

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	๗
สารบัญตารางภาคผนวก	ฅ
อักษรย่อ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์ในการศึกษา	2
ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและ/หรือเชิงประยุกต์	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
2.1 รูปแบบและโครงสร้างการผลิตสัตว์	3
2.2 วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานและโปรตีนในอาหารทดลอง	5
2.2.1 มันสำปะหลัง (Cassava)	5
2.2.2 ข้าวโพด (Indian Corn หรือ Maize)	5
2.2.3 ข้าว (Rice)	7
2.2.4 กากถั่วเหลือง (Soybean meal)	8
2.2.5 กากทานตะวัน (Sunflower meal)	9
2.3 หน้าที่ ความสำคัญ และแหล่งแร่ธาตุฟอสฟอรัส	9
2.4 กรดไฟติก (Phytic acid)	10
2.4.1 การสังเคราะห์ไฟเตทในเมล็ดธัญพืช	12
2.4.2 หน้าที่ทางสรีระวิทยาของไฟเตทในเมล็ดธัญพืช	13
2.5 อิทธิพลของไฟเตทต่อการยับยั้งการใช้ประโยชน์ของโภชนาอื่นๆ	15
2.5.1 แร่ธาตุ (minerals)	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2 โปรตีน (Protein)	16
2.5.3 ไขมัน (Lipids)	17
2.6 อิทธิพลของไฟเตคต่อสิ่งแวดล้อม	18
2.7 เอนไซม์ไฟเตส	22
2.7.1 แหล่งของเอนไซม์ไฟเตส	22
2.7.2 คุณสมบัติทางกายภาพของเอนไซม์ไฟเตส	23
2.8 ผลของเอนไซม์ไฟเตสในอาหารสัตว์	24
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	29
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	29
3.1.1 การศึกษาในห้องปฏิบัติการ	29
3.1.2 การศึกษาในฟาร์มทดลอง	29
3.2 ขอบเขตและวิธีการวิจัย	30
3.2.1 การประกอบสูตรอาหารใช้ในการทดลอง	30
3.2.2 การเตรียมอาหารทดลอง	32
3.2.3 การผสมอาหารทดลอง	33
3.2.4 การศึกษาในฟาร์มทดลอง	33
3.2.5 การศึกษาและวิเคราะห์ผลทางห้องปฏิบัติการ	34
3.2.6 การบันทึกข้อมูล	35
3.2.7 การคำนวณผลการทดลอง	36
3.2.8 การวิเคราะห์ค่าทางวิเคราะห์ทางสถิติ	37
3.2.9 สถานที่ทำการวิจัย	38
3.2.10 ระยะเวลาที่ทำการทดลอง	38
บทที่ 4 ผลการทดลอง	39
4.1 การเตรียมสูตรอาหาร	39
4.1.1 การประเมินองค์ประกอบของโภชนะในวัตถุดิบอาหารสัตว์	39
4.1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเอนไซม์ไฟเตสที่สามารถทำงานได้	40

**สารบัญ (ต่อ)**

	<b>หน้า</b>
4.2 ผลการศึกษาการย่อยได้ของ โภชนะชนิดต่างๆ ในอาหารทดสอบแต่ละชนิด	42
4.2.1 กลุ่มอาหารแหล่งพลังงาน	42
4.2.1.1 อาหารทดสอบแป้งมันสำปะหลัง	42
4.2.1.2 อาหารทดสอบข้าวโพด	43
4.2.1.3 อาหารทดสอบรำข้าว	45
4.2.2 กลุ่มอาหารแหล่ง โปรตีน	46
4.2.2.1 อาหารทดสอบกากถั่วเหลือง	46
4.2.2.2 อาหารทดสอบกากทานตะวัน	48
4.3 ผลการศึกษาการย่อยได้ของ โภชนะชนิดต่างๆ ในวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด	49
4.3.1 ข้าวโพด	49
4.3.2 รำข้าว	51
4.3.3 กากถั่วเหลือง	52
4.3.4 กากทานตะวัน	54
4.4 ผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายของสุกร	55
4.4.1 อาหารทดสอบข้าวโพดและรำข้าว	55
4.4.2 อาหารทดสอบกากถั่วเหลืองและกากทานตะวัน	57
4.5 ผลการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในสิ่งขับถ่ายของสุกร	58
4.5.1 อาหารทดสอบข้าวโพดและรำข้าว	58
4.5.2 อาหารทดสอบกากถั่วเหลืองและกากทานตะวัน	59
บทที่ 5 วิจัยและสรุปผลการทดลอง	61
วิจารณ์ผลการทดลอง	61
5.1 การเตรียมสูตรอาหาร	61
5.2 การศึกษาผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อการย่อยได้ของฟอสฟอรัสในสุกรระยะรุ่น	62
5.2.1 การศึกษาผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อการย่อยได้ของฟอสฟอรัส ในอาหารทดสอบแหล่งพลังงาน	62

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.2 การศึกษาผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อการย่อยได้ของฟอสฟอรัส ในอาหารทดสอบแหล่งโปรตีน	64
5.3 การศึกษาผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อการย่อยได้ของฟอสฟอรัสใน วัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ	66
5.4 การศึกษาผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อปริมาณไนโตรเจน ในสิ่งขับถ่ายของสุกรเฉลี่ยต่อวัน	67
5.5 การศึกษาผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อปริมาณฟอสฟอรัส ในสิ่งขับถ่ายของสุกรเฉลี่ยต่อวัน	68
สรุปผลการทดลอง	71
ข้อเสนอแนะที่ได้จากการศึกษาทดลอง	72
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ	81
ภาคผนวก ข ข้อมูลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)	83
ประวัติผู้เขียน	95

### สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนะในวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ	9
2	แสดงองค์ประกอบของฟอสฟอรัสในรูปของไฟเตทในวัตถุดิบอาหารสัตว์	14
3	แสดงการเปรียบเทียบองค์ประกอบของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของไฟเตท ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่างๆ	15
4	คุณสมบัติทั่วไปของเอนไซม์ไฟเตสที่มาจากแหล่งต่างๆ	23
5	แสดงคุณลักษณะทั่วไปของเอนไซม์ไฟเตสจากหลายๆแหล่ง	24
6	แสดงผลการย่อยได้ของอาหารข้าวโพดผสมกากถั่วเหลืองในสุกร	25
7	แสดงอิทธิพลของไฟเตสที่มีต่อระดับฟอสฟอรัสในอาหาร	27
8	แสดงปริมาณ โภชนะในอาหารที่ใช้ในอาหารทดลอง	30
9	แสดงสูตรอาหารที่ใช้ในการทดลองที่ 1 แหล่งพลังงาน	31
10	แสดงสูตรอาหารที่ใช้ในการทดลองที่ 2 แหล่งโปรตีน	32
11	แสดงช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง	35
12	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์	39
13	แสดงปริมาณเอนไซม์ไฟเตสที่สามารถทำงานได้ในวัตถุดิบอาหารสัตว์	40
14	แสดงปริมาณเอนไซม์ไฟเตสที่สามารถทำงานได้ในอาหารทดลองแต่ละสูตร	41
15	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ โภชนะชนิดต่างๆ ของอาหารทดสอบ แป้งมันสำปะหลัง	43
16	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ โภชนะชนิดต่างๆ ของอาหารทดสอบข้าวโพด	44
17	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ โภชนะชนิดต่างๆ ของอาหารทดสอบรำข้าว	46
18	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ โภชนะชนิดต่างๆ ของอาหารทดสอบ กากถั่วเหลือง	47
19	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ โภชนะชนิดต่างๆ ของอาหารทดสอบ กากทานตะวัน	49
20	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ โภชนะชนิดต่างๆ ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ทดสอบข้าวโพด	50

### สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
21 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะชนิดต่างๆ ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ทดสอบรำข้าว	52
22 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะชนิดต่างๆ ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ทดสอบกากถั่วเหลือง	53
23 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะชนิดต่างๆ ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ทดสอบ กากทานตะวัน	55
24 แสดงปริมาณไนโตรเจนในสิ่งขั้บถ่ายของสุกรเฉลี่ยต่อวันจากอาหารทดสอบ ข้าวโพดและรำข้าว	56
25 แสดงปริมาณไนโตรเจนในสิ่งขั้บถ่ายของสุกรเฉลี่ยต่อวันจากอาหารทดสอบ กากถั่วเหลืองและกากทานตะวัน	58
26 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสในสิ่งขั้บถ่ายของสุกรเฉลี่ยต่อวันจากอาหารทดสอบ ข้าวโพดและรำข้าว	59
27 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสในสิ่งขั้บถ่ายของสุกรเฉลี่ยต่อวันจากอาหารทดสอบ กากถั่วเหลืองและกากทานตะวัน	60

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตสัตว์	3
2	แสดงการจำแนกองค์ประกอบหลักในอาหาร	4
3	แสดงภาพตัดตามยาวและตัดตามขวางของข้าวโพด	6
4	แสดงภาพตัดตามยาวของข้าว	7
5	แสดงภาพเมล็ดถั่วเหลือง	8
6	แสดงโครงสร้างของกรดไฟติก (Phytic acid)	11
7	แสดงโครงสร้างของไฟเตท	11
8	รูปตัดตามขวางแสดงชั้นเซลล์ของเปลือกเมล็ดข้าวสาลี	12
9	แสดงกลไกการสังเคราะห์และย่อยสลายไฟเตทภายในเซลล์เมล็ดธัญพืช	13
10	แสดงการจับตัวของแร่ธาตุกับไฟเตท	16
11	แสดงการจับตัวของโปรตีนกับไฟเตทในแบบต่างๆ	17
12	แสดงกระบวนการย่อยสลายโปรตีนโดยจุลินทรีย์	19
13	แสดงการรวมตัวและสลายตัวของ $Al^{3+}$ กับ $H_2PO_4^-$	20
14	แสดงการเกิด “ยูโทรฟิเคชัน” ภายในทะเลสาบ	21
15	แสดงปฏิกิริยาการคะตะไลซ์โดยเอนไซม์ไฟเตส	22
16	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอนไซม์ไฟเตสและค่าการย่อยได้ของฟอสฟอรัส	26

**สารบัญตารางภาคผนวก**

<b>ตารางภาคผนวก ข. ที่</b>	<b>หน้า</b>
<b>ข-1</b> T-Test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณเอนไซม์ไฟเตสที่ได้จากการคำนวณใช้ในสูตรอาหารทดสอบ (หน่วย/กก.อาหาร) กับค่าเฉลี่ยของปริมาณเอนไซม์ไฟเตสที่ได้จากการวิเคราะห์จากอาหารทดสอบ (หน่วย/กก. อาหาร)	83
<b>ข-2</b> Anova สูตรอาหารทดสอบแป้งมันสำปะหลัง	84
<b>ข-3</b> Anova สูตรอาหารทดสอบข้าวโพด	85
<b>ข-4</b> Anova วัตถุประสงค์ทดสอบข้าวโพด	86
<b>ข-5</b> Anova สูตรอาหารทดสอบรำข้าว	87
<b>ข-6</b> Anova วัตถุประสงค์ทดสอบรำข้าว	88
<b>ข-7</b> Anova สูตรอาหารทดสอบกากถั่วเหลือง	89
<b>ข-8</b> Anova วัตถุประสงค์ทดสอบกากถั่วเหลือง	90
<b>ข-9</b> Anova สูตรอาหารทดสอบกากทานตะวัน	91
<b>ข-10</b> Anova วัตถุประสงค์ทดสอบกากทานตะวัน	92
<b>ข-11</b> Anova ปริมาณ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสิ่งขับถ่ายจากอาหารทดสอบข้าวโพดและรำข้าว	93
<b>ข-12</b> Anova ปริมาณ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสิ่งขับถ่ายจากอาหารทดสอบกากถั่วเหลืองและ กากทานตะวัน	94



**อักษรย่อ**

DMI	=	Dry Matter Intake
DMF	=	Dry Matter Faeces
DMD	=	Dry Matter Digestibility
DIGPD	=	Phosphorus Digestibility in diets
DIGCAD	=	Calcium Digestibility in diets
DIGCPD	=	Crude Protein Digestibility in diets
DIGCFD	=	Crude Fibre Digestibility in diets
DIGEED	=	Ether Extract Digestibility in diets
DIGASHD	=	Ash Digestibility in diets
DIGPF	=	Phosphorus Digestibility in Feedstuffs
DIGCAF	=	Calcium Digestibility in Feedstuffs
DIGCPF	=	Crude Protein Digestibility in Feedstuffs
DIGCFF	=	Crude Fibre Digestibility in Feedstuffs
DIGEEF	=	Ether Extract Digestibility in Feedstuffs
DIGASHF	=	Ash Digestibility in Feedstuffs
D = digestibility		Cs = Cassava                      C = Corn
Rb = Rice bran		Sb = Soybean meal              Sf = Sunflower meal
DCs = Digestibility of P in Cassava		
DCsSb = Digestibility of P in Cassava-Soybean meal diet		
DCCsSb = Digestibility of P in Corn-Cassava-Soybean meal diet		
DRbCsSb = Digestibility of P in Rice bran-Cassava-Soybean meal diet		
DSfCsSb = Digestibility of P in Sunflower meal-Cassava-Soybean meal diet		
DSb = Digestibility of P in Soybean meal		DC = Digestibility P of in Corn
DRb = Digestibility of P in Rice bran		DSf = Digestibility of P in Sunflower meal
HCN	=	Hydrocyanide
EAA	=	Essential amino acid
ME	=	Metabolizable Energy

## อักษรย่อ (ต่อ)

Cu	=	Copper	Zn	=	Zinc	Co	=	Cobalt
Ca	=	Calcium	Mn	=	Manganese	Fe	=	Ferric
มก.	=	มิลลิกรัม	ก.	=	กรัม	กก.	=	กิโลกรัม
มม.	=	มิลลิเมตร	ซม.	=	เซนติเมตร	ม.	=	เมตร
มล.	=	มิลลิลิตร	ล.	=	ลิตร	mg	=	milligram
g	=	gram	kg	=	kilogram	kcal	=	kilocalorie
ml	=	mililiter	l	=	liter	<sup>o</sup> C	=	centigrade

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright© by Chiang Mai University  
 All rights reserved