



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

.....  
สัปดาห์

สาขา

.....  
สัปดาห์

ภาควิชา

เรื่อง การเติมสารกันหืนในกระบวนการผลิตปลาป่นต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่  
ในไก่ไข่

Effect of Including Antioxidants in Fish Meal Processing on Performance  
and Egg Qualities in Laying Hens

نامผู้วิจัย นายจิระเดช วรรณบุญรักษ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( .....  
รองศาสตราจารย์ดวงสมร สีนเจิมศิริ, วท.ม. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( .....  
รองศาสตราจารย์อังคณา หาญบรรจง, วท.ม. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( .....  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญอ้อม โจมที, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( .....  
รองศาสตราจารย์ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( .....  
รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเติมสารกันหืนในกระบวนการผลิตปลาป่นต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ในไก่ไข่

Effect of Including Antioxidants in Fish Meal Processing on Performance and  
Egg Qualities in Laying Hens

โดย

นายจิระเดช วรรณบุญรักษ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2552

จิระเดช ธรรมบุญรักษ์ 2552: การเติมสารกันหืนในกระบวนการผลิตปลาป่น  
ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ในไก่ไข่ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
(เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาสัตวบาล ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:  
รองศาสตราจารย์ดวงสมร สีนเจิมศิริ, วท.ม. 84 หน้า

การศึกษาการเติมสารกันหืนในกระบวนการผลิตปลาป่นต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ และคุณภาพไข่ การทดลองที่ 1 เติมสารกันหืนในกระบวนการผลิตปลาป่น 3 จุดคือ ที่บ่อปลาสด (intake), ที่หลังอบแห้ง (after dryer) และที่บรรจุ (packaging) ชนิดสารกันหืนที่เติม ได้แก่ Ethoxyquin<sup>TM</sup> (EQ), Barox<sup>TM</sup> (BR), Butylated hydroxytoluene (BHT) ในระดับ 500 ppm และกลุ่มควบคุมไม่เติมสารกันหืน ใช้วัตถุดิบปลาสด 3 ชนิด ได้แก่ ปลาเรือ เศษปลาเหลือโรงงานสุริมิ และเศษปลาเหลือโรงงานทูน่า สุ่มเก็บตัวอย่างปลาป่นที่เก็บไว้นาน 4 เดือน นำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนา และคุณภาพปลาป่นจากค่า Peroxide value (PV) และ Thiobarbituric acid value (TBA) พบว่าส่วนประกอบทางโภชนาของปลาป่นที่เก็บเพิ่มขึ้น แต่โปรตีนและไขมันลดลง ปลาป่นกลุ่มที่เติมสารกันหืนมีค่า PV และ ไวนาน 4 เดือน มีความชื้น TBA ต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่เติมสารกันหืน อย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) การเติมสารกันหืนหลังอบแห้ง มีค่า PV และ TBA ต่ำกว่าปลาป่นที่เติมสารกันหืนที่บ่อปลาสด และที่จุดบรรจุ อย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) ชนิดของสารกันหืนทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ให้ผลในการป้องกันการเกิดการออกซิเดชัน โดยค่า PV และ TBA ไม่แตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) การทดลองที่ 2 ใช้ปลาป่นกลุ่มปลาเรือ และเศษปลาเหลือโรงงานทูน่า ที่เติมสารกันหืนที่หลังหม้ออบแห้ง และที่จุดบรรจุ โดยชนิดสารกันหืนที่ใช้คือ EQ, BHT และกลุ่มควบคุม จากการทดลองที่ 1 ซึ่งเก็บไว้นาน 4 เดือน นำมาผสมอาหารใช้สูตรเดียวกัน เลี้ยงไก่ไข่พันธุ์อูชิซาวราวน้อยอายุ 23 – 43 สัปดาห์ การทดลองพบว่าสมรรถภาพการผลิตไข่ได้แก่ ปริมาณอาหารที่กิน ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ อัตราการเปลี่ยนแปลงอาหารเป็นไข่ 1 กิโลกรัม ทุกกลุ่มไม่แตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) ส่วนคุณภาพของไข่ได้แก่ Haugh unit สีไข่แดง เปอร์เซ็นต์ไข่แดง การสะสมโคเลสเตอรอล และความหนาเปลือกไข่ ตลอดช่วงการทดลองของทุกกลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) แต่ค่า TBA ในไข่แดงของกลุ่มควบคุม สูงกว่ากลุ่มที่เติมสารกันหืน อย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) จากผลศึกษานี้ได้ข้อสรุปว่าการเติมสารกันหืนในการผลิตปลาป่นจะมีผลทำให้การผลิตไข่ของไก่ไข่มีคุณภาพ สูงกว่าการไม่เติมสารกันหืน

Jiradech Thummanoonluk 2009: Effect of Including Antioxidants in Fish Meal Processing on Performance and Egg Qualities in Laying Hens. Master of Science (Agriculture), Major Field: Animal Science, Department of Animal Science.  
Thesis Advisor: Associate Professor Duangsmorn Sinchermsiri, M.Sc. 84 pages.

The effect of adding antioxidants in fish meal was conducted in two trials on laying hen performance and egg qualities. In trial one, the effect of three antioxidants, Ethoxyquin<sup>TM</sup> (EQ), Barox<sup>TM</sup> (BR) and Butylated hydroxytoluene (BHT) (at concentration 500 ppm each) included in three fish meal (trash fish, remained surimi and remained tuna) processing (at fish intake, after drying and packaging) was investigated and compared with controlled feeding without antioxidants on nourishment, Peroxide Value (PV) and Thiobarbituric Acid Value (TBA). All treatments were stored for four months before they were taken for analysis. Moisture content in all fish meal kept for four months was found to be increased but protein and fat composition were found to be decreased significantly ( $P<0.05$ ). All fish meal which antioxidants were added, showed PV and TBA lower than controlled feeding without antioxidants significantly ( $P<0.05$ ). Fish meal with adding antioxidants at after drying showed PV and TBA lower than the ones adding antioxidants at fish intake and packaging significantly ( $P<0.05$ ). All three antioxidants provided good results on inhibition of oxidation in all fish meal [PV and TBA showed non-significantly ( $P<0.05$ )]. Trial two was carried out to study efficacy of laying hens performance: feed intake, feed conversion ratio, egg production and egg weight, and egg qualities: Haugh unit, yolk color, percentage of yolk, cholesterol accumulation in yolk, shell thickness and TBA. Two feedings of trash fish and remained tuna with two antioxidants, EQ and BHT, which were kept for four months were mixed using the same formula feed. The controlled feeding without antioxidants was carried out as previous feedings. All treatments were fed to laying hens, ISA-Brown strain, of 23-43 week-olds. The results showed that no significant differences in all analysed aspects on efficacy of laying hens performance ( $P<0.05$ ) and egg qualities except TBA value. Thiobarbituric Acid Value in yolk of controlled feeding group was higher than fish meal groups with antioxidants significantly ( $P<0.05$ ). Based on these studies, it could be concluded that adding antioxidants in fish meal processing would be useful to inhibit oxidation occurrence during fish meal storage. More over egg qualities as well as efficacy of performance of laying hens fed fish meal with antioxidants were higher than the ones fed with fish meal without antioxidants.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดวงสมร สีนเจิมสิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ อบรม สั่งสอนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่ และเป็นแบบอย่างที่ดีแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์อังคณา หาญบรรจง และผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญอ้อม โฉมทิ คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร อิศริโยดม ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยและประธานการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ไพโชค ปัญจะ ผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาสัตวบาลทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน และให้การถ่ายทอดความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรวรรณ อมรศักดิ์ ภาควิชากีฏวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้กรุณาตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบคุณ คุณลักษณะมี ไพบูลย์ รองประธานกรรมการอาวุโส บมจ.เจริญโภคภัณฑ์อาหาร ที่ให้โอกาสและสนับสนุนการศึกษาของข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ โรงงานปลาป่นปิโยโกคภัณฑ์ และโรงงานปลาป่นแปซิฟิกฟู้ดโปรดักส์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการผลิตปลาป่นในการทำวิทยานิพนธ์ให้ลุล่วง

ด้วยความดีและประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรมสั่งสอนให้การศึกษา และครอบครัวที่ทำให้กำลังใจในการศึกษาครั้งนี้

จิระเดช ธรรมบุญรักษ์

พฤศจิกายน 2552



## สารบัญ

### หน้า

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| สารบัญ                     | (1) |
| สารบัญตาราง                | (2) |
| สารบัญภาพ                  | (3) |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ  | (5) |
| คำนำ                       | 1   |
| วัตถุประสงค์               | 2   |
| การตรวจเอกสาร              | 3   |
| อุปกรณ์และวิธีการ          | 21  |
| อุปกรณ์                    | 21  |
| วิธีการ                    | 22  |
| ผลและวิจารณ์ผล             | 29  |
| สรุปและข้อเสนอแนะ          | 62  |
| สรุป                       | 62  |
| ข้อเสนอแนะ                 | 62  |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง       | 64  |
| ภาคผนวก                    | 70  |
| ประวัติการศึกษาและการทำงาน | 84  |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่     |                                                                                           | หน้า |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1            | ระดับโปรตีน เถ้า และไขมัน ในปลาป่นที่ผลิตจากแหล่งวัตถุดิบต่างๆ                            | 4    |
| 2            | ปริมาณพลาสติกที่ใช้ในการผลิตปลาป่นและปริมาณปลาป่นที่ผลิตได้<br>ปี 2542 – 2548             | 5    |
| 3            | สูตรอาหารไก่ไข่ทดลอง ช่วงอายุ 23- 43 สัปดาห์                                              | 25   |
| 4            | ส่วนประกอบโภชนะของอาหารทดลองจากการคำนวณ                                                   | 26   |
| 5            | คุณค่าทางโภชนะของปลาป่นเดือนที่ 0 และ 4                                                   | 30   |
| 6            | ปริมาณสารกันหืนคงเหลือ ในปลาป่นที่จัดเก็บนาน 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย±<br>ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) | 33   |
| 7            | ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ในปลาป่นที่เก็บนาน 4 เดือน( ค่าเฉลี่ย±ส่วน<br>เบี่ยงเบนมาตรฐาน)      | 37   |
| 8            | ค่า TBA ในปลาป่นที่เก็บนาน 4 เดือน (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)                       | 42   |
| 9            | ส่วนประกอบโภชนะในปลาป่นที่ใช้ทดลอง                                                        | 47   |
| 10           | ส่วนประกอบโภชนะในสูตรอาหารไก่ไข่ทดลอง ช่วงอายุ 23- 43 สัปดาห์                             | 48   |
| 11           | สมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)                                 | 52   |
| 12           | คุณภาพภายในฟองไข่                                                                         | 57   |
| 13           | ปริมาณโคเลสเตอรอล และ ค่า TBA (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)<br>ในไข่แดง              | 59   |
| <br>         |                                                                                           |      |
| ตารางผนวกที่ |                                                                                           |      |
| 1            | อุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%) ภายในโรงเรือนระบบปิด<br>(EVAP)                      | 82   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |                                                                         | หน้า |
|--------|-------------------------------------------------------------------------|------|
| 1      | กระบวนการผลิตปลาป่นในประเทศไทย                                          | 6    |
| 2      | ปริมาณสารกันหืนในปลาป่น TF เดือนที่ 0 – 4 เดิมสารกันหืนที่ intake       | 34   |
| 3      | ปริมาณสารกันหืนในปลาป่น RS เดือนที่ 0 – 4 เดิมสารกันหืนที่ intake       | 34   |
| 4      | ปริมาณสารกันหืนในปลาป่น RT เดือนที่ 0 – 4 เดิมสารกันหืนที่ intake       | 34   |
| 5      | ปริมาณสารกันหืนในปลาป่น TF เดือนที่ 0 – 4 เดิมสารกันหืนที่ after drying | 35   |
| 6      | ปริมาณสารกันหืนในปลาป่น RS เดือนที่ 0 – 4 เดิมสารกันหืนที่ after drying | 35   |
| 7      | ปริมาณสารกันหืนในปลาป่น RT เดือนที่ 0 – 4 เดิมสารกันหืนที่ after drying | 35   |
| 8      | ปริมาณสารกันหืนในปลาป่น TF เดือนที่ 0 – 4 เดิมสารกันหืนที่ packaging    | 36   |
| 9      | ปริมาณสารกันหืนในปลาป่น RS เดือนที่ 0 – 4 เดิมสารกันหืนที่ packaging    | 36   |
| 10     | ปริมาณสารกันหืนในปลาป่น RT เดือนที่ 0 – 4 เดิมสารกันหืนที่ packaging    | 36   |
| 11     | ค่า PV ในของปลาป่น TF เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ intake              | 38   |
| 12     | ค่า PV ในของปลาป่น RS เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ intake              | 38   |
| 13     | ค่า PV ในของปลาป่น RT เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ intake              | 38   |
| 14     | ค่า PV ในของปลาป่น TF เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ after drying        | 39   |
| 15     | ค่า PV ในของปลาป่น RS เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ after drying        | 39   |
| 16     | ค่า PV ในของปลาป่น RT เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ after drying        | 39   |
| 17     | ค่า PV ในของปลาป่น TF เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ packaging           | 40   |
| 18     | ค่า PV ในของปลาป่น RS เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ packaging           | 40   |
| 19     | ค่า PV ในของปลาป่น RT เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ packaging           | 40   |
| 20     | ค่า TBA ในของปลาป่น TF เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ intake             | 42   |
| 21     | ค่า TBA ในของปลาป่น RS เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ intake             | 43   |
| 22     | ค่า TBA ในของปลาป่น RT เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ intake             | 43   |
| 23     | ค่า TBA ในของปลาป่น TF เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ after drying       | 43   |
| 24     | ค่า TBA ในของปลาป่น RS เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ after drying       | 44   |
| 25     | ค่า TBA ในของปลาป่น RT เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ after drying       | 44   |
| 26     | ค่า TBA ในของปลาป่น TF เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ packaging          | 44   |



### สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ |                                                                        | หน้า |
|--------|------------------------------------------------------------------------|------|
| 27     | ค่า TBA ในของปลาป่น RS เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ packaging         | 45   |
| 28     | ค่า TBA ในของปลาป่น RT เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ packaging         | 45   |
| 29     | ผลผลิตไข่เฉลี่ย (%HH) ตลอดช่วงการทดลอง                                 | 49   |
| 30     | น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม/ฟอง)ตลอดช่วงการทดลอง                            | 49   |
| 31     | ปริมาณการกินอาหารของแม่ไก่ (กรัม/ตัว/วัน)                              | 50   |
| 32     | อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ของแม่ไก่ (กิโลกรัมอาหาร/กิโลกรัมไข่)       | 51   |
| 33     | ค่า Haugh unit ตลอดช่วงการทดลอง                                        | 54   |
| 34     | คะแนนสีไข่แดงตลอดช่วงการทดลอง                                          | 55   |
| 35     | ความหนาของเปลือกไข่ (มิลลิเมตร) ตลอดช่วงการทดลอง                       | 56   |
| 36     | ปริมาณไข่แดง (เปอร์เซ็นต์) ตลอดช่วงการทดลอง                            | 56   |
| 37     | ปริมาณการสะสมโคเลสเตอรอลในไข่แดง ช่วงอายุ 23 สัปดาห์<br>และ 43 สัปดาห์ | 60   |
| 38     | ค่า TBA ในไข่แดง ช่วงอายุ 23 สัปดาห์ และ 43 สัปดาห์                    | 61   |

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BHA = Butylate hydroxyl anisole

BHT = Butylate hydroxyl toluene

BR = Barox<sup>TM</sup>

DHA = Docosaheaxaenoic

EPA = Eicosapentaenoic

EQ = Ethoxyquin, 6-thoxy 1,2-dihydro-2,2,4 –trimethylquinolin

HDL = High density lipoprotein

HUFA = High unsaturated fatty acid

LDL = Low density lipoprotein

MDA = Malondialdihyde

PUFA = Poly unsaturated fatty acid

PV = Peroxide value

RS = Remaine surimi

RT = Remained tuna

TBA = Thiobarbituric acid

TF = Trash fish

VLDL = Very low density lipoprotein

## การเติมสารกันหืนในกระบวนการผลิตปลาป่นต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพไข่ในไก่ไข่

### Effect of Including Antioxidants in Fish Meal Processing on Performance and Egg Qualities in Laying Hens

#### คำนำ

การผลิตปลาป่นในประเทศไทย โรงงานส่วนใหญ่รับซื้อวัตถุดิบมาจากเรือประมงทั่วไป และบางแห่งมีเรือประมงเอง รวมทั้งการซื้อปลาจากน่านน้ำ โรงงานส่วนใหญ่อยู่ตามแนวชายฝั่งทะเล ผลิตปลาป่นจากปลาเบ็ดหรือปลาเรือ (trash fish) และเศษปลาเหลือจากอุตสาหกรรมแปรรูป จากของโรงงานมีประมาณ 6 – 7 แสนตันต่อปี ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (กรมประมง, 2550) มาผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าและซูริมี ซึ่งมาผลิตเป็นปลาป่นมีโปรตีน 52 – 60 %, ไขมัน 10 – 20 % ซึ่งปลาป่นที่ผลิตได้มีไขมันค่อนข้างสูง ปลาป่นไขมันสูงเกิดการออกซิเดชันของไขมันในปลาป่น เป็นปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับไขมันชนิดไม่อิ่มตัวของไขมันในปลาป่น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส, กลิ่นหืน และการสูญเสียทางโภชนาการ ทำลายวิตามินที่ละลายในไขมัน มีการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมัน

การเติมสารกันหืนในปลาป่น เพื่อลดความเสื่อมคุณภาพของปลาป่น เป็นวิธีหนึ่งช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันในปลาป่น จะทำให้สามารถเก็บปลาป่นได้นานขึ้น สารกันหืนที่ใช้ในการผลิตปลาป่น เช่น บี.เอช.เอ. (Butylate hydroxyl anisole, BHA), อีทอกซีควิน (ethoxyquin , 6-thoxy 1,2-dihydro-2,2,4 –trimethylquinolin) และ บี.เอช.ที. (Butylate hydroxyl toluene, BHT) การเกิดการหืนในอาหารสัตว์มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโต และการกินอาหารได้ลดลง ส่งผลต่อขนาด และน้ำหนักตัวไก่ ทำให้ผลผลิตไข่ลดลง ประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์ที่ได้รับอาหารที่หืนลดลง ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงเป็นการเติมสารกันหืนในกระบวนการผลิตปลาป่น เพื่อรักษาคุณภาพปลาป่น และศึกษาผลที่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค

## วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลการเติมสารกันเหินในกระบวนการผลิตปลาป่นต่อคุณภาพปลาป่นที่เก็บไว้นาน 4 เดือน
2. ศึกษาผลการเติมสารกันเหินในกระบวนการผลิตปลาป่นต่อคุณภาพปลาป่นต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพไข่ของไก่ไข่



## การตรวจเอกสาร

### ปลาป่น

ผลผลิตปลาป่นของโลกมีประมาณปีละ 6 - 8 ล้านตันต่อปี แหล่งผลิตใหญ่ที่สุด ได้แก่ เปรู (ร้อยละ 31) และชิลี (ร้อยละ 15) ในทวีปอเมริกาใต้ซึ่งสามารถผลิตปลาป่นได้มากกว่า ครึ่งหนึ่งของผลผลิตโลก เนื่องจากมีแนวชายฝั่งที่ยาวติดต่อกันกว่า 7,000 กิโลเมตร ทางฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งเป็นเขตน่านน้ำเศรษฐกิจที่กว้างใหญ่ และเป็นน่านน้ำที่มีกระแสน้ำอุ่นมาบรรจบกับกระแสน้ำเย็น ทำให้มีปริมาณแร่ธาตุอาหารสูงมาก เหมาะเป็นแหล่งอาศัยของปลากว่า 700 สายพันธุ์ ปลาที่เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตปลาป่น ได้แก่ ปลาแอนโชวี ชาร์ดิน และแจ๊คแมคเคอเรล ปลาป่นเป็นแหล่งวัตถุดิบที่นิยมใช้เสริมโปรตีนในการผลิตอาหารสัตว์ โปรตีนในปลาป่นมีคุณภาพดี ปริมาณและชนิดของกรดอะมิโนครบถ้วน ยังเป็นแหล่งน้ำมันที่อุดมด้วยกรดไขมันที่จำเป็นชนิดไม่อิ่มตัว โอเมก้า-3 (High unsaturated fatty acid, HUFA) ความต้องการโปรตีนของปลาป่นในอาหารสัตว์น้ำมีความต้องการต่างกันตั้งแต่ช่วง 30 - 50 % (จูอะดี และคณะ, 2539)

ปลาป่นที่ผลิตได้มีคุณภาพที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัตถุดิบ ฤดูกาลผลิต และกรรมวิธีการผลิต (อุทัย, 2529) การศึกษาคุณภาพปลาป่นโดยการใช้เลียงไก่และดูการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และประสิทธิภาพของโปรตีน แม้จะให้ผลที่ชัดเจนและถูกต้อง แต่ต้องใช้เวลาาน ดังนั้นในทางปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ทางเคมีดูส่วนประกอบของโภชนะ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และการตรวจค่า TBA-value (Thiobarbituric acid) ซึ่งเป็นดัชนีบอกลักษณะเสื่อมสภาพของเนื้อจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (oxidation) จึงเป็นสิ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นดัชนีชี้บ่งบอกลักษณะคุณภาพปลาป่นได้อีกด้วย (Gray, 1978)

### แหล่งผลิตปลาป่นของไทย

จากรายงานของกรมประมงกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (กรมประมง, 2550) โรงงานปลาป่นส่วนใหญ่รับซื้อวัตถุดิบจากเรือประมงทั่วไป และบางแห่งมีเรือประมงเป็นของตนเอง รวมทั้งรับซื้อปลาจากน่านน้ำไทย เพื่อให้ได้วัตถุดิบเพียงพอกับเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตปลาป่นรวมประมาณ 4-6 แสนตันปลาป่นต่อปี โรงงานผลิตปลาป่นของไทยตั้งอยู่ในพื้นที่จังหวัดที่ติดต่อกับชายฝั่งทะเลมีประมาณ 107 โรงงาน



## แหล่งวัตถุดิบพลาสติกที่นำมาผลิตปลาป่น

1. ปลาเป็ดหรือปลาเรื้อ (trash fish) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปลาป่นส่วนใหญ่ (ร้อยละ 60 - 70) เป็นเศษปลาที่เหลือจากการคัดปลาสำหรับใช้บริโภคออกไปแล้ว จากปลาที่ได้จากการประมง ซึ่งใช้เรือประมงประเภทอวนลากและอวนล้อม ที่จับได้จากเรือประมงเป็นปลาเบญจพรรณ เช่น ปลากระดัก ปลาทุลั้งเขี้ยว เป็นต้น แสดงในตารางที่ 1 ปลาป่นที่ผลิตได้จากปลาผิวน้ำมีคุณภาพดี มีโปรตีนสูงถึง 60 – 67 % (จูอะดี และคณะ, 2539)

2. เศษปลาเหลือโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปซูริมิ (Remained surimi, RS) เป็นปลาทรายแดงมากถึงร้อยละ 40 คุณค่าทางโภชนาการโดยเฉลี่ย โปรตีน 54.8 % ไขมัน 10 - 16 % ความชื้น 8-10 % (สุกัญญา และคณะ, 2534) ปลาป่นที่ได้จากการผลิตจะมีความผันแปรของส่วนประกอบทางโภชนาการสูงขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ และกรรมวิธีในการผลิต

3. เศษปลาเหลือโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปทูน่า (Remained tuna, RT) เป็นปลาโอ คุณค่าทางโภชนาการโดยเฉลี่ย โปรตีน 45 – 50 % ไขมัน 18 - 20 % ความชื้น 8 – 10 % ซึ่งเนื่องจากมีไขมันค่อนข้างสูงจึงต้องมีการเติม อีทอกซิควิน (ethoxyquin) 500 พีพีเอ็ม. และปัจจุบันมีเทคโนโลยีในการบีบน้ำมันทำน้ำมันปลาทูน่าเพื่อในการบริโภคเพื่อสุขภาพ ทำให้ปลาป่นที่ได้มีไขมันต่ำลง และโปรตีนสูงขึ้น (สุกัญญา และคณะ, 2534)

ตารางที่ 1 เปอร์เซนต์โปรตีน เถ้า และไขมัน ในปลาป่นที่ผลิตจากแหล่งวัตถุดิบต่างๆ

| ชนิดวัตถุดิบ              | โปรตีน (%) | ระดับเถ้า (%) | ไขมัน (%) |
|---------------------------|------------|---------------|-----------|
| ปลาทุลั้งเขี้ยว           | 60-68      | 14-20         | 8-12      |
| ปลาเป็ด                   | 43-65      | 20-38         | 5-10      |
| เศษปลาจากอุตสาหกรรมแปรรูป | 52-60      | 18-24         | 10-20     |
| ปลาแฮร์ริง                | 68-74      | 6-10          | 6-10      |
| ปลาแอนโชวี                | 60-70      | 14-18         | 6-10      |
| ปลาซาดีน                  | 66-72      | 14-18         | 6-10      |

ที่มา: จูอะดี และคณะ (2539)

สถิติประมงปี 2542-2548 พบว่าปริมาณพลาสติกสำหรับผลิตปลาป่นเพิ่มขึ้นจาก 1.2 ล้านตันพลาสติก เป็น 1.5 ล้านตันพลาสติก ซึ่งส่วนที่เพิ่มขึ้นมาจากเศษปลาเหลือโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปซูริมิและทูน่า

**ตารางที่ 2** ปริมาณพลาสติกและปลาป่นที่ผลิตในปี 2542 – 2548

| ปี   | จำนวน<br>โรงงานปลาป่น | พลาสติกรวม<br>(ตัน) | ปลาเป็ด<br>(ตัน) | เศษปลา<br>(ตัน) | ปลาอื่นๆ<br>(ตัน) | ปลาป่น<br>(ตัน) |
|------|-----------------------|---------------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 2542 | 96                    | 1,202,283           | 755,832          | 388,928         | 57,464            | 309,248         |
| 2543 | 99                    | 1,147,091           | 725,489          | 358,928         | 62,675            | 299,073         |
| 2544 | 93                    | 1,437,731           | 722,109          | 659,259         | 56,363            | 378,352         |
| 2545 | 93                    | 1,507,644           | 679,640          | 768,096         | 59,908            | 391,582         |
| 2546 | 100                   | 1,529,028           | 695,999          | 769,361         | 63,668            | 392,312         |
| 2547 | 95                    | 1,555,950           | 771,723          | 671,641         | 112,586           | 423,866         |
| 2548 | 99                    | 1,555,541           | 754,541          | 731,699         | 68,426            | 414,505         |

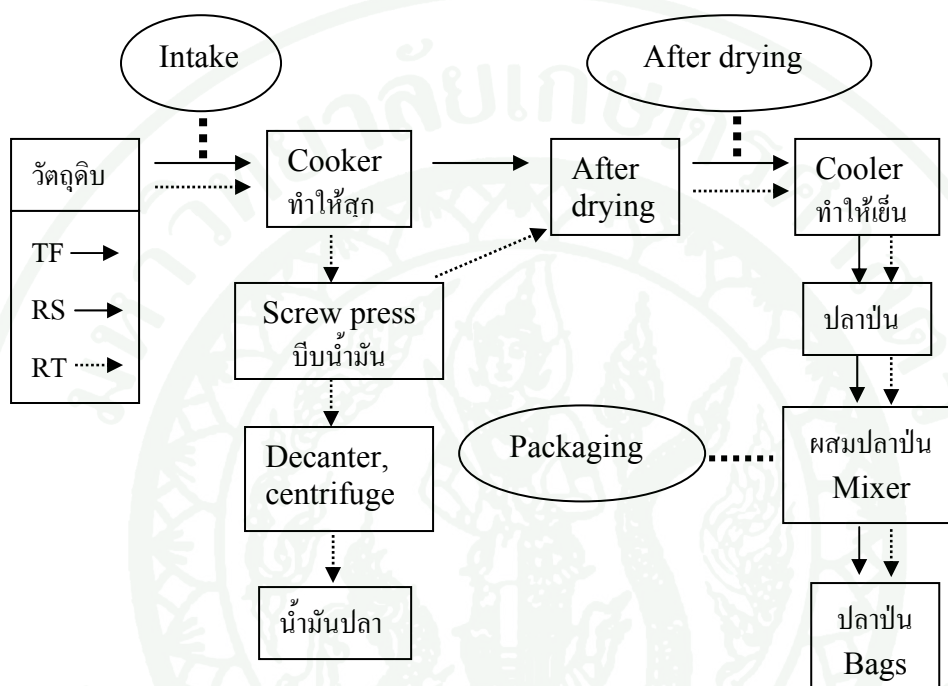
ที่มา: กรมประมง (2550)

### กระบวนการผลิตปลาป่นในประเทศไทย

วัตถุดิบพลาสติกที่นำมาผลิตปลาป่นได้มาจากการประมง มีปลาหลายชนิด เช่น ปลาเบญจพรรณหรือปลาเป็ด เช่น ปลาแป้น ปลาหลังเขียว ปลาสลิดหิน ปลาจ๊อบ ปลาเป็ด ส่วนมากเป็นปลาขนาดเล็กที่ไม่นิยมใช้เป็นอาหารมนุษย์ ปลาป่นที่ผลิตได้จากพลาสติกประเภทนี้รวมถึง จากส่วนเหลือจากตัวปลาที่ชำแหละและเศษปลาโรงงานทำปลากระป๋องจะมีไขมันต่ำ ส่วนเศษปลาโรงงานแปรรูปปลาทูน่าจะมีไขมันสูง จึงเพิ่มขั้นตอนการบีบน้ำมันปลา ซึ่งน้ำมันที่ถูกหนีบออกจะนำไปผลิตเป็นน้ำมันปลา ส่วนปลาป่นที่ผลิตจากปลาเป็ดไม่มีขั้นตอนการบีบน้ำมันออก

ขั้นตอนที่ใช้ในการผลิตปลาป่นในประเทศไทย สุนันทา (2525) มีดังนี้ คือปลาที่จับได้จะถูกส่งเข้าโรงงาน และเทในบ่อพลาสติก (Intake) มีรางลักษณะเป็นเกลียว ทำหน้าที่ลำเลียงปลาไปยังหม้อต้มปลาให้สุก (Cooker) และหม้ออบแห้ง (After drying) ที่ใช้ความร้อนจากไอน้ำ เมื่ออบแห้ง

(After drying) แล้วจะผ่านไปยังหม้อกวนเย็น (Cooler) เพื่อระบายความร้อนจากตัวปลาป่น หลังจากนั้นจะถูกลำเลียงไปสู่เครื่องโม่ให้ละเอียด แล้วจึงผ่านไปยังหม้อกวนเย็นอีกครั้ง เมื่อจำหน่ายต้องการให้ได้โปรตีนตามที่ลูกค้าต้องการและสีปลาป่นเป็นเนื้อเดียวกันจะผ่านกระบวนการผสมที่ถังผสมปลาป่น (Mixer) และเติมสารกันหืน หลังจากนั้นบรรจุกระสอบเตรียมจำหน่าย ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตปลาป่นในประเทศไทย

ที่มา: สุรนันทา (2525)

ขั้นตอนที่ 1 วัตถุดิบพลาสติก เช่น ปลากระดัก ปลาหลังเขียว หรือเศษปลาโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูป จะถูกเทในบ่อพลาสติก และถูกลำเลียงไปเข้าหม้อต้มให้สุก

ขั้นตอนที่ 2 การทำให้สุก (Cooker) มีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ ใช้อุณหภูมิ 100 องศา ซึ่งจะทำให้โปรตีนตกตะกอนและเซลล์ที่เก็บน้ำมันแตกตัวออกเป็นน้ำมันและน้ำ เข้าสู่เครื่องบีบน้ำมัน (screw press)

ขั้นตอนที่ 3 เครื่องบีบน้ำมัน ปลาที่ผ่านเครื่องบีบน้ำมัน ซึ่งบีบได้ส่วนของแข็ง (เนื้อปลา) ส่วนของเหลว (น้ำและน้ำมัน) แต่จะมีเศษเนื้อปลาป่น จึงถูกนำมาผ่านเครื่อง Decanter

ส่วนของแข็ง (เนื้อปลา) ได้เพิ่มอีก ส่วนของเหลวถูกนำมาเข้าเครื่อง Centrifuge น้ำและน้ำมันแยกจากกัน ส่วนน้ำมันนำมาบรรจุเป็นน้ำมันปลา ส่วนน้ำนำมาทำให้เข้มข้นขึ้นผลิตเป็นมันปลา (fish soluble)

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการทำให้แห้ง (after drying) ปลาสดไขมันต่ำจะไม่ผ่านขั้นตอนที่ F2-3 จะถูกไล่เลียงจากขั้นตอนที่ 1 เข้าสู่ขั้นตอนที่ 4 ส่วนปลาสดไขมันสูงจะผ่านกระบวนการบีบน้ำมันก่อน จากนั้นส่วนเนื้อปลาจะนำมาสู่การทำให้แห้งเหมือนกัน กระบวนการผลิตปลาป่นในประเทศไทยจะใช้ระบบไอน้ำ (steam; สุรรัตน์, 2530) และระบบน้ำมัน (hot oil) ปัจจุบันไม่นิยมเนื่องจากความปลอดภัยต่ำจากการปนเปื้อนของไดออกซิน

ขั้นตอนที่ 5 การทำให้เย็น (Cooler) เพื่อให้ปลาป่นเย็น ที่อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนที่ 6 ทำการผสมให้ปลาป่นมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนบรรจุกระสอบ

ขั้นตอนที่ 7 การบรรจุ (packaging) ปลาป่นหลังจากผ่านการผลิตจะถูกส่งบรรจุในกระสอบ

#### ระบบหม้ออบแห้งด้วยไอน้ำมี 2 แบบ

1. แบบหลายหม้ออบ (8-10 หม้ออบ) ซึ่งด้านในหม้อจะเป็นท่อที่ขดเกลียว (coil) ซึ่งความร้อนที่ให้ -3-4 บาร์, อุณหภูมิ 90-110 องศาเซลเซียส, ใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 90-100 นาที, กำลังการผลิต 70-80 ตันต่อวัน อุณหภูมิปลาป่นหลังหม้ออบแห้ง 50-55 องศาเซลเซียส

2. แบบหม้ออบหม้อเดียว ซึ่งด้านในหม้อจะเป็นจานดิสก์ (disc) ซึ่งความร้อนที่ให้ 5-7 บาร์, อุณหภูมิ 150-160 องศาเซลเซียส, ใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 50-60 นาที กำลังการผลิต 80-120 ตันต่อวัน อุณหภูมิปลาป่นหลังหม้ออบแห้ง 65-75 องศาเซลเซียส

ปัจจุบันหม้ออบแบบหม้อเดียวจะเพิ่มความนิยม เนื่องจากใช้พื้นที่ในการผลิตน้อย และสามารถผลิตปลาได้มากกว่าต่อวัน แต่ข้อเสียเนื่องจากความร้อนที่ให้ในการผลิตที่สูงกว่าจึงมีแนวโน้มที่ปลาป่นจะไหม้ช่วงเริ่มและหลังการผลิต การใช้ประโยชน์ของอะมิโนไลซีนลดลง และทำให้กรดอะมิโนฮิสติดีน (histidine) ไปจับกับกรดอะมิโน-ไลซีน เกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ชื่อว่า

Gizzarosine เมื่อนำไปเลี้ยงไก่กระตักเกิดในระดับ 12–15% ในสูตรอาหาร จะทำให้น้ำหนักลูกไก่ลดลง มีจุดเลือดที่กิน (เขาวมาลย์ และคณะ, 2530) และยังอาจทำสารให้สารกันหืนที่เติมลงไปถูกทำลาย

### คุณค่าทางโภชนาของปลาป่น

ส่วนประกอบของโภชนาในปลาป่น เขาวมาลย์ และคณะ (2530) กล่าวว่าปลาป่นจัดเป็นวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของโปรตีนใช้อย่างกว้างขวางในอาหารสัตว์เพราะมีกรดอะมิโนสูงโดยเฉพาะไลซีน เมไทโอนีน และมีความสมดุล ปลาป่นจะช่วยเพิ่มไลซีนและเมไทโอนีนให้กับวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งโปรตีนจากพืช เช่น ข้าวโพด, ถั่วเหลือง วัตถุดิบเหล่านี้มักจะมีเมไทโอนีน ซีสทีน และไลซีนต่ำ ปลาป่นมีแร่ธาตุ เช่น ฟอสฟอรัส แคลเซียม ทองแดง สังกะสี แมงกานีส ไอโอดีน และวิตามิน เช่น วิตามินเอ ดี บี12 บิรวม ในปริมาณที่มากพอ นอกจากนี้ยังมี Unidentified Growth Factor ซึ่งนักโภชนาการจัดว่าเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญ ภาณี (2543) ทำการวิเคราะห์ทางเคมีในปลาป่นของไทย 1,319 ตัวอย่าง เปรียบเทียบกับปลาป่นจากประเทศชิลี พบว่าปลาป่นของไทยมีโปรตีนมากกว่า 55% ไขมัน 6.8% เยื่อใย 0.9% เถ้า 27.3% แคลเซียม 9.8% ฟอสฟอรัส 2.3% ปริมาณเหล่านี้มีความสัมพันธ์ผกผันกับปริมาณโปรตีน ปลาป่นของไทยมีไขมันต่ำคือ 4-7% ทำให้สามารถเก็บไว้ได้นานโดยคุณภาพไม่เสื่อมโดยไม่ต้องใช้สารกันหืน ส่วนปลาป่นจากชิลีที่ส่งขายในทวีปยุโรปต้องใช้สารกันหืน โดยใช้ฮิโทกซิลควิน 700 พีพีเอ็ม. ปลาป่นจากชิลีมีไขมัน 10-19% สำหรับพลังงานรวมในปลาป่นของไทยจะมีค่าต่ำกว่าของชิลี ทั้งนี้เพราะมีไขมันต่ำและมีปริมาณเถ้าสูง

คุณภาพของวัตถุดิบและกระบวนการผลิตมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของปลาป่น (สุติมา และคณะ, 2548) ได้ศึกษาคุณภาพของปลาป่นจากแหล่งต่างๆ โดยทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของโภชนา และเปอร์เซ็นต์ของสารอินทรีย์ พบว่าคุณภาพของปลาป่นขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้และกรรมวิธีในการผลิต ปลาป่นที่ได้จากโรงงานจะมีคุณภาพดีกว่าปลาป่นที่ได้จากผู้ผลิตรายย่อยปลาป่นที่ขายอยู่มีความผันแปรของส่วนประกอบของโภชนามาก

ปลาป่นเป็นแหล่งของกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า-3 ซึ่งมีปริมาณสูงโดยเฉพาะ eicosapentaenoic (EPA) และ docosahexaenoic (DHA) ปริมาณกรดไขมันชนิดดังกล่าวแปรผันตามสายพันธุ์ และแหล่งที่อยู่อาศัยของปลาแต่ละชนิด กรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในน้ำมันปลามีผลต่อ



การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเลือด น้ำมันปลาสามารถลดปฏิกิริยาการตอบสนองของเส้นเลือดที่มีต่อฮอร์โมนที่หลั่งออกมา ในญี่ปุ่นพบว่า EPA สามารถลดอัตราการรวมตัวกันของเกล็ดเลือด ลดความหนืดของเลือด (สมพงษ์, 2533) น้ำมันปลายังมีผลต่อระดับโคเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และไลโปโปรตีนชนิด HDL, LDL และ VLDL ในกระแสเลือด และยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในฟอสโฟลิปิดที่เซลล์เมมเบรนด้วย (อุษณีย์, 2538) ในตัวปลาจะมีน้ำมัน 2-30 เปอร์เซ็นต์ขึ้นอยู่กับชนิดของปลา และน้ำมันปลามีกรดไขมันไม่อิ่มตัว 25-30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือ 70-75 เปอร์เซ็นต์ เป็นกรดไขมันอิ่มตัว ขึ้นอยู่กับชนิดของปลานั้นๆ กรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันปลาส่วนใหญ่เป็น poly unsaturated fatty acid (PUFA) ซึ่งเมื่อสัตว์กินปลาปนเข้าไปก็จะได้รับกรดไขมันดังกล่าวนี้ด้วย ซึ่งไขมันไม่อิ่มตัวนี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดการหืนขึ้นในปลาปน เนื่องจากการเกิดการออกซิเดชัน คุณค่าทางอาหารของปลาปนจะลดลงระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงทำให้เกิดสารใหม่ที่มีกลิ่นเหม็นหืน และยังทำลายวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน

### การหืน

การหืน (Rancidity) เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันไม่อิ่มตัว และน้ำมันกับออกซิเจน โดยมีปัจจัยต่างๆ เร่งการเกิดปฏิกิริยา เช่น แสง ความร้อน โลหะหนักต่าง เช่น ทองแดง เหล็ก โคบอลต์ การหืนทำให้กลิ่น รสชาติไม่ดี และสภาพทางกายภาพเปลี่ยนไป คือไขมันมีลักษณะข้นขึ้น แข็งขึ้น วิตามิน เอ ดี อี และ เค ถูกทำลาย การนำไปใช้ประโยชน์ของโภชนาและพลังงานลดลง การหืนเกิดขึ้นได้ทั้งไขมันในอาหาร และไขมันที่อยู่ในร่างกาย (In vitro rancidity และ In vivo rancidity) และในกรณีที่สัตว์ได้รับอาหารที่มีการหืน อาหารนั้นจะไปชักนำให้ไขมันที่มีอยู่ในร่างกายสัตว์หืนต่อเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกายสัตว์ (พันทิพา, 2542) การหืนเกิดขึ้นได้ 3 แบบดังนี้



## 1. แบบลิพอลิซิส หรือ lipolytic rancidity

เป็นปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ หรือลิพิดด้วยเอนไซม์ไลเปส ทำให้ไขมันและน้ำมันเกิดการสลายตัวเป็นกรดไขมันอิสระ ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่มีน้ำ หรือมีความชื้นสูง และใช้อุณหภูมิสูง ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิส จะเกิดได้ง่ายขึ้น กรดไขมันที่อยู่อิสระยังมีความไวต่อการเกิดออกซิเดชันมากกว่าในรูปเอสเทอร์กับ กลีเซอรอล เมื่อเกิดการหืนจะทำให้ไขมันและน้ำมันมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป อย่างไรก็ตาม ไขมันและน้ำมันบางชนิดไม่สามารถสังเกตได้ด้วยการดมกลิ่น ต้องตรวจวิเคราะห์ทางเคมี คือหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ค่าที่ได้เรียกว่า acid value (A.V.)

## 2. การหืนเนื่องจากออกซิเดชัน หรือoxidative rancidity

การเกิดการหืนแบบนี้เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน(autooxidation) ที่พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็น peroxide linkage ขึ้นระหว่างพันธะคู่ ออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลา เมื่อไขมันและน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ การหืนนี้จะเกิดในอาหารที่มีไขมันและน้ำมันผสมอยู่

เนื่องจากปลาปนมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงจึงส่งผลให้ปลาปนที่ได้มีคุณภาพเสื่อมลงได้เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันซึ่งทำให้ปลาปนมีกลิ่นหืนและเสื่อมสภาพลง โดยมีดัชนีชี้วัดความเสื่อมคือ peroxide value(PV) thiobarbituric acid (TBA) ซึ่งค่า PV จะเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่ถูกออกซิไดซ์เป็นสาร intermediate ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ส่วนค่าTBA จะเป็นค่าที่บอกหรือวัดผลผลิตที่เกิดขึ้นในช่วงหลังของการเกิดออกซิเดชัน โดยวัดในรูปของสาร malonaldehyde ที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องระหว่าง PV และ TBA สารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไปเป็นสารประกอบอัลดีไฮด์ ส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน (Gray *et al.*, 1994) Malondialdehyde ที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบอื่นในเนื้อปลา เช่น เอมีน นิวคลีอิกแอซิด โปรตีน และกรดอะมิโน (จูอะดี และคณะ, 2539) ซึ่งปลาปนที่มีปริมาณไขมันสูงมีแนวโน้มให้ค่า TBA สูงด้วย

### 3. การหืนเนื่องจาก Ketonic หรือ Ketonic rancidity

เป็นการเกิดปฏิกิริยา enzymatic oxidation ที่โมเลกุลของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว ได้เป็นสารประกอบจำพวกคีโตน

นอกจากนี้การเกิด Peroxidation ของไขมันนอกจากจะเกิดในอาหารแล้วยังสามารถเกิดขึ้นในร่างกายได้ โดยที่สารพวก Oxygen radical และ Hydroxyl radicle จะไปทำปฏิกิริยากับไขมันที่ผิวหนังของร่างกายทำให้เกิด Lipid peroxides และ Reactive oxygen species ซึ่งเป็นตัวที่ก่อให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรคหลอดเลือดแข็งตัว (Atherosclerosis) การอักเสบ (Inflammation) ข้ออักเสบ (Arthritis) อาการช็อค (Shock) การตายของเนื้อเยื่อ (Frost bite) โรคพาคินสัน (Parkinsonism) การติดเชื้อมาลาเรีย มะเร็ง (Cancer) อาการขาดเลือด (Ischemia) ที่สมองและหัวใจ (นวลจันทร์ และคณะ, 2548)

ในส่วนของ Hydroperoxides ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา Oxidation ในช่วงต้น ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีสีและกลิ่น ทำให้เกิดการสร้างสารที่เป็น อัลเคน (alkanes) แอลกอฮอล์ (alcohol) อัลดีไฮด์ (aldehydes) คีโตน (ketone) และ กรดต่างๆ ซึ่งเป็นสารที่มีกลิ่นหืน ส่งผลให้สัตว์กินอาหารน้อยลง มีการเจริญเติบโตช้า และสารพวกอัลดีไฮด์และคีโตนมีคุณสมบัติที่ขมและโมเลกุลขนาดเล็กทำให้สามารถถูกดูดซึมเข้าผ่านลำไส้เล็กและเข้าสู่อวัยวะต่างๆ ทำให้เกิดการสะสมที่บริเวณกล้ามเนื้อก่อให้เกิดกลิ่นและรสชาติของเนื้อที่เปลี่ยนแปลงไปนอกจากนี้สารพวกอัลดีไฮด์ และ คีโตน มีส่วนสำคัญในการเร่งกระบวนการเสื่อมของร่างกาย (Aging) กระตุ้นการเกิดเนื้องอก ลดภูมิคุ้มกัน และทำให้สัตว์มีสมรรถภาพการสืบพันธุ์ที่ต่ำ นอกจากนี้ยังเกิดสารประกอบพวก Polymers ที่เป็นพิษต่อร่างกาย เช่น malonaldehyde (MDA) และ 4-hydroxynonenal (4-HN) ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิด มีผลต่อองค์ประกอบของอาหาร เช่น โปรตีน กรดอะมิโน ไขมัน และ DNA ทำให้เกิดมะเร็งและการกลายของยีนในร่างกาย (สมพงษ์, 2533)

### กลไกการเกิดออกซิเดชัน

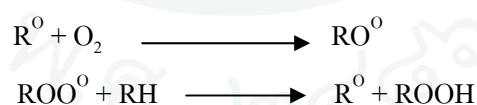
การทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันที่มีความไม่อิ่มตัวอิสระ หรือที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในลิพิดหรืออาหารที่มีลิพิด การหืนชนิดนี้มักไม่เกิดกับไขมันของวัตถุดิบที่ยังคงอยู่ในสภาพทั้งเมล็ด เช่น เมล็ดถั่วเหลือง หรือเมล็ดข้าว เนื่องจากภายในเมล็ดพืชมีสารป้องกันการหืนตามธรรมชาติ ที่สามารถป้องกันผลอันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้แต่ถ้าวัตถุดิบเหล่านั้นถูกแปรรูปไปเป็นน้ำมันหรือกากต่างๆ แล้วไขมันในวัตถุดิบนั้นจะสามารถเกิดการหืนได้ง่ายขึ้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ (free-radical chain reaction) ซึ่งมีกลไกการเกิดได้ 3 ขั้นตอน (Gray, 1978) ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นเริ่มต้น (Initiation) เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical)



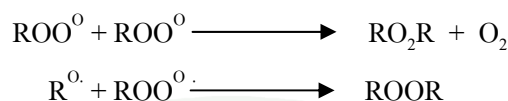
ภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม ไฮโดรเจนที่ตรงพันธะคู่จะหลุดออกไป โดยมีแร่ธาตุบางตัวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Pro-oxidant) เช่น เหล็ก ทองแดง และ นิเกิล ทำให้ไขมันที่มีสภาพเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) และอะตอมไฮโดรเจนที่ไม่เสถียร

ขั้นที่ 2 ขั้นการเพิ่มจำนวนแบบทวีคูณ (Propagation) เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ



ในขั้นการเพิ่มจำนวนแบบทวีคูณนี้ออกซิเจนในอากาศจะเข้ามาเกาะกับไขมันที่มีลักษณะเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) เกิดเป็นสารเปอร์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นอนุมูลอิสระ (Peroxide free radical) แล้วเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันข้างเคียงจะทำให้ได้สารเปอร์ออกไซด์และอนุมูลอิสระตัวที่ 2 เกิดขึ้น ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สามารถเร่งปฏิกิริยาให้เกิดขึ้นได้โดยอัตโนมัติ จากปริมาณอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเป็นลำดับก่อให้เกิดการลุกลามของปฏิกิริยาออกไปโดยรอบ

ขั้นที่ 3 ขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยา (Termination) เป็นปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นสารอนุมูลอิสระ (non-radical products)



ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นต่อเมื่อไขมันที่มีลักษณะเป็นอนุมูลอิสระเกิดการรวมตัวกันเองๆ (Polymerized fatty acids) ได้เป็นสารที่ไม่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระ (non radical product)

### ปัจจัยที่มีผลต่อขบวนการออกซิเดชัน

เนื่องจากลิพิดที่อยู่ในอาหารมีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันชนิดต่างๆ มากมาย ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งสมบัติทางกายภาพและทางเคมี รวมทั้งความไวต่อการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดลิพิดออกซิเดชัน (Nawar, 1996) ได้แก่

1. ความชื้น ไขมันหรือน้ำมันที่มีความชื้นมากกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เกิดการไฮโดรไลซิสของไขมันได้กรดไขมันอิสระซึ่งสามารถถูกออกซิไดส์ได้ง่าย
2. อุณหภูมิ การลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อมตามปกติจะช่วยไม่ให้เกิดการออกซิเดชันหายไปหรือเกิดขึ้นได้น้อยลง แต่การเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อมปกติจะช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เร็วขึ้น
3. แสงสว่าง เป็นแหล่งของพลังงานซึ่งช่วยกระตุ้นขบวนการออกซิเดชัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแสง UV
4. ออกซิเจน ไขมันที่สัมผัสกับออกซิเจน 0.016 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักไขมันจะสามารถผลิตเปอร์ออกไซด์ ได้ 20 meq/kg ของไขมัน ผลของออกซิเจนยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย เช่น อุณหภูมิและพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับออกซิเจน

5. แร่ธาตุต่างๆ (Trace minerals) เช่น ทองแดง แมงกานีส และ เหล็ก จะมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ

6. ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเท่านั้นที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และอัตราเร็วของการเกิดจะแตกต่างกัน กรดไขมันที่มีพันธะคู่มากจะเกิดได้เร็วกว่า

7. กรดไขมันอิสระ กรดไขมันที่อยู่ในรูปอิสระจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าที่อยู่ในรูปเอสเทอร์กับกลีเซอรอล

8. สารต้านออกซิเดชันหรือสารกันหืน จะช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดออกซิเดชันได้ สารต้านออกซิเดชันที่เป็นสารสังเคราะห์อนุญาตให้เติมลงในอาหารได้ เช่น BHA และ BHT เป็นต้น

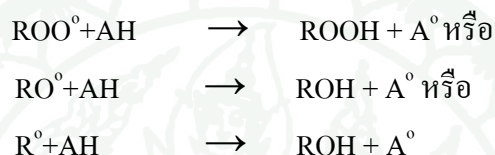
### สารกันหืน

สารกันหืน (Antioxidant) คือ สารที่ทำหน้าที่ป้องกันหรือลดอัตราเร่งของการเกิดกระบวนการออกซิเดชันที่เป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ โดยสารกันหืนจะทำหน้าที่เป็นแหล่งของไฮโดรเจนเพื่อรวมตัวกับอนุมูลอิสระซึ่งอนุมูลอิสระก็คืออะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนอิสระ (unpaired electron) 1 ตัวหรือมากกว่า สารกันหืนเป็นสารที่สามารถพบได้ทั้งในร่างกายและอาหารของสัตว์ แต่สารกันหืนที่พบในร่างกายสัตว์นั้นมีน้อยมากเมื่อเทียบกับการที่จะป้องกันการเสื่อมโทรมของเซลล์ของร่างกายที่เกิดจากสารพวกที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในกระบวนการผลิตอาหารของคนจะมีการใช้สารกันหืนชนิด food grade เพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของอาหารให้มีความคงทนและรักษาโภชนะต่างๆ ในอาหาร สารในกลุ่มพวกสารกันหืน ได้รับความสนใจในกระบวนการผลิตอาหารเนื่องจากว่าเป็นสารที่ป้องกันการทำลายของสารที่เรียกว่า reactive oxygen species (ROS) และป้องกันการเปลี่ยนแปลงเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อร่างกายที่จะก่อให้เกิดโรคต่างๆ การป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นของการเกิด oxidation โดยทำลายสารเริ่มต้นในการเกิด oxidation (Nawar, 1985; Giese, 1996)



ในการใช้สารกันหืนโดยทั่วไปแนะนำให้เติมตามระเบียบข้อบังคับ เกี่ยวกับพระราชบัญญัติควบคุมอาหารสัตว์ 2525 สารอนอมคุณภาพอาหารสัตว์ผสมในอาหารสำเร็จรูปไม่เกินปริมาณที่กำหนด บี.เอช.เอ บิวทิเลเทดไฮดรอกซีแอนิโซล (BHA) ไม่เกินร้อยละ 0.05 อีทอกซีควิน (Ethoxyquin) ไม่เกินร้อยละ 0.015 บี.เอช. ที บิวทิเลเทดไฮดรอกซีลูอิน (BHT) ไม่เกินร้อยละ 0.05

กลไกของวัตถุกันหืนในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทไขมันและน้ำมัน อาจชะลอให้เกิดซ้ำลงด้วยการใช้สารกันหืน การใช้วัตถุกันหืนนั้นเนื่องจากวัตถุกันหืนที่เติมลงไป จะไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดต่อเนื่องหยุดชะงัก ดังสมการ



โดยที่สารกันหืน (AH) จะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่ radicle from (ROO<sup>°</sup>) ในไขมันที่ไม่อิ่มตัวทำให้เกิดเป็น ROOH และ A<sup>°</sup> ซึ่ง A<sup>°</sup> มีความคงตัวมากกว่าทำให้ไม่เกิดการสร้างอนุมูลอิสระออกไป ส่งผลให้ไขมันในอาหารคงสภาพอยู่ได้ ทั้งนี้ A<sup>°</sup> จะมีความคงตัวสูงกว่า R<sup>°</sup> และไม่ทำให้เกิดการขยายผลของการสร้างอนุมูลอิสระออกไปอีก และจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่คงตัวดังสมการ



free radical ต่างๆนี้จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อไปถ้ามีสารกันหืน เช่น tocopherol หรือ vitamin E, BHT, ethoxyquin เป็นต้น หากไม่มี free radical ปฏิกิริยา oxidative ก็จะไม่ดำเนินต่อไป

## ไข่ไก่

ไข่ไก่ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ไข่แดง (yolk), ไข่ขาว (albumen) และเปลือกไข่ (egg shell) มีปริมาณร้อยละ 28-32 ร้อยละ 57-63 และร้อยละ 9-11 ตามลำดับ (สุวรรณ, 2529) โดยในแต่ละส่วนจะมีการสร้างจากส่วนต่างๆของระบบสืบพันธุ์ (reproductive tract) ไข่แดงจะมี

การสร้างจากส่วนรังไข่ (ovary) ไข่ขาวสร้างจากส่วนของmagnum และเปลือกไข่สร้างจากส่วนuterusซึ่งเป็นองค์ประกอบของท่อนำไข่ (oviduct) ของสัตว์ปีก (ปฐม, 2539)

## ขั้นตอนในการสร้างฟองไข่

### 1. ไข่แดง

รังไข่ของสัตว์ปีกเพศเมีย มีหน้าที่ในการสังเคราะห์กลุ่มของสเตอรอยด์ฮอร์โมน ประกอบด้วย กระเปาะไข่ (follicles) จำนวนมาก เห็นได้อย่างชัดเจนในช่วงฟักไข่ (hatching) ช่วงแม่ไก่เริ่มวางไข่ จะพบว่าส่วนของรังไข่จะมีลักษณะเป็นกระจุก (cluster) ของกระเปาะไข่ต่างๆ เป็นจำนวนมากมีขนาดแตกต่างกัน กล่าวคือมีขนาดใหญ่ 2-3 ใบ ทั้งนี้การเกิดขึ้นของส่วนไข่แดงที่อยู่ภายในกระเปาะไข่ เรียกว่า กระบวนการกำเนิดไข่แดง (vitellogenesis)

องค์ประกอบต่างๆภายในไข่แดง ไม่ได้ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยเนื้อเยื่อภายในรังไข่ (ovarian tissue) แต่พบว่าการนำสารอาหารประเภทโปรตีนและไลโปโปรตีน เพื่อสร้างส่วนของ phosvitin, lipovitellin และ lipovitellenin ซึ่งทั้งหมดเป็นส่วนประกอบของไข่แดงจะถูกสร้างที่ตับและถูกขนส่งไปยังรังไข่โดยผ่านทางระบบเลือด จากนั้นจะถูกส่งผ่านส่วนของผนังของฟองไข่เพื่อนำไปสะสมในส่วนของไข่แดง

### 2. ไข่ขาว

ไข่แดงจะถูกปล่อยจากกระเปาะไข่ตรงบริเวณ Stigma และจะเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณปากแตร (infundibulum) ซึ่งยังทำหน้าที่ในการสร้างส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้างบริเวณด้านนอกของไข่แดงที่เรียกว่า เยื่อหุ้มไข่ (vitelline membrane) สำหรับโปรตีนในไข่ขาวจะถูกสร้างขึ้นภายในท่อนำไข่ส่วน magnum ภายหลังจากที่ฟองไข่แดงได้ตกลงสู่ท่อนำไข่ประมาณ 15-20 นาที ไข่ขาวประกอบด้วย ovalbumin หรือ albumin, lysicyme, avidin และ ovomucin (สุวรรณ และคณะ, 2535)

### 3. เปลือกไข่

เปลือกไข่เป็นพวกหินปูนแข็งเรียงติดแน่นอยู่กับเยื่อหุ้มไข่ชั้นนอก จะแยกเปลือกไข่ออกจากเยื่อนี้ได้ยาก ความหนาของเปลือกขึ้นอยู่กับขนาดของไข่ ซึ่งไข่ฟองใหญ่มีเปลือกหนากว่าไข่ฟองเล็ก โดยกระบวนการสร้างส่วนของเปลือกไข่ (shell synthesis) จะเริ่มขึ้นตั้งแต่บริเวณท่อนำไข่ส่วน isthmus โดยจะมีการสร้างเป็นส่วนของเยื่อเปลือกไข่ (shell membranes) ซึ่งมีองค์ประกอบที่มีลักษณะเป็นโปรตีนมีโครงสร้างเป็นเส้นใย (proteinaceous fiber) แต่อย่างไรก็ตาม ขบวนการสร้างสารประกอบแคลเซียม (Calcification) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเปลือกไข่จะเกิดขึ้นบริเวณท่อนำไข่ส่วน uterus โดยฟองไข่จะเคลื่อนตัวเข้าสู่ท่อนำไข่ส่วน uterus ประมาณ 4 ชั่วโมง 45 นาที ภายหลังจากขบวนการตกไข่จากรังไข่ และฟองไข่จะอยู่ในส่วนนี้โดยใช้เวลาประมาณ 20 ชั่วโมง นับตั้งแต่เริ่มต้นของการสร้างฟองไข่จนกระทั่งสุดท้ายของการสร้างเปลือกไข่ (สุวรรณ และคณะ, 2535)

ขั้นแรกเกิดที่บริเวณ Uterus จะเกิดการดูดน้ำเข้าไปในส่วนของไข่ขาวส่งผลให้ฟองไข่มีลักษณะพองออก (plumping) การซึมของน้ำจะผ่านเข้าไปตรงบริเวณ shell membranes ซึ่งมีส่วนประกอบของ  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$  และ  $\text{HCO}_3^-$  ทั้งนี้กระบวนการของการสะสมผลึกแคลเซียม (calcium crystal) บริเวณรอบๆ เยื่อเปลือกไข่จะมีอัตราสะสมประมาณ 0.3-0.35 กรัมต่อชั่วโมง ซึ่งกระบวนการสะสมแคลเซียมนี้จะเสร็จสมบูรณ์ภายในเวลาประมาณ 2-4 ชั่วโมงก่อนแม่ไก่จะวางไข่ (oviposition)

### 4. สีเปลือกไข่ (pigment of the egg shell)

จัดเป็นขั้นสุดท้ายของการสร้างเปลือกไข่ สารที่ทำให้เกิดสีนั้นมีชื่อเรียกว่า Oporphyric ซึ่งจะได้รับจากสารสี haemoglobin โดยมีการสะสมในช่วงเวลาเดียวกันกับขณะที่มีการสร้างนวลไข่ (cuticle) เพื่อเคลือบเปลือกไข่ ทั้งนี้ลักษณะของสีของเปลือกไข่จะเป็นลักษณะเฉพาะขึ้นกับสายพันธุ์ของสัตว์ปีกและเป็นลักษณะเฉพาะตัวของไก่แต่ละตัว (สุวรรณ และคณะ, 2535)

### คุณภาพทางโภชนาต่องานของไข่ไก่

น้ำหนักของฟองไข่จะเกี่ยวข้องกับ 3 องค์ประกอบ คือ ไข่แดง ไข่ขาว และเปลือกไข่ ทั้งนี้ภายใต้การจัดการที่เหมาะสมจะพบว่าฟองไข่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามอายุของแม่ไก่ น้ำหนักของฟองไข่จะมีผลโดยตรงกับโภชนาการ กรดอะมิโน กรดไขมันจำเป็น นอกจากนี้สารบางชนิดในอาหารเป็นตัวขัดขวางการใช้ประโยชน์ได้ของอาหาร (anti-nutritional factors) โปรแกรมการให้แสง (lighting programme) สภาพการเลี้ยง อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน จะมีผลกับน้ำหนักไข่ทั้งสิ้น (สุวรรณ และคณะ, 2535)

เปลือกไข่จะประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) 90-95% และส่วนของโปรตีนเป็นส่วนฐาน (protein matrix) และอีก 2 ชั้นคือ mamillary และ spongy ซึ่งภายในจะมีผลึกของ  $\text{CaCO}_3$  คุณภาพของเปลือกไข่ (shell quality) จะพิจารณาในลักษณะของรูปทรง สี ความแข็งแรงของเปลือกไข่ ซึ่งก็ขึ้นกับลักษณะรูปทรงและลักษณะทางกายภาพของฟองไข่

องค์ประกอบทางเคมีของไข่แดงจะประกอบด้วยน้ำ 48 % โปรตีน 17.5 % ไขมัน 32.5 % ส่วนที่เหลือเป็นคาร์โบไฮเดรตและแร่ธาตุ 0.4 % และ 1.1 % ตามลำดับ กรดไขมันในไข่แดงส่วนใหญ่ประกอบด้วย palmitic acid, oleic acid และ linolenic acid กรดไขมันไม่อิ่มตัวในไข่แดงเปลี่ยนแปลงตามชนิดของไขมันในอาหารที่ใช้เลี้ยงไก่ไข่ (สุวรรณ, 2529)

องค์ประกอบของไขมันในไข่แดงไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง แม้จะให้ไก่กินอาหารธรรมดาหรืออาหารทดลอง เพราะไก่สร้างไขมันหรือลิพิดจากอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต แต่มีการทดลองบางการทดลองเลี้ยงอาหารที่มีไขมันน้อยไข่แดงก็มีไขมันมากกว่าที่ให้กินอาหารปกติ และถ้าให้อาหารที่ไม่มีพวกลิพิด ก็กลับจะมีไขมัน (neutral fat) และเลคซิทีนสูงกว่าไข่ปกติ น้ำมันเมล็ดฝ้ายในอาหารไก่อาจสะสมอยู่ในไข่แดงได้ ในทำนองเดียวกับถ้าใช้ปลาป่นในอาหารไก่ ก็จะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในไข่แดง และมีกลิ่นคาวปลาด้วย และอาจทำให้มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในไข่แดงเพิ่ม (สุวรรณ, 2529)

การได้รับอาหารที่มีกรดไขมันโอเมก้า-3 หรือกรดไขมันไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acid) ที่เพิ่มขึ้นของอาหารเป็ด อาหารไก่ เป็นเหตุให้เกิดออกซิเดชันเร็วขึ้นทำให้เกิดการเสื่อมลงของไข่ เป็นการนำไปสู่การสูญเสียลักษณะทางคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการ ลดคุณค่าที่ผู้บริโภคได้รับ และมีผลกระทบที่เป็นภัยทางชีววิทยา (Cherian *et al.*, 1996)



Hulan *et al.* (1988) ได้ทำการทดลองเสริม red fish meal, red fish ในอาหารไก่กระตัง พบว่าผลทำให้น้ำหนักไก่กระตังเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง เนื่องจากปริมาณอาหารที่กินลดลงและประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงอาหาร (feed conversion ratio; FCR) ค่อนข้าง Nash *et al.* (1995) ศึกษาการเสริม 0, 4, 8 และ 12 % hering meal ในอาหารไก่ไข่ พบว่าการเสริม hering meal ในอาหารไก่ไข่ไม่มีผลต่ออัตราการตาย (อัตราการตายต่ำกว่า 0.5%) ผลผลิตไข่ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร น้ำหนักตัว และ Haugh unit สำหรับไก่ไข่ที่มีอายุ 462 วัน จะมีน้ำหนักไข่ลดลงตามระดับการเสริม hering meal ที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร แต่คุณภาพของเปลือกไข่ดีขึ้น Nash *et al.* (1995) ศึกษาการเสริม 0, 4, 8 และ 12% menhaden meal พบว่าได้ผลสอดคล้องกับ hering meal แต่การเสริม 4, 8% menhaden meal มีผลทำให้น้ำหนักตัวของไก่ลดลงเล็กน้อย ส่วนการเสริมที่ระดับ 12% menhaden meal มีผลต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวของไก่ ( $p < 0.05$ )

Irie and Sakimoto (1992) พบว่า ลักษณะทางกายภาพไขมันจากสุกรที่ได้รับการเสริมน้ำมันปลาซาร์ดีน 4 % และ 6 % ในสูตรอาหาร ไขมันจากกลุ่มที่เสริมน้ำมันปลาซาร์ดีน มีค่า iodine number สูงกว่ากลุ่มควบคุม แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ของ high unsaturated fatty acid (HUFA) ของไขมันในกลุ่มที่เสริมน้ำมันปลามีระดับสูงด้วยและมีแนวโน้มที่จะเกิดการหืนได้ง่าย Romans *et al.*, (1995) พบว่าการเพิ่มระดับ HUFA ในเนื้อและไขมัน เป็นสาเหตุทำให้เกิด rancid flavor เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน พันธะคู่ของกรดไขมัน และมีค่า TBA number ในอาหารสุกรสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะคู่ในกรดไขมัน ดังนั้นในเนื้อหรือไขมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายและรวดเร็ว เป็นผลทำให้เกิดกลิ่นหืนในเนื้อ (Lundberg, 1962) โดยปกติการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของไขมันมักจะเกิดกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นอันดับแรก โดยเฉพาะกรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิก ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวแต่ละชนิดมีอัตราเร็วในการเกิดขบวนการออกซิเดชันแตกต่างกันไป กรดลิโนเลอิกถูกออกซิไดซ์ได้เร็วกว่ากรดโอเลอิกประมาณ 64 เท่า ส่วนกรดลิโนเลนิกถูกออกซิไดซ์ได้เร็วกว่ากรดโอเลอิก 100 เท่า (Hamilton, 1994)

Botsoglou *et al.* (1997) ได้สกัดพืชที่มีกลิ่นหอม (aromatic plant ) กระเพรา (thyme) และโรสแมรี่ (rosemary) ให้แม่ไก่ได้รับอาหารซึ่งทำให้เกิดการลดลงของไขมันที่เกิดออกซิเดชันในไข่ การศึกษาเกี่ยวกับสัณยภาพของไขมันของ (Aymond and Elswyk, 1995; Cherian *et al.*, 1996; Lopez-Bote *et al.*, 1998) ในส่วนเสริมของโภชนาการเปิดไก่กับสารกันหืน เพื่อปรับปรุงความเสถียรของไข่ การเสริม tocopherol acetate ที่เสริมเป็นการเพิ่มความเสถียรของไขมันในไข่แดง Velari



*et al.* (1993); Milos *et al.* (2000) ได้ศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพของไขมัน oregano ที่ต่อต้านการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันหมู (lard) และน้ำมันมาเกอร์ล (mackerel) เมื่อสัตว์ได้รับอาหารทำให้เกิดออกซิเดชันในเนื้อไก่ ไก่วงและเนื้อกระต่ายลดลง



## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการเติมสารกันเหี่ยวในขบวนการผลิตปลาป่นต่อคุณภาพของปลาป่นในส่วนประกอบโภชนะ และค่าการเหี่ยวของไขมันของปลาป่น เมื่อเก็บไว้นาน 4 เดือน

1. ปุ่มสำหรับหยดสารกันเหี่ยว 3 ตัว
2. กระสอบพลาสติกสานขนาด 50 กิโลกรัม จำนวน 2,000 ใบ
3. จักรมือเย็บกระสอบพลาสติก 1 ชุด
4. สารกันเหี่ยว
  - 4.1 Ethoxyquin<sup>TM</sup>(EQ), 25 kg
  - 4.2 Barox<sup>TM</sup>(BR), 25 kg
  - 4.3 Butylated hydroxytoluene (BHT) 25 kg

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการเติมสารกันเหี่ยวในขบวนการผลิตปลาป่น ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ และคุณภาพไข่

1. กรงค้ำไก่ไข่ แต่ละกรงมีขนาด  $24 \times 40 \times 42$  ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 120 กรง มีอุปกรณ์ที่ให้น้ำและอาหาร
2. ไก่ไข่อายุ 23 สัปดาห์ จำนวน 480 ตัว แบ่งออกเป็น 10 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ซ้ำๆ ละ 12 ตัว
3. ถังใส่อาหารทดลองประจำไก่ทดลองแต่ละซ้ำ
4. เครื่องชั่ง

4.1 เครื่องชั่งขนาดชั่งได้สูงสุด 100 กิโลกรัม สำหรับชั่งน้ำหนักอาหารทดลอง

4.2 เครื่องชั่งไฟฟ้าขนาดชั่งได้สูงสุด 1,500 กรัม ผลิตโดยบริษัท Digi โมเดล DS-671 สำหรับชั่งน้ำหนักฟองไข่

## 5. อุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพไข่

5.1 ไมโครมิเตอร์ใช้วัดความหนาเปลือกไข่ ผลิตโดยบริษัท Mitutoyo โมเดล ID-C1012EBS ความละเอียดที่อ่านได้ต่ำสุด 0.01 มิลลิเมตร

5.2 พัดเทียบสีไข่ไก่ ซึ่งมีสีเข้มขึ้นตามลำดับจากเบอร์ 1 ถึง 15 ผลิตโดยบริษัท Roche

5.3 เครื่องวัดความสูงไข่ขาวที่เรียกว่า Albumin Height Gauge ผลิตโดยบริษัท TSS Technical Services and Supplies Ltd, York, England.

## วิธีการ

**การทดลองที่ 1 ศึกษาการเติมสารกันเหินในขบวนการผลิตปลาป่นต่อคุณภาพของปลาป่นเมื่อเก็บไว้นาน 4 เดือน**

1. ผลิตปลาป่นจากวัตถุดิบปลาสด 3 ชนิด คือ ปลาเรือ (trash fish, TF) เศษปลาจากโรงงานซูริมิ (remained surumi, RS) เศษปลาจากโรงงานทูน่า (remained tuna, RT) ด้วยเครื่อง rotary disc after drying มีการควบคุมระดับความดันไอน้ำและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่ 150-160 °C เวลาอบแห้งในหม้ออบ 50 - 60 นาที ให้ปลาป่นเย็นลงด้วยเครื่องกวนเย็น (coil water cooling)

2. เติมสารกันเหินในขบวนการผลิตปลาป่น 3 จุด คือ ที่บ่อปลาสด (intake) ที่หลังหม้ออบแห้ง (after after drying) และ เครื่องผสมปลา ก่อนการบรรจุกระสอบ (packaging)

3. ชนิดสารกันหืนที่เติมในข้อ 1.2 มี 3 ชนิด คือ Ethoxyquin<sup>TM</sup>(EQ), Barox<sup>TM</sup>(BR), Butylated hydroxyl toluene (BHT) ในระดับ 500 ppm และมีกลุ่มควบคุมคือไม่เติมสารกันหืน

4. ปลาป่นที่ผลิตได้ รวม 30 ชนิด แต่ละชนิดบรรจุในกระสอบพลาสติกสาน จำนวน 60 กระสอบ กระสอบละ 50 กิโลกรัม เก็บในโรงเก็บอาหารสัตว์เป็นเวลา 4 เดือน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างปลาป่นแต่ละเดือนที่ 0, 1, 2, 3 และ 4 มาจำนวน 2 ตัวอย่างต่อทรีทเมนต์ แต่ละตัวอย่างเก็บมาจากปลาป่น 30 กระสอบ กระสอบละ 50 กรัม ผสมให้เข้ากันและแบ่งตัวอย่างที่ได้นำไปวิเคราะห์ทางเคมี

### การบันทึกข้อมูล

#### เก็บข้อมูลของการทดลองที่ 1

1. วิเคราะห์ส่วนประกอบของโภชนะทางเคมีของปลาป่นวิธี proximate analysis โดยวิเคราะห์โปรตีน ความชื้น ไขมัน เหนือใย และ เถ้า ตามวิธีของ AOAC (2000) ในเดือนที่ 0 และ 4

2. วิเคราะห์คุณภาพปลาป่นทุกเดือนโดย

2.1 วิเคราะห์เปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value, PV) โดยวิธีไตเตรท

2.2 ที.บี.เอ Thiobabituric acid (TBA) โดยวิธีไตเตรท

2.3 ปริมาณ antioxidant ที่เหลืออยู่ในปลาป่น โดยใช้ HPLC

### การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่จัดเก็บนำมาทดสอบทางสถิติ นำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนโดยใช้ General linear model แผนการทดลองแบบการวัดซ้ำของแผนการทดลองแบบบล็อกกลุ่มทดลอง (repeated measurement in randomized complete block design) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SAS (SAS, 1998) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test และมีแบบแผนการวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + A_j + T_k + AT_{jk} + \epsilon_{ijk}$$

เมื่อ

$Y_{ijk}$  = ค่าสังเกตจากผลวิเคราะห์ทางเคมี

$\mu$  = ค่าเฉลี่ยร่วมของค่าสังเกต

$\beta_i$  = อิทธิพลของบล็อกที่  $i$  คือ ชนิดของปลาป่นที่ผลิตจากปลาสด (1 = Trash Fish, 2 = Surimi และ 3 = Tuna)

$A_j$  = อิทธิพลของทรีเมนต์ คือ จุดเติมและชนิดของสารกันหืน ( $j = 1, 2, \dots, 10$ )

$T_k$  = อิทธิพลของระยะเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง ( $k = 1, 2, \dots, 5$ )

$AT_{jk}$  = อิทธิพลของทรีเมนต์และเวลา

$\epsilon_{ijk}$  = ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

**การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการเติมสารกันหืนในขบวนการผลิตปลาป่น ต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพไข่**

ปลาป่นจากการทดลองที่ 1 ใช้ปลาสด 2 ชนิด คือ ปลาเรือ (trash fish, TF) และเศษปลาเหลือจากโรงงานปลาทูน่า (remained tuna, RT) มีการเติมสารกันหืน 2 ชนิด คือ Ethoxyquin<sup>TM</sup> (EQ) และ Butylated hydroxytoluene (BHT) และเติมสารกันหืนที่จุด after drying และ packaging ดังนี้

1. TF-EQ-after drying
2. TF-EQ-packaging
3. TF-BHT-after drying
4. TF-BHT-packaging
5. TF-no antioxidant (control)
6. RT-EQ-after drying
7. RT-EQ-packaging
8. RT-BHT-after drying
9. RT-BHT-packaging
10. RT-no antioxidant (contro2)



นำมาผสมในสูตรอาหารไก่ไข่ในตารางที่ 3 ปลาป่นแต่ละชนิดผสมอาหารได้เป็น 1 สูตรอาหารทดลอง รวมทั้งหมด 10 สูตรอาหารทดลองวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) ใช้ไก่ไข่เพศเมียพันธุ์ ISA-brown ที่อายุ 23 สัปดาห์ จำนวน 480 ตัว แบ่งออกเป็น 10 กลุ่มๆ ละ 4 ซ้ำๆ ละ 12 ตัว แต่ละกลุ่มได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตร ตลอดการทดลองแม่ไก่จะได้รับอาหารแบบกินเต็มที่ (*ad libitum*) เหมือนกันทุกกลุ่ม มีน้ำสะอาดให้กินตลอดเวลาและได้รับแสงวันละ 14 ชั่วโมง/วัน

ตารางที่ 3 สูตรอาหารไก่ไข่ทดลอง ช่วงอายุ 23 – 43 สัปดาห์

| วัตถุดิบ             | ปริมาณ (กิโลกรัม) |
|----------------------|-------------------|
| ข้าวโพด              | 62.0              |
| รำสด                 | 8.6               |
| กากถั่วเหลือง        | 15.0              |
| ปลาป่นทดลอง (TF, RT) | 5.5               |
| เปลือกหอย            | 8.5               |
| พรีมิกซ์*            | 0.25              |
| เกลือ                | 0.10              |
| DL-Methionine        | 0.05              |
| รวม                  | 100.0             |

หมายเหตุ: \* พรีมิกซ์ Latarvit<sup>R</sup> 1 กิโลกรัมที่ใช้ประกอบด้วย vitamin A 4.8 MIU, vitamin D<sub>3</sub> 0.96 MIU, vitamin E 3.20 กรัม, vitamin K<sub>3</sub> 0.80 กรัม, vitamin B<sub>2</sub> 1.60 กรัม, vitamin B<sub>6</sub> 1.20 กรัม, vitamin B<sub>12</sub> 0.004 มิลลิกรัม, pantothenic acid 3.80 กรัม, niacin 6 กรัม, folic acid 0.20 กรัม, biotin 0.036 กรัม, Se 0.04 กรัม, Fe 24 กรัม, Mn 24 กรัม, Zn 16 กรัม, Cu 2.40 กรัม, I 0.14 กรัม, Feed preservative substance 2.50 กรัม, Flavor 10 กรัม

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบโภชนะของอาหารทดลองทั้ง 10 จากการคำนวณ

| ส่วนประกอบทางโภชนะ (%)            | สูตร1-5 | สูตร6-10 |
|-----------------------------------|---------|----------|
| โปรตีน                            | 17.1    | 17.0     |
| ไขมัน                             | 4.30    | 4.47     |
| เยื่อใย                           | 2.89    | 2.89     |
| พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้(kcal/kg) | 2,890   | 2,820    |
| แคลเซียม                          | 3.48    | 3.48     |
| ฟอสฟอรัส                          | 0.57    | 0.58     |

#### การบันทึกข้อมูลและการคำนวณ

ข้อมูลสมรรถภาพการผลิตไข่ตั้งแต่ไก่อายุ 23 สัปดาห์ แบ่งออกเป็น 4 ช่วง ช่วงละ 5 สัปดาห์ (35 วัน) คือช่วงอายุ 23-28 สัปดาห์ 28-33 สัปดาห์ 33-38 สัปดาห์ และ 38-43 สัปดาห์ ซึ่งแต่ละช่วงทำการบันทึกข้อมูล

1. บันทึกน้ำหนักตัวไก่เมื่อเริ่มต้น
2. บันทึกปริมาณอาหารที่กินตลอดการทดลองโดยชั่งอาหารที่ให้และที่เหลือทุกสัปดาห์ตลอดระยะเวลาทดลอง
3. บันทึกผลผลิตไข่ของแต่ละหน่วยการทดลอง ในแต่ละช่วงช่วงการทดลอง
4. บันทึกน้ำหนักไข่แต่ละหน่วยการทดลอง ในแต่ละช่วงการทดลอง
5. บันทึกจำนวนไข่ตายแต่ละหน่วยการทดลอง ในแต่ละช่วงการทดลอง

นำค่าต่างๆ ที่บันทึกมาคำนวณหาค่าต่างๆ (North and Bell, 1990) ได้แก่ ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน ปริมาณอาหารที่กินที่ต่อน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม %ผลผลิตไข่ (Hen-House egg production, HH) น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟอง ดังต่อไปนี้

น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง (กรัม/ตัว) = น้ำหนักตัวสิ้นสุดการทดลอง - น้ำหนักตัวเริ่มต้นการทดลอง

ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน) = 
$$\frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินในช่วงการทดลอง(กก.)}}{\text{จำนวนวัน} \times 12}$$

ปริมาณอาหารที่กิน (กก) ต่อน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม = 
$$\frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินในช่วงการทดลอง(กก.)}}{\text{น้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม} \times 12}$$

เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ = 
$$\frac{\text{จำนวนไข่ในแต่ละช่วงทดลอง}}{\text{จำนวนวัน(35) x จำนวนไก่เริ่มต้นการทดลอง}} \times 100$$

น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟอง (กรัม) = 
$$\frac{\text{น้ำหนักไข่ทั้งหมดของซ้ำแต่ละช่วงการทดลอง(กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ที่นำมาชั่ง}}$$

6. ทำการตรวจวัดคุณภาพไข่ใน 3 วันสุดท้าย โดยสุ่มไข่เข้าละ 3 ฟอง ของแต่ละช่วงการทดลอง ทำการบันทึกและคำนวณน้ำหนักไข่แดง ไข่ขาว และเปลือกไข่เป็นเปอร์เซ็นต์ไข่ทั้งฟอง สีของไข่แดง วัดโดยใช้ Roche color fan ความสูงไข่ขาว วัดโดยใช้ Albumin Height Gauge โดยวิธีของ Nesheim *et al.* (1979) ความหนาของเปลือกไข่ วัดโดยใช้ไมโครมิเตอร์

7. ทำการตรวจวัดคุณภาพไข่ใน 3 วันสุดท้ายของสัปดาห์เริ่มทดลอง (สัปดาห์ที่ 23) และสัปดาห์สิ้นสุดการทดลอง (สัปดาห์ที่ 43) โดยสุ่มไข่เข้าละ 3 ฟอง โดยการวัดปริมาณคลอเลสเตอรอล และ ค่า TBA ในไข่แดง

### การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่จัดเก็บนำมาทดสอบทางสถิติ นำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนโดยใช้ General linear model แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (complete randomized design) ด้วยโปรแกรม

คอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SAS (SAS, 1998) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test และมีแบบแผนการวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, 10$$

$$j = 1, 2, 3 \text{ และ } 4$$

เมื่อ

$Y_{ij}$  = ค่าสังเกตของแต่ละทรีทเมนต์ที่  $i$  ซ้ำที่  $j = 1, 2, 3$  และ  $4$

$\mu$  = ค่าเฉลี่ยรวมของทรีทเมนต์

$\tau_i$  = อิทธิพลเนื่องจากทรีทเมนต์ เมื่อ  $i = 1, 2, 3, \dots, 10$

$\varepsilon_i$  = ค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

#### ระยะเวลาในการทดลอง

ระยะเวลาดำเนินทดลอง 7 เดือน (เมษายน - ตุลาคม 2551)

#### สถานที่ทำการทดลอง

1. โรงเรียนเลี้ยงสัตว์ทดลองฟาร์มไก่หลวงสุวรรณวาจกกสิกิจ ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ
2. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

## ผลและวิจารณ์ผล

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเติมสารกันเหี่ยวในกระบวนการผลิตปลาป่นต่อคุณภาพของปลาป่นเมื่อเก็บไว้นาน 4 เดือน

### 1. ส่วนประกอบทางโภชนาของปลาป่นเดือนที่ 0 และ 4

ปลาป่นทั้งหมดจากปลาสดชนิดต่างๆ ได้คุณค่าทางโภชนา (ตารางที่ 5) ซึ่งคุณค่าทางโภชนา คือ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ของปลาป่นที่ผลิตจากปลาเรือ อยู่ในช่วง  $7.84 \pm 0.62$ ,  $55.27 \pm 0.27$ ,  $7.42 \pm 0.27$  และ  $20.57 \pm 0.25$  ตามลำดับ ปลาป่นที่ผลิตจากเศษปลาโรงงานซูริมี อยู่ในช่วง  $7.98 \pm 0.58$ ,  $53.73 \pm 0.49$ ,  $10.62 \pm 0.30$  และ  $21.98 \pm 0.26$  ตามลำดับ ปลาป่นที่ผลิตจากเศษปลาโรงงานทูน่า อยู่ในช่วง  $7.94 \pm 0.36$ ,  $52.09 \pm 0.37$ ,  $16.10 \pm 0.36$  และ  $23.03 \pm 0.10$  ตามลำดับ พบว่าปลาป่นที่ผลิตจากเศษปลาซึ่งเป็นเศษปลาจากการแยกเนื้อไปใช้ในการทำปลาสำหรับบริโภค จะมีไขมัน, เถ้าสูง และ โปรตีนต่ำกว่า ปลาเรือ และเมื่อเก็บปลาป่นไว้เป็นเวลา 4 เดือน พบคุณค่าทางโภชนาเป็นดังนี้ ความชื้นเพิ่มขึ้น โปรตีนลดลง ไขมันลดลง และเถ้าไม่แตกต่างจากเริ่มต้น โดยปลาป่นที่ผลิตจากปลาเรือ ความชื้น  $8.82 \pm 0.61$ , โปรตีน  $54.50 \pm 0.23$ , ไขมัน  $7.07 \pm 0.14$  และเถ้า  $20.41 \pm 0.22$  ปลาป่นที่ผลิตจากเศษปลาจากโรงงานซูริมี ความชื้น  $8.74 \pm 0.47$ , โปรตีน  $53.31 \pm 0.26$ , ไขมัน  $10.36 \pm 0.12$  และเถ้า  $21.69 \pm 0.27$  ปลาป่นที่ผลิตจากเศษปลาจากโรงงานทูน่า ความชื้น  $9.12 \pm 0.27$ , โปรตีน  $51.41 \pm 0.23$ , ไขมัน  $15.51 \pm 0.28$  และเถ้า  $22.78 \pm 0.28$



ตารางที่ 5 ส่วนประกอบโภชนะของปลาป่นเดือนที่ 0 และ 4

| ชนิดปลาป่น | 1      | 2            | 3         | 4      | 5            | 6         | 7      | 8            | 9         | 10       |
|------------|--------|--------------|-----------|--------|--------------|-----------|--------|--------------|-----------|----------|
| ชนิดปลาสด  | TF     | TF           | TF        | TF     | TF           | RT        | RT     | RT           | RT        | RT       |
| สารกันหืน  | EQ     | EQ           | EQ        | BR     | BR           | BR        | BHT    | BHT          | BHT       | No added |
| จุดเดิม    | Intake | After drying | packaging | Intake | After drying | packaging | Intake | After drying | packaging |          |
| ควาชื้น    |        |              |           |        |              |           |        |              |           |          |
| เดือนที่ 0 | 7.5    | 6.8          | 8.4       | 7.8    | 6.8          | 8.3       | 8.1    | 8.2          | 8.3       | 8.2      |
| เดือนที่ 4 | 8.8    | 7.3          | 9.1       | 8.8    | 8.3          | 9.0       | 9.0    | 9.2          | 9.2       | 9.4      |
| โปรตีน     |        |              |           |        |              |           |        |              |           |          |
| เดือนที่ 0 | 55.1   | 54.9         | 55.1      | 55.5   | 55.2         | 55.5      | 55.1   | 55.4         | 55.1      | 55.8     |
| เดือนที่ 4 | 54.3   | 54.1         | 54.4      | 54.8   | 54.7         | 54.3      | 54.8   | 54.3         | 54.6      | 54.7     |
| ไขมัน      |        |              |           |        |              |           |        |              |           |          |
| เดือนที่ 0 | 6.9    | 7.5          | 7.3       | 7.5    | 7.3          | 7.5       | 7.8    | 7.7          | 7.6       | 7.3      |
| เดือนที่ 4 | 7.1    | 7.2          | 7.1       | 7.2    | 6.9          | 7.2       | 7.1    | 7.0          | 7.0       | 6.8      |
| เถ้า       |        |              |           |        |              |           |        |              |           |          |
| เดือนที่ 0 | 20.98  | 20.14        | 20.75     | 20.55  | 20.34        | 20.73     | 20.41  | 20.77        | 20.46     | 20.52    |
| เดือนที่ 4 | 20.81  | 20.44        | 20.15     | 20.19  | 20.41        | 20.72     | 20.43  | 20.39        | 20.32     | 20.22    |

ตารางที่ 5 (ต่อ)

| ชนิดปลาป่น  | 11     | 12           | 13        | 14     | 15           | 16        | 17     | 18           | 19        | 20       |
|-------------|--------|--------------|-----------|--------|--------------|-----------|--------|--------------|-----------|----------|
| ชนิดพลาสติก | RS     | RS           | RS        | RS     | RS           | RS        | RS     | RS           | RS        | RS       |
| สารกันเหิน  | EQ     | EQ           | EQ        | BR     | BR           | BR        | BHT    | BHT          | BHT       | No added |
| จุดเติม     | Intake | After drying | packaging | Intake | After drying | packaging | Intake | After drying | packaging |          |
| ควาซีน      |        |              |           |        |              |           |        |              |           |          |
| เดือนที่ 0  | 8.8    | 8.7          | 7.7       | 7.4    | 7.0          | 7.9       | 8.6    | 7.8          | 7.8       | 8.0      |
| เดือนที่ 4  | 9.6    | 9.2          | 8.8       | 8.7    | 8.1          | 8.3       | 9.2    | 8.3          | 8.4       | 8.8      |
| โปรตีน      |        |              |           |        |              |           |        |              |           |          |
| เดือนที่ 0  | 53.4   | 53.0         | 54.8      | 53.9   | 54.0         | 53.9      | 53.6   | 53.9         | 53.4      | 53.7     |
| เดือนที่ 4  | 53.1   | 53.0         | 53.9      | 53.2   | 53.4         | 53.4      | 53.1   | 53.4         | 53.2      | 53.4     |
| ไขมัน       |        |              |           |        |              |           |        |              |           |          |
| เดือนที่ 0  | 10.6   | 10.3         | 11.0      | 11.0   | 11.0         | 10.2      | 10.6   | 10.5         | 10.4      | 10.7     |
| เดือนที่ 4  | 10.2   | 10.3         | 10.5      | 10.4   | 10.2         | 10.3      | 10.5   | 10.2         | 10.4      | 10.4     |
| เถ้า        |        |              |           |        |              |           |        |              |           |          |
| เดือนที่ 0  | 22.35  | 21.68        | 21.88     | 22.03  | 21.95        | 22.23     | 22.19  | 21.96        | 21.49     | 22.03    |
| เดือนที่ 4  | 21.71  | 21.63        | 21.18     | 21.87  | 21.88        | 21.34     | 22.08  | 21.77        | 21.56     | 21.99    |

ตารางที่ 5 (ต่อ)

| ชนิดปลาป่น  | 21     | 22           | 23        | 24      | 25           | 26        | 27     | 28           | 29        | 30       |
|-------------|--------|--------------|-----------|---------|--------------|-----------|--------|--------------|-----------|----------|
| ชนิดพลาสติก | RT     | RT           | RT        | RT      | RT           | RT        | RT     | RT           | RT        | RT       |
| สารกันหืน   | EQ     | EQ           | EQ        | BR      | BR           | BR        | BHT    | BHT          | BHT       | No added |
| จุดเติม     | Intake | After drying | packaging | Intake  | After drying | packaging | Intake | After drying | packaging |          |
| กวาชัน      |        |              |           |         |              |           |        |              |           |          |
| เดือนที่ 0  | 8.4    | 7.2          | 7.9       | 7.7     | 8.2          | 7.9       | 7.7    | 8.2          | 7.9       | 8.4      |
| เดือนที่ 4  | 9.4    | 9.1          | 9.6       | 8.9     | 9.3          | 8.9       | 8.9    | 9.1          | 8.8       | 9.2      |
| โปรตีน      |        |              |           |         |              |           |        |              |           |          |
| เดือนที่ 0  | 51.9   | 52.7         | 51.5      | 52.7    | 52.1         | 52.0      | 52.3   | 52.0         | 52.7      | 52.1     |
| เดือนที่ 4  | 51.3   | 51.2         | 51.2      | 51.9    | 51.3         | 51.7      | 51.4   | 51.3         | 51.5      | 51.3     |
| ไขมัน       |        |              |           |         |              |           |        |              |           |          |
| เดือนที่ 0  | 16.0   | 15.8         | 16.6      | 16.0    | 15.7         | 16.2      | 16.1   | 16.0         | 16.8      | 15.7     |
| เดือนที่ 4  | 15.7   | 15.8         | 16.0      | 15.5    | 15.5         | 15.3      | 15.4   | 15.1         | 15.6      | 15.3     |
| เถ้า        |        |              |           |         |              |           |        |              |           |          |
| เดือนที่ 0  | 22.98  | 23.05        | 23.14     | 23.02   | 23.19        | 22.93     | 22.87  | 23.07        | 23.11     | 22.93    |
| เดือนที่ 4  | 22.19  | 22.93        | 22.87     | 22.3.07 | 22.88        | 22.74     | 22.56  | 22.19        | 22.62     | 22.77    |

## 2. ปริมาณสารกันเหิรที่เหลือในปลาป่น เดือนที่ 0 - 4

ในการผลิตปลาป่นสารกันเหิรจะถูกทำลายโดยความร้อนจากขบวนการผลิตปลาป่น เมื่อมีการเติมสารกันเหิรที่ intake ปริมาณสารกันเหิรที่เหลืออยู่ในปลาป่นมีปริมาณที่ต่ำกว่า 100 ppm น้อยกว่าเมื่อเติม สารกันเหิรที่ after drying และ packaging อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) การเติมสารกันเหิรที่ after drying สารกันเหิรจะถูกใช้ในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันในปลาป่น ดังนั้นปริมาณสารกันเหิรที่คงเหลือที่ packaging มากกว่าที่ after drying อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) พิจารณาชนิดของสารกันเหิร ที่ packaging และ intake พบว่า EQ ไม่แตกต่างจาก BR แต่แตกต่างจาก BHT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) และที่ after drying พบว่า EQ, BR และ BHT แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) โดย EQ จะพบว่คงเหลือมากกว่า BR และ BR มากกว่า BHT แสดงในตารางที่ 6 และเมื่อเก็บปลาป่นเป็นระยะเวลาาน 4 เดือน ค่าปริมาณสารกันเหิรที่เหลืออยู่จะลดลง ดังแสดงในกราฟภาพที่ 2 -10 เพราะสารกันเหิรที่เติมจะถูกใช้ไปในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Glady, 1978)

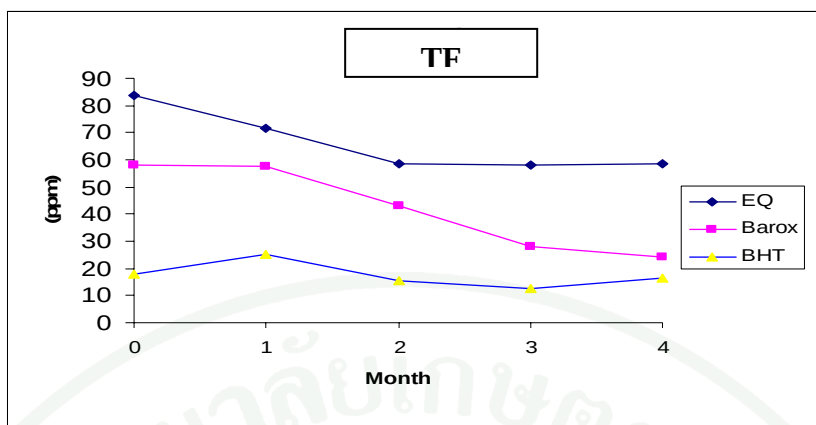
ตารางที่ 6 ปริมาณสารกันเหิรที่เหลือในปลาป่นที่เก็บนาน 4 เดือน

| ชนิดสารกันเหิร | จุดเติมสารกันเหิร                |                                   |                                   |
|----------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|                | Intake                           | After after drying                | Packaging                         |
| EQ             | <sup>a</sup> $48.6 \pm 20.03^z$  | <sup>a</sup> $256.2 \pm 130.08^y$ | <sup>a</sup> $347.9 \pm 57.43^x$  |
| BR             | <sup>ab</sup> $27.6 \pm 24.19^z$ | <sup>c</sup> $120.9 \pm 70.53^y$  | <sup>ab</sup> $322.3 \pm 86.41^x$ |
| BHT            | <sup>b</sup> $13.4 \pm 10.39^z$  | <sup>b</sup> $152.7 \pm 94.83^y$  | <sup>b</sup> $299.1 \pm 65.20^x$  |

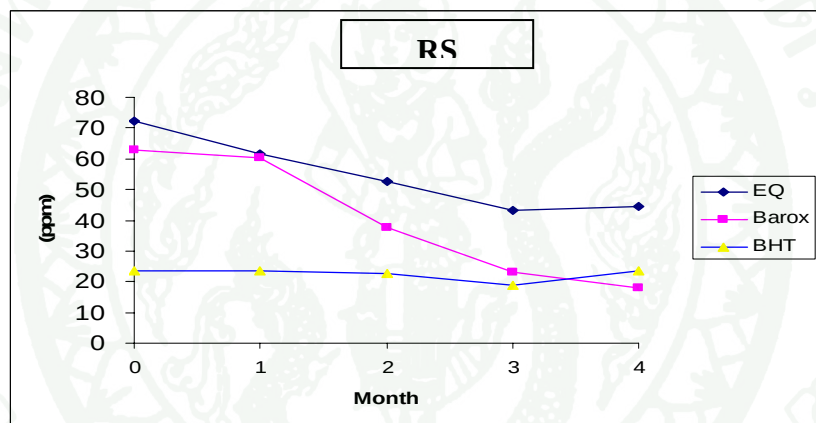
ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

<sup>a,b,c</sup> ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ )

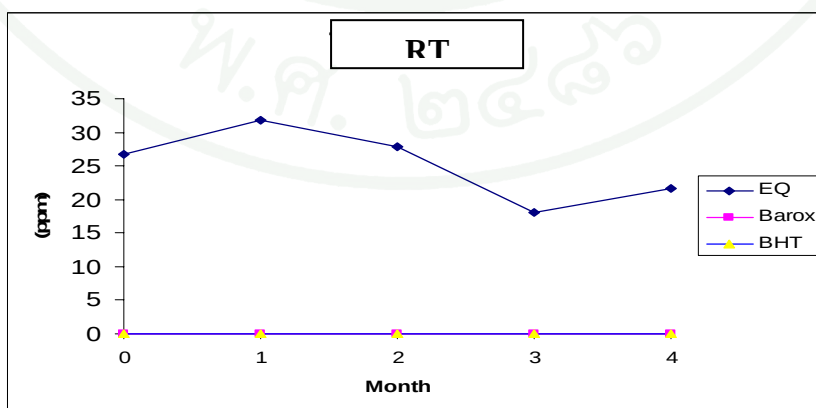
<sup>x,y,z</sup> ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ )



ภาพที่ 2 ปริมาณสารกันเหิรในปลาปลั TF เดือนที่ 0 – 4 เติมสารกันเหิรที่ intake

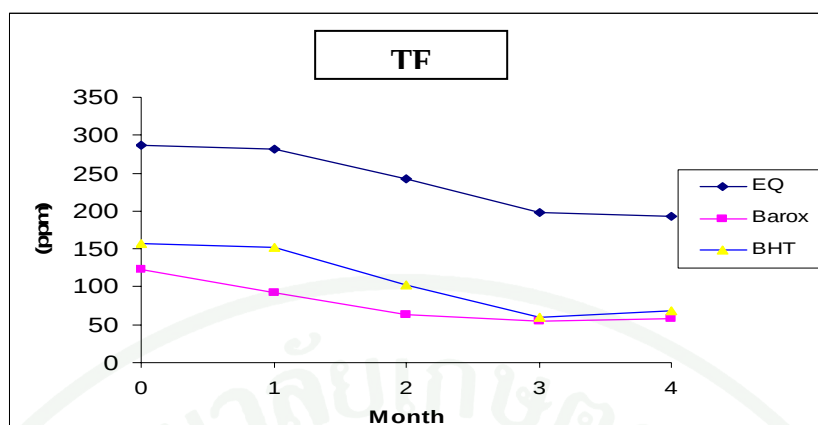


ภาพที่ 3 ปริมาณสารกันเหิรในปลาปลั RS เดือนที่ 0 – 4 เติมสารกันเหิรที่ intake

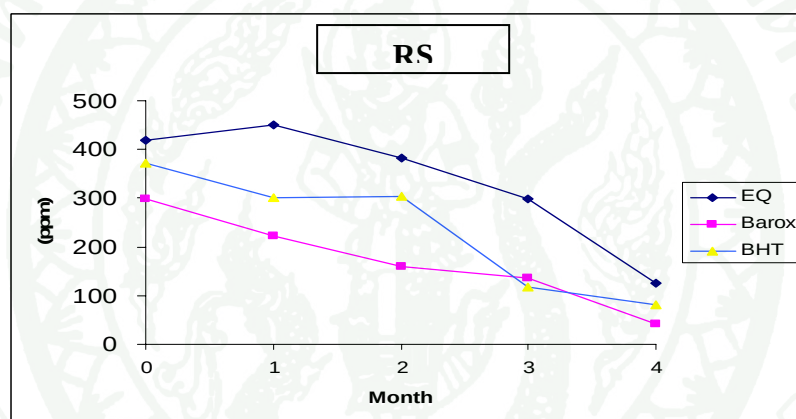


ภาพที่ 4 ปริมาณสารกันเหิรในปลาปลั RT เดือนที่ 0 – 4 เติมสารกันเหิรที่ intake

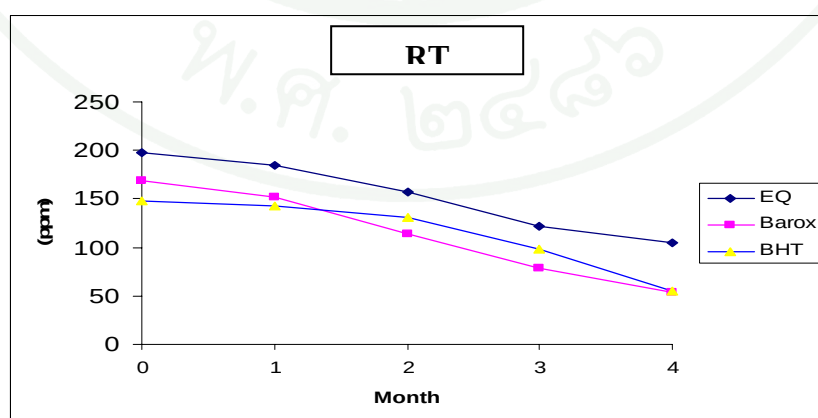




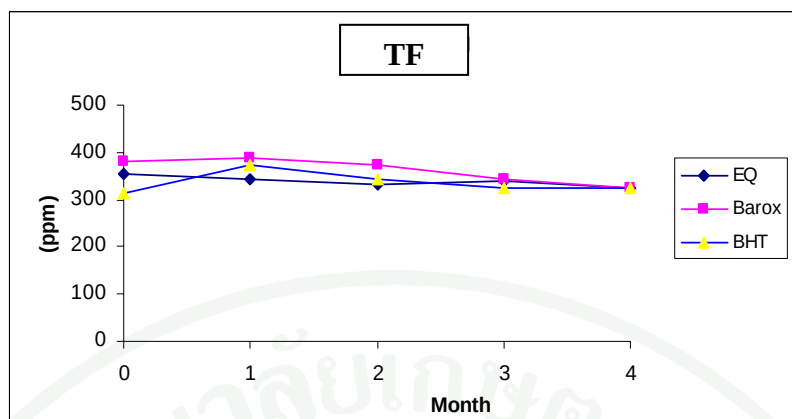
ภาพที่ 5 ปริมาณสารกำมะถันในปลาป่น TF เดือนที่ 0 – 4 เติมสารกำมะถันที่ after drying



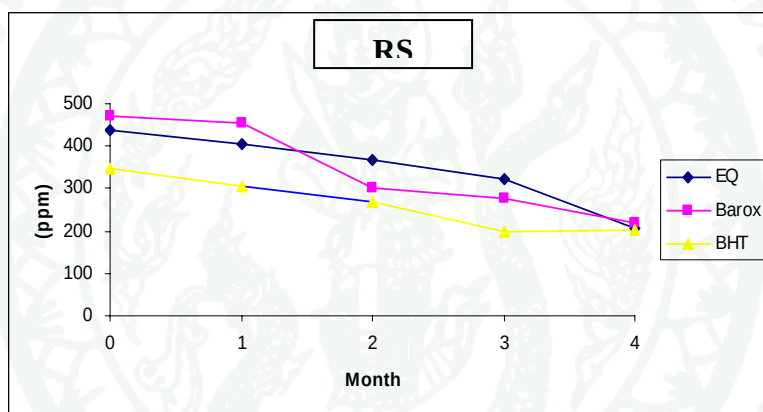
ภาพที่ 6 ปริมาณสารกำมะถันในปลาป่น RS เดือนที่ 0 – 4 เติมสารกำมะถันที่ after drying



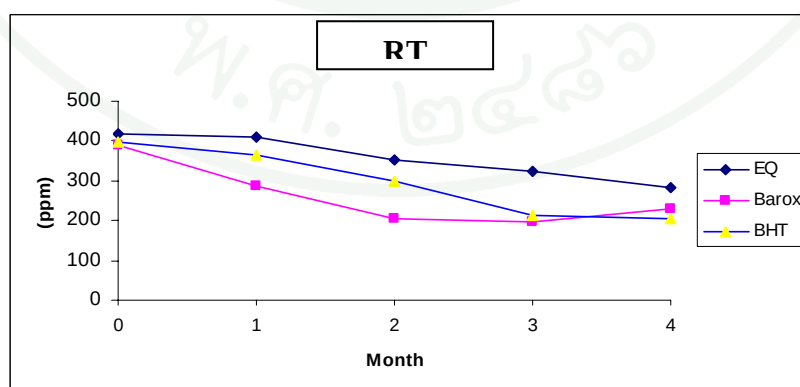
ภาพที่ 7 ปริมาณสารกำมะถันในปลาป่น RT เดือนที่ 0 – 4 เติมสารกำมะถันที่ after drying



ภาพที่ 8 ปริมาณสารกันเหิรในปลาแปน TF เดือนที่ 0 – 4 เติมสารกันเหิรที่ packaging



ภาพที่ 9 ปริมาณสารกันเหิรในปลาแปน RS เดือนที่ 0 – 4 เติมสารกันเหิรที่ packaging



ภาพที่ 10 ปริมาณสารกันเหิรในปลาแปน RT เดือนที่ 0 – 4 เติมสารกันเหิรที่ packaging

### 3. ค่าการหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

#### 3.1 ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value, PV)

ปลาปนกลุ่มควบคุมไม่มีการเติมสารกันหืน มีค่าเปอร์ออกไซด์จะแตกต่างจากปลาปนกลุ่มสารกันหืนที่ intake อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) แต่แตกต่างจากปลาปนกลุ่มเติมสารกันหืนที่ after drying และ packaging อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) เพราะสารกันหืน intake ถูกทำลายโดยความร้อนจากขบวนการผลิตปลาปน ทำให้ปลาปนกลุ่มควบคุม และปลาปนกลุ่ม intake เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (autoxidation) ที่พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็น peroxide linkage ขึ้นระหว่างพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ยังมีพันธะคู่มาก อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันก็จะมากขึ้นด้วย ออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องของอนุมูลอิสระที่เริ่มต้นปฏิกิริยาถูกโซ่ต่อไปได้อีก (Gray, 1978) เมื่อพิจารณาปลาปนกลุ่ม packaging และปลาปนกลุ่ม after drying พบว่าปลาปนกลุ่ม packaging มีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าปลาปนกลุ่ม after drying อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ; ตารางที่ 7) ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันไม่อิ่มตัวในปลาปนเกิดขึ้นก่อนที่ทำการเติมสารกันหืน สารกันหืนที่เติมลงไปช่วยหยุดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Rajalakshmi and Narasimhan, 1996) และเมื่อเก็บรักษาปลาปนกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอาหาร และเกิดการเกิดออกซิเดชัน (Gray, 1978)

ตารางที่ 7 ค่าเปอร์ออกไซด์ในปลาปนที่เก็บนาน 4 เดือน

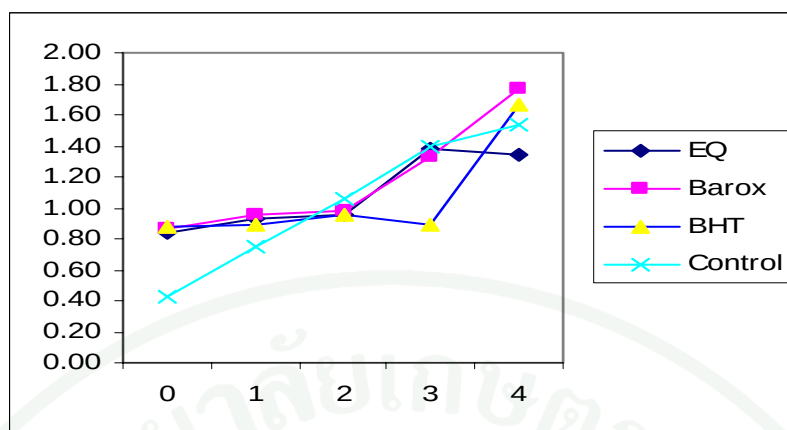
| ชนิดสารกันหืน | จุดเติมสารกันหืน               |                                |                                |
|---------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|               | Intake                         | After after drying             | Packaging                      |
| EQ            | <sup>a</sup> $4.76 \pm 2.91^x$ | <sup>b</sup> $2.00 \pm 1.14^z$ | <sup>b</sup> $3.46 \pm 2.06^y$ |
| BR            | <sup>a</sup> $4.66 \pm 2.80^x$ | <sup>b</sup> $2.19 \pm 1.28^z$ | <sup>b</sup> $4.04 \pm 2.46^y$ |
| BHT           | <sup>a</sup> $4.77 \pm 2.84^x$ | <sup>b</sup> $2.16 \pm 1.26^z$ | <sup>b</sup> $3.86 \pm 2.14^y$ |
| Control       | <sup>a</sup> $4.99 \pm 3.31^x$ | <sup>a</sup> $4.99 \pm 3.31^x$ | <sup>a</sup> $4.99 \pm 3.31^x$ |

หมายเหตุ: Control วัดค่า PV จากปลาปนที่จุด Packaging ใช้เปรียบเทียบกับจุดเติมสารกันหืน 3 จุด

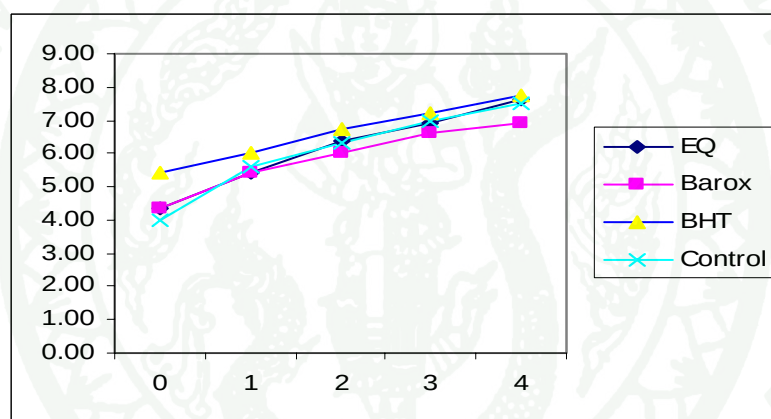
ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

<sup>a,b</sup> ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ )

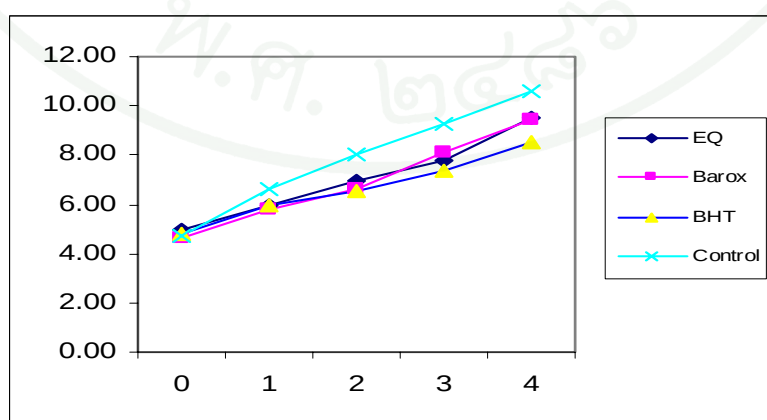
<sup>x,y,z</sup> ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ )



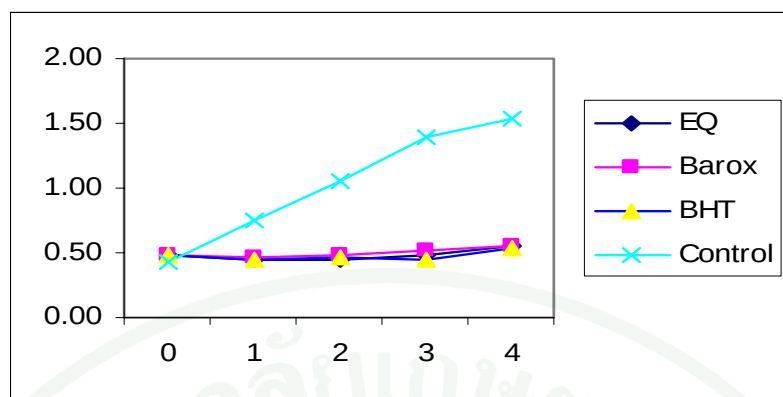
ภาพที่ 11 ค่า PV ในของปลาป่น TF เดือนที่ 0-4 เติมสารกันหืนที่ intake



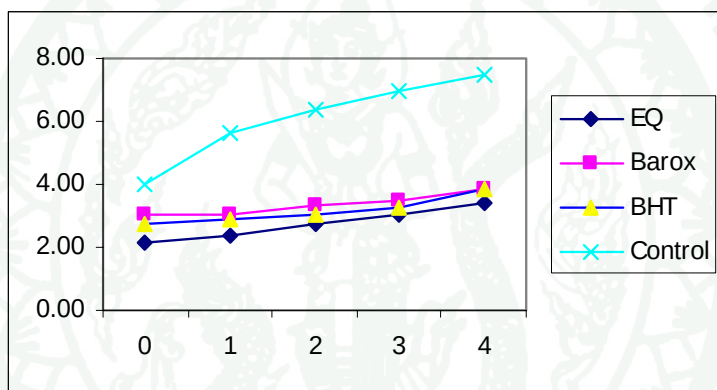
ภาพที่ 12 ค่า PV ในของปลาป่น RS เดือนที่ 0-4 เติมสารกันหืนที่ intake



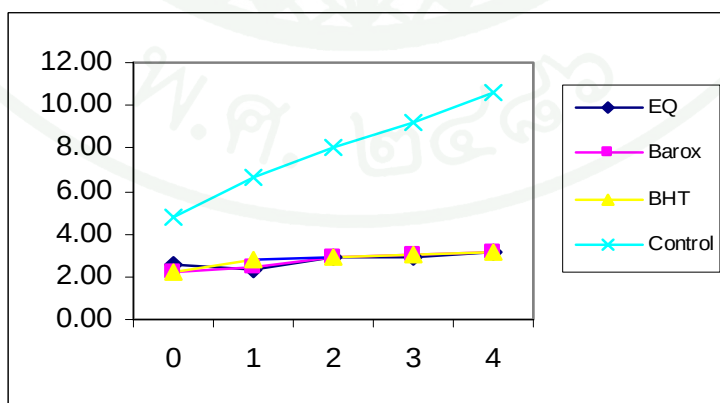
ภาพที่ 13 ค่า PV ในของปลาป่น RT เดือนที่ 0-4 เติมสารกันหืนที่ intake



ภาพที่ 14 ค่า PV ในของปลาป่น TF เดือนที่ 0-4 เติมสารกันหืนที่ after drying

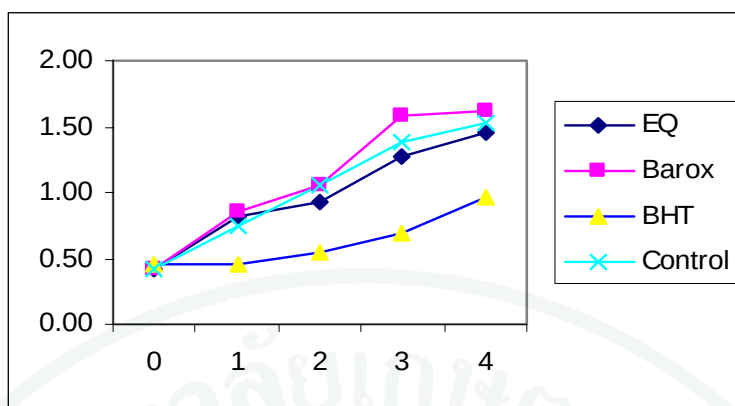


ภาพที่ 15 ค่า PV ในของปลาป่น RS เดือนที่ 0-4 เติมสารกันหืนที่ after drying

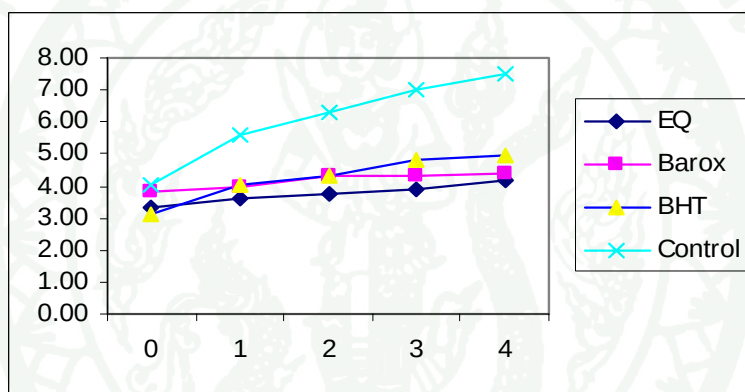


ภาพที่ 16 ค่า PV ในของปลาป่น RT เดือนที่ 0-4 เติมสารกันหืนที่ after drying

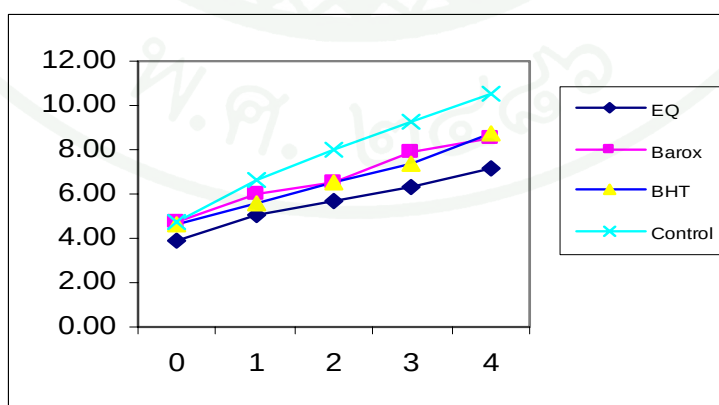




ภาพที่ 17 ค่า PV ในของปลาป่น TF เดือนที่ 0-4 เติมสารกันหืนที่ packaging

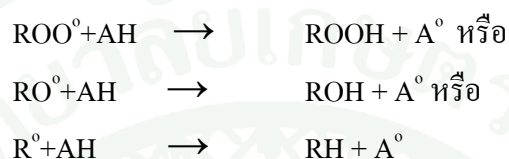


ภาพที่ 18 ค่า PV ในของปลาป่น RS เดือนที่ 0-4 เติมสารกันหืนที่ packaging

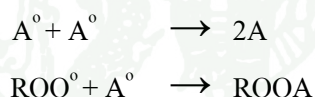


ภาพที่ 19 ค่า PV ในของปลาป่น RT เดือนที่ 0-4 เติมสารกันหืนที่ packaging

ประสิทธิภาพของสารกันหืน EQ, BR และ BHT ในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) กลไกของวัตถุกันหืนในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทไขมันและน้ำมัน อาจชะลอให้เกิดซ้ำลงด้วยการใช้สารกันหืน ที่เติมลงไป จะไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดต่อเนื่องหยุด (Hammilton, 1994) โดยมีปฏิกิริยาดัง



โดยที่สารกันหืน (AH) จะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่ Radicle form ( $\text{ROO}^\circ$ ,  $\text{RO}^\circ$ ,  $\text{R}^\circ$ ) ในไขมันที่ไม่อิ่มตัวทำให้เกิดเป็น ROOH และ  $\text{A}^\circ$  ซึ่ง  $\text{A}^\circ$  มีความคงตัวมากกว่าทำให้ไม่เกิดการสร้างอนุมูลอิสระออกไป ส่งผลให้ไขมันในอาหารคงสภาพอยู่ได้ ทั้งนี้  $\text{A}^\circ$  จะมีความคงตัวสูงกว่า  $\text{R}^\circ$  และไม่ทำให้เกิดการขยายผลของการสร้างอนุมูลอิสระออกไปอีก และจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่คงตัวดังสมการ free radical ต่างๆ นี้จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อไปถ้ามีสารกันหืน



จากกราฟภาพที่ 11-19 พบว่าในกลุ่มปลาป่น TF มีค่าเปอร์ออกไซด์ น้อยกว่าในกลุ่มปลาป่น RS และ ปลาป่น RS มีค่าเปอร์ออกไซด์ น้อยกว่าในกลุ่มปลาป่น RT เพราะว่าไขมันในกลุ่มปลาป่น RT สูงกว่า ปลาป่นกลุ่ม RS และ TF ปลาป่นที่มีไขมันสูงมีแนวโน้มเกิดการหืนได้ง่าย จึงให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูง (จูอะดี และคณะ, 2539) และเมื่อเก็บปลาป่นนานขึ้นค่าเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่จัดเก็บ

### 3.2 ค่าที.บี.เอ (Thiobabituric acid : TBA)

ตารางที่ 8 ค่า TBA ในปลาป่นที่เก็บนาน 4 เดือน

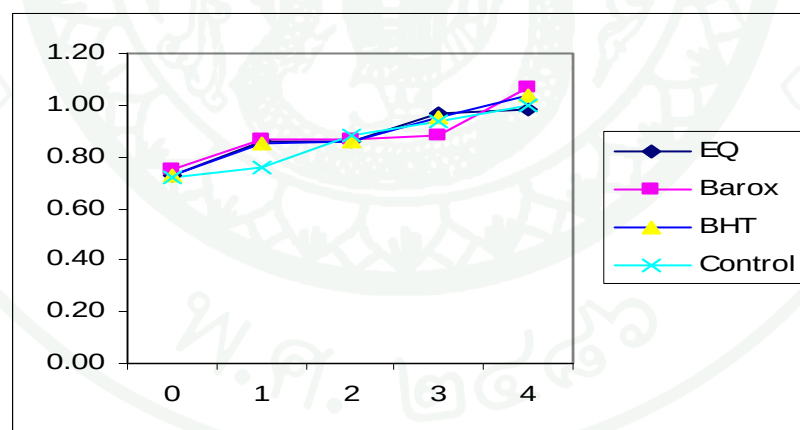
| Types Antioxidants | Position add antioxidants                   |                                           |                                           |
|--------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                    | Intake                                      | After drying                              | Packaging                                 |
| EQ                 | <sup>bc</sup> $2.51 \pm 1.40$ <sup>xy</sup> | <sup>b</sup> $1.77 \pm 0.78$ <sup>z</sup> | <sup>b</sup> $2.37 \pm 2.06$ <sup>y</sup> |
| BR                 | <sup>b</sup> $2.69 \pm 1.57$ <sup>x</sup>   | <sup>b</sup> $1.78 \pm 0.72$ <sup>y</sup> | <sup>b</sup> $2.31 \pm 1.14$ <sup>z</sup> |
| BHT                | <sup>bc</sup> $2.47 \pm 1.38$ <sup>xy</sup> | <sup>b</sup> $1.74 \pm 0.76$ <sup>z</sup> | <sup>b</sup> $2.39 \pm 1.23$ <sup>y</sup> |
| Control            | <sup>a</sup> $3.24 \pm 2.00$ <sup>x</sup>   | <sup>a</sup> $3.24 \pm 2.00$ <sup>x</sup> | <sup>a</sup> $3.24 \pm 2.00$ <sup>x</sup> |

หมายเหตุ: Control วัดค่า PV จากปลาป่นที่จุด Packaging ใช้เปรียบเทียบกับจุดเดิมสารกันหืน 3 จุด

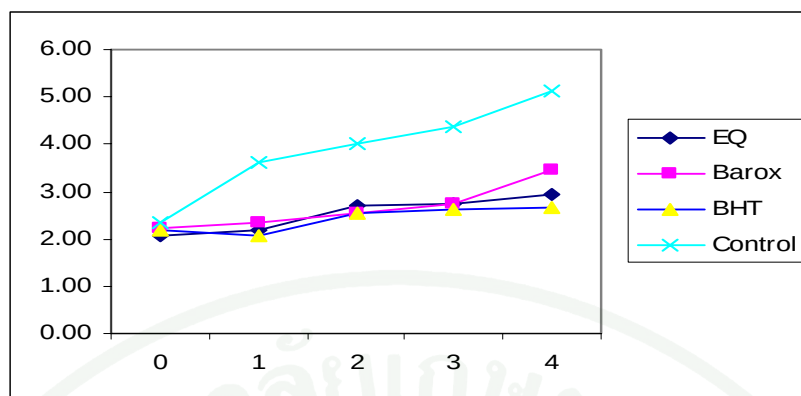
ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

<sup>a,b,c</sup> ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

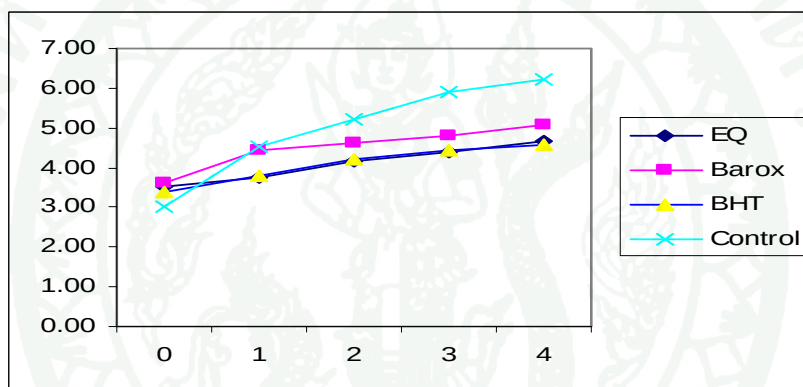
<sup>x,y,z</sup> ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )



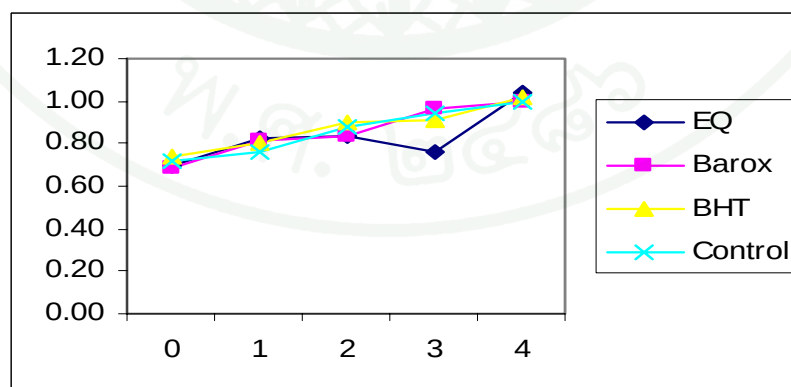
ภาพที่ 20 ค่า TBA ในของปลาป่น TF เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ intake



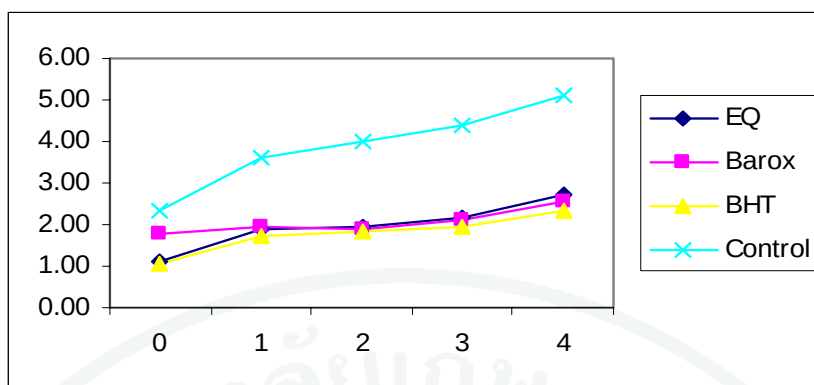
ภาพที่ 21 ค่า TBA ในของปลาป่น RS เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ intake



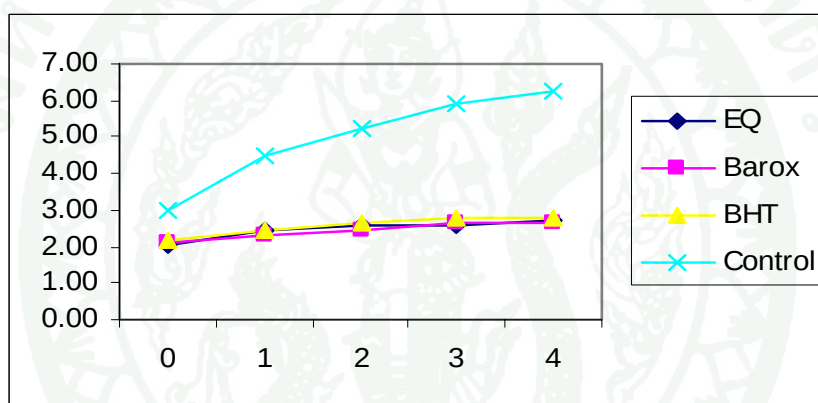
ภาพที่ 22 ค่า TBA ในของปลาป่น RT เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ intake



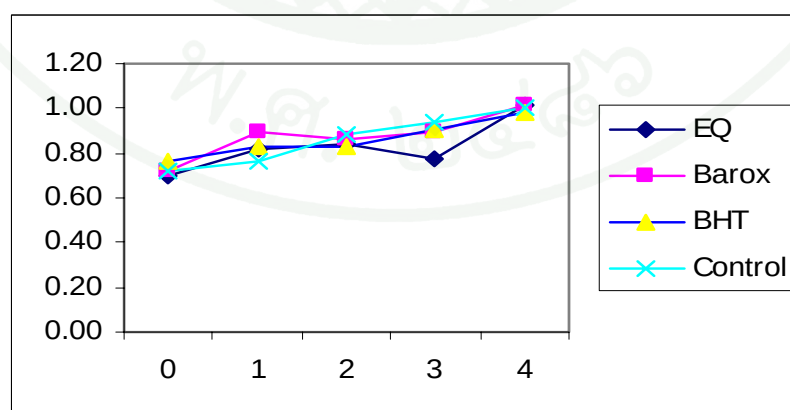
ภาพที่ 23 ค่า TBA ในของปลาป่น TF เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ after drying



ภาพที่ 24 ค่า TBA ในของปลาป่น RS เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ after drying

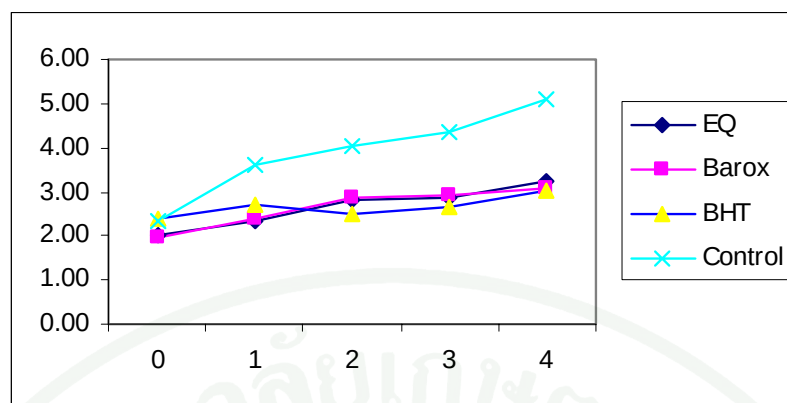


ภาพที่ 25 ค่า TBA ในของปลาป่น RT เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ after drying

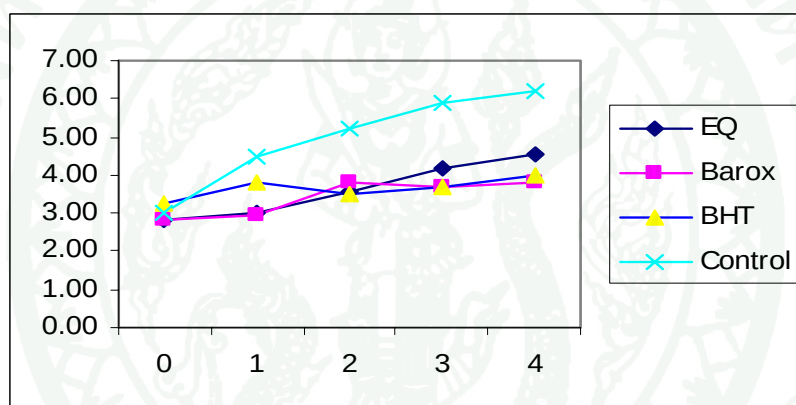


ภาพที่ 26 ค่า TBA ในของปลาป่น TF เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ packaging





ภาพที่ 27 ค่า TBA ในของปลาป่น RS เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ packaging



ภาพที่ 28 ค่า TBA ในของปลาป่น RT เดือนที่ 0-4 เดิมสารกันหืนที่ packaging

กลุ่มปลาป่นควบคุม ค่า TBA แตกต่างจากกลุ่มที่เดิมสารกันหืนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยค่า TBA ของปลาป่นกลุ่มควบคุม สูงกว่าปลาป่นกลุ่มเดิมสารกันหืน ปลาป่นกลุ่ม intake และ packaging ค่า TBA แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) แต่ค่า TBA ของปลาป่นกลุ่ม intake มีแนวโน้มสูงกว่า ปลาป่นกลุ่ม packaging กลุ่มปลาป่นที่ after drying ค่า TBA จะต่ำกว่า กลุ่มปลาป่นที่ intake และ packaging อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ที่ intake และ packaging จะเกิดการออกซิเดชันต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าสารกันหืน ที่เดิมในกระบวนการผลิตที่ after drying สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมัน จึงทำให้ได้ผล TBA ที่ต่ำกว่า การเดิมสารกันหืนที่ packaging ไม่ได้ช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา (Pearson, 1976) ประสิทธิภาพของสารกันหืน EQ BR และ BHT ในการป้องกันการเกิด TBA แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แสดงในตารางที่ 8

ค่า TBA เป็นการวัดผลิตภัณฑ์จากการสลายตัวของเปอร์ออกไซด์ คือ อัลดีไฮด์ที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหาร โดยการทำปฏิกิริยาระหว่าง อัลดีไฮด์กับกรด 2-ไทโอบาบิบูริก เกิดเป็นสารสีเหลือง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ในขณะที่สาร 2,4-ไดอินอล (2,4-dienol) จากการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของกรดลิโนเลอิกจะให้สารสีแดง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร (Stauffer, 1996) ค่า TBA มีความสัมพันธ์กับระดับไขมันในปลาป่น โดยปลาป่นที่มีไขมันสูงจะเกิดออกซิเดชันได้ง่ายกว่า ดังแสดงในกราฟภาพที่ 20-28

ซึ่งในการทดลองที่ 2 จะนำปลาป่นที่มีคุณภาพแตกต่างกันไปทำอาหารไก่ไข่ เพื่อศึกษาผลกระทบกับตัวสัตว์ทั้งทางด้านผลผลิต และคุณภาพของผลผลิตคือไข่ที่ได้ว่ามีผลเช่นใด

#### **การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการเติมสารกันหืนที่จุด after drying และ packaging ต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพไข่**

การทดลองนำปลาป่นที่ผลิตจากการทดลองที่ 1 เลือกปลาป่นกลุ่มปลาสดจาก TF และ RT ซึ่งเป็นปลาป่นที่มีไขมันต่ำและไขมันสูงตามลำดับ การเติมสารกันหืนในกระบวนการผลิตมีผลต่อคุณภาพปลาป่น ดังนั้นจึงเปรียบเทียบ ระหว่างปลาป่นที่ไม่เติมสารกันหืน กับ กลุ่มที่เติมสารกันหืน ในกลุ่มที่เติมสารกันหืนเปรียบเทียบระหว่างเติมสารกันหืนที่หม้ออบแห้งและที่ผสมก่อนบรรจุ มีความแตกต่างกัน และเปรียบเทียบชนิดของสารกันหืนที่ใช้ระหว่าง EQ และ BHT โดยนำปลาป่นดังกล่าวมาผสมในสูตรอาหารพื้นฐานช่วงอายุ 23 – 43 สัปดาห์ ส่วนประกอบของโภชนาในปลาป่นที่ใช้ในการทดลอง มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีน ไขมัน และ เถ้า ในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ส่วนประกอบของโภชนะในปลาป่นที่ใช้ทดลอง

| ชนิด<br>ปลาป่น | โภชนะ(%) |        |       |       |
|----------------|----------|--------|-------|-------|
|                | ความชื้น | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า  |
| 1              | 7.3      | 54.1   | 7.2   | 20.44 |
| 2              | 9.1      | 54.4   | 7.1   | 20.15 |
| 3              | 9.2      | 54.3   | 7.0   | 20.39 |
| 4              | 9.2      | 54.6   | 7.0   | 20.32 |
| 5              | 9.4      | 54.7   | 6.8   | 20.22 |
| 6              | 9.1      | 51.2   | 15.8  | 22.93 |
| 7              | 9.6      | 51.2   | 16.0  | 22.87 |
| 8              | 9.1      | 51.3   | 15.1  | 22.19 |
| 9              | 8.8      | 51.5   | 15.6  | 22.62 |
| 10             | 9.2      | 51.3   | 15.3  | 22.77 |

หมายเหตุ: กระบวนการผลิตปลาป่นชนิดที่ 1-10 แสดงในหน้าที่ 23

สูตรอาหารทดลองที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ประกอบด้วย ข้าวโพด รำสด เปลือกหอยป่น และกากถั่วเหลือง มีการเสริมวิตามินและแร่ธาตุให้มีระดับที่แนะนำโดย NRC (1994) และตามคู่มือการเลี้ยงไก่ไข่ ISA-brown โดยแต่ละสูตรมีปลาป่นทดลอง 5.5% แสดงในตารางที่ 3 โดยอาหารสูตรที่ 1 ใช้ปลาป่นชนิดที่ 1 อาหารสูตรที่ 2 ใช้ปลาป่นชนิดที่ 2,..., อาหารสูตรที่ 10 ใช้ปลาป่นลำดับที่ 10 ของตารางที่ 9 ตามลำดับ อาหารแต่ละสูตรมีส่วนประกอบของโภชนะ แสดงตารางที่ 10

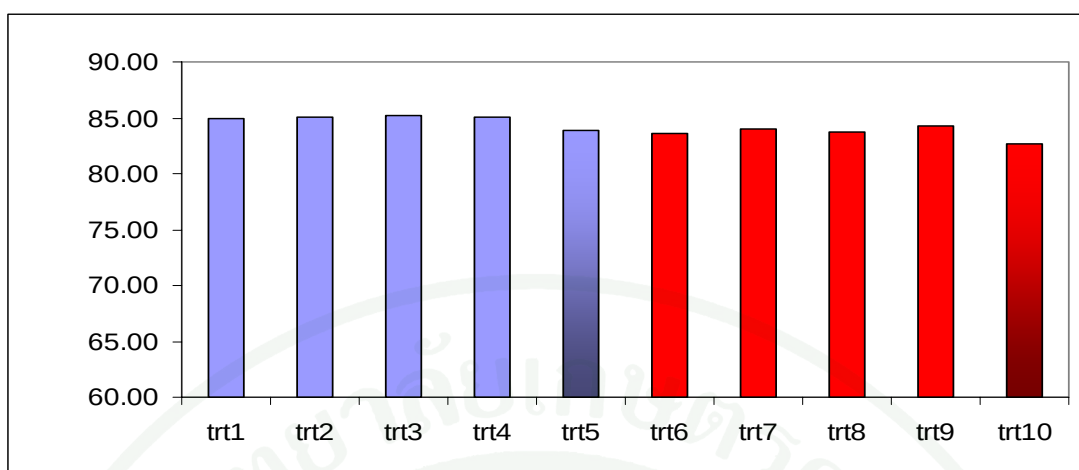
ตารางที่ 10 ส่วนประกอบโภชนะในสูตรอาหารไก่ไข่ ช่วงอายุ 23 – 43 สัปดาห์

| สูตรอาหาร<br>ทดลอง | ส่วนประกอบโภชนะ (%) |        |       |         |      |                      |          |                 |
|--------------------|---------------------|--------|-------|---------|------|----------------------|----------|-----------------|
|                    | ความชื้น            | โปรตีน | ไขมัน | เยื่อใย | เถ้า | พลังงาน<br>(Mcal/kg) | แคลเซียม | ฟอสฟอรัส<br>รวม |
| 1                  | 11.0                | 17.0   | 2.29  | 2.42    | 12.4 | 4.16                 | 3.81     | 0.527           |
| 2                  | 11.3                | 17.0   | 2.32  | 2.54    | 12.0 | 4.07                 | 3.47     | 0.586           |
| 3                  | 11.8                | 17.0   | 2.44  | 2.92    | 11.4 | 4.12                 | 3.55     | 0.539           |
| 4                  | 11.4                | 17.0   | 2.35  | 2.75    | 11.4 | 4.42                 | 3.15     | 0.588           |
| 5                  | 12.3                | 16.6   | 2.29  | 3.76    | 11.4 | 4.3                  | 3.19     | 0.630           |
| 6                  | 11.3                | 16.8   | 2.61  | 3.39    | 12.7 | 4.22                 | 3.86     | 0.593           |
| 7                  | 11.2                | 17.3   | 2.47  | 2.94    | 11.8 | 4.34                 | 3.16     | 0.500           |
| 8                  | 11.4                | 16.7   | 2.44  | 3.25    | 12.1 | 4.12                 | 3.79     | 0.565           |
| 9                  | 11.3                | 16.9   | 2.68  | 3.44    | 11.9 | 4.11                 | 3.56     | 0.543           |
| 10                 | 11.4                | 16.9   | 2.75  | 3.32    | 11.9 | 4.17                 | 3.65     | 0.582           |

# 1. ผลของคุณภาพปลาป่นต่อสมรรถภาพการผลิต

## 1.1 ผลผลิตไข่ (เปอร์เซ็นต์)

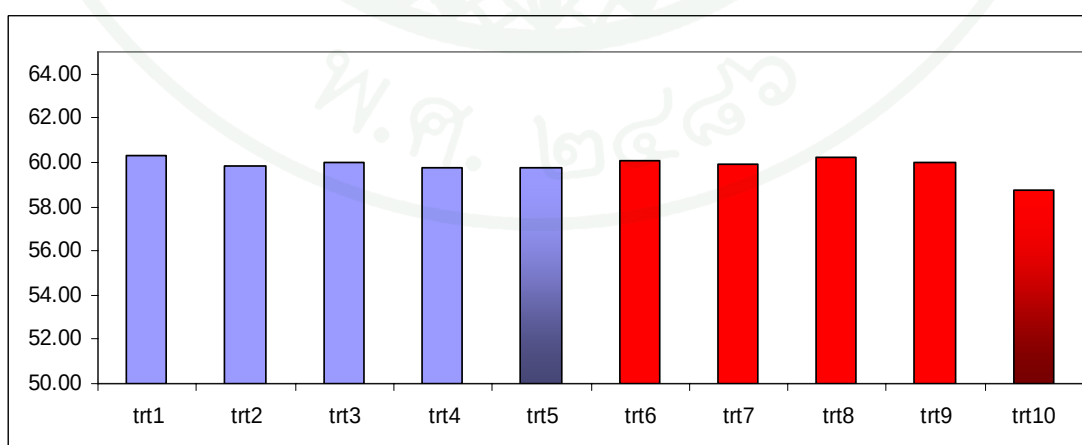
ผลของคุณภาพปลาป่นต่อผลผลิตไข่เฉลี่ยตลอดการทดลอง ซึ่งเริ่มตั้งแต่ไก่อายุ 23 สัปดาห์ จนถึงไก่อายุ 43 สัปดาห์ เท่ากับร้อยละ 82.63 – 85.29 ซึ่งผลผลิตไข่เฉลี่ยของไก่ไข่แต่ละกลุ่มทั้ง 10 เฉลี่ยช่วงการทดลอง มีค่าเท่ากับร้อยละ 84.98, 85.02, 85.24, 85.09, 83.88, 83.57, 83.96, 83.77, 84.309 และ 82.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) แสดงในกราฟภาพที่ 29 และในตารางที่ 11



ภาพที่ 29 ผลผลิตไข่เฉลี่ย (%hen house egg production) ตลอดช่วงการทดลอง

## 1.2 น้ำหนักไข่เฉลี่ย

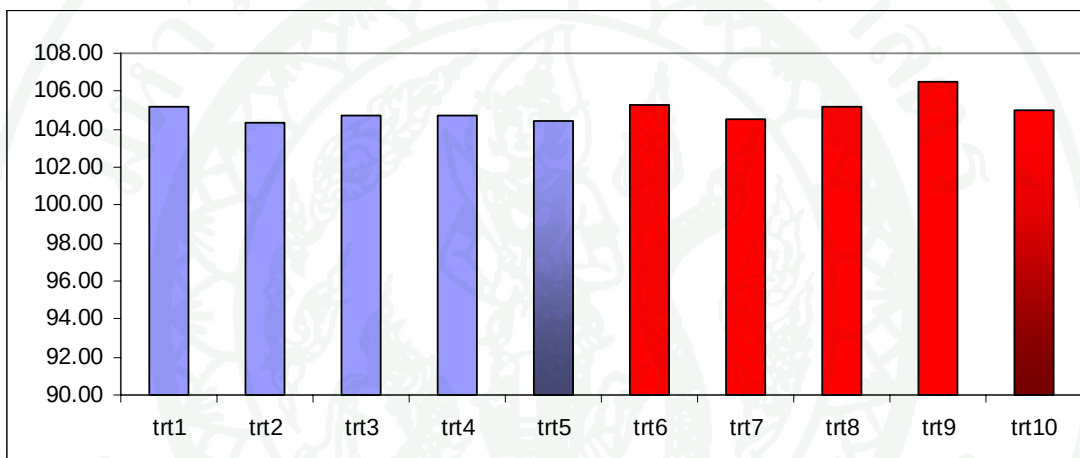
น้ำหนักไข่เฉลี่ยตลอดช่วงการทดลองอยู่ในช่วง 56.41–62.88 กรัม/ฟอง ผลของคุณภาพปลาป่นต่างในอาหารไก่ไข่ทั้ง 10 กลุ่ม พบว่าน้ำหนักไข่ตลอดช่วงการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ( $P>0.05$ ) คือ 60.29, 59.85, 60.00, 59.78, 59.76, 60.04, 59.91, 60.26, 60.04 และ 58.72 กรัม ตามลำดับ แสดงในภาพที่ 30 ผลของคุณภาพปลาป่นกลุ่มที่ 10 ในอาหารไก่ไข่ ให้น้ำหนักไข่เฉลี่ยตลอดช่วงการทดลองต่ำที่สุด ผลของคุณภาพปลาป่นกลุ่มที่ 1 และ 8 ในอาหารไก่ไข่ ให้น้ำหนักไข่เฉลี่ยตลอดช่วงการทดลองสูงที่สุด



ภาพที่ 30 น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม/ฟอง)

### 1.3 ปริมาณอาหารที่กิน

ปริมาณอาหารที่แม่ไก่กินเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 104.37 – 106.50 กรัม/ตัว/วัน ผลของคุณภาพปลาป่นต่างในอาหารไก่ไข่ทั้ง 10 กลุ่ม พบว่าน้ำหนักไข่ตลอดช่วงการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ( $P>0.05$ ) คือ 105.20, 104.37, 104.70, 104.69, 104.48, 105.30, 104.57, 105.16, 106.50 และ 105.01 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 31) ผลของคุณภาพปลาป่นกลุ่มที่ 2 ในอาหารไก่ไข่ ปริมาณการกินอาหารของแม่ไก่ ตลอดช่วงการทดลองต่ำที่สุด ผลของคุณภาพปลาป่นกลุ่มที่ 9 ในอาหารไก่ไข่ปริมาณการกินอาหารของแม่ไก่ตลอดช่วงการทดลองสูงที่สุด

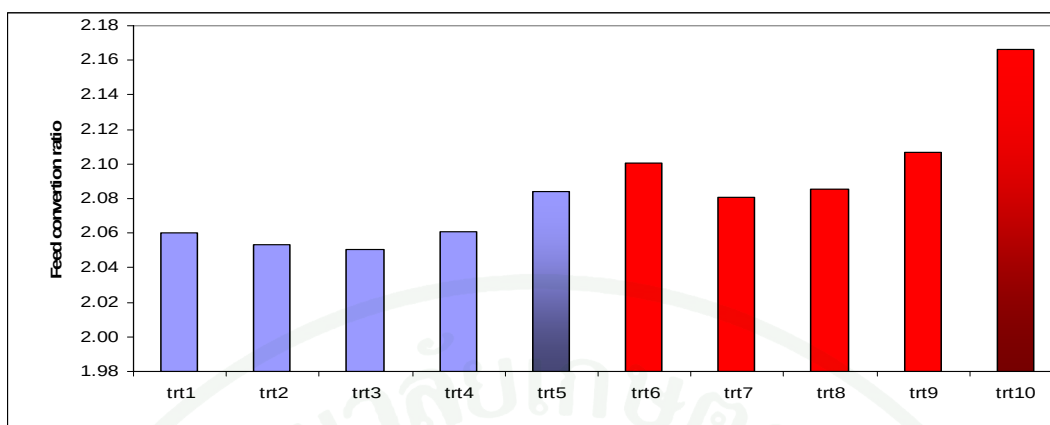


ภาพที่ 31 ปริมาณการกินอาหารของแม่ไก่ (กรัม/ตัว/วัน)

### 1.4 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ (Feed conversion ratio)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ (กิโลกรัมอาหาร/กิโลกรัมไข่) ของแม่ไก่กินอาหารไก่ที่มีผลปลาป่นต่างในอาหารไก่ไข่ทั้ง 10 กลุ่ม มีค่าเท่ากับ 2.06, 2.05, 2.05, 2.06, 2.08, 2.10, 2.08, 2.09, 2.11 และ 2.17 ตามลำดับ เฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 2.05 – 2.17 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) แสดงในกราฟภาพที่ 32 โดยในกลุ่มที่ 10 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่สูงที่สุด 2.17 ส่วนกลุ่มที่ 2 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ต่ำที่สุด





ภาพที่ 32 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ของแม่ไก่ (กิโลกรัมอาหาร/กิโลกรัมไข่)

จากคู่มือการเลี้ยงของอีซาบราร์วันได้รายงานว่ปริมาณการกินได้เฉลี่ยของไก่ไข่ที่เริ่มให้ไข่ 2% จนถึงไก่ไข่มีอายุ 28 สัปดาห์ ปริมาณกินได้เฉลี่ย 105 กรัม/ตัว/วัน และแม่ไก่ไข่ที่อายุตั้งแต่ 28 สัปดาห์ จนกระทั่งปลดออกมีปริมาณการกินได้เฉลี่ย 115 กรัม กรัม/ตัว/วัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในแต่ละช่วงการทดลอง ข้อมูลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางโภชนาการของอาหารสัตว์ทดลอง แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของโภชนะหลัก อาทิ ไขมัน โปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอาหารของ US NRC (1994) และไม่ส่งผลต่อสมรรถนะการให้ผลผลิตของไก่ไข่ (ตารางที่ 11) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ อังคณา และคณะ (2546) คุณภาพปลาป่นที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลต่อสมรรถนะการผลิตที่แตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) แต่ในการทดลองกลุ่มที่ 10 ซึ่งใช้ปลาป่นที่มีไขมันสูงและไม่เติมสารกันหืน จะมีแนวโน้มให้ผลผลิตที่ต่ำ น้ำหนักไข่ต่อฟองต่ำ และอัตราเปลี่ยนอาหารเป็นไข่สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) และสอดคล้องกับ การทดลองของ Nash *et al.*, (1995) ได้ทำการเสริมปลาป่นไม่มีผลต่อน้ำหนักไข่ แต่ไก่ไข่ที่อายุ 462 วันจะมีน้ำหนักลดลงตามระดับการเสริม hering meal 0, 4, 8 และ 12% ทั้งนี้เนื่องจากอาหารทุกสูตรในแต่ละกลุ่มทดลองที่แม่ไก่ไข่ได้รับในแต่ละวัน ได้ทำการปรับสมดุลโภชนะต่างๆที่จำเป็นในอาหารทุกสูตรให้ครบถ้วนและสมดุลเพียงพอต่อความต้องการเพื่อดำรงชีพและการให้ผลผลิตของแม่ไก่ ดังนั้นจึงมีผลให้น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟองของแม่ไก่ไข่ แต่ละช่วงการทดลอง (35 วัน) พบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ; Scott *et al.* , 1982) ซึ่งในรายงานของ Lanmard and Roland (1981) รายงานว่าปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักฟองไข่เมื่อแม่ไก่ได้รับอาหารที่มีการปรับโภชนะต่างๆให้เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย เช่น ได้รับอาหารที่มีระดับพลังงานและโปรตีนที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันจึงไม่มีผลต่อน้ำหนักฟองไข่

ตารางที่ 11 คุณภาพปลาแป้นต่อสมรรถภาพการผลิตในไก่ไข่

| ค่าสังเกต                    | สูตรอาหาร   |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          |
| นน.เริ่มทดลอง (g)            | 1700±14.50  | 1688±13.25  | 1694±12.88  | 1701±15.04  | 1691±14.87  | 1696±13.23  | 1684±14.34  | 1690±15.06  | 1682±14.77  | 1703±15.81  |
| นน.หลังทดลอง (g)             | 1975±25.46  | 1981±28.03  | 1980±21.72  | 1973±24.55  | 1978±26.22  | 1980±18.56  | 1990±22.03  | 1989±19.45  | 1986±21.27  | 1972±26.40  |
| อาหารที่กิน (g)              | 105.20±0.81 | 104.37±1.01 | 104.70±0.83 | 104.69±0.61 | 104.48±0.81 | 105.30±0.77 | 104.57±0.64 | 105.16±0.94 | 106.50±0.78 | 105.02±1.06 |
| ผลผลิตไข่ (%)                | 84.98±2.17  | 85.02±1.75  | 85.25±1.67  | 85.10±1.25  | 83.88±1.45  | 83.57±1.90  | 83.96±2.02  | 83.77±1.34  | 84.30±1.42  | 82.64±1.02  |
| น้ำหนักไข่ (g)               | 60.29±1.24  | 59.93±1.30  | 60.00±1.31  | 59.78±1.01  | 59.76±0.50  | 60.05±1.15  | 59.91±1.59  | 60.26±1.20  | 60.04±1.13  | 58.72±1.74  |
| นน.อาหารที่กิน/<br>ไข่ 1 กก. | 2.05±0.06   | 2.05±0.07   | 2.02±0.05   | 2.03±0.04   | 2.07±0.04   | 2.06±0.08   | 2.07±0.07   | 2.09±0.06   | 2.09±0.05   | 2.13±0.07   |

หมายเหตุ: สูตรอาหารทดลองที่ 1-10 แสดงในตารางที่ 4 - 5

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

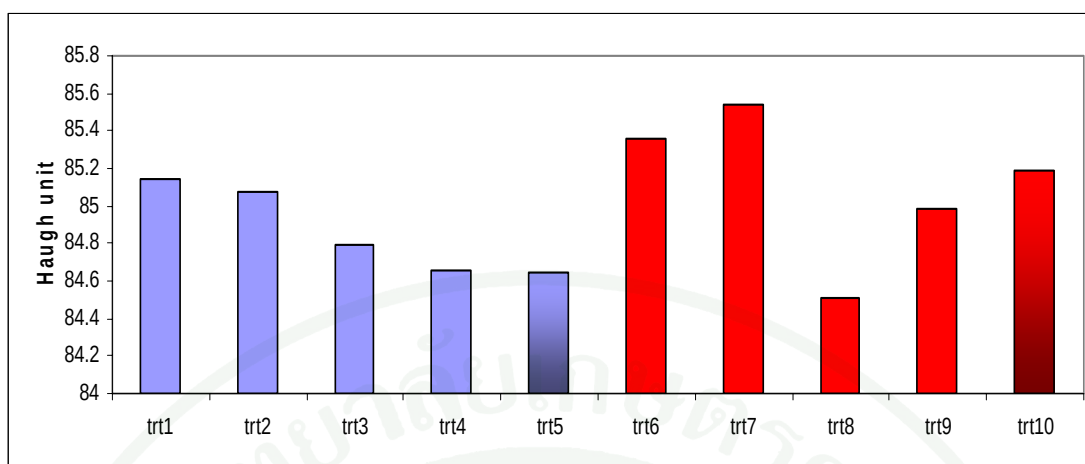
## 2. ผลของคุณภาพปลาป่นต่อคุณภาพภายในของฟองไข่

การวัดคุณภาพภายในของฟองไข่ทำการเก็บผลผลิตไข่ใน 3 วันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลองทั้ง 4 ช่วงการทดลอง คือ สัปดาห์ที่ 28, 33, 38 และ 43 โดยทำการรวบรวมข้อมูล ได้แก่ คุณภาพของไข่ขาว (Haugh unit) คะแนนสีไข่แดง น้ำหนักไข่แดง ความหนาเปลือกไข่ ผลผลิตไข่ที่ทำการวัดคุณภาพเฉลี่ยตลอดช่วงการทดลอง มีความสูงไข่ขาว Haugh unit อยู่ในช่วง 84.65 - 85.54 คะแนนสีไข่แดงที่ได้จากการเทียบสีจากพัดสี (Roch color fan) มีค่าอยู่ในช่วง 9.14 - 9.41 เปอร์เซ็นต์ไข่แดงอยู่ในช่วง 23.50 – 23.90 และค่าความหนาเปลือกไข่อยู่ในช่วง 0.3687 ถึง 0.3745 มิลลิเมตร โดยผลของคุณภาพปลาป่นในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพภายในของฟองไข่ ได้แสดงโดยละเอียดในตารางที่ 12

### 2.1 ผลของคุณภาพปลาป่นต่อคุณภาพไข่ขาว (Haugh unit)

คุณภาพไข่ขาวได้จากการวัดส่วนสูงของไข่ขาวแล้วคำนวณหาค่า Haugh unit ตามวิธีของ Nesheim *et al* (1979) ของฟองไข่ทุกฟองใน 3 วันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลองจากการทดลองพบว่า Haugh unit ของไข่ขาวเฉลี่ยอยู่ในช่วง 84.51 – 85.54 ผลของคุณภาพปลาป่นทั้ง 10 กลุ่มในอาหารไก่ไข่ ต่อคุณภาพไข่ขาวเฉลี่ยตลอดช่วงการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ( $P>0.05$ ) Haugh unit ของไข่ขาวเฉลี่ยเท่ากับ 85.14, 85.08, 84.79, 84.66, 84.65, 85.36, 85.54, 84.51, 84.99 และ 85.19 ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 12 และกราฟภาพที่ 33

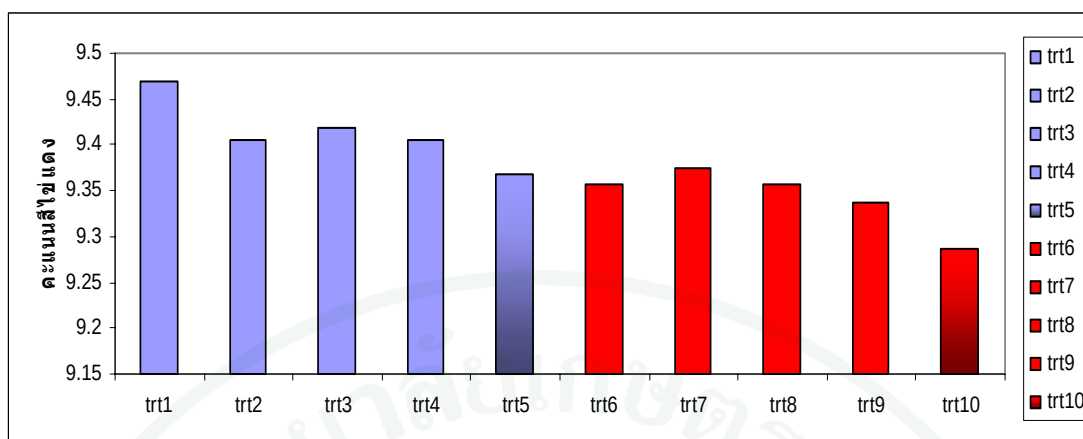
ผลของคุณภาพปลาป่นต่อคุณภาพไข่ขาวค่า Haugh unit ตลอดช่วงการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน 84.51 – 85.54 สอดคล้องกับ Nash *et al.*, 1995) โดยไข่ขาวส่วนหนามีส่วนของโอโวมิวซินไกลโคโปรตีน (ovomucin glycoprotein) เป็นองค์ประกอบของไข่ขาว เพราะพบว่ามีส่วนหนามีส่วนของโอโวมิวซินมากกว่าในไข่ขาวส่วนบาง ถึง 4 เท่า (Powrie and Nakai, 1986; Robinson, 1987) ไข่ขาวคุณภาพดีจะมีส่วนของโอโวมิวซินในอัตราส่วนที่สูงกว่าไข่ไก่คุณภาพต่ำ อัตราส่วนของไข่ขาวแต่ละชั้น (มีทั้งหมด 4 ชั้น) จะผันแปรอยู่ในช่วงกว้างขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม พันธุ์ ขนาดไข่ และอัตราการไข่ ด้วยเหตุนี้แต่ละกลุ่มที่ปลาป่นคุณภาพแตกต่างกัน จึงทำให้ค่า Haugh unit ของการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ )



ภาพที่ 33 ค่า Haugh unit ตลอดช่วงการทดลอง

## 2.2 ผลของคุณภาพปลาป่นต่อคุณภาพคะแนนสีไข่แดง

คะแนนสีไข่แดงได้จากการเทียบสีกับพัดสี (Roche color fan) ของไข่ทุกฟอง ใน 3 วันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลอง พบว่า คะแนนสีไข่แดงของไข่เฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.14 – 9.41 ผลของคุณภาพปลาป่นทั้ง 10 กลุ่มในอาหารไก่ไข่ต่อคะแนนสีไข่แดงเฉลี่ยตลอดช่วงการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ( $P>0.05$ ) ตลอดช่วงการทดลองมีค่าเท่ากับ 9.47, 9.41, 9.42, 9.41, 9.37, 9.36, 9.38, 9.36, 9.37 และ 9.29 ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 12 และภาพที่ 34 ในอาหารกลุ่มควบคุม (สูตรที่ 5) กลุ่มที่ใช้ปลาป่นจากปลาเรือ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 1 - 4 สีของไข่แดงจะเข้มน้อยกว่า แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ในอาหารกลุ่มควบคุม (สูตรที่ 10) กลุ่มที่ใช้ปลาป่นจากเศษปลาทูน่า เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 6-9 สีของไข่แดงจะเข้มน้อยกว่า แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) สีของไข่แดงขึ้นกับสารสีในอาหารที่ไก่ได้รับในอาหารไก่ทดลองนี้ ได้รับสารสีในอาหารคือข้าวโพดเท่านั้นทุกกลุ่มการทดลอง (สุวรรณ และคณะ, 2535)

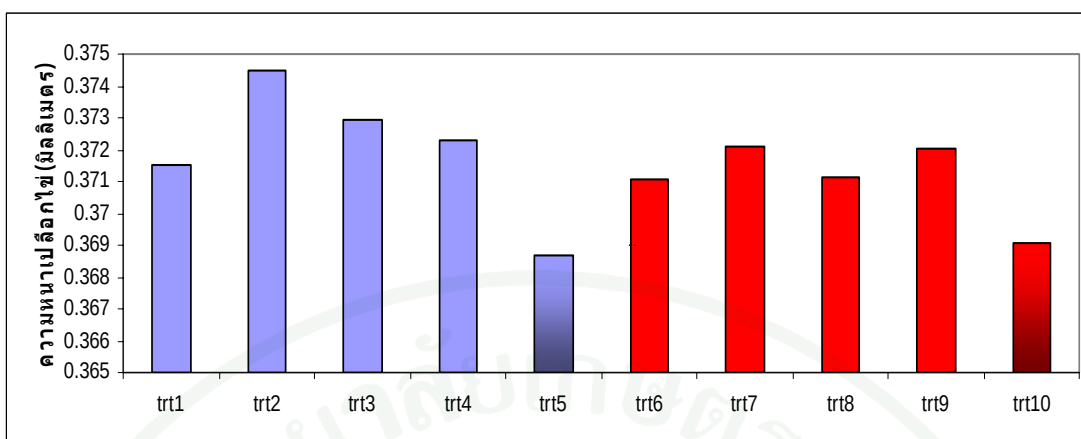


ภาพที่ 34 ค่าเฉลี่ยไข่แดงตลอดช่วงการทดลอง

### 2.3 ผลของคุณภาพปลาป่นต่อความหนาของเปลือกไข่

ผลของคุณภาพปลาป่นทั้ง 10 กลุ่มในอาหารไก่ไข่ ต่อความหนาของเปลือกไข่เฉลี่ยตลอดช่วงการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ระหว่าง 0.3686 – 0.3715 มิลลิเมตร ( $P>0.05$ ) ตลอดช่วงการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.3715, 0.3745, 0.3729, 0.3723, 0.3687, 0.3711, 0.3721, 0.3711, 0.3721 และ 0.3691 มิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 12 และภาพที่ 35 ในอาหารกลุ่มควบคุม (สูตรที่ 5) กลุ่มที่ใช้ปลาป่นจากปลาเรือเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 1-4 เปลือกไข่มีลักษณะเปลือกบาง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ในอาหารกลุ่มควบคุม (สูตรที่ 10) กลุ่มที่ใช้ปลาป่นจากเศษปลาทูน่า เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 6-9 เปลือกไข่มีลักษณะเปลือกบางแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) องค์ประกอบของเปลือกไข่คือแคลเซียม ซึ่งในอาหารทดลองประกอบด้วยแคลเซียม และฟอสฟอรัส ในสูตรอาหารในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ จึงทำให้ ผลของความหนาเปลือกไข่แตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) เมื่อแม่ไก่มีอายุมากขึ้น ไข่จะมีลักษณะที่เปลือกบางลง (สุวรรณ และคณะ, 2535)

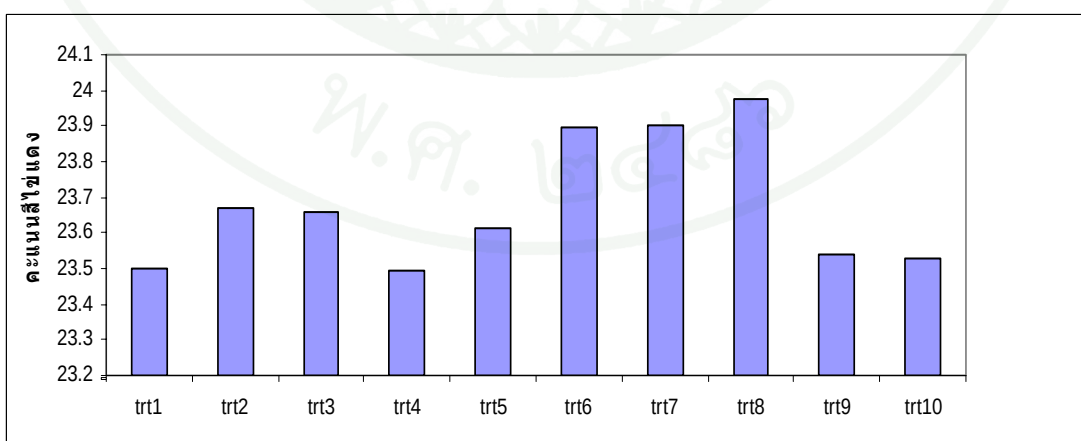




ภาพที่ 35 ความหนาของเปลือกไข่ (มิลลิเมตร) ตลอดช่วงการทดลอง

#### 2.4 ปริมาณไข่แดง (เปอร์เซ็นต์)

ผลของคุณภาพปลาปนทั้ง 10 กลุ่มในอาหารไก่ไข่ ต่อปริมาณไข่แดงในไข่ไก่เฉลี่ย ตลอดช่วงการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 23.50 - 23.97 เปอร์เซ็นต์ ตลอดช่วงการทดลองมีค่าเท่ากับ 23.50, 23.67, 23.66, 23.50, 23.62, 23.89, 23.90, 23.97, 23.54 และ 23.40 ตามลำดับ แต่ละกลุ่ม การทดลองแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) แสดงในตารางที่ 12 และภาพที่ 36 ปริมาณไข่แดง มีค่าไม่แตกต่างกันแม้จะได้รับอาหารแบบธรรมชาติหรืออาหารทดลอง เพราะไก่สร้างไขมันหรือ ลิปิดจากอาหารพวกคาร์โบไฮเดรต



ภาพที่ 36 ปริมาณไข่แดง (เปอร์เซ็นต์) ตลอดช่วงการทดลอง



ตารางที่ 12 คุณภาพปลาน้ำจืดต่อคุณภาพไข่ในไก่ไข่

| ค่าสังเกต              | สูตรอาหาร  |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                        | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          | 9          | 10         |
| Haugh unit             | 85.14±2.69 | 85.08±2.84 | 84.79±2.74 | 84.66±2.14 | 84.65±2.31 | 85.36±2.50 | 85.54±3.00 | 84.51±2.57 | 84.99±2.69 | 85.19±2.87 |
| สีไข่แดง               | 9.47±0.43  | 9.41±0.38  | 9.42±0.36  | 9.41±0.44  | 9.37±0.36  | 9.36±0.36  | 9.38±0.47  | 9.36±0.38  | 9.34±0.42  | 9.29±0.51  |
| นน. ไข่แดง (%)         | 23.50±0.54 | 23.70±0.78 | 23.66±0.78 | 23.50±0.48 | 23.62±0.24 | 23.89±0.50 | 23.90±0.47 | 23.97±0.66 | 23.54±0.55 | 23.53±0.68 |
| ความหนาเปลือกไข่ (mm.) | 0.371±0.01 | 0.374±0.14 | 0.373±0.15 | 0.372±0.14 | 0.369±0.02 | 0.371±0.01 | 0.372±0.01 | 0.371±0.02 | 0.372±0.01 | 0.369±0.02 |

หมายเหตุ: สูตรอาหารทดลองที่ 1-10 แสดงในตารางที่ 4 - 5

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

## 2.5 ผลของคุณภาพปลาปนต่อปริมาณการสะสมโคเลสเตอรอลในไข่แดง

การวิเคราะห์การสะสมโคเลสเตอรอลในไข่แดง ได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างไข่แดงของไข่ทุกฟองใน 3 วันสุดท้ายของช่วงการทดลองเริ่มต้น(สัปดาห์ที่ 23) และใน 3 วันสุดท้ายของช่วงการทดลองสุดท้าย (สัปดาห์ที่ 43) พบว่าปริมาณโคเลสเตอรอลสัปดาห์ที่ 23 เฉลี่ยเท่ากับ  $1204 \pm 48.65$  mg/100g ปริมาณโคเลสเตอรอลสัปดาห์ที่ 43 เฉลี่ยเท่ากับ  $1283.1 \pm 37.09$  mg/100g การสะสมโคเลสเตอรอลในไข่แดงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ ) ผลของคุณภาพปลาปนทั้ง 10 กลุ่มในอาหารไก่ไข่ ต่อปริมาณการสะสมโคเลสเตอรอลในไข่แดงเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองสัปดาห์ที่ 43 มีค่าอยู่ระหว่าง 1239.0 -1305.5 mg/100g ( $P > 0.05$ ) โดยทั้ง 10 กลุ่มได้ผลดังนี้ 1289.5, 1305.5, 1295.8, 1303.3, 1282.8, 1263.3, 1271.3, 1282.5, 1285.5 และ 1222.5 mg/100g ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 13 และ กราฟภาพที่ 37 ปลาปนกลุ่มที่ 10 กลุ่มควบคุม จะมีปริมาณการสะสมโคเลสเตอรอลในไข่แดงได้น้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลาผันแปรอยู่ในช่วงกว้าง ความสามารถในการดูดซึมและสะสมกรดไขมันในอาหารได้มาก รายงานของ Yu and Sim (1987) ได้ทำการเสริมน้ำมันปลาแซลมอน (salmon oil) 8 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารไก่ไข่ พบว่าปริมาณ EPA และ DHA เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณโคเลสเตอรอลลดลง แต่จากรายงานของ Van elswyk *et al.* (1994) รายงานว่าการเสริมน้ำมันปลาเมนฮาเดน 3 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่มีผลให้ EPA และ DHA เพิ่มขึ้นในไข่แดง ( $P < 0.05$ ) โดยที่ปริมาณไขมันและปริมาณโคเลสเตอรอลในไข่แดงไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Boswart *et al.*, (1993) และรายงานของ Oh *et al.* (1944) ได้ศึกษาการเสริมน้ำมันปลาในอาหารไก่ไข่ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ผลให้ โอเมก้า 3 ในไข่แดงเพิ่มขึ้น แต่พบว่าปริมาณโคเลสเตอรอลในไข่แดงจะลดลง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ปริมาณโคเลสเตอรอลในกลุ่มปลาเรือ และกลุ่มปลาทูน่าในอาหารไก่ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ทั้งนี้การสะสมโคเลสเตอรอลในไข่แดงมีปัจจัยอื่นๆที่เป็นสาเหตุทำให้โคเลสเตอรอลในไข่แดงมีปริมาณแตกต่างกัน เช่น พันธุ์ อายุ การให้ผลผลิตของแม่ไก่และชนิดของอาหาร (Tuek and Barnet, 1971; Edwards *et al.*, 1960) นอกจากนี้ในระบบร่างกายของแม่ไก่ไข่ยังมีระบบกระบวนการทางสรีระวิทยาในการรักษาโคเลสเตอรอลรวมไว้สำหรับการสร้างสารที่จำเป็นในร่างกายเพื่อให้ผลผลิตและพัฒนาของตัวอ่อน ดังนั้นร่างกายจึงมีการปรับตัวเพื่อรักษาระดับโคเลสเตอรอลในร่างกาย (Marks and Washburn, 1977)

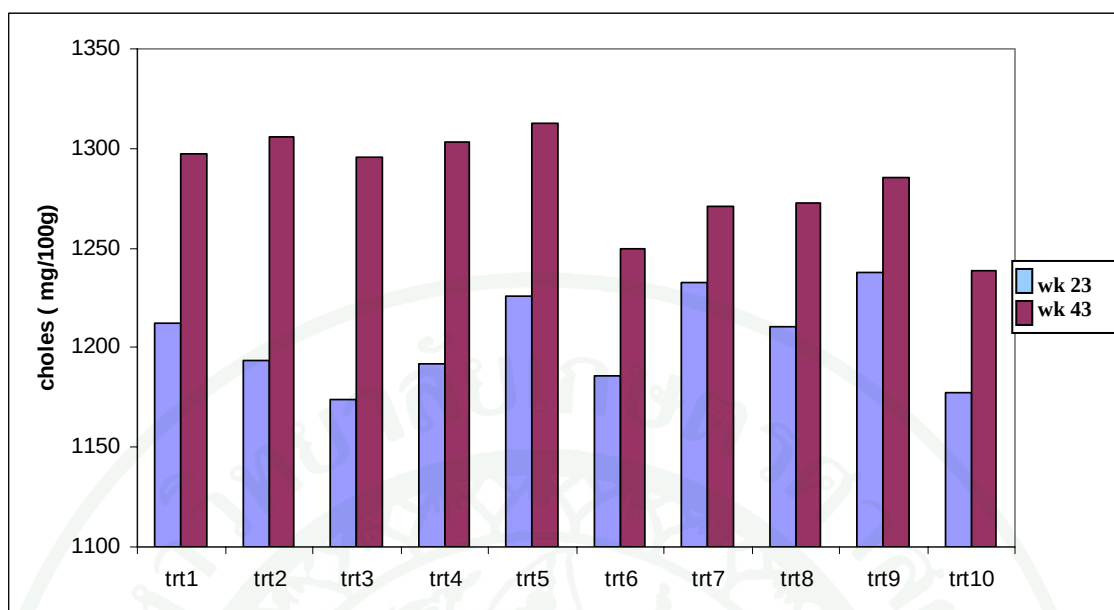
ตารางที่ 13 ผลของคุณภาพปลาป่นต่อคุณภาพภายในฟองไข่ของการสะสมโคเลสเตอรอล และ TBA

| สูตรอาหาร | Cholesterol mg/100g |             |       | TBA mgMDA/kg |                           |       |
|-----------|---------------------|-------------|-------|--------------|---------------------------|-------|
|           | 23 wk               | 43 wk       | diff  | 23 wk        | 43 wk                     | diff  |
| 1         | 1212.0±67.3         | 1297.0±29.0 | 85.0  | 0.958±0.043  | 1.073 <sup>a</sup> ±0.033 | 0.115 |
| 2         | 1193.3±48.7         | 1305.5±34.3 | 112.3 | 0.943±0.039  | 1.245 <sup>a</sup> ±0.097 | 0.303 |
| 3         | 1173.8±39.4         | 1295.8±34.1 | 122.0 | 0.935±0.074  | 1.183 <sup>a</sup> ±0.059 | 0.248 |
| 4         | 1191.8±32.5         | 1303.3±34.8 | 111.5 | 0.953±0.021  | 2.223 <sup>b</sup> ±0.194 | 1.270 |
| 5         | 1225.8±35.6         | 1312.5±39.5 | 86.8  | 0.948±0.022  | 3.240 <sup>c</sup> ±0.252 | 2.293 |
| 6         | 1185.8±67.9         | 1249.5±37.3 | 63.8  | 0.940±0.036  | 1.273 <sup>a</sup> ±0.281 | 0.333 |
| 7         | 1232.5± 33.7        | 1271.3±36.1 | 38.8  | 0.945±0.034  | 1.288±0.192               | 0.343 |
| 8         | 1210.3±51.1         | 1272.3±36.1 | 62.0  | 0.958±0.039  | 1.318 <sup>a</sup> ±0.293 | 0.360 |
| 9         | 1237.8±70.6         | 1285.5±54.9 | 47.8  | 0.955±0.013  | 1.353 <sup>a</sup> ±0.358 | 0.398 |
| 10        | 1177.3±17.6         | 1239.0±58.5 | 61.8  | 0.955±0.013  | 3.598 <sup>c</sup> ±0.573 | 2.643 |

หมายเหตุ: สูตรอาหารทดลองที่ 1-10 แสดงในตารางที่ 4 - 5

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

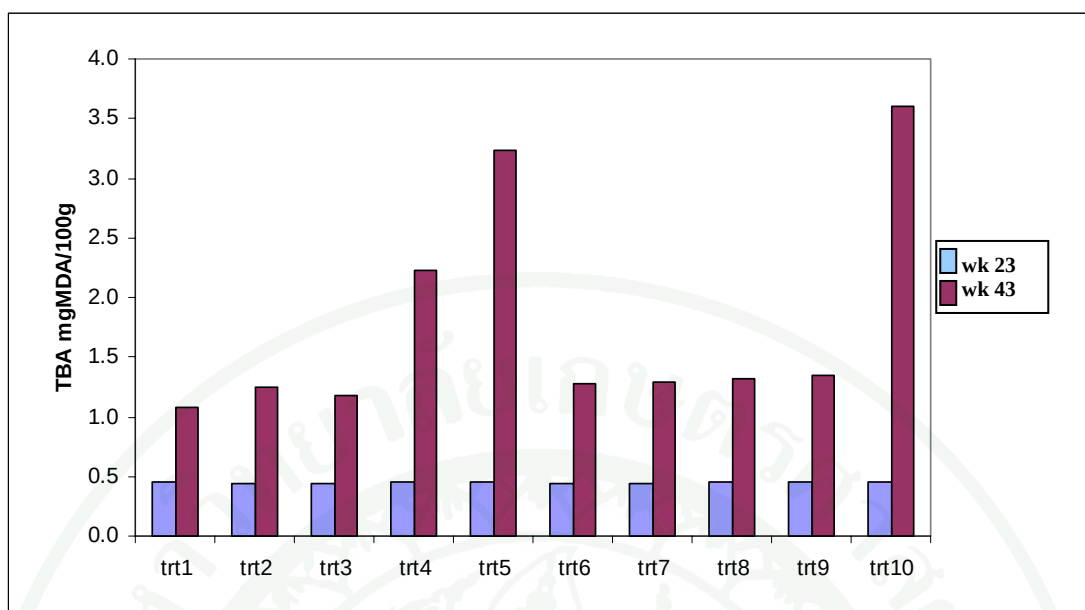
<sup>a,b,c</sup> ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ )



ภาพที่ 37 ปริมาณการสะสมโคเลสเตอรอลในไข่แดง ในช่วงอายุ 23 สัปดาห์ และ 43 สัปดาห์

## 2.6 ผลของคุณภาพปลาปนต่อการหืน (TBA) ในไข่แดง

การวิเคราะห์การหืน โดยการวัดค่า Thiobabaturic acid (TBA) โดยวิธีไตเตรท ในไข่แดง ได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างไข่แดง ของไข่ทุกฟองใน 3 วันสุดท้ายของช่วงการทดลอง เริ่มต้น( สัปดาห์ที่ 23) และใน 3 วันสุดท้ายของช่วงการทดลองสุดท้าย (สัปดาห์ที่ 43) พบว่า ค่า TBA สัปดาห์ที่ 23 เฉลี่ยเท่ากับ  $0.4488 \pm 0.0338$  mgMDA/kg มีค่าใกล้เคียงกันทุกกลุ่ม ( $P < 0.05$ ) สัปดาห์ที่ 43 เฉลี่ยเท่ากับ  $1.7840 \pm 0.9210$  mgMDA/kg เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ผลของ คุณภาพปลาปนทั้ง 10 กลุ่มต่อการหืนในไข่แดงในสัปดาห์ที่ 43 เท่ากับ 1.073, 1.245, 1.183, 2.223, 3.240, 1.273, 1.288, 1.318, 1.353 และ 3.598 mgMDA/kg ) ตามลำดับ ในกลุ่มควบคุมกลุ่มที่ 5 และ 10 แตกต่างจากกลุ่มที่ 1-4 และ 6-10 อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลค่า TBA ของกลุ่มการทดลองที่ 5 และ 10 ไม่มีความแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) ในกลุ่มที่ 4 มีค่าน้อยกว่า กลุ่มที่ 5 และ 10 แต่มีค่ามากกว่ากลุ่มอื่น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ( $P < 0.05$ ) แสดงในตารางที่ 13 และ กราฟภาพที่ 38 เพราะความหืนที่เกิดขึ้นในปลาปนส่งผลให้เกิดการหืนในไข่แดงได้ สอดคล้อง กับ Florou *et al.* (2005) ซึ่งได้ศึกษาการออกซิเดชันไขมันในไข่ ถูกรวบรวมโดยองค์ประกอบ ของ MDA แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง



ภาพที่ 38 ค่า TBA ในไข่แดง ในช่วงอายุ 23 สัปดาห์ และ 43 สัปดาห์

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

ในกระบวนการผลิตปลาป่น จุดที่เหมาะสมที่ควรเติมสารกันหืนในการรักษาคุณภาพปลาป่นคือ หลังหม้ออบแห้ง (after drying) เพราะมีปริมาณ PV และ TBA ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า ยังมีปริมาณสารกันหืนคงเหลืออยู่เพียงพอที่จะรักษาคุณภาพปลาป่นไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในส่วนที่จุด intake สารกันหืนจะถูกทำลายไปในระหว่างกระบวนการผลิต ดังนั้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในปลาป่น จึงเกิดขึ้นในช่วงการเก็บที่จุด packaging การเกิดออกซิเดชันของไขมันในปลาป่นเกิดขึ้นแล้วตั้งแต่ในช่วงแรกที่บ่อปลาสด ทำให้คุณภาพปลาป่นเสื่อมไปก่อนที่จะมีการเติมสารกันหืน และชนิดของสารกันหืนที่ใช้ ทั้ง 3 ชนิด เมื่อวัดด้วยปริมาณ PV และ TBA แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ )

ปลาป่นที่ผลิตได้จากการทดลองที่ 2 เมื่อนำมาผสมในอาหารไก่ไข่พบว่าสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพไข่ของทุกกลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ยกเว้นค่า TBA ของไข่แดงในกลุ่มควบคุมมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ปลาป่นเติมสารกันหืนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) เพราะปลาป่นมีการเกิดการหืนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน แล้วเมื่อใช้เป็นวัตถุดิบผสมในอาหารเลี้ยงสัตว์ส่งผลให้ไขมันที่เป็นองค์ประกอบไข่แดงมีสภาพเดียวกับไขมันที่ได้รับจากอาหารทำให้ไขมันที่สะสมในไข่แดงแสดงค่าการหืน

### ข้อเสนอแนะ

1. ผู้ผลิตปลาป่นจะเติมสารกันหืนในจุดบรรจุก่อนขาย และมีการเก็บปลาป่นไว้ในโกดังเก็บสินค้าก่อนออกจำหน่าย แต่ในงานวิจัยพบว่าการเติมสารกันหืนที่หลังหม้ออบแห้ง ช่วยรักษาคุณภาพปลาป่นไม่ให้เกิดการหืน โดยพบว่ามีปริมาณสารกันหืนคงเหลือน้อยกว่า 500 ppm แสดงว่าสารกันหืนถูกใช้ไปในการลดหรือป้องกันการเกิดการหืนของไขมันในปลาป่น ดังนั้นจึงแนะนำให้ผู้ผลิตปลาป่นเติมสารกันหืนที่จุดหลังหม้ออบแห้ง



2. ผลิตภัณฑ์จากสัตว์หรือพืช ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ ควรมีการตรวจวัดค่า TBA เพื่อทราบว่ามีการเกิดออกซิเดชันของไขมันหรือไม่ เพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพปลาป่นที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตอาหารที่มีคุณภาพดีต่อผู้บริโภคต่อไป



## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. สถิติประมง. ปลาปน ปริมาณสัตว์น้ำสดที่ใช้ในการผลิต และปริมาณปลาปนที่ผลิตได้ มูลค่าและราคาเฉลี่ย จากโรงงานเป็นรายจังหวัด. แหล่งที่มา: <http://www.fisheries.go.th/it-stat/data.htm>, 27 มีนาคม 2550.

กรมปศุสัตว์. 2525. กฎหมาย ระเบียบบังคับต่างๆเกี่ยวกับพระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์. สำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กองควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์. 2545. พระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2525. ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่องกำหนดชื่อ ประเภท ชนิดหรือลักษณะอาหารสัตว์คุณภาพ หรือมาตรฐานอาหารสัตว์, กรุงเทพฯ.

จูอะดี พงศ์มณีรัตน์, มะลิ บุญยรัตผลิน, ชูศักดิ์ บริสุทธิ์ และ สุจินต์ บุญช่วย. 2539. องค์ประกอบทางเคมีของปลาปนไทย. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 10/2539 สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา.

\_\_\_\_\_. 2540 ผลของปลาปนต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 1/2540 สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา. 16. น.

ชุตินา ตันติภักดี, เสาวนิต คุปประเสริฐ, ระพีพรรณ เลหาบรรจง, มณี ศรชนะนันท์, อนุชิต อาจหาญ และกิจการ สุขมารย์. 2548. คุณภาพปลาปนจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีและกล้องจุลทรรศน์. ว.สงขลานครินทร์. 27: 25 – 44.

นัสยา สุอังคะวาทีน. 2545. การเพิ่มอายุการเก็บรักษาสัตว์นมปิ้งแห้งด้วยสารกันหืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นวลจันทร์ พารักษา, ทวีศักดิ์ ส่งเสริม และสินชัย พารักษา. 2548. การวัดฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน. คู่มือการวิจัย 3 การทดสอบฤทธิ์ของสมุนไพรในสัตว์ปีกและสุกร. โรงพิมพ์เทกซ์ แอนด์ เจอร์นัลพับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

ปฐุม เลาหะเกษตร. 2539. **การเลี้ยงสัตว์ปีก**. ภาควิชาการผลิตสัตว์ปีก คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

ประยูร ลีลางามวงศ์. 2529. ทำไมจึงน่าจะใช้ปลาป่นเป็นอาหารสัตว์. **ปลาป่นสาร** 1(3): 17-45.

พันทิพา พงษ์เพ็ญจันทร์. 2542. **หลักการอาหารสัตว์: หลักโภชนศาสตร์และการประยุกต์ เล่ม 2**. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ภาณี ค่างวิวัฒน์. 2543. **หลักโภชนศาสตร์และอาหารสัตว์**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัย ธรรมาธิราช, นนทบุรี.

เขาวมาลย์ คำเจริญ, สาโรช คำเจริญ, เชิดชัย รัตนเศรษฐกุล, สมพงษ์ ฉายพุทธ, พิทักษ์ ศรีประยา อภิชัย ศิวะประภากร, พรรณศรี สาคิยะ และกัมปนาท ไพราม. 2530. กิษเชอรินของปลาป่นไทย และปลาป่นต่างประเทศต่อการผลิตไก่ของเมืองไทย. น. 184 – 190. ใน **รายงานการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 25 (สาขาสัตว)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

เขาวมาลย์ คำเจริญ. 2546. **คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ด้วยกล้อง ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.**

รัตนา บรรเจิดพงศ์ชัย. 2545. แอนติออกซิแดนซ์และกลไกการป้องกันโรค. **เชียงใหม่เวชสาร**. 41(2): 101 - 108.

สุกัญญา จิตตพรพงษ์, ศักดิ์ชัย นาคพยนต์ และทวีลาภ แจ่มใส. 2534. คุณค่าทางโภชนะของปลาป่นที่ผลิตจากเศษเหลือของโรงงานปลาป่นจากโรงงานอุตสาหกรรม. น. 1 - 7 ใน **รายงานการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 29 (สาขาสัตว)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุนันทา จันทร์สมวงศ์. 2525. **รายงานสภาวะทั่วไปของปลาเปิดและปลาป่นในปี 2524**. เอกสารฉบับที่ 6/255. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สุรัตน์ นราประเสริฐกุล. 2530. การสำรวจโรงงานปลาป่นใน 3 จังหวัดภาคใต้ของประเทศไทย.

ปัญหาพิเศษปริญญาโท. ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

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

\_\_\_\_\_, ประทีป ราชแพทยาคม, กระชาง วิสุทธารมณ, บุญธง ศิริพานิช, วรรณดร สุจริต และ  
สุภาพร อิศริโยคม. 2535. การเลี้ยงไก่ฉบับปรับปรุงแก้ไข. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,  
กรุงเทพฯ

สมพงษ์ สหพงษ์. 2533. ธรรมชาติบำบัด น้ำมันปลา น้ำมันลดไขมัน. สำนักพิมพ์ร่วมธรรมส์,  
กรุงเทพฯ.

อุณณีย์ วินิจเขตคำนวณ. 2538. ชีวเคมีของลิปิดและไลโปโปรตีน. ภาควิชาเคมี คณะแพทยศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อังคณา หาญบรรจง, ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์และสมปอง คະชะนา. 2546. ผลของการเก็บรักษาปลา  
ป่นต่อสมรรถนะภาพการผลิตไข่ไก่. ว.สงขลานครินทร์. 56(6): 703-713.

อุทัย คันโท. 2529. อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก. ภาควิชาสัตวบาล  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม

Aymond, W.M. and M.E. Van Elswyk. 1995. Thiobarbituric acid reactive substances and n-3  
fatty acids in response to whole and ground flaxseed. **Poult. Sci.** 74: 1388 - 1394.

Botsoglou, N.A., D.J. Fletouris, G.E. Papageorgiou, V.N. Vassilopoulos, A.J. Mantis and A.G.  
Trakatellis. 1994. A rapid, sensitive, and specific thiobarbituric acid method for  
measuring lipid peroxidation in animal tissues, food, and feedstuff samples. **J. Agri.  
Food Chem.** 42: 1931 - 1937.

- Cherian, G., F.W. Wolfe and J.S. Sim. 1996. Feeding dietary oils with tocopherols: effects on internal qualities of eggs during storage. **J. Food Sci.** 61: 15-18.
- Florou, P.P., I. Nikolakakis, I. Gianumas, V. Dalas and I. Mitsopoulos. 2005. Hen Performance and Egg Quality as Effect by Dietary Oregano Essential Oil and –Tocophenyl Acetate Supplementation. **J. Poultry Sci.** 4 (7): 449 – 455.
- Giese, J. 1996. Antioxidants: tools for preventing lipid oxidation. **Food Tech.** 50(11): 73 - 81.
- Gray, J. I. 1978. Measurement of lipid oxidation :review. **JAOCs.** 55(6): 539 - 546.
- Gray, J.I. and R.L. Crackel. 1992. Oxidative flavor changes in meat : their origin and prevention, pp. 145-168. In D.E. Johnston, M.K. Knight and D.A. Ledward (eds.). **The Chemistry of Muscle-based Foods. Royal Society of Chemistry.** Cambridge.
- \_\_\_\_\_, A.M. Pearson and F.J. Monahan. 1994. Flavor and aroma problems and their measurement in meat, poultry and fish products. Quality Attributes and their **Measurement in Meat, Poultry and Fish Products.** Advance Research. Blackie Academic and Professional, Glasgow.
- Hamilton, R.J. Rancidity in meat. 1994. In: **Rancidity in Foods ( 2<sup>nd</sup> ED.).** Blackie Academic&Professional,London.
- Hulan, H.W., R.G. Ackman, W.M.N. Ratnayake and F.G. Poudfoot. 1998. Omega-3 fatty acid levels and performance of broilers chickens fed redfish meal or red fishoil. **Can. J. Anim. Sci.** 68: 533-547.
- Jadhav, S.T., S.S. Nimbalkar, A.D. Kulkarni and D.L. Madhavi. 1996. Lipid oxidation in biological and food systems, pp. 5-64. In D.L. Madhavi, S.S. Deshpande and D.K. Sulnkhe (eds.). **Food Antioxidants: Technological, Toxicological, and Health Perspectives.** Marcel Dekker, Inc., New York.

- Kaitaranta, J.K. 1992. Control of lipid oxidation in fish oil with various antioxidative compounds. **JAACS**. 69:810-813.
- Lundberg, W.O. 1962. **Oxidative rancidity in food fats and its prevention. In: Autoxidation and Antioxidants**. Vol 2. Interscience Publishers, A Division of John Wiley & Sons, New York, London.
- Madhavi, D.L., R.S. Singhal and P.R. Kulkarni. 1996. **Techological aspects of food antioxidant**. pp. 159-265. In D.L. Madhavi, S.S. Deshpande and D.K. Salunkhe (eds.). Food Antioxidants. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Milos, M., J. Mastelic and I. Jerkovic. 2000. Chemical composition and antioxidant effect of glycosidically bound volatile compounds from oregano (*Origanum vulgare* L. ssp. hirtum). **Food Contr.** 71: 79-83.
- Nash, D.M., R.M.G. Hamilton and H.W. Hulan. 1995. The effect of dietary herring meal on omega-3 fatty acid content of plasma and egg yolk lipids of laying hens. **Can. J. Anim. Sci.** 75:247-253
- Nawar, W.W. 1996. Chemistry, pp. 412-420. In Y.H. Hui (ed.). **Bailey's Industrial Fat Products**. Vol.1. General Applications, 5th ed., John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Nawar, W.W. 1985. Lipids, pp. 195-205. In O.R. Fennema (ed.) 2<sup>nd</sup> ed., **Food Chemistry**. Marcel Dekker, New York.
- Pratt, D.E. 1992. Natural antioxidants from plant material, pp. 54-71. In M-T. Houn, C.T. Ho and C.Y. Lee (eds.). **Phenolic Compounds in Food and Their Effects on Health**. Vol. 2. Antioxidants and Cancer Prevention, American Chemical Society, Washington, DC.



- Pratt, D.E. 1996. Antioxidants: technical and regulatory considerations, pp. 523-543. In Y.H. Hui (ed.). **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. Vol. 3. Edible Oil and Fat Products: Products and Application Technology, 5th ed., John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Rajalakshmi, D. and S. Narasimhan. 1996. **Food antioxidants : source and methods of evaluation**, pp. 65-75. In D.L. Madhavi, S.S. Deshpande and D.K. Salunkhe (eds.). Food Antioxidants. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Romans, J.R., R.C. Johnson, D.M. Wulf, G.W. Libal and W.J. Costello. 1995. Effect on ground flaxseed in swine diets on pig performance on physical and sensory characteristics and omega-3 fatty acid content of pork I Dietary level of flaxseed. **J. Anim.Sci.** 73: 1982-1986.
- Scott, M.L., M.C. Nesheim and R.J. Yong. 1982. **Nutrition of Chicken**. 3<sup>rd</sup> ed., M.L. Scott & Associates publ., Ithaca, New York.
- Shahidi, F., L.J. Rubin and D.F. Wood. 1987. Control of lipid oxidation in cooked ground pork with antioxidants and dinitrosyl ferrohaemochrome. **J. Food Sci.** 52: 564-567.
- Shahidi, F., L.J. Rubin, L.L. Diosady and D.F. Wood. 1985. Effect of sulfanilamide on the TBA values of cured meats. **J. Food Sci.** 50: 274-275.
- Vekiari, S.A, V. Oreopoulou, C. Tzia and C. Thomopoulos. 1993. Oregano flavonoids as lipid antioxidants. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 70: 483-487



ภาคผนวก

## การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

### วิธีการวิเคราะห์หาความชื้น (AOAC, 2000)

1. เตรียม drying pan โดยอบในตู้อบ (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำไปใส่ใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น 30 นาที
2. นำ drying pan ไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก
3. ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ใน drying pan บันทึกน้ำหนักรวมของ drying pan และตัวอย่าง
4. นำ drying pan และตัวอย่างไปอบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง
5. นำ drying pan และตัวอย่าง ใส่ใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็นนาน 30 นาที แล้วนำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก
6. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{(B-C) \times 100}{B-A}$$

โดยที่

A : น้ำหนัก drying pan

B : น้ำหนัก drying pan และตัวอย่างอาหารก่อนอบ

C : น้ำหนัก drying pan และตัวอย่างอาหารหลังอบ

### วิธีการวิเคราะห์หาเถ้า

1. เตรียม crucible โดยอบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที นำไปใส่ใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น

2. นำ crucible ไปชั่ง และบันทึกน้ำหนัก
3. ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ใน crucible บันทึกน้ำหนัก crucible และตัวอย่าง
4. นำ crucible พร้อมตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง
5. เมื่อครบ 6 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเตาเผา จากนั้นนำออกใส่ใน desicator นาน 30 นาที แล้วนำไปชั่ง และบันทึกน้ำหนัก

6. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = \frac{(B-C) \times 100}{B-A}$$

โดยที่

A : น้ำหนัก crucible

B : น้ำหนัก crucible และตัวอย่างอาหารก่อนอบ

C : น้ำหนัก crucible และตัวอย่างอาหารหลังอบ

#### วิธีการวิเคราะห์หาโปรตีน

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5 กรัม ใส่ใน digestion tube
2. เติม catalyst mixed ที่มีส่วนผสมของ selenium อยู่ด้วยประมาณ 10 กรัม
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงในหลอดย่อย 10 มิลลิลิตร
4. นำไปย่อยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 30-45 นาที จนสังเกตเห็นเป็นสารละลายใส
5. ทิ้งให้เย็นประมาณ 20 นาที

6. เตรียมกรดบอริก 2 เปอร์เซ็นต์ 80 มิลลิลิตรในขวดลูกชมพู่' หยด mixed indicator (methyl red + bromocresol green) 2-3 หยด นำ ไปตั้งที่เครื่องกลั่นให้ปลายหลอดกลั่นจุ่มในสารละลาย

7. นำหลอดตัวอย่างใส่ในเครื่องกลั่น เติมน้ำ 30 มิลลิลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 เปอร์เซ็นต์ 70 มิลลิลิตร ใช้เวลากลั่นประมาณ 3-4 นาที สารละลายกรดบอริกจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมฟ้า

8. นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไตเตรตด้วย 0.1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> จนได้สารละลายสีชมพู บันทึกปริมาณที่ใช้

9. ทำ blank โดยใช้น้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ในขวดลูกชมพู่' หยด mixed indicator 2-3 หยด นำไปไตเตรตด้วย 0.1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> จนได้สารละลายสีชมพู บันทึกปริมาณที่ใช้

10. คำนวณค่าไนโตรเจนจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{(V_2 - V_1) \times N \times F \times 14}{W}$$

โดยที่

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้ (0.1 N)

F = factor ของกรดซัลฟูริก ได้จากการ standardization กับ Tris-buffer

V<sub>1</sub> = ปริมาณของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรต blank

V<sub>2</sub> = ปริมาณของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (กรัม)

11. นำเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ได้คูณด้วยค่า Empirical factor คือ 6.25 จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนของตัวอย่าง

## วิธีวิเคราะห์หาไขมัน

1. อบ extraction beaker ในตู้อบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้นนาน 1.5-3 ชั่วโมง
2. ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ อบและชั่งซ้ำ 1-2 ครั้งจนได้น้ำหนักที่คงที่
3. ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรองอย่างหลวมๆ
4. ใส่ตัวอย่างใน thimbles
5. เติมนิโตรเลียมอีเทอร์ ลงใน extraction beaker
6. ตั้งบีกเกอร์ในเครื่องมือวิเคราะห์ไขมันทิ้งไว้ประมาณ 1-1.5 ชั่วโมง จนนิโตรเลียมอีเทอร์ในหลอดสกัดไขมันใส เก็บนิโตรเลียมอีเทอร์ ลงในถังเก็บ สกัดจนนิโตรเลียมอีเทอร์ ในบีกเกอร์เกือบหมดจึงปิดเครื่อง
7. นำ บีกเกอร์ที่มีไขมันไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีทำให้เย็นในโถดูดความชื้น
8. ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ที่มีไขมัน
9. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{(B-A) \times 100}{W}$$

W

โดยที่

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

A = น้ำหนัก extraction beaker

B = น้ำหนัก extraction beaker และไขมันที่สกัดได้



## วิธีการวิเคราะห์เยื่อใย

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยแบบ Gravimetric (classical fiber) method

1. ต้มกรดซัลฟูริก 0.128 M ประมาณ 1 ลิตร ต้มด่าง KOH 0.223 M ประมาณ 1 ลิตร
2. ชั่งตัวอย่าง (W) น้ำหนัก 0.5 กรัม ใส่ใน crucible นำไปวางบน crucible stand
3. นำ crucible ใส่ในเครื่องย่อย (hot extraction unit)
4. เติมกรดซัลฟูริกร้อน 0.128 M 150 มิลลิลิตร ต้มตัวอย่างจนเดือด แล้วจับเวลาประมาณ 45-60 นาที
5. กรองสารจนแห้งล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง ครั้งละ 30 มิลลิลิตร กรองจนแห้ง
6. เติม KOH ที่ร้อน 0.223 M 150 มิลลิลิตร ต้มจนเดือดจับเวลา 30 นาที กรองแล้วล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง
7. นำ crucible ออกจากเครื่องย่อย ไปอบที่ 130 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน desicator ชั่งน้ำหนัก (W1)
8. เผาตัวอย่างใน crucible ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเตาเผาจนเหลืออุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นำ crucible ใส่ desicator ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนัก (W2)
9. คำนวณปริมาณเยื่อใยจาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์เยื่อใย} = \frac{(W1-W2) \times 100}{W}$$

W

โดยที่

$W$  = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

$W_1$  = น้ำหนัก crucible หลังจากอบ

$W_2$  = น้ำหนัก crucible หลังจากการเผา

### การสกัดน้ำมัน

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอาหาร 50 กรัม ลงโอบผสมของเหลว
2. เติม chloroform 50 มิลลิลิตร methanol 100 มิลลิลิตร และน้ำให้ได้อัตราส่วน 1:2:0.8 เมื่อคิดรวมกับน้ำในอาหาร บดละเอียดด้วย homogenizer ที่ 3500 รอบ/นาที เป็นเวลา 2 นาที
3. เติม chloroform 10 มิลลิลิตร บด 30 วินาที
4. เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร บด 30 วินาที
5. กรองผ่าน buchner funnel ด้วย diatomaceous earth หรือใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 นิดล้างส่วนที่ค้างอยู่ในโอบและบนกระดาษกรองด้วย chloroform
6. นำส่วนที่กรองได้เทลงในกรวยแยก (separating funnel)
7. ขูดส่วนบนของ diatomaceous earth ที่มีตัวอย่างอาหารค้างอยู่หรือถ้าเป็นกระดาษกรองทำการตัดให้เป็นชิ้นเล็กก่อนใส่ลงไปพร้อมกับอาหารลงในโอบ เติม chloroform 10 มิลลิลิตร บดเป็นเวลา 1 นาที
8. กรองแล้วนำส่วนที่กรองได้เทรวมลงในกรวยแยกอันแรก แล้วเติม 0.88 % KCl ลงไป 1 ใน 4 ของปริมาตรทั้งหมด เขย่าให้เข้ากันดี ทิ้งไว้ให้แยกชั้นอย่างน้อย 6 ชั่วโมง

9. ไขส่วน chloroform ชั้นล่างออก ใส่ใน flask ที่มีจุกแก้ว เติม sodium sulfate anhydrous ลงไปเล็กน้อย ไล่อากาศออกด้วยแก๊สไนโตรเจน แล้วปิดจุกแก้ว เก็บไว้ในที่ไม่มีแสงสว่าง 20 – 30 นาที

10. สังเกตลักษณะสารละลายที่ได้ต้องใส ถ้าไม่ใสให้เติม sodium sulfate anhydrous ลงไปอีกเล็กน้อย จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เทส่วนที่กรองได้ใส่ใน volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย chloroform จากนั้นไล่อากาศออกด้วยแก๊สไนโตรเจน แล้วปิดให้สนิท

11. คูณส่วนที่กรองได้ใส่ลงในขวดแก้วรูป pear ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไประเหย chloroform ออกในเครื่อง rotary evaporation

12. ชั่งน้ำหนักและหาปริมาณน้ำมันที่สกัดได้

### การวิเคราะห์ค่า TBA (thiobarbituric acid value)

#### การเตรียมสารเคมี

1. TBA solution ละลายกรดไทโอบาร์บิทริก 2.883 กรัม ในสารละลายกรดอะซิติก เข้มข้นร้อยละ 90 (90 มิลลิลิตร ใน 100 มิลลิลิตร) โดยอุณหภูมิ (40 – 50 องศาเซลเซียส) แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 ลิตร

2. HCl 4 โมล (344.04 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น 1 ลิตร)

#### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ลงในโอบดผสมของเหลวเติมน้ำ 25 มิลลิลิตร แล้วเทใส่ขวดสำหรับกลั่น ล้างโอบดผสมด้วยน้ำกลั่น 23.75 มิลลิลิตร

2. เติม HCl 4 M จำนวน 1.25 มิลลิลิตร แล้วเติม anti-foaming เล็กน้อย ต่อเข้ากับชุดกลั่น

3. กลับจนได้ของเหลว 50 มิลลิลิตร (ภายในเวลา 10 นาที หลังเดือด)
4. ปิ่เปิดของเหลว 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดมีฝาปิด เติม TBA solution 5 มิลลิลิตร
5. ปิดฝาเขย่าแล้วต้มในน้ำเดือด 35 นาที
6. ทำ blank พร้อมกันไป ใช้ น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร แทนตัวอย่าง
7. หลังครบ 35 นาที ทำให้เย็นทันทีภายใน 10 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 538 mm.  $TBA\ number = 7.8 \times OD$ .

### การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value)

วิธีการนี้ใช้ตรวจสอบหาสารทุกชนิดในรูปของมิลลิลิสมมูลย์ (Milliequivalents) ของเปอร์ออกไซด์ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัมตัวอย่าง ซึ่งสามารถ oxidize โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ภายใต้สภาวะที่ใช้ในการทดสอบซึ่งสารเหล่านี้โดยทั่วไปจะเป็นสารเปอร์ออกไซด์ หรือสารอื่นที่เหมือนกันซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันเป็นการวัดปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน เปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ขณะที่น้ำมันถูกเก็บไว้ให้สัมผัสกับอากาศ โดยจะเกิดการหืนชนิด oxidative rancidity ที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังนั้นน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นสารประกอบอยู่ในโมเลกุลมากหรือมีค่าไอโอดีนสูงจะเกิด oxidative rancidity ได้ง่าย

วิธีนี้ใช้ได้กับไขมันและน้ำมันปกติทั่วไป รวมถึงมาร์การีน วิธีการนี้มีความเฉพาะเจาะจงมาก การเปลี่ยนแปลงวิธีการจะมีผลต่อผลการทดลอง

### อุปกรณ์

1. ปิ่เปิดขนาด 0.5 ml หรือขนาดอื่นที่สามารถใช้เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ 0.5 ml ได้
2. Flash ขนาด 250 ml พร้อมจุกแก้ว

## สารเคมี

1. สารละลายผสมกรดอะซิติก (Glacial) และคลอโรฟอร์ม ในอัตราส่วน 3:2 โดยปริมาตร
2. สารละลายอิ่มตัวของโปแทสเซียมไอโอไดด์ที่เตรียมใหม่ โดยละลายโปแทสเซียมไอโอไดด์ในปริมาณมากเกินพอในน้ำกลั่นที่ต้มใหม่เก็บไว้ในที่มืดเมื่อไม่ใช้ สังเกตดูผลึกโปแทสเซียมไอโอไดด์ซึ่งต้องมียูระหว่างการใช้ ทดสอบก่อนใช้โดยหยดน้ำแบ่ง 2 หยด เติมลงในสารละลายโปแทสเซียมไอโอไดด์ จำนวน 0.5 มิลลิลิตร หยดสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ถ้าใช้มากกว่า 1 หยด ให้เตรียมโปแทสเซียมไอโอไดด์ใหม่
3. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตมาตรฐานความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยชั่งโซเดียมไธโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) จำนวน 24.9 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรทั้งหมด 1 ลิตร ใน Volumetric flask แล้ว standarized ด้วยโปแทสเซียมไดโครเมต ซึ่งผ่านการอบแห้งที่  $105^\circ\text{C}$  นาน 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่ง 0.16-0.22 กรัม ใส่ใน flask ขนาด 500 มล. เติมน้ำ 25 มล. ตามด้วยกรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 5 มล.
4. สารละลายน้ำแบ่งความเข้มข้น 1 เปอร์เซนต์ เตรียมโดยชั่งแบ่ง 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรแล้วต้มให้เดือดทิ้งไว้ให้เย็นก่อนนำมาใช้ และควรเตรียมทันทีก่อนใช้ ควรเก็บในที่มืดและเย็น (ถ้าเติมกรดซัลฟิวริก 1.25 กรัมต่อลิตร จะช่วยให้เก็บได้เป็นเวลานาน 2-3 สัปดาห์) ในตู้เย็น ทดสอบประสิทธิภาพของน้ำแบ่ง โดยใส่น้ำแบ่ง 5 มล. ลงในน้ำ 100 มล. เติม 0.05 ml ของ 0.1 N สารละลายไอโอดีน สีน้ำเงินที่เกิดขึ้นควรจางหายไปเมื่อเติม 0.1 N โซเดียมไธโอซัลเฟต 0.05 มล. แล้วไตเตรตด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟตจนเป็นสีเหลืองจางมาก จากนั้นเติมน้ำแบ่ง 1-2 มล. แล้วค่อยๆ ไตเตรตต่อช้าๆ จนกระทั่งสีฟ้าจางหายไป จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า Normality ของโซเดียมไธโอซัลเฟต  $= 20.394 \times \text{wt. of } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ ml of } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

## วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างน้ำมันประมาณ 5 กรัม  $\pm$  0.05 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ในขวดทรงกรวยแห้งสนิทที่มีจุกปิดขนาด 250 มล.

2. เติมน้ำละลายผสมกรดอะซิติก(Glacial)และคลอโรฟอร์ม จำนวน 30 มิลลิลิตร

3. เขย่าขวดไปรอบๆ แล้วเติมน้ำละลายอีเอ็มตัวของโปแทสเซียมไอโอไดด์ 0.5 มิลลิลิตร รีบปิดจุกทันทีเก็บไว้ในที่มืด เขย่าเป็นครั้งคราว ครบ 1 นาที ให้เติมน้ำ อีก 30 มิลลิลิตรทันที นำไปไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตมาตรฐานความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยมีการทวนอย่างสม่ำเสมอจนสารละลายมีสีเหลืองอ่อน

4. จึงเติมน้ำละลายน้ำแป้ง 1 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 0.5 มิลลิลิตร เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ ทำการไตเตรทอย่างช้าๆ จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสีขณะไตเตรทต้องเขย่าขวดอย่างแรงตลอดเวลา

5. จดปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไปเตรียม Blank โดยทำเช่นเดียวกันแต่ไม่มีน้ำมันสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ 0.1 นอร์มัล ที่ใช้ไม่ควรเกิน 0.1 มล.

#### การคำนวณ

$$\text{ค่าเปอร์ออกไซด์} = \frac{(A-B) \times N \times 100}{W}$$

#### การวิเคราะห์ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง

การวิเคราะห์คอเลสเตอรอลโดยทำการดัดแปลงจากวิธีของ Rowe et al., (1999)

#### สารเคมี

1. Ethanol
2. Methanol
3. Isopropanol
4. 60% KOH
5. Hexane



6. Deioniz water
7. 5 $\alpha$ - cholestane

### อุปกรณ์

1. Flat bottom flask
2. เครื่อง reflux
3. Separating funnel
4. Erlenmeyer flask
5. Funnel
6. Micropipet, pipet
7. Glass beat
8. หลอดทดลองฝาเกลียว
9. Vial

### วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัมใส่ลงใน flat bottom flask
2. เติมสารผสม ethanol-methanol-isopropanol (90:5:5 v/v/v) ปริมาณ 4 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 1 กรัม
3. เติม 60% KOH ปริมาณ 1 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 1 กรัม
4. นำไป reflux เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
5. หลังจากนั้นถ่ายตัวอย่างใส่ใน separating funnel เติม hexane ปริมาณ 100 มิลลิลิตร เขย่า 10 นาที และเติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร เขย่าอีก 15 นาที แล้วทิ้งไว้ จนสังเกตเห็นการแยกชั้นของสารละลายอย่างชัดเจน

6. รอให้แยกชั้น ไชชั้นล่างออก ให้เหลือชั้น hexane (ชั้นบน) ใสใน flask
7. แล้วดูดส่วนดังกล่าวปริมาณ 15 มิลลิลิตร มาทำให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน
8. ละลายส่วนที่แห้งด้วย hexane ที่ประกอบด้วย 5 $\alpha$ - cholestane เข้มข้น 0.1 mg/ml ปริมาณ 2 มิลลิลิตร
9. ดูดตัวอย่างใส่ vial แล้วนำไปวิเคราะห์โดย GC (HEWLETT PACKARD, HP 6890 Series GC system, U.S.A.) ปริมาณ 1  $\mu$ l โดยทำการเปรียบเทียบค่า retention ของ peak ของตัวอย่างกับ standard cholesterol (Fluka, U.S.A.)

**Conditions of GC :**

Column : HP 1909 1A-112 (Ultra 1 Methly Siloxane) (25 M x 320  $\mu$ m )

Injector Temperature : 260 °C

Column Temperature : 300 °C

Flow rate : 1 ml/min

Detector Temperature : FID, 300 °C

**ตารางผนวกที่ 1** อุณหภูมิ ( °C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%) ภายในโรงเรือนระบบปิด (EVAP) ตลอดช่วงการทดลอง

| อายุไก่<br>(สัปดาห์) | อุณหภูมิ ( °C) |        | ความชื้นสัมพัทธ์ (%) |        |
|----------------------|----------------|--------|----------------------|--------|
|                      | ต่ำสุด         | สูงสุด | ต่ำสุด               | สูงสุด |
| 21                   | 24             | 29     | 60                   | 78     |
| 22                   | 23             | 30     | 65                   | 84     |
| 23                   | 23             | 30     | 63                   | 90     |
| 24                   | 24             | 30     | 66                   | 81     |
| 25                   | 22             | 29     | 64                   | 78     |
| 26                   | 23             | 29     | 65                   | 79     |
| 27                   | 24             | 30     | 62                   | 83     |

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

| อายุไก่<br>(สัปดาห์) | อุณหภูมิ (°C) |        | ความชื้นสัมพัทธ์ (%) |        |
|----------------------|---------------|--------|----------------------|--------|
|                      | ต่ำสุด        | สูงสุด | ต่ำสุด               | สูงสุด |
| 26                   | 22            | 28     | 64                   | 81     |
| 28                   | 24            | 29     | 65                   | 80     |
| 29                   | 23            | 28     | 61                   | 84     |
| 30                   | 23            | 28     | 64                   | 82     |
| 31                   | 24            | 30     | 66                   | 80     |
| 32                   | 23            | 29     | 63                   | 87     |
| 33                   | 24            | 29     | 68                   | 77     |
| 34                   | 24            | 28     | 62                   | 79     |
| 35                   | 23            | 28     | 65                   | 75     |
| 36                   | 22            | 28     | 64                   | 80     |
| 37                   | 23            | 29     | 66                   | 91     |
| 38                   | 23            | 28     | 63                   | 84     |
| 39                   | 23            | 28     | 63                   | 83     |
| 40                   | 23            | 28     | 65                   | 80     |

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

|                                |                                                           |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| ชื่อ –นามสกุล                  | จิระเดช ธรรมนุญรักษ์                                      |
| วัน เดือน ปี ที่เกิด           | 17 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2513                               |
| สถานที่เกิด                    | จังหวัดกรุงเทพมหานคร                                      |
| ประวัติการศึกษา                | วท.บ. (วิทยาศาสตร์เคมี) มหาวิทยาลัยขอนแก่น<br>(พ.ศ. 2535) |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน   | ผู้จัดการสำนักควบคุมคุณภาพ                                |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน           | บมจ.เจริญโภคภัณฑ์อาหาร(มหาชน) (พ.ศ. 2535-ปัจจุบัน)        |
| ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ | -                                                         |
| ทุนการศึกษาที่ได้รับ           | -                                                         |