สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญตาราง	ฎ
สารบาญภาพ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	3
2.1 ข้าวเหนียวก่ำ	3
2.2 สารสำคัญในรำข้าวเหนียวก่ำ	6
2.2.1 แอนโธไซยานินและโปรแอนโธไซยานิดิน (anthocyanin and proanthocyanidin)	6
2.2.1.1 ลักษณะทางเคมีของแอนโธไซยานิน	
2.2.1.2 ลักษณะทางเคมีของโปรแอนโธไซยานิดิน	
2.2.1.3 แหล่งของแอนโธไซยานินและโปรแอนโธไซยานิดิน	
2.2.1.4 การดูดซึมและเมตะบอลิซึม	
2.2.2 แกมมาโอไรซานอล (γ-oryzanol)	16
2.2.2.1 ลักษณะทางเคมีของแกมมาโอไรซานอล	
2.2.2.2 แหล่งของแกมมาโอไรซานอล	
2.2.2.3 การดูดซึมและเมทาบอลิซึมของแกมมาโอไรซานอล	
2.3 ความสัมพันธ์ของระบบภูมิคุ้มกันกับแอนโธไซยานิน โปรแอนโธไซยานิดิน และแกมมาโอไรซานอล	19
2.3.1 ระบบภูมิคุ้มกัน	19
2.3.2 สารต้านอนุมูลอิสระกับระบบภูมิคุ้มกัน	25

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 ผลของแอนโธไซยานินและโปรแอนโธไซยานินดินต่อระบบภูมิคุ้มกัน	28
2.3.4 ผลของแกมมา-โอไรซานอลต่อระบบภูมิคุ้มกัน	28
2.4 ความสัมพันธ์ของโปรแอนโธไซยานิดินต่อการดูดซึมธาตุเหล็ก	29
2.4.1 ความสำคัญของธาตุเหล็กในลูกสุกร	29
2.4.2 แหล่งของธาตุเหล็ก	31
2.4.3 การดูดซึมและการขนส่งธาตุเหล็ก	31
2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมและการใช้ประโยชน์ได้ของธาตุเหล็ก	32
2.4.5 ผลของโปรแอนโธไซยานิดินต่อการดูดซึมธาตุเหล็ก	36
2.5 ความสัมพันธ์ของธาตุเหล็กกับระบบภูมิคุ้มกัน	36
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 สารเคมี	38
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	39
3.3 สัตว์ทดลอง อาหารทดลอง และการจัดการ	39
3.4 การบันทึกข้อมูลและการเก็บตัวอย่าง	47
3.5 การศึกษาด้านสมรรถภาพการผลิต	47
3.6 การศึกษาด้านระบบภูมิคุ้มกัน	48
3.7 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กในซีรัม	52
3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ	54
3.9 สถานที่ทำการวิจัย	54
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของรำและอาหารทดลอง	55
4.2 ผลต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน	58
4.3 ผลต่อระดับธาตุเหล็กในซีรัม	59
4.3.1 ปริมาณธาตุเหล็กที่ได้รับเฉลี่ยต่อวัน	59
4.3.2 ปริมาณธาตุเหล็กในซีรัม	60
4.3.3 ปริมาณธาตุเหล็กในซีรัมเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยที่ได้รับต่อวัน	62
4.4 สมรรถภาพการผลิต	63

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 วิจารณ์ผลและสรุปผลการทดลอง	
5.1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง	65
5.2 การตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกัน	65
5.2 ปริมาณธาตุเหล็กในเลือด	72
สรุปผลการทดลอง	73
ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารอ้างอิง	77
ภาคผนวก	90
ประวัติผู้เขียน	109

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1. Composition of black rice and white rice outer layer fractions	4
2.2. Anthocyanin content in some fruits, vegetables, beverages and wines	11
2.3. Anthocyanin in rice (*Oryza sativa L.*)	12
2.4. Composition of rice bran oil	16
2.5. Sterol and triterpene contents in different edible oils	18
2.6. Endogenous and exogenous antioxidants	26
2.7. Factors influencing dietary iron absorption.6. Feed ingredients of basal diets	35
3.1 Experimental diets and chemical composition	42
4.1 Chemical composition of experimental diets by proximate analysis	59
4.2 Calculated iron intake per day during experimental period (mg/kg diet)	60
4.3 Productive performance	65

ภาคผนวก

ตาราง	หน้า
1. The comparison between calculated and analyzed nutrients in experimental diets	100
2. Average daily gain, GON and PA intake per day, as a function of treatment	101
3. Effect of treatments on Log_2 BSA IgG titer	102
4. Effects of treatments on serum iron	103
5. Effects of treatments on serum iron in percentage of iron intake (%)	104
6. Effects of CONT group on immune response and average daily gain	106
7. Effects of GON group on immune response and average daily gain	107

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 Black glutinous rice was grown in Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University	4
2.2 Basic structure of anthocyanins (flavylium cation)	7
2.3 Flavan-3-ol monomeric units in proanthocyanidins	8
2.4 Schematic of the flavonoid biosynthetic pathway	9
2.5 Potential Mechanisms of Anthocyanin Absorption	13
2.6 Possible pathway of cyanidin-3-glucoside metabolism	14
2.7 Potential route for anthocyanin metabolism and excretion	15
2.8 Structure of three major γ-oryzanol component	18
2.9 The immune system: cell-medietted and humoral immunity	21
2.10 The major lymphoid tissue of animals	22
2.11. The tunics (layers) of the GI tract	24
2.12 Mucosa-associated lymphoid tissue	24
2.13 Iron metabolism	32
2.14 Iron absorption, metabolism and excretion	34
3.1 Plan of experimental cage	40
3.2 Experimental cage design	40
3.3 The replicate cage for 4 pigs	40
3.4 Each pig was weighed once a week on Tuesday at 2 p.m.	47
3.5 Program of blood collection and immunization	49
3.6 Diagram of indirect ELISA method for screening antibody titer in mouse serum	51
3.7 Determination of antibody titer using indirect ELISA method	52
3.8. Material for determination of serum iron	53
3.9 Free of serum blank and iron serum showed blue colour	53
4.1 Effect of treatment on Log_2 IgG titer	59
4.2 Effect of treatment on serum iron	61
4.3 Serum iron in percentage of iron intake	62

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.4 Average daily feed intake (ADFI) and average daily gain (ADG)	67
4.5 Total weight gain (TWG) and average feed conversion ratio (AFCR)	67
5.1 Dietary requirements set by the National Research Council (NRC) are usually based on concentrations that maximize growth and reproduction and prevent known deficiency pathologies.	71
5.2 Effect of Intensive and duration of immune response on productivity.	71
5.3 Effects of CONT group on immune response and average daily gain	72
5.4 Effects of GON group on immune response and average daily gain	73

ภาคผนวก

ภาพ	หน้า
1. Average daily feed intake (ADFI) and average daily gain (ADG)	105
2. Total weight gain (TWG) and average feed conversion ratio (AFCR)	106

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

ADFI	average daily feed intake
ADG	average daily gain
AFCR	average feed conversion ratio
AR grade	analytical reagent grade
BSA	bovine serum albumin
CD	cell surface antigen
CMI	cell-mediated immunity
conc	concentrate
EDTA	ethylenediaminetetraacetic acid
ELISA	enzyme-linked immunosorbent assay
FCR	feed conversion ratio
Fe	iron
Fe^{2+}	ferrous ion
Fe^{3+}	ferric ion
FI	feed intake
g	gram
GON	gamma oryzanol
HMI	humoral immunity
IgA	immunoglobulin A
IgG	immunoglobulin G
IgM	immunoglobulin M
IFN	interferon
IL	interleukin
JNK	c-jun N-terminal kinase
L	liter
LAR	leucoanthocyanidin reductase

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

LDL	low density lipoprotein
LDOX	leucoanthocyanidin dioxygenase
LPH	lactate phlorizin hydrolase
LPS	lipopolysaccharide
mg	milligram
ml	milliliter
mM	millimol
M cell	microfold or membranous cell
MAPK	mitogen-activated protein kinase
N	normal
NK	natural killer
nm	nanometer
PA	proanthocyanidin
PBS	phosphate buffer solution
PGE	prostaglandin
PGRB	purple glutinous rice bran
PUFA	polyunsaturated fatty acid
ROS	reactive oxygen species
S.E.	standard error
SGULT	sodium-glucose co-transporter
SI	serum iron
TIBC	total iron binding serum
TNF	tumor necrosis factor
TWG	total weight gain
wt	weight
α	alpha
β	beta
γ	gamma

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved