



การใช้กลีเซอรินดิบเป็นส่วนประกอบอาหารไก่เนื้อ
The Use of Crude Glycerin in Broiler as Feed Ingredient

อดิศร เศรษฐพงศ์

Adisorn Settapong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Animal Science
Prince of Songkla University**

2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้เกลือโซเดียมเป็นส่วนประกอบอาหารไก่เนื้อ

ผู้เขียน นายอดิศร เศรษฐพงษ์

สาขาวิชา สัตวศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไชยวรรณ วัฒนจันทร์)

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุษนา ศิริวัธนกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีอยุธยา)

.....
(รองศาสตราจารย์ สุชา วัฒนสิทธิ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไชยวรรณ วัฒนจันทร์)

.....
(ดร.น.สพ.ศิริวัฒน์ วาสิกศิริ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุชา วัฒนสิทธิ์)

.....กรรมการ
(ดร.น.สพ.ศิริวัฒน์ วาสิกศิริ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(3)

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไชยวรรณ วัฒนจันทร์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นายอดิศร เศรษฐพงค์)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายอดิศร เศรษฐพงศ์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้กลีเซอรินดิบเป็นส่วนประกอบอาหารไก่เนื้อ

ผู้เขียน นายอดิศร เศรษฐพงศ์

สาขาวิชา สัตวศาสตร์

ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้วางแผนการทดลองเพื่อศึกษาส่วนประกอบทางเคมี ลักษณะทางกายภาพ และคุณค่าทางโภชนาของกลีเซอรินดิบ สมรรถภาพการผลิต ลักษณะซากของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบระดับต่างๆ แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง

การทดลองที่ 1 การวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมี ลักษณะทางกายภาพ และคุณค่าทางโภชนาของ กลีเซอรินดิบที่ได้มาจากแหล่งการผลิต 3 แหล่งการผลิต ที่มีขนาดกำลังการผลิตที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า กลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตขนาดเล็กมีค่าความเป็นกรดต่างสูงสุด (8.99) รองลงมาคือกลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตขนาดใหญ่ (6.40) และกลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตขนาดกลาง (6.39) ค่าความหนืด พบว่า กลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตขนาดใหญ่มีค่าความหนืดสูงสุด (99.20 เซนติสโตกส์) รองลงมาคือกลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตขนาดเล็ก (90.28 เซนติสโตกส์) และแหล่งการผลิตขนาดกลาง (12.52 เซนติสโตกส์) ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาพบว่า กลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตขนาดเล็กมีความชื้นเท่ากับ 3.93 เปอร์เซ็นต์ ค่าโปรตีนรวมเท่ากับ 0.65 เปอร์เซ็นต์ ค่าไขมันรวมเท่ากับ 5.05 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าพลังงานรวมเท่ากับ 7554.61 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ในขณะที่กลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตขนาดกลางและแหล่งการผลิตขนาดใหญ่มีค่าความชื้นเท่ากับ 13.85 และ 4.27 เปอร์เซ็นต์ ค่าโปรตีนรวมเท่ากับ 0.85 และ 0.48 เปอร์เซ็นต์ ค่าไขมันรวมเท่ากับ 0.44 และ 0.22 เปอร์เซ็นต์ และค่าพลังงานรวมเท่ากับ 4,387.45 และ 4,650.22 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเมทานอลปนเปื้อน พบว่า กลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตขนาดกลางมีปริมาณเมทานอลปนเปื้อนสูงสุด (2.87 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ กลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตขนาดเล็ก (1.10 เปอร์เซ็นต์) และกลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตขนาดใหญ่ (0.46 เปอร์เซ็นต์) สำหรับกรดไขมันที่ปนเปื้อนนั้นตรวจพบเฉพาะกรดไขมัน

ไขมันอิ่มตัว ซึ่งตรวจพบเฉพาะกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดเล็กเพียงแหล่งเดียว (15.95 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) โดยเฉพาะกรดปาล์มมิติกคือกรดไขมันที่ตรวจพบมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบอีกด้วยว่า กลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตขนาดเล็กมีกลีเซอไรด์ปนเปื้อนอยู่เพียงแหล่งเดียวเช่นกัน ซึ่งกลีเซอไรด์ที่ตรวจพบปริมาณมากที่สุด คือ โมโนกลีเซอไรด์ (2.78 มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร) รองลงมาคือ ไตรกลีเซอไรด์ (0.77 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) และไดกลีเซอไรด์ (0.19 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ปริมาณแร่ธาตุที่ปนเปื้อนในกลีเซอรินดิบ พบว่า แหล่งการผลิตขนาดกลางมีการปนเปื้อนของแร่ธาตุมากที่สุด สำหรับการวิเคราะห์หาค่าความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินดิบจากแหล่งต่างๆ พบว่า กลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตขนาดใหญ่มีค่าความบริสุทธิ์ที่สูงที่สุด (87.65 เปอร์เซ็นต์) รองลงมา คือ กลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตขนาดกลาง (80.25 เปอร์เซ็นต์) และแหล่งการผลิตขนาดเล็ก (72.65 เปอร์เซ็นต์)

การทดลองที่ 2 เป็นการนำกลีเซอรินดิบจากคณะวิศวกรรมศาสตร์มาผสมในอาหารไก่เนื้อเพื่อศึกษาสมรรถภาพการผลิต และลักษณะซาก ใช้ไก่เนื้อพันธุ์ทางการค้า (Ross 308[®]) เพศผู้ อายุ 1 สัปดาห์ น้ำหนักเฉลี่ย 183.50 ± 0.45 กรัม จำนวน 240 ตัว แบ่งเป็นออกเป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มทดลองประกอบไปด้วย 4 ซ้ำ ซ้ำละ 20 ตัว ในโรงเรือนระบบเปิด วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) ให้ไก่ทดลองได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 3 ระดับคือ 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตลอดระยะเวลาการทดลองให้ไก่ทดลองได้รับอาหารเต็มที่ (*ad libitum*) ได้รับน้ำตลอดเวลา และได้รับวัคซีนตาม โปรแกรมของภาควิชาสัตวศาสตร์ บันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวและปริมาณการกินได้ทุกสัปดาห์ เมื่อไก่ทดลองอายุครบ 3 สัปดาห์ และสิ้นสุดการทดลองที่ 7 สัปดาห์ ทำการสุ่มไก่ทดลองซ้ำละ 2 ตัว เพื่อศึกษาลักษณะซาก ผลการทดลองพบว่า ในช่วงอายุที่ 2-3 สัปดาห์ ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กินสูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) ในช่วงอายุที่ 4-7 สัปดาห์ ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการเจริญเติบโตดีกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และไก่ทดลองกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) ในช่วงอายุที่ 2-7 สัปดาห์ พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการเจริญเติบโตดีกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ลักษณะซากของไก่ทดลองที่อายุ 3 สัปดาห์ พบว่า ไก่ทดลองทุกกลุ่มมี น้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากรวม น้ำหนักซากอ่อนและส่วนประกอบซากไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) แต่พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ของอวัยวะภายในสูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่น ($P < 0.05$) ลักษณะซากของไก่ทดลองที่อายุ 7 สัปดาห์ พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับ

อาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากรวม น้ำหนักกล้ามเนื้อ และ ซากส่วนหน้าอก ค้อยกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่น ($P < 0.05$) แต่ซากมีเปอร์เซ็นต์ไขมันรวม และอวัยวะ ภายใน สูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่น ($P < 0.05$)

การศึกษาครั้งนี้ พบว่า การเลี้ยงไก่ทดลองด้วยอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวเพิ่มต่ำสุด (36.68 บาท/กิโลกรัม ขณะที่ ไก่ทดลองกลุ่มที่ ได้รับอาหารที่ผสมกลีเซอรินดิบ 0 เปอร์เซ็นต์ (กลุ่มควบคุม) และ 10 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหาร ต่อน้ำหนักตัวเพิ่ม เท่ากับ 37.04 และ 38.48 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ

Thesis	The Use of Glycerin in Broiler as Feed Ingredient
Author	Mr. Adisorn Settapong
Major Program	Animal Science
Academic Year	2012

ABSTRACT

This thesis was conducted in order to determine chemical composition, physical properties and nutritive value of crude glycerin; whereas productive performance and carcass characteristics of broiler received diets containing different levels of crude glycerin were also concerned.

In experiment 1 the analytical of chemical composition, physical properties and nutritive value of crude glycerin from three biodiesel production scales (small, medium and large scale) production were conducted by chemical analytical method and proximate analysis. From the results, pH values of small scale was the highest (8.99) followed by the medium (6.39) and large scale (6.40). The large scale showed the highest kinematic viscosity (99.20 cSt) followed by the small and medium scale (90.28 and 12.51 cSt). In terms of proximate composition, the small scale had 3.93% of moisture, 0.65% of crude protein, 5.05% of crude fat and 7,554.61 kcal of GE/kg while the medium and large scales had 13.85 and 4.27% of moisture, 0.85 and 0.48% of crude protein, 0.44 and 0.22% of crude fat and 4,387.45 and 4,650.22 kcal GE/kg, respectively. For methanol analysis, the medium scale had the highest methanol level (2.87) followed by the small (1.10) and large scale (0.46). Saturated fatty acid was detected only in the small scale (15.95 mg/ml), particularly palmitic acid (C16: 0). In addition, the largest amount of glyceride in this scale consisted of monoglyceride (2.78 mg/ml), diglyceride (0.19 mg/ml), and triglyceride (0.77 mg/ml). For

dietary mineral determination, the medium scale had almost the highest. For determination of the purity of crude glycerin, the large scale had almost the highest purity (87.65%) followed by the medium (80.25%) and the small (72.65%).

In experiment 2, a total number of 240 males Ross 308 at 1 week old, with 183.50 ± 0.45 grams of initial live weight were randomly distributed into 3 groups (4 replication by 20 birds/group) in completely randomized design (CRD). They were fed with rations containing 0 (control), 5 and 10% of crude glycerin *ad libitum* for 6 weeks whereas water was available all time. All birds were weighed and feed intake was measured and recorded every week throughout the experiment. At 2 and 6 weeks of experiment (2 and 7 weeks old), eight birds from each treatment (2 replicates) were randomly selected and sacrificed for carcass characteristics study. The results showed that birds received diet with 10% crude glycerin had a significantly higher feed intake than those others. Nevertheless, no significant difference was found in live weight change ($P > 0.05$). During 4 and 7 weeks old, birds fed diet with 10% crude glycerin had significantly lower feed intake and live performance than those feed diets with 0 and 5% crude glycerin ($P < 0.05$).

In terms of carcass characteristics of broiler at 3 weeks old, all groups had no significant difference in slaughter weight, carcass weight and organs ($P > 0.05$). However, birds fed diet at 10% crude glycerin had higher eviscerated yield than those received diets containing 0 and 5% crude glycerin ($P < 0.05$). At 7 weeks of age, bird fed with 10% crude glycerin had lower slaughter weight, carcass weight, meat yield and breast meat yield than others. Nevertheless, fat deposition and eviscerated yield of birds received 10 crude glycerin were the highest ($P < 0.05$).

From this study, the lowest feed cost per gain was found in birds received diet with 5% crude glycerin (36.68 baht/kg) while birds received diets containing 0 (control) and 10% had about 37.04 and 38.48 baht/kg, respectively.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(11)
รายการตาราง	(13)
รายการตารางภาคผนวก	(15)
รายการภาพ	(16)
รายการภาพประกอบภาคผนวก	(17)
บทที่	
1.บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
2.การตรวจเอกสาร	4
3.การทดลองที่ 1	28
บทนำ	28
วัตถุประสงค์	28
วัสดุและอุปกรณ์	30
วิธีการทดลอง	30
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	41
สรุปผลการทดลอง	46
ข้อเสนอแนะ	47
4.การทดลองที่ 2	49
บทนำ	49
วัตถุประสงค์	49
วัสดุและอุปกรณ์	50
วิธีการทดลอง	50
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	56
สรุปผลการทดลอง	65
5.บทสรุปและข้อเสนอแนะ	67
สรุป	67
-ข้อเสนอแนะ	69

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	70
ภาคผนวก	75
ก	75
ข	79
ค	81
ประวัติผู้เขียน	83

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติโดยทั่วไปของกลีเซอรินบริสุทธิ์	7
2	ชนิดวัตถุคิบและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตกลีเซอรินคิบ	13
3	ค่าความหนืดของกลีเซอรินคิบที่ได้จากสารตั้งคิบนในการผลิตชนิดต่างๆ	14
4	ค่าความหนืดของกลีเซอรินที่ความบริสุทธิ์และอุณหภูมิระดับต่างๆ	15
5	ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุชนิดต่างๆในกลีเซอรินคิบที่ได้จากสารตั้งคิบนชนิดต่างๆ	16
6	ส่วนประกอบทางโภชนะและค่าพลังงานรวมของกลีเซอรินคิบ	18
7	กลีเซอรินคิบที่ได้มาจากแหล่งการผลิตแตกต่างกัน 3 แหล่ง	29
8	เทคนิคการวิเคราะห์และมาตรฐานการทดสอบกลีเซอรินคิบ	31
9	ค่าพลังงาน ลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรินคิบจาก 3 แหล่ง	42
10	ปริมาณเมทานอลปนเปื้อนและค่าความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินคิบจาก 3 แหล่ง	42
11	ปริมาณกลีเซอไรด์ของกลีเซอรินคิบจาก 3 แหล่ง	43
12	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของตัวอย่างกลีเซอรินคิบจาก 3 แหล่ง	44
13	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุของกลีเซอรินคิบจาก 3 แหล่ง	45
14	ส่วนประกอบของวัตถุคิบอาหารสัตว์ (as-fed basis) และโภชนะในสูตรอาหารไก่เนื้อ ช่วงอายุ 2-3 สัปดาห์	52
15	ส่วนประกอบของวัตถุคิบอาหารสัตว์ (as-fed basis) และโภชนะในสูตรอาหารไก่เนื้อ ช่วงอายุ 4-7 สัปดาห์	53
16	ปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวเพิ่ม และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของไก่เนื้อในช่วงอายุ 2-7 สัปดาห์ ที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินคิบในระดับต่างๆ	58
17	ส่วนประกอบซากของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินคิบระดับต่างๆ เมื่อสิ้นการทดลองที่ 3 สัปดาห์	60
18	เปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบซากของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินคิบระดับต่างๆ เมื่อสิ้นการทดลองที่ 7 สัปดาห์	62

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบระดับต่างๆ ในช่วงอายุ 2-3, 4-7 สัปดาห์ และ 2-7 สัปดาห์	64

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่		หน้า
1	ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ในการประกอบสูตรอาหารไก่เนื้อ	75
2	น้ำหนักส่วนประกอบซากของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ ระดับต่างๆ เมื่อสิ้นการทดลองที่ 3 สัปดาห์	77
3	น้ำหนักส่วนประกอบซากของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ ระดับต่างๆ เมื่อสิ้นการทดลองที่ 3 สัปดาห์	78

รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเตอริ์	5
2	แผนผังการผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเตอริ์ในระดับอุตสาหกรรม	5
3	โครงสร้างทางเคมีและแบบจำลอง 3 มิติของกลีเซอริน	7
4	การแยกชั้นของกลีเซอรินดิบจากไบโอดีเซลหลังจากวางทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาที	9
5	กระบวนการทำให้กลีเซอรินดิบมีความบริสุทธิ์	11
6	ลักษณะกลีเซอรินที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์และกลีเซอรินดิบ	12
7	กระบวนการย่อยและดูดซึมกลีเซอริน	20
8	กระบวนการกลูโคซิโอเจเนซิสโดยใช้กลีเซอรินเป็นสารตั้งต้น	22
9	กระบวนการไกลโคไลซิสโดยใช้กลีเซอรินเป็นสารตั้งต้น	23
10	กระบวนการเมแทบอลิซึมเมทานอล	25
11	เครื่องวิเคราะห์ความหนืดจลน์แบบ glass capillary	33
12	เครื่องวัดความเป็นกรดต่างชนิดแห่งแก้วอิเล็กโทรด	33
13	เครื่องสกัดชอกห์เลต สำหรับสกัดไขมันจากกลีเซอรินดิบ	34
14	เครื่องกลั่นโปรตีนสำหรับการวิเคราะห์โปรตีนรวม	35
15	การชั่งน้ำหนักกลีเซอรินดิบก่อนนำไปอบ	36
16	การวิเคราะห์เถ้ากลีเซอรินดิบตามวิธีของ AOAC (2005)	37
17	เมล็ดสำลีที่หยดกลีเซอรินดิบก่อนนำไปวิเคราะห์หาค่าพลังงาน	40
18	ปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชันของกรดไขมันอิสระกับโซเดียมไฮดรอกไซด์	43
19	ปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดไฮโดรคลอริกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์	46

รายการภาพประกอบภาคผนวก

ภาพภาคผนวกที่		หน้า
1	กลีเซอรินดิบ	79
2	เครื่องผสมอาหารแนวนอน	79
3	การอัดเม็ดอาหาร	79
4	อาหารที่ผ่านการอัดเม็ด	76
5	การอบอาหาร	80
6	อาหารที่ผ่านการอบ	80
7	ซากไก่ที่ทดลองเอาเครื่องในออก	81
8	ชิ้นส่วนของซากเมื่อผ่านการตัดแต่ง	81
9	ลักษณะของตับ	81
10	ส่วนกล้ามเนื้อ โครงร่าง และไขมัน	81
11	ซากไก่ที่ทดลองหลังผ่าเอาเครื่องในออก	82
12	ลักษณะเนื้อสันนอก	82
13	ชิ้นส่วนของซากเมื่อผ่านการตัดแต่ง	82
14	การเลาะไขมันออกจากซาก	82

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

จากวิกฤติราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในตลาดโลกที่สูงขึ้น ทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงปรับราคาสูงขึ้นตามไปด้วย จึงส่งผลให้มนุษย์มีการแสวงหาพลังงานทดแทนรูปแบบใหม่มาทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuel) ไปไบโอดีเซล (biodiesel) จึงเป็นเชื้อเพลิงทดแทนชนิดหนึ่งที่ได้รับคามนิยมในปัจจุบัน ซึ่งส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลเติบโตเพิ่มขึ้นทุกปี ทั้งนี้โดยทั่วไปกระบวนการผลิตไบโอดีเซล 100 ลิตร จะได้กลีเซอรินดิบ (crude glycerin) เป็นผลผลิตพลอยได้ในปริมาณ 0.35 กิโลกรัม (Thompson and He, 2006) ดังนั้นเมื่อมีการผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น จึงส่งผลทำให้กลีเซอรินดิบมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

เนื่องจากกลีเซอรินดิบเป็นสารชีวมวลที่ให้พลังงานรวม (gross energy) สูงถึง 4,100 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (Brambilla and Hill, 1966) จึงสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ได้ (วิภา, 2546) โดยเฉพาะอุตสาหกรรมเลี้ยงไก่เนื้อที่ขยายตัวมากขึ้นทุกปีตามความต้องการของผู้บริโภค ในขณะที่ต้นทุนวัตถุดิบอาหารสัตว์กลับมีราคาเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทพลังงาน เช่นข้าวโพด รำข้าว และปลายข้าว สำหรับอาหารไก่เนื้อที่ไม่สามารถขาดวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ให้พลังงานได้ จึงมีแนวคิดในการนำกลีเซอรินดิบที่เป็นผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ที่มีราคาถูกและมีในปริมาณมาก แต่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการมาใช้เพื่อทดแทนข้าวโพดที่ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์ จึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่เหมาะสมที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตไก่เนื้อ โดยเฉพาะต้นทุนวัตถุดิบอาหารสัตว์ และนอกจากนี้ยังเป็นการใช้ประโยชน์และเป็นการเพิ่มมูลค่าของกลีเซอรินดิบที่เป็นผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลได้อีกทางหนึ่ง

สำหรับการศึกษาเพื่อนำกลีเซอรินดิบมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ให้พลังงานในอาหารไก่เนื้อนั้น Dozier และคณะ (2008) ได้ศึกษาพบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (AME_n) ของกลีเซอรินดิบในไก่เนื้อสายพันธุ์ทางการค้า (Ross × Ross 708) ช่วงอายุ 7-10 วัน มีค่าเท่ากับ 3,621 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ในไก่ทดลองช่วงอายุ 21-24 วัน พบว่า มีค่าเท่ากับ 3,331 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และในไก่ทดลองช่วงอายุ 40-45 วัน พบว่า

มีค่าเท่ากับ 3,349 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลในโตรเจนมีค่าสูงขึ้นตามระดับของการกินได้ที่สูงขึ้น ในขณะที่เดียวกัน เมื่อไก่เนื้อได้รับกลีเซอรินดิบในระดับที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ไก่เนื้อมีอัตราการกิน และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลในโตรเจนให้สูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ Cerrate และคณะ (2006) พบว่า ในไก่เนื้อสายพันธุ์ทางการค้า (Cobb 500) ที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 2.5 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักตัว ปริมาณการกินได้ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการตายไม่แตกต่างกับไก่เนื้อที่รับอาหารสูตรมาตรฐาน ($P>0.05$) แต่ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 2.5 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ซากส่วนหน้าอกสูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มควบคุม ($P<0.05$)

สำหรับการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทน (2555) พบว่า ประเทศไทยมีความต้องการใช้ไบโอดีเซลเพิ่มมากขึ้นทุกปี โดยตั้งแต่ปี 2551 ถึงปี 2555 พบว่า ประเทศไทยมีความต้องการใช้ไบโอดีเซล (B100) เพิ่มขึ้นจาก 1.35 ล้านลิตร/วัน เป็น 3.64 ล้านลิตร/วัน และนอกจากนี้ยัง พบว่า ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2555 ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจาก 0.12 ล้านลิตร/วัน เป็น 2.40 ล้านลิตร/วัน ไบโอดีเซลที่ผลิตได้ในประเทศส่วนใหญ่จะมาจากแหล่งการผลิตขนาดใหญ่ของบริษัทเอกชนที่มีกำลังการผลิตไม่ต่ำกว่า 4,000 ลิตร/วัน จนถึง 1,400,000 ลิตร/วัน นอกจากนั้นจะเป็นไบโอดีเซลที่ผลิตจากแหล่งการผลิตขนาดกลางและขนาดเล็กของเกษตรกรในชุมชนและหน่วยงานราชการของภาครัฐ ที่มีกำลังการผลิตน้อยกว่า 4,000 ลิตร/วัน ซึ่งส่วนใหญ่มักจะผลิตเพื่อใช้เองในชุมชนหรือตามหน่วยงานต่างๆ จากข้อมูลดังกล่าวเป็นที่ยืนยันได้ว่าในแต่ละปีจะมีปริมาณกลีเซอรินดิบที่เป็นผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลในปริมาณมากและมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นทุกปีตามปริมาณการผลิตไบโอดีเซลที่เพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามกลีเซอรินดิบที่เป็นผลผลิตพลอยได้จากแหล่งการผลิตต่างๆ ส่วนใหญ่เป็นกลีเซอรินดิบที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ เพราะกระบวนการทำให้กลีเซอรินดิบมีความบริสุทธิ์นั้นต้องผ่านกระบวนการที่ซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายที่สูง จึงทำให้กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตต่างๆ มีสิ่งปนเปื้อนและองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ลักษณะกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรินดิบที่แตกต่างกันนั้น ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ในการผลิต ชนิดและปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Thompson and He, 2006)

ดังนั้นการนำกลีเซอรินดิบไปใช้เพื่อเป็นส่วนผสมในอาหารไก่เนื้อเพื่อทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ประเภทพลังงาน จึงมีความจำเป็นจะต้องศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพ ส่วนประกอบทางเคมีของกลีเซอรินดิบ และการใช้กลีเซอรินดิบในอาหารสัตว์ในระดับต่างๆ ว่าจะ

ให้การเจริญเติบโตและลักษณะซากที่แตกต่างกันหรือไม่ เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นส่วนผสมในอาหารไก่เนื้อ การทดลองในครั้งนี้จึงทำการศึกษาผลของการใช้กลีเซอรินดิบในอาหารไก่เนื้อในสูตรอาหารระดับต่างๆ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของกลีเซอรินดิบเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการนำกลีเซอรินดิบไปเสริมในอาหารไก่เนื้อ
2. ศึกษาถึงผลการเสริมกลีเซอรินดิบระดับต่างๆที่เหมาะสม ที่มีผลต่อปริมาณการกินได้ การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว สมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะซากและคุณภาพซาก

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

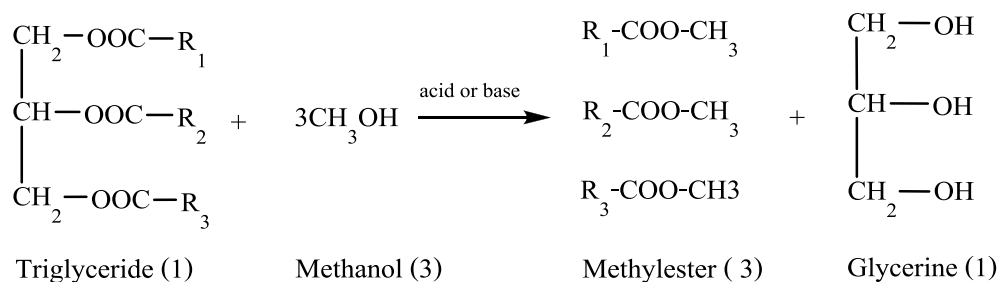
ไบโอดีเซล (biodiesel)

ไบโอดีเซลในความหมายทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ (พนม, 2544)

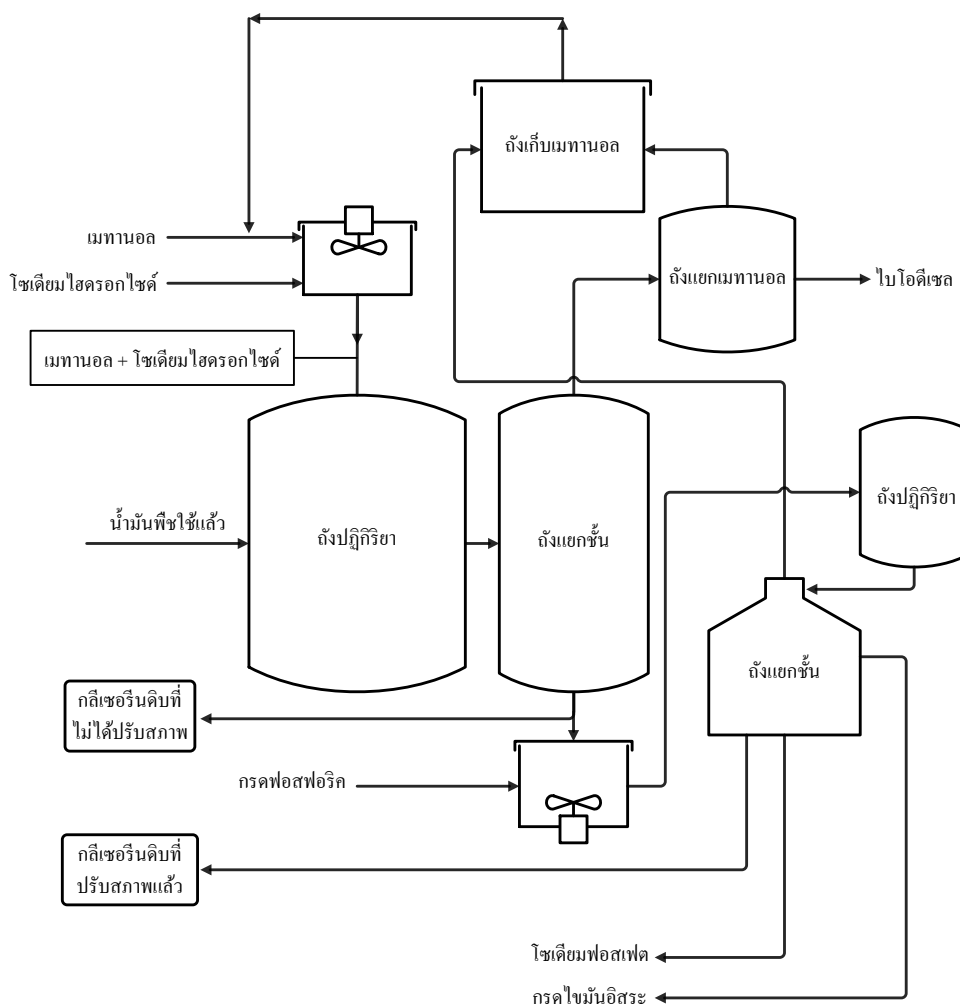
1. **น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์** ไบโอดีเซลชนิดนี้ได้จากน้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่ว น้ำมันหมู ซึ่งสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้เลย โดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่นๆ หรือเปลี่ยนแปลงสมบัติใดๆ

2. **ไบโอดีเซลแบบลูกผสม** ไบโอดีเซลชนิดนี้เป็นส่วนผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับน้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล เพื่อให้ได้สมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซล เช่น โคโคดีเซล (coco-diesel) ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือปาล์มดีเซล (palm-diesel) เป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล เป็นต้น

3. **ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์** คือไบโอดีเซลที่ผลิตมาจากสารประเภทไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็น C_3H_5 เชื่อมต่อกับกรดไขมัน ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว สามารถพบได้ในธรรมชาติ เช่น น้ำมันจากพืช น้ำมันสัตว์ และไขมันสัตว์ โดยผ่านปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่า “ทรานเอสเตอริฟิเคชัน” (transesterification) (ภาพที่ 1 และ 2) ปฏิกิริยานี้จะเป็นการทำปฏิกิริยาทางเคมีของไตรกลีเซอไรด์กับสารประเภทแอลกอฮอล์เช่น เอทานอล (C_2H_5OH) หรือเมทานอล (CH_3OH) โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี เมื่อไตรกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้เอทานอลเป็นสารทำปฏิกิริยาจะได้สารผลิตภัณฑ์เป็นเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid ethyl ester) ซึ่งมีสูตรโมเลกุลคือ $C_{20}H_{38}O_2$ แต่ถ้ามีการใช้เมทานอลเป็นสารทำปฏิกิริยา ก็จะได้สารผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid methyl ester) ซึ่งมีสูตรโมเลกุลคือ $C_{17}H_{34}O_2$ ทั้งนี้ชนิดของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับประเภทของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต แต่การผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ส่วนใหญ่นิยมใช้เมทานอลเป็นสารเร่งปฏิกิริยาแทนเอทานอล เนื่องจากให้ประสิทธิภาพการผลิตที่สูงกว่าและมีราคาถูกกว่า (Schumacher, 2007) โดยสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งหมดเรียกโดยทั่วไปว่า “เอทิลเอสเทอร์” หรือ “ไบโอดีเซลเอสเทอร์” และในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเอสเทอร์หรือปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันนี้จะได้กลีเซอรินดิบเป็นผลผลิตพลอยได้



ภาพที่ 1 ปฏิกริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเตอร์
ที่มา : Jangerman (1991)



ภาพที่ 2 แผนผังการผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเตอร์ในระดับอุตสาหกรรม
ที่มา : Singhabhandhu และ Tezuka (2010)

กลีเซอริน

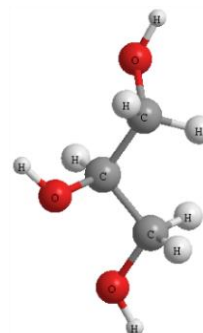
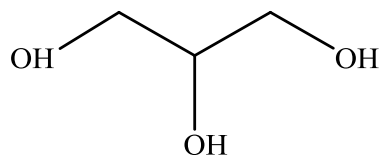
กลีเซอริน ได้ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1779 โดยนักวิทยาศาสตร์ด้านเคมีชาวสวีเดนชื่อ K.W. Scheele ในขณะที่ทำการสกัดน้ำมันมะกอกที่มีออกไซด์ของตะกั่วผสม (lead monoxide) ซึ่งได้เรียกชื่อของกลีเซอรินที่ถูกค้นพบครั้งนั้นเรียกว่า "sweet principle of fat" ต่อมาจึงได้เปลี่ยนมาเป็น glycerin ซึ่งตรงกับคำในภาษากรีกว่า "glykys" ซึ่งแปลว่า "มีรสหวาน" ต่อมาได้มีการค้นพบว่า กลีเซอริน สามารถสกัดได้จากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ที่อยู่ในรูปเอสเทอร์ ที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า กลีเซอไรด์ (glyceride) ปัจจุบันกลีเซอรินเป็นชื่อเรียกทางการค้าของสารที่มีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3-trihydroxypropane, 1,2,3-propanetriol, glycolic alcohol, glyceritol หรือ glycerol แต่โดยทั่วไปการเรียกชื่อกลีเซอรินจะเรียกกันตามค่าความบริสุทธิ์ ถ้ากลีเซอรินมีค่าความบริสุทธิ์มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ จะเรียกว่า "กลีเซอรอล" (glycerol) แต่ถ้าเป็นกลีเซอรินที่มีค่าความบริสุทธิ์ต่ำกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ จะเรียกว่า "กลีเซอริน" (glycerin) (SDA, 1990)

กลีเซอรินเป็นสารประเภทน้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugar alcohol) ที่มีสูตรโมเลกุล $C_3H_5(OH)_3$ กลีเซอรินมีโครงสร้างเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่โมเลกุลมีเฉพาะพันธะเดี่ยวหรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าอัลเคน (alkane) โดยอัลเคนชนิดที่เป็นส่วนประกอบของกลีเซอรินคือโพรเพน (propane) กลีเซอรินเป็นสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จับกับหมู่แอลคิล (alkyl group) 3 หมู่ (ภาพที่ 3) มีชื่อเรียกกันโดยทั่วไปว่าไตรไฮดริคแอลกอฮอล์ (trihydric alcohol) กลีเซอรินเป็นสารที่มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ดังนั้นกลีเซอรินจึงเป็นสารที่จัดอยู่ในประเภทสารที่มีขั้ว (polar molecule) เนื่องจากกลีเซอรินเป็นสารประเภทมีขั้ว จึงทำให้กลีเซอรินสามารถทำละลายได้ดีในน้ำและแอลกอฮอล์ และสามารถละลายได้บ้างในตัวทำละลายชนิดอื่นยกเว้นสารเคมีประเภทไฮโดรคาร์บอน กลีเซอรินบริสุทธิ์ มีจุดหลอมละลาย (melting point) ที่ 17.8 องศาเซลเซียส ค่าจุดเดือด (boiling point) เท่ากับ 290 องศาเซลเซียส สามารถคิดไฟได้ มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ (specific gravity) 1.2636 (20°C) และมีมวลโมเลกุล (molecular mass) เท่ากับ 92.09 และมีค่าพลังงานรวม (gross energy) เท่ากับ 3,970 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (AOAC, 2000) ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับสมบัติทางเคมีของกลีเซอรินบริสุทธิ์ที่กำหนดโดย AOCS (2000) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 นอกจากนี้กลีเซอรินมีความคงตัวสูงภายใต้สภาวะปกติ และสามารถทำปฏิกิริยากับสารชนิดอื่นให้สารอนุพันธ์หลายชนิด ดังนั้นกลีเซอรินจึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท รวมทั้งใช้ในการผสมเป็นส่วนประกอบอาหารสัตว์ (วิภา, 2546)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติโดยทั่วไปของกลีเซอรินบริสุทธิ์

คุณสมบัติ	ค่าที่วัดได้
น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight)	92.09
ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)	1.2636 (20 °C) ; 1.2620 (25 °C)
แรงดันไอ (vapor pressure)	0.0025 mm (50 °C)
จุดเดือดที่ความดันปกติ (boiling point)	150.2 °C (5 mm)
จุดเดือดที่ความดันต่ำ (boiling point at low pressure)	166.1 °C (10 mm) 181.3 °C (20 mm) 190.9 °C (30 mm) 198.0 °C (40 mm)
จุดหลอมเหลว (melting point)	18.17 °C
จุดเยือกแข็ง (freezing point)	(66.7% glycerin solution) -46.5 °C
ความหนืด (viscosity)	1499 centipoises (20 °C)
จุดวาบไฟ (flash point)	(99.0% glycerin) 177 °C
ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ (heat of combustion)	397.0 kcal/mole
แรงตึงผิว (surface tension)	63.4 dyne cm (20 °C) 58.6 dyne cm (90 °C) 51.9 dyne cm (150 °C)

ที่มา : ดัดแปลงจาก AOCS (2000)



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีและแบบจำลอง 3 มิติของกลีเซอริน

ที่มา : Jangerman (1991)

การจำแนกประเภทของกลีเซอริน

กลีเซอรินที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดส่วนใหญ่แล้วเป็นกลีเซอรินที่ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมซึ่งมีความบริสุทธิ์ตามมาตรฐานของ United State Pharmacopeia (USP) และ Food Chemicals Codex (FCC) นอกจากนี้ยังมีกลีเซอรินที่ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมที่มีความบริสุทธิ์ไม่เกินไปตามมาตรฐานของ United State Pharmacopeia และ Food Chemicals Codex ซึ่งสามารถจำแนกตามข้อสรุปของ Singhabhandhu และ Tezuka (2010) ได้ดังนี้

1. กลีเซอรินดิบที่มีความบริสุทธิ์ 70-90 เปอร์เซ็นต์ เป็นกลีเซอรินดิบที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานของ USP และ FCC
2. กลีเซอรินดิบที่เป็นไปตามมาตรฐานของ USP และ FCC ได้ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งสามารถจำแนกเป็นประเภทย่อยๆ ได้อีกดังนี้
 - 2.1 กลีเซอรินที่มีความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ (technical grade) ซึ่งเป็นประเภทที่นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรม
 - 2.2 กลีเซอรินที่มีความบริสุทธิ์ 96 เปอร์เซ็นต์ (USP) ซึ่งเป็นกลีเซอรินที่ใช้ น้ำมันพืชเป็นสารตั้งต้นในการผลิตซึ่งมีความบริสุทธิ์ได้ตามมาตรฐาน United State Pharmacopeia
 - 2.3 กลีเซอรินที่มีความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ (USP) ซึ่งเป็นกลีเซอรินที่ใช้ไขมันสัตว์เป็นสารตั้งต้นในการผลิตซึ่งมีความบริสุทธิ์ได้ตามมาตรฐาน United State Pharmacopeia
 - 2.4 กลีเซอรินที่มีความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ (USP) ซึ่งเป็นกลีเซอรินที่ใช้ น้ำมันพืชเป็นสารตั้งต้นในการผลิตซึ่งมีความบริสุทธิ์ได้ตามมาตรฐาน United State Pharmacopeia
 - 2.5 กลีเซอรินที่มีความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ (USP) และ 99.7 เปอร์เซ็นต์ (FCC) ซึ่งเป็นกลีเซอรินที่มีความบริสุทธิ์ได้ตามมาตรฐาน United State Pharmacopeia และ Food Chemicals Codex

ลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปของกลีเซอริน

กลีเซอรินบริสุทธิ์มีลักษณะใส หนืด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ ด้วยโครงสร้างทางเคมีของกลีเซอรินบริสุทธิ์ที่มีลักษณะคล้ายน้ำตาล จึงทำให้กลีเซอรินมีรสหวาน ซึ่งความหวานจะมีค่าอยู่ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำตาลซูโครส (Budavari, 1989)

กลีเซอรินดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลทั่วไปจะมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.236 (AOCS, 2000) ในขณะที่กลีเซอรินดิบจะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 0.86-0.90 (SDA,

1990) จึงทำให้กลีเซอรินดิบอยู่แยกชั้นกับไบโอดีเซลดังแสดงในภาพที่ 4 กลีเซอรินดิบที่ผ่านกระบวนการแยกไบโอดีเซลออกจะมีลักษณะ ขุ่นข้น หนืด มีสีน้ำตาลเข้ม หรือสีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นของแอลกอฮอล์ และน้ำมันไบโอดีเซลเจือปน โดยลักษณะความใส สี หรือกลิ่น ของกลีเซอรินดิบจะแตกต่างกันตามองค์ประกอบทางเคมีที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของไตรกลีเซอไรด์ที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้น รวมทั้งปริมาณและชนิดของสารเคมีที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล นอกจากนี้ กลีเซอรินดิบยังมีสิ่งปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง เช่น เมทานอล ไบโอดีเซล กรดไขมันอิสระ สบู่ และแร่ธาตุชนิดต่างๆ ดังนั้นก่อนนำกลีเซอรินดิบไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ผลิตอาหาร การผลิตยา ผลิตเครื่องสำอาง และผลิตน้ำมันหล่อลื่น จำเป็นจะต้องทำให้กลีเซอรินดิบมีความบริสุทธิ์เสียก่อน



ภาพที่ 4 การแยกชั้นของกลีเซอรินดิบจากไบโอดีเซลหลังจากวางทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาที

(ภาพโดย อติสร เศรษฐพงศ์ พ.ศ. 2554)

กระบวนการทำให้กลีเซอรินดิบบริสุทธิ์

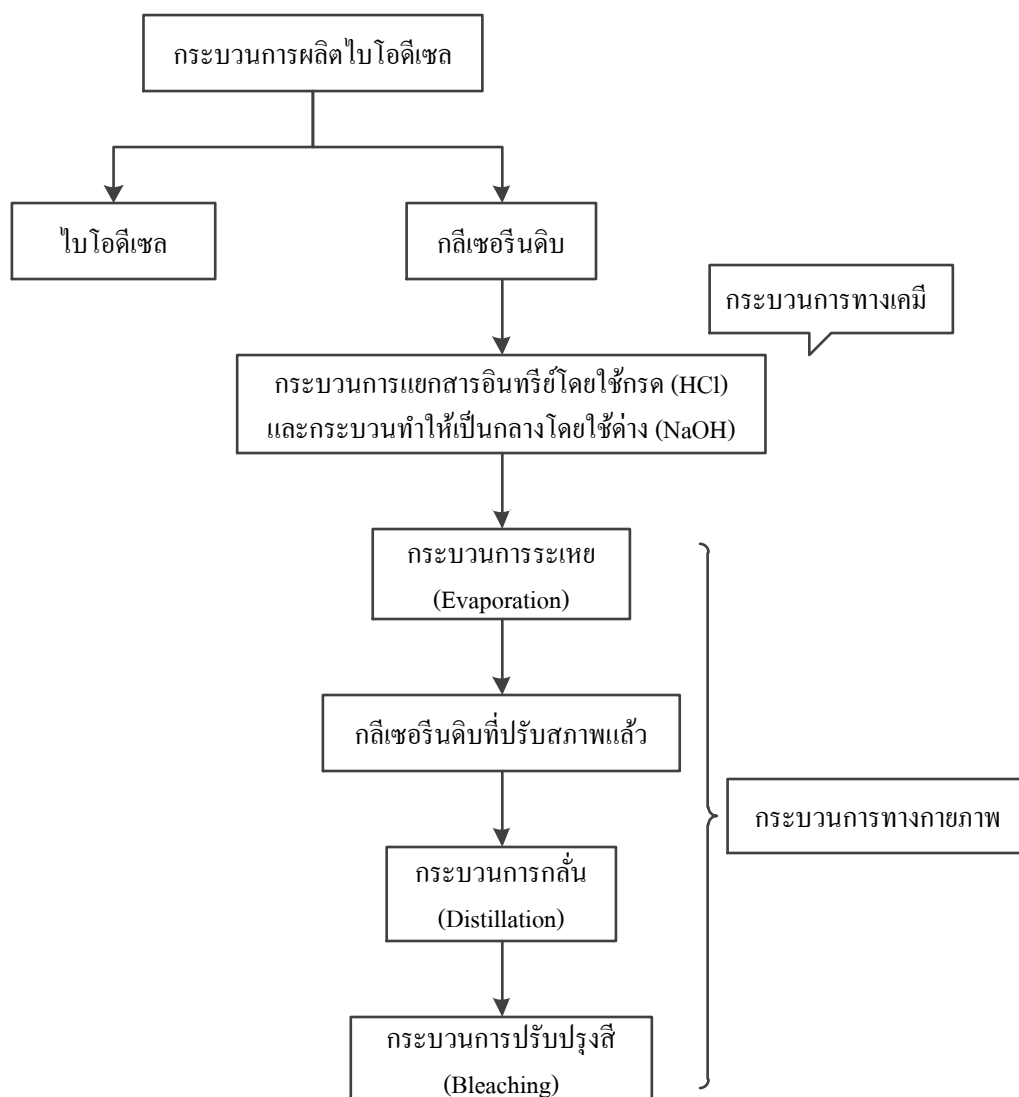
Jangerman (1991) ได้นำเสนอกระบวนการทำให้กลีเซอรินดิบบริสุทธิ์ไว้ 2 ดังนี้ (ภาพที่ 5)

1. กระบวนการทำให้กลีเซอรินดิบบริสุทธิ์โดยใช้กระบวนการทางเคมี

การทำให้กลีเซอรินดิบบริสุทธิ์โดยกระบวนการทางเคมี เป็นการกำจัดเกลือและสารเร่งปฏิกิริยาที่ตกค้างจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยการแยกสารอินทรีย์ (สบู่ กรดไขมัน และเมทิลเอสเทอร์) ที่ไม่ละลายออกจากกลีเซอรินดิบด้วยการเติมกรด จากนั้นจึงทำให้เป็นกลางโดยใช้ด่าง นอกจากนี้ยังมีกระบวนการใช้สารกรองเรซิน (ion exchange resin) มาเพื่อกำจัดสบู่และเถ้าที่ตกค้างในกลีเซอรินดิบ และมีการนำกระบวนการฟอก (bleaching) โดยถ่านกัมมันต์มาใช้เพื่อปรับปรุงสีของกลีเซอรินดิบและช่วยกำจัดไขมันรวมไปถึงกรดไขมันที่มีมวลโมเลกุลต่ำที่ตกค้างในกลีเซอรินดิบ

2. กระบวนการทำให้กลีเซอรินดิบบริสุทธิ์โดยกระบวนการทางกายภาพ

การทำให้กลีเซอรินดิบบริสุทธิ์โดยกระบวนการทางกายภาพ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดไขมันและน้ำ โดยวิธีที่นิยม คือ การใช้กระบวนการกลั่น เพื่อแยกและทำให้ได้สารที่บริสุทธิ์ การแยกด้วยวิธีการนี้มิใช่กันอย่างแพร่หลายเพื่อให้ได้ผลผลิตสุดท้ายที่มีสมบัติตรงตามความต้องการ กระบวนการแยกสารผสมของเหลวไป 2 เป็นส่วนประกอบแต่ละส่วน ซึ่งเป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเลียม โดยอาศัยหลักการดังนี้คือ เมื่อของเหลวได้รับความร้อนจนถึงจุดเดือด (boiling point) องค์ประกอบของสารส่วนที่เป็นไอจะแตกต่างจากสารที่เป็นส่วนของเหลว



ภาพที่ 5 กระบวนการทำให้กลีเซอรินดิบมีความบริสุทธิ์

ที่มา : สุธารักษ์ (2544)

อย่างไรก็ตามกระบวนการทำให้กลีเซอรินดิบมีความบริสุทธิ์มีความยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้นปัจจุบันจึงนิยมนำกลีเซอรินดิบที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนแก๊สหุงต้ม นำกลีเซอรินดิบไปกลั่นเพื่อนำเมทานอลที่หลงเหลืออยู่กลับไปใช้ใหม่ และใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เป็นต้น (วิภา, 2546)

สำหรับการนำกลีเซอรินดิบเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ยังมีข้อจำกัด ทั้งนี้เพราะในกลีเซอรินดิบมีเมทานอล และกรดไขมันอิสระหลงเหลืออยู่ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระดับพลังงานในอาหาร นอกจากนี้เรื้อราบางตัวที่ปนเปื้อนอยู่ในกลีเซอรินดิบยังอาจส่งผลกระทบต่อร่างกายสัตว์เมื่อ

ได้รับในปริมาณสูง เช่น โซเดียม และโพแทสเซียม (Cerrate *et al.*, 2006) ยิ่งไปกว่านั้น องค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรินดิบก็ยังมีความแตกต่างกันตามวัตถุดิบในการผลิต และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล จะส่งผลให้ได้กลีเซอรินดิบที่เป็นผลผลิตพลอยได้มีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้นก่อนที่จะนำกลีเซอรินดิบมาใช้เป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ จึงมีความจำเป็นที่จะต้อง ทำการศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรินดิบที่ได้มาจากแหล่งต่างๆ เพื่อนำมาเป็น ข้อมูลสำหรับกำหนดส่วนผสมอาหารสัตว์ได้อย่างถูกต้อง



ภาพที่ 6 ลักษณะกลีเซอรินที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์และกลีเซอรินดิบ
(ภาพโดย อติสร เศรษฐพงศ์ พ.ศ. 2554)

ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรินดิบ

Thompson และ He (2006) ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของกลีเซอรินดิบที่ผลิตจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เช่น น้ำมันมัสตาร์ด (mustard oil) ที่ผลิตจากเมล็ดมัสตาร์ดสายพันธุ์ IdaGold (*Sinapis alba*) และ PacGold (*Brassica juncea*) น้ำมันเมล็ดเรพ (rapeseed oil) น้ำมันคาโนลา (canola oil) น้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil) น้ำมันเมล็ดแครมเบ (crambe oil) และน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้เมทานอล (MeOH) เป็นสารทำปฏิกิริยา และโซเดียมเมทิลเลต (CH_3NaO) เป็นสารเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในตารางที่ 2 จากผลการศึกษา พบว่า กลีเซอรินดิบที่ผลิตจากน้ำมันชนิดต่างๆ มีความหนืดและส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกันตามชนิดน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการ โดยกลีเซอรินดิบมีค่าความหนืดน้อยกว่าน้ำมันพืชแต่ค่าความหนืดของกลีเซอรินดิบที่ได้มาจากพืชน้ำมันชนิดต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ส่วนกลีเซอรินดิบที่ได้มาจากน้ำมันพืชใช้แล้วมีค่าความหนืดของกลีเซอรินดิบสูงกว่ากลีเซอรินดิบที่ได้มาจากน้ำมันพืชบริสุทธิ์ชนิดอื่น (ตารางที่ 3) ทั้งนี้เป็นผลมาจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้ น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบ เกิดปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ทำให้มี กรดไขมันอิสระ สบู่ แร่ธาตุ เมทิลเอสเทอร์ และกลีเซอไรด์ประเภทต่างๆ ที่เกิดหลังจากปฏิกิริยาเคมีผสมอยู่ในกลีเซอรินดิบด้วย และนอกจากนี้ จากการศึกษาของ Dorsey (1940) ยังพบอีกด้วยว่าค่าความหนืดของกลีเซอรินดิบมีผลมาจากระดับของอุณหภูมิ และเปอร์เซ็นต์ ความชื้นที่ปนเปื้อนในกลีเซอรินดิบ โดยพบว่า เมื่ออุณหภูมิและความชื้นของกลีเซอรินดิบสูงขึ้น ค่าความหนืดของกลีเซอรินดิบจะลดลง (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 2 ชนิดวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตกลีเซอรินดิบ

Feedstock	IdaGold	PacGold	Rapeseed	Canola	Soybean	Crambe	WVO ^[a]
Oil (g)	91.1	94.8	99.3	90.5	89.5	100.4	89.0
MeOH (g)	19.54	19.54	19.54	19.54	19.54	19.54	19.54
NaOCH ₃	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
Total	117.1	114.8	119.3	110.5	109.5	120.4	109.0

^[a] Waste vegetable oil

ที่มา : Thompson และ He (2006)

ตารางที่ 3 ค่าความหนืดของกลีเซอรินดิบที่ได้จากสารตั้งต้นในการผลิตชนิดต่างๆ^[a]

Feedstock	IdaGold	PacGold	Rapeseed	Canola	Soybean	Crambe	WVO ^[b]
Viscosity at 40 °C (cs)							
Oil	43.86±0.02	39.03±0.03	46.69±0.0	35.42±0.02	31.45±0.02	50.16±0.02	38.85±0.05
Crude glycerin	8.80±0.02	8.67±0.01	8.50±0.02	8.86±0.01	8.65±0.02	8.50±0.01	26.50±0.19
Heat of combustion (kJ/kg)							
Oil	40,104±93	39,854±100	39,784±67	39,508±93	39,223±67	40,418±123	38,877±126
Crude glycerin	18,600±374	19,428±228	19,721±270	20,510±263	19,627±393	19,472±340	25,176±193

^[a] Data shows are in format of “average ± standard deviation.”

^[b] Waste vegetable oil

ที่มา : Thompson และ He (2006)

ตารางที่ 4 ค่าความหนืดของกลีเซอรินที่ความบริสุทธิ์และอุณหภูมิระดับต่างๆ (centipoise/mPa s)

Glyc. % Wt.	Temperature (°C)											
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
0*	1.792	1.308	1.005	0.8007	0.6560	0.594	0.4688	0.4061	0.3565	0.3165	0.2838	
10	2.74	1.74	1.31	1.03	0.826	0.680	0.575	0.500	-	-	-	
20	3.44	2.41	1.76	1.35	1.07	0.879	0.731	0.635	-	-	-	
30	5.14	3.49	2.50	1.87	1.46	1.16	0.956	0.816	0.690	-	-	
40	8.25	5.37	3.72	2.72	2.07	1.62	1.30	1.09	0.918	0.763	0.668	
50	14.6	9.01	6.00	4.21	3.10	2.37	1.86	1.53	1.25	1.05	0.910	
60	29.9	17.4	10.8	7.19	5.08	3.76	2.85	2.99	1.84	1.52	1.28	
65	45.7	25.3	15.2	9.85	6.80	4.89	3.66	2.91	2.88	1.86	1.55	
67	55.5	29.9	17.7	11.3	7.73	5.50	4.09	3.23	2.50	2.03	1.68	
70	76	38.8	22.5	14.1	9.40	6.61	4.86	3.78	2.90	2.34	1.93	
75	132	65.2	35.5	21.2	13.6	9.25	6.61	5.01	3.80	3.00	2.43	
80	255	116	60.1	33.9	20.8	13.6	9.42	6.94	5.13	4.03	3.18	
85	540	223	109	58	33.5	21.2	14.2	10.0	7.28	5.52	4.24	
90	1310	498	219	109	60.0	35.5	22.5	15.5	11.0	7.93	6.00	
91	1590	592	259	127	68.1	39.8	25.1	17.1	11.9	8.62	6.40	
92	1950	729	310	147	78.3	44.8	28.0	19.0	13.1	9.46	6.82	
93	2400	860	367	172	89	51.5	31.6	21.2	14.4	10.3	7.54	
94	2930	1040	437	202	105	58.4	35.4	23.6	15.8	11.2	8.19	
95	3690	1270	523	237	121	67.0	39.9	26.4	17.5	12.4	9.08	
96	4600	1580	624	281	142	77.8	45.4	29.7	19.6	13.6	10.1	
97	5770	1950	765	340	166	88.9	51.9	33.6	21.9	15.1	10.9	
98	7370	2406	939	409	196	104	59.8	38.5	24.8	17.0	12.2	
99	9420	3090	1150	500	235	122	69.1	43.6	27.8	19.0	13.3	
100	12070	3900	1410	612	284	142	81.3	50.6	31.9	21.3	14.8	

ที่มา : Dorsey (1940)

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุชนิดต่างๆในกลีเซอรินดิบที่ได้จากสารตั้งต้นชนิดต่างๆ

Feedstock	IdaGold	PacGold	Rapeseed	Canola	Soybean	Crambe	WVO ^[b]
Measurement on oils							
Calcium (ppm)	2.7±0.2	4.9±0.5	15.7±0.6	7.6±0.9	3.1±0.2	47.7±0.6	BDL ^[a]
Potassium (ppm)	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Magnesium (ppm)	0.8±0.0	1.3±0.1	2.1±0.1	1.6±0.0	1.2±0.1	28.3±2.1	BDL
Phosphorus (ppm)	BDL	8.0±0.9	13.0±0.9	10.0±0.8	10.0±0.9	256±5.8	BDL
Sulfur (ppm)	26.0±2.2	23.0±1.5	24.0±1.1	22.0±1.8	22.0±0.6	44.0±1.2	28.0±2.7
Sodium (%wt)	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Carbon (%wt)	77.3±0.58	77.0±0.00	77.3±0.58	77.0±0.00	77.0±0.00	77.7±0.58	76.3±0.58
Nitrogen (%wt)	0.22±0.03	0.21±0.02	0.17±0.12	0.22±0.01	0.22±0.06	0.22±0.01	0.25±0.03
Measurement on crude glycerol							
Calcium (ppm)	11.7±2.9	23.0±1.0	24.0±1.7	19.7±1.5	11.0±0.0	163.3±11.6	BDL
Potassium (ppm)	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	216.7±15.3	BDL
Magnesium (ppm)	3.9±1.0	6.6±0.4	4.0±0.3	5.4±0.4	6.8±0.2	126±5.8	0.4±0.0
Phosphorus (ppm)	25.3±1.2	48.0±2.0	65.0±2.0	58.7±6.8	53.0±4.6	136.7±57.7	12.0±1.5
Sulfur (ppm)	21.0±2.9	16.0±1.4	21.0±1.0	14.0±1.5	BDL	128.0±7.6	19.0±1.8
Sodium (%wt)	1.17	16.0±1.4	21.0±1.0	14.0±1.5	BDL	128.0±7.6	19.0±1.8
Carbon (%wt)	24.0±0.00	24.3±0.58	25.3±0.58	26.3±0.58	26.0±1.00	24.0±0.00	37.7±0.58
Nitrogen (%wt)	0.04±0.02	0.04±0.01	0.05±0.01	0.05±0.01	0.04±0.03	0.06±0.02	0.12±0.01

^[a] BDL indicates values that are below the detection limit for corresponding analytical method. The detection limits in ppm were as follow;

Calcium – 2, potassium – 40, Magnesium – 0.20, sodium – 80, phosphorus – 5, sulfur – 15, carbon – 200, and nitrogen – 100

Data shows are in format of “average ± standard deviation.”

^[b] Waste vegetable oil

ที่มา : Thompson และ He (2006)

ตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่า น้ำมันพืชมีปริมาณของคาร์บอนอยู่ประมาณ 77 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกลีเซอรินดิบที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชมีคาร์บอนอยู่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กลีเซอรินดิบที่ผลิตได้มาจากน้ำมันพืชใช้แล้วมีคาร์บอนอยู่ 37.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับที่สูงกว่ากลีเซอรินดิบที่ได้จากน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ ปริมาณของคาร์บอนที่สูงดังกล่าวนี้มาจากสบู่อาร์ประกอบกลีเซอไรด์ เอสเตอร์ และกรดไขมัน ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา ละลายปนอยู่ในกลีเซอรินดิบสำหรับปริมาณไนโตรเจนที่พบในน้ำมันพืช พบว่า น้ำมันพืชมีไนโตรเจนอยู่ประมาณ 0.22 เปอร์เซ็นต์ และในกลีเซอรินดิบพบอยู่ที่ระดับ 0.05 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณ แคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส และกำมะถันที่พบอยู่ในกลีเซอรินดิบที่ผลิตจากน้ำมันชนิดต่างๆ พบว่า มีอยู่ในปริมาณ 4 ถึง 163 ppm ยกเว้น โซเดียมที่พบในระดับสูงกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโซเดียมที่พบนั้น เป็นผลมาจากการใช้โซเดียมเมทิลเลต (NaOCH_3) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

คุณค่าทางโภชนาของกลีเซอรินดิบ

Brambilla และ Hill (1966) ได้ทำการทดลองศึกษาหาค่าพลังงานรวม (gross energy) ของกลีเซอรินบริสุทธิ์ พบว่า กลีเซอรินบริสุทธิ์มีค่าพลังงานรวม เท่ากับ 4,100 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ขณะที่ Dozier และคณะ (2008) ได้ทำการทดลองหาค่าพลังงานรวมของกลีเซอรินดิบที่มีความบริสุทธิ์ 86.95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า กลีเซอรินดิบมีค่าพลังงานรวมเท่ากับ 3,625 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่ากลีเซอรินบริสุทธิ์มีค่าพลังงานรวมมากกว่ากลีเซอรินดิบ นอกจากนี้ยังพบว่า กลีเซอรินดิบที่มีความบริสุทธิ์ 86.95 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (AME_n) เมื่อทำการทดลองในไก่เนื้อสายพันธุ์ทางการค้า (Ross \times Ross 708) เท่ากับ 3,434 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าประมาณ 92-95 เปอร์เซ็นต์ ของกลีเซอรินบริสุทธิ์ เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนของกลีเซอรินดิบกับค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนของไขมันจากไก่เนื้อ พบว่า มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนของกลีเซอรินดิบมีค่าพลังงานอยู่ที่ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนที่มาจากไขมันไก่เนื้อ (Cullen *et al.*, 1962) และเมื่อนำเปรียบเทียบกับน้ำมันข้าวโพด พบว่า กลีเซอรินดิบให้พลังงานเท่ากับ 36 เปอร์เซ็นต์ ของค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนจากน้ำมันข้าวโพด (NRC, 1994) ดังนั้นกลีเซอรินดิบจึงสามารถทดแทนโภชนาที่ให้พลังงานได้บางส่วน (Dozier *et al.*, 2008)

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบทางโภชนะและค่าพลังงานรวมของกลีเซอรินดิบ

Specification ¹	Value	Analytical method
Analysis 1 ¹		
Total glycerin,%	86.95	ASTM D 6584-00E01 (ASTM, 2006)
Methanol,%	0.028	Gas Chromatography (proprietary method)
pH	5.33	Orion 230 S pH meter with 9107 BN probe
Moisture,%	6.63	AOCS Ca 2e-84 (AOAC, 2000)
NaCl,%	3.13	AOCS Db 7-48 (AOCS, 2000)
Ash,%	3.19	AOCS Ca 11-15 (AOCS, 2000)
Total fatty acid,%	0.29	AOCS G 4.40, (AOCS, 2000)
Analysis 2 ²		
Moisture,%	9.22	AOAC 984.20 (AOAC, 1996)
CP,%	0.41	AOAC 990.03 (AOAC, 1996)
Crude fat,%	0.12	AOAC 920.39 (A) (AOAC, 1996)
Ash,%	3.19	AOAC 942.05 (AOAC, 1996)
Na,%	1.26	AOAC 956.01 (AOAC, 1996)
Chloride,%	1.86	AOAC 9.15.01, 943.01 (AOAC, 1996)
K,%	<0.005	AOAC 956.01 (AOAC, 1996)
Color, fat analysis committee color	<1	AOCS Cc 13a-43 (AOAC, 2000)
Standard		
Analysis 3 ³		
Gross energy (kcal/kg)	3,625±26	Adiabatic bomb calorimeter

¹Values reported by AGP Inc., Sergeant Bluff, IA Lot # GB605-03.

²Analysis by University of Missouri-Columbia experiment Station Chemical Laboratories, Columbia, MO.

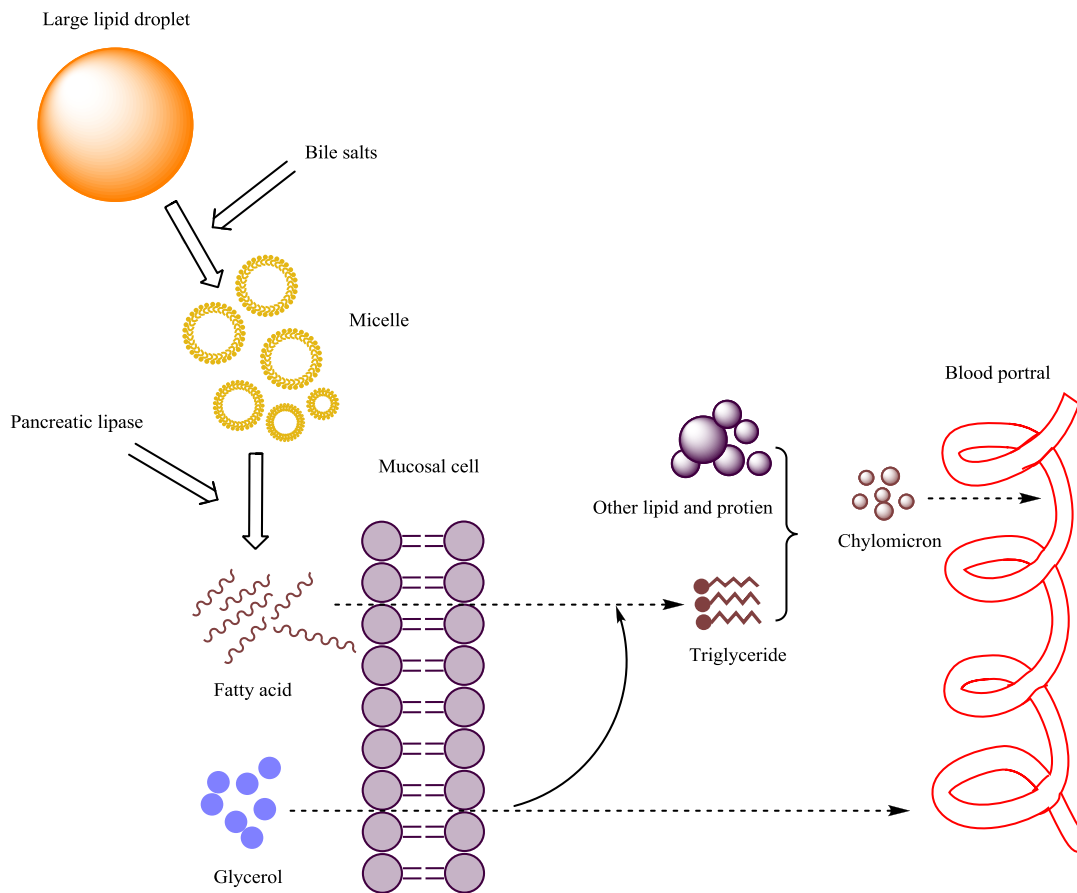
³Analysis by USDA, National Swine Research and Information Center, Ames, IA.

ที่มา : Dozier และคณะ (2008)

กระบวนการดูดซึมกลีเซอริน

ปกติแล้วร่างกายได้รับกลีเซอรินจากการย่อยสารประเภทไขมันจากอาหารและไขมันในร่างกาย ไขมันเป็นสารประเภทไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมัน 3 โมเลกุล จับกับกลีเซอริน 1 โมเลกุล ด้วยพันธะเอสเทอร์ ไตรกลีเซอไรด์จัดอยู่ในสารประเภทที่มีขั้วและไม่มีขั้วจึงละลายน้ำได้ยาก ดังนั้นก่อนที่จะถูกย่อยโดยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก ร่างกายจึงมีกระบวนการทำให้ไขมันละลายเข้ากับน้ำโดยการทำให้ขนาดของหยดไขมันมีขนาดเล็กลง (emulsification) โดยอาศัยกรดน้ำดีและเกลือน้ำดี (bile acid and bile salt) เพื่อช่วยกระจายโมเลกุลของไขมันให้อยู่ในรูปโครงสร้างไมเซลล์ผสม (mixed micelle) ซึ่งจะช่วยให้ไขมันละลายน้ำได้ดีขึ้น ก่อนที่จะถูก

ไฮโดรไลซ์ (hydrolyze) โดยเอนไซม์ไลเปส (lipase) จากตับอ่อน ซึ่งเรียกขั้นตอนในกระบวนการนี้ว่ากระบวนการไลโปไลซิส (lypolysis) หลังจากกระบวนการไลโปไลซิสไขมันจะถูกย่อยสลายได้เป็นกรดไขมัน 2 ชนิดคือ กรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid) (C4-C6) กรดไขมันสายปานกลาง (medium chain fatty acid) (C8-C12) และกลีเซอริน หลังจากนั้นกรดไขมันทั้ง 2 ชนิดและกลีเซอรินก็จะถูกดูดซึมผ่านเซลล์ผนังลำไส้เล็ก (intestinal cell) โดยกระบวนการแพร่แบบธรรมดา (simple diffusion) เข้าสู่เส้นเลือดฝอย (capillaries) ทั้งนี้กลีเซอรินที่ผ่านเข้าสู่เส้นเลือดฝอยจะถูกส่งมายังตับเพื่อเข้าสู่กระบวนการเมแทบอลิซึมต่อไปดังแสดงในภาพที่ 7 กลีเซอรินส่วนหนึ่งที่ผ่านเซลล์ผนังลำไส้เล็กจะรวมกับกรดไขมันเป็นไตรกลีเซอไรด์ขึ้นมาใหม่ ต่อมาจะถูกส่งผ่านเข้าสู่กระแสเลือดโดยระบบน้ำเหลือง ก่อนที่จะผ่านไปยังระบบเลือดเพื่อนำไปสู่ตับและเนื้อเยื่อไขมันในร่างกาย กลีเซอรินที่ร่างกายได้รับเป็นสารละลายที่สามารถละลายน้ำได้ (hydrophilic) กลีเซอรินจึงสามารถดูดซึมผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ด้วยวิธีการแพร่ โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการผ่านเข้าสู่เซลล์ผนังลำไส้เล็ก แต่จากการศึกษาของ Bartlet และ Schnieder (2002) พบว่า กลีเซอรินสามารถดูดซึมได้ในลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ของหนู โดยอาศัยโมเลกุลของ Na^+ อิศระ เป็นตัวกลางในการส่งผ่าน และนอกจากนี้ยังพบอีกว่า สารประกอบที่เป็นแอลกอฮอล์และสารที่มีคุณสมบัติคล้ายแอลกอฮอล์สามารถยับยั้งการดูดซึมของกลีเซอรินที่เซลล์ผนังลำไส้เล็กได้ สำหรับค่าการดูดซึมของกลีเซอรินในลำไส้เล็ก พบว่า ในหนูมีค่าการดูดซึมในลำไส้เล็กอยู่ในช่วง 70-90 เปอร์เซ็นต์ และ 97 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรและไก่ไข่



ภาพที่ 7 กระบวนการย่อยและดูดซึมกลีเซอริน
ที่มา : Kerr และคณะ (2007)

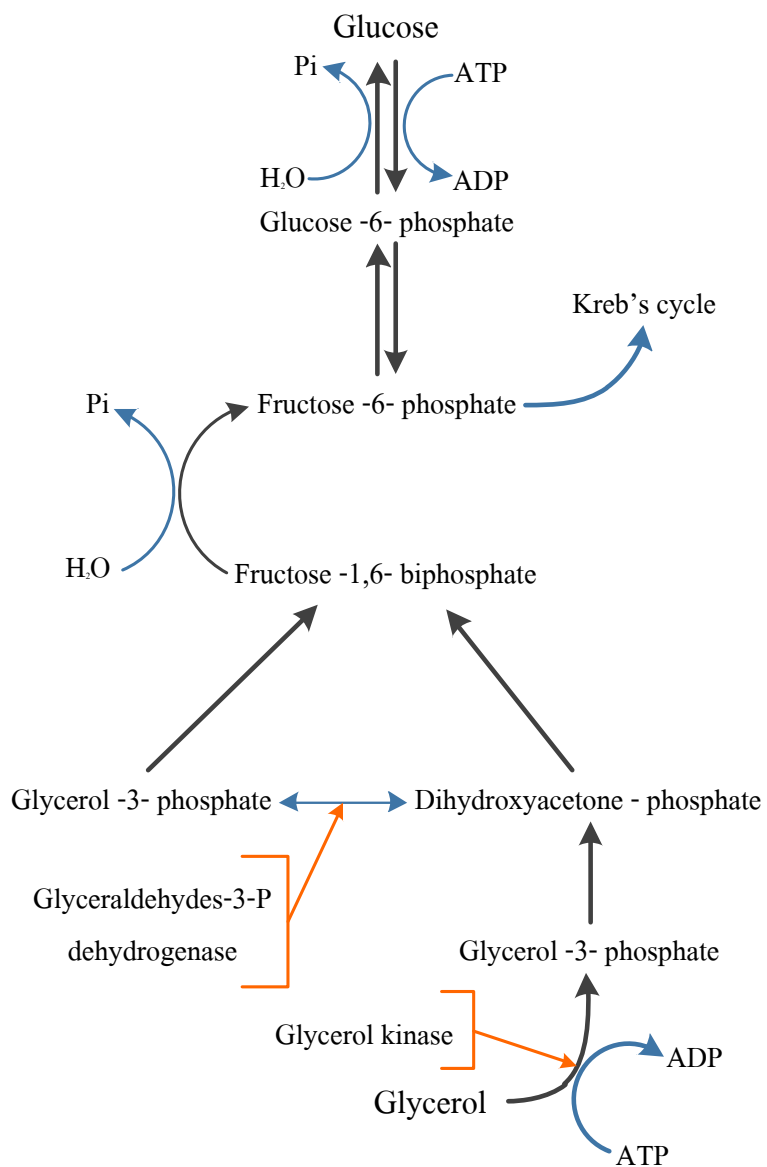
กระบวนการเมแทบอลิซึมกลีเซอริน

โดยปกติหลังจากกลีเซอรินถูกดูดซึมผ่านผนังเส้นเลือดฝอยเพื่อเข้าสู่กระแสเลือด กลีเซอรินก็จะถูกนำมายังตับเพื่อนำเข้าสู่กระบวนการเมแทบอลิซึม อย่างไรก็ตามมีกลีเซอรินบางส่วนได้ถูกนำมายังเนื้อเยื่อไขมันและกล้ามเนื้อลายเพื่อเปลี่ยนกลับไปเป็นไตรกลีเซอไรด์โดยใช้ปฏิกิริยาดีเอสเตอริฟิเคชัน (de-esterification) กลีเซอรินที่ถูกส่งมายังตับก็จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกลูโคสโดยกระบวนการกลูโคเนอเจนิส (gluconeogenesis) หรือเปลี่ยนไปเป็นพลังงานโดยกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) และวัฏจักรเครบ (Krebs cycle) (Rosebrough *et al.*, 1980)

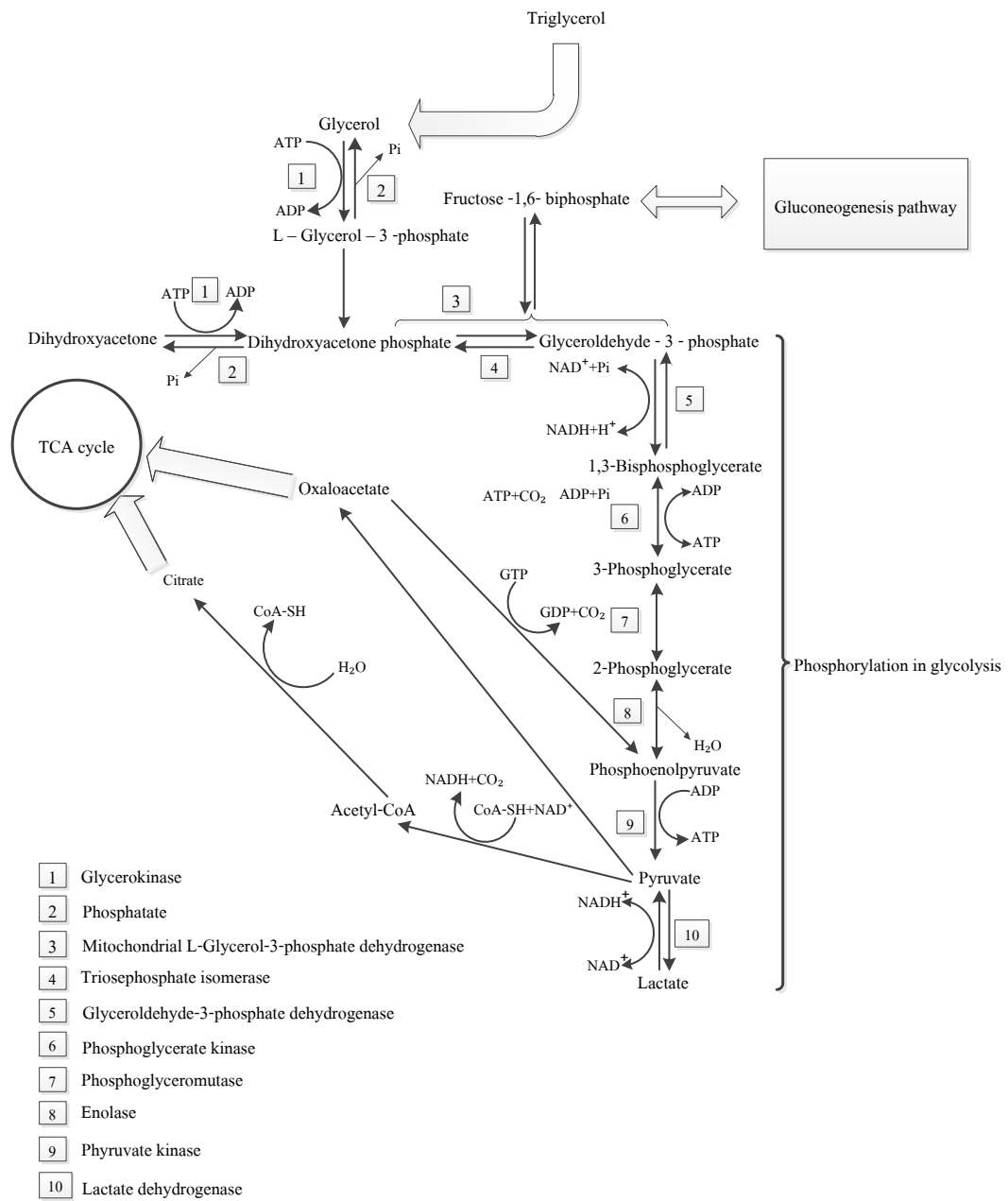
อนึ่งจากผลการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของกลีเซอริน พบว่า ในสภาวะปกติกลีเซอรินจะถูกนำมาใช้ในกระบวนการกลูโคเนอเจนิสได้เพียง 5 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น แต่หากร่างกายอยู่ในสภาวะขาดอาหารในระยะเวลา 2-3 วัน กลีเซอรินจะถูกนำมาใช้ในกระบวนการ

การกลูโคซิโอเจเนซิสในปริมาณสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ในตับ และ 38 เปอร์เซ็นต์ ในกล้ามเนื้อ การเพิ่มขึ้นของกระบวนการกลูโคซิโอเจเนซิสเมื่อร่างกายอยู่ในสภาวะอดอาหารจะส่งผลให้เกิดกระบวนการไกลโพอสิสเพิ่มขึ้นและในขณะเดียวกันก็จะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์กลีเซอรอล คินาส (glycerol kinase) และเอนไซม์กลีเซอรอล-3-ฟอสเฟต ดีไฮโดรจีเนส (glycerol-3-phosphate dehydrogenase) ให้เพิ่มมากขึ้นด้วย (Hagopian *et al.*, 2008)

โดยส่วนใหญ่กระบวนการเมแทบอลิซึมของกลีเซอรินในร่างกายจะเกิดขึ้นที่ตับและไต เมื่อคำนวณค่าพลังงานที่ได้ร่างกายได้รับทั้งหมดหลังจากกลีเซอรินผ่านเข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซิส พบว่า จะสลายตัวให้พลังงานเท่ากับ 22 ATP ต่อกลีเซอริน 1 โมล แต่ถ้ากลีเซอรินเปลี่ยนกลับไปเป็นกลูโคสในกระบวนการกลูโคซิโอเจเนซิส พบว่า จะสลายตัวให้พลังงานเท่ากับ 21 ATP ต่อกลีเซอริน 1 โมล (บุญล้อม, 2542) ซึ่งกระบวนการเมแทบอลิซึมของกลีเซอรินจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกลีเซอรินที่ได้รับ หรือระยะต่างๆของกระบวนการเมแทบอลิซึมที่เกิดขึ้นหลังจากที่ร่างกายได้รับกลีเซอริน (Kerr *et al.*, 2007) นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ประโยชน์ได้ของกลีเซอรินนั้นยังขึ้นอยู่กับปริมาณของเอนไซม์กลีเซอรอลคินาส และเอนไซม์กลีเซอรอล-3-ฟอสเฟต ดีไฮโดรจีเนส (glycerol-3-phosphate dehydrogenase) ที่ถูกใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของกลีเซอรินดังแสดงในภาพที่ 8 (Lin *et al.*, 1976) จากข้อมูลดังกล่าวมานี้แสดงให้เห็นว่ากลีเซอรินสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งโภชนาประเภทพลังงานในสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น ไก่เนื้อ (Dozier *et al.*, 2008) และสุกร (Lammer *et al.*, 2008)



ภาพที่ 8 กระบวนการกลูโคซิโอเจเนซิสโดยใช้กลีเซอรินเป็นสารตั้งต้น
ที่มา : Robergs และ Griffin (1998)



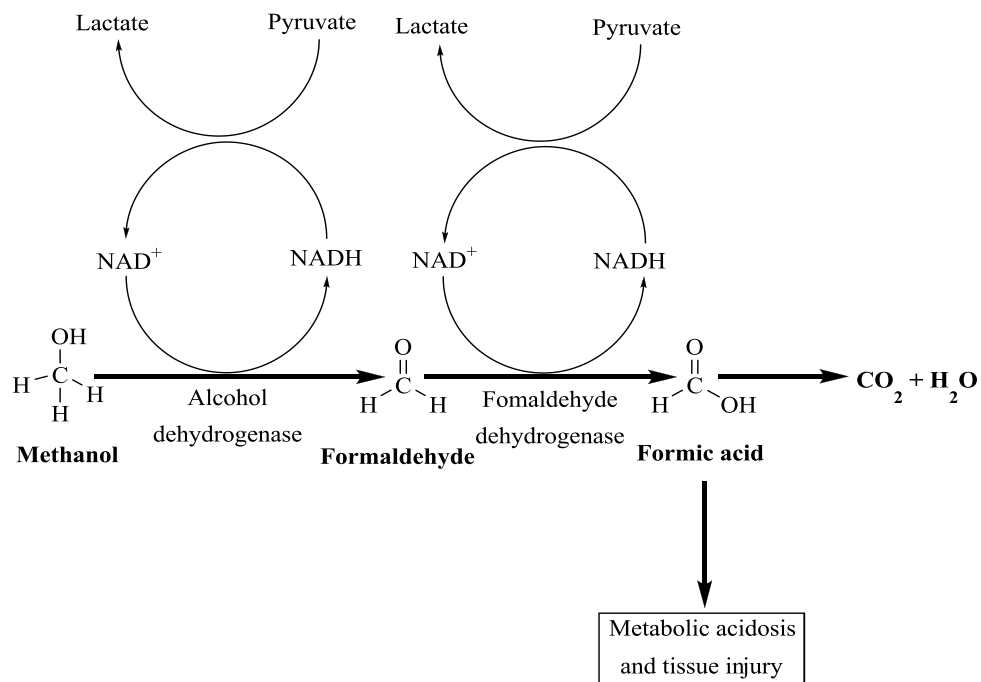
ภาพที่ 9 กระบวนการไกลโคไลซิสโดยใช้กลีเซอรินเป็นสารตั้งต้น

ที่มา : Robergs และ Griffin (1998)

สารเคมีที่ปนเปื้อนในกลีเซอรินดิบ

เมทานอลในกลีเซอรินดิบ

กลีเซอรินดิบที่ได้มาจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้เมทานอลในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันส่วนใหญ่จะมีเมทานอลปนเปื้อนอยู่ในปริมาณ 0.01-13.94 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ปริมาณเมทานอลที่ปนเปื้อนในกลีเซอรินดิบจะแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิต ปริมาณของเมทานอลที่ใช้ทำปฏิกิริยา ปริมาณของสารเคมีที่ใช้เร่งปฏิกิริยา และความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชัน (Hansen *et al.*, 2009) จากการศึกษาของ Roe และคณะ (1982) พบว่า เมทานอลเป็นสารเคมีที่เป็นพิษต่อสัตว์โดยเฉพาะสัตว์ประเภทไพรเมท (primate) และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม เมทานอลที่เข้าสู่ร่างกายจะถูกเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส (alcohol dehydrogenase) ในตับเปลี่ยนให้เป็นฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) หลังจากนั้นฟอร์มาลดีไฮด์ถูกเปลี่ยนเป็นกรดฟอร์มิก (formic acid) อย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 10) กรดฟอร์มิกที่สะสมอยู่ในร่างกายจะส่งผลให้ประสาทตาของสัตว์ถูกทำลายจนเกิดอาการตาบอด นอกจากนี้โคตินาไมด์อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ (NADH) ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ไพรูเวต (pyruvate) ถูกเปลี่ยนเป็นแลคเตท (lactate) มากขึ้น ซึ่งต่อมาแลคเตทจะถูกร่างกายเปลี่ยนไปเป็นกรดแลคติก โดยกรดแลคติกที่เกิดขึ้นจะเป็นสาเหตุให้ร่างกายเกิดภาวะโลหิตเป็นกรดสูง (metabolic acidosis) นอกจากนี้กรดแลคติกจะออกฤทธิ์ทำลายเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของร่างกายและเนื้อเยื่อตับอ่อนจนกลายเป็นเนื้อตาย (focal hepatocyte necrosis) และถ้าสัตว์ได้รับเมทานอลในปริมาณสูงอาจจะทำให้เสียชีวิตได้ (Kinoshita *et al.*, 1998) ดังนั้นก่อนที่จะนำกลีเซอรินดิบมาผสมในอาหารสัตว์ จึงควรคำนึงถึงระดับของเมทานอลในกลีเซอรินดิบที่นำมาผสมด้วย ทั้งนี้องค์การอาหารและยาแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (FDA) ได้แนะนำว่าไม่ควรมีเมทานอลปนเปื้อนในอาหารไก่เนื้อเกิน 150 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (0.015 เปอร์เซ็นต์)



ภาพที่ 10 กระบวนการเมแทบอลิซึมเมทานอล

ที่มา : Kinoshita และคณะ (1998)

การใช้กลีเซอรินดิบเป็นส่วนผสมของอาหารไก่เนื้อ

Dozier และคณะ (2008) ได้ศึกษาหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (AME_N) ของกลีเซอรินดิบในไก่เนื้อสายพันธุ์ทางการค้า (Ross × Ross 708) ที่อายุ 7-10 พบว่า กลีเซอรินดิบมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนเท่ากับ 3,621 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และในไก่ทดลองที่ได้รับอาหารสูตรมาตรฐานผสมกลีเซอรินดิบ 6 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และในไก่ทดลองช่วงอายุ 21-24 วัน พบว่า กลีเซอรินดิบมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนเท่ากับ 3,331 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า ไก่ทดลองมีการกินได้และค่าพลังงานรวมที่ได้รับสูงขึ้น โดยไม่มีผลต่อน้ำหนักตัว พลังงานที่เหลือในมูล และพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน สำหรับไก่ทดลองที่ช่วงอายุ 40-45 วัน พบว่ากลีเซอรินดิบมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนสูงขึ้นตามระดับของการกินได้ที่เพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าการเพิ่มระดับกลีเซอรินดิบในอาหารจะส่งผลให้ อัตราการกิน และค่าพลังงานรวมที่ได้รับมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

Cerrate และคณะ (2006) ได้ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพเจริญเติบโตและลักษณะซากของไก่เนื้อสายพันธุ์ทางการค้า (Cobb 500) เมื่อได้รับกลีเซอรินดิบระดับต่างๆ โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลองดังนี้ การทดลองที่ 1 เป็นการให้ไก่ทดลองได้รับอาหารสูตรมาตรฐานที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบ 0, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการตาย ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) กับไก่ทดลองกลุ่มควบคุมในทุกช่วงอายุ สำหรับไก่ทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่า น้ำหนักตัวเพิ่มที่อายุ 2 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) กับไก่ทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ และไก่ทดลองกลุ่มควบคุม แต่ในไก่ทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีน้ำหนักตัวเพิ่มที่อายุ 35 และ 42 วัน ค่อนข้างสูงกว่าไก่ทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ และไก่ทดลองกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อพิจารณาถึงลักษณะซาก พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะซากค้ำอกสูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และมีเปอร์เซ็นต์ซากส่วนหน้าอก เปอร์เซ็นต์ซากส่วนปีก เปอร์เซ็นต์ซากส่วนขาลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับไก่ทดลองกลุ่มควบคุม แต่พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติใดๆ ($P=0.11$) สำหรับไก่ทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ซากส่วนปีกสูงกว่าไก่ทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สำหรับการทดลองที่ 2 เป็นการให้ไก่ทดลองได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบ 0, 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กินสูงกว่าไก่ทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบ 2.5 เปอร์เซ็นต์ และไก่ทดลองกลุ่มควบคุมที่อายุ 35 และ 42 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบ 2.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักตัวเพิ่ม และปริมาณอาหารที่กินมากกว่าไก่ทดลองกลุ่มควบคุมในทุกช่วงอายุ แต่พบว่า ประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่มีความแตกต่าง ($P>0.05$) เมื่อพิจารณาถึงลักษณะซาก พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบ 2.5 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ซากส่วนหน้าอกสูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่พบว่า ซากส่วนปีกมีเปอร์เซ็นต์ค้ำอกสูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนเปอร์เซ็นต์ซากส่วนขา พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และเมื่อพิจารณาคุณภาพรวม พบว่า ซากส่วนหน้าอก และซากส่วนขา มีเปอร์เซ็นต์มากกว่าไก่ทดลองกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

Lammer และคณะ (2008) ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าพลังงานที่ย่อยได้ (DE) และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (AME_N) ของกลีเซอรินดิบในไก่ไข่พันธุ์ Bovans Brown ที่มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวไก่อยู่ที่ 1.37 ± 0.01 กิโลกรัม ($n=24$) ตั้งแต่ระยะเริ่มแรกของการทดลองโดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างทรีทเมนต์ ($P=0.06$) จากผลการทดลอง พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (AME_N) และระดับน้ำในมูลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) สำหรับค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยกลีเซอรินดิบมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ $3,805 \pm 238$ กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) กับค่าพลังงานรวมของกลีเซอรินดิบ นอกจากนี้ยังพบว่า ไก่ทดลองมีปริมาณการกินได้ในแต่ละวันเท่ากับ 104 ± 4 กรัม/วัน จำนวนไข่ที่ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 93.0 ± 2.6 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักไข่มีค่าเท่ากับ 56 ± 0.9 กรัม และค่าพลังงานรวมของกลีเซอรินดิบสุทธิ (>99%) เท่ากับ $4,305 \pm 30$ กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

Gianfelici และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณ เมื่อปรับสมดุลไนโตรเจน (AME_N) ของกลีเซอรินดิบในไก่เนื้อเพศผู้สายพันธุ์ทางการค้า (Ross 308) อายุ 35 วัน จำนวน 35 ตัว โดยให้ไก่ทดลองได้รับอาหารที่ผสมกลีเซอรินดิบ 4 ระดับคือ 5, 10, 15, 20 เปอร์เซ็นต์ โดยได้รับอาหารทดลองอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) เป็นระยะเวลา 3 วัน จากการทดลอง พบว่า ไก่ทดลองมีปริมาณน้ำที่ถูกขับออกมาทางมูลเพิ่มมากขึ้นเมื่อได้รับอาหารที่มีกลีเซอรินผสมอยู่ในระดับที่สูงขึ้น ($P \leq 0.001$) และมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนมีความแปรผันตามระดับกลีเซอรินดิบที่ผสมลงไปในการอาหาร โดยอาหารที่ผสมกลีเซอรินดิบในระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ จะค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยประมาณเมื่อปรับสมดุลไนโตรเจนเท่ากับ 4,890 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ซึ่งเป็นระดับที่สูงที่สุด และจะลดลงเมื่ออาหารมีระดับกลีเซอรินดิบในปริมาณที่สูงขึ้น

บทที่ 3

การทดลองที่ 1

การหาส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาของกลีเซอรินดิบ

บทนำ

การศึกษาหาส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาของกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตไบโอดีเซล นับเป็นสิ่งที่จำเป็นจะต้องศึกษาก่อนที่จะนำกลีเซอรินดิบไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ เพราะกลีเซอรินดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมักจะมีองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารที่แตกต่างกันตามวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการและสารเคมีที่ใช้ในการผลิต ซึ่งจะส่งผลต่อค่าพลังงานรวมในการนำไปใช้คำนวณเพื่อประกอบสูตรอาหาร นอกจากนี้สารเคมีตกค้างที่หลงเหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เช่น เมทานอล อาจจะเป็นอันตรายต่อสัตว์เมื่อได้รับในปริมาณมาก ดังนั้นการศึกษาหาส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาของกลีเซอรินดิบจึงเป็นสิ่งที่ควรจะต้องนำมาศึกษาและวิเคราะห์ ก่อนที่จะนำกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งต่างๆมาใช้เพื่อเป็นส่วนประกอบอาหารสัตว์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งต่างๆที่มีวัตถุดิบการผลิตสารเคมี และกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน
2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรินดิบได้จากแหล่งต่างๆที่มีวัตถุดิบการผลิตสารเคมี และกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน

แหล่งที่มาของตัวอย่างกลีเซอรินดิบ

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้กลีเซอรินดิบที่ได้มาจากแหล่งการผลิต 3 แหล่งการผลิต ที่มีขนาดกำลังการผลิตที่แตกต่างกัน โดยทำการเก็บตัวอย่างในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ดังนี้

1. แหล่งการผลิตขนาดใหญ่ เก็บตัวอย่างจาก โรงงานผลิตไบโอดีเซล บริษัท นิวไบโอดีเซล จำกัด อำเภอนาทอง จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีขนาดกำลังการผลิต 160,000 ลิตร/วัน ทำการเก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2553

2. แหล่งการผลิตขนาดกลาง เก็บตัวอย่างจาก สถานีวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีขนาดกำลังการผลิต 700 ลิตร/วัน ทำการเก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม 2553

3. แหล่งการผลิตขนาดเล็ก เก็บตัวอย่างจาก โครงการผลิตไบโอดีเซลชุมชน สถานีตำรวจภูธรรัตภูมิ อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา มีขนาดกำลังการผลิต 150 ลิตร/วัน ทำการเก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2553

แหล่งการผลิตทั้ง 3 แหล่งใช้วัตถุดิบในการผลิต สารเคมีในการทำปฏิกิริยา และสารเคมีที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 กลีเซอรินดิบที่ได้มาจากแหล่งการผลิตแตกต่างกัน 3 แหล่ง

แหล่งการผลิต	ปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ในการผลิต	วัตถุดิบตั้งต้น	สารทำปฏิกิริยา	สารเร่งปฏิกิริยา
ขนาดใหญ่ ^[1]	ทรานเอสเตอริฟิเคชัน	น้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันหมู	เมทานอล	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
ขนาดกลาง	ทรานเอสเตอริฟิเคชัน	น้ำมันพืชใช้แล้ว	เมทานอล	โซเดียมไฮดรอกไซด์
ขนาดเล็ก	ทรานเอสเตอริฟิเคชัน	น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์	เมทานอล	โซเดียมไฮดรอกไซด์

^[1] ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (glycerin purification) ด้วยกระบวนการกลั่นจนได้กลีเซอรินดิบที่มีความบริสุทธิ์ 82-85 เปอร์เซ็นต์

การสุ่มเก็บตัวอย่างกลีเซอรินดิบ

สุ่มเก็บตัวอย่างกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้กระบวนการทรานเอสเตอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ในกระบวนการผลิต แล้วนำไปเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิทเพื่อป้องกันการระเหยของเมทานอลและความชื้นที่ปนอยู่ในกลีเซอรินดิบ โดยจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างที่มาจากชุดการผลิตเดียวกันหรือมาจากแบทช์ (batch) เดียวกัน ทั้งนี้เพื่อลดความแปรปรวนอันอาจเกิดจากความแตกต่างของวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นในการผลิต

วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและสารเคมี

1. กลีเซอรินดิบ
2. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate analysis)
3. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์หาค่าความบริสุทธิ์ (purity)

อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์

1. เครื่องวัดความเป็นกรดต่างชนิดแท่งแก้วอิเล็กโทรด
2. เครื่องวิเคราะห์พลังงานในอาหาร (bomb calorimeter)
3. เครื่องสกัดชอกที่เลตสำหรับการวิเคราะห์ไขมัน
4. เครื่องกลั่นโปรตีนอัตโนมัติสำหรับการวิเคราะห์โปรตีน
5. เตาอบ
6. เครื่องชั่ง
7. เครื่องวัดความหนืดแบบ glass capillary kinematic viscometer
8. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี สำหรับการวิเคราะห์ เมทานอล กรดไขมันอิสระ สารประกอบกลีเซอไรด์ ในกลีเซอรินดิบ
9. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์หาค่าความบริสุทธิ์
10. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์แร่ธาตุ

แผนการทดลอง

การทดลองนี้ใช้ตัวอย่างกลีเซอรินดิบจาก 3 แหล่งการผลิต โดยแต่ละตัวอย่างทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 6 ซ้ำแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย (Mean) ตามเทคนิคที่แนะนำโดย Steel และ Torrie (1980)

วิธีการทดลอง

การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาของกลีเซอรินดิบทั้งหมดได้วิเคราะห์โดยวิธีและมาตรฐานการทดสอบดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เทคนิคการวิเคราะห์และมาตรฐานการทดสอบกลีเซอรินดิบ

รายการที่วิเคราะห์	เทคนิคการวิเคราะห์	มาตรฐานการทดสอบ
ลักษณะทางกายภาพ		
ความหนืด (cSt/s)	glass capillary viscometer	ASTM D445 (ASTM 2003)
pH	เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง	AOAC 981.12 (AOAC 2005)
องค์ประกอบทางเคมี		
ไขมันรวม (%)	การสกัดแบบต่อเนื่อง	ดัดแปลงจาก AOAC 954.02 (AOAC 2005)
โปรตีนรวม (%)	วิธีของเจลดาคัลล์	AOAC 981.10 (AOAC 2005)
ความชื้น (%)	การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก	AOAC 926.12 (AOAC 2005)
เถ้า (%)	การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก	AOAC 942.05 (AOAC 2005)
กรดไขมัน (mg/ml)	แก๊สโครมาโทกราฟี	ASTM D7638-10 (ASTM 2011)
กลีเซอไรด์	แก๊สโครมาโทกราฟี	ASTM EN14105 (ASTM 2003)
แร่ธาตุ		
แคลเซียม (ppm)	ICP emission spectroscopy	AOAC 985.01 (AOAC 2005)
ฟอสฟอรัส (ppm)	ICP emission spectroscopy	AOAC 985.01 (AOAC 2005)
กำมะถัน (ppm)	ICP emission spectroscopy	AOAC 985.01 (AOAC 2005)
โซเดียม (ppm)	ICP emission spectroscopy	AOAC 985.01 (AOAC 2005)
โพแทสเซียม (%wt)	ICP emission spectroscopy	AOAC 985.01 (AOAC 2005)
แมกนีเซียม (%wt)	ICP emission spectroscopy	AOAC 985.01 (AOAC 2005)
ไนโตรเจน (%wt)	ICP emission spectroscopy	AOAC 985.01 (AOAC 2005)
คลอไรด์ (%wt)	การไทเทรต	ASTM D512-10 (ASTM 2010)
สารเคมีปนเปื้อน		
เมทานอล (%)	แก๊สโครมาโทกราฟี	ASTM EN14110 (ASTM 2003)
ความบริสุทธิ์ (%)	การไทเทรต	ASTM D7637-10 (ASTM 2011)
ค่าพลังงาน (kcal/kg)	เครื่องวิเคราะห์ค่าพลังงาน	adiabatic bomb calorimeter

1. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

1.1 การวิเคราะห์ความหนืด (viscosity)

การวิเคราะห์ความหนืดทำตามหลักการวิเคราะห์ของ ASTM D445 โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความหนืดจลน์ (kinematic viscometer) แบบ glass capillary ยี่ห้อ CANNON (ภาพที่ 16) นำกลีเซอรินดิบที่ได้ทั้ง 3 แห่งการผลิตโดยแบ่งเป็น 3 การทดสอบ แต่ละการทดสอบมี 6 ซ้ำ วิธีการทดสอบมีดังนี้ นำตัวอย่างกลีเซอรินดิบใส่ใน viscometer ด้วยปริมาตรที่แน่นอนตามขนาดและชนิดของ viscometer ที่ใช้ หลังจากนั้นนำ viscometer ที่มีกลีเซอรินดิบไปแช่ใน viscometer bath ที่ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 40 องศาเซลเซียส โดยแช่ไว้ประมาณ 5 นาที แล้วปล่อยตัวอย่างกลีเซอรินดิบไหลผ่านหลอดแก้วเล็กๆ โดยจับเวลาเมื่อส่วนบน (head level) ของตัวอย่างกลีเซอรินดิบไหลถึงจุดจับเวลาจุดแรก (start mark) และหยุดเมื่อถึงจุดจับเวลาจุดที่ 2 (stop mark) นำเวลาที่บันทึกได้ไปคูณด้วยค่าคงที่ของ viscometer (viscometer constant) ในสูตรคำนวณหาความหนืด ซึ่งรายงานค่าเป็น kinematic viscosity มีหน่วยเป็นเซ็นติสโตกส์ (cSt)

$$v = C \times t$$

v	=	kinematic viscosity มีหน่วยเป็น เซ็นติสโตกส์ (cSt)
C	=	ค่าคงที่ของ viscometer มีหน่วยเป็นเซ็นติสโตกส์ต่อวินาที (cSt/s)
t	=	flow time ที่ได้จากการจับเวลา มีหน่วยเป็นวินาที (s)



ภาพที่ 11 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดจลน์แบบ glass capillary
(ภาพโดย อติสร เศรษฐพงศ์ พ.ศ. 2554)

1.2 การวัดความเป็นกรดต่าง (pH)

การวัดความเป็นกรดต่างทำการวัดทำตามวิธี AOAC 981.12 โดยนำกลีเซอรินดิบ 50 มิลลิลิตร ไปวัดค่าความเป็นกรดต่างด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดต่างชนิดแท่งแก้วอิเล็กโทรดรุ่น Mettler Toledo AG CH-8630 (ภาพที่ 12) ซึ่งได้มีการปรับค่ามาตรฐานด้วยบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.00 และ 7.00 ตามลำดับ ทำการวัด 6 ซ้ำต่อตัวอย่าง



ภาพที่ 12 เครื่องวัดความเป็นกรดต่างชนิดแท่งแก้วอิเล็กโทรด
(ภาพโดย อติสร เศรษฐพงศ์ พ.ศ. 2554)

2. การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี

2.1 การวิเคราะห์ไขมันรวม (crude fat)

นำขวดสกัดสารที่สะอาดเข้าสู่อบเป็นเวลา 40 นาที นำเข้าโถอบแห้ง ทิ้งไว้ให้เย็น เอาออกมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน หยดกลีเซอรินดิบ 0.5 กรัม บนสำลีที่อยู่ในไส้กรอง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำไส้กรองใส่โถอบแห้ง เพื่อดูความชื้น ใสสารเคมีไดคลอโรมีเทนลงในขวดสกัดสาร นำไส้กรองและขวดสกัดต่อกับเครื่องสกัดซอกซ์เลต (soxhlet extraction) (ภาพที่ 13) เมื่อไขมันถูกสกัดออกมาหมดแล้วจึงเอาไส้กรองออก นำขวดสกัดสารที่มีไขมันไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทำให้เย็นในโถอบแห้งจึงนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณต่อไป

$$\% \text{ไขมัน} = \frac{a - b}{w} \times 100$$

a = น้ำหนักของขวดสกัดสารกับน้ำหนักไขมันเมื่ออบแห้ง

b = น้ำหนักขวดสกัดสาร

w = น้ำหนักตัวอย่างกลีเซอรินดิบ



ภาพที่ 13 เครื่องสกัดซอกซ์เลต สำหรับสกัดไขมันจากกลีเซอรินดิบ

(ภาพโดย อติสร เศรษฐพงศ์ พ.ศ. 2554)

2.2 การวิเคราะห์โปรตีนรวม (crude protien)

วิเคราะห์โปรตีนรวมโดยวิธีของเจลดาคาล์ (Kjedahl method) ที่อ้างอิงตามวิธีการทดสอบของ AOAC 981.10 โดยใช้ตัวอย่างกลีเซอรินดิบ 0.5 กรัม ใส่ในขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีนเติมสารเร่ง 3 กรัม เติมกรดกำมะถันเข้มข้น 15 มิลลิลิตร นำมาต้มบนเครื่องย่อย โดยครั้งแรกให้ความร้อนต่ำจนกระทั่งเดือดแล้วเพิ่มความร้อนให้สูงขึ้น จนกระทั่งสารละลายในขวดใส ปิดไฟทิ้งไว้ให้เย็น ปิดไฟทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นโปรตีน (ภาพที่ 14) ก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากการกลั่นจะถูกจับด้วยกรดบอริก ทำการกลั่นจนกระทั่งไม่มีก๊าซแอมโมเนีย นำสารละลายที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ไปไตเตรตด้วยกรดเกลือมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น (0.1 นอร์มอล) จนถึงจุดยุติเพื่อหาปริมาณกรดบอริกที่เหลือจากการจับกับก๊าซแอมโมเนีย ใช้เมทิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายจะเปลี่ยนเป็นชมพูอ่อน การคำนวณหาปริมาณโปรตีนใช้สูตร

$$\% \text{โปรตีน} = \frac{1.4 (V_1 - V_2) N \times 6.25}{w}$$

V_1	=	ปริมาณกรดมาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง
V_2	=	ปริมาณกรดมาตรฐานที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง
N	=	เป็นความเข้มข้นของกรดเกลือเป็นนอร์มอล
W	=	น้ำหนักตัวอย่างกลีเซอรินดิบ



ภาพที่ 14 เครื่องกลั่นโปรตีนสำหรับการวิเคราะห์โปรตีนรวม

(ภาพโดย อติสร เศรษฐพงศ์ พ.ศ. 2554)

2.3 การวิเคราะห์ความชื้น (moisture)

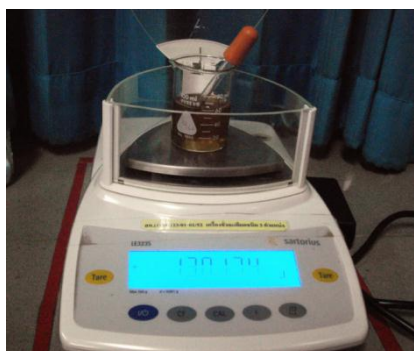
นำขวดเข้าสู่อบเป็นเวลา 40 นาที นำขวดซึ่งที่อบแล้วเข้าโถอบแห้ง ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน นำตัวอย่างกลีเซอรินมาชั่งน้ำหนัก (ภาพที่ 15) แล้วใช้หลอดหยด (dropper) คูดตัวอย่างกลีเซอรินดิบลงในขวดซึ่งให้น้ำหนัก 150 กรัม แล้วนำไปอบที่ตู้อบความร้อนด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่อบแล้วเข้าโถอบแห้ง เพื่อดูความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น เอาออกมาชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักไว้ ทำซ้ำ 6 ครั้งจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ ซึ่งน้ำหนักที่หายไปจะเป็นน้ำหนักของความชื้นที่ปนเปื้อนอยู่ในกลีเซอรินดิบ

$$\% \text{ความชื้น} = \frac{a - b}{w} \times 100$$

a = น้ำหนักขวดซึ่งก่อนอบ

b = น้ำหนักขวดซึ่งกับอาหารหลังอบ

w = น้ำหนักตัวอย่างกลีเซอรินดิบ



ภาพที่ 15 การชั่งน้ำหนักกลีเซอรินดิบก่อนนำไปอบ

(ภาพโดย อติสร เศรษฐพงศ์ พ.ศ. 2554)

2.4 การวิเคราะห์เถ้า (ash)

นำถ้วยกระเบื้องเคลือบอบ 40 นาที นำเข้าโถอบแห้งชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งตัวอย่างกลีเซอรินดิบ 0.9 กรัมใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ แล้วนำไปเผาบนเตาต้มร้อนในตู้ดูดควัน

จนกระทั่งวันหมดไป นำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนกระทั่งเถ้าเป็นสีขาว (ภาพที่ 16) แล้วนำเข้าโถอบแห้งเพื่อวัดความชื้น เมื่อเถ้ากลีเซอรินดิบเย็น นำออกมาชั่ง

$$\% \text{เถ้า} = \frac{(a - b)}{w} \times 100$$

A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบกับน้ำหนักของเถ้าหลังเผา

B = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ

W = น้ำหนักตัวอย่างกลีเซอรินดิบ



ภาพที่ 16 การวิเคราะห์เถ้ากลีเซอรินดิบตามวิธีของ AOAC (2005)
(ภาพโดย อติสร เสรษฐพวงศ์ พ.ศ. 2554)

2.5 การวิเคราะห์กลีเซอไรด์ (glyceride)

สำหรับการวิเคราะห์กลีเซอไรด์ได้ส่งตัวอย่างกลีเซอรินดิบไปวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ การวิเคราะห์ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ ออโตเฮดสเปซ แก๊สโครมาโทกราฟี (auto headspace gas chromatography) ที่ทำตามหลักการวิเคราะห์ของ ASTM EN14105 (ASTM, 2003) โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟียี่ห้อ HEWLETT PACKARD รุ่น HP 6850 gas chromatography with flame ionization detector

2.6 การวิเคราะห์กรดไขมัน (fatty acid)

สำหรับการกรดไขมันได้ส่งตัวอย่างกลีเซอรินดิบไปวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ การวิเคราะห์ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ ออโตเฮดสเปซ แก๊สโครมาโทกราฟี (auto headspace gas chromatography) ที่ทำตามหลักการวิเคราะห์ของ ASTM D7638-10 (ASTM, 2011) โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ HEWLETT PACKARD รุ่น HP 6850 gas chromatography with flame ionization detector

3. การวิเคราะห์แร่ธาตุ

3.1 การวิเคราะห์แร่ธาตุหลักและไนโตรเจน (macro element and nitrogen)

การวิเคราะห์แร่ธาตุแร่ธาตุหลัก ได้ส่งตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์ที่ศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัด คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยแร่ธาตุที่ทำการวิเคราะห์คือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส กำมะถัน โซเดียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม สำหรับแร่ธาตุอื่นๆที่ทำการวิเคราะห์ คือ ไนโตรเจน ทั้งหมดใช้เทคนิคการวิเคราะห์ inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES emission spectroscopy) ที่ทำตามหลักการวิเคราะห์ของ AOAC 985.01 (AOAC, 2005) สำหรับการวิเคราะห์คลอไรด์ได้ส่งตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์ที่หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในการวิเคราะห์หาคลอไรด์ได้ใช้การไตเตรตเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ โดยทำตามหลักการวิเคราะห์ของ ASTM D512-10 (ASTM, 2010)

3. การวิเคราะห์สารเคมีปนเปื้อน

3.1 การวิเคราะห์เมทานอล (methanol)

สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเมทานอลที่ปนเปื้อนในกลีเซอรินดิบ ได้ส่งตัวอย่างกลีเซอรินดิบไปวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ การวิเคราะห์ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ ออโตเฮดสเปซ แก๊สโครมาโทกราฟี (auto headspace gas chromatography) ที่ทำตามหลักการวิเคราะห์ของ ASTM EN14110 (ASTM, 2003) โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ HEWLETT PACKARD รุ่น HP 6850 gas chromatography with flame ionization detector

4. การวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์

4.1 การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินดิบ (purity)

การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์กลีเซอรินดิบ ได้ส่งตัวอย่างกลีเซอรินดิบไปวิเคราะห์ที่ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ การวิเคราะห์ได้ใช้การไทเทรต (titration method) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ โดยทำตามหลักการวิเคราะห์ของ ASTM D7637-10 (ASTM, 2011)

5. การวิเคราะห์หาค่าพลังงาน

5.1 การวิเคราะห์หาค่าพลังงานรวม (gross energy)

ทำการวิเคราะห์ค่าพลังงานในอาหาร โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ค่าพลังงาน (Bomb calorimeter) ยี่ห้อ Gallenkamp รุ่น CBA-305K โดยวิธี adiabatic calorimeter เริ่มทำการชั่งกรดเบนโซอิก (benzoic acid) ประมาณ 0.98-1.00 กรัม นำมาอัดเม็ดเพื่อหาพลังงาน อ่านค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และวัดเวลาที่ใช้ไปเพื่อเข้าสู่ตรรกานพลังงานต่อไป ซึ่งในการทดลองนี้จะทำกับกรดเบนโซอิก 2 ซ้ำ ทำครั้งแรกและครั้งสุดท้ายของแต่ละวันที่ทำการหาค่าพลังงาน นำสำลิก้อนขนาด 5 กรัมไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาอัดเป็นเม็ดหลวมๆ ด้วยเครื่องอัดเม็ด (pellet press) หยดกลีเซอรินดิบที่ระเหยความชื้นออกแล้วลงไปที่ยกสำลีสัก 3 กรัม แล้วนำไปเก็บใน โถสุญญากาศความชื้น ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์หาค่าพลังงานดังแสดงในภาพที่ 17 หลักจากการวิเคราะห์หาค่าพลังงานของกลีเซอรินดิบ นำค่าพลังงานรวมของกลีเซอรินที่ได้หักลบค่าพลังงานรวมของสำลีสัก

สูตรการคำนวณหาค่าพลังงาน

$$\text{Heat capacity} = \frac{(26441.6 \times \text{นน.ของ benzoic}) + \text{พลังงานด้าย} + \text{พลังงานเวลาที่ใช้ไป}}{\text{อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น}}$$

$$\text{ค่าพลังงาน} = \frac{(\text{Heat capacity} \times \text{อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่าง}) - \text{พลังงานค้ำย} - \text{พลังงานลวดที่ใช้ไป}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}}$$

หมายเหตุ : พลังงานค้ำยมีค่าเท่ากับ 58.58 J/g

Benzoic มีน้ำหนักประมาณ 1 กรัม ค่า heat capacity ที่ได้ประมาณ 9,300 – 9,900
ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น J/g ของอาหาร



ภาพที่ 17 เม็ดสำลีที่หยดกลีเซอรินดิบก่อนนำไปวิเคราะห์หาค่าพลังงาน
(ภาพโดย อติสร เสริมฐพงษ์ พ.ศ. 2554)

ผลและวิจารณ์ผลทดลอง

ผลการศึกษา พบว่า ค่าความเป็นกรดต่างของกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดเล็กขนาดกลาง และขนาดใหญ่ มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 8.99, 6.39 และ 6.40 ตามลำดับ สำหรับค่าพลังงานของกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดเล็กขนาดกลาง และขนาดใหญ่ พบว่า มีค่าเท่ากับ 7,554.61, 4,387.45 และ 4,650.22 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับส่วนประกอบทางเคมีของกลีเซอรินดิบทั้ง 3 แหล่ง พบว่า กลีเซอรินดิบที่ได้มาจากแหล่งการผลิตขนาดเล็กมีค่าความชื้นเท่ากับ 3.93 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนรวม 0.65 เปอร์เซ็นต์ ไขมันรวม 5.05 เปอร์เซ็นต์ และ เถ้า 10.38 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดกลางและขนาดใหญ่ พบว่า มีค่าความชื้นเท่ากับ 13.85 และ 4.27 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนรวม 0.85 และ 0.48 เปอร์เซ็นต์ ไขมันรวม 0.44 และ 0.22 เปอร์เซ็นต์ และ เถ้า 5.62 และ 1.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับค่าความหนืด พบว่า กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดใหญ่มีค่าความหนืดสูงสุดคือเท่ากับ 99.20 (cSt/s) ส่วนค่าความหนืดของกลีเซอรินดิบที่ได้แหล่งการผลิตขนาดกลาง พบว่า มีค่าเท่ากับ 12.52 (cSt/s) และแหล่งการผลิตขนาดเล็กมีค่าเท่ากับ 90.28 (cSt/s) สำหรับค่าความหนืดของกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดใหญ่ที่มีค่าสูงนั้น น่าจะเป็นผลมาจาก กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งผลิตขนาดใหญ่มีค่าความบริสุทธิ์สูงกว่ากลีเซอรินดิบจากแหล่งอื่น (ตารางที่ 9) และนอกจากนี้กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งผลิตขนาดใหญ่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นอยู่ต่ำ จึงส่งผลให้กลีเซอรินดิบมีค่าความหนืดสูงด้วยเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Dorsey (1940) ที่พบว่ากลีเซอรินจะมีค่าความหนืดสูงขึ้นตามค่าความบริสุทธิ์และค่าความชื้น สำหรับค่าความเป็นกรดต่างที่พบว่า กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดเล็กมีค่าสูงกว่าแหล่งอื่นนั้น น่าจะเป็นผลมาจากกลีเซอรินดิบมีสารละลายที่เป็นค่า (โซเดียมไฮดรอกไซด์, โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) ที่หลงเหลือจากปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันไม่สมบูรณ์ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง สำหรับค่าโปรตีนรวมพบว่า กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดกลางมีค่าสูงกว่ากลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งอื่นนั้น น่าจะเป็นผลมาจาก แหล่งการผลิตขนาดกลางมีการใช้น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตซึ่งน้ำมันพืชใช้แล้วอาจจะมีสิ่งตกค้างที่หลงเหลือจากการทอด จึงส่งผลให้กลีเซอรินดิบที่ได้มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนรวมสูงกว่าได้จากแหล่งอื่น สำหรับเถ้า พบว่า กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดเล็กมีเปอร์เซ็นต์สูงกว่ากลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งอื่นนั้น น่าจะเป็นผลมาจากสิ่งปนเปื้อนในกลีเซอรินดิบ ซึ่งค่าความบริสุทธิ์ในตารางที่ 10 คือสิ่งที่บ่งชี้ถึงปริมาณสารปนเปื้อนที่ผสมอยู่ในกลีเซอรินดิบ สำหรับค่าพลังงานรวม พบว่า กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดเล็ก มีค่าสูงกว่ากลีเซอรินดิบจากแหล่งอื่น นั้นเป็นผลมาจาก กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดเล็กมีการ

ใช้น้ำมันสัตว์เป็นวัตถุดิบในการผลิต (ตารางที่ 7) ส่วนใหญ่แล้วน้ำมันสัตว์จะมีปริมาณของกรดไขมันอิสระสูงกว่าการใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งจะส่งผลให้มีกรดไขมันอิสระที่ไม่ทำปฏิกิริยาปนเปื้อนอยู่ในกลีเซอรินดิบในปริมาณสูง (ตารางที่ 11) นอกจากนี้อาจจะรวมถึงสบู่ที่เกิดขึ้นจากกรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน (saponification) กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ma และคณะ (1998) ที่พบว่า กระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้สารตั้งต้นเป็นไขมันสัตว์ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลให้มีกรดไขมันอิสระและสบู่ปนเปื้อนในกลีเซอรินดิบในปริมาณสูง

ตารางที่ 9 ค่าพลังงานรวม ลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของกลีเซอรินดิบจาก 3 แหล่ง

การวิเคราะห์	แหล่งการผลิต		
	ขนาดเล็ก*	ขนาดกลาง**	ขนาดใหญ่***
คุณสมบัติทางกายภาพ			
สังเกตด้วยตาเปล่า	สีน้ำตาลเข้ม ขุ่น	สีน้ำตาลเข้ม ขุ่น	สีเหลืองอ่อน ใส
ค่าความหนืด (cSt/s)	90.28	12.52	99.20
ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	8.99	6.39	6.40
ส่วนประกอบทางเคมี			
ไขมันรวม (%)	5.05	0.44	0.22
โปรตีนรวม (%)	0.65	0.85	0.48
ความชื้น (%)	3.93	13.85	4.27
เถ้า (%)	10.38	5.62	1.44
ค่าพลังงานรวม (kcal/kg.)	7554.61	4387.45	4650.22

*โครงการผลิตไบโอดีเซลชุมชน สก.รัตภูมิ

**โครงการผลิตไบโอดีเซลจากผลผลิตปาล์มน้ำมัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

***โรงงานผลิตไบโอดีเซล บริษัทนิวไบโอดีเซล

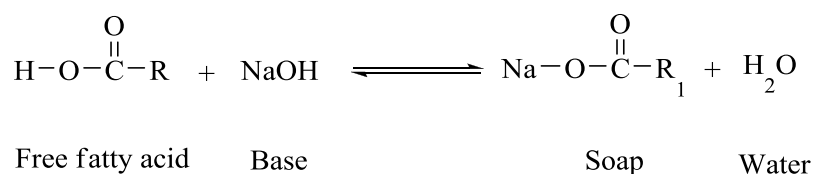
ตารางที่ 10 ปริมาณเมทานอลปนเปื้อนและค่าความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินดิบจาก 3 แหล่ง

การวิเคราะห์	แหล่งการผลิต		
	ขนาดเล็ก*	ขนาดกลาง**	ขนาดใหญ่***
เมทานอล (%)	1.10	2.87	0.46
ความบริสุทธิ์ (%)	72.65	80.25	87.65

*โครงการผลิตไบโอดีเซลชุมชน สก.รัตภูมิ

**โครงการผลิตไบโอดีเซลจากผลผลิตปาล์มน้ำมัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

***โรงงานผลิตไบโอดีเซล บริษัทนิวไบโอดีเซล



ภาพที่ 18 ปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชันของกรดไขมันอิสระกับโซเดียมไฮดรอกไซด์
ที่มา : สุธารักษ์ (2544)

ตารางที่ 11 ปริมาณกลีเซอไรด์ของกลีเซอรินดิบจาก 3 แหล่ง (mg/ml)

การวิเคราะห์	แหล่งการผลิต		
	ขนาดเล็ก*	ขนาดกลาง**	ขนาดใหญ่***
โมนอกลิเซอไรด์ (g/ml)	2.78	ND	ND
ไดกลีเซอไรด์ (g/ml)	0.19	ND	ND
ไตรกลีเซอไรด์ (g/ml)	0.77	ND	ND

*โครงการผลิตไบโอดีเซลชุมชน สก.รัตภูมิ

**โครงการผลิตไบโอดีเซลจากผลผลิตปาล์มน้ำมัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

***โรงงานผลิตไบโอดีเซล บริษัทนิวาไบโอดีเซล

หมายเหตุ : ND = Not Detection Limited (พบในปริมาณน้อยกว่า 0.05 mg/ml)

จากการวิเคราะห์กลีเซอไรด์ในกลีเซอรินดิบ พบว่า จากตัวอย่างกลีเซอรินดิบทั้งสามแหล่ง มีเพียงกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดเล็กเท่านั้นที่พบกลีเซอไรด์เป็นส่วนประกอบ ชนิดของกลีเซอไรด์ที่ตรวจพบในปริมาณสูงที่สุดคือ โมนอกลิเซอไรด์ โดยมีปริมาณที่ตรวจพบเท่ากับ 2.78 กรัม/มิลลิลิตร ส่วนไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ตรวจพบในปริมาณ 0.19 และ 0.77 มิลลิกรัม ตามลำดับ เนื่องจากกลีเซอไรด์คือเอสเทอร์ที่ประกอบไปด้วยกลีเซอรินและกรดไขมัน (Thompson and He, 2006) ดังนั้นสารประกอบประเภทกลีเซอไรด์ที่ปนเปื้อนในกลีเซอรินดิบเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงความไม่สมบูรณ์ในการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ปฏิกิริยาที่เกิดไม่สมบูรณ์นี้ เกิดจากมีกรดไขมันอิสระปนอยู่ในสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการผลิตของแหล่งการผลิตขนาดเล็กอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน จนเกิดสบู่ในระหว่างกระบวนการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งทำให้เมทานอลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีไม่พอเพียงต่อการเกิดปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ และจะส่งผลให้กลีเซอไรด์อิสระที่ไม่ทำปฏิกิริยาเข้าไปปนเปื้อนอยู่ในกลีเซอรินดิบ (Thompson and He, 2006)

ตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของตัวอย่างกลีเซอรินดิบจาก 3 แหล่ง (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

ชนิดกรดไขมันอิสระ	แหล่งการผลิต		
	ขนาดเล็ก*	ขนาดกลาง**	ขนาดใหญ่***
Caprylic acid (C8 : 0)	ND	ND	ND
Capric acid (C10 : 0)	ND	ND	ND
Lauric acid (C12 : 0)	0.3136	ND	ND
Myristic acid (C14 : 0)	0.6423	ND	ND
Palmitic acid (C16 : 0)	12.6091	ND	ND
Stearic acid (C18 : 0)	2.1895	ND	ND
Arachidic acid (C20 : 0)	0.1987	ND	ND
Behenic acid (C22 : 0)	ND	ND	ND
Linoceric acid (C24 : 0)	ND	ND	ND
Total saturated fatty acid	15.9502	ND	ND

*โครงการผลิตไบโอดีเซลชุมชน สก.รัตภูมิ

**โครงการผลิตไบโอดีเซลจากผลผลิตปาล์มน้ำมัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

***โรงงานผลิตไบโอดีเซล บริษัทนิวไบโอดีเซล

หมายเหตุ : ND = Not Detection Limited (พบในปริมาณน้อยกว่า 0.05 มล./มก)

จากการวิเคราะห์กรดไขมันจากกลีเซอรินดิบที่ได้จาก 3 แหล่งการผลิต พบว่า มีเพียงกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดเล็กเท่านั้นที่ตรวจพบกรดไขมันอิสระเป็นส่วนประกอบ โดยกรดไขมันอิสระที่ตรวจพบส่วนใหญ่เป็นกรดปาล์มมิติก ซึ่งพบในปริมาณเท่ากับ 12.6091 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ส่วนกรดไขมันที่พบในปริมาณที่รองลงมาคือ กรดสเตียริก (2.1895) กรดไมริสติก (0.6423) กรดเลาริก (0.3136) และกรดอะราคิติก (0.1987) ตามลำดับ กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก กรดไมริสติก กรดเลาริก กรดอะราคิติก คือกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) ที่พบได้ในน้ำมันที่ผลิตจากจากเนือปาล์ม (palm kernel oil) และน้ำมันหมู (lard) โดยเฉพาะ กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก กรดไมริสติก ซึ่งพบอยู่ในน้ำมันทั้งสองชนิด เมื่อดูข้อมูลสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลของแหล่งการผลิตขนาดเล็กในตารางที่ 6 พบว่า สารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการผลิตคือน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันหมู จึงสามารถสรุปได้ว่ากลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดเล็ก มีน้ำมันพืชที่ไม่ทำปฏิกิริยาปนเปื้อนอยู่ เนื่องจากปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันที่เกิดขึ้นกับสารตั้งต้นนั้นเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ซึ่งจากการศึกษาของของ Ma และคณะ (1998) พบว่า สารตั้งต้นที่ใช้ไขมันสัตว์และน้ำมันพืชที่มีส่วนประกอบเป็นกรดไขมันอิสระในปริมาณสูง จะ

ส่งผลทำให้เกิดสบูแทนการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันที่สมบูรณ์ แต่ทั้งนี้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของสารตั้งต้นที่ใช้ ปริมาณสารเคมี ชนิดของสารเคมี และสัดส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาด้วย (Thompson and He, 2006)

ตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุของกลีเซอรินดิบจาก 3 แหล่ง

การวิเคราะห์	แหล่งการผลิต		
	ขนาดเล็ก *	ขนาดกลาง **	ขนาดใหญ่ ***
แคลเซียม (ppm)	634.98	783.84	723.62
ฟอสฟอรัส (ppm)	106.17	212.82	7.99
กำมะถัน (ppm)	2.89	3.70	2.39
โซเดียม (ppm)	6.76	116.13	172.69
คลอไรด์ (%wt)	0.30	0.25	0.30
โพแทสเซียม (%wt)	2.40	0.32	0.03
แมกนีเซียม (%wt)	0.20	0.09	0.20
ไนโตรเจน (%wt)	0.12	0.20	0.13

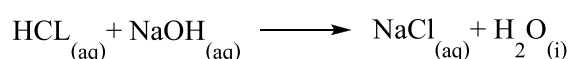
*โครงการผลิตไบโอดีเซลชุมชน สก.รัตภูมิ

**โครงการผลิตไบโอดีเซลจากผลผลิตปาล์มน้ำมัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

***โรงงานผลิตไบโอดีเซล บริษัทนิวไบโอดีเซล

จากการวิเคราะห์แร่ธาตุในกลีเซอรินดิบจาก 3 แหล่งการผลิตพบว่า กลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตขนาดกลางมีการปนเปื้อนของแคลเซียม (783.84 ppm) ฟอสฟอรัส (212.82 ppm) กำมะถัน (3.70 ppm) และไนโตรเจน (0.20 %wt) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตอื่น จากข้อมูลในตารางที่ 8 สามารถสรุปได้ว่า แคลเซียมและฟอสฟอรัสที่ปนเปื้อนมาในกลีเซอรินดิบนั้นมาจากสิ่งปนเปื้อนจากกระบวนการปรุงอาหารของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ซึ่งวัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลของแหล่งการผลิตขนาดกลางนั้นคือน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว สำหรับการปนเปื้อนของกำมะถันในกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งขนาดกลางนั้น เกิดจากใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ในการแยกชั้นสารอินทรีย์ของวัตถุดิบก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการผลิต และการปรับค่าความเป็นกรดต่างของกลีเซอรินดิบในกระบวนการปรับสภาพ สำหรับปริมาณโซเดียมที่ปนเปื้อนในกลีเซอรินดิบ พบว่า กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดใหญ่การปนเปื้อนในปริมาณสูงสุด (172.69 ppm) โซเดียมที่ปนเปื้อนในแหล่งการผลิตขนาดใหญ่นี้มาจากกระบวนการปรับสภาพโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการแยก

สารอินทรีย์และการปรับค่าความเป็นกรดต่างในกระบวนการทำให้กลีเซอรินดิบมีความบริสุทธิ์ จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาสะเทิน (neutralization reaction) และได้สารผลิตภัณฑ์เป็นโซเดียมคลอไรด์ที่เป็นสารประกอบเกลือกับน้ำ (ภาพที่ 19) สำหรับกลีเซอรินดิบแหล่งการผลิตขนาดเล็กที่มีการปนเปื้อนของโพแทสเซียมสูงที่สุดนั้นอาจจะมาจากสิ่งปนเปื้อนจำพวกเนื้อสัตว์หรือพืชที่มีโพแทสเซียมสูงในระหว่างกระบวนการประกอบอาหาร



ภาพที่ 19 ปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดไฮโดรคลอริกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์
ที่มา : Singhabhandhu และ Tezuka (2010)

สรุป

ลักษณะทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของกลีเซอรินดิบที่ได้จาก 3 แหล่งการผลิต พบว่า กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดเล็กมีค่าความเป็นกรดต่างสูงกว่ากลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตอื่น สำหรับค่าความหนืด พบว่า แหล่งการผลิตขนาดใหญ่มีค่าความหนืดสูงกว่ากลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตอื่น

ส่วนประกอบทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของกลีเซอรินดิบที่ได้จาก 3 แหล่งการผลิต พบว่า กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดเล็กมีค่าพลังงาน ไขมันรวม เถ้า และโพแทสเซียม สูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตอื่น โดยพบว่า ค่าพลังงานรวมที่สูงนั้นเป็นผลมาจากค่าไขมันรวมที่ตรวจพบในกลีเซอรินดิบ สำหรับการวิเคราะห์ค่ากรดไขมันอิสระ และกลีเซอไรด์นั้น พบว่า ตรวจพบได้ในแหล่งแหล่งการผลิตขนาดเล็กเพียงแหล่งเดียว โดยชนิดของกลีเซอไรด์ที่พบมากที่สุดคือ โมโนกลีเซอไรด์ และกรดไขมันที่พบมากที่สุดคือ กรดปาล์มติก ขณะที่แหล่งการผลิตขนาดกลาง พบว่า มีค่าโปรตีนรวม ความชื้น เมทานอล ส่วนประกอบของแร่ธาตุที่เป็น แคลเซียม ฟอสฟอรัส กำมะถัน และไนโตรเจน ในปริมาณที่สูง แหล่งการผลิตอื่น ในขณะที่ผลวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของแหล่งการผลิตขนาดใหญ่ พบว่า มี

ธาตุโซเดียมสูงกว่าแหล่งการผลิตอื่น และเมื่อพิจารณาถึงค่าความบริสุทธิ์กับส่วนประกอบทางเคมีที่ปนเปื้อนในกลีเซอรินดิบ พบว่า มีความสัมพันธ์กัน

ข้อเสนอแนะ

กลีเซอรินดิบเป็นผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการผลิตไบโอดีเซลที่ผลิตเพิ่มขึ้นในแต่ละปี ผลจากการวิเคราะห์เบื้องต้น พบว่า ค่าพลังงานรวมของกลีเซอรินดิบที่ได้มาจากแต่ละแหล่งการผลิตนั้นมีความแปรปรวนสูง เนื่องมาจากการใช้วัตถุดิบในแต่ละแหล่งการผลิต สารเคมีที่ใช้ในปฏิกิริยาต่างชนิด และนอกจากนี้ ปริมาณที่ใช้ในการผลิตก็ยังคงแตกต่างกันอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามสิ่งที่ควรพิจารณาเป็นประการแรกคือ ปริมาณเมทานอลที่ปนเปื้อนอยู่ในกลีเซอรินดิบซึ่งอาจจะเป็นพิษต่อร่างกายสัตว์ เมื่อพิจารณาข้อมูลจากการวิเคราะห์เบื้องต้น พบว่า กลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ มีปริมาณเมทานอลปนเปื้อนอยู่ในปริมาณ 1.10, 2.87 และ 0.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อนำไปผสมในอาหารสัตว์ จึงไม่ควรผสมเกินระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าในตอนนี้จะยังไม่ได้รับรายงานถึงระดับเมทานอลที่เป็นอันตรายต่อสัตว์ปีก แต่อย่างไรก็ตามข้อกำหนดขององค์การอาหารและยาแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (FDA) ได้แนะนำว่า ในอาหารไก่เนื้อไม่ควรมีปริมาณเมทานอลปนเปื้อนเกิน 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (150 ppm) ต่อน้ำหนักอาหาร และเมื่อคุณผลการวิเคราะห์เมทานอลของกลีเซอรินดิบทั้งสามแหล่งการผลิต พบว่า กลีเซอรินดิบจากทั้งสามแหล่งมีปริมาณเมทานอลปนเปื้อนอยู่ในระดับที่เกินข้อกำหนดขององค์การอาหารและยาแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา ดังนั้นหากจะนำกลีเซอรินดิบจากแหล่งการผลิตทั้งสามแหล่งไปใช้เพื่อประกอบเป็นสูตรอาหารสัตว์ควรจะนำกลีเซอรินดิบไปอบด้วยความร้อนเพื่อระเหยเมทานอลออก ด้วยอุณหภูมิที่ไม่ต่ำกว่า 64.7 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เป็นจุดเดือดของเมทานอล

ความหนืดของกลีเซอรินดิบที่มีผลกระทบต่อคุณภาพเม็ดอาหารเมื่อนำไปผ่านกระบวนการอัดเม็ด หรือการนำอาหารที่ผสมกลีเซอรินดิบไปใช้ในระบบให้อาหารแบบอัตโนมัติ ความหนืดของกลีเซอรินดิบจะส่งผลเรื่องระบบการไหลของอาหาร ดังนั้นกลีเซอรินดิบที่มีความหนืดเกิน 26.5 (cSt/s) การผสมอาหารสัตว์เพื่อใช้ในการอัดเม็ดหรือระบบให้อาหารอัตโนมัติจึงไม่ควรเกิน 3 เปอร์เซ็นต์ (Groesbeck *et al.*, 2008) แต่จากการทดลอง พบว่า กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดเล็กและขนาดใหญ่มีค่าความหนืดสูงถึง 90.28 (cSt/s) และ 99.20 (cSt/s) ตามลำดับ ซึ่งอาจจะเป็นปัญหาเมื่อนำกลีเซอรินดิบไปผสมกับอาหารสัตว์เพื่ออัดเม็ด แต่ทั้งนี้

ส่วนประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนาของกลีเซอรินดิบ และความหนืดมีความแตกต่างกันตาม วัตถุประสงค์ที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

องค์ประกอบทางเคมี ค่าพลังงาน และค่าความเป็นกรดต่าง ของกลีเซอรินดิบจากการวิเคราะห์ พบว่า ตัวอย่างกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดเล็กมีค่าความชื้น เท่ากับ 3.93 เปอร์เซ็นต์ ค่าโปรตีนรวม เท่ากับ 0.65 เปอร์เซ็นต์ และค่าไขมันรวม เท่ากับ 5.05 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดกลางและขนาดใหญ่ พบว่า มีค่าความชื้นเท่ากับ 13.85 และ 4.27 เปอร์เซ็นต์ ค่าโปรตีนรวมเท่ากับ 0.85 และ 0.48 เปอร์เซ็นต์ ค่าไขมันรวมเท่ากับ 0.44 และ 0.22 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของค่าความเป็นกรดต่าง พบว่า แหล่งการผลิตขนาดเล็กมีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 8.99 แหล่งการผลิตขนาดกลางเท่ากับ 6.39 และแหล่งการผลิตขนาดใหญ่เท่ากับ 6.40 จากข้อมูลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถพิจารณาได้ว่า องค์ประกอบทางเคมี ค่าพลังงาน และค่าความเป็นกรดต่าง ของกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตที่ต่างกัน มีค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันค่อนข้างสูง ซึ่งอาจจะส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาเมื่อนำไปผสมในอาหารสัตว์ ดังนั้นก่อนที่จะนำกลีเซอรินดิบจากแหล่งต่างๆ ไปเป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์ จึงควรมีการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งที่ได้นั้นเสียก่อน

ในการนำกลีเซอรินดิบไปผสมอาหารสัตว์ถ้าพิจารณาข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางเคมีเบื้องต้น พบว่า มีปริมาณเมทานอลปนเปื้อนในกลีเซอรินดิบเกินข้อกำหนด หรือมีปริมาณกรดไขมันอิสระและน้ำผสมอยู่ ซึ่งจะเป็นข้อจำกัดในการนำกลีเซอรินดิบไปผสมในอาหารสัตว์ ดังนั้นควรจะมีการปรับสภาพทางเคมีเบื้องต้นก่อน ซึ่งมีวิธีการดังนี้ คือ เติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น หรือกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงในกลีเซอรินดิบเพื่อแยกกรดไขมัน แล้วนำมาทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำไปกลั่นหรือต้มที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส ด้วยชุดการกลั่นเพื่อทำการแยกน้ำ และเมทานอล นำสารละลายที่เหลือจากการกลั่นหรือต้มมาตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของเกลือ แยกตะกอนของเกลือออกด้วยการกรอง ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้จะช่วยให้ได้กลีเซอรินดิบมีความบริสุทธิ์มากขึ้น

บทที่ 4

การทดลองที่ 2

ผลของการเสริมกลีเซอรินดิบระดับต่างๆในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซากของไก่เนื้อ

บทนำ

การนำกลีเซอรินดิบมาใช้ทดแทนวัตถุดิบข้าวโพดในอาหารไก่เนื้อนั้น นอกจากจะต้องศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของกลีเซอรินดิบซึ่งดำเนินการไปแล้ว ยังจำเป็นต้องศึกษาถึงการใช้ประโยชน์ได้และระดับที่เหมาะสมกับตัวสัตว์ด้วย การศึกษาผลของการใช้กลีเซอรินดิบทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ในสภาพการเลี้ยงจริงจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น ดังนั้นการทดลองที่ 2 จึงเป็นการทดลองนำกลีเซอรินดิบที่ได้จาก สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งเป็นโรงงานผลิตไบโอดีเซลขนาดกลาง ที่มีขนาดกำลังการผลิต 700 ลิตร/วัน มาผสมในอาหารไก่เนื้อสูตรมาตรฐาน 2 ระดับ คือ 5 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ นำไปเลี้ยงไก่เนื้อเพศผู้สายพันธุ์ทางการค้า (Ross 308®) จำนวน 240 ตัว เพื่อประเมินการตอบสนองของไก่เนื้อที่มีต่ออาหารทดลอง ใช้เวลาการทดลองทั้งหมด 7 สัปดาห์ โดยวัดสมรรถภาพการผลิต ได้แก่ ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการใช้อาหาร อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการตาย และลักษณะซาก

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการใช้กลีเซอรินดิบที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารไก่เนื้อสูตรมาตรฐาน เพื่อวัดสมรรถภาพการผลิต โดยประเมินจากปริมาณอาหารที่กินต่อวัน น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการใช้อาหาร อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการตาย ลักษณะซาก และต้นทุนการผลิตของไก่เนื้อที่อายุ 1 สัปดาห์ จนถึงสิ้นสุดการทดลองที่ 7 สัปดาห์

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. วัสดุ

1.1 สัตว์ทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ใช้ไก่เนื้อเพศผู้สายพันธุ์ทางการค้า (Ross 308) อายุ 1 สัปดาห์ จำนวน 240 ตัว

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องผสมอาหารชนิดถังนอน

2.2 เครื่องอัดเม็ดอาหาร

2.3 โรงเรือนและอุปกรณ์ในการเลี้ยงไก่

2.3.1 อุปกรณ์ในการกกลูกไก่

2.3.2 อุปกรณ์ในการเลี้ยงไก่ ได้แก่ ถาดอาหาร ถังอาหารแบบแขวน กระตักน้ำ และถังพลาสติกที่มีฝาปิดสำหรับใส่อาหารทดลอง

2.3.3 ไฮโกรมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนระหว่างการทดลอง

2.3.4 เครื่องชั่งอาหาร และเครื่องชั่งน้ำหนักไก่ พร้อมด้วยอุปกรณ์ในการชั่งน้ำหนัก

2.4 วัคซีนป้องกันโรคหลอดลมอักเสบ นิวคาสเซิล กัมโบโร ของกรมปศุสัตว์

2.5 อุปกรณ์ในการฆ่าชำแหละซาก ได้แก่ มีด เต้าไฟพร้อมกะทะต้มน้ำร้อน เครื่องถอนขนไก่ เครื่องชั่งกะละมัง ถังพลาสติก

2.6 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ซาก

2.6.1 อุปกรณ์วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ชนิดแท่งแก้ว อิเล็กโทรดรุ่น Mettler Toledo AG CH-8630

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่างกลีเซอรินดิบ

นำดิบกลีเซอรินดิบที่ใช้ในการผสมอาหาร ไปเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิทเพื่อป้องกันการปนเปื้อนความชื้นจากอากาศ แล้วนำไปเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยกลีเซอรินดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมอาหารไก่เนื้อเป็นกลีเซอรินดิบที่ผลิตจากชุดการผลิตหรือมาจากแหล่งเดียวกัน

2 การวางแผนการทดลอง

ใช้ไก่สายพันธุ์ทางการค้า (Ross 308) เพศผู้ อายุ 1 วัน จำนวน 240 ตัว เลี้ยงเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้ไก่มีความสม่ำเสมอ ด้วยอาหารสูตรไก่เล็ก (0-3 สัปดาห์) ที่มีโปรตีน 23 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) จากการคำนวณเท่ากับ 3,200 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม จากนั้นสุ่มไก่เข้าทดลองตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomize design: CRD) โดยแบ่งไก่ทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบไปด้วย 4 ซ้ำๆ ละ 20 ตัว ไก่ทดลองมีน้ำหนักเฉลี่ย 183.50 ± 0.45 กรัม เลี้ยงในโรงเรือนระบบเปิด โดยไก่ทดลองแต่ละซ้ำเลี้ยงในคอกที่มีขนาดความกว้าง 1.5 เมตร ยาว 3 เมตร ในระยะทดลองไก่ทดลองได้รับวัคซีนป้องกันโรคหลอดลมอักเสบ โรคนิวคาสเซิล และโรคกัมโบโร ตามโปรแกรมของฟาร์มสัตว์ปีก ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ไก่ทุกกลุ่มได้รับอาหารเต็มที่ (*ad libitum*) และน้ำสะอาดตลอดเวลาแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะ คือ 2-3 สัปดาห์ และ 4-7 สัปดาห์ โดยกำหนดให้มีอาหาร 2 สูตร ดังนี้

ระยะที่ 1 อาหารสำหรับไก่ทดลองช่วงอายุ 2-3 สัปดาห์ ประกอบด้วยอาหาร 3 สูตร แต่ละสูตรมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) จากการคำนวณเท่ากับ 3,200 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และมีระดับโปรตีนรวมเท่ากับ 23 เปอร์เซ็นต์ โดยประกอบด้วยอาหารสำหรับไก่ทดลองกลุ่มควบคุม (ไม่ผสมกลีเซอรินดิบ) อาหารสำหรับไก่ทดลองที่ผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ อาหารสำหรับไก่ทดลองที่ผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่วนประกอบสำหรับสูตรอาหารและส่วนประกอบทางเคมีของอาหารทั้ง 3 สูตร ได้แสดงในตารางที่ 14

ระยะที่ 2 อาหารสำหรับไก่ทดลองช่วงอายุ 4-7 สัปดาห์ ประกอบด้วยอาหาร 3 สูตร แต่ละสูตรมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) จากการคำนวณเท่ากับ 3,200 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และมีระดับโปรตีนรวมเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยประกอบด้วยอาหารสำหรับไก่ทดลองกลุ่มควบคุม (ไม่ผสมกลีเซอรินดิบ) อาหารสำหรับไก่ทดลองที่ผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอาหารไก่ทดลองที่ผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่วนประกอบและราคาอาหารต่อกิโลกรัมของสูตรอาหารทั้ง 2 ระยะได้แสดงในตารางที่ 14 และ 15

ในการเตรียมอาหารแต่ละครั้งจะสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารสูตรละ 100 กรัม และนำอาหารแต่ละสูตรที่สุ่มเก็บไว้แต่ละครั้งมารวมกันแล้วสุ่มเก็บตัวอย่างสูตรละ 200 กรัม เก็บใส่ขวดแก้วเก็บตัวอย่าง นำไปแช่ไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ทางเคมีต่อไป

ตารางที่ 14 ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารสัตว์ (as-fed basis) และโภชนะในสูตรอาหารไก่เนื้อ ช่วงอายุ 2-3 สัปดาห์

วัตถุดิบอาหาร	สูตรอาหาร		
	กลุ่มควบคุม	กลีเซอรินดิบ 5 %	กลีเซอรินดิบ 10 %
ข้าวโพดบด	55.23	49.14	42.78
กากถั่วเหลือง	29.60	30.65	31.86
ปลาป่น	8.00	8.00	8.00
น้ำมันพืช	5.00	5.00	5.00
ไคแคลเซียม ฟอสเฟต	1.00	1.00	1.00
เกลือป่น	0.30	0.30	0.30
วิตามินแร่ธาตุพรีมิกซ์ ¹	0.50	0.50	0.50
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.12	0.12	0.12
แอล-ไลซีน	0.25	0.25	0.25
กลีเซอรินดิบ	-	5.00	10.00
แกลบ	-	0.04	0.19
รวม	100.00	100.00	100.00
ราคา ²	16.78	16.63	16.48
โภชนะจากการวิเคราะห์ (% ของน้ำหนักแห้ง)			
โปรตีนรวม	24.22	24.11	24.46
ไขมันรวม	6.71	6.94	8.47
เยื่อใยรวม	3.66	3.83	4.31
เถ้า	5.88	6.19	6.20
โภชนะจากการคำนวณ (% ของน้ำหนักแห้ง)			
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME: kcal/kg)	3,200	3,200	3,200
แคลเซียม	1.00	1.00	1.00
ฟอสฟอรัส	0.45	0.45	0.45
โซเดียม	0.20	0.20	0.20
ไลซีน	1.00	1.00	1.00
เมทไธโอนีน + ซิสทีน	0.90	0.90	0.90
ธรีโอนีน	0.80	0.80	0.80
ทริปโตเฟน	0.20	0.20	0.20

หมายเหตุ ¹ กิโลกรัมประกอบด้วย วิตามินเอ 2,000,000 หน่วยสากล, วิตามินดี 3 400,000 หน่วยสากล, วิตามินอี 500 มิลลิกรัม, วิตามินเค 3 100 มิลลิกรัม, วิตามินบี 2 400 มิลลิกรัม, วิตามินบี 12 2 มิลลิกรัม, ไบโอดีน 5 มิลลิกรัม, โคลีนคลอไรด์ 40 มิลลิกรัม, โคบอลต์ 10 มิลลิกรัม, ทองแดง 88 มิลลิกรัม, ไอโอดีน 120 มิลลิกรัม, แมงกานีส 5.5 กรัม สังกะสี 3 กรัม, เหล็ก 2.3 กรัม, ซีลีเนียม 1.4 กรัม, ดีแอลเมทไธโอนีน 10 กรัม

² กำหนดราคาสูตรอาหารตามราคาวัตถุดิบ (ตารางภาคผนวกที่ 1)

ตารางที่ 15 ส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารสัตว์ (as-fed basis) และโภชนะในสูตรอาหารไก่เนื้อ ช่วงอายุ 4-7 สัปดาห์

วัตถุดิบอาหาร	สูตรอาหาร		
	กลุ่มควบคุม	กลีเซอรินดิบ 5 %	กลีเซอรินดิบ 10 %
ข้าวโพดบด	62.53	56.79	50.59
กากถั่วเหลือง	21.80	22.91	24.03
ปลาป่น	8.00	8.00	8.00
น้ำมันพืช	5.00	5.00	5.00
ไคแคลเซียม ฟอสเฟต	1.00	1.00	1.00
เกลือป่น	0.30	0.30	0.30
วิตามินแร่ธาตุพรีมิกซ์ ¹	0.50	0.50	0.50
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.076	0.076	0.076
แอล-ไลซีน	0.144	0.144	0.144
กลีเซอรินดิบ	-	5.00	10.00
แกลบ	0.65	0.28	0.36
รวม	100.00	100.00	100.00
ราคา ²	15.84	15.73	15.58
โภชนะจากการวิเคราะห์ (% ของน้ำหนักแห้ง)			
โปรตีนรวม	21.49	21.79	20.32
ไขมันรวม	7.82	7.35	8.53
เยื่อใยรวม	4.20	3.49	3.44
เถ้า	6.89	7.91	7.81
โภชนะจากการคำนวณ (% ของน้ำหนักแห้ง)			
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME: kcal/kg)	3,200	3,200	3,200
แคลเซียม	0.90	0.90	0.90
ฟอสฟอรัส	0.45	0.45	0.45
โซเดียม	0.15	0.15	0.15
ไลซีน	1.00	1.00	1.00
เมทไธโอนีน + ซิสทีน	0.72	0.72	0.72
ธรีโอนีน	0.80	0.74	0.74
ทริปโตเฟน	0.18	0.18	0.18

หมายเหตุ ¹ กิโลกรัมประกอบด้วย วิตามินเอ 2,000,000 หน่วยสากล, วิตามินดี 3 400,000 หน่วยสากล, วิตามินอี 500 มิลลิกรัม, วิตามินเค 3 100 มิลลิกรัม, วิตามินบี 2 400 มิลลิกรัม, วิตามินบี 12 2 มิลลิกรัม, ไบโอดีน 5 มิลลิกรัม, โคลินคลอไรด์ 40 มิลลิกรัม, โคออลด์ 10 มิลลิกรัม, ทองแดง 88 มิลลิกรัม, ไอโอดีน 120 มิลลิกรัม, แมงกานีส 5.5 กรัม, สังกะสี 3 กรัม, เหล็ก 2.3 กรัม, ซีลีเนียม 1.4 กรัม, ดีแอลเมทไธโอนีน 10 กรัม

² กำหนดราคาสูตรอาหารตามราคาวัตถุดิบ (ตารางภาคผนวกที่ 1)

3. การบันทึกข้อมูล

3.1 ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวไก่ทดลองเมื่อเริ่มทำการทดลอง จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวไก่ทดลองทุกสัปดาห์เพื่อคำนวณหาน้ำหนักตัวเพิ่ม (body weight gain, BWG) จนถึงสิ้นสุดการทดลอง

$$\text{BWG} = \text{น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดสัปดาห์} - \text{น้ำหนักตัวเมื่อเริ่มต้นสัปดาห์}$$

3.2 บันทึกปริมาณอาหารที่ไก่ทดลองกินทุกวันตลอดการทดลอง โดยชั่งน้ำหนักอาหารที่ให้กิน และน้ำหนักอาหารที่เหลือทุกวัน

3.3 บันทึกจำนวนและชั่งน้ำหนักไก่ที่ตายตลอดการทดลอง รวมทั้งปริมาณอาหารที่เหลือในวันที่ไก่ทดลองตาย

$$\text{อัตราการตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนไก่ที่ตาย (ตัว)}}{\text{จำนวนไก่เริ่มต้น}} \times 100$$

3.4 บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนระหว่างการทดลอง ทุกวันตลอดการทดลอง

4. ลักษณะที่ศึกษา

4.1 อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (average daily gain: ADG)

$$\text{ADG} = \frac{\text{น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดสัปดาห์ (กรัม)} - \text{น้ำหนักเริ่มต้นสัปดาห์ (กรัม)}}{\text{จำนวนวันที่ทดลอง}}$$

4.2 ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (feed conversion ratio)

$$\text{FCR} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่ไก่ทดลองกินทั้งหมดตลอดการทดลอง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นระหว่างการทดลอง (กรัม)}}$$

4.4 ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (feed cost per gain)

$$FCG = \text{ประสิทธิภาพการใช้อาหาร} \times \text{ราคาอาหารต่อ 1 กิโลกรัม}$$

4.5 ศึกษาลักษณะซาก ได้แก่ น้ำหนักมีชีวิต (น้ำหนักก่อนฆ่าหลังอดอาหาร 24 ชั่วโมง) น้ำหนักซากรวม (ซากที่ถอนขนไม่เอาเครื่องในออก) น้ำหนักซากอุ่น (เอาเครื่องในออก) น้ำหนักกล้ามเนื้อ และน้ำหนักของส่วนต่างๆ ได้แก่ สันนอก (*pectoralis major*) เนื้อสันใน (*pectoralis minor*) สะโพก (thigh) น่อง (drumstick) ปีก (wing) โครงร่าง (skeleton structure) หัวและคอ (head and neck) แข้งและเท้า (feet) น้ำหนักเครื่องในรวม (viscera) ตับและม้าม (liver and spleen) กระเพาะแท้ (proventriculus) กึ้น (ventriculus) กระเพาะพัก (crop) ลำไส้ (intestine) ถุงน้ำดี (gallbladder) หัวใจ (heart) น้ำหนักกระดูกรวม (bone) หนัง (skin) ไขมันรวม (whole fat) โดยการสุ่มตัวอย่างไก่ทดลองที่อายุ 3 สัปดาห์ และ 7 สัปดาห์ ซ้ำละ 2 ตัว มาเพื่อทำการวิเคราะห์

5. การวิเคราะห์ทางเคมี

สุ่มตัวอย่างอาหารทดลองทั้ง 3 สูตรทุกซ้ำ เพื่อไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี โดยวิธีวิเคราะห์โดยประมาณตามวิธีของ AOAC (2005)

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ตามคำแนะนำของ Steel and Torries (1980)

7. สถานที่ทำการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการที่หมวดสัตว์ปีก โรงผสมอาหาร โรงเรียนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพอาหารสัตว์ และโครงการใช้สมุนไพรมันในสุกร ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลของการใช้กลีเซอรินดิบระดับต่างๆ ต่อปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวเพิ่ม อัตราการการเปลี่ยนอาหาร และอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน

ผลของการใช้กลีเซอรินดิบระดับต่างๆ ต่อปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้อาหารของไก่กระทงในช่วงอายุ 2-3, 4-7 และ 2-7 สัปดาห์ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 16 โดยเมื่อเริ่มต้นการทดลองที่ 1 สัปดาห์ ไก่ทดลองมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 183.50 ± 0.45 กรัม ซึ่งน้ำหนักตัวเฉลี่ยของไก่ทดลองแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีผลทดลองแต่ละช่วงอายุดังต่อไปนี้

ผลของระดับกลีเซอรินดิบในกลีเซอรินดิบในอาหารต่อปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวเพิ่มเฉลี่ย ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันของไก่เนื้อช่วงอายุ 2-3 สัปดาห์

จากผลการทดลองในช่วงอายุ 2-3 สัปดาห์ (ตารางที่ 16) พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณอาหารที่กินสูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนน้ำหนักตัวเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกับไก่ทดลองกลุ่มอื่น ($P>0.05$)

ผลของระดับกลีเซอรินดิบในกลีเซอรินดิบในอาหารต่อปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวเพิ่มเฉลี่ย ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันของไก่เนื้อช่วงอายุ 4-7 สัปดาห์

จากผลการทดลองในช่วง 4-7 สัปดาห์ (ตารางที่ 16) พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันดีกว่าไก่ทดลองกลุ่มควบคุม และไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) อย่างไรก็ตาม ระหว่างไก่ทดลองกลุ่มควบคุม และไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่าเหล่านี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ผลของระดับกลีเซอรินดิบในกลีเซอรินดิบในอาหารต่อปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวเพิ่มเฉลี่ย ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันของไก่เนื้อช่วงอายุ 2-7 สัปดาห์

จากผลการทดลองในช่วงอายุ 4-7 สัปดาห์ (ตารางที่ 16) พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันน้อยกว่าไก่ทดลองกลุ่มควบคุม และไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ระหว่างไก่ทดลองกลุ่มควบคุม กับไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเหล่านี้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

จากผลการทดลองนี้ พบว่า ในช่วงอายุ 2-3 สัปดาห์ ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กินมากกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่พบว่า น้ำหนักตัวเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ซึ่งเป็นไปได้ว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีการใช้ประโยชน์ได้ของกลีเซอรินดิบต่ำกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่น ส่งผลให้ไก่ทดลองกินอาหารเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้พลังงานพอเพียง (Hunton, 1995) สอดคล้องกับการทดลองของ Dozier และคณะ (2008) ที่พบว่า ไก่ทดลองในช่วงอายุ 7-24 วัน จะมีการกินได้และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้นตามระดับของกลีเซอรินดิบในอาหาร นอกจากนี้การทดลองของ Simon และคณะ (2006) และ Robergs และ Griffin (1998) ยังพบว่า ในสภาวะปกติ ไก่เนื้อสามารถนำกลีเซอรินไปใช้ประโยชน์ได้ (ME) ประมาณ 60-65 เปอร์เซ็นต์ แต่ทั้งนี้ค่าการใช้ประโยชน์ได้ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์และสิ่งปนเปื้อนในกลีเซอรินดิบด้วย สำหรับค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในสูตรอาหารที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งอาจมีความแปรผันตามส่วนประกอบทางเคมีและสิ่งปนเปื้อนดังที่ได้สรุปไว้ในบทที่ 3 ดังนั้นค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของอาหารที่ผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ จึงอาจจะเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลองในตัวสัตว์จริง

สำหรับไก่ทดลองในช่วงอายุ 4-7 สัปดาห์ และ 2-7 สัปดาห์ พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน น้อยกว่าไก่ทดลองกลุ่มควบคุม และไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการกินได้ที่ลดลงจะส่งผลต่อน้ำหนักตัวเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน สำหรับการกินได้ที่ลดลงนี้ อาจเป็นผลมาจากอาหารที่ผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะเม็ดอาหารที่ค่อนข้างป่นเป็นฝุ่นผง และบางส่วนจับตัวกัน

เป็นก้อนแข็ง ซึ่งส่งผลให้ไก่ทดลองมีการกินได้ลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Cerrate และคณะ (2006) ที่พบว่าคุณภาพเม็ดอาหารไก่เนื้อจะมีลักษณะด้อยลงตามระดับกลีเซอรินดิบในอาหารที่สูงขึ้น และจะส่งผลให้การกินได้ของไก่เนื้อลดลง นอกจากนี้ยังพบอีกว่า กลีเซอรินดิบที่ได้จากจากแหล่งการผลิตขนาดกลางมีการปนเปื้อนโซเดียมในปริมาณสูง (ดังแสดงในตารางที่ 13) ซึ่งน่าจะมีผลทำให้ไก่ทดลองกินอาหารลดลง สอดคล้องกับ รายงานของ NRC (1994) ที่สรุปว่าหากอาหารมีปริมาณโซเดียมในระดับสูง จะส่งผลให้ปริมาณอาหารที่กินและการเจริญเติบโตของไก่เนื้อลดลง

ตารางที่ 16 ปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ของไก่เนื้อในช่วงอายุ 2-7 สัปดาห์ ที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบในระดับต่างๆ

ลักษณะที่ศึกษา	สูตรอาหาร				SEM	P-Value
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	เฉลี่ย		
จำนวนไก่ทดลอง	80	80	80	183.50		
น้ำหนักเริ่มต้น	183.67	183.82	182.51	183.50	0.549	0.5654
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว)						
ช่วงอายุที่ 2-3 สัปดาห์	951.18 ^b	950.08 ^b	966.62 ^a	952.62	0.9339	0.0001
ช่วงอายุที่ 4-7 สัปดาห์	5,343.77 ^a	5,320.26 ^a	4,913.77 ^b	5,192.60	24.6876	0.0001
ช่วงอายุที่ 2-7 สัปดาห์	6,386.65 ^a	6,359.97 ^a	5,839.05 ^b	6,195.22	30.5866	0.0001
น้ำหนักตัวเพิ่ม (กรัม/ตัว)						
ช่วงอายุที่ 2-3 สัปดาห์	653.658	654.073	655.125	654.28	5.6370	0.9822
ช่วงอายุที่ 4-7 สัปดาห์	2,093.24 ^a	2,090.52 ^a	1707.97 ^b	1,963.909	35.0456	0.0001
ช่วงอายุที่ 2-7 สัปดาห์	2,813.15 ^a	2,806.07 ^a	2,434.07 ^b	2,684.43	37.7395	0.0001
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร						
ช่วงอายุที่ 2-3 สัปดาห์	1.44	1.45	1.476	1.45	0.1222	0.2692
ช่วงอายุที่ 4-7 สัปดาห์	2.55 ^b	2.54 ^b	2.88 ^a	2.66	0.0543	0.0025
ช่วงอายุที่ 2-7 สัปดาห์	2.271 ^b	2.267 ^b	2.401 ^a	2.31	0.0325	0.0281
อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (กรัม)						
ช่วงอายุที่ 2-3 สัปดาห์	46.69	46.72	46.79	46.73	0.4026	0.9822
ช่วงอายุที่ 4-7 สัปดาห์	74.76 ^a	74.66 ^a	60.99 ^b	70.13	1.2516	0.0001
ช่วงอายุที่ 2-7 สัปดาห์	66.98 ^a	66.81 ^a	57.95 ^b	63.91	0.8985	0.0001

หมายเหตุ : ^{a, b, c} อักษรในแนวนอนที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ

อัตราการตายและผลจากการตรวจซาก

จากการทดลองระยะเวลา 1-6 สัปดาห์ พบว่า ไก่ทดลองไม่มีการตาย หรือเกิดความผิดปกติที่เกิดจากการกลีเซอรินดิบในอาหาร และจากการตรวจซาก โดยสัตวแพทย์ประจำฟาร์มของภาควิชาสัตวศาสตร์ พบว่า ม้าม หัวใจ กระเพาะอาหาร ลำไส้ และตับอ่อนของไก่ทุกกลุ่มไม่พบความผิดปกติเนื่องมาจากเมทานอลที่ปนเปื้อนอยู่ในกลีเซอรินดิบ แม้ว่า Kinoshita และคณะ (1998) ได้รายงานว่าได้ตรวจพบเนื้อตายบนเนื้อเยื่อตับอ่อน (focal hepatocyte necrosis) และเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของร่างกาย อันเนื่องมาจากการออกฤทธิ์ทำลายของกรดแลคติก ที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของเมทานอล (ดังแสดงไว้ในภาพที่ 10) ซึ่งการที่เมทานอลที่ปนเปื้อนในกลีเซอรินดิบที่ผสมในอาหารไม่ส่งผลให้ตับอ่อนและเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของร่างกายเกิดความผิดปกติ อาจเนื่องจากการทดลองนี้ได้ใช้อาหารอัดเม็ดที่ผ่านกระบวนการอบด้วยความร้อน จนทำให้เมทานอลที่สามารถระเหยได้ในอุณหภูมิห้องไม่หลงเหลืออยู่ในกลีเซอรินดิบ

ผลของการใช้กลีเซอรินดิบในอาหารที่ระดับต่างๆ ต่อคุณภาพซากของไก่เนื้อ

ผลของการใช้กลีเซอรินดิบในอาหารที่ระดับต่างๆ ต่อคุณภาพซากของไก่เนื้อ เมื่ออายุครบ 3 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 17 พบว่า น้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากรวม น้ำหนักซากอุ่น ของไก่ทดลองทั้ง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และพบว่า เปอร์เซ็นต์ซากส่วนกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อ หนัง ไขมันรวม ชิ้นส่วนหน้าอก สันใน สะโพก ชิ้นส่วนน่อง ชิ้นส่วนปีก โครงร่าง หัว แข้งและเท้า ของไก่ทดลองทั้งสามกลุ่มไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่พบว่าเปอร์เซ็นต์ซากอวัยวะส่วน ตับและม้าม กิ่ง ลำไส้ และหัวใจ ของไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 17 ส่วนประกอบซากของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินชนิดิระดับต่างๆ เมื่อสิ้นการทดลองที่ 3 สัปดาห์ (เปอร์เซ็นต์)

ส่วนประกอบของซาก	สูตรอาหาร			SEM	P-Value
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3		
น้ำหนักมีชีวิต* (กรัม)	708.00	680.25	675.25	8.89	0.4508
น้ำหนักซากรวม (กรัม)	555.50	537.75	513.00	15.71	0.2144
น้ำหนักซากอ่อน	78.46	79.05	75.96	0.597	0.074
น้ำหนักกล้ามเนื้อ	49.50	50.59	50.10	0.03	0.13
หนัง	8.58	8.53	8.11	0.07	0.018
ไขมันรวม	6.18	6.25	6.23	0.02	0.001
น้ำหนักกระดูก	52.59	53.03	52.72	0.04	0.71
ชิ้นส่วนหน้าอก	19.58	19.34	19.71	0.02	0.003
สันใน	3.92	3.67	3.75	0.10	0.571
สะโพก	14.04	14.04	13.74	0.02	0.282
ชิ้นส่วนน้อง	12.87	12.60	12.77	0.03	0.005
ชิ้นส่วนปีก	10.31	10.38	10.67	0.03	0.005
โครงร่าง	22.28	20.97	21.54	0.01	0.0001
หัวและคอ	10.17	10.27	10.28	0.08	0.001
แข้งและเท้า	5.72	5.76	5.85	0.09	0.003
น้ำหนักเครื่องในรวม	3.89 ^b	4.03 ^b	4.75 ^a	0.03	1.61
ตับและม้าม	1.81 ^b	1.84 ^b	2.14 ^a	0.01	0.0001
กระเพาะแท้	0.32	0.33	0.38	0.02	0.1446
กึ้น	1.90 ^b	1.95 ^b	2.28 ^a	0.03	0.0001
กระเพาะพัก	1.05	1.11	1.20	0.05	0.1453
ลำไส้	4.10 ^c	4.32 ^b	5.10 ^a	0.03	0.0001
ถุงน้ำดี	0.13	0.13	0.15	0.02	0.5905
หัวใจ	0.51 ^b	0.50 ^b	0.60 ^a	0.03	0.0472

หมายเหตุ * น้ำหนักมีชีวิต หมายถึง น้ำหนักไก่เนื้อที่อดอาหาร 12 ชั่วโมง

^{a, b} อักษรในแนวนอนที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ

ผลของการใช้กลีเซอรินดิบในอาหารที่ระดับต่างๆ ต่อน้ำหนักมีชีวิต และคุณภาพซาก เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 7 สัปดาห์ แสดงไว้ในตารางที่ 18 จากผลการศึกษา พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักมีชีวิต และน้ำหนักซากรวม ค่อนข้างกว่าไก่ทดลองกลุ่มควบคุม และไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ กับไก่ทดลองในกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Cerrate และคณะ (2006) ที่รายงานว่า ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงอายุ 6 สัปดาห์ มีน้ำหนักซากรวมไม่ต่างกับไก่เนื้อกลุ่มควบคุม และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Lessard และคณะ (1993) ที่รายงานว่า ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอริน 5 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ซากรวมไม่ต่างกับไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) นอกจากนี้พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ และไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ซากอ่อน น้ำหนักกล้ามเนื้อ น้ำหนักกระดูก สะโพก และน่อง ค่อนข้างกว่าไก่ทดลองกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับชิ้นส่วนหน้าอก พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนหน้าอกค้ำกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่พบว่า เปอร์เซ็นต์ซากส่วนสันในไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Cerrate และคณะ (2006) ที่รายงานว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักของเนื้อส่วนหน้าอกน้อยกว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับซากส่วนอวัยวะภายใน พบว่า อวัยวะภายในบางส่วน เช่น ตับและม้าม กิ่ง ดี และหัวใจ ของไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับซากส่วนไขมันรวม พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ซากส่วนไขมันรวมสูงที่สุด รองลงมาคือ ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ และไก่ทดลองกลุ่มควบคุมตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Lessard และคณะ (1993) ที่พบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ของไขมันช่องท้องเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมันช่องท้องนั้น อาจจะเป็นไปได้ว่ากลีเซอรินดิบที่ไก่ทดลองได้รับ ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของไขมันในพลาสมา (plasma lipids) และไลโปโปรตีน (lipoprotein) ในกระแสเลือด (Narayan *et al.*, 1977) ทั้งนี้เนื่องจาก กลีเซอรินที่ร่างกายสัตว์ได้รับจะไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (esterification) หรือปฏิกิริยาการเกิดไขมันภายในเซลล์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันที่เกิดขึ้นภายในเซลล์จะสร้างพันธะเอสเทอร์ระหว่างกลีเซอรินและกรดไขมันอิสระที่ได้รับจากอาหาร

หรือจากภายในร่างกายได้เป็นไตรกลีเซอไรด์ (ภาพที่ 7) นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์ค่าไขมันรวมของอาหารที่ผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 15) พบว่ามีค่าสูงกว่าอาหารสูตรอื่น ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการสะสมของไขมันในร่างกายด้วยอีกทางหนึ่ง

ตารางที่ 18 เปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบซากของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบระดับต่างๆ เมื่อสิ้นการทดลองที่ 7 สัปดาห์ (เปอร์เซ็นต์)

ส่วนประกอบของซาก	สูตรอาหาร			SEM	P-Value
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3		
น้ำหนักมีชีวิต* (กรัม)	2,416.67 ^a	2,450.00 ^a	2,166.67 ^b	51.28	0.0001
น้ำหนักซากรวม (กรัม)	2,056.67 ^a	2,015.67 ^a	1,806.67 ^b	37.37	0.0008
น้ำหนักซากอ่อน	85.61 ^a	82.27 ^b	83.36 ^b	0.33	0.157
น้ำหนักกล้ามเนื้อ	42.47 ^a	40.80 ^b	40.90 ^b	0.26	0.0029
หนัง	8.91 ^b	8.88 ^{ab}	9.26 ^a	0.02	0.0587
ไขมันรวม	3.14 ^c	4.13 ^b	7.73 ^a	0.02	0.0001
น้ำหนักกระดูก	15.10 ^c	15.82 ^b	17.98 ^a	0.03	0.0010
ชิ้นส่วนหน้าอก	19.85 ^a	20.26 ^a	19.69 ^b	0.06	0.0070
สันใน	4.46	4.29	4.19	0.09	0.1387
สะโพก	15.79 ^a	14.83 ^b	14.95 ^b	0.07	0.0001
ชิ้นส่วนน้อง	12.46 ^a	12.29 ^a	11.39 ^b	0.10	0.7110
ชิ้นส่วนปีก	9.22	9.24	9.26	0.04	0.8045
โครงร่าง	21.71	21.77	21.78	0.09	0.8288
หัวและคอ	6.32	6.35	6.30	0.04	0.7270
แข้งและเท้า	4.30	4.37	4.52	0.026	0.2248
น้ำหนักเครื่องในรวม	3.89 ^b	4.03 ^b	4.75 ^a	0.03	1.6100
ตับและม้าม	1.81 ^b	1.84 ^b	2.14 ^a	0.01	0.0001
กระเพาะแท้	0.32	0.33	0.38	0.02	0.1446
กึ้น	1.90 ^b	1.95 ^b	2.28 ^a	0.03	0.0001
กระเพาะพัก	1.05	1.11	1.20	0.05	0.1453
ลำไส้	4.10 ^c	4.32 ^b	5.10 ^a	0.03	0.0001
ถุงน้ำดี	0.13	0.13	0.15	0.02	0.5905
หัวใจ	0.51 ^b	0.50 ^b	0.60 ^a	0.03	0.0472

หมายเหตุ * น้ำหนักมีชีวิต หมายถึง น้ำหนักไก่เนื้อที่ออกอาหาร 12 ชั่วโมง

^{a, b} อักษรในแนวนอนที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ

ต้นทุนอาหารในการผลิตไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบในระดับต่างๆ

ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไก่ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม แสดงในตารางที่ 19 เมื่อพิจารณาต้นทุนค่าอาหารในช่วงระยะเวลาการเลี้ยง 2-3 สัปดาห์ พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักเพิ่มต่ำสุด (24.11บาท/กิโลกรัม) รองลงมาคือ ไก่ทดลองกลุ่มควบคุม (24.16บาท/กิโลกรัม) โดยที่ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักเพิ่มสูงสุด (24.32 บาท/กิโลกรัม)

ช่วงอายุที่ 4-7 สัปดาห์ พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักเพิ่มต่ำสุด (39.95 บาท/กิโลกรัม) รองลงมาคือ ไก่ทดลองกลุ่มควบคุม (40.39 บาท/กิโลกรัม) ขณะที่ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักเพิ่มสูงสุด (44.87 บาท/กิโลกรัม) เมื่อคิดต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักเพิ่มตลอดช่วงอายุ 2-7 สัปดาห์ พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักเพิ่มต่ำสุด (36.68 บาท/กิโลกรัม) รองลงมาคือ ไก่ทดลองกลุ่มควบคุม (37.04 บาท/กิโลกรัม) โดยที่ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักเพิ่มสูงสุด (38.48 บาท/กิโลกรัม) จากการคำนวณค่าอาหารดังแสดงในตารางที่ 19 เห็นได้ว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักเพิ่มต่ำที่สุด ขณะที่ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักเพิ่มสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยในเรื่องประสิทธิภาพการใช้อาหาร ที่พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่น (ตารางที่ 16) นอกจากนี้ การที่ต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักเพิ่มของไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ ยังต่ำกว่าต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักเพิ่มของไก่ทดลองกลุ่มควบคุม เพราะกลีเซอรินดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมมีราคาถูกกว่าข้าวโพดบด (ตารางภาคผนวกที่ 1) ดังนั้นเมื่อนำกลีเซอรินดิบมาผสมในระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่มีความแตกต่างกัน ต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวเพิ่มของไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ จึงต่ำกว่าไก่ทดลองที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม

ตารางที่ 19 ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบระดับต่างๆ ในช่วงอายุ 2-3, 4-7 สัปดาห์ และ 2-7 สัปดาห์

ลักษณะที่ศึกษา	สูตรอาหาร								
	ช่วงอายุ 2-3 สัปดาห์			ช่วงอายุ 4-7 สัปดาห์			ช่วงอายุ 2-7 สัปดาห์		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ราคาอาหาร (บาท/กก.)	16.78	16.63	16.48	15.84	15.73	15.58	16.31	16.18	16.03
ต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักเพิ่ม (บาท/กก.)	24.16	24.11	24.32	40.39	39.95	44.87	37.04	36.68	38.48

หมายเหตุ ราคากลีเซอรินดิบเท่ากับ 4 บาท/กิโลกรัม

สรุป

1. สมรรถภาพการผลิต

การศึกษาผลของการใช้กลีเซอรินดิบในอาหารไก่เนื้อระดับต่างๆต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่มีระยะเวลาการเลี้ยงตั้งแต่ 2-7 สัปดาห์ สามารถสรุปได้ดังนี้

ในช่วงอายุที่ 2-3 สัปดาห์ ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กินสูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่พบว่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) ในช่วงอายุที่ 4-7 สัปดาห์ ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการเจริญเติบโตดีกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ และไก่ทดลองกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) เมื่อพิจารณาในช่วงอายุที่ 2-7 สัปดาห์ พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการเจริญเติบโตดีกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ และไก่ทดลองกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$)

2. ลักษณะซากและความผิดปกติของซาก

การศึกษาผลของการใช้กลีเซอรินดิบในอาหารไก่เนื้อระดับต่างๆต่อลักษณะซากและความผิดปกติของซากของไก่เนื้อ สามารถสรุปได้ดังนี้

ไก่ทดลองทั้ง 3 กลุ่มไม่มีการตายในตลอดช่วงระยะเวลาการเลี้ยง และเมื่อทำการผ่าซากวิเคราะห์ไม่พบความผิดปกติของซากแต่อย่างใด ลักษณะซากของไก่ทดลองที่อายุ 3 สัปดาห์ พบว่า ไก่ทดลองทุกกลุ่มมี น้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากรวม น้ำหนักซากอุ่นและส่วนประกอบซากไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) แต่พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ของอวัยวะภายในสูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่น ($P < 0.05$)

ลักษณะซากของไก่ทดลองที่อายุ 7 สัปดาห์ พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากรวม และน้ำหนักกล้ามเนื้อ ดีกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่น ($P < 0.05$) แต่พบว่า ซากส่วนไขมันรวม และซากส่วนอวัยวะภายใน มีเปอร์เซ็นต์สูง ไก่ทดลองกลุ่มอื่น ($P < 0.05$)

3. ต้นทุนการผลิต

การศึกษาผลของการใช้กลีเซอรินดิบในอาหารไก่เนื้อระดับต่างๆต่อต้นทุนการผลิตของไก่เนื้อที่มีระยะเวลาเลี้ยงตั้งแต่ 2-7 สัปดาห์ สามารถสรุปได้ดังนี้

ในช่วงระยะเวลาเลี้ยงที่ 2-3 สัปดาห์ และ 4-7 สัปดาห์ พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนการผลิตสูงสุด และเมื่อมาคิดต้นทุนรวมตลอดระยะเวลาเลี้ยง 2-7 สัปดาห์ พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีต้นทุนการผลิตสูงสุด

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลองที่ 1

การศึกษาค้นคว้าหาส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาของกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตไบโอดีเซลในการทดลองที่ 1 สามารถสรุปได้ดังนี้

ลักษณะทางกายภาพ

กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตทั้ง 3 แหล่ง มีลักษณะทางกายภาพต่างกัน ซึ่งพบว่า กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดใหญ่มีค่าความหนืดสูงสุด รองลงมา คือ กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตเล็ก และกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งผลิตขนาดกลาง ตามลำดับ สำหรับสำหรับค่าความเป็นกรดต่าง พบว่า กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตเล็ก มีค่าความเป็นด่างสูงกว่ากลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งอื่น

ส่วนประกอบทางเคมี

กลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตทั้ง 3 แหล่งการผลิต มีค่าพลังงานรวมและองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดเล็กมีค่าพลังงานสูงสุด และเป็นเพียงแหล่งเดียวที่พบการปนเปื้อนของกลีเซอไรด์และกรดไขมัน สำหรับกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งการผลิตขนาดกลาง พบว่า มีค่าโปรตีนรวม ความชื้น เมทานอล และส่วนประกอบของแร่ธาตุที่เป็น แคลเซียม ฟอสฟอรัส กำมะถัน และไนโตรเจน ปริมาณที่สูงแหล่งการผลิตชนิดอื่น สำหรับกลีเซอรินดิบที่ได้การผลิตขนาดใหญ่ พบว่า มีโซเดียมปนเปื้อนในปริมาณสูงสุด

สรุปผลการทดลองที่ 2

การศึกษาค้นคว้าของกลีเซอรินดิบที่ได้จากแหล่งผลิตขนาดกลางในอาหารระดับต่างๆ ต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซากของไก่เนื้อในการทดลองที่ 2 สามารถสรุปได้ดังนี้

สมรรถภาพการผลิต

1. ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงอายุ 2-3 สัปดาห์ มีปริมาณการกินอาหารสูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่น ($P < 0.05$) เนื่องจากไก่ทดลองมีการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานในอาหารต่ำกว่าสูตรอื่น ซึ่งมีข้อสังเกตว่า ปริมาณการกินอาหารได้ที่สูงไม่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตดีกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่น
2. ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงอายุ 4-7 สัปดาห์ มีปริมาณการกินอาหารต่ำกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่น ($P < 0.05$) ที่อาจจะเป็นผลมาจากคุณภาพเม็ดอาหารที่ค่อยลงตามปริมาณกลีเซอรินดิบที่สูงขึ้น ซึ่งปริมาณการกินอาหารที่ต่ำลงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตต่ำกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่น
3. ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินอาหาร และประสิทธิภาพการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกับไก่ทดลองกลุ่มควบคุมทั้งสองช่วงอายุ ($P > 0.05$)

ลักษณะซาก

1. ลักษณะซากของไก่ทดลองที่อายุ 3 สัปดาห์ พบว่าระดับของกลีเซอรินดิบไม่ส่งผลต่อ น้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากรวม น้ำหนักซากอ่อน และส่วนประกอบซากของไก่ทดลองทั้ง 3 กลุ่ม ($P > 0.05$) แต่พบว่า ซากส่วนอวัยวะภายในของไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)
2. ลักษณะซากของไก่ทดลองที่อายุ 7 สัปดาห์ พบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักมีชีวิต และน้ำหนักซากรวม ค่อนข้างสูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และพบว่า ไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 5 เปอร์เซ็นต์ และไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ซากอ่อน น้ำหนักกล้ามเนื้อ น้ำหนักกระดูก สะโพก และโครงร่าง ค่อนข้างสูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่พบว่าไขมัน และซากส่วนอวัยวะภายในของไก่ทดลองที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่น ซึ่งเป็นไปได้ว่าระดับของกลีเซอรินดิบในอาหารที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าไขมันในซากสูงขึ้นตาม นอกจากนี้ยังพบว่าอาหารที่ผสมกลีเซอรินดิบ 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าไขมันรวมในอาหารที่สูงกว่าอาหารสูตรอื่น ซึ่งไขมันรวมในอาหารอาจจะส่งผลต่อปริมาณไขมันในซากด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. กระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีการใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพและความบริสุทธิ์แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลให้คุณสมบัติทางเคมีและคุณค่าทางโภชนา และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกลีเซอรินดิบที่ได้แต่ละแหล่งการผลิตหรือแต่ละแบบทางการผลิตแตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นในการนำกลีเซอรินดิบมาใช้เป็นส่วนผสมอาหารสัตว์แต่ละครั้ง จึงควรมีการวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนา ส่วนประกอบทางเคมี และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของกลีเซอรินดิบที่จะนำมาผสมทุกครั้ง

2. กลีเซอรินดิบอาจจะมีค่าความเป็นกรดต่างและสารเคมีปนเปื้อนต่างกัน ตามสารตั้งต้นและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น มีค่าความเป็นด่างสูง มีไบโอดีเซล สบู่ และเมทานอลปนเปื้อน ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายกับสัตว์ หากได้รับในปริมาณสูง ดังนั้นก่อนที่จะนำกลีเซอรินดิบไปใช้เป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ ควรนำกลีเซอรินดิบไปปรับสภาพก่อน เช่น นำไปสลายสบู่ (soap splitting) เพื่อเปลี่ยนสบู่ให้กลับไปเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ซึ่งสามารถทำได้โดยเติมกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 98 เปอร์เซ็นต์ และปรับให้เป็นกลางโดยการเติม NaOH นอกจากนี้ ควรนำกลีเซอรินดิบไปอบด้วยความร้อนประมาณ 80 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยเมทานอลออกก่อนที่จะนำไปใช้เป็นส่วนประกอบอาหารสัตว์

3. กลีเซอรินดิบเป็นสารที่ดูความชื้นและอาจจะมีส่วนประกอบเป็นกรดไขมันอิ่มตัว เมื่อนำมาเป็นส่วนประกอบอาหารสัตว์ อาจจะทำให้อาหารสัตว์ขึ้นรา และมีกลิ่นหืนได้ ดังนั้นเมื่อนำกลีเซอรินดิบผสมเป็นส่วนประกอบอาหารสัตว์แล้ว ควรจะรีบนำไปให้สัตว์กินให้หมดภายใน 3 วัน

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน 2555 สถิติพลังงานและรายงานประจำปี. (ออนไลน์) สืบค้นจาก : <http://www.dede.go.th/dede/> [เข้าถึงเมื่อ 24 เมษายน 2555].

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2542. ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์. เชียงใหม่.: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 178 น.

พนม ถนอมทรัพย์. 2544. ไปโอดีเซลเชื้อเพลิงแห่งยุค. วารสารหมออนามัย. ก.ย.-ต.ค. : 31-34.

วิภา สุโรจนะเมธากุล. 2546. คุณสมบัติและประโยชน์ของกลีเซอริน. วารสารอาหาร. เม.ย.-มิ.ย. :87-89.

สุรารักษ์ บุญโชติ. 2544. การทำกลีเซอรินที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันพืชให้บริสุทธิ์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

AOAC. 2005. Official Method of Analysis of Official Analysis Chemist 17th ed. Washinton, D.C. : Association of Official Analytical Chemist, Inc.

AOCS. 2000. Official Method and Recommend Practice of The American Oil Chemists' Society. 5th ed. Washington, D.C. American Oil Chemists' Society, Inc.

ASTM. 2003. Fat and oil derivatives Fatty Acid Methyl Esters (FAME) Determination of methanol content. EN 14110. Philadelphia. ASTM International, Inc.

ASTM. 2003. Standard test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids. D445. Philadelphia. ASTM International, Inc.

ASTM. 2006. Annual Book of American Society for Testing and Materials Standards International, Vol. 05.04, Petroleum Products and Lubricants (IV): D6557. West Conshohocken. ASTM International, Inc.

ASTM. 2010. Standard Test Methods for Chloride Ion In Water. D512-10. Philadelphia. ASTM International, Inc.

- ASTM. 2011. Standard Test Method for Determination of Fatty Acids and Esters in Glycerin. DD7638 - 10. Philadelphia. ASTM International, Inc.
- ASTM 2011. Standard Test Method for Determination of Glycerin Assay by Titration (Sodium Meta Periodate). D7637-10. West Conshohocken. ASTM International, Inc.
- Bartlet, J., and Schneider, D. 2002. Investigation on the energy value of glycerol in the feeding of poultry and pig. *Meat Science* 81 : 15-36.
- Brambilla, S. and Hill, F.W. 1966. Comparison of neutral fat and free fatty acids in high lipid low carbohydrates diets for the growing chicken. *J. Nutr.* 88 : 84-92.
- Budavari, S. 1989. *The Merck Manual*. 11th ed. New Jersey.: Merck & Co. pp. 132.
- Cerrate, S., Yan, F., Wang Z., Cotto, C., Sacaki, P. and Waldroup, P.W. 2006. Evaluation of glycerine from biodiesel production as feed ingredient for broiler. *J. Poult. Sci.* 5 : 1001-1007.
- Cullen, M.P., Rasmussen, O.G. and Wilder, O.H.M. 1962. Metabolizable energy value and utilization of different types and grade of fat by the chick. *J. Poult. Sci.* 41 : 360-367.
- Dorsey, N.E. 1940. *Viscosity of water taken from ordinary water substance*, New York. p 184.
- Dozier, W.A., Kerr, B.J., Corzo, A., Kidd, M.T., Weber, E. and Bregendals, K. 2008. Apparent metabolism energy of glycerine for broiler. *J. Poult. Sci.* 87 : 317-322.
- FDA. 2006. *Code of Federal Regulations*. Title 21, Vol. 6, 21CFR582.1320.
- Gianfelici, M.F., Ribeiro, A.M.L., Penz Jr, A.M., Kessler, A.M., Vieira, M.M. and Machinsky, T. 2011 Determination of Apparent metabolizable energy of crude glycerin in broilers chickens. *Brazilian J. Poult Sci.* 13 : 255-258

- Groesbeck, C.N., McKinney, L.J., DeRouchey, J. M., Tokach, M.D., Goodband, R. D., Dritz, S.S., Nelssen, J.L., Duttlinger, A.W., Fahrenholz A.C. and Behnke, K.C. 2008. Effect of crude glycerol on pellet mill production and nursery pig growth performance. *J. Anim. Sci.* 86 : 2228-2236.
- Hagopian, K., Ramsey, J.J. and Weindruch, R. 2008. Enzymes of glycerol and glyceraldehyde metabolism in mouse liver and effects of caloric restriction and age on activities. *J. Biosci.* 28 : 107-115.
- Hansen, C.F., Hernandez, A., Mullan, B.P., Moore, K., Murray, M., King, R.H. and Plusk, J.R. 2009. A chemical analysis of samples of crude glycerol from the production of biodiesel in Australia, and the effects of feeding crude glycerol to growing-finishing pigs on performance, plasma metabolites and meat quality at slaughter. *J. Anim. Sci.* 49 : 154-161.
- Hunton, P. 1995. Poultry production. *World Animal Science* 9th. pp. 82-84. Amsterdam : Elsevier.
- Jangerman, E., 1991. Glycerine : A key cosmetic ingredient. New York. Merceel Dekker, Inc.
- Kerr, B.J., Dozier, W.A. and Bregendahl, K. 2007. Nutrition value of crude glycerin for nonruminant. *In* Proceeded proceeding of 23rd annual Carolina swine nutrition, pp. 6-18. North Carolina : Iowa State University Press.
- Kinoshita, H., Ijiri, I., Ameno, S., Tanaka, N., Kubota, T., Tsujima, M., Watanabe, R. and Ameno, K. 1998. Combined toxicity of methanol and formic acid. *J. Legal. Med.* 111 : 334-335.
- Lammer, P.J., Kerr, B.J., Honeyman, M.S., Dozier, W.A., Weber, T.E., Kidd, T.E. and Bregendahl, K. 2008. Nitrogen corrected apparent metabolism energy value of crude glycerol for layer hens. *Poult. Sci.* 87 : 104-107.

- Lessard, P., Lefrancois, M.R. and Bernier, J.F. 1993. Dietary addition of cellular metabolic intermediates and carcass fat deposition in broilers. *Poult. Sci.* 72: 535-545.
- Lin, M. H., Romsos, D. R. and Leveille, G. A. 1976. Effect glycerol on enzyme activities and on fatty acid synthesis in the rat and chicken. *J. Nutr.* 106:1668-1677.
- Ma, F., Clement, L.D., and Hanna, M.A. 1998. Biodiesel fuel from animal fat. Ancillary studies on tranesterification of beef tallow. *Ind. Eng. Chem.Res.* 37 : 3768-3771
- McDowell, L. R. and J. H. Conrad. 1977. Trace mineral nutrition in Latin America. *World Anim. Rev.* : 22-24.
- Moreng, R. E. and Avens, J. S. 1985. *Poultry Sciences & Production*. Virginia : Reston Publishing Company, Inc.
- Narayan, K.A., McMullen, J.J. Wakefield, T. and Calhoun, W.K. 1977. Influence of dietary glycerol on the serum lipoproteins of rats fed a fat-free diet. *J. Nutr.* 107 : 2153-5163.
- National Research Council. 1994. *Nutrient Research of Poultry*. 9th rev. ed. Washington D.C. : National Academy Press.
- Robergs R.A. and S.E. Griffin. 1998. Glycerol: Biochemistry, pharmacokinetics and clinical and practical applications. *Sports Med.* 26(3) : 145-167.
- Roe, O. 1982. Species Differences in Mehtanol Poisoning, *CRC Critical Reviews In Toxicology* : 275-286.
- Schumacher, Joel. 2007. Small Scale Biodiesel Production. Paper presented at Agricultural Marketing Policy Center. Montana: Montana State University. 6 p.
- SDA 1990. *Glycerine: an overview*. Washinton, D.C. The Soap and Detergent Association, Inc.

- Singhabhandhu, A. and Tezuka, T. 2010. A perspective on incorporation of glycerin purification process in biodiesel plants using waste cooking oil as feedstock. *J. Energy* 35 : 2493-2504.
- Simon, A., H Bergner and M. Schwabe, 1996. Glycerol feed ingredient for broiler chicken. *Arch. Anim. Nutr.* 49: 103-112.
- Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1980. *Principles and Procedures of Statistics (A Biometrics Approach)*. 2nd ed. New York : McGraw-Hill.
- Thompson, J.C. and He, B.B. 2006. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstock. *Appl. Eng. Agric.* 22 : 261-265.

ภาคผนวก ก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ในการประกอบสูตรอาหารไก่เนื้อ

วัตถุดิบอาหารสัตว์	ราคา (บาท/กก.) ¹
ข้าวโพดบด	9.00
กากถั่วเหลือง	18.60
ปลาป่น	34.00
น้ำมันพืช	40.00
ไคแคลเซียม ฟอสเฟต	6.00
เกลือป่น	6.70
วิตามินแร่ธาตุพรีเม็กซ์	150.00
ดีแอล-เมทไธโอนีน	129.00
แอล-ไลซีน	75.00
กลีเซอรินดิบ	4.00 ²

หมายเหตุ ¹ ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ทดลองโดยเฉลี่ยระหว่าง เดือนกรกฎาคม 2552 ถึง เดือนสิงหาคม 2554 จากร้านขายวัตถุดิบอาหารสัตว์ใน อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา

² เป็นราคากลีเซอรินดิบที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพ

วิธีการฆ่าและชำแหละซาก

วิธีการฆ่าและชำแหละซากทำตามวิธีของ Moreng และ Avens (1985) มีขั้นตอนดังนี้ (ภาพภาคผนวก)

1. อุดอาหารไก่ (โดยยังคงให้กินน้ำ) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
2. ชั่งและบันทึกน้ำหนักมีชีวิตก่อนฆ่า (live body weight)
3. ฆ่าโดยวิธีตัดเส้นเลือดที่คอ (jugular vein) และปล่อยเลือดให้ไหลออกจากตัวประมาณ 3 นาที
4. จุ่มซากไก่ลงในน้ำร้อน อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2 นาที
5. ถอนขน โดยนำตัวไก่ลงในเครื่องถอนขนอัตโนมัติ เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำออกมาถอนขนที่เปลือกกับมืออีกครั้งจนหมด เพื่อให้ซากสะอาดยิ่งขึ้น ชั่งและบันทึกน้ำหนักซากก่อนทั้งตัว (รวมทั้งเครื่องใน)

6. ผ่าเอากระเพาะพักออกจากซากไก่และผ่าช่องท้องเอาอวัยวะภายในออกช่องท้อง และแยกส่วนที่กินได้ (gibblets) เช่น ตับ หัวใจ กึ้น ม้าม และกระเพาะแท้ ออกมารวมไว้อีกพวกหนึ่ง จากนั้นชั่งน้ำหนักซากอ่อนทั้งตัว (ไม่รวมเครื่องใน) และชั่งน้ำหนักเครื่องในที่กินได้ บันทึกน้ำหนัก

7. นำซากอ่อนที่ได้แยกออกเป็นส่วนต่างๆดังนี้

7.1 ตัดแยกส่วนของขาทั้งหมด (leg quarter) ออกจากส่วนของลำตัวตรง บริเวณข้อต่อระหว่างกระดูกต้นขา (femur) กับกระดูกสะโพก (ilium) จากนั้นจึงตัดแยกส่วนของหน้าแข้งและเท้าทั้ง 2 ข้าง ออกไปตรงบริเวณระหว่างกระดูกขาตอนล่าง (tibia) กับกระดูกหน้าแข้ง (tarsometatarsus) หรือตรงบริเวณข้อต่อ (hock joint) แล้วจึงตัดแบ่งอีกครั้งตรงบริเวณข้อต่อระหว่างกระดูกต้นขา กับกระดูกขาตอนล่าง ก็จะได้เป็นส่วนของขาตอนบนหรือสะโพก (thigh) กับส่วนของน่อง (drumstick) ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนัก

7.2 ตัดแยกส่วนของปีก ตรงบริเวณรอยต่อของกระดูกบน (humerus) ที่ติดกับลำตัวในบริเวณหัวไหล่ ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนัก

7.3 ตัดแยกส่วนของเนื้อหน้าอก (breast) ซึ่งหมายถึงแผ่นกล้ามเนื้อหน้าอกทั้งหมด คือ ส่วนของสันนอก (pectoris major) และ สันใน (pectoris minor) โดยสามารถลอกออกมาจากกระดูกหน้าอก และซี่โครงได้ง่ายโดยไม่ติดกระดูกภายหลังหลังจากกรีดเนื้อตามแนวกระดูกสันหลังและตามแนวสันกระดูกหน้าอก

ตารางภาคผนวกที่ 2 น้ำหนักส่วนประกอบซากของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบระดับต่างๆ เมื่อสิ้นการทดลองที่ 3 สัปดาห์ (กรัม)

ส่วนประกอบของซาก	สูตรอาหาร			เฉลี่ย
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	
น้ำหนักมีชีวิต*	708.00	680.25	675.25	687.83
น้ำหนักซากรวม	555.50	537.75	513.00	535.42
น้ำหนักกล้ามเนื้อ	275.00	274.00	257.00	268.66
ชิ้นส่วนหน้าอก	108.75	104.00	96.00	102.92
สันใน	21.75	19.75	19.25	20.25
ชิ้นส่วนสะโพก	78.00	75.50	70.50	74.67
ชิ้นส่วนน่อง	71.50	67.75	65.50	68.25
ชิ้นส่วนปีก	57.25	54.75	54.75	55.58
โครงร่าง	123.75	112.75	110.50	115.67
หัว	56.50	55.25	52.75	54.83
แข้งและเท้า	31.75	31.00	30.00	30.92
น้ำหนักเครื่องในรวม	102.00	98.75	98.25	99.67
ตับและม้าม	17.00	16.25	16.00	16.42
กระเพาะแท้	5.50	5.25	5.25	5.33
กึ้น	24.25	22.75	21.00	22.67
กระเพาะพัก	6.50	5.75	5.25	5.83
ลำไส้	43.75	42.00	41.75	42.50
ถุงน้ำดี	1.50	1.25	1.25	1.33
หัวใจ	3.75	3.75	3.75	3.75
น้ำหนักกระดูก	365.25	360.75	356.00	360.67
หนัง	60.75	58.00	54.75	57.83
ไขมันรวม	40.85	42.50	42.07	45.14

หมายเหตุ * น้ำหนักมีชีวิต หมายถึง น้ำหนักไก่เนื้อที่อดอาหาร 12 ชั่วโมง

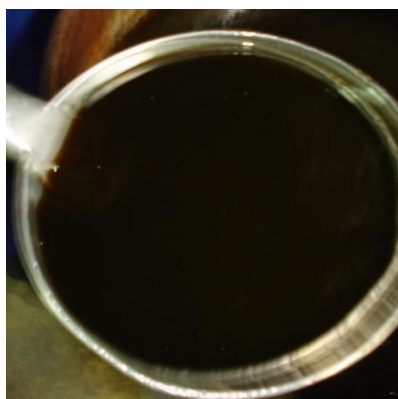
ตารางภาคผนวกที่ 3 น้ำหนักส่วนประกอบซากของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารผสมกลีเซอรินดิบระดับต่างๆ เมื่อสิ้นการทดลองที่ 7 สัปดาห์ (กรัม)

ส่วนประกอบของซาก	สูตรอาหาร			เฉลี่ย
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	
น้ำหนักมีชีวิต*	2416.67	2450.00	2166.67	2377.78
น้ำหนักซากรวม	2056.67	2015.67	1806.67	1963.00
น้ำหนักกล้ามเนื้อ	878.91	824.05	742.98	815.31
ชิ้นส่วนหน้าอก	408.33	404.33	357.67	390.11
สันใน	91.83	86.50	74.67	84.33
ชิ้นส่วนสะโพก	324.67	299.00	271.67	298.45
ชิ้นส่วนน่อง	256.26	247.72	205.77	236.58
ชิ้นส่วนปีก	189.83	186.33	167.83	181.33
โครงร่าง	446.50	438.83	393.57	426.33
หัว	130.00	128.12	113.83	123.98
แข้งและเท้า	88.50	88.17	78.67	85.11
น้ำหนักเครื่องในรวม	260.33	249.67	246.00	252.00
ตับและม้าม	47.33	45.00	44.17	45.50
กระเพาะแท้	8.33	8.17	7.83	8.11
กึ้น	49.67	47.83	47.17	48.22
กระเพาะพัก	27.50	27.17	24.83	26.50
ลำไส้	107.17	105.83	105.5	106.17
ถุงน้ำดี	3.33	3.17	3.17	3.22
หัวใจ	13.33	12.17	12.00	12.50
น้ำหนักกระดูก	395.17	387.5	371.67	384.78
หนัง	183.33	179.29	159.17	173.93
ไขมันรวม	64.67	83.17 ^a	133.83	93.89

หมายเหตุ * น้ำหนักมีชีวิต หมายถึง น้ำหนักไก่เนื้อที่อดอาหาร 12 ชั่วโมง

ภาคผนวก ข

วิธีประกอบอาหารสัตว์โดยใช้กลีเซอรินดิบเป็นส่วนผสม



ภาพภาคผนวกที่ 1 กลีเซอรินดิบ



ภาพภาคผนวกที่ 2 เครื่องผสม
อาหารแฉนวนอน



ภาพภาคผนวกที่ 3 การอัดเม็ดอาหาร



ภาพภาคผนวกที่ 4 อาหารที่ผ่าน
การอัดเม็ด



ภาพภาคผนวกที่ 5 การอบอาหาร



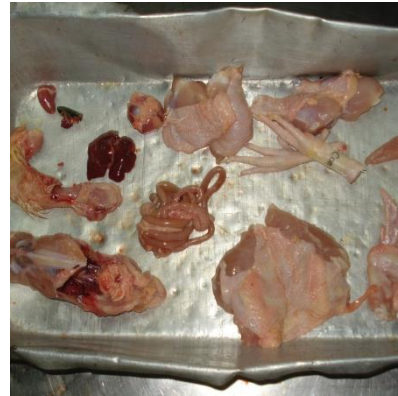
ภาพภาคผนวกที่ 6 อาหารที่ผ่าน
การอบ

ภาคผนวก ค

ลักษณะซากของไก่ทดลองที่อายุ 3 สัปดาห์



ภาพภาคผนวกที่ 7 ซากไก่ทดลอง
เอาเครื่องในออก



ภาพภาคผนวกที่ 8 ชิ้นส่วนของ
ซากเมื่อผ่านการตัดแต่ง



ภาพภาคผนวกที่ 9 ลักษณะตับ



ภาพภาคผนวกที่ 10 ส่วนกล้ามเนื้อ
โครงร่าง และไขมัน

ลักษณะซากของไก่ทดลองที่อายุ 7 สัปดาห์



ภาพภาคผนวกที่ 11 ซากไก่ทดลอง
หลังผ่าเอาเครื่องในออก



ภาพภาคผนวกที่ 12 ลักษณะเนื้อ
สันนอก



ภาพภาคผนวกที่ 13 ชิ้นส่วนของ
ซากเมื่อผ่านการตัดแต่ง



ภาพภาคผนวกที่ 14 การเลาะ
ไขมันออกจากซาก