ผลการเสริมสารไคโตซานในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่และปริมาณคอเลสเตอรอลในนกกระทาญี่ปุ่น *(Coturnix coturnix japonica)*

EFFECT OF CHITOSAN SUPPLEMENTATION IN THE DIETS ON PRODUCTION PERFORMANCES, EGG QUALITY AND CHOLESTEROL CONCENTRATION OF JAPANESE QUAILS *(Coturnix coturnix japonica)*.

วรลักษณ์ เที่ยงเก่า

WORALAK THIANGKAO

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสัตวศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

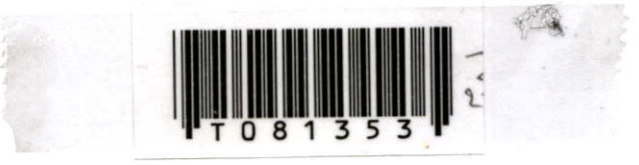
พ.ศ. 2551

KMITL-2008-AG-M-031-183

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลการเสริมสารไคโตซานในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่และปริมาณคอเลสเตอรอลในนกกระทาญี่ปุ่น (*Coturnix coturnix japonica*)

EFFECT OF CHITOSAN SUPPLEMENTATION IN THE DIETS ON PRODUCTION PERFORMANCES, EGG QUALITY AND CHOLESTEROL CONCENTRATION OF JAPANESE QUAILS (*Coturnix coturnix japonica*).



วรลักษณ์ เทียมเก่า

WORALAK THIAMKAO

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 81353
วัน,เดือน,ปี..... 11 มี.ย. 2551

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสัตวศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-AG-M-031-138

ผลการเสริมสารไคโตซานในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่และปริมาณคอเลสเตอรอลในนกกระทาญี่ปุ่น (*Coturnix coturnix japonica*)

EFFECT OF CHITOSAN SUPPLEMENTATION IN THE DIETS ON PRODUCTION PERFORMANCES, EGG QUALITY AND CHOLESTEROL CONCENTRATION OF JAPANESE QUAILS (*Coturnix coturnix japonica*).

วรลักษณ์ เทียมเก่า

WORALAK THIAMKAO

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสัตวศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-AG-M-031-138

EFFECT OF CHITOSAN SUPPLEMENTATION IN THE DIETS ON PRODUCTION PERFORMANCES, EGG QUALITY AND CHOLESTEROL CONCENTRATION OF JAPANESE QUAILS

(*Coturnix coturnix japonica*).

WORALAK THIAMKAO

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN ANIMAL SCIENCE

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

KMITL-2008-AG-M-031-138

COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ชื่อหัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลการเสริมสารไคโตซานในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่และปริมาณคอเลสเตอรอลในนกกระทาญี่ปุ่น (*Coturnix coturnix japonica*)
นักศึกษา	นางสาววรลักษณ์ เทียมเก่า
รหัสประจำตัว	47062401
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สัตวศาสตร์
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.รณชัย สิทธิไกรพงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ดร.กานต์ สุขสุแพทย์

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการเสริมสารไคโตซานในอาหารนกกระทาไข่ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่และปริมาณคอเลสเตอรอล โดยศึกษาอาหาร 6 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 อาหารควบคุม กลุ่มที่ 2 อาหารควบคุมเสริมยาปฏิชีวนะ (คลอเตตราซัยคลิน 50 พีพีเอ็ม) กลุ่ม 3 4 5 และ 6 เป็นอาหารควบคุมเสริมสารไคโตซานที่ระดับ 100 200 300 และ 400 พีพีเอ็ม ตามลำดับ การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเสริมสารไคโตซานในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่และปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มและไข่แดงของนกกระทา โดยใช้นกกระทาญี่ปุ่นเพศเมียอายุ 6 สัปดาห์ จำนวน 600 ตัว แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบด้วยนกกระทาญี่ปุ่น 25 ตัว ทำการเลี้ยงนกกระทาเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ผลการทดลองพบว่า เมื่อมีการเสริมสารไคโตซานในอาหารทำให้ เปอร์เซ็นต์การให้ไข่ ปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณโปรตีนที่ได้รับ ปริมาณพลังงานที่ได้รับ มวลไข่ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไข่ และอัตราการเลี้ยงรอดไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีแนวโน้มว่าเมื่อเสริมสารไคโตซานในอาหารนกกระทาต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่และอัตราการเลี้ยงรอดสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ ในด้านคุณภาพไข่ทุกลักษณะที่ศึกษา (น้ำหนักไข่ทั้งฟอง เปอร์เซ็นต์เปลือกไข่ เปอร์เซ็นต์ไข่แดง เปอร์เซ็นต์ไข่ขาว ค่า Haugh unit

ความหนาเปลือกไข่และความแข็งเปลือกไข่) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นกัน แต่มีแนวโน้มว่าความแข็งเปลือกไข่และความหนาเปลือกไข่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเสริมสารไคโตซานในระดับที่สูงขึ้นและเมื่อเสริมไคโตซานระดับ 200 พีพีเอ็มขึ้นไปจะให้ไข่แดงที่มีสีชีดกว่า ($P\leq0.01$) นกกระทาที่ได้รับอาหารควบคุมและอาหารเสริมยาปฏิชีวนะ ส่วนปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่ม (คอเลสเตอรอลรวมและเอชดีแอลคอเลสเตอรอล) ของนกกระทาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีแนวโน้มว่าเมื่อเสริมสารไคโตซานในอาหารจะมีผลทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มลดลงเล็กน้อย ส่วนคอเลสเตอรอลในไข่แดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$) เมื่อเสริมสารไคโตซานในระดับที่สูงขึ้น

การทดลองที่ 2 ศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารเสริมด้วยไคโตซานในนกกระทาไข่ โดยทำการสุ่มนกกระทาญี่ปุ่นอายุ 19 สัปดาห์ จำนวน 150 ตัวมาเลี้ยงในกรงเก็บมูล (Metabolic cages) เป็นระยะเวลา 12 วัน เพื่อหาการย่อยได้ โดยนกกระทาได้รับอาหารทดลอง 6 กลุ่ม (ตามอาหารทดลองจากการทดลองที่ 1) กลุ่มละ 5 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบด้วยนกกระทาไข่จำนวน 5 ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ พบว่าความชื้นในมูลสด วัตถุแห้งในมูล การย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีนในมูล การย่อยได้ของโปรตีน เปอร์เซ็นต์โปรตีนใช้ประโยชน์ได้สุทธิ เยื่อใยในมูลและการย่อยได้ของเยื่อใยในอาหารของนกกระทาไข่ที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะและกลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานทั้ง 4 ระดับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่การย่อยได้ของไขมันและพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏของอาหารลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$) ส่วนไขมันในมูลและพลังงานในมูลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$) เมื่อเพิ่มระดับสารไคโตซานในอาหารสูงขึ้น

Thesis Title	Effect of Chitosan Supplementation in the Diets on Production Performances, Egg Quality and Cholesterol Concentration of Japanese Quails (*Coturnix coturnix japonica*).
Student	Miss Woralak Thiamkao
Student ID	47062401
Degree	Master of Science
Program	Animal Science
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Ronachai Sitthigripong
Thesis Co-advisor	Assoc.Prof.Dr.Kan Suksupath

ABSTRACT

This study was conducted to determine the effect of chitosan supplementation on production performances egg quality and cholesterol concentration of Japanese quails. The experimental diets were divided into 6 groups as diet 1 : basal diet,(control group) ; diet 2 : supplementation with chlortetracycline 50 ppm in basal diet (CTC group) ; diets 3-6 : supplementation with chitosan 100 200 300 and 400 ppm in basal diet, respectively. This study was consisted of 2 experiments.

Experiment 1, the experiment was conducted of evaluated production performances, egg quality and cholesterol concentration, 600 female of Japanese quails at 6 weeks of age were randomly allotted into 6 groups (experimental diets) of 4 replications, each replication containing 25 birds. Experiments were conducted for a 12-weeks period. There were not significant differences (P>0.05) in percentage of egg production , feed consumption per egg, protein intake, energy intake, egg mass, feed conversion ratio, feed cost per egg and viability rate among the treatments. Viability rate and feed cost per egg of birds fed chitosan supplementation diets tend to increase comparing with control group. No significant differences (P>0.05) were observed on egg quality ; egg weight, egg shell

percentage, egg yolk percentage, egg albumen percentage, haugh unit, egg shell strength and egg shell thickness of birds fed all of experimental diets, but egg shell strength and egg shell thickness tend to increase when the chitosan levels in basal diet increase. Yolk color of birds fed chitosan supplementation more than 200 ppm diets were significantly decreased ($P \leq 0.01$) compared to those fed the control and CTC diets. Serum cholesterol concentration (total cholesterol and High Density Lipoprotein cholesterol) tended to decrease ($P > 0.05$) when increase of the chitosan levels in basal diet. Yolk cholesterol concentration was significantly decreased ($P \leq 0.01$) when chitosan supplementation in diet was increased.

Experiment 2, digestibility trial, 150 laying Japanese quails at 19 weeks of age were divided into 6 group of 5 replications. Each replication contained 5 birds which were randomly kept in metabolic cages for a 12-day period where water was provided *ad libitum*. Fecal moisture, fecal dry matter, dry matter digestibility, fecal protein, protein digestibility, net protein utilization, fecal fiber and fiber digestibility of laying quail were not significant difference ($P > 0.05$). When the levels of chitosan in basal diet increase not only the fecal fat excretion and fecal gross energy tend to increase but the crude fat digestibility and apparent metabolizable energy in the diets tend to decrease also.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น ต้องขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. รณชัย สิทธิไกรพงษ์ และรศ.ดร. กานต์ สุขสุแพทย์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำวิธีการวิจัยตลอดจนแก้ไขปัญหาต่างๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณคณะกรรมการที่ร่วมพิจารณาวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ซึ่งประกอบไปด้วย รศ.ดร. จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และรศ.ดร. ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์ กรรมการภายนอกสถาบันและอาจารย์ทุกท่านประจำภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ที่ให้ความรู้ในขณะศึกษา ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนเงินงบประมาณการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการโภชนศาสตร์สัตว์ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ค่าโภชนะและการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการต่างๆ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สาร ไคโตซานและขอบคุณพนักงานประจำฟาร์มเลี้ยงสัตว์ปีกของภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ที่ได้ให้ความช่วยเหลือขณะทำการทดลองวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณน้องๆ นักศึกษาปริญญาตรีที่ร่วมทำการทดลองจนสำเร็จลุล่วง ขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆปริญญาโท ซึ่งเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา คุณประโยชน์ที่พึงได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วรลักษณ์ เทียมเก่า

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....III

กิตติกรรมประกาศ.....V

สารบัญ.....VI

สารบัญตาราง.....XI

สารบัญภาพ.....XIV

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....2

1.3 สถานที่ทำการทดลอง.....2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....3

1.5 ระยะเวลาการศึกษา.....3

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 นกกระทาญี่ปุ่น (Japanese Quail).....4

2.2 ลักษณะทั่วไปของนกกระทาญี่ปุ่น.....4

2.3 ลักษณะที่สำคัญทางเศรษฐกิจของนกกระทาญี่ปุ่น.....5

2.4 คุณสมบัติของไคตินและไคโตซาน.....5

2.5 คุณสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน.....10

2.6 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตซาน.....11

2.7 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของไคโตซานในการเป็น cationic polyelectrolyte.....12

2.8 การผลิตไคตินและไคโตซาน.....13

2.8.1 การผลิตไคติน.....13

2.8.2 การผลิตไคโตซาน.....14

2.9 ความปลอดภัยและความเป็นพิษของไคโตซาน.....16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.10 การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตซานในด้านต่างๆ.....19
2.11 การเสริมไคโตซานต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์.....23
2.12 การเสริมไคโตซานต่อการย่อยได้.....25
2.13 การเสริมไคโตซานต่อภูมิคุ้มกัน.....27
2.14 การเสริมไคโตซานในอาหารต่อระดับคอเลสเตอรอล.....27
2.15 การเสริมไคโตซานต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อ.....30

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....31
3.1 สัตว์ทดลอง.....31
3.2 อุปกรณ์.....31
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงนกกระทา.....31
3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาคุณภาพไข่.....31
3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร.....32
3.2.4 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาการย่อยได้.....32
3.2.5 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการเก็บและทดสอบตัวอย่างเลือด เพื่อศึกษาคอเลสเตอรอลในซีรั่ม.....32
3.2.6 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการเก็บและทดสอบตัวอย่างไข่แดง เพื่อศึกษาคอเลสเตอรอล.....32
3.2.7 สารไคโตซาน.....33
3.3 วิธีการ.....33
3.3.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาผลการเสริมสารไคโตซานในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่ม และปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของนกกระทา.....33
3.3.1.1 แผนการทดลอง.....33
3.3.1.2 วิธีการทดลอง.....35

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1.3 การบันทึกข้อมูล.....37

3.3.1.4 การคำนวณข้อมูล.....37

3.3.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....38

3.3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารผสม ไคโตซานของนกกระทาไข่.....38

3.3.2.1 แผนการทดลอง.....38

3.3.2.2 วิธีการทดลอง.....39

3.3.2.3 การบันทึกข้อมูล.....39

3.3.2.4 การคำนวณข้อมูล.....39

3.3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....40

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....41

4.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของสูตรอาหารควบคุม.....41

4.2 ศึกษาการเสริมสารไคโตซานในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มและปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง.....42

4.2.1 เปอร์เซ็นต์การให้ไข่.....42

4.2.2 ปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณโปรตีนที่ได้รับและปริมาณพลังงานที่ได้รับ.....42

4.2.3 มวลไข่ (Egg mass) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ (FCR).....43

4.2.4 ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไข่.....44

4.2.5 อัตราการเลี้ยงรอด.....45

4.2.6 น้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟอง.....46

4.2.7 น้ำหนักเปลือกไข่.....46

4.2.8 น้ำหนักไข่แดง.....47

4.2.9 น้ำหนักไข่ขาว.....48

4.2.10 ความแข็งเปลือกไข่.....49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.11 ความหนาเปลือกไข่.....49

4.2.12 Haugh unit.....50

4.2.13 สีไข่แดง.....51

4.2.14 ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มและปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง.....52

4.3 ศึกษาการเสริมสารไคโตซานในอาหารต่อการย่อยได้ของนกกระทา.....55

บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง.....57

5.1 ประสิทธิภาพการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่ม และปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ของนกกระทา.....57

5.1.1 เปอร์เซ็นต์การให้ไข่ ปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณโปรตีนที่ได้รับ ปริมาณพลังงานที่ได้รับ มวลไข่ (Egg mass) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ (FCR).....57

5.1.2 ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่.....59

5.1.3 อัตราการเลี้ยงรอด.....59

5.1.4 น้ำหนักไข่ทั้งฟอง น้ำหนักเปลือกไข่ น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว ความแข็งเปลือกไข่ และ ความหนาเปลือกไข่.....60

5.1.5 Haugh unit.....62

5.1.6 สีไข่แดง.....62

5.1.7 ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มและปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของนกกระทา.....63

5.2 การย่อยได้ของอาหารเสริมสารไคโตซาน.....65

บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ.....67

6.1 สรุป.....67

6.2 ข้อเสนอแนะ.....68

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม.....69

ภาคผนวก ก.....78

ภาคผนวก ข.....81

ประวัติผู้เขียน.....92

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงปริมาณไคตินที่มีในสิ่งมีชีวิตต่างๆเป็นเปอร์เซ็นต์ (%).....7

3.1 แสดงส่วนประกอบวัตถุดิบอาหารที่ใช้เลี้ยงนกกระทาไข่ในการทดลอง.....34

4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารนกกระทาไข่ที่ใช้ในการทดลอง.....41

4.2 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การไข่ในแต่ละระยะอายุการทดลอง (Hen-day production).....42

4.3 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณโปรตีนที่ได้รับ และปริมาณพลังงานที่ได้รับในนกกระทาแต่ละระยะ.....43

4.4 มวลไข่ (Egg mass) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ (FCR).....44

4.5 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไข่ของนกกระทาแต่ละระยะ (บาท/กิโลกรัม).....45

4.6 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่ออัตราการเลี้ยงรอดในนกกระทาแต่ละระยะ (เปอร์เซ็นต์).....45

4.7 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อน้ำหนักไข่ทั้งฟอง (กรัม/ฟอง).....46

4.8 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีผลต่อน้ำหนักเปลือกไข่ (เปอร์เซ็นต์).....47

4.9 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีผลต่อน้ำหนักไข่แดง (เปอร์เซ็นต์).....48

4.10 ผลผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีผลต่อน้ำหนักไข่ขาว (เปอร์เซ็นต์).....48

4.11 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีผลต่อความแข็งเปลือกไข่ (กรัม/ตารางเซนติเมตร).....49

4.12 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อความหนาเปลือกไข่ (มิลลิเมตร).....50

4.13 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อค่า Haugh unit แต่ละระยะ.....51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.14 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อสีของไข่แดงของนกกระทา.....52

4.15 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มและไข่แดงของนกกระทา.....53

4.16 ผลของการเสริมไคโตซานต่อการย่อยได้ของโภชนะในอาหารของนกกระทาอายุ 19 สัปดาห์ (oven-dry basis).....56

ก.1 แสดงอุณหภูมิสูงสุดต่ำสุดและความชื้นสัมพันธ์แต่ละช่วงของวันตลอดระยะเวลาการเลี้ยงนกกระทา.....79

ก.2 แสดงราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ในการทดลอง.....80

ข.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การไข่ในนกกระทาแต่ละระยะ.....82

ข.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กินในนกกระทาแต่ละระยะ.....82

ข.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณโปรตีนที่ได้รับของนกกระทาแต่ละระยะ.....83

ข.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณพลังงานที่ได้รับของนกกระทาแต่ละระยะ.....83

ข.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของมวลไข่ของนกกระทาแต่ละระยะ.....84

ข.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ของนกกระทาแต่ละระยะ.....84

ข.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไข่ของนกกระทาแต่ละระยะ.....85

ข.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของอัตราการเลี้ยงรอดของนกกระทาแต่ละระยะ.....85

ข.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของน้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟองของนกกระทาแต่ละระยะ.....86

ข.10 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของน้ำหนักเปลือกไข่ของนกกระทาแต่ละระยะ.....86

ข.11 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของน้ำหนักไข่แดงของนกกระทาแต่ละระยะ.....87

ข.12 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของน้ำหนักไข่ขาวของนกกระทาแต่ละระยะ.....87

ข.13 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความแข็งเปลือกไข่ของนกกระทาแต่ละระยะ.....88

ข.14 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความหนาเปลือกไข่ของนกกระทาแต่ละระยะ.....88

ข.15 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของ Haugh unit ของนกกระทาแต่ละระยะ.....89

ข.16 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของสีไข่แดงของนกกระทาแต่ละระยะ.....89

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข.17 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณคอเลสเตอรอลรวมและ
เอชดีแอลคอเลสเตอรอลในซีรั่มของนกกระทาที่อายุ 18 สัปดาห์.....90
ข.18 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของนกกระทา.....90
ข.19 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการย่อยได้ของโภชนะในนกกระทาอายุ 19 สัปดาห์.....91
ข.20 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการย่อยได้ของโภชนะในนกกระทาอายุ 19 สัปดาห์.....91

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 นกกระทาญี่ปุ่นเพศเมียและนกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้.....4

2.2 รูปแบบโครงสร้างของไคติน.....6

2.3 โครงสร้างของเซลลูโลส โครงสร้างของไคตินและโครงสร้างของไคโตซาน.....9

2.4 แสดงลักษณะการย่อยโมเลกุลของไคตินและไคโตซานโดยเอ็นไซม์ไคติเนส และไคโตซาเนส.....10

2.5 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการผลิตไคโตซาน.....18

2.6 แสดงการจับไขมันของไคโตซานในกระเพาะอาหารและลำไส้.....20

2.7 แสดงผลของไคโตซานต่อการย่อยและการดูดซึมคอเลสเตอรอล.....20

4.1 ปริมาณคอเลสเตอรอลรวมในซีรั่ม (มิลลิกรัม/เดซิลิตร).....54

4.2 ปริมาณเอชดีแอล-คอเลสเตอรอลในซีรั่ม (มิลลิกรัม/เดซิลิตร).....54

4.3 ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง (มิลลิกรัม/ฟอง).....54

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

นกกระทาญี่ปุ่น (Japanese Quail) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Coturnix coturnix japonica* จัดเป็นสัตว์เศรษฐกิจชนิดหนึ่ง ซึ่งในปัจจุบันนี้มีการเลี้ยงมากขึ้นโดยเฉพาะจังหวัดทางภาคกลาง เช่น อยุธยา อ่างทอง สิงห์บุรีและปทุมธานี เนื่องจากว่าได้มีการพัฒนาและแปรรูปผลผลิตไข่นกกระทาเพื่อการจำหน่ายภายในประเทศและส่งออกไปยังต่างประเทศเป็นจำนวนมากขึ้น นอกจากนี้นกกระทาเพศผู้หรือนกกระทาไข่ที่ปลดก็สามารถนำเอาไปจำหน่ายในรูปของนกกระทาเนื้อได้ (อรวรรณ ชินราศรี. 2547) กำลังการผลิตในปัจจุบันนี้ มีการเลี้ยงแม่นกกระทาพันธุ์ไข่ประมาณ 2.41-2.86 ล้านตัว ผลิตไข่นกกระทาได้วันละประมาณ 1.7-2 ล้านฟอง ซึ่งนกกระทาสามารถให้ไข่ได้ตลอดปีโดยมีอัตราการไข่ 70 เปอร์เซ็นต์หรือไข่ 255 ฟอง/ตัว/ปี เมื่อรวมกำลังการผลิตไข่นกกระทาจะได้ปีละประมาณ 620-730 ล้านฟอง ในจำนวนนี้ผลิตเป็นไข่นกกระทากระป๋องไปจำหน่ายยังต่างประเทศปีละ 80-100 ล้านฟอง นอกนั้นบริโภคภายในประเทศ ซึ่งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วพบว่าไข่นกกระทาที่บริโภคภายในประเทศเป็น 85 เปอร์เซ็นต์และส่งออก 15 เปอร์เซ็นต์ ฉะนั้นหากจะกล่าวถึงแนวโน้มความต้องการไข่นกกระทาในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 9 (พ.ศ.2545-2549) คาดว่าตลาดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในอัตรา 5 เปอร์เซ็นต์จากฐานการผลิตปัจจุบัน คือปี พ.ศ.2549 ส่วนในด้านการส่งออกไข่นกกระทาบรรจุกระป๋องก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2539-2543 แต่พบปัญหาที่คุณภาพไข่นกกระทากระป๋องมีสารตกค้างจากการใช้ยาปฏิชีวนะที่เข้มข้นผสมในอาหารที่ใช้เลี้ยงนกกระทาไข่ ทำให้เกิดสารตกค้างในไข่นกกระทาเกินมาตรฐานที่ยุโรปกำหนด จึงส่งผลกระทบต่อการส่งออกไข่นกกระทาบรรจุกระป๋องในปัจจุบัน (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2544) จากปัญหาที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านอาหารสัตว์ให้มีคุณภาพ เพื่อให้มีศักยภาพในการผลิตที่สูงขึ้นและที่สำคัญจะต้องลดการใช้ยาปฏิชีวนะ เพราะจากการใช้ยาปฏิชีวนะมักจะเกิดการตกค้างในผลผลิตจากสัตว์ เมื่อมีการใช้เป็นระยะเวลานานหรือมีการใช้อย่างไม่ระมัดระวัง โดยไม่มีการควบคุมปริมาณและชนิดของยาปฏิชีวนะให้เหมาะสมกับการรักษาโรค ประกอบกับผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่ตระหนักถึงอันตรายจากการได้รับสารตกค้างเหล่านี้ ซึ่งเมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้ว

อาจถูกเปลี่ยนเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูงกว่าสารตั้งต้น รวมทั้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของจุลชีพในร่างกายและเกิดการขยายตัวของเชื้อที่ดื้อยาขึ้นได้ จากการประกาศยกเลิกการใช้ยาปฏิชีวนะในอาหารสัตว์ของทางรัฐบาลอาจจะสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงนกกระทา เนื่องจากการเลี้ยงนกกระทาส่วนมากมีสภาพการเลี้ยงอย่างหนาแน่น (intensive farm) ซึ่งก่อให้เกิดความเครียดต่อนกกระทาได้ง่าย รวมถึงสภาพอากาศที่ร้อนชื้นทำให้เกิดการระบาดของโรคอยู่เป็นประจำ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชนจึงได้กำหนดทิศทางให้มีการศึกษาและวิจัยในเรื่องของการนำผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมาใช้ทดแทนยาปฏิชีวนะเพื่อยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในสัตว์และใช้เป็นสารเร่งการเจริญเติบโตของสัตว์ ซึ่งไคตินและไคโตซานจัดเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอาหารทะเล มีคุณสมบัติในการป้องกันและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ รวมทั้งเสริมสุขภาพให้แข็งแรงและยังสามารถลดปริมาณไขมันและปริมาณคอเลสเตอรอล (Cholesterol) ในเลือดได้อีกด้วย ดังนั้นถ้าหากนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ได้อย่างแท้จริงก็จะช่วยลดปัญหาต่างๆได้และทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะได้ในระดับหนึ่ง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1) ศึกษาผลการเสริมไคโตซานในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของนกกระทาไข่

2) ศึกษาผลการเสริมไคโตซานในสูตรอาหารต่อคุณภาพไข่นกกระทา

3) ศึกษาผลการเสริมไคโตซานในสูตรอาหารต่อการย่อยได้ของโภชนะในอาหารนกกระทาไข่

4) ศึกษาผลการเสริมไคโตซานในสูตรอาหารต่อระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมและในไข่นกกระทา

5) ศึกษาระดับการใช้ไคโตซานที่เหมาะสมในสูตรอาหารนกกระทาไข่เพื่อทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะ

1.3 สถานที่ทำการทดลอง

1) ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

2) ห้องปฏิบัติการโภชนศาสตร์ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3) ห้องปฏิบัติการตรวจวัดคุณภาพไข่ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะ

เทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1) การทดลองที่ 1 ศึกษาผลการเสริมไคโตซานในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของนกกระทาไข่ คุณภาพไข่และปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่นกกระทา

2) การทดลองที่ 2 ศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารผสมไคโตซานของนกกระทาไข่

1.5 ระยะเวลาการศึกษา

1) ระยะเวลาในการเลี้ยงนกกระทาไข่ ศึกษาคุณภาพไข่และศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารที่โรงเรือนเลี้ยงนกกระทาไข่ รวมระยะเวลา 5 เดือน

2) ระยะเวลาในการศึกษาระดับคอเลสเตอรอลในซีรั่มและระดับคอเลสเตอรอลในไข่แดงของนกกระทาไข่ รวมระยะเวลา 3 เดือน

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นกกระทาญี่ปุ่น (Japanese Quail)

นกกระทาเป็นนกจำพวกย้ายถิ่น จัดอยู่ในตระกูลเดียวกันกับไก่และไก่ฟ้า นกกระทามีอยู่ทั่วไปในเอเชีย ยุโรป แอฟริกาและสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีอยู่มากมายหลายสายพันธุ์สำหรับในเมืองไทยนั้นมีอยู่ไม่น้อยกว่า 12 ชนิด (ศรัณรักษ์ ณ ตะกั่วทุ่ง. 2548) นกกระทาที่นิยมเลี้ยงคือนกกระทาพันธุ์ญี่ปุ่น (Japanese Quail) หรือมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coturnix coturnix japonica* ซึ่งจะมีด้วยกัน 3 สี คือ สีดำลายดำประขาว สีทองและสีขาว แต่นกกระทาทุกชนิดจะให้ไข่ที่มีสีของเปลือกไข่เหมือนกัน คือ ลายประ (บวรศักดิ์ หัสดิน ณ อยุธยา. 2549) ลักษณะของนกกระทาญี่ปุ่นจะมีขนาด รูปร่าง สีสัน คล้ายกับนกคุ่มและนกกระทาพันธุ์พื้นเมืองเรามาก ตัวเมียจะมีขนบริเวณคอไม่ค่อยเข้มหรืออาจมีสีน้ำตาลปนเทาและมีลายดำปนขาว ส่วนตัวผู้จะมีขนสีน้ำตาลแกมแดงบริเวณคอและหน้าอกและบริเวณแก้มมีสีน้ำตาลแกมแดงเช่นกันดังภาพที่ 2.1 (นิรนาม. 2544)

ภาพที่ 2.1 นกกระทาญี่ปุ่นเพศเมียและนกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้ (Robert Stephenson. 2007)

2.2 ลักษณะทั่วไปของนกกระทาญี่ปุ่น

บวรศักดิ์ หัสดิน ณ อยุธยา (2549) กล่าวถึงลักษณะทั่วไปของนกกระทาญี่ปุ่นไว้ดังนี้

1) อายุและน้ำหนักตัว ที่อายุ 1 วัน จะมีน้ำหนักประมาณ 7 กรัม อายุ 42 วัน จะมีน้ำหนักประมาณ 120 กรัม อายุ 50 วัน จะมีน้ำหนักประมาณ 140 กรัม

2) กินอาหารตัวละ 14-18 กรัมต่อตัวต่อวัน

3) เริ่มไข่เมื่อมีอายุ 42 วัน

4) โตเต็มที่ที่อายุ 50 วัน

5) น้ำหนักไข่ 8-12 กรัม

6) อายุฟักออกจากไข่ 16-19 วัน

2.3 ลักษณะที่สำคัญทางเศรษฐกิจของนกกระทาญี่ปุ่น

อเนก สีเขียวสด (2548) กล่าวว่านกกระทาญี่ปุ่นมีลักษณะที่ตรงกับความต้องการทางเศรษฐกิจอยู่หลายประการด้วยกัน คือ

1) ประสิทธิภาพในการผลิตค่อนข้างสูง เพราะนกกระทาสามารถให้ไข่ได้ 7-8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และมีอัตราการให้ไข่เฉลี่ย 70 เปอร์เซ็นต์

2) ให้ผลตอบแทนเร็ว เพราะนกกระทาเริ่มให้ไข่เมื่ออายุ 42-45 วัน และมีระยะเวลาในการให้ผลผลิตไข่นานประมาณ 11 เดือน

3) ใช้พื้นที่ในการเลี้ยงน้อย ซึ่งพื้นที่ประมาณ 3 ตารางเมตรจะสามารถเลี้ยงนกกระทาได้กว่า 500 ตัว จึงใช้เงินในการลงทุนไม่มากนัก

4) วิธีการเลี้ยงง่าย โตเร็ว สามารถทำการผลิตให้เป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ได้ ดังเช่นการสร้างโรงงานไข่นกกระทาบรรจุกระป๋อง อย่างที่ จ. พิจิตร โดยมีตลาดรองรับทั้งในและนอกประเทศ ก่อให้เกิดการสร้างงานให้กับเกษตรกรในบริเวณนั้นขึ้นอีกมาก

5) เนื้อนกกระทาสามารถนำไปปรุงอาหารได้หลากหลายชนิดและเนื้อมีคุณภาพดี

2.4 คุณสมบัติของไคตินและไคโตซาน

ไคติน (chitin) เป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) ประเภทโพลิแซคคาไรด์ จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้างที่เป็นเส้นใย มีชื่อทางเคมีว่า Poly [β-(1$\rightarrow$4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose] (พูนทรัพย์ วิชัยพงษ์. 2548) ซึ่งพบมากเป็นอันดับสองของโลกรองจากเซลลูโลสในพืช สามารถแยกสกัดไคตินได้จากเปลือกของสัตว์ที่มีข้อปล้องในตระกูล crustacean โดยจะพบเป็นองค์ประกอบหลักในโครงสร้างภายนอก (exoskeleton) เช่น กระดองปูและเปลือกกุ้ง นอกจากนี้ไคตินยังพบเป็นองค์ประกอบใน โครงสร้างหลักของแมลง รา และยีสต์ (ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์. 2544) ซึ่งปริมาณที่พบในสัตว์ต่างๆจะมีปริมาณต่ำตั้งแต่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ จนพบในปริมาณสูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งของตัวสัตว์เหล่านั้น เช่น ในกุ้งและปู จะพบองค์ประกอบของไคตินที่เป็นโครงสร้างต่อน้ำหนักตัวแห้งประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณไคตินที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างต่อน้ำหนักแห้งของสัตว์ต่างๆจะมีปริมาณที่ต่างกันไปดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 (สุพจน์ หารหนองบัวและคณะ. 2546) ในธรรมชาติจะพบไคตินในรูปที่เป็นสารประกอบปะปนอยู่กับสารอื่นๆ เช่นในเปลือกกุ้งหรือกระดองปูจะพบมีหินปูน

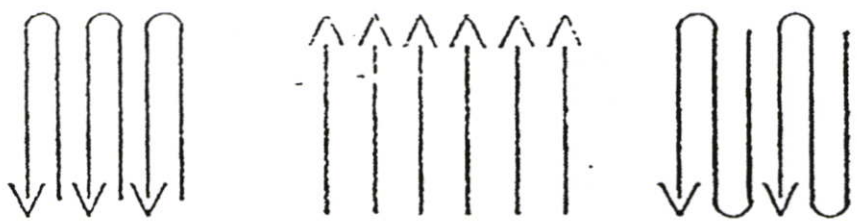
หรือแคลเซียมและโปรตีนประกอบอยู่ด้วย ในขณะที่ในเปลือกแข็งหุ้มตัวของแมลงจะประกอบด้วยไคตินในรูปที่เป็นสารเชิงซ้อนของไคตินกับโปรตีน (chitin-protein complex) และในผนังเซลล์ของรา ยีสต์ หรือจุลินทรีย์ ไคตินจะอยู่ร่วมกับสารอินทรีย์อื่นๆ (พูนทรัพย์ วิชัยพงษ์. 2548) ส่วนลักษณะทางโครงสร้างของไคตินที่พบในธรรมชาติจะแตกต่างกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับแหล่งที่พบโดยสามารถแบ่งตามลักษณะของผลึก (crystalline form) ได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

1. แบบอัลฟา (α-chain) มีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในลักษณะสวนทางกันเส้นใยเรียงตัวแน่นมีความแข็งแรงสูง ได้แก่ ไคตินจากเปลือกกุ้งและกระดองปู

2. แบบเบตา (β-chain) มีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในทิศทางเดียวกัน จึงจับกันได้ไม่ค่อยแข็งแรงทำให้สามารถจะเปลี่ยนแปลงรูปแบบไปเป็นอัลฟาไคตินได้ ในสารละลายของกรดแก่ เช่น กรดเกลือเป็นต้น และมีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีมากกว่าแบบอัลฟ่า ได้แก่ ไคตินจากแกนปลาหมึก

3. แบบแกมมา (γ-chain) มีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในลักษณะที่ไม่แน่นอน (สวนทางกัน สลับทิศทางกันบ้าง) มีความแข็งแรงรองจากแบบอัลฟ่า ได้แก่ ไคตินจากเห็ด ราและพืชชั้นต่ำ

ประเภทโครงสร้างของไคตินส่วนมากที่มีการนำมาใช้ ได้แก่ แบบอัลฟาที่พบในเปลือกกุ้งและปู และแบบเบตาที่พบในแกนปลาหมึก โดยรูปแบบโครงสร้างของไคตินจะมีรูปแบบดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 รูปแบบโครงสร้างของไคติน (Esaiassen. 1996)

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณไคตินที่มีในสิ่งมีชีวิตต่างๆเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

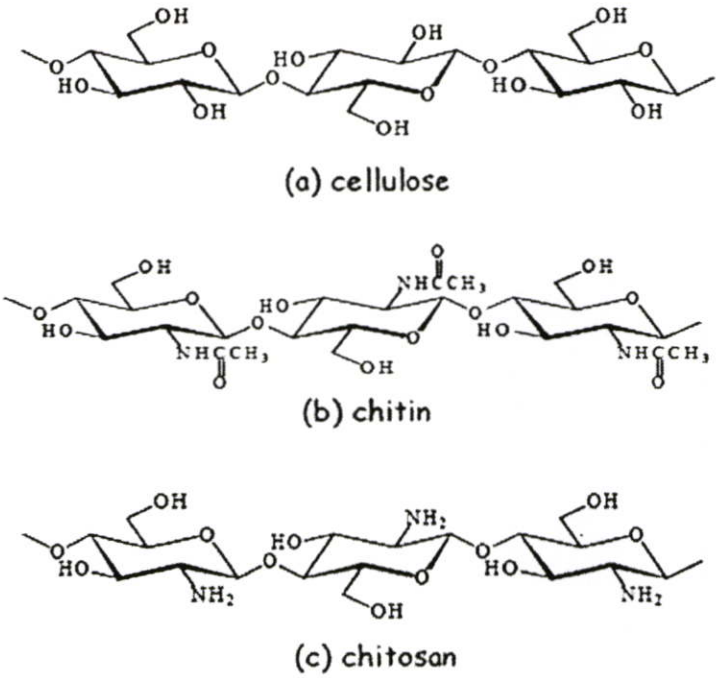
แหล่งวัตถุดิบ	ปริมาณที่พบ (%)
เชื้อรา	5-20
หนอน	20-38
ปลาหมึก	3-20
แมงป่อง	30
แมงมุม	38
แมลงสาบ	35
แมลงปีกแข็ง	37
กุ้ง	40
หนอนไหม	44
ปูเสฉวน	69
ปูหิน	70

ที่มา : สุพจน์ หารหนองบัวและคณะ. 2546

ไคติน ประกอบด้วยน้ำตาลหน่วยย่อยๆ ที่เรียกว่า N-acetyl-D-glucosamine ต่อกันเป็นสายยาวและเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้างที่เป็นเส้นใยคล้ายคลึงกับเซลลูโลสจากพืช แต่ที่สูตรโครงสร้างของไคตินจะต่างจากเซลลูโลส โดยที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 เป็นหมู่อะซิทาไมด์ ($NH\text{-}CO\text{-}CH_3$) ส่วนเซลลูโลสที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ดังภาพที่ 2.3 (จิราภรณ์ เชาวลิตสุขุมาวาสี. 2544) นอกจากนี้จากการที่ไคตินเป็นสารที่ไร้ประจุจึงทำให้ไม่สามารถละลายน้ำหรือสารละลายอินทรีย์ได้ แต่สามารถละลายได้ในกรดอนินทรีย์ เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถันและกรดฟอสฟอริกได้ ส่วนไคโตซาน(chitosan) มีชื่อทางเคมีว่า poly[β-(1$\rightarrow$4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose] เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ต่อกันด้วยพันธะ 1,4-β-glycoside และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง (ปัทมา วิศาลนิตย์และทศพร ทองเที่ยง. 2545) บางครั้งอาจเรียกไคโตซานว่า deacetylated chitin เนื่องจากไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคติน คือเป็นการกำจัดหรือลดหมู่อะซิทิล ($CO\text{-}CH_3$) ของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine ทำให้เกิดเป็น glucosamine จึงเรียกว่า ปฏิกิริยาดีอะซิทิเลชัน (deacetylation) และเมื่อลดหรือกำจัดหมู่อะซิทิลออกจะเกิดการเพิ่มขึ้นของหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ทำให้ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte คือ โครงสร้างของไคโตซานเกิดประจุบวก

(ประภัสสร สุรวัฒนาวรรณ. 2544) ส่งผลให้ประจุบวกบนโครงสร้างของไคโตซานสามารถเกิด interact กับประจุลบของสารประกอบอินทรีย์ เช่น protein , anionic polysaccharide และ nucleic acid ทำให้ได้ประจุไฟฟ้าที่เป็นกลาง นอกจากนี้ยังสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะหนักได้ โดยใช้หมู่อะมิโนในการเกิด chelate metal ion กับพวก copper , magnesium และสามารถจับกับโลหะได้หลายชนิด เช่น chromium , silver และ cadmium เป็นต้น (ปัทมา วิศาลนิตย์ และทศพร ทองเที่ยง. 2545)

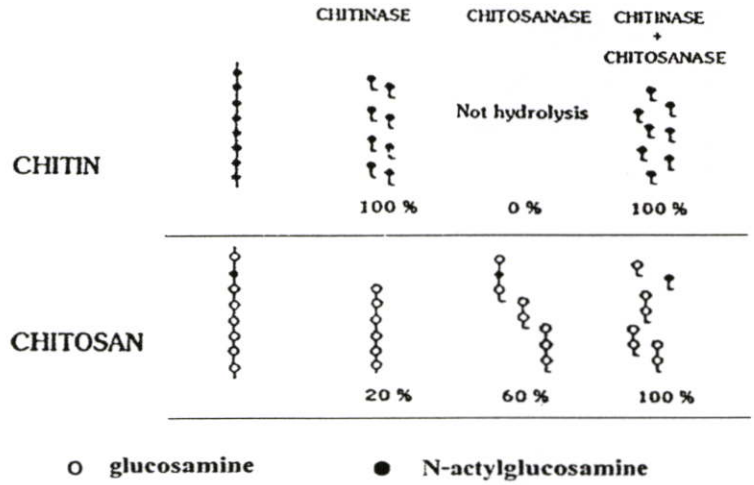
ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ (2544) กล่าวถึงการแสดงลักษณะการเป็นไคตินหรือไคโตซานว่า โดยทั่วไปตามธรรมชาติ มักจะพบไคตินและไคโตซานอยู่ร่วมกันในลักษณะเป็นโคโพลิเมอร์ คือจะพบทั้งวงแหวนน้ำตาลของไคตินและไคโตซานในสายโซ่เดียวกัน จึงมักรวมเรียกว่าสารเคมีพวกไคติน-ไคโตซาน เมื่อต้องการแยกแยะว่าเป็นไคตินหรือไคโตซานจะต้องอาศัยจำนวนหมู่เอมีน คือถ้ามีหมู่เอมีนมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ จึงจะจัดว่าเป็นไคโตซาน นิรนาม (2549) กล่าวว่าการแบ่งแยกว่าเป็นไคตินหรือไคโตซานจะดูที่ระหว่างสองโมโนเมอร์ของ anhydro–N-acetyl-D-glucosamine และ anhydro-D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์แรกมากกว่า จะแสดงลักษณะสมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์ที่สองมากกว่าจะแสดงลักษณะสมบัติเด่นของไคโตซาน ส่วนขวัญใจ สุชินพงศ์พันธ์ (2541) กล่าวว่าในธรรมชาติย่อมมีไคตินและไคโตซานประกอบอยู่ในโพลิเมอร์ ที่เป็นสายยาวในสัดส่วนต่างๆ กัน ถ้าหมู่ acetyl ถูกตัดหรือหลุดออกไปประมาณร้อยละ60 ไคตินจะถูกเรียกว่าไคโตซานและถ้าหมู่ acetyl ถูกตัดหรือหลุดไปประมาณร้อยละ 90-100 จะเรียกว่า fully deacetylated chitosan



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของเซลลูโลส โครงสร้างของไคตินและโครงสร้างของไคโตซาน (สุพจน์ หารหนองบัวและคณะ. 2546)

Yabuki *et al.* (1988) กล่าวว่าการย่อยไคตินและไคโตซานสามารถย่อยได้โดยเอ็นไซม์ไค-ติเนส (chitinase) และไคโตซาเนส (chitosanase) ซึ่งเป็นเอ็นไซม์ที่ได้มาจากพวกราในดิน แบคทีเรีย ยีสต์ และพืช โดยเอ็นไซม์ไคติเนสจะย่อยไคตินได้เป็น N-acetyl-D-glucosamine ส่วนเอ็นไซม์ไคโตซาเนสจะย่อยไคโตซานได้เป็น chitosano-oligosaccharides Jeuniaux (1961) รายงานว่ามีการพบเอนไซม์ไคติเนสครั้งแรกในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังโดยพบในหอยทากต่อมาพบในโปรโตซัวและต่อมในเนื้อเยื่อระบบย่อยอาหารของ coelenterates , nematodes , polychaets , oligochates , molluscs และ arthropods สำหรับในสัตว์ ไคตินที่กินเข้าไปจะถูกย่อยเป็น N-acetyl glucosamine ก่อนจึงจะดูดซึมไปใช้ เอนไซม์ย่อยไคตินในระบบย่อยอาหารมาจาก 3 แหล่ง คือ เอนไซม์ที่ร่างกายผลิตขึ้นมาเอง เอนไซม์จากจุลชีพในลำไส้หรือทางเดินอาหารและจากอาหารที่กินเข้าไป (Place. 1996) นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตในกลุ่ม nematodes เอนไซม์ไคติเนสจะหลั่งจากเนื้อเยื่อชั้นอีพิเดอร์มิสขณะที่มีการลอกคราบ ส่วนในปลา สัตว์เลื้อยคลาน สัตว์ครึ่งปกครึ่งน้ำ และสัตว์ปีกที่กินแมลงเป็นอาหาร เอนไซม์ไคติเนสจะหลั่งออกมาจากตับอ่อน (pancreas) และเนื้อเยื่อชั้นในของกระเพาะอาหาร (gastric mucosa) เพื่อย่อยอาหารที่กินเข้าไป ส่วนในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เอนไซม์ไคติเนสจะหลั่งออกมาจากเนื้อเยื่อชั้นในกระเพาะอาหาร ส่วน Pelletier and Sygusch (1990) รายงานว่าการทำงานของเอ็นไซม์ไคติเนสและไคโตซาเนสจะมีความสามารถในการย่อย

ไคโตซานที่มีระดับ deacetylation ที่แตกต่างกันโดยเอ็นไซม์ไคติเนสจะมีประสิทธิภาพในการย่อยสายพอลิเมอร์ที่มี N-acetylated และสามารถย่อยไคโตซานได้ แต่การย่อยไคโตซานจะย่อยได้ต่ำกว่าการทำงานของเอ็นไซม์ไคโตซาเนส ดังภาพที่ 2.4 นอกจากนี้ Hirano *et al.* (1990) รายงานว่าไก่สามารถย่อยไคโตซานได้ถึง 88-98 เปอร์เซ็นต์และกระต่ายสามารถย่อยไคโตซานได้ประมาณ 35-83 เปอร์เซ็นต์ โดยในลำไส้ของไก่มีแบคทีเรียที่สร้างเอ็นไซม์ไคโตซาเนส ซึ่งเอ็นไซม์ไคโตซาเนสนี้สามารถย่อยไคโตซานได้ และเกิดการดูดซึมในรูปของกลูโคซามีน (glucosamine) ต่อไป



ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะการย่อยโมเลกุลของไคตินและไคโตซานโดยเอ็นไซม์ไคติเนสและไคโตซาเนส (ดัดแปลงจาก Pelletier and Sygusch. 1990)

2.5 คุณสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน

พัฒนันท์ วงศ์วิวัฒน์ (2545) รายงานว่าไคโตซานมีคุณสมบัติเป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ มีความเสถียรสูง มีสี grayish-white มีมวลโมเลกุลสูงในช่วง 1 x 10^5 ถึง 1.2 x 10^6 ดาลตัน และเป็นพอลิเมอร์สายตรงที่เป็นของแข็งที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (amorphous solid) นอกจากนี้ยังมีความหนืดโดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น %DD (degree of deacetylation) มวลโมเลกุล ความเข้มข้น ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ ขวัญใจ สุชินพงศ์พันธ์ (2541) รายงานว่าจากการที่ไคตินและไคโตซานอยู่ในกลุ่มของβ-(1$\rightarrow$4)โพลิแซคคาไรด์ จะมีกลุ่มไกลโคซิดิก (glycosidic) เป็นตัวที่ทำให้มีความสัมพันธ์ในด้านของความแข็งแรงของโครงสร้างในสภาวะของแข็ง โดยเฉพาะในสภาวะแห้งซึ่งจะมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนจำนวนมากในวงผลึก ทำให้จุดหลอมเหลวมีค่าสูงเหมือนกับเซลลูโลส คือจะมีการสลายตัวที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 170 องศาเซลเซียสและสูงสุดที่อุณหภูมิ 230

องศาเซลเซียส นอกจากนี้ทั้งไคตินและไคโตซานยังมีคุณสมบัติที่ดีในการส่งผ่านแสงที่มองเห็นได้อีกด้วย โดยไคโตซานจะมีความโปร่งแสงมากกว่า 180 นาโนเมตรในรูปของอะมิโนอิสระและมากกว่า 220 นาโนเมตรในรูปของแอมโมเนียม (ammonium) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับรูปแบบอิออนิกของไคโตซานด้วย

2.6 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตซาน

ขวัญใจ สุชินพงศ์พันธ์ (2541) รายงานคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตซานไว้ ดังนี้

1) ความสามารถในการละลาย การละลายไคตินและไคโตซานต้องอาศัยหลักการที่จะทำให้เกิดพันธะไอออนไปทดแทนตำแหน่งไฮโดรเจน ที่ตำแหน่งอะมิโนหรือตำแหน่งอะซิทาไมด์ เมื่อตำแหน่งดังกล่าวกลายเป็นไอออนบวก(protonation)แล้ว พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายและไอออนบวกจะสร้างพันธะไอออนกับไอออนลบในระบบตัวทำละลาย การละลายจึงเกิดขึ้น (พัฒนันท์ วงศ์วิวัฒน์. 2545)

2) พฤติกรรมสภาวะของแข็งของไคโตซาน ความเสถียรของเกลือไคโตซานในสภาวะของแข็งขึ้นอยู่กับธรรมชาติของกรดที่เกี่ยวข้องหลายๆอย่าง เช่น ความเสถียรภาพ สามารถสังเกตได้โดยดูจาก strong mineral acids ตัวอย่างเช่น กรดฟอร์มิกจะมีความเสถียรภาพ เนื่องจากเมื่อมีการระเหยของสารละลาย acylation สามารถนำไปวางระหว่างองค์ประกอบของของแข็งได้ ส่วนกรณีของพวกที่ไม่เสถียรภาพในสภาวะของแข็ง เช่น ไคโตซานอะซิเตรท เพราะว่าจากความเป็นกรดอ่อนของกรดนี้และน้ำที่อยู่ในเกลือไคโตซานที่มีมากกว่าร้อยละ 13 เมื่อกรดอะซิติกถูกทำให้ระเหย เกลือจะเข้าไปแทนที่อย่างต่อเนื่องทำให้มีอะมิโนอิสระเพิ่มขึ้นตามลำดับ

3) ปฏิกิริยาร่วม (interaction) ในความสัมพันธ์ของโครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน คือ ส่วนที่เหลือของ glucosamine และ N-acetylglucosamine สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาชนิดต่างๆกับสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งปฏิกิริยาที่สำคัญ ได้แก่

3.1 ปฏิกิริยาร่วมกับอิออน คือจากการที่ไคโตซานเป็น polyelectrolyte ที่อ่อน ซึ่งมีความหนาแน่นแผ่นประจุต่ำ ทำให้ความสามารถของไคโตซานในการเป็นผู้เปลี่ยนแปลง anion น้อยมาก จากลักษณะการเป็น polycationic ของ polysaccharideนี้ จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้หลายๆอย่างที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของ polyelectrolyte complexes

3.2 อิเลคตรอนคู่โดดเดี่ยวในสภาพอิสระของไนโตรเจนอะตอมหรือกลุ่มอะตอมของออกซิเจน สามารถถูกนำไปใช้ในการทำปฏิกิริยากับโลหะ เช่น เกิดการสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโควาเลนท์กับไอออนของโลหะ

3.3 พันธะไฮโดรเจนและปฏิกิริยาพลังงานต่ำ โปรตีนสามารถสร้างพันธะกับไคโตซานด้วยพันธะไฮโดรเจนหรือปฏิกิริยาแรงวัลเดอร์วาวล์ (van der waals interaction) เช่น เมื่อเติมไคโตซานที่

มากเกินปกติเข้าไปในคอลาเจน (collagen) พบว่าเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจน ซึ่งปฏิกิริยาชนิดนี้ไม่ค่อยมีความแข็งแรงในการเหนี่ยวนำของพันธะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางธรรมชาติของ collagen double helix structure ส่วนปฏิกิริยาพลังงานต่ำ สามารถอธิบายได้โดยการดูดซึมของฮาโลเจน (halogen) ภายในสายไคโตซาน ซึ่งปฏิกิริยานี้มีคุณสมบัติในการส่งต่อประจุที่มีโครงสร้างซับซ้อนกับกลุ่มอะมิโน นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการดูดซึมของสาร substances หลายๆตัว เช่น การเชื่อมของพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลุ่ม -OH ของ phenol และ –NH ของกลุ่ม acetetamide ปฏิกิริยาพลังงานต่ำเหล่านี้จึงนำไคตินและไคโตซานไปใช้ในการเคลือบไฟเบอร์เพื่อย้อมสีได้ง่ายหรือการทำให้ phases ของ chromatography อยู่กับที่

2.7 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของไคโตซานในการเป็น cationic polyelectrolyte

ขวัญใจ สุชินพงศ์พันธ์ (2541) กล่าวถึงคุณสมบัติในการเป็น cationic polyelectrolyte ของไคโตซาน ไว้ดังนี้

1) คุณสมบัติในการละลาย (hydrophilic properties) จากการที่ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte จึงสามารถละลายได้ในสารละลายกรด ได้แก่ สารละลายกรดอินทรีย์ต่างๆ กรดไฮโดร-คลอริกเจือจางและกรดไนตริกเจือจางเป็นต้น (ประภัสสร สุรวัฒนาวรรณ. 2544) แต่ไม่ละลายในสารอินทรีย์ที่เป็นกลางและด่าง ซึ่งโดยทั่วไปจะละลายในกรดอ่อนที่มี pH อยู่ในช่วง 1 – 6 (Filar and Wirick. 1978)

2) คุณสมบัติในการจับสี (dye binding properties) ไคโตซานจะมีคุณสมบัติในการจับสีได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสีของไคโตซานและขึ้นอยู่กับ pH โดยทั่วไปจะมีค่าคงที่ ที่ pH 5.5- 7.0

3) คุณสมบัติในการจับน้ำและไขมัน (water binding and fat binding properties) ไคโตซานมีคุณสมบัติในการจับน้ำได้ดีกว่าไคตินและไคโตซานสามารถยึดจับโมเลกุลของไขมันก่อนที่จะถูกดูดซึมได้

4) คุณสมบัติการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม (film-forming properties) ไคโตซานสามารถนำมาขึ้นรูปให้เป็นแผ่นฟิล์มที่มีลักษณะใสเหนียวและยืดหยุ่นสามารถใช้ห่อหุ้มอาหาร

5) คุณสมบัติเป็นสารตัวพา (carrier molecule properties) เนื่องจากไคโตซานเป็นร่างแห (matrix) และมีลักษณะเป็นเจล (ionotropic gel) ซึ่งสามารถหุ้มสารที่จะพาเอาไว้ข้างในได้

6) คุณสมบัติอื่นๆ สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของออกซิเจน คาร์บอนออกไซด์และรักษาความชื้นให้อยู่ในสภาพสมดุล คุณสมบัติเป็นสารกันราและแบคทีเรียและคุณสมบัติในการจับกับพวกโลหะหนัก นอกจากนี้ยังสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติจึงทำให้ง่ายต่อการกำจัดและไม่มีสารตกค้าง

2.8 การผลิตไคตินและไคโตซาน

2.8.1 การผลิตไคติน

ขั้นตอนการผลิตไคตินจากเปลือกของสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (crustacean shell waste) มีขั้นตอนพื้นฐาน 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการแยกโปรตีน (deproteination) โดยทั่วไปก่อนการเข้าสู่กระบวนการแยกโปรตีนจะเริ่มจากการนำวัตถุดิบ เช่น เปลือกหรือหัวกุ้ง กระดองปูและแกนปลาหมึกมาล้างให้สะอาดหลายๆ ครั้ง เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกต่างๆ ที่ปะปนมา แล้วนำไปตากหรืออบให้แห้ง หลังจากนั้นนำไปลดขนาดลง เช่น การบด (เยาวภา ไหวพริบ. 2534) ส่วนมากมักจะนำวัตถุดิบมาบดก่อนนำมาแยกเอาโปรตีนออก ขั้นตอนการแยกโปรตีนนี้มักใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 1-10 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 65-100 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับวิธีและสภาวะที่ใช้ในการสกัดโปรตีน อย่างไรก็ตามหากปล่อยให้กากเหล่านี้ทำปฏิกิริยานานเกินไปในสภาวะรุนแรงจะทำให้สายโซ่ของไคตินถูกตัด (depolymerization) และยังเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วย (No and Meyer. 1997) ในการเพิ่มระยะเวลาและความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการแยกโปรตีน Domard and Chaussard (2002) รายงานว่าไม่มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนที่เหลือในไคตินแตกต่างกัน ส่วนขนาดของวัตถุดิบ Stevens (2002) พบว่าขนาดของวัตถุดิบไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณโปรตีนในไคติน แต่จะมีผลต่อการเพิ่มอัตราเร็วในการแยกโปรตีน ซึ่งหากลดขนาดของวัตถุดิบจะทำให้อัตราในการแยกโปรตีนเร็วขึ้น ปัจจัยอีกประการที่มีผลต่อการแยกโปรตีน คือ ปริมาณไขมันในวัตถุดิบ ซึ่งไขมันเหล่านี้จะช่วยป้องกันโปรตีนจากการไฮโดรไลซีส (hydrolysis) โดยอาจทำให้พลังงานในการเกิดปฏิกิริยาต่ำหรืออาจจะเข้าไปอยู่ในโครงสร้างที่เรียกว่าlipoproteins (Domard and Chaussard. 2002) นอกจากวิธีทางเคมีแล้วโปรตีนยังสามารถสกัดได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ เช่น การหมักด้วยจุลินทรีย์หรือการย่อยด้วยเอนไซม์ (Roa *et al.* 2000) จากการหมักด้วยจุลินทรีย์ Rao and Stevens (2005) รายงานว่าการหมักหัวกุ้งและเปลือกกุ้งด้วยจุลินทรีย์ *Lactobacillus plantarum* 541 เปรียบเทียบกับวิธีทางเคมี (ใช้ NaOH12.5 M) พบว่าค่า deproteination ได้ผลไม่แตกต่างกันและเมื่อสกัดต่อจนได้ไคโตซาน ผลจากการหมักด้วยจุลินทรีย์ได้ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (degree of deacetylation,%DD) เป็น 81–84% ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับการใช้วิธีทางเคมีจะให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนการย่อยด้วยเอนไซม์ Gagne and Simpson (1993) รายงานว่าการสร้างสภาวะที่ทำให้การสกัดโปรตีนจากเปลือกกุ้งมีความสมบูรณ์ขึ้นสามารถใช้เอนไซม์ 2 ตัว คือ ไคโมทริปซิน (chymotrypsin) และพาเพอิน (papain) ซึ่งปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในเปลือกกุ้งหลังผ่านกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์ดังกล่าวมีประมาณ 1.3 และ 2.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. ขั้นตอนการแยกแร่ธาตุ (demineralization) โดยทั่วไปเปลือกของสัตว์พวก crustacean มีแร่ธาตุประมาณร้อยละ 30-50 โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลักและมีแคลเซียมฟอสเฟตในปริมาณร้อยละ 8-10 ของปริมาณอนินทรีย์ทั้งหมด การแยกแร่ธาตุออกจากวัตถุดิบมักใช้สารละลายกรดเจือจาง เช่น ไฮโดรคลอริกเจือจางหรือกรดซัลฟูริกเจือจาง เพื่อละลายแคลเซียมคาร์บอเนตให้อยู่ในรูปแคลเซียมคลอไรด์ และเหลือไคตินซึ่งไม่ละลาย (สุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2534) อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ 30 นาที จนถึง 2 วัน ขึ้นอยู่กับวิธีการแยก นอกจากนี้การยืดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการดึงแร่ธาตุออกจากไคติน (No and Meyers. 1997) หากเปรียบเทียบวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไคตินระหว่างเปลือกปูและเปลือกกุ้ง พบว่าการแยกแร่ธาตุออกจากเปลือกปูจะกระทำได้ยากกว่าเปลือกกุ้งและความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่ใช้ในการแยกแร่ธาตุไม่ควรน้อยกว่า 0.7 โมลาร์ Myint *et al.* (2002) รายงานว่าการใช้กรดมากเกินไปจะทำให้น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานลดลง และ Johnson and Peniston (1982) รายงานว่าการกำจัดแร่ธาตุที่ไม่เหมาะสมและการล้างกรดที่ใช้ในการกำจัดแร่ธาตุไม่สมบูรณ์อาจมีผลต่อโครงสร้างของไคติน นอกจากนี้เพื่อลดปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้กรดเกลือ Hall (2002) ได้เสนอทางเลือกชีวภาพโดยใช้เชื้อแลคติกแอซิดแบคทีเรียในการแยกแร่ธาตุ

3. ขั้นตอนการแยกสี (decoloration) จากขั้นตอนข้างต้นพบว่าไคตินที่ได้มักยังคงมีสี หากต้องการไคตินฟอกขาวจะต้องนำไคตินมาผ่านกระบวนการแยกสีโดยใช้สารฟอกขาว ได้แก่ เอทานอล โซเดียมไฮโปรคลอไรด์ อะซิโตน อีเทอร์ และ 3% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือสารละลายเปอร์แมงกาเนต แต่การใช้ oxidizing agent ที่รุนแรง เช่น สารละลายเปอร์แมงกาเนต จะมีผลต่อการทำลายสภาพธรรมชาติของไคตินได้ (เยาวภา ไหวพริบ. 2534) ในกระบวนการผลิตไคตินด้วยวิธีทางเคมี สามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีในช่วงการแยกโปรตีน แยกแร่ธาตุและลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยใช้เทคนิคต่างๆ อาทิเช่น การบด การกด การอบแห้ง การล้างด้วยน้ำที่มี pH เป็นกรด การต้มและการหมัก (No and Meyer. 1997)

ขั้นตอนการแยกโปรตีนและขั้นตอนการแยกแร่ธาตุออก สามารถทำขั้นตอนใดก่อนหลังก็ได้ แต่ถ้าต้องการนำโปรตีนที่สกัดได้กลับมาใช้ประโยชน์อีก จำเป็นจะต้องเริ่มจากขั้นตอนการแยกโปรตีนออกจากวัตถุดิบก่อนขั้นตอนการแยกแร่ธาตุ เนื่องจากโปรตีนที่ได้จะมีปริมาณและคุณภาพที่ดีกว่า

2.8.2 การผลิตไคโตซาน

การผลิตไคโตซานจากไคตินสามารถทำได้ทั้งวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ วิธีทางเคมีเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน แต่ข้อเสียของวิธีทางเคมี คือ คุณภาพในการผลิตจะควบคุมยาก ในการสกัดไคโตซานจากไคติน Muzzarelli (1977) รายงานว่าสามารถทำได้โดยการ

แช่ไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (40-50 เปอร์เซ็นต์) ที่อุณหภูมิ 100-150 องศาเซลเซียส จะทำให้หมู่อะซิทิลบางส่วนหรือทั้งหมดจะถูกดึงออกจากโพลิเมอร์ได้ ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไคโตซาน ได้แก่

1. ผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิทิล No and Meyer (1997) รายงานว่าการใช้อุณหภูมิในการกำจัดหมู่อะซิทิลที่สูงจะทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิทิลเพิ่มขึ้น แต่ขนาดโมเลกุลของไคโตซานจะเกิดปฏิกิริยาdegradationได้ ทำให้ไคโตซานมีมวลโมเลกุลลดลง

2. ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิทิลและความเข้มข้นของด่าง Tsai (2002) รายงานว่า การเกิดปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิทิลจะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ซึ่งหากแช่ในด่างเข้มข้นนานกว่านั้นไม่ทำให้ %deacetylation เพิ่มมากขึ้น แต่จะทำให้สายโซ่ของไคโตซานสั้นลง No และ Meyers (1997) พบว่าไคโตซานที่ผลิตจากกระบวนการที่ใช้สารละลายด่างที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 45% ไม่สามารถละลายในกรดอ่อน แม้ว่าจะแช่ไคตินในด่างนานถึง 30 วัน

3. ผลของสภาวะในช่วงการผลิตไคติน กระบวนการแยกแร่ธาตุในขั้นตอนการผลิตไคตินนั้นมีผลต่อขนาดโมเลกุลของไคโตซาน การแยกแร่ธาตุด้วยกรดเกลือเจือจางที่มี pH สูงกว่า 3 จะได้ผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่มีความหนืดสูง (Myint *et al.* 2002) นอกจากนี้ Lertsutthiwong *et al.* (2002) พบว่าความหนืดของไคโตซานจะลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแยกแร่ธาตุ ซึ่งในกระบวนการผลิตไคโตซานที่เริ่มจากกระบวนการแยกแร่ธาตุก่อนกระบวนการแยกโปรตีน จะให้ไคโตซานที่มีความหนืดสูงกว่าไคโตซานที่ผลิตจากกระบวนการที่เริ่มต้นด้วยการแยกโปรตีน และตามด้วยการแยกแร่ธาตุ

4. อัตราส่วนของไคตินต่อสารละลายด่าง ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิติล การกวนอย่างทั่วถึงมีความจำเป็นอย่างมากเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ อัตราส่วนของไคตินและสารละลายด่างที่สูงกว่า 1 : 10 ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคติน

5. ผลของขนาดวัตถุดิบ วัตถุดิบที่มีขนาดเล็กประมาณ 1 มิลลิเมตร จะให้ผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่มีความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่าวัตถุดิบที่มีขนาด 2 และ 6.4 มิลลิเมตร นอกจากนี้ยังพบว่าไคตินที่มีขนาดใหญ่กว่า ต้องการระยะเวลาในการขยายตัวที่นานกว่าส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิลช้ากว่าและขนาดของไคติน ประมาณ 20–80 mesh ไม่มีผลต่อปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิทิลและความหนืดของสารละลายไคโตซาน

พูนทรัพย์ วิชัยพงษ์ (2548) กล่าวถึงคุณสมบัติที่สำคัญในการกำหนดคุณภาพของไคตินและไคโตซาน ได้แก่ ลักษณะของวัตถุดิบ ความชื้น(%) เถ้า(%) โปรตีน(%) ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล(%) ความหนืด(cps) กากที่เหลือหลังการละลาย(%) สารหนู(As)(ppm) ตะกั่ว(Pb) (ppm) ความเป็นกรด-ด่าง(pH) และกลิ่น ส่วน**พัฒนันท์ วงศ์วิวัฒน์** (2545) กล่าวว่าคุณสมบัติและคุณภาพของไคตินและไคโตซาน จะขึ้นกับแหล่งของวัตถุดิบที่นำมาแยกไคตินและกรรมวิธีที่

ใช้ในการแยกไคติน ในด้านขนาดของวัตถุดิบ(particle size) No and Meyers (1997) รายงานว่าจากการทำการตรวจสอบผลของขนาดวัตถุดิบต่อคุณภาพของไคโตซาน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบที่มีขนาดเล็กประมาณ 1 มิลลิเมตร จะให้ผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่มีความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่าวัตถุดิบที่มีขนาด 2 และ 6.4 มิลลิเมตร แม้ว่าองค์ประกอบของไนโตรเจนและเถ้าจะเหมือนกัน นอกจากนี้ยังพบว่าไคตินที่มีขนาดใหญ่กว่า ต้องการระยะเวลาในการบวมตัว (swelling time) ที่นานกว่า ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิลช้า ส่วนในเรื่องของความชื้น กมลศิริ พันธนียะ (2546) กล่าวว่าผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่อยู่ในรูปเกล็ด (flake) ผงละเอียดคล้ายแป้ง(powder) และเม็ด (bead) นั้น หากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงจะต้องมีความชื้นต่ำมาก คือไม่เกิน 5-10 เปอร์เซ็นต์ หากความชื้นสูงกว่านี้ก็อาจจะทำให้เกิดเชื้อราหรือมีสิ่งปนเปื้อนอื่นๆเข้าไปปะปนอยู่ทำให้คุณภาพด้อยลงหรืออาจจะเกิดความเป็นพิษ เนื่องจากเชื้อรา เชื้อแบคทีเรียหรือสิ่งปนเปื้อนนั้นๆ ผลิตสารพิษออกมา

2.9 ความปลอดภัยและความเป็นพิษของไคโตซาน

วิสิฐ จะวะสิตและลูกจันทร์ ภัครัชพันธ์ (2533) กล่าวว่าไคโตซานเป็นโพลิเมอร์ธรรมชาติที่มีประจุบวกสามารถเข้ากันได้ดีกับธรรมชาติ(biocompatible)และย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (biodegradable) ทำให้ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษและไคโตซานไม่มีปฏิกิริยาต่อต้านจากร่างกาย เนื่องจากเป็นคาร์โบไฮเดรตจะสลายตัวอย่างช้าๆและถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจึงไม่ส่งผลใดๆที่เป็นอันตรายต่อผู้อุปโภคบริโภค จากการที่ไคโตซานมีบทบาทในการเป็นเส้นใยอาหารหรือไฟเบอร์ ภาวดี เมธะคานนท์ (2544) กล่าวว่าทำให้ไม่เกิดการย่อยในกระเพาะอาหารของคน ไม่ให้พลังงานหรือสารอาหารแก่ร่างกาย แต่มีประโยชน์ต่อระบบขับถ่าย ช่วยลดอัตราการเสี่ยงต่อโรคระบบทางเดินอาหาร เช่น มะเร็งลำไส้ ท้องผูกและริดสีดวงทวาร เป็นต้น ส่วนมูลนิธิเพื่อผู้บริโภค (2548) รายงานว่าไคโตซานมีความสามารถในการดักจับพวกไขมันจากอาหาร คือ ถ้าเรากินไคโตซานไปพร้อมกับอาหารมันก็จะไปเกาะจับกับไขมันและรวมตัวกันเป็นกลุ่ม ซึ่งยากต่อการย่อยสลายร่างกายจึงไม่สามารถที่จะดูดซึมไขมันเหล่านี้ไปใช้ได้และสุดท้ายจะถูกขับออกมาพร้อมกับอุจจาระในที่สุด ในขณะเดียวกัน วิตามินจากอาหารที่ต้องอาศัยไขมันเป็นตัวละลายที่ร่างกายจะสามารถดูดซึมไปใช้ได้ ได้แก่ วิตามิน เอ ดี อี และ เค ก็จะถูกขับถ่ายออกมาด้วย เราจึงไม่ได้ประโยชน์จากวิตามินในอาหารที่เรากินร่วมกับไคโตซานและยังมีผลข้างเคียงคือ เมื่อใช้ไปในปริมาณมากหรือบ่อยเกินไปจะไม่สามารถควบคุมการถ่ายอุจจาระหรืออาจมีไขมันซึมออกมาได้ นอกจากนี้ Shahidi *et al.* (1999) รายงานว่าฤทธิ์ในการขับไขมันออกจากร่างกายของไคโตซานจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้ร่วมกับวิตามิน ซี แต่การกินไคโตซานในปริมาณมากเกินขนาดจะไปลดการดูดกลับของเกลือแร่และลดระดับวิตามิน อี ในน้ำเลือดได้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ (2544) กล่าวถึงการใช้ไคโตซานหากใช้ในปริมาณมากเกินความต้องการอาจมีผลเสีย โดยทำให้พืชแสดงรูปร่างลักษณะผิดปกติไปจากธรรมชาติ ส่วนผลกระทบกับสัตว์จะเห็นได้ชัดในกุ้งจะไปกระตุ้นการลอกคราบ ซึ่งเกินสมดุลธรรมชาติและร่างกายอ่อนแอส่งผลให้ทำร้ายกันเอง

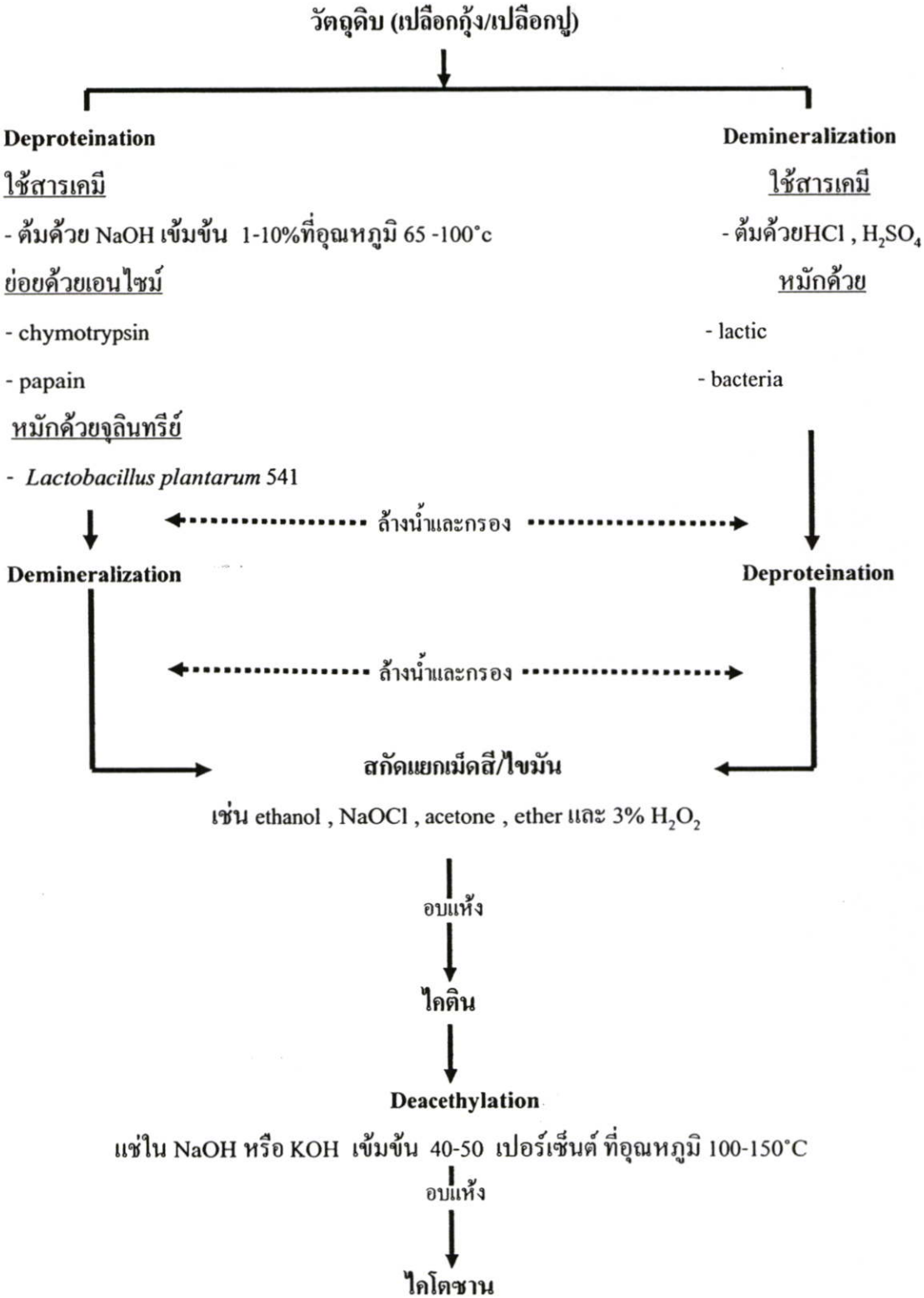
ป๋วย อุ่นใจ (2547) รายงานการศึกษาความเป็นพิษของไคโตซานในคนว่า อาจเกิดอาการอาหารไม่ย่อยและไม่เหมาะสำหรับผู้ที่แพ้พวกอาหารทะเลและหญิงมีครรภ์หรือหญิงที่ให้นมบุตร

Arai *et al.* (1968) ได้ทำการทดลอง พบว่าเมื่อใช้ไคโตซานที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 18 กรัมต่อน้ำหนักตัวหนู 1 กิโลกรัม ทำให้เกิดอันตรายต่อหนูเมื่อใช้เพียง 1 วันเท่านั้น

Knoor (1984) กล่าวว่าจากการทดลองเปรียบเทียบกลุ่มอาหารควบคุมที่ใช้เซลลูโลส 5 เปอร์เซ็นต์ กับกลุ่มที่เสริมไดดินและไคโตซานจนถึงระดับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสัตว์ พบว่าทำให้การดูดซึมไอออนลดลง

Koide (1998) รายงานว่าการให้ไคโตซานเป็นอาหารเสริมในหนูนั้น แม้จะทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดลดต่ำลง แต่มีผลกระทบทำให้การเจริญเติบโตช้าลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ให้ในปริมาณมาก นอกจากนี้ยังพบว่าเกลือแร่และวิตามินที่ละลายในไขมันจะถูกดูดซึมลดลงด้วย จึงทำให้หนูทดลองที่ได้รับอาหารมีไขมันสูงร่วมกับไคโตซาน มีปริมาณวิตามิน อี ในเลือดลดต่ำลงอย่างมาก

81353



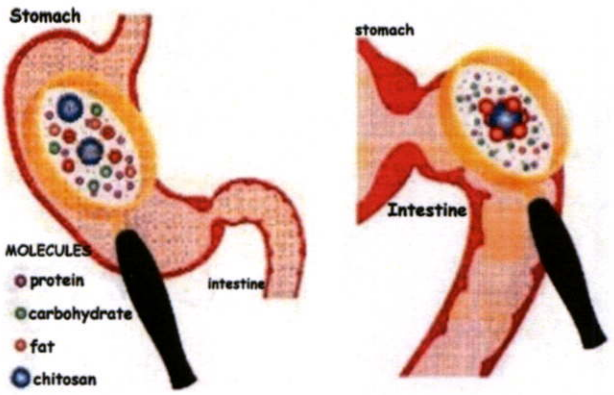
ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการผลิตไคโตซาน (ดัดแปลงจาก เยาวภา ไหวพริบ. 2534 ; Muzzarelli. 1977 ; Gagne and Simpson. 1993 ; No and Meyers. 1997 ; Rao and Stevens. 2005)

2.10 การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตซานในด้านต่างๆ

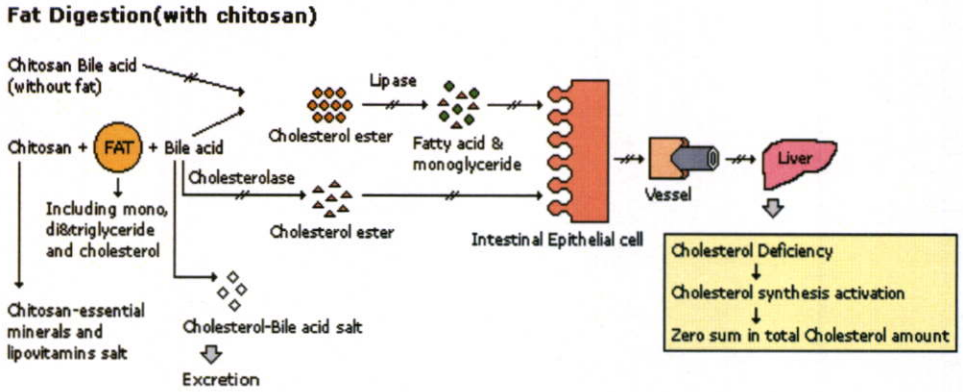
ปัจจุบันนี้ไคตินและไคโตซานถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านต่างๆ เช่น

1. ด้านอาหารและอาหารเสริม ไคโตซานมีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิดจึงนำไปใช้เป็นสารกันบูด สารช่วยรักษากลิ่นและรสของอาหาร (กฤษณา ศิรเลิศมุกุล. 2547) โดยการที่ไคโตซานเป็นโมเลกุลที่มีประจุบวก ซึ่งสามารถเกิด interaction กับเซลล์เมมเบรน (cell membrane) ของจุลินทรีย์ที่มีประจุลบ ทำให้เกิดการรั่วไหลของโปรตีนและสารอื่นของเซลล์ หรือการที่ไคโตซานเป็น chelating agent ซึ่งสามารถเลือกจับโลหะแม้ในปริมาณน้อยๆได้ ทำให้เกิดการยับยั้งการผลิตสารพิษ (toxin) และยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (ภาวดี เมธะคานนท์. 2544)

Spagna *et al.* (1996) ได้ศึกษาการใช้ไคโตซานในกระบวนการผลิตเครื่องดื่ม โดยไคโตซานเป็นตัวดูดซับสารประเภท phenolic ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดสีน้ำตาล (browning) ของไวน์ขาว โดยพบว่าไคโตซานให้ประสิทธิภาพดีเทียบเท่ากับสารดูดซับที่ใช้อยู่เดิมในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถใช้เป็นตัวควบคุมความเป็นกรดในน้ำผลไม้ได้อีกด้วย (Shahidi *et al.* 1999) และไคโตซานยังสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ ซึ่งแผ่นฟิล์มไคโตซานสามารถยืดอายุอาหารได้ดีเนื่องจากว่าสามารถควบคุมการถ่ายเทความชื้นระหว่างอาหารและสภาวะแวดล้อมภายนอก ควบคุมอัตราการหายใจและควบคุมอุณหภูมิได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำไคโตซานมาใช้ในการถนอมอาหารหรือใช้ห่อหุ้ม ผัก ผลไม้หลายชนิด เช่น ส้ม ลูกพีท ลูกแพร กีวี สตรอเบอร์รี่และมะเขือเทศ เป็นต้น (ภาวดี เมธะคานนท์. 2544) นอกจากนี้ไคโตซานมีการผลิตออกจำหน่ายอย่างแพร่หลายในรูปของอาหารเสริมเพื่อลดคอเลสเตอรอลและควบคุมน้ำหนัก โดยประจุบวกของไคโตซานจะดักจับกรดไขมันอิสระและคอเลสเตอรอลในระบบย่อยอาหาร (digestive system) ซึ่งมีประจุลบและทำให้ขับถ่ายออกมาพร้อมกับไขมันส่วนเกิน ดังภาพที่ 2.6 (ปิ่วย อุ่นใจ. 2547) ส่วน Dalwoo (2003) รายงานว่าในบริเวณกระเพาะอาหารและลำไส้ ไคโตซานจะไม่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้แต่เมื่อเข้าสู่ลำไส้ใหญ่มันจะถูกย่อยโดยเอนไซม์และถูกส่งออกนอกร่างกาย ซึ่งเป็นการกำจัดของเสียภายในเซลล์และรายงานว่าก่อนคอเลสเตอรอลจะถูกดูดซึมจะต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของคอเลสเตอรอลเอสเตอร์เสียก่อนจึงจะดูดซึมได้ ซึ่งการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของคอเลสเตอรอลเอสเตอร์ต้องใช้เอนไซม์คอเลสเตอเรส โดยการหลั่งเอนไซม์คอเลสเตอเรสต้องอาศัยทั้งกรดน้ำดีและคอเลสเตอรอลแต่ถ้าเสริมไคโตซานเข้าไป ไคโตซานจะรวมตัวกับกรดน้ำดีก่อนที่กรดน้ำดีจะถูกนำไปสร้างเอนไซม์คอเลสเตอเรส ซึ่งทำให้คอเลสเตอรอลไม่สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของคอเลสเตอรอลเอสเทอร์ได้ จึงทำให้ไม่ถูกดูดซึมเข้าสู่ลำไส้เล็ก แสดงดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.6 แสดงการจับไขมันของไคโตซานในกระเพาะอาหารและลำไส้ (ดัดแปลงจาก Anonymous. 2005)



ภาพที่ 2.7 แสดงผลของไคโตซานต่อการย่อยและการดูดซึมคอเลสเตอรอล (Dalwoo. 2003)

2. ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม ใช้ไคโตซานทำผลิตภัณฑ์แผ่นปิดตกแต่งแผล ด้ายเย็บแผล ซึ่งข้อดีของมันก็คือ ไคโตซานช่วยลดการ contraction ของ fibroblast ทำให้แผลเรียบ กระตุ้นให้เกิดการซ่อมแซมบาดแผลให้หายเร็วขึ้นและไคโตซานจะสลายตัวอย่างช้าๆแล้วถูกดูดซับเข้าร่างกายอย่างไม่มีปฏิกิริยาต่อต้านจากร่างกาย (ประภัสสร สุรวัฒนาวรรณ. 2544) ใช้เป็นเลนส์สายตา เนื่องจากมีคุณสมบัติยอมให้ออกซิเจนผ่านเข้าออกได้และไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ใช้เป็นแคปซูลบรรจุยา ใช้เป็นสารป้องกันการตกตะกอนของเลือด ใช้เป็นตัวจับและตกตะกอนเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว ใช้ผลิตผนังเทียม เช่น ผนังไต ใช้เป็นสารเชื่อมหรืออุดฟันในด้านทันตกรรมและใช้รักษาไขข้อเสื่อม อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อคนอีกด้วย

ป๋วย อุ่นใจ (2547) กล่าวว่าไคโตซานสามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้างกระดูกใหม่โดยทดลองจากกระต่ายและสุนัข

Mi *et al.* (2001) รายงานว่าการใช้ chitosan membrane แบบไม่สมมาตร ในลักษณะเป็นรูพรุนขนาดใหญ่คล้ายฟองน้ำและมีชั้นบนสุดเป็นชั้นผิวที่มีเนื้อแน่น (dense skin surface) จากการทดสอบพบว่าออกซิเจนสามารถซึมผ่าน membrane ได้ดี ช่วยควบคุมการสูญเสียน้ำและช่วยป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ได้ ซึ่งปัจจุบันมีการผลิตวัสดุปิดแผลหรือผิวหนังเทียมที่ผลิตจากไคตินหรือไคโตซานเพื่อใช้งานด้านการแพทย์ทั้งในมนุษย์และสัตว์

3. ด้านการผลิตกระดาษ ไคโตซานสามารถใช้เป็น dry strength agent สำหรับกระบวนการผลิตกระดาษจากเยื่อยูคาลิปตัสได้ โดยกระดาษที่ผ่านการเคลือบด้วยไคโตซานจะมีความแข็งแรง (Lertsutthiwong *et al.* 2002) ทนต่อการฉีกขาดและซับหมึกได้ดี ทำให้สามารถช่วยยืดอายุการเก็บเอกสารสำคัญได้ (ปิ่วย อุ่นใจ. 2547)

Pranee (2002) รายงานว่าการใช้ไคโตซานในปริมาณ 0.25 – 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษได้ดี โดยเฉพาะสภาวะการผลิตที่เป็นกรดและกลาง ทำให้ไคโตซานมีคุณสมบัติที่เด่นกว่าสารอื่นตรงที่ไคโตซานสามารถใช้ได้ทั้งในสภาวะที่เป็น กรด กลาง และด่าง

4. ด้านการบำบัดน้ำเสีย ไคโตซานมีประจุบวกสามารถจับกับโปรตีนและไขมันได้ดี และยังสามารถดูดซับอิออนของโลหะหนักและจับสี(dye)ได้ (ลาวัลย์ จีระพงษ์. 2544)

พัฒนันท์ วงศ์วิวัฒน์ (2545) กล่าวว่าในการทำน้ำดื่ม เมื่อใช้ไคโตซานผสมกับถ่านกัมมันต์สามารถทำให้น้ำดื่มบริสุทธิ์ได้โดยไคโตซานสามารถกำจัดสารประกอบอินทรีย์ เช่น o-dichlorobenzene และ กำจัดโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว ปรอท แคดเมียมและสังกะสีได้ ส่วนการบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำ ไคโตซานสามารถตกตะกอนสาร เช่น น้ำมัน สบู่ สิ่งสกปรกและฝุ่นที่ปะปนอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำใสขึ้น Dunn *et al.* (1997) รายงานว่าการเตรียม adsorbent สำหรับดูดซับสีย้อมจากน้ำทิ้งโดยเตรียมขึ้นจากการผสมระหว่างไคโตซานกับเส้นใยเซลลูโลส พบว่าเส้นใยไคโตซานกับเซลลูโลสสามารถดูดซับสีรีแอค-ทีฟและสีแอซิดได้ ส่วน Chiou and Li (2003) ได้ศึกษาการใช้ cross-linked chitosan bead ในการดูดซับสีรีแอคทีฟในน้ำ พบว่าสามารถกำจัดสีได้ 63% นอกจากนี้ chitosan bead ที่ดูดซับสีออกไปแล้วยังสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่โดยมีกำลังในการดูดซับสีไม่ต่างจากเดิม

5. ด้านสิ่งทอ นำมาขึ้นรูปเป็นเส้นใยและใช้ในการทอร่วมหรือเคลือบกับเส้นใยอื่นๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติในการลดการเกิดกลิ่นอับชื้นและการต้านจุลชีพ (กฤษณา ศิรเลิศมุกุล. 2547) ซึ่งการต้านจุลชีพ เกิดจากการที่ประจุบวกบนสายโซ่โมเลกุลไคโตซานเข้าไปจับกับผนังเซลล์ของจุลชีพแล้วทำให้เกิดช่องหรือโพรงทำให้ผนังเซลล์รั่วและตายลงในที่สุด หรือการที่ไคโตซานแทรกตัวผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลชีพและไปยับยั้งการสังเคราะห์ mRNA และสารประเภทโปรตีน (Shahidi *et al.* 1999)

Seong *et al.* (1999) ได้เตรียม chito-oligosaccharides โดยการ depolymerize ด้วย sodium nitrite ซึ่งเมื่อนำ chito-oligosaccharides ไปอัดรีดลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีอัดรีด-อบแห้ง-อบผนึก(pad-

dry-cure) พบว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งหลังจากผ่านการซัก 50 ครั้งแล้วยังคงมีประสิทธิภาพที่ทำให้ *Staphylococcus aureus* ลดลง 95 เปอร์เซ็นต์ และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

6. ด้านเครื่องสำอาง จากการที่ไคโตซานเป็นสารประเภท non-toxic polyelectrolyte ทำให้มีประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ทั้งนี้เพราะประจุบวกของหมู่แอมโมเนียมที่เรียงรายอยู่บนโครงสร้างของไคโตซานจะมีความว่องไวต่อการจับกับผิวหนังและเส้นผมที่ประกอบด้วยสาร mucopolysaccharides โปรตีนและไขมันที่มีประจุลบได้เป็นอย่างดี ไคโตซานที่เคลือบอยู่นี้จะก่อตัวเป็นฟิล์มบางๆ พร้อมกับดูดซับความชื้นและไขมันเอาไว้ จึงช่วยรักษาความชุ่มชื้นและความยืดหยุ่นให้แก่ผิวหนังและเส้นผม ส่วนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง polysaccharides และโปรตีนของเส้นผมยังมีส่วนในการเพิ่มความเงางามให้แก่เส้นผมอีกด้วย (Dunn *et al.* 1997) นอกจากนี้ด้วยคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำและอุ้มความชื้นได้ดีจึงได้มีการนำมาทำผลิตภัณฑ์บำรุงผิว ยาสีฟันและเครื่องสำอาง (ป้วย อุ่นใจ. 2547)

7. ด้านการเกษตร การนำสารไคตินและไคโตซานมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรนั้น มีทั้งทางพืชและสัตว์ เนื่องจากการใช้ไคตินและไคโตซานให้ผลดีในแง่ของการเป็นสารธรรมชาติที่ช่วยลดความเสี่ยงของเกษตรกรและผู้บริโภคต่อการได้รับสารพิษจากปุ๋ยและยาปราบศัตรูพืช พร้อมทั้งมีจุดเด่นที่สามารถช่วยเพิ่มผลผลิต ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาพืชผลทางการเกษตร รวมถึงสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้และปลอดภัยต่อสภาพแวดล้อม ดังนั้นจึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ดังนี้

7.1 ใช้เป็นสารเคลือบเมล็ดพันธุ์ (seed treatment) เมื่อนำไคตินและไคโตซานไปเคลือบเมล็ดพันธุ์ สามารถป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืชได้และยังส่งผลทำให้อัตราการงอกของเมล็ดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลผลิตที่ได้ก็จะสูงขึ้น (ในนาข้าวประมาณ30-40 เปอร์เซ็นต์)

7.2 ใช้เป็นยาฆ่าแมลง (insecticide) ไคตินและไคโตซานถูกนำไปใช้ในกระบวนการผลิตเอนไซม์ไคติเนส (chitinase) ซึ่งเป็นยาฆ่าแมลง โดยเอนไซม์ไคติเนสจะไปย่อยสลายไคตินที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกหุ้มตัวของแมลงศัตรูพืช ปัทมา วิศาลนิตย์และทศพร ทองเที่ยง (2545) กล่าวว่าไคโตซานเป็นตัวเหนี่ยวนำให้สร้างเอนไซม์ chitinase และβ-1,3 glucanase ซึ่งเอนไซม์ทั้งสองนี้สามารถเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของไคตินและกลูแคน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์เชื้อราส่วนใหญ่ เพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคในพืชได้

7.3 ใช้เป็นปุ๋ยธรรมชาติ (fertilizer) โดยปกติในโครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซานจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ภายในโมเลกุลประมาณ 7-10% จะสามารถถูกปลดปล่อยออกจากโมเลกุลได้อย่างช้าๆ ด้วยเอนไซม์ที่สิ่งมีชีวิตผลิตขึ้น รวมทั้งไคตินและไคโตซานนั้นยังสามารถเป็นตัวตรึงไนโตรเจนไม่ว่าจากอากาศหรือจากดิน ในกรณีของเห็ดนั้นไคตินและไคโตซานยังแสดงความสามารถในการเป็นตัวตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 fixation) ได้ด้วย

7.4 ใช้เป็นตัวปรับสภาพดิน (soil-conditioner) ไคตินและไคโตซาน สามารถนำมาใช้ในการปรับดินที่มีส่วนประกอบของดินเหนียวมาก โดยจะเพิ่มความพรุนในดิน การดูดซับน้ำ การอุ้มน้ำและการควบคุมอัตราการชะออก (erosion) ของดิน รวมทั้งยังเป็นตัวพา (carrier) สำหรับพวก micro-organic โดยปลดปล่อยสารดังกล่าวอย่างช้าๆ ให้ผลต่อเนื่องได้นานและอัตราคงที่ตามอัตราการย่อยสลายของไคตินและไคโตซาน ลดปัญหาการใช้สารเกินความจำเป็น ซึ่งมีผลต่อพืชและสภาพดิน

7.5 ใช้เป็นสารต่อต้านเชื้อรา ไวรัสและแบคทีเรียบางชนิด (antifungal/antivirus/antibacteria) ไคตินและไคโตซานมีผลต่อการต้านทานและกำจัดเชื้อราและแบคทีเรียบางประเภทได้อย่างกว้างขวางหลายชนิด เช่น ไทรโคเดอร์มา ไฟทอปเธอรา พิเทียม แอนแทรคโนส เมลาโนส โรครากเน่า โรคโคนเน่า โรคราน้ำค้าง โรคราขาว โรคแคงคอร์ โรคใบติด โรคใบจุด โรคใบสีส้มในนาข้าวและอื่นๆ ซึ่งเกิดจากโครงสร้างทางประจุและสร้างเอนไซม์ ซึ่งทำให้ย่อยสลายทำลายเชื้อราของโรคพืชได้อย่างดี พบว่าไคโตซานยังสามารถเข้าสู่เซลล์เชื้อราและทำให้เกิดการยับยั้งการสร้างและสะสมของ RNA จึงทำให้เชื้อราถูกยับยั้งการเจริญเติบโต แต่ในเชื้อราบางประเภทและแบคทีเรียบางชนิดที่มีประโยชน์ จะมีการเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว เมื่อใช้ไคตินและไคโตซาน เช่น ในการใช้กับเห็ดฟาง เห็ดเข็มทองและ เห็ดนางฟ้า เป็นต้น

7.6 ใช้ทางปศุสัตว์ นำไคตินและไคโตซานมาใช้เพื่อเป็นสารเร่งการเจริญเติบโตในสัตว์ ได้แก่ กุ้ง สุกร วัว ควาย ไก่ และเป็ด เป็นต้น โดยใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกันและลดการติดเชื้อ ทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์เพิ่มขึ้น (ประภัสสร สุรวัฒนาวรรณ. 2544) นอกจากนี้ไคตินและไคโตซาน ยังสามารถใช้ช่วยเพิ่มปริมาณแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในทางเดินอาหาร ช่วยลดอาการท้องเสียของสัตว์และลดอัตราการตายของสัตว์วัยอ่อนอันเนื่องมาจากการติดเชื้อแบคทีเรียหลายชนิดในทางเดินอาหารได้ (ป๋วย อุ่นใจ. 2547)

2.11 การเสริมไคโตซานต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์

ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ (2543ก) รายงานว่าจากการเสริมไคโตซานลงในอาหารสุกรขุนด้วยอัตราส่วน 1.5 - 2 กิโลกรัมต่ออาหาร 1 ตันและมีการเสริมยาปฏิชีวนะAmoxicillin (AMOXY) และ Chlortetracycline 15 เปอร์เซ็นต์ (CTC15%) โดยเสริมลดลงจากที่เคยให้ คือ AMOXY จาก 300 พีพีเอ็ม ลดเป็น 100 พีพีเอ็ม และ CTC 15 % จาก 2 กิโลกรัมต่ออาหาร 1 ตัน เหลือ 1 กิโลกรัม ต่ออาหาร 1 ตัน ผลที่ได้คือ ไคโตซานสามารถเร่งการเจริญเติบโตของสุกรทำให้อัตราแลกเนื้อดีขึ้นและสามารถลดปริมาณการใช้ยาปฏิชีวนะลงได้ในปริมาณมาก ทำให้ช่วยลดต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงสุขภาพสุกรให้แข็งแรง ลดอาการป่วยของสุกรภายในฟาร์ม ทำให้ลดอัตราการสูญเสียได้

ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์และสุวลี จันทร์กระจ่าง (2543) รายงานว่าจากการทดลองเสริมไคโตซานที่ระดับ 50 – 500 พีพีเอ็ม ในอาหารไก่เนื้อ พบว่าที่ระดับ 200 - 300 พีพีเอ็ม ไคโตซานสามารถทำหน้าที่เป็นสารเร่งการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ ช่วยให้ไก่มีสุขภาพแข็งแรงสมบูรณ์ ขนาดฝูงสม่ำเสมอ ขนสวยเป็นมันเงา สีหงอนและเหนียงแดงเข้ม สีแข้งเหลืองเข้ม ได้น้ำหนักตัวเฉลี่ยสูงที่สุด ประสิทธิภาพการใช้อาหาร(FCR)ดีที่สุดและอัตราการตายต่ำสุด ดังนั้นการนำไคโตซานมาใช้ในการเลี้ยงไก่เนื้อจึงทำให้ได้มูลค่าสุทธิที่ขายไก่เพิ่มสูงขึ้นและช่วยลดต้นทุนการใช้ยาปฏิชีวนะและวัคซีนลงได้อีกด้วย

เยาวมาลย์ ค้าเจริญและสาโรช ค้าเจริญ (2545ก) ได้ทำการเสริมเฟิมคิโต(ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติของไคติน ไคโตซานและไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์จากการหมักด้วยโปรไบโอติก) 2 ระดับ (0.3 และ 0.6 เปอร์เซ็นต์) ในอาหารลูกสุกรดูดนมและลูกสุกรหย่านม (อายุ 21-56 วัน) จากผลการทดลองพบว่าการเสริมเฟิมคิโตในอาหารลูกสุกรดูดนมและหย่านมจะมีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรทั้งสองช่วงเพิ่มขึ้นและยังเป็นสารเร่งโภชนะทางชีวภาพ ซึ่งมีผลทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้จากอาหารทำให้สุขภาพของลูกสุกรทั้งสองช่วงอายุดีขึ้น โดยลดการเกิดอาการท้องร่วง ($P<0.05$)ในลูกสุกรลง ซึ่งมีผลทำให้ความสม่ำเสมอของน้ำหนักลูกสุกรดีเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มลูกสุกรที่ไม่ได้เสริมเฟิมคิโต

เยาวมาลย์ ค้าเจริญและสาโรช ค้าเจริญ (2545ข) ได้ทำการเสริมเฟิมคิโตในอาหารไก่ไข่ (AA Brown) เสริม 2 ระดับ คือ 0.3 และ 0.6 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลอง พบว่าการเสริมเฟิมคิโตในอาหารไก่ไข่จะมีผลต่อการเพิ่มสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่และปรับปรุงคุณภาพของไข่ได้สูงสุด ซึ่งจะแสดงผลอย่างชัดเจนต่อผลผลิตไข่ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารให้เป็นไข่ ความหนาแน่นของไข่ ความสูงของไข่ขาว สีของไข่แดงและยังมีผลในการเพิ่มความหนาของเปลือกไข่และน้ำหนักของเปลือกไข่ นอกจากนี้เฟิมคิโตส่งผลในอัตราการเลี้ยงรอดของไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้สภาพการเลี้ยงไก่ไข่ในประเทศให้สูงขึ้นด้วย

Landes and Bough (1976) ทำการเสริมไคโตซานในอาหารของหนูเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและสิ่งที่ประกอบอยู่ในตับและเลือด ได้ผลว่าหนูที่ได้รับไคโตซาน 5 เปอร์เซ็นต์หรือได้รับไคโตซานในระดับต่ำจะทำให้การเจริญเติบโตดีขึ้นแต่เมื่อเสริมไคโตซานเพิ่มขึ้นเป็น 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ของอาหารหรือได้รับไคโตซานในระดับสูงผลคือทำให้การเจริญเติบโตลดลง ตับและไตเกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้หนูที่ได้รับไคโตซานในระดับสูงสิ่งที่ประกอบในตับและเลือด (ในตับ : ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และ nucleic acid ; ในเลือด : hemoglobin , albumin , ceruloplasmin และ transferrin) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามในสัตว์ที่ได้รับไคโตซานในสูตรอาหาร 5 เปอร์เซ็นต์หรือในระดับต่ำ เมื่อนำเนื้อเยื่อมาวัดส่วนประกอบภายในเนื้อเยื่อจะมีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมยกเว้นความเข้มข้นของโปรตีนในตับของหนูที่ได้รับไคโตซาน 5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร

Austin *et al.* (1981) รายงานว่าการทดลองในหนูและไก่ โดยใช้หางนม (cheese whey) ที่เป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตเนยแข็งเป็นอาหารให้แก่สัตว์ทดลอง สัตว์เกิดอาการท้องเสียอย่างรุนแรงจนถึงขั้นตายได้เพราะการสูญเสียน้ำ แต่เมื่อผสมอนุพันธ์ของไคตินในรูป propyl N-acetyl-d-glucosamine glycoside หรือ microcrystalline chitin ลงในอาหาร ทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์ทดลองเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและปลอดภัยจากอาการโรคท้องเสียทั้งนี้อนุพันธ์ของไคตินยังสามารถช่วยลดต้นทุนในอาหารสัตว์ และสามารถทดแทนอาหารเดิมได้ถึง20%โดยไม่มีผลกระทบต่อน้ำหนักของสัตว์ทดลอง

Zofia *et al.* (2003) ศึกษาผลของไคโตซานต่อลักษณะผลผลิตและการฟักออกของนกกระทา โดยใช้นกกระทาอายุ 5 สัปดาห์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีตัวเมีย 36 ตัวและตัวผู้ 12 ตัว กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ 2 เสริมด้วยไคโตซาน 5.2 มิลลิลิตรต่ออาหาร 1.2 กิโลกรัม พบว่าปริมาณอาหารที่กินต่อวัน จำนวนผลผลิตไข่ของกลุ่มที่เสริมไคโตซานต่ำกว่ากลุ่มควบคุม แต่ปริมาณอาหารที่กินต่อจำนวนผลผลิตไข่สูงกว่ากลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่ามีอัตราการรอดชีวิตและอัตราการฟักออกสูงกว่ากลุ่มควบคุม

Yoon and Hyung (2004) ศึกษาผลของการเสริมไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหาร โดยทำการเสริมในไก่กระทงสามสายพันธุ์ (Arbor Acres,Peterson และ Ross) ที่อายุต่างกัน จะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง การทดลองแรกใช้ไก่อายุ 1 วัน อาหารที่ใช้เลี้ยงจะใช้ข้าวโพดเป็นหลัก สูตรเปรียบเทียบจะเสริมไคโตซาน 10.5 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ส่วนการทดลองที่ 2 และ 3 ใช้ไก่กระทงอายุ 15 วันเสริมไคโตซานเหมือนในการทดลองที่ 1 จากการทดลองที่ 2 พบว่าเมื่อเลี้ยงจนถึงอายุ 21 วัน ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวของกลุ่มที่เสริมไคโตซานมีน้ำหนักมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยของการทดลองที่ 3 น้ำหนักตัวที่ 35 วัน กลุ่มที่เสริมไคโตซานมีน้ำหนักมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เช่นกัน จากการเสริมเมื่ออายุ 15 วันเป็นต้นไป ผลของค่าเฉลี่ย FCR ช่วง15-35 วัน กลุ่มที่เสริมไคโตซานจะมีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เฉพาะในการทดลองที่ 1 เท่านั้น

2.12 การเสริมไคโตซานต่อการย่อยได้

ไพฑูล แก้วหอม (2547) ศึกษาการย่อยได้ของอาหารที่เสริมไคโตซานในไก่เนื้อ โดยใช้ไก่เนื้อเพศผู้ อายุ 4 สัปดาห์ แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ตามอาหารทดลองคือกลุ่มที่ 1 อาหารควบคุม (ข้าวโพด-กากถั่วเหลือง) กลุ่มที่ 2 อาหารควบคุมเสริมยาปฏิชีวนะ (คลอเตตราซัยคลิน 50 พีพีเอ็ม) กลุ่มที่ 3 4 5 และ 6 เป็นอาหารควบคุมเสริมด้วยไคโตซานที่ระดับ 200 300 400 และ 500 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีนในมูล การย่อยได้ของโปรตีนและ

เปอร์เซ็นต์โปรตีนใช้ประโยชน์ได้สุทธิ (NPU) ของไก่ที่ได้รับอาหารแต่ละกลุ่มของอาหารทั้ง 3 ระยะ (0-3 3-6 และ 6-7 สัปดาห์)ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) เปอร์เซ็นต์ไขมันและค่าพลังงานทั้งหมดในมูลเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของไขมันและค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏของอาหาร พบว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่มีการเสริมไคโตซาน 500 พีพีเอ็ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) และยังพบว่าเมื่อมีการเสริมไคโตซานในระดับที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันและค่าพลังงานทั้งหมดในมูลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของไขมันและค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏลดลง

อัจฉริยา รักษ์รอด (2549) ศึกษาการย่อยได้ของอาหารที่เสริมไคโตซานในไก่ไข่ โดยใช้ไก่ไข่พันธุ์โรมัน อายุ 38 สัปดาห์ จำนวน 36 ตัว แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ตามอาหารทดลองคือกลุ่มที่ 1 อาหารควบคุม กลุ่มที่ 2 อาหารควบคุมเสริมยาปฏิชีวนะ(คลอเตตราซัยคลิน 50 พีพีเอ็ม) กลุ่มที่ 3 4 5 และ 6 เป็นอาหารควบคุมเสริมด้วยไคโตซานที่ระดับ 100 200 300 และ 400 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีนในมูล การย่อยได้ของโปรตีนและเปอร์เซ็นต์โปรตีนใช้ประโยชน์ได้สุทธิ (NPU) ของไก่ไข่ที่ได้รับอาหารแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P> 0.05) ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันและค่าพลังงานทั้งหมดในมูล (Kcal/Kg) เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของไขมันและค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏ (Kcal/Kg)ของอาหาร พบว่าเมื่อมีการเสริมไคโตซานในระดับที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันและค่าพลังงานทั้งหมดในมูลเพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของไขมันและค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏ (Kcal/Kg) ลดลง

Razdan and Pettersson (1994) ศึกษาผลของไคตินหรือไคโตซานต่อการย่อยได้ของโภชนะ โดยไก่ได้รับอาหารควบคุมเป็นข้าวโพดและแป้งข้าวโพด แล้วทำการเสริมไคตินและไคโตซานที่มีค่าdeacetylated เป็น 94 82 และ 76 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ที่ระดับ 30 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร จากการทดลองพบว่าการย่อยได้ของไขมันที่ลำไส้เล็กส่วนท้ายลดลง 26 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมไคติน ส่วนการย่อยได้ของโภชนะที่ลำไส้เล็กส่วนต้นของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่เติมไคติน พบว่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมไคโตซานเนื่องจากเวลาในการลำเลียงในลำไส้เล็กลดลง

Kanauchi *et al.* (1994) ได้ศึกษาผลของไคโตซานโดยผสมกับกรดอินทรีย์ในอาหารเพื่อดูการขับไขมันออกมากับมูลโดยให้หนูได้รับอาหารที่มีไขมันสูงเติมเซลลูโลสเป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ 2 ได้รับอาหารที่มีไขมันสูงเติมไคโตซานแต่ไม่เติมกรดอินทรีย์ กลุ่มที่ 3 ได้รับอาหารที่มีไขมันสูงเติมไคโตซานร่วมกับ ascorbic acid กลุ่มที่ 4 ได้รับอาหารที่มีไขมันสูงเติมไคโตซานร่วมกับ lactic acid และกลุ่มที่ 5 ได้รับอาหารที่มีไขมันสูงเติมไคโตซานร่วมกับ citric acid ผลการทดลองพบว่าปริมาณมูลแห้ง ไขมันในมูล การย่อยได้ปรากฏของไขมันและความเข้มข้นของ plasma triacyl glycerol ของกลุ่มที่เติมไคโตซานต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

2.13 การเสริมไคโตซานต่อภูมิคุ้มกัน

ไพทูล แก้วหอม (2547) ศึกษาผลของไคโตซานต่อภูมิคุ้มกันในไก่เนื้อ อาหารทดลองคือ กลุ่มที่ 1 อาหารควบคุม(ข้าวโพด-กากถั่วเหลือง) กลุ่มที่ 2 อาหารควบคุมเสริมยาปฏิชีวนะ(คลอเตตราซัยคลิน 50 พีพีเอ็ม) กลุ่มที่ 3 4 5 และ 6 เป็นอาหารควบคุมเสริมด้วยไคโตซานที่ระดับ 200 300 400 และ 500 พีพีเอ็มตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าปริมาณไตเตอร์ (GMT titer) ของโรคนิวคาสเซิลในซีรั่มของไก่เนื้อ เมื่อไก่เนื้อได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่มพบว่าปริมาณไตเตอร์ของโรคนิวคาสเซิลมีค่าเป็น 3.55 3.05 3.57 3.78 3.12 และ 3.68 ตามลำดับ ซึ่งอาหารควบคุม อาหารควบคุมเสริมยาปฏิชีวนะ อาหารควบคุมเสริมด้วยไคโตซานที่ระดับ 200 400 300 และ 500 พีพีเอ็ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าปริมาณไตเตอร์ของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่เสริมไคโตซานที่ระดับ 300 และ 500 พีพีเอ็มมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะ สำหรับปริมาณไตเตอร์ของโรคกัมโบโรในซีรั่มของไก่เนื้อ เมื่อไก่เนื้อได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่ม พบว่าปริมาณไตเตอร์ของโรคกัมโบโรมีค่าเป็น 1476 1539 1960 1482 1063 และ 1789 ตามลำดับ ซึ่ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นกันแต่พบว่าปริมาณไตเตอร์ของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่เสริมไคโตซาน 200 และ 500 พีพีเอ็ม มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะ

Wei (2003) รายงานว่าไคโตซานมีบทบาทสำคัญในการยกระดับภูมิคุ้มกันของร่างกาย โดยไคโตซานสามารถกระตุ้น alexin system (ระบบของสารในโลหิตที่ทำลายแบคทีเรีย) ที่มีผลกระทบทางชีวภาพหลังมีการดูดซึม H^+ ซึ่งประจุบวกจะยึดติดกับ macrophage และ T-lymphocyte ที่มีประจุลบ ดังนั้นจึงมีการจับซึ่งกันและกัน จึงกระตุ้นเซลล์ของระบบน้ำเหลืองที่สามารถมีปฏิกิริยาสร้างภูมิคุ้มกันโรคตอบโต้ antigen

2.14 การเสริมไคโตซานในอาหารต่อระดับคอเลสเตอรอล

ธนเดช มหึเมืองและคณะ (2547) ศึกษาการลดคอเลสเตอรอลในไก่เนื้อโดยเสริมไคโตซานในอาหาร ใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์อาร์เบอร์เอเคอร์คละเพศอายุ 8-49 วัน แบ่งไก่ออกเป็น 2 กลุ่ม ซึ่งให้อาหารทดลองที่ไม่เสริมและเสริมไคโตซาน(chitin-chitosan 4.3 เปอร์เซ็นต์ chitosan oligosaccharide 4.1 เปอร์เซ็นต์ และ carotenoid 57.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในระดับ 0.6 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ ช่วงอายุไก่ 2-3,4-6และ7 สัปดาห์ ผลการทดลอง พบว่าคอเลสเตอรอลทั้งในซีรัมและเนื้อไก่ที่อายุ 4 สัปดาห์ทุกกลุ่มให้ผลไม่แตกต่างกัน แต่ไก่เพศผู้มีคอเลสเตอรอลสูงกว่าไก่เพศเมีย (115.9 และ 85.8 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อไก่มีอายุ 7 สัปดาห์พบว่าการเสริมด้วยไคโตซานมีผลทำให้คอเลสเตอรอลในซีรัม รวมทั้งในกล้ามเนื้อหน้าอกและน่องลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่เสริมไคโตซาน โดยลดลงเท่ากับ 21.1 18.3 และ 13.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ไพทูล แก้วหอม (2547) ศึกษาผลของไคโตซานต่อคอเลสเตอรอลในซีรั่มของไก่เนื้อ โดยใช้อาหารทดลอง คือ กลุ่มที่ 1 อาหารควบคุม กลุ่มที่ 2 อาหารควบคุมเสริมคลอเตตราซัยคลิน 50 พีพีเอ็ม กลุ่มที่ 3 4 5 และ 6 เป็นอาหารควบคุมเสริมด้วยไคโตซานที่ระดับ 200 300 400 และ 500 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่ม มีค่าเป็น 143.58 144.25 140.43 139.90 136.38 และ 133.53 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตรตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่มีแนวโน้มว่าเมื่อระดับการเสริมไคโตซานในอาหารเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มของไก่ทดลองลดลง

อัจฉริยา รักษ์รอด (2549) ศึกษาผลของไคโตซานต่อคอเลสเตอรอลในซีรั่มของไก่ไข่และคอเลสเตอรอลในไข่แดง โดยใช้อาหารทดลองคือ กลุ่มที่ 1 อาหารควบคุม กลุ่มที่ 2 อาหารควบคุมเสริมคลอเตตราซัยคลิน 50 พีพีเอ็มกลุ่มที่ 3 4 5 และ 6 เป็นอาหารควบคุมเสริมด้วยไคโตซานที่ระดับ 100 200 300 และ 400 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มของไก่ไข่ที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่ม มีค่าเป็น 152.91 148.83 139.82 128.00 125.70 และ 124.36 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ส่วนคอเลสเตอรอลในไข่แดง พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารทดลองตลอดอายุการทดลอง สูตรที่ 1 2 3 4 5 และ 6 มีปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงต่อน้ำหนักไข่แดงทั้งฟองเฉลี่ยเท่ากับ 198.91 188.82 181.45 188.28 187.97 และ 180.02 มิลลิกรัม/ฟอง ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P> 0.05)แต่มีแนวโน้มว่าเมื่อระดับการเสริมไคโตซานในอาหารเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มและในไข่แดงลดลง

Razdan and Pettersson (1994) ศึกษาผลของไคตินและไคโตซานต่อคอเลสเตอรอลในไก่เนื้อ โดยใช้อาหารควบคุมเป็นข้าวโพดและแป้งแล้วทำการเสริมไคตินหรือไคโตซานที่มีค่า deacetylatedเป็น 94 82 และ 76 เปอร์เซ็นต์ โดยจะใช้ที่ระดับ 30 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ไก่จะได้รับอาหารและน้ำตลอดการทดลอง ทำการตรวจสอบคอเลสเตอรอลในวันที่ 11 และวันที่ 19 ของการทดลอง จากการทดลองพบว่ากลุ่มที่มีการเสริมไคตินหรือไคโตซาน total plasma cholesterolและความเข้มข้นของ HDL-Cholesterol ลดลง แต่อัตราส่วนของ HDL: total cholesterol เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

Razdan *et al.* (1997) ทำการศึกษาความเข้มข้นของ plasma lipid และความเข้มข้นของกรดน้ำดีของลำไส้เล็กในการตอบสนองต่ออาหารเสริมไคโตซานและ pectin ในไก่เนื้อ โดยใช้ไก่เนื้ออายุ 1 วัน ให้อาหารควบคุมที่ประกอบด้วยข้าวโพดและแป้งข้าวโพด กลุ่มที่ 2 เสริมไคโตซาน 89 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 30 กรัม/กิโลกรัม ส่วนกลุ่มสุดท้ายเสริมด้วย low methoxy pectin (34 เปอร์เซ็นต์ ของ esterification) ผลที่ได้ คือ เมื่อเลี้ยงไก่ได้ 12 วัน ไก่ที่ได้รับอาหารที่มีไคโตซานจะมีความเข้มข้นของ plasma lipid , plasma cholesterol และ HDL-Cholesterol ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมด้วย pectin

Han *et al.* (1999) ได้ศึกษาผลของไคติน-ไคโตซานต่อคอเลสเตอรอลในหนู โดยหนูได้รับอาหารที่มีไขมันสูงเป็นเวลา 9 สัปดาห์แล้วเสริมด้วย ไคติน-ไคโตซาน จากการทดลองเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่มีการเสริมด้วยไคติน-ไคโตซานที่ 3 , 7 และ 15 เปอร์เซ็นต์ serum triacylglycerol ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีไขมันสูงแต่ไม่ได้เสริมด้วยไคติน-ไคโตซาน และ serum total cholesterol จะลดลงเมื่อให้อาหารที่เสริมไคติน-ไคโตซานที่ 7 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนหนูที่ได้รับอาหารที่เสริมไคติน-ไคโตซาน 15 เปอร์เซ็นต์ ระดับ serum free fatty acid จะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีไขมันสูงแต่ไม่ได้เสริมด้วยไคติน-ไคโตซาน ดังนั้นการเสริมไคติน-ไคโตซานที่ 3 7 และ 15 เปอร์เซ็นต์ สามารถป้องกันการสะสมของ liver triacylglycerol และ total liver cholesterol ที่เป็นสาเหตุจากอาหารที่มีไขมันสูง

Gallaher *et al.* (2000) รายงานการศึกษาการลดคอเลสเตอรอลโดยใช้ glucomannan ซึ่งเป็นสารโพลีเซคคาไรด์ที่หนืดและไคโตซานซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคตินเป็นสารที่จับคอเลสเตอรอลส่งผลให้ระดับของคอเลสเตอรอลในหนูลดลง การทดลองใช้หนูเพศผู้น้ำหนัก 50-75 กรัม ให้กินอาหารสูตร AIN-93G ซึ่งมีปริมาณคอเลสเตอรอล 0.125 กรัมต่ออาหาร 100 กรัม โดยแบ่งอาหารเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มควบคุมจะเสริมด้วยเซลลูโลส(C) กลุ่มที่ 2 เสริมglucomannan(G) กลุ่มที่ 3 เสริมไคโตซาน(CH) กลุ่มที่ 4 เสริมทั้ง glucomannan และไคโตซานในปริมาณที่เท่ากัน(G+CH) หนูจะได้รับอาหารเป็นเวลา 18 วัน โดยเริ่มต้นจะให้ 10 กรัมต่ออาหาร100 กรัม เมื่อครบหนึ่งสัปดาห์ลดลงเหลือ 7.5 กรัมต่ออาหาร 100 กรัม ผลการทดลองพบว่า คอเลสเตอรอลทั้งหมดในตับ (Total liver cholesterol)ในกลุ่ม G , CH และ G+CH แตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการดูดซึมคอเลสเตอรอลเมื่อเปรียบเทียบกลุ่มควบคุมกับกลุ่ม G , CH และ G+CH ผลที่ได้จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยในกลุ่ม G ลดลง 20.2 เปอร์เซ็นต์ กลุ่ม G+CH ลดลง 18.2 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่ม CH ลดลง 9.4 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลอง glucomannan และไคโตซานทำให้ปริมาณและความเข้มข้นของคอเลสเตอรอลในตับ รวมทั้งอัตราการดูดซึมคอเลสเตอรอลเข้าสู่กระแสเลือดต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมไคโตซาน แต่จะมีปริมาณไขมันและน้ำดีที่ขับออกมาในมูลมากกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เสริมไคโตซานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ด้วยเหตุนี้เมื่อร่างกายมีการดูดกลับน้ำดีน้อยลง(มีการขับออกมากขึ้น)ร่างกายจึงต้องนำคอเลสเตอรอลมาสังเคราะห์เป็นน้ำดีขึ้นมาใหม่อยู่เสมอจึงส่งผลให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดและเนื้อลดลง

Jean and Francine (2006) รายงานว่าการเสริมไคโตซาน 5 เปอร์เซ็นต์ในอาหารหนูพบว่าคอเลสเตอรอลในพลาสมามีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกลุ่มที่เสริมไคโตซานมีค่าเท่ากับ 47.8 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร และกลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 52.5 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ส่วน HDL-คอเลสเตอรอลในพลาสมาในกลุ่มที่เสริมไคโตซานมีค่าลดลงเช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกลุ่มที่เสริมไคโตซานมีค่าเท่ากับ 34.7 และ กลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 35.0 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

2.15 การเสริมไคโตซานต่อคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อ

ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ (2543) รายงานว่าจากการเสริมไคโตซานลงในอาหารสุกรขุน พบว่า สามารถช่วยปรับปรุงสภาพซากให้ดีขึ้น โดยมีไขมันลดลงทั้งไขมันในช่องท้องและไขมันสันหลัง ซึ่งกลุ่มที่เสริมไคโตซานวัดค่าความหนาไขมันสันหลังได้ความหนาเฉลี่ย 1.5 เซนติเมตร ส่วนกลุ่มควบคุมวัดค่าความหนาไขมันสันหลังเฉลี่ยได้เป็น 3 เซนติเมตร

ธนเดช มหึเมืองและคณะ (2547) ศึกษาการลดคอเลสเตอรอลในไก่เนื้อโดยเสริมไคโตซานในอาหาร ใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์อาร์เบอร์เอเคอร์คละเพศอายุ 8-49 วัน แบ่งไก่ออกเป็น 2 กลุ่ม ซึ่งให้อาหารทดลองที่ไม่เสริมและเสริมไคโตซาน (ไคโตซานที่ผลิตเป็นการค้าโดยกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ซึ่งมี chitin-chitosan 4.3% และ chitosan oligosaccharide 4.1%)ระดับที่ใช้เสริมคือ 0.6% ของสูตรอาหาร การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ ช่วงอายุไก่ 2-3 4-6และ7 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์ซาก น้ำหนักของเครื่องในรวม กึ๋น ตับ ตลอดจนปริมาณเนื้อน่องและหน้าอก พบว่าทั้งกลุ่มที่ไม่เสริมและเสริมไคโตซานไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้นไขมันในช่องท้องมีสัดส่วนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเสริมด้วยไคโตซาน

Xiaozen (2001) ศึกษาผลกระทบของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตและเมทาบอลิซึมของไขมันในไก่กระทงเพศผู้ โดยใช้ไก่ทดลอง 168 ตัวแบ่งเป็น 4 กลุ่มตามระดับไคโตซานที่เติมคือ 0 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ช่วง (0-3 , 4-6 และ 7-8 สัปดาห์) ให้ได้รับอาหารและน้ำแบบเต็มที่ ซึ่งจะสุ่มไก่ 3 ตัวต่อซ้ำในวันสุดท้ายของแต่ละช่วงมาตรวจเมทาบอลิซึมของไขมัน ผลการทดลองพบว่าไคโตซานมีผลต่อการปรับปรุงการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เปอร์เซ็นต์ไขมันช่องท้อง ความหนาของไขมันใต้ผิวหนังจากการตัดแต่งซากลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) และปริมาณ triacylglycerol และ total bilirubin ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาการเสริมสารไคโตซานต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่ม ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงและการย่อยได้ของโภชนะในนกกระทาไข่ มีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 สัตว์ทดลอง

นกกระทาญี่ปุ่น (Japanese Quail) เพศเมีย อายุ 6 สัปดาห์ จำนวน 600 ตัว และนกกระทาญี่ปุ่นเพศเมีย อายุ 19 สัปดาห์ จำนวน 150 ตัว

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงนกกระทา

1) กรงเลี้ยงนกกระทาไข่
2) เครื่องชั่งน้ำหนักอาหาร
3) ถังอาหาร
4) เครื่องผสมอาหาร
5) เครื่องบดอาหาร
6) เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิและเทอร์โมมิเตอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาคุณภาพไข่

1) เครื่องชั่งน้ำหนักไข่และเปลือกไข่
2) เครื่องวัดค่าความสูงของไข่ขาว (QCD Instrument Range Manual)
3) เวอร์เนียร์แคลลิปเปอร์
4) เครื่องวัดความแข็งของเปลือกไข่แบบอิเลคโทรนิค (Digital Force Gauge)
5) พัดสีวัดสีไข่แดง
6) ช้อนแยกไข่แดงจากไข่ขาว
7) ถุงสำหรับเก็บไข่แดง

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร

1) ตู้อบแห้ง (Hot air oven ; Jouandin 12880)

2) เตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle furnace ; D – 2806)

3) เครื่องมือสกัดไขมัน (Labconco Goldfisch ; Tecator)

4) เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (Gerhardt ; Kjeldatherm)

5) เครื่องวิเคราะห์พลังงาน (Ballistic bombs calorimeter)

3.2.4 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการศึกษาการย่อยได้

1) กรงเก็บมูล Metabolic cages

2) ตู้อบแห้ง

3) เครื่องชั่งดิจิตอล (Digital balancing)

4) ถุงสำหรับเก็บมูล

5) chromic oxide

6) formaldehyde

3.2.5 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการเก็บและทดสอบตัวอย่างเลือดเพื่อศึกษาคอเลสเตอรอลในซีรั่ม

1) เครื่อง Centrifuge

2) ไมโครทิวส์ (Microtube) ขนาด 1.5 มิลลิลิตร

3) ไมโครปิเปต (Micropipette)

4) สารเคมีที่ใช้ทดสอบหาระดับคอเลสเตอรอลรวม (ประกอบด้วยPIPES Buffer pH 6.9 40mmol/l , Mg^{2+} 2 mmol/l , Phenol 24 mmol/l , Peroxidase ≥ 100 U/l , Cholesterol Esterase ≥250 U/l , Cholesterol Oxidase ≥ 200 U/l , 4-Amino-Antipyrine(4 - A4) 0.05 mmol/l)

5) สารเคมีที่ใช้ทดสอบหาระดับเอชดีแอล-คอเลสเตอรอล(ประกอบด้วย Phosphotungstic Acid 0.55 mmol/l , Magnesium Chloride 25 mmol/l)

6) สารละลายคอเลสเตอรอลมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร

3.2.6 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการเก็บและทดสอบตัวอย่างไข่แดงเพื่อศึกษาคอเลสเตอรอล

1) ถุงเก็บไข่แดง

2) ตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

3) หลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร

4) เครื่อง Homogenizer

5) เครื่อง Centrifuge

6) เครื่อง Spectrophotometer (Shimadzu)

7) ก๊าซไนโตรเจน

8) Petroleum ether

9) Glacial acetic acid

10) $FeSO_4$

11) H_2SO_4 96 เปอร์เซ็นต์

3.2.7 สารไคโตซาน

สารไคโตซานที่นำมาใช้ในการทดลองได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร. ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้จากการสกัดเปลือกกุ้ง โดยมีค่าปฏิกิริยาดีอะซิทิเลชัน (deacetylation) 80 เปอร์เซ็นต์ ขนาด 100-200 mesh มีความชื้น 9.5 เปอร์เซ็นต์ เถ้าน้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นเกรดทางอุตสาหกรรม (industrial grade)

3.3 วิธีการ

ศึกษาการเสริมสารไคโตซานต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่ม ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงและการย่อยได้ของโภชนะในนกกระทาไข่ แบ่งเป็น 2 การทดลองดังนี้

3.3.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาผลการเสริมสารไคโตซานในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มและปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของนกกระทา

3.3.1.1 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) แบ่งออกเป็น 6 กลุ่มการทดลองตามระดับของสารไคโตซานที่ใช้ในสูตรอาหารผสมแบบไม่อัดเม็ด เลี้ยงนกกระทาในกรงขนาด กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร โดยแต่ละกลุ่มทดลองมีจำนวน 4 ซ้ำ ใช้นกกระทาอายุ 6 สัปดาห์ จำนวน 25 ตัว/ซ้ำ รวมทั้งสิ้น 600 ตัว ดังนี้

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุมไม่ใช้สารไคโตซานในสูตรอาหาร

กลุ่มที่ 2 เสริมสารปฏิชีวนะคลอเตตราซัยคลินระดับ 50 พีพีเอ็ม ในสูตรอาหารควบคุม

กลุ่มที่ 3 เสริมสารไคโตซานในระดับ 100 พีพีเอ็ม ในสูตรอาหารควบคุม

กลุ่มที่ 4 เสริมสารไคโตซานในระดับ 200 พีพีเอ็ม ในสูตรอาหารควบคุม

กลุ่มที่ 5 เสริมสารไคโตซานในระดับ 300 พีพีเอ็ม ในสูตรอาหารควบคุม

กลุ่มที่ 6 เสริมสารไคโตซานในระดับ 400 พีพีเอ็ม ในสูตรอาหารควบคุม

สูตรอาหารที่ใช้ในการทดลอง มีระดับของโปรตีนและค่าพลังงานตามความต้องการของนกกระทาไข่ ตามคำแนะนำของ NRC (1994) โดยมีการวิเคราะห์โปรตีนในวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยวิธีประมาณ (Proximate analysis) ตามวิธีของ AOAC (1995) ก่อนที่จะนำไปปรับใช้ในสูตรอาหารทดลอง ซึ่งส่วนประกอบของสูตรอาหารแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบวัตถุดิบอาหารที่ใช้เลี้ยงนกกระทาไข่ในการทดลอง

วัตถุดิบอาหาร	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
ข้าวโพด	31.18	31.18	31.18	31.18	31.18	31.18
รำละเอียด	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
กากถั่วเหลือง	40.19	40.19	40.19	40.19	40.19	40.19
ปลาป่น	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
น้ำมันพืช	6.70	6.70	6.70	6.70	6.70	6.70
Biophos	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
เกลือ	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
DL-Met	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
หินฝุ่น	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Premix	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
CTC	-	0.033	-	-	-	-
ไคโตซาน	-	-	0.01	0.02	0.03	0.04
อาหารรวม(กก.)	100.00	100.033	100.01	100.02	100.03	100.04
ราคา(บาท/กก.)	10.44	10.84	10.50	10.56	10.62	10.68
ค่าโภชนะของสูตรอาหารจากการคำนวณ						
Protein (%)			24.00			
ME (Kcal/Kg)			3004.10			
FAT (%)			9.95			
FIBER (%)			4.88			
Calcium (%)			2.52			
T.Phosphorus (%)			0.86			
Lysine (%)			1.36			
MET + Cys (%)			0.77			

3.3.1.2 วิธีการทดลอง

ทำการสุ่มนกกระทาเพศเมียอายุ 6 สัปดาห์ เข้ากลุ่มทดลองแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ซ้ำ โดยที่ในแต่ละกลุ่มจะใช้นกกระทาจำนวน 25 ตัว รวมทั้งหมด 600 ตัว เลี้ยงภายในกรงเลี้ยงนกกระทาเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ให้กินน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ตลอดระยะเวลาการทดลองด้วยสูตรอาหารที่ใช้ในการทดลอง

ทำการวิเคราะห์คุณภาพไข่ โดยทำการเก็บผลผลิตไข่ที่ได้ในช่วง 3 วันสุดท้ายของแต่ละสัปดาห์ คือ วันเสาร์ วันอาทิตย์และวันจันทร์ โดยเก็บไข่ซ้ำละ 4 ฟองต่อวัน รวม 3 วันใช้ไข่ 12 ฟอง เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพไข่ ดังนี้ น้ำหนักไข่ทั้งฟอง น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว น้ำหนักเปลือกไข่ ความสูงของไข่ขาวคำนวณค่า Haugh unit ความแข็งของเปลือกไข่ ความหนาของเปลือกไข่ และสีไข่แดง นอกจากนี้เก็บไข่แดงในช่วงอายุนกกระทาที่ 8 10 12 14 16 และ18 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน คือ วันเสาร์ วันอาทิตย์ และวันจันทร์ จำนวนกลุ่มละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ฟองต่อวัน โดยนำไข่แดงที่เก็บไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาไปหาค่าคอเลสเตอรอลในไข่แดงต่อไป

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงที่แนะนำโดย Bitman and Wood. (1980)

1) ชั่งไข่แดงประมาณ 0.8 กรัม ลงในหลอดทดลอง 50 มิลลิลิตร เติม petroleum ether : ethanol (2:1) 18 มิลลิลิตร ปั่นให้เข้ากันด้วยเครื่อง homogenizer เติมน้ำกลั่น 6 มิลลิลิตร ปิดฝาเขย่าด้วยมือ

2) เหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

3) ดูดเอาสารละลาย petroleum ether ออกมา 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองแล้วนำไประเหยออกจากตัวอย่างด้วยก๊าซไนโตรเจน

4) เติมสาร 3 มิลลิลิตร ของ 10 mol/L KOH in ethanol นำไปอุ่นใน water bath 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น เติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร เขย่ารวมกัน

5) ดูด petroleum ether ใส่ 5 มิลลิลิตร เขย่ารวมกัน ทิ้งให้แยกชั้นแล้วดูดส่วนบนใส่หลอดที่ 2 หลอดเดิมเติม petroleum ether 3 มิลลิลิตร เขย่ารวมกัน ทิ้งให้แยกชั้นแล้วดูดส่วนบนใส่หลอดที่ 2 หลอดเดิมเติม petroleum ether 3 มิลลิลิตร เขย่ารวมกัน ทิ้งให้แยกชั้นแล้วดูดส่วนบนใส่หลอดที่ 2

6) ทำให้ petroleum ether ในหลอดที่ 2 แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนใน water bath ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

7) คอเลสเตอรอลที่ได้นำมาละลายด้วย petroleum ether 1 มิลลิลิตร ดูดตัวอย่างมา100 ไมโครลิตร ทำให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

8) นำไปทำปฏิกิริยาให้เกิดสี ด้วยการเติม glacial acetic acid ละลายใน

$FeSO_4$ 3 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 96 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร

9) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

ทำการสุ่มนกกระทาทดลองอายุ 18 สัปดาห์จำนวนกลุ่มละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 8 ตัวนำมาเจาะเลือดบริเวณเส้นเลือดดำที่คอ ประมาณ 1 มิลลิลิตรต่อตัว ใส่ microtube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่อง Centrifuge เพื่อแยกส่วนของซีรั่มไปตรวจหาระดับคอเลสเตอรอลรวมในซีรั่ม โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร และนำซีรั่มไปตรวจหาระดับ เอชดีแอล-คอเลสเตอรอล โดยนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 500 และ 546 นาโนเมตร

วิธีวิเคราะห์หาคอเลสเตอรอลรวมในซีรั่มที่แนะนำโดยบริษัทโนเวลเมค (2547) มีขั้นตอนดังนี้

1) เตรียม Blank ทำโดยใช้ Working reagent 1 มิลลิลิตร

2) เตรียมสารละลายมาตรฐาน ทำโดยใช้ Working reagent 1 มิลลิลิตร ผสมกับ Cholesterol Standard ที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ปริมาตร 10 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3) เตรียมตัวอย่างทำโดยใช้ Working reagent 1 มิลลิลิตรผสมกับตัวอย่าง (ซีรั่ม) จำนวน 10 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน

4) นำ Blank , สารละลายมาตรฐานและตัวอย่างที่เตรียมไว้ (จากข้อ 1 , 2 และ 3) มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

5) อ่านค่า OD (Optical Density) โดยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตรและนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าระดับคอเลสเตอรอลรวม

วิธีวิเคราะห์หาเอชดีแอล-คอเลสเตอรอลในซีรั่มที่แนะนำโดยบริษัทโนเวลเมค (2547) มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนการตกตะกอน

1) เตรียมสารละลายที่ใช้ในการตกตะกอน ทำโดยใช้สารตกตะกอน 80 มิลลิลิตรผสมกับน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2) นำสารละลายที่ใช้ในการตกตะกอน 500 ไมโครลิตรใส่ลงในตัวอย่าง (ซีรั่ม) ที่มีปริมาตร 200 ไมโครลิตร จากนั้นทำการผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที

3) นำไป Centrifuge 10 นาที ที่ 4000 รอบต่อนาที

4) แยกส่วนบน (supernatant) ออกภายในเวลา 2 ชั่วโมง และนำไปทำการหาค่าคอเลสเตอรอลต่อไป

ขั้นตอนการหา เอชดีแอล-คอเลสเตอรอล

1) เตรียม Blank ทำโดยใช้น้ำกลั่น 100 ไมโครลิตรผสมกับ Reagent 1000 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2) เตรียมสารละลายมาตรฐาน (A Standard) ทำโดยใช้ Cholesterol Standard ที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร 100 ไมโครลิตรผสมกับ Reagent 1000 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3) เตรียมตัวอย่าง (A Sample) ทำโดยใช้ Supernatant 100 ไมโครลิตร ผสมกับ Reagent 1000 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน

4) นำ Blank , สารละลายมาตรฐาน และ ตัวอย่างที่เตรียมไว้ (จากข้อ 1 , 2 และ 3) มาทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

5) ใช้ Blank ทีเตรียมไว้ปรับเครื่องให้เป็น 0

6) วัดการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน (A Standard) และการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (A Sample) ภายใน 60 นาที ความยาวคลื่นที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสง คือที่ 500 และ 546 นาโนเมตร

7) นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าระดับเอชดีแอล-คอเลสเตอรอล

3.3.1.3 การบันทึกข้อมูล

ทำการบันทึกจำนวนผลผลิตไข่ตลอดช่วงเวลาทดลอง ปริมาณอาหารที่กินของนกกระทาไข่ในแต่ละกลุ่มทุกๆสัปดาห์ ปริมาณอาหารในการผลิตไข่ 1 ฟอง เปอร์เซ็นต์การให้ไข่ อัตราการเลี้ยงรอด ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไข่ 1 ฟอง ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มและปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนตลอดการทดลอง

3.3.1.4 การคำนวณข้อมูล

1) ปริมาณอาหารในการผลิตไข่ 1 ฟอง (กรัม)

$$\text{ปริมาณอาหารในการผลิตไข่ 1 ฟอง} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ (ฟอง)}}$$

2) อัตราการเลี้ยงรอด

$$\text{อัตราการเลี้ยงรอด (\%)} = \frac{\text{จำนวนนกกระทาที่รอดชีวิต}}{\text{จำนวนนกกระทาที่เลี้ยง}} \times 100$$

3) มวลไข่ (Egg mass)

$$\text{มวลไข่ (กรัม/ตัว/วัน)} = \text{เปอร์เซ็นต์ไข่เฉลี่ย} \times \text{น้ำหนักไข่เฉลี่ย}$$

4) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ (FCR)

$$\text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน}}{\text{มวลไข่}}$$

5) ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไข่ 1 ฟอง (บาท/กิโลกรัม)

$$\text{ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไข่ 1 ฟอง} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน(กก.) x ราคาอาหาร(บาท/กก.)}}{\text{จำนวนไข่ (ฟอง)}}$$

6) การคำนวณค่า Haugh Unit

$$\text{Haugh Unit} = 100\log\left(H + 7.57 - 1.7W^{0.37}\right)$$

H = ความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร)

W = น้ำหนักไข่ (กรัม)

7) ปริมาณคอเลสเตอรอลรวม

$$\text{ปริมาณคอเลสเตอรอล (มิลลกรัม/มิลลิลิตร)} = \frac{AU}{AS} \times CS$$

AU = ค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างทดลอง

AS = ค่าดูดกลืนแสงของ cholesterol standard

CS = ค่าความเข้มข้นของ cholesterol standard 200 mg/dl

8) ปริมาณเอชดีแอล - คอเลสเตอรอล

$$\text{เอชดีแอล - คอเลสเตอรอล} = \frac{\Delta A \text{ sample}}{\Delta A \text{ Standard}} \times \text{ความเข้มข้นของStandard 200 mg/dl}$$

Δ A Sample = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 500 – 546 nm

ΔA Standard = ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard ที่ความยาวคลื่น 500 – 546 nm

3.3.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

3.3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในอาหารผสมสารไคโตซานของนกกระทาไข่

3.3.2.1 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) โดยจะทำการสุ่มนกกระทาไข่อายุ 19 สัปดาห์เข้ากรงเก็บมูล (Metabolic cages) เพื่อหาการย่อยได้ ขนาดกรง กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร จำนวน 30 กรง โดยแบ่งนกกระทาออกเป็น 6 กลุ่มการทดลองตามระดับของสารไคโตซานที่ใช้ในสูตรอาหารผสมแบบไม่อัดเม็ด แต่ละกลุ่มทดลองมีจำนวน 5 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้นกกระทาเพศเมียอายุ 19 สัปดาห์ จำนวน 5 ตัว/ซ้ำ รวมทั้งสิ้น 150 ตัว สูตรอาหารที่ใช้ทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

3.3.2.2 วิธีการทดลอง

เลี้ยงนกกระทาไข่ในกรงเก็บมูล (Metabolic cages) โดยนกกระทาไข่จะได้รับอาหารแบบเต็มที่ซึ่งจะถูกเปลี่ยนจากอาหารเดิมเป็นอาหารทดสอบโดยค่อยๆ ปรับให้นกกระทาไข่ยอมรับอาหารทดสอบและเพิ่มอัตราส่วนของอาหารทดสอบมากขึ้นจนนกกระทาไข่กินอาหารทดสอบได้ทั้งหมด จะใช้เวลาในการปรับสภาพเพื่อให้นกกระทาไข่เคยชินต่อกรงเก็บมูลและอาหารทดสอบ 4-5 วัน จากนั้นจึงเริ่มทดสอบโดยชั่งน้ำหนักและให้อาหารทดสอบในเวลา 8.00 น. เลี้ยงด้วยสูตรอาหารทดสอบเป็นเวลาติดต่อกัน 3 วัน อาหารทดสอบจะต้องใส่ chromic oxide (Cr_2O_3) 0.1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ (marker) ในอาหารมื้อแรกและมื้อสุดท้ายในอาหารทดสอบแต่ละสูตรวางถาดเก็บสิ่งขับถ่าย วันแรกเริ่มเก็บมูลเมื่อเห็นสีเขียวของตัวบ่งชี้และเลิกเก็บมูลเมื่อไม่เห็นสีของตัวบ่งชี้สำหรับวันสุดท้าย ทำการเก็บสิ่งขับถ่ายออกทุกวันในเวลาเดียวกันแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากสิ่งขับถ่ายแล้วเก็บตัวอย่างมูลใส่ถุงพลาสติกใส่ฟอร์มาลีน 5 มิลลิลิตร รัดปากถุงให้แน่นแช่ในตู้แช่แข็งและนำมูลที่เก็บแต่ละวันมารวมกันแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ สำหรับการหาค่า Endogenous nutrient loss (ENL) ทำการอดอาหารนกกระทาทดลองนาน 32 ชั่วโมง โดยให้กินน้ำตลอดเวลาหลังจากนั้นทำการเก็บสิ่งขับถ่ายอีก 42 ชั่วโมง เพื่อนำสิ่งขับถ่ายที่ได้ไปหาค่า Metabolic fecal nitrogen (MFN) เพื่อใช้ในการคำนวณหาโปรตีนใช้ประโยชน์สุทธิ (Net protein utilization ; NPU) ที่แนะนำโดยไพทูล แก้วหอม (2547)

3.3.2.3 การบันทึกข้อมูล

บันทึกน้ำหนักอาหารที่นกกระทาทดลองกินแต่ละวัน บันทึกน้ำหนักสิ่งขับถ่ายของนกกระทาแต่ละซ้ำ บันทึกน้ำหนักสิ่งขับถ่ายหลังอบแห้ง รวมทั้งบันทึกโภชนะในอาหารทดสอบและสิ่งขับถ่ายของนกกระทา เพื่อนำมาคำนวณหาการย่อยได้ปรากฏ (Apparent Digestibility) ของไขมัน เยื่อใย โปรตีน พลังงานใช้ประโยชน์ได้และโปรตีนใช้ประโยชน์สุทธิ

3.3.2.4 การคำนวณข้อมูล

1) การย่อยได้ของโภชนะในอาหาร

$$\%\ \text{การย่อยได้} = \frac{(\text{นน.อาหารที่กิน} \times \%\text{โภชนะในอาหาร}) - (\text{นน.มูล} \times \%\text{โภชนะในมูล}) \times 100}{(\text{นน.อาหารที่กิน} \times \%\ \text{โภชนะในอาหาร})}$$

2) ปริมาณพลังงานที่ได้รับ (Energy Intake, EI)

$$\text{EI (Kcal)} = \text{พลังงานในอาหาร (Kcal/Kg)} \times \text{ปริมาณอาหารที่กิน (Kg)}$$

3) พลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏ (Apparent Metabolizable Energy, AME)

$$\text{AME/กรัมอาหาร} = \frac{(FI \times GEf) - (E \times GEe)}{FI}$$

FI = ปริมาณอาหารที่สัตว์กิน (กรัม)

E = ปริมาณมูลที่ขับออกมา (กรัม)

GEf = พลังงานทั้งหมด (gross energy) ในอาหารต่อกรัม

GEe = พลังงานทั้งหมดในมูลสัตว์ต่อกรัม

4) คำนวณโปรตีนใช้ประโยชน์ได้สุทธิ (Net Protein Utilization, NPU)

$$\%\ NPU = \frac{N\ intake - (\text{fecal } N - MFN) \times 100}{N\ intake}$$

MFN = Metabolic fecal nitrogen

3.3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกและคำนวณได้ นำไปวิเคราะห์หาความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองด้วย วิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของสูตรอาหารควบคุม

ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารที่ใช้ในการทดลองเลี้ยงนกกระทาที่วิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งประกอบด้วยเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า แคลเซียม ฟอสฟอรัส และไนโตรเจนฟรีเอกแทรกซ์ มีค่าเท่ากับ 91.36 24.54 10.27 4.25 8.40 2.41 0.82 และ 43.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 4562.67 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลอง พบว่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนของอาหารมีค่าใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์โปรตีนของอาหารจากการคำนวณ สำหรับเปอร์เซ็นต์แคลเซียม และเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสจากการวิเคราะห์อาหารมีค่าต่ำกว่าการคำนวณเล็กน้อย (ตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารนกกระทาไข่ที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนประกอบทางเคมีของอาหาร	อาหารทดลอง
ความชื้น (%)	8.64
วัตถุแห้ง (%)	91.36
โปรตีน (%)	24.54
ไขมัน (%)	10.27
เยื่อใย (%)	4.25
ไนโตรเจนฟรีเอกแทรกซ์ (%)	43.90
เถ้า (%)	8.40
แคลเซียม (%)	2.41
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.82
พลังงานทั้งหมด (Kcal/Kg)	4562.67

4.2 ศึกษาการเสริมสารไคโตซานในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่ม และปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง

4.2.1 เปอร์เซ็นต์การให้ไข่

เปอร์เซ็นต์การให้ไข่ของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่มไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ในทุกระยะอายุทดลอง ซึ่งตลอดการทดลอง (อายุ 7-18 สัปดาห์) กลุ่มควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การให้ไข่เฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ กลุ่มที่เสริมสารไคโตซานที่ระดับ 200 พีพีเอ็ม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะ กลุ่มที่เสริมสารไคโตซานที่ระดับ 300 400 พีพีเอ็ม และกลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 100 พีพีเอ็ม มีเปอร์เซ็นต์การให้ไข่เฉลี่ยต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การไข่ในแต่ละระยะอายุการทดลอง (Hen-day production)

ระยะอายุ	กลุ่มควบคุม	CTC 50 ppm	เสริมไคโตซาน (ppm)				P-Value
			100	200	300	400	
อายุ 7-10 สัปดาห์	83.608	83.177	75.893	83.858	79.608	81.427	0.0843
อายุ 11-14 สัปดาห์	90.893	88.073	87.605	90.750	88.355	89.035	0.7498
อายุ 15-18 สัปดาห์	86.247	80.928	84.235	82.143	83.832	80.013	0.4693
อายุ 7-14 สัปดาห์	87.250	85.625	81.753	87.302	83.983	85.230	0.2807
อายุ 7-18 สัปดาห์	86.915	84.063	82.580	85.585	83.932	83.493	0.3850

หมายเหตุ ทุกระยะการทดลองแสดงผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

4.2.2 ปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณโปรตีนที่ได้รับและปริมาณพลังงานที่ได้รับ

ปริมาณอาหารที่กินในทุกระยะอายุของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยตลอดการทดลอง (อายุ 7-18 สัปดาห์) นกกระทาที่ได้รับอาหารเสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 200 พีพีเอ็ม มีปริมาณอาหารที่กินสูงที่สุด รองลงมาคือ กลุ่มที่เสริมสารไคโตซานที่ระดับ 100 พีพีเอ็ม กลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมสารไคโตซานที่ระดับ 400 300 พีพีเอ็ม และกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ มีปริมาณอาหารที่กินต่ำที่สุด สำหรับปริมาณโปรตีนและปริมาณพลังงานที่ได้รับในแต่ละวันในทุกระยะอายุของนกกระทาที่ทำการทดลองจะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งจะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่นกกระทากินในแต่ละกลุ่มทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณโปรตีนที่ได้รับและปริมาณพลังงานที่ได้รับในนกกระทาแต่ละระยะ

ระยะอายุ	กลุ่มควบคุม	CTC 50 ppm	เสริมไคโตซาน (ppm) 100	200	300	400	P-Value
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว/วัน)							
อายุ 7-10 สัปดาห์	22.513	21.931	22.594	23.427	21.777	22.282	0.4351
อายุ 11-14 สัปดาห์	23.373	22.937	23.241	24.155	23.981	23.522	0.4734
อายุ 15-18 สัปดาห์	22.202	20.998	22.446	21.847	21.756	21.836	0.3380
อายุ 7-14 สัปดาห์	22.943	22.434	22.917	23.791	22.879	22.902	0.4898
อายุ 7-18 สัปดาห์	22.696	21.955	22.760	23.143	22.505	22.547	0.4211
ปริมาณโปรตีนที่ได้รับ (กรัม/วัน)							
อายุ 7-10 สัปดาห์	5.525	5.382	5.544	5.749	5.344	5.468	0.4350
อายุ 11-14 สัปดาห์	5.736	5.629	5.703	5.928	5.885	5.772	0.4730
อายุ 15-18 สัปดาห์	5.448	5.153	5.508	5.361	5.339	5.359	0.3376
อายุ 7-14 สัปดาห์	5.630	5.505	5.624	5.838	5.615	5.620	0.4894
อายุ 7-18 สัปดาห์	5.570	5.388	5.585	5.679	5.522	5.533	0.4220
ปริมาณพลังงานที่ได้รับ (Kcal/วัน)							
อายุ 7-10 สัปดาห์	102.719	100.066	103.090	106.891	99.363	101.666	0.4350
อายุ 11-14 สัปดาห์	106.645	104.654	106.041	110.214	109.417	107.326	0.4735
อายุ 15-18 สัปดาห์	101.301	95.804	102.412	99.680	99.265	99.631	0.3381
อายุ 7-14 สัปดาห์	104.682	102.359	104.566	108.552	104.390	104.496	0.4898
อายุ 7-18 สัปดาห์	103.555	100.175	103.847	105.595	102.682	102.874	0.4217

หมายเหตุ ทุกระยะการทดลองแสดงผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

4.2.3 มวลไข่ (Egg mass) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ (FCR)

มวลไข่ของไข่นกกระทาในระยะอายุ 7-10 สัปดาห์ กลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซาน 100 พีพีเอ็ม ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ และกลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 200 300 และ 400 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยมีค่ามวลไข่เฉลี่ยเท่ากับ 7.937 8.953 8.655 8.948 8.628 และ 8.735 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ส่วนระยะอื่นๆ และตลอดการทดลอง (7-18 สัปดาห์) ของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่ามวลไข่ของไข่นกกระทาตลอดการทดลอง กลุ่มควบคุมมีมวลไข่สูงสุด และกลุ่มที่เสริมสารไคโตซานที่ระดับ 100 พีพีเอ็ม มีมวลไข่ต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ 4.4

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ของนกกระทาในทุกระยะอายุของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่พบว่าตลอดการทดลอง (7-18สัปดาห์) กลุ่มควบคุมมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ต่ำสุด และกลุ่มที่เสริมสารไคโตซานที่ระดับ 100 พีพีเอ็ม มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่สูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อมวลไข่ (Egg mass) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ (FCR) ของนกกระทาแต่ละระยะ

ระยะอายุ	กลุ่มควบคุม	CTC 50 ppm	เสริมไคโตซาน (ppm)				P-Value
			100	200	300	400	
มวลไข่ (Egg mass)							
อายุ 7-10 สัปดาห์	8.953^{n}	8.655^{n}	7.937^{y}	8.948^{n}	8.628^{n}	8.735^{n}	0.0469
อายุ 11-14 สัปดาห์	10.288	9.623	9.723	10.040	9.942	9.923	0.3167
อายุ 15-18 สัปดาห์	9.657	8.750	9.320	8.892	9.153	8.808	0.3238
อายุ 7-14 สัปดาห์	9.620	9.140	8.833	9.493	9.285	9.328	0.1190
อายุ 7-18 สัปดาห์	9.633	9.010	8.995	9.293	9.240	9.155	0.1072
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ (FCR)							
อายุ 7-10 สัปดาห์	2.520	2.540	2.845	2.618	2.530	2.558	0.0644
อายุ 11-14 สัปดาห์	2.273	2.385	2.393	2.408	2.418	2.370	0.4228
อายุ 15-18 สัปดาห์	2.310	2.405	2.410	2.458	2.380	2.505	0.6516
อายุ 7-14 สัปดาห์	2.390	2.455	2.598	2.508	2.470	2.455	0.2269
อายุ 7-18 สัปดาห์	2.358	2.438	2.533	2.490	2.438	2.465	0.2963

หมายเหตุ ^{n,y} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันของแต่ละระยะอายุแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

4.2.4 ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไข่

ต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไข่ของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่ม ในทุกระยะอายุไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยตลอดการทดลอง (7-18 สัปดาห์) กลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 400 พีพีเอ็ม มีต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไข่สูงสุด รองลงมาคือ กลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 100 200 300 พีพีเอ็ม กลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ และกลุ่มควบคุมมีต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไข่ต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไข่ของนกกระทาแต่ละระยะ (บาท/ฟอง)

ระยะอายุ	กลุ่มควบคุม	CTC 50 ppm	เสริมไคโตซาน (ppm)				P-Value
			100	200	300	400	
อายุ 7-10 สัปดาห์	0.3079	0.3150	0.3405	0.3271	0.3189	0.3267	0.1905
อายุ 11-14 สัปดาห์	0.2643	0.2783	0.2707	0.2774	0.287	0.2771	0.2624
อายุ 15-18 สัปดาห์	0.2602	0.2723	0.2648	0.2660	0.2667	0.2788	0.7966
อายุ 7-14 สัปดาห์	0.2861	0.2967	0.3056	0.3023	0.3003	0.3019	0.3213
อายุ 7-18 สัปดาห์	0.2775	0.2886	0.2920	0.2902	0.2891	0.2942	0.4649

หมายเหตุ ทุกระยะการทดลองแสดงผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

4.2.5 อัตราการเลี้ยงรอด

อัตราการเลี้ยงรอดในทุกระยะอายุของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่ตลอดการทดลอง (7-18 สัปดาห์) พบว่านกกระทาที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 400 พีพีเอ็ม มีอัตราการเลี้ยงรอดสูงสุด รองลงมาคือกลุ่มที่เสริมสารไคโตซานที่ระดับ 300 พีพีเอ็ม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะ กลุ่มที่เสริมสารไคโตซานที่ระดับ 100 200 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และกลุ่มควบคุมมีอัตราการเลี้ยงรอดต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่ออัตราการเลี้ยงรอดในนกกระทาแต่ละระยะ (เปอร์เซ็นต์)

ระยะอายุ	กลุ่มควบคุม	CTC 50 ppm	เสริมไคโตซาน (ppm)				P-Value
			100	200	300	400	
อายุ 7-10 สัปดาห์	98.00	98.00	96.00	99.00	97.00	100.00	0.2012
อายุ 11-14 สัปดาห์	99.00	99.00	99.00	98.00	98.00	99.00	0.9395
อายุ 15-18 สัปดาห์	94.00	97.00	98.00	95.00	100.00	97.00	0.1910
อายุ 7-14 สัปดาห์	97.00	97.00	95.00	97.00	95.00	99.00	0.6282
อายุ 7-18 สัปดาห์	91.00	94.00	93.00	92.00	95.00	96.00	0.5524

หมายเหตุ ทุกระยะการทดลองแสดงผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

4.2.6 น้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟอง

น้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟองของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่ม ในทุกระยะอายุไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยตลอดการทดลอง (7-18 สัปดาห์) พบว่ากลุ่มควบคุม มีน้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟองสูงสุด รองลงมาคือ กลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 300 400 100 200 พีพีเอ็ม และกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ มีน้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟองต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อน้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟอง (กรัม/ฟอง)

ระยะอายุ	กลุ่ม	CTC	เสริมไคโตซาน (ppm)				P-
	ควบคุม	50 ppm	100	200	300	400	Value
อายุ 7-10 สัปดาห์	10.70	10.40	10.46	10.66	10.81	10.71	0.1807
อายุ 11-14 สัปดาห์	11.31	10.93	11.09	11.06	11.25	11.14	0.1697
อายุ 15-18 สัปดาห์	11.19	10.80	11.06	10.82	10.92	10.98	0.5186
อายุ 7-14 สัปดาห์	11.01	10.67	10.77	10.86	11.03	10.92	0.1311
อายุ 7-18 สัปดาห์	11.07	10.71	10.87	10.85	10.99	10.94	0.2690

หมายเหตุ ทุกระยะการทดลองแสดงผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

4.2.7 น้ำหนักเปลือกไข่

น้ำหนักเปลือกไข่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟองของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่ม ในทุกระยะอายุ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่พบว่าตลอดการทดลอง (7-18 สัปดาห์) กลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 400 พีพีเอ็ม มีน้ำหนักเปลือกไข่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟองสูงสุด รองลงมาคือ กลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ กลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 200 300 100 พีพีเอ็ม และกลุ่มควบคุมมีน้ำหนักเปลือกไข่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟองต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีผลต่อน้ำหนักเปลือกไข่ (เปอร์เซ็นต์)

ระยะอายุ	กลุ่มควบคุม	CTC 50 ppm	เสริมไดโตซาน (ppm)				P-Value
			100	200	300	400	
อายุ 7-10 สัปดาห์	14.09	14.31	13.51	14.03	13.96	14.22	0.2414
อายุ 11-14 สัปดาห์	14.19	14.01	13.97	13.86	14.07	13.88	0.9094
อายุ 15-18 สัปดาห์	13.76	13.76	14.17	13.75	13.60	13.77	0.6889
อายุ 7-14 สัปดาห์	13.60	13.67	13.36	13.67	13.67	13.71	0.7211
อายุ 7-18 สัปดาห์	13.49	13.59	13.25	13.57	13.55	13.65	0.6362

หมายเหตุ ทุกระยะการทดลองแสดงผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

4.2.8 น้ำหนักไข่แดง

น้ำหนักไข่แดงเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟองของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่ม ในระยะอายุที่ 7-14 สัปดาห์ พบว่านกกระทาที่ได้รับอาหารเสริมสารไดโตซานที่ระดับ 100 พีพีเอ็ม มีน้ำหนักไข่แดงสูงกว่ากลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะ และกลุ่มที่เสริมสารไดโตซานที่ระดับ 200 300 และ 400 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$) โดยมีน้ำหนักไข่แดงเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยเท่ากับ 32.33 30.38 30.59 30.61 30.71 และ 30.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อายุ 15-18 สัปดาห์ กลุ่มที่เสริมด้วยสารไดโตซานที่ระดับ 100 พีพีเอ็ม มีแนวโน้มว่า น้ำหนักไข่แดงเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟองสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ส่วนในระยะอื่นๆไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยตลอดการทดลอง (7-18 สัปดาห์) พบว่ากลุ่มที่เสริมด้วยสารไดโตซานที่ระดับ 100 พีพีเอ็ม มีเป็นเปอร์เซ็นต์ไข่แดงสูงสุดและกลุ่มควบคุมมีเปอร์เซ็นต์ไข่แดงต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีผลต่อน้ำหนักไข่แดง (เปอร์เซ็นต์)

ระยะอายุ	กลุ่มควบคุม	CTC 50 ppm	เสริมไคโตซาน(ppm) 100	200	300	400	P-Value
อายุ 7-10 สัปดาห์	30.09	30.49	32.40	29.92	30.21	30.02	0.1002
อายุ 11-14 สัปดาห์	33.05	32.85	34.12	32.51	32.76	32.55	0.1794
อายุ 15-18 สัปดาห์	31.67	31.53	33.27	31.23	31.12	31.43	0.0600
อายุ 7-14 สัปดาห์	30.38[ข]	30.59[ข]	32.33[ก]	30.61[ข]	30.71[ข]	30.55[ข]	0.0079
อายุ 7-18 สัปดาห์	30.44	30.65	31.73	30.53	30.64	30.66	0.1228

หมายเหตุ [ก,ข] ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันของแต่ละระยะอายุแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

4.2.9 น้ำหนักไข่ขาว

น้ำหนักไข่ขาวเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟองของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่ม ตลอดทุกระยะ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยนกกระทาที่ได้รับอาหารเสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 100 พีพีเอ็ม ในระยะอายุที่ 15-18 สัปดาห์ มีแนวโน้มว่าน้ำหนักไข่ขาวเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟองสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ นอกจากนี้ตลอดการทดลอง (7-18 สัปดาห์) พบว่านกกระทากลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะมีน้ำหนักไข่ขาวสูงสุดและกลุ่มควบคุมมีน้ำหนักไข่ขาวต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีผลต่อน้ำหนักไข่ขาว (เปอร์เซ็นต์)

ระยะอายุ	กลุ่มควบคุม	CTC 50 ppm	เสริมไคโตซาน (ppm) 100	200	300	400	P-Value
อายุ 7-10 สัปดาห์	54.17	55.53	53.61	54.02	54.39	54.17	0.5412
อายุ 11-14 สัปดาห์	54.75	56.41	57.41	55.00	55.33	55.58	0.1300
อายุ 15-18 สัปดาห์	53.50	54.95	57.24	54.37	53.78	54.65	0.0752
อายุ 7-14 สัปดาห์	52.39	54.04	53.99	53.46	53.50	53.58	0.4554
อายุ 7-18 สัปดาห์	52.13	53.90	53.53	53.26	53.23	53.62	0.5624

หมายเหตุ ทุกระยะการทดลองแสดงผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

4.2.10 ความแข็งเปลือกไข่

ความแข็งเปลือกไข่ของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่ม ในระยะอายุที่ 7-10 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 200 พีพีเอ็ม มีความแข็งของเปลือกไข่สูงกว่านกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ กลุ่มที่เสริมด้วยไคโตซาน 100 และ 300 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยมีความแข็งเปลือกไข่เฉลี่ยเท่ากับ 790.14 703.13 711.45 720.41 และ 707.71 กรัม/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) กับกลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 400 พีพีเอ็ม ส่วนในระยะอื่นๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยตลอดการทดลอง (7-18 สัปดาห์) พบว่ากลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 200 พีพีเอ็ม มีความแข็งเปลือกไข่สูงสุดและกลุ่มควบคุมมีความแข็งเปลือกไข่ต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีผลต่อความแข็งเปลือกไข่ (กรัม/ตารางเซนติเมตร)

ระยะอายุ	กลุ่มควบคุม	CTC 50 ppm	เสริมไคโตซาน (ppm)				P-Value
			100	200	300	400	
อายุ 7-10 สัปดาห์	703.13^{ข}	711.45^{ข}	720.41^{ข}	790.14^{ก}	707.71^{ข}	737.70^{กข}	0.0407
อายุ 11-14 สัปดาห์	779.92	777.95	789.55	813.30	809.10	815.83	0.9407
อายุ 15-18 สัปดาห์	763.27	758.21	774.52	785.50	784.17	791.12	0.9638
อายุ 7-14 สัปดาห์	741.53	744.70	754.98	801.72	758.41	776.76	0.2856
อายุ 7-18 สัปดาห์	748.78	749.21	761.49	796.31	766.99	781.55	0.3748

หมายเหตุ ^{ก,ข} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันของแต่ละระยะอายุแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

4.2.11 ความหนาเปลือกไข่

ความหนาเปลือกไข่ในระยะอายุที่ 11-14 15-18 และ 7-18 สัปดาห์ของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนความหนาเปลือกไข่ของนกกระทาในระยะอายุที่ 7-10 สัปดาห์ พบว่านกกระทากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมด้วยสารไคโตซาน 300 พีพีเอ็ม มีความหนาเปลือกไข่หนากว่านกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ และกลุ่มที่เสริมสารไคโตซาน 100 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$) โดยมีความหนาเปลือกไข่เฉลี่ยเท่ากับ 0.2075 0.1827 0.1866 และ 0.1957 มิลลิเมตร ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) กับกลุ่มที่เสริมสารไคโตซานที่ระดับ 200 และ 400 พีพีเอ็ม โดยมี

ความหนาเปลือกไข่เฉลี่ยเท่ากับ 0.2069 และ 0.2018 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนความหนาเปลือกไข่ของนกกระทาในระยะอายุที่ 7-14 พบว่านกกระทากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมสารไคโตซาน 300 พีพีเอ็ม หนากว่านกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะ และกลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซาน 100 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$) โดยมีความหนาเปลือกไข่เฉลี่ยเท่ากับ 0.1964 0.1801 0.1821 และ 0.1879 มิลลิเมตร ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) กับกลุ่มที่เสริมสารไคโตซานที่ระดับ 200 และ 400 พีพีเอ็ม โดยมีความหนาเปลือกไข่เฉลี่ยเท่ากับ 0.1957 และ 0.1916 มิลลิเมตรตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อความหนาเปลือกไข่ (มิลลิเมตร)

ระยะอายุ	กลุ่มควบคุม	CTC 50 ppm	เสริมไคโตซาน (ppm)				P-Value
			100	200	300	400	
อายุ 7-10 สัปดาห์	0.1827^{ก}	0.1866^{ก}	0.1957^{ข}	0.2069^{ก}	0.2075^{ก}	0.2018^{กข}	0.0001
อายุ 11-14 สัปดาห์	0.1775	0.1790	0.1801	0.1844	0.1854	0.1845	0.1718
อายุ 15-18 สัปดาห์	0.1737	0.1760	0.1804	0.1802	0.1796	0.1805	0.2075
อายุ 7-14 สัปดาห์	0.1801^{ง}	0.1821^{คง}	0.1879^{ขค}	0.1957^{ก}	0.1964^{ก}	0.1916^{กข}	0.0002
อายุ 7-18 สัปดาห์	0.1771	0.1788	0.1851	0.1899	0.1850	0.1879	0. 5640

หมายเหตุ ^{ก,ข,ค,ง} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันของแต่ละระยะอายุแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$)

4.2.12 Haugh unit

ค่า Haugh unit ของไข่นกกระทาในทุกระยะอายุที่ทดลองของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยตลอดระยะการทดลอง (7-18 สัปดาห์) พบว่านกกระทากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 200 พีพีเอ็ม มีค่า Haugh unit สูงสุด รองลงมาคือ กลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 300 100 พีพีเอ็ม กลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 400 พีพีเอ็ม และกลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะมีค่า Haugh unit ต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อค่า Haugh unit แต่ละระยะ

ระยะอายุ	กลุ่ม	CTC	เสริมไคโตซาน (ppm)				P-
	ควบคุม	50 ppm	100	200	300	400	Value
อายุ 7-10 สัปดาห์	92.045	91.343	91.892	92.070	91.442	91.505	0.9564
อายุ 11-14 สัปดาห์	93.158	93.343	94.118	93.962	94.058	93.245	0.4633
อายุ 15-18 สัปดาห์	92.390	92.030	91.785	92.472	92.432	92.300	0.9351
อายุ 7-14 สัปดาห์	92.610	92.355	93.020	93.030	92.770	92.385	0.9006
อายุ 7-18 สัปดาห์	92.542	92.248	92.615	92.845	92.660	92.352	0.9544

หมายเหตุ ทุกระยะการทดลองแสดงผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

4.2.13 สีไข่แดง

สีไข่แดงของไข่นกกระทาทดลองในระยะอายุที่ 7-10 และ 11-14 สัปดาห์ ของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แต่สีไข่แดงของนกกระทาในระยะอายุที่ 15-18 สัปดาห์ พบว่านกกระทากลุ่มที่เสริมสารไคโตซานตั้งแต่ระดับ 200 พีพีเอ็ม จะมีสีไข่แดงซีดกว่ากลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ และกลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซาน 100 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) โดยมีสีไข่แดงเฉลี่ยเท่ากับ 4.282 4.730 4.627 และ 4.647 ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05) กับกลุ่มที่เสริมสารไคโตซาน 300 และ 400 พีพีเอ็ม ที่มีสีไข่แดงเฉลี่ยเท่ากับ 4.145 และ 4.150 ตามลำดับ ส่วนสีของไข่แดงนกกระทาในระยะอายุที่ 7-14 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มที่เสริมสารไคโตซาน 200 พีพีเอ็ม จะมีสีซีดกว่ากลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ กลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซาน 100 และ 400 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยมีสีไข่แดงเฉลี่ยเท่ากับ 4.173 4.410 4.405 และ 4.443 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05)กับกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมสารไคโตซาน 300 พีพีเอ็ม ที่มีสีไข่แดงเฉลี่ยเท่ากับ 4.340 และ 4.253 ตามลำดับ สีของไข่แดงนกกระทาตลอดระยะทดลอง(อายุที่ 7-18 สัปดาห์) พบว่ากลุ่มที่เสริมสารไคโตซาน 200 พีพีเอ็ม ซีดกว่ากลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ และกลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซาน 100 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) โดยมีสีไข่แดงเฉลี่ยเท่ากับ 4.210 4.470 4.483 และ 4.485 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) กับกลุ่มที่เสริมสารไคโตซาน 300 และ 400 พีพีเอ็ม ที่มีสีไข่แดงเฉลี่ยเท่ากับ 4.213 และ 4.350 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อสีของไข่แดงของนกกระทา

ระยะอายุ	กลุ่ม	CTC	เสริมไคโตซาน (ppm)				P-Value
	ควบคุม	50 ppm	100	200	300	400	
อายุ 7-10 สัปดาห์	4.460	4.592	4.692	4.362	4.442	4.625	0.1390
อายุ 11-14 สัปดาห์	4.217	4.225	4.115	3.980	4.057	4.260	0.1486
อายุ 15-18 สัปดาห์	4.730[ก]	4.627[ก]	4.647[ก]	4.282[ง]	4.145[ง]	4.150[ง]	0.0010
อายุ 7-14 สัปดาห์	4.340[กข]	4.410[ก]	4.405[ก]	4.173[ข]	4.253[กข]	4.443[ก]	0.0320
อายุ 7-18 สัปดาห์	4.470[ก]	4.483[ก]	4.485[ก]	4.210[ง]	4.213[ง]	4.350[กง]	0.0040

หมายเหตุ [ก,ข] ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันของแต่ละระยะอายุแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

[ก,ง] ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันของแต่ละระยะอายุแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

4.2.14 ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่ม และปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง

ปริมาณคอเลสเตอรอลรวมและปริมาณเอชดีแอล-คอเลสเตอรอลในซีรั่มของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่จะสังเกตได้ว่านกกระทากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมสารไคโตซานที่ระดับ 400 พีพีเอ็ม ทั้งปริมาณคอเลสเตอรอลรวมและเอชดีแอล-คอเลสเตอรอลในซีรั่มของนกกระทาจะมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับนกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มอื่น ดังแสดงในตารางที่ 4.15 ภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2

ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของนกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่ม ในอายุที่ 8 10 14 และ 16 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่านกกระทาที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 400 พีพีเอ็ม มีปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงต่ำสุด นกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุมมีปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงสูงสุด สำหรับปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของนกกระทาที่ได้รับอาหารทดลองในระยะอายุที่ 12 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 400 พีพีเอ็ม จะมีคอเลสเตอรอลในไข่แดงต่ำกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงเฉลี่ยเท่ากับ 108.28 115.67 และ 116.48 มิลลิกรัม/ฟองตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) กับกลุ่มที่เสริมสารไคโตซานที่ระดับ 100 200 และ 300 พีพีเอ็ม ที่มีปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงเฉลี่ยเท่ากับ 112.53 110.14 และ 108.66 มิลลิกรัม/ฟองตามลำดับ ส่วนปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของนกกระทาในอายุที่ 18 สัปดาห์และตลอดการทดลอง (8-18 สัปดาห์) พบว่ากลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 400 พีพีเอ็ม จะมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ และกลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซานที่ระดับ 100 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

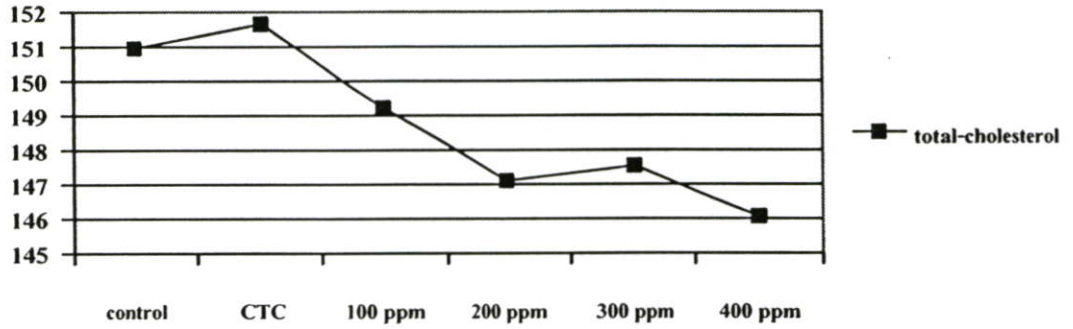
ทางสถิติ (P≤0.01) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) กับกลุ่มที่เสริมสารไคโตซานที่ระดับ 200 และ 300 พีพีเอ็ม ดังแสดงในตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบการให้อาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มที่มีต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มและไข่แดงของนกกระทา

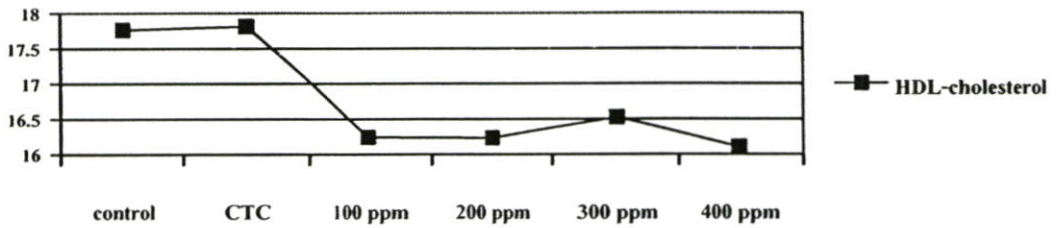
ลักษณะที่ศึกษา	กลุ่มควบคุม	CTC 50 ppm	เสริมไคโตซาน (ppm) 100	200	300	400	P-Value
ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่ม (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)							
คอเลสเตอรอลรวม	150.95	151.65	149.22	147.10	147.54	146.07	0.9947
HDL-คอเลสเตอรอล	17.763	17.815	16.240	16.230	16.522	16.105	0.1731
ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง (มิลลิกรัม/ฟอง)							
อายุ 8 สัปดาห์	115.22	116.33	113.62	112.19	113.50	110.41	0.2323
อายุ 10 สัปดาห์	116.54	115.27	112.22	110.55	111.49	108.59	0.4098
อายุ 12 สัปดาห์	115.67^{ก}	116.48^{ก}	112.53^{กข}	110.14^{กข}	108.66^{ข}	108.28^{ข}	0.0336
อายุ 14 สัปดาห์	115.26	116.44	112.82	111.85	110.91	110.77	0.3209
อายุ 16 สัปดาห์	116.10	115.64	110.93	111.09	107.41	105.63	0.1957
อายุ 18 สัปดาห์	116.34^{ก}	115.66^{ก}	111.06^{ง}	107.56^{งจ}	106.62^{งจ}	105.52^{จ}	0.0001
อายุ 8 -18 สัปดาห์	115.85^{ก}	115.97^{ก}	112.20^{ง}	110.56^{งจ}	109.76^{งจ}	108.20^{จ}	0.0001

หมายเหตุ ^{ก,ข} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันของแต่ละระยะอายุแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

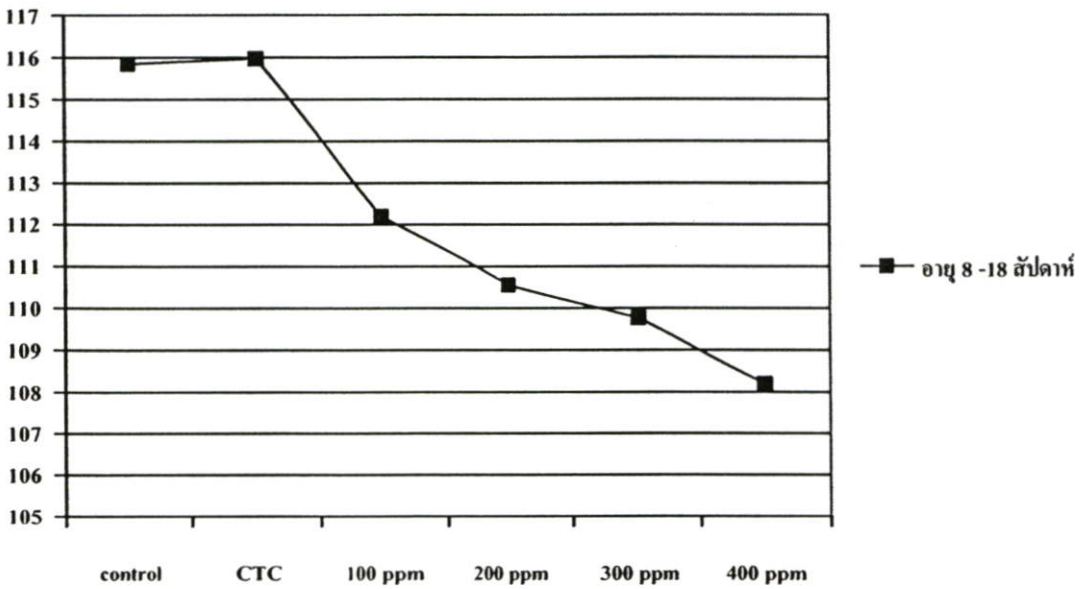
^{ก,ง,จ} ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันของแต่ละระยะอายุแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01)



ภาพที่ 4.1 ปริมาณคอเลสเตอรอลรวมในซีรั่ม (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)



ภาพที่ 4.2 ปริมาณเอชดีแอล-คอเลสเตอรอลในซีรั่ม (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)



ภาพที่ 4.3 ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงตลอดอายุการทดลอง 8-18 สัปดาห์ (มิลลิกรัม/ฟอง)

4.3 ศึกษาการเสริมสารไคโตซานในอาหารต่อการย่อยได้ของนกกระทา

การเสริมสารไคโตซานในอาหารมีผลทำให้ความชื้นในมูลสด วัตถุแห้งในมูล การย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีนในมูล การย่อยได้ของโปรตีน เปอร์เซ็นต์โปรตีนใช้ประโยชน์ได้สุทธิ เยื่อใยในมูล และการย่อยได้ของเยื่อใยของนกกระทาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) แสดงในตารางที่ 4.16

เปอร์เซ็นต์ไขมันในมูลของนกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มที่เสริมสารไคโตซานที่ระดับ 400 พีพีเอ็ม สูงกว่านกกระทาที่กลุ่มที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะและกลุ่มที่เสริมสารไคโตซาน 100 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) โดยมีเปอร์เซ็นต์ไขมันในมูลเฉลี่ยเท่ากับ 4.205 3.151 3.109 และ 3.414 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05) กับกลุ่มที่ได้รับอาหารกลุ่มที่เสริมสารไคโตซาน 200 และ 300 พีพีเอ็ม ที่มีเปอร์เซ็นต์ไขมันในมูลเฉลี่ยเท่ากับ 4.164 และ 3.852 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของไขมันในมูลของนกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุมสูงกว่ากลุ่มที่เสริมสารไคโตซาน 200 300 และ 400 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) โดยมีเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของไขมันในมูลเฉลี่ยเท่ากับ 91.978 89.442 89.472 และ 89.428 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05) กับกลุ่มที่ได้รับอาหารกลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะและกลุ่มที่เสริมสารไคโตซาน 100 พีพีเอ็ม ที่มีเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของไขมันในมูลเฉลี่ยเท่ากับ 91.786 และ 90.540 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ พลังงานในมูลของนกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มที่เสริมสารไคโตซาน 400 พีพีเอ็ม สูงกว่านกกระทากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับยาปฏิชีวนะและกลุ่มที่เสริมสารไคโตซาน 300 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) โดยมีเปอร์เซ็นต์พลังงานในมูลเฉลี่ยเท่ากับ 3426.54 2951.63 2885.37 และ 3320.86 Kcal/Kg ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) กับกลุ่มที่ได้รับอาหาร กลุ่มที่เสริมสารไคโตซาน 100 และ 200 พีพีเอ็ม ที่มีเปอร์เซ็นต์พลังงานในมูลเฉลี่ยเท่ากับ 3380.07 และ 3364.45 Kcal/Kg ตามลำดับ และปริมาณพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏในอาหารของนกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มที่เสริมสารไคโตซานระดับ 400 พีพีเอ็ม ต่ำกว่านกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P≤0.01) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซาน 100 200 และ 300 พีพีเอ็ม โดยพบว่าอาหารกลุ่มที่เสริมด้วยสารไคโตซาน 400 พีพีเอ็ม มีปริมาณพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏเฉลี่ยเท่ากับ 3676.12 Kcal/Kg ส่วนอาหารสูตรที่ 1 2 3 4 และ 5 มีปริมาณพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏเฉลี่ยเท่ากับ 3792.00 3777.10 3598.07 3685.12 และ 3630.27 Kcal/Kg ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ผลของการเสริมไคโตซานต่อการย่อยได้ของโภชนะในอาหารของนกกระทาอายุ 19 สัปดาห์ (oven-dry basis)

ลักษณะที่ศึกษา	กลุ่ม	CTC	เสริมไคโตซาน (ppm)				P-Value
	ควบคุม	50 ppm	100	200	300	400	
ความชื้นในมูล(%)	65.123	60.647	56.566	61.282	57.439	66.062	0.3529
วัตถุแห้งในมูล(%)	34.880	39.354	43.432	38.718	42.562	33.938	0.2095
การย่อยได้ของวัตถุแห้ง(%)	90.058	88.298	86.272	88.798	86.836	90.288	0.3531
โปรตีนในมูล(%)	41.800	42.548	38.532	40.251	41.279	40.402	0.1449
การย่อยได้ของโปรตีน (%)	55.552	52.842	55.447	57.212	52.710	57.453	0.3265
NPU (%)	64.626	61.579	69.792	70.941	66.749	70.323	0.2339
ไขมันในมูล (%)	3.151^{ก}	3.109^{ก}	3.414^{ขค}	4.164^{ก}	3.852^{กข}	4.205^{ก}	0.0001
การย่อยได้ของไขมัน (%)	91.978^{ก}	91.786^{ก}	90.540^{กข}	89.442^{ข}	89.472^{ข}	89.428^{ข}	0.0022
เยื่อใยในมูล (%)	10.719	10.780	10.723	10.824	10.860	10.888	0.9865
การย่อยได้ของเยื่อใย (%)	34.243	31.041	28.239	33.668	28.619	34.041	0.1259
พลังงานในมูล (Kcal/Kg)	2951.63^{ก}	2885.37^{ก}	3380.07^{กข}	3364.45^{กข}	3320.86^{ข}	3426.54^{ก}	0.0001
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏ (Kcal/Kg)	3792.00^{ก}	3777.10^{กข}	3598.07^{ก}	3685.12^{กขค}	3630.27^{ก}	3676.12^{ขค}	0.0036

หมายเหตุ $^{ก-ก}$ ตัวอักษรที่ต่างกันในแถวเดียวกันของแต่ละระยะอายุแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ประสิทธิภาพการผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มและปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของนกกระทา

5.1.1 เปอร์เซ็นต์การให้ไข่ ปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณโปรตีนที่ได้รับ ปริมาณพลังงานที่ได้รับ มวลไข่ (Egg mass) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ (FCR)

เปอร์เซ็นต์การให้ไข่ของนกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะ และกลุ่มที่เสริมไคโตซานทั้ง 4 ระดับ ตลอดช่วงอายุของนกกระทาที่ทดลอง (7-18 สัปดาห์) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีแนวโน้มว่าที่ช่วงอายุ 7-10 สัปดาห์ นกกระทากลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริมไคโตซานที่ระดับ 100 300 และ 400 พีพีเอ็ม จะมีเปอร์เซ็นต์การให้ไข่ต่ำกว่านกกระทากลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุมและกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Zofia *et al.* (2003) ซึ่งรายงานว่า จากการเสริมไคโตซาน 2 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารนกกระทาเปอร์เซ็นต์การให้ไข่ของนกกระทาจะต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยกลุ่มควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การให้ไข่ 94.5 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่มีการเสริมไคโตซานมีเปอร์เซ็นต์การให้ไข่ 82.0 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่สอดคล้องกับการทดลองของเยาวมาลย์ ค้าเจริญและสาโรช ค้าเจริญ (2545) ที่รายงานว่าไก่ไข่ที่กินอาหารเสริมด้วยเฟิมคิโต (ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติของไคติน ไคโตซานและไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์จากการหมักด้วยโปรไบโอติก) ในสูตรอาหาร 0.3 และ 0.6 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ผลผลิตไข่เพิ่มสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ปริมาณอาหารที่กินตลอดช่วงอายุของนกกระทาที่ทำการทดลอง (7-18 สัปดาห์) ทั้งกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะ และกลุ่มที่เสริมไคโตซานทั้ง 4 ระดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยปริมาณการกินอาหารอยู่ที่ประมาณ 21-24 กรัมต่อตัวต่อวัน ซึ่งสอดคล้องกับ นิรนาม (2548) กล่าวว่าปกติแล้วนกกระทาญี่ปุ่นในระยะให้ไข่ปริมาณการกินอาหารจะอยู่ที่ประมาณ 20 – 25 กรัมต่อตัวต่อวัน Sugano *et al.* (1980) รายงานว่าจากการให้อาหารที่เสริมไคโตซาน 2-5 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อการกินอาหารของหนู และธนเดช มหึเมืองและคณะ (2547) รายงานว่าปริมาณอาหารที่กินของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่เสริมและไม่เสริมไคโตซานเป็นระยะเวลา 49 วัน ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ Zofia *et al.* (2003) กล่าวว่าเมื่อเสริมไคโตซานในอาหารนกกระทา ผลที่ได้คือกลุ่มที่เสริมไคโตซานการกินอาหาร(กรัม/ตัว/วัน)จะต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่เสริมไคโตซานมีปริมาณการกินอาหารเท่ากับ 27.9 กรัม/

ตัว/วัน และกลุ่มควบคุมมีปริมาณการกินอาหารเท่ากับ 29.7 กรัม/ตัว/วัน Hirano *et al.* (1990) รายงานว่าเมื่อเสริมไคโตซาน 3.6-4.2 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว ใช้เวลาทดลอง 189 วัน พบว่าอัตราการไข่และความอยากอาหารของไก่ลดลงเพราะว่าไคโตซานมีผลทำให้การย่อยได้ไม่สมบูรณ์ โดยผลจากการเสริมไคโตซานในอาหารแล้วทำให้ปริมาณการกินลดลงเกิดจากการที่ไคโตซานมีคุณสมบัติทำให้เกิดความเหนียว (viscosity) ทำให้อาหารในกระเพาะและลำไส้เกิดความเหนียว จึงเป็นตัวถ่วงเวลาในการเคลื่อนที่ของอาหารผ่านทางเดินอาหารและลดความจุของกระเพาะทำให้เกิดความรู้สึกอิ่มและลดความอยากกินอาหารของสัตว์ได้ (Razdan *et al.* 1997) ส่วนปริมาณโปรตีนและปริมาณพลังงานที่นกกระทาได้รับจากอาหารทั้ง 6 กลุ่ม ตลอดอายุนกกระที่ทำการทดลอง (7-18 สัปดาห์) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นกัน โดยปริมาณโปรตีนและปริมาณพลังงานที่นกกระทาได้รับจะขึ้นอยู่กับปริมาณการกิน คือเมื่อกินอาหารมากปริมาณโปรตีนและปริมาณพลังงานที่ได้รับก็มากตามไปด้วย

มวลไข่และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ของนกกระทาตลอดอายุทดลอง ทั้งกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะ และกลุ่มที่เสริมไคโตซานทั้ง 4 ระดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งเยาวมาลย์ ค้าเจริญ และสาโรช ค้าเจริญ (2545) รายงานว่าจากการเสริมเฟิมคิโต (ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติของไคติน ไคโตซานและไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์จากการหมักด้วยโปรไบโอติก) ในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0.3 และ 0.6 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามวลไข่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นกัน แต่จากการทดลองที่ช่วงอายุ 7-10 สัปดาห์ กลุ่มที่มีการเสริมไคโตซานที่ระดับ 100 พีพีเอ็ม มีมวลไข่ต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากกลุ่มที่เสริมไคโตซานที่ระดับ 100 พีพีเอ็ม มีเปอร์เซ็นต์ไข่และน้ำหนักไข่ต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มที่มีการเสริมไคโตซานทุกระดับในอาหารที่ช่วงอายุ 7-10 สัปดาห์ มีแนวโน้มทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่สูงกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Zofia *et al.* (2003) รายงานว่าการเสริมไคโตซานในอาหารนกกระทา ทำให้ปริมาณอาหารในการผลิตไข่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เพราะว่าการเสริมไคโตซานในอาหารทำให้ปริมาณการให้ไข่ของนกกระทาลดลง ซึ่งแตกต่างกับการทดลองของเยาวมาลย์ ค้าเจริญ และสาโรช ค้าเจริญ (2545) รายงานว่าการเสริมเฟิมคิโตในอาหารไก่ไข่จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารให้เป็นไข่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีการเสริมเฟิมคิโตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) William (1996) กล่าวว่าไคโตซานไปขัดขั้งการดูดซึมไขมัน โดยไคโตซานจะยึดจับโมเลกุลของไขมันและขับออกสู่ระบบการย่อยก่อนเกิดการดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ซึ่งจากเหตุผลนี้ทำให้มีผลกระทบต่อวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน (วิตามิน เอ ดี อี และ เค) และคอเลสเตอรอล ที่ต้องใช้ในการสร้างไข่อาจไม่เพียงพอ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ในการกินอาหารเพื่อสร้างไข่ 1 ฟอง นกกระทากลุ่มที่เสริมไคโตซานอาจได้รับสารอาหารและวิตามินน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ทำให้ปริมาณอาหารเพื่อใช้สร้างไข่ 1 ฟองของนกกระทาของกลุ่มที่เสริมไคโตซานสูงกว่ากลุ่มควบคุม

5.1.2 ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่

ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ในทุกช่วงอายุของนกกระทาตลอดระยะการทดลอง กลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะและกลุ่มที่เสริมไคโตซานทั้ง 4 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่ง ธนเดช มหึเมืองและคณะ (2545) รายงานว่าการเสริมไคโตซานทำให้ต้นทุนการผลิตของไก่เนื้อสูงขึ้น 0.17 บาทต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว และไพฑูล แก้วหอม (2547) รายงานว่าไก่เนื้อกลุ่มที่ได้รับการเสริมไคโตซานมีแนวโน้มที่จะมีต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อระดับไคโตซานในอาหารเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มที่เสริมไคโตซานกับกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ พบว่าถึงแม้ว่ายาปฏิชีวนะจะมีราคาต่อกิโลกรัมสูงกว่าไคโตซานก็ตาม แต่ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ในกลุ่มที่เสริมไคโตซานก็ยังสูงกว่ากลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะ เป็นผลสืบเนื่องมาจากกลุ่มที่เสริมไคโตซานมีปริมาณการกินอาหารต่อการสร้างไข่ 1 ฟอง สูงกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ ในการทดลองพบว่าต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 ฟอง มีค่าประมาณ 0.26-0.30 บาทต่อฟอง โดยจากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 (พ.ศ.2545-2549) รายงานว่า ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 ฟองของนกกระทา จะอยู่ที่ประมาณ 0.23-0.25 บาทต่อฟอง ซึ่งต้นทุนการผลิตจะขึ้นอยู่กับหลายๆปัจจัย เช่น วัตถุดิบที่ใช้ในการประกอบสูตรอาหารและเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่ใช้ในสูตรอาหาร เป็นต้น

5.1.3 อัตราการเลี้ยงรอด

อัตราการเลี้ยงรอดของนกกระทาตลอดช่วงอายุที่ทำการทดลอง นกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 กลุ่ม มีอัตราการเลี้ยงรอดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) จากผลการทดลองที่ได้พบว่าตลอดการทดลอง (7-18 สัปดาห์) นกกระทากลุ่มที่มีการเสริมด้วยไคโตซานที่ระดับ 300 และ 400 พีพีเอ็ม มีอัตราการเลี้ยงรอดค่อนข้างสูงกว่ากลุ่มควบคุมและใกล้เคียงกับกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ สอดคล้องกับการทดลองของไพฑูล แก้วหอม (2545) รายงานว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยไคโตซานจะมีอัตราการตายน้อยกว่าอาหารกลุ่มควบคุม เนื่องมาจากไคโตซานไม่ได้มีผลต่อการสร้างภูมิคุ้มกันโดยตรงแต่จะเป็นตัวกระตุ้นสารที่เป็นตัวชักนำให้เกิดการสร้างภูมิคุ้มกัน โดยไคโตซานสามารถชักนำให้เกิด alexin system (ระบบของสารในโลหิตที่ทำลายแบคทีเรีย) ที่มีผลกระทบทางชีวภาพหลังมีการดูดซึม H^+ ซึ่งประจุบวกจะยึดติดกับ macrophage และ T-lymphocyte ที่มีประจุลบ ดังนั้นจึงมีการจับซึ่งกันและกัน จึงกระตุ้นเซลล์ของระบบน้ำเหลืองที่สามารถมีปฏิกิริยาสร้างภูมิคุ้มกันโรคตอบโต้ antigen (Wei. 2003) ป๋วย อุ่นใจ (2544) กล่าวว่าไคติน-ไคโตซานสามารถใช้เป็นสารเสริมผสมลงในอาหารสัตว์บก เช่น สุกร วัว ควาย เป็ดและไก่ จะช่วยเพิ่มปริมาณแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในทางเดินอาหาร ทำให้ช่วยลดอาการท้องเสียของสัตว์ได้และสามารถลดอัตราการตายของสัตว์วัยอ่อนอันเนื่องมาจากการติดเชื้อแบคทีเรียหลาย

ชนิดในทางเดินอาหารได้ นอกจากนี้ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ (2543) รายงานว่าไคโตซานสามารถเพิ่มการเจริญของแบคทีเรียในลำไส้ที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพ ช่วยลดสารพิษและยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่เป็นอันตรายและใช้เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกันซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ลดการติดเชื้อ อีกทั้งเพิ่มการดูดซึมสารอาหาร เช่น กรดอะมิโนและช่วยส่งเสริมการทำงานของตับให้ดีขึ้น

5.1.4 น้ำหนักไข่ทั้งฟอง น้ำหนักเปลือกไข่ น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว ความแข็งเปลือกไข่ และความหนาเปลือกไข่

น้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟองของกลุ่มที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะ และกลุ่มที่เสริมไคโตซานทั้ง 4 ระดับ ตลอดช่วงอายุนกกระทาที่ทำการทดลอง (7-18 สัปดาห์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Zofia *et al.* (2003) รายงานว่า จากการเสริมไคโตซานในอาหารนกกระทา ผลของน้ำหนักไข่ที่ได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่จากการทดลองพบว่านกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะมีน้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟองค่อนข้างต่ำกว่าไข่ของนกกระทากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมไคโตซานทั้ง 4 ระดับ และกลุ่มควบคุม แต่เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มควบคุมกับกลุ่มที่มีการเสริมไคโตซานทั้ง 4 ระดับ พบว่าน้ำหนักไข่นกกระทาของกลุ่มควบคุมจะสูงที่สุด ซึ่ง Anderson *et al.* (2001) รายงานว่า จากการทดลองโดยเสริมไคโตซาน 0.5 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่ พบว่าไข่มีน้ำหนักลดลงทำให้ขนาดของไข่เปลี่ยนจากขนาด X-Large เป็นขนาด Medium

น้ำหนักเปลือกไข่ น้ำหนักไข่ขาว และน้ำหนักไข่แดง เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักไข่ทั้งฟองของไข่นกกระทา พบว่าตลอดอายุนกกระทาที่ทำการทดลอง (7-18 สัปดาห์) นกกระทาที่ได้รับอาหารทั้ง 6 สูตรมีน้ำหนักเปลือกไข่ น้ำหนักไข่ขาวและน้ำหนักไข่แดงเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักไข่ทั้งฟองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีแนวโน้มว่ากลุ่มที่เสริมไคโตซานมีน้ำหนักเปลือกไข่ น้ำหนักไข่แดง และน้ำหนักไข่ขาว เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักไข่ทั้งฟอง สูงกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของเยามาลย์ ค้าเจริญและสาโรช ค้าเจริญ (2545) ที่รายงานว่าการเสริมเฟิมคิโต (ไคติน ไคโตซานและไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการหมักด้วยโปรไบโอติก) ที่ระดับ 0.3 และ 0.6 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารไก่ไข่ที่อายุ 18-37 สัปดาห์ สามารถเพิ่มน้ำหนักเปลือกไข่ และความหนาเปลือกไข่ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่แตกต่างจากการทดลองของ Davis *et al.* (2001) รายงานว่าจากการศึกษาผลของการเสริมไคโตซาน 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารไก่ตั้งแต่ระยะเป็นลูกไก่จนถึงระยะให้ไข่พบว่าน้ำหนักไข่แดงของกลุ่มที่เสริมไคโตซานเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักไข่ทั้งฟองต่ำกว่ากลุ่มควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 20.95 และ 21.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งปกติแล้วไข่นกกระทาญี่ปุ่นจะมีน้ำหนักประมาณ 8-13 กรัม ประกอบด้วยเปลือกไข่ประมาณ 8.3 เปอร์เซ็นต์ ไข่ขาวประมาณ 59.9 เปอร์เซ็นต์และไข่แดงประมาณ 32.2 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับน้ำหนักไข่ทั้งฟอง โดยไข่แดงเป็นส่วนที่

มีความเข้มข้นของโภชนะสูงที่สุดคือ มีน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นเป็นโปรตีนและไขมันเกือบทั้งหมด และยังประกอบด้วย วิตามิน แร่ธาตุ เม็ดสี (pigment) และคอเลสเตอรอลในปริมาณที่สูง โปรตีนและไขมันในไข่แดงจะมีปริมาณค่อนข้างคงที่ จะมีความผันแปรเล็กน้อยตามอาหารที่ได้รับ แต่สำหรับวิตามิน แร่ธาตุ และเม็ดสีจะผันแปรไปได้มากตามปริมาณที่มีอยู่ในอาหาร ส่วนไข่ขาวมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำและโปรตีนและเปลือกไข่จะประกอบด้วยแร่ธาตุเป็นหลัก คือ แคลเซียมคาร์บอเนต (อรวรรณ ชินราศรี. 2547)

ความแข็งเปลือกไข่ของนกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะและกลุ่มที่เสริมไคโตซานทั้ง 4 ระดับในช่วงอายุ 11-14 15-18 7-14 และ 7-18 สัปดาห์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าในช่วงอายุ 7-10 สัปดาห์ นกกระทาที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มควบคุม มีค่าความแข็งเปลือกไข่ต่ำที่สุด ($P\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มอื่นๆ แต่จากการทดลองในทุกช่วงอายุของนกกระทาที่ทำการทดลอง กลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมไคโตซานทุกระดับมีค่าความแข็งเปลือกไข่ค่อนข้างสูงกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ ส่วนความหนาเปลือกไข่นกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะ และกลุ่มที่เสริมไคโตซานทั้ง 4 ระดับในช่วงอายุ 7-10 และ 7-14 สัปดาห์ นกกระทากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมไคโตซานที่ระดับ 200 300 และ 400 พีพีเอ็ม มีความหนาเปลือกไข่สูงกว่านกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$) ส่วนในช่วงอายุที่ 11 - 14 15-18 และ 7-18 สัปดาห์ ความหนาเปลือกไข่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าความหนาเปลือกไข่ของนกกระทากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมไคโตซานทั้ง 4 ระดับ ค่อนข้างหนากว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ สอดคล้องกับการทดลองของ Zofia *et al.* (2003) ที่รายงานว่าจากการเสริมไคโตซานในอาหารนกกระทาค่าความหนาของเปลือกไข่ของกลุ่มที่เสริมด้วยไคโตซานจะสูงกว่ากลุ่มควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 215.1 และ 209.0 µm ตามลำดับ ซึ่ง William (1996) รายงานว่าไคโตซานสามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ของแคลเซียมได้ โดยทำให้แคลเซียมดูดซึมได้ดีขึ้น ซึ่งเป็นผลให้มีการเสริมไคโตซานในอาหารของผู้ป่วยที่เป็นโรคกระดูกพรุน Jung *et al.* (2006) รายงานว่าเมื่อเสริมไคโตซานในอาหารของหนูเพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ได้ของแคลเซียม พบว่าไคโตซานสามารถลดการสูญเสียแคลเซียมออกมากับมูลและสามารถเพิ่มแคลเซียมรีเทนชั่นในกระแสเลือดได้เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุม จากเหตุผลที่ไคโตซานสามารถเพิ่มการดูดซึมแคลเซียมและเพิ่มแคลเซียมรีเทนชั่นในกระแสเลือด ส่งผลให้เมื่อเสริมไคโตซานในอาหารนกกระทา มีผลทำให้แคลเซียมที่อยู่ในกระแสเลือดบางส่วนถูกนำไปสร้างเป็นกระดูกร่วมกับฟอสฟอรัส แคลเซียมจึงสะสมอยู่ในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต($CaPO_4$) และแคลเซียมบางส่วนก็ยังถูกส่งไปตามกระแสเลือดเพื่อไปยังuterus ซึ่งที่ uterus จะเป็นบริเวณที่มีการสร้างเปลือกไข่ โดยแคลเซียมในเปลือกไข่ที่ถูกสร้างขึ้นจะอยู่ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต($CaCO_3$)ต่อไป (Hal. 2005) จากเหตุผลนี้เมื่อมีแคลเซียมในกระแสเลือดมาก จึงส่งผลให้มีการสร้างเปลือกไข่หนา

ขึ้นและความแข็งเปลือกไข่ของนกกระทาเพิ่มขึ้น

5.1.5 Haugh unit

ค่า Haugh unit ของนกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะ และ กลุ่มที่เสริมไคโตซานทั้ง 4 ระดับ ตลอดอายุนกกระทาที่ทำการทดลอง (7-18 สัปดาห์) มีค่า Haugh unit ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แตกต่างจากการทดลองของ อัจฉริยา รักษ์รอด (2549) ที่รายงานว่าจากการเสริมไคโตซานในอาหารไก่ไข่ พบว่าเมื่อเสริมไคโตซานในระดับที่สูงขึ้น ทำให้ค่า Haugh unit ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุม ส่วนเยาวมาลย์ ค้าเจริญและสาโรจ ค้าเจริญ (2545) ที่รายงานว่าจากการเสริมเฟิมคิโต (ไคติน ไคโตซานและไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการหมักด้วยโปรไบโอติก) ที่ระดับ 0.3 และ 0.6 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารไก่ไข่ที่อายุ 18-37 สัปดาห์ พบว่าสามารถเพิ่มคุณภาพไข่ได้ คือทำให้ค่า Haugh unit สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยค่า Haugh unit ของกลุ่มควบคุมเท่ากับ 78.87 กลุ่มที่เสริมเฟิมคิโตที่ระดับ 0.3 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 79.60 และกลุ่มที่เสริมเฟิมคิโตที่ระดับ 0.6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 79.97

5.1.6 สีไข่แดง

สีไข่แดงของนกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะและกลุ่มที่เสริมไคโตซานทั้ง 4 ระดับในช่วงอายุ 7-10 และ 11-14 สัปดาห์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ที่อายุ 7-14 สัปดาห์ กลุ่มที่เสริมไคโตซาน 400 พีพีเอ็ม มีสีไข่แดงเข้มที่สุดและแตกต่างจากกลุ่มที่เสริมไคโตซานที่ระดับ 200 พีพีเอ็ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากการเลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ ส่วนในช่วงอายุ 15-18 และ 7 -18 สัปดาห์ กลุ่มที่มีการเสริมไคโตซานที่ระดับ 200 พีพีเอ็มขึ้นไปจะมีสีของไข่แดงซีดกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ Vrzhesinskaia *et al.* (2005) ที่รายงานว่าจากการเสริมไคโตซาน 10 และ 20 mg/1kg body mass เพื่อศึกษาผลของวิตามินในไข่และคอเลสเตอรอลในไข่ไก่ พบว่าไคโตซานสามารถลด lutein (รงควัตถุสีเหลือง) ในไข่แดงลง 17 เปอร์เซ็นต์ อาวุธ ตันโช (2538) กล่าวว่าการเกิดสีในไข่แดง เนื่องจากการสะสมสารแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) ซึ่งเป็นแคโรทีนอยด์ในอาหาร Lyndel (2001) กล่าวว่าสารให้สี (แคโรทีนอยด์) มีคุณสมบัติที่ละลายได้ในไขมัน ดังนั้นสารให้สีจะต้องดูดซึมร่วมกับไขมันในอาหารจึงจะสามารถเข้าสู่กระแสเลือดได้ นอกจากนี้ William (1996) กล่าวว่าไคโตซานสามารถยึดเกาะกับโมเลกุลของไขมันและนำออกจากระบบการย่อยก่อนที่ไขมันจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ซึ่งเกี่ยวข้องกับการที่ไขมันเกิดการจับกับไคโตซานและถูกขับออกจากร่างกาย ทำให้สารที่ให้สีถูกขับออกไปกับไขมันด้วย

5.1.7 ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่ม และปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของนกกระทา

ปริมาณคอเลสเตอรอลรวมในซีรั่มนกกระทาที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะ และกลุ่มที่เสริมด้วยไคโตซานทั้ง 4 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เมื่อระดับของไคโตซานในอาหารเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลรวมในซีรั่มลดลง เนื่องมาจากการดูดซึมไขมันในอาหารของลำไส้เล็กถูกขัดขวางโดยไคโตซาน (Razdan and Prtterson. 1994) ซึ่ง นิรนาม (2545) กล่าวว่าเมื่อรับประทานไคโตซานเข้าไปจะผ่านทางเดินอาหารส่วนต้นเข้าไปอยู่ในกระเพาะอาหาร กลุ่มของกรดอะมิโนในโครงสร้างของไคโตซานที่เป็นประจุบวก จะสร้างพันธะที่แข็งแรงกับ functional groups อื่นๆ ที่เป็นประจุลบ เช่น OH^- และ$COOH^-$ ของกรดไขมันอิสระที่ได้จากอาหารที่อยู่ในกระเพาะอาหาร ทำให้กรดไขมันไม่ถูกดูดซึม นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถจับกับ triglyceride , cholesterol และ dietary sterol อื่นๆ ด้วย เหตุนี้เมื่ออาหารเคลื่อนตัวเข้าสู่ลำไส้เล็กส่วนดูโอดีนั่มจะถูกผสมคลุกเคล้ากับน้ำดี ซึ่งปกติแล้วกรดน้ำดีจะถูกดูดซึมกลับเข้าสู่กระแสเลือดไปที่ตับ แต่ไคโตซานสามารถจับกับกรดน้ำดีในลำไส้ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ และจะถูกกำจัดออกทางอุจจาระต่อไป การที่ไคโตซานสามารถจับกับกรดน้ำดีและป้องกันการดูดซึมกรดน้ำดีกลับเข้าสู่กระแสเลือดนั้น จึงทำให้ร่างกายสามารถดูดกลับน้ำดีได้น้อยลงทำให้ร่างกายต้องนำคอเลสเตอรอลในกระแสเลือดมาสังเคราะห์เป็นกรดน้ำดีขึ้นมาใหม่อยู่เสมอ จึงส่งผลให้คอเลสเตอรอลในเลือดค่อนข้างลดลงเมื่อมีการเสริมไคโตซานในระดับที่สูงขึ้น จากเหตุผลที่กล่าวมาทำให้ low density lipoprotein (LDL) ในพลาสมาลดลง และส่งผลให้ระดับของคอเลสเตอรอลในซีรั่มลดลงด้วย ส่วน Kobayashi *et al.* (2006) กล่าวว่าไคโตซานสามารถย่อยและดูดซึมได้ในรูปของ glucosamine ซึ่ง glucosamine สามารถไปลดการใช้กลูโคสโดยตับหรือยับยั้งการชักนำให้เกิดการหลั่งอินซูลิน ทำให้ลดการสร้างไขมันและไตรกลีเซอร์ไรด์ที่ตับ จึงส่งผลให้สามารถลดไขมันและคอเลสเตอรอลในร่างกายไก่ได้ และ Jean and Francine (1993) รายงานว่าจากการเสริมไคโตซานในอาหารเพื่อศึกษาการทำงานในตับของหนู ผลที่ได้คือไคโตซานสามารถลดการทำงานของ 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase (HMG-CoA reductase) ซึ่งเป็นเอ็นไซม์ที่ควบคุมการสร้างคอเลสเตอรอลโดยตับ ทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่มลดลงจาก 52.5 เป็น 47.8 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร สอดคล้องกับการทดลองของ ธนเดช มหึเมืองและคณะ (2547) ที่รายงานว่าการเสริมไคโตซานในอาหารไก่เนื้อมีผลทำให้คอเลสเตอรอลในซีรั่มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารกลุ่มควบคุม โดยคอเลสเตอรอลในซีรั่มกลุ่มที่เสริมไคโตซานเท่ากับ 102.92 และกลุ่มที่ไม่เสริมไคโตซานเท่ากับ 130.52 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร จากการทดลองปริมาณ เอชดีแอล-คอเลสเตอรอลในซีรั่มนกกระทาที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 6 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นกัน แต่มีแนวโน้มว่าเมื่อระดับไคโตซานในอาหารเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณ เอชดีแอล–คอเลสเตอรอลในซีรั่มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Jean and Francine (1993) รายงานว่าการเสริมไคโตซาน 5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารหนู

พบว่าคอเลสเตอรอลในพลาสมามีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกลุ่มที่เสริมไคโตซานมีค่าเท่ากับ 47.8 และ กลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 52.5 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ส่วนเอชดีแอล-คอเลสเตอรอล ในพลาสมาของกลุ่มที่เสริมไคโตซานมีค่าลดลงเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกลุ่มที่เสริมไคโตซานมีค่าเท่ากับ 34.7 และ กลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 35.0 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร Razdan and Pettersson (1994) รายงานว่าจากการศึกษาผลของไคตินและไคโตซานต่อคอเลสเตอรอลในไก่เนื้อ โดยเสริมไคตินหรือไคโตซานที่มีค่า deacetylated เป็น 94 82 และ 76 เปอร์เซ็นต์ จะใช้ 30 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร เมื่อทำการตรวจสอบระดับคอเลสเตอรอลในวันที่ 11 และวันที่ 19 ของการทดลองพบว่ากลุ่มที่มีการเสริมไคตินหรือไคโตซานจะมีระดับคอเลสเตอรอลรวมและเอชดีแอล-คอเลสเตอรอลลดลง แต่อัตราส่วนของเอชดีแอล : คอเลสเตอรอลรวมเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

คอเลสเตอรอลในไข่แดงของนกกระทาที่เลี้ยงด้วยอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะและกลุ่มที่เสริมด้วยไคโตซานทั้ง 4 ระดับ พบว่าในช่วงอายุนกกระทาที่ 12 สัปดาห์เมื่อเสริมไคโตซานในอาหารระดับของคอเลสเตอรอลในไข่แดงจะต่ำกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ส่วนที่ 18 และ 8-18 สัปดาห์ กลุ่มที่เสริมด้วยไคโตซานทั้ง 4 ระดับ มีค่าคอเลสเตอรอลในไข่แดงต่ำกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Anderson *et al.* (2001) รายงานว่าจากการเสริมไคโตซาน 0.5 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่ พบว่าระดับคอเลสเตอรอลในไข่แดงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมไคโตซาน ค่าคอเลสเตอรอลในไข่แดงจะลดลงจาก 15.2 เป็น 12.3 มิลลิกรัมต่อกรัม Vrzhesinskaia *et al.* (2005) รายงานว่าจากการเสริมไคโตซาน 10 และ 20 mg/1kg body mass เพื่อศึกษาผลของวิตามินในไข่และคอเลสเตอรอลในไข่ไก่ พบว่าไคโตซานสามารถลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ ส่วน Zapata *et al.* (2004) รายงานว่าจากการเสริมไคโตซานที่ระดับ 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่เพื่อศึกษาระดับคอเลสเตอรอลในไข่แดงและคอเลสเตอรอลในพลาสมา ซึ่งจากการนำไข่แดงวันที่ 14 ของการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าคอเลสเตอรอล พบว่าระดับคอเลสเตอรอลในไข่แดงกลุ่มที่เสริมด้วยไคโตซานที่ระดับ 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนวันที่ 56 ของการทดลองระดับคอเลสเตอรอลและกรดไขมันอิ่มตัวในไข่แดงกลุ่มที่เสริมด้วยไคโตซานทั้ง 2 ระดับ จะมีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งระดับของคอเลสเตอรอลในไข่แดงของกลุ่มที่เสริมด้วยไคโตซานจะลดลง แต่จะใช้ระยะเวลานาน ส่วนคอเลสเตอรอลในพลาสมาและไตรกลีเซอไรด์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) Sturkie (1986) กล่าวว่าไข่แดงถูกสร้างขึ้นภายใต้การควบคุมของฮอร์โมนโกนาโดโทนปิน ได้แก่ FSH และ LH ส่วน สเตอรอยด์ฮอร์โมน ได้แก่ เอสโตรเจน ซึ่งทำให้เกิดการสะสมโปรตีนและไขมันในไข่แดง โดยส่วนประกอบที่ถูกสร้างขึ้นจะถูกขนส่งมาทางกระแสเลือด โดยไขมันและคอเลสเตอรอลในตับรวมทั้งวิตามินที่

ละลายในไขมันจะถูกขนส่งมาในรูปของไลโปโปรตีน ส่วนวิตามินที่ละลายในน้ำถูกขนส่งโดยตรงจากลำไส้เล็กมายังกระเปาะไข่และแร่ธาตุที่อยู่ในไข่แดงอาจอยู่รวมกับโปรตีน ซึ่งจะถูกขนส่งมาในรูปของไลโปโปรตีนเช่นกัน จากการที่ไคโตซานสามารถทำให้คอเลสเตอรอลในซีรั่มลดลง ส่งผลให้การขนส่งคอเลสเตอรอลมายังไข่แดงในรูปของไลโปโปรตีนลดลงด้วย ดังนั้นจึงส่งผลให้การสะสมคอเลสเตอรอลในไข่แดงก็จะลดลงเช่นกัน

5.2 การย่อยได้ของอาหารเสริมไคโตซาน

เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งในมูล เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของวัตถุแห้งในมูล เปอร์เซ็นต์เยื่อใยในมูล เปอร์เซ็นต์โปรตีนในมูล เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโปรตีนและโปรตีนใช้ประโยชน์ได้สุทธิ (Net protein utilization ; NPU) ของนกกระทาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 6 กลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องกับการทดลองของ ไพฑูล แก้วหอม (2547) และอัจฉริยา รักษ์รอด (2549) ศึกษาการย่อยได้ของอาหารที่เสริมไคโตซานในไก่เนื้อและไก่ไข่ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น เปอร์เซ็นต์โปรตีนในมูล เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโปรตีนและเปอร์เซ็นต์โปรตีนใช้ประโยชน์ได้สุทธิของไก่ที่ได้รับอาหารแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วน Kanauchi *et al.* (1994) รายงานว่าการย่อยได้ของโปรตีนของหนูที่ได้รับอาหาร ซึ่งประกอบไปด้วยอาหารไขมันสูงที่เติมด้วยเซลลูโลส (กลุ่มควบคุม) และอาหารไขมันสูงที่เติมไคโตซาน 5 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)เช่นกัน แต่ Shi *et al.* (2005) ทำการศึกษาผลของไคโตซานต่อพลังงานและโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ในไก่เนื้อ พบว่าเมื่อเสริมไคโตซาน 0.5-1 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร จะเพิ่มการกักเก็บไนโตเจนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วน Huang *et al.* (2005) ทำการศึกษาผลการเสริมไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์ต่อการย่อยได้ที่ลำไส้และสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ ผลที่ได้คืออาหารที่เสริมด้วยไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์จะเพิ่มการย่อยได้ของ DM Ca P CP และกรดอะมิโนในลำไส้ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากไคโตซานสามารถไปกระตุ้นการขับเอ็นไซม์จากกระเพาะ ตับอ่อนและลำไส้ เป็นผลให้โมเลกุลของโภชนะที่มีขนาดใหญ่เกิดการ Break down เป็นโมเลกุลเดี่ยวและเพิ่มความสมบูรณ์ของเอ็นเทอร์โรไซต์ (enterocytes) ทำให้สนับสนุนให้เกิดการย่อยและการดูดซึมโภชนะ นอกจากนี้ยังลดการขับไนโตรเจนออกมากับมูลได้

เปอร์เซ็นต์ไขมันในมูลของนกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ และ กลุ่มที่เสริมไคโตซานทั้ง 4 ระดับ พบว่าปริมาณไขมันในมูลสูงขึ้นเมื่อระดับไคโตซานในอาหารสูงขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Gallaher *et al.* (2000) และ Kanauchi *et al.* (1994) รายงานว่าการขับไขมันออกมาในมูลของหนูที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมไคโตซานมีปริมาณสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และ Han *et al.* (1999) รายงานว่าหนูที่ได้รับอาหารที่มีไขมันสูงร่วมกับไคโตซานจะเพิ่มปริมาณไขมันในมูลและยับยั้งการดูดซึมของ

ไขมัน ซึ่งเป็นผลมาจากไคโตซานเป็นเยื่อใยธรรมชาติซึ่งสามารถยึดจับ (trap) โมเลกุลของไขมันและนำออกจากระบบการย่อยก่อนที่ไขมันจะถูกดูดซึมเข้าไปในระบบเลือด ซึ่งไคโตซานจะม้วนรอบหยดไขมันเล็กๆและป้องกันการถูกย่อยจากเอ็นไซม์ไลเปส ไขมันจะถูกหุ้มด้วยไคโตซานและออกมากับมูล แต่ในกรณีที่ไขมันถูกย่อยโดยเอ็นไซม์ไลเปสแล้วจะได้เป็นกรดไขมัน (fatty acid) ซึ่งประจุบวกของไคโตซานจะดึงดูดประจุลบของกรดไขมันและกรดน้ำดี เมื่อจับกันแล้วเยื่อใยของไคโตซานจะไม่สามารถถูกย่อยได้ที่ลำไส้เล็ก เยื่อใยของไคโตซานที่ไม่ถูกย่อยจะถูกกำจัดออกจากระบบทางเดินอาหารร่วมกับไขมันที่ยึดจับอยู่ (William. 1996) นอกจากนี้ Kobayashi *et al.* (2006) ยังกล่าวว่าอาหารที่มีการเสริมไคโตซานสามารถลดการทำงานของเอ็นไซม์ไลเปสและการดูดซึมไขมันในลำไส้เล็กโดยจะไปลดความเข้มข้นของกรดน้ำดีในดูโอดีนัม ซึ่งทำให้มีผลต่อการย่อยและการดูดซึมไขมัน ส่วนปริมาณไขมันในมูลของนกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เนื่องจากยาปฏิชีวนะที่เสริมไม่มีผลต่อไขมัน จากการที่ไขมันถูกขับออกมากับมูลมากขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ไขมันของนกกระทามีค่าลดลงเมื่อเสริมไคโตซานในระดับสูงขึ้นในอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Deuchi *et al.* (1994) ที่รายงานว่าจากการเสริมไคโตซานในอาหารหนูจะได้ค่าการย่อยได้ปรากฏของไขมันต่ำกว่ากลุ่มควบคุม โดยหนูที่ได้รับอาหารที่เสริมไคโตซาน 5 เปอร์เซ็นต์ จะลดการย่อยได้ของไขมันลง 50 เปอร์เซ็นต์

ค่าพลังงานทั้งหมดในมูล (kcal/kg) ของนกกระทาที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะและกลุ่มที่เสริมไคโตซานทั้ง 4 ระดับ พบว่าปริมาณพลังงานทั้งหมดในมูลของกลุ่มที่เสริมไคโตซานจะสูงกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมยาปฏิชีวนะอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$) เนื่องจากไคโตซานมีผลทำให้ปริมาณไขมันในมูลสูงขึ้น จึงส่งผลให้ค่าพลังงานทั้งหมดในมูลของนกกระทาในกลุ่มที่เสริมไคโตซานสูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นเพราะไขมันมีพลังงานสูงกว่าโปรตีนและ คาร์โบไฮเดรตถึง 2.25 เท่า (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541) จากการที่ไคโตซานมีผลทำให้ปริมาณพลังงานทั้งหมดในมูลสูงขึ้นจึงส่งผลให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏของอาหารนกกระทากลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมไคโตซานทั้ง 4 ระดับ มีปริมาณต่ำกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P\leq0.01$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของไพฑูล แก้วหอม (2547) และอัจฉริยา รักษ์รอด (2549) รายงานว่าจากการเสริมไคโตซานในอาหารไก่เนื้อและไก่ไข่ มีผลทำให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏของอาหารมีค่าต่ำกว่าไก่ที่ได้รับอาหารกลุ่มควบคุม

บทที่ 6
สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

การศึกษาผลการเสริมไคโตซานปริมาณ 100 200 300 และ 400 พีพีเอ็ม ในอาหารนกกระทาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ผลต่อสมรรถภาพการผลิต พบว่าการเสริมไคโตซานไม่มีผลต่อ เปอร์เซ็นต์การให้ไข่ ปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณพลังงานที่ได้รับ มวลไข่ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ และอัตราการเลี้ยงรอด

2. ผลต่อคุณภาพไข่ พบว่าการเสริมไคโตซานไม่มีผลต่อน้ำหนักไข่ทั้งฟอง เปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของไข่เมื่อคิดเป็นสัดส่วนจากไข่ทั้งฟอง (เปอร์เซ็นต์เปลือกไข่ เปอร์เซ็นต์ไข่แดง และเปอร์เซ็นต์ไข่ขาว) และค่า Haugh unit ของไข่ขาว แต่มีผลทำให้ความแข็งเปลือกไข่ และความหนาเปลือกไข่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีของไข่แดงจะซีดลงเมื่อเสริมไคโตซานในระดับ 200 พีพีเอ็มขึ้นไป

3. ผลต่อระดับคอเลสเตอรอลในซีรั่มและในไข่แดง พบว่าการเสริมไคโตซานไม่มีผลต่อปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรั่ม (คอเลสเตอรอลรวม และเอชดีแอล-คอเลสเตอรอล) แต่พบว่า เมื่อเสริมไคโตซานในอาหารในระดับที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงลดลง โดยเฉพาะเมื่อเสริมไคโตซานในระดับที่สูงขึ้น

4. ผลต่อการย่อยได้ของอาหาร พบว่าการเสริมไคโตซานไม่มีผลต่อความชื้นในมูลสด วัตถุแห้งในมูล การย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีนในมูล การย่อยได้ของโปรตีน เปอร์เซ็นต์โปรตีนใช้ประโยชน์ได้สุทธิ เยื่อใยในมูลและการย่อยได้ของเยื่อใย แต่มีผลทำให้ไขมันในมูล และพลังงานในมูลสูงขึ้น ส่วนการย่อยได้ของไขมันและพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏจะลดลง

ระดับไคโตซานที่เหมาะสมในการเสริมในอาหารนกกระทาที่เกษตรกรสามารถนำมาใช้ในการเพิ่มสมรรถภาพการผลิตและพัฒนาคุณภาพไข่หรือใช้เพื่อทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะ จะอยู่ที่ระดับ 200 พีพีเอ็ม เพราะว่าที่ระดับนี้สมรรถภาพการผลิตมีแนวโน้มดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยยาปฏิชีวนะ ไม่ว่าจะเป็นเปอร์เซ็นต์การให้ไข่ น้ำหนักไข่ทั้งฟอง ความแข็งเปลือกไข่ ความหนาเปลือกไข่ ค่า Haugh unit และระดับคอเลสเตอรอลในไข่แดง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม สมรรถภาพการผลิตอาจจะไม่ดีเท่าและต้นทุนการผลิตก็มีแนวโน้มจะสูงกว่า แต่เมื่อคำนึงถึงระดับของคอเลสเตอรอลในไข่ การเสริมไคโตซานก็เป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตอาหารที่ดีต่อสุขภาพโดยรวมได้

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมในเปลือกไข่และในมูล เพื่อศึกษาผลของไคโตซานต่อการดูดซึมแคลเซียมที่มีผลต่อการสร้างเปลือกไข่

2. ราคาไคโตซาน (ราคากิโลกรัมละ 600 บาท) และChlortetracycline (ราคากิโลกรัมละ 1,200 บาท) ค่อนข้างสูงทำให้ต้นทุนค่าอาหารผสมสูงขึ้นด้วย

บรรณานุกรม

กมลศิริ พันธนียะ. 2546. **ไคติน-ไคโตซาน.** [Online]. Available : www.nicaonline.com/articles9/site/view_article.asp?idarticle=158-24k-. 04/12/2549.

กฤษณา ศิรเลิศมุกุล. 2547. **ไคโตซาน:พอลิเมอร์ธรรมชาติกับการเกษตร.** [Online]. Available : http://www.kmutt.ac.th/organization/Researh/chitin.html.16/02/2549.

ขวัญใจ สุชินพงศ์พันธ์. 2541. **"การนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์ทางด้านภาชนะบรรจุ."** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

จิราภรณ์ เชาวลิตสุขุมาวาสี. 2544. ไคติน-ไคโตซานสารมหัศจรรย์จากธรรมชาติ. **LAB.TODAY.** 1(2) : 12-20.

ธนเดช มหึเมือง สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์และบุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2547. **การลดไขมันและคอเลสเตอรอลในไก่เนื้อโดยเสริมไคโตซานในอาหาร.** เอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

นิรนาม. 2544. **นกกระทาญี่ปุ่น.** [Online]. Available : http://www.vet.ku.ac.th/libraryhomepage/article/poultry/quail/Japanese_quail.htm. 23/06/2550.

นิรนาม. 2545. **การจับไขมันของไคโตซาน.** [Online]. Available : http://www.drug.pharmacy.psu.ac.th/Question.asp?ID=1397&gid=2. 23/06/2550.

นิรนาม. 2548. **คัมภีร์การเพาะเลี้ยงสัตว์ปีกเศรษฐกิจเชิงพาณิชย์.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์วีทีเอส.

นิรนาม. 2549. **ประโยชน์ของไคติน-ไคโตซานในผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์.** [Online]. Available : http://www.sk-chitosan.com/ranch.htm. 12/09/2549.

บวรศักดิ์ หัสดิน ณ อยุธยา. 2549. **คู่มือการเลี้ยงนกกระทาเชิงธุรกิจ.** กรุงเทพมหานคร : เพชรกะรัต สติวดิโอ.

บริษัทโนเวลเมด จำกัด. 2547. **คอเลสเตอรอล.** [เอกสารประกอบใบเสนอราคา]. กรุงเทพฯ : บริษัทโนเวลเมด จำกัด.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. **ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์.** เชียงใหม่ : ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปัทมา วิศาลนิตย์และทศพร ทองเที่ยง. 2545. **การใช้ไคโตซานชะลอความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวของสตรอเบอรี่**. ศูนย์วิจัยและบริการอุตสาหกรรมเกษตรและอุตสาหกรรมชีวเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ประภัสสร สุรวัฒนาวรรณ. 2544. **เรื่องน่ารู้ไคติน–ไคโตซาน**. กลุ่มวิจัยอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพ. (เอกสารเผยแพร่).

ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์. 2543. **ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ไคติน-ไคโตซานในการเลี้ยงสุกร**. การประชุมสัมมนาพร้อมนิทรรศการ : เกษตรยุคใหม่กับไคติน-ไคโตซาน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์และสุวลี จันทร์กระจ่าง. 2543. **การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารในไก่เนื้อโดยใช้ไคโตซาน**. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26 ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์. กรุงเทพมหานคร.

ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์. 2544. **สารไคตินและไคโตซาน**. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร.

ป๋วย อุ่นใจ. 2547. **ไคติน–ไคโตซานสารมหัศจรรย์จากธรรมชาติ**. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. กรุงเทพมหานคร.

พัฒนันท์ วงศ์วิวัฒน์. 2545. **การสกัดไคติน-ไคโตซานจากเปลือกหอย**. ปัญหาพิเศษ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม.

ไพฑูล แก้วหอม. 2547. **"อิทธิพลของสารไคโตซานในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ."** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร.

พูนทรัพย์ วิชัยพงษ์. 2548. **สาระน่ารู้ไคติน-ไคโตซาน**. [Online]. Available : http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/bsp_12_2548_chitin-chitosan.pdf. 23/06/2550.

ภาวดี เมธะดานนท์. 2544. **ความรู้เกี่ยวกับไคติน–ไคโตซาน**. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะวัสดุแห่งชาติ. กรุงเทพมหานคร.

มูลนิธิเพื่อผู้บริโภค. 2548. **ไคโตซาน**. [Online]. Available : http://www.consumerthai.org/behind_pro/notes/B2/b2-2.html.14/09/2549.

เยาวภา ไหวพริบ. 2534. **"การผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้ง."** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

เยาวมาลย์ ค้าเจริญและสาโรช ค้าเจริญ. 2545ก. "ประสิทธิภาพของเฟิมคิโต (ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติของไคติน ไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์จากการหมักด้วยโปรไบโอติก) ในอาหารลูกสุกรดูดนมและลูกสุกรหย่านม." **วารสารสัตว์เศรษฐกิจ**. 20(441) : 26-30.

เยาวมาลย์ ค้าเจริญและสาโรช ค้าเจริญ. 2545ข. "ประสิทธิภาพของเฟิมคิโต (ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติของไคติน ไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์จากการหมักด้วยโปรไบโอติก)ในอาหารไก่ไข่." **วารสารสัตว์เศรษฐกิจ**. 20(442) : 32-34.

ลาวัลย์ จีรพงษ์. 2544. **ไคโตซาน**. [Online]. Available : http://www.Doae.go.th/licrary/html /detail/chitosan.html. 23/01/2549.

วิสิฐ จะวะสิตและลูกจันทร์ ภัครัชพันธ์(2533). "ไคโตซานโพลิเมอร์ตัวใหม่จากของเหลือทิ้ง." **วารสารอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ**. 1(1) : 4-8

ศรัณรักษ์ ณ ตะกั่วทุ่ง. 2548. **พันธุ์นกกระทา**. [Online]. Available : http://www.vet.ku.ac.th /libraryhomepage/db_directory/poultry/bird/quail.htm. 14/09/2549.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2544. **แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 พ.ศ. 2545-2549**. กรุงเทพมหานคร.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2534. **"แนวทางการใช้ประโยชน์จากเปลือกกุ้ง:ไคตินและไคโตซาน."** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

สุพจน์ หารหนองบัว สุวลี จันทร์กระจ่าง ปราณี เลิศสุทธิวงค์ กฤษณา ศิรเลิศมุกุล ปราณี รัตนวลีดิโรจน์และสุทธิรัตน์ ลิศนันท์. 2546. **การศึกษาและวิเคราะห์สถานภาพของโรงงานผู้ผลิตและตลาดการใช้ไคตินและไคโตซาน**. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC).

อรวรรณ ชินราศรี. 2547. **เทคโนโลยีการผลิตสัตว์ปีก**. มหาสารคาม : สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

อัจฉริยา รักษ์รอด. 2549. **"ผลการเสริมสารไคโตซานในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตคุณภาพไข่และปริมาณคอเลสเตอรอล."** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร.

อาวุธ ตันโช. 2538. **การผลิตสัตว์ปีก**. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร : โอ. เอส. พริ้นติ้งเฮ้าส์.

อเนก สีเขียวสด. 2548. **คัมภีร์การเพาะเลี้ยงสัตว์ปีกเศรษฐกิจเชิงพาณิชย์ : นกกระทา**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ วีทีเอส.

Anderson, K.E., Davis, G.S. and Hudson, S. 2001. "Effect of Dietary Chitosan on Production Characteristics and Egg Proportions and Quality from Commercial White Egg Laying Strains." **Poultry Science Supplement.** 80 : 88. (Abstr.)

Anonymous. 2005. **Chitosan**. [Online]. Available : http://www.laughteraid.net/chito5.jpg. 16/12/ 2006.

AOAC. 1995. **Official method of Analysis of Association of Official Analysis Chemists.** 16th ed. Washington D.C.

Arai, K., Kinumaki, T. and Fujita, T. 1968. **On the Toxicity of Chitosan**. Bulletin of the Tokai Regional Fisheries Research Laboratory No. 56 : 889.

Austin, P.R., Brine, C.J., Castle, J.E. and Zikakis, J.P. 1981. "Chitin : New Facets of Research." **Science**. 12 : 749-753.

Bitman, J. and Wood, D.L. 1980. "Cholesterol and Cholesteryl esters of Egg from Various Avian Species." **Poultry Science**. 59 : 2014-2023.

Chiou, M.S. and Li, H.Y. 2003. "Adsorption Behavior of Reactive Dye in Aqueous Solution on Chemical Cross-Linked Chitosan Beads." **Chemosphere**. 50(8) : 1095-1105.

Dalwoo, B.L.S. 2003. **Remarkable Feature of Chitosan Oligosaccharide**. [Online]. Available : http://www.dalwoo.com. 16/12/2006.

Davis, G.S., Anderson, K.E. and Hudson, S. 2001. **The effects of dietary chitosan on production characteristics in table egg pullets and laying hen**. [Online]. Available : http://www.poultryscience.org/abs00/00psab21.pdf. 16/12/2006.

Decuchi, K., Kanauchi, O., Imasato, Y. and Kobayashi, E. 1994. "Decreasing Effect of Chitosan on the Apparent Fat Digestibility by Rat Fed on a High-Fat Diet."

Bioscience Biotechnology and Biochemistry. 9 : 1613-1616. (Abstr.)

Domard, A. and Chaussard, G. 2002. "New Approach in the Study of the Production of Chitosan from Squid Pens : Kinetics, Thermodynamic and Structural Aspects." **Advances in Chitin Science**. 5 : 1-5.

Dunn, Q., Li, E.T., Grandmaison, E.W. and Goosen, M.F.A. 1997. **Applications and Properties of Chitosan**. Applications of Chitin and Chitosan. Pennsylvania : Technomic Pubishing.

Esaiassen, M. 1996. **Chitinolytic Enzymes from Northern Shrimp Pandalus borealis**. Tromso University : Norway.

Filar, L.J. and Wirick, M.G. 1978. **Bulk and Solution Properties of Chitin/Chitosan**. Cambridge.

Gagne, N. and Simpson, B.K. 1993. "Use of Proteolytic Enzymes to Facilitate the Recovery of Chitin from Shrimp Wastes." **Food Biotechnology**. 7(3) : 253-263.

Gallaher, C.M., Manion, J., Hesslink, R. and Wise, J. 2000. "Cholesterol Reduction by Glucomannan and Chitosan is Mediated by Change in Cholesterol Absorption and Bile Acid and Fat Excretion." **Journal of Nutrition**. 130 : 2753-2759.

Hal, E. 2005. **Egg Shells as a Calcium Supplement**. [Online]. Available : http://www.regardingme.com/shells-calcium-supplement-a-4.html. 10/12/2006.

Hall, G.M. 2002. "Developments in the Biotechnological Treatment of Chitin and Chitosan." **Advances in Chitin Science**. 5: 25-29.

Han, L.K., Kimura, Y. and Okuda, H. 1999. "Reduction in Fat Storage During Chitin-Chitosan Treatment in Mice Fed a High-Fat Diet." **International Journal of Obesity**. 23(2) : 174 -179.

Hirano, S., Chitoshi, I., Haruyoshi, S., Yasutoshi, A., Isao, N., Naoki, K. and Toshihiso, K. 1990. "Chitosan as an Ingredient for Domestic Animal Feeds." **Journal of Agriculture and Food Chemistry**. 38 : 1214-1217.

Huang, R.L., Yin, Y.L., Wu, G.Y., Zhang, Y.G., Li, T.J., Li, L.L., Li, M.X., Tang, Z.R.,

Zhang, J., Wang, B., He, H. and Nie, X.Z. 2005. "Effect of Dietary Oligochitosan Supplementation on Ileal Digestibility of Nutrients and Performance in Broilers." **Poultry Science**. 84 : 1383-1388.

Jean, G.L. and Francine, G. 1993. "Some Effects of Chitosan on Liver Function in the Rat." **Endocrinology**. 132(3) : 1078-1084.

Jeuniaux, C. 1961. "Chitinase : An Addition to the List of Hydrolase in the Digestive Tract of Vertebrates." **Nature**. 192 : 135-136.

Johnson, E.L. and Peniston Q.P. 1982. **Utilization of Shellfish Waste for Chitin and Chitosan Production.** [Online]. Available : http://www.haworthpress.com/store/E-Text/View _EText.asp?. 16/12/2006.

Jung, W.K., Moon, S.H. and Kim, S.K. 2006. "Effect of Chitooligosaccharides on Calcium Bioavailability and Bone Strength in Ovariectomized Rats." **Life Sciences**. 78(9) : 970-976. (Abstr.)

Kanauchi, O., Deuchi, K., Imasato, Y. and Kobayashi, E. 1994. "Increasing Effect of a Chitosan and Ascorbic Acid Mixture on Fecal Dietary Fat Excretion." **Bioscience Biotechnology and Biochemistry.** 58(9) : 1617-1620

Knoor, D. 1984. "Use of Chitinous Polymera in Food." **Food Technology**. 38 : 85-97.

Kobayashi, S., Yoshiaki, T. and Itoh, H. 2006. "The Effects of Dietary Chitosan on Liver Lipid Concentrations in Broiler Chickens Treated with Propylthiouracil." **Poultry Science**. 43 : 162-166.

Koide, S.S. 1998. "Chitin-Chitosan : Properties , Benefit and Risks." **Nutrition Research**. 18(6) : 1091-1101.

Landes, D.R. and Bough, W.A. 1976. "Effects of Chitosan a Coagulating Agent for Food Processing Wastes in the Diets of Rats on Growth and Liver and Blood Composition." **Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology**. 15(5) : 555-563.

Lertsutthiwong, P., NG, C.H., Chandrkrachang, S. and Stevents, W.F. 2002. "Effect of

Chemical Treatment on the Characteristics of Shrimp Chitosan." **Journal of Metals, Materials and Minerals**. 12(1) : 11-18.

Lyndel, C. 2001. **Natural Care Handbook-Super Nutrients**. Dorling Kindersley Limited. London.

Mi, F.L., Shyu, S.S., Wu, Y.B., Lee, S.T., Shyong, J.Y. and Huang, R.N. 2001. "Fabrication and Characterization of a Sponge-Like Asymmetric Chitosan Membrane as a Wound Dressing." **Biomaterials.** 22 : 165-173.

Muzzarelli, R.A.A. 1977. **Chitin**. Pergamon Press. Oxford.

Pelletier, A. and Sygusch, J. 1990. "Purification & Characterization of Three Chitosanase Activities from *Bacillus Megaterium* P1." **Applied and Environmental Microbiology**. 56 : 844-848.

Myint, K.T., NG, C.H., Chandrkrachang, S. and Stevents, W.F. 2002. "Optimal Demineralization of Crab Shell Waste for Chitin Production." **Advances in Chitin Science**. 5 : 15-18.

No, H.K. and Meyer, S.P. 1997. **Preparation of Chitin and Chitosan**. Chitin Handbook. European Chitin Society, Torrette.

NRC. 1994. **Nutrient Requirements of Poultry**. 9 thed. Washington, D.C. : National Academy Press.

Place, R.A. 1996. **The Biochemical Basis and Ecological Significance of Chitin Digestion**. In : Chitin Enzymology.

Pranee, L. 2002. "Effects of Chemical Treatment on the Characteristics of Shrimp Chitosan." **Journal of Chemical and Minerals**. 12(1) : 11-18.

Rao, M.S., Munoz, J. and Stevens, W.F. 2000. "Critical Factors in Chitin Production by Fermentation of Shrimp Biowaste." **Applied Microbiology and Biotechnology**. 54 : 808-813.

Rao, M.S. and Stevens, W.F. 2005. "Chitin Production by Lactobacillus Fermentation of Shrimp Biowaste in a Drum Reactor and its Chemical Conversion to Chitosan."

Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 80(9) : 1080-1087.

Razdan, A. and Pettersson, D. 1994. "Effect of Chitin and Chitosan on Nutrient Digestibility and Plasma Lipid Concentration in Broiler Chickens." **British Journal of Nutrition.** 72(2) : 277-288.

Razdan, A., Pettersson, D. and Pettersson, J. 1997. "Broiler Chicken Body Weights, Feed Intakes, Plasma Lipid and Small Intestinal Bile Acid Concentration in Response to Feeding of Chitosan and Pectin." **British Journal of Nutrition.** 78(2) : 283-291.

Robert, S. 2007. **Japanese or Coturnix Quail.** [Online]. Available : http://www.feathersite .com/Poultry/NDG/Quail/JapQ/BRKJapQ.html. 16/12/2006.

Seong, H.S., Kim, J.P. and Ko, S.W. 1999. "Preparation Chito -Oligosaccharides as Antimicrobial Agents for Cotton." **Textile Research Journal.** 69(7) : 483-488.

Shahidi, F., Kamil, J., Arahchi, V. and Jeon, Y. 1999. "Food Applications of Chitin and Chitosans." **Trends in Food Science and Technology.** 10 : 37-51.

Shi, B.L., Li D.F., Piao, X.S. and Yan, S.M. 2005. "Effects of Chitosan on Growth Performance and Energy and Protein Utilization in Broiler Chickens." **British Poultry Science.** 46(4) : 516-519.

Spagna, G., Pifferi, P.G., Rangoni, C., Mattivi, F., Nicolini, G. and Palmonari, R. 1996. "The Stabilization of White Wines by Adsorption of Phenolic Compounds on Chitin and Chitosan." **Food Research International.** 29(3) : 241-248.

Stevens, W.F. 2002. "Production and Storage of High Quality Chitosan from Shrimp, Crab and Fungus." **Advances in Chitin Science. 5** : 6-11.

Sturkie, P.D. 1986. **Body Fluids : Blood. Avian Physiology.** 4th ed. Springer- Verlag.

Sugano, M., Fujikawa, T., Hiratsuji, Y., Nakashima, K., Fukuda, N. and Hasegawa, Y. 1980. "A Novel Use of Chitosan as a Hypocholesterolemic Agent in Rat." **American Journal of Clinical Nutrition.** 33(4) : 787-793. (Abstr.)

Tsai, G.J., Su, W.H., Chen, H.C. and Pan, C.L. 2002. "Antimicrobial Activity of Shrimp Chitin and Chitosan from Different Treatment and Applications of Fish

Preservation." **Fisheries Science**. 68(1) : 170-177.

Vrzhesinskaia, O.A., Filimonova, I.V., Kodentsova, O.V., Beketova, N.A. and Kodentsova, V.M. 2005. "Influence of Chitosan Feeding of Laying Hen on Egg Vitamin and Cholesterol Content." **Voprosy Pitaniia**. 74(3) : 28-31. (Abstr.)

Wei, T. 2003. **Chitosan and Immunochemish, Resisting Weary**. [Online]. Available : http://www.haima-tech.com/doce/hm2-3.html. 23/01/2006.

William, J.H. 1996. **Chitosan**. Woodland Publishing Inc.

Xiaozen, M. 2001. "Effect of Chitosan on Growth Performance and Lipid Metabolism of Male Broiler Chickens." **Fujian Journal of Agricultural Sciences**. 16(4) : 30-34. (Abstr.)

Yabuki, M., Mizushina, K., Amatatsu, T., Ando, A., Fujii, T., Shimada, M. and Yamashita M. 1986. "Purification and Characterization of Chitinase and Chitobiase Produced by *Aeromonas hydrophila* subsp. *Anaerogenes* A52." **Journal of General and Applied Microbiology**. 32 : 25-38.

Yoon, O.S. and Hyung, C.S. 2004. **Interaction of Breed by Chitosan Supplementation on Growth and Feed Efficiency at Different Supplementing Ages in Broiler Chickens.** [Online]. Available : http://www.fass.org/2004/abstracts/7.PDF. 18/02/2006.

Zapata, J.F.F., Nogueira, C.M., Fuentes, M.F.F., Freitas, E.R. and Aguiar, C.M. 2004. **Effect of Shark Cartilage and Chitosan Added to Hen Diets on Egg Yolk and Plasma Lipids.** [Online]. Available : http://www.ift.confex.com/ift/99annual/techprogram/abstracts/3888.htm-3k-. 16/12/2006.

Zofia, T., Aleksandra, B.R., Danuta, S., Alicja, D., Alojzy, R. and Bogumia, P. 2003. "Effects of Chitosan on Selected Production Characteristics and Hatching Success of the Pharaqh Quail." **Animal Husbandry.** 6(2) : 214-223.

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 แสดงอุณหภูมิสูงสุดต่ำสุดและความชื้นสัมพันธ์แต่ละช่วงของวันตลอดระยะเวลาการเลี้ยงนกกระทา

สัปดาห์ที่	อุณหภูมิ		ความชื้นสัมพันธ์		ความชื้นสัมพันธ์เฉลี่ย
	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	
1	29.14	32.43	62.71	56.29	59.50
2	28.29	32.43	70.43	61.14	65.79
3	29.86	33.14	65.14	59.14	62.14
4	28.00	30.71	71.43	58.86	65.14
5	27.71	31.29	72.14	57.71	64.93
6	29.00	31.43	69.43	58.00	63.71
7	28.71	32.29	67.00	56.00	61.50
8	29.71	33.43	63.29	55.86	59.57
9	28.14	31.86	71.71	60.71	66.21
10	27.71	31.57	72.86	63.14	68.00
11	28.14	32.29	67.71	57.71	62.71
12	29.00	31.86	66.43	60.57	63.50

ตารางที่ ก.2 แสดงราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบ	ราคา (บาท/กิโลกรัม)
ข้าวโพด	5.80
รำละเอียด	5.34
กากถั่วเหลือง	12.50
ไลโตซาน	600.00
คลอเตตราซัยคลิน	1200.00
ปลาป่น	22.00
น้ำมันพืช	21.00
หินฝุ่น	1.50
เกลือ	2.50
ดีแอล-เมทไธโอนีน	110.00
พรีมิกซ์	55.00

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์การไข่ในนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.0843^{NS}	0.7498^{NS}	0.4693^{NS}	0.2807^{NS}	0.3850^{NS}
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		4.96	4.31	5.69	4.22	3.50

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กินในนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.4351^{NS}	0.4734^{NS}	0.3380^{NS}	0.4898^{NS}	0.4211^{NS}
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		5.19	4.00	4.08	4.01	3.37

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณโปรตีนที่ได้รับของนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.4350^{NS}	0.4730^{NS}	0.3376^{NS}	0.4894^{NS}	0.4220^{NS}
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		5.19	4.00	4.08	4.01	3.37

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณพลังงานที่ได้รับของนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.4350^{NS}	0.4735^{NS}	0.3381^{NS}	0.4898^{NS}	0.4217^{NS}
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		5.19	4.00	4.08	4.01	3.37

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ ข.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของมวลไข่ของนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.0469*	0.3167^{NS}	0.3238^{NS}	0.1190^{NS}	0.1072^{NS}
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		5.13	4.20	6.86	4.16	3.48

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ของนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.0644^{NS}	0.4228^{NS}	0.6516^{NS}	0.2269^{NS}	0.2963^{NS}
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		5.96	4.33	6.75	4.50	4.17

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ ข.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของต้นทุนค่าอาหารในการผลิตไข่ของนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.1002^{NS}	0.1523^{NS}	0.3930^{NS}	0.1962^{NS}	0.1684^{NS}
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		6.02	4.36	6.77	4.56	4.16

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ ข.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของอัตราการเลี้ยงรอดของนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.2012^{NS}	0.9395^{NS}	0.1910^{NS}	0.6282^{NS}	0.5524^{NS}
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		2.26	2.14	3.41	3.71	4.42

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ ข.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของน้ำหนักไข่นกกระทาทั้งฟองของนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.1807^{NS}	0.1697^{NS}	0.5186^{NS}	0.1311^{NS}	0.2690^{NS}
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		2.28	1.86	2.89	1.83	1.94

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ ข.10 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของน้ำหนักเปลือกไข่ของนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.2414^{NS}	0.9094^{NS}	0.6889^{NS}	0.7211^{NS}	0.6362^{NS}
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		3.26	3.23	3.53	2.50	2.50

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ ข.11 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของน้ำหนักไข่แดงของนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.1002^{NS}	0.1794^{NS}	0.0600^{NS}	0.0079**	0.1228^{NS}
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		4.16	2.76	3.09	2.22	2.17

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยยิ่งสำคัญทางสถิติ (P≤0.01)

ตารางที่ ข.12 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของน้ำหนักไข่ขาวของนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.5412^{NS}	0.1300^{NS}	0.0752^{NS}	0.4554^{NS}	0.5624^{NS}
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		2.61	2.53	3.53	2.24	2.57

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ ข.13 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความแข็งเปลือกไข่ของนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.0407*	0.9407^{NS}	0.9638^{NS}	0.2856^{NS}	0.3748^{NS}
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		5.21	8.83	7.85	5.10	4.56

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

ตารางที่ ข.14 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความหนาเปลือกไข่ของนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.0001**	0.1718^{NS}	0.2075^{NS}	0.0002**	0.5640^{NS}
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		2.21	2.79	2.54	2.44	3.01

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยยิ่งสำคัญทางสถิติ (P≤0.01)

ตารางที่ ข.15 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของ Haugh unit ของนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.9564^{NS}	0.4633^{NS}	0.9351^{NS}	0.9006^{NS}	0.9544^{NS}
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		1.56	0.96	1.18	1.15	1.02

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ ข.16 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของสีไข่แดงของนกกระทาแต่ละระยะ

SOV	df	7-10 สัปดาห์	11-14 สัปดาห์	15-18 สัปดาห์	7-14 สัปดาห์	7-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.1390^{NS}	0.1486^{NS}	0.0010**	0.0320*	0.0040**
ERROR	18					
TOTAL	23					
C.V.(%)		4.02	3.88	4.63	2.73	2.65

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยยิ่งสำคัญทางสถิติ (P≤0.01)

ตารางที่ ข.17 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณคอเลสเตอรอลรวมและเอชดีแอลคอเลสเตอรอลในซีรั่มของนกกระทาที่อายุ 18 สัปดาห์

SOV	df	คอเลสเตอรอลรวม	เอชดีแอลคอเลสเตอรอล
		P-Value	P-Value
FEED	5	0.9947^{NS}	0.1731^{NS}
ERROR	18		
TOTAL	23		
C.V.(%)		10.68	7.14

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ ข.18 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของนกกระทา

SOV	df	8 สัปดาห์	10 สัปดาห์	12 สัปดาห์	14 สัปดาห์	16 สัปดาห์	18 สัปดาห์	8-18 สัปดาห์
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.2323^{NS}	0.4098^{NS}	0.0336*	0.3209^{NS}	0.1957^{NS}	0.0001**	0.0001**
ERROR	18							
TOTAL	23							
C.V.(%)		3.01	5.11	3.57	3.70	5.90	2.58	1.63

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยยิ่งสำคัญทางสถิติ (P≤0.01)

ตารางที่ ข.19 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการย่อยได้ของโภชนะในนกกระทาอายุ 19 สัปดาห์

SOV	df	ความชื้นในมูล	วัตถุแห้งในมูล	การย่อยได้ของวัตถุแห้ง	โปรตีนในมูล	การย่อยได้ของโปรตีน	NPU
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.3529^{NS}	0.2095^{NS}	0.3531^{NS}	0.1449^{NS}	0.3265^{NS}	0.2339^{NS}
ERROR	18						
TOTAL	23						
C.V.(%)		13.08	13.32	12.63	5.70	7.50	10.13

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ ข.20 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการย่อยได้ของโภชนะในนกกระทาอายุ 19 สัปดาห์

SOV	df	ไขมันในมูล	การย่อยได้ของไขมัน	เยื่อใยในมูล	การย่อยได้ของเยื่อใย	พลังงานในมูล	พลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏ
		P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value	P-Value
FEED	5	0.0001**	0.0022**	0.9865^{NS}	0.1259^{NS}	0.0001**	0.0036**
ERROR	18						
TOTAL	23						
C.V.(%)		9.77	1.29	4.20	13.96	1.91	2.15

^{NS} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยยิ่งสำคัญทางสถิติ (P≤0.01)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาววรลักษณ์ เทียมเก่า
วัน เดือน ปีเกิด	12 กรกฎาคม 2525 ที่จังหวัดฉะเชิงเทรา
ที่อยู่	117/64 หมู่ 4 ต.พลูตาหลวง อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี 20180 โทร.038-722216
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสิงห์สมุทร จ.ชลบุรี มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชรังสฤษฎิ์ จ.ฉะเชิงเทรา อุดมศึกษา (ปริญญาตรี) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คณะเกษตรศาสตร์ บางพระ จ.ชลบุรี
ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์	วรลักษณ์ เทียมเก่า สุชีพ สุขสุแพทย์ และรณชัย สิทธิไกรพงษ์. 2551. ผลการเสริมสารไคโตซานในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ของนกกระทาญี่ปุ่น. การประชุมวิชาการสัตวศาสตร์ ครั้งที่ 4 ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (โปสเตอร์)