



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)
ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์
สาขา

สัตว์บาล
ภาควิชา

เรื่อง การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน

Supplementation of Crude Extract from *Curcuma longa* L. in Laying Hen
Rearing under Different Cage Density

نامผู้วิจัย นายทรงพล ลือชา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก (ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรประพันธ์ ส่งเสริม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุวเรศ เรืองพานิช, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม (ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อตมามงกูร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา (ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อตมามงกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน

Supplementation of Crude Extract from *Curcuma longa* L. in Laying Hen

Rearing under Different Cage Density

โดย

นายทรงพล ลือชา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

พ.ศ. 2552

ทรงพล ลือชา 2552: การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ปริญาวิทยาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาวิชาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรประพันธ์ ส่งเสริม, Ph.D. 72 หน้า

การศึกษาผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ใช้แผนการทดลองแบบ 3 x 2 แฟกทอเรียล เพื่อทดสอบปัจจัยทดลอง 2 ปัจจัย ได้แก่ การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่มีระดับของเคอร์คูมินอยด์ 0, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร และความหนาแน่นของการเลี้ยงไก่ไข่ในกรงตับ 2 และ 3 ตัวต่อกรง (พื้นที่ในการเลี้ยง 600 และ 400 ตารางเซนติเมตรต่อตัว) ใช้ไก่ไข่สายพันธุ์ Hisex Brown เพศเมีย จำนวน 300 ตัว อายุ 18 สัปดาห์ แต่ละกลุ่มแบ่งเป็น 5 ซ้ำ ซ้ำละ 4 กรง บันทึกการให้ผลผลิตและคุณภาพไข่ทั้งหมด 5 ช่วงการทดลอง ช่วงละ 28 วัน ผลการทดลองพบว่า การเลี้ยงไก่ไข่ภายใต้ความหนาแน่นในกรงสูงส่งผลต่อการลดลงของปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เริ่มทดลอง อัตราการเลี้ยงรอด และมวลไข่เฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง ปริมาณอาหารที่กินต่อน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม ปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 โหล คุณภาพไข่ ค่า thiobarbituric acid reactive substances (TBARs) ในซีรัม และระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมและในไข่แดง ในขณะที่การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในอาหารช่วยเพิ่มความเข้มของสีไข่แดง และส่งผลต่อการลดลงของค่า TBARs ในซีรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) แต่ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ และระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมและในไข่แดง

Songpol Laucha 2009: Supplementation of Crude Extract from *Curcuma longa* L. in Laying Hen Rearing under Different Cage Density. Master of Science (Animal Nutrition and Feed Technology), Major Field: Animal Nutrition and Feed Technology, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Ornprapun Songserm, Ph.D. 72 pages.

The effect of supplementation of crude extract from *Curcuma longa* L. in layer hen rearing under different cage density was conducted using 3 x 2 factorial designs. There were two factors of interest, namely the level of crude extract from *Curcuma longa* L. containing 0, 50 and 100 ppm. of curcuminoid and the cage density of laying hen with 2 and 3 hens per cage (space density were 600 and 400 cm²/hen, respectively). Three hundred, 18 weeks old, Hisex Brown pullets were separated into 5 replicates with 4 cages each. The egg production and quality were recorded for 5 periods with 28 days per period. The result showed that the higher cage density of laying hen significantly decreased daily feed intake per hen, hen-day egg production, hen-housed egg production, livability and egg mass (P<0.05) but had no effect on body weight gain, feed conversion ratio, feed intake per dozen eggs, egg quality, serum TBARs and cholesterol levels in serum and egg yolk. Furthermore, supplementation of crude extract from *Curcuma longa* L. in diets was found to improve egg yolk color and decrease serum TBARs of the hen (P<0.01), but had no effect on egg performance, egg quality and cholesterol levels in serum and egg yolk.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถประพันธ์ ส่งเสริม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยูวเรศ เรืองพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์นวลจันทร์ พารักษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์วณิชัยวัฒน์ และอาจารย์อรรถวุฒิ พลายนูญ ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านการศึกษาและค้นคว้างานวิจัย รวมไปถึงการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติอย่างใกล้ชิด ตลอดจนการเขียนวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก สถาบันสุวรรณวาทกสิกิจเพื่อค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่สนับสนุนสถานที่ทำการวิจัย รวมไปถึง คุณสมศักดิ์ กล้าทอง คุณประจวบ หวังแก้ว เจ้าหน้าที่และพนักงานทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในระหว่างดำเนินการทดลอง ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน และเจ้าหน้าที่ฝ่ายชีวเคมี ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ทุกท่าน สำหรับคำแนะนำในการใช้อุปกรณ์ภายในห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณอาจารย์ระศักดิ์ ฟุ่งเฟื่อง คุณป๋อญ์ ลำภาเงิน คุณวันดี นิมพาลี คุณวพันธ์ พรหมวง คุณธิดาพร สุดยิ่ง และคุณนลิน บุญสพ ที่ให้กำลังใจและคำแนะนำดีๆ ระหว่างที่ศึกษาในมหาวิทยาลัย รวมถึงคุณทิพย์วดี พูลเดช คุณสุภาภรณ์ โธณานุรักษ์ คุณสุภาพร กิตติอุดมพานิช คุณทัศนันทน์ หงสะพัก คุณรัตนกร แสนท่าพล คุณวีรนุช พานทอง คุณนุชศราพร หนูอยู่ คุณเรญา ม้าทอง คุณธีระยุทธ พงศ์เลิศฤทธิ์ คุณชาญชัย ชัยรัตนเศรษฐ์ คุณกมลพงศ์ บุญแสน คุณภูเบศร์ เสริมสุข คุณจงกล เพ็งปรีชา และน้องสัตวบาลรุ่น 66 ที่ช่วยเหลือข้าพเจ้าวิเคราะห์คุณภาพของไข่ทดลอง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว พี่ชาย น้องสาว ที่เป็นขวัญและกำลังใจอันมีค่าตลอดมา ข้าพเจ้าขอขอบพระทัยและคุณค่าของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แด่ผู้มีอุปการคุณทุกท่าน คณาจารย์ที่สั่งสอนข้าพเจ้าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมไปถึง คุณย่าทองอาบ ลือชา ผู้ล่วงลับ ขอให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์และแนวทางในการศึกษาวิจัยและพัฒนาสืบต่อไป

ทรงพล ลือชา

ตุลาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	15
อุปกรณ์	15
วิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	26
สรุปและข้อเสนอแนะ	46
สรุป	46
ข้อเสนอแนะ	47
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	48
ภาคผนวก	54
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ทางเคมี	55
ภาคผนวก ข ตารางผลการทดลอง	66
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	72

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ปริมาณสารสำคัญที่พบในเหง้าขมิ้นชัน	6
2 ส่วนประกอบของสูตรอาหารควบคุมจากการคำนวณ	18
3 ส่วนประกอบวิตามินใน 1 กิโลกรัมของพริกขี้หนู	19
4 ส่วนประกอบแร่ธาตุใน 1 กิโลกรัมของพริกขี้หนู	19
5 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาองค์ประกอบทางโภชนาในอาหารทดลอง	26
6 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง และปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน	29
7 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อปริมาณอาหารที่กินต่อน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม และปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 โหล	30
8 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่ออัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต และอัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เริ่มทดลอง	31
9 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อมวลไข่เฉลี่ย	32
10 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อเปอร์เซ็นต์การเลี้ยงรอด	33
11 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกันต่อน้ำหนักไข่เฉลี่ย และค่าฮอฟฟ์ยูนิต	37
12 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อความถ่วงจำเพาะและความหนาเปลือกไข่	38

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
13 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อเปอร์เซ็นต์ไข่ขาว ไข่แดง และเปลือกไข่	39
14 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อความเข้มข้นสีไข่แดง	40
15 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อค่า TBAR ในซีรัม	43
16 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมและในไข่แดง	45
ตารางผนวกที่	
1 อุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด-สูงสุด ภายในโรงเรือนของการทดลองช่วงที่ 1 (วันที่ 4 ก.ย. ถึงวันที่ 1 ต.ค. 2551)	67
2 อุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด-สูงสุด ภายในโรงเรือนของการทดลองช่วงที่ 2 (วันที่ 2 ต.ค. ถึงวันที่ 29 ต.ค. 2551)	68
3 อุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด-สูงสุด ภายในโรงเรือนของการทดลองช่วงที่ 3 (วันที่ 30 ต.ค. ถึงวันที่ 26 พ.ย. 2551)	69
4 อุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด-สูงสุด ภายในโรงเรือนของการทดลองช่วงที่ 4 (วันที่ 27 พ.ย. ถึงวันที่ 24 ธ.ค. 2551)	70
5 อุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด-สูงสุด ภายในโรงเรือนของการทดลองช่วงที่ 5 (วันที่ 25 ธ.ค. 2551 ถึงวันที่ 21 ม.ค. 2552)	71

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารในกลุ่มเคอร์คูมินอยด์
2	อุณหภูมิเฉลี่ยของการทดลองช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 (วันที่ 4 ก.ย. ถึงวันที่ 1 ต.ค. 2551 และวันที่ 2 ต.ค. ถึงวันที่ 29 ต.ค. 2551)
3	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของการทดลองช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 (วันที่ 4 ก.ย. ถึงวันที่ 1 ต.ค. 2551 และวันที่ 2 ต.ค. ถึงวันที่ 29 ต.ค. 2551)

การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน

Supplementation of Crude Extract from *Curcuma longa* L. in Laying Hen Rearing under Different Cage Density

คำนำ

การเลี้ยงไก่ไข่ในปัจจุบันมีการเพิ่มความหนาแน่นในการเลี้ยงมากกว่าการเลี้ยงไก่ในอดีต การเลี้ยงลักษณะนี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อสภาวะความเครียดในไก่ไข่ ซึ่งสภาวะความเครียดดังกล่าวเป็นตัวการที่เหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระในเซลล์ (Hidalgo *et al.*, 1991) อนุมูลอิสระเหล่านี้ส่งผลเสียต่อเยื่อหุ้มเซลล์ ระบบภูมิคุ้มกัน รวมถึงการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตไข่ เพราะการต้านอนุมูลอิสระจำเป็นต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่ง หากพลังงานที่สัตว์ใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตไข่ถูกใช้ในการต้านอนุมูลอิสระ อาจส่งผลทำให้ผลผลิตไข่ลดจำนวนน้อยลง (Sohail *et al.*, 2004) ด้วยเหตุนี้จึงมีความคิดที่จะนำสมุนไพรมาร่วมช่วยในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยสมุนไพรรที่ทำการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้คือ ขมิ้นชัน เป็นสมุนไพรรที่มีสรรพคุณทางยาค่อนข้างสูง มีสารออกฤทธิ์สำคัญคือ เคอร์คูมินอยด์ (curcuminoid) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เทียบเท่ากับสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Shalini and Srinivas, 1987) มีบทบาทในการกระตุ้นภูมิคุ้มกัน (Liu, 1996; Churchill *et al.*, 2000) สามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด (Rao *et al.*, 1970) นอกจากนี้ยังมีรงควัตถุที่สามารถเพิ่มสีของไข่แดง (Radwan Nadia *et al.*, 2008) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สามารถดึงดูดผู้บริโภคในการตัดสินใจซื้อไข่ไก่

ปัจจุบันการศึกษาค้นคว้าของการเสริมขมิ้นชันในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพของไข่ยังมีไม่มากนัก เนื่องจากรูปแบบการเสริมขมิ้นชันในอาหารไก่ไข่ยังไม่เหมาะสม และมีข้อจำกัดบางประการ เช่น การเสริมขมิ้นชันในรูปแบบมีข้อจำกัดในด้านการควบคุมปริมาณ สารออกฤทธิ์ให้คงที่ หากใช้ขมิ้นชันในปริมาณสูง อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการย่อยและดูดซึม สารอาหารชนิดอื่นๆ การใช้ในรูปแบบของสารสกัดเคอร์คูมินอยด์ ก็มีราคาค่อนข้างสูง อาจส่งผลกระทบต่อราคาต้นทุนในการผลิตสัตว์ ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงใช้สารสกัดหยาบ (crude extract) จากขมิ้นชัน ที่มีเคอร์คูมินอยด์เป็นสารออกฤทธิ์สำคัญ และยังมีสารออกฤทธิ์อื่นๆ ที่ช่วยในการออกฤทธิ์เสริมด้วย ทำการศึกษาศมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ ผลของการต้านอนุมูลอิสระในซีรัม และปริมาณ

คอเลสเทอรอลในซีรัมและไข่แดง เพื่อให้ทราบถึงศักยภาพของสมุนไพรพื้นบ้านและใช้ผลการทดลองครั้งนี้เป็นข้อมูลเพื่อการประยุกต์ใช้ในการผลิตไข่ไข่ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกันต่อสมรรถภาพการผลิตของไข่ไก่
2. ศึกษาผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกันต่อคุณภาพของไข่ไก่
3. ศึกษาผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อการต้านอนุมูลอิสระโดยวัดการเกิด lipid peroxidation ในรูปของค่า TBARs (thiobarbituric acid reactive substance) ในซีรัม
4. ศึกษาผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกันต่อระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมและไข่แดง

การตรวจเอกสาร

ลักษณะโดยทั่วไปของขมิ้นชัน

ขมิ้นชัน มีชื่อสามัญว่า turmeric หรือ curcuma มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Curcuma longa* L. จัดอยู่ในวงศ์ Zingiberaceae ซึ่งขมิ้นชัน เป็นชื่อที่เรียกกันทั่วไป นอกจากนี้มีชื่อที่เรียกแตกต่างกันตามท้องถิ่น ได้แก่ ขมิ้นแกง ขมิ้นชัน ขมิ้นหยวก ขมิ้นหัว ขมิ้น คายอ สะยอ หมิ่น (สำนักงานข้อมูลสมุนไพร, 2549)

ขมิ้นชันมีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย แถบเอเชียตอนใต้ แต่นิยมนำมาปลูกในเขตร้อนทั่วไป พบว่ามีการปลูกเพื่อการค้าในอินเดีย ปากีสถาน จีน มาเลเซีย อินโดนีเซีย และไทย (สุรชาติพ, 2540) ในประเทศไทยแหล่งปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคกลางและใต้ ได้แก่ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม ประจวบคีรีขันธ์ และกระบี่ ลักษณะการปลูกส่วนใหญ่จะปลูกเป็นพืชรองเพื่อเสริมรายได้ของเกษตรกร ขมิ้นชันเมื่อโตเต็มที่จะสูง 50–100 เซนติเมตร ลำต้นเป็นเหง้า (rhizome) อยู่ใต้ดินมีรูปร่างลักษณะแตกต่างกัน คือ แก่งหลักมีลักษณะกลมขนาดใหญ่ อาจมีการแตกแขนง 2-3 แก่ง เรียกว่า “corm” ส่วนที่แตกจาก corm มีลักษณะเรียวยาวคล้ายนิ้วมือเรียกว่า “finger” เป็นที่เกิดของรากฝอย และตุ่มตามิปลายแหลมปรากฏอยู่ทั่วไป ส่วนใบจะเจริญเติบโตแบบใบซ้อนทับกันเป็นชั้นๆ ขึ้นจากโคนถึงปลายรวมรูปร่างคล้ายลำต้น แต่จริงๆ แล้วเป็นลำต้นเทียมนั่นเอง (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2532) และเมื่อขมิ้นชันมีอายุได้ประมาณ 7 เดือน ใบจะเริ่มเหลืองแสดงว่าหัวเริ่มแก่ แต่ชาวไร่จะขุดขึ้นมาจำหน่าย เมื่อมีอายุได้ 9-10 เดือน

ขมิ้นชันชอบอากาศร้อนและความชื้นสูงในเวลากลางคืน จึงควรปลูกช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม และชอบดินร่วนซุยที่ระบายน้ำได้ดี ถ้ามีน้ำขังจะทำให้เหง้าขมิ้นเน่า วิธีการปลูกขมิ้นชันใช้เหง้าอายุ 11-12 เดือน เป็นท่อนพันธุ์ ควรเลือกใช้ปุ๋ยอย่างพิถีพิถัน ไม่ควรใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยคอกบางชนิด เช่น ปุ๋ยขี้เป็ดขี้ไก่ เพราะมักจะทำให้เกิดเชื้อรา ปุ๋ยที่เหมาะสมควรเป็นปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยขี้วัว พื้นที่ที่มีน้ำมากควรขกร่อง แต่ถ้าปลูกในสวนผลไม้ก็ไม่จำเป็นต้องขกร่อง ระยะปลูกระหว่างแถว 30 เซนติเมตร เหง้าแก่ถ้าทิ้งไว้ในดินจะผ่อ เมื่อได้ฝนจะแตกหน่อใหม่แต่จะไม่เพิ่มจำนวน ถ้าต้องการขยายจำนวนควรขุดขึ้นมาให้เป็นท่อนพันธุ์สำหรับปลูกใหม่ (สำนักงานข้อมูลสมุนไพร, 2549) ขมิ้นที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ ได้แก่ ขมิ้นอ้อย ขมิ้นโคก ขมิ้นขม และขมิ้นชัน หรือขมิ้นแกงเป็นชนิดที่ปลูกมากที่สุด เนื่องจากนำไปใช้ประโยชน์ได้แพร่หลาย ในแคว้นอัสสัม

ประเทศอินเดียมีปลูกอยู่ 4 พันธุ์ คือ พันธุ์เดชิ (dechi) พันธุ์ปัตตานี (patani) พันธุ์ไชน่านาดาน (chainanadan) และพันธุ์เปอร์ม นาดาน (Perum nadan) หากจะจำแนกพันธุ์ตามลักษณะของเหง้าจะจำแนกได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เหง้ามีรูปร่างกลมรีรูปไข่ แง่หลักเนื้อนุ่ม และกลุ่มที่เหง้าเป็นแงวยาวรูปทรงกระบอก เมื่อปลูกจะแตกแขนงที่ 2 ที่ 3 ออกไปตามลำดับ (บัญญัติ, 2543)

สารสำคัญในขมิ้นชัน

สารออกฤทธิ์สำคัญที่พบในขมิ้นชันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มสารประกอบเทอร์ปีน (terpene compound)

เป็นกลุ่มสารประกอบที่เป็นน้ำมันหอมระเหย ทำให้เกิดกลิ่นและรส สามารถสกัดได้จากส่วนต่างๆ ของพืชด้วยวิธีการกลั่นไอน้ำ (steam distillation) หรือสกัดด้วยอีเทอร์ (ether extraction) มีสีเหลืองและเรืองแสงได้เล็กน้อย ในขมิ้นชันพบอนุพันธ์ของเทอร์ปีนเป็นจำนวนมาก ได้แก่ โมโนเทอร์ปีน (monoterpenes) เซสควิเทอร์ปีน (sesquiterpenes) โดยสารประกอบที่พบมากที่สุดคือ เทอร์โมโรน (termerone, $C_{15}H_{22}O$) รองลงมาคือ ซิงจิเบอรีน (zingiberene) นอกจากนี้ยังพบสารอื่นๆ อีกหลายชนิด ได้แก่ ซาบินีน (sabinene) บอเนอล (borneol) ซีนีอล (cineol) เทอร์มีรอล (termerol) เคอร์คิวโมน (curcumone) ฟิแลนเดริน (phellandrene) และอาร์เทอร์เมโรน (ar-turmerone) อนุพันธ์ที่หลากหลายเหล่านี้ประกอบเข้าด้วยกันกลายเป็นกลิ่นเฉพาะตัวของน้ำมัน โดยส่วนมากจะมีกลิ่นหอม เรียกว่าน้ำมันหอม (essential oils) บางตำราเรียกว่า น้ำมันหอมระเหย (volatile oils หรือ ethereal oils) สถาบันวิจัยสมุนไพร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2550) รายงานว่าขมิ้นชันมีน้ำมันหอมระเหยไม่ต่ำกว่า 6 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ซึ่งโดยทั่วไปแล้วขมิ้นชันที่ผ่านการเตรียมด้วยการต้มจะมีน้ำมันหอมระเหยอยู่ประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ หากเตรียมโดยไม่ผ่านการต้มพบว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยไม่น้อยกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันหอมระเหยเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นสารที่ให้กลิ่นหอม จึงมักถูกนำไปใช้แต่งกลิ่นในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและอุตสาหกรรมยา นอกจากนี้เทอร์ปีนยังเป็นสารที่มีฤทธิ์ป้องกันและกำจัดศัตรูพืชได้อีกด้วย (กองวิจัยและพัฒนาสมุนไพร, 2533)

ตารางที่ 1 ปริมาณสารสำคัญที่พบในเหง้าขมิ้นชัน

สารสำคัญ	ปริมาณ (%)
เคอร์คูมินอยด์	
Curcumin	49-61
Desmethoxy curcumin	20-29
Bis-desmethoxy curcumin	15-26
Essential oil (terpenoid compound)	
Turmerone	58
Zingiberene	25
Phellandrene	1
Cineol	1
Sabinene	1
Borneol	0.6

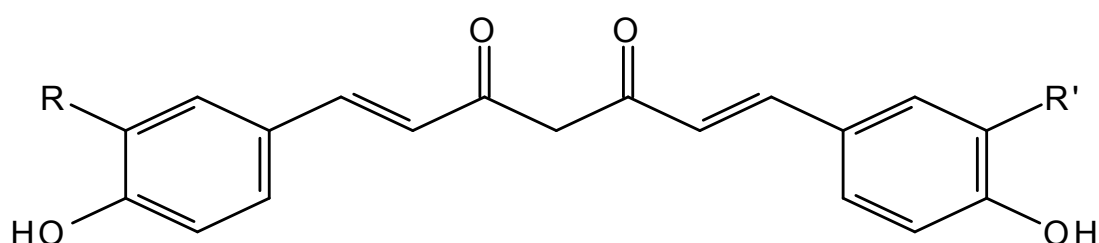
ที่มา: Govindarajan (1980)

2. สารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ (curcuminoids)

สารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์เป็นสารจำพวก diferuloylmethane แสดงลักษณะโครงสร้างดังภาพที่ 1 มีลักษณะเป็นสารสีเหลืองส้มหรือสีแดง มีกลิ่น และไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์และกรดอะซิติก เมื่อเติมด่างสีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง มีอยู่ประมาณ 2.5-6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสถาบันวิจัยสมุนไพร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ (2550) รายงานว่า ขมิ้นชันมีสารประกอบเคอร์คูมินอยด์ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งสารประกอบเคอร์คูมินอยด์แบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

2.1 Curcumin มีชื่อเรียกตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีว่า 1, 7-bis (4-hydroxyl-3-methoxyphenyl) 1, 6 heptadiene 3, 5 dione มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{21}H_{20}O_6$ curcumin เป็นสารประกอบหลักของเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชัน ลักษณะเป็นผลึกขนาดเล็ก มีสีเหลืองอมส้ม ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในอะซิโตน แอลกอฮอล์ โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) กรดน้ำส้ม

เข้มข้น และเบนซิน เมื่อละลายในด่างจะมีสีน้ำตาลแดง และมีสีเหลืองเมื่อละลายในกรด มีจุดหลอมเหลวประมาณ 183 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxdation) ทำลายอนุมูลอิสระ และต้านการอักเสบ สามารถยับยั้งการเกิดมะเร็งในระบบทางเดินอาหารและผิวหนังได้ หากเตรียมโดยไม่ผ่านความร้อน (การต้ม) จะมีปริมาณ curcumin ประมาณ 43.22 เปอร์เซ็นต์ของเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมด และหากเตรียมโดยผ่านความร้อน (การต้ม) จะมีปริมาณ curcumin ประมาณ 40.35 เปอร์เซ็นต์ของเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมด (Bisset and Nwaiwu, 1983)



curcumin	R = OCH ₃	R' = OCH ₃
desmethoxycurcumin	R = OCH ₃	R' = H
bisdsmethoxycurcumin	R = H	R' = H

ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารในกลุ่มเคอร์คูมินอยด์

ที่มา: Govindarajan (1980)

2.2. Monodesmethoxycurcumin หรือ desmethoxy curcumin มีจุดหลอมเหลว 172-174.5 องศาเซลเซียส ลักษณะเป็นผลึกสีเหลืองแดง และมีการละลายเช่นเดียวกับ curcumin (Tang and Eisenbrand, 1992)

2.3. Didesmethoxycurcumin หรือ bis-desmethoxy curcumin มีจุดหลอมเหลว 224 องศาเซลเซียส ละลายได้ดีในคลอโรฟอร์มและแอลกอฮอล์ (Tang and Eisenbrand, 1992)

มีรายงานว่าปริมาณของเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันจะมีมากในช่วงเดือนที่ 5-8 ของระยะการเจริญ ส่วนน้ำมันหอมระเหยในขมิ้นชันจะมีปริมาณมากในเดือนที่ 5 และค่อยๆ ลดลงและจะลดลงมากที่สุดในเดือนที่ 8 นอกจากนี้ในการปลูกขมิ้นชัน หากมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส หรือ

โปแตสเซียม หรือทั้งสามชนิด จะทำให้ผลผลิตขมิ้นชันเพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณเคอร์คูมินอยด์จะลดลง (วิทย์, 2531)

การดูดซึมและเมแทบอลิซึมของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์

เคอร์คูมินอยด์เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายในน้ำ การรับประทานเข้าไปอาจไม่ได้ผลเนื่องจากการดูดซึมในลำไส้เล็กน้อย และในขณะที่ถูกดูดซึมในระบบลำไส้ curcumin จะเปลี่ยนแปลงเป็นรูปอื่นๆ เนื่องจากรายงานการให้ curcumin ที่ใส่กัมตภาพรังสีพบว่ามีส่วนของกัมตภาพรังสีเข้าสู่อวัยวะต่างๆ แต่ไม่พบ curcumin ในรูปเดี่ยว (ประคองศิริ, 2546) ในหนูขาว curcumin จะถูกขับถ่ายในส่วนของลำไส้ 75 เปอร์เซ็นต์ และในน้ำดี 11 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ในปัสสาวะพบเพียงปริมาณเล็กน้อย Pan *et al.* (1999) รายงานว่าหลังจากมีการให้ curcumin 0.1 กรัมต่อกิโลกรัมแก่หนูทดลองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบปริมาณของ curcumin ในลำไส้เล็ก ม้าม ตับ และไตเท่ากับ 177, 26, 27 และ 7.5 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และพบได้น้อยมากในสมอง อย่างไรก็ตาม curcumin ที่ถูกดูดซึมจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารเมแทบอลิท์ในพลาสมา เช่น dihydrocurcumin, tetrahydrocurcumin และ hexahydrocurcumin จากนั้นจะรวมเป็นกับ glucoronide โดยการไฮโดรไลซิส ซึ่งอาศัยเอนไซม์ β -glucosidase ได้ curcumin-glucoronide, dihydrocurcumin-glucoronide, tetrahydrocurcumin-glucoronide และ hexahydrocurcumin-glucoronide และเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือด

การศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา

1. กลไกการต้านออกซิเดชันของเคอร์คูมินอยด์

โครงสร้างของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ที่มีความสัมพันธ์กับฤทธิ์การเป็นสารต้านออกซิเดชันคือ phenolic OH group และ methylene CH_2 group ที่ติดอยู่กับ beta-diketone moiety มีบทบาทสำคัญในการกำจัด (scavenging activity) อนุมูลอิสระ โดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมหรือให้อิเลคตรอน (Wright, 2002) แก่อนุมูลอิสระ อย่างไรก็ตามกลไกการต้านออกซิเดชันในระบบชีววิทยาของสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ยังไม่เป็นที่เข้าใจกันดี แต่ก็มีรายงานการทดลองที่ทดสอบคุณสมบัติของสารในกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ในการต้านการเกิด lipid peroxidation ดังเช่น Shalini and

Srinivas (1987) ที่ได้ศึกษาการใช้ขมิ้นชันป้องกันการเสียหายของ DNA จาก liposome lipid peroxidation และ lipid peroxide โดยได้ศึกษาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation โดยใช้ uric acid, beta-carotene, alpha-tocopherol, cucumin และ butylated hydroxyanisole (BHA) ในปริมาณ 400 ไมโครโมลาร์เท่ากัน พบว่า curcumin ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์หลักของขมิ้นชันมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชันได้เท่ากับ BHA และพบว่าสารสกัดของขมิ้นชันในน้ำก็มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิด lipid peroxidation โดยการสังเกตจากการนำสารสกัดของขมิ้นชันในน้ำไปใส่ในไลโปโซม โดยใช้ปริมาณ 300 นาโนกรัมต่อไมโครลิตร สามารถยับยั้งการเกิด lipid peroxidation ได้ถึง 70% แสดงให้เห็นว่านอกจาก curcumin ซึ่งเป็นสารที่ชอยอยู่ในส่วนของไขมันมีฤทธิ์ในการต้านการออกซิเดชันแล้ว ยังมีสารอื่นที่เป็นส่วนประกอบในสารสกัดของขมิ้นชันในส่วนที่เป็นน้ำซึ่งมีฤทธิ์ต้านการเกิดออกซิเดชัน สารนี้สามารถป้องกันความเสียหายของ DNA ได้ถึง 80%

Reddy and Lokesh (1992) ได้ศึกษาการใช้ขมิ้นชันเป็นสารต้าน lipid peroxidation ในตับของหนู ในการศึกษาเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าวโดยใช้ ascorbate หรือธาตุเหล็ก (Fe^{2+}) และใช้ curcumin และขมิ้นชันในปริมาณ 5 ถึง 50 ไมโครโมลาร์ พบว่า curcumin มีฤทธิ์ในการยับยั้งปฏิกิริยา lipid peroxidation แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของ curcumin ที่ใช้ (dose-dependent manner) และต่อมา Reddy and Lokesh (1994) พบว่าการเสริมขมิ้นชันปริมาณ 1% ในอาหารเป็นเวลา 10 สัปดาห์ ในหนูที่ถูกฉีดธาตุเหล็กเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิด lipid peroxidation ในตับและในไมโครโซม (microsome) มีค่าการเกิด lipid peroxidation ลดลง และมีค่าเอนไซม์ด้านการออกซิเดชันในตับ ได้แก่ superoxide dismutase, catalase และ glutathione peroxidase สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับหนูทดลองกลุ่มควบคุม

Masuda *et al.* (2000) ได้ทำการศึกษากลไกการต้านออกซิเดชันของเคอร์คูมินอยด์ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพบว่า เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา curcumin ในรูปของอนุมูลอิสระจะจับกับอนุมูลอิสระ lipid peroxide คล้ายกับกระบวนการสิ้นสุดปฏิกิริยาการต้านออกซิเดชันของวิตามินอีที่จะมีการจับตัวกันของ phenolic group ในวิตามินอีกับอนุมูลอิสระ lipid peroxide

2.ฤทธิ์ต่อภูมิคุ้มกัน

บทบาทของขมิ้นชันในการเพิ่มการทำงานของภูมิคุ้มกันนั้น Liu (1996) รายงานว่าการฉีด curcumin ซึ่งเป็นสารสำคัญของขมิ้นชันในขนาด 5.5 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม เข้าช่องท้อง ติดต่อกันเป็นเวลา 7 วันให้หนูที่อยู่ในภาวะถูกกดภูมิคุ้มกัน สามารถทำให้ macrophage rate และ lymphoblastoid transformation เพิ่มขึ้น Churchill *et al.* (2000) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงจำนวน เซลล์ภูมิคุ้มกันในลำไส้ (intestinal immune cell profile) ของหนูที่มีพันธุกรรมเป็นเนื้องอกที่ลำไส้เองได้ โดยเลี้ยงหนูด้วยอาหารผสม curcumin 0.1% ให้กินติดต่อกันเป็นเวลา 75 วันพบว่า curcumin สามารถเพิ่มจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวที่เป็นสื่อกลางการทำงานของภูมิคุ้มกัน (lymphocyte-mediated immune function) ชนิด CD4 T-cell และ B lymphocytes ในลำไส้ได้ จึงส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเกิดเนื้องอกในลำไส้

3. ฤทธิ์ในการลดคอเลสเตอรอล

จากการศึกษาผลของการให้เคอร์คูมินอยด์ต่อระดับคอเลสเตอรอลในหนูเพศผู้ สายพันธุ์ Sprague-Dawley พบว่าระดับของคอเลสเตอรอลที่ตับของหนูมีปริมาณลดลงเป็น 1/2 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มหนูที่ไม่ได้รับเคอร์คูมินอยด์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเคอร์คูมินอยด์ที่ถูกดูดซึมผ่านระบบไหลเวียนเลือดจับกับ glucuronic acid และ sulfuric acid กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่สามารถจับกับ ligand ของ peroxisome proliferator-activated receptor (PPAR) ซึ่งเป็น receptor ที่เกี่ยวข้องกับการส่งสัญญาณในการสังเคราะห์ไขมันที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมต่างๆ ของไขมันในตับ ผลก็คือ พบปฏิกิริยาการย่อยสลายไขมัน (fatty acid catabolism) มากขึ้น และมากกว่าปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไขมัน (de novo synthesis of fatty acid) (Asai and Miyazawa, 2000) ทำให้ปริมาณไขมันและคอเลสเตอรอลในตับลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าเคอร์คูมินอยด์มีฤทธิ์กระตุ้นการขับน้ำดี bilirubin และคอเลสเตอรอลทางมูลอีกด้วย (Rao *et al.*, 1970)

การศึกษาผลของการเลี้ยงไก่ภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาข้อมูลการเลี้ยงไก่ภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกันพบว่า การเพิ่มความหนาแน่นในการเลี้ยงไก่เป็นปัจจัยหนึ่งที่เหนี่ยวนำให้เกิดสภาวะความเครียด (Sohail *et al.*, 2004) ซึ่งเมื่อสัตว์อยู่ในสภาวะเครียดร่างกายจะมีการหลั่ง catecholamine (norepinephrine และ epinephrine) เพื่อกระตุ้นการสลาย glycogen ในตับให้เป็น glucose นอกจากนี้ยังเพิ่มการสร้างและหลั่งฮอร์โมน corticosteroid (Frankel, 1970) ซึ่งเป็น glucocorticoid ที่ส่งผลกระทบต่อร่างกายเพิ่มระดับ glucose ในพลาสมา โดยเพิ่มการสลาย glycogen และทำให้เกิดกระบวนการ gluconeogenesis ในเซลล์ เพื่อให้ได้ glucose ที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับดำเนินปฏิกิริยาต่างๆ ในการกำจัดอนุมูลอิสระซึ่งเป็นผลมาจากความเครียด เพื่อปรับสมดุลให้กับร่างกาย (homeostasis) (Puvadolpirod and Thaxton, 2000) แหล่งสร้างพลังงานของเซลล์อยู่ที่ไมโทคอนเดรีย และผลผลิตที่ได้จากการสร้างพลังงานในไมโทคอนเดรีย คือ ATP (adenosine triphosphate) และอนุมูลอิสระออกซิเจน (reactive oxygen species) ซึ่งเกิดจากกระบวนการ electron transport chain โดยมีรายงานว่า 2-5% ของออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการ electron transport chain จะถูกเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งส่งผลกระทบต่อเพิ่มปฏิกิริยาออกซิเดชันบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ (Hidalgo *et al.*, 1991) อนุมูลอิสระที่เพิ่มมากขึ้นสามารถทำให้เกิด oxidative stress สร้างความเสียหายให้กับเซลล์เป็นจำนวนมากทั้งด้านโครงสร้างและการทำงาน ส่งผลกระทบต่อกลายพันธุ์ของเซลล์ นอกจากนี้ฮอร์โมน corticosteroid มีผลยับยั้งการตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน โดยขัดขวางการสร้าง prostaglandin ทำให้ไม่เกิดขบวนการอักเสบ ซึ่งเท่ากับลดการตอบสนองของเซลล์เม็ดเลือดขาวต่อเชื้อโรค (Tizard, 1977) ทำให้สัดส่วนของเม็ดเลือดขาวชนิด heterophile ต่อ lymphocyte มีค่าสูงขึ้น (Gross and Sigel, 1983) เกิดการฟุ้งตัวของต่อมไทมัส ต่อมเบียร์ชัว และม้าม (Leeson and Summer, 2001) ซึ่งมีผลต่อสุขภาพสัตว์ทำให้สัตว์เจริญเติบโตช้าลง (Cravener *et al.*, 1992) ทั้งนี้สามารถสรุปผลของการเลี้ยงไก่ภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกันได้ดังนี้

1. สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

จากการศึกษาของ Sohail *et al.* (2004) พบว่า การเลี้ยงไก่ภายใต้ความหนาแน่นในโรงสูงส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ โดยพบว่าการเลี้ยงไก่ในพื้นที่เฉลี่ยประมาณ 310 ตารางเซนติเมตรต่อตัว มีปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่

1 โหล อัตราการให้ผลผลิตไข่ มวลไข่เฉลี่ย และน้ำหนักไข่เฉลี่ย ต่ำกว่าไข่ที่เลี้ยงในพื้นที่เฉลี่ย ประมาณ 413 ตารางเซนติเมตรต่อตัว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

2. การเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย

การเพิ่มความหนาแน่นในการเลี้ยงไก่ไข่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระในร่างกายได้ โดยพบว่าสัดส่วนของ heterophil ต่อ lymphocyte ในซีรัมของไก่ไข่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความหนาแน่นในการเลี้ยงไก่ไข่จาก 1 ตัวต่อกรงเป็น 12 ตัวต่อกรง (Hester *et al.*, 1996) สำหรับในไก่เนื้อพบว่า การเลี้ยงไก่ภายใต้ความหนาแน่นสูง ส่งผลต่อสภาวะความเครียดในไก่เนื้อ โดยพบว่าไก่เนื้อที่เลี้ยงจำนวน 17.5 ตัวต่อตารางเมตร มีสัดส่วนของ heterophil ต่อ lymphocyte และระดับกลูโคสในซีรัมสูงกว่าไก่เนื้อที่เลี้ยงจำนวน 11.9 ตัวต่อตารางเมตร (Onbasilar *et al.*, 2008)

3. ระดับไขมันและคอเลสเตอรอลในร่างกาย

จากการศึกษาข้อมูลการเลี้ยงไก่ภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกันของ Simsek *et al.* (2009) พบว่าไก่เนื้อที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นมาก (22.5 ตัวต่อตารางเมตร) มีระดับคอเลสเตอรอลรวมในซีรัม (serum total cholesterol) มากกว่าไก่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นน้อย (7.5 ตัวต่อตารางเมตร) ทั้งนี้เนื่องจากการเลี้ยงไก่ภายใต้ความหนาแน่นมากเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดสภาวะความเครียด ร่างกายไก่จึงตอบสนองด้วยการหลั่งฮอร์โมน corticosteroid กระตุ้นการสร้างกลูโคสและกรดไขมันเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในการต่อต้านความเครียด เมื่อการขนส่งกรดไขมันภายในร่างกายที่มากขึ้น ปริมาณของไลโปโปรตีน โดยเฉพาะไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density lipoprotein) ก็มีมากขึ้น ส่งผลให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดมีปริมาณสูงขึ้น เช่นเดียวกับ Craig *et al.* (1986) ที่รายงานว่า การเพิ่มความหนาแน่นในการเลี้ยงไก่ไข่จาก 1 ตัวต่อกรง (พื้นที่เฉลี่ย 929 ตารางเซนติเมตรต่อตัว) เป็น 4 ตัวต่อกรง (พื้นที่เฉลี่ย 464 ตารางเซนติเมตรต่อตัว) ทำให้ระดับ corticosteroid ในซีรัมมีปริมาณสูงขึ้น และส่งผลต่อระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมที่สูงขึ้นด้วย

การศึกษาการใช้มันชั้นในไก่

การศึกษาการใช้สมุนไพรชั้นในไก่ สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1. สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

จากการศึกษาข้อมูลการใช้สมุนไพรชั้นในสัตว์ปีกพบว่า การเสริมมันชั้นบดผสมที่ระดับ 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารไก่ไข่ ส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิต โดยพบว่า ไก่ไข่ที่ได้รับอาหารเสริมมันชั้นบดมีปริมาณอาหารที่กินต่อน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม อัตราการให้ผลผลิตไข่ และมวลไข่เฉลี่ย สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมมันชั้นบดในอาหารไก่ไข่ส่งผลต่อคุณภาพไข่อีกด้วย ซึ่งได้แก่ น้ำหนักไข่เฉลี่ย ความเข้มสีไข่แดง เปอร์เซ็นต์ไข่ขาวและไข่แดง (Radwan Nadia *et al.*, 2008)

2. การเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย

จากการศึกษาผลของการเสริมมันชั้นในไก่เนื้อพบว่า สารเคอร์คูมินอยด์ที่อยู่ในผงมันชั้นมีฤทธิ์ในการต่อต้านอนุมูลอิสระ โดยสามารถลดการเกิดออกซิเดชันของไขมันไม่อิ่มตัวบริเวณผนังเซลล์ได้ ทั้งนี้พบว่าสัดส่วนของ heterophil ต่อ lymphocyte ในซีรัมของไก่เนื้อที่เสริมผงมันชั้นในอาหาร (มีปริมาณของเคอร์คูมินอยด์ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร) มีค่าต่ำกว่าไก่เนื้อกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมผงมันชั้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนค่าปริมาณ malondialdehyde พบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ชัยวัฒน์ และคณะ, 2547)

3. ระดับไขมันและคอเลสเตอรอลในร่างกาย

จากการศึกษาของ Kermanshahi and Riasi (2006) พบว่าการเสริมผงมันชั้นในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ส่งผลให้ HDL-cholesterol ในซีรัมสูงขึ้น LDL-cholesterol และไตรกลีเซอไรด์ในซีรัมต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากสารเคอร์คูมินอยด์ที่อยู่ในผงมันชั้น มีฤทธิ์ในการต่อต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งการลดลงของอนุมูลอิสระในร่างกาย ทำให้ไม่เกิดสภาวะ oxidative stress ส่งผลให้เมแทบอลิซึมของการสร้างกลูโคสและกรดไขมันเพื่อใช้เป็นพลังงานในการต่อต้านความเครียดลดลง ปริมาณไตรกลีเซอไรด์

และคอเลสเตอรอลจึงลดลงด้วย แต่ขัดแย้งกับ Radwan Nadia *et al.* (2008) ที่รายงานว่า การเสริมไขมันชนิดผสมในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ของสูตรอาหาร ไม่ส่งผลกระทบต่อระดับ LDL-cholesterol, HDL-cholesterol และคอเลสเตอรอลรวมในซีรัมและในไข่แดง ซึ่งสังเกตได้ว่าปริมาณการใช้ไขมันของ Radwan Nadia *et al.* (2008) สูงกว่าในการทดลองของ Kermanshahi and Riasi (2006) แต่ไม่ทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมมีการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะรูปแบบของไขมันชนิดที่ใช้ในแต่ละการทดลองแตกต่างกัน อีกทั้งไขมันชนิดที่ใช้ อาจมีปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ไม่เท่ากัน ทำให้ผลการทดลองที่ได้มีความแตกต่างกัน

4. ระดับภูมิคุ้มกัน

จากการศึกษาของ กิตติมาและคณะ (2548) พบว่าไก่เนื้อที่ได้รับสารสกัดจากไขมันชั้นมีการตอบสนองต่อวัคซีนนิวคาสเซิลที่เร็วกว่าและให้ระดับภูมิคุ้มกันที่สูงกว่า โดยพบว่าไก่เนื้อที่ได้รับสารสกัดจากไขมันที่ระดับ 0.05 เปอร์เซ็นต์ มีแอนติบอดีสูงกว่ากลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังมีสัดส่วนของ heterophil ต่อ lymphocyte ในซีรัมต่ำกว่าอีกด้วย สอดคล้องกับ วันดี (2551) ที่รายงานว่า การเสริมสารสกัดหยาบจากไขมันชั้นที่มีเคอร์คูมินอยด์ระดับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ทำให้ไก่เนื้อมีการตอบสนองต่อวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิลดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากไขมันชั้นมีสารออกฤทธิ์สำคัญคือ เคอร์คูมินอยด์ ซึ่งมีฤทธิ์ในการต่อต้านอนุมูลอิสระ และช่วยเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ superoxide dismutase, catalase และ glutathione peroxidase ลดการเกิด lipid peroxidation ทำให้ลดการเสื่อมถอยของระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

สัตว์ทดลอง

ใช้ไก่ไข่พันธุ์ Hisex brown อายุ 18 สัปดาห์ โดยมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยประมาณ 1.56 กิโลกรัม จำนวน 300 ตัว เลี้ยงในกรงตับ โดยแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มทดลองรวม (treatment combination) กลุ่มละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 4 กรง โดยกลุ่มทดลองที่ 1-3 เลี้ยงไก่ทดลองจำนวน 2 ตัวต่อกรง และกลุ่มทดลองที่ 4-6 เลี้ยงไก่ทดลองจำนวน 3 ตัวต่อกรง

โรงเรือนทดลองและอุปกรณ์

1. โรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่ระบบปิด ควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนด้วยระบบระเหยไอน้ำ (evaporative cooling system) ใช้พัดลมระบายอากาศติดอยู่ท้ายโรงเรือน ซึ่งมี thermostat ควบคุมการปิด-เปิดพัดลมและปั้มน้ำ โดยตั้งอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนประมาณ 28.00 ± 1.95 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 82 ± 1 เปอร์เซ็นต์

2. กรงตับพื้นลวดขนาด $30 \times 40 \times 37$ เซนติเมตร จำนวน 120 ช่อง มีรางอาหารติดด้านหน้ากรงตับ ขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร และลึก 10 เซนติเมตร ถึงบรรจุอาหารจำนวน 30 ถัง และระบบการให้น้ำอัตโนมัติแบบหัวหยด (nipple)

3. อุปกรณ์ในการผสมอาหาร ได้แก่

3.1 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล 2 ตำแหน่ง ขนาดชั่งได้สูงสุด 1,000 กรัม สำหรับชั่งผลิตภัณฑ์สารสกัดหยาบจากขมิ้นชัน

3.2 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบจาน ขนาดชั่งได้สูงสุด 30 กิโลกรัม สำหรับชั่งวัตถุดิบอาหารทดลอง และน้ำหนักไก่

3.3 เครื่องผสมอาหารแบบนอน ความจุขนาด 100 และ 200 กิโลกรัม

4. อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพไข่ ได้แก่

- 4.1 เครื่องวัดความสูงไข่ขาว
- 4.2 ไมโครมิเตอร์สำหรับวัดความหนาเปลือกไข่
- 4.3 ไฮโดรมิเตอร์สำหรับเตรียมน้ำเกลือ เพื่อหาความถ่วงจำเพาะของฟองไข่
- 4.4 ถังน้ำสำหรับใส่น้ำเกลือ
- 4.5 เครื่องชั่งน้ำหนักไข่เทศนิยม 2 ตำแหน่ง ขนาดชั่งได้สูงสุด 150 กรัม
- 4.6 พัดสีไข่แดง (Roche Color Fan) ซึ่งมีค่าระหว่าง 1-15 โดยค่า 1 สีอ่อนที่สุด

และค่า 15 มีสีเข้มที่สุด

5. อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างเลือด

- 5.1 เข็มฉีดยาเบอร์ 22
- 5.2 กระบอกฉีดยาขนาด 5 มิลลิลิตร
- 5.3 สำลี
- 5.4 แอลกอฮอล์
- 5.5 micro centrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร
- 5.6 micropipett digital single channel 40-200 ไมโครลิตร
- 5.7 เครื่อง centrifuge

อาหารทดลอง

ไก่ไข่แต่ละกลุ่มทดลองได้รับอาหารที่มีส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารสัตว์และองค์ประกอบทางเคมีจากการคำนวณ แสดงดังตารางที่ 2 และพรีมิกซ์ประกอบด้วยวิตามินและแร่ธาตุแสดงดังตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ โดยอาหารทดลองมีระดับโปรตีน พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ และโภชนาอื่น ๆ ตามความต้องการของไก่ระยะไข่ ไก่ไข่แต่ละซ้าได้รับอาหารที่เสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่มีปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญคือ เคอร์คูมินอยด์ แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 0, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร สุ่มให้อาหารทดลองกับไก่ไข่ที่เลี้ยงในทรงตัว โดยมีความหนาแน่นในการเลี้ยงไก่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ เลี้ยงไก่ 2 ตัวต่อกรง (คิดเป็นพื้นที่ในการเลี้ยงไก่ 600 ตารางเซนติเมตรต่อตัว) และเลี้ยงไก่ 3 ตัวต่อกรง (คิดเป็นพื้นที่ในการเลี้ยงไก่ 400 ตารางเซนติเมตรต่อตัว) ทำให้ได้กลุ่มทดลองร่วม (treatment combination) 6 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 เลี้ยงไก่ไข่ 2 ตัวต่อกรง และได้รับอาหารที่ไม่เสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชัน

กลุ่มที่ 2 เลี้ยงไก่ไข่ 2 ตัวต่อกรง และได้รับอาหารเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่มีปริมาณเคอร์คูมินอยด์ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร

กลุ่มที่ 3 เลี้ยงไก่ไข่ 2 ตัวต่อกรง และได้รับอาหารเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่มีปริมาณเคอร์คูมินอยด์ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร

กลุ่มที่ 4 เลี้ยงไก่ไข่ 3 ตัวต่อกรงและได้รับอาหารที่ไม่เสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชัน

กลุ่มที่ 5 เลี้ยงไก่ไข่ 3 ตัวต่อกรง และได้รับอาหารเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่มีปริมาณเคอร์คูมินอยด์ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร

กลุ่มที่ 6 เลี้ยงไก่ไข่ 3 ตัวต่อกรง และได้รับอาหารเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่มีปริมาณเคอร์คูมินอยด์ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร

สารสกัดหยาบจากขมิ้นชันมีลักษณะเป็นผง เตรียมจากการนำสารสกัดหยาบ turmeric oleoresin ซึ่งมีลักษณะขุ่นเหนียว มีปริมาณเคอร์คูมินอยด์อยู่ระหว่าง 79-85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นำไปผสมกับแป้ง ได้สารสกัดหยาบที่มีลักษณะเป็นผง แล้วนำไปผสมกับ binder จากนั้นนำสารผสมที่มีลักษณะขุ่นเหนียวไปผ่านตะแกรงร่อน อบให้แห้ง เพื่อให้ได้สารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในรูปผงที่พร้อมจะนำไปใช้ผสมในอาหารสัตว์ ซึ่งขั้นตอนการเตรียมสารสกัดหยาบในรูปผงนี้ ทำโดยนักวิจัยของภาควิชาเทคโนโลยีเกษตรกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก สารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในรูปผงที่ใช้ผสมอาหารมีความเข้มข้นของเคอร์คูมินอยด์อยู่ระหว่าง 2.43-2.97 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การผสมอาหารแต่ละครั้งต้องคำนวณปริมาณการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันเพื่อให้ได้ปริมาณของเคอร์คูมินอยด์ตามที่กำหนดไว้ในแต่ละกลุ่มทดลอง

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของสูตรอาหารควบคุมจากการคำนวณ

วัตถุดิบอาหารสัตว์	ปริมาณ (กิโลกรัม)
ข้าวโพด	52.00
รำสกัดน้ำมัน	4.67
น้ำมันถั่วเหลือง	2.77
กากถั่วเหลือง (44%CP)	30.22
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.08
โคลีนคลอไรด์	0.02
โมโนแคลเซียมฟอสเฟต (21%P)	1.62
เปลือกหอย	7.97
เกลือ	0.40
พรีมิกซ์	0.25
รวม	100.00
<u>ส่วนประกอบของโภชนาการโดยการคำนวณ (%)</u>	
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (kcal/kg)	2,700.00
โปรตีน	17.00
ไขมัน	4.27
เยื่อใย	3.72
ถั่ว	2.72
แคลเซียม	4.00
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.71
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.40
เกลือ	0.45
ไลซีน	0.91
เมทไธโอนีน	0.33
เมทไธโอนีน+ซิสตีน	0.60
โซเดียม	0.16

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบวิตามินใน 1 กิโลกรัมของพรีมิกซ์

วิตามิน	ปริมาณ
วิตามินเอ	4.00 IU (ล้านหน่วย)
วิตามินดี 3	1.20 IU (ล้านหน่วย)
วิตามินอี	4,000 มิลลิกรัม
วิตามินเค 3	600 มิลลิกรัม
วิตามินบี 1	800 มิลลิกรัม
วิตามินบี 2	2,000 มิลลิกรัม
วิตามินบี 6	1,200 มิลลิกรัม
วิตามินบี 12	2.5 มิลลิกรัม
กรดนิโคตินิก	5,000 มิลลิกรัม
กรดแพนโททินิก	3,000 มิลลิกรัม
กรดฟอลิก	200 มิลลิกรัม
ไบโอติน	4 มิลลิกรัม
โคลีนคลอไรด์	100,000 มิลลิกรัม

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบแร่ธาตุใน 1 กิโลกรัมของพรีมิกซ์

แร่ธาตุ	ปริมาณ (กรัม)
แมงกานีส	24.00
สังกะสี	20.00
เหล็ก	16.00
ทองแดง	4.00
ไอโอดีน	0.80
โคบอลต์	0.08
ซีลีเนียม	0.04

วิธีการ

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 3 x 2 factorial in complete randomized design โดยศึกษาปัจจัยทดลอง 2 ปัจจัย ได้แก่ การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่มีปริมาณเคอร์คูมินอยด์แตกต่างกัน 3 ระดับ และความหนาแน่นในการเลี้ยงไก่ไข่ในกรงคับที่แตกต่างกัน 2 ระดับ แบ่งการบันทึกข้อมูลออกเป็น 5 ช่วง ช่วงละ 28 วัน ได้แก่ ช่วงที่ 1 ไก่ไข่อายุ 18-22 สัปดาห์ ช่วงที่ 2 ไก่ไข่อายุ 22-26 สัปดาห์ ช่วงที่ 3 ไก่ไข่อายุ 26-30 สัปดาห์ ช่วงที่ 4 ไก่ไข่อายุ 30-34 สัปดาห์ และช่วง ที่ 5 ไก่ไข่อายุ 34-38 สัปดาห์

การจัดการเลี้ยงดู

ไก่ไข่ทุกกลุ่มได้รับอาหารควบคุมก่อนทำการทดลอง 1 สัปดาห์ จากนั้นให้อาหารทดลองที่เสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันแตกต่างระดับกัน โดยให้กินอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) ให้อาหารวันละ 2 ครั้งคือ เช้า เวลา 7.00 น. และเย็น เวลา 15.00 น. มีน้ำสะอาดผ่านระบบน้ำหยดให้ไก่ตลอดเวลา และได้รับแสงตามโปรแกรมการให้แสงวันละ 16 ชั่วโมง มีการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากจอแสดงผลแบบดิจิทัลของเครื่อง thermostat ภายในโรงเรือนตลอดช่วงของการทดลอง

การบันทึกผลการทดลอง

1. บันทึกน้ำหนักตัว โดยชั่งน้ำหนักไก่แต่ละตัวเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง แล้วนำมาคำนวณเป็นน้ำหนักตัวไก่ที่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง
2. บันทึกปริมาณอาหารที่กินทุกช่วงการทดลอง เพื่อคำนวณปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน ปริมาณอาหารที่กินต่อน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม และปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 โหล

3. บันทึกสถิติการให้ผลผลิตไข่ โดยบันทึกจำนวนไข่ในแต่ละเช้าทุกวัน แล้วนำมาคำนวณเป็นอัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต และอัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เริ่มต้นการทดลอง

4. บันทึกน้ำหนักฟองไข่ โดยเก็บไข่จาก 3 วันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลอง นำมาชั่งรวมทีละเช้า แล้วนำมาคำนวณเป็นน้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟอง

5. บันทึกจำนวนไก่ตายทุกวัน แล้วนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การเลี้ยงรอด

นำค่าต่าง ๆ ที่บันทึกมาคำนวณหาสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว = น้ำหนักตัวสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักตัวเริ่มต้นการทดลอง

ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน =
$$\frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กินในช่วงการทดลอง}}{\text{จำนวนวัน (28) } \times \text{จำนวนไก่ที่ซัง}}$$

ปริมาณอาหารที่กินต่อน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม =
$$\frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินในช่วงการทดลอง}}{\text{น้ำหนักไข่ในแต่ละช่วงการทดลอง}}$$

ปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 โหล =
$$\frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินในช่วงการทดลอง} \times 12}{\text{จำนวนไข่ในแต่ละช่วงการทดลอง}}$$

อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต (Hen-day egg production; HD) (%) =
$$\frac{\text{จำนวนไข่ในช่วงการทดลอง} \times 10}{\text{จำนวนวัน (28) } \times \text{จำนวนไก่สิ้นสุดการทดลอง}}$$

อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เริ่มการทดลอง (Hen-housed egg production; HH) (%) =
$$\frac{\text{จำนวนไข่ในช่วงการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนวัน (28) } \times \text{จำนวนไก่เริ่มต้นการทดลอง}}$$

มวลไข่เฉลี่ย =
$$\text{อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต}(\%) \times \text{น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟอง(กรัม)}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเลียงรอด} = \frac{\text{จำนวนไก่สิ้นสุดช่วงการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนไก่เริ่มต้นการทดลอง}}$$

การตรวจวัดคุณภาพและส่วนประกอบของฟองไข่ โดยสุ่มไข่ไก่ในทุกกลุ่มทดลอง ซ้ำละ 3 ฟอง จาก 3 วันสุดท้ายของแต่ละช่วงทดลอง และเก็บไข่แดงไว้เพื่อทำการวิเคราะห์คอเลสเตอรอล การตรวจวัดคุณภาพและส่วนประกอบของฟองไข่มีดังนี้

1. เก็บข้อมูลน้ำหนักฟองไข่ และส่วนประกอบของฟองไข่ นำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ไข่แดง ไข่ขาว และเปลือกไข่
2. วัดคะแนนสีไข่แดงโดยใช้พัดวัดสีไข่แดง (Roche color fan) ที่มีแถบสีตั้งแต่สีเหลืองอ่อนถึงสีส้มแดง เทียบเป็นคะแนนความเข้มสีตั้งแต่ 1-15 เพื่อหาความเข้มของสีไข่แดง
3. วัดความหนาเปลือกไข่ โดยใช้ไมโครมิเตอร์สำหรับวัดความหนาผิวโค้ง โดยหักเปลือกไข่ไม่ติดเยื่อหุ้มไข่ จากแนวกึ่งกลางฟองไข่ขนาด 0.5×0.5 เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น วัดค่าเป็นมิลลิเมตร แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยความหนาเปลือกไข่
4. วัดความถ่วงจำเพาะของไข่ด้วยการนำไข่ไปลอยในน้ำเกลือ ซึ่งมีความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ทดสอบเท่ากับ 1.060, 1.064, 1.068, 1.072, 1.076, 1.080, 1.084, 1.088, 1.092, 1.096, 1.100 และ 1.104 โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer) ปรับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำเกลือให้ได้ตามกำหนด แล้วนำไข่ที่ต้องการทดสอบมาลอยในน้ำเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ จากนั้นค่อยไปหามาก หากไข่ฟองใดมีส่วนของเปลือกลอยเหนือผิวน้ำ โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร แสดงว่าไข่ฟองนั้นมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำเกลือนั้น ๆ (Pesti *et al.*, 2005)
5. วัดความสูงของไข่ขาวชั้น โดยใช้ชุดตรวจสอบคุณภาพไข่ขาวที่ประกอบด้วย quantum chromodynamics (QCD) ชุดแสดงผลระบบดิจิทัล และ albumen height gauge ได้ค่าความสูงไข่ขาวเป็นมิลลิเมตร จากนั้นนำมาคำนวณค่าฮอฟฟิยูนิต (Haugh unit) ด้วยสมการ (Roush, 1981) ดังนี้

$$HU = 100 \times \log (H+7.57-1.7W^{0.37})$$

เมื่อ HU = ค่าฮอฟฟ์ยูนิต
 H = ความสูงของไข่ขาว (มิลลิเมตร)
 W = น้ำหนักฟองไข่ (กรัม)

การเก็บตัวอย่าง

1. การสุ่มเก็บตัวอย่างไข่แดง เก็บไข่แดงจากไข่ที่ใช้วิเคราะห์หาสัดส่วนไข่ขาวไข่แดง และเปลือกไข่ในแต่ละเช้า จาก 3 วันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลอง นำไปไว้ในตู้แช่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง
2. การสุ่มเก็บตัวอย่างเลือดไก่โดยการเจาะเลือดบริเวณปีก (wing vein) ในช่วงเริ่มต้นการทดลองช่วงที่ 1 หลังระยะการทดลองที่ 3 และสิ้นสุดการทดลองในช่วงที่ 5 นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 นาที แยกซีรัมเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อหาการเกิด lipid peroxidation ในรูปของค่า TBARs และปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรัม

การวิเคราะห์ทางเคมี

1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ถั่ว แคโรทีน และฟอสฟอรัส โดยวิธี proximate analysis และวิเคราะห์พลังงานรวมในอาหารโดยใช้ bomb calorimeter ตามวิธีของ A.O.A.C (1990)
2. วิเคราะห์ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง ตามวิธีของฝ่ายเคมีอาหาร สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยใช้ gas chromatography อ้างอิงตามวิธีของ Will and Greenfield (1984)
3. วิเคราะห์ปริมาณ lipid peroxidation ในซีรัมโดยดัดแปลงจากวิธีของ Uchiyama and Mihara (1978) และ Asakawa and Matsushita (1980)

4. วิเคราะห์ปริมาณคอเลสเตอรอลในซีรัมด้วยชุดตรวจสำเร็จรูป cholesterol liquicolor (Human, Germany)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Duncan's new multiple range test โดยมีแบบแผนทางสถิติคือ

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

เมื่อ	Y_{ijk}	=	ค่าสังเกตที่ได้จากการเสริมสารสกัดหยาบจากไขมันชั้นที่ระดับ i และความหนาแน่นในการเลี้ยงไก่ที่ระดับ j
	μ	=	ค่าเฉลี่ยรวม
	A_i	=	อิทธิพลของการเสริมสารสกัดหยาบจากไขมันชั้น (โดยที่ i = 0, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร)
	B_j	=	อิทธิพลของความหนาแน่นในการเลี้ยงไก่ (โดยที่ j = 2 และ 3 ตัวต่อกรง)
	AB_{ij}	=	อิทธิพลร่วมระหว่างการเสริมสารสกัดหยาบจากไขมันชั้นและความหนาแน่นในการเลี้ยงไก่
	ϵ_{ijk}	=	ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

สถานที่ทำการทดลอง

1. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก สถาบันสุวรรณวาทกกลกิจ เพื่อค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม เพื่อเลี้ยงสัตว์ทดลอง
2. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม เพื่อวิเคราะห์โภชนาในอาหารสัตว์ทดลอง และปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง
3. ห้องปฏิบัติการภาควิชาเภสัชวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดกรุงเทพมหานคร เพื่อวิเคราะห์การเกิด lipid peroxidation ในซีรัม
4. ห้องปฏิบัติการโลหิตวิทยา โรงพยาบาลสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม เพื่อวิเคราะห์คอเลสเตอรอลในซีรัม
5. ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง ฝ่ายชีวเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม เพื่อวิเคราะห์คอเลสเตอรอลในไข่แดง

ผลและวิจารณ์

การทดลองครั้งนี้พบว่า อิทธิพลของช่วงการทดลองไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ ค่า TBARs และระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมและในไข่แดง การรายงานผลการทดลองจึงรายงานเป็นค่าเฉลี่ยตลอดช่วงการทดลอง ยกเว้นเปอร์เซ็นต์การเลี้ยวรอด ความเข้มสีไข่แดง และค่า TBARs ที่รายงานทุกช่วงการทดลอง เพื่อให้เข้าใจรายละเอียดของผลการทดลองแต่ละช่วง ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยตลอดช่วงการทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของโภชนาในอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของโภชนาในอาหารทดลองแต่ละสูตรด้วยวิธี proximate analysis และการใช้ bomb calorimeter แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาองค์ประกอบทางโภชนาในอาหารทดลอง

โภชนา (เปอร์เซ็นต์)	ระดับเคอร์คูมินอยด์ในอาหารทดลอง (มก./กก.อาหาร)		
	0	50	100
ความชื้น	9.44	8.91	9.16
โปรตีน	17.12	17.30	17.55
ไขมัน	5.02	5.06	4.98
เยื่อใย	3.34	3.35	3.21
เถ้า	11.01	12.22	10.16
แคลเซียม	3.19	3.85	3.14
ฟอสฟอรัส	0.60	0.67	0.59
พลังงาน (kcal/kg)	4,215.40	4,140.04	4,361.63

จากผลการวิเคราะห์อาหารทดลองพบว่า มีระดับโภชนาไม่น้อยไปกว่าระดับที่ NRC (1994) กำหนดไว้ โดยระดับพลังงานและโปรตีนทุกกลุ่มการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันเฉลี่ยที่ 4.23 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมอาหาร และ 17.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องตามค่าโภชนาจากการคำนวณ แสดง

ว่าการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในระดับ 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลอง

ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อสมรรถภาพการผลิต

ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อสมรรถภาพการผลิตแสดงดังตารางที่ 6, 7, 8, 9 และ 10 ซึ่งพบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง ปริมาณอาหารที่กินต่อน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม และปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 โหล แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ของปริมาณอาหารที่กิน อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เริ่มทดลอง และมวลไข่เฉลี่ย ซึ่งเกิดจากการเลี้ยงด้วยความหนาแน่นที่แตกต่างกัน โดยพบว่ากลุ่มที่เลี้ยงไก่ไข่ภายใต้สภาพหนาแน่นมาก (เลี้ยงไก่จำนวน 3 ตัวต่อกรง) มีค่าสังเกตดังกล่าวน้อยกว่ากลุ่มที่เลี้ยงไก่ไข่ภายใต้ความหนาแน่นน้อยกว่า (เลี้ยงไก่จำนวน 2 ตัวต่อกรง) ทั้งนี้เนื่องจากไก่ทดลองได้รับผลกระทบจากความเครียดซึ่งเป็นผลจากพฤติกรรมทางสังคมของสัตว์ (social stress) โดยเมื่อเพิ่มความหนาแน่นในการเลี้ยงสัตว์ สัตว์จะแสดงพฤติกรรมผิดปกติ อาทิเช่น การจิกชน พฤติกรรมก้าวร้าว และการจัดอันดับทางสังคม เช่น เขี่ยหรือขับไล่ตัวอื่นออกจากรางอาหาร เป็นต้น (Blokhuys, 1994) ความเครียดมีผลกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมน corticosteroid ซึ่งผลิตขึ้นจากต่อมหมวกไต การหลั่ง corticosteroid ออกมามาก จะส่งผลทำให้เกิดแผลในกระเพาะอาหาร และเบื่ออาหาร (Cattanach *et al.*, 1988) ทำให้ไก่มีปริมาณอาหารที่กินลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่น้อยกว่า สอดคล้องกับ Sohail *et al.* (2004) ที่รายงานว่า การเลี้ยงไก่ในสภาพที่หนาแน่นส่งผลต่อปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการให้ผลผลิตไข่ที่ลดลง นอกจากนี้ลักษณะของกรงที่ใช้เลี้ยงไก่ในการทดลองครั้งนี้ มีพื้นที่ด้านกว้างของกรงจำกัด ทำให้ไก่ทดลองในกลุ่มที่เลี้ยงจำนวน 3 ตัวต่อกรง กินอาหารพร้อมๆ กันไม่ได้ ไก่จึงมีพฤติกรรมจิกกันเพื่อแย่งพื้นที่กินอาหาร ส่งผลต่อความเครียดที่มากขึ้น ซึ่งทำให้อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เริ่มทดลอง และมวลไข่เฉลี่ยลดลง แสดงดังตารางที่ 8 และ 9

จากการสังเกตในระหว่างทดลองพบว่า การจิกกันเพิ่มมากขึ้นในช่วงท้ายของการทดลอง ช่วงที่ 1 จนถึงการทดลองช่วงที่ 2 (ระหว่างเดือนกันยายนและตุลาคม 2551) ทั้งนี้อาจเกิดจาก

สภาวะความเครียดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงดังกล่าว ซึ่งสังเกตได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นเล็กน้อย (แสดงดังภาพที่ 2) แต่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงขึ้นมาก (แสดงดังภาพที่ 3) ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงขึ้นนี้ทำให้การระบายความร้อนออกจากร่างกายได้ด้วยวิธีการระเหยไอน้ำเกิดขึ้นได้ยาก ส่งผลให้ไก่เกิดความเครียด (heat stress) มากขึ้น (Karaman *et al.*, 2007) ไก่จึงแสดงออกด้วยพฤติกรรมการจิกกันที่รุนแรง ส่งผลต่อการลดลงของเปอร์เซ็นต์การเลี้ยงรอดของกลุ่มที่เลี้ยง 3 ตัวต่อกรงในช่วงการทดลองที่ 2 และทำให้กลุ่มที่เลี้ยงจำนวน 3 ตัวต่อกรง มีเปอร์เซ็นต์การเลี้ยงรอดเฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่มทดลองที่เลี้ยง 2 ตัวต่อกรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อเปอร์เซ็นต์การเลี้ยงรอดแสดงดังตารางที่ 10

ขณะที่การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่ระดับต่างๆ ไม่ส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิต ได้แก่ น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง ปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณอาหารที่กินต่อน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม ปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 โหล อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เริ่มทดลอง และมวลไข่เฉลี่ย โดยพบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ขัดแย้งกับ Radwan Nadia *et al.* (2008) ที่รายงานว่า การเสริมขมิ้นชันบดผสมในอาหารไก่ไข่ส่งผลต่อการเพิ่มสมรรถภาพการผลิต โดยพบว่าไก่ไข่กลุ่มที่มีการเสริมขมิ้นชันบดที่ระดับ 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร มีปริมาณอาหารที่กินต่อน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม อัตราการให้ผลผลิตไข่ และมวลไข่เฉลี่ย สูงกว่าไก่ไข่กลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมขมิ้นชันบดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เนื่องจากในขมิ้นชันมีสารเคอร์คูมินอยด์ที่ออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและกระตุ้นการทำงานของ phase II metabolizing enzyme ในตับและไต ทำให้เกิดการใช้ประโยชน์จากสารอาหารมากขึ้น อย่างไรก็ตามการทดลองของ Radwan Nadia *et al.* (2008) ไม่ได้มีการระบุปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ที่ใช้ในอาหารทดลอง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า ปริมาณของเคอร์คูมินอยด์ที่ใช้ในการทดลองของ Radwan Nadia *et al.* (2008) ที่แตกต่างจากการทดลองครั้งนี้ ส่งผลต่อการตอบสนองด้านสมรรถภาพการผลิตที่ดีขึ้น

ตารางที่ 6 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง และปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน

กลุ่มทดลอง	น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัมต่อตัว)	ปริมาณอาหารที่กิน (กรัมต่อตัวต่อวัน)
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	984.01	104.92
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	985.17	105.51
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	971.64	105.46
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	980.75	104.31
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	983.73	104.56
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	988.36	104.50
ระดับเคอร์คูมินอยด์		
เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	982.38	104.65
เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	984.46	105.03
เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	980.01	105.10
ความหนาแน่นในการเลี้ยง		
ไก่ 2 ตัว/กรง	980.28	105.29 ^a
ไก่ 3 ตัว/กรง	984.29	104.46 ^b
P-value		
ระดับเคอร์คูมินอยด์ x ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.6790	0.8332
ระดับเคอร์คูมินอยด์	0.9382	0.3694
ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.6969	0.0045
Pooled SE	4.73	0.15

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ (column) เดียวกันแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 7 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อปริมาณอาหารที่กินต่อน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม และปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 โหล

กลุ่มทดลอง	ปริมาณอาหารที่กินต่อน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม	ปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 โหล (กรัม)
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	2.21	1,594.81
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	2.34	1,689.32
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	2.17	1,588.42
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	2.31	1,670.84
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	2.35	1,696.12
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	2.31	1,673.61
ระดับเคอร์คูมินอยด์		
เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	2.25	1,628.63
เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	2.35	1,692.74
เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	2.22	1,620.44
ความหนาแน่นในการเลี้ยง		
ไก่ 2 ตัว/กรง	2.24	1,624.22
ไก่ 3 ตัว/กรง	2.33	1,682.02
P-value		
ระดับเคอร์คูมินอยด์ x ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.6919	0.7445
ระดับเคอร์คูมินอยด์	0.3183	0.4589
ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.1869	0.2432
Pooled SE	0.03	22.43

ตารางที่ 8 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่ออัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต และอัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เริ่มทดลอง

กลุ่มทดลอง	อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เริ่มทดลอง (เปอร์เซ็นต์)
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	81.94	81.94
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	79.53	79.53
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	84.19	84.19
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	75.52	73.63
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	74.14	71.04
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	77.47	70.90
ระดับเคอร์คูมินอยด์		
เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	78.37	77.32
เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	76.84	75.28
เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	80.35	76.60
ความหนาแน่นในการเลี้ยง		
ไก่ 2 ตัว/กรง	81.68 ^a	81.68 ^a
ไก่ 3 ตัว/กรง	75.70 ^b	71.99 ^b
P-value		
ระดับเคอร์คูมินอยด์ x ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.9096	0.7654
ระดับเคอร์คูมินอยด์	0.1889	0.6677
ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.0015	0.0031
Pooled SE	1.02	1.75

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ (column) เดียวกันแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 9 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อมวลไข่เฉลี่ย

กลุ่มทดลอง	มวลไข่เฉลี่ย (กรัม)
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	51.63
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	50.15
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	53.91
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	48.18
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	47.04
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	49.62
ระดับเคอร์คูมินอยด์	
เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	49.72
เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	48.60
เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	51.46
ความหนาแน่นในการเลี้ยง	
ไก่ 2 ตัว/กรง	51.71 ^a
ไก่ 3 ตัว/กรง	48.27 ^b
P-value	
ระดับเคอร์คูมินอยด์ x ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.9004
ระดับเคอร์คูมินอยด์	0.0790
ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.0027
Pooled SE	63.50

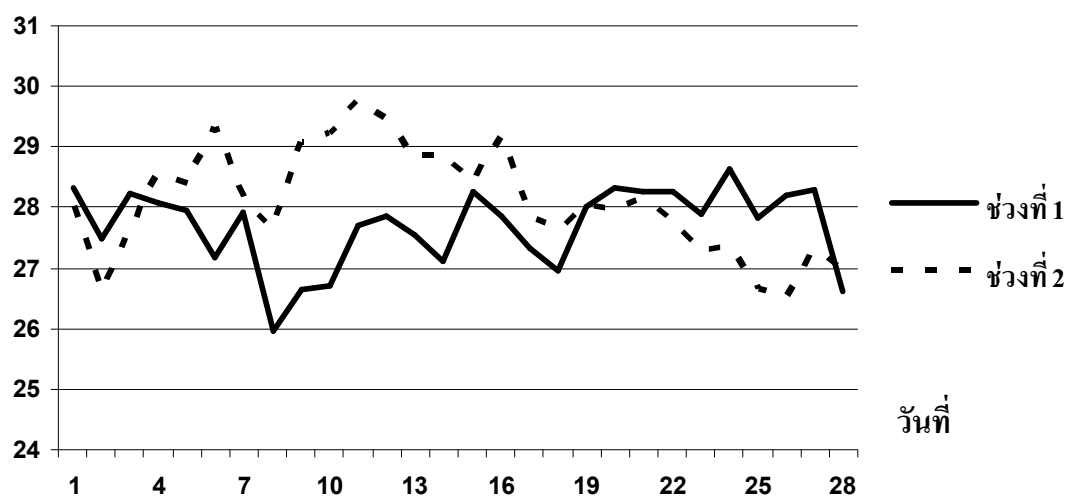
หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ (column) เดียวกันแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 10 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อเปอร์เซ็นต์การเลี้ยงรอด

กลุ่มทดลอง	การทดลองช่วงที่					เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	100.00	98.33	100.00	100.00	100.00	98.33
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	100.00	95.00	100.00	100.00	100.00	95.00
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	100.00	96.66	98.18	100.00	100.00	95.00
ระดับเคอร์คูมินอยด์						
เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	100.00	99.16	100.00	100.00	100.00	99.17
เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	100.00	97.50	100.00	100.00	100.00	97.50
เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	100.00	98.33	99.09	100.00	100.00	97.50
ความหนาแน่นในการเลี้ยง						
ไก่ 2 ตัว/กรง	100.00	100.00 ^a	100.00	100.00	100.00	100.00 ^a
ไก่ 3 ตัว/กรง	100.00	96.66 ^b	99.39	100.00	100.00	96.11 ^b
P-value						
ระดับเคอร์คูมินอยด์ x ความหนาแน่นในการเลี้ยง	1.0000	0.7199	0.3827	1.0000	1.0000	0.7013
ระดับเคอร์คูมินอยด์	1.0000	0.7199	0.3827	1.0000	1.0000	0.7013
ความหนาแน่นในการเลี้ยง	1.0000	0.0209	0.3273	1.0000	1.0000	0.0213
Pooled SE	0.00	0.74	0.30	0.00	0.00	0.86

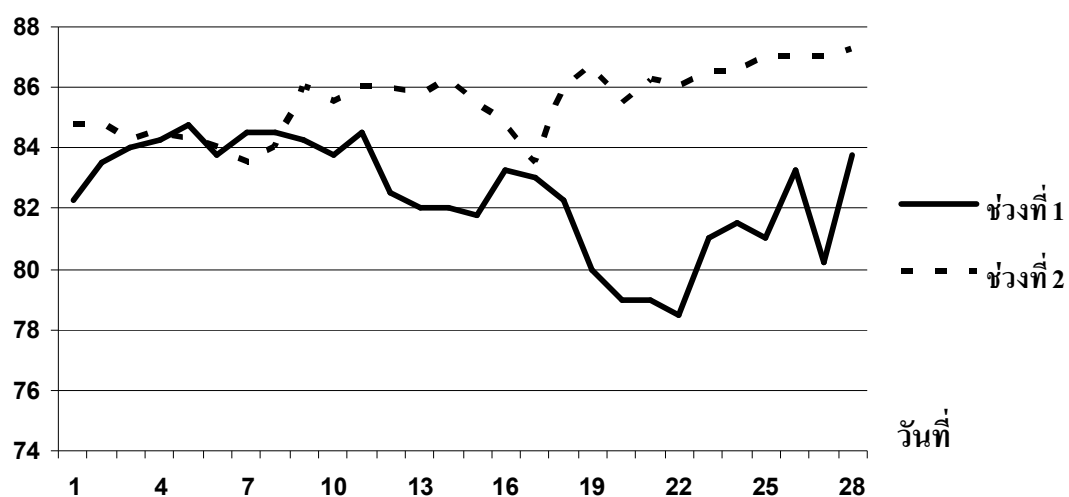
หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ (column) เดียวกันแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)



ภาพที่ 2 อุณหภูมิเฉลี่ยของการทดลองช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 (วันที่ 4 ก.ย. ถึงวันที่ 1 ต.ค. 2551 และวันที่ 2 ต.ค. ถึงวันที่ 29 ต.ค. 2551)

ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)



ภาพที่ 3 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของการทดลองช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 (วันที่ 4 ก.ย. ถึงวันที่ 1 ต.ค. 2551 และวันที่ 2 ต.ค. ถึงวันที่ 29 ต.ค. 2551)

ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อคุณภาพไข่

ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อคุณภาพไข่ แสดงดังตารางที่ 11, 12, 13 และ 14 จากตารางพบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของคุณภาพไข่ ซึ่งได้แก่ น้ำหนักไข่เฉลี่ย ค่าฮอฟยูนิต ความถ่วงจำเพาะ ความหนาเปลือกไข่ เปอร์เซ็นต์ไข่ขาว ไข่แดง และเปลือกไข่ แสดงว่า ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ และการเลี้ยงไก่ไข่ภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพไข่ สอดคล้องกับ สุชาติและคณะ (2550) ที่รายงานว่า การเสริมกากขมิ้นชันในสูตรอาหารไก่ไข่ไม่มีผลต่อคุณภาพไข่ แต่ขัดแย้งกับ Sohail *et al.* (2004) ที่รายงานว่า การเลี้ยงไก่ภายใต้ความหนาแน่นสูงส่งผลกระทบต่อน้ำหนักไข่เฉลี่ย โดยพบว่า น้ำหนักไข่เฉลี่ยของกลุ่มที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นในกรงสูง (เลี้ยงจำนวน 4 ตัวต่อกรง พื้นที่เฉลี่ยประมาณ 310 ตารางเซนติเมตรต่อตัว) มีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่นในกรงต่ำ (เลี้ยงจำนวน 3 ตัวต่อกรง มีพื้นที่เฉลี่ย 413 ตารางเซนติเมตรต่อตัว) ซึ่งอาจเป็นเพราะความหนาแน่นในการเลี้ยงไก่ไข่ของ Sohail *et al.* (2004) มีมากกว่าในการทดลองครั้งนี้ (การทดลองครั้งนี้มีพื้นที่เฉลี่ยต่อตัวของไก่กลุ่มที่เลี้ยง 2 ตัวต่อกรงเท่ากับ 600 ตารางเซนติเมตรและของไก่กลุ่มที่เลี้ยง 3 ตัวต่อกรงเท่ากับ 400 ตารางเซนติเมตรต่อตัว) สภาพความเครียดของไก่ทดลองจึงน่าจะมีมากกว่า และส่งผลกระทบต่อผลผลิตไข่ที่ชัดเจนกว่าในการทดลองครั้งนี้

สำหรับผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อความเข้มสีไข่แดง (ตารางที่ 14) พบว่า กลุ่มที่ได้รับการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในอาหารมีความเข้มสีไข่แดงมากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากเคอร์คูมินอยด์ซึ่งเป็นสารที่ให้สีเหลืองอมส้มในขมิ้นชัน (Ramirez-Tortosa *et al.*, 1999) มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีใกล้เคียงกับแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งเป็นสารสีที่สะสมในไข่แดง แต่ผลการทดลองขัดแย้งกับ วิเชียร (2542) ที่รายงานว่า การเสริมขมิ้นชันในรูปแบบตากแห้งในอาหารไก่ไข่ไม่สามารถยกระดับความเข้มสีไข่แดงได้ อย่างไรก็ตามการทดลองของ วิเชียร (2542) ใช้ขมิ้นชันในรูปแบบตากแห้ง ซึ่งไม่มีการควบคุมปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญหรือเคอร์คูมินอยด์ จึงอาจเป็นไปได้ว่า สารเคอร์คูมินอยด์ที่ไก่ไข่ได้รับการทดลองของ วิเชียร (2542) มีปริมาณน้อยกว่าในการทดลองครั้งนี้ หรืออาจเป็นเพราะรูปแบบของสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ สามารถดูดซึม

เอาเคอร์คูมินอยด์ไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่า ทำให้ความเข้มสีไข่แดงในกลุ่มที่ได้รับสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันมีคะแนนสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) นอกจากนี้จากผลการทดลองในตารางที่ 14 จะสังเกตเห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ของความเข้มสีไข่แดงตั้งแต่การทดลองช่วงที่ 2 จนถึงการทดลองช่วงที่ 4 และพบว่าความเข้มสีไข่แดงของทุกกลุ่มทดลองค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เลี้ยง เนื่องจากไก่ไข่ทุกกลุ่มทดลองมีปริมาณอาหารที่กินเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาของการเลี้ยงและมีการสะสมสารสีในร่างกายและนำไปใช้ในการสร้างไข่แดงเพิ่มมากขึ้น สำหรับไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชัน ก็ได้รับปริมาณเคอร์คูมินอยด์มากขึ้น สีของไข่แดงจากไข่ในกลุ่มทดลองดังกล่าวจึงมีสีเข้มขึ้น และแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชัน

ตารางที่ 11 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกันต่อน้ำหนักไข่เฉลี่ย และค่าชอฟิยูนิต

กลุ่มทดลอง	น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัมต่อฟอง)	ค่าชอฟิยูนิต
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	60.44	95.16
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	60.45	96.20
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	61.11	95.74
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	60.57	95.76
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	60.34	96.84
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	60.42	95.81
ระดับเคอร์คูมินอยด์		
เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	60.51	95.43
เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	60.37	96.41
เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	60.75	95.78
ความหนาแน่นในการเลี้ยง		
ไก่ 2 ตัว/กรง	60.65	95.61
ไก่ 3 ตัว/กรง	60.43	96.14
P-value		
ระดับเคอร์คูมินอยด์ x ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.7360	0.8345
ระดับเคอร์คูมินอยด์	0.8039	0.3584
ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.6507	0.3479
Pooled SE	0.23	0.28

ตารางที่ 12 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อความถ่วงจำเพาะและความหนาเปลือกไข่

กลุ่มทดลอง	ความถ่วงจำเพาะ	ความหนาเปลือกไข่ (มิลลิเมตร)
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	1.0920	0.3695
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	1.0914	0.3654
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	1.0916	0.3698
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	1.0914	0.3623
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	1.0917	0.3655
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	1.0914	0.3661
ระดับเคอร์คูมินอยด์		
เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	1.0916	0.3659
เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	1.0915	0.3654
เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	1.0914	0.3679
ความหนาแน่นในการเลี้ยง		
ไก่ 2 ตัว/กรง	1.0915	0.3682
ไก่ 3 ตัว/กรง	1.0915	0.3646
P-value		
ระดับเคอร์คูมินอยด์ x ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.7789	0.8817
ระดับเคอร์คูมินอยด์	0.9562	0.9309
ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.9125	0.5326
Pooled SE	0.0001	0.0020

ตารางที่ 13 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อเปอร์เซ็นต์ไข่ขาว ไข่แดง และเปลือกไข่

กลุ่มทดลอง	ไข่ขาว (เปอร์เซ็นต์)	ไข่แดง (เปอร์เซ็นต์)	เปลือกไข่ (เปอร์เซ็นต์)
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	63.51	22.92	9.88
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	63.61	22.98	9.83
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	63.12	23.26	9.79
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	63.69	22.93	9.78
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	63.49	23.07	9.80
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	63.49	23.12	9.73
ระดับเคอร์คูมินอยด์			
เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	63.60	22.93	9.83
เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	63.55	23.03	9.81
เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	63.31	23.19	9.76
ความหนาแน่นในการเลี้ยง			
ไก่ 2 ตัว/กรง	63.42	23.05	9.84
ไก่ 3 ตัว/กรง	63.56	23.04	9.77
P-value			
ระดับเคอร์คูมินอยด์ x ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.8237	0.8826	0.9046
ระดับเคอร์คูมินอยด์	0.7388	0.4993	0.6666
ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.6601	0.9427	0.3199
Pooled SE	0.16	0.09	0.03

ตารางที่ 14 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อความเข้มสีไข่แดง

กลุ่มทดลอง	การทดลองช่วงที่					เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	6.83	7.17	7.84	8.12	8.86	7.76
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	6.85	7.78	8.43	8.44	9.04	8.11
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	6.96	7.98	8.61	8.60	9.06	8.24
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	7.17	7.28	7.80	8.11	8.86	7.84
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	7.11	8.11	8.45	8.45	9.01	8.22
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	6.93	8.30	8.65	8.61	9.02	8.30
ระดับเคอร์คูมินอยด์						
เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	7.00	7.23 ^b	7.82 ^b	8.11 ^b	8.86	7.80 ^b
เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	6.98	7.95 ^a	8.44 ^a	8.42 ^a	9.02	8.16 ^a
เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	6.95	8.14 ^a	8.63 ^a	8.58 ^a	9.04	8.27 ^a
จำนวนไก่						
ไก่ 2 ตัว/กรง	6.88	7.65	8.29	8.38	8.99	8.04
ไก่ 3 ตัว/กรง	7.07	7.90	8.30	8.36	8.96	8.12
P-value						
ระดับเคอร์คูมินอยด์ x ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.4254	0.8258	0.9220	0.9932	0.9709	0.9820
ระดับเคอร์คูมินอยด์	0.9316	0.0002	<0.0001	0.0010	0.1408	0.0073
ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.1321	0.1252	0.9375	0.7755	0.7415	0.5277
Pooled SE	0.06	0.10	0.06	0.05	0.04	0.06

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ (column) เดียวกันแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อระดับอนุมูลอิสระในซีรัม

ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อระดับอนุมูลอิสระในซีรัม พิจารณาจากค่า TBARs (thiobarbituric acid reactive substances, nmol/ml) ในซีรัม ผลการทดลองดังตารางที่ 15 พบความแตกต่างทางสถิติของค่า TBARs ในการทดลองช่วงที่ 3 ($P=0.0024$) ช่วงที่ 5 ($P=0.0538$) และค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง ($P=0.0008$) ซึ่งเกิดจากการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชัน โดยพบว่ากลุ่มที่เสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่มีระดับเคอร์คูมินอยด์ 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร มีค่า TBARs ต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชัน แสดงว่ากลุ่มที่เสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันมีระดับอนุมูลอิสระในซีรัมน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันมีสารเคอร์คูมินอยด์ซึ่งมีฤทธิ์ในการต่อต้านอนุมูลอิสระ เมื่อวัดปริมาณการเกิดผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือปริมาณ malondialdehyde ในกระแสเลือดจึงพบว่าปริมาณ malondialdehyde น้อยกว่า สอดคล้องกับ Shalini and Srinivas (1987) และ Reddy and Lokesh (1992) ที่รายงานว่า เคอร์คูมินอยด์มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ เทียบเท่ากับการต้านอนุมูลอิสระของ BHA (butylated hydroxyanisole) เนื่องจากภายในโครงสร้างของเคอร์คูมินอยด์มี phenolic OH group และ methylene CH_2 group ซึ่งทั้ง 2 หมู่ มีบทบาทสำคัญในการขจัดอนุมูลอิสระ โดยการให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระอยู่ในสภาพเสถียรและไม่เหนียวนาให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอีก (Wright, 2002)

อย่างไรก็ตามพบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของค่า TBARs ระหว่างไก่ทดลองที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ซึ่งขัดแย้งกับ Hester *et al.* (1996) ที่รายงานว่า การเพิ่มความหนาแน่นในการเลี้ยงไก่ไข่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระในร่างกายและทำให้สัดส่วนของ heterophil ต่อ lymphocyte ในซีรัมของไก่ไข่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ Hester *et al.* (1996) เพิ่มความหนาแน่นจากการเลี้ยงไก่ไข่ 1 ตัวต่อกรง เป็น 12 ตัวต่อกรง ซึ่งมากกว่าในการทดลองครั้งนี้ (เพิ่มไก่ทดลองจาก 2 ตัวต่อกรง เป็น 3 ตัวต่อกรง) จึงส่งผลต่อความเครียดที่มีมากกว่า การเกิดอนุมูลอิสระมีมากกว่า ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองอย่างชัดเจน

จากการทดลองครั้งนี้พบว่าค่า TBARs ของการเจาะเลือดครั้งแรกมีปริมาณสูงกว่าค่าปกติมาก (TBARs ในซีรัมระดับปกติของไก่ไข่จากรายงานของ Kucuk *et al.* (2003) มีค่าระหว่าง 1.03–1.92 nmol/ml) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะไก่ทดลองทุกตัวเป็นไก่สาว (ไก่ไข่อายุ 18 สัปดาห์) เพิ่งถูกย้ายเข้ามาในโรงเรือนและทรงทดลองได้ไม่นาน การตอบสนองต่อสภาวะแวดล้อมใหม่ ส่งผลให้เกิดความเครียด ซึ่งมีผลกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมน corticosteroid ส่งผลต่อการเพิ่มการเผาผลาญสารอาหารของร่างกายให้สูงขึ้น ทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น (Frankel, 1970) ค่า TBARs ในการเจาะเลือดครั้งแรกจึงมีค่าสูง และมีค่าลดลงในการเจาะเลือดครั้งถัดไป เนื่องจากไก่ไข่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมในโรงเรือนได้แล้ว

ตารางที่ 15 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อค่า TBAR ในชีรัม

กลุ่มทดลอง	การเจาะเลือดครั้งที่			
	1	3	5	เฉลี่ย
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	4.20	1.68	2.42	2.77
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	4.05	1.51	2.38	2.65
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	4.02	1.46	2.32	2.60
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	4.30	1.83	2.85	2.99
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	4.09	1.52	2.39	2.67
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	4.04	1.50	2.23	2.59
ระดับเคอร์คูมินอยด์				
เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	4.25	1.76 ^a	2.63	2.88 ^a
เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	4.07	1.52 ^b	2.39	2.66 ^b
เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	4.03	1.48 ^b	2.27	2.59 ^b
ความหนาแน่นในการเลี้ยง				
ไก่ 2 ตัว/กรง	4.09	1.55	2.37	2.67
ไก่ 3 ตัว/กรง	4.14	1.62	2.49	2.75
P-value				
ระดับเคอร์คูมินอยด์ x ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.9310	0.6137	0.1804	0.1944
ระดับเคอร์คูมินอยด์	0.0993	0.0024	0.0538	0.0008
ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.5307	0.2999	0.3272	0.1706
Pooled SE	0.04	0.04	0.06	0.04

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ (column) เดียวกันแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมและไข่แดง

ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมและไข่แดง ดังแสดงในตารางที่ 16 พบว่ามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมและไข่แดง ทั้งจากการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในอาหาร การเลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง แสดงว่าการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่มีเคอร์คูมินอยด์เป็นสารออกฤทธิ์สำคัญ ไม่ส่งผลกระทบต่อระดับคอเลสเตอรอลในเลือดและในตับ (เนื่องจากไขมันและคอเลสเตอรอลในตับมีความสัมพันธ์กับระดับคอเลสเตอรอลในไข่แดง) สอดคล้องกับ Radwan Nadia *et al.* (2008) ที่รายงานว่า การเสริมขมิ้นชันในอาหารไก่ไข่ ไม่ส่งผลกระทบต่อระดับ LDL-cholesterol, HDL-cholesterol และคอเลสเตอรอลรวมในซีรัมและไข่แดง แต่ผลการทดลองนี้ขัดแย้งกับ Craig *et al.* (1986) ที่รายงานว่า การเพิ่มความหนาแน่นในการเลี้ยงไก่ไข่จาก 1 ตัวต่อกรง (พื้นที่เฉลี่ย 929 ตารางเซนติเมตรต่อตัว) เป็น 4 ตัวต่อกรง (พื้นที่เฉลี่ย 464 ตารางเซนติเมตรต่อตัว) ทำให้ระดับ corticosteroid ในซีรัมสูงขึ้น และทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมที่สูงขึ้นด้วย แต่สังเกตได้ว่า Craig *et al.* (1986) เพิ่มความหนาแน่นในการเลี้ยงไก่มากกว่าในการทดลองครั้งนี้ ทำให้สภาวะความเครียดที่เกิดขึ้นมีมากกว่า จึงส่งผลต่อระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมที่สูงขึ้นอย่างชัดเจน

ตารางที่ 16 ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในไก่ไข่ที่เลี้ยงภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ต่อระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมและในไข่แดง

กลุ่มทดลอง	คอเลสเตอรอลในซีรัม (mg/dl)	คอเลสเตอรอลในไข่แดง (mg/g)
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	131.16	12.00
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	126.88	11.73
ไก่ 2 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	127.05	11.67
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	128.70	12.15
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	130.40	12.03
ไก่ 3 ตัว/กรง + เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	130.37	11.70
ระดับเคอร์คูมินอยด์		
เคอร์คูมินอยด์ 0 มก./กก.อาหาร	129.93	12.07
เคอร์คูมินอยด์ 50 มก./กก.อาหาร	128.64	11.88
เคอร์คูมินอยด์ 100 มก./กก.อาหาร	128.71	11.68
ความหนาแน่นในการเลี้ยง		
ไก่ 2 ตัว/กรง	128.36	11.96
ไก่ 3 ตัว/กรง	129.82	11.80
P-value		
ระดับเคอร์คูมินอยด์ x ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.7425	0.8768
ระดับเคอร์คูมินอยด์	0.9470	0.3702
ความหนาแน่นในการเลี้ยง	0.6868	0.4690
Pooled SE	1.43	0.11

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่มีเคอร์คูมินอยด์ในระดับ 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ ส่วนการเลี้ยงไก่ไข่ภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกันส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต โดยพบว่ากลุ่มที่เลี้ยง 2 ตัวต่อกรง (พื้นที่ 400 ตารางเซนติเมตรต่อตัว) มีปริมาณอาหารที่กิน อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เริ่มทดลอง อัตราการเลี้ยงรอด และมวลไข่เฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่เลี้ยง 3 ตัวต่อกรง (พื้นที่ 600 ตารางเซนติเมตรต่อตัว) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

2. การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่มีเคอร์คูมินอยด์ในระดับ 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ส่งผลต่อระดับความเข้มสีไข่แดงที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชัน ส่วนการเลี้ยงไก่ไข่ภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกันไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพไข่ไก่

3. การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่มีเคอร์คูมินอยด์ในระดับ 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ส่งผลต่อการลดการเกิดอนุมูลอิสระในซีรัม โดยพบว่าค่า TBARs ในซีรัมของไก่ทดลองกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันทั้ง 2 ระดับ มีค่าน้อยกว่าไก่ทดลองกลุ่มที่ได้รับอาหารซึ่งไม่ได้เสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชัน ส่วนการเลี้ยงไก่ไข่ภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกันไม่ส่งผลกระทบต่อค่า TBARs ในซีรัม

4. การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่มีเคอร์คูมินอยด์ในระดับ 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร และการเลี้ยงไก่ไข่ภายใต้ความหนาแน่นที่แตกต่างกัน (เลี้ยงไก่ 2 และ 3 ตัวต่อกรง) ไม่ส่งผลกระทบต่อระดับคอเลสเตอรอลในซีรัมและในไข่แดง

5. แม้ว่าการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร จะส่งผลต่อการลดลงของอนุมูลอิสระในซีรัม แต่ก็มิได้ทำให้ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับการเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันมีสมรรถภาพการผลิตโดยรวมที่ดีกว่าไก่กลุ่มที่ไม่ได้รับสารสกัดหยาบจากขมิ้นชัน อย่างไรก็ตามการเลี้ยงไก่ไข่ภายใต้ความหนาแน่นที่สูงมากกว่า

ในการทดลองครั้งนี้ (พื้นที่ในการเลี้ยงน้อยกว่า 400 ตารางเซนติเมตรต่อตัว) หรือการเลี้ยงไก่ในสถานะที่มีความเครียดสูง การเสริมสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในอาหารไก่อาจส่งผลดีต่อสมรรถภาพการผลิตก็เป็นได้

ข้อเสนอแนะ

การนำสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันมาเสริมในอาหารทดลอง ต้องคำนึงถึงการกระจายตัวของสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในอาหารทดลองเป็นสำคัญ เพื่อให้ไก่ได้รับสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันในปริมาณที่กำหนดไว้ ดังนั้นควรมีความรอบคอบในการคำนวณปริมาณสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันและการชั่งปริมาณสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันที่ใช้ผสม และในขั้นตอนของการผสมอาหาร ควรระวังไม่ให้เกิดการหกหล่นของสารสกัดหยาบจากขมิ้นชัน ซึ่งอาจส่งผลทำให้ระดับเคอร์คูมินอยด์ในสูตรอาหารไม่ตรงกับระดับที่คำนวณไว้ นอกจากนี้ควรเก็บสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันไว้ในที่มืดชื้น อุณหภูมิไม่สูง และไม่โดนแสง ทั้งนี้เนื่องจากสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันมีเคอร์คูมินอยด์เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสง หากถูกแสงหรือถูกความร้อนกระตุ้นอาจทำให้เคอร์คูมินอยด์เปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบอื่น ซึ่งทำให้ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ที่มีอยู่จริงในสารสกัดหยาบจากขมิ้นชันลดลงหรือลดการออกฤทธิ์ของสารสำคัญต่างๆ สำหรับการเลี้ยงไก่ภายในกรงตับ หากจำเป็นต้องเพิ่มความหนาแน่นในการเลี้ยง ควรจัดสรรให้ไก่ทุกตัวได้รับอาหารและน้ำอย่างเพียงพอ จัดลักษณะของกรงให้ไก่ทุกตัวสามารถกินอาหารได้พร้อมกัน มีการระบายอากาศที่ดี เพื่อลดการเกิดพฤติกรรมก้าวร้าวจากความเครียด ซึ่งอาจช่วยลดการสูญเสียแม่ไก่จากพฤติกรรมการจิกกันได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์. 2532. รายงานการวิจัยตลาดพืชสมุนไพรและเครื่องเทศ เล่มที่ 1.

บริษัทจัดการเกษตรและอุตสาหกรรม จำกัด, กรุงเทพฯ.

กองวิจัยและพัฒนาสมุนไพร. 2533. คู่มือสมุนไพรและการสาธารณสุขมูลฐาน.

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

กิติมา จินตามงคล, สุภาพร อัสริโยดม, ชนินทร์ ตีรวฒนาวิช, งามพ่อง คงคาทิพย์,

ยุภา มงคล สุข, วิไล สันติโสภาศรี และบุญส่ง คงคาทิพย์. 2548. ผลของสารสกัด

ขมิ้นชัน ย่านพาโหมและบอระเพ็ดต่อภาวะเครียดและระดับภูมิคุ้มกันโรคในไก่กระตัง,

น. 49-56. ใน นวลจันทร์ พารักษา และสิรินทร์พร สินธุวิชย์, บรรณาธิการ. การประชุม

วิชาการสมุนไพรไทย: โอกาสและทางเลือกใหม่ของอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ครั้งที่ 3

วันที่ 11-12 พฤษภาคม 2548. โรงพิมพ์เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

ชัยวัฒน์ สุวรรณทัต, สุวรรณ กิจภากรณ์, กฤษ อังคนาพร, พิกพ สดสี และนันท์วัน

บุญยะประภัศร. 2547. การใช้ขมิ้นชันเป็นสารต้านออกซิเดชันต่อสถานภาพภูมิคุ้มกันและ

สมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อซึ่งอยู่ในสภาวะเครียด, น. 181-187. ใน จันทรจิรส

เรียวเดชะ, กฤษ อังคนาพร และเปล่งศรี อิงคนันท์, บรรณาธิการ. สมุนไพรไทย: โอกาส

และทางเลือกใหม่ของอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ ครั้งที่ 2 วันที่ 15-16 มกราคม 2547.

โรงพิมพ์ดิเรณสาร, กรุงเทพฯ.

บัญญัติ สุขศรีงาม. 2543. ขมิ้น. ห้องสมุด E-LIB: Health Library for Thai: ขมิ้น. แหล่งที่มา:

<http://www.elib-online.com/doctor2/herb curcuma01.html>, 12 ธันวาคม 2549.

ประคองศิริ บุญคง. 2546. บทความฟื้นฟูวิชาการ ขมิ้นชัน สารพันประโยชน์. วารสารองค์การ

เภสัชกรรม 29 (1): 31-38.

วิทย์ เทียงบุญธรรม. 2531. พจนานุกรมสมุนไพรไทย. โอเอสพริ้นติ้งเฮาส์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

วันดี นิยมพาลี. 2551. ผลของการเสริมไขมันชั้นในอาหารไก่เนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิเชียร ทองสิน. 2542. รายงานการวิจัย เรื่อง ผลการใช้ไขมันชั้นและกระเจี๊ยบแดงเป็นแหล่งสารให้สีในอาหารไก่ไข่ที่มีสารสีอยู่ต่ำ. สำนักวิจัย สถาบันราชภัฏนครศรีธรรมราช.

สถาบันวิจัยสมุนไพร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2550. ไขมันชั้น.

ข้อมูลมาตรฐานสมุนไพร (THP). แหล่งที่มา:

http://www.dmsc.moph.go.th/webroot/Plant/MPri2007/qc2_khamin-chan.asp,
23 พฤศจิกายน 2550.

สุชาติ สงวนพันธุ์, อรประพันธ์ ส่งเสริม, อรทัย ไตรวุฒานนท์และอรรณวุฒิ พลายนบุญ. 2550. ผลการเสริมกากไขมันชั้นในไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการให้ผลผลิตและคุณภาพไข่, น 223 ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

สุชาติพ ภูมิประวัติ. 2540. ของดีใกล้ตัว “ไขมันชั้น”. วารสารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 10 (4): 29-32.

สำนักงานข้อมูลสมุนไพร มหาวิทยาลัยมหิดล. 2549. ไขมัน. แหล่งที่มา:

<http://www.medplant.mahidol.ac.th/pubhealth/curcuma.html>, 12 ธันวาคม 2549.

A. O. A. C. 1990. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist.** 15th ed. A.O.A.C., Washington, D.C.

Asai, A. and T. Miyazawa. 2000. Occurrence of orally administered เคอร์คิวมินอยด์ as glucuronide/sulfate conjugates in rat plasma. **Life Sci.** 67 (23): 2785-2793.

Asakawa, T. and S. Matsushita. 1980. Coloring condition of thiobarbituric acid test for detecting lipid hydroxide. **Lipid** 15: 137-140.

Bisset, N. G. and J. Nwaiwu, 1983 . Quaternary alkaloids of *Tinospora* species.

Planta Med. 48: 275-279.

Blokhuys, H. J. 1994. Intensive production units and welfare: Domestic fowl.

Rev. Sci. Tech. 13: 67-78

Cattanach, L., R. Malley and J. Rodin. 1988. Psychologic and physiologic reactivity to stressors in eating disordered individuals. **Psychosom Med.** 50: 591-599.

Churchill, M., A. Chadburn, R. T. Bilinski and M. M. Bertangnolli. 2000. Inhibition of intestinal tumors by curcumin is associated with changes in the intestinal immune cell.

J. Sur. Res. 89: 169-175.

Craig, J. V., J. A. Craig and J. V. Vargas. 1986. Corticosteroids and other indicators of hens' well-being in four laying-house environments. **Poult. Sci.** 65: 856-863.

Cravener, T.L., W. B. Roush and M. M. Mashaly. 1992. Broiler production under varying population densities. **Poult. Sci.** 71: 427-433.

Frankel, A. I. 1970. Neurohumoral control of the avian adrenal: review. **Poult. Sci.** 49: 869-921.

Govindarajan, V. S. 1980. Turmeric – chemistry, technology and quality, pp. 199-301. *In* T. E. Furia, ed. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition.** CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

Gross W. B. and H. S. Sigel. 1983. Evaluation of the heterophil/lymphocyte ratio as a measure of stress in chicken. **Avian Dis.** 27: 972-979.

Hester, P. Y., W. M. Muir, J. V. Craig and J. L. Albright. 1996. Group selection for adaptation to multiple-hen cages: Hematology and adrenal function. **Poult. Sci.** 75:1295-1307.

- Hidalgo, J., T. Gasull, A. Garcia, A. Blaquez and A. Armario. 1991. Role of glucocorticoids and catecholamines on hepatic thiobarbituric acid reactants in basal and stress conditions in the rat. **Horm. Metab. Res.** 23 (3): 104-109.
- Karaman, S., S. Tarhan and G. Ergunes. 2007. Analysis of indoor climatic data to assess the heat stress of laying hens. **IJNES.** 1 (2): 65-68.
- Kermanshahi, H. and A. Riasi. 2006. Effect of turmeric powder (*Curcuma Longa*) and soluble NSP degrading enzyme on some blood parameters of laying hens. **Int. J. of Poult Sci.** 5 (5): 494-498.
- Kucuk, O, N. Sahin, K. Sahin, M. F. Gursu, F. Gulci, M. Ozcelik and M. Issi. 2003. Egg production, egg quality and lipid peroxidation status in laying hens maintained at a low ambient temperature (6°C) and fed a vitamin C and vitamin E-supplemented diet. **Vet. Med.** 48: 33–40.
- Leeson, S. and J. D. Summer. 2001. **Nutrition of the Chicken.** 4th ed. University of Guelph, Ontario, Canada.
- Liu, Y. 1996. Curcumin: An ingredient that reduces platelet aggregation and hyperlipidemia and enhances antioxidant and immune functions, pp. 199-205. In S. J. Risch and C. T. Ho, eds. **Spices: Flavor Chemistry and Antioxidant Properties.** American Chemical Society, Washington, D.C.
- Masuda, T., H. Bando, T. Maekawa, Y. Takeda and H. Yamaguchi. 2000. A novel radical terminated compound produced in the antioxidantation process of curcumin against oxidation of a fatty acid ester. **Tetrahedron Lett.** 41: 2157-2160.
- National Research Council (NRC). 1994. **Nutrient Requirements of Poultry.** 9th ed. National Academy Press, Washington, D.C.

- Onbasilar, E. E., O. Poyraz and S. Cetin. 2008. Effects of breeder age and stocking density on performance, carcass characteristics and some stress parameters of broilers. **Asian-Aust. J. Anim. Sci.** 21 (2): 262-269.
- Pan, M. H., T. M. Huang and J. K. Lin. 1999. Biotransformation of curcumin through reduction and glucoronidation in mice. **Drug Met. Disposit.** 27: 486-494.
- Pesti, G. M., R. I. Bakalli, J. P. Driver, A. Atencio and E. H. Foster. 2005. **Poultry Nutrition and Feeding.** Althens Inc., Georgia.
- Puvadolpirod, S. and J. P. Thaxton. 2000. Model of physiological stress in chickens 4. Digestion and metabolism. **Poult. Sci.** 79: 383-390.
- Radwan Nadia, L., R. A. Hassan, E. M. Qota and H.M. Fayek. 2008. Effect of natural antioxidant on oxidative stability of eggs and productive and reproductive performance of laying hens. **Int. J. of Poult Sci.** 7 (2): 134-150.
- Ramirez-Tortosa, M. C., M. D. Mesa, M. C. Aguilera, J. L. Ouiles, L. Baeo, C. L. Ramirez-Tortosa, E. Martinez-Victoria and A. Gil. 1999. Oral administration of turmeric extract inhibits LDL oxidation and has hypocholesterolemic effects in rabbits with experimental atherosclerosis. **Atherosclerosis** 147: 371-378.
- Rao, D. S., N. C. Sekhara, M. N. Satyanarayana and M. Srinivasan. 1970. Effect of curcumin on serum and liver cholesterol levels in the rat. **J. Nutr.** 100 (11): 1307-1315.
- Reddy, A. C. and B. R. Lokesh. 1992. Studies on spice principles as antioxidants in the inhibition of lipid peroxidation of rat liver microsomes. **Mol. Cell Biochem.** 111 (1-2): 117-124.
- _____and_____. 1994. Effect of dietary turmeric (*Curcuma longa*) on iron induced lipid peroxidation in the rat liver. **Toxical.** 32 (3): 279-283.

- Roush, W. B. 1981. TI59 calculator program for Haugh unit calculator. **Poult. Sci.** 60: 1086-1088.
- Shalini, V. K. and L. Srinivas. 1987. Lipid peroxide induced DNA damage: protection by turmeric (*Curcuma longa*). **Mol. Cell Biochem.** 77 (1): 3-10.
- Simsek, U. G., I. H. Cerci, B. Dalkilic, O. Yilmaz and M. Ciftci. 2009. Impact of stocking density and feeding regimen on broilers: Chicken meat composition, fatty acids, and serum cholesterol levels. **J. Appl. Poult. Res.** 18: 514-520.
- Sohail, S. S., M. M. Bryant and D. A. Roland. 2004. Effect of reducing cage density on performance and economics of second-cycle (ForceRested) commercial Leghorns. **J. Appl. Poult. Res.** 13: 401–405.
- Tang W. and G. Eisenbrand. 1992. **Chinese Drugs of Plant Origin**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Tizard, I. R. 1977. **An Introduction to Veterinary Immunology**. Ontario Veterinary College, University of Guelph, Ontario.
- Uchiyama, M. and M. Mihara. 1978. Determination of malonaldehyde precursor in tissue by thiobarbituric acid test. **Anal. Biochem.** 86: 271-278.
- Will, R. B. H. and H. Greenfield. 1984. **Laboratory Instruction Manual for Composition Studies**. Department of Food Science and Technology, The University of New South Wales, Sydney.
- Wright, J. S. 2002. Predicting the antioxidant activity of curcumin and curcuminoids. **J. Mol. Str. (Theochem)** 591: 207-217.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

การตรวจวัดการเกิด lipid peroxidation ในรูปของค่า TBARS ในซีรัม

การวัดค่า TBARS เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการตรวจการเกิด lipid peroxidation โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงของสี (colorimetric method) ที่เกิดจากสารที่เป็นผลผลิตของปฏิกิริยา peroxidation ซึ่งก็คือ malonaldehyde การวัดค่า TBARS มีหลายวิธี ซึ่งมีความแม่นยำและความเหมาะสมกับตัวอย่างแตกต่างกัน สำหรับการวัดค่า TBARS ในซีรัมซึ่งมีความเข้มข้นของสารที่ตรวจวัดค่อนข้างต่ำ จึงได้ดัดแปลงวิธีการจาก Uchiyama and Mihara (1978) และ Asakawa and Matsushita (1980) เพื่อความเหมาะสมในการตรวจวัดผล

สารเคมี

1. Trichloroacetic acid (TCA) ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์
2. Sodium dodecyl sulfate (SDS) ความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์
3. EDTA (ethylene diamine tetraacetic acid) 5 มิลลิโมล
4. BHT (butylated hydroxytoluene) 100 มิลลิโมล
5. thiobarbituric acid (TBA) ความเข้มข้น 0.6 เปอร์เซ็นต์
6. 1, 1, 3, 3-tetraethoxypropane (standard; 1 โมล TEP = 1 โมล MDA)

หมายเหตุ: การเตรียม TCA และ TEP ควรใช้ทันทีเมื่อเตรียมเสร็จทุกครั้ง

วิธีการ

1. ทำกราฟมาตรฐานโดยใช้ TEP เจือจางให้มีความเข้มข้นเป็น 0.1, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 2.0 นาโนโมลต่อมิลลิลิตร
2. นำสารละลายที่เจือจางได้แต่ละหลอดมาเติม trichloroacetic acid (TCA) ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร

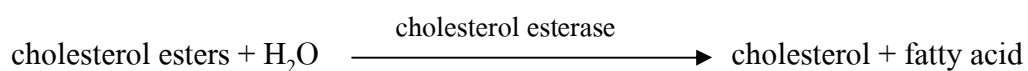
3. เติม 5 มิลลิโมล ของ EDTA จำนวน 50 ไมโครลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex เป็นเวลา 1 นาที
4. เติม sodium dodecyl sulfate (SDS) ความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 50 ไมโครลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex เป็นเวลา 1 นาที
5. เติม thiobarbituric acid (TBA) ความเข้มข้น 0.6 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 150 ไมโครลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex เป็นเวลา 1 นาที
6. จากนั้นนำสารละลายที่ผสมได้แช่ในน้ำเดือดเป็นเวลา 60 นาที เพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยา จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที (rpm) เป็นเวลา 10 นาที
7. นำสารละลายส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 552 นาโนเมตรเพื่อทำกราฟมาตรฐาน
8. นำซีรัมที่จะทดสอบมา 100 ไมโครลิตร ผสมกับ 100 มิลลิโมลของ buthylated hydroxytoluene (BHT) จำนวน 20 ไมโครลิตร และทำตามขั้นตอน 2-8 ตามลำดับ

การตรวจหาคอเลสเตอรอลในซีรัม

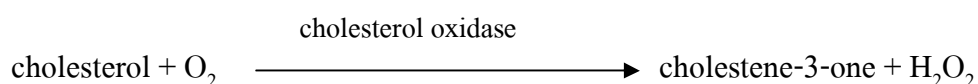
หลักการ

การวิเคราะห์หาปริมาณ quinoneimine ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา enzymatic hydrolysis และ oxidation ของคอเลสเตอรอล โดยใช้เอนไซม์ 3 ชนิด มีปฏิกิริยาดังนี้

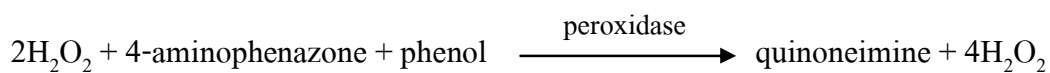
ปฏิกิริยาที่ 1 ใช้เอนไซม์คอเลสเตอรอลเอสเตอเรส (cholesterol esterase) ย่อยคอเลสเตอรอล เอสเตอร์ (cholesterol esters) ในซีรัมไปเป็นคอเลสเตอรอลอิสระ



ปฏิกิริยาที่ 2 ออกซิไดซ์คอเลสเตอรอล (cholesterol) ให้ได้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โดยมี เอนไซม์คอเลสเตอรอลออกซิเดส (cholesterol oxidase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



ปฏิกิริยาที่ 3 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะไปออกซิไดซ์ 4-อะมิโนฟีนาโซน (4-aminophenazone) และฟีนอล (phenol) ให้สารเชิงซ้อนสีชมพู คือ ควิโนนอิมีน (quinoneimine) โดยมี เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



อุปกรณ์

1. เครื่องมือวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)
2. microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มิลลิกรัม
3. micropipette
4. cuvette tube ขนาด 0.5-2.0 มิลลิลิตร
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เครื่องปั่น (vortexmeter)

สารเคมี

ชุดตรวจสำเร็จรูป cholesterol liquicolor with lipid clearing factor (Human, Germany)

วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องมือวัดการดูดกลืนแสง ตั้งค่าดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตรอุ่นเครื่องไว้นาน 30 นาที
2. ทำแบลนด์โดยใช้น้ำยา (RGT) ปริมาตร 1,000 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 10 นาที ใช้แบลนด์ปรับค่าเป็นศูนย์
3. หากคอเลสเตอรอลมาตรฐานโดยใช้น้ำยา (RGT) ปริมาตร 1,000 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากับสารละลายคอเลสเตอรอลมาตรฐาน (STD) ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ด้วยเครื่อง vortex ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร
4. วัดตัวอย่างซีรัม โดยใช้น้ำยา (RGT) ปริมาตร 1,000 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากับซีรัม ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ด้วยเครื่อง vortex ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร

5. อ่านค่าคอเลสเตอรอลจากสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณคอเลสเตอรอล} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง} \times \text{ความเข้มข้นคอเลสเตอรอลมาตรฐาน}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของคอเลสเตอรอลมาตรฐาน}}$$

(mg/dl)

การวัดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง

ใช้วิธีการตรวจวัด cholesterol ในไข่แดงด้วยเครื่อง gas chromatography ตามวิธีการของ ฝ่ายเคมีอาหาร สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา จังหวัดนครปฐม ซึ่งอ้างอิงตาม วิธีของ Will and Greenfield (1984)

อุปกรณ์

1. เครื่อง gas chromatography ซึ่งมีรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

Columns	: GC Column ZB-1 (P/N 7HG-G001-11)
	30 meter x 0.25 mm x 0.25 um
Detector	: Flame ionized detector (FID)
Carrier gas	: Helium, 10 ml/min, flow rate 10 cm/sec
Temperature Program	
	: column limit temperature 350 องศาเซลเซียส
	: injector temperature 310 องศาเซลเซียส
	: detector temperature 325 องศาเซลเซียส
	: oven initial temperature 305 องศาเซลเซียส
	: oven final temperature 305 องศาเซลเซียส
Inlet	: split ration 75:1
	: split flow 44.9 ml/min
Inject	: ครึ่งละ 1.0 ไมโครลิตร

2. water bath
3. rotary evaporator
4. hot air oven
5. homogenizer

สารเคมี

1. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์
2. dimethylformamide (DMF)
3. dimethyldichlorosilane (DMCS)
4. hexamethyldisilazane (HMDS)
5. trimethylchlorosilane (TMCS)
6. n-heptane
7. ethanol ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์
8. petroleum ether
9. methanol
10. isopropanol
11. สารละลายคอเลสเตอรอลมาตรฐาน (standard cholesterol solution)
12. สารละลาย 5 α -cholestane มาตรฐาน (internal standard 5 α -cholestane solution)

การเตรียมสารเคมี

1. 50 % KOH
 - ชั่ง KOH 150 g ละลายในน้ำกลั่น 150 ml
 - ใส่ในขวดที่ป้องกันแสง และเก็บไว้ในตู้เย็น
2. 10% DMCS
 - เท DMCS 10 ml ใส่ใน volumetric flask ที่มี toluene 90 ml
3. standard cholesterol solution ความเข้มข้น 5 mg/ml
 - ชั่ง standard cholesterol (500 mg) 0.5 g ใส่ใน volumetric flask ที่มี isopropanol 100 ml
 - ใส่ในขวดที่ป้องกันแสง และเก็บไว้ในตู้เย็น

4. internal standard 5 α –cholestane solution ความเข้มข้น 0.2 mg/ml
 - นำ 5 α –cholestane 100 mg ใส่ใน volumetric flask ที่มี heptane 500 ml
 - ใส่ในขวดที่ป้องกันแสง และเก็บไว้ในตู้เย็น

วิธีการ

1. การเตรียม silanized test tubes

- 1.1 ล้างหลอดทดลองด้วยการเท methanol จนถึงปากหลอดทีละหลอด แล้วเท methanol ออกจากหลอดทดลองทุกหลอด
- 1.2 อบแห้งใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
- 1.3 นำหลอดทดลองออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
- 1.4 เท 10% DMCS (ในสารละลาย toluene) ลงในหลอดทดลองทีละหลอดจนถึงปากหลอดและปิดฝาให้สนิท ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
- 1.5 เท 10% DMCS ออก (เก็บไว้ใช้ได้)
- 1.6 ล้างด้วย methanol อีก 2 รอบ
- 1.7 อบให้แห้งใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
- 1.8 นำหลอดทดลองมาใช้ได้

หลังจากใช้ทุกครั้ง

- 1.9 ล้างหลอดทดลองด้วยน้ำกลั่น 2 รอบและ methanol 3 รอบ
- 1.10 นำไปอบให้แห้งใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ก่อนนำกลับมาใช้ใหม่

2. การเตรียม standard cholesterol solution ความเข้มข้น 5 mg/ml

- 2.1 คัดสารละลายคอเลสเตอรอลมาตรฐาน 0.4, 0.8, 1.2 และ 1.6 ml ใส่ลงในขวดก้นกลม (ซึ่งจะมีความเข้มข้น 2, 4, 6 และ 8 mg/ml ตามลำดับ)
- 2.2 ระเหยแห้งด้วย rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
- 2.3 เติม DMF 3 ml และเขย่าให้เข้ากันประมาณ 30 วินาที (เพื่อละลายส่วนที่เหลือออกจากการระเหย)
- 2.4 คัดสารละลาย DMF ออกมา 1 ml ใส่ใน silanized test tubes (ทำใน hood)

- 2.5 เติม HMDS 0.4 ml ในทุกหลอด
- 2.6 เติม TMCS 0.2 ml ในทุกหลอด (ระวังควันสีขาวที่เกิดขึ้น)
- 2.7 ปิดฝาหลอดทดลองให้แน่น เขย่าอย่างแรงประมาณ 30 วินาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 15 นาที
- 2.8 เติมสารละลาย internal standard 5 α -cholestane 1 ml
- 2.9 เติมน้ำกลั่น 10 ml ในหลอดทดลองทุกหลอด เขย่าอย่างแรงประมาณ 1 นาที
- 2.10 ดูดส่วนบน (ส่วนใส) ใส่ในขวดขนาดเล็ก (vial) ประมาณ 1 ml เพื่อเก็บไว้ฉีดเข้าเครื่อง gas chromatography
- 2.11 ฉีดส่วนที่สกัดแล้ว 1 ไมโครลิตร เข้าเครื่อง gas chromatography เพื่อทำการฟิสิกส์มาตรฐาน

3. การเตรียมตัวอย่างไข่แดง

- 3.1 นำไข่แดงมาตีให้เข้ากันด้วยเครื่อง homogenizer
- 3.2 ชั่งตัวอย่างไข่แดงประมาณ 0.2 g ใส่ในหลอดทดลองที่มีฝาปิด
- 3.3 เติม 95% ethanol 4 ml (ทำใน hood)
- 3.4 เติม 50% KOH ปิดฝาหลอดทดลองให้แน่น
- 3.5 เขย่าหลอดทดลองอย่างแรงประมาณ 15 วินาที
- 3.6 อุณหภูมิหลอดทดลองใน water bath ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส refluxes ประมาณ 1 ชั่วโมง (เขย่าหลอดทดลองอย่างแรงประมาณ 15 วินาที ทุก 15 นาที)
- 3.7 นำหลอดทดลองออกจาก water bath ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 3.8 เติมน้ำกลั่น 2.5 ml
- 3.9 เติม petroleum ether 5 ml เขย่าอย่างแรงประมาณ 15 วินาที
- 3.10 ทิ้งให้แยกชั้น แล้วใช้ pasteur pipettes ดูดส่วนบน (ส่วนใส) ใส่ขวดกั่นกลม (สกัดซ้ำด้วย petroleum ether 5 มิลลิลิตร และแยกส่วนใสใส่ขวดกั่นกลมใบเดิม ทำแบบนี้ซ้ำกัน 4 ครั้ง)
- 3.11 ระเหยแห้งด้วย rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 นาที
- 3.12 เติม DMF 3 ml และเขย่าให้เข้ากันประมาณ 30 วินาที (เพื่อละลายส่วนที่เหลือจากการระเหยออก)
- 3.13 ดูด DMF ออกมา 1 ml ใส่ใน silanized test tube (ใน hood)
- 3.14 เติม HMDS 0.4 ml ในทุกหลอด
- 3.15 เติม TMCS 0.2 ml ในทุกหลอด (ระวังควันสีขาวที่เกิดขึ้น)

3.16 ปิดฝาหลอดทดลองให้แน่น เขย่าอย่างแรงประมาณ 30 วินาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 15 นาที

3.17 เติมสารละลาย internal standard 5α -cholestane 1 ml

3.18 เติมน้ำกลั่น 10 ml ในหลอดทดลองทุกหลอด เขย่าอย่างแรงประมาณ 1 นาที

3.19 ดูดส่วนบน (ส่วนใส) ใส่ในขวดขนาดเล็ก (vial) ประมาณ 1 ml เพื่อเก็บไว้ฉีดเข้าเครื่อง gas chromatography

3.20 ฉีดส่วนที่สกัดเสร็จแล้ว 1 ไมโครลิตร เข้าเครื่อง gas chromatography เพื่อหาพื้นที่ใต้กราฟ ของ 5α -cholestane และคอเลสเตอรอลในไข่แดง

4. การคำนวณ

$$\text{Response factor (RF)} = \frac{\text{พื้นที่ของคอเลสเตอรอล}}{\text{พื้นที่ของ } 5\alpha\text{-cholestane} \times \text{ความเข้มข้นของคอเลสเตอรอล (mg/mg)}}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณคอเลสเตอรอล} &= \frac{\text{พื้นที่ของคอเลสเตอรอลในตัวอย่าง}}{\text{พื้นที่ของ } 5\alpha\text{-cholestane} \times \text{RF} \times \text{น้ำหนักไข่แดง (กรัม)}} \\ (\text{มิลลิกรัม / กรัม ไข่แดง}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณคอเลสเตอรอล} &= \text{ปริมาณคอเลสเตอรอล} \times \text{น้ำหนักไข่แดงต่อฟอง} \\ (\text{มิลลิกรัม / กรัม ไข่แดง}) & \quad (\text{กรัม}) \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข
ตารางผลการทดลอง

**ตารางผนวกที่ 1 อุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด-สูงสุด ภายในโรงเรือนของ
การทดลองช่วงที่ 1 (วันที่ 4 ก.ย. ถึงวันที่ 1 ต.ค. 2551)**

วันที่	อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด (เปอร์เซ็นต์)	ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด (เปอร์เซ็นต์)
1	25	30	79	84
2	26	29	82	84
3	26	30	83	85
4	25	30	84	85
5	26	30	84	86
6	24	29	83	84
7	26	30	83	86
8	24	28	83	85
9	24	28	84	85
10	25	29	83	84
11	26	30	84	85
12	26	30	80	83
13	26	29	81	83
14	25	28	82	82
15	27	30	81	83
16	25	30	82	84
17	24	29	83	83
18	25	28	82	83
19	25	29	79	82
20	26	29	79	79
21	27	30	78	80
22	27	30	78	79
23	27	30	80	82
24	26	31	81	82
25	26	30	80	82
26	26	30	82	84
27	26	30	80	81
28	25	28	83	85

**ตารางผนวกที่ 2 อุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด-สูงสุด ภายในโรงเรือนของ
การทดลองช่วงที่ 2 (วันที่ 2 ต.ค. ถึงวันที่ 29 ต.ค. 2551)**

วันที่	อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด (เปอร์เซ็นต์)	ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด (เปอร์เซ็นต์)
1	26	29	84	85
2	25	28	84	85
3	25	30	83	85
4	26	30	83	86
5	27	29	83	85
6	26	31	83	85
7	26	20	83	85
8	26	29	83	85
9	26	30	85	89
10	28	30	84	86
11	28	31	85	87
12	29	31	85	87
13	26	31	85	86
14	27	30	86	87
15	26	30	85	85
16	27	30	84	85
17	26	30	83	85
18	25	29	85	87
19	24	29	86	87
20	25	29	84	87
21	26	30	85	87
22	26	30	86	86
23	26	28	86	88
24	26	29	86	88
25	25	28	86	89
26	25	29	86	89
27	25	28	86	88
28	24	28	87	88

**ตารางผนวกที่ 3 อุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด-สูงสุด ภายในโรงเรือนของ
การทดลองช่วงที่ 3 (วันที่ 30 ต.ค. ถึงวันที่ 26 พ.ย. 2551)**

วันที่	อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด (เปอร์เซ็นต์)	ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด (เปอร์เซ็นต์)
1	25	29	87	88
2	24	28	85	88
3	25	30	85	89
4	26	30	85	86
5	25	28	85	86
6	26	28	85	87
7	24	28	84	86
8	25	28	83	86
9	25	28	83	85
10	25	29	83	85
11	25	29	83	85
12	24	29	76	82
13	23	27	74	83
14	22	26	73	81
15	21	27	73	79
16	21	26	73	77
17	23	28	73	77
18	25	29	72	78
19	25	29	72	82
20	24	28	72	82
21	25	27	72	78
22	24	28	74	79
23	22	27	74	77
24	23	27	78	81
25	25	28	75	81
26	24	28	75	81
27	24	28	75	78
28	23	27	75	78

**ตารางผนวกที่ 4 อุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด-สูงสุด ภายในโรงเรือนของ
การทดลองช่วงที่ 4 (วันที่ 27 พ.ย. ถึงวันที่ 24 ธ.ค. 2551)**

วันที่	อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด (เปอร์เซ็นต์)	ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด (เปอร์เซ็นต์)
1	22	27	75	78
2	22	28	77	78
3	21	26	75	78
4	20	24	76	78
5	20	26	67	70
6	22	26	68	73
7	23	27	69	77
8	23	29	71	75
9	23	28	73	74
10	23	29	71	75
11	22	28	71	75
12	21	27	72	76
13	19	26	71	74
14	17	27	69	75
15	18	27	70	75
16	17	27	72	76
17	17	28	73	74
18	20	26	72	76
19	21	28	72	76
20	19	28	72	76
21	20	28	71	75
22	19	27	70	75
23	18	27	69	73
24	19	28	70	72
25	19	29	70	75
26	20	29	72	76
27	21	28	72	75
28	20	27	72	75

**ตารางผนวกที่ 5 อุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด-สูงสุด ภายในโรงเรือนของ
การทดลองช่วงที่ 5 (วันที่ 25 ธ.ค. 2551 ถึงวันที่ 21 ม.ค. 2552)**

วันที่	อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด (เปอร์เซ็นต์)	ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด (เปอร์เซ็นต์)
1	23	27	71	76
2	22	27	68	76
3	22	28	73	76
4	21	28	75	76
5	23	28	73	76
6	22	27	73	77
7	22	26	72	77
8	22	26	70	73
9	21	26	70	73
10	21	28	70	74
11	20	27	71	76
12	20	28	74	76
13	21	28	73	76
14	19	28	73	75
15	20	28	73	75
16	20	26	70	73
17	18	24	66	70
18	16	24	65	67
19	16	24	65	68
20	17	24	65	67
21	17	25	66	67
22	17	25	66	68
23	17	25	66	69
24	17	26	66	68
25	18	28	67	70
26	18	28	67	70
27	17	29	69	73
28	18	27	71	73

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	ทรงพล ลือชา
เกิดวันที่	3 พฤษภาคม 2525
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนสารสิทธิ์พิทยาลัย จังหวัดราชบุรี (พ.ศ. 2544) วท.บ. (วิทยาศาสตร์บัณฑิต) มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี (พ.ศ. 2548)