



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

ตัวบาล

ตัวบาล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของการเสริมน้ำมันรำข้าวคั่วผสมกากขมิ้นชันต่อสมรรถภาพการผลิต ไขมันไข่แดง และพลาสมา และค่าทางโลหิตวิทยาในไก่ไข่

Effects of Dietary Supplementation of Crude Rice Bran Oil and Turmeric Meal Mixation on Productive Performance, Yolk and Plasma Lipid and Hematological Values in Laying Hens

นามผู้วิจัย นายเชษฐาญ เพ็ชรนิล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ดวงสมร สีนเจิมศิริ, วท.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์นริศน์ กองรัตนานันท์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์สุนันทา รัตนโก, ประ.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชัยภูมิ ปัญชาศักดิ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบสันทิ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการเสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขมิ้นชันต่อสมรรถภาพการผลิต
ไขมันในไข่แดงและพลาสมา และค่าทางโลหิตวิทยาในไก่ไข่

Effects of Dietary Supplementation of Crude Rice Bran Oil and Turmeric Meal Mixation on
Productive Performance, Yolk and Plasma Lipid and Hematological Values in Laying Hens

โดย

นายเชี่ยวชาญ เพ็ชรนิล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เชี่ยวชาญ เพ็ชรนิล 2553: ผลของการเสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันชั้นต่อสมรรถภาพการผลิต
ไขมันในไข่แดงและพลาสมา และค่าทางโลหิตวิทยาในไก่ไข่ ปรินญาวิทยาสตรมหาบัณฑิต
(เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาสัตวบาล ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์ดวงสมร สีนเจิมสิริ, วท.ม. 110 หน้า

การศึกษาผลของการเสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันชั้นที่มีต่อสมรรถภาพการผลิต ไขมันในไข่
แดงและพลาสมา และค่าทางโลหิตวิทยาในไก่ไข่ โดยใช้ไก่ไข่สายพันธุ์ลูกผสมทางการค้า Hisex Brown เพศ
เมีย อายุ 28 สัปดาห์ จำนวน 288 ตัว เลี้ยงในกรงคับกรงละจำนวน 4 ตัว ภายในโรงเรือนแบบปิดที่มีระบบ
ควบคุมอุณหภูมิและสภาพแวดล้อม แบ่งไก่ทดลองออกเป็น 6 กลุ่มๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละจำนวน 16 ตัว กลุ่มที่ 1
กลุ่มควบคุม ได้รับอาหารสูตรมาตรฐานสำหรับไก่ไข่ระยะไข่ กลุ่มที่ 2 ได้รับอาหารสูตรควบคุมเสริมด้วย
น้ำมันรำข้าวดิบ 3 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ 3 ได้รับอาหารสูตรควบคุมเสริมน้ำมันรำข้าวดิบ 3 เปอร์เซ็นต์ผสม
Butylated hydroxytoluene (BHT) ระดับ 125 ppm กลุ่มที่ 4, 5, และ 6 ได้รับอาหารสูตรควบคุมเสริมน้ำมันรำ-
ข้าวดิบ 3 เปอร์เซ็นต์ผสมกากขี้มันชั้น 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับคั้งที่ ไก่ทดลองทุกกลุ่มได้รับอาหาร
และน้ำตลอดเวลาและได้รับแสงวันละ 16 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ตลอดระยะเวลาการทดลองอาหาร
ทดลองไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพไข่และเปลือกไข่ อย่างไรก็ตามไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมน้ำมันรำข้าวดิบ
ผสมกากขี้มันชั้นทั้งสามกลุ่มมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวและผลผลิตไข่ต่ำกว่าไก่กลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ
($P < 0.05$) ระดับความเข้มข้นของคอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำใน
พลาสมา รวมทั้งคอเลสเตอรอลในไข่แดงของไก่ทั้งสามกลุ่มดังกล่าวต่างก็มีค่าเท่ากับของไก่กลุ่มควบคุม
($P > 0.05$) การเสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันชั้นในอาหารไม่มีผลกระทบต่อค่าฮีมาโตคริต ค่าอัตรา-
ส่วนระหว่างเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลต่อลิมโฟไซต์ และค่าเคลเซียมไอออนในพลาสมา
ของไก่ทดลอง ($P > 0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณอาหารที่กิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่และระดับของมา-
ลอนไดแอลดีไฮด์ในพลาสมาของไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันชั้น 6 เปอร์เซ็นต์
มีค่าสูงกว่าของไก่กลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าไก่กลุ่มที่ได้รับอาหาร
เสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันชั้น 2 เปอร์เซ็นต์มีค่าฟอสโฟลิพิดในไข่แดงและในพลาสมาสูงกว่าของไก่
กลุ่มควบคุมในขณะที่ไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันชั้น 4 เปอร์เซ็นต์มีค่าไลโป-
โปรตีนชนิดความหนาแน่นสูงสูงกว่าไก่กลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

จากการทดลองนี้ได้ข้อสรุปว่าการเสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันชั้นในอาหารไก่ไข่มีผลต่อ
น้ำหนักตัว ปริมาณอาหารที่กิน และผลผลิตไข่ ในขณะที่คุณภาพไข่และเปลือกไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง
และการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันไม่ได้รับผลกระทบแต่อย่างใด

Chiewcharn Petnin 2010: Effects of Dietary Supplementation of Crude Rice Bran Oil and Turmeric Meal Mixation on Productive Performance, Yolk and Plasma Lipid and Hematological Values in Laying Hens. Master of Science (Agriculture), Major Field: Animal Science, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Associate Professor Duangsmorn Sinchermsiri, M.Sc. 110 pages.

An investigation was conducted to determine the effect of dietary supplementation of crude rice bran oil and turmeric meal mixture on productive performance, yolk and plasma lipids and hematological values in laying hens. Two hundred and eighty eight of Hisex Brown hens, 28 weeks of age, were raised in cages (4 birds per cage) situated in an evaporative cooling system laying shed. The birds were divided into 6 groups, each group represented by 3 replications, consisting of 16 birds each, and exposed to a sixteen hour photoperiod daily (16L:8D). Group 1 served as the control group, was allocated with a standard commercial layer diet. Group 2 (3%RBO) was placed on the control diet added with 3% crude rice bran oil whereas group 3 (3%RBO+BHT) was provided with the control diet supplemented with the mixture of 3% crude rice bran oil and 125 ppm of butyrate hydroxytoluene. The birds in groups 4 (3%RBO+2%TM), 5 (3%RBO+4%TM) and 6 (3%RBO+6%TM) received the control diet contained the mixture of 3% crude rice bran oil and turmeric meal that varied in turmeric meal concentrations at the level of 2%, 4% and 6 % in the diet, respectively. Feed and drinking water were available at all times. Throughout the trial, egg and eggshell quality was not affected by the experimental diets. However, a significant reduction in body weight and egg production were observed in the 3%RBO+2%TM, 3%RBO+4%TM, and 3%RBO+6%TM groups as compared to those of the control group ($P<0.05$). Plasma level of cholesterol, triglyceride and low density lipoprotein including of yolk cholesterol of the birds in the three groups were comparable to those of the control bird group ($P>0.05$). Inclusion of crude rice bran oil and turmeric meal mixture in the diet did not have deleterious effects on heterophil and lymphocyte ratios, hematocrit and plasma ionized calcium. Nevertheless, feed consumption, feed conversion ratios and plasma malondialdehyde concentrations of the birds in the 3%RBO+6%TM group were significantly greater than those of the control birds ($P<0.05$). In addition, yolk and plasma phospholipids of the birds in the 3%RBO+2%TM group were significantly increased whereas an increase in plasma high density lipoproteins was found in the 3%RBO+4%TM group ($P<0.05$).

In conclusion, supplementation of crude rice bran oil and turmeric meal mixture in layer rations adversely affects body weight, feed intake, egg production and plasma malondialdehyde concentrations, except for egg and eggshell quality, yolk cholesterol and immunity status.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ดวงสมร สีนเจิมสิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำแนะนำ อบรม สั่งสอนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่ และเป็นแบบอย่างที่ดีแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นิรัตน์ กองรัตนานันท์ และรองศาสตราจารย์ ดร.สุนันทา รัตนโก คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร อีสริโยคม ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยและประธานการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ไพโชค ปัญจะ ผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาสัตวบาลทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน และให้การถ่ายทอดความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรวรรณ อมรศักดิ์ ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ที่ให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ ตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ โรงงานสกัดสมุนไพร องค์การเภสัชกรรม กระทรวงสาธารณสุข ที่ให้ความอนุเคราะห์กากขมิ้นชันในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณจิระเดช ธรรมบุญรักษ์ ที่สนับสนุนอุปกรณ์การทำวิจัย ตลอดจนนิสิตปริญญาโท-เอก ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เจ้าหน้าที่และคนงานฟาร์มไก่หลวงสุวรรณวาจกกสิกิจ ที่คอยช่วยเหลือข้าพเจ้าในการทำวิจัยมาโดยตลอด

ด้วยความดีและประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอกราบขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความรัก ดูแลเอาใจใส่ และอบรมสั่งสอนให้การศึกษา

เชี่ยวชาญ เพ็ชรนิล

มกราคม 2553

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์ผล	46
สรุปและข้อเสนอแนะ	73
สรุป	73
ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	75
ภาคผนวก	94
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	110

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ปริมาณโภชนะในกากขี้มันชันจากการวิเคราะห์	42
2 ส่วนประกอบของวัตถุดิบในอาหารทดลองและต้นทุนราคาอาหาร	43
3 ปริมาณโภชนะในอาหารทดลองจากการคำนวณ	44
4 ปริมาณโภชนะในอาหารทดลองจากการวิเคราะห์	44
5 ค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการผลิตของไก่ทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง	48
6 ค่าเฉลี่ยคุณภาพไข่ของไก่ทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง	57
7 ค่าเฉลี่ยไขมันในพลาสมาของไก่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง	60
8 ค่าเฉลี่ยไขมันในไข่แดงของไก่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง	64
9 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าทางโลหิตวิทยา แคลเซียมไอออนและความเข้มข้นของมาลอนไดแอลดีไฮด์ในพลาสมาของไก่ทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	68
 ตารางผนวกที่	
1 อุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในโรงเรือนไก่ไข่ระหว่างทำการทดลอง	109

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน	50
2	เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่	50
3	ต้นทุนราคาอาหารทดลองต่อกิโลกรัม	54
4	ต้นทุนการผลิตไข่ต่อกิโลกรัม	54
5	ปริมาณไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDL) ในพลาสมาของไก่ทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	62
6	ปริมาณฟอสโฟลิพิดในพลาสมาของไก่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง	63
7	ความเข้มข้นของมาลอนไดอัลดีไฮด์ในพลาสมา	72
ภาพผนวกที่		
1	ลักษณะกายภาพของน้ำมันรำข้าวคืบ	108
2	ลักษณะกายภาพของกากขี้มันชั้น	108

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BHA	=	Butylate hydroxyl anisole
BHT	=	Butylated hydroxytoluene
DHA	=	Docosahexaenoic acid
DNA	=	Deoxyribonucleic acid
EPA	=	Eicosapentaenoic
GE	=	Gross energy
HDL	=	High density lipoprotein
HMG CoA	=	Hydroxymethyl glutaryl CoA
HPLC	=	High performance liquid chromatography
LDL	=	Low density lipoprotein
MDA	=	Malondialdehyde
ME	=	Metabolizable energy
PG	=	Propylgallate
PUFA	=	Poly unsaturated fatty acid
TBHQ	=	Tert – butylhydroquinone
TBA	=	Thiobarbituric acid
VLDL	=	Very low density lipoprotein
VS.	=	Versus

ผลของการเสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขมิ้นชันต่อสมรรถภาพการผลิต
ไขมันในไข่แดงและพลาสมา และค่าทางโลหิตวิทยาในไก่ไข่

Effects of Dietary Supplementation of Crude Rice Bran Oil and Turmeric Meal
Mixation on Productive Performance, Yolk and Plasma Lipid and
Hematological Values in Laying Hens

คำนำ

น้ำมันและไขมันเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ เนื่องจากมีพลังงานสูง และเป็นตัวทำละลายวิตามินที่ละลายในไขมัน น้ำมันพืชเป็นอาหารให้พลังงานอย่างหนึ่งที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน มีหลายชนิดซึ่งขึ้นอยู่กับพืชที่ใช้ผลิต เช่น น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันงา น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง ฯลฯ ส่วนน้ำมันรำข้าวดิบเป็นน้ำมันพืชที่ใช้ร่ำสดผ่านกระบวนการแยกเอาน้ำมันออก น้ำมันรำข้าวดิบเป็นน้ำมันที่มีสารอินทรีย์สำคัญหลายชนิดประกอบอยู่และมีกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย แต่กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย ถึงแม้ว่าน้ำมันรำข้าวดิบจะมีสารอินทรีย์ คือ โทโคเฟอรอล (tocopherol) โทโคไตรเอนอล (tocotrienol) และโอริซานอล (oryzanol) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่มีในปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารกันหืนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเป็นสารสังเคราะห์ ได้แก่ Butylate hydroxyl anisole (BHA), Butylated hydroxytoluene (BHT), Propylgallate (PG) และ Tert - butylhydroquinone (TBHQ) Tamano *et al.* (1998) รายงานว่าถ้าร่างกายมนุษย์หรือสัตว์ได้รับสารกันหืนสังเคราะห์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานจะสะสมในร่างกายและเป็นสาเหตุทำให้เกิดความผิดปกติของเซลล์ เกิดเป็นเนื้องอกและกลายเป็นเนื้อร้ายหรือมะเร็งในเซลล์ของร่างกาย ปัจจุบันมีการตระหนักถึงความปลอดภัยของสุขภาพมากขึ้น ดังนั้นจึงให้ความสนใจมาใช้สารจากธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเป็นสารกันหืนแทนสารสังเคราะห์ในอาหาร เช่น สารฟลาโวนอยด์ (flavonoid) สารประกอบฟีนอลิก (phenolic) วิตามินอี (vitamin E) วิตามินซี (vitamin C) กรดอินทรีย์ต่างๆ และสารเคอร์คิวมินอยด์ (curcuminoid) เป็นต้น ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพของร่างกาย แต่การที่จะนำสารสกัดจากธรรมชาติมาใช้เป็นสารกันหืนอาจมีราคาแพง ดังนั้นจึงมุ่งเน้นไปที่ส่วนเหลือทิ้งจากขบวนการสกัดของโรงงาน และกากขมิ้นชันก็เป็นสิ่งที่เหลือจากการสกัดสมุนไพรขมิ้นชัน ซึ่งมีสารเคอร์คิวมินอยด์เหลืออยู่ประมาณ 0.21 เปอร์เซ็นต์

ด้วยเหตุนี้จึงทำการศึกษานำกากขมิ้นชันมาใช้ผสมกับน้ำมันรำข้าวดิบและใช้เป็นวัตถุดิบในการประกอบสูตรอาหารไก่ไข่ เพื่อดูผลที่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ ค่าไขมันในไข่แดง และค่าทางโลหิตวิทยา และเพื่อเป็นแนวทางของการใช้ประโยชน์ส่วนเหลือทิ้งของโรงงานสกัดจากสมุนไพรในการเลี้ยงสัตว์ต่อไป



วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันรำข้าวดิบที่ผสมกับกากขมิ้นชัน เปรียบเทียบกับการใช้สารกันหืนสังเคราะห์ในสูตรอาหารไก่ไข่ ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ การเปลี่ยนแปลงค่าไขมันในพลาสมาและไข่แดงของไก่ไข่
2. เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันรำข้าวดิบที่ผสมกับกากขมิ้นชัน เปรียบเทียบกับการใช้สารกันหืนสังเคราะห์ในสูตรอาหารไก่ไข่ ต่อระดับการเกิดปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของไขมัน (malondialdehyde, MDA) ในพลาสมา
3. เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันรำข้าวดิบที่ผสมกับกากขมิ้นชัน ต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน และการเปลี่ยนแปลงของค่าการอัดแน่นของเม็ดเลือดแดง (hematocrit)
4. เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันรำข้าวดิบที่ผสมกับกากขมิ้นชันต่อระดับของแคลเซียมไอออนในพลาสมา

การตรวจเอกสาร

ไขมัน

ไขมันเป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ทำละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดไม่มีประจุ (non polar) เช่น อีเทอร์ (ether) คลอโรฟอร์ม (chloroform) เบนซีน (benzene) เฮกเซน (hexane) ไดเอทิลอีเทอร์ (diethylether) และชนิดที่มีประจุเล็กน้อย (slightly polar) เช่น แอลกอฮอล์ (alcohol) และแอซิโตน (acetone) ยกเว้นกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น กรดบิวทีริก (butyric acid) จะละลายได้ในน้ำ (Pond *et al.*, 2005)

ไขมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่พบได้ในอาหาร ทั้งที่ได้มาจากพืชและสัตว์ เป็นสารอาหารที่มีพลังงานสูง 9 กิโลแคลอรี/กรัม ไขมันในอาหารเป็นแหล่งวิตามินที่ละลายในไขมันบางชนิด ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค นอกจากนี้มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยร่างกายเก็บสะสมไขมันไว้ในเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) บริเวณใต้ผิวหนัง เพื่อเป็นแหล่งสะสมพลังงานและจะช่วยทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนและความเย็นของร่างกาย ไขมันบางชนิดเป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อประสาท บางชนิดร่วมกับโปรตีนเป็นไลโปโปรตีน (lipoprotein) และบางชนิดเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) และออร์แกเนลล์ (organell) ต่างๆ เช่น ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) และไซโทพลาสซึม (cytoplasm; นิธิยา, 2551)

การจำแนกไขมัน

การจำแนกไขมันตามโครงสร้างทางเคมี

สาโรช (2547) อธิบายโครงสร้างทางเคมีของไขมันโดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ไขมันโครงสร้างง่าย (simple lipids) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์บางชนิดซึ่งรวมไขมันชนิดย่อยๆ เช่น ไตรเอซิลกลีเซอรอล และ ไขผึ้ง เป็นต้น และไขมันประกอบ (compound lipids) ซึ่งเป็นไขมันที่มีสารอื่นรวมในโมเลกุล เช่น ไกลโคลิพิด (glycolipid) ฟอสโฟลิพิด ตัวอย่างเช่น เลซิทีน (lecithins) เซฟาลิน (cephalins) และ ลิโพสิทอล (lipositols) ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์ที่กลุ่มไฮดรอกซิล (hydroxyl) ของกลีเซอรอลกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งทำปฏิกิริยากับ

กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) และไนโตรเจนเบส (nitrogenous base) เช่น โคลีน (choline) เอทานอลามีน (ethanolamine) หรือ เซรีน (serine) และนอกจากนี้ไขมันประกอบ เช่น ไกลโคลิปิด (glycolipid) และ ไลโปโปรตีน ประกอบด้วย โปรตีน ไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิพิด และ คอเลสเตอรอล (ประดิษฐ์, 2538) ตัวอย่างเช่น ไคโลไมครอน (chylomicron) ไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาก (very low density lipoprotein, VLDL) ไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density lipoprotein, LDL) และ ไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density lipoprotein, HDL) และไขมันที่มีโครงสร้างเป็นอนุพันธ์ของไขมัน (derived lipids) ซึ่งเป็นองค์ประกอบย่อยของไขมันโครงสร้างง่ายและไขมันประกอบ ได้แก่ กรดไขมัน (fatty acid) สเตอโรยด์ (steroids) เช่น คอเลสเตอรอล วิตามินดี คอร์ติซอล (cortisol) กรดน้ำดี และฮอร์โมนเพศต่างๆ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เป็นสารกลุ่มเทอร์พีน (terpenes) มีไฮโดรเจนและคาร์บอนในรูป ไอโซพรีน (isoprene) เป็นองค์ประกอบ ตัวอย่างเช่น น้ำมันการบูร และเบต้าแคโรทีน (นัยนา, 2545; Pond *et al.*, 2005)

การจำแนกไขมันตามคุณสมบัติทางเคมี

สาโรช (2547) อธิบายคุณสมบัติทางเคมีของไขมันโดยได้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ไขมันที่เป็นกลาง (neutral lipids) ไขมันกลุ่มนี้มีคุณสมบัติเป็นกลาง เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 อนุ กับกลีเซอรอล 1 อนุ รวมถึงไขมันที่กรดไขมัน 1 หรือ 2 อนุ ทำปฏิกิริยาได้เป็น มอนอ (mono) หรือ ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) และคุณสมบัติของไขมันที่เป็นขั้วลบและขั้วบวก (amphiphilic lipids) ไขมันกลุ่มนี้มีสมบัติเป็นสองชั้น (bilayers) เนื่องจากส่วนประกอบของโมเลกุลมีทั้งที่มีขั้วซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำ และไม่มีขั้วซึ่งไม่ละลายในน้ำ ดังนั้นสารประกอบพวกฟอสโฟลิพิดจึงหมุนตัวอยู่บนผิวของสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า หรือบนผิวน้ำ หรือแทรกตัวอยู่ระหว่างของเหลว 2 ชนิดที่ไม่ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน สมบัติของฟอสโฟลิพิดเหล่านี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ ได้แก่ สฟิงโกไมอีลิน (sphingomyelins) และเลซิทีน (lecithin) (นิธิยา, 2551)

การจำแนกไขมันตามหน้าที่ในสิ่งมีชีวิต

นิธิยา (2551) อธิบายว่าไขมันซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต ซึ่งสามารถจำแนกหน้าที่ของไขมันในสิ่งมีชีวิตได้ดังนี้ คือ ไขมันที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสม

พลังงาน ซึ่งส่วนใหญ่สะสมอยู่ในร่างกาย จะอยู่ในรูปไตรกลีเซอไรด์ (Pond *et al.*, 2005) พบได้ตามเนื้อเยื่อต่างๆทั้งพืชและสัตว์ และเป็นแหล่งสะสมพลังงานให้แก่เซลล์ กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ที่ร่างกายสะสมไว้จะผันแปรตามชนิดของกรดไขมันในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่ได้รับจากอาหาร และไขมันที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง ได้แก่ ฟอสโฟลิพิด และคอเลสเตอรอล ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเยื่อเซลล์ (มนตรี และคณะ, 2542; Pond *et al.*, 2005) โครงสร้างของเนื้อเยื่อต่างๆในร่างกาย (soft tissue) และเนื้อเยื่อสมอง โดยชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบจะมีความสำคัญต่อชนิดของเนื้อเยื่อ ซึ่งมีความเฉพาะเจาะจงถึงแม้ว่าชนิดของกรดไขมันจะผันแปรตามชนิดและปริมาณอาหารที่ร่างกายได้รับก็ตาม แต่ร่างกายสามารถสังเคราะห์ไขมันบางชนิดได้เอง

คุณสมบัติของไขมันและน้ำมัน

นิธิยา (2551) อธิบายว่าไขมันและน้ำมันเป็นสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน แต่อาจมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสบ้าง ไขมันและน้ำมันมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของไขมันแต่ละชนิด โดยสามารถจำแนกคุณสมบัติของไขมันออกได้เป็นคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ดังนี้

คุณสมบัติทางกายภาพ

นิธิยา (2551) อธิบายว่าคุณสมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันจะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่างๆที่ประกอบเป็นไขมันและน้ำมันนั้นๆ คุณสมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันที่สำคัญ ได้แก่ จุดหลอมเหลว (melting point) ซึ่งเป็นช่วงของอุณหภูมิที่ทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวทั้งหมด ซึ่งช่วงอุณหภูมิจะกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับชนิดของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบของไขมัน และคุณสมบัติอีกประการหนึ่ง คือ จุดแข็งตัวของไขมัน (solidifying point) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นของแข็ง อุณหภูมินี้มักจะต่ำกว่าจุดหลอมเหลว 2-3 องศาเซลเซียส และนอกจากนั้นคุณสมบัติการละลาย (solubility) ของไขมันและน้ำมันทุกชนิดพบว่าไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายไขมัน เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ คลอโรฟอร์ม แอซิโตน เบนซีน เอทิลแอลกอฮอล์ (ethylalcohol) เป็นต้น (Pond *et al.*, 2005) และการละลายของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและอยู่ในตัวทำละลายที่มี

คุณสมบัติไม่ละลายน้ำ (hydrophobic) แต่การละลายของกรดไขมันจะลดลงในตัวทำละลายชนิดที่ละลายน้ำ (hydrophilic) และคุณสมบัติอีกประการหนึ่งที่ทำให้ไขมันหรือน้ำมันมีความแตกต่างกันทางกายภาพ คือ ความหนืด (viscosity) ของไขมันและน้ำมันเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบระบบการขนถ่ายไขมันและน้ำมัน ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น และคุณสมบัติทางกายภาพประการสุดท้ายของน้ำมันหรือไขมันที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนที่สุด คือ สี (color) ของไขมันหรือน้ำมัน ซึ่งไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับรงควัตถุที่ปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของไขมัน และวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสีน้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพที่ดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม หากรงควัตถุตามธรรมชาติของน้ำมันเป็นสารแคโรทีนไม่ควรกำจัดออกเพราะจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับน้ำมัน (ชัยวัฒน์, 2531)

คุณสมบัติทางเคมี

นิธิยา (2551) อธิบายว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงของไขมันจากปฏิกิริยาทางเคมี ส่งผลให้ไขมันมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไปจากเดิม ซึ่งสามารถแบ่งการเกิดปฏิกิริยาได้เป็น 4 ชนิด คือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการสลายพันธะด้วยน้ำ ไขมันและน้ำมันสามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยกรด ด่าง และเอนไซม์ การไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง เรียกว่า saponification ซึ่งจะได้เกลือของกรดไขมันที่เรียกว่าสบู่ ไขมันที่ถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยด่าง เรียกว่า saponifiable matter เช่น ไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิพิด และแว็กซ์ (waxes) ส่วนไขมันที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง เรียกว่า unsaponifiable matter หรือ non saponifiable matter เช่น ไฮโดรคาร์บอน และสเตอรอล และจากนั้นปฏิกิริยาที่เกิดจากการเติมสารต่างๆเข้าไปแล้วส่งผลให้ไขมันมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี (ชัยวัฒน์, 2531) คือ ปฏิกิริยาฮาโลจิเนชัน (halogenation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเติมสารพวกฮาโลเจนเข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมัน สารพวกฮาโลเจนที่นิยมใช้เป็นตัวชี้บอกปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัว คือ ไอโอดีน ค่าที่ได้เรียกว่า Iodine Number หรือ Iodine Value (I.N. หรือ I.V.) ซึ่งถ้ามีค่า Iodine Number สูง แสดงว่ามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่มากทำให้เกิดการหืนได้ง่าย และปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (hydrogenation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนเข้าไปที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในไขมันและน้ำมันในสถานะที่เหมาะสมและมีตัวเร่ง จึงทำให้น้ำมันซึ่งเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเปลี่ยนเป็นของแข็ง (ชัยวัฒน์, 2531) และปฏิกิริยาสุดท้าย คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) Nawar (1996) อธิบายว่าปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นระหว่างกรดไขมันไม่-

อิมตัวกับออกซิเจนและอนุมูลอิสระ (free radical) โดยมีแสงและความร้อนเป็นตัวเร่ง ได้เป็นสาร แอลดีไฮด์ (aldehyde) ทำให้มีกลิ่นหืน (rancidity) ทำให้คุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพของ ไขมันเปลี่ยนไป

การเสื่อมคุณภาพของไขมันและน้ำมันในอาหาร

ไขมันและน้ำมันเป็นสารประกอบที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของคนและสัตว์ ไขมันและ น้ำมันซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในอาหาร มักมีการเสื่อมคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา ส่งผลให้ เกิดกลิ่นเหม็นหืนและสารอาหารถูกทำลายด้วยอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค อีกด้วย ซึ่งกลิ่นเหม็นหืนในไขมันและน้ำมันสามารถเกิดขึ้นได้ดังนี้ (พรทวี, 2548)

กลิ่นที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลติกของน้ำมันและไขมัน

กลิ่นหืนชนิดนี้เกิดจากการไฮโดรไลซ์พันธะเอสเทอร์ของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้ได้เป็นกลี- เซอรอลและกรดไขมันอิสระทำให้เกิดกลิ่นหืนขึ้น แต่ปฏิกิริยานี้ไม่ค่อยมีความสำคัญมากนัก เนื่องจากกลิ่นหืนจะเกิดจากกรดไขมันอิสระโมเลกุลเล็กๆที่ระเหยได้เท่านั้น ปฏิกิริยานี้มีตัวเร่ง ปฏิกิริยา คือ อุณหภูมิ เอนไซม์ และความชื้น (Jadhav *et al.*, 1996) จึงสามารถป้องกันการเกิดกลิ่น หืนจากปฏิกิริยานี้ได้โดยการเก็บอาหารที่อุณหภูมิต่ำ มีการบรรจุและขนส่งที่ดี (ณัฐณี, 2546 อ้าง ถึง Hamilton, 1994)

กลิ่นหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน

ณัฐณี (2546) อ้างถึง Hamilton (1994) อธิบายว่ากลิ่นหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็น ปฏิกิริยาที่สำคัญเนื่องจากไม่สามารถป้องกันได้จากการเก็บอาหารไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากเป็น ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นได้เอง หรือออกซิเดชัน (autooxidation) ปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่บริเวณ พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ยังมีพันธะคู่มากอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันก็จะมากขึ้นด้วย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนและกรดไขมันไม่อิ่มตัว กับอนุมูลอิสระจนได้เป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่ เกิดขึ้นจะสลายตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ ที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนและเกิดอนุมูลอิสระที่เริ่มต้นปฏิกิริยาลูกโซ่ ต่อไปได้อีก (Stauffer, 1996) กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันและไขมันในอาหาร

สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนใหญ่ๆ ได้ 3 ขั้นตอน (Simic *et al.*, 1992) โดยมีรายละเอียดดังนี้

การเกิดอนุมูลอิสระของกรดไขมันไม่อิ่มตัวขั้นที่หนึ่งเป็นขั้นเริ่มต้น (initiation) ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจน โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ความร้อน แสง รังสี ไอออนของโลหะหรือฮีม (ณัฐจินี, 2546 อ้างถึง Hamilton, 1994) และปฏิกิริยาดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้โดยไม่ต้องอาศัยออกซิเจน เพียงแค่มีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ทองแดง เหล็ก แมงกานีส แสง และรังสีต่างๆ (Gordon and Roedig-Penman, 1999) นอกจากนี้ยังสามารถเกิดได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับอนุมูลอิสระอื่นๆ เช่น อนุมูลอิสระที่ได้จากการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์และออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา ที่เกิดจากการกระตุ้นของแสงและรังสีได้อีกด้วย (Simic *et al.*, 1992)

การเกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์จากปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระของกรดไขมันที่ได้จากขั้นเริ่มต้นกับออกซิเจน ซึ่งเป็นขั้นการเพิ่มจำนวนแบบทวีคูณ (propagation) ทำให้ได้เป็นอนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy radical) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวในอาหารเกิดเป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์และอนุมูลอิสระของกรดไขมันที่สามารถเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อเนื่องได้อีก (ณัฐจินี, 2546 อ้างถึง Hamilton, 1994; Jadhav *et al.*, 1996) สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นสารประกอบขั้นต้นที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารดังกล่าวไม่ทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหารโดยตรงเนื่องจากไม่มีกลิ่นและรสชาติ (Jadhav *et al.*, 1996) แต่เป็นสารที่ไม่คงตัวและแตกตัวได้เป็นอนุมูลของอัลคอกซี (alkoxy radical) ซึ่งเกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหารอันได้แก่ แอลดีไฮด์ คีโตน แอลเคน และแอลกอฮอล์ เป็นต้น (Ho *et al.*, 1996)

ขั้นตอนการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่จากการทำปฏิกิริยากันเองระหว่างอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยา (termination) ทำให้เกิดสารที่มีความคงตัวจึงไม่เกิดปฏิกิริยาต่อ (Jadhav *et al.*, 1996) ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นนอกจากจะทำให้อาหารมีกลิ่นหืนแล้วยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและเนื้อสัมผัสของอาหาร สูญเสียวิตามินและกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกาย (Simic *et al.*, 1992)

การเกิดปฏิกิริยารีเวอร์ชัน (reversion)

เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้น้ำมันบางชนิดมีกลิ่นและรสเสื่อมไปก่อนที่จะเกิดการเหม็นหืน ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นคล้ายสีหรือกลิ่นคล้ายหญ้า โดยมากมักจะเกิดในน้ำมันพืช น้ำมันปลา และกรดไขมันไม่อิ่มตัวจากแหล่งต่างๆ (ไพโรจน์, 2539)

การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการจับตัวกันระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเกิดการเชื่อมพันธะระหว่างคาร์บอน 2 อะตอมของกรดไขมันไม่อิ่มตัว 2 โมเลกุลขึ้นไป หรืออาจเกิดขึ้นโดยออกซิเจนที่ยึดพันธะระหว่างคาร์บอน 2 อะตอม ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงๆ เป็นเวลานาน เช่น น้ำมันที่ใช้ในการทอด (พรทวิ, 2548)

คอเลสเตอรอล (Cholesterol)

คอเลสเตอรอลอิสระเป็นไขมันที่มีขั้วเพราะมีหมู่ -OH ซึ่งถ้าจับเป็นเอสเทอร์กับกรดไขมัน จะได้คอเลสเตอรอลเอสเทอร์ ทั้งในรูปอิสระและรูปเอสเทอร์ พบเป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อเซลล์ที่เมมเบรน คอเลสเตอรอลเอสเทอร์เป็นรูปสะสมของคอเลสเตอรอลที่พบในเนื้อเยื่อทั่วไป ถูกขนส่งในเลือดในรูปไลโปโปรตีนชนิด LDL ซึ่งจะส่งคอเลสเตอรอลไปให้เนื้อเยื่อต่างๆ ส่วนไลโปโปรตีนชนิด HDL จะทำหน้าที่รับคอเลสเตอรอลจากเนื้อเยื่อต่างๆ เพื่อส่งให้ดับนำไปสร้างกรดน้ำดี นอกจากนี้ คอเลสเตอรอลเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบที่สำคัญ ได้แก่ สารสเตอรอล สтероโมโนเพศ และวิตามินดี ร่างกายได้คอเลสเตอรอลมากกว่าครึ่งหนึ่งจากการสังเคราะห์ในร่างกาย และนอกจากนั้นได้รับจากอาหาร (อุษณีย์, 2535; นัยนา, 2545)

การควบคุมการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในร่างกาย

เอนไซม์ที่สำคัญในการควบคุมการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล ได้แก่ HMG - CoA reductase (3-hydroxy 3-methyl glutaryl Coenzyme A reduction) ในปฏิกิริยา HMG - CoA reductase เปลี่ยนเป็น เมวาโลเนต (mevalonate) จะถูกยับยั้งโดยปริมาณกรดน้ำดี คอเลสเตอรอลและเมวาโลเนตในเซลล์ และสโตรโมโนอินซูลินจะเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ HMG CoA reductase แต่สโตรโมโนกลูคาอนจะลดกิจกรรมของเอนไซม์ โดยผ่านกลไก cAMP (ปนัดดา, 2546; นัยนา, 2545)

การได้รับคอเลสเตอรอลจากอาหารมากหรือน้อย มีผลต่อการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล โดยเฉพาะในตับและอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินอาหารและไต ถ้าลดปริมาณคอเลสเตอรอลในอาหารที่บริโภคจะมีการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลที่ตับ ถ้าใส่เล็คและไตมากขึ้น เพื่อใช้สังเคราะห์สารที่จำเป็นในการทำงานของร่างกาย และสำหรับในคนที่มีระดับคอเลสเตอรอลในเลือดสูงการ

จำกัดการให้คอเลสเตอรอลจากอาหารในปริมาณ 100 มิลลิกรัม/วัน ในช่วงระยะเวลาหนึ่งจะลดระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมปริมาณ 0.13 มิลลิโมล/ลิตร ของซีรัม (นัยนา, 2545)

มีหลักฐานว่ากรดไขมันชนิดอิ่มตัวจะยับยั้งการลดการสร้างเกลือน้ำดีจากคอเลสเตอรอล ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะกระตุ้นการสร้างน้ำดีและเพิ่มการขับคอเลสเตอรอล นอกจากนี้ยังเพิ่มประสิทธิภาพของ LDL receptor ทำให้คอเลสเตอรอลเข้าเซลล์ได้ดีขึ้น ซึ่งเป็นการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด (นัยนา, 2545)

การเกิดออกซิเดชันของคอเลสเตอรอล

นิธิยา (2551) อธิบายว่าปัจจุบันนักวิจัยให้ความสนใจกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคอเลสเตอรอลมากขึ้น เพราะผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคอเลสเตอรอลเป็นสารพิษต่อเซลล์ (cytotoxin) ต่อหลอดเลือด (angiotoxin) และสารก่อมะเร็ง (carcinogenin) กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคอเลสเตอรอลทำให้ได้สารที่เกิดขึ้นหลังจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคอเลสเตอรอล ซึ่งสามารถพบได้ในผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปหลายชนิดที่มาจากสัตว์ เช่น ไขมันที่ผ่านความร้อน ผลิตภัณฑ์เนื้อ และผลิตภัณฑ์นม แต่ไม่พบในน้ำมันที่มาจากพืช

อนุมูลอิสระ (Free radical)

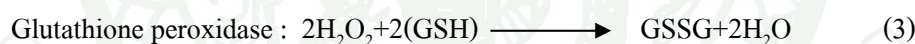
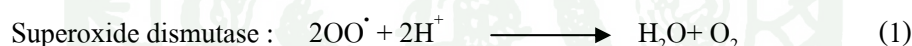
อนุมูลอิสระ หมายถึง โมเลกุลของสารที่มีอิเล็กตรอนที่ไม่มีคู่ (unpaired electron) อิเล็กตรอนที่ไม่มีคู่ ที่มีพลังงานสะสมอยู่จะพยายามแสวงหาอิเล็กตรอนจับคู่ โดยการไปจับอิเล็กตรอนจากสารอื่นๆ และส่วนใหญ่ก็มักได้จากออกซิเจน แม้ว่าขบวนการดังกล่าวทำให้ได้สารที่มีความคงตัวขึ้นมาใหม่หนึ่งชนิด แต่ในขณะเดียวกันสารที่สูญเสียอิเล็กตรอนจะกลายเป็นสารที่ไม่เสถียรสูญเสียความคงตัว ต้องไปดึงอิเล็กตรอนจากสารตัวอื่นอีกต่อหนึ่ง ก่อให้เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่มีที่สิ้นสุด ซึ่งปฏิกิริยาลูกโซ่นี้เองที่ทำให้ไขมันบริเวณเซลล์ต่างๆ ถูกทำลาย ส่งผลให้เกิดการเสื่อมของเซลล์ต่างๆ ทั่วร่างกาย (รัตนา, 2545; Fang *et al.*, 2002)

การทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สำหรับวิธีการลดจำนวนของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถทำได้ โดยการใช้สารเพื่อเข้าไปยับยั้งหรือป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระหรือการทำลายลูกโซ่ของปฏิกิริยา ออกซิเดชัน ส่งผลทำให้สามารถลดการเสื่อมคุณภาพของไขมัน สามารถเก็บรักษาไขมันหรือ ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบไว้ได้นานขึ้น และไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

สารที่เข้ายับยั้งหรือป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ (Preventive antioxidants)

สารที่เข้ายับยั้งหรือป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ หมายถึง สารที่ช่วยไม่ให้เกิดอนุมูลอิสระ โดยการทำให้อนุมูลอิสระรวมกับอิเล็กตรอนอิสระ เช่น ปฏิกิริยาของเอนไซม์ออกซิเดชัน superoxide dismutase (SOD), catalase และ glutathione peroxidase



เมื่อ $2\text{OO}^\bullet$ แทน superoxide radical, (GSH) แทน reduced glutathione และ GSSG แทน oxidized glutathione

สารที่เข้าทำลายปฏิกิริยาลูกโซ่ของ reactive oxygen species (ROS) (Chain-breaking antioxidants)

รัตน (2545) อธิบายว่าสารที่เข้าทำลายปฏิกิริยาลูกโซ่ของ reactive oxygen species (ROS) หมายถึง สารที่จับกับอนุมูลอิสระทำให้อนุมูลอิสระตัวต่อไปไม่เกิดขึ้น เท่ากับไปตัดโซ่ของ ปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระ ดังนั้นปริมาณอนุมูลอิสระจะลดลง แต่จะเกิดเป็นอนุมูลอิสระของสาร ต้านออกซิเดชันเหล่านั้นแทน ซึ่งจะรวมตัวเป็นกลางได้สารต้านออกซิเดชันกลับคืน ทั้งนี้ปริมาณ ของสารต้านออกซิเดชันต้องมีปริมาณมากพอที่จับกับอนุมูลอิสระได้อย่างรวดเร็ว ก่อนที่โซ่ ปฏิกิริยาสร้างอนุมูลอิสระจะเกิดขึ้น มิฉะนั้นจะเกิดภาวะอนุมูลอิสระเกินทำให้เกิดสภาวะ oxidative

stress สารประกอบดังกล่าวได้แก่ วิตามินอี (α -Tocopherols) วิตามินซี (ascorbic acid) เบต้าแคโรทีน (β -carotene) ซีเลเนียม (selenium, Se) และ สังกะสี (zinc, Zn) เป็นต้น

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร

เนื่องจากไขมันที่อยู่ในอาหารมีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันชนิดต่าง ๆ มากมาย ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี รวมทั้งความไวต่อการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Nawar, 1996) ได้แก่ ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากกรดไขมันในโมเลกุลของไขมันและน้ำมันที่มีผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเท่านั้น และอัตราเร็วของการเกิดจะแตกต่างกัน โดยกรดไขมันที่มีพันธะคู่มากจะเกิดขึ้นได้เร็วกว่า และกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวอยู่ในรูปอิสระจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าที่อยู่ในรูปเอสเทอร์กับกลีเซอรอล เนื่องจากพันธะคู่ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดส์ได้ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น แสง ความเข้มข้นของออกซิเจน อนุมูลอิสระ และโลหะบางชนิด เช่น โคบอลต์ เหล็ก ทองแดง แมงกานีส นิกเกิล ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นโปรออกซิแดนท์ (prooxidant) แม้มีความเข้มข้นต่ำเพียง 0.1 ppm ซึ่งจะเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะไปเร่งปฏิกิริยาขั้นตอนของการเพิ่มและเร่งการสลายตัวของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น (นิธิยา, 2551; พรทวี, 2548) และนอกจากนี้ เอนไซม์ Lipoxigenase ที่พบในเครื่องเทศ แป้งสาลี และผัก จะไปเร่งปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวของน้ำมันและไขมันในอาหารที่ทำแห้ง โดยจะไปเพิ่มอัตราเร็วของการเกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Madhavi *et al.*, 1996) และอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ สารต้านออกซิเดชันหรือสารกันหืนมีคุณสมบัติยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นสารที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น วิตามินอี โอรีซานอลในน้ำมันรำข้าว และสารต้านออกซิเดชันที่เป็นสารสังเคราะห์ และได้รับอนุญาตให้เติมในอาหารได้ เช่น Butylate hydroxyl anisole (BHA), Butylated hydroxytoluene (BHT), Tert-butylhydroquinone (TBHQ) และ Propylgallate (PG) เป็นต้น (พรทวี, 2548)

ผลของสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อสุขภาพ

อนุมูลต่างๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นอนุมูลอิสระที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆ ในร่างกาย เช่น เมื่อมีการเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนจะนำไปสู่การ

เปลี่ยนแปลงของระบบต่างๆ ทำให้โครงสร้างของโปรตีนเปลี่ยนไป (นิธิยา, 2551) หรือเกิดปฏิกิริยากับกรดนิวคลีอิกทำให้ลำดับของเบสบนสาย DNA ผิดเพี้ยนจนนำไปสู่การกลายพันธุ์ อนุมูลอิสระสามารถเกิดปฏิกิริยากับกลูตาไทโอน (glutathione) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ และการเกิดปฏิกิริยากับ LDL เกิดเป็นสารที่จับกับผนังหลอดเลือดทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบหมุนเวียนโลหิตขึ้นได้ (Deshpande *et al.*, 1996)

ชั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้ได้สารประกอบ คือ สารมาลอนไดแอลดีไฮด์ (malondialdehyde, MDA) ซึ่งเป็นสารที่มีความเป็นพิษต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เป็นสารก่อมะเร็งและเป็นสารก่อกลายพันธุ์ได้ โดยสารมาลอนไดแอลดีไฮด์จับกับไขมัน โปรตีน และเกิดพันธะโควาเลนต์กับกรดนิวคลีอิก ทำให้เกิดความผิดปกติที่เซลล์ผิวหนัง และลดประสิทธิภาพในการสร้างโปรตีนของเซลล์ สารมาลอนไดแอลดีไฮด์สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับโครโมโซมในเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ซึ่งจะนำไปสู่ความผิดปกติต่างๆ ได้ด้วย (Jadhav *et al.*, 1996)

สารกันหืน (Antioxidant substance)

สารกันหืนหรือสารต้านออกซิเดชัน คือ สารที่ทำหน้าที่ป้องกันหรือลดอัตราเร่งของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ โดยสารกันหืนจะทำหน้าที่เป็นแหล่งของไฮโดรเจนเพื่อรวมตัวรับอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระก็คืออะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนอิสระ (unpaired electron) 1 ตัวหรือมากกว่านั้น สารกันหืนเป็นสารที่ใช้ผสมในอาหารเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บอาหาร โดยชะลอหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่น รส สี ของ อาหาร (Nawar, 1996; Pratt, 1996)

ประเภทของสารกันหืนแบ่งตามหน้าที่ได้ดังนี้

สารกันหืนปฐมภูมิ (primary antioxidant) สารกันหืนกลุ่มนี้จะทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ในขั้นต้นเนื่องของปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการจับกับอนุมูลอิสระของกรดไขมันหรือจับกับอนุมูลอิสระอื่นๆ เกิดเป็นอนุมูลอิสระของสารกันหืนซึ่งมีความคงตัวมากกว่า หรือเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระต่อไป ตัวอย่างของสารกันหืนในกลุ่มนี้ ได้แก่ สารกันหืนที่มีหมู่ฟีนอลในโครงสร้าง เช่น BHA, BHT และสารประกอบฟีนอลิกจากธรรมชาติ เป็นต้น (Gordon and Roedig-Penman, 1999; Rajalakshmi and Narasimhan, 1996)

สารกันหืนทุติยภูมิ (secondary antioxidant) สารกันหืนในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ในการลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยการรบกวนการเกิดปฏิกิริยาขึ้นเริ่มต้น เช่น ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ช่วยสลายไฮโดรเปอร์ออกไซด์ไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ช่วยลดความไวของพันธะคู่ของกรดไขมัน (Gordon and Roedig-Penman, 1999) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ได้แก่ กรดไทโอไดโพรพิโอนิก (thiodipropionic acid) เป็นต้น (Rajalakshmi and Narasimhan, 1996)

สารกันหืนแบบเสริมฤทธิ์ (synergistic antioxidant) สารกันหืนกลุ่มนี้ทำหน้าที่ในการจับออกซิเจนและอนุมูลโลหะที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นเริ่มต้น และช่วยเสริมฤทธิ์ของสารกันหืนปฐมภูมิโดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมกับอนุมูลอิสระของสารกันหืน (Rajalakshmi and Narasimhan, 1996) ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ได้แก่ กรดแอสคอร์บิกและอนุพันธ์ กรดอะมิโน และ เอนไซม์ เป็นต้น สารกันหืนสามารถแบ่งออกได้เป็นสารกันหืนสังเคราะห์และสารกันหืนธรรมชาติ

สารกันหืนสังเคราะห์ (Synthesis antioxidant)

สารกันหืนสังเคราะห์เป็นสารประกอบฟีนอลิก สามารถสังเคราะห์ได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ที่นิยมใช้กันมากมีหลายชนิด ได้แก่ BHA ซึ่งมีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวเป็นเงา ละลายได้ดีในน้ำมัน เป็นสารผสมระหว่าง 2 ไอโซเมอร์ โดย 3-BHA จะมีประสิทธิภาพดีกว่า 2-BHA ซึ่งสารในทางการค้าจะมีไอโซเมอร์นี้อยู่อย่างน้อยร้อยละ 90 มักเสริมประสิทธิภาพโดยการใช้ร่วมกับเกลเลต (gallate) และสารกันหืนชนิด BHT ซึ่งมีลักษณะเป็นผลึกสีขาว คุณสมบัติทั่วไปใกล้เคียงกับ BHA และจะมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับ BHA และสารกันหืนชนิด TBHQ มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวอมเหลืองแกมเทา ลักษณะคล้ายทราย ละลายได้ดีปานกลางในน้ำมัน มีความคงตัวต่อความร้อนดีกว่า BHA และ BHT และมีคุณสมบัติดีกว่าสารกันหืนชนิดเกลเลต เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์ที่มีโลหะอยู่ และสารกันหืนชนิดอัลคิลเกลเลต (alkylgallates) สามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดเกลลิกและแอลกอฮอล์ เช่น PG ซึ่งมีประสิทธิภาพดีแต่มีปัญหาเนื่องจากสามารถจับกับโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีได้ จึงมักใช้ร่วมกับกรดซิตริกเพื่อช่วยในการจับไอออนของโลหะ (Giese, 1996; Nawar, 1996)

องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา อนุญาตให้ใช้สารกันหืนสังเคราะห์ดังกล่าว ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ไม่เกินร้อยละ 0.02 ทั้งชนิดเดียวและในรูปผสม ยกเว้นทีบีเอชคิว และ โพรพิลเกลเลตเท่านั้นที่ไม่อนุญาตให้ใช้ร่วมกัน นอกจากนี้ปริมาณการใช้ยังขึ้นกับชนิดของอาหารอีกด้วย (Stauffer, 1996)

อันตรายจากสารกันหืนสังเคราะห์

สารกันหืนสังเคราะห์อาจมีความปลอดภัยเมื่อใช้ในปริมาณที่กำหนด แต่ Tamano *et al.* (1998) รายงานว่าความเป็นพิษจากสารกันหืนเป็นสารที่ก่อให้เกิดอาการผิดปกติ เกิดเป็นมะเร็ง และเนื้องอกขึ้นได้ จากการศึกษาในสัตว์ทดลองโดยให้ BHA ผสมในอาหารแก่หนูที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.25 ทำให้เกิดการขยายตัวของเนื้อเยื่ออย่างผิดปกติ และเกิดเป็นเนื้องอกในช่องท้องเมื่อให้ BHA ในอาหารแก่หนูที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.50 นอกจากนี้ยังทำให้เกิดความผิดปกติขึ้นในลำไส้และหลอดอาหารอีกด้วย ในการทดลองให้ BHT ผสมลงในอาหารหนูเข้มข้นร้อยละ 0.50 เป็นเวลา 21 วัน ทำให้หนูทดลองเกิดอาการเลือดคั่งในปอดและอวัยวะอื่นอีกหลายส่วน (Madhavi and Salunkhe, 1997) สำหรับ TBHQ นั้นเมื่อทำการทดสอบกับสารพันธุกรรม ทำให้เกิดการแยกตัวของสายดีเอ็นเอ (DNA) สายคู่ และเกิดรอยฉีกขาดบนดีเอ็นเอสายเดี่ยวด้วย (Okubo *et al.*, 1996)

จากการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการได้รับสารกันหืนในระยะยาว จะส่งผลให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ เนื่องจากการสะสมของสารที่ละน้อยจนถึงในระดับที่มากพอ สามารถก่อให้เกิดอาการที่ผิดปกติ ปัจจุบันผู้บริโภคคำนึงถึงความปลอดภัยและเอาใจใส่ต่อสุขภาพมากขึ้น ผู้บริโภคเชื่อว่าการใช้สารที่มาจากธรรมชาติ จะส่งผลดีต่อสุขภาพมากกว่าการใช้สารสังเคราะห์จึงมีการนำสารกันหืนจากธรรมชาติเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น

สารกันหืนจากธรรมชาติ (Natural antioxidant)

สารกันหืนที่ได้จากธรรมชาติสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ดังนี้ คือ กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกจากพืช ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกในพืชนั้นผลิตขึ้นโดยระบบป้องกันตนเองของพืชจากโรคและสิ่งแปลกปลอมต่างๆ สารประกอบฟีนอลิกในพืชมีหมู่ฟีนอลอย่างน้อยหนึ่งหมู่ในสูตรโครงสร้าง สารในกลุ่มนี้รวมถึงกรดฟีนอลิก (phenolic acid) ฟลาโวนอยด์และอนุพันธ์ (flavonoid and derivative) เอสเทอร์ของกรดแกลลิก (ester of gallic acid) ลิกแนน (lignan) คูมาริน (coumarine) และฟลาโวน (flavone) เป็นต้น ซึ่งสามารถพบได้ในทุกส่วนของพืช (Rajalakshmi and Narasimhan, 1996; Shahidi, 1997) Duh *et al.* (1992) รายงานว่าสารสกัดจากเปลือกถั่วลิสงด้วยเมทานอลที่มีลูทีโอลิน (luteolin) ซึ่งเป็นสารฟลาโวนอยด์ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลืองได้ดีใกล้เคียงกับ BHA การศึกษาประสิทธิภาพของสารฟลาโวนอยด์อื่นๆ เช่น เควอซีทิน (quercetin) กรดแทนนิก (tannic acid) กรดแอลเลอจิก (allergic acid) ผงเครื่องเทศ และสาร

สกัดด้วยเมทานอลจากเครื่องเทศ เช่น กระวาน กานพลู เป็นต้น มีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในปลาบดผ่านความร้อนที่มีเกลือเข้มข้นร้อยละ 1 ได้ดี โดยฟลาโวนอยด์และสารสกัดจากเครื่องเทศจะให้ผลดีกว่าการใช้ผงเครื่องเทศโดยตรง (Bishov *et al.*, 1977; Ramanathan and Das, 1993)

สารกันหืนจากธรรมชาติในกลุ่มของกรดอะมิโน เปปไทด์ โปรตีนไฮโดรไลเซต และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยามเมลลาร์ด สารในกลุ่มนี้เป็นสารกันหืนโดยสามารถจับกับโลหะที่มีในอาหารและปนเปื้อนมาจากอุปกรณ์และเครื่องมือในการแปรรูปให้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่คงตัวจึงไม่สามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นเริ่มต้นได้ (Rajalakshmi and Narasimhan, 1996) ตัวอย่างประสิทธิภาพในการเป็นสารกันหืนของสารในกลุ่มนี้ได้แก่ คาร์โนซีน (carnosine) ซึ่งเป็นสารไดเปปไทด์ที่มีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในหมูบดแช่แข็งที่มีเกลือเข้มข้นร้อยละ 2 (Dekker and Crum, 1991) นอกจากนี้ Bishov *et al.* (1977) ได้ทดสอบประสิทธิภาพการเป็นสารกันหืนของ autolyzed yeast protein รายงานว่ามีประสิทธิภาพดีเช่นกันแต่สารในกลุ่มนี้มีข้อจำกัดในการใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความเป็นกรดต่ำ เนื่องจากเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างจากการเสถียรภาพธรรมชาติ

สารกันหืนธรรมชาติในกลุ่มของกรดไขมันและไฟเตต สารในกลุ่มนี้เป็นสารประกอบที่มีประจุลบสูง พบมากในธัญพืชและถั่วเมล็ดแห้ง มีความสามารถในการจับกับโลหะ เช่น ทองแดง เหล็กได้ดี จึงสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Shahidi, 1997; White and Xing, 1997) และสารกันหืนกลุ่มของฟอสโฟลิปิด สารนี้เป็นผลพลอยได้จากการรีไฟน์น้ำมัน เช่น น้ำมันถั่วเหลือง มีคุณสมบัติสมบัติเป็นสารกันหืนหลายแบบโดยเป็นทั้งสารกันหืนปฐมภูมิและสารกันหืนแบบเสริมฤทธิ์ ตัวอย่างเช่น ฟอสฟาไทดิลเอทานอลามีน (phosphatidylethanolamine) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี และจะมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับโทโคเฟอร์รอล หรือ PG ในปริมาณที่เหมาะสม (Sipos and Szuhaj, 1996) และสารกันหืนกลุ่มของวิตามินและเอนไซม์ ซึ่งวิตามินมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารและในร่างกายได้ดีทั้งในรูปแบบเดี่ยวและผสม ได้แก่ วิตามินอี วิตามินเอ วิตามินซี รวมถึงเบตาแคโรทีน และโทโคเฟอร์รอล วิตามินเหล่านี้จะจับกับออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยาและอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น จากปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นเริ่มต้นได้เป็นสารที่คงตัวและเป็นอนุมูลอิสระของสารกันหืนที่ไม่ไวต่อปฏิกิริยา จึงยับยั้งต่อเนื่องของปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไปได้ (Schuler, 1990)

สารกันหืนในกลุ่มของเอนไซม์ ได้แก่ กลูโคสออกซิเดส (glucose oxidase) และซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase) มีประสิทธิภาพในการเป็นสารกันหืนได้เช่นกัน โดยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส นั้นจะกำจัดออกซิเจนที่ละลายในอาหารหรือบริเวณช่องว่างเหนืออาหารในภาชนะบรรจุได้ดี เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตสสามารถกำจัดอนุมูลอิสระของซูเปอร์ออกไซด์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นต่อเนื่องได้โดยเอนไซม์เหล่านี้ส่วนใหญ่ได้มาจากจุลินทรีย์โดยการคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสม (Rajalakshmi and Narasimhan, 1996) และสารกันหืนในกลุ่มที่ได้จากการเผาไหม้ของไม้หรือถ่าน สารสกัดจากพืชผักรวมทั้งสารประกอบที่แยกได้จากจุลินทรีย์และสาหร่าย เป็นต้น (Rajalakshmi and Narasimhan, 1996)

การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

นิธิยา (2551) อธิบายว่าการเกิดไขมันออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่ซับซ้อนและมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมีของไขมัน การตรวจสอบเพื่อวัดการเกิดออกซิเดชันของไขมันทำได้หลายวิธี ตัวอย่างเช่น

การหาค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)

เปอร์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์แรกของการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งวัดปริมาณที่เกิดขึ้นได้โดยใช้ความสามารถของเปอร์ออกไซด์ ที่จะทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไอโอไดด์ได้เป็นไอโอดีน แล้วหาปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นโดยการไทเทรต หรือไอโอดิเมตรี (iodimetry)



หรือออกซิไดส์เฟอร์รัสไอออนเป็นเฟอร์ริกไอออน โดยวิธีไทโอไซยานต

ค่าเปอร์ออกไซด์ หมายถึง มิลลิสมมูลของเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อกิโลกรัมของไขมัน หรือน้ำมันระหว่างการเกิดออกซิเดชัน ค่าเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดและลดต่ำลง

การทดสอบด้วยวิธีใช้กรดไทโอบาบิพูริก (Thiobarbituric acid assay)

สารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว จะทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาบิพูริกทำให้เกิดสีชมพู ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการรวมตัว (condensation) ของสารมาลอนไดแอลดีไฮด์กับกรดไทโอบาบิพูริก 2 โมเลกุล การเกิดออกซิเดชันอาจไม่จำเป็นต้องเกิดสารมาลอนไดแอลดีไฮด์เสมอไป เพราะสารประกอบพวกแอลคานอล (alkanals) แอลคีนอล (alkenals) และ 2, 4 – ไดอีนอล (dienals) กับกรดไทโอบาบิพูริก จะให้สีเหลือง และดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร มีเพียงไดอีนอลเท่านั้นที่ให้สีแดง และดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร (AOCS, 1990)

การใช้ไขมันในอาหารสัตว์ปีก

ไขมันที่เติมในอาหารสัตว์ปีกต้องมีไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนประกอบหลัก เพราะสัตว์ปีกใช้ประโยชน์กรดไขมันอิสระได้ต่ำ ถือว่าไม่มีคุณค่าในด้านการให้พลังงาน (สารโภชนา, 2547 อ้างถึง Sell, 1988) ไขมันที่เติมในอาหารควรมีการเติมสารกันหืนหรือทำให้เสถียร (stabilized) ผลการเติมไขมันในอาหารสัตว์ปีกเป็นการช่วยเพิ่มระดับพลังงานในอาหารค่าพลังงานที่เติมลงในอาหารต้องสัมพันธ์โดยตรงกับการย่อยและการดูดซึม และเนื่องจากสัตว์ปีกไม่มีการขับไขมันที่ถูกดูดซึมแล้วออกทางปัสสาวะ ค่า metabolizable energy (ME) ของไขมันจึงอาจหาได้โดยใช้อัตราการใช้ไขมันด้วยพลังงาน gross energy (GE) ในไขมัน (สารโภชนา, 2547 อ้างถึง Sell *et al.*, 1986) ค่าพลังงาน ME โดยเฉลี่ยของไขมันที่ถูกดูดซึมได้สำหรับสัตว์ปีกเท่ากับ 9.4 กิโลแคลอรี/กรัม (Scott *et al.*, 1982)

กรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acid, EFA) เป็นกรดไขมันที่สัตว์ปีกสังเคราะห์ไม่ได้ และต้องได้รับจากอาหาร ได้แก่ กรดลิโนเลอิก (18:2, n-6) ซึ่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดไขมันที่จำเป็นตัวอื่น (polyunsaturated fatty acid, PUFA) เช่น กรดแอลฟาไลโนเลนิก (α – linolenic acid) กรดอะเรคิโดนิก (arachidonic acid) และอื่นๆ โดยการต่อสาย (elongation) หรือเพิ่มพันธะคู่ (desaturation) หากสัตว์ปีกได้รับ EFA ไม่เพียงพอจะทำให้เกิดการขาดน้ำเพิ่มขึ้น ภูมิคุ้มกันลดลง ประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ลดลง และฟองไข่มีขนาดเล็ก การพัฒนาของตัวอ่อนจะเสียหายและการฟักออกลด (สารโภชนา, 2547 อ้างถึง Watkin, 1991) ซึ่งไก่ที่อยู่ในระยะการให้ผลผลิตไข่จะมีความต้องการกรดไขมันที่จำเป็นมากเป็นพิเศษ เพื่อการสร้างฟองไข่ คือ ประมาณ 1-1.25 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร เพื่อที่จะทำให้น้ำหนักไข่สูงขึ้น ในขณะที่ไก่ที่ไม่อยู่ในระยะการให้ผลผลิต

ไขมันมีความต้องการเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 1994) หากคิดเป็นปริมาณไขมันในอาหารอย่างต่ำที่สุดควรมีไขมันในอาหารไก่ไข่ 4 เปอร์เซ็นต์ และในไก่วงที่ระดับ 6 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร (Ensminger *et al.*, 1990)

การขนย้ายไขมันที่ดูดซึมแล้วในสัตว์ปีกต่างจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่ไตรกลีเซอไรด์จากเซลล์ไขมันงาไล่จะถูกขนย้ายไปสู่ตับในรูปของสารประกอบที่มีไลโปโปรตีนเข้าสู่กระแสโลหิตโดยตรง (สาโรช, 2547 อ้างถึง Bensadoun and Rothfeld, 1972) โดยไม่ผ่านระบบท่อน้ำเหลือง จากตับไตรกลีเซอไรด์ถูกขนย้ายเข้าสู่แหล่งสะสมไขมัน โดยไก่ที่ไม่วางไข่สะสมไขมันในระดับประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หรือ 10-15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ไก่ที่กำลังวางไข่อาจสะสมไขมันได้สูงถึง 40-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (สาโรช, 2547 อ้างถึง Ivy and Neshiem, 1973)

ส่วนประกอบของไขมันในอาหารสัตว์ปีก สาโรช (2547) อธิบายว่าอาหารสัตว์ปีกที่เติมไขมันให้พลังงานสุทธิเพื่อการผลิต (net energy for production, NEp) สูงกว่าอาหารที่ไม่เสริมไขมัน ข้อแตกต่างนี้จะเห็นได้ชัดในสัตว์ปีกที่กำลังเจริญเติบโต สาโรช (2547) อ้างถึง Sell และ Owings (1984) รายงานว่าอัตราการเพิ่มน้ำหนักของไก่วงกินอาหารที่เสริมไขมันสูงกว่าพวกที่กินอาหารไม่เสริมจะเห็นได้ชัดเจนระหว่างอายุ 12-20 สัปดาห์ หลังจากนั้นอัตราการเจริญเติบโตจะลดลง แต่กลุ่มเสริมไขมันจะยังคงมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมอยู่ หลังจากพ้นวัยหนุ่มสาวไปแล้วสัตว์ปีกจะสังเคราะห์และสะสมไขมันในร่างกายอย่างรวดเร็ว การสังเคราะห์ไขมันในร่างกายจากพลังงานไขมันในอาหารจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการสังเคราะห์จากพลังงานในคาร์โบไฮเดรต (Moran, 1985) ไขมันที่สะสมในไข่แดงอาจสังเคราะห์จากกรดไขมันในอาหารหรือไม่ก็จากไขมันที่สังเคราะห์ในตับ การเติมไขมันลงไปในการให้อาหารในระดับสูงจะช่วยลดความจำเป็นที่สัตว์ต้องดึงไขมันที่สังเคราะห์ในตับมาใช้เพื่อการนี้ ข้อได้เปรียบอันนี้นับว่ามีคุณค่าอย่างยิ่งต่อการเลี้ยงไก่ไข่ในเขตร้อน ทั้งนี้เพราะจำเป็นต้องลดการสร้างความร้อนให้ต่ำที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงภาวะเครียดเนื่องจากความร้อน (heat stress) และเป็นการทำให้ไก่สามารถให้ไข่ได้ในอัตราสูง ทั้งๆที่กินอาหารลดลง (สาโรช, 2547) นอกจากนั้นการนำเอาไขมันจากอาหารไปสร้างไขมันสะสมในร่างกายหรือในไข่แดงโดยตรง จะมีผลทำให้กรดไขมัน องค์ประกอบของไขมันในผลผลิตคล้ายคลึงกับกรดไขมันองค์ประกอบของอาหาร ทั้งนี้เพราะกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะถูกนำไปใช้โดยไม่มีการดัดแปลง มีเพียงกรดไขมันอิ่มตัวจากอาหารเท่านั้นที่จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยการตัดต่ออนุ และเพิ่มพันธะคู่ให้มีลักษณะของกรดไขมันจำเป็นของสัตว์ปีก (Moran, 1985)

ระดับไขมันที่เติมในอาหารสัตว์ปีก อาหารที่เติมไขมันพืชสูงเกินกว่า 10 เปอร์เซ็นต์จะมีผลทำให้สัตว์กินอาหารลดลง หรืออาจจะหยุดกินเนื่องจากน้ำมันมากเกินไป Scott *et al.* (1982) อธิบายว่าไก่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติในอาหารที่ไม่มีคาร์โบไฮเดรตเลยแต่มีไขมันอยู่สูงถึง 33.8 เปอร์เซ็นต์ แต่ทั้งนี้ต้องปรับอัตราส่วนระหว่าง ME:โปรตีน ให้ได้ 13.2 กิโลแคลอรีต่อกรัมของโปรตีนที่มีสมมูลของกรดอะมิโน ระดับไขมันที่เติมลงในอาหารทั่วไปอยู่ที่ 3 - 7 เปอร์เซ็นต์ ของอาหารที่ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบหลัก (สาโรช, 2547)

น้ำมันรำข้าว

ข้าวเป็นอาหารหลักของชนชาติต่างๆ โดยเฉพาะชาวเอเซียมานับพันปี มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตข้าวของโลกผลิตในเอเซีย สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการปลูกข้าวและส่งออกมากที่สุดในโลก โดยข้าวเป็นสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญ ในแต่ละปีประเทศไทยสามารถผลิตข้าวเปลือกได้ประมาณ 21 ล้านตัน ซึ่งมีผลผลิตต่อไร่เฉลี่ยประมาณ 300 - 400 กิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนในแต่ละปี (สาโรช, 2547) สามารถสีเป็นข้าวสารได้ 12.6 ล้านตัน และได้รำข้าวประมาณ 2 ล้านตัน โดยประมาณร้อยละ 70 ของรำข้าวผลิตเป็นอาหารสัตว์ และร้อยละ 15 สกัดเป็นน้ำมันรำข้าว ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกส่งออกในรูปแบบของน้ำมันรำข้าวดิบ (กมสัน, 2550)

ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว

ประวิทย์ (2549) อธิบายว่าเมล็ดข้าวประกอบด้วย เปลือกข้าว 20 เปอร์เซ็นต์ จมูกข้าว 2.5 เปอร์เซ็นต์ เยื่อหุ้มเมล็ด 8 เปอร์เซ็นต์ และเมล็ดข้าว 69.5 เปอร์เซ็นต์ โดยจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวที่ได้จากกระบวนการสีข้าว จะได้เป็นส่วนของรำข้าว สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดเป็นน้ำมันรำข้าวที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค และเป็นใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ (สาโรช, 2547)

การแปรรูปหรือการสีข้าวเปลือกโดยโรงสีมาตรฐานจะได้ข้าวสารและผลพลอยได้จากการสีข้าวชนิดต่างๆ ซึ่งนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ เช่น ปลายข้าว และรำข้าว โดยรำข้าวที่ได้จากการสีข้าวได้นำมาผ่านกระบวนการแยกน้ำมันทำให้ได้น้ำมันและรำข้าวสกัดสกัดน้ำมัน โดยรำข้าว 100 กิโลกรัม จะสกัดได้น้ำมันรำข้าวดิบ 16-17 กิโลกรัม ส่วนที่เหลือจะเป็นรำสกัดน้ำมัน (defatted rice

bran) ประมาณ 80 กิโลกรัม จากนั้นน้ำมันรำข้าวดิบ (crude rice bran oil) ที่ได้ถูกทำให้บริสุทธิ์ โดย น้ำมันรำข้าวดิบ 16-17 กิโลกรัม จะผลิตเป็นน้ำมันรำข้าวพร้อมบริโภคได้ 11-12 กิโลกรัม

การสกัดน้ำมันรำข้าว

รำข้าวดิบหรือรำข้าวที่ทำให้เสถียร (stabilized rice bran) เมื่อผ่านขั้นตอนการทำความสะอาด แล้วจะส่งไปสกัดน้ำมันโดยกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือเฮกเซน หรือปิโตรเลียมอีเทอร์ ในการสกัดน้ำมันรำข้าว โดยทำการแช่รำข้าวในตัวทำละลาย น้ำมันจะถูกสกัดออกมาจากรำข้าว และจะละลายอยู่ในตัวทำละลาย รวมเรียกว่า มิสเซลลา (miscella) จากนั้นจะผ่านการกรองเพื่อแยกรำข้าวกับมิสเซลลาออกจากกัน และผ่านขั้นตอนการแยกน้ำมันออกจากตัวทำละลาย น้ำมันที่ได้เป็นน้ำมันรำข้าวดิบ (ภาพผนวกที่ 1) และจะถูกนำไปทำให้บริสุทธิ์ต่อไปสำหรับการบริโภค สำหรับรำสกัดน้ำมันที่ได้ก็จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่อไป (วราพร, 2543)

นัยนา และเรวดี (2545) อธิบายว่าน้ำมันรำข้าวมีคุณสมบัติทางกายภาพเหมือนกับน้ำมันพืชทั่วไป คือ เบากว่าน้ำเล็กน้อย (น้ำมันรำ 1 กรัมหนัก 0.916-0.921 กรัม ส่วนน้ำ 1 กรัมหนัก 1 กรัม) น้ำมันรำข้าวมีจุดเดือดสูงมากกว่า 100 องศาเซลเซียส ไม่เป็นไขและไม่แข็งตัว ที่อุณหภูมิห้อง และที่ 4 องศาเซลเซียส หรือที่ -18 องศาเซลเซียส

สารอาหารในน้ำมันรำข้าว

วิตามินและแร่ธาตุ วิตามินบีส่วนใหญ่อยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวและเอ็มบริโอ (embryo) ในขั้นตอนการขัดข้าวกล้อง วิตามิน ไนมัน และแร่ธาตุจะอยู่ในส่วนของรำข้าวเป็นส่วนใหญ่ ทำให้รำข้าวเป็นแหล่งสารอาหารที่สำคัญ ปริมาณทั้งหมดของแร่ธาตุในรำข้าว พบประมาณร้อยละ 9.0-11.5 ของเก๋ และแร่ธาตุแต่ละชนิดพบมากในเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวและเอ็มบริโอ แร่ธาตุที่พบมากที่สุดคือ ฟอสฟอรัส ปริมาณของฟอสฟอรัสในรำข้าวมากกว่าร้อยละ 90 อยู่ในรูปไฟตินฟอสฟอรัส (phytin phosphorus) และน้ำมันรำข้าวจะมีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูงที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น โอเลอิก (C18:1) มีประมาณ 38.4 เปอร์เซ็นต์ และลิโนเลอิก (C18:2) มีประมาณ 34.4 เปอร์เซ็นต์ (นัยนา และ เรวดี, 2545)

น้ำมันรำข้าวดิบที่ใช้ผสมอาหารสัตว์โดยไม่ผ่านกระบวนการกลั่น ประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ 81.3-84.3 เปอร์เซ็นต์ ไคกลีเซอไรด์ 2-3 เปอร์เซ็นต์ มอนอกลิเซอไรด์ 5-6 เปอร์เซ็นต์, กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) 2-4 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 3-4 เปอร์เซ็นต์ ไกลโคลิปิด 6-7 เปอร์เซ็นต์ ฟอสโฟลิปิด 4-5 เปอร์เซ็นต์ (Orthoefer, 1996)

นอกจากนี้ มีสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติหลายชนิดในปริมาณมาก ซึ่งช่วยเสริมฤทธิ์กันในการต้านอนุมูลอิสระ และป้องกันการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันได้เป็นอย่างดี สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติที่มีในน้ำมันรำข้าว คือ โอรีซานอล 0.09 เปอร์เซ็นต์ โทโคเฟอรอล 0.06 เปอร์เซ็นต์ และโทโคไตรอีนอล 0.07 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีไฟโตสเตอรอล (phytosterol) 2.78-4.78 เปอร์เซ็นต์ (นัยนา และเรวดี, 2545) ไฟโตสเตอรอลเป็นสารธรรมชาติที่มีเฉพาะในพืช มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีใกล้เคียงมากกับคอเลสเตอรอล ซึ่งพบในมนุษย์และสัตว์ ในน้ำมันรำข้าวดิบจะมีไฟโตสเตอรอลอยู่มากถึง 26,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยไฟโตสเตอรอลสามารถช่วยลดการดูดซึมคอเลสเตอรอลได้ (ประวิทย์, 2549)

สารโพลีฟีนอลและสารแอนโทไซยานินในน้ำมันรำข้าว เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ LDL ยับยั้งการเกาะกลุ่มของเกล็ดเลือด ส่งผลให้ลดอัตราเสี่ยงการเกิดโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือดและโรคหลอดเลือดหัวใจแข็งตัว ลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสารแอนโทไซยานินมีผลช่วยในการยับยั้งการเกิดต่อกระดูกในผู้ป่วยเบาหวาน (ไกรสิทธิ์, 2550)

สารแกมมา-โอรีซานอล (γ -oryzanol) ในรำข้าวสามารถลดระดับของ LDL และไตรกลีเซอไรด์ โดยไปจับกับคอเลสเตอรอลในน้ำดีแล้วเพิ่มการขับน้ำดีเข้าไปในลำไส้เล็ก และป้องกันไม่ให้เกิดการดูดซึมกลับเข้ามาใหม่ และสารแกมมา-โอรีซานอลช่วยเพิ่มระดับการสร้างฮอร์โมนเทสโทสเตอโรน (testosterone) ในผู้ชาย และช่วยกระตุ้นต่อมใต้สมองให้หลั่งฮอร์โมนเอนโดรฟิน (endorphine) ซึ่งเป็นสารช่วยให้มีความสุขเพิ่มขึ้นด้วย

Thomas *et al.* (2007) รายงานว่าการเสริมน้ำมันรำข้าวในอาหารหนูทำให้ระดับของ total-cholesterol, non-HDL, HDL, triglyceride/HDL และไตรกลีเซอไรด์ในซีรัมต่ำกว่าในกลุ่มที่เสริมด้วยน้ำมันมะพร้าว (coconut oil) และกรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างไปจากกลุ่มที่เสริมโอรีซานอล ($P < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Purushothama *et al.*

(1995) และ Sakamoto *et al.* (1987) รายงานว่าโอรีซานอลในน้ำมันรำข้าวสามารถลดคอเลสเตอรอลในพลาสมา และ Chen and Cheng (2006) รายงานว่าการเสริมน้ำมันรำข้าวให้กับหนูทำให้ระดับไขมันในพลาสมาลดลง

Ha *et al.* (2005) ทำการทดลองโดยการเสริมน้ำมันรำข้าวในอาหารหนูมีทั้งหมด 3 สูตร คือ กลุ่มที่ 1 ควบคุม กลุ่มที่ 2 เสริมคอเลสเตอรอล 10 กรัม/กิโลกรัมอาหาร เทาโรโคเลท (taurocholate) 1.25 กรัม/กิโลกรัมอาหาร และกลุ่มที่ 3 เสริมคอเลสเตอรอล 10 กรัม/กิโลกรัมอาหาร เทาโรโคเลท (taurocholate) 1.25 กรัม/กิโลกรัมอาหาร น้ำมันรำข้าว 15 กรัม/กิโลกรัมอาหาร รายงานว่าระดับของการเกิดปฏิกิริยาเปอร์ออกไซด์ของไขมัน (lipid peroxide) ของกลุ่มที่ 3 ต่ำกว่ากลุ่มที่ 2 ($P<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$)

Anitha *et al.* (2007) ทดลองเสริมน้ำมันรำข้าวในอาหารไก่เนื้อในระดับต่างๆ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 6 กลุ่มการทดลอง กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ 2 เสริมน้ำมันรำข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ 3, 4, 5 และ 6 เสริมน้ำมันรำข้าว 2 เปอร์เซ็นต์ 3 เปอร์เซ็นต์ 4 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าว 5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เนื้อบริเวณส่วนสะโพกมีระดับคอเลสเตอรอลต่ำที่สุด (50.22 มิลลิกรัม/เดซิลิตร) ซึ่งแตกต่างกับกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 1-4 เปอร์เซ็นต์ (185.13, 148.83, 127.12, 103.78 และ 90.99 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ตามลำดับ; $P<0.05$) ส่วนในกลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลไม่แตกต่างกับกลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวที่ระดับ 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ($P>0.05$) แต่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Berger *et al.* (2002) รายงานว่าน้ำมันรำข้าวทำให้ total cholesterol, LDL และ LDL /HDL ratio ในพลาสมา มีระดับต่ำลง

ขมิ้นชัน

ขมิ้นชัน turmeric, *Curcuma longa* L. (Zingiberaceae) เป็นสมุนไพรที่มีสรรพคุณเป็นยา โดยส่วนของเหง้าขมิ้นชัน ใช้รักษาแผลในลำไส้ เป็นยาลดกรด ขับลม คลายกล้ามเนื้อเรียบในลำไส้ ที่เกร็งตัว บรรเทาอาการวิงเวียน รักษาโรคผิวหนัง ผื่นคัน (นันทวัน, 2542) เป็นยาบำรุงผิว รักษา กลากเกลื้อน รักษาแผลในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก (วิทย์, 2531) มีสรรพคุณรักษาโรคท้องอืดท้องเฟ้อ แน่นจุกเสียดได้ดีเท่ากับยาแผนปัจจุบัน (นิรนาม, 2535; พร้อมจิต, 2537) และทางคณะแพทย์โรงพยาบาลศิริราชพยาบาลได้ใช้ขมิ้นชันในการรักษาอาการปวดท้องของผู้ป่วยที่เป็นแผล

ในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กบริเวณส่วนต้น (duodenum; ญวีวรรณ และคณะ, 2529)

องค์ประกอบทางเคมีของขมิ้นชัน

เหง้าขมิ้นชันประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย (volatile oil) มีสีเหลืองอ่อน มีสารสำคัญ คือ เทอร์เมอร์โรน (turmerone) และซิงจีเบอร์ีน (zingiberene) นอกจากนี้ยังมีสารกลุ่มเซสควิเทอร์ปีน (sesquiterpene) และโมนোটอร์ปีน (monoterpene) อื่น ๆ อีกหลายชนิด และสารสำคัญประเภท เคอร์คิวมินอยด์ (curcuminoid) เป็นสารสีเหลือง ประกอบด้วยเคอร์คิวมิน (curcumin) ดีเมทอกซีเคอร์คิวมิน (demethoxycurcumin) และบิสดีเมทอกซีเคอร์คิวมิน (bisdemethoxycurcumin; วิชาวดี, 2534; Thai Herbal Pharmacopoeia, 1995; World Health Organization, 1999) โดยโครงสร้างของ เคอร์คิวมิน ประกอบด้วยหมู่เอทเมทอกซีเลฟีนอล (orthmethoxylated phenol) 2 หมู่เชื่อมกันด้วย β -diketone (Masuda *et al.*, 2002)

สารสีเหลืองส้มหรือสีเหลืองแดงที่เหง้าของขมิ้นชันเป็นสารเคอร์คิวมิน ซึ่งมีอยู่ประมาณ 1.8-5.4 เปอร์เซ็นต์ ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์และกรดอะซิติก มีน้ำมันหอมระเหย 2-6 เปอร์เซ็นต์ สีเหลืองและเรืองแสงได้เล็กน้อย ส่วนประกอบที่พบมากที่สุดในน้ำมันหอมระเหย คือ turmerone 58-59 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ zingiberene 25 เปอร์เซ็นต์ (บัญญัติ, 2527) ปัจจุบันเภสัชตำรับของไทยได้กำหนดมาตรฐานของขมิ้น ซึ่งประกอบด้วย 5 เปอร์เซ็นต์ curcuminoid และ 6 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันหอมระเหยสีเหลืองส้ม ประกอบด้วย monoterpenes, sesquiterpenes, zingiberene, curcumene, α -tumerone และ β -tumerone นอกจากนั้นยังพบสารต่างๆหลายชนิด ได้แก่ sabinene, borneol, cineol, termerol, curcumone และ phellandrene (บัญญัติ, 2528) camphene และ zingerene (วิทย์, 2531; สุนทรี, 2535)

สารประกอบที่สำคัญในขมิ้นชันมี 2 ชนิด คือ น้ำมันขมิ้นชัน (Turmeric oil) มีประมาณ 1.5-5.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประกอบด้วย Ketone เป็นองค์ประกอบหลัก (65 เปอร์เซ็นต์) ได้แก่ tumerone และ ar-tumerone และสาร Hydrocarbon (25 เปอร์เซ็นต์) ได้แก่ Zingiberene, β -sesqui phellandrene, ar-curcumene, bisabolene และ 1,8 cinede และสารเคอร์คิวมินเป็นสารผสมอนุพันธ์ของ feruloylmethane ได้แก่ curcumin (diferuloylmethene), demethoxycurcumin (hydroxyl-cinamoyl feruloylmethene) และ bisdemethoxycurcumin (dihydroxydicinnamoylmethene; อัมพวัน และมนัสนันท์, 2544)

สารประกอบเคอร์คิวมิน (curcumin) จะไวต่อกรดและด่างโดยจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีแดงเมื่ออยู่ในสภาพเป็นกรดและสีน้ำตาลแดงเมื่ออยู่ในสภาพเป็นด่าง มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 176-177 องศาเซลเซียส สารประกอบเคอร์คิวมินละลายในน้ำได้น้อยแต่จะละลายได้ใน เอทานอล เมทานอล กรดอะซิติก และคลอโรฟอร์ม (Araujo and Leon, 2001) และละลายได้ดีในอะซิโตนและ ไดเอทิลอีเทอร์ สามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 429 นาโนเมตร (Govindarajan, 1980)

กระบวนการสกัดเคอร์คิวมินอยด์จากขมิ้นชัน

ขมิ้นชันชันเป็นสมุนไพรที่มีลักษณะเป็นเหง้ามีขนาดใหญ่ ดังนั้นการสกัดสารสำคัญในขมิ้นชันจึงต้องนำขมิ้นชันไปหั่นให้มีขนาดเล็กลง หลังจากนั้นนำไปตากแดดหรืออบแห้งแล้วนำมาบดเป็นผง ทำการแช่เย็นด้วยเอทานอล 92-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วทำการกรองเก็บสารสกัดไว้ และหมักทำการหมักซ้ำกากผงขมิ้นชันที่เหลือด้วยเอทานอล 92-95 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำสารสกัดขมิ้นที่กรองแล้วทั้งสองครั้งมารวมกัน และระเหยน้ำออกให้เหลือสารสกัดขมิ้นเข้มข้น ซึ่งจากการสกัดขมิ้นชันจะได้ส่วนประกอบด้วยน้ำมันขมิ้นชัน (turmeric oil) มีสารสำคัญ ได้แก่ turmerone, zingiberene, borneol และ limonene และสารสกัดหยาบ (crude extract) มีสารสำคัญ ได้แก่ Curcuminoid 5-8 เปอร์เซ็นต์ (isolated yield) และ 11-15 เปอร์เซ็นต์ (วิเคราะห์ด้วยเครื่อง High performance liquid chromatography, HPLC) และนอกเหนือจากนั้นยังมีส่วนที่เหลือคือส่วนกากของขมิ้นชันประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ และยังคงมีสารเคอร์คิวมินเหลืออยู่ 0.21 เปอร์เซ็นต์ (สมโภชน์ และคณะ, 2549)

คุณสมบัติของกากขมิ้นชัน

กากขมิ้นชันซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานสกัดสมุนไพร แต่ละปีพบว่ามีในปริมาณสูงและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามความต้องการของผู้บริโภค ทำให้มีความสนใจที่จะนำกากขมิ้นชันดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์ จึงได้มีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของกากขมิ้นชัน ดังนี้

คุณสมบัติทางกายภาพของกากขมิ้นชัน

คุณสมบัติของเยื่อใยในกากขมิ้นชันมีความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันมีค่า 10.71 และ 3.58 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ส่วนความหนาแน่น คือ ความฟาม มีค่า 0.17 กรัม/มิลลิลิตร การจับตัว 0.32 กรัม/มิลลิลิตร และการจับตัวกับน้ำ 0.16 กรัม/มิลลิลิตร ส่วนค่าสีจากการวัดพบว่ากากขมิ้นชันที่สกัดจากแอลกอฮอล์ ลักษณะของกากขมิ้นชันมีค่าความสว่าง (lightness) ความแดง (redness) และความเหลือง (yellowness) เท่ากับ 58.74, 2.07 และ 38.38 ตามลำดับ (Lertphatcharanon, 2007)

องค์ประกอบทางเคมีของกากขมิ้นชัน

กากขมิ้นชัน (ภาพผนวกที่ 2) ที่เป็นส่วนที่เหลือจากการสกัดสารกลุ่มเคอร์คิวมินอยด์ออกไป แต่ยังมีสารเคอร์คิวมินเหลืออยู่สูง คือ 0.21 เปอร์เซ็นต์ และมีโปรตีน ไขมัน เยื่อใย แคลเซียม และฟอสฟอรัส เท่ากับ 8.77, 0.25, 11.76, 0.50 และ 0.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีพลังงานรวม (gross energy) 3838.93 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (สมโภชน์ และคณะ, 2549)

สารเคอร์คิวมิน (Curcumin)

สารเคอร์คิวมินเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ การรับประทานเข้าไปอาจไม่ได้ผลเนื่องจากการดูดซึมได้น้อย จากการทดลองให้สารเคอร์คิวมินที่ไม่ใส่สารกัมมันตภาพรังสีพบว่า มีส่วนของกัมมันตภาพรังสีเข้าสู่กระแสโลหิตและอวัยวะต่างๆ แต่ไม่พบเคอร์คิวมินอาจถูกเปลี่ยน แปลงในรูปอื่นตอนที่ดูดซึมที่ลำไส้ (ประคองศิริ, 2546) จากการทดลองของ Hermann and Martin (1991) รายงานว่าเมื่อให้สารประกอบเคอร์คิวมินแก่หนูขาวโดยการรับประทาน แล้วเคอร์คิวมินจะถูกขับออกทางมูล 75 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปัสสาวะพบเพียงปริมาณเล็กน้อย Pan *et al.* (1999) ได้รายงานว่า ภายหลังการให้เคอร์คิวมิน 0.1 กรัม/กิโลกรัม แก่หนูทดลองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบปริมาณเคอร์คิวมินในลำไส้เล็ก ตับ และไต เท่ากับ 177.0 26.0 และ 7.5 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ แต่พบได้น้อยมากในสมอง โดยพบว่าสารเคอร์คิวมินจะเปลี่ยนแปลงรูปสารเมตาบอไลต์ในพลาสมา เช่น dihydrocurcumin, tetrahydrocurcumin และ hexahydrocurcumin จากนั้นจะรวมตัวกับ glucoronide โดยการไฮโดรไลต์ ซึ่งอาศัยเอนไซม์ β -glucosidase ได้ curcumin-glucoronide, dihydrocurcumin-

gluccoronide, tetrahydrocurcumin-gluccoronide และ hexahydrocurcumin-gluccoronide แล้วเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต (Pan *et al.*, 1999)

ฤทธิ์ของเคอร์คิวมินในการต่อต้านอนุมูลอิสระ

ขมิ้นชันเป็นสมุนไพรที่มีสรรพคุณเป็นสารต้านออกซิเดชัน (Scartezzini and Speroni, 2000) ช่วยเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ด้านการเกิดออกซิเดชัน เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase) แคตาเลส (catalase) และกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase; Reddy and Lokesh, 1994) ช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชัน (Romire-Tortosa *et al.*, 1999) และนอกจากนี้ Miquel *et al.* (1992) รายงานว่าเคอร์คิวมินมีสรรพคุณเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถยับยั้งการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โดยสามารถป้องกันการเกิดเปอร์ออกซิเดชันของไขมันและคอเลสเตอรอล โดยสารเคอร์คิวมินมีหมู่ phenolic OH methylene CH₂ ที่ติดอยู่กับ β -diketone มีบทบาทสำคัญในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ (Wright, 2002) Masuda *et al.* (1999) ได้เสนอกลไกการต้านอนุมูลอิสระของเคอร์คิวมินโดยขั้นแรกเคอร์คิวมินจะรับอนุมูลอิสระที่ตำแหน่งของหมู่ฟีนอลิก เปลี่ยนเป็นเคอร์คิวมินแรดิคัล (curcumin radical) ที่ไม่เสถียร อิเล็กตรอนที่ไม่เข้าคู่นี้สามารถเคลื่อนย้ายไปยังตำแหน่งที่เหมาะสมได้ โดยเคอร์คิวมินแรดิคัลรวมตัวกับเคอร์คิวมินแรดิคัลอีกโมเลกุลหนึ่งที่มีหมู่ไฮดรอกซิล เกิดเป็นโครงสร้างวงแหวน เรียกว่าเคอร์คิวมินไดเมอร์ (curcumin dimer) แต่ในสภาพที่มีออกซิเจนสารเคอร์คิวมินเมื่อจับกับอนุมูลอิสระแล้วจะเปลี่ยนเป็นเคอร์คิวมินแรดิคัล

เยื่อเซลล์เป็นโครงสร้างที่ซับซ้อน ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต สารดังกล่าวมีปริมาณที่แตกต่างกันทั้งภายในเซลล์และระหว่างเซลล์ ไขมันจัดได้ว่ามีปริมาณมากที่สุด และมีการจัดเรียงเป็นแบบสองชั้น (lipid bilayer) มีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบซึ่งอยู่ในรูปของฟอสโฟลิพิด (Voet, 1990) กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของฟอสโฟลิพิดในเยื่อเซลล์และเยื่อออร์แกเนลล์ส่วนใหญ่เป็นชนิดไม่อิ่มตัว ลักษณะดังกล่าวทำให้เยื่อเซลล์ถูกออกซิไดส์ได้ง่ายจากสารออกซิเดนต์ โปรออกซิแดนซ์ และอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะอนุมูลอิสระที่เกิดในไซโทพลาสซึมและในไมโทคอนเดรีย ยกตัวอย่างเช่น ซูเปอร์ออกไซด์แรดิคัล (superoxide, O₂⁻) ไฮดรอกซิลแรดิคัล (hydroxyl radical, OH[•]) เป็นต้น ซึ่งจะทำลายเยื่อเซลล์และกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ต่อไปได้ (Marks *et al.*, 1996) ในสภาวะที่ระบบป้องกันอนุมูลอิสระในร่างกาย

บกพร่องและไม่ได้รับสารด้านการเกิดออกซิเดชันจากภายนอกร่างกาย อนุมูลอิสระที่ไม่ถูกกำจัดจะทำให้เกิดการออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งจะทำลายเยื่อเซลล์ทำให้เซลล์มีสภาพที่อ่อนแอ (Blake and Winyard, 1995)

เคอร์คิวมินช่วยป้องกันการถูกทำลายของเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระ

Peter (1994) รายงานว่าสารเคอร์คิวมินมีความสามารถในการป้องกันอนุมูลอิสระจากกระบวนการออกซิเดชันของไขมันได้มากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่นๆ ที่ได้จากสมุนไพร ได้แก่ สารสกัดจากเปลือกสน (pine bark extract) สารสกัดจากเมล็ดองุ่น (grape seed extract) หรือ สารกันหืนสังเคราะห์ BHT อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) และการใช้เคอร์คิวมินอยดจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เคอร์คิวมินและบิสฟีนอล A หรือเคอร์คิวมิน และสูงกว่าวิตามินซีและอี (Toda *et al.*, 1985) Reddy and Lokesh, (1992) ได้ทำการทดลองในหนูพบว่าสารเคอร์คิวมินในไขมันชั้นมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และยับยั้งการเกิดเปอร์ออกซิเดชันของไขมันในตับหนู นอกจากนี้ Akila *et al.* (1998) รายงานว่าการเสริมสารสกัดเคอร์คิวมินทำให้ลดการเกิดเปอร์ออกซิเดชันของไขมันในหนูที่เป็นโรค hepatic fibrosis และจากการทดลองในกระต่ายกลุ่มที่เป็นโรคหลอดเลือดแข็งตัวพบว่าทำให้สารเคอร์คิวมินปริมาณ 1.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว ทางปาก มีผลทำให้ความไวต่อการเกิดเปอร์ออกซิเดชัน LDL ลดลง (Ramirez-Tortosa *et al.*, 1999) และนอกจากนี้ Chunlei *et al.* (2006) รายงานว่าสารเคอร์คิวมินสามารถกระตุ้นการสร้างตัวรับ LDL ให้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ LDL ในกระแสเลือดลดลง เป็นการลดการถูกออกซิไดซ์ของ LDL ในกระแสเลือดที่เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด (ปนัดดา, 2546)

การทดสอบความเป็นพิษ

การทดลองหาปริมาณไขมันชั้นที่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ของหนูขาว หนูตะเภา และกระต่ายในหลอดทดลอง รายงานว่าขนาดที่เป็นพิษต่อเซลล์ คือ มากกว่า 2.0 กรัม/กิโลกรัม (Srimal *et al.*, 1973) 1.5 กรัม/กิโลกรัม (Tonnensen and Greenhill, 1992) และ 2.0 กรัม/กิโลกรัม (Rimington, 1933) ตามลำดับ และ Hermann and Martin (1991) รายงานว่าสารจากไขมันชั้นที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำเข้าทางช่องท้องของหนูในขนาด 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทำให้หนูตายครึ่งหนึ่ง และหนูทนต่อสารสกัดนี้ได้ถึง 2500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนสารสกัดไขมันชั้นที่สกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ แอลกอฮอล์ และน้ำทำให้หนูตายครึ่งหนึ่งเมื่อให้สารสกัดขนาด 525,

398 และ 430 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนพิษเฉียบพลันนั้นรายงานว่ามีพิษเฉียบพลันเมื่อให้ไขมันในขนาด 2.5 กรัม/กิโลกรัม หรือสารสกัดด้วยแอลกอฮอล์ 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wahlstrom and Blennow (1979)

Commandeur and Vermueulen (1996) รายงานว่าไม่พบความเป็นพิษเรื้อรังต่อเซลล์หนูขาว ที่ให้สารสกัดเข้มข้นของไขมัน 500 และ 750 กรัม/กิโลกรัม เข้าทางกระเพาะอาหาร และไม่พบอาการข้างเคียงใดๆ Sittisomwong *et al.* (1990) ทดสอบความเป็นพิษกึ่งเรื้อรังของผงไขมันชั้นในหนูทดลองเป็นเวลา 6 เดือน รายงานว่าหนูเพศผู้ที่ได้รับผงไขมันชั้น 2.5 และ 5 กรัม/กิโลกรัม/วัน ทำให้ปริมาณการกินอาหารและอัตราการเจริญเติบโตลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และนอกจากนี้ Sambainah *et al.* (1982) รายงานว่าการทดสอบความเป็นพิษในหนูขาวโดยใช้ทั้งไขมันชั้นผงและสารเคอร์คิวมินในขนาดที่สูงกว่าที่ใช้ในคน 1.25-125 เท่า พบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในการเจริญเติบโตหรือระดับสารเคมีในเลือดแต่อย่างใด และ Shankar *et al.* (1980) รายงานว่าไขมันชั้นไม่มีพิษเฉียบพลันหรือความผิดปกติต่อหนูทดลอง

การใช้ไขมันชั้นในอาหารสัตว์ปีก

จิโรจ และคณะ (2545) รายงานว่าไก่กระทงที่ได้รับสมุนไพรไขมันชั้นผสมในอาหารที่มีระดับของเคอร์คิวมินอยด์ 66.78 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีระดับของแอนติบอดีเฉพาะต่อวัณโรคเชื้อราเซลล์สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างของแอนติบอดีเฉพาะต่อวัณโรคเชื้อราหลอดลมอักเสบ (infectious bronchus disease, IBD) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของกิตติมา และคณะ (2548) ที่รายงานว่าการเสริมสารสกัดไขมันชั้นในอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 0.05 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้แอนติบอดีสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.01$) สุวรรณ และคณะ (2548) รายงานว่าการเสริมไขมันชั้นในอาหารไก่เนื้อระดับที่ให้สาร curcuminoids 90 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีแนวโน้มลดค่าระดับเปอร์ออกซิเดชันของไขมัน (MDA) ในพลาสมา

การมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันนั้น ชัยวัฒน์ และคณะ (2547) รายงานว่าไก่เนื้อที่อยู่ในภาวะเครียดและได้รับการเสริมไขมันชั้นจะมีแนวโน้มเจริญเติบโตที่ดีกว่า มีค่าสัดส่วนของอวัยวะน้ำเหลืองต่อน้ำหนักตัวสูงกว่า มีค่า H/L ratio (heterophil/ lymphocyte ratio) และค่า TBARS (Thiobarbituric acid reactive substance) ต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม แสดงว่า การเสริมไขมันชั้นเป็นสารต้านออกซิเดชันมีแนวโน้มช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต และลดภาวะการกดการตอบสนองภูมิคุ้มกันใน

ไก่อเนื้อที่อยู่ในภาวะเครียดได้ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ กิตติมา และคณะ (2547) ที่พบว่า H/L ratio ของไก่อกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดขมิ้นชันที่ระดับ 0.01 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำกว่าไก่อกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สุชาติ และคณะ (2550) ทดลองในไก่ไข่โดยการเสริมกากขมิ้นชันในระดับ 0, 4, 8, และ 12 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร รายงานว่าการเสริมกากขมิ้นชันที่ระดับ 4 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้สีไข่แดงมีระดับคะแนนเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อสัมผัสของไข่ต้มของไก่อกลุ่มที่เสริมกากขมิ้นชันในอาหารที่ระดับ 12 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เนื้อสัมผัสของไข่ต้มมีระดับคะแนนสูงกว่าของไก่อกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

ชนิดของเยื่อใยในอาหาร

เยื่อใยเป็นส่วนประกอบในอาหารแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามความสามารถในการละลายน้ำ คือ เยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำ และเยื่อใยที่ละลายน้ำ ซึ่งแต่ละชนิดจะมีลักษณะทางเคมีและทางกายภาพที่แตกต่างกัน (Prosky and DeVries, 1992) คือ

เยื่อใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

Lertphatcharanon (2007) อธิบายว่าเยื่อใยที่ไม่ละลายในน้ำเป็นวัตถุดิบที่ได้มาจากพืช ซึ่งเอนไซม์ของคนและสัตว์กระเพาะเคี้ยวไม่สามารถย่อยได้ และไม่สามารถละลายได้ในน้ำร้อน ตัวอย่างเช่น เซลลูโลส (cellulose) เป็นเยื่อใยที่มีมากที่สุดและเป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์พืช ไม่สามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น แต่สามารถละลายได้ในกรดและด่างเจือจางที่ร้อน และส่วนโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสประกอบด้วย D-glucose เป็นจำนวนมากซึ่งจับกันด้วยพันธะ β -1,4 ไกลโคซิดิก สายโซ่พอลิเมอร์ของเซลลูโลสประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 3,000 หน่วย เซลลูโลสบางชนิดมีรูปร่างไม่แน่นอนและบางชนิดดูดซับน้ำได้ การที่เซลลูโลสสามารถจับกับน้ำได้นั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของเซลลูโลส น้ำที่จับกับเซลลูโลสทำให้ให้โครงสร้างของพืชมีความแข็งแรงมากขึ้น มีความเหนียวและยืดหยุ่นได้ดีขึ้น และเยื่อใยที่เป็นเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์พืช (Pond *et al.*, 2005) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย น้ำตาลเพนโทส (pentose) และน้ำตาลเฮกโซส (hexose) ซึ่งได้แก่ น้ำตาล 2-4 ชนิดที่แตกต่างกัน เช่น ไซโลส (xylose) อะราบิโนส (arabinose) แมนโนส (manose) กาแลค-

โทส (galactose) กลูโคส (glucose) แรมโนส (rhamnose) กรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) และกรดกลูโคโรนิก (glucuronic acid) เฮมิเซลลูโลสมีขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่าเซลลูโลส โดยมีน้ำตาลประกอบอยู่ 150-200 หน่วย แต่มีรูปร่างและโครงสร้างมากกว่าโมเลกุลของเซลลูโลส ซึ่งเฮมิเซลลูโลสสามารถละลายได้ในด่างเจือจางและน้ำร้อน และลิกนิน (lignin) เป็นชนิดของเยื่อใยในอาหารที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักที่เหลือจากกระบวนการบำบัด (treatment) ของเซลล์พืชกับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 72 เปอร์เซ็นต์ (72% H_2SO_4) ซึ่งจะมีโครงสร้างไม่เหมือนกับเซลล์พืช โดยมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ใช่พอลิแซ็กคาไรด์ แต่จะประกอบด้วยฟีนีลโพรเพน (phenylpropane) อนุพันธ์ของฟีนอลิก เช่น ซิแนปิล (sinapyl) คอนิเฟอริล (coniferyl) และ ซินนามิล (cinnamyl) ซึ่งมีอยู่ใน ธัญพืช เช่น ข้าวไรน์ ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี ฟางข้าวโอ๊ต และต้นข้าวโพด (Wattanakrai *et al.*, 2007) โดยมีโครงสร้างปฐมภูมิ คือ p-coumaryl alcohol เป็นพอลิเมอร์ที่มีขนาดเล็กมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 1,000 - 5,000 หน่วย โดยหน่วยพื้นฐานของพอลิเมอร์จับกันโดยพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน (carbon-carbon bond) นอกจากนั้นยังพบไขมันซึ่งไม่ละลายน้ำ เช่น คิวติน (cutin) และขี้ผึ้ง (waxes) พบได้ในโครงสร้างของพืช ซึ่งมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ หรือเป็นผิวด้านนอกของพืช ซึ่งปกติแล้วจะมีอยู่ในปริมาณน้อย

เยื่อใยอาหารที่ละลายน้ำ

Lertphatcharanon (2007) รายงานว่าเยื่อใยอาหารที่ละลายน้ำเป็นเยื่อใยที่ไม่สามารถย่อยได้โดยเอนไซม์ แต่สามารถละลายได้ในน้ำอุ่นและน้ำร้อน ตัวอย่างเช่น กัม (gum) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ละลายได้ในน้ำและมีลักษณะเป็นเจล กัมส่วนใหญ่มาจากพืชและการสังเคราะห์โดยแบคทีเรีย และโครงสร้างของกัมประกอบด้วยสายโซ่ยาวของโพลีแซ็กคาไรด์ และมีการแตกกิ่งของน้ำตาลหรือโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่แตกต่างกันโดยจะมี น้ำตาลเฮกโซส เช่น กลูโคส แมนโนส และกาแลคโทส มีน้ำตาลเพนโทส เช่น อะราบิโนส ซาโลส และรามิโนส อาหารที่มีกัมเป็นองค์ประกอบจะช่วยให้กระบวนการผลิตและลักษณะการกินได้ดีขึ้น และเมื่อมีการประกอบสูตรอาหารที่มีเยื่อใยสูง และเยื่อใยที่เป็นเบต้ากลูแคน (β -glucans) ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ถึงแม้ว่าอาจมีบางส่วนเพียงเล็กน้อยที่ไม่ละลายน้ำ เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1,4 และ β -1,3 ทำให้พอลิเมอร์ต้านทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์และการสลายด้วยน้ำ เบต้ากลูแคนพบได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน เช่น ในข้าวโอ๊ต ข้าวไรน์ และข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น และเพคติน (pectins) เป็นสารพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย D-galacturonic acid เชื่อมด้วยพันธะ α -1,4 สายโซ่พอลิเมอร์หลัก

ประกอบด้วย เช่น กาแลกโทส กลูโคส ราบินโนส และอะราบินโนส เป็นต้น เพคตินส่วนใหญ่ละลายน้ำ และแหล่งของเพคตินพบในพืชตระกูลมะนาว และแอปเปิ้ล เป็นต้น

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเยื่อใย

Lertphatcharanon (2007) รายงานว่าแบคทีเรียมีความสามารถในการย่อย (bacteria degradation) อาหารที่เป็นเยื่อใย โดยเกิดจากกระบวนการหมักในลำไส้ใหญ่โดยไมโครฟลอรา (microflora) โดยการย่อยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของจำนวนและโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ ตัวอย่างเช่น เซลลูโลส ความสามารถในการย่อยขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นส่วน (particle size) ข้าวสาลี เพคติน และกัม สามารถย่อยได้สมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์ ซึ่งเยื่อใยจากผลไม้ และผักสามารถหมักและถูกย่อยได้ดีกว่าธัญพืช และถั่ว และจากกระบวนการหมักทำให้ได้กรดไขมันสายสั้น หรือ กรดไขมันที่ระเหยง่าย (volatile fatty acid) ที่มีผลต่อการทำงานของเซลล์ คือ เป็นพลังงานของเซลล์ลำไส้ (Pond *et al.*, 2005) และการดูดซึมกรดไขมันที่ระเหยง่ายที่ลำไส้มีอิทธิพลต่อการเมตาบอลิซึม (metabolism) ของไขมันและกลูโคสที่ตับ จากกระบวนการหมักของเยื่อใยที่บริเวณลำไส้ใหญ่ทำให้ pH ในลำไส้ต่ำลง ซึ่งมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ของจุลินทรีย์ในลำไส้

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของเยื่อใย คุณสมบัตินี้จะเพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาล (residue sugar) กับกลุ่มของขั้วที่เป็นอิสระ (free polar) เช่น เพคตินเมื่อผสมกับน้ำจะมีลักษณะเป็นเจล มีความหนืดเพิ่มขึ้น และทำให้เกิดการขยายตัวมากขึ้นในระบบทางเดินอาหาร เป็นผลทำให้อาหารเคลื่อนตัวช้าลง เอนไซม์สามารถย่อยอาหารได้ดีขึ้น และเพิ่มการดูดซึมมากขึ้น และนอกจากนี้ Schneeman (1986) รายงานว่าเยื่อใยมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange capacity) ลดการใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุและการดูดซึมอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะสัมพันธ์กับอาหารที่มีเยื่อใยสูง โดยพบว่าเยื่อใยจะจับกับแร่ธาตุ ทำให้ถูกขับออกทางมูลมากขึ้น ซึ่งจำนวนของหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) อิสระของน้ำตาล และ กรดยูโรนิก (uronic acid) ของโพลีแซคคาไรด์มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนประจุบวกของแร่ธาตุ

Schneeman and Tietzen (1994) รายงานว่าแหล่งของอาหารเยื่อใยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับคอเลสเตอรอลในพลาสมา เนื่องจากคอเลสเตอรอลที่ได้รับจากอาหารจับกับเยื่อใยใน

อาหารและถูกขับออกนอกร่างกายทางมูล โดยแหล่งของเชื้อโรคต่างชนิดกันส่งผลให้มีระดับของคอเลสเตอรอลในพลาสมาลดลงแตกต่างกัน

องค์ประกอบของฟองไข่

เปลือกไข่

มีน้ำหนักประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักไข่ทั้งฟอง เปลือกไข่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต 94 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมฟอสเฟต 1 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมคาร์บอเนต 1 เปอร์เซ็นต์ และอินทรีย์สาร 4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเปลือกแห้ง ที่บริเวณผิวเปลือกไข่มีวัตถุคล้ายผงแป้งเรียกว่านวลไข่ ถัดผิวเข้าไปเป็นเปลือกแข็งชั้นนอก (spongy layer) เป็นชั้นละเอียดแน่น การที่เปลือกไข่มีสีเนื่องจากได้รับเม็ดสีจากการสลายของเม็ดเลือดแดง ถัดจากเปลือกชั้นนอกนี้เป็นเปลือกชั้นใน (mammillary layer) ผลิตหินปูนนี้จะเคลือบรอบนอกของเยื่อหุ้มไข่ และเปลือกไข่มีลักษณะเป็นรูพรุนทะลุถึงกันระหว่างผิวภายนอกของเปลือกกับช่องว่างของเปลือกชั้นใน (วรวิทย์, 2531; สุวรรณ, 2539)

ไข่ขาว

สุวรรณ (2539) อธิบายว่าไข่ขาวมีน้ำหนักอยู่ประมาณ 58 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักไข่ องค์ประกอบต่างๆในไข่ขาวส่วนใหญ่เป็นน้ำและโปรตีนมีกรดอะมิโนที่จำเป็น ทั้งนี้ในไข่ขาวส่วนมากแล้วประกอบไปด้วยสารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรตที่รวมตัวอยู่กับโปรตีน ยกเว้นในส่วนของโปรตีนที่มีลักษณะเป็นเอนไซม์หรือน้ำย่อย โปรตีนในไข่ขาวส่วนมากประกอบด้วยโอวาอัลบูมิน (ovalbumin) โอโวมิวซิน (ovomucin) และอะไวดิน (avidin)

ไข่แดง

เกียรติศักดิ์ (2545) รายงานว่าไข่แดงมีอยู่ประมาณ 31 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักไข่ทั้งฟอง ในไข่แดงประกอบด้วยโปรตีน 15.7 - 16.6 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 31.8 - 35.5 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 0.2 - 1.0 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 1.1 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ แร่ธาตุชนิดต่างๆ เช่น โซเดียม ฟอสฟอรัส

แคลเซียม โพแทสเซียม เป็นต้น สิวของไข่แดงส่วนใหญ่เป็นรงควัตถุชนิดแซนโทฟิลซึ่งเป็นสารอาหารที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของตัวอ่อน (วารวิทย์, 2531)

ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่

อายุและพันธุ์ของไก่ไข่

เกียรติกศักดิ์ (2545) อธิบายว่าอายุและพันธุ์ไก่ไข่เป็นปัจจัยพื้นฐานที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อการให้ผลผลิตไข่ของไก่ไข่สายพันธุ์ลูกผสมทางการค้า การให้ผลผลิตไข่จะเพิ่มมากขึ้นตามอายุของไก่ตั้งแต่แม่ไก่เริ่มวางไข่จนถึงอายุระดับการให้ผลผลิตไข่สูงสุด (peak) ซึ่งมีช่วงระยะเวลาประมาณ 4-6 สัปดาห์ อายุโดยเฉลี่ย 28-33 สัปดาห์ ค่าเฉลี่ยของผลผลิตไข่ที่ระดับสูงสุดมีค่าประมาณ 90-95 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นผลผลิตไข่จะค่อยๆ ลดลงทีละน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 60-65 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งแม่ไก่อายุอยู่ในช่วง 70-72 สัปดาห์ (มานิตย์, 2536)

ปัจจัยทางด้านอาหาร

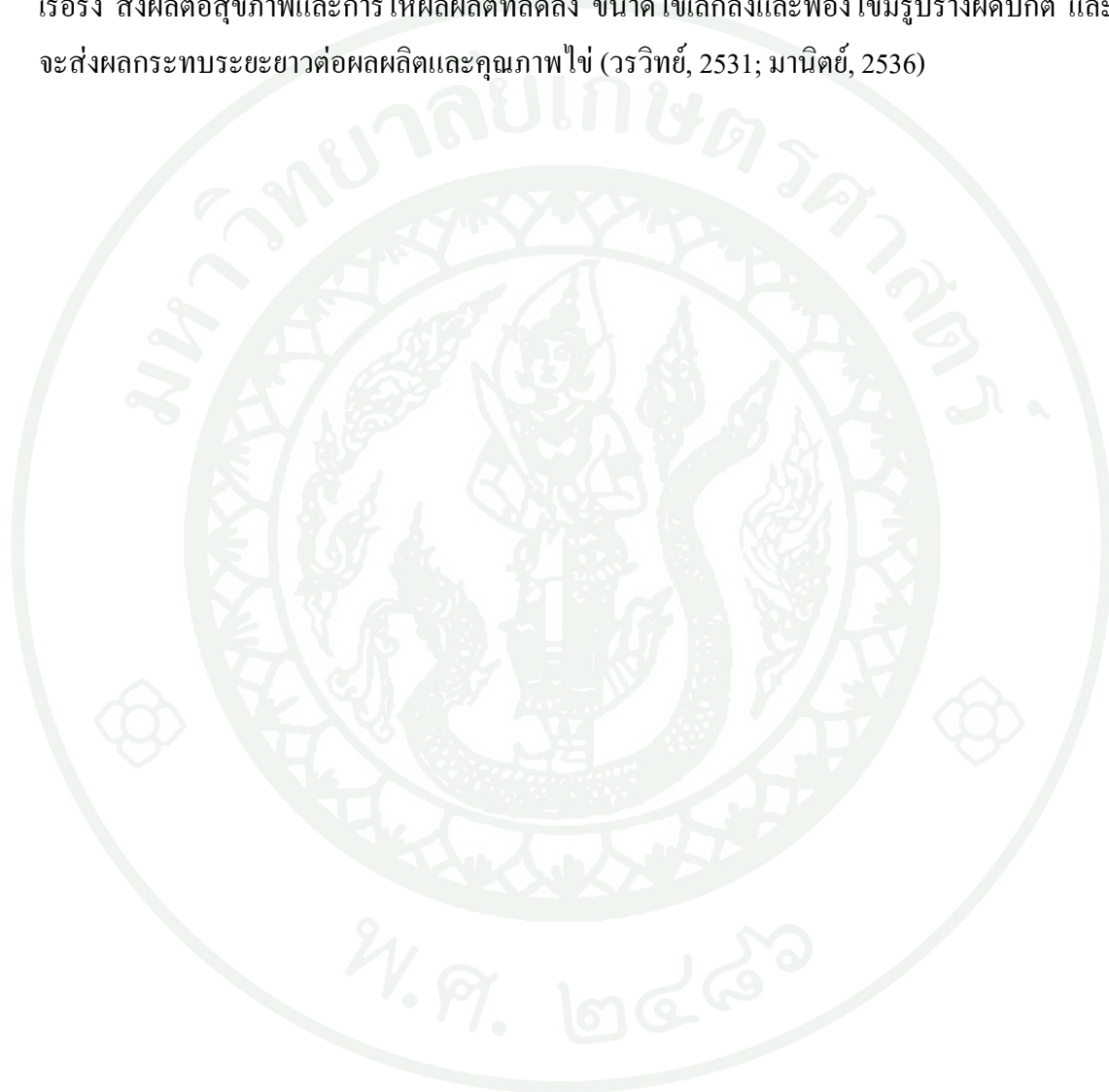
เกียรติกศักดิ์ (2545) และ สุรัสสา (2547) อธิบายว่าปริมาณการกินอาหารของไก่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับผลผลิตไข่ กรณีที่มีปัจจัยบางชนิดมากระทบทำให้ไก่กินอาหารน้อยลง จะมีผลทำให้ไก่ไข่ได้รับโภชนาไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายและกระบวนการสร้างฟองไข่ ส่งผลให้อัตราการให้ไข่ลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากให้ผลผลิตไข่ในระดับสูงสุด ตัวอย่างเช่น การขาดพลังงานในอาหาร ส่งผลให้ผลผลิตไข่ลดลงหลังจากให้ผลผลิตไข่สูงสุด 5 - 8 เปอร์เซ็นต์ เป็นอย่างน้อย

น้ำหนักตัว

สุรัสสา (2547) อธิบายว่าน้ำหนักตัวเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการให้ผลผลิตไข่ในระยะเริ่มต้นสำหรับความสมบูรณ์ของโครงสร้างร่างกายและองค์ประกอบของร่างกาย ขนาดของไข่เป็นลักษณะที่ใช้เป็นเครื่องมือในการวัดความสมบูรณ์ของไก่สาว ซึ่งเมื่อไก่มีความสมบูรณ์พันธุ์ทำให้มีประสิทธิภาพดีในการผลิตไข่อย่างสม่ำเสมอ และสามารถให้ไข่ได้ตลอดช่วงอายุการให้ไข่

โรคและสุขภาพของไก่

สุริยสา (2547) อธิบายว่าโรคและสุขภาพของไก่มีผลโดยตรงต่อผลผลิตไข่และคุณภาพไข่ เนื่องจากถ้าสัตว์ป่วยจะมีผลทำให้การกินอาหารลดลง เช่น โรคนิวคาสเซิลและหลอดลมอักเสบเรื้อรัง ส่งผลต่อสุขภาพและการให้ผลผลิตที่ลดลง ขนาดไข่เล็กลงและฟองไข่มีรูปร่างผิดปกติ และจะส่งผลกระทบระยะยาวต่อผลผลิตและคุณภาพไข่ (วรวิทย์, 2531; มานิตย์, 2536)



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

การศึกษาผลของการเสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันชั้นในสูตรอาหารไก่ไข่ ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ ค่าไขมันในไข่แดงและพลาสมา และค่าทางโลหิตวิทยา

1. สัตว์ทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้เลี้ยงไก่ไข่
 - 1.1 ไก่ไข่สายพันธุ์ลูกผสมทางการค้า Hisex brown เพศเมียอายุ 28 สัปดาห์ จำนวน 288 ตัว
 - 1.2 กรงตับสำหรับใช้เลี้ยงไก่ไข่ แต่ละกรงมีขนาด 24x40x42 ลูกบาศก์เซนติเมตร
 - 1.3 อุปกรณ์การให้น้ำไก่ เป็นแบบการให้น้ำแบบอัตโนมัติชนิดหัวหยด (nipple)
 - 1.4 ถังใส่อาหารทดลองประจำไก่ทดลองแต่ละตัว รวมทั้งหมด 24 ใบ
 - 1.5 เครื่องชั่ง
 - 1.5.1 เครื่องชั่งสำหรับชั่งน้ำหนักอาหาร
 - 1.5.2 เครื่องชั่งดิจิตอล (Digi โมเดล DS-671) สำหรับชั่งน้ำหนักฟองไข่
2. อุปกรณ์วัดคุณภาพไข่
3. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับเก็บตัวอย่างเลือด
4. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับสกัดไขมันในไข่แดง
5. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์คอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ในพลาสมาและไข่แดง
6. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ฟอสโฟลิพิดไข่แดง
7. อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์ MDA โดยวิธี thiobarbituric acid (TBA) assay

8. อุปกรณ์หาค่าการอัดแน่นของเม็ดเลือดแดง

9. อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์หาค่าสัดส่วนเม็ดเลือดขาว (H/L ratio)

10. อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์หาระดับแคลเซียมไอออนในพลาสมา

11. เครื่องผสมอาหาร

วิธีการ

1. อาหารทดลอง

อาหารทดลองเป็นการนำเอาน้ำมันรำข้าวดิบซึ่งเป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็น วิตามินอี และโอรีซานอล ผสมกับกากขี้มันซึ่งเป็นแหล่งของสารเคอร์คิวมินอยด์ (ตารางที่ 1) ซึ่งเป็นการรวมเอาสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากธรรมชาติ เปรียบเทียบกับสารกันหืนสังเคราะห์ ดังนี้

อาหารทดลองมี 6 สูตร กำหนดให้มีระดับพลังงาน 2,750 kcal/kg และโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ ตามคำแนะนำของ NRC (1994) (ตารางที่ 3) โดยสูตรที่ 1 กลุ่มควบคุม สูตรที่ 2 เสริม น้ำมันรำข้าวดิบ สูตรที่ 3 เสริมน้ำมันรำข้าวดิบกับสารกันหืนสังเคราะห์ คือ Butylated hydroxytoluene (BHT) และสูตรที่ 4, 5 และ 6 เสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันที่ได้จาก โรงงานสมุนไพรองค์การเภสัชกรรม กระทรวงสาธารณสุข และการประกอบสูตรอาหารทดลองใช้ วัตถุดิบพื้นฐาน คือ ข้าวโพด รำสกัด กากถั่วเหลือง ปลาป่น เหมือนกันทุกสูตร (ตารางที่ 2) และ วิเคราะห์ทางเคมีเพื่อประเมินระดับโภชนาแต่ละสูตร (ตารางที่ 4) ก่อนนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ทดลอง สูตรอาหารทดลอง 6 สูตร ได้แก่

สูตรที่ 1 สูตรอาหารควบคุม (Control)

สูตรที่ 2 สูตรอาหารที่เสริมน้ำมันรำข้าว 3 % (3%RBO)

สูตรที่ 3 สูตรอาหารที่เสริมน้ำมันรำข้าว 3 % ผสมกับ BHT 125 ppm (3%RBO+BHT)

สูตรที่ 4 สูตรอาหารที่เสริมน้ำมันรำข้าว 3 % ผสมกับกากขี้มันชั้น 2% (3%RBO+2%TM)

สูตรที่ 5 สูตรอาหารที่เสริมน้ำมันรำข้าว 3 % ผสมกับกากขี้มันชั้น 4% (3%RBO+4%TM)

สูตรที่ 6 สูตรอาหารที่เสริมน้ำมันรำข้าว 3 % ผสมกับกากขี้มันชั้น 6% (3%RBO+6%TM)

2. การจัดการเลี้ยงสัตว์ทดลอง

ไก่ทดลองแต่ละกลุ่มได้รับอาหารทดลองตามความต้องการโภชนาของ NRC (1994) โดยอาหารทั้ง 6 สูตร คำนวณให้มีระดับพลังงานและโปรตีนเท่ากัน แบ่งไก่ทดลองออกเป็น 6 กลุ่ม โดยวิธีการสุ่ม (random) แต่ละกลุ่มแบ่งออกเป็น 3 ซ้ำ เลี้ยงไก่ในกรงตับโดยจัดให้ไก่อยู่ในกรงๆ ละ 4 ตัว (1 ซ้ำมี 4 กรง) ภายในโรงเรือนแบบปิดมีระบบควบคุมอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมในโรงเรือน (Evaporative cooling system) มีโปรแกรมการให้แสง 16 ชั่วโมง/วัน ไก่ได้รับอาหารทดลองและน้ำอย่างเต็มที่ (ad libitum) เหมือนกันทุกกลุ่มตลอดการทดลอง

3. การบันทึกข้อมูลและการคำนวณ

การบันทึกข้อมูลด้านสมรรถภาพการผลิต

การบันทึกผลการทดลองแบ่งออกเป็น 6 ช่วง ๆ ละ 14 วัน โดยมีการบันทึกข้อมูลดังนี้

1. บันทึกน้ำหนักตัวไก่เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

2. บันทึกปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยในแต่ละซ้ำ คำนวณจากสูตร

$$\text{ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กินในแต่ละช่วงการทดลอง (กรัม)}}{\text{จำนวนวัน} \times \text{จำนวนไก่เมื่อสิ้นสุดช่วงการทดลอง}}$$

3. บันทึกผลผลิตไข่ (% henday egg production) ทำได้โดยการบันทึกจำนวนไข่ของไก่ทุกเช้าทุกวัน

4. บันทึกน้ำหนักไข่ของไก่แต่ละเช้าทำได้โดยบันทึกน้ำหนักไข่ 2 วันสุดท้ายของทุกสัปดาห์นำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ย

5. บันทึกจำนวนไก่ตายตลอดการทดลอง

อัตราการเปลี่ยนอาหารเพื่อการผลิตไข่ = $\frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินในช่วงการทดลอง (กก.)}}{\text{น้ำหนักไข่ในแต่ละช่วงการทดลอง (กก.)}}$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่} = \left\{ \frac{\text{จำนวนไข่ในแต่ละช่วงการทดลอง}}{\text{จำนวนวัน} \times \text{จำนวนไก่เริ่มต้นการทดลอง}} \right\} \times 100$$

น้ำหนักเฉลี่ยต่อฟอง = $\frac{\text{น้ำหนักไข่ทั้งหมดของเช้าในแต่ละช่วงการทดลอง}}{\text{จำนวนไข่ทั้งหมดของเช้าที่นำมาชั่ง}}$

ต้นทุนค่าอาหารที่ผลิตไข่ 1 กก. = ราคาอาหาร x ปริมาณอาหารที่กินต่อน้ำหนักไข่ 1 กก.

การวัดคุณภาพไข่

วัดคุณภาพไข่ทุกๆ 4 สัปดาห์ ทำได้โดยสุ่มไข่เช้าละ 8 ฟอง ตอกไข่ บันทึกน้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว และน้ำหนักเปลือกไข่ นอกจากนี้บันทึกสีไข่แดง ความสูงไข่ขาวและความหนาเปลือกไข่ (อุปกรณ์ตามภาคผนวก) และคำนวณค่าฮอฟยูนิต (Haugh unit) ตามวิธีการของ Nesheim *et al.* (1979) โดยใช้สูตร ดังนี้

$$\text{Haugh unit} = 100 \times \log (\text{albumen high} + 7.57 - 1.7 \times \text{egg weight}^{0.37})$$

การเก็บตัวอย่างเลือดและพลาสมา

1. การเก็บตัวอย่างเลือด

สุ่มเก็บตัวอย่างเลือดไก่ โดยเก็บตัวอย่างเลือดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยสุ่มไก่จากทุกซ้ำๆละ 1 ตัว เก็บเลือดจากเส้นเลือด cutaneous ulna vien ปริมาตรตัวละ 5 มิลลิลิตร เวลาในการเก็บเลือด 9.00 - 11.00 น. นำเลือดที่ได้ไปหาค่าทางโลหิตวิทยา คือ ค่าเปอร์เซ็นต์อัดแน่นเม็ดเลือดแดง (hematocrit) และค่าอัตราส่วนระหว่างเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดเฮมโทโรฟิลต่อลิมโฟไซท์ (H/L ratio)

2. การเก็บตัวอย่างพลาสมา

แบ่งตัวอย่างเลือดจากข้อ 1 นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง 3,000 รอบ/นาที ได้เป็นพลาสมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์หาระดับคอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ ตามวิธีการ Enzymatic colorimetric assay และฟอสโฟลิพิด ตามวิธี Colorimetric method ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ตามวิธีการของ Stewart (1980) และหาค่าแคลเซียมไอออนและความเข้มข้นของสารมาลอนไดแอลดีไฮด์ (MDA) ต่อไป (รายละเอียดแสดงในภาคผนวกท้ายเล่ม)

การเก็บตัวอย่างไข่แดง

เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มเก็บตัวอย่างไข่แดง ของไก่แต่ละซ้ำๆละ 1 ฟอง เก็บไว้ในตู้แช่ อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นำไปสกัดไขมัน ตามวิธีการของ Sutton *et al.* (1984) เพื่อวิเคราะห์หาระดับคอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ ตามวิธีการ Enzymatic colorimetric assay และฟอสโฟลิพิด ตามวิธี Colorimetric method ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ตามวิธีการของ Stewart (1980) ต่อไป (รายละเอียดแสดงในภาคผนวกท้ายเล่ม)

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design) และหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม โดยวิธี Duncan's new multiple range test (Duncan, 1995) โดยใช้

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SAS (SAS, 1996) โดยมีหุ่นจำลองทางสถิติ ดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อ Y_{ij} = ค่าสังเกตของแต่ละทรีทเมนต์ที่ i ซ้ำที่ $j = 1, 2$ และ 3

μ = ค่าเฉลี่ยร่วมของทรีทเมนต์

τ_i = อิทธิพลเนื่องจากทรีทเมนต์ เมื่อ $i = 1, 2, 3, 4, 5$ และ 6

ε_i = ค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตารางที่ 1 ปริมาณโภชนะในกากขี้มันชันจากการวิเคราะห์

โภชนะ	ปริมาณ
โปรตีน (%)	7.77
พลังงาน (kcal/kg)	3,970
ไขมัน (%)	0.25
เยื่อใย (%)	7.41
แคลเซียม (%)	0.26
ฟอสฟอรัส (P_{avi} , %)	0.30
เคอร์คิวมินอยด์ ¹ (ppm)	0.21

หมายเหตุ P_{avi} = available phosphorus

¹ สมโภชน และคณะ (2549)

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของวัตถุดิบในอาหารทดลองและต้นทุนราคาอาหาร

วัตถุดิบอาหาร (%)	อาหารทดลอง					
	Control	3%RBO	3%RBO+	3%RBO+	3%RBO+	3%RBO+
			BHT	2%TM	4%TM	6%TM
ข้าวโพด	62.50	50.98	50.98	48.35	45.73	43.10
รำสกัด	1.00	6.80	6.80	7.65	8.50	9.35
น้ำมันรำข้าวดิบ	-	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
กากถั่วเหลือง 44%	22.30	28.05	28.05	27.85	27.65	27.44
ปลาป่น 56%	5.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
หินฟูลิน	8.20	7.81	7.81	7.78	7.75	7.72
กากขี้มันชัน	-	-	-	2	4	6
DCP 14%	-	1.84	1.84	1.85	1.86	1.86
DL-เมทไธโอนีน	0.10	0.015	0.015	0.018	0.022	0.025
เกลือ	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
พรีมิกซ์ ¹	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
BHT (ppm)	-	-	125	-	-	-
รวม	100	100	100	100	100	100
ราคาอาหาร/กก.	8.94	8.97	8.69	8.61	8.53	8.45

หมายเหตุ ¹ พรีมิกซ์ Latarvit^R 1 กิโลกรัมที่ใช้ประกอบด้วย vitamin A 4.8 MIU, vitamin D₃ 0.96 MIU, vitamin E 3.20 กรัม, vitamin K₃ 0.80 กรัม, vitamin B₂ 1.60 กรัม, vitamin B₆ 1.20 กรัม, vitamin B₁₂ 0.004 กรัม, pantothenic acid 3.80 กรัม, niacin 6 กรัม, folic acid 0.20 กรัม, biotin 0.036 กรัม, Se 0.04 กรัม, Fe 24 กรัม, Mn 24 กรัม, Zn 16 กรัม, Cu 2.40 กรัม, I 0.14 กรัม, Feed preservative substance 2.50 กรัม, Flavor 10 กรัม

ตารางที่ 3 ปริมาณโภชนะในอาหารทดลองจากการคำนวณ

โภชนะ	อาหารทดลอง					
	Control	3%RBO	3%RBO+ BHT	3%RBO+ 2%TM	3%RBO+ 4%TM	3%RBO+ 6%TM
โปรตีน (%)	17.99	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
ไขมัน (%)	3.02	5.25	5.25	5.17	5.09	5.01
เยื่อใย (%)	3.29	4.06	4.06	4.32	4.58	4.83
พลังงาน (kcal/ME/ kg)	2750.34	2749.98	2749.98	2749.99	2750.03	2750.00
แคลเซียม (%)	3.73	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80
ฟอสฟอรัส (P_{avi} , %)	0.25	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33
เคอร์คิวมินอยด์ (ppm) ¹	-	-	-	40	80	120

หมายเหตุ P_{avi} = available phosphorus

ตารางที่ 4 ปริมาณโภชนะในอาหารทดลองจากการวิเคราะห์

โภชนะ	อาหารทดลอง					
	Control	3%RBO	3%RBO+ BHT	3%RBO+ 2%TM	3%RBO+ 4%TM	3%RBO+ 6%TM
ความชื้น (%)	11.60	10.80	10.90	10.20	11.00	10.90
เถ้า (%)	10.02	12.00	11.80	11.00	11.30	11.70
โปรตีน (%)	18.18	18.20	18.31	18.40	18.30	18.25
ไขมัน (%)	3.08	5.57	5.24	5.41	4.86	4.45
เยื่อใย (%)	2.02	2.52	2.62	2.74	2.73	3.20
พลังงาน (kcal/GE/kg)	4520	4360	4100	4190	4310	4140
แคลเซียม (%)	3.63	3.80	3.74	3.69	3.77	3.72
ฟอสฟอรัสรวม (%)	0.33	0.47	0.46	0.49	0.54	0.30

5. ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มการทดลองตั้งแต่ มกราคม 2552 – ตุลาคม 2552

6. สถานที่ทำการทดลอง

1. ฟาร์มไก่หลวงสุวรรณวาจกกสิกิจ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ
2. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

ผลและวิจารณ์ผล

ผลต่อสมรรถภาพการผลิต

น้ำหนักตัว (body weight)

จากการทดลองครั้งนี้พบว่าน้ำหนักตัวเริ่มต้นการทดลองของไก่ทดลองทั้ง 6 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 5 แต่หลังจากเลี้ยงด้วยอาหารทดลองจนมีอายุ 40 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุม (Control) มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยสูงสุด คือ 1,935.83 กรัม/ตัว ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันชั้น 2 เปอร์เซ็นต์ (3%RBO+2%TM) และกลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันชั้น 6 เปอร์เซ็นต์ (3%RBO+6%TM) ซึ่งมีค่า 1,870.63 และ 1,900.42 กรัม/ตัว ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบ (3%RBO) กลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมสารกันหืนสังเคราะห์ (3%RBO+BHT) และกลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มัน 4 เปอร์เซ็นต์ (3%RBO+4%TM) มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยน้อยกว่ากลุ่ม Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,860.53, 1,864.68 และ 1,827.50 กรัม/ตัว ตามลำดับ

สังเกตพบว่าน้ำหนักตัวเฉลี่ยหลังการทดลองของไก่กลุ่ม 3%RBO, 3%RBO+BHT, 3%RBO+2%TM, 3%RBO+4%TM และ 3%RBO+6%TM มีค่าลดลง ยกเว้นในกลุ่ม Control ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากไก่ได้รับพลังงานต่อตัวต่อวันสูงที่สุด (535.03 กิโลแคลอรี(GE)/ตัว/วัน) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) กับกลุ่ม 3%RBO, 3%RBO+BHT, 3%RBO+2%TM, 3%RBO+4%TM และ 3%RBO+6%TM (ตารางที่ 5) เป็นผลมาจากสูตรอาหารในกลุ่ม Control มีระดับของปลาป่นสูงที่สุด คือ 5.40 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2) ซึ่งเป็นของแหล่งโปรตีนที่มีกรดอะมิโนสูง โดยเฉพาะ โลซีน และเมไทโอนีน นอกจากนี้ยังมีความสมดุลของกรดอะมิโนสามารถย่อยและดูดซึมได้ดี (เขาวมาลย์ และคณะ, 2530) จึงส่งผลให้ไก่ในกลุ่ม Control สามารถรักษาน้ำหนักตัวให้คงที่ได้ ในขณะที่ไก่กลุ่ม 3%RBO+BHT ได้รับพลังงานต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับไก่กลุ่มอื่นๆ ($P<0.01$) ทำให้ไก่ได้รับพลังงานไม่เพียงพอ จึงต้องมีการดึงพลังงานที่สะสมในร่างกาย ในรูปของไกลโคเจนและไขมันมาใช้มากขึ้น (ปนัดดา, 2546) จึงส่งผลให้น้ำหนักตัวหลังการทดลองของไก่ลดลง สอดคล้องกับผลการทดลองของ Grobas *et al.* (1999) รายงานว่าไก่ไข่ที่

ได้รับอาหารที่มีพลังงานต่ำส่งผลให้น้ำหนักตัวเพิ่มมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับพลังงานสูงกว่า

เมื่อพิจารณาปริมาณไขมันในสูตรอาหารทดลองพบว่ากลุ่ม 3%RBO, 3%RBO+BHT, 3%RBO+2%TM, 3%RBO+4%TM และ 3%RBO+6%TM มีปริมาณสูงกว่าในกลุ่ม Control ผลการทดลองสอดคล้องกับ สมชาย และคณะ (2540) รายงานว่าการเสริมไขมันในอาหารไก่เนื้อไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต แต่ขัดแย้งกับ Atteh and Lesson *et al.* (1983) และ Crespo and Esteve-Garcia (2002) รายงานว่าการเสริมไขมันในอาหารทำให้ไก่เนื้อมีการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมไขมันในอาหาร จากการทดลองครั้งนี้พบว่า การเสริมไขมันในอาหารไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวน่าจะเป็นผลมาจากอิทธิพลของเชื้อไขในสูตรอาหารทดลองที่ไก่ได้รับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมไขมันรำข้าวคัปปสุมกากขมมันชั้นทั้ง 3 กลุ่ม กับกลุ่ม Control พบว่ากลุ่ม 3%RBO+4%TM มีน้ำหนักตัวหลังการทดลองต่ำกว่ากลุ่ม Control เนื่องจากสูตรอาหารในกลุ่ม 3%RBO+4%TM มีเชื้อไขสูงกว่ากลุ่ม Control นอกจากนี้ระดับพลังงานที่ไก่กลุ่ม 3%RBO+4%TM ได้รับต่อตัวต่อวันยังมีค่าต่ำกว่ากลุ่ม Control อีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Akiba and Matsumoto (1982) รายงานว่าสูตรอาหารที่มีเชื้อไขสูงทำให้ไก่ไข่ได้รับพลังงานต่ำกว่ากลุ่มที่มีเชื้อไขต่ำ และส่งผลให้น้ำหนักตัวเพิ่มมีแนวโน้มที่ลดลง ($P>0.05$) การที่ไก่กลุ่ม 3%RBO+4%TM มีน้ำหนักตัวหลังการทดลองต่ำกว่ากลุ่ม 3%RBO+6%TM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เป็นผลมาจากน้ำหนักตัวเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้นการทดลองกลุ่ม 3%RBO+4%TM มีแนวโน้มต่ำกว่ากลุ่ม 3%RBO+6%TM ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มที่เสริมไขมันรำข้าวคัปปสุมกากขมมันชั้นทั้ง 3 กลุ่ม พบว่าการลดลงของน้ำหนักตัวของไก่กลุ่ม 3%RBO+6%TM มีค่าน้อยกว่าของกลุ่ม 3%RBO+2%TM และ 3%RBO+4%TM เนื่องจากระดับพลังงานที่ได้รับต่อตัวต่อวัน ของไก่กลุ่มที่เสริมกากขมมันชั้น 6 เปอร์เซนต์ มีแนวโน้มสูงกว่าของไก่ทั้ง 2 กลุ่มดังกล่าว

เมื่อเปรียบเทียบกลุ่ม 3%RBO กับกลุ่มที่เสริมไขมันรำข้าวคัปปสุมทั้ง 3 กลุ่ม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เพราะระดับพลังงานที่ไก่ได้รับต่อตัวต่อวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และจากการทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าพลังงานที่ไก่ได้รับต่อตัวต่อวันมีผลต่อน้ำหนักตัวของไก่ไข่

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการผลิตของไก่ทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง

ลักษณะที่ศึกษา	อาหารทดลอง						P-value
	Control	3%RBO	3%RBO+BHT	3%RBO+2%TM	3%RBO+4%TM	3%RBO+6%TM	
นน.เริ่มทดลอง (g)	1,922.29±142.62	1,935.21±183.82	1,940.83±145.83	1,955.08±199.10	1,912.08±158.14	1,968.33±185.03	0.6183
นน.หลังทดลอง (g)	1,935.83±149.69 ^a	1,860.53±165.72 ^{bc}	1,864.68±167.78 ^{bc}	1,870.63±185.59 ^{abc}	1,827.50±168.12 ^c	1,900.42±134.26 ^{ab}	0.0302
ปริมาณอาหารที่กิน (g/bird/day)	118.37±4.43 ^{bc}	116.55±6.23 ^{bc}	114.09±7.62 ^c	120.15±5.71 ^{ab}	117.99±5.37 ^{bc}	123.94±7.41 ^a	0.0078
พลังงานที่ไก่ได้รับ ¹ (kcal/bird/day)	538.03±20.00 ^a	508.15±27.17 ^b	467.78±31.24 ^c	503.41±23.91 ^b	508.57±23.16 ^b	513.11±30.67 ^b	0.0001
Hen-day egg production (%)	94.22±2.17 ^a	93.38±3.00 ^{ab}	84.97±5.85 ^d	88.74±4.45 ^c	89.83±4.36 ^{bc}	86.24±5.38 ^{cd}	0.0001
น้ำหนักไข่ (g)	66.53±1.42 ^a	64.97±1.49 ^c	65.33±1.31 ^{bc}	65.61±1.65 ^{bc}	65.92±1.55 ^{ab}	66.09±1.70 ^{ab}	0.0003
อัตราการเปลี่ยนอาหาร เพื่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม	1.88±0.12 ^d	1.93±0.19 ^d	2.07±0.27 ^{ab}	2.03±0.21 ^{bc}	1.97±0.16 ^{cd}	2.15±0.26 ^a	0.0001
ต้นทุนค่าอาหาร (baht/kg)	8.943	8.978	8.694	8.614	8.535	8.455	-
ต้นทุนการผลิตไข่ (baht/kg)	16.81	17.33	17.99	17.49	16.81	18.18	-
อัตราการตาย (%)	-	2.08	-	-	-	-	-

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

¹ พลังงานรวม (gross energy/GE)

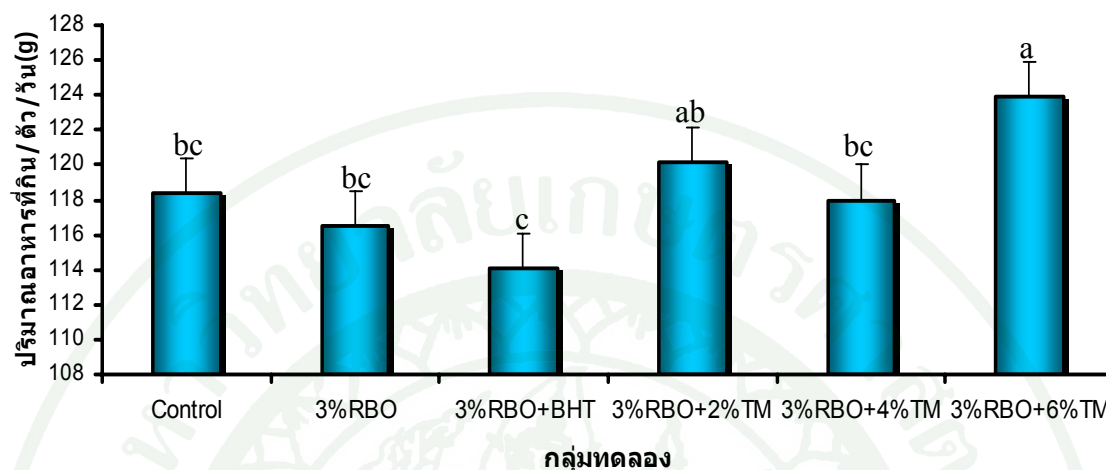
^{a,b,c,d} ค่าเฉลี่ยในบรรทัดเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05)

ปริมาณอาหารที่กิน (feed consumption)

เมื่อพิจารณาปริมาณอาหารที่กินพบว่ากลุ่ม 3%RBO+6%TM มีปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวันสูงสุด คือ 123.94 กรัม/ตัว/วัน ซึ่งมีค่ามากกว่ากลุ่ม Control, 3%RBO, 3%RBO+BHT และ 3%RBO+4%TM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 118.37, 116.55, 114.09 และ 117.99 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 5 และ ภาพที่ 1) สันนิษฐานว่าน่าจะเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณเยื่อใยในอาหารทำให้การเคลื่อนตัวของอาหารในระบบทางเดินอาหารเร็วขึ้น การย่อยและการดูดซึมทำได้น้อยลงจึงต้องกินอาหารเพิ่มขึ้น (สาริธ, 2547) สัตว์ปีกสามารถใช้ประโยชน์อาหารที่มีเยื่อใยสูงได้น้อยจึงต้องกินอาหารเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ได้รับพลังงานเพียงพอในการดำรงชีวิตและการสร้างไข่ (อุทัย, 2529; สาริธ, 2547; Scott *et al.*, 1982) มีหลักฐานทางวิชาการที่รายงานเป็นไปในทางเดียวกันโดยนักวิจัยหลายท่านพบว่า การเสริมเยื่อใยในอาหารที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ไก่กินอาหารเพิ่มมากขึ้น (McNaughton, 1978; Akiba and Matsumoto, 1982; Vargas and Naber, 1983) เพื่อให้ได้รับสารอาหารตามความต้องการของร่างกาย (มานิตย์, 2536) จากการทดลองครั้งนี้พบว่าไก่กลุ่ม 3%RBO มีปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) กับกลุ่ม Control ทั้งๆ ที่มีน้ำหนักตัวน้อยกว่า น่าจะเป็นผลมาจากไก่กลุ่ม 3%RBO ได้รับอาหารที่มีพลังงานต่ำกว่า ไก่จึงพยายามกินอาหารให้มากขึ้นเพื่อเป็นการชดเชยกับส่วนที่ขาดเพื่อให้เพียงพอกับการสร้างผลผลิต ดังจะเห็นได้จากค่าเฉลี่ยผลผลิตไข่ที่เท่าเทียมกันของไก่ทั้งสองกลุ่ม (93.38% vs. 94.22%)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไก่กลุ่ม Control กับกลุ่มที่เสริมด้วยกากขมิ้นชันทั้ง 3 กลุ่มพบว่ามีเพียงไก่กลุ่มที่เสริมกากขมิ้นชัน 6 เปอร์เซ็นต์ เพียงกลุ่มเดียวเท่านั้นที่มีปริมาณการกินอาหารมากกว่าไก่กลุ่ม Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เป็นผลมาจากปัจจัยของระดับพลังงานที่ไก่ได้รับต่อตัวต่อ (513.11 vs. 535.03 กิโลแคลอรี ตามลำดับ) ในขณะที่ไก่กลุ่มที่ได้รับกากขมิ้นชัน 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินอาหารเท่าเทียมกับไก่กลุ่ม Control แม้ว่าระดับพลังงานที่ได้รับจะน้อยกว่าก็ตาม เป็นผลมาจากปัจจัยน้ำหนักตัวซึ่งมีแนวโน้มต่ำกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งไก่กลุ่มที่ได้รับกากขมิ้นชัน 4 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักตัวน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด แทนที่ไก่ทั้งสองกลุ่มดังกล่าวจะกินอาหารในสัดส่วนที่น้อยกว่าไก่กลุ่ม Control แต่กลับกินอาหารเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยพลังงานที่ได้รับ ซึ่งสอดคล้องกับ Nahashon *et al.* (2007) รายงานว่าไก่ต๊อกที่ได้รับอาหารที่มีพลังงาน 2,900 กิโลแคลอรี(ME)/กิโลกรัม ปริมาณการกินอาหารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมากกว่ากลุ่มที่ได้รับพลังงาน 3,000 และ 3,100 กิโลแคลอรี(ME)/กิโลกรัม Grobas *et al.* (1999) รายงานว่าไก่ไข่มีแนวโน้มกินอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อในสูตรอาหารมีระดับพลังงานลดลง นอกจากนี้ยังมีรายงาน

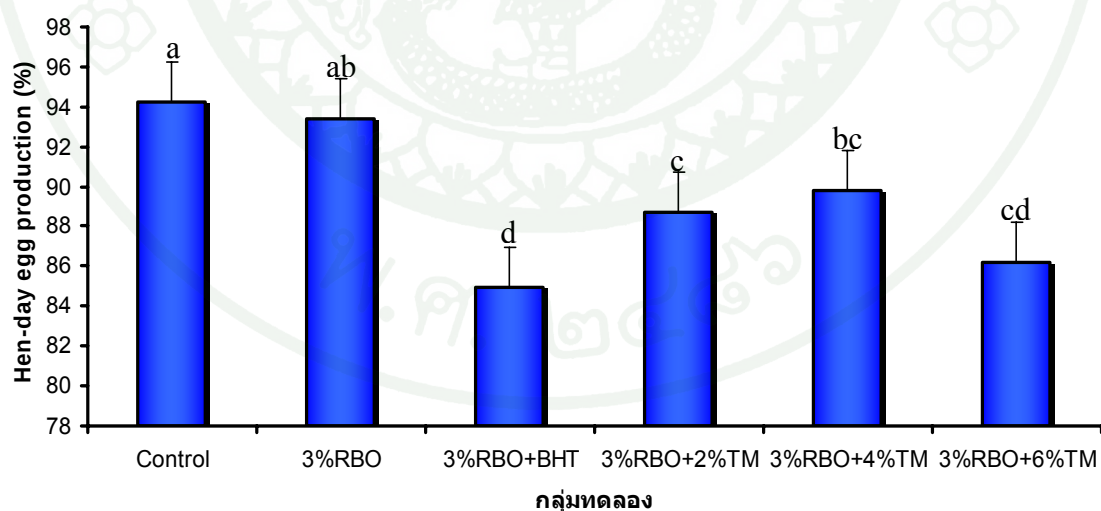
ในเป็ดปักกิ่งที่ได้รับอาหารที่มีระดับพลังงานแตกต่างกันพบว่า มีผลกระทบต่อปริมาณอาหารที่กิน (Fan *et al.*, 2008) เพื่อให้ได้รับพลังงานเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย



ภาพที่ 1 ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน

(^{a,b,c} ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$;))

ผลผลิตไข่ (egg production)



ภาพที่ 2 เปอร์เซนต์ผลผลิตไข่

(^{a,b,c,d} ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$;))

จากการทดลองครั้งนี้พบว่าตลอดระยะเวลาการทดลองไก่กลุ่ม Control มีผลผลิตไข่สูงที่สุด คือ 94.22 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือกลุ่ม 3%RBO มีค่าเฉลี่ย 93.38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.01$) ในขณะที่ไก่ทดลองอีก 4 กลุ่มที่เหลือมีค่าเฉลี่ยผลผลิตไข่ต่ำกว่าไก่กลุ่ม Control อย่างเห็นได้ชัด ($P<0.01$; ตารางที่ 5 และ ภาพที่ 2) เป็นผลสะท้อนมาจากระดับพลังงานที่ไก่ทั้ง 4 กลุ่มได้รับมีค่าต่ำกว่าไก่กลุ่ม Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) จึงส่งผลให้มีผลผลิตไข่ลดลง เนื่องจากไก่ได้รับพลังงานไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้ในการสร้างไข่ (สาโรช, 2547; สุชาติและคณะ, 2550; Scott *et al.*, 1982) Nahashon *et al.* (2007) รายงานว่าไก่ต๊อกที่ได้รับอาหารที่มีระดับพลังงาน 3,000 และ 3,100 กิโลแคลอรี(ME)/กิโลกรัม ให้ผลผลิตไข่สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีระดับพลังงาน 2,900 กิโลแคลอรี(ME)/กิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการทดลองครั้งนี้ยังชี้ได้อย่างชัดเจนว่าสารเคอร์คิวมินอยด์ในกากขมิ้นชันมีปริมาณน้อยเกินไปจึงไม่มีผลต่อผลผลิตไข่หรือน้ำหนักฟองไข่แต่อย่างใด สอดคล้องกับ Keshavarz (1976) รายงานว่าการเสริมสารสกัดเคอร์คิวมินในสูตรอาหารที่ระดับ 0.04 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อผลผลิตไข่และน้ำหนักของไข่ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม Control กับกลุ่ม 3% RBO พบว่าการเสริมไขมันในอาหารไม่มีผลต่อผลผลิตไข่ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Leary *et al.* (1997) รายงานว่าการเสริมกรดไขมันที่จำเป็นในอาหารไม่มีผลต่อผลผลิตไข่ของไก่ไข่

น้ำหนักไข่ (egg weight)

น้ำหนักไข่เฉลี่ยของไก่กลุ่ม Control มีค่าสูงที่สุด คือ 66.53 กรัม มีค่าเท่าเทียม ($P>0.05$) กับของกลุ่ม 3%RBO+4%TM (65.92 กรัม) และ 3%RBO+6%TM (66.09 กรัม) ในขณะที่น้ำหนักไข่ของไก่กลุ่ม 3%RBO, 3%RBO+BHT และ 3%RBO+2%TM มีค่าน้อยกว่าของไก่กลุ่ม Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากปริมาณพลังงานที่ไก่ได้รับต่อตัวต่อวันต่ำกว่ากลุ่ม Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ซึ่งผลการทดลองขัดแย้งกับ Grobas *et al.* (1999) รายงานว่าระดับพลังงานในสูตรอาหารไก่ไข่ไม่มีผลต่อน้ำหนักฟองไข่ เนื่องจากสูตรอาหารที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าส่งผลให้ไก่มีปริมาณการกินอาหารที่เพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้รับพลังงานตามที่ต้องการของร่างกาย จากการทดลองครั้งนี้อาหารที่เสริมกากขมิ้นชันมีเชื้อไขสูง ส่งผลให้อาหารมีลักษณะฟาม โดยไก่ได้รับอาหารเต็มระบบทางเดินอาหารแต่มีสารอาหารน้อย ทำให้ระบบทางเดินอาหารขยายตัว กระตุ้นการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติมีคำสั่งให้หยุดกิน (ปนัดดา, 2546; สาโรช, 2547) จึง

ส่งผลให้ไก่แต่ละกลุ่มได้รับพลังงานต่อตัวต่อวันที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการทดลองถึงแม้ว่ากลุ่ม 3%RBO+2%TM จะมีปริมาณการกินอาหารมากกว่ากลุ่ม Control แต่ระดับพลังงานที่ได้รับต่อตัวต่อวันต่ำกว่ากลุ่ม Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)

จากผลการทดลองขัดแย้งกับการรายงานของ Mannion *et al.* (1992) และ Leary *et al.* (1997, 1999) ที่เคยรายงานไว้ว่าการเสริมไขมันในอาหารที่เป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็นลิโนเลอิก ส่งผลให้ไข่ไก่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น แต่จากการทดลองถึงแม้ว่าในกลุ่ม 3%RBO, 3%RBO+BHT และ 3%RBO+2%TM มีระดับไขมันในสุทธอาหารที่สูงกว่ากลุ่ม Control แต่ได้รับพลังงานต่ำกว่ากลุ่ม Control เนื่องจากสุทธอาหารในกลุ่ม Control มีค่าป่นสูงที่สุด คือ 5.40 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กลุ่มอื่นๆมีแค่ 1 เปอร์เซ็นต์ สาร (2547) อธิบายว่าป่นเป็นวัตถุดิบอาหารแหล่งโปรตีนที่มีความสมดุลของกรดอะมิโนสูง สัตว์กระเพาะเคี้ยวสามารถใช้ประโยชน์ได้สูง นอกจากนี้วัตถุดิบที่เป็นแหล่งพลังงานในสุทธอาหารกลุ่ม Control คือ ข้าวโพด ซึ่งสามารถย่อยและดูดซึมได้ดีกว่ารำสกัดและกากขี้มันชัน ที่ใช้ในการประกอบสุทธอาหารในกลุ่มที่มีการเสริมน้ำมันรำข้าวดิบในทุกกลุ่มทดลอง ดังนั้นระดับของพลังงานในสุทธอาหารจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักฟองไข่ (เสกสม และคณะ, 2540) นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกับกากขี้มันชัน ทั้ง 3 กลุ่ม มีน้ำหนักไข่สูงกว่ากลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบเพียงอย่างเดียว (3%RBO) ซึ่งสัมพันธ์กับผลผลิตไข่ที่ลดลง เนื่องจากการให้ผลผลิตไข่ที่ลดลงทำให้กระบวนการสร้างไข่แต่ละฟองมีระยะเวลาเพิ่มขึ้น กล่าวคือ การสังเคราะห์สารไข่แดงที่ตับและการลำเลียงขนส่งไปสะสมในกระเปาะไข่ที่บริเวณรังไข่รวมทั้งกระบวนการสังเคราะห์ไข่ขาวที่ท่อหน้าไข่เพิ่มขึ้น (วรวิทย์, 2531) ทำให้การสร้างไข่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น จึงส่งผลให้ฟองไข่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักไข่ท่ามกลางไก่กลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกับกากขี้มันชันทั้ง 3 กลุ่มพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

อัตราการใช้เปลี่ยนอาหารเพื่อการผลิตไข่ (feed conversion ratio for egg production)

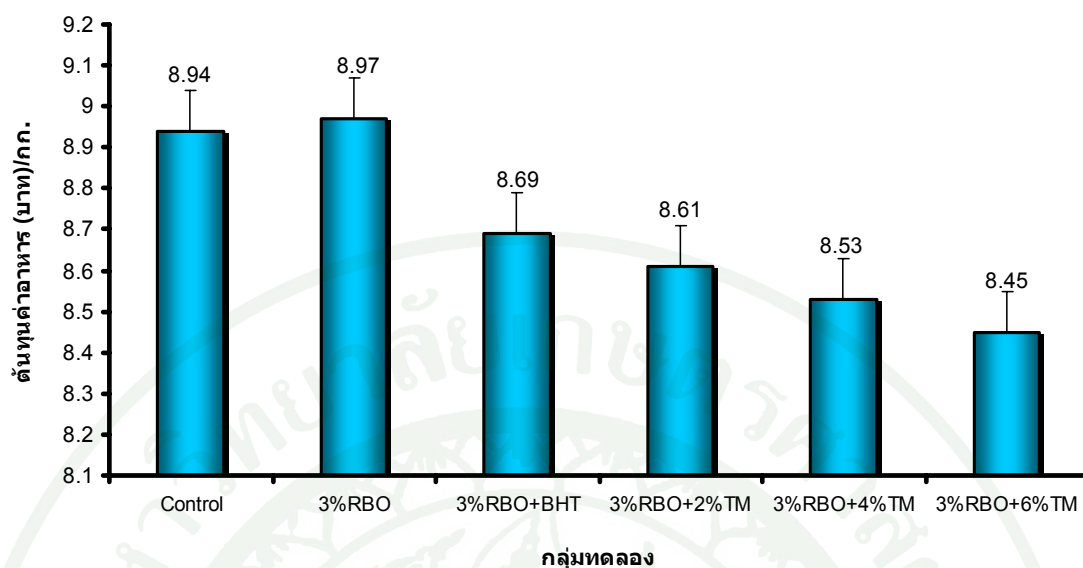
ตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าอัตราการใช้เปลี่ยนอาหารเพื่อการผลิตไข่ของไก่กลุ่ม Control มีค่าเท่ากับของไก่กลุ่ม 3%RBO เป็นผลมาจากไก่ทั้งสองกลุ่มกินอาหารเท่ากันและให้ผลผลิตไข่ในระดับเดียวกัน แม้ว่าน้ำหนักไข่ของไก่กลุ่ม 3%RBO จะมีค่าน้อยกว่าของไก่กลุ่ม Control ก็ตามแต่ ก็สอดคล้องกับปริมาณอาหารที่กินและผลผลิตไข่ที่มีแนวโน้มต่ำกว่าเล็กน้อย สาร (2547) อธิบายว่าการเสริมไขมันในอาหารทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น แต่จากการทดลอง

ครั้งนี้พบว่า การเสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันชันทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง ดังจะเห็นได้จากค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนอาหารเพื่อการสร้างไข่ที่ปรากฏสูงขึ้นในไก่ทั้งสามกลุ่มที่ได้รับกากขี้มันชัน เนื่องมาจากอาหารทดลองที่เสริมกากขี้มันชันมีเยื่อใยสูงและระดับพลังงานต่ำกว่ากลุ่ม Control ทำให้ไก่ต้องกินอาหารเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ได้ระดับพลังงานตามความต้องการของร่างกาย การปรับการให้ผลผลิตไข่ที่ต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด จึงส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเพื่อการผลิตไข่มีค่าเพิ่มขึ้น

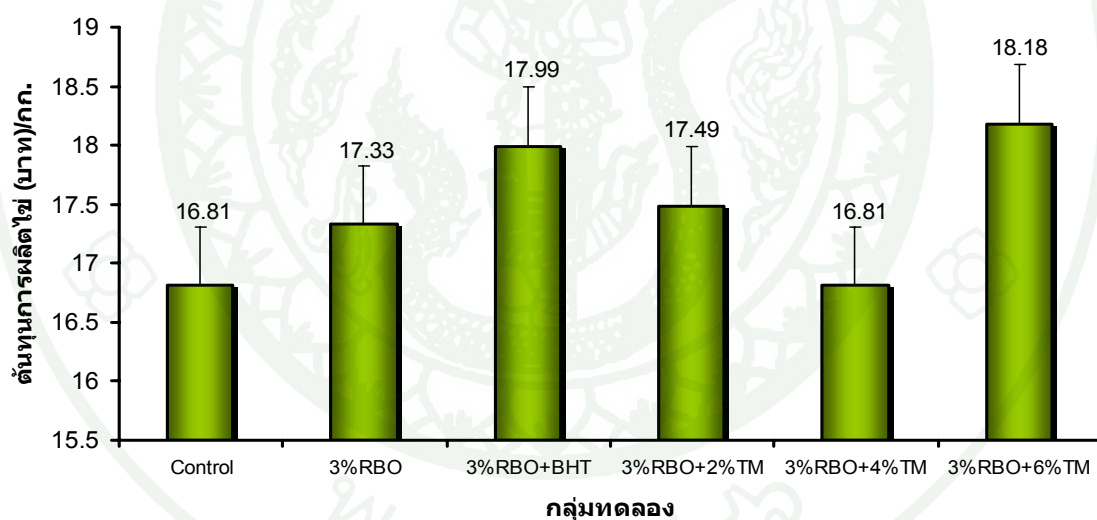
ต้นทุนค่าอาหารและต้นทุนการผลิตไข่ต่อกิโลกรัม (feed cost and egg cost/kilogram)

ต้นทุนค่าอาหารทดลองของไก่กลุ่ม Control, 3%RBO, 3%RBO+BHT, 3%RBO+2%TM, 3%RBO+4%TM, และ 3%RBO+6%TM มีค่าเท่ากับ 8.94, 8.97, 8.69, 8.61, 8.53 และ 8.45 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 5 และ ภาพที่ 3) ซึ่งพบว่าในกลุ่ม 3%RBO, 3%RBO+BHT และกลุ่มที่เสริมกากขี้มันชันทั้ง 3 กลุ่มมีต้นทุนค่าอาหารต่ำกว่ากลุ่ม Control เนื่องจากไม่คิดต้นทุนของกากขี้มันชันแต่ถ้าราคาของกากขี้มันชันมากกว่า 4 บาท/กิโลกรัม ทำให้ราคาอาหารในกลุ่มที่เสริมกากขี้มันชันไม่แตกต่างกับกลุ่ม Control

เมื่อศึกษาคำนวณต้นทุนการผลิตไข่ต่อกิโลกรัมพบว่ากลุ่ม Control, 3%RBO, 3%RBO+BHT, 3%RBO+2%TM, 3%RBO+4%TM, และ 3%RBO+6%TM มีค่าเท่ากับ 16.81, 17.33, 17.99, 17.49, 16.81 และ 18.18 บาท ตามลำดับ (ตารางที่ 5 และ ภาพที่ 4) ไก่กลุ่ม Control มีต้นทุนในการผลิตไข่เท่ากับกลุ่ม 3%RBO+4%TM ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด ในขณะที่กลุ่ม 3%RBO+6%TM (18.18 บาท) มีต้นทุนการผลิตไข่ต่อกิโลกรัมสูงที่สุด รองลงมา คือกลุ่ม 3%RBO+BHT (17.99 บาท) แสดงให้เห็นว่าต้นทุนการผลิตไข่ให้ผลสอดคล้องกับปริมาณอาหารที่กิน ผลผลิตไข่ และน้ำหนักไข่ กล่าวคือ ถ้าปริมาณอาหารที่กินมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ผลผลิตไข่และน้ำหนักไข่มีค่าลดลง จะมีผลทำให้ต้นทุนการผลิตไข่ต่อกิโลกรัมมีค่าเพิ่มมากขึ้น จากผลการทดลองสอดคล้องกับ Vargas and Naber (1983) รายงานว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีเยื่อใยสูง (12 เปอร์เซ็นต์) ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเพื่อการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีเยื่อใยต่ำ (3 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)



ภาพที่ 3 ต้นทุนราคาอาหารทดลองต่อกิโลกรัม



ภาพที่ 4 ต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัม

คุณภาพไข่ (egg quality)

จากการทดลองพบว่าน้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว และน้ำหนักเปลือกไข่ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 24.07 - 24.75, 65.85 - 66.41 และ 9.18 - 9.55 เปอร์เซ็นต์ของไข่ทั้งฟอง ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 6 กลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 6 ส่วนความหนาของเปลือกไข่พบว่าทั้ง 6 กลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกัน เป็นผลมาจากการได้รับแคลเซียมในสูตรอาหารที่ไม่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าในกลุ่มที่เสริมกากขี้มีนชั้นมีเยื่อใยสูงอาจจับกับแคลเซียมในระบบทางเดินอาหารแล้วถูกขับทิ้ง (Lertphatcharanon, 2007) แต่จากการวัดระดับของแคลเซียมไอออนในพลาสมา (ตารางที่ 9) พบว่าทั้ง 6 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) บ่งชี้ได้ว่าอาหารทดลองไม่มีผลกระทบต่อสมดุลแคลเซียมในร่างกายของไก่ทดลองแต่อย่างใด ไก่ไข่มีการสะสมของแคลเซียมไว้ที่กระดูกชนิดพิเศษที่เรียกว่า medullary bone เป็นกระดูกที่มีบทบาทสำคัญคือเป็นแหล่งแคลเซียมใช้สำหรับกระบวนการสร้างเปลือกไข่ ซึ่งพบเฉพาะในสัตว์ปีกเพศเมียระยะการเจริญพันธุ์ กระบวนการสลายกระดูกอาศัยการทำงานของฮอร์โมนพาราไทรอยด์ ในการสลายแคลเซียมที่กระดูกส่วน medullary bone (วิโรจน์, 2537) เว้นแต่ในสภาวะที่แม่ไก่ได้รับระดับแคลเซียมในอาหารต่ำติดต่อกันเป็นเวลานาน อาจส่งผลกระทบต่อสมดุลแคลเซียมในร่างกายมีผลทำให้ระดับแคลเซียมในพลาสมาและความหนาของเปลือกไข่ลดลง เนื่องจากแคลเซียมที่สะสมที่กระดูกส่วน medullary bone ถูกสลายไปใช้เกินสมดุล

ผลของคะแนนสีไข่แดง พบว่าในกลุ่ม Control มีคะแนนสีไข่แดงสูงที่สุด คือ 8.29 ซึ่งแตกต่างกับกลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คะแนนสีของไข่แดงที่แตกต่างกันเนื่องจากระดับของข้าวโพดในสูตรอาหารทดลองที่ต่างกัน ซึ่งข้าวโพดเป็นวัตถุดิบอาหารที่มีสารแซนโทฟิลซึ่งเป็นสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ที่ละลายในไขมันและสามารถเข้าไปสะสมในไข่แดง จึงทำให้คะแนนสีไข่แดงเพิ่มขึ้น (สาโรช, 2547; Gross, 1987) ระดับข้าวโพดในสูตรอาหารทดลองในกลุ่ม Control, 3%RBO, 3%RBO+BHT, 3%RBO+2%TM, 3%RBO+4%TM และ 3%RBO+6%TM มีค่าเท่ากับ 62.50, 50.98, 50.98, 48.35, 45.73 และ 43.10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม 3%RBO กับ 3%RBO+BHT ในสูตรอาหารของไก่ทั้งสองกลุ่มมีวัตถุดิบอาหารเหมือนกันทุกชนิด อย่างไรก็ตาม คะแนนสีไข่แดงของกลุ่ม 3%RBO+BHT มีแนวโน้มสูงกว่าของกลุ่ม 3%RBO สมชาย (2539) รายงานว่าการเสริมสารกันหืนสังเคราะห์ในสูตรอาหารไก่ไข่มีผลทำให้ไข่แดงมีสีเข้มขึ้นเป็นผลมาจากไขมันในไข่แดงไม่ถูกทำลายด้วยอนุมูลอิสระ

ทำให้สารสีในไข่แดงซึ่งละลายในไขมันไม่ถูกทำลาย สอดคล้องกับยูเรส (2538) รายงานว่า สารประกอบเปอร็อกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันซึ่งมีผลทำให้ไขมันเกิดกลิ่นเหม็นหืน มีคุณสมบัติในการทำลายวิตามินที่ละลายในไขมัน กรดอะมิโน และสารแคโรทีนอยด์ มีผลทำให้สีในไข่แดงซีดลง ดังนั้นการเสริมสารกันหืนสังเคราะห์ในสูตรอาหารทำให้สารประกอบเปอร็อกไซด์ลดลง จากการทดลองครั้งนี้พบว่าสูตรอาหารที่เสริมกากขมิ้นชันไม่มีผลต่อสีของไข่แดง สันนิษฐานว่าเนื่องจากสารประกอบเคอร์คิวมินอยด์ มีคุณสมบัติไวต่อกรดและด่างในระบบทางเดินอาหาร โดยจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีแดงเมื่ออยู่ในสภาพเป็นกรดและสีน้ำตาลแดงเมื่ออยู่ในสภาพเป็นด่าง และนอกจากนี้การดูดซึมสารเคอร์คิวมินที่เกิดขึ้นตรงบริเวณผนังลำไส้ของสัตว์คงมีประสิทธิภาพต่ำ และ/หรืออาจมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปอื่นขณะที่มีการดูดซึม (ประกองศิริ, 2546) นอกจากนี้ยังมีการรายงานว่าสารเคอร์คิวมินเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเมตาบอไลต์เปลี่ยนสภาพเป็น curcumin-glucoronide, dihydrocurcumin-glucoronide, tetrahydrocurcumin-glucoronide และ hexahydrocurcumin-glucoronide หลังจากนั้นจึงเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต (Pan *et al.*, 1999)

ค่าสอฟูนิต ซึ่งเป็นการวัดคุณภาพของไข่ขาว พบว่าไก่ทดลองทั้ง 6 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ช่วงระหว่าง 94.75 - 96.88 เนื่องจากไข่ขาวมีส่วนประกอบหลักเป็นโปรตีน (วรวิทย์, 2531) ดังนั้นการที่ไก่ทดลองได้รับโปรตีนในระดับที่ใกล้เคียงกันทั้ง 6 กลุ่ม คือประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ จึงไม่ส่งผลต่อคุณภาพของไข่ขาว

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยคุณภาพไข่ของไก่ทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง

ลักษณะที่ศึกษา	อาหารทดลอง						P-value
	Control	3%RBO	3%RBO+BHT	3%RBO+2%TM	3%RBO+4%TM	3%RBO+6%TM	
น้ำหนักไข่แดง (%)	24.07±0.50	24.22±1.39	24.74±7.20	24.75±0.81	24.50±0.50	24.09±0.55	0.4697
น้ำหนักไข่แดง (g)	(16.03±0.42)	(16.05±0.89)	(16.60±0.92)	(16.49±0.49)	(16.56±1.18)	(16.17±0.70)	-
น้ำหนักไข่ขาว (%)	66.41±2.76	66.41±1.57	66.08±0.41	65.85±0.84	66.23±0.55	66.36±0.65	0.8609
น้ำหนักไข่ขาว (g)	(44.22±2.30)	(44.04±1.78)	(44.33±1.17)	(43.89±1.66)	(44.76±3.02)	(44.56±1.77)	-
น้ำหนักเปลือก (%)	9.52±0.20	9.37±0.33	9.18±0.38	9.40±0.35	9.26±0.34	9.55±0.20	0.2581
น้ำหนักเปลือกไข่ (g)	(6.34±0.18)	(6.12±0.25)	(6.16±0.34)	(6.27±0.31)	(6.27±0.55)	(6.41±0.25)	-
ความหนาเปลือกไข่ (mm.)	0.398±0.027	0.393±0.026	0.392±0.028	0.394±0.032	0.400±0.029	0.401±0.024	0.9776
สีไข่แดง	8.29±0.63 ^a	6.74±0.51 ^{bc}	7.17±0.51 ^b	6.78±0.42 ^{bc}	6.72±0.35 ^{bc}	5.92±1.76 ^c	0.0001
ค่าฮอฟยูนิต	95.72±3.42	95.86±3.59	94.74±2.90	95.85±5.21	96.88±4.85	96.57±3.72	0.9056

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a,b,c} ค่าเฉลี่ยในบรรทัดเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05)

ค่าไขมันในพลาสมา

คอเลสเตอรอล (cholesterol)

ตารางที่ 7 แสดงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของไขมันในพลาสมาของไก่ทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าระดับของคอเลสเตอรอลในพลาสมาทั้ง 6 กลุ่ม มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 71.29 - 92.18 มิลลิกรัม/เดซิลิตร แต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเสริมน้ำมันรำข้าวคิบที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในสูตรอาหารทดลองไม่มีผลกระทบต่อการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลภายในร่างกาย (Ibrahim and McNamara, 1988; Shurbaji *et al.*, 1991) หรือการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันในซีรัม (Latour *et al.*, 1994) ซึ่งขัดแย้งกับ Thomas *et al.* (2007) รายงานว่าการเสริมน้ำมันรำข้าวในอาหารหนูทำให้ระดับของคอเลสเตอรอลในซีรัมลดลง Purushothama *et al.* (1995) และ Sakamoto *et al.* (1987) รายงานว่าโอรีซานอลในน้ำมันรำข้าวสามารถลดคอเลสเตอรอลในพลาสมาของหนูได้เช่นเดียวกัน Ide *et al.* (1978) รายงานว่าการเพิ่มไขมันไม่อิ่มตัวในอาหารมีผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์ HMG Co.A reductase ซึ่งทำหน้าที่ในการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล นอกจากนี้ยังรายงานวาทโคโคไตร-อินอลในน้ำมันรำข้าวคิบมีผลทำให้การสลายตัวของเอนไซม์ HMG Co.A reductase มีอัตราเร่งเพิ่มขึ้น (นัยนา, 2545) Connor *et al.* (1969) พบว่ากรดไขมันโอเมก้า-6 ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในน้ำมันรำข้าวคิบมีผลในการเพิ่มการขับน้ำดีและคอเลสเตอรอลออกจากร่างกาย เป็นสาเหตุให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดลดลง

การเสริมน้ำมันรำข้าวคิบผสมกากขี้มันชันในอาหารทดลองพบว่าไม่มีผลต่อการลดระดับของคอเลสเตอรอลในพลาสมา Arafat (2005) รายงานว่าสารเคอร์คิวมินในขมิ้นชันมีฤทธิ์ในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ 7 α -hydroxylase ซึ่งทำหน้าที่ในกระบวนการสังเคราะห์กรดน้ำดีอาศัยคอเลสเตอรอลเป็นสารเริ่มต้น มีผลทำให้การไหลเวียนของน้ำดีในกระเพาะโลหิตมีค่าเพิ่มขึ้น (Michael, 1999) Ahmad-Raus *et al.* (2001) รายงานว่าการเหนี่ยวนำให้หนูอยู่ในภาวะ hypercholesterolemia และได้รับขมิ้นชัน 4 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร พบว่าซีรัมของหนูมีคอเลสเตอรอลลดลง 70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากการทดลองครั้งนี้การที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่าไขมันในเลือดระหว่างไก่กลุ่มที่ได้รับกากขี้มันชันกับไก่กลุ่ม Control น่าจะเป็นผลมาจากสารเคอร์คิวมินในขมิ้นชันมีปริมาณน้อยเกินไปกว่าที่จะมีผลต่อระดับของคอเลสเตอรอลในพลาสมา

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่เสริมกับไม่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบ พบว่าระดับคอเลสเตอรอลในพลาสมาของกลุ่มที่เสริมน้ำมัน มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมัน เนื่องจากอาหารที่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวระดับสูงขึ้น Weiss *et al.* (1967) รายงานว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ได้รับจากอาหารเพิ่มการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลที่ตับ ดังนั้นปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดจึงเพิ่มขึ้นเนื่องจากการขับคอเลสเตอรอลจากตับสู่กระแสเลือด

ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride)

ระดับของไตรกลีเซอไรด์ในพลาสมาของกลุ่มทดลองทั้ง 6 กลุ่มมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 283.14 - 563.01 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ซึ่งแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามสังเกตพบว่าระดับไตรกลีเซอไรด์ในพลาสมาของกลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขมิ้นชันมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Lertphatcharanon (2007) รายงานว่าเชื้อใยจากกากขมิ้นชันมีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน จึงทำให้เชื้อใยจากกากขมิ้นชันจับกับไขมันในอาหารและถูกขับออกทางมูลเพิ่มมากขึ้น McNaughton (1978) รายงานว่าระดับของเชื้อใยในอาหารที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ไตรกลีเซอไรด์ในพลาสมาของไก่ไข่ลดลง

Majithiya *et al.* (2004) ศึกษาในหนูทดลองพบว่าการเสริมสารสกัดเคอร์คิวมินระดับความเข้มข้น 200 และ 400 มิลลิกรัม/กิโลกรัมอาหาร มีผลทำให้ไตรกลีเซอไรด์ในซีรัมมีค่าลดลง ซึ่งให้ผลเป็นไปในทำนองเดียวกันกับผลการทดลองที่เคยรายงานโดย Ahmad-Raus *et al.* (2001) และ Kermanshahi and Riasi (2006) ทำการศึกษาในไก่ไข่ รายงานว่าการเสริมขมิ้นชันในอาหารไก่ไข่มีผลทำให้ระดับของไตรกลีเซอไรด์ในกระแสเลือดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่จากการทดลองครั้งนี้ได้ใช้กากขมิ้นชันในการทดลองซึ่งมีสารเคอร์คิวมินเหลืออยู่น้อย จึงไม่มีผลกระทบต่อระดับของไตรกลีเซอไรด์ในพลาสมา

เมื่อพิจารณากลุ่มที่ไม่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบ (Control มีค่า 427.85 มิลลิกรัม/เดซิลิตร) และกลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบ (3%RBO และ 3%RBO+BHT มีค่า 502.79 และ 563.01 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ตามลำดับ) พบว่ากลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบระดับของไตรกลีเซอไรด์ในพลาสมามีแนวโน้มสูงกว่าในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมน้ำมันรำข้าวดิบ เนื่องจากไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันรำข้าวดิบ (Orthofer, 1996)

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยไขมันในพลาสมาของไก่ทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ลักษณะที่ศึกษา	อาหารทดลอง						P-value
	Control	3%RBO	3%RBO+BHT	3%RBO+2%TM	3%RBO+4%TM	3%RBO+6%TM	
คอเลสเตอรอล (mg/dl)	71.29±20.10	79.97±22.68	76.50±22.39	86.83±38.38	79.36±8.22	92.18±7.98	0.6582
ไตรกลีเซอไรด์ (mg/dl)	427.85±139.48	502.79±44.03	563.01±119.65	284.25±125.50	368.98±166.71	283.14±121.20	0.0858
HDL (mg/dl)	6.20±1.64 ^c	7.85±0.28 ^{bc}	6.67±1.11 ^c	9.20±4.14 ^{ab}	11.25±0.13 ^a	8.49±1.43 ^{bc}	0.0015
LDL (mg/dl)	1.62±0.59	1.61±0.72	1.21±0.29	1.67±0.58	1.00±0.00	1.51±0.70	0.7556
ฟอสโฟลิพิด (mg/dl)	301.40±43.38 ^c	298.90±57.64 ^c	315.87±34.28 ^{bc}	374.75±41.20 ^a	325.85±46.48 ^{abc}	355.79±18.69 ^{ab}	0.0205

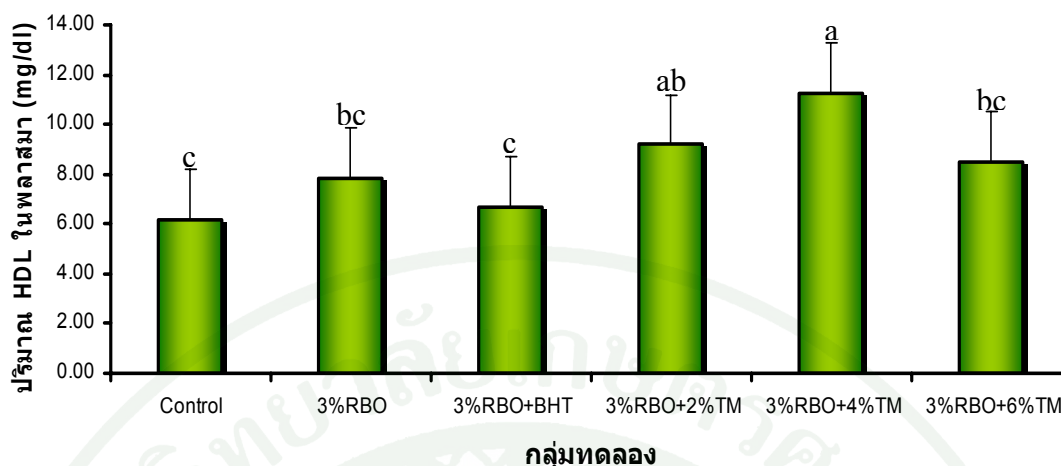
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a,b,c} ค่าเฉลี่ยในบรรทัดเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05)

ไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density lipoprotein, HDL)

จากการทดลองพบว่าระดับของ HDL ในพลาสมา มีค่าอยู่ระหว่าง 6.20 - 11.25 มิลลิกรัม/เดซิลิตร (ตารางที่ 7 และ ภาพที่ 5) โดยพบว่าระดับ HDL ของไก่กลุ่ม Control, 3%RBO และ 3%RBO+BHT มีค่าใกล้เคียงกัน ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างไก่กลุ่ม Control กับไก่กลุ่มที่ได้รับกากขี้มันชันพบว่าระดับ HDL ของไก่กลุ่มที่ได้รับกากขี้มันชันมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความแตกต่างทางสถิติปรากฏให้เห็นในกลุ่มที่ได้รับกากขี้มันชันระดับ 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ Berger *et al.* (2002) รายงานว่าการเสริมน้ำมันรำข้าวในอาหารทำให้ LDL/HDL ratio ในพลาสมา มีระดับต่ำลง ฟอสโฟลิพิดที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันรำข้าวดิบ มีคุณสมบัติเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ HDL โดยการย้ายกรดไขมันตำแหน่งที่ 2 ให้กับคอเลสเตอรอล ทำให้ได้เป็นคอเลสเตอรอลเอสเทอร์ ซึ่งสามารถไปจับกับแกนกลางของ HDL ส่งผลให้ HDL มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น (ปนัดดา, 2546)

จากการทดลองในครั้งนี้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าการที่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันชันมีผลทำให้ระดับของ HDL ในพลาสมา มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Kermanshahi and Riasi (2006) รายงานว่าการเสริมขี้มันชันในอาหารไก่ไข่ทำให้มีระดับของ HDL ในพลาสมาสูงขึ้นและแตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ในกลุ่ม 3%RBO+6%TM ถึงแม้จะมีการเสริมกากขี้มันชันมากที่สุด แต่ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ HDL ในพลาสมา สันนิษฐานว่าเกิดจากสูตรอาหารกลุ่ม 3%RBO+6%TM มีเชื้อไขสูง ทำให้อาหารมีการเคลื่อนตัวในระบบทางเดินอาหารเร็วขึ้น (สาโรช, 2547) ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึมสารเทอร์คิวมินอยด์ลดลง



ภาพที่ 5 ปริมาณไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDL) ในพลาสมาของไก่ทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (^{a,b,c} ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$;))

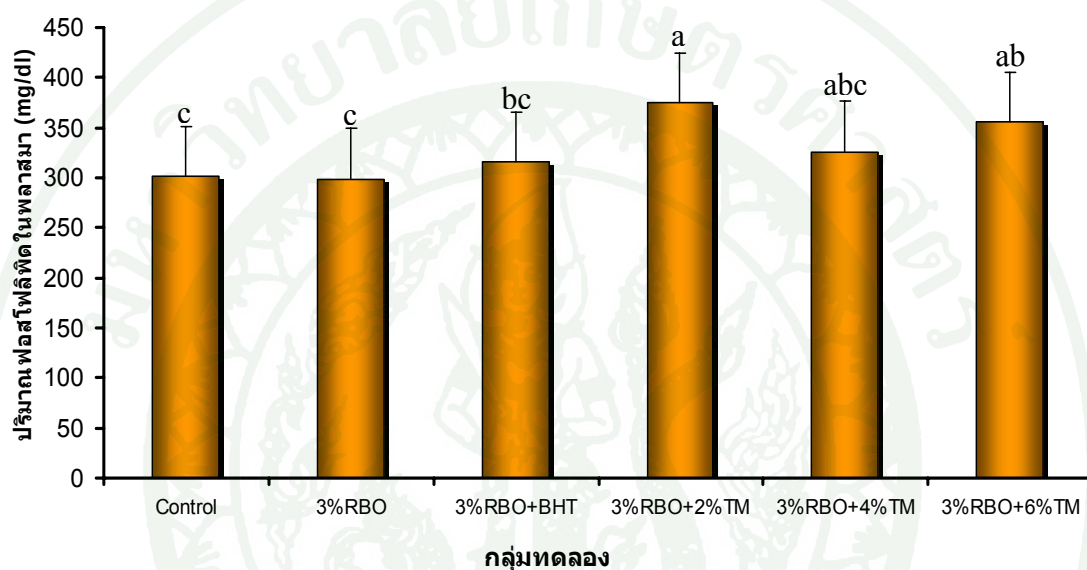
ไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density lipoprotein, LDL)

ระดับของ LDL ในพลาสมาของไก่ทดลองทั้ง 6 กลุ่ม มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.00 - 1.67 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ฟอสโฟลิพิด (phospholipid)

เมื่อไก่ไข่ได้รับอาหารทดลองทำให้ระดับของฟอสโฟลิพิดในพลาสมา มีค่าอยู่ระหว่าง 298.90 - 374.75 มิลลิกรัม/เดซิลิตร (ตารางที่ 7 และ ภาพที่ 6) ซึ่งพบว่ากลุ่ม 3%RBO (298.90 มิลลิกรัม/เดซิลิตร) กับกลุ่ม Control (301.40 มิลลิกรัม/เดซิลิตร) มีระดับของฟอสโฟลิพิดในพลาสมาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นจากการทดลองครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าการเสริมน้ำมันรำข้าวดิบล้วนๆ ระดับ 3 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารไก่ไข่ไม่มีผลต่อระดับของฟอสโฟลิพิดในพลาสมา อย่างไรก็ตามที่น่าสนใจ คือ พบว่ากลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันชั้นทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าระดับของฟอสโฟลิพิดในพลาสมาสูงกว่ากลุ่ม Control และกลุ่ม 3%RBO อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แม้ว่ากลุ่มที่เสริมกากขี้มันชั้นระดับ 4 เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่างจะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็ตามแต่ก็มีแนวโน้มที่สูงกว่าอย่างเห็นได้ชัดเจน ดังนั้นสิ่งที่พบจากการทดลองในครั้งนี้ คือ การเสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกับกากขี้มันชั้นมีผลทำให้ระดับของฟอสโฟลิพิดในพลาสมาของไก่ไข่มีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่ยังไม่ทราบกลไกที่ชัดเจน

การเพิ่มขึ้นของระดับฟอสโฟลิพิดในพลาสมาเป็นผลดีต่อสุขภาพของสัตว์ เนื่องจากฟอสโฟลิพิดเป็นไขมันที่ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ที่สำคัญ เช่น เซลล์ประสาท นอกจากนี้ยังเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการสังเคราะห์ HDL ซึ่งทำหน้าที่ขนส่งคอเลสเตอรอลต่ำเลียงเข้าไปในตับ (Giroux *et al.*, 1999) ค่าปกติของระดับฟอสโฟลิพิดในซีรัมของไก่ไข่อยู่ในช่วงประมาณ 150 – 1,950 มิลลิกรัม/เดซิลิตร (Wagner *et al.*, 1978)



ภาพที่ 6 ปริมาณฟอสโฟลิพิดในพลาสมาของไก่ไข่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง
(^{a,b,c} ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$;))

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยไขมันในไข่แดงของไก่ทอดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ลักษณะที่ศึกษา	Control	3%RBO	3%RBO+BHT	3%RBO+2%TM	3%RBO+4%TM	3%RBO+6%TM	P-value
คอเลสเตอรอล (mg/g)	7.64±1.12	5.89±0.65	8.77±2.98	7.94±1.64	6.88±1.36	7.51±1.08	0.0919
น้ำหนักไข่แดง (g)	16.03	16.05	16.60	16.49	16.56	16.17	-
คอเลสเตอรอล (mg/egg)	122.47	94.53	145.58	130.93	113.93	121.44	-
ไตรกลีเซอไรด์ (mg/g)	68.89±4.50 ^c	103.86±25.55 ^a	74.18±15.30 ^{bc}	81.46±6.05 ^{bc}	104.10±22.17 ^a	95.39±18.58 ^{ab}	0.0027
ฟอสโฟลิพิด (mg/g)	19.62±0.71 ^c	18.95±3.17 ^c	20.69±1.00 ^{bc}	27.03±3.97 ^a	20.66±2.71 ^{bc}	23.57±2.53 ^b	0.0001

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a,b,c} ค่าเฉลี่ยในบรรทัดเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05)

ค่าไขมันในไข่แดง

คอเลสเตอรอล (cholesterol)

ตารางที่ 8 แสดงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไขมันในไข่แดงของไก่ทดลองวิเคราะห์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าอาหารทดลองไม่มีผลกระทบต่อระดับของคอเลสเตอรอลในไข่แดง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 5.89 - 8.77 มิลลิกรัม/กรัมไข่แดง ($P>0.05$) เมื่อคำนวณเป็นปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงต่อฟองซึ่งมีค่าเท่ากับ 122.47, 94.53, 145.58, 130.93, 113.93 และ 121.44 มิลลิกรัม ระดับของคอเลสเตอรอลในพลาสมาสัมพันธ์กับปริมาณของคอเลสเตอรอลในไข่แดง ซึ่งให้ผลที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกัน แต่ขัดแย้งกับ Weiss *et al* (1967) รายงานว่าความเข้มข้นของคอเลสเตอรอลในเลือดไม่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของคอเลสเตอรอลในไข่แดง เนื่องจากสัตว์ปีกมีกลไกการควบคุมคอเลสเตอรอลในไข่แดงให้คงที่ เพื่อปกป้องตัวอ่อนระยะฟักทำให้การลดระดับของคอเลสเตอรอลในไข่แดงไม่สามารถเห็นผลชัดเจนมากนัก (นพอร์, 2550; สาโรช, 2547) โดยปกติปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ไก่มีค่าอยู่ในช่วง 198-208 มิลลิกรัม/ฟอง (สาโรช, 2547; Oh *et al.*, 1991)

ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride)

จากการทดลองครั้งนี้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าการเสริมน้ำมันรำข้าวดิบมีผลทำให้ระดับของไตรกลีเซอไรด์ในไข่แดงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบระหว่างไก่กลุ่ม Control (68.89 มิลลิกรัม) กับไก่กลุ่ม 3%RBO (103.86 มิลลิกรัม) ซึ่งมีค่าสูงขึ้นเกือบเท่าตัว ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไก่กลุ่ม Control กับไก่กลุ่มที่ได้รับกากขี้มันชั้นผสมน้ำมันรำข้าวดิบ การเพิ่มสูงขึ้นของไตรกลีเซอไรด์ก็ยังคงปรากฏให้เห็นในไก่ทั้งสามกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรน้ำมันรำข้าวดิบดังกล่าว แม้ว่ากลุ่ม 3%RBO+2%TM จะไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับกลุ่ม Control ก็ตามแต่ยังคงแสดงแนวโน้มที่สูงกว่า

อาหารทดลองในกลุ่ม Control มีระดับไขมันในสูตรอาหารต่ำที่สุด คือ 3.08 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4) จึงส่งผลให้ระดับของไตรกลีเซอไรด์ในไข่แดงต่ำกว่าของไก่กลุ่มอื่นๆที่เหลือ ในขณะที่กลุ่มที่มีการเสริมน้ำมันรำข้าวดิบพบว่าทำให้มีไขมันในสูตรอาหารเพิ่มขึ้นซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ในไข่แดงที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ในไข่แดงซึ่ง

เป็นไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในไข่แดง (วรวิทย์, 2531) และน้ำมันรำข้าวดิบมีกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก จึงส่งผลทำให้ระดับของไตรกลีเซอไรด์ที่ไก่ได้รับจากอาหารไปสะสมที่ไข่แดงเพิ่มมากขึ้น

จากการทดลองครั้งนี้กากขี้มันชั้นที่เสริมในสูตรอาหารพบว่าไม่มีผลต่อการลดระดับของไตรกลีเซอไรด์ในไข่แดง ซึ่งขัดแย้งกับการรายงานของ Lertphatcharanon (2007) ที่กล่าวว่ากากขี้มันชั้นเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง โดยเยื่อใยมีคุณสมบัติในการดูดซับไขมัน การได้รับอาหารที่มีเยื่อใยสูงส่งผลทำให้ไขมันจับกับเยื่อใยในระบบทางเดินอาหารทำให้ไขมันถูกขับออกทางมูลมากขึ้น (McNaughton, 1978) นอกจากนี้ปริมาณสารเคอร์คิวมินในกากขี้มันชั้นน่าจะเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการออกฤทธิ์ทางชีวเคมี การมีอยู่ปริมาณน้อยจึงไม่มีผลต่อการลดปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ในไข่แดง

ฟอสโฟลิพิด (phospholipid)

ปริมาณฟอสโฟลิพิดในไข่แดงของไก่ทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 18.95 - 27.03 มิลลิกรัม/กรัมไข่แดง (ตารางที่ 8) ในภาพรวมสังเกตได้ว่าการเสริมน้ำมันรำข้าวดิบล้วนๆ ไม่มีผลต่อระดับฟอสโฟลิพิดในไข่แดงดังจะเห็นได้จากค่าที่ใกล้เคียงกันมากระหว่างไก่อกลุ่ม Control (19.62 มิลลิกรัม) กับไก่อกลุ่ม 3%RBO (18.95 มิลลิกรัม) ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.01$) แต่เมื่อผสมกากขี้มันชั้นในอาหารร่วมกับน้ำมันรำข้าวกลับพบว่าฟอสโฟลิพิดในไข่แดงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับไก่อกลุ่ม Control แม้ว่าค่าที่วัดได้ในไก่อกลุ่ม 3%RBO+4%TM จะมีความแปรปรวนอยู่บ้างก็ตาม สันนิษฐานว่าอาจเกิดจากความแปรปรวนระหว่างตัวสัตว์ทดลอง (individual variation) และ/หรืออาจเกิดจากความแปรปรวนที่เกิดขึ้นระหว่างการวิเคราะห์ด้วยไข่แดงจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณฟอสโฟลิพิดในไข่แดงมีค่าไปในทิศทางเดียวกับระดับของค่าฟอสโฟลิพิดในพลาสมา การเสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันชั้นทำให้ปริมาณของฟอสโฟลิพิดในไข่แดงเพิ่มขึ้น สันนิษฐานว่าสารเคอร์คิวมินอาจจะมียับยั้งการเพิ่มการสังเคราะห์ฟอสโฟลิพิดที่ตับ แต่ยังไม่ทราบกลไกที่ชัดเจน

การเปลี่ยนแปลงของค่าทางโลหิตวิทยา

ค่าเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดแดงอัดแน่น (haematocrit หรือ pack cell volume, PCV)

เลี้ยงไก่ไข่ในสภาพโรงเรือนระบบปิด จำนวน 4 ตัวต่อกรงด้วยอาหารทดลอง 6 กลุ่มการทดลอง คือ Control, 3%RBO, 3%RBO+BHT, 3%RBO+2%TM, 3%RBO+4%TM, และ 3%RBO+6%TM พบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดแดงอัดแน่นมีค่าเท่ากับ 21.64, 24.98, 23.89, 24.84, 21.44 และ 21.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงเปรียบเทียบในตารางที่ 9 พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งก่อนการทดลองได้มีการหาค่าเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดแดงอัดแน่นซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.78 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นค่าเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดแดงอัดแน่นก่อนการทดลองและหลังการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน บ่งชี้ให้เห็นว่าสุขภาพของไก่ทุกกลุ่มอยู่ในเกณฑ์ปกติ (ชัยวัฒน์ และคณะ, 2547) และปราศจากภาวะเครียดออกซิเดชัน จากรูวรรณ และคณะ (2548) รายงานว่าภาวะเครียดออกซิเดชันเกิดจากความไม่สมดุลของอนุมูลอิสระ (free radical) และสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) การเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระที่เกิดจากการเมตาบอลิซึมในร่างกายหรือได้รับจากสภาพแวดล้อม มีผลทำให้เม็ดเลือดแดงถูกทำลายส่งผลให้ค่าฮีมาโตคริตลดลง และมีระดับของค่าบิลิรูบินในพลาสมาเพิ่มขึ้น (วรพล และสุจินต์, 2545; ชัยวัฒน์ และคณะ, 2547) จากการทดลองในครั้งนี้ได้เลี้ยงไก่ไข่ในโรงเรือนระบบปิดมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 26 องศาเซลเซียส (ตารางผนวกที่ 1) ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงไก่ไข่ จึงไม่ส่งผลให้ไก่ไข่เกิดภาวะความเครียด (Ewing *et al.*, 1999)

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าทางโลหิตวิทยา แคลเซียมไอออนและความเข้มข้นของมาลอนไดแอลดีไฮด์ในพลาสมาของไก่ทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ลักษณะที่ศึกษา	อาหารทดลอง						P-value
	Control	3%RBO	3%RBO+BHT	3%RBO+2%TM	3%RBO+4%TM	3%RBO+6%TM	
ค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (%)	21.64±1.86	24.98±1.75	23.89±3.43	24.84±1.96	21.44±3.67	21.76±0.84	0.2992
เฮมโทโรฟิล (%)	31.50±4.37	32.67±6.62	36.67±7.87	35.50±9.25	31.83±5.23	39.50±3.99	0.2448
ลิมโฟไซต์ (%)	68.50±4.37	67.33±6.62	63.33±7.87	64.50±9.25	68.17±5.23	60.50±3.99	0.2448
สัดส่วนเฮมโทโรฟิลต่อลิมโฟไซต์	0.47±0.10	0.50±0.13	0.60±0.20	0.58±0.23	0.47±0.11	0.66±0.11	0.2157
แคลเซียมไอออน (ppm)	695.33±21.94	685.33±12.86	689.33±27.15	668.33±12.70	679.67±38.00	684.00±35.09	0.8660
มาลอนไดแอลดีไฮด์, MDA (nmol/ml)	3.76±0.25 ^b	4.56±0.40 ^a	3.85±0.81 ^b	4.35±0.72 ^{ab}	4.19±0.19 ^{ab}	4.61±0.18 ^a	0.0219

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a,b} ค่าเฉลี่ยในบรรทัดเดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05)

ค่าเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิล (Heterophil)

จากตารางที่ 9 สรุปได้ว่า ค่าเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลของไก่ทดลองกลุ่ม Control, 3%RBO, 3%RBO+BHT, 3%RBO+2%TM, 3%RBO+4%TM, และ 3%RBO+6%TM มีค่าเท่ากับ 31.50, 32.67, 36.67, 35.50, 31.83 และ 39.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงให้เห็นว่าอาหารทดลองทั้ง 6 สูตรไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิล ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลในระดับปกติของสัตว์ปีก คือประมาณ 20 - 40 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ (วิโรจน์, 2537)

เม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลสามารถพบได้ในระบบหมุนเวียนเลือดของสัตว์ปีก ทำหน้าที่ในระบบภูมิคุ้มกันแบบฟั้งเซลล์ (วรพล และสุจินต์ 2545 อ้างถึง Ritchie, 1994) เม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลเป็นเม็ดขาวในด่านแรกที่ตอบสนองต่อการติดเชื้อและการอักเสบของร่างกาย (วรพล และสุจินต์, 2545) เมื่อไก่อยู่ในสภาวะเครียดระดับของฮอร์โมนกลูโคคอร์ติคอยด์ (glucocorticoid) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ฮอร์โมนดังกล่าวจะส่งผลให้เม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลเข้าสู่กระแสเลือดมากขึ้น (Jain, 1993) วิโรจน์ (2537) อธิบายว่าผลของระดับฮอร์โมน คอร์ติซอล (cortisol) ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลเพิ่มปริมาณในกระแสเลือดโดยการปลดปล่อยเม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลที่เจริญเติบโตเต็มที่ออกมาจากไขกระดูก (bone marrow) พร้อมกับลดเม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลที่จะออกจากกระแสเลือดไปยังบริเวณที่อักเสบและนอกจากนี้ยังเพิ่มอายุเม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลในกระแสเลือดอีกด้วย

ค่าเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ (Lymphocyte)

ค่าเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์จากการทดลองพบว่ากลุ่ม Control, 3%RBO, 3%RBO+BHT, 3%RBO+2%TM, 3%RBO+4%TM, และ 3%RBO+6%TM มีค่าเท่ากับ 68.50, 67.33, 63.33, 64.50, 68.17 และ 60.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 9) ซึ่งแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงให้เห็นว่าอาหารทดลองทั้ง 6 สูตรไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ ระดับปกติของเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ของไก่ไม่มีค่า ประมาณ 40 - 70 เปอร์เซ็นต์ (วิโรจน์, 2537) และนอกจากนี้ วิโรจน์ (2537) อธิบายว่าการเพิ่มขึ้นของระดับฮอร์โมนคอร์ติซอลมีผลทำให้เม็ดเลือดขาวชนิด

ลิมโฟไซต์ลดลงเนื่องจากการเคลื่อนย้ายกลับไปยังไขกระดูกและเนื้อเยื่อน้ำเหลือง นอกจากนี้
ฮอร์โมนคอร์ติซอลยังมีผลไปลดการสร้างภูมิคุ้มกันของเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ (สุพรพิมพ์,
2545)

ค่าอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลต่อลิมโฟไซต์

(Heterophil/Lymphocyte ratio, H/L ratio)

จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลต่อลิมโฟไซต์
(H/L ratio) ของไก่กลุ่ม Control, 3%RBO, 3%RBO+BHT, 3%RBO+2%TM, 3%RBO+4%TM,
และ 3%RBO+6%TM มีค่าเท่ากับ 0.47, 0.50, 0.60, 0.58, 0.47 และ 0.66 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกัน
อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ค่า H/L ratio ใช้เป็นดัชนีบ่งบอกสถานะความเครียดของไก่
ไข่ (Gross and Siegel, 1983) จากการทดลองครั้งนี้พบว่าระดับของ H/L ratio อยู่ในเกณฑ์ปกติ เห็น
ได้จากเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 40 - 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมี
สัดส่วนของลิมโฟไซต์มากกว่าเฮเทอโรฟิล แสดงว่ามีค่าของ H/L ratio ไม่เกิน 1 ซึ่งเป็นค่าปกติ
(วิโรจน์, 2537) แสดงว่าไก่ทดลองทั้ง 6 กลุ่มไม่เกิดภาวะเครียดในระหว่างการทดลองแต่อย่างใด

แคลเซียมไอออนในพลาสมา (plasma ionized calcium)

ระดับความเข้มข้นของประจุแคลเซียมในกระแสเลือดเป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ถึงสภาพสมดุล
แคลเซียมในร่างกายของไก่ไข่ จากการทดลองครั้งนี้พบว่าหลังจากที่ไก่ได้รับอาหารทดลองเป็น
ระยะเวลา 12 สัปดาห์ กลุ่ม Control, 3%RBO, 3%RBO+BHT, 3%RBO+2%TM, 3%RBO+4%TM,
และ 3%RBO+6%TM มีระดับของแคลเซียมไอออนในพลาสมาแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทาง
สถิติ ($P>0.05$) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 695.33, 685.33, 689.33, 668.33, 679.67 และ 684.00 ppm
ตามลำดับ (ตารางที่ 9) Lertphatcharanon (2007) รายงานว่ากากขมิ้นชันมีเชื้อยีสสูง ส่วนของเชื้อยีส
คือ เชลลูโลส ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว โดยมีโครงสร้างของหมู่ไฮดรอกซิล
ซึ่งมีประจุเป็นลบ สามารถจับกับแคลเซียมซึ่งมีประจุเป็นบวกในระบบทางเดินอาหาร ทำให้
แคลเซียมถูกขับทิ้งออกทางมูลเพิ่มมากขึ้นการที่ไม่พบความแตกต่างของความเข้มข้นของแคลเซียม
ไอออนในเลือดระหว่างไก่ทดลองทั้ง 6 กลุ่ม แสดงให้เห็นว่าอาหารทดลองไม่มีผลกระทบต่อสมดุล
แคลเซียมในร่างกายของสัตว์ ไก่ทุกกลุ่มได้รับแคลเซียมจากอาหารในปริมาณที่เพียงพอต่อความ
ต้องการของร่างกายและการสร้างเปลือกไข่ สังเกตได้จากตลอดระยะเวลาการทดลองไม่พบความ

แตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยน้ำหนักเปลือกไข่และความหนาเปลือกไข่ระหว่างไก่ทดลองทั้ง 6 กลุ่ม (ตารางที่ 6) อนึ่งเมตาบอลิซึมของแคลเซียมในไก่ไข่มีรูปแบบกลไกค่อนข้างซับซ้อน

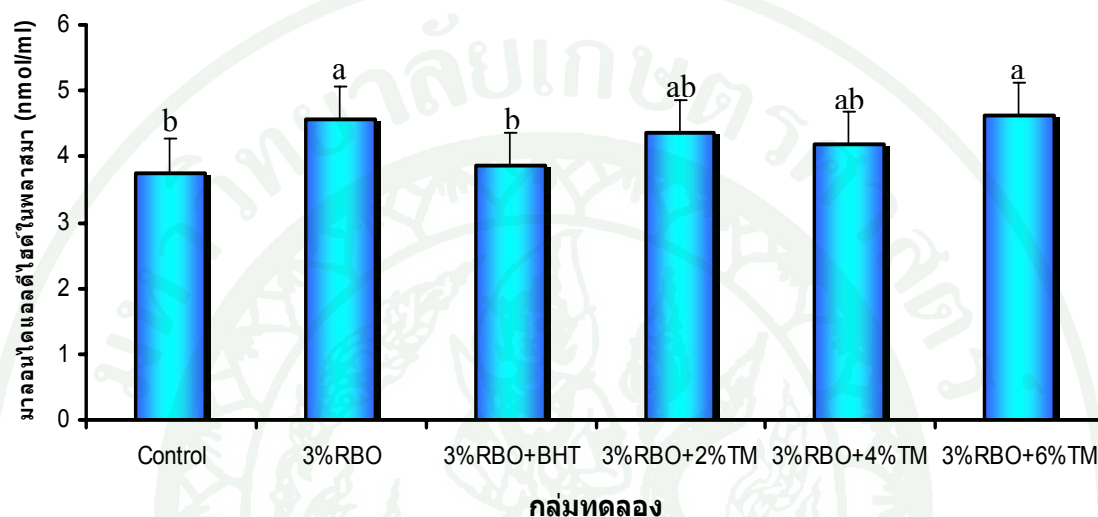
ความเข้มข้นของมาลอนไดแอลดีไฮด์ (malondialdehyde, MDA)

ค่ามาลอนไดแอลดีไฮด์ (MDA) เป็นค่าแสดงการเกิดปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในพลาสมา (จารุวรรณ และคณะ, 2548) จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของค่ามาลอนไดแอลดีไฮด์ในกลุ่ม Control (3.76 nmol/ml) มีค่าต่ำกว่าไก่กลุ่ม 3%RBO และกลุ่ม 3%RBO+6%TM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 9 และ ภาพที่ 7) เป็นผลมาจากระดับไขมันในสูตรอาหาร (ตารางที่ 4) เนื่องจากสูตรอาหารของไก่กลุ่ม Control มีระดับไขมันในสูตรอาหารต่ำที่สุด (3.08 เปอร์เซ็นต์) ทั้งนี้แม้ว่า MDA ของไก่กลุ่ม 3%RBO+2%TM และกลุ่ม 3%RBO+4%TM จะมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับของไก่กลุ่ม Control ก็ตาม แต่ค่าเฉลี่ย MDA ของไก่ทั้งสองกลุ่มดังกล่าวแสดงแนวโน้มที่สูงกว่าของไก่กลุ่ม Control การเสริมน้ำมันรำข้าวคิบที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (วราพร, 2543) ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้ความเข้มข้นของค่ามาลอนไดแอลดีไฮด์เพิ่มมากขึ้น (วสันต์ และคณะ, 2548)

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม 3%RBO กับกลุ่ม 3%RBO+BHT พบว่าในกลุ่มที่เสริม BHT มีค่า MDA ในพลาสมาลดลง อาจเป็นไปได้ว่าการที่ BHT มีคุณสมบัติเป็นสารกันหืนสังเคราะห์ที่ทำหน้าที่ป้องกันหรือลดอัตราเร่งของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยจะทำหน้าที่เป็นแหล่งของไฮโดรเจนเพื่อรวมตัวกับอนุมูลอิสระ (Nawar, 1996; Pratt, 1996) และเมื่อทำการเปรียบเทียบกลุ่ม 3%RBO ซึ่งไม่มีการเติมสารกันหืนกับกลุ่มที่เสริมกากขี้มันชั้นทั้ง 3 กลุ่ม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) Romire-Tortosa *et al.* (1999) รายงานว่าสารเคอร์คิวมินอยด์ในขี้มันชั้นเป็นสารออกฤทธิ์ที่มีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

จารุวรรณ และคณะ (2548) รายงานว่าสารมาลอนไดแอลดีไฮด์ในพลาสมาใช้เป็นดัชนีบอกถึงภาวะเครียดออกซิเดชัน ซึ่งเกิดจากความไม่สมดุลของอนุมูลอิสระกับสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระเกิดจากขบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกาย การหายใจในไมโทคอนเดรีย ขบวนการทำลายพิษ และการได้รับจากสิ่งแวดล้อม เป็นต้น (วสันต์ และคณะ, 2548) ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้พบว่ากลุ่มที่เสริมน้ำมันรำข้าวคิบผสมกากขี้มันชั้น 6 เปอร์เซ็นต์ มีค่ามาลอนไดแอลดีไฮด์สูงกว่า

กลุ่ม Control และ 3%RBO+BHT แสดงให้เห็นว่าไก่กลุ่มดังกล่าวได้รับภาวะเครียดออกซิเดชันมากกว่ากลุ่ม Control และ 3%RBO+BHT และจากการทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสารเคอร์คิวมินอยด์ที่เหลืออยู่ในกากขี้มีนชันมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน



ภาพที่ 7 ความเข้มข้นของมาลอนไดอัลดีไฮด์ในพลาสมา

(^{a,b} ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$;))

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากผลการทดลองพบว่า

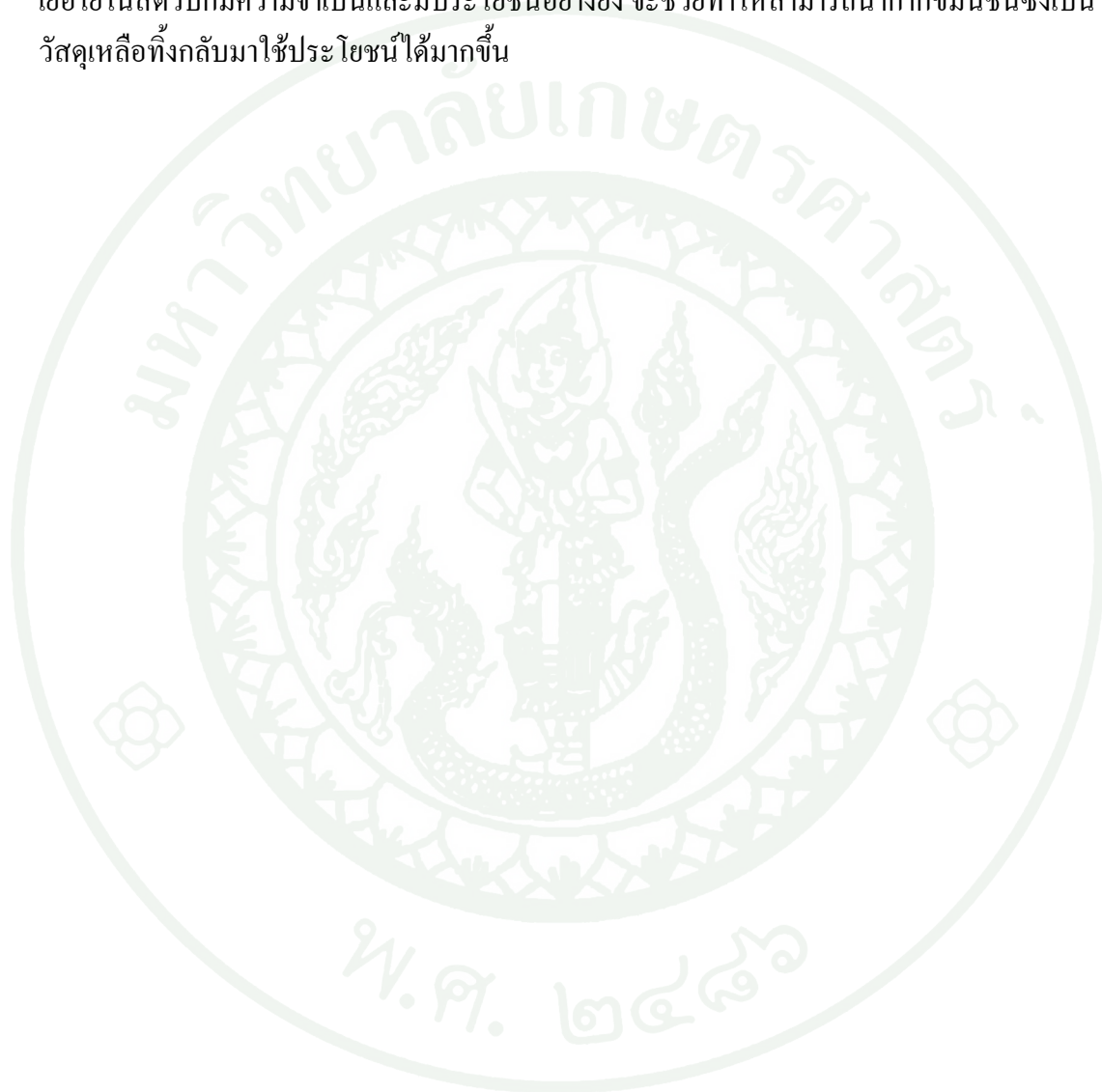
1. การเสริมน้ำมันรำข้าวดิบระดับ 3 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารไก่ไข่ไม่มีผลต่อ สมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ HDL LDL ฟอสโฟลิพิดในพลาสมา คอเลสเตอรอลและฟอสโฟลิพิดในไข่แดง ค่าฮีมาโตคริต ค่าอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิด เซทเทอโรฟิลต่อลิมโฟไซต์ และค่าแคลเซียมไอออนในพลาสมา ยกเว้น ระดับของไตรกลีเซอไรด์ ในไข่แดง และค่าความเข้มข้นของมาลอนไดอัลดีไฮด์ในพลาสมาที่มีค่าเพิ่มขึ้น
2. การเสริมน้ำมันรำข้าวดิบผสมกากขี้มันชันในสูตรอาหารไก่ไข่ มีผลกระทบต่อปริมาณอาหารที่กิน และผลผลิตไข่ อย่างไรก็ตาม ไม่มีผลต่อคุณภาพไข่ คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และ LDL ในพลาสมา คอเลสเตอรอลในไข่แดง ค่าฮีมาโตคริต ค่าอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดเซทเทอโรฟิลต่อลิมโฟไซต์ ค่าแคลเซียมไอออน และค่าความเข้มข้นของมาลอนไดอัลดีไฮด์ในพลาสมา
3. จากการทดลองครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าการเสริมน้ำมันรำข้าวดิบมีข้อเสียเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว อย่างไรก็ตามการเสริมด้วยสารกันหืนสามารถช่วยแก้ปัญหานี้ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริมกากขี้มันชันในระดับสูงถึง 6 เปอร์เซ็นต์ไม่สามารถหวังผลจากสารเคอร์คิวมินอยด์ในการทำหน้าที่เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เนื่องจากมีปริมาณของสารออกฤทธิ์ที่น้อยเกินไประดับที่เหมาะสมของการใช้กากขี้มันชันคือ 4 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีข้อได้เปรียบในการลดต้นทุนค่าอาหาร เพิ่มไขมันดีในไข่แดงและในกระเพาะอาหารของไก่ไข่

ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดลองในครั้งนี้ได้มีการคิดคำนวณต้นทุนค่าอาหารต่อกิโลกรัมโดยไม่คิดต้นทุนของกากขี้มันชัน ดังนั้นถ้ากากขี้มันชันมีราคาสูงกว่า 4 บาท/กิโลกรัม อาจมีผลทำให้ต้นทุนราคาค่าอาหารต่อกิโลกรัมของกลุ่มที่เสริมกากขี้มันชันมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมกากขี้มันชัน

2. ก่อนนำกากขมิ้นชันมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารไก่ไข่ควรผ่านกระบวนการอบให้แห้งสนิทเสียก่อนเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารอาหาร

3. การวิจัยต่อยอดเพื่อศึกษาค้นคว้าหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้จากสารเชื้อใยในสัตว์ปีกมีความจำเป็นและมีประโยชน์อย่างยิ่ง จะช่วยทำให้สามารถนำกากขมิ้นชันซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กิตติมา จินดามงคล, สุภาพร อัสริโยดม, ชนินทร์ ศิริวัฒนวานิช, งามฟ่อง คงคาทิพย์, ยุพา มงคลสุขวิไล, สันติโสภาสรี และบุญส่ง คงคาทิพย์. 2548. ผลของสารสกัดสมุนไพรย่านพาโหม และบอระเพ็ดต่อสภาวะเครียดและระดับภูมิคุ้มกันโรคในไก่กระตัง, น. 49-56. ใน การประชุมวิชาการสมุนไพรไทย: โอกาสและทางเลือกใหม่ของอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ ครั้งที่ 3. เทกซ์ แอนด์ เจอร์นอล พับลิเคชั่น, กรุงเทพฯ.

เกียรติศักดิ์ สร้อยสุวรรณ. 2545. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์ปีก. คณะสัตวศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, นครศรีธรรมราช.

ไกรสิทธิ์ ดันติศิรินทร์. 2550. ข้าวกล้องเพื่อสุขภาพ. ใน การสัมมนาตามรอยพระยุคลบาทไทยทั้งชาติกินข้าวกล้อง 7 กันยายน 2550. ณ ศูนย์แสดงสินค้ารอยัลพารากอน, กรุงเทพฯ.

คมสัน หุตะแพทย์. 2550. น้ำมันรำข้าวคุณค่าดังทอง. เกษตรธรรมชาติ 10: 28-36.

จารุวรรณ ไทยกลาง, วรรณฯ สุริยาสถาพร, วสันต์ ตั้งโกถานนท์, อุษณีย์ วินิจเขตคำนวณ และธีระ ชิโนรินทร์. 2548. ความสัมพันธ์ของภาวะเครียดออกซิเดชันกับค่าทางโลหิตวิทยาและค่าเคมีคลินิกในสุนัขโตเต็มวัยและสุนัขสูงอายุ. เชียงใหม่สัตวแพทยสาร 3: 15-20.

จิโรจ ศศิปรียจันทร์, สุวรรณฯ กิจภากรณ์, คณิต สุวรรณบริรักษ์, ชัยโย ชัยชาญทิพยุทธ, พิภพ สดสี, หทัยรัตน์ พงศ์พัฒนาการ และ ธวัช เล็กดำรงศักดิ์. 2545. การพัฒนาการใช้สมุนไพรขมิ้นชันและการใช้ร่วมกับสมุนไพรฟ้าทะลายโจรเป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์ สำหรับอุตสาหกรรมเลี้ยงไก่กระตัง, น. 93. ใน นันทวัน บุญยะประภัศร และ สุวรรณ ธีระวรพันธ์, ผู้รวบรวม. การประชุมวิชาการ สมุนไพรไทย โอกาสและทางเลือกใหม่ของอุตสาหกรรมผลิตสัตว์ ครั้งที่ 1. แสงเทียนการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ฉวีวรรณ พุกฤษ์สุนันท์, บรรจบ อินทรสุขศรี, มานิต ลีโทชวลิต, นันทพร นิลวิเศษ, อัมรินทร์ ปรีชา
วุฒิ และ สุวัฒน์ วิมลวัฒนากันท์. 2529. ผลของไขมันชั้นต่อการเปลี่ยนแปลงเยื่อผนัง
กระเพาะอาหารและลำไส้เล็กดูโอดีนัมในผู้ป่วยแผลเปื่อยเปปติก. วารสารเภสัชวิทยา 8:
137-149.

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2531. เคมีอินทรีย์พื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ชัยวัฒน์ สุวรรณทัต, สุวรรณ กิจภากรณ์, กฤษ อักนาพร, พิภพ สดสี และนันทวัน บุญยะ-
ประภัสร์. 2547. การใช้ไขมันชั้นเป็นสารต้านออกซิเดชันต่อสถานภาพภูมิคุ้มกันและ
สมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อซึ่งอยู่ในภาวะเครียด, น. 181. ใน สมุนไพรไทย:
โอกาสและทางเลือกใหม่ในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ 15-16 มกราคม 2547. โรงแรมสยาม
ซิตี, กรุงเทพฯ.

ณัฐฉิณี ใจสะอาด. 2546. วัตถุดิบหัตถกรรมชาติจากเปลือกมันฝรั่ง: การสกัดและการใช้ประโยชน์.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นพพร ปาลวัฒน์วิไชย. 2550. การเสริมไขมันชั้นผงในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต
ประสิทธิภาพการย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ คุณภาพซาก คุณภาพเนื้อ และ
คอเลสเตอรอลในไก่เนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นิธิยา รัตนานนท์. 2551. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

นรินาม. 2535. สมุนไพรมหัศจรรย์แห่งธรรมชาติ. นิตยสารสารคดี. 91: 137-156.

นันทวัน บุญยะประภัสร์. 2542. สมุนไพรพื้นบ้าน. ศูนย์ข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

นัยนา บุญทวีวัฒน์. 2545. ชีวเคมีทางโภชนาการ. มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

นัยนา บุญทวีวัฒน์ และ เรวดี จงสุวัฒน์. 2545. น้ำมันรำข้าวทางเลือกเพื่อสุขภาพของคนไทย. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

บัญญัติ สุขศรีงาม. 2527. เครื่องเทศที่ใช้เป็นสมุนไพรเล่ม 2. อมรการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

บัญญัติ สุขศรีงาม. 2528. ขมิ้น. ใกล้เคียง. 9: 9-10.

ปนัดดา โรจน์พิบูลย์สถิต. 2546. ชีวเคมีทางการแพทย์: เมตาบอลิซึมของสารอาหารเชิงบูรณาการ. คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประคองศิริ บุญคง. 2546. บทความพื้ฟูวิชาการ ขมิ้นชัน สารพัดประโยชน์. วารสารองค์การเภสัชกรรม. 29: 31-38.

ประดิษฐ์ มีสุข. 2538. ชีวเคมีเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 3. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ประวิทย์ สันติวัฒนา. 2549. RICE BRAN OIL: น้ำมันรำข้าว คุณค่าจากข้าว. แหล่งที่มา: <http://www.Thaiedibleoil.com>, 10 เมษายน 2551.

พรทวี ธนสัมบัณณ์. 2548. สารสกัดจากโรสแมรี่ เสด และทาร์ม เพื่อยับยั้งการหืน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พร้อมจิต ศรีลัมพ์. 2537. สมุนไพรกับโรกระบบทางเดินอาหาร. ภาควิชาเภสัชศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2539. อาหารกึ่งแห้ง. ภาควิชาการพัฒนาลิขสิทธิ์ คณะอุตสาหกรรม การเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

มนตรี จุฬารัตนพล, ชัยณัฐสร สวัสดิวัฒน์, ยงยุทธ ยุทธวงศ์, ภิญโญ พานิชพันธ์, ประหยัด โคมารัต, พิณทิพ รื่นวงษา, ชีรยศ วิทิตสุวรรณกุล, บุรชัย สันธยานนท์, สุมาลี ตั้ง-
ประดับกุล และ มธุรส พงษ์ลิขิตมงคล. 2542. **ชีวเคมี**. พิมพ์ครั้งที่ 2. จีรรัชการพิมพ์,
กรุงเทพฯ.

มานิตย์ เทวรักษ์พิทักษ์. 2536. **การจัดการฟาร์มสัตว์ปีก**. คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัย
แม่โจ้, เชียงใหม่.

ยูเรศ สัจจวราภรณ์. 2538. **ผลการเสริมน้ำมันปลาขาคันในอาหารไก่ไข่ต่อองค์ประกอบของ
ไขมันในไข่แดง และสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เขาวมาลย์ คำเจริญ สาโรช คำเจริญ เชิดชัย รัตนเศรษฐกุล สมพงษ์ ฉายพุทธ พิทักษ์ ศรีประยา
อภิชัย ศิวะประภากร พรรณศรี สาคิยะ และ กัมปนาท ไพราม. 2530. กิษเชอรินของปลา
ป่นไทย และปลาป่นต่างประเทศต่อการผลิตไข่ของเมืองไทย, น. 184-190. ใน **รายงานการ
ประชุมวิชา ครั้งที่ 25 (สาขาสัตว)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

รัตนา บรรเจิดพงศ์ชัย. 2545. แอนติออกซิแดนซ์และกลไกการป้องกันโรค. **เชียงใหม่เวชสาร** 41:
101-108.

วนิดา เจอะอาแว. 2548. **การวิจัยและพัฒนาเคอร์คิวมินอยด์ในการรักษามะเร็งด้วยยาเคมีบำบัด
หลายชนิด**. ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. แหล่งที่มา:
http://www.rescom.trf.or.th/display/show_colum_print.php, 10 พฤษภาคม 2551.

วรพล เองวานิช และ สุจินต์ สิมารักษ์. 2545. ภาวะเครียดเนื่องจากความร้อนในไก่. **วารสาร
สงขลานครินทร์ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 24: 159-167.

วรวิทย์ วนิชภิชชาติ. 2531. **ไข่และการฟักไข่**. พิมพ์ครั้งที่ 3, คณะทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

วราพร พงศ์ธรกุลพานิช. 2543. การวิเคราะห์เอกลักษณ์ และปริมาณโทโคฟีรอลและโอรีซานอลในกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วสันต์ ตั้งโกคานนท์, วรณนา สุริยาสถาพร, อุษณีย์ วินิจเขตคำนวน, ชีระ ชีโวรินทร์ และ จารุวรรณ ไทยกลาง. 2548. ความสัมพันธ์ของกลูตาไธโอน กลูตาไธโอนเปอร์ออกไซด์ กับค่าทางโลหิตวิทยา และค่าเคมีคลินิกในสุนัขโตเต็มวัย และสุนัขสูงอายุ. เชียงใหม่สัตวแพทยสาร 3: 21-29.

วิภาวดี แมนมนตรี. 2534. แบคทีเรียวินิจฉัย. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

วิทย์ เทียงบุญธรรม. 2531. พจนานุกรมสมุนไพรไทย. โอเอส พรินต์ติ้งเฮาส์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

วิโรจน์ จันทรัตน์. 2537. กายวิภาคและสรีรวิทยาสัตว์เลี้ยงปศุสัตว์. ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตวศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

สมชาย อัครปัญญาวิทย์. 2539. ผลการเสริมไขมันชนิดต่างๆในอาหารไก่กระທงและไก่ไข่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมชาย อัครปัญญาวิทย์, สุภาพร อิศริโยดม, ประทีป ราชแพทยาคม, ประเทืองศรี สิ้นชัยศรี และ วิไล สันติโสภาสรี. 2540. ผลการเสริมไขมันต่างชนิดในอาหารไก่กระທง, น. 132-143. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35 สาขาสัตวศาสตร์ แพทยศาสตร์ 3-5 กุมภาพันธ์ 2540. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมโภชน์ ทับเจริญ, ศรีสุวรรณ ชมเชย, เกรียงศักดิ์ สะอาดรักษ์ และ ชฎา พิศาลพงศ์. 2549. ผลของการเสริมกากขมิ้นชั้นต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของสุกรขุน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

สาโรช คำเจริญ. 2547. อาหารและการให้อาหารสัตว์เลี้ยงปศุสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สุชาติ สงวนพันธุ์, อรประพันธ์ ส่งเสริม, อรทัย ไตรวุฒานนท์ และ อรรณูดี พลายบุญ. 2550. ผลการเสริมกากขี้มันชั้นในไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการให้ผลผลิตและคุณภาพไข่. ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

สุนทรี สิงหนุต. 2535. สรรพคุณสมุนไพร 200 ชนิด. บริษัทคุณ 39 จำกัด, กรุงเทพฯ.

สุพรพิมพ์ เจียสกุล. 2545. สรีรวิทยาการแพทย์ระบบฮอร์โมน. ชวนพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สุรัสสรา สมิตะโยธิน. 2547. ผลการเสริม Conjugated linoleic acid (CLA) ในอาหารไก่ไข่ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่แดง และสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสุรนารี.

สุวรรณ เกษตรสุวรรณ. 2539. ไข่ไก่และเนื้อไก่. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุวรรณ กิจภากรณ์, ชัยวัฒน์ สุวรรณทัต, กฤษ อังคนาพร และ พิภพ สดสี. 2548. ระดับที่เหมาะสมของขี้มันชั้นในการเป็นสารเร่งการเจริญเติบโต สารต้านออกซิเดชัน และสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันในไก่เนื้อที่เลี้ยงอย่างหนาแน่น. ใน สมุนไพรไทย: โอกาสและทางเลือกใหม่ในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ.

เสกสม อาตมางกูร, ศิริชัย ณรงค์ตะนุพล, อรประพันธ์ พุ่มอินทร์ และ ชูวเรศ สังวราภรณ์. 2540. การศึกษาการตอบสนองของไก่ไข่ต่อระดับโปรตีนและพลังงานต่างๆ ในอาหารเพื่อให้สอดคล้องกับสรีระการสร้างไข่ในแต่ละวัน, น. 351-359. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35, วันที่ 3-5 กุมภาพันธ์ 2540. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อัมพวัน อภิสิริยะกุล และ มณีนันท์ บุญชู. 2544. การศึกษาฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรียจากผู้ป่วยของสารน้ำมันขมิ้น และสารเคอร์คิวมิน ซึ่งสกัดได้จากขมิ้นชัน. ใน รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

อุษณีย์ วินิจเขตคำนวน. 2535. **ชีวเคมีของลิปิด**. ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

อุทัย คันโธ. 2529. **อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงดูและสัตว์ปีก**. ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

Ahmad-Raus, R.R., E.E.S. Abdul-Latif and J.J. Mohammad. 2001. Lowering of lipid composition in aorta of guinea pigs by *Curcuma domestica*. **BMC Complementary and Alternative Medicine** 1: 1-6.

Akiba, Y. and T. Matsumoto. 1982. Effects of dietary fibers on lipid metabolism in liver and adipose tissue in chicks. **J. Nutr.** 112: 1577-1585.

Akila, G., V. Rajakrishnan, P. Viswanathan, K.N. Rajashekar and V.P. Menon. 1998. Effect of curcumin on lipid profile and lipid peroxidation status in experimental hepatic fibrosis. **Hepatol. Res.** 11: 147-157.

Anitha, B., M. Moorthy and K. Viswanathan. 2007. Muscle cholesterol and serum biochemical changes in broilers fed with crude rice bran oil. **Poult. Sci.** 12: 855-857.

AOCS. 1990. **Official Method and Recommended Practice of the American Oil Chemists Society**. 4th ed. American Oil Champaign, Illinois.

Arafa, H. M. 2005. Curcumin attenuates diet-induced hypercholesterolemia in rats. **Med. Sci. Monit.** 11: 228-234.

- Araujo, C.A.C. and L.L. Leon. 2001. Biological activities of *Curcuma longa* L. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz** 96: 723-728.
- Atteh, J.O. and S. Lesson. 1983. Effects of dietary fatty acids and calcium levels on performance and mineral metabolism of broiler chickens. **Poult. Sci.** 62: 2412-2419.
- Berger, A., D. Rein, A. Schafer, I. Monnard, G. Gremaud, P. Lambelet and C. Bertoli . 2002. Similar cholesterol-lowering properties of rice bran oil, with varied gamma-oryzanol, in mildly hypercholesterolemic men. **Eur. J. Nutr.** 44: 163-173.
- Bishov, S.J., Y. Masuoka and J.G. Kapsalis. 1977. Antioxidant effect of spices, herbs and protein hydrolyzates in freeze-dried model systems: synergistic action with synthetic phenolic antioxidants. **J. Food Proc.** 1: 153-166.
- Blake, D. and P.G. Winyard. 1995. **Immunopharmacology of Free Radical Species.** Academic Press, London.
- Chen, C.W. and H.H. Cheng. 2006. A rice bran oil diet increases LDL-receptor and HMG-CoA reductase mRNA expressions and insulin sensitivity in rats with streptozotocin/nicotinamide-induce type 2 diabetes. **J. Nutr.** 136: 1472-1476.
- Chunlei, F., W. Xingde, Q. Ying, Y. Jin and G. Liping. 2006. Effect of curcumin on the expression of LDL receptor in mouse macrophages. **J. Ethnopharmacol.** 105: 251-254.
- Commandeur, J.N.M. and N.P.E. Vermueulen. 1996. Cytotoxicity and cytoprotective activities of natural compounds. The case of curcumin. **Xenobiotica** 267: 667-680.
- Connor, W.E., D.T. Witiak, D.B. Stone and M.L. Armstrong. 1969. Cholesterol balance and fecal neutral steroid and bile acid excretion in normal men fed dietary fat of different fatty acid composition. **J. Clin. Invest.** 48: 1363-1375.

- Crespo, N. and E. Esteve-Garcia. 2002. Dietary linseed oil produces lower abdominal fat deposition but higher de novo fatty acid synthesis in broiler chickens. **Poult. Sci.** 81: 1555-1562.
- Dekker, E.A. and A.D. Crum. 1991. Inhibition of oxidative rancidity in salted ground pork by carnosine. **J. Food Sci.** 56: 1179-1181.
- Deshpande, S.S., U.S. Deshpande and D.K. Salunkhe. 1996. Nutritional and health aspects of food antioxidant, pp. 361-470. *In* D.L. Madhavi, S.S. Deshpande and D.K. Salunkhe (eds.). **Food Antioxidants: Technological, Toxicological, and Health Perspectives.** Marcel Dekker, Inc., New York.
- Duh, P.D., D.B. Yeh, and G.C. Yen. 1992. Extraction and identification of an antioxidative component from peanut hulls. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 69: 814-818.
- Duncan, D.B. 1995. Multiple range and multiple F-tests. **Biometric.** 11: 1-42.
- Ensminger, M.E., J. E. Oldfield and W. W. Heinemann. 1990. **Feeds and Nutrition Digest: formerly, feeds and nutrition – abridged.** 2nd ed. The Ensminger Publ. Co., Clovis, CA, U.S.A.
- Ewing, S. A., D.C. Lay JR. and E.V. Borell. 1999. **Stress physiology, Animal Behavior, and Environmental Design.** Simon & Schuster/A Viacom company, New Jersey.
- Fan, J., M. Xie, W.W. Wang, S.S. Hou and W. Huang. 2008. Effects of dietary energy on growth performance and carcass quality of white growing pekin ducks from two to six weeks of age. **Poult. Sci.** 87: 1162-1164.

- Fang, Y.Z., S. Yang and G. Wu. 2002. Free radicals, antioxidants, and nutrition. **Nutrition** 18: 872-879.
- Folch, J., M. Lee and G.H. Sloane – Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. **J. Biol. Chem.** 226: 497-509.
- Giese, J. 1996. Antioxidants: Tools for preventing lipid oxidation. **Food Tech.** 50: 73-81.
- Giroux, I., E.M. Kukowska and K.K. Carroll. 1999. Role of dietary lysine, methionine and arginine in the regulation of hypercholesterolemia in rabbits. **J. Nutr. Biochem.** 10: 166-171.
- Gordon, M.H. and A. Roedig-Penman. 1999. Antioxidant properties of flavonols, pp. 47-64. In J.H.P. Tyman (ed.). **Lipids in Health and Nutrition**. MPG Books Ltd., Cornwall.
- Govindarajan, V.S. 1980. Turmeric - chemistry technology and quality. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** 12: 199-301.
- Grobas, S., J. Mendez, C. Deblas and G. Mateos. 1999. Laying hen productivity as affected by energy, supplemental fat, and linoleic acid concentration of the diet. **Poult. Sci.** 78: 1542-1551.
- Gross, W.B. and H.S. Siegel. 1983. Evaluation of the heterophil/lymphocyte ratio as a measure of stress in chickens. **Avian Diseases** 27: 972-979.
- Gross, J. 1987. **Pigment in Fruits**. Academic Press INC. (London) LTD., London.

- Ha, T.Y., S. Han, S.R. Kim, I.H. Kim, H.Y. Lee and H.K. Kim. 2005. Bioactive components in rice bran oil improve lipid profiles in rats fed a high-cholesterol diet. **Nutr. Res.** 25: 597-606.
- Hermann, P.A. and A.W. Martin. 1991. Pharmacology of *Curcuma longa*. **Planta Med.** 57:1-6.
- Ho, C.T., Q. Chen and R. Zhou. 1996. Flavor compounds in fats and oils, pp. 83-88. In Y.H. Hui (ed.). **Bailey's Industrial Fat Products**. Vol.1. General Applications, 5th ed. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Ibrahim, J.B.T. and D.J. McNamara. 1988. Cholesterol homeostasis in guinea pigs fed saturated and polyunsaturated fat diets. **Biochem. Biophys. Acta.** 963: 1694-1701.
- Ide, T., H. Okamatsu and M. Sugano. 1978. Regulation by dietary fat of 3-hydroxy-3-methylglutaryl-co-enzyme a reductase in rat liver. **J. Nutr.** 108: 601-612.
- Jadhav, S.T., S.S. Nimbalkar, A.D. Kulkarni and D.L. Madhavi. 1996. Lipid oxidation in biological and food systems, pp. 5-64. In D.L. Madhavi, S.S. Deshpande and D.K. Sulnkhe (eds.). **Food Antioxidants: Technological, Toxicological, and Health Perspectives**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Jain, N.C. 1993. **Essential of Veterinary Hematology**. Lea & Febiger, Philadelphia.
- Kermanshahi, H. and A. Riasi. 2006. Effect of turmeric rhizome powder (*Curcuma Longa*) and soluble NSP degrading enzyme on some blood parameters of laying hens. **Int. J. Poult. Sci.** 5: 494-498.
- Keshavarz, K. 1976. The influence of turmeric and curcumin on cholesterol concentration of egg and tissue. **Poult. Sci.** 55: 1077-1083.

- Latour, M.A., E.D. Peebles, C.R. Boyle, C.D. Zumwalt and J.D. Brake. 1994. Effect of dietary fat on serum and yolk lipids in broiler breeders. **Poult. Sci.** 70: 1. (Abstract)
- Leary, A.M., J.R. Roberts and W. Ball. 1997. Linoleic acid for egg size, pp. 11(1)-11(7). *In* **Proceedings of the Queensland Poultry Science Symposium**. The University of Queensland, Gatton College.
- Leary, A.M., J.R. Roberts and W. Ball. 1998. Linoleic acid and moult in laying hens, pp. 94-97. *In* **Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium**. University of Sydney, Sydney, NSW.
- Lertphatcharanon, S. 2007. **The Extraction and Application of Dietary Fiber from By-Production of Fresh Ground Turmeric (*Curcuma longa* Linn)**. M.S. Thesis, Mahidol University.
- Madhavi, D.L., S.S. Deshpande and D.K. Salunkhe. 1996. **Food Antioxidants: Technological Toxicological and Health perspective**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Madhavi D.L. and D.K. Salunkhe. 1997. Toxicological aspects of food antioxidant, pp. 267-361. *In* D.L. Madhavi, S.S. Deshpande, and D.K. Sulnkhe (eds.). **Food Antioxidants: Technological, Toxicological, and Health Perspectives**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Majithiya, J.B., A.N. Parmar and R. Balaraman. 2004. Effect of curcumin on triton WR 1339 induce hypercholesterolemia in mice. **Indian Journal Agricultural and food Chemistry** 36: 381-384.
- Mannion, P.F., A.R. Neill and M. Brewster. 1992. Egg weight responses of laying hens fed different concentrations of vegetable oil and linoleic acid. **J. Agric. Res.** 43: 389 – 397.

- Marks, D.B., D.A. Marks and C.M. Smith. 1996. **Basic Medical Biochemistry**. W.B. Saunder, Philadelphia.
- Masuda, T., K. Hidaka, A. Shinohara, T. Maekawa, Y. Takeda, and H. Yamagushi. 1999. Chemical studies on antioxidant mechanism of curcuminoid: analysis of radical reaction products from curcumin. **J. Agric. Food Chem.** 47: 71-77.
- Masuda, T., H. Bando, T. Maekawa, Y. Takada and H. Yamaguchi. 2002. A novel radical terminated compound produced in the antioxidant process of curcumin against oxidation of fatty acid ester. **Tetrahedron Lett.** 41: 2157-2160.
- McNaughton, J.L. 1978. Effect of dietary fiber on egg yolk, liver, and plasma cholesterol concentrations of the laying hen. **J. Nutr.** 108: 1842-1848.
- Michael, D. 1999. Effect of curcuminoids on an acute cycloporin-induce cholestasis in the rat. **Plant Medica.** 65: 610-613.
- Miquel, J.A., J.M. Bernd, J.M. Sempere, J. Diaz-Alperi and A. Ramirez. 1992. The curcuma antioxidants: Pharmacological effects and prospects for future clinical use. **A Review. Arch. Gerontology and Geriatrics.** 34: 37-46.
- Moran, E.T., Jr. 1985. Aspects of fat metabolism important to performance in fowl, pp. 18. *In* **Proceedings of the Arkansas Nutrition Conference**. University of Arkansas, Fayetteville, Arkansas, U.S.A.
- Nahashon, S.N., N. Adefope, A. Amenyenu and D. Wright. 2007. Effect of varying metabolizable energy and crude protein concentrations in diets of pearl gray guinea fowl pullets. 2. Egg production performance. **Poult. Sci.** 86: 973-982.

- Nawar, W.W. 1996. Chemistry, pp. 412-420. In Y.H. Hui (ed.). **Bailey's Industrial Fat**. 5th ed. John Wiley and Sons, Inc., New Products. Vol.1. General Applications, New York.
- Nesheim, M.C., R.C. Austic and I.E. Card. 1979. Poultry Production. 12th ed. Lea and Febiger, Philadelphia. P.A.
- NRC. 1994. Nutrition Requirement of Domestic Animals. **Nutrient Requirement of Poultry**. 9th ed. National Academy Press, Washington, D.C., U.S.A.
- Oh, S.Y., J. Ryue, C. Hsich and D.E. Bell. 1991. Egg enriched in omega-3 fatty acids and alteration in lipid concentration in plasma and lipoprotein and in blood pressure. **Am. J. Clin. Nutr.** 54: 689-695.
- Okubo, T., F. Nagai, K. Ushiyama and I. Kano. 1996. Contribution of oxygen radicals to DNA cleavage by quinone compounds derived from phenolic antioxidants, tert-butylhydroquinone and 2,5-di-tert-butylhydroquinone. **Toxicol.-Letter**. 90: 11-18.
- Orthoefer, F.T. 1996. Rice bran oil: Healthy lipid source. **Food Tech.** 50: 62-64.
- Pan, M.H., T.M. Huang, and J.K. Lin. 1999. Biotransformation of curcumin through reduction and glucuronidation in mice. **Drug Metab. Disposit.** 27: 486-494.
- Peter, H. 1994. **Curcumin study validates strategy of pursuing other LTR inhibitors**. Available Source: [http://www. Personal Healthfacts.com/antioxidants 6.pdf](http://www.PersonalHealthfacts.com/antioxidants6.pdf), July 25, 2008.
- Pond, W.G., D.C. Church., K.R. Pond and P.A. Schoknecht. 2005. **Basic Animal Nutrition and Feeding**. 5th ed. John Wiley & Sons, Inc., USA.

- Pratt, D.E. 1996. Antioxidants: technical and regulatory considerations, pp. 523-543. In Y.H. Hui (ed.). **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. Vol. 3. Edible Oil and Fat Products: Products and Application Technology, 5th ed., John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Prosky, L. and J.W. DeVries. 1992. **Controlling Dietary Fiber in Food Production**. AVI Book. New York.
- Purushothama, S., P.L. Raina and K. Hariharan. 1995. Effect of long-term feeding of rice bran oil upon lipids and lipoproteins in rats. **Mol. Cell Biochem.** 146: 63-69.
- Rajalakshmi, D. and S. Narasimhan. 1996. Food antioxidants: sources and methods of evaluation, pp. 65-156. In D.L. Madhavi, S.S. Deshpande, and D.K. Sulunkhe (eds.). **Food Antioxidants: Technological, Toxicological, and Health Perspectives**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Ramanathan, L. and N.P. Das. 1993. Natural products inhibit oxidative rancidity in salted cooked ground fish. **J. Food Sci.** 58: 318-330.
- Reddy, A.C. and B.R. Lokesh. 1994. Effect of dietary turmeric (*Curcuma longa*) on iron-induced lipid peroxidation in the rat liver. **Food Chem. Toxicol.** 32: 279-283.
- Rimington, C. 1933. Toxic principles of *Curcuma africanus* L.F. *Curcuma myriocarpus* (Naud) Emend., and of a new unnamed *Curcuma* species. **S. Afr. J. Sci.** 30: 505-514.
- Romire-Tortosa, M.C., M.D. Mesa, M.C. Aguilera, J.L. Quiles, L. Baro, C.L. Ramirez-Tortosa, E. Martinez-Victoria and A. Gil. 1999. Oral administration of a turmeric extract inhibits LDL oxidation and has hypocholesterolemic effects in rabbits with experimental atherosclerosis. **Atherosclerosis** 147: 371-378.

- Sakamoto, K., T. Tabata, K. Shirasaki, T. Inagaki and S. Nakayama. 1987. Effects of gamma-oryzanol and cycloartenol ferulic acid ester on cholesterol diet induced hyperlipidemia in rats. **Jpn. J. Pharmacol.** 45: 559-565.
- Sambainah, K., S. Ratankumar, V.S. Kamanna, M.N. Satyanarayana, M.V.L. Rao. 1982. Influence of turmeric and curcumin on growth, blood constituents and serum enzymes in rats. **J. Food Sci. Technol.** 19: 187-190.
- Sanders, T.A.B. and M.C. Hochland. 1983. A comparison of the influence on plasma lipid and platelet function of supplements of omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acid. **Brit. J. Nutr.** 50: 521-529.
- SAS. 1996. **SAS Procedures Guides**, Release 6.3 Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Scartezzini, P. and E. Speroni. 2000. Review on some plants of Indian traditional medicine with antioxidant activity. **J. Ethnopharmacol.** 71:23-43.
- Schneeman, B.O. 1986. Dietary fiber: physical and chemical properties, method of analysis and physiological effect. **Food Tech.** 40: 104-110.
- Schneeman, B.O. and J. Tietyen. 1994. Dietary fiber. In M.E. Shils, J.A. Olson and M. Shike (ed.). **Modern Nutrition on Health and Disease**. 8th ed. Philadelphia, Lea and Febiger.
- Schuler, P. 1990. Natural antioxidants exploited commercially, pp. 99-100. In B.J.F. Hudson (ed.). **Food Antioxidants**. Elsevier Science Pub., Ltd., New York.
- Scott, M.L., M.C. Nesheim, and R.J. Young. 1982. **Nutrition of the Chicken**. 3rd ed. M.L. Scott & Associates, Ithaca, New York.

- Shahidi, F. 1997. Natural Antioxidants: **Chemistry, Health Effects, and Applications**. AOCS Press, Illinois.
- Shankar, T.N.B., N.V. Shantha, H.P. Ramesh, I.A.S. Murthy and V.S. Murthy. 1980. Toxicity studies on turmeric (*Curcuma longa*): acute toxicity studies in rat, guinea pig and monkey. **Indian J. Exp. Biol.** 18: 73-75.
- Shurbaji, A., C.L. Backstrom, L. Berglund, G. Eggertsen and I. Bjorkhem. 1991. Effect of n-3 fatty acid on the enzyme involved in cholesterol and triglyceride turnover in rat liver. **J. Lipid.** 26: 385-389.
- Simic, M.C., S.V. Jovanovic and E. Niki. 1992. Mechanisms of lipid oxidative process and their inhibition, pp. 14-30. In A.J.St. Angelo (ed.). **Lipid Oxidation in Food**. American Chemical Society, Washington, D.C.
- Sipos, E.F. and B.F. Szuhaj. 1996. Lecithins, pp. 311-391. In Y.H. Hui (ed.). **Bailey's Industrial Fat Products**. Vol.1. General Applications, 5th ed. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Sittisomwong, N., J. Phengchata and S. Cheewapatana. 1990. Acute and subchronic toxicity of turmeric. **Bull. Depart. Med. Sci.** 32: 101-111.
- Srimal, R.C., N.M. Khanna and B.N. Dhawan. 1973. A primary report on anti-inflammatory activity on curcumin. **Indian J. Pharmacol.** 3: 10.
- Stauffer, C.E. 1996. Fats and Oils: **Practical guides for the food industry**. American Association of Cereal Chemists, Inc., Minnesota.
- Stewart, J.C.M. 1980. Colorimetric determination of phospholipids with ammonium ferrothiocyanate. **Anal. Biochem.** 104: 10.

- Sutton, C.D., W.M. Muir and G. E. Mitchell. 1984. Cholesterol metabolism in the laying hen as influenced by dietary cholesterol, caloric intake and genotype. **Poult. Sci.** 63: 972-980.
- Tamano, S., M. Hirose, H. Tanaka, A. Hagiwara and T. Shirai. 1998. Variation in susceptibility to the induction of forestomach tumors by butylated hydroxyanisole among rats of different strains. **Food Chem. Toxicol.** 36: 299-304.
- Thai Herbal Pharmacopoeia. 1995. **Khamin Chan**. Vol. 1. Prachachon Co., Ltd., Bangkok. pp. 38-44.
- Thomas, A.W., J.N. Robert, W. Benjamin and K. David. 2007. Rice bran oil and oryzanol reduce plasma lipid and lipoprotein cholesterol concentrations and aortic cholesterol ester accumulation to a greater extent than ferulic acid in hypercholesterolemic hamsters. **J. Nutr. Biochem.** 18: 105-112.
- Toda, S., T. Miyase, H. Arichi, H. Tanizawa and Y. Takino. 1985. Natural antioxidants III. Antioxidative components isolated from rhizome of *Curcuma longa* L. **Chem. Pharm. Bull.** 33: 1725-1728.
- Tonnensen, H.H. and J.V. Greenhill. 1992. Study on curcumin and curcuminoid. XXII. Curcumin as a reducing agent and as radical scavenger. **Int. J. Pharmaceut.** 871: 79-87.
- Vargas, R.E. and E.C. Naber. 1984. Relationship between dietary fiber and nutrition density and its effect on energy balance, egg yolk cholesterol and hen performance. **J. Nutr.** 114: 645-652
- Voet, D. 1990. **Biochemistry**. John Wiley & Sons, Singapore.

- Wagner, M.S., J.L. Kelley, E.C. Nelson, P. Alaupovic and R.H. Thayer. 1978. Lipid metabolism in layer hens: The relationship of plasma lipids and liver fatty acid synthetase activity to changes in liver composition. **Poult. Sci.** 57: 959-967.
- Wahlstrom, B. and G. Blennow. 1979. A study on the fate of curcumin in the rat. **Acta Pharmacol. Toxicol.** 43: 86-92.
- Wattanakrai, P., S. Suwanachote, S. Kulkollakarn and N. Rajatanavin. 2007. The study of human skin irritation of a novel herbal skin care product and ingredients by human single closed patch testing. **J. Med. Assoc. Thai.** 90: 1116-1122.
- Weiss, J.F., E.C. Naber and R.M. Johnson. 1967. Effect of dietary fat and cholesterol on the in vitro incorporation of acetate- 14 C into hen liver and ovarian lipids. **J. Nutr.** 93: 142-152.
- White, P.J. and Y. Xing. 1997. Antioxidants from spices and legumes, pp. 33-34. In F. Shahidi (ed.). **Natural antioxidant: Chemistry, health effects, and applications.** AOCS Press, Illinois.
- World Health Organization. 1999. Rhizoma Curcumae Longae. In **WHO monographs on Selected Medicinal Plants. Vol. I,** Malta.
- Wright, J.S. 2002. Predicting the antioxidant activity of curcumin and curcuminoids. **J. Mol. Str. (Theochem).** 591: 207-217.



อุปกรณ์การวิเคราะห์

อุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพไข่

1. ไมโครมิเตอร์วัดความหนาของเปลือกไข่ (shell thickness micrometer) ของบริษัท TSS Technical Service and Supplies Ltd. (England)
2. พัดเทียบสีไข่ไก่ (Yolk colour Fan) ซึ่งมีสีเข้มขึ้นตามลำดับจากเบอร์ 1 ถึง 15 ของบริษัท Roche
3. เครื่องวัดความสูงไข่ขาว (Electronic height gauge for measuring albumen height) ของบริษัท TSS Technical Service and Supplies Ltd. (England)

อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการเก็บตัวอย่างเลือด

1. กระบอกฉีดขนาด 10 ซีซี
2. สารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (heparin)
3. microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มล.
4. เข็มฉีดยาเบอร์ 23
5. หลอดทดลอง (test tube)
6. แยกสารด้วยแรงเหวี่ยง (Heitth Zentrifugen Model EBA 8S)

อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการสกัดไขมันในไข่แดง

- 1 การสกัดแยกไขมันออกจากไข่แดงตามวิธีการของ Sutton *et al* (1984) ไขมันที่สกัดได้จะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์

- 1.1 Ethanol
- 1.2 Acetone
- 1.3 ไมโครปิเปต และ Dropper
- 1.4 หลอดทดลอง และ Vial
- 1.5 เครื่อง Homogenize
- 1.6 เครื่องแยกสารด้วยแรงเหวี่ยง (Centrifuge)

1.7 เครื่องชั่งดิจิตอล

2. การสกัดแยกไขมันออกจากไข่แดงตัดแปลงจากวิธีของ Folch *et al* (1957) ไขมันที่สกัดได้จะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสโฟลิพิด

2.1 Chloroform

2.2 Methanol

2.3 Erlenmeyer flask

2.4 Funnel

2.5 Separatory funnel

2.6 Rotary evaporator, เครื่องสกัดไขมัน

2.7 Round bottom flask

2.8 Cylinder

2.9 กระจกทรง

2.10 ไมโครปิเปต และ Dropper

2.11 หลอดทดลอง และ Vial

2.12 เครื่อง Homogenizer

2.13 เครื่องชั่งดิจิตอล

อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และ HDL ในพลาสมา และไข่แดง

1. เครื่องมือวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)
2. เครื่องปั่น (vortex mixer)
3. water bath
4. pasteur pipettes
5. ขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิเมตร
6. micropipette
7. hot air oven
8. สารละลายคอเลสเตอรอลมาตรฐาน (standard cholesterol solution)
9. สารละลาย 5 α -cholestane มาตรฐาน (internal standard 5 α -cholestane solution)

10. ชุดตรวจสำเร็จรูป cholesterol liquid color (Human, Germany)
11. ชุดตรวจสำเร็จรูป triglyceride (Human, Germany)
12. ชุดตรวจสำเร็จรูป HDL cholesterol liquicolor (Human, Germany)

อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ในไข่แดง

1. Volumetric flask
2. แท่งแก้วคนสาร
3. ไมโครปิเปต ขนาด 1000 และ 5000 ไมโครลิตร
4. หลอดทดลอง
5. เครื่อง Vortex mixer
6. เครื่อง Centrifuge ควบคุมอุณหภูมิ ความเร็ว 3000 RPM
7. Dropper
8. เครื่อง Spectrophotometer ช่วงการดูดกลืนแสง 488 นาโนเมตร
9. ferric chloride
10. Chloroform
11. phosphatidyl choline
12. Ammonium thiocyanate
13. น้ำกลั่น

อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์ malondialdehyde (MDA) โดยวิธี thiobarbituric acid (TBA) assay

1. หลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร
2. autopipette ขนาด 20, 200 และ 100 μ l
3. vortex mixer
4. cuvette quartz
5. หลอดทดลองชนิด screw-capped centrifuge tube
6. เครื่อง UV/VIS spectrophotometer
7. 2-thiobarbituric acid (TBA)

8. n-butanol และ pyrimidine

9. hydrochloric acid (HCl)

อุปกรณ์หาค่าการอัดแน่นของเม็ดเลือดแดง

1. หลอด Heparinized haematocrit capillaries
2. หลอดใส่เลือดที่เคลือบสาร Heparinized
3. ดินน้ำมัน
4. เครื่อง Haematocrit centrifuge (Haematokrit 24; Hettich Zentrifugen)

อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์หาอัตราส่วนระหว่างเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดเฮทอโรฟิลต่อลิมโฟไซต์ (Hetrophil/Lymphocyte ratio, H/L ratio)

1. กระดาษสไลด์
2. สีย้อม Wright-Giemsa
3. กล้องจุลทรรศน์ธรรมดา (Microscope)

อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์หาระดับแคลเซียมไอออนในพลาสมา

ใช้เครื่อง ion selective PC 5000/5500

เครื่องผสมอาหาร (แบบถั่วงอน)

วิธีการวิเคราะห์

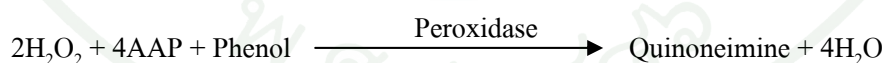
การสกัดไขมันในไข่แดงโดยดัดแปลงจากวิธีของ Sutton *et al.* (1984)

นำไข่แดงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส มาชั่งจำนวน 1 กรัม แล้วนำไปในหลอดทดลองหลังจากนั้นเจือจางด้วย Acetone: Ethanol (1:1 v/v) 5 เท่า (ใส่ 5 มิลลิลิตร) แล้วนำไป Homogenized ที่ความเร็ว 20,000 รอบ/นาที่ เป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบ/นาที่ เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายส่วนบนที่ได้เก็บไว้ใน Vial เก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส การนำไปวิเคราะห์ใช้วิธีการเดียวกับการวิเคราะห์ในพลาสมา

การวิเคราะห์ระดับคอเลสเตอรอลในพลาสมาและไข่แดง

วิเคราะห์หาระดับคอเลสเตอรอลในพลาสมาและไข่แดง วิเคราะห์หาปริมาณคอเลสเตอรอลด้วยชุดตรวจสำเร็จรูป Cholesterol liquidcolor (Human, Germany)

หลักการ



หมายเหตุ CHE = Cholesterol esterase

CHO = Cholesterol oxidase

4AAP = 4-aminophenazone

สาร Working reagent ประกอบด้วย

1. Tampon phosphate (pH 6.5) 100 mmol/l
2. 4-aminophenazone 0.3 mmol/l
3. Phenol 5 mmol/l
4. Peroxydase >5 KU/l
5. Cholesterol esterase >150 KU/l
6. Cholesterol oxidase >100 KU/l
7. Azide de sodium 0.05%

วิธีการวิเคราะห์

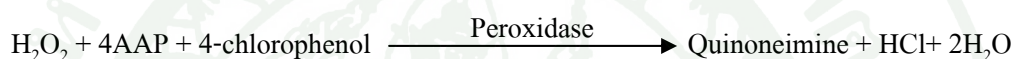
นำชุดตรวจสำเร็จรูป cholesterol liquidcolor ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และตัวอย่างพลาสมา หรือไขมันที่สกัดได้จากไข่แดงมาไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการวิเคราะห์ เพื่อปรับให้อุณหภูมิของ สารเคมีและตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นเขียนฉลากติดหลอดทดลอง blank, standard และ sample แล้วทำการเติมน้ำกลั่นลงในหลอด blank เติมสารละลายมาตรฐานลงใน หลอดทดลอง standard และเติมตัวอย่างลงในหลอด sample อย่างละ 20 ไมโครลิตร หลังจากนั้น เติม working reagent 1,000 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง blank, standard และ Sample แล้วเขย่า สารละลายให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง vortex mixer เป็นเวลา 1 นาที เมื่อทำเสร็จเรียบร้อยแล้วนำหลอด ทดลองแต่ละหลอด ไปตั้งไว้ใน water bath ที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปคำนวณหาปริมาณคอเลสเตอรอลในพลาสมาและ ไข่แดง ตามสูตรดังนี้

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณคอเลสเตอรอล(mg/dL)} = (\text{ค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่าง/ค่าดูดกลืนแสงของสารละลาย} \\ \text{มาตรฐาน}) \times \text{ความเข้มข้นคอเลสเตอรอลมาตรฐาน}$$

การวิเคราะห์ระดับไตรกลีเซอไรด์ในพลาสมาและไขแดง

หลักการ



หมายเหตุ GK = Glycerol Kinase

GPO = Glycerol Phosphate Oxidase

DAP = Dihydroxyacetone phosphate

ATP = Adenosine triphosphate

ADP = Adenosine diphosphate

4-AAP = 4- Aminoantipyrine

สาร Working reagent ประกอบด้วย

1. Tampon PIPES (pH 7.5) 50 mmol/l
2. 4- chlorophenol 5 mmol/l
3. 4- aminoantipyrine 0.25 mmol/l
4. Iron de magnesium 4.5 mmol/l
5. ATP 2.0 mmol/l
6. Lipases ≥ 1.3 U/ml
7. Peroxydase ≥ 0.5 U/ml
8. Glycerol Kinase ≥ 0.4 U/ml
9. Glycerol phosphate oxidase ≥ 1.5 U/ml

วิธีการวิเคราะห์

นำชุดตรวจสำเร็จรูป Cholesterol liquidcolor ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และตัวอย่างพลาสมา หรือไขมันที่สกัดได้จากไข่แดงมาไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการวิเคราะห์หลังจากนั้นเขียนฉลากติดหลอดทดลอง blank, standard และ sample แล้วเติมน้ำกลั่นลงในหลอด blank เติมน้ำกลั่นตามมาตรฐานลงในหลอดทดลอง standard และเติมตัวอย่างลงในหลอดทดลอง sample 10 ไมโครลิตร หลังจากนั้นทำการเติม Working reagent 1,000 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง blank, standard และ sample นำไปเขย่าให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง vortex mixer เป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นนำไปตั้งทิ้งไว้ใน water bath ที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาทีแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่มีความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปคำนวณหาปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในพลาสมาและไข่แดง ตามสูตรดังนี้

การคำนวณ

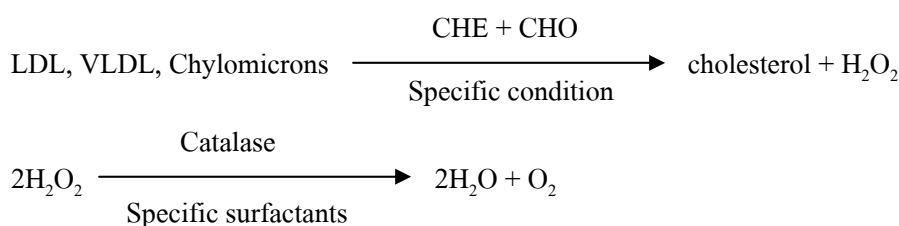
$$\text{ไตรกลีเซอไรด์ (mg/dl)} = (\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง} / \text{ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน}) \times \text{ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (mg/dl)}$$

การวิเคราะห์ระดับ HDL ในพลาสมา

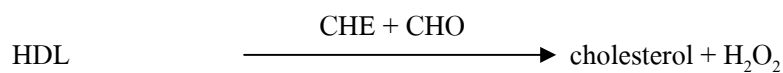
วิเคราะห์ HDL อาศัยสารเคมีสำเร็จรูปในขั้นตอนการตกตะกอนเพื่อให้ HDL ออกจากองค์ประกอบอื่นในพลาสมา โดยที่ HDL จะแขวนลอยอยู่ในน้ำใส ซึ่งสามารถนำไปตรวจหาปริมาณของคอเลสเตอรอลที่เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย

หลักการ

ขั้นที่ 1



ขั้นที่ 2



หมายเหตุ CHE = Cholesterol esterase

CHO = Cholesterol oxidase

สาร Working reagent ประกอบด้วย

เอนไซม์

1. Good's buffer pH 7.0 (20 °C) 100 mmol/l
2. Cholesterol esterase 600 U/l
3. Cholesterol oxidase 380 U/l
4. Catalase 600 U/ml
5. N (2-hydroxy -3- sulfopropyl)- 3, 5
6. dimethoxyaniline (HDAOS) 0.42 mmol/l

สารตั้งต้น

1. Peroxidase 1000 U/l
2. 4- aminoantipyrin (4-AA) 1.00 mmol/l
3. Good's buffer pH 7.0 (20 °C) 100 mmol/l
4. Sodium azide 0.06 mmol/l
5. Detergents >1%

วิธีการวิเคราะห์

ขั้นตอนการตกตะกอนเพื่อแยก HDL ออกจากองค์ประกอบอื่นในพลาสมา อาศัยสารเคมี สำเร็จรูป HDL cholesterol precipitant and standard (Human, Germany) และอาศัยชุดตรวจ สำเร็จรูป Cholesterol liquicolor (Human, Germany) ในการตรวจหาปริมาณคอเลสเตอรอล จากนั้น ตรวจวัดความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายโดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณ HDL (mg/dL)} = \left\{ \frac{\text{ค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่าง}}{\text{ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน}} \right\} \times \frac{\text{ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน}}{\text{ความเข้มข้นของตัวอย่าง}}$$

การวิเคราะห์ฟอสโฟลิพิดในพลาสมาและไขแดง โดยวิธีของ Stewart (1980)

วิธีการวิเคราะห์

เขียนฉลากปิดหลอดทดลอง blank, standard และ sample แล้วเติม standard phosphatidylcholine ลงในหลอด standard ปริมาณ 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 ไมโครลิตร เติม chloroform ลงในหลอดทดลอง blank 2,000 ไมโครลิตร และเติมตัวอย่าง พลาสมา 20 ไมโครลิตร แต่ถ้าเป็นตัวอย่างไขแดงให้เติม 10 ไมโครลิตร ลงในหลอด sample แต่ละ หลอดหลังจากนั้นทำการเติม chloroform ในหลอด standard ให้ครบ 2,000 ไมโครลิตรแล้วเติม thiocyanate agent 1,000 ไมโครลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ความเร็วรอบ 3,000 RPM (Low speed) นาน 15 นาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แล้วดูดสารสีแดงที่ลอยอยู่ด้านบนของ สารละลายออกมา และนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ใช้ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณฟอสโฟลิพิด ตาม วิธีการดังต่อไปนี้

วิธีการคำนวณ

นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ ไปคำนวณหาความเข้มข้นของ phosphatidylcholine โดยแทนในค่า Y ในสมการ Regression จากกราฟ Standard Curve แล้วนำค่าความเข้มข้นของ phosphatidylcholine มาคำนวณเป็นความเข้มข้นของฟอสโฟลิปิด หลังจากนั้นนำมาแทนค่าในสูตรดังนี้

$$\text{ฟอสโฟลิปิด (mg/dl)} = \frac{\left[\frac{\text{ความเข้มข้นของฟอส}}{\text{ฟาคิลิล โคลีน (mg/dl)}} \right] \times \left[\frac{\text{ความเข้มข้นของ}}{\text{Chloroform (}\mu\text{l)}} \right]}{\text{ปริมาณตัวอย่าง}(\mu\text{l})}$$

การวิเคราะห์หา MDA ในพลาสมา (การวิเคราะห์ Thiobarbituric acid, TBA)

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน MDA: มีความเข้มข้น 100 nmol/ml

นำสาร malondialdehyde bis (dimethyl acetal) FW 164.2 จำนวน 0.1642 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและทำให้ได้ปริมาตร 100 ml จะได้สารละลาย MDA ความเข้มข้น 10,000 nmol/ml หลังจากนั้นดูดสารละลายที่ได้มา 1 ml แล้วละลายในน้ำกลั่นทำให้ได้ปริมาตร 10 ml จะได้สารละลาย MDA มาตรฐาน ความเข้มข้น 100 nmol/ml

การเตรียมสารละลาย MDA ที่มีความเข้มข้น 5, 10, 15, 20 และ 25 nmol/ml

ทำการดูดสารละลาย MDA มาตรฐาน ความเข้มข้น 100 nmol/ml ปริมาตร 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ml ใส่ในหลอดทดลองแต่ละหลอด แล้วละลายน้ำกลั่นทำให้ได้ปริมาตร 10 ml จะได้สารละลาย [MDA] 5, 10, 15, 20 และ 25 nmol/ml ตามลำดับ

การตรวจวัด Malondialdehyde (MDA) ในพลาสมา

ทำการเตรียมพลาสมาปริมาตร 200 μ l ลงในหลอดทดลองชนิด screw-capped centrifuge tube แต่ถ้ายเตรียม Blank ได้จากการใช้น้ำกลั่นปริมาณ 200 μ l ใส่ลงในหลอดทดลองชนิด screwcapped centrifuge tube ขึ้นตอนต่อไปก็ทำเหมือนกับหลอดทดลองที่ใส่ตัวอย่าง โดยหลังจากนั้นจะเตรียม MDA มาตรฐาน โดยใช้สารละลาย MDA ความเข้มข้น 5, 10, 15, 20 และ 25 nmol/ml ปริมาตร 100 μ l ผสมกับน้ำกลั่นปริมาณ 100 μ l ใส่ลงในหลอดทดลองชนิด screw-capped centrifuge tube แล้วเติม Acetic acid 20% pH ปริมาตร 1.5 ml จากนั้นเติม Thiobarbituric acid 0.8% ปริมาตร 1.5 ml และ Sodium dodecyl sulphate 8.1% ปริมาตร 0.2 ml แล้วนำไปต้มใน boiling waterbath ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที หลังจากนั้นทำให้เย็นโดยแช่ในน้ำจืดประมาณ 5 นาที แล้วนำมาเติมด้วย n-butanol/pyridine (15:1) ปริมาตร 3.5 ml และน้ำกลั่น ปริมาตร 0.8 ml ตามลำดับ แล้วนำไปเขย่าอย่างแรงโดยใช้เครื่อง vortex เป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่อง Centrifuge ที่ความเร็ว 4,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 นาที จะได้ของเหลว 2 ชั้นที่แยกกัน คูคของเหลวที่อยู่ข้างบนปริมาตรอย่างน้อย 2.5 ml ไปใส่ cuvette แล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง spectrophotometer แล้วนำค่า MDA ของตัวอย่างที่ได้จากการนำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย MDA มาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นมาทำกราฟเส้นตรงมาตรฐาน แล้วหาสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง จากนั้นแทนค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างพลาสมาที่ตรวจได้ลงในสมการแล้วหารด้วย 2 จะได้ค่า MDA ของตัวอย่าง โดยมีหน่วยเป็น nmol/ml

การหาค่าการอัดแน่นของเม็ดเลือดแดง (hematocrit) วิธีการวิเคราะห์แบบ Micro-hematocrit

เลือดที่จะทำการหาค่าการอัดแน่นของเม็ดเลือดแดง 1 ตัวอย่างต่อ 1 หลอด Heparinized capillary tube โดยใช้ตัวอย่างเลือดที่เก็บในหลอดเลือดทดลองที่ใส่สารป้องกันการแข็งตัวของเลือด หลังจากนั้นจุ่มปลายข้างหนึ่งของหลอด capillary ลงในหลอดเลือด เอียง capillary tube และหลอดเลือดเพื่อให้เลือดไหลเข้าสู่หลอดเลือดตามแรง capillary action ประมาณ 3 ใน 4 หลอด ใช้นิ้วอุดปลายด้านบน พร้อมยกออกจากหลอดเลือดตัวอย่าง แล้วเช็ดทำความสะอาดรอบนอก จากนั้นกดปลายล่างด้านที่บรรจุเลือดของหลอด capillary ตรงๆ ลงบนดินน้ำมันพร้อมปล่อยนิ้วที่อุดปลายด้านบนออก เพื่อป้องกันการแตกตัวของเม็ดเลือด กดซ้ำลงบนดินน้ำมัน 1-2 ครั้ง และทำเครื่องหมายประจำแต่ละซ้ำ แล้วนำมาปั่นด้วยเครื่อง Haematocrit centrifuge ความเร็ว 10,000-

20,000 รอบ/นาที่ นาน 10 นาที แล้วนำหลอด capillary ที่ปั่นแล้วนำมาหาเปอร์เซ็นต์การอัดแน่นของเม็ดเลือดแดง โดยทำการใช้ไม้บรรทัดวัดเม็ดเลือดที่อัดแน่นแดง หลังจากนั้นนำมาคำนวณหาค่าการอัดแน่นของเม็ดเลือดแดง โดยเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ ตามสูตรดังนี้

$$\text{ค่าการอัดแน่นของเม็ดเลือดแดง (\%)} = \left\{ \frac{\text{ความยาวของเม็ดเลือดแดงอัดแน่น}}{\text{ความยาวของเลือดทั้งหมด}} \right\} \times 100$$

การหาค่าอัตราส่วนระหว่างเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิลต่อลิมโฟไซต์ (Hetrophil/Lymphocyte ratio, H/L ratio)

นำเลือดที่เก็บมาโดยใช้ตัวอย่างเลือดที่เก็บในหลอดเลือดทดลองที่ใส่สารป้องกันการแข็งตัวของเลือด แล้วใช้ capillary tube ดูดเลือดในหลอดเก็บเลือดแล้วหยดบนแผ่นสไลด์ จำนวน 1 หยด แล้วทำการเสมียร์เลือดบนแผ่นสไลด์ หลังจากนั้นปล่อยให้แห้งในอากาศ 15-20 นาที และทำการย้อมด้วยสี Wright-Giemsa แล้วนำมาหาค่าอัตราส่วนเม็ดเลือดโดยนับแยกชนิดเม็ดเลือดอัตราส่วน 100 เซลล์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope) ที่กำลังขยาย 100X และหาค่าสัดส่วนของเม็ดเลือดขาวชนิด เฮเทอโรฟิลต่อลิมโฟไซต์ โดยใช้สูตร ดังนี้

$$\text{H/L ratio} = \frac{\text{จำนวนเม็ดเลือดขาวชนิดเฮเทอโรฟิล}}{\text{จำนวนเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์}}$$

การหาค่าระดับแคลเซียมไอออนในพลาสมา

วิเคราะห์หาแคลเซียมไอออนโดยใช้เครื่อง ion selective PC 5000/5500



ภาพผนวกที่ 1 ลักษณะกายภาพของน้ำมันรำข้าวคืบ



ภาพผนวกที่ 2 ลักษณะกายภาพของกากขมิ้นชัน

ตารางผนวกที่ 1 อุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยแต่ละสัปดาห์ภายในโรงเรือนไก่ไข่
ระหว่างทำการทดลอง

สัปดาห์ที่	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด	ความชื้นสัมพัทธ์
1	21.00±1.15	27.29±2.93	87.29±4.64
2	17.86±2.48	24.71±1.25	89.71±0.49
3	20.14±0.90	25.43±0.53	90.00±0.00
4	23.29±1.25	27.86±1.21	89.14±3.18
5	25.00±0.00	28.57±0.53	83.29±3.40
6	23.29±1.25	28.43±0.79	81.71±0.49
7	24.29±1.25	29.29±0.76	83.29±2.98
8	26.57±0.53	30.14±0.38	87.57±4.28
9	26.43±0.79	30.29±0.49	91.00±0.00
10	27.14±1.95	30.43±0.53	91.00±0.00
11	24.86±2.54	29.43±0.79	90.86±0.38
12	25.71±0.76	28.57±1.72	91.00±0.00

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายเชื้อชาญ เพ็ชรนิล
เกิดวันที่	27 พฤษภาคม 2527
สถานที่เกิด	อำเภอหนองบัวลำภู จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตสัตว์) มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง (พ.ศ. 2550)
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-