็นต์เยื่อใยในวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว
 NFE คือ เปอร์เซ็นต์แป้งและน้ำตาลในวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าว

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในสัตว์ปีก

การศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าวในสัตว์ปีก พบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าวเมื่อใช้ระดับของปลายข้าวที่แตกต่างกันในสูตรอาหารทดสอบ มีแนวโน้มว่าการใช้ปลายข้าวในระดับ 75% ให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏที่ได้มีค่าต่ำลง ส่วนการใช้ปลายข้าวในระดับ 99.5% นั้น ให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏที่ไม่แตกต่างกันไม่ว่าจะใช้วิธีการทดสอบแบบใดก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Miller (1974) ที่กล่าวว่า ในการหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ โดยวิธีการใช้วัตถุดิบเพียงชนิดเดียว จะมีความแม่นยำสูง ส่วนการผสมวัตถุดิบทดสอบในสูตรอาหารมาตรฐานนั้น จะทำเมื่อวัตถุดิบที่ต้องการทดสอบไม่สามารถนำมาใช้เพียงชนิดเดียวได้ และ Sibbald (1982) ได้รายงานว่าการผสมวัตถุดิบทดสอบในสูตรอาหารมาตรฐาน มีความแปรปรวนมาก แต่สามารถใช้ได้ดีกับวัตถุดิบที่มีความเป็นพิษสูงและไม่มีควมน่ากิน สำหรับปลายข้าว นั้น เมื่อดูจากปริมาณอาหารที่กินของไก่ทดลองพบว่า ไก่กินได้ในปริมาณที่สูง จึงไม่จำเป็นต้องผสมปลายข้าวในสูตรอาหารทดสอบแต่อย่างใด

สำหรับวิธีการทดสอบทั้ง 3 วิธีนั้น พบว่า วิธีการให้กินแบบเต็มที่ให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏที่ไม่แตกต่างกันไม่ว่าจะให้ปลายข้าวในระดับ 99.5% หรือ 75% แต่วิธีการทดสอบแบบให้กินเต็มทีนั้น ไม่สามารถนำมาหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงได้ เพราะ ไม่สามารถนำค่าของพลังงานในสิ่งขับถ่ายที่ไม่ได้มาจากอาหาร มาหักลบออกไป ซึ่งการปรับค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเป็นค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง จะช่วยลดความแปรปรวนของค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏได้ (Sibbald, 1976) ส่วนวิธีการทดสอบแบบให้กิน 48 ชั่วโมงนั้น มีแนวโน้มให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏต่ำกว่าวิธีการให้กินแบบเต็มที แต่จะมีปัญหาตรงที่ปริมาณอาหารที่กินได้ต่ำและเกิดความแปรปรวนสูง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Fisher (1987) ส่วนวิธีการทดสอบแบบให้กิน 1 ชั่วโมงนั้น เป็นการแก้ปัญหาของวิธีการทดสอบแบบให้กิน 48 ชั่วโมง โดยการฝึกและคัดเลือกไก่ทดลองให้สามารถกินอาหารทดสอบได้ตัวละ 70-100 กรัม ใน 1 ชั่วโมง ซึ่งจะช่วยลดปัญหาเรื่องการกินได้และความแปรปรวนของข้อมูลได้ (Farrel, 1980)

สำหรับค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อปรับสมมูลไนโตรเจนของปลายข้าว นั้น พบว่า ไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารทดสอบสูตรปลายข้าว 99.5% ให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อปรับสมมูลไนโตรเจนสูงกว่าในไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารทดสอบสูตรปลายข้าว 75% แต่กลุ่มที่ได้รับปลายข้าวเจ้า 75% มีแนวโน้มว่าค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อปรับสมมูลไนโตรเจน มีค่าเพิ่มขึ้น

ทั้งนี้เนื่องจากไก่ได้รับอาหารทดสอบที่มีไนโตรเจนต่ำ คืออาหารทดสอบสูตรปลายข้าว 99.5% มีโปรตีน 6.82% และอาหารทดสอบสูตรปลายข้าว 75%ซึ่งผสมแป้งข้าวโพด 25% ซึ่งมีโปรตีนต่ำถึง 0.24% จึงทำให้อาหารทดสอบสูตรปลายข้าว 75% มีโปรตีนเพียง 5.49% ขณะที่ไก่โตเต็มวัยเพศผู้มีความต้องการโปรตีนในอาหารที่ระดับ 12% (NRC, 1994) จึงทำให้สมดุลไนโตรเจนเป็นลบ ไก่จึงต้องดึงเนื้อเยื่อบางส่วนในร่างกายมาเผาผลาญและทำให้ขับไนโตรเจนออกมาทางสิ่งขับถ่ายมากกว่าปริมาณที่ได้รับ (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2532) ดังนั้น ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน จึงเพิ่มขึ้น

การศึกษาค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงในไก่ พบว่า ไก่ทั้ง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ได้รับปลายข้าว 99.5%และกลุ่มที่ได้รับปลายข้าว 75% มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงนี้เป็นการปรับค่าพลังงานจากส่วนที่ไม่ได้จากอาหารโดยตรง เช่น น้ำดี น้ำย่อย เยื่อบุผนังลำไส้ มาหักลบออกจากค่าพลังงานในสิ่ง ขับถ่าย ได้เป็นค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง ซึ่งพลังงานส่วนนี้จะเปลี่ยนแปลงตามชนิดของอาหารที่กิน แต่ไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณอาหารที่กิน (Harris. 1966 ; Vorha. 1972 ; Sibbald. 1982) จากผลการทดลองที่ได้จากการทดลองที่ 1 นี้ จะเห็นได้ว่าการใช้อาหารทดสอบสูตรปลายข้าว 99.5% ให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ที่ไม่แตกต่างกันไม่ว่าจะทดสอบด้วยวิธีการใดก็ตาม ดังนั้น ในการทดลองที่ 2 ในส่วนของปลายข้าวทั้ง 2 ชนิด คือ ปลายข้าวเหนียว และปลายข้าวเจ้า จึงเลือกใช้อาหารทดสอบแบบสูตรปลายข้าว 99.5% และใช้วิธีการทดสอบแบบให้กิน 1 ชั่วโมง เพราะในการหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์นั้น ต้องคำนึงถึงสมดุลพลังงาน ปริมาณอาหารที่สัตว์ได้รับ และค่า Endogenous energy loss ตลอดจน ความรวดเร็ว ราคา และความสะดวกในการทดสอบ (Fisher and McNab. 1987) อีกทั้งยังมีประโยชน์เป็นอย่างมากในกรณีที่มีปริมาณวัตถุดิบทดสอบจำกัด หรือเป็นการส่งตัวอย่างวัตถุดิบมาทดสอบ แต่ต้องมีการเตรียมไก่ทดลอง โดยการฝึกและคัดเลือกไก่ทดลองก่อนนำมาทดสอบ

5.2 การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว

ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏและค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าวเจ้า มีค่าต่ำกว่าปลายข้าวเหนียว แต่มีความแปรปรวนสูงกว่าของปลายข้าวเหนียว ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะความหลากหลายของสายพันธุ์ข้าวเจ้าที่ปลูกในประเทศไทย (อัมมาร สยามวาลา และ วิโรจน์ ณะระนอง. 2533) และในการหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์นั้น ต้องเก็บสิ่งขับถ่ายของสัตว์ทดลอง แต่เนื่องจากการทดสอบหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏและค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าวเหนียวนั้น เราใช้ปลายข้าวเหนียวในสูตรอาหารทดสอบสูงถึง 99.5% และปลายข้าว

เหนียวมีส่วนประกอบของอะไมโลเพคตินสูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้ย่อยได้ช้ากว่าและไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีกว่า

ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏและค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำละเอียดที่ได้จากการทดลองนั้น พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ กรมปศุสัตว์ (2524) ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏและค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำสกัดน้ำมัน และรำหยาบ ทั้งนี้เพราะรำสกัดน้ำมันได้ถูกสกัดไขมันออกไปแล้ว จึงทำให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ทั้ง 2 ชนิดมีค่าต่ำกว่ารำละเอียด ส่วนรำหยาบนั้น ถึงแม้จะมีค่าพลังงานรวมสูง แต่ก็มีส่วนของเยื่อใยและเถ้าในระดับที่สูงมากเช่นกัน ซึ่งส่วนนี้สัตว์ไม่สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ จึงขับถ่ายออกมาในปริมาณสูง ทำให้ทั้งค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏและค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำหยาบมีค่าต่ำกว่าในรำละเอียดและรำสกัดน้ำมันมาก

ผลพลอยได้พวกรำข้าวความแปรปรวนของค่าพลังงานใช้ประโยชน์สูงมากกว่าปลายข้าว อาจเป็นเพราะสมรรถภาพในการสีข้าวของโรงสีในแต่ละแหล่งผลิตนั้นแตกต่างกัน คือ ถ้าเป็นโรงสีขนาดเล็ก ขั้นตอนการสีไม่ซับซ้อน ระบบการทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกไม่ดีพอและไม่มีคัดแยกประเภทหรือเกรดคุณภาพของรำข้าวและปลายข้าวที่ได้ โดยเฉพาะรำข้าว จะมีการปลอมปนจากแกลบและสิ่งสกปรก เช่น เศษดิน ทราย มากกว่าโรงสีขนาดใหญ่ ที่มีกระบวนการสีข้าวที่ซับซ้อน มีขั้นตอนการทำความสะอาดข้าวเปลือก การแบ่งเกรดคุณภาพของรำข้าวและปลายข้าวเป็นหลายเกรด (อัมมาร สยามวาลา และ วิโรจน์ ณ ระนอง, 2533) จึงทำให้รำข้าวที่นำมาทดสอบมีค่าความแปรปรวนของค่าพลังงานใช้ประโยชน์สูงมากกว่าปลายข้าว

5.3 การศึกษาการสร้างสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว

ในการศึกษาการสร้างสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าวทั้ง 5 ชนิดนั้น พบว่า ในการใช้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์รีเกรซชันจะไม่สามารถนำมาใช้สร้างเป็นสมการในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากให้ค่าความน่าจะเป็นในการประมาณค่าของตัวแปรหลายตัวใช้ในการสร้างสมการไม่ได้ แต่เมื่อใช้การทดสอบด้วยวิธีการ PROC RSQUARE และ STEPWISE Procedure กลับพบว่าได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง และ คัดเลือกโภชนะที่มีค่าความน่าจะเป็นสูง โดยเฉพาะเมื่อทำการทดสอบกับจำนวนตัวอย่างมากๆ

สำหรับสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏและค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของผลพลอยได้จากข้าวนั้น พบว่า ค่าของเยื่อใย ไขมัน และ NFE สามารถนำมาใช้ในเป็นพารามิเตอร์ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ทั้ง 2 ชนิดได้ และมีค่า R-square ในระดับที่สูงมากคือ เท่ากับ 0.8992 และ 0.9112 ตามลำดับ โดยที่ค่าของเก่า จะเป็นโมฆะที่มีความสัมพันธ์ในลักษณะที่ผกผันสูงมากกับค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในปลายข้าว แสดงว่า ถ้าปลายข้าวนั้นมีเปอร์เซ็นต์เก่าต่ำ ก็จะมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์สูง ซึ่งเก่าก็คือส่วนของแร่ธาตุหรือส่วนประกอบที่สัตว์ไม่สามารถย่อยสลายไปใช้ประโยชน์ได้ (ศรีสกุล วรจันทร์ และรณชัย สิทธิไกรพงษ์. 2538) และค่าของเยื่อใยมีความสัมพันธ์ในลักษณะที่ผกผันสูงมากกับค่าพลังงานใช้ประโยชน์ในรำข้าว เพราะ สัตว์ปีกมีการย่อยสลายวัตถุดิบที่เป็นเยื่อใยได้ต่ำ จึงมีการขับถ่ายออกมาในมูลในปริมาณสูง เมื่อนำไปคำนวณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ จึงมีค่าต่ำ

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าว โดยใช้อาหารทดสอบที่มีส่วนของวัตถุดิบ 99.5% ให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏไม่แตกต่างกันทั้ง 3 วิธีการทดสอบ แต่การใช้วิธีการทดสอบแบบจำกัดเวลาให้กิน 1 ชั่วโมง มีความเหมาะสมในการหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์มากกว่าวิธีการทดสอบแบบดั้งเดิม เพราะมีความสะดวกในการทดสอบ ทำได้รวดเร็วและประหยัดเวลากว่าการทดสอบด้วยวิธีอื่นๆ และจะมีประโยชน์เป็นอย่างมากในกรณีที่มีปริมาณวัตถุดิบทดสอบจำกัด แต่ต้องมีการเตรียมไก่ทดลอง โดยการฝึกและคัดเลือกไก่ทดลองก่อนนำมาทดสอบ

ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏและค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากข้าวทั้ง 5 ชนิด คือ ปลายข้าวเจ้า ปลายข้าวเหนียว รำละเอียด รำหยาบ และรำสกัดน้ำมัน ที่ได้จากแหล่งผลิตต่างๆกัน และประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการให้กินแบบจำกัดเวลาให้กิน 1 ชั่วโมง พบว่า ผลพลอยได้ประเภทรำข้าวมีความแปรปรวนของค่าพลังงานมาก โดยเฉพาะในรำหยาบ ส่วนในปลายข้าวเจ้าและปลายข้าวเหนียวมีความแปรปรวนของค่าพลังงานต่ำกว่า

การสร้างสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าวโดยอาศัยองค์ประกอบทางเคมี จากตัวอย่างจำนวนจำกัด คือ วัตถุดิบชนิดละ 10 ตัวอย่าง รวม 50 ตัวอย่างนั้นพบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าวมีค่าสหสัมพันธ์ในลักษณะผกผันกับเถ้าสูง และได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าว จากค่าของเยื่อใย และเถ้า ส่วนสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าว นั้นได้จากค่าของ โปรตีน เยื่อใย เถ้า และ NFE โดยได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ดังนี้

$$\text{AMEปลายข้าว} = 3,740.34 + 382.71 (\text{Fiber}) - 390.67 (\text{Ash})$$
$$(R^2 = 0.2089)$$

$$\text{TME ปลายข้าว} = 9,130.31 - 84.11(\text{Protein}) + 222.68(\text{Fiber}) - 437.32(\text{Ash}) - 57.75(\text{NFE})$$
$$(R^2 = 0.3315)$$

สำหรับค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของรำข้าวนั้น มีค่าสหสัมพันธ์สูงกับค่าของไขมัน และมีค่าสหสัมพันธ์ในลักษณะผกผันกับเยื่อใยและเถ้า สูงมาก ส่วนสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของรำข้าว นั้น พบว่า ค่าของเยื่อใย ไขมัน และเถ้า สามารถนำมาใช้เป็นพารามิเตอร์ในการประมาณค่าได้ และสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของรำข้าว นั้น พบว่า ค่าของเยื่อใย ไขมัน NFE และเถ้า สามารถนำมาใช้เป็นพารามิเตอร์ในการประมาณค่าได้ และให้ค่า R-square ในระดับสูง โดยได้สมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ ดังนี้

$$\text{AMEรำข้าว} = 2,593.19 + 44.62 (\text{Fat}) - 41.65 (\text{Fiber}) - 46.43 (\text{Ash})$$

$$(\text{R}^2 = 0.7776)$$

$$\text{TMEรำข้าว} = 1,259.25 + 58.34 (\text{Fat}) - 20.85 (\text{Fiber}) - 23.53 (\text{Ash}) + 24.59 (\text{NFE})$$

$$(\text{R}^2 = 0.8146)$$

สำหรับสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏและค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของผลพลอยได้จากข้าว นั้น พบว่า ค่าของเยื่อใย ไขมัน และ NFE สามารถนำมาใช้ในเป็นพารามิเตอร์ในการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ทั้ง 2 ชนิดได้ และมีค่า R-square ในระดับที่สูงมาก โดยมีสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้จากข้าว ดังนี้

$$\text{AMEผลพลอยได้จากข้าว} = -1,250.64 + 74.49 (\text{Fat}) - 10.61 (\text{Fiber}) + 58.95 (\text{NFE})$$

$$(\text{R}^2 = 0.8989)$$

$$\text{TMEผลพลอยได้จากข้าว} = -600.46 + 72.70 (\text{Fat}) - 6.35 (\text{Fiber}) + 53.08 (\text{NFE})$$

$$(\text{R}^2 = 0.9113)$$

6.2 ข้อเสนอแนะ

1) จากการผสมพรีมิกซ์ในสูตรอาหารทดลอง เป็นการเพิ่มงานและยังทำให้ค่าของเถ้าในอาหารทดสอบเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในปลายข้าว และการทดสอบหาค่าพลังงานงานใช้ประโยชน์โดยวิธีการให้กิน 1 ชั่วโมง ก็ใช้ระยะเวลาในการทดสอบสั้นมาก ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องเสริมพรีมิกซ์ในอาหารทดสอบแต่อย่างใด และการเสริมพรีมิกซ์ยังต้องทำการคำนวณกลับ ให้เป็นค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของวัตถุดิบชนิดนั้น 100% อีกด้วย

2) วัตถุดิบที่มีความฟามสูง และไม่น่ากิน เช่น รำหยาบ นอกจากอัดเม็ดแล้ว อาจต้องใช้วิธีการทดสอบแบบแทนที่ในสูตรอาหารมาตรฐาน เพราะการกินได้ต่ำมาก และสัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้ต่ำ เพราะมีการขับถ่ายสูงมาก อาจนำมาทดลองโดยผสมกับอาหารมาตรฐานในอัตราส่วนที่เหมาะสม แล้วหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์แบบแทนที่ในสูตรอาหารมาตรฐาน

3) ควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ทำการทดสอบหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ให้มากขึ้นกว่านี้ เพื่อที่จะได้สมการที่มีความแปรปรวนต่ำลงและมีความน่าเชื่อถือของสมการประมาณค่าพลังงานใช้ประโยชน์มากขึ้น

บรรณานุกรม

- กรมปศุสัตว์. 2524. ผลการวิเคราะห์อาหารสัตว์. กรุงเทพฯ : กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- จารุรัตน์ เศรษฐภักดี. 2528. อาหารสัตว์เศรษฐกิจ. สงขลา : ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชาญ มงคล. 2536. ข้าว. กรุงเทพฯ : กรมการฝึกหัดครู กระทรวงศึกษาธิการ.
- เดชา สายชู. 2537. "การศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริงของวัตถุดิบอาหารสัตว์ และของอาหารสำเร็จของไก่เนื้อลูกผสม." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทวี แก้วคง. 2527. วิชาโภชนศาสตร์สัตว์เบื้องต้นและการให้อาหารสัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : เกษตรไทย.
- นิรนาม. 2541. "รำสกัดน้ำมัน วัตถุดิบยุคใหม่ ช่วยแก้วิกฤติต้นทุนเลี้ยงสัตว์." สัตว์เศรษฐกิจ. 15 (342) : 49-53.
- บุญล้อม ชีวอิสระกุล. 2532. โภชนศาสตร์สัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 4. เชียงใหม่ : ดาวคอมพิวกราฟิค.
- ประพาส วีระแพทย์. 2523. ความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.
- ศรีสกุล วรจันทรา. 2528. การคำนวณสูตรอาหารและเทคโนโลยีอาหารสัตว์. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศรีสกุล วรจันทรา และรณชัย สิทธิไกรพงษ์. 2539. โภชนศาสตร์สัตว์. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- สุวรรณา กิจภากรณ์. 2530. อาหารสัตว์ขั้นพื้นฐาน. กรุงเทพฯ : ภาควิชาสัตวบาล คณะสัตว-แพทย์ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุวิทย์ ธีรพันธุ์วัฒน์. 2532. "การย่อยได้ของโปรตีน กรดอะมิโน และพลังงาน." สุกกรสารสัน. 16 (62) : 5-15.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2537. การผลิตและการตลาดข้าว. กรุงเทพฯ : กองวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2542. รายงานผลการสำรวจข้าวนาปี ปีเพาะปลูก 2540/41. กรุงเทพฯ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- อัมมาร สยามวาลา และวิโรจน์ ณ ระนอง. 2533. ประมวลความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย.

- อุทัย คັນโร. 2529. **อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก**. นครปฐม : ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.
- เอี่ยม ทองดี. 2538. **ข้าว วัฒนธรรมและการเปลี่ยนแปลง**. กรุงเทพฯ : มติชน.
- Adeola, O. *et al.* 1997. "Feeding and Excreta Collection Techniques in Metabolizable Energy Assays for Ducks." *Poultry Sci.* 76 : 728-732.
- Annison, E. F. 1974. "Dietary Source of Energy." 135 - 149. in Morris, T.R. and B.M. Freeman. **Energy Requirement of Poultry**. Edinburgh : British Poultry Science.
- Bolton, W. 1967. "Poultry nutrition." Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Bullentin No.174. HMSO, London. cited by Vohra, P. 1972. Evaluation of Metabolizable Energyfor Poultry. *Wld's Poult. Sci. J.* 29(2) : 204-214.
- Campbell, G.L. *et al.* 1986. "Prediction of Metabolizable Energy of Broiler Diets From Chemical Analysis." *Poultry Sci.* 65 : 2,126-2,134.
- Carpenter, K.J. and Clegg K.M. 1956. "The Metabolizable Energy of Poultry Feedingstuffs in Relation to Their Chemical Composition." *J. Sci. Food Agric.* 7: 45-51.
- Carre, B. 1990. "Predicting the Dietary Energy Value of Poultry Feeds." 283 - 300. in Wiseman, J. and Cole, D.J. (eds). **Feedstuff Evaluation**. London : Butterworths.
- Carre, B. 1991. The Chemical and Biological Bases of a Calculation System Developed for Predicting Dietary Energy Values : a Poultry Model. 67 – 85. in *In Vitro Digestion for Pigs and Poultry*.
- Carre, B. and Brillouet., J.M. 1989. "Determination of Water-Insoluble Cell Walls in Feeds : Interlaboratory Study." *Journal of the Association Official Analytical Chemists.* 72 : 463-481.
- Clunies, M. *et al.* 1984. "*In Vitro* Estimation of Apparent Metabolizable Energy." *Poultry Sci.* 63 : 1,033-1,039.
- Cooke, B.C. 1989. "The Impact of Declaration of the Metabolizable Energy Value of Poultry Feeds." 70 - 78. in D. J. A. Cole and W. Haresign (eds), **Recent Developments in Poultry Nutrition**. Assex : Anchor Press.
- Dale, N.M. and Fuller, H.L. 1980. "Additivity of True Metabolizable Energy Values as Measured with Roosters, Broiler Chicks and Poults." *Poultry Sci.* 59 :1,941.

- Dolz, S. and Blas, C. 1992. "Metabolizable Energy of Meat and Bone Meal from Spanish Rendering Plants as Influenced by Level of Substitution and Method of Determination." *Poultry Sci.* 71 : 2,316-2,322.
- Farrel, D.J. 1980. "The 'Rapid Method' of Measuring the Metabolizable Energy of Feedstuffs." *Feedstuffs.* 52(45) : 24-26.
- Fisher, C. 1987. *Recent Work on Metabolizable Energy Determinations.* Georgia : Georgia Nutrition Conference for the feed industry. 96-114.
- Fisher, C. 1989. "Energy Evaluation of Poultry Rations." 27 - 53. in D.J.A. Cole and Haresign, W.(eds). *Recent Developments in Poultry Nutrition.* Assex : Anchor Press.
- Fisher, C. and McNab, J.M. 1987. "Technique for Determining the Metabolizable Energy (ME) Content of Poultry Feeds." 3 - 18. *In Recent Advance in Animal Nutrition - 1987.* Assex : Anchor Press.
- Guillaume, J. and Summers, J.D. 1970. "Maintenance Energy Requirements of the Rooster and Influence of Plane of Nutrition on Metabolizable energy." *Can. J. Anim. Sci.* 50 : 363.
- Harris, L.E. 1966. "Biological Energy Interrelationships and Glossary of Energy Term." 15. Cited by I.R. Sibbald. *Metabolizable Energy of Poultry Diets.* 13-26. in D.J.A. Cole and Haresign, W.(eds). *Recent Developments in Poultry Nutrition.* Assex : Anchor Press .
- Hill, F.N. and Anderson D.L. 1958. "Comparison of Metabolizable Energy and Productive Energy Determination Growing chicks." 587. ใน *เขาวมาลย์ คำเจริญ และ สาโรช คำเจริญ. อาหารและการให้อาหารสัตว์ปีก.* ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Jabbar Muztar, A., *et al.* 1981. "True Metabolizable Energy Values of a Number of Feedingstuffs and Complete Diets as Determined in Two Laboratories." *Poultry Sci.* 60 : 373-377.
- Janssen, W.M.M.A.,ed. 1989. "European Table of Energy Values for Poultry Feedstuffs." 3rd ed. Beekbergen, Netherlands : Spelderholt center for poultry research and information services. Cited by National Research Council (NRC), 1994. *Nutrient Requirements of Poultry.* Ninth revised edition. Washington D.C. : National Academy Press.

- Janssen, W.M.M.A., *et al.* 1979. "Feeding Values for Poultry." 2nd ed. Beekbergen, Netherlands : Spelderholt center for poultry research and information services. Cited by National Research Council (NRC), 1994. **Nutrient Requirements of poultry**. Ninth revised edition. Washington D.C.: National Academy Press.
- Juliano, B.O., editor. 1985. **Rice : Chemistry and Technology**. Minnesota : The American Association of Cereal Chemists.
- King, D. *et al.* 1997. "Apparent and True Metabolizable Energy Values of Feedstuffs for Ducks." *Poultry Sci.* 76 : 1,418-1,423.
- Maynard, L.A.*et al.* 1979. "Animal Nutrition." 7 th. Ed., Tata McGraw - Hill Publishing Company Ltd. New Delhi. 602 p. อ้างโดย สุวรรณมา กิจภากรณ์. 2530. **อาหารสัตว์ชั้นพื้นฐาน**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาสัตวบาล คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Miller, W.S. 1974. "The Determination of Metabolisable Energy." 91-112. in T.R. Morris and B.M. Freeman (eds.). **Energy requirements of poultry**. Edinburg : British.
- Milton, L.S., *et al.* 1982. **Nutrition of the Chicken**. New York : Cornell university.
- Mollah, Y. 1983. "Conventional Total Collection AME Bioassay." *Br. Poultry Sci.* 24 : 81 - 89.
- Moir, K.W. and Connor, J.K. 1977. "A Comparison of Three Fiber Methods for Predicting the Metabolizable Energy Content of Sorghum Grain for Poultry." *Anim. Feed Sci. Technol.* 2:197. Cited by National Research Council (NRC), 1994. **Nutrient Requirements of Poultry**. Ninth revised edition. Washington D.C. : National Academy Press.
- National Research Council (NRC) . 1994. **Nutrient Requirements of Poultry** . 9 th ed. Washington, D.C. : National Academy Press.
- Ravindran, V. and Blair, R. 1991. "Feed Source for Poultry Production in Asia and the Pacific Region. 1. Energy Resource." *Wld's Poult. Sci. J.* 47 : 213-231.
- Revington, W.H., *et al.* 1991. "Research Note : Cup Versus Tray Excreta Collections in Metabolizable Energy Assays." *Poultry Sci.* 70 : 1,265-1,268.
- Salmon, R.E. 1984. "True Metabolizable Energy and Dry Matter Contents of Some Feedstuffs." *Poultry Sci.* 63 : 381-383.

- SAS Institute Inc. 1985. SAS/STAT[™] Guide for Personal Computer Version 6 Edition. Cary, North Carolina.
- Schang, M. and Hamilton, R.M.G. 1982. "Comparison of Two Direct Bioassays Using Adults Cocks and Four Indirect Methods for Estimating the Metabolizable Energy Content of Different Feedingstuffs." *Poultry Sci.* 61 : 1,344-1,353.
- Sibbald, I.R. 1976. "A Bioassays for True Metabolizable Energy in Feedingstuffs." *Poultry Sci.* 55 : 303-308.
- Sibbald, I.R. 1982. "Measurement of Bioavailable Energy on Poultry Feedingstuffs." *Can. J. Anim. Sci.* 62 : 983-1,048.
- Sibbald, I.R. 1985. "The True Metabolizable Energy Bioassay as a Method for Estimating Bioavailable Energy in Poultry Feedingstuffs." *Wild's Poultry Sci. J.* 41(3): 179-187.
- Sibbald, I.R. 1989. "Metabolizable Energy Evaluation of Poultry Diets." 13-36. in D.J.A. Cole and Haresign W. (eds). *Recent Developments in Poultry Nutrition*. Assex : Anchor Press.
- Sibbald, I.R. and Morse, P.M. 1982. "The Effects of Feed Input and Excreta Collection Time on Estimates of Metabolic Plus Endogenous Energy Losses in the Bioassay for True Metabolizable Energy." *Poultry Sci.* 62 : 68-76.
- Sibbald, I.R. and Morse, P.M. 1983. "Provision of Supplement Feed and the Application of a Nitrogen Correction in Bioassays for True Metabolizable Energy." *Poultry Sci.* 62 : 1,587-1,605.
- Sibbald, I.R. and Wolynetz, M.S. 1984. "Relationship between Estimates of Bioavailable Energy Made with Adult Cockerels and Chicks : Effects of Feed Intake and Nitrogen Retention." *Poultry Sci.* 64 : 127-138.
- Sibbald, I.R. *et al.* 1990. "Relationships Between Bioavailable Energy Estimates Made with Pigs and Cockerels." *Anim. Feed Sci. Tech.* 30 : 131-142.
- Valdes, E.V. and Leeson, S. 1992. "Measurement of Metabolizable Energy in Poultry Feeds by an *In Vitro* System." *Poultry Sci.* 71 : 1,493-1,503.
- Valdes, E.V. and Leeson, S. 1994. "Determination of Metabolizable Energy of Feed Grade Fats Based on the Application of Near Infrared Reflectance to the Multilevel Test Diets." *Poultry Sci.* 73 : 172-178.

- Valdes, E.V. and Leeson, S. 1994. "Measurement of Metabolizable Energy, Gross Energy and Moisture in Feed Grade Fats by Near Infrared Reflectance Spectroscopy." *Poultry Sci.* 73 : 1,163-1,171.
- Vohra, P. 1972. "Evaluation of Metabolizable Energy for Poultry." *Wild's Poultry Sci.* 29(2) : 204-214.
- Wehner, G.R. and Harrold R.L. 1982. "The Effect of Feeding Techniques on the True Metabolizable Energy Value of Yellow Corn." *Poultry Sci.* 61 : 595-597.
- Wiseman, J. 1994. **Nutrition and Feeding of Poultry.** Nottingham university Press. 305p. (English translation from French). M.Larbier and B.Leclercq. France.
- Wiseman, T. and Salvador, F. 1991. "The Influence of Free Fatty Acid Content and Degree of Saturation on the Apparent Metabolizable Energy Value of Fats Feed to Broilers." *Poultry Sci.* 70 : 573-582.
- Wolynetz, M.S. and Sibbald.I.R. 1984. "Relationships Between Apparent and True Metabolizable Energy and The Effects of a Nitrogen Correction." *Poultry Sci.* 63 : 1,386-1,399.
- Wolynetz, M.S. and Sibbald.I.R. 1989. "Precision of Bioassays for Apparent and True Metabolizable Energy Adjusted to Zero Nitrogen Balance." *Poultry Sci.* 68 : 124-135.

ภาคผนวก

ตารางที่ 7.1 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณการกินอาหาร น้ำหนักสิ่งขับถ่าย และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของปลายข้าว ในการทดลองที่ 1

วิธีการทดสอบ	ปริมาณ อาหารที่กิน (กรัม)	สิ่งขับถ่าย (กรัม)	% สิ่งขับถ่าย / อาหารที่กิน	AME (Kcal/Kg)	TME (Kcal/Kg)
ปลายข้าว 99.5 % , วิธีให้กินแบบเต็มที่ 3 วัน	375.35	26.28	7.42	3,974.89	-
ปลายข้าว 99.5 % , วิธีให้กินแบบ 1 ชั่วโมง	95.58	9.67	10.11	3,892.63	4,096.62
ปลายข้าว 99.5 % , วิธีให้กินแบบ 48 ชั่วโมง	212.52	17.08	8.04	3,966.19	-
ปลายข้าว 75 % , วิธีให้กินแบบเต็มที่ 3 วัน	243.66	14.25	5.86	3,919.56	-
ปลายข้าว 75 % , วิธีให้กินแบบ 1 ชั่วโมง	77.12	10.43	13.53	3,611.27	4,024.40
ปลายข้าว 75 % , วิธีให้กินแบบ 48 ชั่วโมง	226.82	24.13	10.64	3,737.13	-

ตารางที่ 7.2 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าว ระดับปลายข้าวในอาหารทดสอบ และวิธีการทดสอบ ในการทดลองที่ 1

Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Treatment	5	632,900.15	126,580.03	9.85**	0.0001
Feed	1	320,057.98	320,057.98	24.90**	0.0001
Time	2	228,836.02	114,418.01	8.90**	0.0009
Feed x Time	2	84,006.15	42,003.08	3.27ns	0.0520
Error	30	385,541.88	12,851.40		
Total	35	1,018,442.03			

C.V. = 2.9443 , R-square = 0.6214 , Root MSE = 113.3640

** = highly significant at 1% level

ns = non significant

Feed = อาหารทดสอบ

Time = วิธีการทดสอบ

เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

1 h.75%	48 h. 75%	1 h. 100%	3 d. 75%	48 h. 100%	3 d.100%
3,611.27	3,737.13	3,892.63	3,924.07	3,966.19	3,974.89

: ค่าเฉลี่ยที่ไม่ได้อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างวิธีการทดสอบ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

1 h.	48 h.	3 d.
3,751.95	3,851.66	3,947.23

ตารางที่ 7.3 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของปลายข้าว 2 ระดับ ในสูตรอาหาร เมื่อทดสอบด้วยวิธีการให้กินแบบ 1 ชั่วโมง

Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Treatment	1	237,484.72	237,484.72	19.36**	0.0013
Error	10	122,678.97	12,267.90		
Total	11	360,163.69			

C.V.	=	2.9521
R-square	=	0.6594
Root MSE	=	110.76
**	=	highly significant at 1% level

ตารางที่ 7.4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏเมื่อปรับ สมดุลไนโตรเจนของปลายข้าว 2 ระดับในสูตรอาหาร เมื่อทดสอบด้วยวิธีการให้กิน แบบ 1 ชั่วโมง

Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Treatment	1	56,574.47	56,574.47	3.49ns	0.0911
Error	10	161,934.21	16,193.42		
Total	11	218,508.67			

C.V.	=	3.4084
R-square	=	0.2589
Root MSE	=	127.2534
ns	=	non significant

ตารางที่ 7.5 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงของปลายข้าว 2 ระดับในสูตรอาหาร เมื่อทดสอบด้วยวิธีการให้กินแบบ 1 ชั่วโมง

Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Treatment	1	15,645.02	15,645.02	0.38ns	0.5496
Error	10	407,949.72	40,794.97		
Total	11	423,594.73			

C.V.	=	4.9742
R-square	=	0.0369
Root MSE	=	201.9777
ns	=	non significant

ตารางที่ 7.6 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริงเมื่อปรับสมดุล ไนโตรเจนของปลายข้าว 2 ระดับในสูตรอาหาร เมื่อทดสอบด้วยวิธีการให้กินแบบ 1 ชั่วโมง

Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Treatment	1	131,331.58	131,331.58	4.09ns	0.0708
Error	10	321,391.45	32,139.14		
Total	11	452,723.02			

C.V.	=	4.3979
R-square	=	0.2901
Root MSE	=	179.27
ns	=	non significant

ตารางที่ 7.7 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ
กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเจ้า

ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Model	5	881911.35	176382.27	5.136**	0.0004
Error	74	2541164.83	34340.07		
C Total	79	3423076.18			

C.V.	=	5.3029
R-square	=	0.2576
Root MSE	=	185.31
**	=	highly significant at 1% level

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard error	T for Ho : Parameter = 0	Prob > T ^{1/}
Intercept	1	4169.01	3882.87	1.074	0.2864
FAT	1	627.84	226.27	2.775	0.0070
PROTEIN	1	-5.11	106.26	-0.048	0.9618
FIBER	1	3340.49	799.42	4.179	0.0001
ASH	1	241.04	269.82	0.893	0.3746
NFE	1	-18.46	50.71	-0.364	0.7169

^{1/} หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น 85 %

R-square Test			
Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.11328454	12.38931	FIBER
1	0.03911708	19.78245	NFE
1	0.01621485	22.06538	ASH
1	0.01221267	22.46432	PROTEIN
1	0.00025779	23.65601	FAT
<hr/>			
2	0.24342847	1.41634	FAT FIBER
2	0.17240457	8.49612	FIBER NFE
2	0.11713133	14.00585	PROTEIN FIBER
2	0.11642414	14.07635	FIBER ASH
2	0.07954256	17.75276	PROTEIN NFE
2	0.05882347	19.81808	ASH NFE
2	0.04692740	21.00390	FAT NFE
2	0.01911186	23.77660	FAT ASH
2	0.01789296	23.89810	PROTEIN ASH
2	0.01520771	24.16577	FAT PROTEIN
<hr/>			
3	0.25565820	2.19726	FAT FIBER ASH
3	0.24915705	2.84530	FAT PROTEIN FIBER
3	0.24639280	3.12085	FAT FIBER NFE
3	0.17562704	10.17490	FIBER ASH NFE
3	0.17327302	10.40955	PROTEIN FIBER NFE
3	0.11801966	15.91730	PROTEIN FIBER ASH
3	0.08245926	19.46202	FAT PROTEIN NFE
3	0.07978359	19.72874	PROTEIN ASH NFE
3	0.06138801	21.56244	FAT ASH NFE
3	0.02189959	25.49871	FAT PROTEIN ASH
<hr/>			
4	0.25761385	4.00232	FAT FIBER ASH NFE
4	0.25630765	4.13252	FAT PROTEIN FIBER ASH
4	0.24963108	4.79805	FAT PROTEIN FIBER NFE
4	0.18039741	11.69938	PROTEIN FIBER ASH NFE
4	0.08247059	21.46089	FAT PROTEIN ASH NFE
<hr/>			
5	0.25763708	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step 1 Variable FIBER Entered R-square = 0.1133 C(p) = 12.3893

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	1	387781.61	387781.61	9.97	0.0023
Error	78	3035294.57	38914.03		
Total	79	3423076.18			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3386.68	40.66	269923547.43	6936.41	0.0001
FIBER	1477.32	467.99	387781.61	9.97	0.0023

Bounds on condition number : 1, 1

Step 2 Variable FAT Entered R-square = 0.2434 C(p) = 1.4163

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	2	833274.18	416637.09	12.39	0.0001
Error	77	2589802.00	33633.79		
Total	79	3423076.18			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	2798.33	166.02	9555145.00	284.09	0.0001
FAT	648.73	178.25	445492.57	13.25	0.0005
FIBER	3067.45	616.60	832391.76	24.75	0.0001

Bounds on condition number : 2.0085, 8.0339

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step	Variable Entered	Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
1	FIBER	1	0.1133	0.1133	12.3893	9.9651	0.0023
2	FAT	2	0.1301	0.2434	1.4163	13.2454	0.0005

ตารางที่ 7.8 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง
กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเจ้า

ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Model	5	759716.60	151943.32	4.408**	0.0014
Error	74	2550999.27	34472.96		
C Total	79	3310715.87			

C.V.	=	5.0738
R-square	=	0.2295
Root MSE	=	185.67
**	=	highly significant at 5% level

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard error	T for Ho : Parameter = 0	Prob > T ^{1/}
Intercept	1	8925.24	3890.38	2.294	0.0246
FAT	1	489.29	226.71	2.158	0.0342
PROTEIN	1	-1.14	106.47	-0.011	0.9915
FIBER	1	1886.75	800.97	2.356	0.0211
ASH	1	-232.74	270.34	-0.861	0.3921
NFE	1	-69.95	50.81	-1.377	0.1728

^{1/} หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น 85 %

R – square Test

Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.10022121	10.41299	NFE
1	0.05052972	15.18527	ASH
1	0.03848768	16.34176	FIBER
1	0.01994812	18.12226	FAT
1	0.00729363	19.33758	PROTEIN
2	0.19623575	3.19194	FAT FIBER
2	0.16059333	6.61497	ASH NFE
2	0.15731258	6.93005	FIBER NFE
2	0.14989381	7.64253	PROTEIN NFE
2	0.10032531	12.40300	FAT NFE
2	0.09573008	12.84431	FAT ASH
2	0.05912973	16.35934	FIBER ASH
2	0.05496969	16.75886	PROTEIN ASH
2	0.03913295	18.27979	FAT PROTEIN
2	0.03863382	18.32773	PROTEIN FIBER
3	0.21933819	2.97323	FAT FIBER NFE
3	0.20361317	4.48343	FAT FIBER ASH
3	0.19696978	5.12145	FAT PROTEIN FIBER
3	0.17765672	6.97624	FIBER ASH NFE
3	0.17252453	7.46912	PROTEIN FIBER NFE
3	0.16793403	7.90999	PROTEIN ASH NFE
3	0.16444121	8.24543	FAT ASH NFE
3	0.15075067	9.56024	FAT PROTEIN NFE
3	0.09633527	14.78619	FAT PROTEIN ASH
3	0.06776898	17.52964	PROTEIN FIBER ASH
4	0.22947081	4.00011	FAT FIBER ASH NFE
4	0.22175442	4.74118	FAT PROTEIN FIBER NFE
4	0.20973736	5.89528	FAT PROTEIN FIBER ASH
4	0.18096906	8.65813	PROTEIN FIBER ASH NFE
4	0.17169505	9.54879	FAT PROTEIN ASH NFE
5	0.22947200	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Stepwise Procedure for Dependent Variable TME

Step 1 Variable NFE Entered R-square = 0.1002 C(p) = 10.4130

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	1	331803.96	331803.96	8.69	0.0042
Error	78	2978911.91	38191.18		
Total	79	3310715.87			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	12823.16	3109.04	649682.45	17.01	0.0001
NFE	-114.18	38.74	331803.96	8.69	0.0042

Bounds on condition number : 1, 1

Step 2 Variable ASH Entered R-square = 0.1606 C(p) = 6.6150

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	2	531678.90	265839.45	7.37	0.0012
Error	77	2779036.97	36091.39		
Total	79	3310715.87			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	13563.72	3038.70	719095.12	19.92	0.0001
ASH	-475.66	202.13	199874.94	5.54	0.0212
NFE	-119.90	37.74	364389.37	10.10	0.0021

Bounds on condition number : 1.0042, 4.0167

ตารางที่ 7.9 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ
กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเหนียว

ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Model	5	372980.09	74596.02	3.101*	0.0135
Error	74	1780354.91	24058.85		
C Total	79	2153335.01			

C.V.	=	1.2137
R-square	=	0.8131
Root MSE	=	44.40
*	=	significant at 5% level

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard error	T for Ho : Parameter = 0	Prob > T ^{1/}
Intercept	1	8428.81	3979.17	2.118	0.0375
FAT	1	-43.48	57.34	-0.758	0.4507
PROTEIN	1	-55.09	54.67	-1.008	0.3168
FIBER	1	337.05	188.02	1.793	0.0771
ASH	1	-519.36	159.67	-3.253	0.0017
NFE	1	-52.73	47.19	-1.117	0.2674

^{1/} หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น 85 %

R – square Test

Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.10871874	3.77219	ASH
1	0.04073594	9.85684	PROTEIN
1	0.03768479	10.12993	FAT
1	0.00966709	12.63759	NFE
1	0.00389835	13.15391	FIBER
2	0.15058378	2.02515	FIBER ASH
2	0.12349087	4.45004	ASH NFE
2	0.11404753	5.29525	PROTEIN ASH
2	0.11175850	5.50012	FAT ASH
2	0.05183928	10.86306	PROTEIN FIBER
2	0.04399228	11.56539	PROTEIN NFE
2	0.04390449	11.57325	FAT NFE
2	0.04381508	11.58125	FAT PROTEIN
2	0.04276799	11.67497	FAT FIBER
2	0.02532928	13.23578	FIBER NFE
3	0.15914908	3.25853	PROTEIN FIBER ASH
3	0.15332249	3.78003	FAT FIBER ASH
3	0.15059829	4.02385	FIBER ASH NFE
3	0.13695058	5.24536	FAT ASH NFE
3	0.12492818	6.32140	PROTEIN ASH NFE
3	0.11404780	7.29522	FAT PROTEIN ASH
3	0.05330736	12.73166	FAT PROTEIN NFE
3	0.05311473	12.74890	FAT PROTEIN FIBER
3	0.05188998	12.85852	PROTEIN FIBER NFE
3	0.04442553	13.52661	FAT FIBER NFE
4	0.16678600	4.57501	PROTEIN FIBER ASH NFE
4	0.16186191	5.01573	FAT FIBER ASH NFE
4	0.15926066	5.24854	FAT PROTEIN FIBER ASH
4	0.13730445	7.21369	FAT PROTEIN ASH NFE
4	0.05500607	14.57962	FAT PROTEIN FIBER NFE
5	0.17321044	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step 1 Variable ASH Entered R-square = 0.1087 C(p) = 3.7722

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	1	237107.88	234107.88	9.51	0.0028
Error	78	1919227.13	24605.48		
Total	79	2153335.01			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3728.69	32.20	329951540.99	13409.70	0.0001
ASH	-225.73	73.18	234107.88	9.51	0.0028

Bounds on condition number : 1, 1

Step 2 Variable FIBER Entered R-square = 0.1506 C(p) = 2.0251

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	2	324257.32	162128.66	6.83	0.0019
Error	77	1829077.68	23754.26		
Total	79	2153335.01			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3721.61	31.85	324418200.26	13657.30	0.0001
FIBER	260.70	133.82	90149.45	3.80	0.0550
ASH	-347.85	95.39	315682.87	13.30	0.0005

Bounds on condition number : 1.7600, 7.0398

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step	Variable Entered	Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
1	ASH	1	0.1087	0.1087	3.7722	9.5145	0.0028
2	FIBER	2	0.0419	0.1506	2.0251	3.7951	0.0550

ตารางที่ 7.10 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง
กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเหนียว

ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Model	5	258296.26	51659.25	7.106**	0.0001
Error	74	538003.19	7270.31		
C Total	79	796299.45			

C.V.	=	0.9369
R-square	=	0.8629
Root MSE	=	35.8141
**	=	highly significant at 5% level

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard error	T for Ho : Parameter = 0	Prob > T ^{1/}
Intercept	1	5114.72	2187.42	2.338	0.0221
FAT	1	34.60	31.52	1.098	0.2759
PROTEIN	1	-67.35	30.05	-2.241	0.0280
FIBER	1	197.49	103.36	1.911	0.0599
ASH	1	-331.37	87.78	-3.775	0.0003
NFE	1	-9.92	25.94	-0.383	0.7031

^{1/} หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น 85 %

R-square Test

Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.25104617	6.03106	ASH
1	0.11785579	20.61907	FAT
1	0.04953777	28.10178	PROTEIN
1	0.04816568	28.25206	FIBER
1	0.00843386	32.60379	NFE
2	0.27225637	5.70796	FIBER ASH
2	0.26996194	5.95926	FAT ASH
2	0.26717011	6.26505	ASH NFE
2	0.25139510	7.99284	PROTEIN ASH
2	0.18933332	14.79032	FAT NFE
2	0.17319685	16.55770	FAT FIBER
2	0.12475474	21.86345	FAT PROTEIN
2	0.12242887	22.11820	PROTEIN FIBER
2	0.09885184	24.70053	FIBER NFE
2	0.05691467	29.29380	PROTEIN NFE
3	0.28633379	6.16610	FAT PROTEIN ASH
3	0.28507130	6.30437	PROTEIN ASH NFE
3	0.28471270	6.34365	PROTEIN FIBER ASH
3	0.27798083	7.08098	FAT FIBER ASH
3	0.27499589	7.40791	FIBER ASH NFE
3	0.27006466	7.94801	FAT ASH NFE
3	0.19401139	16.27794	FAT FIBER NFE
3	0.19009887	16.70647	FAT PROTEIN NFE
3	0.17357148	18.51667	FAT PROTEIN FIBER
3	0.12499093	23.83758	PROTEIN FIBER NFE
4	0.32303453	4.14635	FAT PROTEIN FIBER ASH
4	0.31336744	5.20517	PROTEIN FIBER ASH NFE
4	0.29103360	7.65134	FAT PROTEIN ASH NFE
4	0.27851608	9.02235	FAT FIBER ASH NFE
4	0.19424995	18.25181	FAT PROTEIN FIBER NFE
5	0.32437077	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Stepwise Procedure for Dependent Variable TME

Step 1 Variable ASH Entered R-square = 0.2510 C(p) = 6.0311

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	1	199907.93	199907.93	26.15	0.0001
Error	78	596391.52	7646.05		
Total	79	796299.45			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3899.71	17.95	360913722.45	47202.70	0.0001
ASH	-208.59	40.80	199907.93	26.15	0.0001

Bounds on condition number : 1, 1

Step 2 Variable FIBER Entered R-square = 0.2723 C(p) = 5.7080

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	2	216797.60	108398.80	14.40	0.0001
Error	77	579501.85	7526.00		
Total	79	796299.45			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3896.65	17.93	355653017.10	47256.60	0.0001
FIBER	112.84	75.33	16889.67	2.24	0.1382
ASH	-261.45	53.69	178443.30	23.71	0.0001

Bounds on condition number : 1.7600, 7.0398

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable TME

Step	Variable Entered	Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
1	ASH	1	0.2510	0.2510	6.0311	26.1453	0.0001
2	FIBER	2	0.0212	0.2723	5.7080	2.2442	0.1382

ตารางที่ 7.11 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ
กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าว

ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Model	5	1507124.47	301424.89	9.322**	0.0001
Error	154	4979677.03	32335.56		
C Total	159	6486801.50			

C.V.	=	5.0371
R-square	=	0.2323
Root MSE	=	179.82
**	=	highly significant at 5% level

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard error	T for Ho : Parameter = 0	Prob > T ^{1/}
Intercept	1	8364.42	2570.17	3.254	0.0014
FAT	1	-34.90	41.58	-0.839	0.4026
PROTEIN	1	-48.66	34.09	-1.427	0.1555
FIBER	1	337.24	125.54	2.686	0.0080
ASH	1	-463.07	99.19	-4.669	0.0001
NFE	1	-52.96	31.10	-1.703	0.0906

^{1/} หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น 85 %

R – square Test

Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.13968484	16.58686	ASH
1	0.11310550	21.91891	FAT
1	0.08158330	28.24255	NFE
1	0.03857963	36.86946	FIBER
1	0.02572106	39.44901	PROTEIN
2	0.20894677	4.69230	FIBER ASH
2	0.18747139	9.00045	ASH NFE
2	0.16109745	14.29130	FAT ASH
2	0.13974909	18.57397	PROTEIN ASH
2	0.12258568	22.01710	FAT FIBER
2	0.11505675	23.52747	FAT NFE
2	0.11374203	23.79122	FAT PROTEIN
2	0.08517174	29.52267	FIBER NFE
2	0.08340717	29.87666	PROTEIN NFE
2	0.05252240	36.07242	PROTEIN FIBER
3	0.21647069	5.18294	FIBER ASH NFE
3	0.21615293	5.24668	PROTEIN FIBER ASH
3	0.20917108	6.64730	FAT FIBER ASH
3	0.19446172	9.59813	PROTEIN ASH NFE
3	0.19071368	10.35002	FAT ASH NFE
3	0.16427639	15.65358	FAT PROTEIN ASH
3	0.12369115	23.79534	FAT PROTEIN FIBER
3	0.12258731	24.01678	FAT FIBER NFE
3	0.11574959	25.38848	FAT PROTEIN NFE
3	0.08689500	31.17697	PROTEIN FIBER NFE
4	0.22882562	4.70443	PROTEIN FIBER ASH NFE
4	0.22218193	6.03721	FAT FIBER ASH NFE
4	0.21788173	6.89987	FAT PROTEIN FIBER ASH
4	0.19636303	11.21671	FAT PROTEIN ASH NFE
4	0.12369189	25.79519	FAT PROTEIN FIBER NFE
5	0.23233707	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step 1 Variable ASH Entered R-square = 0.1397 C(p) = 16.5869

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	1	906107.85	906107.85	25.65	0.0001
Error	158	5580693.65	35320.85		
Total	159	6486801.50			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3737.33	36.23	375831552.39	10640.50	0.0001
ASH	-348.68	68.84	906107.85	25.65	0.0001

Bounds on condition number : 1, 1

Step 2 Variable FIBER Entered R-square = 0.2089 C(p) = 4.6923

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	2	1355396.19	677698.09	20.73	0.0001
Error	157	5131405.31	32684.11		
Total	159	6486801.50			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3705.24	35.91	347951054.84	10645.90	0.0001
FIBER	382.71	103.22	449288.34	13.75	0.0003
ASH	-390.67	67.18	1105137.79	33.81	0.0001

Bounds on condition number : 1.0292, 4.1170

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step	Variable Entered	Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
1	ASH	1	0.1397	0.1397	16.5869	25.6536	0.0001
2	FIBER	2	0.0693	0.2089	4.6923	13.7464	0.0003

ตารางที่ 7.12 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าว

ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Model	5	1721921.58	344384.32	15.361**	0.0001
Error	154	3452501.05	22418.84		
C Total	159	5174422.63			

C.V. = 4.0023

R-square = 0.3328

Root MSE = 149.73

** = highly significant at 5% level

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard error	T for Ho : Parameter = 0	Prob > T ^{1/}
Intercept	1	9967.00	2140.07	4.658	0.0001
FAT	1	-18.77	34.62	-0.542	0.5885
PROTEIN	1	-81.75	28.39	-2.880	0.0045
FIBER	1	227.40	104.53	2.175	0.0311
ASH	1	-465.58	82.59	-5.637	0.0001
NFE	1	-67.99	25.89	-2.626	0.0095

^{1/} หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น 85 %

R-square Test

Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.20245584	28.07870	ASH
1	0.17838950	33.63338	FAT
1	0.12890335	45.05512	NFE
1	0.02839507	68.25313	FIBER
1	0.01787909	70.68029	PROTEIN
2	0.28008448	12.16147	ASH NFE
2	0.26390723	15.89529	FIBER ASH
2	0.24151900	21.06265	FAT ASH
2	0.20552769	29.36970	PROTEIN ASH
2	0.19096074	32.73185	FAT PROTEIN
2	0.18152255	34.91025	FAT NFE
2	0.17999763	35.26221	FAT FIBER
2	0.12935944	46.94985	PROTEIN NFE
2	0.12914779	46.99870	FIBER NFE
2	0.03786547	68.06729	PROTEIN FIBER
3	0.31170288	6.86373	PROTEIN ASH NFE
3	0.29255108	11.28410	FIBER ASH NFE
3	0.28545205	12.92260	PROTEIN FIBER ASH
3	0.28291136	13.50901	FAT ASH NFE
3	0.27087886	16.28619	FAT FIBER ASH
3	0.26362314	17.96086	FAT PROTEIN ASH
3	0.19441156	33.93537	FAT PROTEIN NFE
3	0.19339841	34.16922	FAT PROTEIN FIBER
3	0.18181602	36.84251	FAT FIBER NFE
3	0.12959075	48.89647	PROTEIN FIBER NFE
4	0.33150200	4.29395	PROTEIN FIBER ASH NFE
4	0.31227113	8.73257	FAT PROTEIN ASH NFE
4	0.30290728	10.89381	FAT PROTEIN FIBER ASH
4	0.29683815	12.29461	FAT FIBER ASH NFE
4	0.19509392	35.77788	FAT PROTEIN FIBER NFE
5	0.33277560	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Stepwise Procedure for Dependent Variable TME

Step 1 Variable ASH Entered R-square = 0.2025 C(p) = 28.0787

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	1	1047592.10	1047592.10	40.11	0.0001
Error	158	4126830.53	26119.18		
Total	159	5174422.63			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3921.02	31.16	413685069.07	15838.40	0.0001
ASH	-374.92	59.20	1047592.10	40.11	0.0001

Bounds on condition number : 1, 1

Step 2 Variable NFE Entered R-square = 0.2801 C(p) = 12.1615

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	2	1449275.45	724637.73	30.54	0.0001
Error	157	3725147.18	23727.05		
Total	159	5174422.63			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	8703.20	1162.64	1329558.42	56.04	0.0001
ASH	-329.99	57.47	782275.03	32.97	0.0001
NFE	-60.15	14.62	401683.35	16.93	0.0001

Bounds on condition number : 1.0374, 4.1498

Step 3 Variable PROTEIN Entered R-square = 0.3117 C(p) = 6.8637

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	3	1612882.45	537627.48	23.55	0.0001
Error	156	3561540.18	22830.39		
Total	159	5174422.63			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	10558.88	1334.61	1429022.56	62.59	0.0001
PROTEIN	-74.88	27.97	163607.00	7.17	0.0082
ASH	-390.09	60.70	943522.03	41.33	0.0001
NFE	-76.36	15.57	549395.33	24.06	0.0001

Bounds on condition number : 1.4158, 11.5205

Step 3 Variable FIBER Entered R-square = 0.3315 C(p) = 4.2940

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	4	1715331.47	428832.87	19.22	0.0001
Error	155	3459091.16	22316.72		
Total	159	5174422.63			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	9130.31	1478.40	851169.41	38.14	0.0001
PROTEIN	-84.11	27.97	201548.55	9.03	0.0031
FIBER	222.68	103.99	102449.02	4.59	0.0337
ASH	-437.32	63.91	1044774.17	46.82	0.0001
NFE	-57.75	17.67	238281.94	10.68	0.0013

Bounds on condition number : 1.6119, 23.8177

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable TME

Step	Variable Entered	Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
1	ASH	1	0.2025	0.2025	28.0787	40.1082	0.0001
2	NFE	2	0.0776	0.0776	12.1615	16.9293	0.0001
3	PROTEIN	3	0.0316	0.3117	6.8637	7.1662	0.0082
4	FIBER	4	0.0198	0.3315	4.2940	1.5907	0.0337

ตารางที่ 7.13 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ
กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียด

ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Model	5	7717991.85	1543598.37	8.998**	0.0001
Error	74	12694654.20	171549.38		
C Total	79	20412646.05			

C.V.	=	15.4411
R-square	=	0.3781
Root MSE	=	414.19
**	=	highly significant at 1% level

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard error	T for Ho : Parameter = 0	Prob > T ^{1/}
Intercept	1	3410.60	11203.17	0.304	0.7617
FAT	1	-19.71	123.27	-0.106	0.8734
PROTEIN	1	-102.89	170.66	-0.603	0.5484
FIBER	1	-320.75	207.03	-1.549	0.1256
ASH	1	222.28	70.78	3.141	0.0024
NFE	1	14.86	127.72	0.116	0.9077

^{1/} หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น 85 %

R – square Test

Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.28149684	9.49463	FIBER
1	0.10098697	30.97348	ASH
1	0.05957435	35.90117	NFE
1	0.02324986	40.22342	FAT
1	0.00274350	42.66346	PROTEIN
2	0.29590642	9.78003	FIBER ASH
2	0.29476849	9.91544	FIBER NFE
2	0.29060847	10.41044	FAT FIBER
2	0.28807058	10.71242	PROTEIN FIBER
2	0.21863672	18.97435	FAT NFE
2	0.12117254	30.57160	PROTEIN ASH
2	0.11722334	31.04152	PROTEIN NFE
2	0.11557797	31.23730	FAT ASH
2	0.10543941	32.44369	ASH NFE
2	0.02326215	42.22195	FAT PROTEIN
3	0.35915603	4.25397	FIBER ASH NFE
3	0.34986334	5.35970	PROTEIN FIBER ASH
3	0.32009117	8.90229	FAT FIBER ASH
3	0.29483509	11.90751	FAT FIBER NFE
3	0.29477475	11.91469	PROTEIN FIBER NFE
3	0.29416220	11.98758	FAT PROTEIN FIBER
3	0.29295752	12.13092	FAT PROTEIN NFE
3	0.24357435	18.00702	FAT ASH NFE
3	0.15128337	28.98872	PROTEIN ASH NFE
3	0.12667784	31.91653	FAT PROTEIN ASH
4	0.37798485	4.01353	FAT PROTEIN FIBER ASH
4	0.37788374	4.02556	PROTEIN FIBER ASH NFE
4	0.37504375	4.36349	FAT FIBER ASH NFE
4	0.35792601	6.40033	FAT PROTEIN ASH NFE
4	0.29520935	13.86298	FAT PROTEIN FIBER NFE
5	0.37809855	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step 1 Variable Fiber Entered R-square = 0.2815 C(p) = 19.4946

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	1	5746095.44	5746095.44	30.56	0.0001
Error	78	14666550.61	188032.70		
Total	79	20412646.05			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3526.78	160.26	91059163.76	484.27	0.0001
Fiber	-152.70	27.70	5746095.44	30.56	0.0001

Bounds on condition number : 1, 1

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step	Variable Entered	Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Fiber	1	0.2815	0.2815	9.4946	30.5590	0.0001

ตารางที่ 7.14 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำละเอียด

ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Model	5	7514905.45	1502981.09	20.259**	0.0001
Error	74	5489947.87	74188.48		
C Total	79	13004853.33			

C.V.	=	8.9681
R-square	=	0.5779
Root MSE	=	272.3756
**	=	highly significant at 1% level

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard error	T for Ho : Parameter = 0	Prob > T ^{1/}
Intercept	1	12650	7367.41	1.717	0.0901
Fat	1	-106.11	81.06	-1.309	0.1946
Protein	1	-212.75	112.23	-1.896	0.0619
Fiber	1	-438.64	136.15	-3.222	0.0019
Ash	1	169.58	46.54	3.643	0.0005
NFE	1	-89.36	83.99	-1.064	0.2909

^{1/} หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น 85 %

R – square Test

Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.48794664	13.76028	FIBER
1	0.20493815	63.37018	ASH
1	0.06818739	87.34188	NFE
1	0.06480252	87.93523	FAT
1	0.00676686	98.10857	PROTEIN
2	0.49923973	13.78066	FIBER ASH
2	0.49659976	14.24343	PROTEIN FIBER
2	0.49595319	14.35677	FIBER NFE
2	0.49223395	15.00873	FAT FIBER
2	0.36541048	37.24022	FAT NFE
2	0.24917509	57.61568	PROTEIN ASH
2	0.24887862	57.66765	FAT ASH
2	0.20511171	65.33976	ASH NFE
2	0.15181073	74.68314	PROTEIN NFE
2	0.06480266	89.93520	FAT PROTEIN
3	0.55469018	6.06048	PROTEIN FIBER ASH
3	0.54179956	8.32014	FIBER ASH NFE
3	0.51292009	13.38256	FAT FIBER ASH
3	0.49854796	15.90192	FAT PROTEIN FIBER
3	0.49783233	16.02737	PROTEIN FIBER NFE
3	0.49650817	16.25948	FAT FIBER NFE
3	0.47663421	19.74329	FAT PROTEIN NFE
3	0.37379705	37.77010	FAT ASH NFE
3	0.26959717	56.03580	FAT PROTEIN ASH
3	0.26425710	56.97188	PROTEIN ASH NFE
4	0.57139747	5.13178	FAT PROTEIN FIBER ASH
4	0.56808017	5.71329	PROTEIN FIBER ASH NFE
4	0.55735502	7.59335	FAT FIBER ASH NFE
4	0.51863984	14.37992	FAT PROTEIN ASH NFE
4	0.50213247	17.27357	FAT PROTEIN FIBER NFE
5	0.57785392	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Stepwise Procedure for Dependent Variable TME

Step 1 Variable Fiber Entered R-square = 0.4879 C(p) = 13.7603

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	1	6345674.49	6345674.49	74.33	0.0001
Error	78	6659178.84	85374.09		
Total	79	13004853.33			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3924.56	107.99	112757966.58	1320.75	0.0001
Fiber	-160.47	18.61	6345674.49	74.33	0.0001

Bounds on condition number : 1, 1

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step	Variable Entered	Number Removed In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Fiber	1	0.4879	0.4879	13.7603	74.3279	0.0001

ตารางที่ 7.15 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ
กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำสัสดำน้ำมัน

ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Model	5	9932687.69	1986537.54	20.469**	0.0001
Error	74	7181838.98	97051.88		
C Total	79	17114529.67			

C.V.	=	18.8642
R-square	=	0.5804
Root MSE	=	311.5315
**	=	highly significant at 1% level

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard error	T for Ho : Parameter = 0	Prob > T ^{1/}
Intercept	1	14042	3503.30	4.008	0.0001
Fat	1	24.68	93.52	0.264	0.7936
Protein	1	-46.16	33.96	-1.359	0.1782
Fiber	1	-108.21	64.60	-1.675	0.0982
Ash	1	-395.53	61.45	-6.437	0.0001
NFE	1	-117.26	38.18	-3.072	0.0030

^{1/} หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น 85 %

R – square Test

Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.48093347	15.53432	ASH
1	0.23443496	59.00288	NFE
1	0.21926984	61.67716	PROTEIN
1	0.20784511	63.69185	FAT
1	0.14459470	74.84568	FIBER
2	0.54640224	5.98929	ASH NFE
2	0.50201388	13.81692	FIBER ASH
2	0.49283922	15.43481	PROTEIN ASH
2	0.48841309	16.21534	FAT ASH
2	0.28892248	51.39433	FAT NFE
2	0.28235605	52.55228	FAT PROTEIN
2	0.25445627	57.47224	FIBER NFE
2	0.24267531	59.54975	PROTEIN NFE
2	0.22467415	62.72414	FAT FIBER
2	0.22106052	63.36139	PROTEIN FIBER
3	0.56737142	4.29150	FIBER ASH NFE
3	0.56047018	5.50849	FAT ASH NFE
3	0.55210281	6.98403	PROTEIN ASH NFE
3	0.52491573	11.77831	FAT FIBER ASH
3	0.50418949	15.43326	PROTEIN FIBER ASH
3	0.50393567	15.47802	FAT PROTEIN ASH
3	0.34540208	43.43448	FAT FIBER NFE
3	0.29319324	52.64121	FAT PROTEIN NFE
3	0.28610691	53.89084	FAT PROTEIN FIBER
3	0.25824347	58.80439	PROTEIN FIBER NFE
4	0.57997104	4.06963	PROTEIN FIBER ASH NFE
4	0.56988675	5.84794	FAT FIBER ASH NFE
4	0.56445656	6.80552	FAT PROTEIN ASH NFE
4	0.52686490	13.43459	FAT PROTEIN FIBER ASH
4	0.34540212	45.43448	FAT PROTEIN FIBER NFE
5	0.58036590	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step 1 Variable Ash Entered R-square = 0.4809 C(p) = 15.5343

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	1	8230948.75	8230948.75	72.27	0.0001
Error	78	8883577.91	113892.04		
Total	79	17114526.67			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	4141.70	295.35	22396069.50	196.64	0.0001
Ash	-207.73	24.44	8230948.75	72.27	0.0001

Bounds on condition number : 1, 1

Step 2 Variable NFE Entered R-square = 0.5464 C(p) = 5.9893

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	2	9351415.76	4675707.88	46.38	0.0001
Error	77	7763110.91	100819.62		
Total	79	17114526.67			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	8223.44	1255.52	4325162.24	42.90	0.0001
Ash	-346.99	47.68	5339172.40	52.96	0.0001
NFE	-48.71	14.61	1120467.01	11.11	0.0013

Bounds on condition number : 4.3014, 17.2055

Step 3 Variable Fiber Entered R-square = 0.5674 C(p) = 4.2915

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	3	9710293.38	3236764.46	33.22	0.0001
Error	76	7404233.28	97424.12		
Total	79	17114526.67			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	12157.64	2392.71	2515283.54	25.82	0.0001
Fiber	-99.46	51.82	358877.62	3.68	0.0587
Ash	-396.30	53.45	5355394.79	54.97	0.0001
NFE	-94.78	27.97	1118563.41	11.48	0.0011

Bounds on condition number : 16.3109, 87.9106

Step 4 Variable Protein Entered R-square = 0.5800 C(p) = 4.0696

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	4	9925929.77	2481482.44	25.89	0.0001
Error	75	7188596.89	95847.96		
Total	79	17114526.67			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	14567.04	2865.79	2476490.46	25.84	0.0001
Protein	-48.64	32.43	215636.39	2.25	0.1378
Fiber	-117.89	52.85	476951.50	4.98	0.0287
Ash	-403.47	53.23	550621.04	57.45	0.0001
NFE	-122.13	33.20	1296965.24	13.53	0.0004

Bounds on condition number : 23.3603, 165.6216

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step	Variable Entered	Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Ash	1	0.4809	0.4809	15.5343	72.2698	0.0001
2	NFE	2	0.0655	0.5464	5.9893	11.1136	0.0013
3	Fiber	3	0.0210	0.5674	4.2915	3.6837	0.0587
4	Protein	4	0.0126	0.5800	4.0696	2.2498	0.1378

ตารางที่ 7.16 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำสกัดน้ำมัน

ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Model	5	8564613.77	1712922.75	31.604**	0.0001
Error	74	4010818.54	54200.25		
C Total	79	12575432.31			

C.V.	=	11.2290
R-square	=	0.6811
Root MSE	=	232.8095
**	=	highly significant at 1% level

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard error	T for Ho : Parameter = 0	Prob > T ^{1/}
Intercept	1	8545.52	2618.04	3.264	0.0017
Fat	1	142.72	69.89	2.042	0.0447
Protein	1	-5.68	25.38	-0.224	0.8236
Fiber	1	-53.51	48.28	-1.108	0.2713
Ash	1	-278.79	45.92	-6.071	0.0001
NFE	1	-55.18	28.53	-1.934	0.0569

^{1/} หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น 85 %

R – square Test

Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.60692196	15.20117	ASH
1	0.37077181	69.99225	NFE
1	0.35032867	74.73543	FAT
1	0.29875634	86.70113	PROTEIN
1	0.26399050	94.76743	FIBER
2	0.64413260	8.56763	FAT ASH
2	0.63022328	11.79485	ASH NFE
2	0.61503481	15.31884	PROTEIN ASH
2	0.60869388	16.79005	FIBER ASH
2	0.47030607	48.89851	FAT NFE
2	0.43036351	58.16590	FAT PROTEIN
2	0.38787579	68.02382	FAT FIBER
2	0.37943100	69.98316	FIBER NFE
2	0.37145345	71.83410	PROTEIN NFE
2	0.32296777	83.08365	PROTEIN FIBER
3	0.67564766	3.25557	FAT ASH NFE
3	0.66018458	6.84328	FIBER ASH NFE
3	0.65916993	7.07870	FAT FIBER ASH
3	0.65915885	7.08127	FAT PROTEIN ASH
3	0.63037108	13.76055	PROTEIN ASH NFE
3	0.61503481	17.31884	PROTEIN FIBER ASH
3	0.51716220	40.02705	FAT FIBER NFE
3	0.47038443	50.88033	FAT PROTEIN NFE
3	0.43056732	60.11862	FAT PROTEIN FIBER
3	0.37946774	71.97464	PROTEIN FIBER NFE
4	0.68084354	4.05003	FAT FIBER ASH NFE
4	0.67576382	5.22862	FAT PROTEIN ASH NFE
4	0.66493509	7.74108	FAT PROTEIN FIBER ASH
4	0.66308770	8.16971	PROTEIN FIBER ASH NFE
4	0.52219440	40.85949	FAT PROTEIN FIBER NFE
5	0.68105919	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Stepwise Procedure for Dependent Variable TME

Step 1 Variable Ash Entered R-square = 0.6069 C(p) = 15.2012

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	1	7632305.97	7632305.97	120.43	0.0001
Error	78	4943126.34	63373.41		
Total	79	12575432.31			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	4471.28	220.32	26102228.57	411.88	0.0001
Ash	-200.03	18.23	7632305.97	120.43	0.0001

Bounds on condition number : 1, 1

Step 2 Variable Fat Entered R-square = 0.6441 C(p) = 8.5676

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	2	8100245.95	4050122.98	69.69	0.0001
Error	77	4475186.36	58119.30		
Total	79	12575432.31			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3768.20	325.44	7791983.01	134.07	0.0001
Fat	166.81	58.79	467939.98	8.05	0.0058
Ash	-167.11	20.96	3694711.45	63.57	0.0001

Bounds on condition number : 1.4418, 5.7670

Step 3 Variable NFE Entered R-square = 0.6756 C(p) = 3.2556

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	3	8496561.40	2832187.13	52.77	0.0001
Error	76	4078870.91	53669.35		
Total	79	12575432.31			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	6134.45	925.22	2359301.28	43.96	0.0001
Fiber	185.69	56.92	571231.20	10.64	0.0017
Ash	-246.83	35.58	2582259.30	48.11	0.0001
NFE	-29.19	10.74	396315.45	7.38	0.0081

Bounds on condition number : 4.5004, 30.9914

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable TME

Step	Variable Entered	Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Ash	1	0.6069	0.6069	15.2012	120.4339	0.0001
2	Fat	2	0.0372	0.6441	8.5676	8.0514	0.0058
3	NFE	3	0.0315	0.6756	3.2556	7.3844	0.0081

ตารางที่ 7.17 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ
กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำหยาบ

ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Model	5	2457197.51	431439.50	2.120ns	0.0724
Error	74	15061281.97	203530.84		
C Total	79	17218479.47			

C.V.	=	82.4954
R-square	=	0.1253
Root MSE	=	451.1439
ns	=	non significant

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard error	T for Ho : Parameter = 0	Prob > T ^{1/}
Intercept	1	-6151.02	6169.75	-0.997	0.3220
Fat	1	17.98	55.96	0.321	0.7489
Protein	1	83.30	114.65	0.727	0.4698
Fiber	1	69.62	63.78	1.091	0.2786
Ash	1	51.89	69.31	0.749	0.4564
NFE	1	90.74	72.75	1.247	0.2162

^{1/} หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น 85 %

R – square Test

Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.08347007	1.53740	ASH
1	0.08065258	1.77576	NFE
1	0.01381491	7.43015	PROTEIN
1	0.00357946	8.29605	FIBER
1	0.00163767	8.46033	FAT
2	0.11481689	0.88549	FIBER NFE
2	0.10094433	2.05910	FAT ASH
2	0.09388708	2.65613	ASH NFE
2	0.09162952	2.84712	FAT NFE
2	0.08676740	3.25845	PROTEIN NFE
2	0.08417321	3.47791	FIBER ASH
2	0.08354192	3.53132	PROTEIN ASH
2	0.02644700	8.36149	FAT PROTEIN
2	0.01483976	9.34345	PROTEIN FIBER
2	0.00803590	9.91904	FAT FIBER
3	0.11901783	2.53010	FIBER ASH NFE
3	0.11746885	2.66114	FAT FIBER NFE
3	0.11496490	2.87297	PROTEIN FIBER NFE
3	0.11116192	3.19470	FAT ASH NFE
3	0.10689210	3.55592	FAT FIBER ASH
3	0.10361982	3.83275	FAT PROTEIN ASH
3	0.09880131	4.24039	PROTEIN ASH NFE
3	0.09274086	4.75310	FAT PROTEIN NFE
3	0.08582313	5.33833	PROTEIN FIBER ASH
3	0.02726231	10.29251	FAT PROTEIN FIBER
4	0.12406365	4.10323	PROTEIN FIBER ASH NFE
4	0.11904345	4.52793	FAT FIBER ASH NFE
4	0.11865809	4.56053	FAT PROTEIN FIBER NFE
4	0.11120204	5.19131	FAT PROTEIN ASH NFE
4	0.10689451	5.55572	FAT PROTEIN FIBER ASH
5	0.12528386	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step 1 Variable Ash Entered		R-square = 0.8431		C(p) = 5.6401	
	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	1	1437227.70	1437227.70	7.10	0.0093
Error	78	15781251.78	202323.74		
Total	79	17218479.48			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	1011.69	181.51	6285838.74	31.07	0.0001
Ash	-28.96	10.86	1437227.70	7.10	0.0093

Bounds on condition number : 1, 1

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step	Variable Entered	Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Ash	1	0.0835	0.0835	1.5374	7.1036	0.0093

ตารางที่ 7.18 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง
กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำหยาบ

ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Model	5	2302177.80	460435.56	2.899*	0.0191
Error	74	11752921.93	158823.27		
C Total	79	14055099.73			

C.V.	=	34.9190
R-square	=	0.1638
Root MSE	=	398.5264
*	=	significant at 5% level

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard error	T for Ho : Parameter = 0	Prob > T ^{1/}
Intercept	1	-2481.04	5450.17	-0.455	0.6503
Fat	1	2.37	49.43	0.048	0.9619
Protein	1	10.52	101.28	0.104	0.9175
Fiber	1	38.64	56.34	0.686	0.4949
Ash	1	16.79	61.22	0.274	0.7846
NFE	1	59.18	64.27	0.921	0.3601

^{1/} หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น 85 %

R – square Test

Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.12392397	1.52854	ASH
1	0.11028237	2.73575	NFE
1	0.01139156	11.48712	PROTEIN
1	0.00400681	12.14063	FIBER
1	0.00112402	12.39575	FAT
<hr/>			
2	0.16103319	0.24455	FIBER NFE
2	0.14481615	1.67968	FAT ASH
2	0.13459785	2.58395	ASH NFE
2	0.12741913	3.21923	PROTEIN NFE
2	0.12650541	3.30009	PROTEIN ASH
2	0.12443676	3.48316	FIBER ASH
2	0.12202860	3.69627	FAT NFE
2	0.02106736	12.63086	FAT PROTEIN
2	0.01166249	13.46314	PROTEIN FIBER
2	0.00768632	13.81501	FAT FIBER
<hr/>			
3	0.16367378	2.01087	FIBER ASH NFE
3	0.16284022	2.08464	FAT FIBER NFE
3	0.16169741	2.18577	PROTEIN FIBER NFE
3	0.15526935	2.75462	FAT ASH NFE
3	0.15083148	3.14735	FAT FIBER ASH
3	0.14899754	3.30965	PROTEIN ASH NFE
3	0.14493281	3.66936	FAT PROTEIN ASH
3	0.13410643	4.62744	PROTEIN FIBER ASH
3	0.13030373	4.96396	FAT PROTEIN NFE
3	0.02124763	14.61490	FAT PROTEIN FIBER
<hr/>			
4	0.16377064	4.00230	PROTEIN FIBER ASH NFE
4	0.16367466	4.01079	FAT FIBER ASH NFE
4	0.16294623	4.07526	FAT PROTEIN FIBER NFE
4	0.15847985	4.47051	FAT PROTEIN ASH NFE
4	0.15421413	4.84800	FAT PROTEIN FIBER ASH
<hr/>			
5	0.16379662	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Stepwise Procedure for Dependent Variable TME

Step 1 Variable Ash Entered R-square = 0.8431 C(p) = 5.6401

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	1	1741763.72	1741763.72	11.03	0.0014
Error	78	12313336.02	157863.28		
Total	79	14055099.74			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	1652.99	160.33	16780556.38	106.30	0.0001
Ash	-31.88	9.60	1741763.72	11.03	0.0014

Bounds on condition number : 1, 1

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable TME

Step	Variable Entered	Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Ash	1	1.1239	0.1239	1.5285	11.0334	0.0014

ตารางที่ 7.19 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ
กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Model	5	184901008.34	36980201.67	165.367**	0.0001
Error	234	52328359.51	223625.47		
C Total	239	237229367.85			

C.V.	=	29.0672
R-square	=	0.7794
Root MSE	=	472.89
**	=	highly significant at 1% level

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard error	T for Ho : Parameter = 0	Prob > T ^{1/}
Intercept	1	1004.38	2797.12	0.359	0.7199
Fat	1	59.10	28.57	2.068	0.0397
Protein	1	3.19	32.52	0.098	0.9220
Fiber	1	-28.47	30.48	-0.934	0.3512
Ash	1	-24.28	32.22	-0.754	0.4519
NFE	1	22.10	32.00	0.691	0.4904

^{1/} หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น 85 %

R – square Test

Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.68319572	100.07657	FIBER
1	0.51972735	273.48927	ASH
1	0.49987928	294.54477	FAT
1	0.46400986	332.59624	NFE
1	0.34398740	459.92008	PROTEIN
<hr/>			
2	0.76516676	15.11894	FAT NFE
2	0.76000951	20.58993	FAT FIBER
2	0.72462962	58.12210	FIBER ASH
2	0.72224488	60.65191	PROTEIN FIBER
2	0.68545211	99.68291	FIBER NFE
2	0.68506191	100.09685	FAT PROTEIN
2	0.65141510	135.79051	FAT ASH
2	0.58937723	201.60236	PROTEIN ASH
2	0.55829577	234.57460	ASH NFE
2	0.49021889	306.79284	PROTEIN NFE
<hr/>			
3	0.77856870	2.90172	FAT PROTEIN NFE
3	0.77757949	3.95111	FAT FIBER ASH
3	0.77721132	4.34168	FAT FIBER NFE
3	0.76572596	16.52573	FAT ASH NFE
3	0.76238442	20.07055	FAT PROTEIN FIBER
3	0.75155485	31.55891	FIBER ASH NFE
3	0.74888966	34.38624	PROTEIN FIBER ASH
3	0.73298675	51.25658	FAT PROTEIN ASH
3	0.72681255	57.80638	PROTEIN FIBER NFE
3	0.59299818	199.76113	PROTEIN ASH NFE
<hr/>			
4	0.77940966	4.00961	FAT FIBER ASH NFE
4	0.77896898	4.47709	FAT PROTEIN FIBER ASH
4	0.77888342	4.56785	FAT PROTEIN FIBER NFE
4	0.77859598	4.87278	FAT PROTEIN ASH NFE
4	0.77538622	8.27780	PROTEIN FIBER ASH NFE
<hr/>			
5	0.77941871	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step 1 Variable Fiber Entered R-square = 0.6832 C(p) = 100.0766

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	1	162074088.02	162074088.02	513.25	0.0001
Error	238	75155279.82	315778.49		
Total	239	237229367.85			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	2714.06	60.15	64208924.45	2035.63	0.0001
Fiber	-66.02	2.91	1620704088.02	513.25	0.0001

Bounds on condition number : 1, 1

Step 2 Variable Fat Entered R-square = 0.7600 C(p) = 20.5899

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	2	180296576.32	90148288.16	375.27	0.0001
Error	237	56932791.53	240222.75		
Total	239	237229367.85			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	2112.24	86.76	142396894.37	592.77	0.0001
Fat	51.68	5.93	18222488.29	75.86	0.0001
Fiber	-50.14	3.13	61710529.93	256.89	0.0001

Bounds on condition number : 1.5147, 6.0589

Step 3 Variable Ash Entered

R-square = 0.7776

C(p) = 3.9511

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	3	184464690.56	61488230.19	275.02	0.0001
Error	236	52764677.29	223579.14		
Total	239	237229367.85			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	2593.19	139.25	77512856.66	346.69	0.0001
Fat	44.62	5.95	125661263.69	56.18	0.0001
Fiber	-41.65	3.60	29929899.10	133.87	0.0001
Ash	-46.43	10.74	4168114.24	18.64	0.0001

Bounds on condition number : 2.1561, 17.6620

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable TME

Step	Variable Entered	Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Fiber	1	0.6832	0.6832	100.08	513.25	0.0001
2	Fat	2	0.0768	0.7600	20.59	75.86	0.0001
3	Ash	3	0.0176	0.7776	3.95	18.64	0.0001

ตารางที่ 7.20 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์แท้จริง กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Model	5	149411847.85	29882369.57	205.59**	0.0001
Error	234	34011013.72	145346.21		
C Total	239	183422861.57			

C.V.	=	18.2946
R-square	=	0.8146
Root MSE	=	381.2430
**	=	highly significant at 1% level

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard error	T for Ho : Parameter = 0	Prob > T ^{1/}
Intercept	1	1139.44	2255.03	0.505	0.6138
Fat	1	59.56	23.04	2.585	0.0103
Protein	1	1.48	26.22	0.057	0.9549
Fiber	1	-19.51	24.57	-0.794	0.4281
Ash	1	-22.30	25.97	-0.859	0.6914
NFE	1	25.91	25.80	1.004	0.3163

^{1/} หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น 85 %

R – square Test

Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.69091909	154.05148	FIBER
1	0.55853349	321.11841	ASH
1	0.54037598	344.03268	FAT
1	0.47538543	426.04894	NFE
1	0.32694384	613.37808	PROTEIN
<hr/>			
2	0.80672886	9.90278	FAT NFE
2	0.78601197	36.04691	FAT FIBER
2	0.74652771	85.87496	FIBER ASH
2	0.74468992	88.19419	PROTEIN FIBER
2	0.70707038	135.66900	FAT PROTEIN
2	0.70203236	142.02684	FAT ASH
2	0.69245547	154.11261	FIBER NFE
2	0.61230686	255.25791	PROTEIN ASH
2	0.58999600	283.41359	ASH NFE
2	0.49326510	405.48530	PROTEIN NFE
<hr/>			
3	0.81398834	2.74152	FAT PROTEIN NFE
3	0.81240084	4.74490	FAT FIBER NFE
3	0.81072031	6.86568	FAT FIBER ASH
3	0.80674769	11.87901	FAT ASH NFE
3	0.79074935	32.06847	FAT PROTEIN FIBER
3	0.78019184	45.39176	PROTEIN FIBER ASH
3	0.77614448	50.49941	FIBER ASH NFE
3	0.76678385	62.31227	FAT PROTEIN ASH
3	0.74861870	85.23618	PROTEIN FIBER NFE
3	0.61574797	252.91533	PROTEIN ASH NFE
<hr/>			
4	0.81457339	4.00321	FAT FIBER ASH NFE
4	0.81407651	4.63026	FAT PROTEIN ASH NFE
4	0.81399175	4.73722	FAT PROTEIN FIBER NFE
4	0.81377668	5.00863	FAT PROTEIN FIBER ASH
4	0.80927902	10.68455	PROTEIN FIBER ASH NFE
<hr/>			
5	0.81457593	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Stepwise Procedure for Dependent Variable TME

Step 1 Variable Fiber Entered R-square = 0.6909 C(p) = 154.0515

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	1	126730356.42	126730346.42	532.02	0.0001
Error	238	56692505.15	238203.80		
Total	239	183422861.57			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3045.26	52.25	809267753.19	3397.38	0.0001
Fiber	-58.38	2.53	126730356.42	532.02	0.0001

Bounds on condition number : 1, 1

Step 2 Variable Fat Entered R-square = 0.7860 C(p) = 36.0469

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	2	144172565.38	72086282.69	435.27	0.0001
Error	237	39250296.18	165613.06		
Total	239	183422861.57			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	2456.50	72.04	192590028.18	1162.89	0.0001
Fat	50.56	4.93	17442208.96	105.32	0.0001
Fiber	-42.84	2.60	45055256.87	272.05	0.0001

Bounds on condition number : 1.5147, 6.0589

Step 3 Variable NFE Entered

R-square = 0.8124

C(p) = 4.7449

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	3	149012886.53	49670962.18	340.67	0.0001
Error	236	34409975.04	145804.98		
Total	239	183422861.57			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	157.73	404.66	22158.98	0.15	0.6970
Fat	68.69	5.59	22000722.77	150.89	0.0001
Fiber	-14.61	5.47	1040370.07	7.14	0.0081
NFE	39.23	6.81	4840321.14	33.20	0.0001

Bounds on condition number : 7.6349, 45.7714

Step 4 Variable Ash Entered

R-square = 0.8146

C(p) = 4.0032

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	2	149411381.81	37352845.45	258.09	0.0001
Error	235	34011479.76	144729.70		
Total	239	183422861.57			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	1259.25	776.66	380472.04	2.63	0.1063
Fat	58.34	8.36	7048739.58	48.70	0.0001
Fiber	-20.84	6.62	1435411.09	9.92	0.0018
Ash	-23.53	14.18	398495.28	2.75	0.0984
NFE	24.59	11.13	706742.38	4.88	0.0281

Bounds on condition number : 14.5487, 145.7213

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable TME

Step	Variable Entered	Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
1	Fiber	1	0.6909	0.6909	154.05	532.02	0.0001
2	Fat	2	0.0951	0.7860	36.05	105.32	0.0001
3	NFE	3	0.0264	0.8124	4.74	33.20	0.0001
4	Ash	4	0.0022	0.8146	4.00	2.75	0.0984

ตารางที่ 7.21 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ
กับค่าองค์ประกอบทางเคมีของผลพลอยได้จากข้าว

ANOVA					
Source	DF	SS	MS	F	Pr > F
Model	5	545091634.55	109018326.91	703.29**	0.0001
Error	394	61074607.60	155011.69		
C Total	399	606166242.14			

C.V.	=	16.3767
R-square	=	0.8992
Root MSE	=	393.71
**	=	highly significant at 1% level

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard error	T for Ho : Parameter = 0	Prob > T ^{1/}
Intercept	1	810.57	2047.10	0.396	0.6925
Fat	1	53.79	21.01	2.560	0.0108
Protein	1	-18.96	23.42	-0.810	0.4186
Fiber	1	-30.39	22.30	-1.363	0.1738
Ash	1	-28.30	24.24	-1.167	0.2438
NFE	1	35.35	23.17	1.525	0.1279

^{1/} หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น 85 %

R – square Test

Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.80180881	379.01772	ASH
1	0.79485385	406.21476	FIBER
1	0.75980524	543.27077	NFE
1	0.00333385	3501	PROTEIN
1	0.00171738	3508	FAT
<hr/>			
2	0.89725199	7.79147	FAT NFE
2	0.87888884	79.59972	FIBER ASH
2	0.87849582	81.13663	PROTEIN FIBER
2	0.85242316	183.09258	FIBER NFE
2	0.83662830	244.85769	FAT ASH
2	0.82259841	299.72091	PROTEIN ASH
2	0.80616100	363.99868	ASH NFE
2	0.79765451	397.26292	FAT FIBER
2	0.78801789	434.94647	PROTEIN NFE
2	0.00843226	3483	FAT PROTEIN
<hr/>			
3	0.89887830	3.43184	FAT FIBER NFE
3	0.89876949	3.85735	FAT PROTEIN NFE
3	0.89731852	9.53131	FAT ASH NFE
3	0.89007354	37.86248	PROTEIN FIBER ASH
3	0.88509174	57.34357	FAT FIBER ASH
3	0.88311690	65.06610	FAT PROTEIN FIBER
3	0.87901810	81.09425	FIBER ASH NFE
3	0.87852822	83.00992	PROTEIN FIBER NFE
3	0.84265998	223.27106	FAT PROTEIN ASH
3	0.83014599	272.20644	PROTEIN ASH NFE
<hr/>			
4	0.89907680	4.65562	FAT FIBER ASH NFE
4	0.89889602	5.36257	FAT PROTEIN FIBER NFE
4	0.89876962	5.85685	FAT PROTEIN ASH NFE
4	0.89864936	6.32711	FAT PROTEIN FIBER ASH
4	0.89756870	10.55298	PROTEIN FIBER ASH NFE
<hr/>			
5	0.89924446	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step 1 Variable Ash Entered R-square = 0.8018 C(p) = 379.0177

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	1	486029431.87	486029431.87	1610.16	0.0001
Error	389	120136810.27	301851.28		
Total	399	606166242.14			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3668.16	41.80	23249422736.66	7702.21	0.0001
Ash	-166.07	4.14	486029431.87	1610.16	0.0001

Bounds on condition number : 1, 1

Step 2 Variable Fibber Entered R-square = 0.8789 C(p) = 79.5997

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	2	532752746.90	266376373.45	1440.49	0.0001
Error	397	73413495.24	184920.64		
Total	399	606166242.14			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3583.07	33.15	2160474022.34	11683.20	0.0001
Fiber	-47.27	2.97	467823315.03	252.67	0.0001
Ash	-93.18	5.61	50939174.29	275.47	0.0001

Bounds on condition number : 3.0038, 12.0155

Step 3 Variable Protein Entered R-square = 0.8901 C(p) = 837.8625

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	3	5393532530.62	179844176.87	1068.80	0.0001
Error	396	66633711.53	168266.95		
Total	399	606166242.14			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3955.09	66.59	593525456.31	3527.28	0.0001
Protein	-47.70	7.51	6779783.72	40.29	0.0001
Fiber	-68.65	4.40	40901142.41	243.07	0.0001
Ash	-53.31	8.25	7018022.05	41.71	0.0001

Bounds on condition number : 7.2360, 50.7166

Step 4 Variable Fat Entered R-square = 0.8986 C(p) = 6.3271

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	4	544730905.45	136182726.36	875.59	0.0001
Error	395	61435336.70	155532.50		
Total	399	606166242.14			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3933.23	34.14	584943448.26	3760.91	0.0001
Fat	22.28	3.85	5198374.83	33.42	0.0001
Protein	-52.93	7.28	8218171.69	52.84	0.0001
Fiber	-63.77	4.32	33938872.27	218.21	0.0001
Ash	-63.15	8.12	9415253.43	60.54	0.0001

Bounds on condition number : 7.5241, 757.2765

Step 5 Variable NFE Entered

R-square = 0.8992

C(p) = 6.0000

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	5	545091634.55	109018326.91	703.29	0.0001
Error	394	61074607.60	155011.69		
Total	399	606166242.14			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	810.57	2047.99	24282.12	0.16	0.6925
Fat	53.79	21.01	1015787.99	6.55	0.0108
Protein	-18.96	23.42	101628.97	0.66	0.4186
Fiber	-30.39	22.30	287833.18	1.86	0.1738
Ash	-28.30	24.24	211214.07	1.36	0.2438
NFE	35.35	23.17	360729.10	2.33	0.1279

Bounds on condition number : 493.9676, 4132.465

Step 6 Variable Protein Removed

R-square = 0.8991

C(p) = 4.6556

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	4	544990005.58	136247501.39	5879.72	0.0001
Error	395	61176236.56	154876.55		
Total	399	606166242.14			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	-778.95	583.33	276161.26	1.78	0.1825
Fat	69.57	7.85	12158904.60	78.51	0.0001
Fiber	-12.77	4.87	1065812.38	6.88	0.0090
Ash	-12.16	13.80	120322.99	0.78	0.3786
NFE	53.18	7.19	8477271.82	54.74	0.0001

Bounds on condition number : 47.5828, 336.3717

Step 7 Variable Ash Removed R-square = 0.8989 C(p) = 3.4318

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	3	544869682.59	181623227.53	1173.36	0.0001
Error	396	61296559.55	154789.29		
Total	399	606166242.14			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	-1250.64	232.09	4494730.89	29.04	0.0001
Fat	74.49	5.52	28159538.52	181.92	0.0001
Fiber	-10.61	4.20	985816.95	6.37	0.0120
NFE	58.95	2.96	61358446.62	396.40	0.0001

Bounds on condition number : 8.0788,53.5167

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable AME

Step	Variable		Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
	Entered	Removed						
1	Ash		1	0.8018	0.8018	379.02	1610.16	0.0001
2	Fiber		2	0.0771	0.8789	79.60	252.67	0.0001
3	Protein		3	0.0112	0.8901	37.86	40.29	0.0001
4	Fat		4	0.0086	0.8986	6.33	33.42	0.0001
5	NFE		5	0.0006	0.8992	6.0000	2.33	0.1279
6		Protein	4	0.0002	0.8991	4.6556	0.6556	0.4186
7		Ash	3	0.0002	0.8989	3.4318	0.7769	0.3786

R – square Test

Number in Model	R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.80829766	461.38411	ASH
1	0.80065843	495.55037	FIBER
1	0.75125525	716.50490	NFE
1	0.00485131	4055	FAT
1	0.00308479	4063	PROTEIN
2	0.91047216	6.41112	FAT NFE
2	0.88566285	117.37015	FIBER ASH
2	0.88347325	127.16307	PROTEIN FIBER
2	0.85484981	255.18071	FAT ASH
2	0.85193733	268.20673	FIBER NFE
2	0.82998375	366.39359	PROTEIN ASH
2	0.80982329	456.56075	ASH NFE
2	0.80127832	494.77794	FAT FIBER
2	0.77980075	590.83585	PROTEIN NFE
2	0.01335572	4019	FAT PROTEIN
3	0.91132938	4.57720	FAT PROTEIN NFE
3	0.91125333	4.91736	FAT FIBER NFE
3	0.91048857	8.33770	FAT ASH NFE
3	0.89788569	64.70381	FAT FIBER ASH
3	0.89598391	73.20948	PROTEIN FIBER ASH
3	0.89305981	86.28741	FAT PROTEIN FIBER
3	0.88722505	112.38325	FIBER ASH NFE
3	0.88427694	125.56861	PROTEIN FIBER NFE
3	0.85956647	236.08557	FAT PROTEIN ASH
3	0.83359971	352.22127	PROTEIN ASH NFE
4	0.91169435	4.94489	FAT FIBER ASH NFE
4	0.91143187	6.11882	FAT PROTEIN ASH NFE
4	0.91139241	6.29530	FAT PROTEIN FIBER ASH
4	0.91133409	6.55613	FAT PROTEIN FIBER NFE
4	0.90988095	13.05527	PROTEIN FIBER ASH NFE
5	0.91190562	6.00000	FAT PROTEIN FIBER ASH NFE

Step 3 Variable Fat Entered R-square = 0.8979 C(p) = 64.7038

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	3	406048358.90	135349452.97	1160.67	0.0001
Error	396	46178873.52	116613.32		
Total	399	452227232.42			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	3705.28	27.92	2053701955.64	17611.20	0.0000
Fat	22.79	3.31	5527499.65	47.40	0.0001
Fiber	-33.52	2.59	19461993.43	166.89	0.0001
Ash	-95.49	4.93	43688482.54	374.64	0.0001

Bounds on condition number : 3.6779, 25.6224

Step 4 Variable NFE Entered R-square = 0.9117 C(p) = 4.9449

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	4	412293013.09	103073253.27	1019.53	0.0001
Error	395	399334219.32	101099.29		
Total	399	452227232.42			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	6.83	471.30	21.21	0.00	0.9885
Fat	66.37	6.34	11065684.58	109.45	0.0001
Fiber	-9.13	3.93	545284.94	5.39	0.0207
Ash	-15.66	11.15	199442.83	1.97	0.1609
NFE	45.64	5.81	6244654.19	61.77	0.0001

Bounds on condition number : 47.5828, 336.3717

Step 5 Variable Ash Removed R-square = 0.9113 C(p) = 4.9174

	DF	SS	MS	F	Pr > F
Regression	3	412093570.27	137364523.42	1355.38	0.0001
Error	396	40133662.15	101347.63		
Total	399	452227232.42			

Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II Sum of Square	F	Prob > F
Intercept	-600.46	187.80	1036113.88	10.22	0.0015
Fat	72.70	4.47	26824309.87	264.68	0.0001
Fiber	-6.35	3.40	353265.94	3.49	0.0626
NFE	53.08	2.40	49733693.91	490.72	0.0001

Bounds on condition number : 8.0788,53.5167

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.

No other variable met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable TME

Step	Variable		Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
	Entered	Removed						
1	Ash		1	0.8083	0.8083	461.384	1678.14	0.0001
2	Fiber		2	0.0774	0.8857	117.370	268.63	0.0001
3	Fat		3	0.0122	0.8979	64.7038	47.4002	0.0001
4	NFE		4	0.0138	0.9117	4.9449	61.7675	0.0001
5		Ash	3	0.0132	0.9455	4.9871	1.9727	0.1609

ประวัติผู้เขียน

นางสาวนันทนิจ กุลเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 2 มีนาคม พ.ศ. 2514 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2534

เป็นพนักงานฝ่ายวิชาการและส่งเสริมการขาย บริษัท จี.เอช.บราเดอร์ จำกัด เมื่อปี พ.ศ.2535 เป็นผู้ช่วยดำเนินงาน ส.ส. จ.สมุทรปราการ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2538 - 2543 และดำรงตำแหน่งเลขานุการ ประจำคณะกรรมการการสิ่งแวดล้อม สภาผู้แทนราษฎร ตั้งแต่ปี พ.ศ.2540 - 2543