**รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์**

# ผลการเสริมน้ำมันกระเทียมที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

# Effects of supplementation of garlic oil coated by polymer on production performance and egg quality

**โดย**


**คณะผู้วิจัย**

**รศ. สุธา วัฒนสิทธิ์**
**ศ.ดร. ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสาง**


**พ.ศ. 2563**

# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลการเสริมน้ำมันกระเทียมที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่
Effects of supplementation of garlic oil coated by polymer on production performance and egg quality


| คณะผู้วิจัย | สังกัด |
|---|---|
| 1. รองศาสตราจารย์ สุธา วัฒนสิทธิ์ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 2. ศาสตราจารย์ ดร. ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสาง | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |



**งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประเภททั่วไป ประจำปี พ.ศ. 2561 รหัสโครงการ NAT610535S**

# กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง ผลการเสริมน้ำมันกระเทียมที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ ได้ดำเนินการและสำเร็จตามวัตถุประสงค์ โดยได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยประเภททั่วไป ประจำปี 2561 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาเลขที่ NAT610535S คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ที่กรุณาให้การสนับสนุนทุนวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณคณบดีคณะทรัพยากรธรรมชาติ คณบดีคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ฟาร์มสัตว์ปีก สาขานวัตกรรมการผลิตสัตว์และการจัดการ ที่ให้การสนับสนุนห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์สำหรับทำวิจัยเป็นอย่างดี

**คณะผู้วิจัย**

# บทคัดย่อ

การศึกษาฤทธิ์ของน้ำมันกระเทียมที่เสริมในอาหารที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ โดยมีความเข้มข้นของสาร diallyl disulfide (DADS) และ diallyltrisul fide (DATS) ในระดับ 0 0.75 1.50 3.0 และ 6.0 กรัม/กิโลกรัม เลี้ยงไก่ไข่สายพันธุ์ Hi-sex brown อายุ 30 สัปดาห์ จำนวน 40 ตัว แต่ละตัวเลี้ยงในกรงขังเดี่ยวเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าอัตราการให้ไข่ มวลไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ดีขึ้นในลักษณะเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ตามระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหาร น้ำหนักไข่ น้ำหนักไข่ขาว สีไข่แดง และความตึงข้นของไข่ขาว (Hu) มีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะเส้นตรง ($P<0.05$) ในขณะที่ น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักเปลือกไข่ ความหนาเปลือกไข่ และ pH ของไข่ขาว มีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะควอดาร์ติก ($P<0.05$) ตามระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหาร

การเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารทำให้ yolk antioxidant activity มีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะเส้นตรง ($P<0.05$) เมื่อวัดโดย phosphomolybdenum method และค่า TBARS ลดลงในลักษณะเส้นตรง ($P<0.05$) ค่า total phenol ในไข่แดงของไก่ทดลองกลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริมน้ำมันกระเทียมในระดับ 0.75, 1.5 และ 6.0 กรัม/กิโลกรัม มีค่าสูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) สำหรับค่าชีวเคมีในเลือดของไก่ทดลองทุกกลุ่มไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

การเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงทั้งในรูป มิลลิกรัม/กรัมของไข่แดง มิลลิกรัม/กรัมของน้ำหนักไข่ และ มิลลิกรัม/ไข่ 1 ฟอง ในวันที่ 28 ของการทดลอง มีค่าลดลงในลักษณะเส้นตรง ($P<0.05$) และ hepatic 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA reductase (HMGRC) activity มีค่าลดลงในลักษณะเส้นตรงและควอดาร์ติก ($P<0.05$) ตามระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหาร เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ (Pearson's correlation) ระหว่าง ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงในรูป มิลลิกรัม/กรัมของไข่แดง มิลลิกรัม/กรัมของน้ำหนักไข่ และ มิลลิกรัม/ไข่ 1 ฟอง กับ ค่า HMGCR activity พบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนประกอบของกรดไขมันในไข่แดงไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ในระหว่างไก่ทดลองที่ได้รับอาหารทดลองกลุ่มต่างๆ จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารในรูป coated granule ที่ระดับ 2.67 กรัม เป็นระดับที่แนะนำให้ใช้ในไก่ไข่โดยสามารถทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในไข่แดงมีค่าต่ำสุดและไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตไข่เพื่อบริโภค

# Abstract

The effect of dietary coated granule (CG) and impact of concentrations of diallyl disulfide (DADS) and diallyl trisulfide (DATS) on changing of egg production, egg quality, yolk antioxidant activities, blood biochemistry, yolk cholesterol, hepatic enzyme activities and yolk fatty acids were investigated. Forty 30-week-old Hi-sex brown laying hens were individually caged and fed with basal diet supplemented with 0 (control), 0.75, 1.5, 3.0 or 6.0 g CG for four weeks. Egg production and egg mass were increased (Linearly $P<0.05$). Feed conversion ratio (FCR) was significantly improved (Linearly $P<0.05$) with increasing levels of dietary CG. Egg weight, albumen weight, yolk color intensity and haugh unit (Hu) increased linearly ($P<0.05$) and there was a quadratic effect ($P<0.05$) of yolk weight, shell weight, shell thickness and albumen pH. Dietary CG significantly increased yolk antioxidant activity measured by phosphomolybdenum method (Linearly $P<0.05$) and significantly lowered Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) value (Linearly $P<0.05$) with increasing levels of dietary CG. Higher total phenol contents of egg yolk than that of control were shown by supplementing levels at 0.75, 1.5 and 6.0 g CG. No reponse was observed on blood biochemistry values due to treatment as compared with control. Significant decreases were especialy pointed at each term of mg/g yolk, mg/g egg and mg/egg of yolk cholesterol at 28 d and hepatic 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA reductase (HMGRC) activity due to treatment (Linearly and Quadratic $P<0.05$). Pearson's correlation coefficients with each term of mg/g yolk, mg/g egg and mg/egg of yolk cholesterol at 28 d were statistically significant ($P<0.01$) for the reduction of HMGCR activity. Compositions of yolk fatty acid, however, were not different due to treatment. Hence, based on the minimum content of yolk cholesterol (mg/egg) and dietary CG level presented in this report, a dietary 2.67 g CG level was recommended without negative impacts on other important paremeters of egg production for consumption.

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| กิตติกรรมประกาศ | ก |
| บทคัดย่อ | ข |
| Abstract | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | จ |
| สารบัญภาพ | ฉ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการ | 2 |
| บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.1 การสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในไข่แดง | 3 |
| 2.2 น้ำมันกระเทียม | 3 |
| 2.3 บทบาทของอัลลิซินในการลดไขมันและคอเลสเตอรอล | 4 |
| 2.4 การเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารไก่ไข่ | 5 |
| 2.5 การประยุกต์ใช้พอลิเมอร์เคลือบสาร | 6 |
| บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย | 8 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ | 12 |
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ | 27 |
| บทที่ 6 เอกสารอ้างอิง | 28 |
| ภาคผนวก | 33 |

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**


ตารางที่ 1 วัตถุดิบและส่วนประกอบของอาหารทดลอง 9
ตารางที่ 2 องค์ประกอบและสัดส่วนของเม็ดแกรนนูล 12
ตารางที่ 3 ลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดแกรนนูล 12
ตารางที่ 4 สารออกฤทธิ์ของน้ำมันกระเทียมที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ และที่ไม่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ 13
ตารางที่ 5 ผลของน้ำมันกระเทียมที่เสริมในอาหารที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อสมรรถภาพการให้ไข่ 15
ตารางที่ 6 ผลของน้ำมันกระเทียมที่เสริมในอาหารที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อคุณภาพไข่ 17
ตารางที่ 7 ผลของน้ำมันกระเทียมที่เสริมในอาหารที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อกิจกรรมแอนติออกซิแดนซ์ในไข่แดง 18
ตารางที่ 8 ส่วนประกอบของคอเลสเตอรรอลในไข่แดงของไก่ที่ได้รับอาหารทดลอง 7 14 และ 28 วัน 22
ตารางที่ 9 ผลของการเสริมน้ำมันกระเทียมที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ในอาหารต่อกิจกรรมของเอนซัยตับ 23
ตารางที่ 10 สหสัมพันธ์ระหว่างคอเลสเตอรอลในไข่แดงกับเอ็นซัยตับ 24
ตารางที่ 11 ผลของการเสริมน้ำมันกระเทียมที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่แดง 25

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| ภาพที่ 1 | สูตรโครงสร้างทางเคมีของอัลลิซิน | 4 |
| ภาพที่ 2 | HPLC of garlic oil diallyl disulfide (DADS) and diallyl trisulfide (DATS) active ingredients in coated granule (CG). | 13 |
| ภาพที่ 3 | (a) Release of DADS and DATS from coated granules under 2-stage dissolution. | 14 |
| ภาพที่ 4 | (b) Release of DADS and DATS in PBS pH 6.5 from granules coated with Eudragit® S100. | 14 |
| ภาพที่ 5 | Haematological parameters of laying hens fed with the dietary CG supplementation at 7, 14 and 28 d of the experiment. | 20 |
| ภาพที่ 6 | The optimal supplementing level was estimated using overall yolk Cholesterol (mg/egg) and coated granule (g) applying on two slop broken-line regression analysis. | 24 |

# สารบัญภาพภาคผนวก


| ภาพที่ | หน้า |
|---|---|
| ภาพภาคผนวกที่ 1 การเตรียมส่วนผสมสำหรับทำเม็ด granule | 33 |
| ภาพภาคผนวกที่ 2 การขึ้นรูป core granule | 33 |
| ภาพภาคผนวกที่ 3 ตระแกรงขนาด 0.5 mm. | 33 |
| ภาพภาคผนวกที่ 4 เม็ด granule ที่ผ่านการแยกขนาด (size) | 34 |
| ภาพภาคผนวกที่ 5 การเคลือบเม็ด granule ด้วยพอลิเมอร์ Eudragit@L100 | 34 |
| ภาพภาคผนวกที่ 6 ไม่มีลักษณะการแตกตัวของเม็ด granule | 34 |
| ภาพภาคผนวกที่ 7 ผลิตภัณฑ์ coated granule ขนาด 0.5 mm. | 34 |
| ภาพภาคผนวกที่ 8 อาหารทดลองเป็นอาหารอัดเม็ด | 35 |
| ภาพภาคผนวกที่ 9 ไก่ทดลองเลี้ยงบนกรงตับขังเดี่ยว | 35 |
| ภาพภาคผนวกที่ 10 เครื่องวัดความหนาเปลือกไข่ไก่ DET6500 | 36 |
| ภาพภาคผนวกที่ 11 การวัดคุณภาพไข่ | 36 |

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยมีการส่งออกไข่สดประมาณ 340.37 ล้านฟอง และมีแนวโน้มการบริโภคไข่เพิ่มขึ้นต่อเนื่องทั้งในและต่างประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) จากการขยายตัวในภาคอุตสาหกรรมทำให้สภาพการเลี้ยงไก่ไข่ต่อพื้นที่หนาแน่นเกินไปนำมาสู่สภาวะเครียดและติดเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคได้ง่าย การแก้ปัญหาจึงนำมาสู่การใช้ยาปฏิชีวนะติดต่อกันเป็นเวลานานจนเป็นเหตุให้มีสารตกค้างและเชื้อดื้อยา (Han, 2007) ซึ่งสหภาพยุโรปไม่ยอมรับสินค้าปศุสัตว์ที่ปนเปื้อนยาปฏิชีวนะ (Kogut and Arsenault, 2016) นอกจากนี้ไข่ไก่ 1 ฟอง ยังมี cholesterol สูงถึง 275 มิลลิกรัม (Spence et al., 2010) ซึ่งถูกมองว่าเป็นแหล่งคอเลสเตอรอลหลักในอาหาร การศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่า dietary cholesterol ที่เพิ่มขึ้นอาจเพิ่มความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจ (coronary heart disease) (Lim et al., 2006) ในการลดคอเลสเตอรอลในไก่ไข่ด้วยการเสริมยา pravastatin (0.06%) สามารถลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ถึง 20% การเสริม simvastatin ที่ระดับ 0.03 และ 0.06% สามารถลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ถึง 18.7 และ 17.2% (Kim et al., 2004) และการเสริม atorvastatin, lovastatin และ simvastatin ที่ระดับ 0.06% สามารถลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ถึง 46, 7 และ 22% (Elkin et al., 1999) อย่างไรก็ตามผู้บริโภคกลุ่มหนึ่งยังมีความกังวลและหลีกเลี่ยงการบริโภคไข่ในแต่ละมื้อเพื่อควบคุมปริมาณคอเลสเตอรอลไม่ให้เกิน 300 มิลลิกรัม/วัน (National Institutes of Health Consensus Development Panel, 1985; Kim et al., 2004) จากปัญหาดังกล่าวและข้อเรียกร้องในด้านความปลอดภัยทางอาหารโดยเฉพาะไก่ไข่ควรได้รับสารเสริมจากธรรมชาติเพื่อบำรุงสุขภาพและดีต่อผลผลิตไข่ซึ่งทำให้ผู้บริโภคมีความพึงพอใจและไร้ความกังวลที่จะบริโภคไข่ในแต่ละมื้อ ดังนั้นการใช้สมุนไพรที่มีสารออกฤทธิ์คล้ายยาปฏิชีวนะ ย่อยสลายได้ ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค สามารถลดจุลินทรีย์ก่อโรคและคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ แต่ยังคงคุณสมบัติช่วยกระตุ้นการกินอาหาร การย่อย เพิ่มสมรรถภาพการผลิต และปรับปรุงคุณภาพไข่จึงยังมีความจำเป็น

น้ำมันกระเทียม (garlic essential oil) มีสารสำคัญได้แก่ allicin, ajoene และสารอนุพันธ์อื่นๆ ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบซึ่งมีฤทธิ์เป็น antibacterial (Cavallito et al., 1994) ที่ฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบ รา ไวรัส และโปรโตซัว (Ankri and Mirelman, 1999), anti-inflammatory (Wilson and Demming-Adams, 2007), antioxidant biological properties (Chan, 2013) ช่วยเสริมการย่อยและระบบขับถ่าย ลดคอเลสเตอรอลในเลือดและไขมันทั้งหมดโดยเฉพาะชนิด low-density lipoprotein cholesterol (Kendler, 1987) นอกจากนี้การเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารไก่ไข่ช่วยปรับปรุงคุณภาพไข่ (Alfadhli et al., 2012) ปรับปรุงแอลบูมินในไข่ขาว ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ มวลไข่ และน้ำหนักเปลือก (Mahmoud et al., 2010) และยังลด total cholesterol, LDL ในไข่แดง แต่เพิ่ม HDL (Poltowicz and Wesyk, 2005) อย่างไรก็ตามสารออกฤทธิ์ในน้ำมันกระเทียมค่อนข้างขาดความคงตัวและระเหยได้ง่าย ทำให้สารเสื่อมสภาพเร็วก่อนที่เดินทางถึงบริเวณเป้าหมาย นอกจากนี้อากาศ แสง ความชื้น และความร้อนทำให้สารเสื่อมสภาพได้เร็วเช่นกัน (Velasco et al., 2013) ปัจจุบันการใช้เทคโนโลยีห่อหุ้มช่วยป้องกันการเสื่อมสลายของสารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยและยังสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารได้ตรงเป้าหมาย จากการศึกษาของ Ma และคณะ (2016) รายงานว่า น้ำมันอบเชยที่ผสมกับ adsorbent power และเคลือบด้วยพอลิเมอร์ Eudragit® ผลิตภัณฑ์ core granules ที่ได้สามารถบรรจุน้ำมันอบเชยได้สูง 48% wt/wt และ

ปลดปล่อยสารได้มากกว่า 80% ภายใน 2 ชั่วโมงในสภาวะจำลองของลำไส้ นอกจากนี้ European Food Safety Authority (2015) ทดลองเคลือบน้ำมันก้านพลูด้วยพอลิเมอร์ Eudragit (L 30 D-55) เพื่อควบคุมการปลดปล่อยสารพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีการสูญเสีย eugenol หลังจาก 6 เดือน โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการใช้เทคนิคการเคลือบสารด้วยพอลิเมอร์ และเมื่อผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทดสอบในระดับ in vitro แล้วจะนำมาเสริมในอาหารให้ไก่ไข่กิน เพื่อศึกษากลไกการทำงานของน้ำมันกระเทียมที่ผ่านการเคลือบต่อผลผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่และพลาสมา

**1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย**

1. ศึกษาผลการเคลือบน้ำมันกระเทียมด้วยพอลิเมอร์ต่อความคงตัวของสารออกฤทธิ์
2. ศึกษาผลการเสริมของน้ำมันกระเทียมที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดงและพลาสมา

**1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย**

ศึกษาผลของน้ำมันกระเทียมที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อความคงตัวของสารออกฤทธิ์ สมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดงและพลาสมา

**ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย**

1. น้ำมันกระเทียมที่ถูกเคลือบด้วยพอลิเมอร์สามารถเก็บรักษาสารสำคัญได้นานขึ้น
2. น้ำมันกระเทียมที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์สามารถทำให้สมรรถการผลิตสูงขึ้น คุณภาพไข่ดีขึ้น และลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง

# บทที่ 2
# การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้ประกอบด้วยการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในไข่แดง น้ำมันกระเทียม บทบาทของสารออกฤทธิ์สำคัญในน้ำมันกระเทียม การเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารไก่ไข่ และการประยุกต์ใช้พอลิเมอร์เคลือบสาร

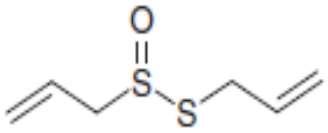
**การสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในไข่แดง**

ในไก่ไข่ (laying hens) คอเลสเตอรอลถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ตับและผ่านพลาสมาในรูปของ very low density lipoprotein (VLDL) ซึ่ง VLDL ถูกส่งต่อไปยังรังไข่ (ovary) และเจริญพัฒนาต่อไปเป็นไข่ (chicken oocyte) (Burley *et al.*, 1984; George *et al.*, 1987; Elkin and Rogler, 1990) ผ่านการนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวรับ (receptor-mediated endocytosis) อย่างไรก็ตามปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยได้แก่ อายุ ชนิด สายพันธุ์ของไก่ไข่ ซึ่งการปรับปรุงสายพันธุ์สามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้สูงสุดเพียง 7% เท่านั้น (Hargis, 1988; Kim *et al.*, 2004) และอาหารที่อุดมด้วยไขมันและใยอาหารมีผลโดยตรงต่อการสะสมไขมันในไข่แดง (egg yolk lipid composition) จึงค่อนข้างทำได้ยากที่จะลดการสะสมไขมันในไข่แดง (Elkin and Rogler, 1990) และไม่ค่อยประสบความสำเร็จมากนักในการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงจากปัจจัยด้านอาหาร (Kim *et al.*, 2004) แต่อย่างไรก็ตามคอเลสเตอรอลในไข่แดงไม่มีความสัมพันธ์กับผลผลิตไข่ (egg production) และขนาดไข่ (egg size) (Elkin and Rogler, 1990) ในไข่ 1 ฟองประกอบด้วยเปลือกไข่ประมาณ 10.1% ไข่ขาวประมาณ 59.6% และไข่แดงประมาณ 30.2% โดยรวมมีส่วนที่กินได้ (edible portion) ประมาณ 89.8% สำหรับกรดไขมันที่มีเป็นองค์ประกอบอยู่ในไข่ ได้แก่ palmitic, stearic, palmitoleic, oleic, linoleic, arachidonic, docosahexaenoic, total lipids, total SFA, total MUFA, total n-6, total n-3, total PUFA และ n-6:n-3 (26.1, 8.9, 3.2, 42.6, 16.2, 2.0, 0.7, 25.1, 35.2, 45.8, 18.2, 0.7, 18.9 และ 27.3% ตามลำดับ) (Cherian *et al.*, 2002) ในส่วนของคอเลสเตอรอลที่มีอยู่ในไข่แดงสูงถึงประมาณ 275 มิลลิกรัม (Spence *et al.*, 2010) และยังมีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น โปรตีน กรดแอมิโน วิตามินและแร่ธาตุ เป็นต้น

**น้ำมันกระเทียม**

น้ำมันกระเทียม (garlic volatile oils) มีรสและกลิ่นที่ให้ฤทธิ์ทางยาดีต่อสุขภาพ ปัจจุบันถูกนำมาประยุกต์ใช้แบบผสมผสานหรือการแพทย์ทางเลือกใหม่จนได้รับความนิยมทั้งในและต่างประเทศ สำหรับองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันกระเทียมได้แก่ alliin, allicin, ajoene, (Newall *et al.*, 1996), allyl disulfide และ diallyl disulfide (มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2010) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีกำมะถัน (S) เป็นองค์ประกอบหลัก (organosulfur) (Omar and Wabel, 2010) อัลลิซิน (allicin) หรือไดอัลลิลไทโอซัลฟิเนต (diallyl-thiosulfinate) เป็นสารออกฤทธิ์หลักในน้ำมันกระเทียม (Cavallito and Bailey, 1994; Rahman, 2007) มีลักษณะเป็นน้ำมันสีเหลือง กลิ่นฉุน มีสูตรโครงสร้างคือ $CH_2$=$CHCH_2$=S(O)$SCH_2CH$=$CH_2$ (Lowson *et al.*, 1991) ดังแสดงในภาพที่ 1 อัลลิซิน เป็นสารที่ไม่เสถียร และสลายตัวได้ง่าย รวมทั้งสารออกฤทธิ์ตัวอื่นๆ ในน้ำมันกระเทียม (Lanzotti, 2006) อัลลิซิน มีโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำ (Weiner *et al.*, 2008) ทำให้การผสมเข้ากันได้ต่ำในน้ำ (Chabria and Desai, 2016) และเสื่อมสลายได้ง่ายด้วยปัจจัยภายนอก เช่น ในตัวทำละลายต่างๆ (organic solvents) และอุณหภูมิ เป็นต้น อัลลิซิน มีอายุอยู่ประมาณ 1 ปี (half-life of allicin)

โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C ก่อนที่สารเสื่อมสลายไปเองตามธรรมชาติ (Fujisawa *et al.*, 2008b; Chan *et al.*, 2013) ปริมาณสารอัลลิซินลดลงในช่วง 30-40 วัน ที่อุณหภูมิ 23 °C (Okada *et al.*, 2005; Chan *et al.*, 2013) และ 1 วัน ที่อุณหภูมิ 37 °C (Fujisawa *et al.*, 2008b; Chan *et al.*, 2013)



**ภาพที่ 1** สูตรโครงสร้างทางเคมีของอัลลิซิน (allicin)
**ที่มา :** Chabria and Desai (2016)

สารตั้งต้นที่ให้กลิ่นฉุนเป็นเอกลักษณ์ของกระเทียมคือ alliin แต่สำหรับ allicin เป็นสารที่ไม่พบในธรรมชาติโดยสารนี้เกิดขึ้นได้ต่อเมื่อกระเทียมถูกทุบตีหรือโดนทำลาย ความบาดเจ็บที่หัวกระเทียม (garlic bulb) กระตุ้นเอนไซม์ allinase ที่อยู่ในกระเทียมให้เมแทบอไลท์ alliin เปลี่ยนเป็น allicin (Stoll and Seekbeck, 1951) จากนั้น allicin ซึ่งเป็นสารที่ไม่เสถียร สลายตัวได้สารกลุ่ม sulfides อื่นๆ ที่ถูกเมแทบอไลท์ต่อเป็น diallyl sulphide, diallyl disulfide, diallyl trisulfide, allyl methyl trisulfide, dithiins, vinyldithiines และ ajone (Omar and Wabel, 2010) ซึ่งกรดซัลฟินิกหลายชนิด (R-SOH) กลุ่ม R อาจเป็นได้ทั้งหมู่ allyl ($CH_2$=$CHCH_2$) I-propenyl ($CH_3CH$=$CH$), methyl ($CH_3$) หรือ propyl ($C_3H_7$) และ pyruvate ($CH_3C(O)CO^-_2$) และแอมโมเนีย ($NH_3$) (Block and Hughe, 1992 อ้างโดย พัชรีวรรณ, 2549)

**บทบาทของอัลลิซินในการลดไขมันและคอเลสเตอรอล**

สารอัลลิซินและสารประกอบอื่นๆ ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น S-allyl cysteine, diallyl sulfide, diallyl disulfide, diallyl trisulfide, dimethyl disulfide, diethyl disulfide, diproply disulfide ซึ่งสารประกอบจำพวก allyl และกลุ่ม sulfide สามารถกระตุ้นการผลิตและหลั่งฮอร์โมน norepinephrine จากระบบประสาทซิมพาเธติก (sympathetic nervous system) ไปมีผลกระตุ้นการสลายไตรกลีเซอไรด์ที่เก็บสะสมในเนื้อเยื่อและในส่วนต่างๆ ของร่างกาย โดยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ไลเปสเพื่อสลายไตรกลีเซอร์ไรด์ได้เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล (Oi *et al.*, 1999 อ้างโดย พัชรีวรรณ, 2549)

กระเทียมสามารถทำให้ระดับคอเลสเตอรอลต่ำลงและยังช่วยลด lipid peroxidation เพื่อยับยั้งการสร้างแผ่นพลาค (plaque formation) ที่ประกอบด้วยไขมัน และสารต่างๆ ในเลือดซึ่งส่งผลให้ผนังหลอดเลือดแข็งตัว (Gebreyohannes and Gebreyohannes, 2013) จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการ พบว่ากระเทียมมีความสามารถยับยั้ง LDL และเพิ่มความต้านทานของ LDL ต่อการเกิดออกซิเดชัน (Lau, 2006; Gebreyohannes and Gebreyohannes, 2013) ในการศึกษาผู้ป่วยเบาหวานที่ได้รับ allicin ที่ระดับ 1.3% พบว่าทำให้ total blood cholesterol และ LDL ต่ำลง และมี HDL เพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะว่าอัลลิซินสามารถยับยั้ง hydroxymethylglutaryl-CoA reductase (HMG-CoA) ได้ (Ashraf *et al*. 2005) ส่วนการศึกษาในหนูทดลองที่ได้รับ garlic power ที่มี 0.6% allicin ทำให้ระดับ cholesterol และ triglycerides ลดลง (Ali *et al.*, 2000) สาร s-allyl cysteine sulfoxide (SACS) ที่แยกจากกระเทียมช่วยกระตุ้นการหลั่งอินซูลินทั้งจากหนูปกติและหนูที่เหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวาน (Augusti and Sheela, 1996) และอัลลิซินที่เสริมในอาหารหนูไมท์ช่วยป้องกันไม่ให้ตับถูกทำลายเนื่องจากช่วยลดเอนไซม์ aspartate transaminase (AST) and alanine transaminase (ALT) ในพลาสมาได้ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าตับกำลังถูกทำลายและยังช่วยลดการ

สะสมไขมันในตับ (Panyod *et al.*, 2016) แม้ยังไม่ทราบกลไกการทำงานที่แน่ชัดของอัลลิซินแต่นักวิจัยหลายคนเชื่อว่าอัลลิซินสามารถลดคอเลสเตอรอลได้ในเซล์ตับของคน (HepG2 cells) ที่ได้รับอัลลิซินในการรักษา ซึ่งอัลลิซินอาจช่วยยับยั้ง 3-hydroxy-3-methyl glutaryl CoA reductase (HMG-CoA reductase) (Gebhardt *et al.*, 1994; Chan *et al.*, 2013) นอกจากนี้ยังพบว่า อัลลิซินทำให้การสังเคราะห์ fatty acids ต่ำลง โดยการยับยั้ง acetyl-CoA synthetase (Focke *et al.*, 1990; Chan *et al.*, 2013) ช่วยออกซิไดท์ NADPH ซึ่งเป็นสารที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ไขมันและลดการสังเคราะห์ cholesterol ได้ในเวลาเดียวกัน (พัชรินทร์, 2541) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า อะโจอีน ซึ่งเป็นสารอนุพันธ์ของอัลลิซินสามารถช่วยยับยั้งการเกาะกลุ่มกันของเกล็ดเลือดได้ (Naganawa *et al.*, 1996 อ้างโดย พัชรีวรรณ, 2549) และยังสอดคล้องกับรายงานของ Konjufca และคณะ (1997) อ้างโดย พัชรีวรรณ (2549) พบว่า กระเทียมสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ glucose-6-phophatedehydrogenase และ 6-phosphogluconate dehydrogenase ในวิถี pentose phosphate pathway ซึ่งเป็นวิถีที่ผลิต NADPH ที่สำคัญ และยังช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ malic enzyme ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักใน malic-pyruvate (malate-pyruvate cycle) ที่ผลิต NADPH ซึ่งผลผลิต NADPH ที่ได้ถูกนำไปใช้ในขบวนการสังเคราะห์กรดไขมันและคอเลสเตอรอล การที่เอนไซม์ที่ใช้ในขบวนการผลิต NADPH ลดลงหรือผลิตได้ไม่เพียงพอจึงส่งผลให้ลดการสังเคราะห์ไขมันและคอเลสเตอรอลลงได้

**การเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารไก่ไข่**

Mahmoud และคณะ (2010) ทดลองเสริมน้ำมันกระเทียมที่กลั่นด้วยน้ำ (1:1, w/w) ที่ระดับ 0, 3.75, 7.5 และ 15 มิลลิลิตร คิดเป็น 0.25, 0.50 และ 1% ของน้ำหนักตัว (1,489±34.4 กรัม) ตามลำดับ ให้ผ่านทางหลอดสวนกระเพาะอาหาร 3 ครั้งต่อสัปดาห์ พบว่า น้ำหนักไข่ มวลไข่ เพิ่มขึ้น ($P<0.05$) เพิ่มความสูงของไข่ขาว และปรับปรุงคุณภาพไข่ดีขึ้น ($P<0.05$) นอกจากนี้การเสริมน้ำมันกระเทียมยังช่วยลดจำนวนเชื้ออีโคไลตามระดับการใช้ที่เพิ่มขึ้น ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตาม พบว่า การเสริมน้ำมันกระเทียมไม่ได้ทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงแตกต่างจากกลุ่มควบคุม จากการศึกษานี้สรุปได้ว่า การเสริมน้ำมันกระเทียมทุกระดับสามารถปรับปรุงด้านสมรรถภาพการให้ผลผลิต คุณภาพไข่และลดจำนวนเชื้ออีโคไล แต่ระดับการใช้อาจจะไม่เพียงพอที่จะมีอิทธิพลต่อการลดคอเลสเตอรอลในไข่แดง

Alfadhli และคณะ (2012) ทดลองเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0.2, 0.4 และ 0.6% พบว่า การเสริมทุกระดับช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการให้ผลผลิตและคุณภาพไข่สูงตามระดับการเสริม ($P<0.05$) นอกจากนี้ Poltowicz และ Wesyk (2005) ทดลองเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหาร (1 มิลลิลิตรต่ออาหาร 2 กิโลกรัม) และในน้ำของไก่ไข่ (1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 2 ลิตร) ติดต่อกัน 42 วัน พบว่า การเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารและในน้ำมีอัตราการไข่ น้ำหนักไข่ ความหนาของเปลือก และคุณภาพไข่ไม่แตกต่างกันกับกลุ่มควบคุม แต่พบว่า การเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารทำให้ทั้ง total cholesterol, LDL ในไข่แดงลดลงและเพิ่ม HDL ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม สำหรับกลุ่มที่เสริมน้ำมันกระเทียมในน้ำให้ผลเหมือนกัน ($P<0.05$) แต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่เสริมน้ำมันกระเทียมในอาหาร อย่างไรก็ตามมีบางรายงานที่ให้ผลทดลองที่แตกต่าง Reddy และคณะ (1991) รายงานว่า การเสริมน้ำมันกระเทียมที่ระดับ 0.02% ในอาหารไก่ไข่ให้ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และประสิทธิภาพการใช้อาหาร รวมทั้ง total plasma lipid, plasma cholesterol และ yolk cholesterol ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม Adibmoradi และคณะ (2006) รายงานว่า การเสริมกระเทียมในไก่สามารถปรับปรุงความสูงของวิลไล และคริปส์ในส่วนของลำไส้เล็กส่วนต้น

กลาง และปลายได้ นอกจากนี้กระเทียมยังช่วยเสริมกิจกรรมของเอนไซม์จาก pancreatic enzymes ที่เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้จากอาหารในหนูทดลอง (Ramakrishma *et al.*, 2003)

**การประยุกต์ใช้พอลิเมอร์เคลือบสาร**

พอลิเมอร์ (polymer) ที่ใช้เป็นตัวขนส่งยาเข้าสู่ร่างกายทางปากต้องทนต่อสภาวะกรดในกระเพาะและสามารถปลดปล่อยยาในสภาวะที่มีพีเอชสูงกว่าเช่น ภายในลำไส้ พอลิเมอร์ที่มีสมบัติดังกล่าวได้แก่ Eudragit® ซึ่ง ประกอบด้วย methacrylic acid, methyl methacrylate, หรือพวกพอลิเมอร์ที่ดัดแปลงจากเซลลูโลส carboxymethyl cellulose และ cellulose acetate phthalate นอกจากนี้ยังมีพอลิเมอร์อื่นๆ เช่น amylose, guar gum, pectin, chitosan, innulin, cyclodextrin, chondroitin sulphate, locust bean gum และ dextran พอลิแซคคาไรด์เหล่านี้เป็นสารธรรมชาติที่ไม่เป็นพิษต่อร่างกายย่อยสลายได้และมีประโยชน์ต่อร่างกาย (ณัฐวิศิษฏ์, 2557) พอลิเมอร์ในกลุ่ม polymethacrylates ที่นิยมใช้ในทางเภสัชกรรมคือ Eudragit® (ED) มีการใช้งานขึ้นกับคุณสมบัติของ ED ชนิดนั้นๆ อาจแบ่งประเภทของ ED ได้สามกลุ่ม 1) กลุ่ม Eudragit® RS หรือ Eudragit®RL โดยพอลิเมอร์กลุ่มนี้จะไม่ละลายและพองตัวในน้ำแต่จะยอมให้น้ำผ่านได้ จึงนิยมใช้ในตำรับที่ต้องการให้ยาออกฤทธิ์เนิ่น 2) กลุ่ม Eudragit®NE30D หรือ Eudragit®NE40D พอลิเมอร์กลุ่มนี้สามารถละลายน้ำและก่อเจลได้นิยมใช้ในการควบคุมการปลดปล่อยยามีทั้งเตรียมเป็นสารเคลือบและใช้เป็น diluents 3) กลุ่ม Eudragit®S, Eudragit®L, Eudragit®E และ Eudragit®FS พอลิเมอร์กลุ่มนี้นิยมใช้ในการควบคุมการปลดปล่อยยาเฉพาะที่ เช่น รูปแบบ enteric coat (ปลดปล่อยยาที่ลำไส้เล็ก) โดยพอลิเมอร์กลุ่มนี้จะไม่ละลายในกรด (กระเพาะอาหาร) แต่จะละลายในสภาวะที่เป็นกลางหรือด่าง (ลำไส้เล็ก) (กัมปนาท, 2560)

Nastruzzi และคณะ (2000) อ้างโดย อรอนงค์ (2554) ศึกษาการเคลือบเพลเลทของ Ibuprofen ด้วย Eudragit®L30D-55 ซึ่งเป็น Anionic copolymer ของ Methacrylic acid และ Ethyl acrylate ในอัตราส่วน 1:1 มีคุณสมบัติละลายที่พีเอชมากกว่าหรือเท่ากับ 5.5 ทดสอบการปลดปล่อยในการละลาย 0.1 N HCL ที่พีเอชเท่ากับ 1 พบว่าเพลเลทใช้เวลาในการแตกตัวมากกว่าสามชั่วโมง และเมื่อทดสอบการปลดปล่อยตัวยาในสารละลาย 0.05 M Phosphate buffer ที่พีเอชเท่ากับ 6.8 เพลเลทสามารถแตกตัวได้หมดภายใน 20 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่า Eudragit®L30D-55 สามารถป้องกันการแตกตัวในกระเพาะอาหารและปลดปล่อยยาได้อย่างรวดเร็วในลำไส้

Ma และคณะ (2016) ทดลองผสมน้ำมันอบเชย (CIN) กับแป้งดูดซับ (absorbent powder) และกรดไขมัน ด้วยเทคนิคการหดตัวแบบละลายให้แข็งตัว (melt-solidification technique) ซึ่ง core granules ที่ได้สามารถบรรจุ CIN ได้ 48% (wt/wt) จากนั้นนำเม็ด granules ที่ได้มาเคลือบด้วยพอลิเมอร์ชนิด enteric polymer เพื่อเป็นตัวควบคุมการปลดปล่อยสาร พบว่า CIN ที่ถูกกักเก็บไว้ส่วนใหญ่ในน้ำย่อยของกระเพาะที่ผ่านกระตุ้นแล้วสามารถปล่อยสารออกมามากกวา 80% ภายในสองชั่วโมง การออโตออกซิเดชัน (autooxidation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเมื่อไขมันและน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศภายนอกถูกยั้งยังโดยการเพิ่ม 1% vol/vol eugenol ซึ่งสามารถทำให้น้ำมันอบเชยสามารถคงตัวอยู่ได้อย่างน้อย 1 ปี นอกจากนี้ CIN ที่อยู่ในรูป granule มีส่วนช่วยเพิ่มฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ E.coli สายพันธุ์ K88 โดยค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อได้ (MBC) ของ CIN-lauric base granule เท่ากับ 450 ug/ml เมื่อเปรียบเทียบกับ CIN-palmitic acid และ free CIN ที่ให้ค่า MBC เท่ากับ 500-650 ug/ml

European Food Safety Authority (2015) ศึกษาการเคลือบสารออกฤทธิ์ eugenol บริสุทธิ์จากผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่ได้จากน้ำมันกานพลู (clove essential oil) เสริมในอาหารไก่เนื้อ โดยเตรียมอิมัลชัน eugenol กับ glyceryl polyethyleneglycol ricinoleate (E 484) ร่วมกับสับเตรต silica amorphous จากนั้นเคลือบด้วย Eudragit (L 30 D-55) เพื่อควบคุมการปลดปล่อยสารเฉพาะที่ลำไส้เล็กซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ต้านความเป็นกรดจากน้ำย่อย (gastric juice) แต่ละลายอย่างรวดเร็วที่ pH มากกว่า 5.5 จนได้เป็นผลิตภัณฑ์ coarse powder (granulated product) ซึ่งประกอบด้วย glyceryl polyethyleneglycol ricinoleate (55–56%), silica amorphous (33%) และ Eudragit L 30 D-55 (6%) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีการสูญเสีย eugenol หลังจาก 6 เดือน โดยเก็บไว้ที่อุณหูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75% และหลังจาก 17 เดือน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60% สำหรับการนำมาทดลองเสริมในอาหารให้ไก่กินโดยเสริมที่ 100 mg/kg ที่มี 5 mg eugenol/kg complete feed ผลจากการศึกษาพบว่าการเสริมที่ 100 mg/kg ทำไก่เนื้อมีอัตราการตายต่ำ (0.7%) และไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต

Bruce และคณะ (2003) อ้างโดย อรอนงค์ (2554) ศึกษาปริมาณของสารเคลือบฟิล์มเอนเทอริคของโซเดียมวาลโปรเอทในรูปแบบเพลเลทและมี Eudragit®L30D-55 เป็นสารเคลือบเอนเทอริค โดย Eudragit®L30D-55 มีคุณสมบัติเป็น anionic copolymer ของ methylcrylic acid และ ethyl acrylate ในอัตราส่วน 1:1 แตกตัวที่พีเอชมากกว่าหรือเท่ากับ 5.5 ทำการทดสอบการปลดปล่อยยาในสารละลาย 0.1 N HCL ที่พีเอช 1.2 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทดสอบต่อในสารละลาย 0.05 M Phosphate buffer pH 6.8 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ที่พีเอช 1.2 เพลเลทที่เคลือบด้วยปริมาณของ Eudragit®L30D-55 ร้อยละ 35 ของน้ำหนักเม็ดแกนสารต้านทานกรดได้มากที่สุด โดยตัวยาถูกปลดปล่อยออกมาไม่เกินร้อยละ 5 และเมื่อทดสอบต่อในพีเอช 6.8 ตัวยาถูกปลดปล่อยออกมาเกินร้อยละ 80 แสดงว่าปริมาณของพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการควบคุมการปลดปล่อยยาและเพิ่มความสามารถในการป้องกันการระคายเคืองกระเพาะอาหาร

# บทที่ 3
# ระเบียบวิธีการวิจัย

**การเตรียมน้ำมันกระเทียม**

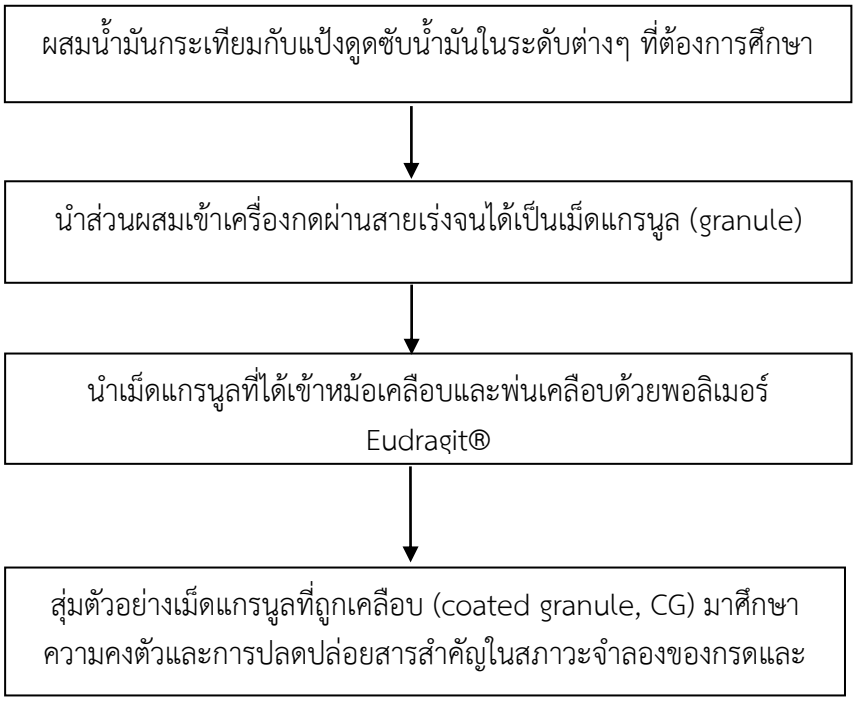
การศึกษาครั้งนี้ใช้ผลิตภัณฑ์น้ำมันกระเทียมของบริษัทอุตสาหกรรมเครื่องหอมไทย-จีน จำกัด และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญได้แก่ diallyl disulfide และ diallyl trisulfide ตามวิธีวิเคราะห์ที่รายงานโดย Yoo และคณะ (2014)

**การเตรียมอาหารทดลอง**

ผสมวัตถุดิบอาหารทดลองโดยคำนวณความต้องการของสารอาหารไม่ต่ำกว่าที่ NRC (1994) แนะนำ อาหารประกอบด้วยโปรตีน 17% และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 2,900 kcal/kg ดังแสดงในตารางที่ 1

**การทดลองที่ 1 ศึกษาสัดส่วนของแป้งดูดซับน้ำมันและวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญ**

**กระบวนการผลิตเม็ดแกรนูล**



**ตารางที่ 1** วัตถุดิบและส่วนประกอบของอาหารทดลอง

| Feed ingredients | Amount (kg) |
|---|---|
| Corn | 59.50 |
| Soybean meal (48 %CP) | 25.91 |
| Soybean oil | 3.80 |
| Calcium carbonate | 8.46 |
| Dicalciumphosphate (18 %P) | 1.21 |
| DL-Methionine | 0.12 |
| Salt | 0.50 |
| Premix | 0.50 |
| Total | 100.00 |
| **% calculated analyses** | |
| ME for poultry (kcal/kg) | 2,900.00 |
| Dry matter | 89.21 |
| Protein | 17.00 |
| Fat | 6.39 |
| Fiber | 3.04 |
| Lysine | 0.86 |
| Met+Cys | 0.65 |
| Methionine | 0.39 |
| Threonine | 0.63 |
| Valine | 0.80 |
| Iso-leucine | 0.72 |
| Arginine | 1.09 |
| Tryptophan | 0.18 |
| Calcium | 3.60 |
| Available phosporus | 0.28 |

**การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของเม็ดแกรนูลที่เสริมในอาหารไก่ไข่ต่อผลผลิต คุณภาพไข่ และคอเลสเตอรอลในไข่แดง**

ใช้ไก่ไข่สายพันธุ์ Hisex brown อายุ 36 สัปดาห์ จำนวน 40 ตัว แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม (ทรีทเมนต์) กลุ่มละ 8 ตัว (ซ้ำ) ไก่ไข่แต่ละตัวเลี้ยงบนกรงตับขังเดี่ยวในโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่ระบบปิด โดยควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนด้วยระบบการทำความเย็นแบบระเหยไอน้ำ (evaporative cooling System; EVAP) ที่มีพัดลมระบายอากาศติดอยู่ท้ายโรงเรือน ใช้ Thermostat ควบคุมการปิด–เปิดของพัดลมและปั้มน้ำ ใช้แผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ไก่ไข่ได้รับอาหารพื้นฐานแบบจำกัด 100 กรัม/ตัว/วัน และเสริมด้วยแกรนูลเคลือบในอาหารที่ระดับ 0, 0.75, 1.5, 3 และ 6 กรัม ส่วนน้ำให้กินแบบเต็มที่ตลอดการทดลอง อาหารที่ให้ผ่านทางรางอาหารด้านหน้ากรงและมีรางน้ำอัตโนมัติให้กินตลอดเวลา โดยมีลักษณะที่ต้องการศึกษาดังนี้

**1) การให้ผลผลิตไข่**

บันทึกน้ำหนักตัวก่อนเริ่มและหลังทดลองเพื่อใช้คำนวณหาน้ำหนักตัวที่เพิ่ม ทำการเจาะเลือดไก่ในวันที่ 7, 14 และ 28 ของการทดลอง โดยการเจาะเลือดบริเวณหลอดเลือดดำใต้ปีก (brachial vein) ด้วยเข็มเบอร์ 23 ประมาณ 3 มิลลิลิตร ใช้หลอดเก็บเลือด Ethylene diaminetetra acetic acid (EDTA) เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือดและแช่ตัวอย่างเลือดทั้งหมดในภาชนะที่บรรจุน้ำแข็งก่อนนำตัวอย่างเลือดไป centrifugation ที่ 3000 rpm ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างเลือดซึ่งเป็นส่วนของพลาสมา และนำตัวอย่างเก็บไว้ที่ –20°C เพื่อรอการวิเคราะห์ค่า triglycerides, total cholesterol, HDL- and LDL-cholesterol, glutamic oxaloacetic transaminase และ glutamic pyruvic transaminase ตามวิธีที่รายงานโดย Eren และคณะ (2004)

บันทึกปริมาณอาหารที่กินทุกสัปดาห์และบันทึกไก่ตายเพื่อใช้คำนวณค่าต่างๆ ดังนี้

$$\text{ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว/วัน) (feed intake)} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินในช่วงการทดลอง (กรัม)}}{\text{จำนวนวัน} \times \text{จำนวนไก่ที่เมื่อสิ้นสุดสัปดาห์ (ตัว)}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร (feed conversion ratio)} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม)}}$$

$$\text{อัตราการตาย (mortality rate)} = \frac{\text{จำนวนไก่ตาย}}{\text{จำนวนไก่เริ่มต้น (ตัว)}} \times 100$$

บันทึกผลผลิตไข่ไก่และน้ำหนักไข่แต่ละวันและบันทึกไข่แตกร้าวเพื่อคำนวณค่าต่างๆ ดังนี้

$$\text{ผลผลิตไข่ (egg production, \%)} = \frac{\text{จำนวนไข่ที่ผลิตได้ทั้งหมด (ฟอง)} \times 100}{\text{จำนวนวัน} \times \text{จำนวนไก่ในช่วงการทดลอง (ตัว)}}$$

$$\text{น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม/ฟอง) (egg weight)} = \frac{\text{น้ำหนักไข่ที่ผลิตได้ทั้งหมด (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ผลิตได้ทั้งหมด (ฟอง)}}$$

$$\text{มวลไข่ (กรัม) (egg mass)} = \text{น้ำหนักไข่เฉลี่ย} \times \text{เปอร์เซ็นต์ไข่}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การแตกร้าว (cracking, \%)} = \frac{\text{จำนวนไข่สูญเสียทั้งหมด (ฟอง)}}{\text{จำนวนไข่ทั้งหมด (ฟอง)}} \times 100$$

**2) การศึกษาคุณภาพไข่**

วัดคุณภาพไข่ในวันที่ 7, 14 และ 28 ของการทดลอง โดยทำการวัดส่วนต่างๆ ดังนี้

2.1 วัดความหนาเปลือกไข่ (egg shell thickness) วัดเฉลี่ย 3 จุด (บน กลาง และล่าง)

2.2 วัดสีไข่แดง (yolk color) โดยเทียบกับพัดสีโรช (Roche fan color)

2.3 วัดความสูงไข่ขาว (albumin height) ด้วย Haugh guage

2.4 วัดคุณภาพไข่ขาว (haugh unit) หลังวัดสีไข่แดงทำการวัดค่า Haugh Unit โดยการวัดความสูงของไข่ขาวและคำนวณหาค่า Haugh Unit ตามวิธีการของ Nesheim และคณะ (1979)

สมการ ค่า Haugh Unit = $100 \log (H + 7.57 - 1.7W^{0.37})$

W = น้ำหนักไข่ (กรัม)

H = ค่าเฉลี่ยความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร) วัด 3 จุดที่กึ่งกลางระหว่างไข่ขาวและขอบไข่แดง

2.5 น้ำหนักเปลือกไข่เฉลี่ย (egg shell weight) แยกเปลือกไข่ ชั่งน้ำหนักเปลือก(กรัม/ฟอง)

$$= \frac{\text{น้ำหนักเปลือกไข่ (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ (ฟอง)}}$$

2.6 น้ำหนักไข่แดงเฉลี่ย (yolk weight) แยกไข่แดงออกจากไข่ขาว โดยใช้ช้อนและชั่งน้ำหนักไข่แดงเพื่อหาน้ำหนักไข่แดง

$$= \frac{\text{น้ำหนักไข่แดงทั้งหมด (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ทั้งหมด (ฟอง)}}$$

2.7 น้ำหนักไข่ขาวเฉลี่ย (albumin weight) แยกไข่แดงออกจากไข่ขาว โดยใช้ช้อนและชั่งน้ำหนักไข่ขาว เพื่อหาน้ำหนักไข่ขาว

$$= \frac{\text{น้ำหนักไข่ขาวทั้งหมด (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ทั้งหมด (ฟอง)}}$$

**3) การศึกษาคอเลสเตอรอลในไข่แดง**

เมื่อวัดคุณภาพไข่จากการทดลองที่ 2 ข้อ 2) เสร็จแล้วทำการแยกไข่แดงออกจากไข่ขาว จากนั้นนำไข่แดงมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ –20°C เพื่อรอการวิเคราะห์ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงตามวิธีที่รายงานโดย Bragagnolo and Rodriguez-Amaya (1993) และ Aquino and Silva (2010)

**การวิเคราะห์ทางสถิติ**

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ตามแผนการทดลอง completely randomized design (CRD) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์โดยวิธี Tukey's range test ศึกษาแนวโน้มการตอบสนองการเพิ่มขึ้นของแกรนูลเคลือบที่เสริมในอาหารโดยใช้ linear and quadratic contrasts และวิเคราะห์หาระดับการเสริมแกรนูลที่เหมาะสมกับการลดลงของคอเลสเตอรอลในไข่แดงด้วยการวิเคราะห์ broken-line regression ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดถูกวิเคราะห์โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS University Edition (2015)

# บทที่ 4
# ผลการทดลองและวิจารณ์

**การทดลองที่ 1** การศึกษาผลการเคลือบน้ำมันกระเทียมด้วยพอลิเมอร์ต่อความคงตัวของสารออกฤทธิ์ ความสามารถในการทนกรดและการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ในสภาวะจำลองที่ใกล้เคียงกับลำไส้ไก่

การศึกษาอัตราส่วนผสมเม็ดแกรนูลที่มีส่วนประกอบและอัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ corn starch, lactose และ avicel (ตารางที่ 2) เพื่อคัดเลือกสูตรที่สามารถดูดซับปริมาณน้ำมันกระเทียมได้ดีที่สุด พบว่าสูตรที่มีส่วนผสมของ garlic oil: ClayThick® absorbent powder อัตราส่วน 1:2 เป็นสูตรทีมีการดูดซับน้ำมันกระเทียมได้สูงสุด 0.32 g/g ratio

**ตารางที่ 2** องค์ประกอบและสัดส่วนของเม็ดแกรนูล

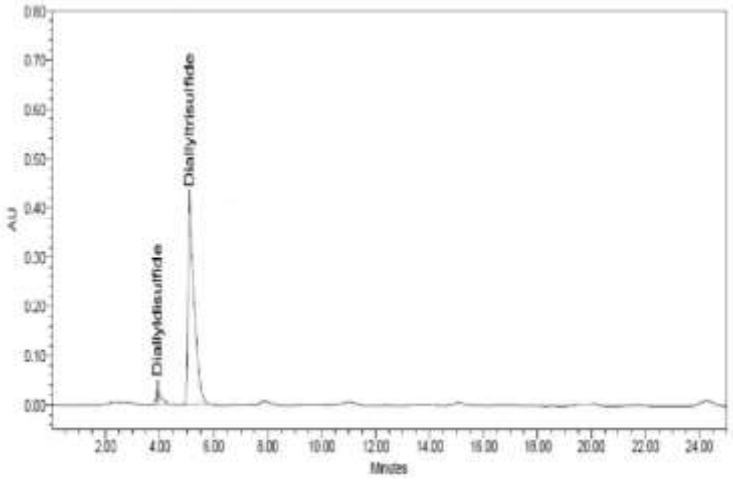
| Concentration of GO (%) | Powder (PD) type | GO:PD ratio |
|---|---|---|
| 100 | Corn starch | 1:1 |
| 100 | Corn starch | 1:2 |
| 100 | Avicel® | 1:1 |
| 100 | Avicel® | 1:2 |
| 100 | ClayThick® | 1:1 |
| 100 | ClayThick® | 1:2 |

จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้คัดเลือกแล้วไปขึ้นรูปเม็ดแกรนูลและคัดขนาดของเม็ดแกรนูล 0.5 มิลลิเมตร พบว่ามีผลผลิตที่ได้หลังผ่านกระบวนการขึ้นรูปที่มีขนาดของเม็ดแกรนูล 0.5 มิลลิเมตร มีปริมาณ 74.40% (ตารางที่ 3) จากนั้นนำเม็ดแกรนูลที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญ

**ตารางที่ 3** ลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดแกรนูล

| Characteristics | Value |
|---|---|
| Yield of 0.5 mm granule size (%) | 74.40±2.13 |
| Granule yield after polymer coating (%) | 81.07±2.14 |
| GO-retaining capacity | |
| Uncoated granule (g/g granule) | 0.30±0.01 |
| Coated granule (g/g granule) | 0.26±0.01 |

จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญหลังผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ พบเม็ดแกรนูลที่ได้ยังคงเหลือปริมาณน้ำมันกระเทียม 0.26 g/g granule โดยมีปริมาณสารสำคัญได้แก่ diallyl disulfide (DADS) 1.05 mg/g granule และ diallyl trisulfide (DATS) 11.84 mg/g granule (ตารางที่ 4) และภาพที่ 2



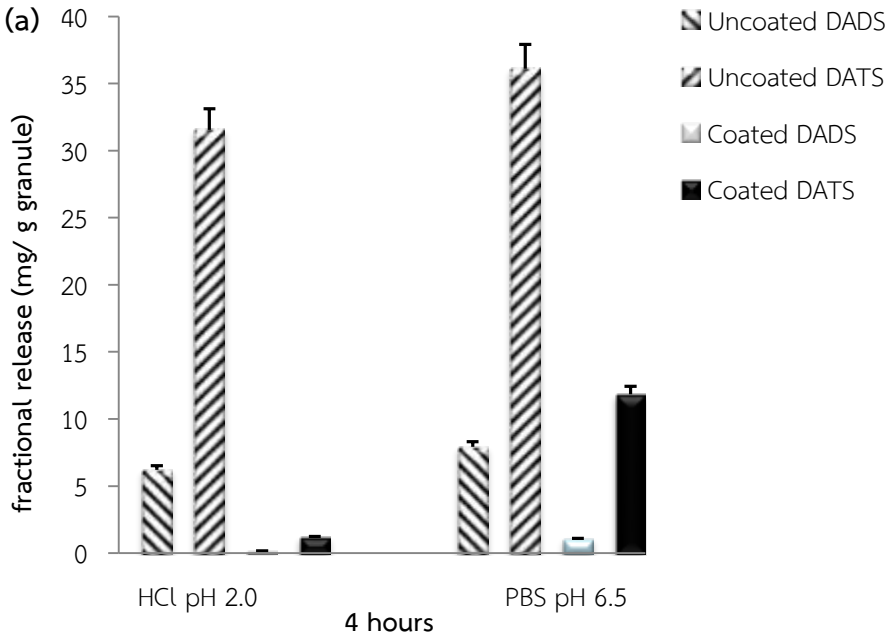

**ภาพที่ 2** HPLC of garlic oil diallyl disulfide (DADS) and diallyl trisulfide (DATS) active ingredients in coated granule (CG).

**ตารางที่ 4** สารออกฤทธิ์ของน้ำมันกระเทียมที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์และที่ไม่เคลือบด้วยพอลิเมอร์

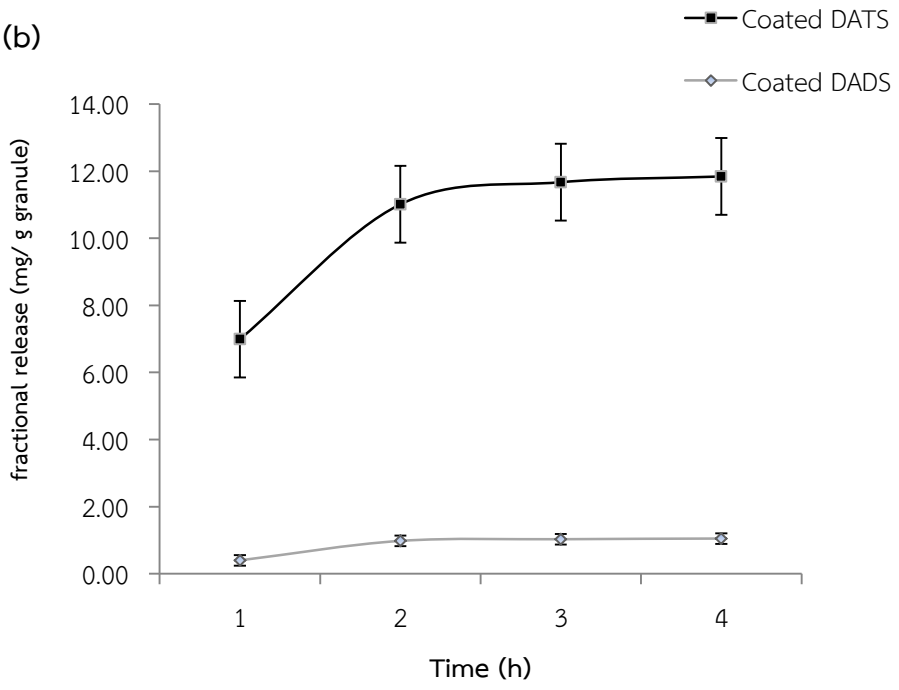
| Characteristics | Active ingredients | |
|---|---|---|
| | Diallyl disulfide (DADS) | Diallyl trisulfide (DATS) |
| GO (mg/g garlic oil) | 86.92±3.99 | 64.95±2.62 |
| Uncoated granule (mg/g granule) | 7.92±1.28 | 36.12±4.03 |
| Coated granule (mg/g granule) | 1.05±0.16 | 11.84±0.46 |

Values represented in average ± SD (n = 3)

ผลจากการทดสอบเม็ดแกรนูลในสภาวะกรดโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl pH 2.0) เป็นสภาวะกรดจำลองที่มีความเป็นกรดใกล้เคียงกับในกระเพาะแท้ (proventriculus) ของไก่ไข่ และบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง เม็ดแกรนูลที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ Eudragit® S100 ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษที่ไม่ละลายในสภาวะกรดแต่สามารถละลายได้ดีในสภาวะด่าง พบว่าเม็ดแกรนูลที่บรรจุน้ำมันกระเทียม 0.26 g /g granule และผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์แล้วนั้นสามารถช่วยป้องกันไม่ให้สารสำคัญ diallyl disulfide (DADS) และ diallyl trisulfide (DATS) ที่มีอยู่ในน้ำมันกระเทียมถูกปลดปล่อยออกมาได้ถึง 97.58 และ 80.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3 (a) และเมื่อนำเม็ดแกรนูลที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์มาศึกษาการปลดปล่อยสารสำคัญ (drug release) ในสภาวะด่างจำลองที่ใกล้เคียงกับลำไส้ไก่โดยใช้ phosphate-buffered saline (PBS pH 6.5) และบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการสุ่มเก็บตัวอย่างตามชั่วโมงที่ต้องการเพื่อใช้วัดหาปริมาณสารสำคัญที่ถูกปลดปล่อยออกมาในชั่วโมงที่ 0, 1, 2, 3 และ 4 พบว่าสารสำคัญ DADS ถูกปลดปล่อยออกมา 0.40, 0.98, 1.03 และ 1.05 mg /g granule ส่วนสารสำคัญ DATS ถูกปลดปล่อยออกมาได้ 6.99, 11.01, 11.67 และ 11.84 mg /g granule ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3 (b)




**ภาพที่ 3** (a) Release of DADS and DATS from coated granules under 2-stage dissolution. Values represent average ± SD (n=3).




**ภาพที่ 4** (b) Release of DADS and DATS in PBS pH 6.5 from granules coated with Eudragit® S100. Values represent average ± SD (n=3).

**การทดลองที่ 2** การศึกษาฤทธิ์ของน้ำมันกระเทียมที่เสริมในอาหารที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดง และพลาสมา

**สมรรถภาพการผลิตไข่**

การศึกษาฤทธิ์ของน้ำมันกระเทียมที่เสริมในอาหารที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ (CG) ในระดับ 0 0.75 1.50 3.0 และ 6.0 กรัม/กิโลกรัม ต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าลักษณะที่ศึกษาของไก่ทดลองทุกกลุ่มไม่ว่าจะเป็น อัตราการให้ไข่ น้ำหนักไข่ และมวลไข่ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้นอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ พบว่าไก่ทดลองกลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริมน้ำมันกระเทียมในระดับ 6 กรัม/กิโลกรัม มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไก่ทดลองกลุ่มควบคุมที่ไม่เสริมน้ำมันกระเทียมกับไก่ทดลองกลุ่มที่เสริมน้ำมันกระเทียมทุกระดับ พบว่าไก่ทดลองกลุ่มที่เสริมน้ำมันกระเทียมทุกระดับมีอัตราการให้ไข่ (84.38vs90.62%) น้ำหนักไข่ (54.03 vs 56.46 กรัม) และมวลไข่ (45.73 vs51.21กรัม) สูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ (2.31 vs 1.99) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในระหว่างไก่ทดลองทั้ง 2 กลุ่ม

**Table 5** ผลของน้ำมันกระเทียมที่เสริมในอาหารที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อสมรรถภาพการให้ไข่

| Parameter | Dietary CG (g)[1] | | | | | | P-value | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 0.75 | 1.5 | 3 | 6 | SEM | Treatment | 0vsCG | Linear | Quadratic |
| Initial body weight (g) | 1700.00 | 1732.50 | 1692.50 | 1700.00 | 1700.00 | 101.21 | 0.940 | – | – | – |
| Final body weight (g) | 1733.75 | 1767.50 | 1726.88 | 1731.88 | 1732.50 | 100.90 | 0.930 | – | – | – |
| Body weight gain (g) | 33.75 | 35.00 | 34.38 | 31.88 | 32.50 | 16.61 | 0.995 | – | – | – |
| Feed intake (g/b/d) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | – | – | – | – | – |
| Egg production (%) | 84.38 | 88.84 | 89.73 | 90.63 | 93.30 | 7.15 | 0.181 | 0.034 | 0.025 | – |
| Egg weight (g) | 54.03 | 56.77 | 56.07 | 56.00 | 57.01 | 2.22 | 0.086 | 0.009 | – | – |
| Egg mass (g) | 45.73 | 50.49 | 50.35 | 50.78 | 53.21 | 4.98 | 0.071 | 0.009 | 0.015 | – |
| FCR | 2.31[a] | 2.03[ab] | 2.03[ab] | 1.99[ab] | 1.90[b] | 0.25 | 0.029 | 0.002 | 0.011 | – |

[a-b] Treatment Means within rows followed with different superscript letters are statistically different ($P<0.05$).

[1] 0: basal diet supplemented with 0 g coated granule (control), 0.75: basal diet supplemented with 0.75 g coated granule, 1.5: basal diet supplemented with 1.5 g coated granule, 3: basal diet supplemented with 3 g coated granule, 6: basal diet supplemented with 6 g coated granule.

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารทดลองกับลักษณะต่างๆที่ศึกษา พบว่าระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมมีความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นตรง (Linear) กับ อัตราการให้ไข่ (P=0.025) มวลไข่ (P=0.015) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ (P=0.011) แต่ไม่พบความสัมพันธ์ของระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมกับน้ำหนักไข่ (P>0.05)

ผลการศึกษาครั้งนี้แตกต่างจากรายงานวิจัยของ Reddy และคณะ (1991) ที่เสริมน้ำมันกระเทียม 0.02% ในอาหารไม่มีผลทำให้ อัตราการให้ไข่ น้ำหนักไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ดีขึ้นในระยะการทดลอง 28 วัน Chowdhury และคณะ (2002) ได้เสริมกระเทียมผง (garlic paste) ในอาหาร 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 % ไม่ได้ทำให้ น้ำหนักไข่ มวลไข่ และ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในระยะการทดลอง 6 สัปดาห์ นอกจากนี้ไก่ไข่ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีการเสริมด้วยกระเทียมผง 0, 1, 3 และ 5 % ไม่ทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่แตกต่างกัน (P>0.05) (Lim et al., 2006) เช่นเดียวกับ Yalçin และคณะ (2007) เลี้ยงไก่ไข่ด้วยอาหารที่เสริมด้วยกระเทียมผง 0, 0.5 และ 1.0 % ไม่มีผลทำให้ อัตราการให้ไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่แตกต่างกัน (P>0.05)

การเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหาร CG 6 กรัม ทำให้ผลการทดลองครั้งนี้มีอัตราการให้ไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ดีขึ้น น่าจะเนื่องจากน้ำมันกระเทียมไปมีฤทธิ์โดยตรงและทางอ้อมในการกระตุ้นการทำงานของรังไข่และกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมน เอสโตรเจน (estrogen) gonadotropins ฮอร์โมนจากรังไข่ ovarian hormones โดย Hajiuon (2013) อธิบายเกี่ยวกับเรื่องนี้ว่าฮอร์โมนเหล่านี้กระตุ้นต่อม pituitary gland และช่วยทำให้ความสามารถในการจับกับ estrogen receptors เพิ่มขึ้น และทำให้ระดับของ progesterone สูงขึ้น

การศึกษาครั้งนี้อาหารทดลองที่เสริมน้ำมันกระเทียมในรูป CG ที่ประกอบด้วย 0.26 g garlic oil/g CG (มีส่วนผสมของ DADS 4.03 mg และ DATS 45.53 mg) น่าจะมีประสิทธิภาพสูงในการกระตุ้นการทำงานของรังไข่ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีอัตราการให้ไข่สูงถึง 93.30 % ในขณะที่ไก่ทดลองทุกกลุ่มกินอาหารในปริมาณที่เท่ากัน 100 กรัม จึงส่งผลทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ดีขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้ Ramakrisma et al. (2003) รายงานว่าการเสริมกระเทียมในอาหารของหนูทดลอง ช่วยทำให้การทำงานของเอนไซม์จากตับอ่อนดีขึ้น รวมทั้งทำให้สภาวะในลำไส้มีความเหมาะสมต่อการการนำโภชนะไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น ซึ่งหากผลดังกล่าวเกิดขึ้นเช่นเดียวกันในไก่ไข่น่าจะเป็นการอธิบายได้ว่าการเสริมน้ำมันกระเทียมในรูป CG ทำให้มีผลทั้งระบบสืบพันธุ์และระบบย่อยอาหารจึงทำให้อัตราการให้ไข่และประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไก่กลุ่มควบคุม

**คุณภาพไข่**

การศึกษาฤทธิ์ของน้ำมันกระเทียมที่เสริมในอาหารที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ในระดับ 0 0.75 1.50 3.0 และ 6.0 กรัม/กิโลกรัม ต่อคุณภาพไข่ ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่าไก่ทดลองกลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริมน้ำมันกระเทียมในระดับ 6 กรัม/กิโลกรัม มีน้ำหนักไข่ น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักเปลือกไข่ และค่าความตึงข้นไข่ขาว สูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในระหว่างไก่ทดลองทุกกลุ่มสำหรับค่าน้ำหนักไข่ขาว ความหนาเปลือกไข่ สีไข่แดง ค่า pHของไข่แดงและไข่ขาว เมื่อเปรียบเทียบในระหว่างไก่ทดลองกลุ่มควบคุมที่ไม่เสริมน้ำมันกระเทียมกับไก่ทดลองกลุ่มที่เสริมน้ำมันกระเทียมทุกระดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของคุณภาพไข่ในทุกลักษณะที่ศึกษายกเว้นค่า น้ำหนักไข่ขาว และค่าความตึงข้นไข่ขาว ที่ไก่ทดลองกลุ่มที่เสริมน้ำมันกระเทียมมีค่าสูงกว่าไก่ทดลองกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารทดลองกับลักษณะต่างๆที่ศึกษา พบว่าระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมมีความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นตรง(Linear) กับ น้ำหนักไข่ขาว ($P=0.043$) น้ำหนักไข่แดง ($P=0.017$) สีไข่แดง ($P=0.018$) และความตึงข้นของไข่ขาว ($P=0.006$) แต่ไม่พบความสัมพันธ์ของระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมกับลักษณะอื่นๆที่เหลือ ($P>0.05$)

**Table 6** ผลของน้ำมันกระเทียมที่เสริมในอาหารที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อคุณภาพไข่

| Parameter | Dietary CG (g)[1] | | | | | | P-value | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 0.75 | 1.5 | 3 | 6 | SEM | Treatment | 0vsCG | Linear | Quadratic |
| Egg weight (g) | 54.14[b] | 56.10[ab] | 54.66[ab] | 54.92[ab] | 57.69[a] | 0.85 | 0.042 | 0.083 | 0.014 | – |
| Yolk weight (g) | 13.96[ab] | 13.66[ab] | 13.64[b] | 13.76[ab] | 14.48[a] | 0.20 | 0.037 | 0.750 | 0.017 | 0.038 |
| Albumen weight (g) | 34.39 | 36.43 | 35.27 | 35.48 | 37.02 | 0.69 | 0.088 | 0.039 | 0.043 | – |
| Shell weight (g) | 5.79[ab] | 6.01[ab] | 5.74[b] | 5.67[b] | 6.18[a] | 0.10 | 0.009 | 0.342 | – | 0.026 |
| Shell thickness (mm) | 0.37 | 0.37 | 0.36 | 0.37 | 0.38 | 0.01 | 0.172 | 0.814 | – | 0.041 |
| Yolk color intensity | 8.54 | 8.50 | 8.37 | 8.62 | 8.79 | 0.10 | 0.071 | 0.784 | 0.018 | – |
| Hu | 85.20[b] | 89.24[ab] | 89.27[ab] | 88.54[ab] | 92.31[a] | 1.43 | 0.027 | 0.007 | 0.006 | – |
| Yolk pH | 7.10 | 7.26 | 7.02 | 7.06 | 7.28 | 0.10 | 0.256 | 0.607 | – | – |
| Albumen pH | 9.18 | 9.09 | 9.03 | 9.02 | 9.15 | 0.05 | 0.141 | 0.076 | – | 0.010 |

[a-b] Treatment Means within rows followed with different superscript letters are statistically different ($P<0.05$).

[1] 0: basal diet supplemented with 0 g coated granule (control), 0.75: basal diet supplemented with 0.75 g coated granule, 1.5: basal diet supplemented with 1.5 g coated granule, 3: basal diet supplemented with 3 g coated granule, 6: basal diet supplemented with 6 g coated granule.

**การศึกษากิจกรรมแอนติออกซิแดนซ์ในไข่แดง (Yolk antioxidant activity)**

การศึกษากิจกรรมกรรมแอนติออกซิแดนซ์ในไข่แดง พบว่าไก่ทุกกลุ่มทดลองมีค่า DPPH and ABTS activity ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นในไข่แดงด้วยวิธี Phosphomolybdenum method พบว่ามีค่า antioxidant activity สูงกว่ากลุ่มควบคุม (P<0.05) และมีความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นตรง (Linearly P<0.05) ตามระดับการเสริมน้ำมันกระเทียม CG ในอาหาร และกลุ่มที่เสริมน้ำมันกระเทียมพบว่าค่า antioxidant activity สูงขึ้น (P<0.05) 14.58 % เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมกับในขณะที่ค่า MDA ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และการลดลงมีความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นตรง (P<0.05) โดยกลุ่มที่เสริมน้ำมันกระเทียมพบว่าค่า MDA ลดลง 12.74 % (P<0.05) นอกจากนี้ค่า total phenolicในไข่แดงของไก่กลุ่มที่เสริมน้ำมันกระเทียมมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม (P<0.05) โดยเพิ่มขึ้น 12.09 % (P<0.05) แสดงดัง Table 7

**Table 7** Dietary coated granule effects on oxidative status and total phenol contents in 28 d period

| Parameter | Dietary CG (g)[1] | | | | | | P-value | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 0.75 | 1.5 | 3 | 6 | SEM | Treatment | 0vsCG | Linear | Quadratic |
| Phosphomolybdenum (mg AAE/g yolk) | 0.12$^{c}$ | 0.12$^{bc}$ | 0.14$^{ab}$ | 0.14$^{ab}$ | 0.15$^{a}$ | 0.01 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | – |
| DPPH (% inhibition) | 64.65 | 67.15 | 66.54 | 65.23 | 65.02 | 7.21 | 0.948 | 0.641 | – | – |
| ABTS (% inhibition) | 88.53 | 90.31 | 88.95 | 88.59 | 89.20 | 5.39 | 0.965 | 0.734 | – | – |
| TBARS (μM MDA/g yolk) | 3.71$^{a}$ | 3.65$^{a}$ | 3.12$^{ab}$ | 3.35$^{ab}$ | 2.83$^{b}$ | 0.55 | 0.015 | 0.037 | 0.002 | – |
| Total phenol (mg GAE/g yolk) | 20.64$^{c}$ | 23.18$^{b}$ | 27.96$^{a}$ | 18.18$^{d}$ | 23.22$^{b}$ | 1.05 | 0.000 | 0.000 | – | – |

$^{a\text{-}b\text{-}c\text{-}d}$ Treatment Means within rows followed with different superscript letters are statistically different (P<0.05).

[1] 0: basal diet supplemented with 0 g coated granule (control), 0.75: basal diet supplemented with 0.75 g coated granule, 1.5: basal diet supplemented with 1.5 g coated granule, 3: basal diet supplemented with 3 g coated granule, 6: basal diet supplemented with 6 g coated granule.

การศึกษาครั้งนี้พบว่าการเสริมน้ำมันกระเทียมระดับ CG 6 กรัม ทำให้น้ำหนักไข่และค่าความตึงข้นไข่ขาว (Hu) สูงกว่ากลุ่มควบคุม 6.56 และ 8.34 % ตามลำดับ นอกจากนี้ยังทำให้ค่า total antioxidant activity สูงกว่ากลุ่มควบคุม 25 % เช่นเดียวกับค่า MDA ที่ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมน้ำมันกระเทียมระดับ CG 0.75 กรัม 23.72 และ 22.47%. ตามลำดับ นอกจากนี้ค่า total phenolic ของไก่กลุ่มที่เสริมน้ำมันกระเทียมระดับ 0.75, 1.5 และ 6 กรัม CG มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม 12.31, 35.47 และ 12.5 % ตามลำดับ Chowdhury et al. (2018) ได้อธิบายเกี่ยวกับเรื่องนี้ว่า น้ำมันหอมระเหย (essential oils) ที่ได้จากธรรมชาติมีคุณสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นและการลดไขมันในเลือดได้ นอกจากนี้อนุพันธ์ของไดซัลไฟด์ allicin ในกระเทียมในรูป DADS และ DATS (Kim et al, 1997) จะกระตุ้น antioxidative activity โดยเกิดจากการทำปฏิกิริยาของสารประกอบซัลเฟอร์ Rabinokov et al. (2000); Lim et al. (2006) รายงานว่ากลไกดังกล่าวนี้อาจเป็นกลไกที่

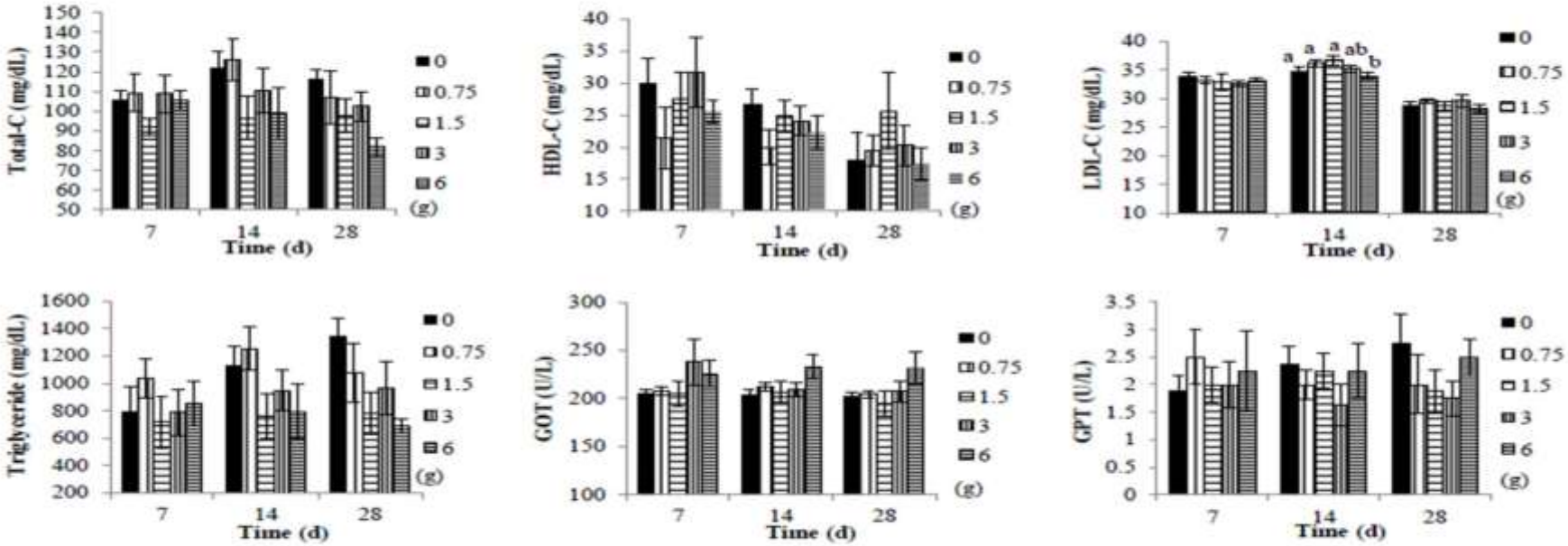
ทำให้ค่าความตึงข้นไข่ขาว (Hu) สูงกว่ากลุ่มควบคุมเช่นเดียวกับค่าสีไข่แดงที่มีค่าสูงกว่า นอกจากนี้ Wu et al. (2001) รายงานว่า DADS และ DATS ในกระเทียมทำให้ activity of GSH reductase เพิ่มขึ้น 46 และ 54 %

การที่ CG ประกอบด้วย DADS และ DATS ซึ่งอาจจะทำให้ระดับ glutathione peroxidase activity เพิ่มขึ้นทั้งในไข่ขาวและไข่แดง Zengin และคณะ ( 2015) การตรวจสอบการเกิด antioxidant activity โดยวิธี phosphomolybdenum method ซึ่งจะสังเกตได้จากการเกิด green phosphatemolybdenum complex ที่สามารถอธิบายได้ว่ามีสาร phenolics อยู่ Ayed et al. (2018) รายงานว่าสาร phenolic ในกระเทียมทำให้ antioxidative activity เพิ่มขึ้น ในกระบวนการลิปิดออกซิเดชั่นจะพบว่าระดับของ MDA จะลดลงเนื่องจากการเกิดการออกซิเดชั่นของสารประกอบซัลเฟอร์ Kim และคณะ (1997) รายงานว่า DADS และ DATS มีคุณสมบัติในการเป็นสาร antioxidant ที่มีประสิทธิภาพดีในการทดสอบโดยใช้ linoleic และในน้ำมันหมู การศึกษาครั้งนี้ระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมในรูป CG มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักเปลือกไข่ ความหนาเปลือกไข่ และ ค่า pHไข่ขาวในลักษณะควอดาร์ติก โดยการเสริมน้ำมันกระเทียม 6 กรัม CG ทำให้น้ำหนักเปลือกไข่สูงสุดมีค่า 6.18 กรัม

ผลการทดลองครั้งนี้ให้ผลเช่นเดียวกับ Kim et al. (2013) รายงานว่าในกระเทียมมีวิตามินที่ละลายในไขมัน โดยวิตามิน D ที่มีบทบาทช่วยในการดูดซึมแคลเซียม Gautam และคณะ (2010) รายงานว่าสารสกัดจากกระเทียมช่วยทำให้การดูดซึมแร่ธาตุเพิ่มขึ้น ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าการน้ำมันกระเทียมช่วยทำให้การดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัสดีขึ้นส่งผลให้น้ำหนักเปลือกไข่มากขึ้น ซึ่ง Mahmoud et al. (2010) รายงานว่าการให้ 1% garlic juice ทำให้น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักเปลือกไข่ และ ค่าความตึงข้นไข่ขาว (Hu) สูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อค่า pHไข่ขาว และ pHไข่แดง. นอกจากนี้ Lim และคณะ (2006) พบว่าค่าความตึงข้นไข่ขาว (Hu) มีความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นตรงกับระดับกระเทียมผงที่เสริมในอาหาร เช่นเดียวกับที่รายงานของ Ao และคณะ (2010) พบว่าค่าความตึงข้นไข่ขาว (Hu) มีความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นตรงกับระดับกระเทียมผงหมัก (fermented garlic powder) ที่เสริมในอาหารแต่ไม่มีผลต่อความหนาเปลือกไข่ ส่วน Canogullari และคณะ (2009) กระเทียมผงที่เสริมในอาหารทำให้น้ำหนักเปลือกไข่ และค่าความตึงข้นไข่ขาว (Hu) สูงขึ้น แต่ Yalçin และคณะ (2007) รายงานว่ากระเทียมผงที่เสริมในอาหารไม่มีผลต่อความหนาเปลือกไข่

**ชีวะเคมีของเลือด(Blood biochemistry)**

การศึกษาฤทธิ์ของน้ำมันกระเทียมในรูป CG ในอาหารไก่ไข่ พบว่าตลอดระยะการทดลอง 28 วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของค่าชีวเคมีในเลือด (Blood biochemistry) ในระหว่างไก่ทดลองทุกกลุ่มไม่ว่าจะเป็นค่า Total-C, HDL-C, LDL-C, (Triglyceride, TG), GOT และ GPT อย่างไรก็ตามพบว่าค่า Total-C ในวันที่ 28 มีแนวโน้มลดลง 7.98, 16.08, 12.14 และ 29.57 % เช่นเดียวกับค่า TG โดยลดลง 19.51, 41.55, 27.72 และ 48.48 % ตามระดับของการเสริมน้ำมันกระเทียมในรูป CG 0.75, 1.5, 3 และ 6 กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับไก่กลุ่มควบคุม ดังแสดงใน Figure 4




**ภาพที่ 5** Haematological parameters of laying hens fed with the dietary CG supplementation at 7, 14 and 28 d of the experiment. Data are presented as means ± SEM and means within each classification bearing different letters are significantly different by Tukey test ($P<0.05$).

ผลการทดลองครั้งนี้ให้ผลเช่นเดียวกับการทดลองของผู้วิจัยหลายคน Reddy และคณะ (1991) รายงานว่าไก่ไข่ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมด้วยน้ำมันกระเทียม 0.02% ในระยะเวลา 28 วัน สามารถลดคอเลสเตอรอลในเลือดลงได้ 14.52% เมื่อเปรียบเทียบกับไก่กลุ่มควบคุม ในขณะที่ Canogullari และคณะ (2009) เสริมกระเทียมผง 0.5% ในอาหารที่ใช้เลี้ยงไก่ไข่พบว่าไม่มีผลทำให้คอเลสเตอรอลในเลือดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วน Qureshi และคณะ. (1983a) รายงานว่ากระเทียมทำให้ Total-C และ LDL cholesterol ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่ไม่มีผลทำให้ HDL cholesterol ลดลง สอดคล้องกับ Lim และคณะ. (2006) ที่รายงานว่าการใช้กระเทียมผงเสริมในอาหารเลี้ยงไก่ไข่ ไม่ทำให้ HDL cholesterol ลดลง แต่ทำให้ระดับของ GOT ในเลือดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับไก่กลุ่มควบคุม แต่ไม่ส่งผลต่อค่า GPT

**คอเลสเตอรอลในไข่แดงและพลาสมา**

การศึกษาฤทธิ์ของน้ำมันกระเทียมที่เสริมในอาหารที่ผ่านการเคลือบต่อคอเลสเตอรอลในพลาสมา พบว่าค่า Haematological parameters ของไก่ทดลองทุกกลุ่มที่ได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 7 14 และ 28 วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในทุกลักษณะที่ศึกษา

การศึกษาฤทธิ์ของน้ำมันกระเทียมที่เสริมในอาหารที่ผ่านการเคลือบต่อคอเลสเตอรอลในไข่แดงตลอดระยะการทดลอง 28 วัน ดังแสดงใน ตารางที่ 8 พบว่าไก่ทดลองกลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริมน้ำมันกระเทียมในทุกระดับมีปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงทั้งในรูป มิลลิกรัม/กรัมของไข่แดง มิลลิกรัม/กรัมของน้ำหนักไข่ และ มิลลิกรัม/ไข่ 1 ฟอง ต่ำกว่า ไก่ทดลองกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) โดยไก่ทดลองกลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริมน้ำมันกระเทียมมีค่าคอเลสเตอรอลในไข่แดง (13.1075 vs 15.74 มก) (3.26 vs 4.08 มก) และ (181.68 vs 220.12 มก) ตามลำดับ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารทดลองกับปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมมีความสัมพันธ์ทั้งในลักษณะเส้นตรง (Linear) และควอดาร์ติก (Quadratic) กับปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงทั้ง 3 รูปแบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$)

การศึกษาครั้งนี้ให้ผลการทดลองแตกต่างจากผู้วิจัยอื่น Reddy และคณะ (1991) รายงานว่าการใช้น้ำมันกระเทียม 0.02% ไม่ทำให้คอเลสเตอรอลในไข่แดงลดลงเนื่องจากระดับของน้ำมันกระเทียมต่ำเกินไปที่จะไปยับยั้ง HMGCR. เช่นเดียวกับ Mahmoud และคณะ (2010) การใช้น้ำกระเทียม (garlic juice) 3.75, 7.5 และ 15 มิลลิลิตรไม่เพียงพอจะทำให้คอเลสเตอรอลในไข่แดงลดลง ในขณะที่ Ao และคณะ (2010) รายงานว่าการใช้กระเทียมในรูปข้างต้นไม่มีสารออกฤทธิ์ (active ingredients) อาจเนื่องจากวิธีการเตรียมหรือแหล่งของกระเทียมที่ใช้ทดสอบ

**ตารางที่ 8** ส่วนประกอบของคอเลสเตอรอลในไข่แดงของไก่ที่ได้รับอาหารทดลอง 7 14 และ 28 วัน

| Parameter | Dietary CG (g)[1] | | | | | | P-value | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 0.75 | 1.5 | 3 | 6 | SEM | Treatment | 0vsCG | Linear | Quadratic |
| Yolk cholesterol (mg/g yolk) | | | | | | | | | | |
| 7 d | 15.55$^{a}$ | 13.52$^{ab}$ | 12.62$^{b}$ | 12.22$^{b}$ | 13.33$^{ab}$ | 1.89 | 0.012 | 0.001 | – | 0.002 |
| 14 d | 15.14$^{a}$ | 13.97$^{ab}$ | 12.88$^{ab}$ | 13.93$^{ab}$ | 11.51$^{b}$ | 2.09 | 0.019 | 0.017 | 0.003 | – |
| 28 d | 16.57$^{a}$ | 13.80$^{bc}$ | 14.89$^{ab}$ | 11.71$^{c}$ | 12.77$^{bc}$ | 1.86 | <.0001 | 0.000 | 0.001 | 0.005 |
| Overall | 15.74$^{a}$ | 13.78$^{b}$ | 13.48$^{b}$ | 12.66$^{b}$ | 12.51$^{b}$ | 0.98 | <.0001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Yolk cholesterol (mg/g egg) | | | | | | | | | | |
| 7 d | 4.04$^{a}$ | 3.28$^{b}$ | 3.21$^{b}$ | 3.07$^{b}$ | 3.40$^{ab}$ | 0.53 | 0.007 | 0.000 | – | 0.002 |
| 14 d | 3.90$^{a}$ | 3.41$^{ab}$ | 3.22$^{ab}$ | 3.59$^{ab}$ | 2.91$^{b}$ | 0.60 | 0.027 | 0.013 | 0.012 | – |
| 28 d | 4.27$^{a}$ | 3.35$^{bc}$ | 3.62$^{b}$ | 2.86$^{c}$ | 3.13$^{bc}$ | 0.45 | <.0001 | 0.000 | 0.001 | 0.001 |
| Overall | 4.08$^{a}$ | 3.34$^{b}$ | 3.37$^{b}$ | 3.18$^{b}$ | 3.14$^{b}$ | 0.26 | <.0001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Yolk cholesterol (mg/egg) | | | | | | | | | | |
| 7 d | 216.30$^{a}$ | 186.38$^{ab}$ | 178.84$^{ab}$ | 168.60$^{b}$ | 197.43$^{ab}$ | 30.55 | 0.037 | 0.009 | – | 0.002 |
| 14 d | 212.86 | 190.62 | 171.04 | 191.13 | 169.36 | 34.60 | 0.100 | 0.024 | – | – |
| 28 d | 230.45$^{a}$ | 187.58$^{bc}$ | 200.62$^{ab}$ | 162.05$^{c}$ | 178.41$^{bc}$ | 24.62 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.001 |
| Overall | 220.12$^{a}$ | 187.88$^{b}$ | 183.55$^{b}$ | 174.50$^{b}$ | 180.82$^{b}$ | 15.77 | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.000 |

$^{a\text{-}b\text{-}c\text{-}d}$ Treatment Means within rows followed with different superscript letters are statistically different (P<0.05).

[1] 0: basal diet supplemented with 0 g coated granule (control), 0.75: basal diet supplemented with 0.75 g coated granule, 1.5: basal diet supplemented with 1.5 g coated granule, 3: basal diet supplemented with 3 g coated granule, 6: basal diet supplemented with 6 g coated granule.

**ตารางที่ 9** ผลของน้ำมันกระเทียมที่เสริมในอาหารที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อกิจกรรมของเอ็นไซม์

| Parameter | Dietary CG (g)[1] | | | | | | P-value | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 0.75 | 1.5 | 3 | 6 | SEM | Treatment | 0vsCG | Linear | Quadratic |
| Liver weight (g/100 g BW) | 2.39 | 2.34 | 2.49 | 2.41 | 2.25 | 0.15 | 0.600 | 0.884 | – | – |
| HMGCR (U/mg protein) | 2.34[a] | 1.60[b] (68.37)[2] | 0.44[c] (18.80) | 0.39[c] (16.60) | 0.42[c] (17.94) | 0.19 | <.0001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| FAS (U/mg protein) | 0.19 | 0.21 | 0.21 | 0.22 | 0.24 | 0.04 | 0.274 | 0.906 | 0.028 | – |

[a-b-c] Treatment Means within rows followed with different superscript letters are statistically different (P<0.05).

[1] 0: basal diet supplemented with 0 g coated granule (control), 0.75: basal diet supplemented with 0.75 g coated granule, 1.5: basal diet supplemented with 1.5 g coated granule, 3: basal diet supplemented with 3 g coated granule, 6: basal diet supplemented with 6 g coated granule.

[2] Percentages of respective control activity data are in parenthess.

การศึกษาครั้งนี้แม้ว่าการเสริมน้ำมันกระเทียมในรูป CG ในอาหารไม่ทำให้น้ำหนักตับและ FAS activity แตกต่างจากไก่กลุ่มควบคุม แต่ไก่ที่ได้รับอาหารทดลองที่เสริมน้ำมันกระเทียมในรูป CG ทุกระดับมีผลทำให้ yolk cholesterol ลดลงโดยสัมพันธ์กับการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของระดับ hepatic HMGCR activity ทั้งในลักษณะเส้นตรงและควอดาร์ติก (P<0.05, Linearly and Quadratic P<0.05) ดังแสดงในตารางที่ 9 และหากเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่เสริมน้ำมันกระเทียมกับกลุ่มควบคุมจะเห็นได้ว่ากลุ่มที่เสริมน้ำมันกระเทียม มีค่า HMGCR activity ลดลง30.45 % เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง (correlations) ระหว่าง HMGCR กับ yolk cholesterol ทุกรูปมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05, *r* =0.524**, *r* =0.576** and *r* =0.549** ; mg/g yolk, mg/g egg และ mg/egg, ตามลำดับ) ดังแสดงในตารางที่ 7 ซึ่งน่าจะช่วยยืนยันว่าการเสริมน้ำมันกระเทียมในรูปCG ช่วยทำให้คอเลสเตอรอลในไข่แดงลดลงได้

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าการเสริมน้ำมันกระเทียมในรูป CG ช่วยปกป้องสารออกฤทธิ์ในน้ำมันกระเทียม (0.26 g garlic oil/g CG) ทั้งในรูป DADS and DATS ในสภาวะความเป็นกรด pH 1.2 ได้และรวมทั้งค่อยๆ ปลดปล่อย DADS and DATS ในสภาวะความเป็นด่าง pH 6.5 เป็นเวลาถึง 4 ชั่วโมง การเคลือบน่าจะ

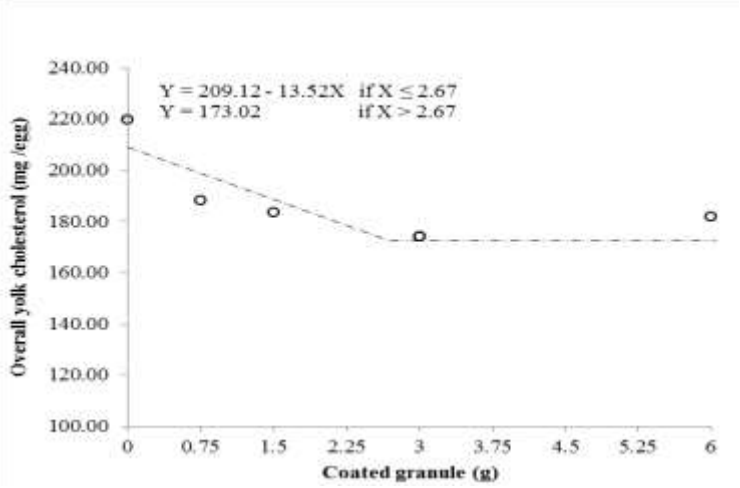
ช่วยทำให้การทำงานของ DADS and DATS มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในการลด hepetic HMGCR activity โดยมีค่าอยู่ในช่วง 31.63-82.06 % จึงส่งผลทำให้ช่วยทำให้คอเลสเตอรอลในไข่แดงลดลง. สำหรับการเสริมน้ำมันกระเทียมในรูป CG ในอาหารไม่ทำให้ส่วนประกอบของกรดไขมันต่างๆ ในไข่แดงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แสดงดัง Table 10

**ตารางที่ 10** สหสัมพันธ์ระหว่างคอเลสเตอรอลในไข่แดงกับเอ็นซัยตับ

| | Hepatic enzyme |
|---|---|
| | HMGCR |
| Liver weight | 0.020 |
| Yolk cholesterol (mg/g yolk) | 0.524** |
| Yolk cholesterol (mg/g egg) | 0.576** |
| Yolk cholesterol (mg/egg) | 0.549** |
| Total-C | 0.249 |
| HDL-C | -0.157 |
| LDL-C | -0.203 |

** : P<0.01

การศึกษาการตอบสนองของระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมในรูป CG ในอาหารต่อระดับของคอเลสเตอรอลในไข่ เพื่อศึกษาหาระดับที่เหมาะสมของน้ำมันกระเทียมในรูป CG โดยการใช้ broken line analysis จากสมการดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่าระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมที่ 2.67 g CG ในอาหารเป็นระดับที่เหมาะสมที่ทำให้ระดับของคอเลสเตอรอลในไข่ลดลง




**ภาพที่ 6** The optimal supplementing level was estimated using overall yolk cholesterol (mg/egg) and coated granule (g) applying on two slop broken-line regression analysis.

**ตารางที่ 11** ผลของการเสริมน้ำมันกระเทียมที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่แดง

| Parameter | Dietary CG (g)[1] | | | | | P-value | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 0.75 | 1.5 | 3 | 6 | SEM | Treatment | 0vsCG | Linear | Quadratic |
| Fatty acids composition (mg/g yolk) | | | | | | | | | | |
| Myristic acid (C14:0) | 0.54 | 0.71 | 0.82 | 0.93 | 0.84 | 0.40 | 0.688 | 0.218 | – | – |
| Pentadecanoic acid (C15:0) | 0.09 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.14 | 0.06 | 0.689 | 0.168 | – | – |
| Palmitic acid (C16:0) | 73.66 | 94.32 | 92.96 | 104.99 | 99.50 | 25.97 | 0.525 | 0.115 | – | – |
| Margaric acid (C17:0) | 0.57 | 0.91 | 0.77 | 0.75 | 0.76 | 0.23 | 0.388 | 0.096 | – | – |
| Stearic acid (C18:0) | 22.38 | 32.88 | 30.75 | 31.96 | 29.22 | 8.89 | 0.497 | 0.096 | – | – |
| Palmitoleic acid (C16:1) | 7.37 | 8.04 | 8.77 | 11.14 | 9.79 | 2.98 | 0.441 | 0.234 | – | – |
| Oleic acid (C18:1) | 140.14 | 185.80 | 166.18 | 183.50 | 183.38 | 47.45 | 0.624 | 0.156 | – | – |
| Eicosenoic acid (C20:1n9) | 0.64 | 0.85 | 0.76 | 0.89 | 0.91 | 0.31 | 0.741 | 0.251 | – | – |
| Linoleic acid (C18:2n6) | 58.24 | 78.44 | 75.20 | 76.04 | 75.89 | 20.06 | 0.622 | 0.126 | – | – |
| Linolenic acid (C18:3n3) | 1.51 | 1.77 | 1.87 | 1.98 | 2.00 | 0.66 | 0.832 | 0.301 | – | – |
| Total SFA[2] | 97.24 | 128.95 | 125.44 | 138.78 | 130.46 | 34.15 | 0.510 | 0.098 | – | – |
| Total MUFA[3] | 148.15 | 194.69 | 175.71 | 195.53 | 194.08 | 50.30 | 0.628 | 0.157 | – | – |
| Total PUFA[4] | 59.74 | 80.21 | 77.07 | 78.02 | 77.88 | 20.63 | 0.629 | 0.129 | – | – |
| PUFA:SFA | 0.61 | 0.62 | 0.61 | 0.56 | 0.59 | 0.02 | 0.416 | 0.569 | – | – |
| n6:n3 | 40.10 | 44.67 | 43.83 | 39.62 | 39.49 | 8.58 | 0.846 | 0.711 | – | – |
| Total lipid (%) | 34.15 | 35.63 | 34.98 | 40.75 | 37.41 | 5.16 | 0.423 | 0.309 | – | – |

[1] 0: basal diet supplemented with 0 g coated granule (control), 0.75: basal diet supplemented with 0.75 g coated granule, 1.5: basal diet supplemented with 1.5 g coated granule, 3: basal diet supplemented with 3 g coated granule, 6: basal diet supplemented with 6 g coated granule.

[2] SFA = Saturated fatty acids.

[3] MUFA = Monounsaturated fatty acid.

[4] PUFA = Polyunsaturated fatty acid.

การสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในไก่ไข่จะเกิดขึ้นที่ตับและต้องมี lipoproteins ที่มีขนาดเล็กกว่าปกติมากและมีความจำเพาะเจาะจงที่ทำให้สามารถผ่าน the basal lamina layer ของผนังของฟอลิเคิลของรังไข่ได้ (ovarian follicle wall) ดังนั้นคอเลสเตอรอลในไข่แดงขึ้นอยู่กับความจำเพาะของ lipoproteins ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น (Griffin and Perry, 1985; Griffin, 1992). Kim et al. (2004) ให้ข้อเสนอแนะว่าหากมีสารที่สามารถจะยับยั้งการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลที่ตับได้จะส่งผลให้ปริมาณของคอเลสเตอรอลในไข่แดงลดลงได้โดยมีรายงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ให้ผลการวิจัยเช่นที่กล่าวมา เกี่ยวกับเรื่องนี้ Elkin (1999) ได้อธิบายว่าสารยับยั้งจะไปมีผลต่อ HMGCR ที่ควบคุมและจำกัดอัตราการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล แต่กลไกในการควบคุมการสังเคราะห์ HMG-CoA reductase ที่ควบคุมการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลนั้นยังไม่เป็นที่เข้าใจหรือสามารถอธิบายได้ เช่นเดียวกับงานทดลองครั้งนี้ Qureshi et al. (1983b) ได้แสดงให้เห็นว่าไก่ไข่ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริมน้ำมันกระเทียมทางการค้าที่ระดับ 0.014 %เป็นเวลา 4 สัปดาห์ hepatic HMGCR activity ลดลงอย่างมรนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยลดลง 74% เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมแต่ไม่มีผลต่อ hepatic FAS activity Liu and Yeh (2000) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของสารประกอบ organosulfur จากกระเทียมต่อการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในเซลล์ของตับหนูพบว่า DADS, DATS และ dipropyl disulfide (DPDS) ลดการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลที่ตับได้ในช่วง 10 - 25% เมื่อใช้ในระดับ 0.5 mmol/L

# บทที่ 5
# สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 การศึกษาผลการเคลือบน้ำมันกระเทียมด้วยพอลิเมอร์ต่อความคงตัวของสารออกฤทธิ์ diallyl disulfide (DADS) และ diallyl trisulfide (DATS) สามารถป้องกันสารออกฤทธิ์ให้คงอยู่ได้ถึง 97.58 และ 80.74 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

5.2 การศึกษาฤทธิ์ของน้ำมันกระเทียมเสริมในอาหารที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตอรอลในไข่แดงและพลาสมา

5.2.1 การเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารทำให้สมรรถภาพการผลิตได้แก่ อัตราการให้ไข่ มวลไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ดีขึ้นในลักษณะเส้นตรง ($P<0.05$) ตามระดับการเสริมน้ำมันกระเทียม

5.2.2 การเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารทำให้คุณภาพไข่ ได้แก่ น้ำหนักไข่ น้ำหนักไข่ขาว สีไข่แดง และความตึงข้นของไข่ขาวมีค่าสูงขึ้นในลักษณะเส้นตรง ($P<0.05$) ตามระดับการเสริมน้ำมันกระเทียม

5.2.3 การเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง ทั้งในรูปมิลลิกรัม/กรัมของไข่แดง มิลลิกรัม/กรัมของน้ำหนักไข่ และมิลลิกรัม/ไข่ 1 ฟอง ลดลงในลักษณะเส้นตรง ($P<0.05$) ตามระดับการเสริมน้ำมันกระเทียม

5.2.4 ระดับการเสริมน้ำมันกระเทียมในอาหารในรูป CG ที่ระดับ 2.67 กรัม เป็นระดับที่แนะนำโดยสามารถทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในไข่แดงมีค่าต่ำสุดและไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตไข่

**เอกสารอ้างอิง**

กัมปนาท หวลบุตตา. 2560. พอลิเมอร์ที่ใช้ทางเภสัชกรรม. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.ccpe.pharmacycouncil.org/index.php [เข้าถึง เมื่อ 17 สิงหาคม 2560].

ณัฐวิศิษฏ์ ยะสาวรรณ. 2557. พอลิเมอร์ที่ตอบสนองต่อพิเอชเพื่อการประยุกต์ทางชีวการแพทย์. ว. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 22 : 272-285.

พัชรินทร์ เทพอารีนันท์. 2541. ผลของกระเทียมต่อการทำงานของหัวใจและหลอดเลือดในเบาหวาน. ว. แพทยศาสตร์ มศว 5 : 21-26.

พัชรีวรรณ แก้วมูลสุข. 2549. ผลของการใช้สมุนไพรกระเทียมในอาหารไก่ไข่ที่มีต่อสมรรถนะการให้ไข่ คุณภาพไข่ ระดับภูมิคุ้มกัน และระดับโคเลสเตอรอลในไข่. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาขอนแก่น.

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2010. ฐานข้อมูลสมุนไพร. (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.thaicrudedrug.com/main.php?action=viewpage&pid=8 [เข้าถึง เมื่อ 17 สิงหาคม 2560].

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. ภาพรวมอุตสาหกรรมไข่ไก่ของไทย ปี 2559. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: https://www.thaiahpa.com/ckfinder/userfiles/files.pdf [เข้าถึง เมื่อ 17 สิงหาคม 2560].

อรอนงค์ คำศิริตระกูล. 2554. การพัฒนาและการศึกษาความคงตัวของยาเม็ดโซเดียมวาลโปรเอทในรูปแบบเคลือบเอนเทอริค. วิทยานิพนธ์ เภสัชศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Adibmoradi, M., Navidshad, B., Seifdavati, J. and Royan, M. 2006. Effect of dietary garlic meal on histological structure of small intestine in broiler chickens. Jpn. Poult. Sci. 43 : 378-383.

Alfadhli, M.K.M., Wali, A.T., Shukair, H.K. and Ahmed, M.J. 2012. Effect of garlic oil in some qualitative characteristics of laying hens eggs. Inter. J. Advan. Biol. Res. 2 : 653-656.

Ali, M., Al-Qattan, K.K., Al-Enezi, F., Khanafer, R.M. and Mustafa, T. 2000. Effect of allicin from garlic powder on serum lipids and blood pressure in rats fed with a high cholesterol diet. Prostag. Leukotr. Ess. 62 : 253-259.

Ankri, S. and Mirelman, D. 1999. Antimicrobial properties of allicin from garlic. Microbes Infect. 1 : 125-129.

Ao, X., Yoo, J.S., Lee, J.H., Jang, H.D., Wang, J.P., Zhou, T.X., Kim, I.H., 2010. Effects of fermented garlic powder on production performance, egg quality, blood profiles and fatty acids composition of egg yolk in laying hens. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 23 (6), 786-791.

Aquino, J.S., Silva, J.A. 2010. Total lipids, cholesterol and fatty acids composition of ostrich eggs: a methodological approach. Rev. Inst. Adolfo. Lutz. São Paulo. 69 (4), 588-594.

Ashraf, R., Aamir, K., Shaikh, A.R. and Ahmed, T. 2005. Effects of garlic on dyslipidemia in patients with type 2 diabetes mellitus. J. Ayub Med Coll. 17 : 60-64.

Augusti, K.T. and Sheela, C.G. 1996. Antiperoxide effect of S-allyl cysteine sulfoxide, an insulin secretagogue, in diabetic rats. Experientia. 15 : 115-120.

Ayed, M.H., Aissa, A., Noumi, M. 2018. A comparative study between the effects of feed inclusion with garlic (*Allium sativum*), cloves and turmeric (*Curcuma longa*) rhizome powder on laying hens' performance and egg quality. Iran. J. Appl. Anim. Sci. 8 (4), 693-701.

Bragagnolo, N., Rodriguez-Amaya, D.B. 1993. Avaliação comparativa de três métodos para determinação de colesterol em gema de ovo. Arq. Biol. Technol. 36 (2), 237-251.

Canogullari, S., Karaman, M., Erdogan, Z., Baylan, M., Kucukgul, A., Duzguner, V., Ozugur, A. 2009. Effect of garlic powder on egg yolk and serum cholesterol and performance of laying hens. Bull. Vet. Inst. Pulawy 53 (x), 515-519.

Cavallito, C.J., Buck, J.S. and Suter, C.M. 1994. Allicin, the antibacterial principle of *Allium sativum*. Determina-tion of the chemical composition. J. Am. Chem. Soc. 60 : 1952-1958.

Chabria, S. and Desai, K. 2016. Purification and characterisation of alliinase produced by Cupriavidus necator and its application for generation of cytotoxic agent: Allicin. Saudi. J. Biol. Sci. http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.01.003

Chan, J.Y.Y., Yuen, A.C.Y., Chan, R.Y.K. and Chan, S.W. 2013. A review of the cardiovascular benefits and antioxidant properties of allicin. Phytother. Res. 27 : 637-646.

Cherian, G., Holsonbake, T.B. and Goeger, M.P. 2002. Fatty acid composition and egg components of specialty eggs. Poult. Sci. 81 : 30-33.

Chowdhury, S.R., Chowdhury, S.D., Smith, T.K. 2002. Effects of dietary garlic on cholesterol metabolism in laying hens. Poult. Sci. 81 (x), 1856-1862.

Chowdhury, S, Mandal, G.P., Patra, A.K., Kumar, P., Samanta, I., Pradhan, S., Samantad, A.K. 2018. Different essential oils in diets of broiler chickens: 2. Gut microbes and morphology, immune response, and some blood profile and antioxidant enzymes. Anim. Feed Sci. Technol. 236 (x), 39-47.

Elkin, R.G. and Rogler, J.C. 1990. Reduction of the cholesterol content of eggs by the oral administration of lovastatin to laying hens. J. Agric. Food Chem. 38 : 1635-1641.

Elkin, R.G., Yan, Z., Zhong, Y., Donkin, S.S., Buhman, K.K., Story, J.A., Turek, J.J., Porter Jr, R.E., Anderson, M., Homan, R. and Newton, R.S. 1999. Select 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme A reductase inhibitors vary in their ability to reduce egg yolk cholesterol levels in laying hens through alteration of hepatic cholesterol biosynthesis and plasma VLDL composition. J. Nutr. 129 : 1010-1019.

Eren, M., Uyanik, F. and kersan, S. 2004. The influence of dietary boron supplementation on egg quality and serum calcium, inorganic phosphorus, magnesium levels and alkaline phosphatase activity in laying hens. Res. Vet. Sci. 76 : 203-210.

European Food Safety Authority. 2015. Scientific Opinion on the safety and efficacy of Liderfeed® (eugenol) for chickens for fattening. The EFSA J. 13 : 1-16.

Gautam, S., Platel, K., Srinivasan, K. 2010. Higher bioaccessibility of iron and zinc from food grains in the presence of garlic and onion. J. Agric. Food Chem. 28 (58), 8426-8429.

Gebreyohannes, G. and Gebreyohannes, M. 2013. Medicinal values of garlic: A review. Int. J. Med. Med. Sci. 5 : 401-408.

Griffin, H.D. 1992. Manipulation of egg yolk cholesterol: a physiologist's view. World. Poult. Sci. J. 48 (x), 101-112.

Han, K.N., Kwon, I.K., Lohakare, J.D., Heo, S. and Chae, B.J. 2007. Chito-oligosaccharides as an alternative to antimicrobials in improving performance, digestibility and microbial ecology of the gut in weanling pigs. Asian-Australas J Anim Sci. 20 : 556-562.

Hajiuon, B. 2013. Effects of cell phone radiation on estrogen and progesterone levels and ovarian changes in rats treated with garlic (*Allium sativum* L.) hydro-alcoholic extract. J. Herb. Drug. 4 (2), 81-88.

Kendler, B.S. 1987. Garlic *(Allium sativum)* and onion *(Allium cepa)*: a review of their relationship to cardiovascular disease. Prev. Med. 16 : 670-685.

Kim, J.H., Hong, S.T., Lee, H.S. and Kim, H.J. 2004. Oral administration of pravastatin reduces egg cholesterol but not plasma cholesterol in laying hens. Poult. Sci. 83 : 1539-1543.

Kim, J.S., Kang, O.J., Gweon, O.C. 2013. Changes in the content of fat- and water-soluble vitamins in black garlic at the different thermal processing steps. Food Sci. Biotechnol. 22 (1), 283-287.

Kim, S.M., Kubota, K., Kobayashi, A. 1997. Antioxidative activity of sulfur-containing flavor compounds in garlic. Biosci. Biotechnol. Biochem. 61 (9), 1482-1485.

Kogut, M.H., Arsenault, R.J., 2016. Gut health: The new paradigm in food animal production. Front. Vet. Sci. 3 : 1-4.

Lanzotti V. 2006. The analysis of onion and garlic. J Chromatogr. 1112 : 3-22.

Lim, K.S., You, S.J., An, B.K. and Kang, C.W. 2006. Effects of dietart garlic powder and copper on cholesterol content and quality characteristics of chicken eggs. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 19 : 582-586.

Liu, L., Yeh, Y.Y. 2000. Inhibition of cholesterol biosynthesis by organosulfur compounds derived from garlic. Lipids 35 (x), 197-203.

Lowson, L.D., Wood, S.G. and Hughes, B.G. 1991. HPLC analysis of allicin and other thiosulfinates in garlic cloves homogenates. J. Plant. Med. 57 : 263-270.

Ma, Y.H., Wang, Q., Gong, J. and Wu, X.Y. 2016. Formulation of granules for site-specific delivery of an antimicrobial essential oil to the animal intestinal tract. J. Phar. Sci. 105 : 1124-1133.

Mahmoud, K.Z., Saad, M., Gharaibeh, H., Zakaria, A. and Amer, M. 2010. Gaclic (*Allium sativum*) supplementation: influence on egg production, quality, and yolk cholesterol level in layer hens. Asian-Aust. J. Anim. 23 : 1503-1509.

National Research Council. 1994. Nutrient requirements of poultry. 9th ed. National Academy of Science, Washington, DC.

Nesheim, M. C., Austic, R. E., and Card, L. E. 1979. Poultry production. 12th ed. Philadephia: Lea&Febiges.

Newall C.A., Anderson L.A., Phillipson J.D. Pharmaceutical Press; London: 1996. Herbal medicines: a guide for health-care professionals, vol. ix. p. 296.

Omar, S.H. and Al-Wabel, N.A. 2010. Organosulfur compounds and possible mechanism of garlic in cancer. Saudi Pharm. J. 18 : 51-58.

Panyod, S., Wu, W.K., Ho, C.T., Lu, K.H., Liu, C.T., Chu, Y.L., Lai, Y.H., Chen, W.C., Lin, Y.E., Lin, S.H. and Sheen, L.Y. 2016. Diet Supplementation with allicin protects against alcoholic fatty liver disease in mice by Improving anti-inflammation and antioxidative functions. J. Agric. Food Chem. 64 : 7104-7113.

Poltowicz, K. and Wesyk, S. 2005. Effect of garlic oil supplement in laying hen nutrition on the level of egg yolk cholesterol. Materiały XVII Międzynarodowego Sympozjum Drobiarskiego (PO WPSA). Kiekrz k. Poznania. Polska, 137-138.

Qureshi, A.A., Abuirmeileh, N., Din, Z.Z., Elson, C.E., Burger, W.C. 1983a. Inhibition of cholesterol and fatty acid biosynthesis in liver enzymes and chicken hepatocytes by polar fractions of garlic. Lipids 18 (x), 343-348.

Qureshi, A.A., Din, Z.Z., Abuirmeileh, N., Burger, W.C., Ahmad, Y., Elson, C.E., 1983b. Suppression of avian hepatic lipid metabolism by solvent extracts of garlic: impact on serum lipids. J. Nutri. 113 (x), 1746-1755.

Rahman, M.S. 2007. Allicin and other functional active components in garlic: Health benefits and bioavailability. 10 : 245-268.

Ramakrishna, R., Platel, R.K. and Srinivasan, K. 2003. In vitro influence of spices and spice-active principles on digestive enzymes of rat pancreas and small intestine. Nahrung 47 : 408-412.

Reddy, R.V., Lightsey, S.F. and Maurice, D.V. 1991. Effect of feeding garlic oil on performance and egg yolk cholesterol concentration. Poult. Sci. 70 : 2006-2009.

SAS. 2015. Base SAS® 9.4 Procedures Guide. 5th edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Spence, J.D., Jenkins, D.J. and Davignon, J. 2010. dietary cholesterol and egg yolks: not for patients at risk of vascular disease. Can J Cardiol. 26 : 336-339.

Stoll, A., Seebeck, E., 1951. Chemical investigations of alliin, the specific principle of garlic. Adv. Enzymol. 11 : 377-400.

Velasco, J., Dobarganes, C. and Marquez-Ruiz, G. 2013. Variables affecting lipid oxidation in dried microencapsulated oils. Grasas Aceites. 54 : 304-314.

Weiner, L., Shin, I., Shimon, L.J.W., Miron, T., Wilchek, M., Mirelman, D., Frolow, F. and Rabinkov, A. 2008. Thiol-disulfide organization in alliin lyase (alliinase) from garlic (*Allium sativum*). Protein Sci. 18 : 196-205.

Wilson, E.A., Demming-Adams, B. 2007. Antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial properties of garlic and onion. Nutr. Food. Sci. 37 : 178-183.

Wu, C.C., Sheen, L.Y., Chen, H.W., Tsai, S.J., Lii, C.K. 2001. Effects of organosulfur compounds from garlic oil on the antioxidant system in rat liver and red blood cells. Food. Chem. Toxicol. 39 (x), 563-569.

Yalçın, S, Onbaşılar, I., Şehu, A., Yalçın, S. 2007. The effects of dietary garlic powder on the performance, egg traits and blood serum cholesterol of laying quails. Asian-Aust. J. Anim. 20 (6), 944-947.

Yoo, M., Kim, S., Lee, S., Shin, D. 2014. Validated HPLC method and temperature stabilities for oil-soluble organosulfur compounds in garlic macerated oil. J. Chromatogr. Sci. 52 (x), 1165-1172.

Zengin, G., Sarikurkcu, C., Gunes, E., Uysal, A., Ceylan, R., Uysal, S., Gungord, H., Aktumsek, A. 2015. Two ganoderma species: profiling of phenolic compounds by HPLC–DAD, antioxidant, antimicrobial and inhibitory activities on key enzymes linked to diabetes mellitus, Alzheimer's disease and skin disorders. Food. Funct. 6 (x), 2794-2802.

**ภาคผนวก**

จากการศึกษาอัตราส่วนผสมเม็ดแกรนูลที่ประกอบด้วย veegum absorbent powder, lactose, cornstarch, PVP-K30, $H_2O$ และ garlic oil ผลการศึกษาเมื่อพิจารณาจากความสามารถในการดูดซับน้ำมันอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม คือ 3:1:1:1:1:2 เมื่อนำส่วนผสมไปขึ้นรูปเม็ดแกรนูลที่ได้มีลักษณะเป็นก้อนกลม ไม่ร่วนขณะอัดผ่านตระแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร ไม่มีลักษณะการแตกตัวของเม็ดแกรนูลขณะทำการคัดแยกขนาดและขณะที่ทำการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ ดังแสดงในภาพที่ 1,2, 3 และ 4 ตามลำดับ

**ภาพภาคผนวกที่ 1** การเตรียมส่วนผสมสำหรับทำเม็ด granule

**ภาพภาคผนวกที่ 2** การขึ้นรูป core granule

**ภาพภาคผนวกที่ 3** ตระแกรงขนาด 0.5 mm.

**ภาพภาคผนวกที่ 4** เม็ด granule ที่ผ่านการแยกขนาด(size)

**ภาพภาคผนวกที่ 5** การเคลือบเม็ด granule ด้วยพอลิเมอร์ Eudragit@ L 100

**ภาพภาคผนวกที่ 6** ไม่มีลักษณะการแตกตัวของเม็ด granule

**ภาพภาคผนวกที่ 7** ผลิตภัณฑ์ coated granule ขนาด mm.

**ภาพภาคผนวกที่ 8** อาหารทดลองเป็นอาหารอัดเม็ด

**ภาพภาคผนวกที่ 9** ไก่ทดลองเลี้ยงบนกรงตับขังเดี่ยว

**ภาพภาคผนวกที่ 10 เครื่องวัดความหนาเปลือกไข่ไก่ DET6500**

**ภาพภาคผนวกที่ 11 การวัดคุณภาพไข่**