การเสริมกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ผงในสูตรอาหารไก่ไข่
ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย

โยษิตา นวลละออง

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2564

การเสริมกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ผงในสูตรอาหารไก่ไข่ ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย

โยษิตา นวลละออง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การเสริมกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ผงในสูตรอาหารไก่ไข่
ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย

โยษิตา นวลละออง

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัวเรียม มณีวรรณ์)
วันที่...................เดือน..................พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทองเลียน บัวจูม)
วันที่...................เดือน..................พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สัตวแพทย์หญิง ดร.พชรพร ตาดี)
วันที่...................เดือน..................พ.ศ. ....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร ....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัวเรียม มณีวรรณ์)
วันที่...................เดือน..................พ.ศ. ....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว ....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน
อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
วันที่...................เดือน..................พ.ศ. ....

ชื่อเรื่อง การเสริมกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ผงในสูตรอาหารไก่ไข่ ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย

ชื่อผู้เขียน นางสาวโยษิตา นวลละออง

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัวเรียม มณีวรรณ์

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการเสริมผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ในอาหารไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ คุณภาพไข่ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในไข่แดง และโภชนะของไข่ไก่ต้มทั้งฟอง ใช้ไก่ไข่พันธุ์ไฮ-ไลน์ บราวน์ อายุ 18 สัปดาห์ จำนวน 108 ตัว แบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 12 ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) กลุ่มที่ 1 อาหารควบคุม กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 เสริมผงกะเพราแดง 0.50% และแหนเป็ดใหญ่ 0.50% ในอาหารควบคุม ตามลำดับ ระยะเวลาในการทดลอง 12 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า ไม่พบความแตกต่างของอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ น้ำหนักไข่ และผลผลิตไข่ในทุกกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$) ปริมาณอาหารที่กินของกลุ่มที่เสริมผงแหนเป็ดใหญ่สูงกว่ากลุ่มที่เสริมกะเพราแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) สีของเปลือกไข่ ความแข็งและความหนาของเปลือกไข่ ดัชนีไข่แดง และ Haugh unit ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) สีของไข่แดงและปริมาณสารต้านอนูมูลอิสระของกลุ่มที่เสริมผงแหนเป็ดใหญ่มีค่าสูงที่สุด ($P<0.05$) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของไข่แดงมีเพียงกลุ่มที่เสริมผงแหนเป็ดใหญ่ที่มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) ไข่ต้มของกลุ่มที่เสริมผงกะเพราแดงมีปริมาณไขมันน้อยกว่าทุกกลุ่ม ($P<0.01$) นอกจากนี้ไข่ต้มของกลุ่มที่เสริมผงแหนเป็ดใหญ่ยังมีปริมาณวัตถุแห้งสูงและเถ้ารวมต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) ดังนั้น การเสริมผงกะเพราแดง 0.50% สามารถช่วยลดปริมาณไขมันในไข่ไก่ และการเสริมผงแหนเป็ดใหญ่ 0.50% สามารถช่วยเพิ่มสี ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของไข่แดง

คำสำคัญ : กะเพราแดง, แหนเป็ดใหญ่, สีไข่แดง, สารต้านอนุมูลอิสระ, โภชนะของไข่ไก่

Title	THE RED HOLY BASIL AND DUCKWEED POWDER SUPPLEMENTATION IN LAYING HENS DIET IN THE SEMI-FREE RANGE SYSTEM
Author	Miss Yosita Nulla-ong
Degree	Master of Science in Animal Science
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Buaream Maneewan

ABSTRACT

The study on the effects of holy basil (*Ocimum sanctum*) and duckweed (*Spirodela polyrhiza*) powder supplementation in semi-free range system laying hen diets on egg production performance, egg quality, antioxidant capacity and DPPH radical-scavenging activity of egg yolk and the whole boiled egg nutrition value were conducted in the 108 eighteen weeks of age Hy-line brown laying hens. The laying hens were randomly divided into 3 groups with 3 replicates of 12 laying hens each in a completely randomized design (CRD). Group 1; the control diet. Group 2 and 3, the supplementation of 0.50% holy basil and 0.50% duckweed in control diet, respectively. The experimental period was 12 weeks. The results showed that feed conversion ratio (FCR), egg weight and egg production had no significantly different in each group ($P>0.05$). The feed intake of the duckweed powder group was significantly higher than that of holy basil group ($P<0.05$) but had no different from the control group ($P>0.05$). The eggshell color, strength and shell thickness, yolk index and haugh unit were not different ($P>0.05$). The yolk color and the antioxidant capacity of the duckweed powder group were highest ($P<0.05$). The DPPH radical-scavenging activity of duckweed powder group only was greater than the control group ($P<0.05$). The crude fat in the boiled egg of the holy basil powder group was lowest ($P<0.01$). Furthermore, the dry matter in the boiled egg of duckweed powder group was higher than that of the control group but the crude ash was lower ($P<0.05$). In conclusion, Holy basil supplement 0.50% reduced fat content in boiled eggs, and

supplementation of duckweed powder 0.50% increased the color, antioxidant capacity and DPPH radical-scavenging activity of yolk.

Keywords : Holy basil, Duckweed, Yolk color, Antioxidant, Egg nutrients

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นรูปเล่มสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัวเรียม มณีวรรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและการช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทองเลียน บัวจูม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สัตวแพทย์หญิง ดร.พชรพร ตาดี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่มีส่วนในตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาดต่าง ๆ และให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์ ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้โอกาสมาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมกับให้คำแนะนำและชี้แนะถึงแนวทางในการเขียนรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณทุนการศึกษา (ศิษย์ก้นกุฏิ) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปีการศึกษา 2562 และขอขอบคุณบุคลากรฟาร์มสัตว์ปีก คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุกรณ์ในการทำการทดลอง และห้องวิเคราะห์คุณภาพไข่ไก่ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ตัวอย่าง และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพไข่ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา-มารดา พระอาจารย์ทุกรูป และครอบครัวทุกคนที่คอยอบรมสั่งสอน ชี้แนะแนวทางในการดำเนินชีวิต เป็นกำลังใจ และสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย ตลอดจนครูอาจารย์ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และอบรมสั่งสอนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อีกทั้งขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ สาขาสัตวศาสตร์ที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

โยษิตา นวลละออง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

สารบัญภาคผนวก ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

สมมติฐานและกรอบแนวคิดในการวิจัย 3

ขอบเขตงานวิจัย 3

บทที่ 2 ตรวจเอกสาร 4

กะเพราแดง 4

องค์ประกอบทางเคมี 5

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 7

สรรพคุณ 7

การศึกษาผลของการเสริมกะเพราในอาหารสัตว์ปีก 8

แหนเป็ดใหญ่ 9

แหล่งที่อยู่อาศัยและการเจริญเติบโต 10

ประโยชน์ของแหนเป็ดใหญ่ 10
ข้อควรระวังในการใช้แหนเป็ดในอาหารสัตว์ 10
องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะของแหนเป็ด 11
การศึกษาผลของการเสริมแหนเป็ดในอาหารสัตว์ปีก 12
รงควัตถุในวัตถุดิบอาหารสัตว์ 13
รงควัตถุในพืชที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสีไข่แดง 14
ชนิดและโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ 14
แหล่งที่พบเบต้าแคโรทีน 15
การย่อยและการดูดซึมแคโรทีนอยด์ 17
การสะสมสารสีในไข่แดง 17
ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้แคโรทีนอยด์เพื่อให้เกิดสีในไข่แดง 18
อนุมูลอิสระ 19
สารต้านอนุมูลอิสระ 19
รูปแบบการเลี้ยงไก่ไข่ 22
ระบบการเลี้ยงไก่ไข่แบบกึ่งขังกึ่งปล่อย 23
หลักสวัสดิภาพสัตว์ 26
พันธุ์ไก่ไข่ 32
ไข่ไก่ 35
การจัดการแปลงพืชอาหารสัตว์สำหรับไก่ 41
พืชสนามที่ใช้ในการทำแปลงหญ้า 42
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ 44
วัสดุและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย 44
สัตว์ทดลอง 44
อาหารทดลอง 45

ข้อมูลที่ศึกษา.. 47

การวิเคราะห์ข้อมูล 48

สถานที่ทำการทดลอง 49

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 50

คุณค่าทางโภชนะของผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่.. 50

สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ 50

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในไข่แดง.. 60

องค์ประกอบทางเคมีของไข่ต้มทั้งฟอง.. 61

ต้นทุนการผลิตไข่ไก่ 62

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 64

บรรณานุกรม.. 65

ภาคผนวก... 77

ประวัติผู้วิจัย.. 92

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ปริมาณกรดอะมิโนของแหนเป็ด 11

ตารางที่ 2 ความต้องการโภชนะของไก่ไข่ 25

ตารางที่ 3 ความต้องการโภชนะในช่วงให้ผลผลิตของไก่ไข่สายพันธุ์ Hy-Line Brown 26

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของไข่ไก่ 36

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของไข่ไก่ดิบและไข่ไก่ต้ม 36

ตารางที่ 6 มาตรฐานน้ำหนักไข่ของประเทศไทย 36

ตารางที่ 7 การส่งออกไข่ไก่สดและผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่ของประเทศไทยระหว่างปี 2558-2562 37

ตารางที่ 8 มาตรฐานฟาร์มไก่ไข่แต่ละประเภท 39

ตารางที่ 9 ส่วนประกอบและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง 46

ตารางที่ 10 องค์ประกอบทางเคมีของกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ 50

ตารางที่ 11 ผลของอาหารทดลองต่อปริมาณอาหารที่กิน (g/b/d) 52

ตารางที่ 12 ผลของอาหารทดลองต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารที่กินเป็นน้ำหนักไข่ 53

ตารางที่ 13 ผลของอาหารทดลองต่อน้ำหนักไข่ (g/d) 54

ตารางที่ 14 ผลของอาหารทดลองต่อผลผลิตไข่ (%) 55

ตารางที่ 15 ผลของอาหารทดลองต่อน้ำหนักไข่ (g) 56

ตารางที่ 16 ผลของอาหารทดลองต่อสีของเปลือกไข่ (% light) 56

ตารางที่ 17 ผลของอาหารทดลองต่อความแข็งของเปลือกไข่ (kg/cm^2) 57

ตารางที่ 18 ผลของอาหารทดลองต่อความหนาของเปลือกไข่ (mm.) 57

ตารางที่ 19 ผลของอาหารทดลองต่อสีของไข่แดง 58

ตารางที่ 20 ผลของอาหารทดลองต่อดัชนีไข่แดง 58

ตารางที่ 21 ผลของอาหารทดลองต่อค่า Haugh unit 59

ตารางที่ 22 ผลของการเสริมกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ต่อสารต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในไข่แดง 60

ตารางที่ 23 ผลของการเสริมผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ต่อคุณค่าทางโภชนะของไข่ต้มทั้งฟอง 61

ตารางที่ 24 ราคาวัตถุดิบและอาหารทดลองต่อกิโลกรัม.. 62

ตารางที่ 25 ต้นทุนการผลิตและราคาไข่ไก่เฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลอง................................ 63

MAEJO UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 กะเพราแดง ... 4

ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างของสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์บางชนิดที่พบในกะเพรา... 6

ภาพที่ 3 การประมาณปริมาณสารฟีนอลิกของกะเพราขาวและแดงที่สกัดด้วยหลายตัวทำละลาย... 8

ภาพที่ 4 แหนเป็ดใหญ่ ... 9

ภาพที่ 5 แหนเป็ด 3 สกุล (Duckweed) ... 12

ภาพที่ 6 เกิดการเรโซแนนท์ของอิเล็กตรอนของเบต้าแคโรทีน ... 20

ภาพที่ 7 กลไกในการจับโลหะของสารฟีนอลิกหรือฟลาโวนอยด์ ... 21

ภาพที่ 8 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ... 21

ภาพที่ 9 พฤติกรรมการเกาะคอนของแม่ไก่... 28

ภาพที่ 10 พฤติกรรมการคลุกฝุ่นของแม่ไก่... 28

ภาพที่ 11 ไก่ไข่ที่ปล่อยออกสู่แปลงหญ้า ... 30

ภาพที่ 12 ไก่ไข่สายพันธุ์ Hy-Line Brown... 34

ภาพที่ 13 อุณหภูมิ ความเข้มแสง และชั่วโมงการให้แสงของไก่ไข่พันธุ์ Hy-Line Brown... 34

ภาพที่ 14 โครงสร้างไข่ทั้งฟอง... 35

ภาพที่ 15 ไก่ไข่แบบไม่ใช้กรง (Cage Free) ของฟาร์มวังสมบูรณ์... 40

ภาพที่ 16 แปลงหญ้ามาเลเซีย... 41

ภาพที่ 17 หญ้ามาเลเซีย... 42

ภาพที่ 18 พื้นที่ภายในคอกทดลอง ... 45

สารบัญภาคผนวก

หน้า

ภาพผนวกที่ 1 ชั่งน้ำหนักไข่ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล....78

ภาพผนวกที่ 2 การวัดความแข็งของเปลือกไข่....78

ภาพผนวกที่ 3 การวัดสีของไข่แดง....78

ภาพผนวกที่ 4 การวัดความหนาของเปลือกไข่....78

ภาพผนวกที่ 5 การวัดสีของเปลือกไข่....79

ภาพผนวกที่ 6 การวัดความกว้างไข่แดง ความสูงไข่ขาว และความสูงไข่แดง....79

ภาพผนวกที่ 7 การเตรียมไข่ไก่สดสำหรับวิเคราะห์ Antioxidant....80

ภาพผนวกที่ 8 Standard DPPH....80

ภาพผนวกที่ 9 นับเวลาต้มไข่ 7 นาทีหลังน้ำเดือด....81

ภาพผนวกที่ 10 ไข่ต้ม 7 นาทีหลังน้ำเดือด....81

ภาพผนวกที่ 11 แกะเปลือกไข่และเยื่อเปลือกไข่ออก....81

ภาพผนวกที่ 12 การบี้ผสมไข่ขาวและไข่แดง....81

ภาพผนวกที่ 13 นำไข่ต้มเข้าไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C 82

ภาพผนวกที่ 14 ไข่ต้มหลังอบ....82

ภาพผนวกที่ 15 ตัวอย่างไข่ต้มบด....82

ภาพผนวกที่ 16 รังไข่ 83

ภาพผนวกที่ 17 คอนนอน....83

ภาพผนวกที่ 18 จัดการวัชพืชและปรับหน้าดิน....83

ภาพผนวกที่ 19 รดน้ำดินให้ชุ่มก่อนนำดินผสมปุ๋ยคอกโรยหน้าดินให้ทั่ว....84

ภาพผนวกที่ 20 เปิดน้ำลดแปลงให้ชุ่มพร้อมกับเหยียบหญ้าให้รากจมลงดิน..............................84
ภาพผนวกที่ 21 โรยดินปลูกทับบนหญ้าและรดน้ำอีกครั้ง..85
ภาพผนวกที่ 22 ติดแสลนดำเพื่อลดความเข้มแสงในระยะแรกของการปลูก................................85
ภาพผนวกที่ 23 แปลงหญ้าทดลอง...86
ภาพผนวกที่ 24 แม่ไก่ฟักไข่ในรังไข่..87
ภาพผนวกที่ 25 แม่ไก่ไข่บนพื้นแกลบและพื้นดิน...87
ภาพผนวกที่ 26 ไก่จิกกินหญ้าในแปลงหญ้า...88
ภาพผนวกที่ 27 ไก่คุ้ยเขี่ยหาอาหารในแปลงหญ้า...88
ภาพผนวกที่ 28 แม่ไก่กินอาหาร...88
ภาพผนวกที่ 29 แม่ไก่คุ้ยเขี่ยแกลบ...88
ภาพผนวกที่ 30 พฤติกรรมการคลุกฝุ่นและอาบแดดของแม่ไก่..89
ภาพผนวกที่ 31 รังไข่ 3 รัง/คอก...89
ภาพผนวกที่ 32 คอนนอน 2 ฝั่ง/คอก...89
ภาพผนวกที่ 33 แปลงหญ้าสัปดาห์แรกของการทดลอง..90
ภาพผนวกที่ 34 แปลงหญ้าสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง...90
ภาพผนวกที่ 35 ประสิทธิภาพการผลิตของไก่ไข่พันธุ์ Hy-line brown...91

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย

สีของไข่แดงเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญในการเลือกซื้อไข่ไก่ของผู้บริโภค ซึ่งผู้บริโภคในหลายประเทศให้ความนิยมบริโภคไข่ไก่ที่มีความเข้มสีไข่แดงของพัดเทียบสีที่เบอร์ 8-12 ทำให้ผู้เลี้ยงหรือผู้ผลิตต้องมีการปรับปรุงให้สีของไข่แดงเข้มมากขึ้น (อัจฉรา และมงคล, 2558) นิยมใช้ Astaxanthin เติมลงในอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มสีไข่แดงและสีเนื้อหมูให้มีสีสดและขายได้ในราคาสูง (Johnson and Schroeder, 1995) และเนื่องจากสารสีสังเคราะห์ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ เป็นเหตุให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น (สุภาพร และคณะ, 2538) จึงมีงานทดลองมากมายเพื่อค้นหาสารเสริมที่มาจากธรรมชาติแทนการใช้สารสีสังเคราะห์ในอาหารสัตว์ เพื่อลดต้นทุนในการผลิตสัตว์ อีกทั้งปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์สัตว์ที่ปลอดภัยและคำนึงถึงหลักสวัสดิภาพสัตว์กันมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้การเลี้ยงสัตว์โดยใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มาจากธรรมชาติ มีพื้นที่เลี้ยงปล่อยให้ไก่สามารถออกกำลังกาย แสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ สัมผัสกับแดด ดินและหญ้าได้อย่างอิสระ จะช่วยลดความเครียด และทำให้ไก่มีสุขภาพแข็งแรง จึงไม่จำเป็นต้องใช้ยาปฏิชีวนะ เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตหรือรักษาไก่ป่วย (ศูนย์ปศุสัตว์อินทรีย์, 2553) ทำให้มีการเลี้ยงไก่ไข่ทางเลือกซึ่งเป็นไข่ไก่ปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น เช่น การเลี้ยงไก่ไข่แบบปล่อย การเลี้ยงไก่ไข่แบบกึ่งปล่อย การเลี้ยงไก่ไข่อินทรีย์ เป็นต้น อีกทั้งไข่ที่ได้ยังจัดเป็นไข่ไก่ปลอดภัยสามารถขายได้ในราคาที่สูงกว่าไข่ไก่ที่เลี้ยงบนกรงตับโดยทั่วไป (กัญญาณัฐ และกรรณิกา, 2562)

กะเพราและแหนเป็ดเป็นพืชที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นในเขตร้อนและเขตอบอุ่น เหมาะสำหรับเกษตรกรรายย่อยที่สามารถหามาใช้เป็นแหล่งสารเสริมในอาหารสัตว์ โดยพืชทั้ง 2 ชนิดนี้ มีรงควัตถุช่วยเพิ่มสีของไข่แดง กะเพรามีสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ คือ สารประกอบกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ (Rahman et al., 2011) และมีรงควัตถุเพิ่มสีของไข่แดงชนิดเบต้าแคโรทีน (Mondal et al., 2009) ส่วนแหนเป็ดใหญ่เป็นพืชน้ำที่หาได้ตามธรรมชาติ มีรงควัตถุชนิดแคโรทีนและแซนโทฟิล เป็นต้น (O'Neil et al., 1996) โดยสารประกอบกลุ่มแคโรทีนอยด์บางชนิดมีคุณสมบัติเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันการทำลายเซลล์จากอนุมูลอิสระ และแคโรทีนอยด์ในไข่แดงส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแซนโทฟิลจึงสามารถช่วยเพิ่มความเข้มสีของไข่แดงได้ (อัจฉรา และมงคล, 2558) เนื่องจากร่างกายสัตว์ไม่สามารถผลิตเองได้ จึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร ดังนั้นการผลิตอาหารสัตว์จากวัตถุดิบที่มีปริมาณของแคโรทีนอยด์จากพืชที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นก็จะมีประโยชน์อย่างมาก (ศิริพร, 2551) เป็นการผลิตสัตว์อย่างยั่งยืน ปลอดภัยทั้งตัวสัตว์ สิ่งแวดล้อม และผู้บริโภค

จากการศึกษาเบื้องต้นได้ทดลองเสริมผงกะเพราแดง 0.50% และ 1.00% และแหนเป็ดใหญ่ 0.50 และ 1.00% ในสูตรอาหารไก่ไข่ที่เลี้ยงในโรงเรือนแบบปิด (Evaporative Cooling System) ของฟาร์มสัตว์ปีก คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยมีอุณหภูมิภายในโรงเรือน 28.00 ± 2.00 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 78.00±4.00% โปรแกรมการให้แสงประมาณ 16 ชม./วัน ให้อาหารตามคำแนะนำของ NRC (1994) และให้น้ำแบบเต็มที่ (ad libitum) พบว่า การเสริมผงกะเพราแดงหรือการเสริมแหนเป็ดใหญ่ระดับ 0.50% ให้ผลผลิตไข่ที่ดีกว่ากลุ่มที่เสริม 1.00% แต่สีของไข่แดงไม่มีความแตกต่างกัน การทดลองนี้จึงเลือกเสริมผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ที่ระดับ 0.50% ในสูตรอาหารไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยต่อผลผลิตไข่ คุณภาพไข่ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และคุณค่าทางโภชนะของไข่ต้มทั้งฟองของไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย เพื่อเป็นแนวทางการผลิตอาหารปลอดภัยสำหรับผู้บริโภคที่รักสุขภาพ ช่วยเพิ่มมูลค่าของไข่ไก่ให้แก่เกษตรกรและสามารถประยุกต์ใช้กับปศุสัตว์อินทรีย์ต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเสริมกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ผงในสูตรอาหารต่อผลผลิตและคุณภาพไข่ของไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย
2. เพื่อศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในไข่แดงของไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย
3. เพื่อศึกษาโภชนะของไข่ไก่ต้มทั้งฟอง ในไก่ไข่ที่ได้รับการเสริมกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ผงในสูตรอาหาร ภายใต้การเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย
4. เพื่อศึกษาการใช้กะเพราะแดงและแหนเป็ดใหญ่ผงมาใช้เป็นสารเสริมสำหรับเพิ่มสีของไข่แดงแทนการใช้สารสีสังเคราะห์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถปรับปรุงผลผลิตไข่ คุณภาพไข่ และคุณค่าทางโภชนะของไข่ไก่ ในไก่ไข่ที่เลี้ยงโดยใช้อาหารที่มีการเสริมกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ผง
2. การเสริมกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ผงในสูตรอาหารสามารถเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในไข่แดง
3. การเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยสามารถช่วยเรื่องสุขภาพ สวัสดิภาพสัตว์ และคุณภาพไข่
4. สามารถนำกะเพราะแดงและแหนเป็ดใหญ่ผงมาใช้แทนการใช้สารสีสังเคราะห์ในอาหารไก่ไข่

สมมติฐานและกรอบแนวคิดในการวิจัย

1. การใช้อาหารที่มีการเสริมกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ผงในสูตรอาหารไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยสามารถเพิ่มผลผลิตไข่และคุณภาพไข่ได้
2. ไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย และมีการเสริมกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ผงในสูตรอาหาร จะส่งผลให้มีสารต้านอนุมูลอิสระในไข่แดงสูงขึ้น
3. ไก่ไข่ที่ได้รับการเสริมกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ผงในสูตรอาหาร ภายใต้การเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยจะมีโภชนะของไข่ไก่ทั้งฟองสูงขึ้น

ขอบเขตงานวิจัย

การทดลองนี้ทำการศึกษาในไก่ไข่ อายุ 18 สัปดาห์ จำนวน 108 ตัว เลี้ยงด้วยวัตถุดิบอาหารที่ไม่มีการเสริม และเสริมวัตถุดิบ 2 ชนิด ได้แก่ กะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตไข่ คุณภาพไข่ คุณค่าทางโภชนะของไข่ไก่ทั้งฟอง และปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระของไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย โดยใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงทั้งหมด 12 สัปดาห์

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

กะเพราแดง

ภาพที่ 1 กะเพราแดง

ชื่อสามัญ: กะเพราแดง (Red Holy Basil, Sacred Basil, Tulsi)
ชื่ออื่น: กอมก้อ กอมก้อดง (เชียงใหม่) กะเพรา กะเพราขน กะเพราขาว กะเพราแดง (ภาคกลาง) ห่อกวอซู ห่อตูปลู อิ่มคิมหลำ (แม่ฮ่องสอน) อีตู่ไทย (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)
ชื่อวิทยาศาสตร์: *Ocimum tenuiflorum* L.
ชื่อพ้อง: *Ocimum sanctum* L.
ชื่อวงศ์: Labiatae

กะเพรามีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ กะเพราแดงและกะเพราขาว โดยกะเพราแดงจะมีฤทธิ์ที่แรงกว่ากะเพราขาว ในสรรพคุณทางยาจึงนิยมใช้กะเพราแดง โดยส่วนที่นำมาใช้ทำเป็นยาสมุนไพรก็ได้แก่ ใบ ยอด (สดและแห้ง) และทั้งต้น นิยมใช้กะเพราขาวมาใช้ประกอบอาหาร ส่วนต่างประเทศมีการใช้กะเพราในการรักษาโรคกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะประเทศอินเดีย ถือว่ากะเพราสามารถเป็นยารักษาโรคได้ทุกโรค และจัดให้เป็นราชินีแห่งสมุนไพร (The Queen of herbs) หรือใช้เป็นยาอายุวัฒนะ (The Elixir of life) นักโภชนาการมีการค้นพบว่าในกะเพราประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรต เส้นใยอาหาร เหล็ก โปรตีน เบต้าแคโรทีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส วิตามินเอ วิตามินบี 1 และ 2 นอกจากนี้ยังมีสารกลุ่มฟีนอลิกที่ลดการอักเสบ ได้แก่ cirsilineol, cirsimaritin, isothymonin, apigenin, rosmaric acid และ eugenol และฟลาโวนอยด์ ได้แก่ orientin และ vicenin เป็นต้น (บรรดาศักดิ์, 2561) มีการศึกษาของ Bunrathep et al. (2007) ที่ได้ทำการศึกษาน้ำมันหอมระเหยจากพืชไทยในวงศ์ Labiatae 4 ชนิด พบว่า น้ำมันยี่หร่า (*O. gratissimum*) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุดรองลงมา คือ น้ำมันกะเพรา (*O. sanctum*) แมงลัก (*O. canum*) และโหระพา

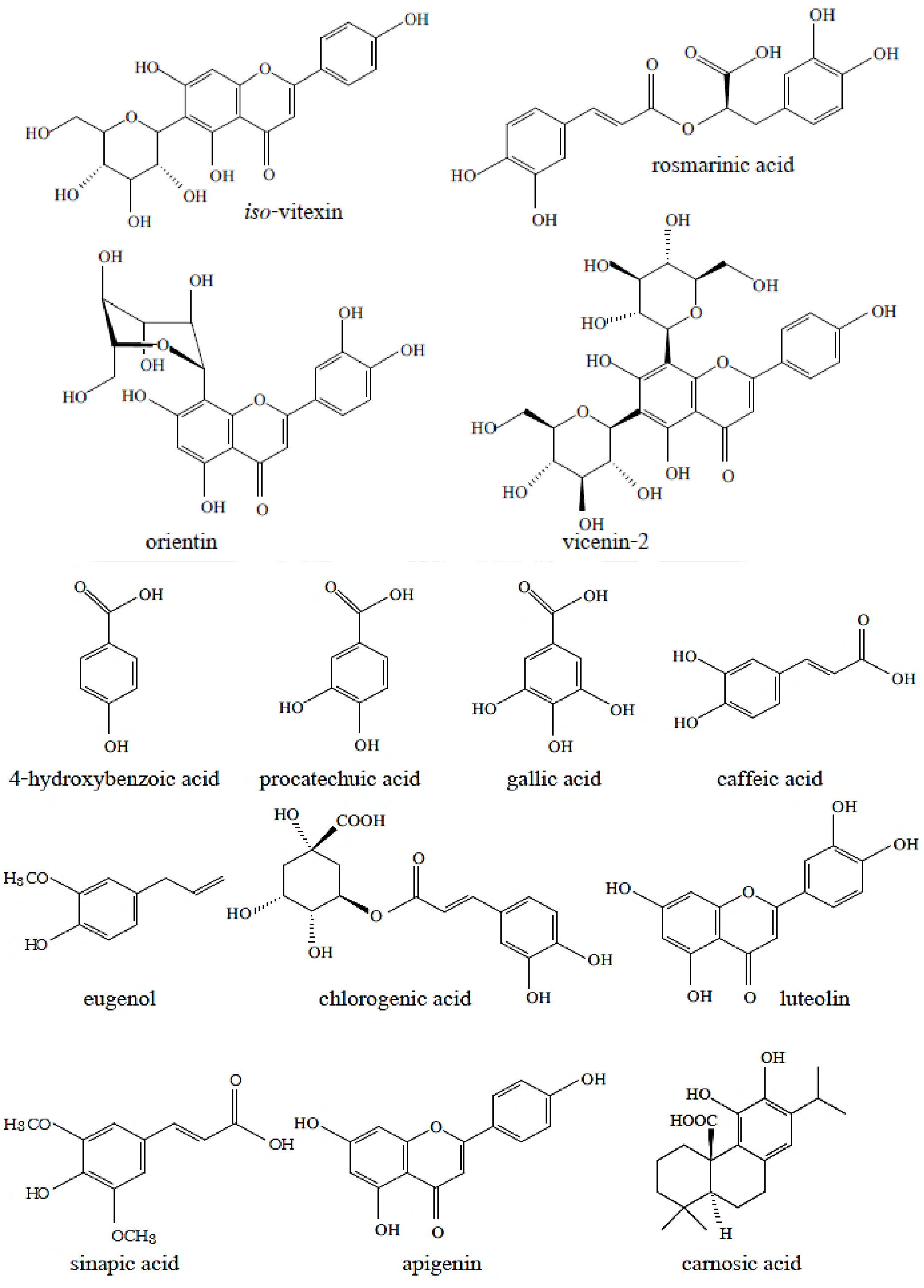
(*O. basilicun*) ตามลำดับ และพบว่าน้ำมันหอมระเหยของกะเพราแดงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากะเพราขาว และในการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยจะใช้กะเพราแดงในการทดลอง

กะเพราแดง เป็นไม้ล้มลุก มีใบและกิ่งสีเขียวอมม่วงแดง มีกลิ่นแรงกว่ากะเพราขาว ลำต้นมีความสูง 30-60 เซนติเมตร ใบเป็นใบเดี่ยวรูปรีปลายแหลม ขอบใบหยัก มีกลิ่นหอม กะเพราเป็นผักสวนครัวที่นิยมนำใบมาประกอบอาหารเพื่อปรุงรสและกลิ่น กะเพรามีสรรพคุณทางยา เช่น ขับเสมหะ แก้ปวด แก้คลื่นไส้อาเจียน ขับเหงื่อ ป้องกันโรคเกี่ยวกับตับและหัวใจ บรรเทาอาการทางระบบทางเดินอาหาร ต้านเชื้อราและมะเร็ง เป็นต้น กะเพราเป็นแหล่งของโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามินซี เบต้าแคโรทีน โครเมียม ทองแดง สังกะสี วาเนเดียม เหล็ก และนิกเกิล (Mondal et al., 2009) นอกจากนี้ ยังมีสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญๆ ที่พบในกะเพรา ได้แก่ วิตามินซี น้ำมันหอมระเหยที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ eugenol (Kelm et al., 2000) และยังมีสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์บางชนิดซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขับไล่อนุมูลอิสระและเป็นสารต้านออกซิเดชันที่พบ ได้แก่ methyl chavicol, eugenol, galic acid, caffeic acid, orientin, vicenin-2, luteolin และ orientin เป็นต้น (Rahman et al., 2011) สำหรับอนุมูลอิสระนั้นเป็นสาเหตุของหลายโรค แต่หากอนุมูลอิสระมีมากเกินไป ร่างกายอาจสร้างสารต้านอนุมูลอิสระไม่เพียงพอ ร่างกายจำเป็นต้องได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากปัจจัยภายนอกร่างกาย โดยสารต้านอนุมูลอิสระจะทำหน้าที่ป้องกันการเกิดกระบวนการที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระโดยช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระไม่ให้มีผลทำลายเซลล์ (นวลศรี และอัญชนา, 2545)

องค์ประกอบทางเคมี

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเพื่อวิเคราะห์สารสำคัญของใบกะเพราขาว และกะเพราแดง โดยสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีกลั่นด้วยน้ำ (water distillation) แล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) พบว่า องค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยกะเพราขาว และกะเพราแดง คือ methyl eugenol ร้อยละ 54.29 และ 51.21 ตามลำดับ รองลงมา คือ สาร caryophyllene (จิราภรณ์ และคณะ, 2558)

ใบกะเพรามีน้ำมันระเหยง่าย 1.70% ประกอบด้วย methyl eugenol (37.70%), caryophylllene, methyl chavicol, linalool, ocimol, pinene, camphor, camphene, sabinene, limonene, cineol, borneol, terpinolene, terpinene, cymene สารกลุ่มอื่นๆ เช่น apigenin, luteolin เป็นต้น ปัจจุบันมีการค้นพบสารต้านอนุมูลอิสระจำนวนมากในผัก ผลไม้ และพืชสมุนไพร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารฟลาโวนอยด์และสารฟีนอลิก จะเห็นได้ว่ากะเพรามีสารกลุ่มนี้เป็นองค์ประกอบหลายชนิด โครงสร้างทางเคมีของสารฟลาโวนอยด์และสารฟีนอลิกบางชนิดที่พบในกะเพรา (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างของสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์บางชนิดที่พบในกะเพรา

ที่มา: สุกัญญา (2555)

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

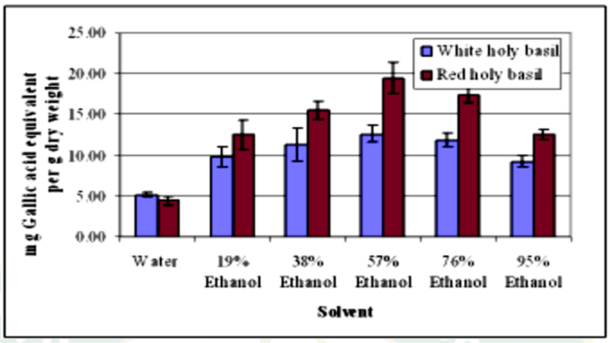
ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีทางเคมีของสารสกัดกะเพราขาว และกะเพราแดง โดยวิธี FRAP (Ferric reducing ability of plasma), ABTS (2, 2-azino-bis[3-ethylbenz-thiazoline-6-sulphonate]) และ DPPH (1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) มีรายงานการทดสอบสารสกัดเมทานอลจากกะเพรา พบว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด ได้แก่ อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออน อนุมูลไฮดรอกซิล อนุมูลเปอร์ออกไซด์ และจับกับโลหะเหล็ก (เนื่องจากเหล็กอิสระที่มีอยู่ทั่วร่างกายสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งส่งผลให้เกิดภาวะ oxidative stress ตามมา) ซึ่งส่วนใบมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากิ่ง และช่อดอก การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH พบว่า น้ำมันกะเพราแดงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากะเพราขาว ในน้ำมันหอมระเหยมีสาร eugenol เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นสารที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ และยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมัน อีกทั้งยังพบสารฟลาโวนอยด์ 2 ชนิด ได้แก่ orientin และ vicenin ในใบกะเพรา ซึ่งสามารถยับยั้งปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชันในตับหนูด้วยความเข้มข้นต่ำเพียง 10-500 ไมโครโมลาร์ โดยยับยั้งการเกิดอนุมูลไฮดรอกซิลที่เกิดจากปฏิกิริยาเฟนตัน มีรายงานสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสารฟีนอลิกในใบกะเพรา 6 ชนิด ได้แก่ cirsilineol, cirsimaritin, isothymusin, isothymonin, apigenin และ rosmarinic acid และพบว่าสารเหล่านี้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ จากองค์ประกอบทางเคมีที่พบในกะเพรา พบสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด เช่น วิตามินซี เบต้าแคโรทีน สารฟลาโวนอยด์ และสารฟีนอลิกหลายชนิด (สุกัญญา, 2555) เมื่อเปรียบเทียบการสกัดสารประกอบเคมีระหว่างใบกะเพราขาวและใบกะเพราแดง พบว่า ในใบกะเพราแดง มีสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอล และวิตามินซีที่สูงกว่ากระเพราขาว (Wangcharoen and Morasuk, 2007)

สรรพคุณ

ใบและยอดกะเพรา ลดอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ ขับลม แก้ปวดท้อง บำรุงธาตุ ขับผายลม แก้อาการจุกเสียดในท้อง ทำให้เรอ แก้ท้องร่วง แก้คลื่นไส้อาเจียน ขับเสมหะ ขับเหงื่อ ใช้ทาภายนอกแก้โรคผิวหนัง แก้อาการปวดท้องในเด็กทารก ใช้เป็นยาเพิ่มน้ำนมสตรีหลังคลอด ขับน้ำนม บรรเทาอาการไข้เรื้อรัง แก้ปวดฟัน ตำรายาไทยระบุว่า กะเพราะขาวและกะเพราแดง ใช้ทั้ง 5 ส่วน มีรสเผ็ดร้อน เป็นยาบำรุงธาตุ แก้ปวดท้อง ขับผายลม แก้ท้องอืด ท้องเฟ้อ แต่ในทางยานิยมใช้กะเพราแดงมากกว่ากะเพราขาว เพราะมีฤทธิ์ทางยามากกว่า โบราณใช้น้ำคั้นใบกะเพรา กินเพื่อขับเหงื่อ แก้ไข้ ขับเสมหะ ขับลม แก้ปวดท้อง แก้ท้องเสีย ทาผิวหนังแก้กลากเกลื้อนและโรคผิวหนังอื่นๆ (สุดารัตน์, 2553) อีกทั้งมีส่วนช่วยลดความเครียด ปรับสมดุลธาตุในร่างกาย บำรุงสายตา ช่วยฟื้นฟูการทำงานของจอประสาทตาทำให้มีการมองเห็นที่ดีขึ้น ช่วยลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด ช่วยเรื่องระบบทางเดินหายใจและระบบทางเดินอาหาร (อาสา, 2559)

กิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH

ปฏิกิริยาของการทดสอบ DPPH เสร็จสมบูรณ์ภายในนาทีแรกสำหรับตัวทำละลายเกือบทั้งหมด (ภาพที่ 3) และมาตรฐาน Trolox และ ascorbic acid มีการดูดซับลดลงสำหรับกลุ่มกะเพราขาวและแดง ค่า DPPH ของกะเพราขาวต่ำกว่ากะเพราแดง (Juntachote and Berghofer, 2005)



ภาพที่ 3 การประมาณปริมาณสารฟีนอลิกของกะเพราขาวและแดงที่สกัดด้วยหลายตัวทำละลาย
ที่มา: Wangcharoen and Morasuk (2007)

การศึกษาผลของการเสริมกะเพราในอาหารสัตว์ปีก

งานวิจัยของ Kirubakaran et al. (2011) เพื่อทำการทดลองเสริมใบกะเพรา 1 และ 2 กรัม ในอารสูตรควบคุมและอาหารสูตรบดละเอียด โดยใช้ไก่ไข่พันธุ์เล็กฮอร์นขาวหงอนจักร อายุ 27 สัปดาห์ ทดลองเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่า การเสริมใบกะเพราแดงผง ที่ระดับ 0.10 และ 0.20% ในอาหารไก่ไข่ ซึ่งไม่มีผลต่อสมถรรณะการให้ผลผลิตและคุณภาพไข่ และ Narahari et al. (2005) ได้ทำการศึกษาโดยการเสริมใบกะเพราแดงผง ที่ระดับ 0.5% ในอาหารไก่ไข่ โดยใช้ไก่สายพันธุ์ BV 300 อายุ 31 สัปดาห์ ทดลองเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า สีของไข่แดงและระดับแคโรทีนอยด์ในไข่แดง เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) และเมื่อนำไข่มาต้มแล้วทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) อีกทั้งกะเพราแดงมีสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งจะช่วยยับยั้งการเกิดกระบวนการ Lipid peroxidation บริเวณ Membrane lipid matrix ดังนั้นจึงส่งผลช่วยป้องกันการถูกทำลายของเซลล์วิลไล ทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมสารอาหาร ทำให้อาหารที่ไก่กินเข้าไปถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างผลผลิตไข่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (อัจฉรา และมงคล, 2558) และจากการศึกษาเบื้องต้นของคณะผู้วิจัยที่ได้ทำการศึกษาการเสริมกะเพราแดงผง ที่ระดับ 0.50 และ 1.00% ในอาหารไก่ไข่ที่เลี้ยงบนกรงตับในโรงเรือนระบบปิด ทดลองโดยใช้ไก่ไข่พันธุ์ Hy-line brown อายุ 50 สัปดาห์ ระยะเวลาในการทดลอง 4 สัปดาห์ พบว่า การเสริมกะเพราแดงผงที่ระดับ 0.50% ไม่มีความแตกต่างของผลผลิตไข่กับกลุ่มควบคุม แต่ผลผลิตไข่จะลดลงเมื่อเสริมที่ระดับ 1.00% ในด้านของคุณภาพไข่ พบว่า กลุ่มที่เสริมกะเพราแดงผงมีสีของไข่แดงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

แหนเป็ดใหญ่

ภาพที่ 4 แหนเป็ดใหญ่

ชื่อสามัญ: แหนเป็ดใหญ่ (Large duckweed)
ชื่อวิทยาศาสตร์: *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid
ชื่อพื้นเมือง: แหนเป็ดใหญ่ แหนใหญ่
ลักษณะ: เป็นพืชน้ำขนาดเล็ก พบได้ง่ายตามบริเวณบ่อน้ำ ทั่วไป ลอยตัวเป็นอิสระรวมกลุ่ม บนผิวน้ำ ประกอบด้วยใบรูปร่างกลมและรี ผิวใบเรียบด้านบนเส้นมีสีเขียว ด้านล่างสีออกแดง มีรากฝอยประมาณ 3-15 เส้น ดอกมีขนาดเล็กออกเป็นช่อ ประกอบด้วยดอกตัวเมีย 1 ดอก ดอกตัวผู้ 2 ดอก
การขยายพันธุ์: สามารถขยายพันธุ์ได้ 2 วิธีคือ การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ และ การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ด้วยการแตกหน่อ (Budding) หรือแตกแผ่นใบใหม่ ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนได้อย่ารวดเร็ว

แหนเป็นพืชลอยน้ำขนาดเล็ก เจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ได้ดีในน้ำนิ่ง เช่น หนอง บึง หรือสระน้ำทั่วไป ที่มีธาตุอาหารและอินทรียวัตถุอุดมสมบูรณ์ ค่าความเป็นกรด–ด่างของน้ำเป็นกลาง โดยแหนที่พบในประเทศไทยจัดอยู่ในวงศ์ Lemnaceae มี 3 สกุล

1) สกุล *Lemna* มี 3 ชนิด คือ

1.1) *Lemna minor* L. แหนเล็ก หรือเรียกโดยทั่วไปว่าแหนเป็ดเล็ก จัดเป็นวัชพืชที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีโปรตีนประมาณ 20-40 % เยื่อใยประมาณ 4-6 % และยังเป็นพืชที่มีกรดไขมันอิสระอยู่อย่างสมบูรณ์ นิยมนำไปตากแห้งทำเป็นปุ๋ย เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์หรือผสมในอาหารของสัตว์ เช่น อาหารของเป็ด ห่าน ปลา ไก่ นกกระทา และสุกร เป็นต้น

1.2) *Lemna perpusilla* Torr. แหน มีชื่อสามัญเรียกว่า “Lesser duckweed”

1.3) *Lemna trisulca* L. จอกแหน

2) สกุล *Spirodela* มี 1 ชนิด คือ *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid., กาแหน และ แหนแดง หรือ แหนใหญ่ มีชื่อสามัญเรียกว่า “Large duckweed”

3) สกุล *Wolffia* มี 1 ชนิด คือ *Wolffia globosa* (Roxb.), Hartog & Plas, ไข่น้ำ และ ไข่แหน หรือ ผำ มีชื่อสามัญเรียกว่า “Water me” (วิลาส, 2557)

แหล่งที่อยู่อาศัยและการเจริญเติบโต

1) แหนเป็ดเป็นพืชน้ำลอยบนผิวน้ำ ขนาดเล็กที่พบได้ทั่วโลก และมักพบเห็นการเติบโตอย่างหนาทึบคล้ายผ้าห่มบนน้ำจืด ที่เคลื่อนไหวช้า หรือ น้ำกร่อยที่มีอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหาร ไม่สามารถอยู่รอดได้ในน้ำที่เคลื่อนที่เร็ว >0.30 ม./วินาที
2) แหนเป็ดเติบโตที่อุณหภูมิของน้ำระหว่าง 6 ถึง 33 °C ซึ่งหลายชนิดสามารถอยู่ได้ในอุณหภูมิที่ต่ำ โดยการสร้าง Turion และพืชจะจมลงในน้ำจนถึงน้ำอุ่น เพื่อทำให้มันสามารถเติบโตตามปกติ
3) รูปแบบการเจริญเติบโตคล้ายกับการเติบโตแบบทวีคูณของสาหร่ายเซลล์เดียวมากกว่าพืชชั้นสูง และสิ่งนี้ทำให้เกิดศักยภาพสูงในการผลิตเป็นทรัพยากรอาหารสัตว์ (Leng et al., 1995)

ประโยชน์ของแหนเป็ดใหญ่

แหนเป็ดใหญ่เป็นพืชน้ำที่มีอุดมสมบูรณ์ทางนิเวศวิทยา สามารถนำมาใช้สำหรับเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ (เอทานอล) และอาหารสัตว์ โดยส่วนใหญ่แหนเป็ดใหญ่ (*Spirodela polyrrhiza*) มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (Hanczakowski and Szymczyk, 1995) (แหนจัดเป็นวัชพืชที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีโปรตีน 20-40 % เยื่อใย 4-6 % และยังเป็นพืชที่มีกรดไขมันอิสระอยู่อย่างสมบูรณ์ นิยมนำไปตากแห้งทำเป็นปุ๋ย เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์หรือผสมในอาหารของสัตว์ เช่น อาหารของเป็ด ห่าน ปลา ไก่นกกระทา และสุกร เป็นต้น (วิลาส, 2557)

มีการใช้แหนเป็นอาหารเสริมในอาหารสัตว์ เนื่องจากโปรตีนจากแหนมีกรดอะมิโนที่จำเป็นที่ดีกว่าโปรตีนจากพืชส่วนใหญ่และใกล้เคียงกันมากกว่าคล้ายโปรตีนจากสัตว์ (Hillman and Culley 1978) ดังนั้นจึงเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูงใช้ประโยชน์จากการผลิตสัตว์ในประเทศ แหนที่อุดมด้วยสารอาหารและแร่ธาตุ K และ P วิตามิน A และ B และเม็ดสีโดยเฉพาะแคโรทีนและแซนโธฟิลล์ที่ทำให้แหนเป็นอาหารเสริมที่มีคุณค่าอย่างยิ่งสำหรับสัตว์ปีกและสัตว์อื่น ๆ (Leng et al., 1955)

ข้อควรระวังในการใช้แหนเป็ดในอาหารสัตว์

แหนสะสมโลหะหนักหลายชนิด ตัวอย่างเช่น แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว ซึ่งสามารถคุกคามการเจริญเติบโตตามปกติ ตลอดจนสุขภาพของสัตว์และมนุษย์ โลหะหนักสามารถเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ เพื่อป้องกันปัญหานี้ควรตรวจสอบระดับของโลหะหนักในระหว่างการผลิตแหนเพื่อเป็นอาหารสัตว์ด้วย การดูดซึมโลหะหนักขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมีและรูปแบบชีวิตของแหน การใช้แหล่งน้ำธรรมชาติสิ่งปฏิกูลในครัวเรือน และของเสียจากปศุสัตว์ สำหรับแหนการผลิตไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงดังกล่าวเนื่องจากมีความเข้มข้นของโลหะหนักต่ำ มีการศึกษาองค์ประกอบแร่ธาตุในแหนเป็ด ได้แก่ Cd, N, Cr, Zn, Sr, Co, Fe, Mn, Cu, Pb, Al แต่มีในปริมาณน้อย ดังนั้นแหนอาจเป็นแหล่งของแร่ธาตุที่ดีสำหรับสัตว์เลี้ยงในฟาร์ม (FAO, 1999; Van der Spiegel et al., 2013)

องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะของแหนเป็ด

องค์ประกอบทางเคมีจะแตกต่างกันไปตามชนิดของแหนเป็ดและแหล่งน้ำที่แหนเป็ดเจริญเติบโตอยู่ แหนเป็ดสดเป็นพืชที่มีความชื้นสูงคือมีน้ำอยู่ประมาณ 90-95% เมื่อคิดตามน้ำหนักแห้งพบว่ามีปริมาณโปรตีนประมาณ 14-40.9% ไขมันประมาณ 1.90-11.4% และเยื่อใยประมาณ 2.70-16.60% (ดำรงชัย, 2542; สาโรช, 2542) และมีกรดอะมิโนจำเป็นหลายชนิด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณกรดอะมิโนของแหนเป็ด

กรดอะมิโน	**(% โปรตีน)**
อะลานีน	5.6
อาร์จินีน	5.9
แอสปาร์ติก	8.0
กลูตามิก	11.9
ไกลซีน	4.6
ฮีสทิดีน	2.2
ไอโซลิวซีน	4.0
ลิวซีน	7.5
ไลซีน	4.0
เมทไธโอนีน	1.8
ฟีนิลแอลานีน	4.8
โพรลีน	4.2
ซีรีน	3.3
ทรีโอนีน	3.6
ไทโรซีน	3.6
วาลีน	5.0

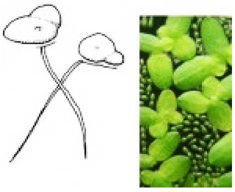
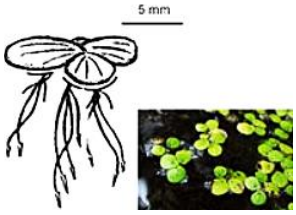
ที่มา: ดัดแปลงจาก Feedipedia (2013)

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

การศึกษาผลของการเสริมแหนเป็ดในอาหารสัตว์ปีก

Anderson et al. (2011) ได้ทำการทดลองเสริมแหนเป็ด 12.6% (250 กรัม ในอาหาร 2,000 กรัม) โดยใช้ไก่ไข่พันธุ์ Hy-line brown อายุ 76 สัปดาห์ ทดลองเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า การใช้แหนเป็นส่วนผสมในอาหารไม่ส่งผลต่อน้ำหนักตัวและการให้ผลผลิตไข่เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่คุณภาพไข่ในส่วนของความแข็งของเปลือกไข่จากไก่ที่ได้รับอาหารที่มีแหนเป็นส่วนผสมมีความยืดหยุ่น และมีค่าสีของไข่แดงมากกว่าไข่ไก่จากกลุ่มควบคุม Zakaria and Shammout (2018) ได้ทำการศึกษาการเสริมแหนเป็ดเล็ก (*Lemna gibba*) 10% และ 20% แทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนใหม่สำหรับการใช้เป็นอาหารสัตว์ปีก โดยใช้ไก่ไข่ lohmann white อายุ 54 สัปดาห์ ทดลองเป็นเวลา 9 สัปดาห์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัของอัตราการเปลี่ยนอาหาร น้ำหนักไข่ และอัตราการตาย แต่ปริมาณอาหารที่กินและผลผลิตไข่ของกลุ่มที่เสริมแหนเป็ด 20% ลดลงอย่างมีนัญสำคัญทางสถิติ ด้านคุณภาพไข่มีเพียงสีของไข่แดงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้แหนเป็นส่วนผสมในอาหารระดับที่สูงมากอาจลดประสิทธิภาพการผลิตลง ซึ่งการที่สีของไข่แดงเพิ่มมากขึ้น เกิดจากการสะสมเม็ดสีที่มีอยู่ในอาหารของสารอาหารสัตว์ ซึ่งเม็ดสีที่เกี่ยวข้อง คือ แซนโทฟิลที่ไก่ได้รับจากอาหารและถูกส่งไปยังเลือด และนำไปสะสมไว้ในเนื้อเยื่อไขมันใต้ผิวหนัง หน้าแข้ง เกล็ด และไข่แดง (Belyavin and Marangos, 1987)

จากการศึกษาเบื้องต้นของคณะผู้วิจัยที่ได้ทำการศึกษาการเสริมแหนเป็ดใหญ่ผงที่ระดับ 0.50 และ 1.00% ในอาหารไก่ไข่ที่เลี้ยงบนกรงตับในโรงเรือนระบบปิด โดยใช้ไก่ไข่พันธุ์ Hy-line brown อายุ 68 สัปดาห์ ทดลองเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่า ผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ของแต่ละกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) กลุ่มที่เสริมแหนเป็ดใหญ่ทั้ง 2 ระดับมีแนวโน้มของน้ำหนักไข่ที่สูงกว่ากลุ่มควบคุม ในด้านคุณภาพไข่ พบว่า กลุ่มที่เสริมแหนเป็ดมีสีของไข่แดงที่เข้มและมีความหนาของเปลือกไข่มากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) อีกทั้งยังมีความแข็งของเปลือกไข่ที่เพิ่มสูงขึ้น ($P<0.05$)

		
ก. แหนเป็ดเล็ก	ข. แหนเป็ดใหญ่	ค. ไข่น้ำหรือผำ

ภาพที่ 5 แหนเป็ด 3 สกุล (Duckweed)

ที่มา: วิลาส (2557)

รงควัตถุในวัตถุดิบอาหารสัตว์

รงควัตถุ (Pigment) ที่มีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติที่ได้จากพืชมีอยู่ 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ละลายได้ในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ และกลุ่มที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ แอนโทไซยานินและฟลาโวนอยด์ โดยสีของไข่แดงมีความสัมพันธ์กับสารสีในพืช รงควัตถุในไข่แดงนั้นได้มาจากอาหารที่ไก่กินและจะสะสมสารนี้ไว้ที่เกล็ด เนื้อ และไข่แดง ถ้ามีการเติมพืชปริมาณมากเท่าไรสีของเกล็ด เนื้อ และไข่แดงจะแดงหรือเข้มมากขึ้น (สุทธิวัฒน์, 2548) รงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic pigment) ประกอบด้วย

1) คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll)

คลอโรฟิลล์เป็นสารสีที่ทำให้พืชมีสีเขียว และมีปริมาณมากที่สุด รงควัตถุที่พบในพืชและสิ่งมีชีวิตทีมีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งอยู่ในโครงสร้างที่เรียกว่า เยื่อหุ้มไทลาคอยด์ (thylakoid membrane) ซึ่งเป็นเยื่อหุ้มที่อยู่ภายใน คลอโรพลาสต์ (chloroplast) (ภาคภูมิ, 2550)

2) ไฟโคบิลิน (Phycobilins)

ไฟโคบิลินเป็นรงีวัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมี 3 ชนิด คือ ไฟโคอิริโทรบิลิน (phycoerythrobilin) อัลโลไฟโคไซยาโนบิลิน (allophycocyanobilin) ไฟโคไซยาโนบิลิน (phycocyanobilin) หรือ ไฟโคไซยานิน (phycocyanin) ซึ่งทั้งสามชนิดนี้จะไม่พบในพืชชั้นสูง แต่พบเฉพาะใน ไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) และสาหร่ายสีแดงและเขียวแกมน้ำเงินเท่านั้น มีบทบาทสำคัญสำหรับการเป็นสารสีที่ช่วยรับพลังงานแสงของสาหร่าย เนื่องจากสามารถดูดกลืนคลื่นแสงช่วงแสงสีเขียวที่คลอโรฟิลล์ไม่สามารถดูดกลืนมาใช้ได้ (ศุภจิตรา, 2554)

3) แอนโทไซยานิน (Anthocyanin)

แอนโทไซยานิน เป็นรงควัตถุที่พบในพืชทั้งในดอกและในผลของพืช ให้สีแดง น้ำเงิน หรือม่วง เป็นสารที่ละลายในน้ำได้ดี จัดอยู่ในกลุ่มย่อยของฟลาโวนอยด์ จึงมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แอนโทไซยานินทำหน้าที่เป็นสารป้องกันแสงแดด (sunscreen) ให้กับเนื้อเยื่อจากอันตรายที่เกิดจากการได้รับแสงแดดมากเกินไป (photoinhibition) (Gould et al., 2018)

4) แคโรทีนอยด์ (Carotenoids)

แคโรทีนอยด์จัดแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ 1) แคโรทีน (carotenes) ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน (β-carotene) แอลฟา-แคโรทีน (α-carotene) และไลโคปีน (lycopene) เป็นสารสี สีเหลืองส้ม และ 2) แซนโทฟิลล์ (xanthophylls) ได้แก่ นีโอแซนทิน (neoxanthin) ไวโอลาแซนทิน (violaxanthin) ฟลาโวแซนทิน (flavoxanthin) เบต้า- และแอลฟา-คริปโทแซนทิน (β- and α-cryptoxanthin) เป็นสารสีสีเหลือง (Koley et al., 2018)

รงควัตถุในพืชที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสีไข่แดง

แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) พบได้ในธรรมชาติ โดยเฉพาะในผักและผลไม้ที่มีสี ส้ม เหลือง แดง และเขียว (Pongsathorn et al., 2012) สารแซนโทฟิลในธรรมชาติมีอยู่หลายชนิด แต่ที่พบมากที่สุด ได้แก่ Hydroxy-carotenoids ซึ่งเป็นสารประกอบที่จะถูกดูดซึมผ่านทางลำไส้เล็กแล้วนำไปสะสมไว้ในไข่แดงและเนื้อเยื่อไขมันตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย นอกจากนี้สารแซนโทฟิลยังมีการสะสมเป็นสีเหลืองบริเวณผิวหนังและหน้าแข้งอีกด้วย (ประภากร, 2560ก) ซึ่งเม็ดสีของไข่แดง คือ ไฮดรอกซีแคโรทีนอยด์ (Hydroxycarotenoids) ลูทีน (Lutein) ซีแซนทินและคริบโปโตแซนทิน ส่วนเบต้าแคโรทีนพบบ้างแต่ไม่ใช่เม็ดสีหลัก สีของไข่แดงนอกจากอาหารยังมีสาเหตุ เนื่องจากพันธุ์ ฤดูกาลและวิธีเลี้ยงอีกด้วย ไก่จะเก็บสีจากอาหารไว้ตามใต้ผิวหนังของร่างกายสำรองไว้สำหรับสร้างสีไข่แดง แต่สีจากอาหารที่กินเข้าไปนั้น ถูกสร้างเป็นสีของไข่แดงได้โดยตรงและเร็วกว่า อนินทรีย์สารที่พบในไข่แดงซึ่งมีเพียงร้อยละ 2 นั้น จากการวิเคราะห์มีแร่ธาตุที่สำคัญ คือ กำมะถันร้อยละ 0.1016 โปแตสเซียมร้อยละ 0.112-0.360 โซเดียมร้อยละ 0.07-0.093 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.543-0.980 แคลเซียมร้อยละ 0.032-0.128 เหล็กร้อยละ 0.0053-0.011 นอกจากนี้ ไข่แดงยังมีธาตุอาหารอื่นๆ อีกเล็กน้อย เช่น อลูมิเนียม ทองแดง ไอโอดีน ตะกั่ว และสังกะสี (ฉัตรชัย, 2556)

ชนิดและโครงสร้างของแคโรทีนอยด์

โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีน (isoprene unit) จำนวน 8 หน่วย ที่เกิดพันธะ โควาเลนต์กัน และทำให้เกิดคอนจูเกชันของพันธะคู่เป็นสายยาว (extensive conjugated double bond) ซึ่งระบบคอนจูเกชัน ทำให้แคโรทีนอยด์สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอัลตราไวโอเลต และแสงสีขาว และทำให้แคโรทีนอยด์เป็นสารที่มีสีและมีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโมเลกุลของแคโรทีนอยด์อาจเป็นเส้นตรง ดังที่พบในไลโคพีน (lycopene) หรือเป็นวงแหวน (ring) ที่ปลายโซ่ของโมเลกุล ดังที่พบในเบตาแคโรทีน (beta-carotene) สามารถจำแนกแคโรทีนอยด์เป็น 2 กลุ่ม คือ hydrogenated และ oxygenated carotenoid derivatives โดยกลุ่ม hydrogenated carotenoid derivatives หรือกลุ่มแคโรทีน (carotene) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ทำให้เป็นสารไม่มีขั้วและละลายได้ในไขมัน ตัวอย่างแคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ เบตาแคโรทีน และ ไลโคพีน เป็นต้น ส่วนกลุ่มที่ 2 คือกลุ่ม oxygenated carotenoid derivatives หรือกลุ่มแซนโทฟิล (xanthophyll) นั้นมีอะตอมของออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล จึงมีขั้วมากกว่าและละลายใน ไขมันได้น้อยกว่าแคโรทีนอยด์กลุ่มแรก ตัวอย่างแคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้ได้แก่ ลูทีน (lutein) ซีแซนทิน (zeaxanthin) และแอสตาแซนทิน (Astaxanthin) (Simpson et al., 1989)

แหล่งที่พบเบต้าแคโรทีน

สัตว์ปีกไม่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ขึ้นมาเองได้ จึงจำเป็นต้องเสริมในอาหารโดยจุดประสงค์ของการใช้แคโรทีนอยด์ในอาหารไก่ไข่ เพื่อมุ่งเน้นปรับปรุงสีของไข่แดงให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค ด้วยแคโรทีนอยด์ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดสีในไข่แดงคือ กลุ่มของออกซีคาโรทีนอยด์ (Oxy carotenoid) หรือ แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) ที่พบในพืชส่วนมาก ได้แก่ ซีแซนทีน (Zeaxanthin) และ ลูทีน (Lutein) (Latscha, 1990)

แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่พบในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) และโครโมพลาสต์ (chromoplast) ของผลไม้ ดอกไม้ และใบพืช มีบทบาทสำคัญหลายอย่าง เช่น ป้องกันการทำลายเซลล์จากอนุมูลอิสระ (free radical) ปกป้องพืชในสภาวะที่ไม่เหมาะสม ปกป้องผลกระทบจากแสงแดดอย่างรุนแรง และที่สำคัญช่วยเพิ่มความเข้มสีของไข่แดง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่นิยมบริโภคไข่ไก่ที่มีสีแดงเข้ม บทความนี้กล่าวถึงเมทาบอลิซึม คุณประโยชน์ และบทบาทในการเพิ่มความเข้มสีไข่แดงของแคโรทีนอยด์ (อัจฉรา และมงคล, 2558) แนวคิดการนำพืชสมุนไพรที่มีผลทางยามาใช้ในอาหารไก่ไข่ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้ปราศจากผลตกค้างและเป็นการลดต้นทุนในการผลิต (ภุชงค์ และไพโชค, 2558) ซึ่งปัจจุบันแคโรทีนอยด์ได้แบ่งออกเป็น 2 แหล่งคือ

1) แคโรทีนอยด์ที่ได้จากธรรมชาติ พบทั้งในพืชและสัตว์ แคโรทีนอยด์ที่ได้จากพืชที่สำคัญได้แก่ พวกที่ให้สีเหลืองและสีแดง พบได้ทั่วไปในสิ่งมีชีวิต เช่น พืชชั้นสูง สาหร่าย สัตว์ และจุลินทรีย์ในพืช เช่น ผล ดอก และราก พบมากในผักที่มีสีส้ม เช่น แครอท มะเขือเทศ ฟักทอง เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบในตับเครื่องในสัตว์ กุ้งและผักใบเขียวเป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ให้สารสีที่สำคัญในอาหารสัตว์ปีก (อัจฉรา และมงคล, 2558; อุษาพร, 2558)

2) แคโรทีนอยด์สังเคราะห์ กลุ่มของแคโรทีนอยด์ที่สกัดออกมาเป็นสารสีสังเคราะห์มีการจำหน่ายเป็นการค้า เช่น อะโปคาโรทีนอล (Apocarotenal) แคนธาแซนทิน (Canthaxanthin) แอสทาแซนทีน (Astaxanthin) เป็นต้น (นันทวรรณ, 2547)

ดังนั้น แคโรทีนอยด์ จึงเป็นรงควัตถุที่พบในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) และโครโมพลาสต์ (chromoplast) ของผลไม้ ดอกไม้ และใบของพืช และยังพบได้ในสัตว์จุลชีพที่สังเคราะห์แสงได้ แคโรทีนอยด์มีบทบาทสำคัญหลายอย่าง เช่น ป้องกันการทำลายเซลล์จากอนุมูลอิสระ (free radical) ปกป้องพืชในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เกิดบาดแผล ป้องกันการติดเชื้อและการทำลายจากแสงแดด อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความเข้มสีของไข่แดง (Magels et al., 1993) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการบริโภคไข่แดงที่มีสีเข้ม

สัตว์ปีกสามารถสะสมแคโรทีนอยด์ได้ในปริมาณสูง ในทุกๆ เนื้อเยื่อ เช่น ผิวหนัง ขน เนื้อเยื่อไขมัน ไข่แดง ซึ่งจะสะสมได้ทั้งรูปเดิมโดยตรง เช่น Lutine, Zeaxanthin หรือ อาจถูกเปลี่ยนแปลงก่อนโดยกระบวนการเมตาโบลิซึม เช่น Centaxanthin, Guaraxanthin, และ Astaxanthin ทั้งสองกลุ่มนี้พบว่า แซนโทฟิลล์ เป็นสารแคโรทีนอยด์หลักพบที่ผิวหนังเนื้อเยื่อไขมันและไข่แดงในขณะที่แคโรทีน(เบต้า-แคโรทีน) พบอยู่ที่ Retina ของนัยตาและตับของสัตว์ปีก สำหรับไข่แดงจะพบแคโรทีนอยด์อิสระเป็นส่วนใหญ่ กุศล (2541) และ ไพฑรูย์ (2532) ให้ข้อมูลว่า แคโรทีนอยด์เป็นสารที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่พบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งบางตัวมีคุณสมบัติเป็น Provitamin A จะถูกเปลี่ยนมาเป็นวิตามิน เอ ที่ผนังลำไส้และตับ แต่ไม่มีคุณสมบัติเป็นสารสี เช่น สาร Bata- carotene ส่วนแคโรทีนอยด์ตัวอื่นซึ่งไม่มีคุณสมบัติเป็น Provitamin A จะถูกนำมาสร้างสีของไข่แดง หรือหนังของไก่โดยไม่มีการเปลี่ยนรูปแคโรทีนอยด์ถูกทำลายได้โดยการ Oxidation ในอุณหภูมิสูง จึงทำให้มีการสูญเสียของแคโรทีนอยด์ได้ เข็มทอง (2558) กล่าวว่า แคโรทีนอยด์ อยู่ในไมโครพลาสต์ และคลอโรพลาสต์ ได้แก่เม็ดสีเหลือง และ สีแสดแดง แคโรทีนอยด์ ถ้าอยู่ในไมโครพลาสต์จะเห็นเป็นสีเหลืองแสด หรือสีแดง เช่นแครอท มะเขือเทศ ถ้าอยู่ในคลอโรพลาสต์จะเห็นเป็นสีเขียว เช่น ผักใบเขียว แคโรทีนอยด์ เป็นสารพวกไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวคาร์บอน 40 อะตอมมี 3 ชนิด ได้แก่ 1) แคโรทีน ได้แก่ อัลฟา และ เบตาแคโรทีน หรือเรียกอีกอย่างว่า Provitamin A เพราะเปลี่ยน วิตามิน A ได้ในลำไส้ 2) แซนโทฟิลล์ ได้แก่ ลูทีอีน นีโอแซนโทฟิลล์ และคลิบโตแซนทีน พบมากใน ผักใบเขียว ดอกดาวเรือง ข้าวโพดเหลือง 3) ไลโคเพน พบใน ฟักทอง มันเทศเหลือง มะเขือเทศ เป็นต้น สุวรรณ (2529) กล่าวว่า สีของไข่แดงเกิดจากแคโรทีนอยด์ในอาหาร โดยเฉพาะในพืชสีเขียว สีแดงส่วนใหญ่จะมีสารแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) เป็นหลักที่เหลือจะเป็นพวกแคโรทีนและคริบโตแซนทิน ปัจจุบันมีการสังเคราะห์ใช้ผสมลงในอาหารไก่ เพื่อให้สีไข่แดงเข้มขึ้นดูสีของไข่แดงมีตั้งแต่สีเหลือง จนถึงแดงจัด ความเข้มของสีเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับจำนวนและชนิดของเม็ดสีต่างๆ ในอาหารที่กินเข้าไป เม็ดสีหรือวัตถุสีหรือเรียกว่า Pigments มีอยู่ทั่วไปในฟองไข่ พบมากในไข่แดงประมาณ 0.40 มิลลิกรัมต่อฟองในไข่ขาว ประมาณ 0.03 มิลกรัมต่อฟองและในส่วนอื่นๆ อีกเล็กน้อย สุทัศน์ (2525) กล่าวถึงคุณภาพภายในไข่ เป็นผลจากสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารที่ให้ไก่กิน ถ้าให้อาหารที่มีสีเขียวมากหรือมีข้าวโพดที่มีสีเหลืองมากจะทำให้สีไข่แดงเข้มมากขึ้น ซึ่งหากขาดอาหารที่มีแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) ทำให้ไข่แดงมีสีเหลืองซีด ปัจจุบันจึงนิยมเติมสารพวกแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ในอาหารไก่ที่ใช้ปลายข้าวแทนข้าวโพด เพื่อให้ไข่แดงมีสีเข้มขึ้น พบใน ฟักทอง มันเทศ มะเขือเทศ

การย่อยและการดูดซึมแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์ชนิด เบตาแคโรทีน ประกอบไปด้วยโมเลกุลของเรตินอล (retinol) 2 โมเลกุล ซึ่งเมื่ออาหารตกลงมาถึงบริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น พบว่าเอนไซม์เอสเทอร์ ไฮโดรเลส (ester hydrolase) จากตับอ่อนจะทำการย่อยพันธะเอสเทอร์ของเรตินิลเอสเทอร์ได้เป็นเรตินอลและกรดไขมันอิสระ หลังจากนั้นเรตินอลจะเข้าไปอยู่ในกรดไขมันเล็กๆ หรือ ไมเซลล์ (micell) เพื่อเข้าสู่กระบวนการดูดซึมและเข้าสู่เซลล์ดูดซึมของลำไส้เล็กเรตินอลจะแพร่กระจายเข้าสู่ไซโทพลาซึม (cytoplasm) ของเซลล์ดูดซึมเรตินอลในเซลล์ดูดซึม จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของเรตินิลเอสเทอร์อีกครั้ง โดยการทำงานของเอนไซม์เอซิลโคเอ กรดพาลมิติค (palmitic acid) และ กรดสเตียริก (stearic acid) ได้เป็นเรตินิลเอสเทอร์ หรือเรตินอลจะรวมตัวกับ acyl coenzyme A หรือ acyl co-A ได้เป็นเรตินิล เอสเทอร์ก็ได้ จากนั้นเรตินิลเอสเทอร์ จะเข้าไปอยู่ในไคโลไมครอน (chylomicron) และเคลื่อนเข้ากระแสโลหิตต่อไป ถ้าหากเบตาแคโรทีนแพร่เข้าสู่ไซโทพลาสซึมของเซลล์ดูดซึมโดยตรง จะถูกย่อยโดยเอนไซม์ β-carotene-15,15-dihydroxygenase ได้เป็นเรตินัล (retinal) 2 โมเลกุล จากนั้นเรตินัล จะถูกเปลี่ยนเป็นเรตินอล โดยเอนไซม์รีดักเตส (reductase) สุดท้ายจะได้เรตินิลเอสเท อร์และเข้าสู่ไคโลไมครอนโดยเรตินิลเอสเทอร์จะอยู่ในบริเวณแกน (lipid core) ของไคโลไมครอน ซึ่งไคโลไมครอนจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิตและถูกย่อยด้วยเอนไซม์ไลโปโปรตีนไลเปส (lipo protein lipase) ได้เป็นกากไคโลไมครอน (chy lomicron remnants) ซึ่งส่วนใหญ่จะเคลื่อนเข้าสู่ตับ เนื่องจากเซลล์ตับมีตัวรับกากไคโลไมครอน ในขณะที่กากไคโลไมครอนเคลื่อนผ่านผนังเซลล์ตับ พบว่า เรตินิลเอสเทอร์จะถูกย่อยโดยเอนไซม์เรตินิลเอสเทอร์ไฮโดรเลส ที่อยู่บริเวณผนังเซลล์ตับได้เป็นเรตินอล จากนั้นเรตินอลจะเคลื่อนที่เข้าไปยังบริเวณเอนโดพลาสมิค เรติคิวลัม (endoplasmic reticulum) เพื่อจะจับกับตัวรับเรตินอล (retinol binding protein, RBP) ได้เป็นสารประกอบ (retinol-RBP complex) และหลังจากนั้นสารประกอบนี้จะถูกเคลื่อนเข้าสู่กอลจิบอดี (golgi body) เพื่อการหลั่งออกนอกเซลล์ตับต่อไป Ganguly et al. (1953)

การสะสมสารสีในไข่แดง

รงควัตถุในไข่แดงนั้นเนื่องมาจากแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแซนโธฟิล (xanthophyls) ได้มาจากอาหารที่ไก่กินและอาหารที่ต่างกันทำให้สีของไข่แดงต่างกันไปด้วย การสะสมสารสีในไข่แดงจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่แม่ไก่ไข่กินอาหาร (กลางวัน) มากกว่าในช่วงเวลาที่แม่ไก่ไข่พักผ่อน (กลางคืน) สังเกตได้จากไข่แดงมีความเข้มสีแบ่งเป็นชั้นสีเข้ม (dark yolk layer) และจาง (light yolk layer) สลับกันไป เนื่องจากการพัฒนาของไข่แดงเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ทำให้ในช่วงที่ไก่ไข่กินอาหาร สารสีที่อยู่ในอาหารจะถูกดูดซึมจากทางเดินอาหารและเข้าสู่กระแสเลือดส่งผ่านตับมาสะสมยังไข่แดงเป็นผลให้ไข่แดงในช่วงเวลานี้มีความเข้มสีมากกว่าช่วงที่ไก่ไม่มีการกินอาหาร หรือ

เวลาที่ไก่พักผ่อนทำให้ไม่มีสารสีที่จะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิตส่งผลให้ไข่แดงที่มีการพัฒนา ทำให้ช่วงดังกล่าวมีความเข้มสีน้อยกว่าในช่วงที่แม่ไก่กินอาหาร ทำให้ชั้นสีไข่แดงที่มีความเข้มสีต่างกัน (Well and Belyavin, 1985)

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้แคโรทีนอยด์เพื่อให้เกิดสีในไข่แดง

ปัจจัยที่มีต่อการทำให้สีไข่แดงเข้มขึ้นมีอยู่หลายประการ ดังนี้

1) วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ มีวัตถุดิบหลายชนิดที่ทำปฏิกิริยากับสารแคโรทีนอยด์ ทำให้ลดอัตราการเกิดสารสีในไข่แดง เช่น รำละเอียด รำข้าว จะทำให้สีของไข่แดงลดลง และธัญพืชที่มีสีเหลือง เช่น ข้าวโพดช่วยให้สีของไข่แดงเข้มขึ้น (ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2562)
2) ไขมัน เช่น ไขมันจากพืชหรือไขมันจากสัตว์ สีของไข่แดงขึ้นอยู่กับความอิ่มตัวของกรดไขมัน การดูดซึม และการสะสมของสารสีในไข่แดง สามารถทำาให้สูงขึ้นได้จากการใช้ร่วมกับไขมันในสูตรอาหาร เนื่องจาก สารสีมีคุณสมบัติละลายได้ในไขมัน และใช้ไขมันเป็นตัวพาเข้าไปสะสมในไข่แดง แต่ต้องระวังในเรื่องการเกิดกระบวนการออกซิเดชั่นของไขมัน เนื่องจากการเกิดกระบวนการออกซิเดชั่นทำให้สูญเสียคุณสมบัติการให้สีของการรงควัตถุ (Dua et al., 1967)
3) ปริมาณของวิตามิน เอ ในอาหาร การใช้วิตามินเอในอาหารเกินระดับ 52,800 หน่วยสากลต่อกิโลกรัมอาหารจะทำให้สีของไข่แดงซีดจางลง (Hayes, 1966)
4) ปริมาณของแร่ธาตุแคลเซียม อาหารไก่ไข่ที่มีปริมาณแคลเซียมสูงมีผลทำให้สีของไข่แดงลดลง (Treat, 1964)
5) แหล่งผลิตวัตถุดิบที่ต่างกัน มีปริมาณแซนโธฟิลในวัตถุดิบต่างกัน ส่งผลให้สีของไข่แดงแตกต่างกัน (ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2562)
6) การเก็บวัตถุดิบ ส่วนใหญ่มักเก็บไว้ประมาณ 1 ปี หรือ อาจมากกว่า อาจทำให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ได้ และการจัดเก็บที่ไม่ดีส่งผลทำให้ปริมาณแซนโธฟิลล์ในเมล็ดพืชลดลง (ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2562)
7) ฤดูกาล ช่วงฤดูร้อนสารสีถูกออกซิเดชั่นได้ง่ายกว่าและแม่ไก่ไข่มีการกินอาหารที่น้อยกว่าในฤดูหนาว จึงทำาให้แม่ไก่ไข่ที่ เลี้ยงในช่วงฤดูร้อนให้ไข่ที่มีความเข้มสีไข่แดงลดลงจากในช่วงฤดูหนาว ทั้งที่กินอาหารที่มีปริมาณสารสีในอาหารเท่ากัน และ พบว่าในฤดูใบไม้ร่วง แม่ไก่ไข่กินอาหารในปริมาณที่น้อยกว่าฤดูหนาว (Treat, 1964)
8) สุขภาพสัตว์ เชื้อโรคที่ไปลดการดูดซึมของสารอาหารของทางเดินอาหารจะลดการนำพาสารแคโรทีนอยด์ด้วย เช่น การติดเชื้อ Coccidiosis นอกจากจะทำให้ผลผลิตลดลงแล้วยังทำให้สีของไข่แดงลดลงด้วย (ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2562)

อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (Free radicals) หมายถึง อะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยวอยู่ในออร์บิทัลวงนอกสุด เป็นสารที่ไม่เสถียรและว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยสูญเสียหรือให้อิเล็กตรอนแก่สารอื่นเพื่อให้อิเล็กตรอนอยู่เป็นคู่ อนุมูลอิสระที่มีความสำคัญทางชีวภาพ เช่น อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนอิออน (superoxide anion, $O2^-$) อนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl, OH^-) อนุมูลเปอร์ออกซิล (peroxyl, ROO^-) แหล่งกำเนิดอนุมูลอิสระ มี 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยจากภายในและภายนอกร่างกายปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย เช่น การทำงานของเอนไซม์แซนทีนออกซิเดส (xanthine oxidase, XOD) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ในกระบวนการสลายเบสพิวรีน โดยเปลี่ยนไฮโปรแซนทีน (hypoxanthine) เป็นแซนทีน (xanthine) ซึ่งแซนทีนเกิดปฏิกิริยาต่อเปลี่ยนเป็นกรดยูริก (uric acid) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเกิดอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนอิออน (Pei and Li, 2000) ดังปฏิกิริยา

$$\text{Hypoxanthine} + O_2 + H_2O \xrightarrow{\text{XOD}} \text{xanthine} + H_2O_2 + O_2^-$$

$$\text{Xanthine} + O_2 + H_2O \xrightarrow{\text{XOD}} \text{uric acid} + H_2O_2 + O_2^-$$

ถ้าสัตว์ได้รับความร้อนจะส่งผลให้เกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) ซึ่งเป็นภาวะที่อนุมูลอิสระมากจนสารต้านอนุมูลอิสระมีไม่เพียงพอ ส่งผลต่อการทำลายดีเอ็นเอ โปรตีน ไขมัน และโมเลกุลขนาดเล็กอื่น ๆ และยังส่งผลให้การกินได้ อัตราการเจริญเติบโต การให้ผลผลิตไข่ คุณภาพไข่ลดลง และอัตราการตายมากขึ้น (Bolukbasi et al., 2007; Scheideler et al., 2010)

สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) (โอภา และคณะ, 2550) เป็นสารที่ทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยตรงเพื่อกำจัดอนุมูลอิสระให้หมดไปหรือยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ ในร่างกายมีเอนไซม์บางชนิดที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น เอนไซม์ซุปเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเทส (Superoxide dismutase, SOD) สามารถขจัดอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนอิออน โดยเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

$$2O_2^- + 2H^+ \xrightarrow{\text{SOD}} H_2O_2 + O_2$$

เอนไซม์กลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส (Glutathione peroxidase, GPx) ทำงานร่วมกับธาตุซิลีเนียมและกลูตาไทโอน (GSH) โดยเร่งปฏิกิริยารีดักชันของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ได้แก่ลิพิดเปอร์ออกไซด์ (ROOH) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำและกลูตาไธโอนไดซัลไฟด์ (GSSG) นอกจากนี้สามารถสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่ให้เกิดปฏิกิริยาเฟนตัน ดังสมการ

$$\text{ROOH} + 2\text{GSH} \xrightarrow{\text{GPx, Se}} \text{ROH} + \text{GSSG} + H_2O$$

$$H_2O_2 + 2\text{GSH} \xrightarrow{\text{GPx, Se}} H_2O + \text{GSSG}$$

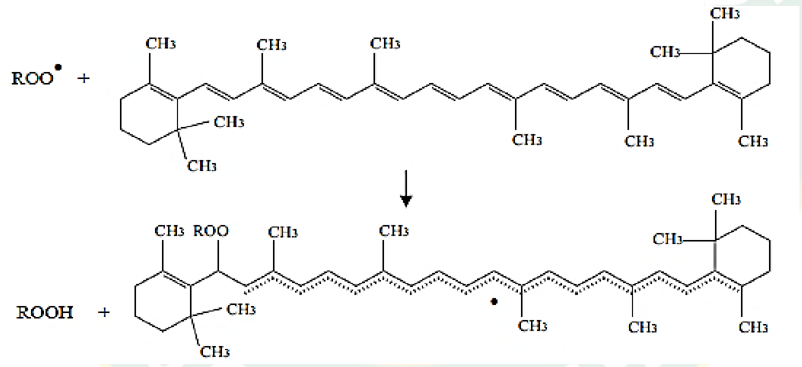
ปัจจุบันพบว่า ผัก ผลไม้ และพืชสมุนไพร มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากมีสารเคมีหลายชนิดที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบ เช่น วิตามินซี (vitamin C) พบมากในผักและผลไม้สด เช่น ดอกขี้เหล็ก ผักหวาน มะรุม ส้ม มะขามป้อม เมื่อวิตามินซี ($AscH_2$) อยู่ในร่างกายจะแตกตัวให้ไฮโดรเจนแล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูป ascorbate anion ($AscH^-$) ซึ่งเมื่อให้อิเล็กตรอนและไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ เช่น อนุมูลไฮดรอกซิล อนุมูลเปอร์ออกซิล และอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนอิออนจะได้อนุมูล semidehydroascorbate (Asc^-) ที่เสถียร ดังสมการ

$$AscH^- + OH \longrightarrow H2O + Asc^-$$

$$AscH^- + LOO^- \longrightarrow LOOH + Asc^-$$

$$AscH^- + O_2^- + H^+ \longrightarrow H_2O_2 + Asc^-$$

เบต้าแคโรทีน (β-carotene) พบในผัก ผลไม้ที่มีสีเหลืองส้ม เช่น ฟักทอง แครอท มะละกอ มะเขือเทศ ยอดแค ใบกะเพรา ใบขี้เหล็ก ผักเชียง เมื่อเบต้าแคโรทีนดักจับอนุมูลอิสระจะได้อนุมูลใหม่ที่เสถียรเพราะสามารถเกิดการเรโซแนนท์ของอิเล็กตรอนในโครงสร้างได้ ดังสมการ

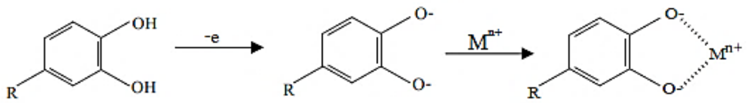


ภาพที่ 6 เกิดการเรโซแนนท์ของอิเล็กตรอนของเบต้าแคโรทีน

ที่มา: สุกัญญา (2555)

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) เป็นวงแหวนอะโรมาติก มีหมู่แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อย 1 หมู่ สารฟลาโวนอยด์จัดเป็นสาระสำคัญของกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกหลายชนิดมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูง แต่ยังไม่มีรายงานยืนยันที่ชัดเจนถึงกลไกการออกฤทธิ์ของสารต่างชนิดกันกลไกหลักในการออกฤทธิ์ของสารกลุ่มนี้มีหลายกลไก เช่น

1) เป็นสารคีเลต (chelating agent) สารที่มีโครงสร้างเป็น ortho-dihydroxyl group ทำหน้าที่จับกับโลหะทรานซิชัน เช่น Fe^{2+} และ Cu^{2+} ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเกิดอนุมูลอิสระ กลไกในการจับโลหะของสารฟีนอลิกหรือฟลาโวนอยด์ (Jirum and Srihanam, 2011) ดังภาพที่ 7



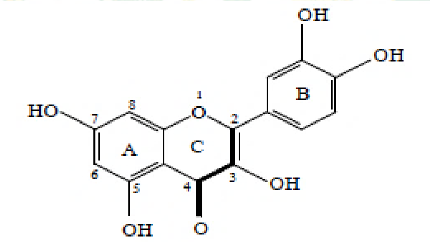
ภาพที่ 7 กลไกในการจับโลหะของสารฟีนอลิกหรือฟลาโวนอยด์

ที่มา: Jirum and Srihanam (2011)

2) ดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) สารฟลาโวนอยด์และสารฟีนอลิกหลายชนิดสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้โดยการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ เกิดอนุมูลอิสระใหม่ที่มีความเสถียรขึ้นเนื่องจากโครงสร้างสามารถเกิดการเรโซแนนท์ของอิเล็กตรอนได้ ดังสมการ (Valacchi et al., 2004)

$$R^{\cdot} + \text{Phenolic-OH} \longrightarrow \text{Phenolic-O}^{\cdot} + RH$$

ในกะเพราพบสารกลุ่มฟลาโวนอยด์และสารฟีนอลิกหลายชนิด โดยเฉพาะสารฟลาโวนอยด์ที่มีโครงสร้างตรงพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2-3 คอนจูเกทกับหมู่ 4-oxo ในวง C ดังภาพที่ 8 เมื่อให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระแล้วอนุมูลของฟลาโวนอยด์ฟีนอกซิล ซึ่งเสถียรเนื่องจากมีการเรโซแนนท์ของอิเล็กตรอนตลอดเวลา ซึ่งสารลักษณะนี้จะมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง (โอภา และคณะ, 2550)



ภาพที่ 8 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ที่มา: โอภา และคณะ (2550)

3) เสริมฤทธิ์ (synergism) ของวิตามินอี (α-tocopherol) เมื่อให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ เช่น อนุมูลเปอร์ออกซิล (ROO-) จะถูกเปลี่ยนเป็นอนุมูลวิตามินอี (Valacchi et al., 2004)

$$\alpha\text{-tocopherol} + ROO^{\cdot} \longrightarrow \alpha\text{-tocopherol-O}^{\cdot} + ROOH$$

สารฟลาโวนอยด์และสารฟีนอลิกจะรีดิวส์อนุมูลวิตามินอีกลับมาเป็นวิตามินอีเหมือนเดิม ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ต่อไปอีก

$$\alpha\text{-tocopherol-O}^{\cdot} + \text{Flavanoid-OH} \longrightarrow \alpha\text{-tocopherol} + \text{Flavanoid-O}^{\cdot}$$

โดยปกติร่างกายคนเรามีกลไกในการกำจัดอนุมูลอิสระได้เอง แต่หากร่างกายมีอนุมูลอิสระมากเกินไปอาจเป็นอันตรายแก่ร่างกาย จึงจำเป็นต้องรับสารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอกร่างกาย ซึ่งโดยทั่วไปมีในผัก ผลไม้และพืชสมุนไพร ทำให้ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผัก ผลไม้ และพืชสมุนไพรกันมากขึ้น (สุกัญญา, 2555)

รูปแบบการเลี้ยงไก่ไข่

1) กรงตับ (Cage system)

ระบบการเลี้ยงไก่ไข่บนกรงตับเป็นการเลี้ยงไก่ไข่บนกรง 1-4 ชั้น ในประเทศไทยนิยมค่อนข้างมากโดยเฉพาะระบบอุตสาหกรรม เนื่องจากประหยัดพื้นที่เหมาะสำหรับเกษตรกรที่มีเนื้อที่จำกัด แต่ไก่จะไม่สามารถแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติได้ เป็นแบบการเลี้ยงที่เน้นให้ได้ผลผลิตไข่และผลกำไรสูงสุด ใช้ไก่สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตไข่สูง ให้อาหารที่ตรงตามความต้องการของไก่และเลี้ยงในโรงเรือนระบบปิดที่มีการควบคุมอุณหภูมิ สามารถเลี้ยงไก่ได้อย่างหนาแน่น รูปแบบจะแตกต่างกันไปตามสถานการณ์ เช่น สภาพอุณหภูมิ สายพันธุ์ไก่ วัสดุที่ใช้ทำกรง รูปแบบของโรงเรือน ฯลฯ รูปแบบกรงเลี้ยงไก่ไข่ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ กรงขังเดี่ยว (Single-bird cage) กรงขังรวมขนาดเล็ก (Small, multiple-bird cage) กรงขังรวมขนาดใหญ่ (Large, multiple-bird cage) กรงขังรวมฝูงขนาดใหญ่ (Colony cage) และกรงดัดแปลง (Modified cage) (ประภากร, 2560ข)

2) ปล่อยอิสระ (Free-range)

การเลี้ยงไก่ไข่แบบปล่อยอิสระ เป็นระบบการจัดการเลี้ยงไก่ที่มีพื้นที่ปล่อยให้ไก่ได้ออกมานอกโรงเรือนได้อย่างอิสระ ให้ไก่ได้แสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ เช่น การคลุกฝุ่น การไซร้ขน การจิกกินพืช ผัก แมลง ทำให้ไก่มีความสุข อารมณ์ดี สหภาพยุโรปมีข้อกำหนดมาตรฐานให้มีพื้นที่ภายนอกโรงเรือนอย่างน้อย 4 ตารางเมตร/ตัว และต้องมีพืชปกคลุมดิน ภายในคอกต้องมีคอนนอน มีรังไข่ให้ไก่อย่างน้อย 7 แม่/รัง (ศูนย์ปศุสัตว์อินทรีย์, 2553)

3) อินทรีย์ (Organic)

เกษตรอินทรีย์ (organic agriculture) เป็นระบบการจัดการเกษตรแบบองค์รวมที่เกื้อหนุนต่อระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพ เน้นการใช้วัสดุธรรมชาติ หลีกเลี่ยงการใช้วัตถุดิบจากการสังเคราะห์ และไม่ใช่พืช สัตว์ หรือจุลินทรีย์ ที่ได้มาจากเทคนิคการดัดแปลงพันธุกรรม มีการจัดการกับผลิตภัณฑ์ โดยเน้นการแปรรูปด้วยความระมัดระวัง เพื่อรักษาสภาพการเป็นเกษตรอินทรีย์และคุณภาพที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ในทุกขั้นตอน ซึ่งคล้ายกับการเลี้ยงปล่อยอิสระแต่จะแตกต่างกันในด้านการจัดการ พื้นที่ในเลี้ยง และอาหาร โดยจะต้องได้รับการรับรองมาตรฐานเป็นอินทรีย์ โดยมีปริมาณไม่ต่ำกว่า 70% สำหรับสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง และไม่ต่ำกว่า 65% ของวัตถุแห้ง สำหรับสูตรอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว โดยอาหารที่ไม่ได้มาจากระบบเกษตรอินทรีย์ต้องเป็นวัตถุดิบจากพืช สัตว์หรือแร่ธาตุจากธรรมชาติ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2561)

บัณฑิตา (2557) พบว่า รูปแบบการเลี้ยงไก่ไข่ไม่มีผลต่อสมรรถนะการให้ผลผลิต ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ คุณภาพไข่ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ไก่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (P>0.05) เช่นเดียวกับ Singh et al. (2009) รายงานว่าผลผลิตไข่ของไก่ที่เลี้ยงแบบปล่อยพื้น (floor pen) และขังกรง (cage) ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ Yakubu et al. (2007) พบว่าการเลี้ยงไก่ไข่แบบปล่อยพื้นให้ผลผลิตต่ำกว่าการเลี้ยงบนกรงเพราะไก่ไข่ที่เลี้ยงบนกรงมีโอกาสได้รับมลพิษทางอากาศและสัมผัสเชื้อโรคน้อยกว่าถึงแม้ว่าจะอยู่ในพื้นที่จำกัด และร่างกายจะดึงเอาพลังงานส่วนหนึ่งไปใช้ในการป้องกันและรักษาโรค ในแง่ของการกินอาหาร พบว่า ไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบปล่อยพื้นกินอาหารมากกว่าไก่ไข่ที่เลี้ยงบนกรง ซึ่งโดยปกติแล้วคุณภาพไข่จะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์และอายุของไก่ แต่อย่างไรก็ตามการจัดการโรงเรือนและรูปแบบการเลี้ยงไก่ไข่เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพไข่

ระบบการเลี้ยงไก่ไข่แบบกึ่งขังกึ่งปล่อย

ระบบการเลี้ยงไก่แบบกึ่งปล่อย (Semi-free range laying hens system) เป็นระบบการเลี้ยงที่มีโรงเรือนให้ไก่นอนในเวลากลางคืน และปล่อยให้ออกมานอกโรงเรือนได้ในเวลากลางวัน โดยมีพื้นที่เพียงพอให้ไก่อยู่ได้อย่างสบาย และไม่ขัดต่อหลักสวัสดิภาพสัตว์ สำหรับประเทศไทยยังไม่ได้มีการกำหนดมาตรฐานของการเลี้ยงไก่แบบกึ่งปล่อยเอาไว้ แต่ในสหภาพยุโรป โดยเฉพาะฝรั่งเศสซึ่งถือเป็นต้นแบบของการเลี้ยงไก่ในระบบกึ่งปล่อย การเลี้ยงระบบการเลี้ยงแบบกึ่งปล่อยกำหนดให้ต้องมีพื้นที่ปล่อยออกสู่ภายนอก เพื่อให้ไก่ได้ออกกำลังกาย ในสหภาพยุโรปและฝรั่งเศสกำหนดให้พื้นที่ปล่อยต้องปกคลุมด้วยพืชเหมือนอยู่ในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ ส่วนพันธุ์ไก่ที่ใช้เลี้ยง ระยะเวลาในการเลี้ยง อาหารที่ใช้ และความหนาแน่นภายในโรงเรือนมีความแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ (วิทธวัช และปภาพินท์, 2553)

อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงไก่ให้เป็นไปตามมาตรฐานปศุสัตว์อินทรีย์ (มกอช.9000 เล่ม 2-2548) นั้นทำได้ยาก เนื่องจากมีเงื่อนไขหลายประการ ดังนั้นควรจะเริ่มต้นจากระบบการเลี้ยงไก่แบบปล่อยอิสระ (Free-range system) เพื่อเป็นรากฐานของการเลี้ยงไก่ในระบบอินทรีย์ แต่เนื่องจากมีพื้นที่ในการเลี้ยงมีค่อนข้างจำกัดเพียง 1 ตร.ม./ตัว ซึ่งเป็นไปตามสหภาพยุโรปมีข้อกำหนดมาตรฐานการเลี้ยงไก่แบบปล่อย (Fanatico, 2006) โดยการทดลองในครั้งนี้จึงทำการวิจัยในขั้นเริ่มต้นโดยการเลี้ยงไก่ไข่ด้วยระบบกึ่งขังกึ่งปล่อย เพื่อจะนำไปสู่ระบบการเลี้ยงไก่แบบปล่อยอิสระในอนาคต

หลักสำคัญในการพิจารณาการเลี้ยงไก่ไข่แบบปล่อย

ศูนย์ปศุสัตว์อินทรีย์ (2553) ได้ทำการสรุปหลักการสำคัญในการเลี้ยงไก่ไข่แบบปล่อยไว้ ดังนี้

1) พันธุ์ไก่ไข่ ควรเลือกใช้พันธุ์ที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมการเลี้ยงแบบปล่อย มีความสามารถในการหากินตามธรรมชาติได้ดี ใช้ประโยชน์จากอาหารสัตว์ที่มีในท้องถิ่นได้ดี ทนโรค ให้ผลผลิตดี และไม่ตัดปาก
2) การเลือกพื้นที่ ต้องเป็นพื้นที่ห่างจากที่อยู่อาศัย อาจเป็นสวนหลังบ้าน สวนผลไม้ สวนป่า หรือที่โล่งมีหญ้าปกคลุม เมื่อเลือกพื้นที่ได้แล้วกั้นบริเวณเลี้ยงด้วยอวนหรือตาข่าย จำนวนไก่ที่เลี้ยงไม่ควรเกิน 200-300 ตัวต่อไร่ หรือขึ้นอยู่กับความหลากหลายทางชีวภาพธรรมชาติ
3) โรงเรือน เป็นที่หลบแดด ฝน หลบภัยให้กับสัตว์ พื้นที่ภายในโรงเรือน 4-5 ตัวต่อตารางเมตร ภายในโรงเรือนมีคอนนอน มีรังไข่อย่างน้อย 1 รัง ต่อแม่ไก่ 7 ตัว
4) อาหารสัตว์ ส่วนหนึ่งมาจากธรรมชาติ โดยที่การเลี้ยงไก่ไข่แบบปล่อยอิสระ เน้นการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ท้องถิ่น ฉะนั้นสูตรอาหารสัตว์จะไม่เป็นสูตรสำเร็จตายตัว แต่ขึ้นอยู่กับสภาพการเลี้ยงแบบปล่อยอิสระ

โรงเรือนและพื้นที่เลี้ยงไก่ระบบปล่อยอิสระ

ศูนย์ปศุสัตว์อินทรีย์ (2553) กำหนดลักษณะโรงเรือนและพื้นที่เลี้ยงไก่ระบบปล่อยอิสระ ดังนี้

1) ที่ตั้งฟาร์มควรห่างไกลจากชุมชน เป็นที่ดอนน้ำไม่ท่วม
2) เป็นพื้นที่ที่สามารถปลูกหญ้าสำหรับให้ไก่กินได้ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ และเป็นพื้นที่ที่ไม่เคยใช้สารเคมีที่ห้ามใช้อย่างน้อย 3 ปี หรือได้มีการตรวจสอบคุณภาพดิน ว่าปราศจากสารเคมี หรือโลหะหนักที่เป็นอันตราย
3) โรงเรือนและพื้นที่ปล่อยเลี้ยงอิสระต้องแยกจากพื้นที่พักอาศัยชัดเจน โดย ยึดหลักในโรงเรือนใช้พื้นที่ 0.5 ตารางเมตร/ตัว พื้นที่ปล่อยอิสระมีหญ้าให้กิน 5 ตารางเมตร/ตัว
4) พื้นโรงเรือนควรเป็นคอนกรีต ต้องมีวัสดุรองพื้นคอกหนา 3-5 นิ้ว และต้องมีรังไข่ 1 ช่อง/แม่ไก่ 4 ตัว มีประตูเข้าออก 2 ด้าน เพื่อหมุนเวียนปล่อยไก่ออกสู่แปลง

การเลี้ยงไก่รุ่นถึงไข่

เตรียมโรงเรือนพร้อมอุปกรณ์ แปลงหญ้า อาหารและน้ำให้พร้อมก่อนนำไก่เข้ามาเลี้ยง เมื่อไก่มาถึงฟาร์ม ควรเลี้ยงขังในโรงเรือนประมาณ 5 วัน เพื่อให้ไก่ปรับตัวและคุ้นเคยกับสภาพแวดล้อม หลังจากนั้นปล่อยให้ไก่ออกมาภายนอกโรงเรือนได้อย่างอิสระในช่วงเช้าและนำไก่กลับเข้าโรงเรือนในช่วงเย็น ซึ่งไก่ควรได้รับแสงสว่างตามธรรมชาติ หรือ หากมีการเพิ่มแสงควรให้แสงสว่าง ที่ไม่จ้าเกินไป (15 ชั่วโมง/วัน) ทำความสะอาดอุปกรณ์ให้น้ำทุกวัน และถังอาหารอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง และคัดแม่ไก่ที่ไม่ให้ไข่ออกจากฝูง โดยสังเกตจากสีของใบหน้าที่ซีด แหลม หงอนหดเล็ก กระดูกเชิงกรานแคบ และไม่เลี้ยงรวมกับไก่พ่อพันธุ์ เนื่องจากอาจจะทำให้ไข่ที่ได้มีเชื้อและสิ้นเปลืองอาหาร (กรมปศุสัตว์, 2559) อุปกรณ์ให้อาหารใช้ถังแขวนสำหรับไก่ใหญ่ 1 ถัง/ไก่ 25 ตัว โดยแบ่งให้วันละ 2 ครั้ง และมีอาหารให้กินอย่างเพียงพอ และอุปกรณ์ให้น้ำใช้ถังแขวนขนาด 8 ลิตร (1 ถัง/ไก่ 50 ตัว) โดยมีน้ำให้กินตลอดเวลา

ความต้องการอาหารของไก่ไข่

ไก่ไข่เลี้ยงมีขนาดตัวที่เล็กและมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าไก่เนื้อ ดังนั้นไก่ไข่ระยะการเจริญเติบโตช่วงแรกจะมีปริมาณความต้องการโภชนะต่ำกว่าไก่เนื้อ แต่ไก่ไข่ระยะที่ให้ผลผลิตไข่จะต้องการอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนะสูงขึ้นโดยเฉพาะแคลเซียม ทั้งนี้เนื่องจากผลผลิตไข่ประกอบด้วยสารอาหารสูง และไก่ให้ผลผลิตไข่สูงเช่นเดียวกัน โดยควรมีการจำกัดอาหารไก่ไข่ในระยะที่กำลังเจริญเติบโตเพื่อยืดระยะในการเจริญพัฒนาของระบบสืบพันธุ์ ทั้งนี้เพื่อลดจำนวนไก่ที่ให้ผลผลิตไข่ที่มีขนาดเล็กก่อนระยะที่ไก่ให้ผลผลิตไข่ ไก่ไข่มีปริมาณความต้องการแคลเซียมสูงสหรับการสร้างเปลือกไข่ แม่พันธุ์ไก่ไข่ควรได้รับอาหารที่มีระดับของแร่ธาตุและวิตามินอย่างเพียงพอต่อความต้องการของร่างกายเพื่อประสิทธิภาพในการผลิตไข่ แสดงดังตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ความต้องการโภชนะของไก่ไข่

ความต้องการโภชนะในสูตรอาหาร	ไก่ไข่สาวก่อนไข่ (อายุ 14-20 สัปดาห์)	ไก่ระยะให้ไข่ (กินอาหาร 90-100 g/d)	ไก่ระยะให้ไข่ (กินอาหาร 100-110 g/d)
พลังงาน (kcal/kg)	2,800	2,900	2,900
โปรตีน (%)	14.50	17.70	16.00
แคลเซียม (%)	1.05	4.15	3.75
ฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ (%)	0.50	0.39	0.35
ไลซีน (%)	0.80	0.79	0.71
เมทไธโอนีน+ซีสทีน (%)	0.56	0.67	0.61

ที่มา: กรมปศุสัตว์ (2560)

ตารางที่ 3 ความต้องการโภชนะในช่วงให้ผลผลิตของไก่ไข่สายพันธุ์ Hy-Line Brown

ระยะการให้อาหาร	ช่วงการให้ไข่สูงสุด (ไข่ฟองแรก-ไข่ลดลง 2% หลัง peak)	ให้ไข่ระยะที่ 2 (หลัง peak ให้ไข่ 89%)	ให้ไข่ระยะที่ 3 (ผลผลิตไข่ 85-88%)	ให้ไข่ระยะที่ 4 (ผลผลิตไข่น้อยกว่า 85%)
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้	2,778-2,911	2,734-2,867	2,679-2,867	2,558-2,833
โปรตีนหยาบ (กรัม/วัน)	17.00	16.75	16.00	15.50
โซเดียม (มก./วัน)	180	180	180	180
คลอไรด์ (มก./วัน)	100	100	100	100
กรดไลโนเลอิก (มก./วัน)	1.00	1.00	1.00	1.00
มาตรฐานกรดอะมิโนที่ย่อยได้ที่ปลายลำไส้เล็ก/กรดอะมิโนทั้งหมด				
ไลซีน (มก./วัน)	830/909	800/876	780/854	750-821
เมทไธโอนีน (มก./วัน)	407/437	392/422	382/411	360/387
เมทไธโอนีน+ซีสตีน (มก./วัน)	714/805	688/776	663/748	630/711
ทรีโอนีน (มก./วัน)	581/684	560/659	546/642	525/618
ทริปโตเฟน (มก./วัน)	174/208	168/201	164/196	158/188
อาร์จินีน (มก./วัน)	863/928	832/895	811/872	780/839
ไอโซลิวซีน (มก./วัน)	647/696	624/671	608/654	585/629
วาลีน (มก./วัน)	730/806	704/776	686/757	660/728

ดัดแปลงจาก: Hy-line international (2016)

หลักสวัสดิภาพสัตว์

การเลี้ยงไก่แบบปล่อยเป็นระบบการเลี้ยงไก่ที่ปล่อยให้ไก่ได้ออกมาภายนอกกรงหรือโรงเรือนได้อย่างอิสระโดยเป็นพื้นที่ที่มีหญ้าปกคลุมอย่างน้อย 4 ตารางเมตรต่อตัวสำหรับในโรงเรือนต้องมีคอนนอนมีรังไข่ให้ไก่อย่างน้อย 7 ตัวต่อ 1 รังเพื่อให้ไก่สามารถแสดงพฤติกรรมได้ตามธรรมชาติมีผลทำให้ไก่มีสุขภาพแข็งแรงจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้ยาป้องกันและรักษาโรคส่งผลต่อการลดต้นทุนในการเลี้ยงให้กับเกษตรกรและเพิ่มรายได้ด้วยไข่ไก่อินทรีย์ซึ่งจะมีราคาที่สูงกว่าไข่ไก่ปกติและที่สำคัญคือดีต่อสุขภาพทั้งผู้เลี้ยงและผู้บริโภคด้วยสวัสดิภาพสัตว์ (Animal welfare) หมายถึงคุณภาพที่ดีของสัตว์บนพื้นฐานการคำนึงถึงหลักประการคือสภาพทางร่างกายสรีรวิทยาของสัตว์และสภาพทางจิตใจของสัตว์การมีสวัสดิภาพที่ดีจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดความเครียดทำให้สัตว์แข็งแรงมีภูมิต้านทานโรคตามธรรมชาติภายใต้กรอบการบริหารจัดการฟาร์ม 5 ประการ ได้แก่ 1. สัตว์ต้องปราศจากความหิวและกระหาย (Freedom from hunger and thirst) ด้วยการจัดให้สัตว์ได้รับน้ำสะอาดและอาหารที่มีคุณภาพตามความต้องการของสัตว์อย่างเพียงพอเพื่อให้สัตว์มีสุขภาพที่ดีและแข็งแรง 2. สัตว์ต้องปราศจากความไม่สะดวกสบาย (Freedom from discomfort) ด้วยการจัดสภาพ

แวดล้อมที่เหมาะสมเช่นการมีร่มเงามีพื้นที่พักผ่อนที่สะดวกสบายและสะอาดเป็นต้น 3. สัตว์ต้องปราศจากความเจ็บปวดได้รับบาดเจ็บหรือเชื้อโรค Freedom From Pain, Injury or Disease) ด้วยการป้องกันหรือหากสัตว์ได้รับบาดเจ็บหรือเกิดโรคโดยต้องชันสูตรหรือรักษาโดยเร็ว 4. สัตว์ต้องได้แสดงออกตามพฤติกรรมตามธรรมชาติ Freedom to Express Normal Behavior) ด้วยการจัดพื้นที่ให้เพียงพอมีอุปกรณ์ที่จำเป็นตามพฤติกรรมสัตว์และการให้อยู่รวมฝูงในสังคมสัตว์แต่ละชนิด 5. สัตว์ต้องปราศจากความกลัวและความกังวลใจ (Freedom หลักการบริหารจัดการฟาร์มทั้ง 5 นี้สอดคล้องกับการเลี้ยงไก่ไข่แบบอินทรีย์ซึ่งเป็นการเลี้ยงที่สามารถลดต้นทุนการผลิตและการสร้างมูลค่าเพิ่มอันเนื่องมาจากการให้ความสำคัญด้านคุณค่าและความปลอดภัยด้านโภชนาการ ซึ่งเป็นสินค้าในกลุ่มตลาดจำเพาะ (Niche Market) (ณรงฤทธิ์, 2559)

หลักการพื้นฐานการเลี้ยงสัตว์ปีกแบบไม่ขังกรงหรือการเลี้ยงปล่อย (outdoor) โดยมีโรงเรือนที่เหมาะสม เลี้ยงสัตว์ไม่หนาแน่น และเปิดให้สัตว์สามารถออกพื้นที่โล่งภายนอกโรงเรือนได้ตลอดเวลา พื้นที่ภายนอกควรมีหญ้าหรือพืชธรรมชาติปกคลุม เพื่อให้สัตว์ได้คุ้ยเขี่ยหากินพืชสัตว์และแมลงตามธรรมชาติ สัมผัสอากาศนอกโรงเรือน อาหารที่ได้รับรวมทั้งแปลงหญ้าต้องไม่ใช้ยาปฏิชีวนะหรือสารเคมี มีการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดีส่งเสริมสวัสดิภาพสัตว์ และมีระบบป้องกันโรคที่ดีเพื่อส่งเสริมสุขภาพสัตว์ให้แข็งแรงเป็นไปตามธรรมชาติ

พฤติกรรมธรรมชาติกับสวัสดิภาพของสัตว์

ไก่จัดอยู่ในลำดับ (order) Galliformes เป็นสัตว์ปีกที่มีน้ำหนักตัวค่อนข้างมากและหากินอยู่บนพื้นดิน ไก่มีวิวัฒนาการเพื่อหากินบนพื้นดินในเวลากลางวัน ตาของไก่จึงมีสัดส่วนของเซลล์รูปแท่งต่อเซลล์รูปกรวยที่ต่ำ ทำให้ความสามารถของการมองเห็นในเวลากลางคืนมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์ปีกที่หากินในเวลากลางคืน เช่น นกฮูกและนกแสก (Lisney et al., 2011) ดังนั้นเมื่อถึงเวลาพลบค่ำไก่แต่ละฝูงจะกลับไปเกาะคอนนอนในตำแหน่งเฉพาะของตัวเองและไก่บางตัวอาจชอบนอนบนพื้น (ground roosting) แต่ส่วนใหญ่จะนอนบนต้นไม้หรือ พุ่มไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไผ่ซึ่งมีหนามและใบช่วยปกคลุมให้ปลอดภัยจากการเข้าถึงและการมองเห็นของผู้ล่าเหยื่อ กระบวนการเกาะคอนเริ่มจากการเคลื่อนที่เข้าไปใกล้ ๆ ต้นไม้เป้าหมาย จากนั้นจึงใช้การกระโดด และ/หรือ บินขึ้นไปยังจุดที่จะใช้เกาะคอนซึ่งอยู่สูงจาก พื้นดินประมาณ 15-20 ฟุต ไก่ทั้งฝูงจะเกาะคอนนอน ในบริเวณเดียวกัน อาจเป็นต้นเดียวกันหรือต้นที่อยู่ติดกันและจะเกาะอยู่ในจุดนั้นตลอดทั้งคืน (Johnson, 1963)

(ก) เวลากลางวัน (ข) เวลากลางคืน

ภาพที่ 9 พฤติกรรมการเกาะคอนของแม่ไก่

โดยทั่วไปรูปแบบพฤติกรรมในรอบวันของไก่ค่อนข้างสม่ำเสมอ เริ่มจากการหาอาหารในช่วงเช้า อาบฝุ่นในช่วงเที่ยงวันและไซร้ขนในช่วงบ่าย ในขณะไซร้ขนไก่จะใช้จะงอยปากจัดขนที่เสียหายโดยนำเส้นขนมาเกี่ยวกันใหม่และนำไขมันจากต่อมยูโรไพเจียล (uropygial gland) ที่อยู่ด้านหลังบริเวณฐานของหาง มากระจายทั่วขนซึ่งจะช่วยให้ขนเข้ารูปและอยู่ในสภาพดีตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม ในช่วงบ่ายไก่ยังคงจะใช้เวลาส่วนใหญ่ค้นหาอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งก่อนเวลาพลบค่ำ (Keeling, 2002) ไก่และสัตว์สปีชีส์อื่นในลำดับ Galliformes เช่น ไก่งวงและนกกระทา จะใช้ฝุ่นหรือวัตถุที่มีลักษณะร่วนซุย สำหรับการคลุกฝุ่นมีหน้าที่สำคัญ 3 ประการ คือ ประการแรกช่วยขจัดไขมันส่วนเกินออกจากขน ซึ่งถูกขับออกมาจากต่อมยูโรไพเจียล และถูกนำมาเคลือบไว้กับขนในระหว่างการไซร้ขน ประการที่สองช่วยปรับปรุงโครงสร้างของขน โดยการจัดเรียงส่วนที่ใช้เกี่ยวกันของขน (barb) ทำให้ขนพองฟู แห้งและลดปริมาณรังแคของขน และประการสุดท้ายช่วยขจัดปรสิตภายนอกร่างกาย (ภาพที่ 10) ซึ่งถือว่าเป็นหน้าที่ปฐมภูมิของการอาบฝุ่น เมื่ออาบฝุ่นไก่เกือบทุกตัวจะอยู่ในท่านั่งหมอบและนอน ในไก่เต็มวัยจะมีขนที่พองฟูทั้งตัว (พิพัฒน์, 2559)

ภาพที่ 10 พฤติกรรมการคลุกฝุ่นของแม่ไก่

การคลุกฝุ่นและการเกาะคอนกับสวัสดิภาพของไก่ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วว่า ไก่ที่ดำรงชีวิตอิสระในธรรมชาติจะเกาะคอนนอนบนกิ่งไม้สูงในช่วงกลางคืนเพื่อลดความเสี่ยงจากผู้ล่าเหยื่อ ดังนั้นจึงมีเหตุผลเพียงพอที่จะคาดเดาว่าไก่ถูกคัดสรรโดยธรรมชาติ จากพฤติกรรมดังกล่าว สำหรับความสำคัญของการเกาะคอนในไก่บ้าน มีรายงานสนับสนุนงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า แม่ไก่ไข่จะแสดงอาการผิดหวัง เช่น กระสับกระส่าย เคลื่อนไหวมากขึ้น และดูคล้ายกับไม่ได้พักผ่อน (unrest) เมื่อถูกขัดขวางไม่ให้เข้าถึงคอนภายหลังจากปิดสวิตซ์ไฟส่องสว่าง (Olsson and Keeling, 2000) ถึงแม้ว่าระบบโรงเรือนของการเลี้ยงสัตว์ในเชิงการค้าแม่ไก่ไข่จะไม่ถูกรุกรานจากผู้ล่าเหยื่อ แต่หลายงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าแม่ไก่ไข่ยังคงมีแรงจูงใจสูงต่อการเกาะคอนนอนในเวลากลางคืน และเหมือนว่าพฤติกรรมนี้จัดเป็นพฤติกรรมที่มีลำดับความสำคัญสูง (Weeks and Nicol, 2006)

การติดตั้งคอนไว้ในกรงไก่ไข่สามารถช่วยปรับปรุงให้กระดูกไก่แข็งแรงขึ้น และการจัดเตรียมวัสดุร่วนซุยที่เหมาะสมส่งผลดีต่อสวัสดิภาพสัตว์ ประการแรก คือ สามารถช่วยกระตุ้นให้ไก่แสดงพฤติกรรมอาบฝุ่นออกมา (พิพัฒน์ และพรชัย, 2558) ประการที่สองการเข้าถึงวัสดุร่วนซุยช่วยให้พฤติกรรมผิดปกติบางอย่างที่เกิดขึ้นในระบบการเลี้ยงไก่เชิงการค้า อาทิ การจิกขนลดลง (Huber-Eicher and Sebö, 2001) การจิกขนคือการที่ไก่จิกขนไก่ตัวอื่นและดึงขนให้หลุดออกมา ทำให้ไก่ที่ถูกกระทำเกิดความเจ็บปวด และพฤติกรรมดังกล่าวอาจพัฒนาไปสู่การกินเนื้อพวกเดียวกันได้ (McAdie and Keeling, 2000) นอกจากจะเป็นปัญหาด้านสวัสดิภาพสัตว์แล้ว การจิกขนยังเป็นปัญหาในเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วย เนื่องจากไก่ที่ไม่มีขนต้องการอาหารเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาอุณหภูมิของร่างกาย (Tauson, 1980) ประการสุดท้ายการเข้าถึงวัสดุที่ร่วนซุยยังช่วยกระตุ้นพฤติกรรมธรรมชาติอื่น ๆ ได้แก่ การคุ้ยเขี่ยพื้น จิกพื้นและค้นหาอาหาร (Hughes and Channing, 1998)

พื้นฐานสำคัญในการประเมินสวัสดิภาพของปศุสัตว์ คือการให้สัตว์ได้แสดงพฤติกรรมธรรมชาติบางประเภทยังคงมีแรงจูงใจในสัญชาตญาณ เช่น การสร้างรัง และการเกาะคอนนอนของไก่ผลักดันให้สัตว์พยายามแสดงพฤติกรรมนั้นออกมา และการที่สัตว์อยู่ในสภาพแวดล้อมภายในกรงคอกหรือโรงเรือนจะไม่เอื้ออำนวยต่อการแสดงพฤติกรรมดังกล่าว ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเครียดที่เกิดจากการจัดการเลี้ยงสัตว์ไม่ดีจะส่งผลทั้งทางร่างกายและจิตใจของสัตว์ จากหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เป็นที่ทราบกันดีว่าความเครียดทำให้ภูมิคุ้มกันโรคลดลง เป็นความซับซ้อนของระบบในร่างกายของระบบประสาทและอวัยวะผลิตฮอร์โมน เมื่อเกิดความเครียดระบบประสาทจะส่งสัญญาณให้ต่อมใต้สมอง (hypothalamic-pituitary-adrenal Cortex axis) และต่อมหมวกไต (symphathetic-adenal-medullar axis) ทำให้ adrenal gland หลั่งฮอร์โมนที่ไปกดการสร้างภูมิคุ้มกันโรค ดังนั้นหากสัตว์เกิดความเครียดจะทำให้ภูมิต้านทานโรคลดลงและทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ เช่น สัตว์น้ำหนักลดลง ทำให้ผลผลิตลดลง คุณภาพเนื้อลดต่ำลง และอาจทำให้เกิดโรคส่งผลให้ต้องใช้ค่ารักษาพยาบาลเพิ่มสูงขึ้น (จินตนา, 2554)

ดังนั้นการเข้าใจความต้องการทางพฤติกรรมของสัตว์จะช่วยให้ผู้เลี้ยงสัตว์สามารถจัดเตรียมสภาพแวดล้อมหรือออกแบบที่อยู่อาศัยสำหรับเลี้ยงสัตว์ที่เหมาะสม โดยมีพื้นที่ปล่อยออกแปลงหญ้า (ภาพที่ 11) เพื่อส่งเสริมให้ปศุสัตว์มีคุณภาพชีวิต สุขภาพ และสวัสดิภาพที่ดีต่อไปในอนาคต

ภาพที่ 11 ไก่ไข่ที่ปล่อยออกสู่แปลงหญ้า

รูปแบบการเลี้ยงไก่ไข่แบบปล่อยต่อสมรรถนะการให้ผลผลิตและคุณภาพไข่

จากการศึกษาของ วิทธวัช และคณะ (2558) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการเลี้ยงไก่ไข่แบบปล่อยต่อสมรรถนะการให้ผลผลิตไข่ คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอล และองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่ โดยใช้ไก่ไข่สายพันธุ์ Isa Brown อายุ 30 สัปดาห์ แบ่งเป็น 3 กลุ่มการทดลอง ได้แก่ กลุ่มเลี้ยงแบบขังกรง (cage) 4 ตัว/กรง แบบปล่อยพื้นภายในโรงเรือน (floor pen) 5 ตัว/ตร.ม. และปล่อยอิสระ (free-range) 5 ตัว/ตร.ม. มีพื้นที่ปล่อยออกสู่แปลงหญ้า (2 ตร.ม/ตัว) เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า รูปแบบการเลี้ยงไก่ไข่ไม่มีผลต่อผลผลิตไข่น้ำหนักไข่และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ แต่พบว่าไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบปล่อยพื้นกินอาหารได้มากกว่าไก่ที่เลี้ยงบนกรงตับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้านคุณภาพไข่พบว่ารูปแบบการเลี้ยงทั้งสามแบบไม่ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ของไข่ขาวและไข่แดง ความสูงไข่ขาว ความแข็งและความหนาของเปลือกไข่ และค่า Haugh unit มีเพียงสีของไข่แดงของกลุ่มที่มีพื้นที่ปล่อยอิสระที่มีสีไข่แดงเข้มกว่าไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบปล่อยพื้นและบนกรงตับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการเลี้ยงไก่ไข่แบบมีพื้นที่ปล่อยสู่แปลงหญ้าสามารถช่วยเพิ่มสีของไข่แดงและสัดส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ในไข่ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการให้ผลผลิตและคุณภาพไข่ Yakubu et al. (2007) ที่ได้ศึกษาผลกระทบของจีโนไทป์และระบบที่อยู่อาศัยต่อประสิทธิภาพการผลิตของไก่ไข่ ในฤดูแล้งและฤดูฝนของประเทศไนจีเรีย ช่วงละ 2 เดือน ระยะเวลาทดลอง 16 สัปดาห์ โดยใช้ไก่ไข่ 2 สายพันธุ์ คือ Bovans Brown และ Lohmann Brown อายุ 27 สัปดาห์ แต่ละสายพันธุ์ถูกจัดให้อยู่ในกรงและปล่อยในครอกลึก พบว่า น้ำหนักตัว, การผลิตไข่ไก่, น้ำหนักไข่และอัตราการเสียชีวิตของไก่ไข่พันธุ์ Lohmann Brown สูงกว่าไก่ไข่พันธุ์ Bovans Brown และไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบขังกรงมีผลผลิตไข่และน้ำหนักไข่สูงกว่า และอัตราการตายน้อย

แบบที่เลี้ยงในครอกลึก เพราะไก่ไข่ที่เลี้ยงบนกรงมีโอกาสได้รับมลพิษทางอากาศและสัมผัสเชื้อโรคน้อยกว่าถึงแม้ว่าจะอยู่ในพื้นที่จำกัด

นอกจากนี้ Wang et al. (2009) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการเลี้ยงไก่ไข่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ปล่อยกลางแจ้งกับขังกรง อุณหภูมิเฉลี่ย 5-30 °C ทดลองในไก่ไข่พันธุ์ Dongxiang ของประเทศจีน อายุ 20 สัปดาห์ โดยทดลองเป็นเวลา 40 สัปดาห์ พบว่า ไก่ไข่ที่เลี้ยงบนกรงให้ผลผลิตสูงกว่าไก่ไข่ที่เลี้ยงระบบปล่อย (free-range) เนื่องจากมีพื้นที่จำกัดในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ทำให้มีการสูญเสียพลังงานในการดำรงชีวิตน้อยกว่าไก่ที่เลี้ยงในระบบปล่อยซึ่งเอาพลังงานสะสมไปใช้ในการแสดงออกของพฤติกรรมตามธรรมชาติ ถึงแม้ว่างานวิจัยของ วิทธวัช และคณะ (2558) จะไม่มีความแตกต่างของน้ำหนักไข่ แต่มีงานวิจัยของ Yakubu et al. (2007) พบว่าไก่ที่เลี้ยงแบบปล่อยพื้นมีน้ำหนักไข่ต่ำกว่าไก่ที่เลี้ยงบนกรงแม้ว่าจะมีการกินได้ที่สูงกว่า แต่ถ้าหากไก่มีกิจกรรมมากขึ้นและได้รับพลังงานไม่เพียงพอที่จะทำให้น้ำหนักไข่ลดลงได้ (Basmacioglu and Ergul, 2005) ได้ให้ข้อมูลว่า เอายุและสายพันธุ์ของไก่ไข่ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงสภาพแวดล้อมในงานทดลองที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ผลการทดลองออกมาแตกต่างกัน

คุณภาพไข่ก็ไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้น สีไข่แดงของกลุ่มที่เลี้ยงแบบมีพื้นที่ปล่อยแปลงหญ้านั้นจะทำให้ไข่แดงมีสีเข้มกว่าไข่ไก่ที่ได้จากการเลี้ยงแบบปล่อยพื้นและบนกรงตับ นอกจากนี้ไข่ไก่ที่ได้จากการเลี้ยงในแบบปล่อยแปลงหญ้าจะมีสัดส่วนการสะสมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่เพิ่มสูงขึ้น รวมถึงมีอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 ต่อกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 ที่ต่ำลง แต่ไม่มีความแตกต่างของปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง (วิทธวัช และคณะ, 2558) มีงานวิจัยบางส่วนที่รายงานว่า การเลี้ยงไก่ไข่แบบปล่อยและบนกรงไม่มีผลต่อปริมาณไขมันและคอเลสเตอรอลในไข่แดง (Pignoli et al., 2009) แต่ Wang et al. (2009) พบว่า ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของไข่ไก่ที่ได้จากการเลี้ยงแบบปล่อยสู่ภายนอกจะต่ำกว่าไข่ไก่บนกรงตับ ถึงแม้ว่าอาหารที่มีเยื่อใยสูงสามารถช่วยลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้เพราะเยื่อใยในอาหารลดการดูดซึมคอเลสเตอรอลที่ลำไส้เล็กโดยคอเลสเตอรอลในรูปของน้ำที่จะจับกับเยื่อใยและถูกขับออกมาจากร่างกาย ซึ่งโดยปกติร่างกายจะมีการรักษาความสมดุลของคอเลสเตอรอลให้คงที่เสมอ (วิยดาและคณะ, 2554)

ไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบปล่อยพื้นและแบบมีพื้นที่ปล่อยสู่แปลงหญ้านั้นจะเป็นรูปแบบการเลี้ยงที่ทำให้ไก่มีพื้นที่ในการแสดงออกของพฤติกรรมตามธรรมชาติทั้งการคุ้ยเขี่ยหาอาหาร การจิกกินหญ้า การสร้างรัง การวางไข่ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ไก่ดึงเอาพลังงานในส่วนของ Net energy (NE) มาใช้ในการดำรงชีวิต (Maintanance, NEnm) สูงขึ้นกว่าไก่ที่เลี้ยงบนกรงตับ อย่างไรก็ตามไก่สามารถปรับการกินอาหารได้ตามความต้องการพลังงานของร่างกาย ถ้าหากพลังงานในสูตรอาหารอยู่ระหว่าง 2,500 - 3, 400 kcal ME/kg (Leeson, 2001) ส่วนงานวิจัยของ Basmacioglu and Ergul (2005) ได้ทำการศึกษาการเลี้ยงไก่ไข่ในระบบที่แตกต่างกัน คือ แบบปล่อยพื้นและแบบขังกรง โดยใช้ไก่ไข่สีขาว

พันธุ์ Babcock-300 และ ไก่ไข่สีน้ำตาลพันธุ์ ISA Brown อายุ 21 สัปดาห์ แบ่งออกเป็น 10 กลุ่ม ประกอบด้วย การควบคุม (1 และ 2), เพิ่มเยื่อใย 2% และ 4% (3 4 5 และ6) เพิ่มเยื่อใย 2% และ 4% รวมกับวิตามินซี 250 มก./กก. (7 8 9 และ10) ทดลองเป็นเวลา 32 สัปดาห์ พบว่า ไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบปล่อยพื้นกินอาหารมากกว่าไก่ไข่ที่เลี้ยงบนกรงตับ ในขณะที่ Singh et al. (2009) ที่ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของไข่ของไก่ไข่ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ Lohmann White, H&N White และ Lohmann Brown และลูกผสมทางการค้าระหว่างสายพันธุ์ Rhode Island Red และ Barred Plymouth Rock แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ แบบขังกรงและปล่อยพื้นในโรงเรือน ที่อุณหูมิ 21-30 °C ความชื้น 70% ซึ่งพบว่า ปริมาณการกินอาหารและประสิทธิภาพการใช้อาหารของไก่ที่เลี้ยงแบบขังกรงกับปล่อยพื้นไม่มีความแตกต่างกั

พันธุ์ไก่ไข่

พันธุ์ไก่ไข่ที่ใช้ควรเป็นพันธุ์ที่ไม่ให้ไข่สูงเกินไปและสามารถปรับตัวเข้ากับระบบการเลี้ยงปล่อยอิสระ หาอาหารกินตามธรรมชาติได้เก่ง แบ่งได้เป็น ไก่ไข่พันธุ์แท้และไก่ไข่พันธุ์ลูกผสม (กรมปศุสัตว์, 2559) ไก่พันธุ์แท้เป็นไก่ที่ได้รับการคัดเลือกและผสมพันธุ์มาเป็นอย่างดีผสมพันธุ์จนลูกหลานในรุ่นต่อๆมามีลักษณะรูปร่าง ขนาด สี และอื่นๆ เหมือนบรรพบุรุษ ไก่ไข่พันธุ์แท้ในประเทศไทยมีดังนี้

1) โรดไอส์แลนด์แดง

โรดไอส์แลนด์แดงหรือที่เรียกกันว่า ไก่โรด เป็นไก่พันธุ์เก่าแก่พันธุ์หนึ่ง มีอายุกว่า 100 ปี โดยการผสมและคัดเลือกพันธุ์มาจากพันธุ์มาเลย์แดง ไก่เซี่ยงไฮ้แดง ไก่เล็กฮอร์นสีน้ำตาล ไก่ไวยันดอทท์และไก่บราห์มาส์ ไก่พันธุ์โรดไอส์แลนด์แดงมี 2 ชนิดคือ ชนิดหงอนกุหลาบและชนิดหงอนจักร แต่ที่นิยมเลี้ยงกันแพร่หลายเป็นชนิดหงอนจักร ไก่โรดไอส์แลนด์แดง หงอนจักรมีรูปร่างค่อนข้างยาวและลึกเหมือนสี่เหลี่ยมยาว ขนมีสีน้ำตาลแกมแดง หงอนจักร ผิวหนังและแข้งสีเหลือง แผ่นหูมีสีแดง เปลือกไข่มีสีน้ำตาล ให้ไข่ดกและฟองโต เริ่มให้ไข่เมื่ออายุประมาณ 5-6 เดือน ให้ไข่ปีละประมาณ 280-300 ฟอง ลักษณะนิสัยเชื่อง แข็งแรง สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี น้ำหนักตัวเมื่อโตเต็มที่เพศผู้หนัก 3.1-4.0 กิโลกรัม เพศเมียหนัก 2.2-4.0 กิโลกรัม สมัยก่อนนิยมเลี้ยงเป็น ไก่ไข่เพราะให้ไข่ดก แต่ปัจจุบันนิยมเลี้ยงเป็นไก่ต้นพันธุ์ในการผลิตไก่ไข่ลูกผสมทางการค้า เพื่อให้ได้ลูกผสมที่สามารถคัดเพศได้เมื่ออายุ 1 วัน โดยดูความแตกต่างของสีขน

2) บาร์พลีมัทร็อค

บาร์พลีมัทร็อค หรือ ไก่บาร์ เป็นไก่พันธุ์พลีมัทร็อคที่มีขนสีบาร์ คือ มีสีดำสลับกับขาวตามขวางของขน หงอนจักร ผิวหนังสีเหลือง ให้ไข่เปลือกสีน้ำตาล เริ่มให้ไข่เมื่ออายุประมาณ 5-6 เดือน เป็นพันธุ์ ที่ได้มีการผสมและคัดเลือกพันธุ์ขึ้นเมื่อประมาณ ค.ศ. 1865 โดยการผสมระหว่างไก่ตัวผู้พันธุ์โดมินิคกับไก่ตัวเมียพันธุ์โคชินดำหรือจาวาดำ ปัจจุบันใช้เป็นสายแม่ผสมกับไก่ตัวผู้พันธุ์

โรดไอส์แลนด์แดงหรือนิวแฮมเชียร์ ลูกผสมที่ได้สามารถคัดเพศเมื่ออายุ 1 วัน โดยลูกผสมตัวเมียจะมีขนสีดำและให้ไข่ดก ส่วนลูกผสมตัวผู้มีสีบาร์ ปัจจุบันไก่บาร์พลีมัทร็อคยังนิยมใช้เป็นสายแม่ผสมกับไก่ตัวผู้โรดไอส์แลนด์แดง เพื่อผลิตลูกผสมชนิดคัดเพศได้เมื่อแรกเกิดโดยดูจากสีขน

3) เล็กฮอร์นขาวหงอนจักร

จัดเป็นไก่พันธุ์ที่นิยมเลี้ยงกันแพร่หลายที่สุดในบรรดาไก่เล็กฮอร์นด้วยกัน เป็นพันธุ์ที่มีขนาดเล็ก ขนสีขาว ให้ไข่เร็ว ให้ไข่ดก เปลือกไข่สีขาว มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารค่อนข้างสูงเพราะมีขนาดเล็ก ทนต่ออากาศร้อนได้ดี เริ่มให้ไข่เมื่ออายุ 3-5 เดือน ให้ไข่ปีละประมาณ 300 ฟอง น้ำหนักเมื่อโตเต็มที่เพศผู้หนัก 2.2-2.9 กิโลกรัม เพศเมียหนัก 1.8-2.2 กิโลกรัม ปัจจุบันนิยมใช้ไก่พันธุ์เล็กฮอร์นขาวหงอนจักร ผสมข้ามสายพันธุ์ตั้งแต่สองสายพันธุ์ขึ้นไป เพื่อผลิตเป็นไก่ไข่ลูกผสมเพื่อการค้า (กรมปศุสัตว์, 2554)

ไก่ลูกผสม

ไก่ลูกผสมเป็นไก่ที่เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างไก่พันธุ์แท้ 2 พันธุ์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ไก่ที่ให้ไข่ดก เพื่อเป็นการผลิตไข่ในราคาที่ถูกที่สุด ส่วนมากแล้วการผสมไก่ประเภทนี้ลูกผสมที่ได้จะมีลักษณะบางอย่างที่ดีกว่า พ่อแม่พันธุ์ โดยเฉพาะความทนทานต่อโรค ไก่ลูกผสมที่ยังมีผู้นิยมเลี้ยงอยู่บ้าง ได้แก่ ไก่ลูกผสมระหว่างพ่อโรด+แม่บาร์, พ่อบาร์+แม่โรด, เล็กฮอร์น+โรด, โรด+โฮบรีด และลูกผสม 3 สายเลือด คือ ลูกตัวเมียที่ได้จากลูกผสม พ่อโรด+แม่บาร์ นำไปผสมกับพ่อไก่อูลูกผสมที่ได้จะมีเนื้อดี โตเร็วและให้ไข่ดีพอสมควร เหมาะสำหรับนำไปเลี้ยงเป็นรายได้เสริม

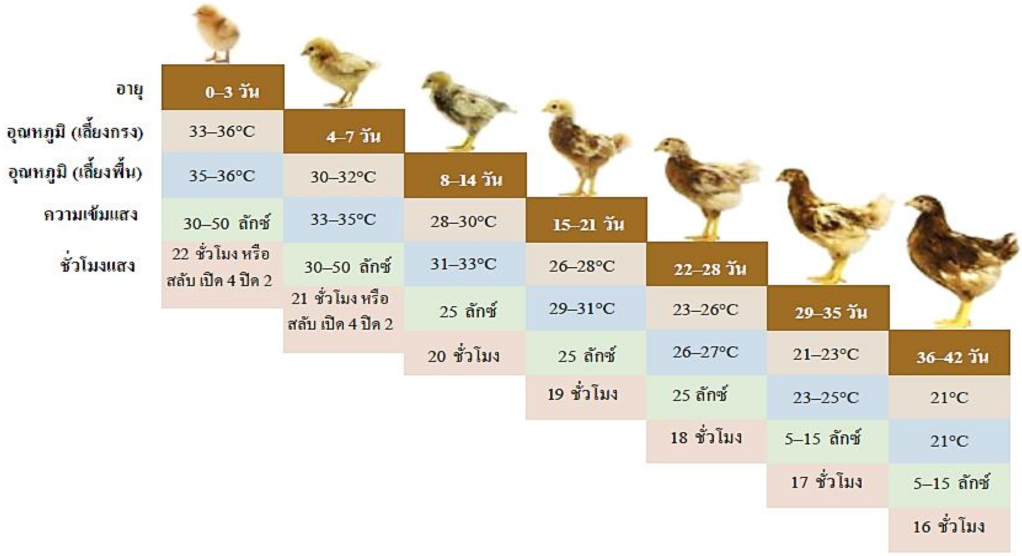
ไก่ไฮ-บรีด (hy-brid) เป็นไก่พันธุ์ไข่ที่มีผู้นิยมเลี้ยงกันมากที่สุดในปัจจุบัน เป็นพันธุ์ไก่ที่ผสมขึ้นเป็นพิเศษ ซึ่งบริษัทผู้ผลิตลูกไก่พันธุ์ไข่จำหน่าย ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ให้ได้ไก่พันธุ์ให้ได้ไก่พันธุ์ที่ให้ผลผลิตไข่สูงและมีคุณภาพตามความต้องการของตลาด คือ ให้ไข่ดก เปลือกไข่สีน้ำตาล ไข่ฟองโตและไข่ทน มีลักษณะเด่นประจำพันธุ์และมีข้อมูลประจำพันธุ์อย่างละเอียด เช่น อัตราการเจริญเติบโต เปอร์เซ็นต์การไข่ ระยะเวลาในการให้ไข่ ขนาดของแม่ไก่ อัตราการเลี้ยงรอด ขนาดของฟองไข่ สีของเปลือกไข่ ปริมาณ อาหารที่กิน เป็นต้น อย่างไรก็ตามไก่-ไฮบรีดนี้ต้องเลี้ยงด้วยอาหารที่มีคุณภาพสูง มีการจัดการที่ดี เช่น การควบคุมน้ำหนักตัว การกินอาหาร แสงสว่าง ตลอดทั้งการสุขาภิบาลและการป้องกันโรคที่ดี

ด้วยเหตุนี้ที่ไก่ไฮ-บรีดส่วนใหญ่มีการผสมพันธุ์ที่ดำเนินการโดยบริษัทผลิตพันธุ์ไก่ไข่เป็นการค้า ซึ่งจะรักษาไก่ต้นพันธุ์และระบบการผสมพันธุ์ ไว้เป็นความลับเพื่อผลประโยชน์ในทางการค้าจึงมีชื่อแตกต่างกันออกไปตามบริษัทผู้ผลิต (กรมปศุสัตว์, 2554)

ภาพที่ 12 ไก่ไข่สายพันธุ์ Hy-Line Brown

ไก่ไข่สายพันธุ์ Hy-Line Brown (ภาพที่ 12) เป็นทางเลือกที่ดีมากสำหรับระบบการจัดการทางเลือกใหม่ๆ ในการเลี้ยงในโรงนา กรงและการเลี้ยงระบบปล่อยอิสระ ไก่ไข่ไฮไลน์ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท ไฮไลน์ จำกัด ข้อดีคือ ตัวเล็ก ไข่ดก กินอาหารน้อยกว่า 110 กรัม/ตัว/วัน แม่ไก่ 1 ตัว ให้ไข่ประมาณ 480-500 ฟอง ปลดเมื่ออายุ 75 สัปดาห์ เป็นไก่ไข่ขนสีน้ำตาล สีเปลือกไข่สีน้ำตาลเข้มปกติจะเริ่มประมาณ 18 สัปดาห์ เป็นไก่มีอารมณ์ที่ดี ทำให้เหมาะสำหรับสภาพแวดล้อมแบบปล่อยให้เปลือกไข่ที่แข็งแรงและการผลิตไข่ที่ดีเยี่ยม ทำให้เป็นตัวเลือกที่สมบูรณ์แบบสำหรับสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย (Hy-line international, 2016)

อุณหภูมิ ความเข้มแสง และชั่วโมงการให้แสงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงไก่ไข่พันธุ์ Hy-Line Brown ในแต่ละช่วงอายุของทั้งรูปแบบการเลี้ยงบนกรงตับและแบบปล่อยพื้น สรุปไว้ดังภาพที่ 13

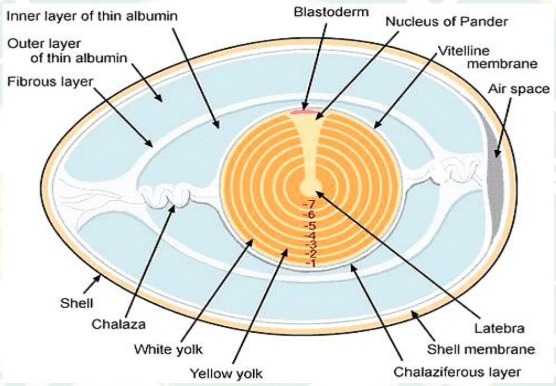


ภาพที่ 13 อุณหภูมิ ความเข้มแสง และชั่วโมงการให้แสงของไก่ไข่พันธุ์ Hy-Line Brown

ที่มา: Hy-line international (2016)

ไข่ไก่

ไข่ไก่ทางการค้าโดยทั่วไปทั้งฟองประกอบไปด้วย เปลือกไข่ (Shell) เป็นส่วนที่มีความแข็งแรง เพราะมีสาร ประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต (หินปูน) มีรูพรุน ภายในเยื่อหุ้มบางๆ 2 ชั้น ชั้นนอกที่ติดเปลือก (shell membrane) ชั้นในที่ติดกับไข่ขาว (egg membrane) มีหน้าที่ป้องกันอันตรายจากภายนอก และให้แคลเซียมในการสร้างกระดูกให้แก่ลูกไก่ ไข่ขาว (Albumen) แยกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งเหลว อีกส่วนข้นติดอยู่กับไข่แดง ไข่ขาวทำหน้าที่ป้องกันตัวอ่อน มีโปรตีนไลโซไซม์ (Lysozyme) ไว้คอย ทำลายเชื้อแบคทีเรียต่างๆ และยังมีสมอไข่ (Chalazae) ที่ช่วยยึดให้ไข่ แดงอยู่กลางฟองไข่ ไข่แดง (Yolk) เป็นแหล่งอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของตัวอ่อน โดยบริเวณผนังหุ้มไข่แดงจะมีจุดกำเนิด (Germinal Disk) ที่สามารถพัฒนาไปเป็นลูกไก่ได้ (จุมพล, 2555) ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 โครงสร้างไข่ทั้งฟอง

ที่มา: Janet (1998)

ไข่ไก่ หมายถึง ไข่ทั้งฟองรวมทั้งเปลือกไข่ ซึ่งสีของเปลือกเป็นไปตามลักษณะพันธุ์ สามารถนำมาใช้เป็นอาหารได้ ประกอบด้วย ไข่แดง (egg yolk) เป็นส่วนประกอบภายในของไข่ที่มีรูปร่างกลม มีสีเหลืองตามธรรมชาติ ลอยอยู่ในของเหลวตรงกลางไข่ เป็นส่วนที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ไข่ขาว (egg albumen) หมายถึง ส่วนประกอบภายในของไข่ แบ่งออกเป็นส่วนข้น (firm) ที่ โอบล้อมรอบไข่แดง และส่วนที่เป็นของเหลวใส (clear) โปร่งแสง ที่อยู่ล้อมรอบอีกชั้นหนึ่ง มีช่องอากาศ (air cell) ซึ่งเป็นช่องว่างภายในไข่ทางด้านป้าน อยู่ระหว่างเยื่อหุ้มไข่ชั้นนอกกับเยื่อหุ้มไข่ชั้นใน (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2548) โดยองค์ประกอบทางเคมีของไข่ไก่แสดงไว้ในตารางที่ 4 สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548) และการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของไข่ไก่ดิบและไข่ไก่ต้มแสดงไว้ในตารางที่ 5 (El-Deek et al., 2005) ได้ทำการสรุปมาตรฐานน้ำหนักไข่ของประเทศไทยเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงทางการค้าแสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของไข่ไก่

รายการ	ไข่ทั้งฟอง (%)	ไข่แดง (%)	ไข่ขาว (%)
ความชื้น	73.6	50.0	89.0
โปรตีน	14.0	17.0	12.0
ไขมัน	12.0	31.0	0.2
คาร์โบไฮเดรต	0.0	0.2	0.4
เถ้า	1.0	1.5	1.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก จิตธนา และอรอนงค์ (2554)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของไข่ไก่ดิบและไข่ไก่ต้ม

รายการ	ความชื้น (%)	วัตถุแห้ง (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)	พลังงาน (kcal/g)
ไข่ดิบ	3.43	96.57	39.06	26.68	18.87	5,249
ไข่ต้ม	3.09	96.91	38.06	30.24	30.62	4,575

ที่มา: ดัดแปลงจาก: El-Deek et al. (2005)

หมายเหตุ: ตรวจสอบผลกระทบของไข่แปรรูปแห้งทั้งฟอง (Dried whole processed eggs) และไข่ต้มที่อุณหภูมิ 100 °C และทำให้แห้งโดยไม่มีเปลือกที่ณหภูมิ 55 °C

ตารางที่ 6 มาตรฐานน้ำหนักไข่ของประเทศไทย

เบอร์	ขนาด	น้ำหนัก (กรัม/ฟอง)
0	ยักษ์จัมโบ้ (Jumbo)	มากกว่า 70
1	ใหญ่พิเศษ (Extra large)	65-69
2	ใหญ่ (Large)	60-64
3	กลาง (Medium)	55-59
4	เล็ก (Small)	50-54
5	จิ๋ว (Peewee)	45-49

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548)

การผลิตและการตลาดไข่ไก่ในประเทศไทย

การลี้ยงไก่ไข่เชิงอุตสาหกรรมในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยงแบบขังกรง โดยแบ่งผู้ประกอบการออกได้เป็น ผู้เลี้ยงไก่ไข่อิสระ ผู้เลี้ยงไก่ไข่ครบวงจร และผู้เลี้ยงไก่ไข่พันธะสัญญา โดยเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่ไข่รายย่อย ฟาร์มขนาดเล็กและกลาง มักเป็นเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่ไข่อิสระหรือเกษตรกรที่เป็นฟาร์มพันธะสัญญา ในขณะที่เกษตรกรรายใหญ่และรายใหญ่มากมักเป็นผู้เลี้ยงไก่ไข่ครบวงจรหรือฟาร์มในเครือบริษัท ผู้ผลิตรายใหญ่จำนวน 8 ราย ครองส่วนแบ่งการตลาดประมาณร้อยละ 50 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นบริษัทครบวงจรทำให้มีความพร้อมในด้านการจัดจำหน่ายผลผลิต ซึ่งนิยมจำหน่ายไข่ไก่ผ่านร้านค้าปลีกและร้านค้าของตนเอง โดยราคาไข่ไก่ในแต่ละปีจะผันผวนไปตามปริมาณอุปสงค์อุปทาน และฤดูกาลผลิตของไข่ไก่ในประเทศ (กัญญาณัฐ และ กรรณิกา, 2562)

ตารางที่ 7 การส่งออกไข่ไก่สดและผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่ของประเทศไทยระหว่างปี 2558-2562

รายการ	2558	2559	2560	2561	2562	อัตราเพิ่ม (%)
ไข่ไก่สด						
ปริมาณ (ล้านฟอง)	189.45	90.01	127.26	301.25	296.01	23.37
มูลค่า (ล้านบาท)	587.70	309.29	380.88	997.04	799.67	19.56
ผลิตภัณฑ์ไข่ไก่						
ปริมาณ (ตัน)	4,564.13	4,607.38	3,739.21	5,351.22	3,677.74	-2.78
มูลค่า (ล้านบาท)	411.28	446.74	385.03	528.52	372.52	-0.30

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2563)

ยุทธศาสตร์ไก่ไข่ ปี 2562-2565 ที่อยู่ระหว่างการนำเสนอ ครม.อนุมัตินั้น เป็นฉบับล่าสุดที่ประกอบด้วยแนวทางที่ภาครัฐ เกษตรกร และผู้ประกอบการ ได้ร่วมกันสร้างภาวะสมดุลตลอดห่วงโซ่ของไก่ไข่ เพื่อให้ทุกฝ่ายได้ประโยชน์อย่างเท่าเทียมและยั่งยืน ยุทธศาสตร์ไก่ไข่ฉบับนี้ ปรับปรุงขึ้นจากจากยุทธศาสตร์ฉบับก่อนหน้ามีเป้าหมายสร้างสมดุลอุปสงค์และอุปทานของไข่ไก่ในประเทศ เพื่อให้ราคาไข่ไก่มีเสถียรภาพ การทำให้ไข่ไก่มีคุณภาพสูง ปลอดสารตกค้าง ปลอดภัยต่อการบริโภค มีระบบตรวจสอบย้อนกลับได้ โดยมีมาตรฐานอาหารปลอดภัยของกรมปศุสัตว์ช่วยรับรอง เพิ่มความเชื่อมั่นให้ผู้บริโภค อาทิ มาตรฐาน Q การติดฉลาก ปศุสัตว์ OK เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นแนวทางที่ช่วยสนับสนุนการขยายช่องทางการตลาดได้กว้างขวางขึ้น ไม่ว่าจะเป็นช่องทางตลาดบน หรือตลาดระดับชุมชน แนวทางนี้จะเป็นปัจจัยที่จะช่วยให้ตลาดของไข่ไก่ขยายตัวขึ้น เพราะพฤติกรรมผู้บริโภคในทุกวันนี้มีความต้องการที่หลากหลาย ไม่ว่า จะเป็นไข่เพื่อสุขภาพ ไข่เสริมโภชนาการ การแปรรูปไข่ในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้เหมาะกับผู้บริโภคในแต่ละกลุ่มแต่ละช่วงวัย รวมถึงผู้บริโภคที่ใส่ใจวิธีการเลี้ยงไก่

เช่น ต้องการไข่ไก่ที่มาจากฟาร์มเลี้ยงแบบปล่อยอิสระ ได้แก่ cage free และ free-range ซึ่งจะกล่าวได้ว่า การร่างยุทธศาสตร์ไก่ไข่ฉบับนี้ ได้เล็งเห็นความเป็นจริงของทิศทางตลาดและแนวโน้มผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทั้งยังกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาและยกระดับให้อุตสาหกรรมไข่ไก่ของไทยเกิดความเข้มแข็งอย่างยั่งยืนและมั่นคงในระยะยาว (มติชนออนไลน์, 2562)

การเลี้ยงสัตว์แบบไม่ขังกรง (Cage Free)

กลุ่มปศุสัตว์ของไทยเตรียมร่างข้อกำหนดมาตรฐานฟาร์มไก่ไข่เลี้ยงไม่ขังกรงในโรงเรือนระบบปิดตามเทรนด์การบริโภคที่คำนึงถึงหลักสวัสดิภาพสัตว์ (Animal Welfare) กำลังพูดถึงอย่างมากในแวดวงธุรกิจอาหาร Cage Free เป็นการเลี้ยงสัตว์แบบให้สัตว์เคลื่อนไหวได้อย่างอิสระและมีคุณภาพชีวิตที่ดี ตามหลักสวัสดิภาพสัตว์ 5 ประการ ได้แก่ อิสระจากความหิวกระหาย อิสระจากความไม่สบายกาย อิสระจากความเจ็บปวดและโรคภัย อิสระจากความกลัวและไม่พึงพอใจ และอิสระในการแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ ซึ่งไข่ไก่จากแม่ไก่ที่เลี้ยงแบบไม่ขังกรงนับเป็นหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่กรมปศุสัตว์ของไทยเตรียมกำหนดมาตรฐานรับรอง เพื่อสร้างทางเลือกด้านคุณภาพสินค้าให้กับผู้บริโภค ในขณะเดียวกัน ก็เป็นแนวทางยกระดับการผลิตสินค้ากลุ่มปศุสัตว์ของไทยให้เท่าทันกับกระแสการบริโภคที่ตระหนักถึงหลักสวัสดิภาพสัตว์มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลเชิงบวกต่อทั้งผู้บริโภค ไก่ในฟาร์ม ตลอดจนเกษตรกร ผู้ประกอบการ รวมถึงกลุ่มเกษตรกรสมัยใหม่ที่ผลิตไข่ไก่โดยระบบและหากได้รับมาตรฐานรับรองฟาร์มไก่ไข่แบบไม่ใช้กรง นอกจากนี้ยังเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่ช่วยจูงใจให้ผู้ประกอบการในธุรกิจไข่ไก่พยายามยกระดับการพัฒนาระบบการเลี้ยงไก่ไข่จากระบบกรงตับไปสู่ระบบที่คำนึงถึงหลักสวัสดิภาพสัตว์ได้ง่ายขึ้น (Thamonton, 2020)

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย มองว่า ไข่ไก่ Cage Free Egg เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมมากขึ้นจากกลุ่มผู้บริโภคที่คำนึงถึงสุขภาพและแหล่งที่มาของสินค้าที่ปลอดภัยและรับผิดชอบต่อสังคม ซึ่งพร้อมจะเต็มใจจ่ายสูง หากมองในภาพกว้างระดับโลกจะพบว่า นโยบายของหลายประเทศทั่วโลกไม่ว่าจะเป็นสหภาพยุโรปและสหรัฐฯ ซึ่งเป็นกลุ่มประเทศที่มีอัตราการบริโภคไข่ไก่ต่อคนสูง มีกฎหมายระบุห้ามเลี้ยงไก่ไข่แบบกรงตับ เนื่องจากคำนึงถึงหลักสวัสดิภาพสัตว์เป็นปัจจัยหลัก ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อระดับคุณภาพของไข่ไก่และความปลอดภัยจากการปนเปื้อนจากระบบการเลี้ยงที่สูงกว่าการเลี้ยงไก่ไข่ประเภทอื่นๆ บ่งชี้ให้เห็นว่า ไข่ไก่ที่ได้จากระบบการเลี้ยงแบบกรงตับน่าจะมีแนวโน้มลดลงและผลักดันให้ความต้องการไข่ไก่ที่มาจากระบบการเลี้ยงอื่นๆ ที่คำนึงถึงหลักสวัสดิภาพสัตว์ ไม่ว่าจะเป็นกลุ่มไข่ไก่อินทรีย์ กลุ่ม Free Range Egg รวมถึง Cage Free Egg มีโอกาสที่จะเติบโตเพิ่มขึ้น (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2563) และได้ทำการสรุปมาตรฐานฟาร์มไก่ไข่แต่ละประเภทไว้ในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 มาตรฐานฟาร์มไก่ไข่แต่ละประเภท

รายการ	ขังกรง (Cage)	ไม่ขังกรง[1] (Free Cage)	ปล่อยอิสระ (Free Range)	อินทรีย์ (Organic)
โรงเรือน	มี	มี	มี	มี
ปล่อยนอกโรงเรือน	ไม่มี	ไม่มี	มี (หลัง 21 วัน)	มี (หลัง 21 วัน)
แปลงหญ้า	ไม่มี	ไม่มี	≥ 40%	≥ 80%
จำนวนแม่ไก่ในโรงเรือน (ตัว/ตรม.)	4	2	2	2
พื้นที่ปล่อยนอกโรงเรือน (ตร.ม./ตัว)	ไม่มี	ไม่มี	5	5
อาหารอินทรีย์	ไม่ใช้	ไม่ใช้	ไม่ใช้	ใช้
ตัดปาก	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
ยาปฏิชีวนะ	ให้	ไม่ให้	ไม่ให้	ไม่ให้
วัคซีนและการถ่ายพยาธิ	ให้	ให้	ให้	ให้
ราคาเฉลี่ยไข่ไก่เบอร์ 0 (บาท/ฟอง)[2]	3-4	7-8	8-10	9-11

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมปศุสัตว์. 2559.

[1] ข้อมูลจากศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2563)

[2] ข้อมูลจากการสำรวจตลาดที่ Tops market

มาตรฐานการรับรอง Cage Free Egg ในต่างประเทศที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล ส่วนใหญ่มักจะมีข้อกำหนดที่ชัดเจนเพื่อเป็นแนวทางในการผลิต เช่น ข้อกำหนดความหนาแน่นของจำนวนไก่ต่อพื้นที่ อาทิ American Humane Association (พื้นที่ 1.25 ตร.ฟ./ไก่ 1ตัว) United Egg Producers Certified (พื้นที่ 1.00 ตร.ฟ./ไก่ 1ตัว) เป็นต้น หลายประเทศในโลกตะวันตก เช่น ประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป สวิตเซอร์แลนด์ ออสเตรเลีย ฯลฯ ได้ออกกฎหมายห้ามเลี้ยงแม่ไก่ไข่แบบขังกรงอีกต่อไป ในประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายนี้ แต่เทสโก้ โลตัส เป็นผู้ค้าปลีกเจ้าแรกที่ประกาศเจตนารมณ์ชัด ภายในปี พ.ศ. 2571 จะรับซื้อไข่ไก่จากแม่ไก่ที่ไม่ขังกรงเท่านั้น เพื่อยกระดับมาตรฐานสวัสดิภาพสัตว์ในประเทศไทย ภายใต้นโยบายการจัดหาผลิตภัณฑ์อย่างยั่งยืนของกลุ่มเทสโก้ที่ครอบคลุมทุกประเทศทั่วโลก (The standard team, 2562) และหากมีมาตรฐานรับรองมาตรฐานฟาร์มไก่ไข่แบบไม่ใช้กรงอย่างเป็นทางการในประเทศไทยจะเป็นการช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับผลิตภัณฑ์ได้ ทำให้คาดว่าผู้ประกอบการในธุรกิจไข่ไก่ที่มีกลุ่มเป้าหมายเป็นผู้บริโภคระดับบนมีแนวโน้มจะเพิ่มกำลังการผลิตไข่ไก่ประเภทนี้มากขึ้น หากประเมินจากไก่ไข่ทั้งระบบสัดส่วนไข่ไก่แบบที่ไม่ใช่กรงตับในปัจจุบันน่าจะอยู่ที่ราวร้อยละ 10 เป็นการตอบสนองผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญกับสินค้าสุขภาพที่มีคุณภาพสูง เช่น ผู้รักสุขภาพ ผู้ออกกำลังกาย เด็ก-ผู้สูงอายุ กลุ่มผู้ป่วย รวมถึงนักท่องเที่ยว ซึ่งเป็นลูกค้าที่มีศักยภาพของธุรกิจ (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2563) สำหรับในประเทศไทยมี

ตัวอย่างฟาร์มหลายบริษัทที่เริ่มพัฒนาเลี้ยงไก่ไข่แบบไม่ใช้กรง เช่น CPF มีโปรเจ็คที่กำลังไปได้ดีมีการเพิ่มกำลังการผลิตไข่แบบไม่ใช้กรงด้วย (ประชาชาติธุรกิจออนไลน์, 2564)

ฟาร์มไก่ไข่แบบไม่ใช้กรง (Cage Free) ในประเทศไทย

กรมปศุสัตว์ โดยสำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าด้านปศุสัตว์ (สพส.) กรมปศุสัตว์ พิจารณาให้ “ฟาร์มวังสมบูรณ์” จ.สระบุรี ของบริษัทเจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) หรือ ซีพีเอฟ ผ่านการรับรองมาตรฐานฟาร์มไก่ไข่แบบไม่ใช้กรง (Cage Free) นับเป็นฟาร์มแห่งแรกของประเทศไทยที่ได้มาตรฐานดังกล่าว ตอกย้ำความมุ่งมั่นยกระดับมาตรฐานการผลิตสินค้าปศุสัตว์ไทยสู่สากล และสนับสนุนการบริโภคอย่างยั่งยืนให้กับผู้บริโภคไทย ตามที่ กรมปศุสัตว์ได้ประกาศใช้ฟาร์มไก่ไข่แบบไม่ใช้กรงอย่างเป็นทางการเมื่อต้นปี 2564 นี้ พร้อมให้บริการตรวจรับรองแก่เกษตรกรและผู้ประกอบการที่สนใจ ซึ่งนับเป็นฟาร์มแห่งแรกของประเทศไทย โดยโรงเรือนของฟาร์มวังสมบูรณ์มีการจัดสภาพแวดล้อมสอดคล้องตามหลักสวัสดิภาพสัตว์ ส่งเสริมให้แม่ไก่ไข่ได้แสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติได้อย่างเต็มที่ เช่น มีคอนสำหรับเกาะพักผ่อนไม่ต่ำกว่า 15 ซม./ตัว มีวัสดุปูรองพื้นเพื่อใช้สำหรับคุ้ยเขี่ยและไซร้ขนทำความสะอาดตัวเอง แม่ไก่มีอิสระในการปฏิสัมพันธ์กันเอง ควบคู่กับการควบคุมและป้องกันโรคอย่างเคร่งครัด การติดตั้งระบบความปลอดภัยทางชีวภาพในฟาร์มตามแนวทาง Biosecurity Hi-tech Farming ส่งผลให้แม่ไก่ไข่อยู่อย่างสุขสบาย มีคุณภาพชีวิตที่ดี แข็งแรง และอารมณ์ดี ไม่ต้องใช้ยาปฏิชีวนะตลอดการเลี้ยง เป็นที่ยอมรับของร้านอาหารที่มีชื่อเสียงอย่างร้านชาบูและร้านสตรีทฟู้ดชื่อดัง เป็นต้น เป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ และเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสวัสดิภาพสูง ตอบรับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน (มติชนออนไลน์, 2564) และสงวนฟาร์ม จ.สระบุรี เป็นอีกฟาร์มหนึ่งที่เริ่มปรับเปลี่ยนรูปแบบการเลี้ยงไก่ไข่แบบไม่ขังกรง เลี้ยงไก่ไข่อย่างมีจริยธรรมตามนโยบายด้านสวัสดิภาพสัตว์ ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน โดยผลิตไข่ไก่อารมณ์ดีจากแม่ไก่ที่เลี้ยงแบบไม่ขังกรง ในโรงเรือนระบบปิด เพื่อให้แม่ไก่ไข่มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น เพื่อขับเคลื่อนสู่การสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีของสัตว์และช่วยยกระดับมาตรฐานอาหารปลอดภัยตามหลักสากลให้กับผู้บริโภค (สงวนฟาร์ม, 2563)

ภาพที่ 15 ไก่ไข่แบบไม่ใช้กรง (Cage Free) ของฟาร์มวังสมบูรณ์

ที่มา: มติชนออนไลน์ (2564)

การจัดการแปลงพืชอาหารสัตว์สำหรับไก่

ปัญหาของการเลี้ยงไก่ในระบบอินทรีย์และแบบปล่อยอิสระ คือการจัดแปลงพืชอาหารสัตว์ เพราะพืชอาหารสัตว์บางชนิดเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงโค กระบือ เนื่องจากให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง เช่น หญ้ารูซี่ หญ้าเนเปียร์ หญ้าแพงโกล่า แต่อาจจะไม่เหมาะสมสำหรับทำเป็นแปลงพืชอาหารสัตว์สำหรับไก่ เนื่องจากไก่มีนิสัยคุ้ยเขี่ย และมักจะเลือกจิกกินยอดพืชอ่อนที่มีความสูงไม่เกิน 15 เซนติเมตร จากพื้นดิน และมักจะเลือกกินเฉพาะใบอ่อนเท่านั้น (Amphone และคณะ, 2562)

การเลี้ยงไก่ในระบบปล่อยและอินทรีย์จะมีการจัดหาแปลงพืชอาหารสัตว์ไว้ให้ไก่เพื่อให้ไก่ได้มีโอกาสกินพืชสด แมลงและตัวหนอนที่อาศัยอยู่ตามธรรมชาติซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพเนื้อดีขึ้น มีวิตามินและแร่ธาตุบางชนิดเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีไขมันในเนื้อต่ำลง การจัดแปลงพืชอาหารสัตว์ที่ดีจะทำให้ไก่มีสุขภาพดีและมีสวัสดิภาพสัตว์ที่ดี การจัดให้มีแปลงพืชอาหารสัตว์ที่เหมาะสมจะทำให้ไก่ได้รับพืชสดในปริมาณและคุณภาพที่เพียงพอ พื้นดินจะมีคุณภาพดี อุดมสมบูรณ์และจะต้องอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอาหารสัตว์ การทดลองนี้ได้จัดเตรียมแปลงหญ้ามาเลเซียให้สำหรับไก่ทดลอง (ภาพที่ 16) นอกจากนี้ยังมีโอกาสได้กินแมลงและหนอนในธรรมชาติซึ่งจะทำให้ผลผลิตมีคุณภาพดีขึ้น และต้องมีการระบายน้ำที่ดีเพื่อป้องกันไม่ให้มีน้ำท่วมขังเพื่อป้องกันการเกิดสะสมของเชื้อโรค ซึ่งเป็นอันตรายต่อเท้าไก่ นอกจากนี้ แปลงพืชอาหารสัตว์อาจเสื่อมโทรมหรือเสียหายในกรณีที่ไก่คุ้ยเขี่ยมากเกินไป (Sossidou et al., 2015)

การใช้แปลงพืชอาหารสัตว์แบบหมุนเวียนจะช่วยให้พืชในแปลงหญ้าฟื้นตัวจากการจิกกินของไก่ได้ นอกจากนี้จะช่วยลดการติดเชื้อโรคและการแพร่ระบาดของเชื้อโรคได้ด้วย แปลงพืชอาหารสัตว์ควรจะมีการหมุนเวียนอย่างน้อยทุกๆ 2-3 เดือน ถ้าสามารถทำได้ควรจะหมุนเวียนทุกเดือนจะดีที่สุด การจัดการแปลงพืชอาหารสัตว์ที่ดีจะช่วยลดปัญหาด้านสุขภาพของไก่และลดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม (Gordon and Charles, 2002)

ภาพที่ 16 แปลงหญ้ามาเลเซีย

พืชสนามที่ใช้ในการทำแปลงหญ้า

หญ้าสนามเป็นพืชอยู่ในตระกูล Gramineae หรือ ตระกูล Poaceae ซึ่งเป็นตระกูลใหญ่ที่สุดของอาณาจักรพืชมีทั้งพืชเศรษฐกิจและพืชอุตสาหกรรมที่สำคัญตลอดจนพืชอาหารสัตว์ ที่นิยมปลูกกันในเมืองไทยเราเป็นหญ้าสนามในเขตร้อนที่มีการปรับตัวทนต่อการตัดและการเหยียบย่ำได้ดีและใช้ปลูกเป็นหญ้าสนามทั่วไป มี 2 ตระกูลย่อย คือ Festucoideae และ Panicoideae พันธุ์หญ้าสนามเขตร้อนเจริญเติบโตได้ดีในเขตที่มีอากาศอบอุ่นหรือร้อน อุณหภูมิระหว่าง 26-32 °C อยู่ในตระกูล Panicoideae ประเทศไทยก็เป็นประเทศในเขตร้อน อากาศหนาวเย็นไม่นาน บางภาคก็ไม่มีฤดูหนาว จึงไม่มีผลกระทบต่อการปลูกหญ้าสนามเขตร้อน และมีหญ้าหลายพันธุ์เจริญเติบโตได้ดีตลอดปี หญ้าสนามเขตร้อนที่นิยมปลูกมี 7 สกุลคือ หญ้าแพรก หญ้าญี่ปุ่น หญ้ามาเลเซีย หญ้าบาเฮีย หญ้าเซนต์ออกัสติน หญ้าเซนติปิด และ หญ้านวลจันทร์ (สิน, 2538)

หญ้ามาเลเซีย

ภาพที่ 17 หญ้ามาเลเซีย

หญ้ามาเลเซีย (Tropical carpet grass หรือ Savannah grass; *Axonopus compressus* (Sw.) P. Beauv เป็นหญ้าที่มีอายุหลายปี ประเภทเถาเลื้อย มีถิ่นกำเนิดในแถบเขตร้อนของทวีปอเมริกาใต้ นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยโดยเฉพาะทางภาคใต้มาเป็นระยะเวลานานจนกลายมาเป็นหญ้าพื้นเมืองของไทยที่สามารถพบได้ทั่วไปทั้งทางภาคใต้สวนปาล์มและสวนมะพร้าวบางท้องที่ในภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นต้น มีลักษณะ ลำต้นเตี้ย สูงไม่เกิน 15 เซนติเมตร ต้นอวบ ใบมีลักษณะแบนและมีขนที่ขอบใบ บนใบมีรอยคลื่น ใบกว้างประมาณ 9-12 มิลลิเมตร ใบดกชิดผิวดินและคลุมดินหนาแน่น ช่อดอกประมาณ 3-5 ราซีม ช่อดอกย่อยยาว 2.2-2.5 มิลลิเมตร ไม่มีกาบช่อย่อยแผ่นล่าง ที่ปลายกาบล่างจะมีขนหนาแน่น (สายัณห์, 2548) หญ้ามาเลเซียเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีน้ำฝนไม่น้อยกว่า 775 มิลลิเมตร ทนแล้งพอสมควรแต่ไม่ทนต่อน้ำขังชอบบริเวณที่เป็นดินทรายที่มีความชื้นสูง ปรับตัวได้ดีในที่มีร่มเงาและฝนตกชุก ไม่ชอบดินเค็ม

ผลผลิตของหญ้ามาเลเซียจะขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นที่การปลูก สำหรับคุณค่าทางโภชนะหญ้ามาเลเซียมีวัตถุแห้ง 20-23% โปรตีน 7.9-11.1% เยื่อใย 22.8-28.4% เยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (NDF) 64.6-68.8% เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (ADF) 31.5-37.1% ลิกนิน 4.2-4.3% แคลเซียม 0.32% ฟอสฟอรัส 0.23% โพแทสเซียม 1.43% และออกซาเลต (Oxalate) 6.8 % (สายัณ, 2548) ถึงแม้ว่า ปัจจุบันหญ้ามาเลเซียจะไม่นิยมนำมาปลูกเพื่อเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง แต่ก็มีความสำคัญต่อระบบการเลี้ยงสัตว์ตามสวนต่างๆ เนื่องจากหญ้ามาเลเซียจะมีความหน้ากินสูง สัตว์ชอบกิน และทนต่อการแทะเล็มได้สูง (Samarakoon et al., 1990)

Smith (1990) แนะนำว่าในอาหารไก่ไข่ไม่ควรมีองค์ประกอบของเยื่อใยเกินกว่า 7% ทั้งนี้เพราะเยื่อใยจะเป็นตัวการที่ต้านการเข้าย่อยอาหารของเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร Mateos et al. (2012) กล่าวว่า สัตว์ปีกต้องการเยื่อใยเพียง 2-3% ในอาหาร แต่ไม่เกิน 7% แต่บางคนแนะนำว่าการเพิ่มระดับเส้นใยเป็น 8-10% จะส่งผลดีต่อการผลิตไข่ Rizzi et al. (2006) ให้ข้อมูลว่าไก่ไข่ที่เลี้ยงกลางแจ้งนอกจากจะมีสีของไข่แดงที่เข้มกว่าไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือน และมีไข่ที่มีไข่ขาวสูงกว่าและไข่แดงในสัดส่วนที่ลดลงด้วย นั่นอาจหมายถึงการลดลงของระดับคอเลสเตอรอลซึ่งเป็นที่ต้องการสำหรับผู้บริโภคที่รักสุขภาพ Antell and Ciszuk (2006) ได้ทำการประมาณการปริมาณการกินหญ้า/ไม้จำพวกถั่ว 10-35 กรัมวัตถุแห้ง และ ปริมาณ 57 กรัมวัตถุแห้งจากทุ่งหญ้า/ตัว/วัน Poultry World (1959) ได้ให้คำแนะนำว่าการทำแปลงหญ้าแบบผสมผสานธัญพืชหลายๆชนิดจะส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต และที่สำคัญพืชที่ใช้มาทำแปลงหญ้าต้องมีความทนทานต่อการจิก คุ้ยเขี่ย ทนต่อการเหยียบย่ำ และต้านทานโรคและสภาพอากาศได้เป็นอย่างดี ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงจะใช้หญ้ามาเลเซียในการทำแปลงหญ้าสำหรับการเลี้ยงไก่ไข่

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย

1. โรงเรือนพร้อมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร
2. อุปกรณ์ในการทำความสะอาดโรงเรือน เช่น ไม้กวาดทางมะพร้าว พลั่ว รถเข็น เป็นต้น
3. วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ เช่น ลวด คีมตัดลวด กรรไกร คัตเตอร์ ค้อน ตะปู เป็นต้น
4. เครื่องวัดอุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มของแสง
5. อุปกรณ์ให้น้ำและอาหาร ได้แก่ รางอาหาร รางน้ำ และโรงเก็บอาหาร
6. อุปกรณ์ชั่งน้ำหนัก ได้แก่ เครื่องชั่งน้ำหนักตัวไก่ เครื่องชั่งอาหาร และเครื่องชั่งดิจิตอล
7. เครื่องบดอาหาร เครื่องผสมอาหาร และตะแกรงร่อน
8. เครื่องวัดความแข็งของเปลือกไข่
9. เครื่องวัดความหนาของเปลือกไข่
10. เครื่องวัดสีเปลือกไข่
11. พัดวัดระดับความเข้มของสีไข่แดง
12. เครื่องวัดความสูงของไข่แดงและไข่ขาว
13. เครื่องมือและอุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี
14. อุปกรณ์สำหรับการจดบันทึกข้อมูล
15. อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระในไข่แดง

สัตว์ทดลอง

ทำการศึกษาในไก่ไข่พันธุ์ Hy-line brown อายุ 18 สัปดาห์ จำนวน 108 ตัว แบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 12 ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ให้ปริมาณอาหารตามคำแนะนำของ NRC (1994) ระยะเวลาในการเลี้ยงทั้งหมด 12 สัปดาห์ โดยพื้นการเลี้ยงจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ภายในคอกที่รองพื้นด้วยแกลบหนา 2-3 นิ้ว ส่วนของพื้นดิน (มีร่มเงาจากหลังคาตลอดทั้งวัน) และแปลงหญ้ามาเลเซีย โดยมีพื้นที่ภายในคอก 0.33 ตร.ม./ตัว พื้นดิน 0.17 ตรม./ตัว และพื้นที่ปล่อยในแปลงหญ้ามาเลเซีย 1.25 ตร.ม./ตัว (ภาพที่ 18) มีแสลนดำกั้นระหว่างภายในคอกและแปลงหญ้า เพื่อลดความเข้มและความร้อนจากแสงแดดให้แม่ไก่สามารถพักผ่อนในเวลากลางวันและปล่อยแม่ไก่ออกสู่แปลงหญ้าในเวลา 16.00-18.00 น. ของทุกวัน ถาดอาหารและถังน้ำถูกติดตั้งไว้ภายในคอกอย่างละ 1 อัน โดยให้ถาดอาหาร 12 ตัว/ถาดและถังน้ำ 12 ตัว/ถัง ให้แบบเต็มที่ (*ad libitum*) ตลอดทั้งวัน

ภาพที่ 18 พื้นที่ภายในคอกทดลอง

ก่อนทำการทดลองมีระยะเวลาให้แม่ไก่ได้ปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อม โดยให้อาหารควบคุมเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นเริ่มทำการทดลองโดยให้อาหารตามกลุ่มทดลอง 12 สัปดาห์ ภายในคอกมีคอนนอนและรังไข่ตามมาตรฐานการลี้ยงไก่แบบปล่อย (กรมปศุสัตว์, 2554) ทำการทดลองที่ฟาร์มสัตว์ปีก คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

อาหารทดลอง

อาหารทดลองแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 อาหารควบคุม (ตารางที่ 9) กลุ่มที่ 2 เสริมกะเพราแดงผง 0.50% ในสูตรอาหารควบคุม และกลุ่มที่ 3 เสริมแหนเป็ดใหญ่ผง 0.50% ในสูตรอาหารควบคุม เตรียมผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ โดยใช้กะเพราแดงทั้งต้น (กิ่ง ก้าน ใบ และลำต้น) จากบริษัท หลานหลวงสมุนไพร จำกัด และแหนเป็ดใหญ่ที่เก็บจากสระน้ำของฟาร์มโคนม-โคเนื้อ มหาวิทยาลัยแม่โจ้มาล้างให้สะอาด นำมาตากแดดจนแห้ง ซึ่งใช้เวลา 1-2 วัน จากนั้นนำมาอบในตู้อบลมร้อนที่ 40-60 °C จนแห้ง ก่อนนำมาบดผ่านตะแกรงที่มีรูเปิดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร สุ่มตัวอย่างจำนวนละ 500 กรัม เพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะ ตามวิธีการของ AOAC (2000)

ตารางที่ 9 ส่วนประกอบและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง (% air dry basis)

รายการ	**อาหารควบคุม**	**กะเพราแดง**	**แหนเป็ดใหญ่**
ข้าวโพด	68.31	68.31	68.31
กากถั่วเหลือง (44%)	17.90	17.90	17.90
ปลาป่น (61%)	3.74	3.74	3.74
กะเพราแดง	-	0.50	-
แหนเป็ดใหญ่	-	-	0.50
น้ำมันรำ	0.35	0.35	0.35
หินเกล็ด	3.82	3.82	3.82
หินฝุ่น	3.82	3.82	3.82
ไดแคลเซียม	1.31	1.31	1.31
เกลือป่น	0.25	0.25	0.25
พรีมิกซ์[1]	0.50	0.50	0.50
รวม	100.00	100.00	100.00
คุณค่าทางโภชนะจากการวิเคราะห์			
โปรตีน	16.14		
เยื่อใย	2.78		
ไขมัน	4.67		
แคลเซียม	1.85		
ฟอสฟอรัส	0.61		
เมทไธโอนีน	0.41		
ไลซีน	0.83		
ME (กิโลแคลอรี/ก.)	2,850.77		

[1] Premix supplies (/Kg premix), Vitamin A 2,000,000 IU, Vitamin D3 400,000 IU, Vitamin E 3,500 IU, Vitamin K 0.18 g, Vitamin B_1 0.16g, Vitamin B_2 0.8g, Vitamin B_6 0.56 g, Vitamin B_{12} 2 mg, Panthotinic acid 1.89 g, Nicotinic acid 4 g, Folic acid 60 mg, Biotin 18 mg, Coline 95 g, Copper 2 g, Manganese 16 g, Iron 12 g, Iodine 120 mg, Zinc 16 g, Cobalt 60 mg and Selenium 32 mg

ข้อมูลที่ศึกษา

1. ประสิทธิภาพการผลิต

การบันทึกปริมาณอาหารที่กิน จำนวนไข่ไก่และน้ำหนัก เพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่เฉลี่ย ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ของแต่ละซ้ำทุกสัปดาห์

1.1) ผลผลิตไข่ (Hen day egg production) (%) $= \frac{\text{จำนวนไข่ในแต่ละสัปดาห์ (ฟอง)} \times 100}{\text{จำนวนไก่เฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ (ตัว)} \times 7}$

1.2) น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟอง (egg weight) (กรัม/ฟอง) $= \frac{\text{น้ำหนักไข่ทั้งหมด (กรัม)}}{\text{จำนวนไข่ (ฟอง)}}$

1.3) ปริมาณอาหารที่กิน (feed intake, FI) (กรัม/ตัว/วัน) $= \frac{\text{นน.อาหารที่ให้} - \text{นน.อาหารที่เหลือ (กรัม)}}{\text{จำนวนไก่ (ตัว)} \times \text{จำนวนวันที่เลี้ยง (วัน)}}$

1.4) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ (Feed conversion ratio, FCR) $= \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักไข่ที่ผลิตได้ (กรัม)}}$

2. การศึกษาคุณภาพไข่ (Egg quality)

ทำการสุ่มไข่ไก่ ซ้ำละ 5 ฟอง เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพไข่ 2 สัปดาห์/ครั้ง โดยเก็บไข่ช่วงบ่ายของวันที่วิเคราะห์ เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพไข่ ได้แก่

1) น้ำหนักไข่ (Egg weight; g) ด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล

2) สีของเปลือกไข่ (Eye shell color; % Light) ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter)

3) สีของไข่แดง (Egg yolk color; score) โดยเทียบกับพัดสีไข่แดง (yolk color fan)

4) ความกว้างของไข่แดง (egg yolk width; mm) ด้วยเครื่อง Vernier Caliper

5) ความสูงของไข่แดง (egg yolk height; mm) ด้วยเครื่อง Vernier Caliper

6) ความสูงของไข่ขาว (albumen height; mm) ด้วยเครื่อง Vernier Caliper

7) ความแข็งของเปลือกไข่ (egg shell strength; kg/cm^2) ด้วยเครื่อง Egg shell force gauge

8) ความหนาของเปลือกไข่ (egg shell thickness; mm) ด้วยเครื่อง Digital Micrometer

นำไข่ไก่ที่สุ่มมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล วัดสีของเปลือกไข่ด้วยเครื่องวัดการสะท้อนสี (Technical Services and Supplies Ltd., England) วัดความหนาของเปลือกไข่ด้วยเครื่องดิจิตอลไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo Co. Ltd. Japan) โดยวัด 3 จุด ได้แก่ บริเวณด้านป้าน ตรงกลาง และด้านแหลมของฟองไข่แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย วัดความแข็งของเปลือกบริเวณด้านป้านของฟองไข่ โดยใช้เครื่องวัดค่าความแข็งเปลือกไข่ (Robotmation Co., Ltd. Japan) วัดสีไข่แดงโดยใช้พัดเทียบสีของโรช (Roche yolk color fan) วัดความกว้างไข่แดง ความสูงไข่แดง และความสูงไข่ขาวโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ เพื่อนำมาคำนวณหาดัชนีไข่แดง (Yolk Index) และค่าฮอฟ์ยูนิต (Haugh unit)

3. การวิเคราะห์หาค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของไข่แดง

หลังจากสิ้นสุดการทดลองนำไข่ ซ้ำละ 5 ฟอง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างไข่แดง 1 ก. นำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH Assay (µmol eqi./g) ดัดแปลงจากวิธีของ Kim et al. (2002) ใช้ trolox เป็นสารมาตรฐาน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm. โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer (Biochrome) จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน และวิเคราะห์ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวัดความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH radical-scavenging activity (%) ดัดแปลงจากวิธีของ Shimada et al. (1992)

4. การวิเคราะห์หาค่าโภชนะของไขไก่ทั้งฟอง

หลังจากสิ้นสุดการทดลองนำไข่ ซ้ำละ 10 ฟอง นำมาต้มหลังจากน้ำเดือดเป็นเวลา 7 นาที จากนั้นแกะเปลือกไข่และเยื่อหุ้มเปลือกไข่ออก ทำการผสมไข่ขาวและไข่แดงคลุกเคล้าให้เข้ากัน นำมาอบที่ 60 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อแห้งแล้วจึงนำมาบดโดยใช้เครื่องปั่นผลไม้ให้ละเอียด และนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะแบบประมาณ (proximate analysis) ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (2000)

5. การคำนวณต้นทุนการผลิต

ค่าวัตถุดิบอาหาร/น้ำหนักไข่ 1 กก. (FCG) = ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ (กก.) x ราคาวัตถุดิบ (กก.)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) แบบสุ่มตลอดสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มการทดลองโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Tests ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (Steel et al., 1997)

สถานที่ทำการทดลอง

1. ฟาร์มสัตว์ปีก คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
2. ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
3. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพไข่ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

คุณค่าทางโภชนะของผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่

จากการวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนะของผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ พบว่า มีโปรตีน 7.08 และ 27.53 ไขมัน 1.48 และ 4.32 เยื่อใย 37.46 และ 11.83 และเถ้า 6.99 และ 21.01% ตามลำดับ (ตารางที่ 10) ในขณะที่การศึกษาของ Moawad et al. (2015) รายงานว่า กะเพราทั้งต้นมีโปรตีน 9.04 ไขมัน 5.50 เยื่อใย 14.71 เถ้า 17.39 และ Fasakin et al. (2001) รายงานว่า แหนเป็ดใหญ่มีโปรตีน 25.62 ไขมัน 4.02 เยื่อใย 8.73 และ เถ้า 15.24 อย่างไรก็ตามความแตกต่างของโภชนะอาจแตกต่างกันตามสภาพอากาศ พื้นที่เพาะปลูก รวมถึงการดูแลรักษา

ตารางที่ 10 องค์ประกอบทางเคมีของกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ (% air dry)

รายการ	**กะเพราแดง**	**แหนเป็ดใหญ่**
วัตถุแห้ง	90.37	91.25
โปรตีน	7.08	27.53
ไขมัน	1.48	4.32
เยื่อใย	37.64	11.83
เถ้า	6.99	21.01
แคลเซียม	0.39	0.92
ฟอสฟอรัส	0.20	0.93
พลังงาน (kcal/g)	4.01	3.55

สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

กลุ่มที่เสริมผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ไม่มีความแตกต่างกันของน้ำหนักไข่ (ตารางที่ 13) ผลผลิตไข่ (ตารางที่ 14) แต่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ในสัปดาห์ที่ 2 กลุ่มที่เสริมผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่มากกว่ากว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ตลอดระยะเวลาการทดลอง (P>0.05) แต่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ในสัปดาห์ที่ 2 กลุ่มที่เสริมผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่น้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 12) ปริมาณอาหารที่กินของกลุ่มที่เสริมผงแหนเป็ดใหญ่ในสัปดาห์ที่ 1 และตลอดระยะเวลาการทดลองมากกว่ากลุ่มที่เสริมผงกะเพราแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ในสัปดาห์ที่ 10 กลุ่มที่เสริมผงแหนเป็ดใหญ่มี

ปริมาณอาหารที่กินมากกว่าทุกกลุ่ม (P>0.05) และปริมาณอาหารที่กินของกลุ่มที่เสริมผงกะเพราแดงในสัปดาห์ที่ 2 น้อยกว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 11)

ด้านของคุณภาพไข่ พบว่า ตลอดระยะเวลาทดลองไม่พบความแตกต่างกันของน้ำหนักไข่ (ตารางที่ 15) ความแข็งเปลือกไข่ (ตารางที่ 17) และดัชนีไข่แดง (ตารางที่ 20) ความหนาของเปลือกไข่ (ตารางที่ 18) ตลอดระยะเวลาการทดลองไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองของสีของเปลือกไข่ แต่ในสัปดาห์ที่ 4 กลุ่มที่เสริมผงกะเพราแดงมีสีของเปลือกไข่มากกว่ากลุ่มที่เสริมผงแหนเป็ดใหญ่ (P<0.05) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม และช่วง 2-6 สัปดาห์ กลุ่มที่เสริมผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่มีสีของเปลือกไข่มากกว่ากว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 16) และค่า Haugh unit ในสัปดาห์ที่ 4 และ ช่วง 2-6 สัปดาห์ กลุ่มที่เสริมผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่มีค่า Haugh unit น้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่ไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการทดลอง (P>0.05) (ตารางที่ 21) สีของไข่แดงของกลุ่มที่เสริมผงกะเพราแดงในสัปดาห์ 2 ของการทดลองและช่วง 2-6 สัปดาห์มีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมผงแหนเป็ดใหญ่อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) และในสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มที่เสริมผงแหนเป็ดใหญ่มีสีของไข่แดงมากกว่าทุกกลุ่ม (P<0.01) ช่วง 8-12 สัปดาห์ กลุ่มที่เสริมผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่มีค่าสีไข่แดงที่มากกว่ากลุ่มควบคุม (P<0.01) และตลอดเวลาการทดลองมีเพียงกลุ่มที่เสริมผงแหนเป็ดใหญ่ที่มีค่าสีไข่ของแดงมากกว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) (ตารางที่ 19) เนื่องจากแหนเป็ดมีรงควัตถุ ได้แก่ แคโรทีนและแซนโทฟิลล์ (O'Neil et al., 1996) จึงเหมาะกับการใช้เป็นสารเสริมในการเพิ่มสีไข่แดง อีกทั้งโปรตีนในแหนเป็ดมีกรดอะมิโนที่จำเป็นสูง เช่น ไลซีนและเมทไธโอนีน ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับถั่วเหลืองและโปรตีนจากสัตว์ จึงนิยมนำใช้เพื่อทดแทนแหล่งโปรตีนในสูตรอาหาร (Haustetn et al., 1990) มีงานทดลองของ Akter et al. (2011) ที่ทำการเสริมแหนเป็ดที่ระดับ 0, 5, 7, 9, 11, 13 และ 15% แทนรำละเอียดและปลาป่นในสูตรอาหารไก่ไข่ ทดลองโดยใช้ไก่ไข่สายพันธุ์ Star Cross Brown อายุ 36 สัปดาห์ ทดลองเป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่า คุณภาพภายนอกและภายในของไข่ที่เสริมแหนเป็ดไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้น คะแนนสีไข่แดงที่เพิ่มขึ้นตามระดับของแหนเป็ดที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร และมีการทดลองของ Anderson et al. (2011) ได้ทำการทดลองเสริมแหนเป็ด 12.6% ในสูตรอาหารไก่ไข่ ซึ่งอาหารทดลองมีโปรตีนรวมและพลังงานเท่ากับกลุ่มควบคุมใช้ไก่ไข่พันธุ์ Hy-line Brown อายุ 76 สัปดาห์ ทดลองเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณอาหารที่กินและผลผลิตไข่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างกลุ่มการทดลอง ส่วนด้านคุณภาพไข่พบเพียงความแตกต่างของสีของไข่แดงที่เข้มกว่ากลุ่มควบคุม

ถึงแม้ว่าผลผลิตและน้ำหนักไข่จะไม่มีความแตกต่างกันแต่ก็ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของสายพันธุ์ เนื่องจากการทดลองนี้ได้ทำในช่วงเปลี่ยนฤดูจากฤดูฝนเป็นฤดูหนาว ซึ่งมีอากาศแปรปรวนความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างวันค่อนข้างมาก โดยอุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุดของสัปดาห์ที่ 1-4, 5-8

และ 9-12 ได้แก่ 20-37, 19-34 และ 14-35 °C อีกทั้งในวันที่มีพายุเข้าส่งผลให้ไฟฟ้าในคอกดับในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งความผันผวนของฤดูกาลและสภาพแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และช่วงแสง มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตของไก่ไข่ (Bhadauria et al., 2014) เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงกว่า 26.67 °C ทำให้ความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะในอาหารลดลง (Bonnet et al., 1997) และหากอุณหภูมิสูงกว่า 29.44 °C ไก่จะเริ่มมีอาการหอบเพื่อระบายความร้อนส่วนเกินออกจากร่างกาย (Adesiji et al., 2013) ความเครียดจากความร้อนนี้จะทำให้ไก่ไข่จะทำให้ผลผลิตไข่ลดลง (Okonkwo and Ahaotu, 2019) รวมไปถึงน้ำหนักไข่ลดลงตามไปด้วย (Onyekwere et al., 2016) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตและน้ำหนักไข่ต่ำกว่ามาตรฐานของสายพันธุ์

ตารางที่ 11 ผลของอาหารทดลองต่อปริมาณอาหารที่กิน (g/b/d)

สัปดาห์	อายุ	กลุ่มการทดลอง			SEM	P-value
		ควบคุม	กะเพราแดง	แหนเป็ดใหญ่		
1	18	77.03[b]	78.89[ab]	84.21[a]	1.340	0.045
2	19	84.69[a]	74.21[b]	79.60[ab]	1.714	0.011
3	20	86.22	88.18	89.24	1.502	0.762
4	21	78.33	81.64	79.76	2.353	0.880
5	22	91.81	92.74	99.21	2.823	0.572
6	23	83.32	92.03	103.42	5.351	0.349
7	24	105.86	84.24	97.86	4.576	0.144
8	25	104.22	88.66	92.66	3.206	0.104
9	26	123.22	107.94	115.80	4.097	0.358
10	27	120.47[b]	116.40[b]	131.34[a]	2.673	0.028
11	28	99.22	121.12	129.32	6.312	0.120
12	29	95.24	91.00	97.54	2.105	0.499
1-4	18-21	81.56	80.73	83.20	0.850	0.546
5-8	22-25	96.30	89.42	98.28	2.316	0.292
9-12	26-29	109.53	109.11	118.50	1.969	0.062
1-12	18-29	95.80[ab]	93.09[b]	100.00[a]	1.206	0.029

[a, b] ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($P<0.05$)

ตารางที่ 12 ผลของอาหารทดลองต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารที่กินเป็นน้ำหนักไข่

สัปดาห์	อายุ	กลุ่มการทดลอง			SEM	P-value
		ควบคุม	กะเพราแดง	แหนเป็ดใหญ่		
1	18	4.89	6.03	6.35	0.359	0.239
2	19	5.44[a]	3.88[b]	3.78[b]	0.306	0.013
3	20	4.73	4.73	4.07	0.364	0.745
4	21	4.14	4.04	3.54	0.226	0.572
5	22	5.19	4.14	4.07	0.342	0.370
6	23	4.82	4.01	4.03	0.338	0.604
7	24	6.05	5.26	3.57	0.621	0.279
8	25	5.11	6.48	3.66	0.659	0.237
9	26	4.10	6.18	5.20	0.399	0.374
10	27	4.62	5.77	5.12	0.348	0.459
11	28	3.42	5.22	4.18	0.391	0.174
12	29	3.36	3.64	3.02	0.197	0.496
1-4	18-21	4.80	4.67	4.43	0.135	0.596
5-8	22-25	5.30	4.97	3.83	0.371	0.262
9-12	26-29	4.04	5.21	4.38	0.286	0.256
1-12	18-29	4.66	4.95	4.22	0.175	0.232

[a, b] ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($P<0.05$)

ตารางที่ 13 ผลของอาหารทดลองต่อน้ำหนักไข่ (g/d)

สัปดาห์	อายุ	กลุ่มการทดลอง			SEM	P-value
		ควบคุม	กะเพราแดง	แหนเป็ดใหญ่		
1	18	42.19	42.39	42.98	0.451	0.806
2	19	44.03	44.39	45.78	0.508	0.382
3	20	42.58	43.54	45.12	0.705	0.383
4	21	47.42	46.46	48.38	0.421	0.180
5	22	45.77	48.68	48.24	0.666	0.156
6	23	48.29	48.19	50.05	0.480	0.219
7	24	50.32	48.65	50.31	0.382	0.364
8	25	51.51	48.20	50.24	0.649	0.089
9	26	52.60	50.31	50.73	0.465	0.079
10	27	51.73	50.28	51.54	0.463	0.434
11	28	51.81	50.80	52.09	0.429	0.498
12	29	53.08	52.54	54.27	0.359	0.121
1-4	18-21	44.06	44.20	45.57	0.396	0.251
5-8	22-25	48.97	48.43	49.71	0.370	0.415
9-12	26-29	52.30	50.98	52.16	0.295	0.124
1-12	18-29	48.44	47.87	49.14	0.293	0.220

ตารางที่ 14 ผลของอาหารทดลองต่อผลผลิตไข่ (%)

สัปดาห์	อายุ	กลุ่มการทดลอง			SEM	P-value
		ควบคุม	กะเพราแดง	แหนเป็ดใหญ่		
1	18	36.57	32.54	31.35	1.762	0.510
2	19	34.95[b]	43.26[a]	47.22[a]	2.268	0.048
3	20	42.98	42.86	50.40	2.617	0.462
4	21	40.84	44.05	48.02	1.844	0.319
5	22	40.60	46.03	50.80	2.483	0.273
6	23	38.86	47.22	52.38	3.815	0.395
7	24	37.67	37.70	55.16	4.821	0.256
8	25	41.52	34.52	51.19	4.591	0.378
9	26	49.45	36.51	46.43	3.426	0.307
10	27	50.43	42.46	51.98	2.541	0.291
11	28	57.20	47.62	59.92	2.812	0.176
12	29	56.35	48.81	61.87	2.963	0.208
1-4	18-21	38.84	40.67	44.25	1.233	0.201
5-8	22-25	39.66	41.37	52.38	3.293	0.255
9-12	26-29	53.36	43.85	55.05	2.511	0.139
1-12	18-29	43.95	41.97	50.56	1.820	0.118

[a, b] ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($P<0.05$)

คุณภาพไข่ไก่

ตารางที่ 15 ผลของอาหารทดลองต่อน้ำหนักไข่ (g)

สัปดาห์	อายุ	กลุ่มการทดลอง			SEM	P-value
		ควบคุม	กะเพราแดง	แหนเป็ดใหญ่		
2	19	45.45	45.43	47.14	0.470	0.276
4	21	48.93	49.29	50.78	0.524	0.318
6	23	49.81	49.74	50.93	0.493	0.555
8	25	53.09	50.57	50.75	0.558	0.120
10	27	52.69	53.67	53.13	0.490	0.725
12	29	53.32	52.64	54.69	0.619	0.396
2-6	19-21	48.29	48.15	49.62	0.382	0.246
8-12	23-25	53.00	51.95	52.91	0.340	0.433
1-12	19-29	50.65	50.05	51.26	0.286	0.243

ตารางที่ 16 ผลของอาหารทดลองต่อสีของเปลือกไข่ (% light)

สัปดาห์	อายุ	กลุ่มการทดลอง			SEM	P-value
		ควบคุม	กะเพราแดง	แหนเป็ดใหญ่		
2	19	30.73	31.51	30.41	0.393	0.513
4	21	25.65^{ab}	28.30^{a}	24.64^{b}	0.632	0.047
6	23	25.01	27.46	26.94	0.719	0.349
8	25	27.64	29.39	28.33	0.767	0.653
10	27	28.59	27.76	28.79	0.618	0.778
12	29	29.41	30.21	30.58	0.543	0.678
2-6	19-21	25.50^{b}	27.55^{a}	27.65^{a}	0.423	0.031
8-12	23-25	28.54	29.12	29.23	0.323	0.708
1-12	19-29	27.02	28.33	28.44	0.277	0.133

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

ตารางที่ 17 ผลของอาหารทดลองต่อความแข็งของเปลือกไข่ (kg/cm^2)

สัปดาห์	อายุ	กลุ่มการทดลอง			SEM	P-value
		ควบคุม	กะเพราแดง	แหนเป็ดใหญ่		
2	19	4.67	4.75	4.73	0.083	0.921
4	21	4.73	4.65	4.87	0.084	0.567
6	23	4.75	4.64	4.87	0.077	0.514
8	25	4.82	4.50	4.44	0.098	0.245
10	27	4.70	4.36	4.81	0.106	0.199
12	29	5.00	4.90	4.71	0.056	0.101
2-6	19-21	4.72	4.68	4.82	0.047	0.528
8-12	23-25	4.84	4.60	4.73	0.056	0.232
1-12	19-29	4.78	4.64	4.78	0.038	0.279

ตารางที่ 18 ผลของอาหารทดลองต่อความหนาของเปลือกไข่ (mm.)

สัปดาห์	อายุ	กลุ่มการทดลอง			SEM	P-value
		ควบคุม	กะเพราแดง	แหนเป็ดใหญ่		
2	19	0.33	0.34	0.36	0.005	0.107
4	21	0.33	0.31	0.33	0.005	0.313
6	23	0.33	0.32	0.31	0.007	0.439
8	25	0.33	0.31	0.32	0.005	0.308
10	27	0.34	0.33	0.34	0.007	0.658
12	29	0.34	0.35	0.36	0.003	0.097
2-6	19-21	0.33	0.33	0.33	0.003	0.661
8-12	23-25	0.34	0.34	0.34	0.003	0.296
1-12	19-29	0.33	0.33	0.34	0.002	0.178

ตารางที่ 19 ผลของอาหารทดลองต่อสีของไข่แดง

สัปดาห์	อายุ	กลุ่มการทดลอง			SEM	P-value
		ควบคุม	กะเพราแดง	แหนเป็ดใหญ่		
2	19	8.50[a]	7.80[b]	8.53[a]	0.113	0.008
4	21	8.37	8.06	8.53	0.117	0.261
6	23	8.27[b]	8.21[b]	8.93[a]	0.124	0.024
8	25	8.30	8.50	8.67	0.150	0.619
10	27	8.67	8.63	9.03	0.147	0.478
12	29	7.70	8.20	8.57	0.167	0.101
2-6	19-21	8.38[a]	8.02[b]	8.67[a]	0.105	0.009
8-12	23-25	8.18[b]	8.49[a]	8.75[a]	0.092	0.007
1-12	19-29	8.30[b]	8.23[b]	8.70[a]	0.081	0.006

[a, b] ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน ($P<0.05$)

ตารางที่ 20 ผลของอาหารทดลองต่อดัชนีไข่แดง

สัปดาห์	อายุ	กลุ่มการทดลอง			SEM	P-value
		ควบคุม	กะเพราแดง	แหนเป็ดใหญ่		
2	19	0.56	0.55	0.55	0.004	0.834
4	21	0.54	0.52	0.54	0.005	0.437
6	23	0.49	0.51	0.50	0.006	0.460
8	25	0.48	0.50	0.49	0.008	0.723
10	27	0.50	0.52	0.51	0.006	0.448
12	29	0.50	0.49	0.51	0.006	0.137
2-6	19-21	0.53	0.53	0.53	0.003	0.702
8-12	23-25	0.49	0.51	0.51	0.006	0.681
1-12	19-29	0.51	0.51	0.52	0.003	0.709

ตารางที่ 21 ผลของอาหารทดลองต่อค่า Haugh unit

สัปดาห์	อายุ	กลุ่มการทดลอง			SEM	P-value
		ควบคุม	กะเพราแดง	แหนเป็ดใหญ่		
2	19	104.48	101.98	102.21	0.551	0.122
4	21	104.96[a]	99.66[b]	97.98[b]	0.827	0.001
6	23	96.13	94.53	93.13	0.766	0.284
8	25	92.46	91.88	92.28	0.715	0.948
10	27	96.15	94.31	94.57	0.981	0.719
12	29	96.47	91.99	96.27	1.213	0.238
2-6	19-21	102.28[a]	98.72[b]	97.77[b]	0.711	0.000
8-12	23-25	95.27	92.73	94.38	0.717	0.389
1-12	19-29	98.77	95.72	96.07	0.615	0.058

[a, b] ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน (P<0.05)

MAEJO UNIVERSITY

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในไข่แดง

กลุ่มที่เสริมแหนเป็ดใหญ่ผงมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในไข่แดงมากกว่ากลุ่มอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ซึ่งสัมพันธ์กับค่าของสีของไข่แดงที่มากกว่ากลุ่มอื่น ๆ และมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในไข่แดงที่สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่เสริมผงกะเพราแดงผง (ตารางที่ 22) โดย Gulcin et al. (2010) ได้ให้ข้อมูลว่า สารสกัดจากแหนเป็ดเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีสำหรับอาหาร ยา และเวชภัณฑ์ สามารถใช้สำหรับลดหรือป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารได้ โดยแหนเป็ดเป็นพืชที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น แคโรทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิกอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Hsieh and Kinsella, 1989) ส่วนกลุ่มที่เสริมผงกะเพราแดงพบว่า ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในไข่แดงไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุม (P>0.05) โดยการทดลองนี้ใช้กะเพราแดงทั้งต้น (กิ่ง ก้าน ใบ และลำต้น) อาจมีสารออกฤทธิ์ไม่เพียงพอ ซึ่งจากงานวิจัยของ Hakkim et al. (2007) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของกะเพรา (*Ocimum sanctum* Linn.) ในหลอดทดลอง โดยการทดสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในแต่ละส่วนของต้นกะเพราแดง โดยใช้วิธี DPPH ซึ่งได้จัดลำดับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากมากไปน้อย ได้แก่ ใบ ดอก ลำต้น และช่อดอก ตามลำดับ และถึงแม้ว่า Narahari et al. (2005) ได้ทำการศึกษาการเสริมผงกะเพราแดงในอาหารไก่ไข่ 5 กรัม/กิโลกรัม ซึ่งอาหารที่ใช้เป็นอาหารแบบมาตรฐาน (SDE) ที่เสริมด้วยเมล็ดแฟลกซ์ น้ำมันปลา วิตามินอี ซีลีเนียมและแคโรทีนอยด์ ทดลองโดยใช้ไก่ไข่สายพันธุ์ BV 300 อายุ 31 สัปดาห์ ทดลองเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า การเสริมผงใบกะเพราแดง 0.50% ในอาหารไก่ไข่ที่มีส่วนผสมของเมล็ดแฟลกซ์ น้ำมันปลา วิตามินอี ซีลีเนียม และแคโรทีนอยด์ ก็พบว่า ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่เสริมผงใบกะเพราแดง

ตารางที่ 22 ผลของการเสริมกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ผงต่อสารต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในไข่แดง

รายการ	ควบคุม	กะเพราแดง	แหนเป็ดใหญ่	SEM	P-value
Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (µmol eqi/g)	0.21^{b}	0.23^{b}	0.26^{a}	0.008	0.030
DPPH radical-scavenging activity (%)	27.59^{b}	28.96^{ab}	32.11^{a}	0.834	0.046

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

องค์ประกอบทางเคมีของไข่ต้มทั้งฟอง

ไข่ต้มของกลุ่มที่เสริมแหนเป็ดใหญ่ผงมีปริมาณของวัตถุแห้งสูงกว่ากลุ่มควบคุมและเถ้ารวมต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วนปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (Nitrogen free extract; NFE) ของกลุ่มที่เสริมกะเพราแดงผงในสูตรอาหารมีแนวโน้มมากกว่าทุกกลุ่ม (P=0.057) ทำให้ร่างกายสามารถใช้ประโยชน์จากอาหารได้เพิ่มมากขึ้น และมีปริมาณไขมันน้อยกว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณโปรตีน เยื่อใย ไขมัน และพลังงานรวม (P>0.05) (ตารางที่ 23) สอดคล้องกับ Narahari et al. (2005) ที่ได้ทดลองเสริมผงใบกะเพราแดง 0.50% ในอาหารไก่ไข่ โดยใช้ไก่สายพันธุ์ BV 300 อายุ 31 สัปดาห์ ทดลองเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า สามารถลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ และมีการทดลองของ Kirubakaran et al. (2011) ที่ได้ทดลองเสริมผงใบกะเพราแดงในอาหารสูตรปกติและอาหารบดละเอียด 1 และ 2 ก./กก.อาหารไก่ไข่ โดยใช้ไก่ไข่พันธุ์เล็กฮอร์นขาวหงอนจักร อายุ 27 สัปดาห์ ทดลองเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่า ช่วยลดกรดไขมัน n-6 และเพิ่มกรดไขมัน n-3 ในไข่แดง อาจเนื่องจากส่วนใบของกะเพรานั้นอุดมไปด้วยน้ำมันหอมระเหย Eugenol ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระซึ่งสามารถยับยั้งการเกิด lipid peroxidation ช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือด และชะลอการเสื่อมสภาพของเซลล์ (Singh et al., 2007) อีกทั้งยังมีสารฟลาโวนอยด์และแทนนินที่สามารถลดระดับคอเลสเตอรอล โดยการเพิ่มการเผาผลาญคอเลสเตอรอลเป็นกรดน้ำดีและการขับคอเลสเตอรอลออกทางมูล (Grassi et al., 2009)

ตารางที่ 23 ผลของการเสริมผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่ต่อคุณค่าทางโภชนะของไข่ต้มทั้งฟอง (% air dry)

รายการ	**ควบคุม**	**กะเพราแดง**	**แหนเป็ดใหญ่**	**SEM**	**P-value**
วัตถุแห้ง (%)	95.92^{b}	96.03^{ab}	96.31^{a}	0.066	0.012
คาร์โบไฮเดรต (%)$^{1/}$	0.62	3.15	1.63	0.614	0.057
โปรตีน (%)	54.03	53.50	53.22	0.192	0.244
เยื่อใย (%)	0.33	0.39	0.42	0.026	0.425
ไขมัน (%)	37.51^{a}	34.45^{b}	38.10^{a}	0.577	<0.001
เถ้า (%)	5.68^{a}	4.54^{ab}	4.17^{b}	0.280	0.041
พลังงาน (kcal/g)	6.63	6.63	6.65	8.052	0.373

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

$^{1/}$ คาร์โบไฮเดรต (%Nitrogen free extract; NFE) = 100–(%ความชื้น+%โปรตีน+%ไขมัน+%เยื่อใย+%เถ้า)

ต้นทุนการผลิตไข่ไก่

อาหารกลุ่มที่เสริมกะเพราแดงผงมีราคาสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ (ตารางที่ 24) เนื่องจากผงมีกะเพราแดงมีราคาสูง ส่วนต้นทุนการผลิตไข่ไก่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มการทดลอง กลุ่มที่เสริมแหนเป็ดใหญ่ผงมีแนวโน้มของต้นทุนค่าวัตถุดิบอาหาร/น้ำหนักไข่ 1 กก. ต้นทุนการผลิตไข่ไก่/ฟอง และต้นทุนการผลิตไข่ไก่/แผงต่ำกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมกะเพราแดงผง (P=0.080, P=0.089 และ P=0.089) (ตารางที่ 25) ดังนั้นการเสริมแหนเป็ดใหญ่ผงในอาหารไก่ไข่นอกจากเพิ่มความเข้มของสีไข่แดงและยังลดต้นทุนการผลิต ช่วยเพิ่มกำไรให้กับเกษตรกร

ตารางที่ 24 ราคาวัตถุดิบและอาหารทดลองต่อกิโลกรัม

รายการ	(%)	ราคา/กก	ราคา (บาท)		
			ควบคุม	กะเพราแดง	แหนเป็ดใหญ่
ข้าวโพด	68.31	9.5	6.49	6.49	6.49
กากถั่วเหลือง (44%)	17.90	17.2	3.08	3.08	3.08
ปลาป่น (61%)	3.74	40	1.50	1.50	1.50
น้ำมันรำ	0.35	33.2	0.12	0.12	0.12
หินเกล็ด	3.82	2	0.08	0.08	0.08
หินฝุ่น	3.82	2	0.08	0.08	0.08
ไดแคลเซียม	1.31	12	0.16	0.16	0.16
เกลือป่น	0.25	6	0.02	0.02	0.02
พรีมิกซ์[1]	0.50	47	0.24	0.24	0.24
กะเพราแดง	0.50	200	0.00	1.00	0.00
แหนเป็ดใหญ่	0.50	-	0.00	0.00	0.00
รวม	100		11.74	12.74	11.74

ตารางที่ 25 ต้นทุนการผลิตและราคาไข่ไก่เฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลอง

รายการ	**ควบคุม**	**กะเพราแดง**	**แหนเป็ดใหญ่**	**SEM**	**P-value**
ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว/วัน)	95.80	93.09	100.00	1.206	0.029
ผลผลิตไข่ (%)	43.95	41.96	50.56	1.820	0.118
น้ำหนักไข่ (กรัม)	48.44	47.87	49.15	0.293	0.220
FCR	4.71	4.95	4.22	0.175	0.232
FCG	55.34	63.06	49.49	2.606	0.080
ต้นทุนการผลิตไข่ไก่/ฟอง (บาท)	2.68	3.01	2.43	0.113	0.089
ต้นทุนการผลิตไข่ไก่/แผง (บาท)	80.45	90.37	72.97	3.389	0.089

หมายเหตุ: FCG = FCR x ราคาอาหาร 1 กก.

ไข่ไก่เป็นแหล่งโปรตีนที่ดีและถูกที่สุด เพราะมีค่า Biological Value หรือ คุณค่าทางชีวภาพของโปรตีน เท่ากับ 100 ซึ่งมากกว่า นม เนื้อสัตว์ และโปรตีนจากถั่ว (USDEC, 1999) ไข่ไก่เป็นโปรตีนที่สมบูรณ์ มีประสิทธิภาพในการดูดซึมสูงกว่าโปรตีนชนิดอื่น และยังให้วิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก วิตามินเอ วิตามินบี12 เป็นต้น (สำรวย, 2557) อีกทั้งยังมีกรดไขมันไลโนเลอิก (18:2, n-6) ที่จำเป็นต่อร่างกาย แต่อย่างไรก็ตาม ในไข่แดงมีปริมาณคอเลสเตอรอลสูง โดยไข่ 1 ฟอง มีปริมาณโคเลสเตอรอลประมาณ 200-220 มก. ซึ่งเท่ากับ 2 ใน 3 ของปริมาณที่คนไทยควรบริโภค คือ 300 มก./วัน แม้ว่าขณะนี้ยังไม่มีงานวิจัยที่ระบุแน่ชัดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของการบริโภคไข่กับความเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆ ในขณะที่ สุภาณีและคณะ (2558) ได้ให้คำแนะนำว่าในกลุ่มผู้สูงอายุและกลุ่มเสี่ยง ได้แก่ ผู้ที่เป็นโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง และคอเลสเตอรอลในเลือดสูง ควรจำกัดการบริโภคไข่ไม่เกินสัปดาห์ละ 3 ฟอง หรือ ตามคำแนะนำของแพทย์ การบริโภคไข่ที่มาจากแม่ไก่ที่เลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยที่เสริมผงกะเพราแดงในอาหารซึ่งเป็นไข่ไก่ที่มีไขมันต่ำ จึงช่วยให้บริโภคไก่ไข่ได้มากขึ้น ทำให้ผู้บริโภคได้รับโปรตีนที่เป็นประโยชน์จากไข่ไก่เพิ่มขึ้น

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

การเสริมกะเพราแดงผงในอาหารไก่ไข่ระดับ 0.50% ไม่มีผลต่อสมรรถนะการผลิตและคุณภาพไข่ แต่สามารถลดปริมาณไขมันในไข่ไก่ต้มทั้งฟองได้ ส่วนการเสริมแหนเป็ดใหญ่ผงระดับ 0.50% ไม่มีผลต่อสมรรถนะการผลิตเช่นกัน แต่ช่วยเพิ่มความเข้มของสีไข่แดง ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของไข่แดง ดังนั้นไข่ไก่ของกลุ่มที่เสริมกะเพราแดงเหมาะสำหรับกลุ่มผู้รักสุขภาพ ผู้สูงอายุ ผู้ที่กำลังลดน้ำหนักหรือต้องการลดการบริโภคไขมัน ส่วนไข่ไก่กลุ่มที่เสริมแหนเป็ดใหญ่เหมาะกับผู้บริโภคส่วนใหญ่ที่ชอบสีไข่แดงเข้ม การใช้อาหารเสริมผงกะเพราแดงและแหนเป็ดใหญ่จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการผลิตไข่ไก่ปลอดภัยและช่วยเพิ่มมูลค่าของไข่ไก่นำไปสู่การเพิ่มรายได้แก่เกษตรกร

บรรณานุกรม

กรมปศุสัตว์. 2559. **คู่มือการเลี้ยงไก่ไข่ระบบปล่อยอิสระและอินทรีย์**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมปศุสัตว์. 2560. **ความต้องการโภชนะของสัตว์ (Nutrients Requirement)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://nutrition.dld.go.th/Nutrition_Knowlage/nutrition_1. htm. (11 กรกฎาคม 2563).

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2561. **เกษตรอินทรีย์ เล่ม 2 : ปศุสัตว์อินทรีย์, (มกษ. 9000 2-2561).** กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กัญญาณัฐ กิติวงค์ และกรรณิกา แซ่ลิ่ว. 2562. การผลิตและการตลาดไข่ไก่ในประเทศไทย. **แก่นเกษตร**, 47(ฉบับพิเศษ), 889-894.

กุศล คำเพราะ. 2541. สารให้สี Astaxanthin มีศักยภาพสูงในอาหารสัตว์ปีก. **สัตว์เศรษฐกิจ**, 10(1), 41–44.

เข็มทอง นิ่มจินดา. 2558. **ทฤษฎีอาหาร.** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์การศาสนา. 139 น.

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. 2554. เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิราภรณ์ โสดาจันทร์, บันลือ สังข์ทอง และสกุลรัตน์ รัตนาเกียรติ์. 2558. องค์ประกอบหลักทางเคมีและฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลชีพก่อโรคในช่องปากของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสกุล *Ocimum* spp. **วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน**, 11(ฉบับพิเศษ), 304-310.

จุมพล เหมะคีรินทร. 2555. **“ไข่” มีอะไรมากกว่าที่คิด.** สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://nstda.or.th/rural/public/100%20articles-stkc/49.pdf (3 สิงหาคม 2562).

ฉัตรชัย นิยะบุญ. 2556. **การส่งเสริมการผลิตไข่เค็มเป็นอาชีพเสริมเพื่อเพิ่มมูลค่าสินค้า ตำบลสามบัณฑิต อำเภออุทัย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา**. มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา.

ณรงฤทธิ์ อิทรสอน. 2559. การเลี้ยงไก่ไข่อินทรีย์แบบปล่อย. **วารสารสัตว์เศรษฐกิจ**, 789, 42-43.

ดำรงชัย โสกัณฑัต. 2542. **การใช้แหนเป็ดเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารไก่เนื้อและนกกระทา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นวลศรี รักอริยธรรม และ อัญชนา เจนวิถีสุข. 2545. **แอนติออกซิแดนท์: สารต้านมะเร็งในผักสมุนไพรไทย.** กรุงเทพฯ: นนบุรีการพิมพ์.

นันทวรรณ ไชยเจริญ. 2547. **สมบัติบางประการและความคงตัวของแคโรทีนอยด์ที่แยกได้จากน้ำมันปาล์มดิบดยวิธีสปอนนิฟิเคชัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บรรดาศักดิ์ แก้วสา. 2561. **กะเพรา.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://bandasakza.blogspot.com/2018/08/blog-post.html. (20 ตุลาคม 2562).

บัณฑิตา ทักขนนท์. 2557. **ผลของรูปแบบการเลี้ยงไก่ไข่ต่อสมรรถนะการให้ผลผลติ คุณภาพไข่ปริมาณคอเลสเตอรอลและองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

บุญชัย เบญจรงคกุล. 2558. **เปลี่ยนข้าวเปลือกเป็นข้าวงอกเพิ่มคุณค่าก่อนนำมาเลี้ยงไก่.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.rakbankerd.com/agriculture/news-view.php?id=7585&s=tblrice. (19 มิถุนายน 2563).

ประชาชาติธุรกิจออนไลน์. 2564. **ชิง Cage free แสนล้าน CPF-เบทาโกร รุกตลาดไข่ไก่ไม่ขังกรง.** ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.prachachat.net/economy/news-606136. (21 กุมภาพันธ์ 2564).

ประภากร ธาราฉาย. 2560ก. **การพัฒนาอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ปีกในประเทศไทย.** เอกสารประกอบการสอนวิชาการจัดการฟาร์มสัตว์ปีก. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ประภากร ธาราฉาย. 2560ข. **การเลี้ยงไก่ไข่**. เอกสารประกอบการสอนวิชาการผลิตสัตว์ปีก. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ผลิใบ. 2545. **พันธุ์พืชขึ้นทะเบียนและพันธุ์พืชรับรอง**. จดหมายข่าวผลิใบ.

พิพัฒน์ สมภา และ พรชัย อิ่มกะดี. 2558. การใช้วัสดุรองพื้นเพื่อส่งเสริมสวัสดิภาพไก่ชนที่เลี้ยงในสุ่มไม้ไผ่. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 23(5), 825-832.

พิพัฒน์ สมภาร. 2559. พฤติกรรม ธรรมชาติ: สวัสดิภาพในสุกรและไก่. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 1, 87-101.

ไพฑรูย์ โปรดปราณี. 2532. **การใช้สารสีในอาหารไก่ไข่.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภาคภูมิ พระประเสริฐ. 2550. **สรีรวิทยาของพืช**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ภุชงค์ วีรดิษฐกิจ และไพโชค ปัญจะ. 2558. อิทธิพลของการเสริมใบมะรุมผงในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,** 23(2) 155-201.

มติชนออนไลน์. 2562. **ส่องยุทธศาสตร์ไก่ไข่ ฉบับที่ 3 มุ่งสร้างความยั่งยืนแบบ win-win ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.matichon.co.th/columnists/news_1520947. (19 มิถุนายน 2563).

มติชนออนไลน์. 2564. **“ฟาร์มวังสมบูรณ์” รับมาตรฐานฟาร์มไก่ไข่แบบไม่ใช้กรงรายแรกของไทย.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.matichon.co.th/economy/

news_2583166. (3 มีนาคม 2564).

วิทธวัช โมฬี และปภาพินท์ พุทธรักษา. 2553. **การเลี้ยงไก่แบบปล่อย (Free-range chicken):** ก้าวเริ่มต้นของการเลี้ยงไก่เนื้อแบบอินทรีย์. เกษตรสุรนารี, 30-35 น.

วิทธวัช โมฬี สุทิศา เข็มผะกา และเฉลิมชัย หอมตา. 2558. ผลของการเลี้ยงไก่ไข่แบบปล่อย ต่อสมรรถนะการให้ผลผลิต คุณภาพไข่ ปริมาณคอเลสเตอรอล และองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่. **เทคโนโลยีสุรนารี**, 9, 190-196.

จินตนา อินทรมงคล. 2554. การเลี้ยงไก่ไข่อินทรีย์แบบปล่อย. **วารสารสัตว์บก**, 224(1), 110-115.

วิยดา เทพหัตถี, ศศิวิมล แสวงผล, เชฎฐ์ สาทรกิจ และทยา เจนจิตติกุล. 2554. **สารานุกรมผลิตผลและผลิตภัณฑ์จากพืชในซุปเปอร์มาร์เก็ต.** สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

วิลาส รัตนานุกูล. 2557. **แหน (DUCKWEED)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://biology.ipst.ac.th/?p=880. (1 เมษายน 2563).

ศิริพร จันทรศีรี. 2551. **การวิเคราะห์สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ในพืชบางชนิดและศึกษาผลการเตรียมสารตัวอย่างต่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์.** มหาวิทยาลัยทักษิณ.

ศุภจิตรา ชัชวาลย์. 2554. **คู่มือประกอบสื่อการสอนวิชาชีววิทยา.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา www. thaischool1. in. th/ _files_school/ 90100566/ data/ 90100566_1_20150108-110502.pdf. (16 มีนาคม 2564).

ศูนย์ปศุสัตว์อินทรีย์. 2553. **การเลี้ยงไก่ไข่อินทรีย์แบบปล่อย (Free-rang organic egg/Happy chick)**. กรุงเทพฯ: กรมปศุสัตว์.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. 2563. **มาตรฐานฟาร์มไก่ไข่...ไร้กรง Cage Free ไก่...Happy ไข่...Quality คนก็...Healthy.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://kasikornresearch.com/th/analysis/k-social-media/Pages/Cage-Free-FB-220920.aspx. (21 กุมภาพันธ์ 2564).

ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่ง. 2562. **การเร่งสีปลาสวยงาม ด้วยสารประกอบให้สี.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา ww.nicaonline.com/web/index. php/ 2016-08-30-02-19-31/ 2016-08-30-03-25-54/ 935-2019-10-15-08-08-43. (18 มีนาคม 2564).

สงวนฟาร์ม. 2563. **ไข่ไก่อารมณ์ดีมาจากแม่ไก่เลี้ยงแบบไม่ขังกรง (Cage Free)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.sanguanfarm.co.th/post/cagefreeegg. (21 กุมภาพันธ์ 64).

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2548. **ไข่ไก่. มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 6702-2548)**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. **สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2562**. กรุงเทพฯ:

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สายัณห์ ทัดศรี. 2548. **หญ้าอาหารสัตว์และหญ้าพื้นเมืองในประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สาโรช ค้าเจริญ. 2542. **อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สำนักงานปศุสัตว์เขต 6. 2564. **ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ไก่รายจังหวัด**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://region6.dld.go.th/webnew/index.php/th/service-menu/stat-report?fbclid= IwAR1VP8OSX9BnVUBil3lMQNF3ZY7U_82VmZRlf8mTVALl_JgQ8ABMozG2ChE. (28 กุมภาพันธ์ 2564).

สำนักงานปศุสัตว์อำเภอ. 2563. **ข้อมูลเกษตรกร / ปศุสัตว์.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://ict.dld.go.th/…/th/service-ict/report/247-reportthailand-livestock. (7 ธันวาคม 2563).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. **ภาวะเศรษฐกิจการเกษตรปี 2563 และแนวโน้มปี 2564**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำรวย มะลิถอด. 2557. **อาหารโปรตีนสำหรับผู้สูงวัยในศตวรรษที่** 21. สาส์นนวเกษตร. เพชรบุรี: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.

สิน พันธุ์พินิจ. 2538. **การจัดการสนามหญ้า.** กรุงเทพฯ: รวมสาส์น.

สุกัญญา เขียวสะอาด. 2555. กะเพรากับการต้านอนุมูลอิสระ. **วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง,** 21(2), 54-65.

สุดารัตน์ หอมหวล. 2553. **กะเพราแดง.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.thaicrudedrug.com/main.php?action=viewpage&pid=9. (20 ตุลาคม 2562).

สุทธิวัฒน์ เบญจกุล. 2548. **เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

สุทัศน์ ศิริ. 2525. **สรีรวิทยาการสืบพันธุ์ของสัตว์ปีก.** เชียงใหม่: สำนักงานวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรศาสตร์แม่โจ้.

สุภาณี พุทธเดชาคุ้ม, จุฬาภรณ์ รุ่งพิสุทธิพงษ์ และอรวรรณ พิชิตไชยพิทักษ์. 2558. การบริโภคไข่กับสุขภาพ. **วารสารโภชนาการ,** 43(1), 8-12.

สุภาพร อิสริโยดม, ประทีป ราชแพทยาคม, ครวญ บัวคีรี และ วิไล สันติโสภาศรี. 2538. การเสริมสารสีจากธรรมชาติบางชนิดในอาหารไก่ไข่. 34-38 น. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33 สาขาสัตว์ สัตวแพทยศาสตร์.** วันที่ 30 มกราคม-1 กุมภาพันธ์ 2538. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวรรณ เกษตรสุวรรณ. 2529. **ไข่และเนื้อไก่.** กรุงเทพฯ: อมรการพิมพ์.

อัจฉรา นิยมเดชา และมงคล คงเสน. 2558. เมทาบอลิซึมและคุณประโยชน์ของแคโรทีนอยด์ในการเพิ่มความเข้มสีไข่แดง. **วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์**, 5(4), 112-121.

อาสา หาเชาวน์เจริญ. 2559. กะเพราแดงราชนีแห่งสมุนไพรไร้เทียมทานกะเพราแดงแรงฤทธิ์. **วารสารหมอชาวบ้าน**, 440(1), 10-15.

อุษาพร ภูคัสมาส. 2558. แคโรทีนอยด์สารสีในอาหาร. **อาหาร**, 45(2), 47-49.

โอภา วัชระคุปต์, ปรีชา บุญจง, จันทนา บุญยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัตต์สินทอง. 2550. **สารต้านอนุมูลอิสระ.** กรุงเทพฯ: นิวไทยมิตรการพิมพ์.

Adesiji, G. B., I. S. Tyabo, O. Bolarin, M. Ibrahim, and S. T. Baba. 2013. Effects of Climate Change on Poultry Production in Ondo State, Nigeria. **Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management**. 6(3), 242-248.

Akter, M., Chowdhury, S. D., Akter, Y. & Khatun, M. A. 2011. Effect of duckweed (*Lemna minor*) meal in the diet of laying hen and their performance. **Bangladesh Research Publications Journal**, 5(3), 252-261.Amphone Phasouk, จุหากร ปานะถึก, กฤดา ชูเกียรติศิริ, อานนท์ ปะเสระกัง, ครรชิต ชมพูพันธ์ และพัชรี สมรักษ์. 2562. การศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตและคุณภาพซากของไก่กระดูกดำที่เลี้ยงแบบขังคอกและเลี้ยงแบบปล่อยอิสระที่มีพืชอาหารสัตว์ต่างชนิดกัน. **แก่นเกษตร**, 47(ฉบับพิเศษ 1), 111-116.

Anderson, K. E., Lowman, Z., Stomp, A. M. & Chang, J. 2011. Duckweed as a feed ingredient in laying hen diets and its effect on egg production and composition. **International Journal of Poultry Science,** 10(1), 4-7.

Antell, S. & Ciszuk, P. 2006. Forage consumption of laying hens-the crop content as an indicator of feed intake and AME content of ingested forage. **Archiv fur Geflugelkunde**, 70(4), 154-160.

AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists**. USA: Gaithhersburg, MD.

Basmacioglu, H. & Ergul, M. 2005. Research on the factors affecting cholesterol content and some other characteristics of eggs in laying hens the effects of genotype and rearing system. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, 29(1), 157-164.

Belyavin, C. G. & Marangos, A. G. 1987. Natural products for egg yolk pigmentation. **Recent Advances in Animal nutrition**, 7(3), 239-260.

Bhadauria, P., J. M. Kataria, S. Majumdar, and S. K. Bhanja. 2014. Impact of Hot Climate on Poultry Production System-A Review. **Journal of Poultry Science and Technology**. 2(4), 56-63.

Bolukbasi, S. C., Erhan, M. K., Keles, M. S., & Kocyigit, R. 2007. Effect of dietary vitamin E on the performance, plasma and egg yolk vitamin E levels and lipid oxidation of egg in heat stressed layers. **Journal of Applied Biological Sciences**, 1(3), 19-23.

Bonnet, S., P. A. Geraert, M. Lessire, B. Carre, and S. Guillaumin. 1997. Effect of high ambient temperature on feed digestibility in broilers. **Poultry Science**. 76(6), 857–863.

Bunrathep, S., Palanuvej, C. & Ruangrungsi, N. 2007. Chemical compositions and antioxidative activities of essential oils from four ocimum species endemic to Thailand. **Journal of Health Research**, 21(3), 201-206.

Chennai hydroponics. 2017. **Hydroponic fodder for poultry**. [Online]. Available http://chennaihydroponics.blogspot.com/2017/06/hydroponic-fodder-for-poultry.html. (14 April 2021).

Dua, P. N., Day, E. J., Hill, J. E. & Grogan, C. O. 1967. Utilization of xanthophylls from natural sources by the chick. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 15(2), 324-328.

El-Deek, A. A., Al-Harthi, M. A., & Bamarouf, A. O. (2005). T**he use of dried whole processed eggs as a feed additive to maintain broiler performance.** In Proceeding of the 11th European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products Doorwerth, The Netherlands. pp. 361-367.

Fanatico, A. 2006. **Alternative poultry production systems and outdoor access**. ATTRA, National Sustainable Agriculture Information Service.

FAO. 1999. **Duckweed – A tiny aquatic plant with enormous potential for agriculture and environment**. Rome, Italy: FAO Publications.

Fasakin, E. A., Balogun, A. M., & Fagbenro, O. A. 2001. Evaluation of Sun-dried water fern, *Azolla africana* and duckweed, *Spirodela polyrrhiza* in practical diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fingerlings. **Journal of Applied Aquaculture**, 11(4), 83-92.

Feedipedia. 2013. Duckweed, Dried. [Online]. Available http://www.feedipedia.org/

node/15722. (11 January 2021).

Ganguly, J., Mehl, J. W. & Deve, H. J. 1953. Studies on carotenoid metabolism: xii. the effect of dietary carotenoids on the carotenoid distribution in the tissues of chickens. **The Journal of nutrition***,* 50(1)*,* 59-72.

Gordon, S. H. & Charles, D. R. 2002. **Niche and organic chicken products**. Nottingham University Press.

Gould, K. S., Jay-Allemand, C., Logan, B. A., Baissac, Y. & Bidel, L. P. 2018. When are foliar anthocyanins useful to plants? Re-evaluation of the photoprotection hypothesis using *Arabidopsis thaliana* mutants that differ in anthocyanin accumulation. **Environmental and Experimental Botany***,* 154,11-22.

Grassi, D., Desideri, G., Croce, G., Tiberti, S., Aggio, A. & Ferri, C. 2009. Flavonoids, vascular function and cardiovascular protection. **Current Pharmaceutical Design***,* 15(10)*,* 1072-1084.

Gulcin, I., Kirecci, E., Akkemik, E., Topal, F. & Hisar, O. 2010. Antioxidant and antimicrobial activities of an aquatic plant: Duckweed (*Lemna minor* L.). **Turkish Journal of Biology***,* 34(2)*,* 175-188.

Hakkim, F. L., Shankar, C. G. & Girija, S. 2007. Chemical composition and antioxidant property of holy basil (*Ocimum sanctum* L.) leaves, stems, and inflorescence and their *in vitro* callus cultures. **Journal of agricultural and food chemistry***,* 55(22)*,* 9109-9117.

Hanczakowski, P., Szymczyk, B. & Wawrzynski, M. 1995. Composition and nutritive value of sewage-grown duckweed (*Lemna minor* L.) for rats. **Animal Feed Science and Technology***,* 52(3-4)*,* 339-343.

Haustetn, A. T., Gilman, R. H., Skillicorn, P. W., Vergara, V., Guevara, V. & Gastanaduy, A. 1990. Duckweed, a useful strategy for feeding chickens: performance of layers fed with sewage-grown Lemnacea species. **Poultry Science***,* 69(11)*,* 1835-1844.

Hayes, J. P. 1966. Influence of high levels of vitamin A in combination with beef tallow on egg yolk colour. **South African Journal of Agricultural Science***,* 9(2)*,* 461-466.

Hillman, W. S. & D. D. Culley. 1978. The uses of duckweed: The rapid growth, nutritional value, and high biomass productivity of these floating plants suggest their use in

water treatment, as feed crops, and in energy-efficient farming. **American Scientist**, 66(4), 442-451.

Hsieh, R. J. & Kinsella, J. E. 1989. Oxidation of polyunsaturated fatty acids: mechanisms, products, and inhibition with emphasis on fish. **Advances in food and nutrition research**, 33, 233-341.

Huber-Eicher, B. & Sebö, F. 2001. Reducing feather pecking when raising laying hen chicks in aviary systems. **Applied Animal Behaviour Science**, 73(1), 59-68.

Hughes, B. O. & Channing, C. E. 1998. Effect of restricting access to litter trays on their use by caged laying hens. **Applied Animal Behaviour Science**, 56(1), 37-45.

Hy-line international. 2016. **HY-LINE BROWN laying hen management manual**. Iowa, US: West Des Moines.

Janet, S. H. 1998. **Chickscope.** [Online]. Available http://chickscope.beckman.illinois.edu/.../the_albumen.html. (11 January 2021)

Jirum, J. & Srihanam, P. 2011. Oxidants and antioxidants: Sources and mechanism. **Academy Journal of Kalasin Rajabhat University**, 1(1), 59-70.

Johnson, E. A. & Schroeder, W. A. 1995. **Microbial carotenoids**. Downstream processing biosurfactants carotenoids, pp. 119-178.

Johnson, R. A. 1963. Habitat preference and behavior of breeding jungle fowl in central western Thailand. **The Wilson Bulletin**, 75, 270-272.

Juntachote, T. & Berghofer, E. 2005. Antioxidative properties and stability of ethanolic extracts of Holy basil and Galangal. **Food Chemistry**, 92(2), 193-202.

Keeling, L. 2002. **Behaviour of Fowl and Other Domesticated Birds**. Biddles, Ltd., Guildford.

Kelm, M. A., Nair, M. G., Strasburg, G. M. & DeWitt, D. L. 2000. Antioxidant and cyclooxygenase inhibitory phenolic compounds from *Ocimum sanctum* Linn. **Phytomedicine**, 7(1), 7-13.

Kim, D. O., K. W. Lee, H. J. Lee. & C. Y. Lee. 2002. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 50(13), 3713-3717.

Kirubakaran, A., Narahari, D., Ezhil Valavan, T. & Sathish Kumar, A. 2011. Effects of flaxseed, sardines, pearl millet, and holy basil leaves on production traits of

layers and fatty acid composition of egg yolks. **Poultry Science**, 90(1), 147-156.

Koley, T. K., Banerjee, K., Maurya, A., Tripathi A. & Singh, B. 2018. **Advances in Postharvest Technologies of Vegetable Crops**. Apple Academic Press, Inc.

Latscha, T. 1990. **Carotenoids in Animal Nutrition, Carotenoids–Their Nature and Significance in Animal Feeds**. Switzerland: Animal Nutrition and Health.

Leeson, S. 2001. **Feeding programs for laying hens**. ASA Techical Bulletin.

Leng, R. A., Stambolie, J. H. & Bell, R. 1995. Duckweed-a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. **Livestock Research for Rural Development**, 7(1), 36.

Lisney, T. J., Rubene, D., Rózsa, J., Løvlie, H., Håstad, O. & Ödeen, A. 2011. Behavioural assessment of flicker fusion frequency in chicken *Gallus gallus* domesticus. **Vision Research**, 51(12), 1324-1332.

Magels, A. R., Holden, J. M., Beecher, G. B., Forman, M. R. & Lanza, E. 1993. Carotenoid content of fruits and vegetables: an evaluation of analytic data. **Journal of the American Dietetic Association**, 93(3), 284-296.

Mateos, G. G., Jiménez-Moreno, E., Serrano, M. P. & Lázaro, R. P. 2012. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. **Journal of Applied Poultry Research**, 21(1), 156-174.

McAdie, T. M. & Keeling, L. J. 2000. Effect of manipulating feathers of laying hens on the incidence of feather pecking and cannibalism. **Applied Animal Behaviour Science**, 68(3), 215-229.

Moawad, S. A., El-Ghorab, A. H., Hassan, M., Nour-Eldin, H., & El-Gharabli, M. M. 2015. Chemical and microbiological characterization of Egyptian cultivars for some spices and herbs commonly exported abroad. **Food and Nutrition Sciences**, 6(7), 643-659.

Mondal, S., Mirdha, B. R. & Mahapatra, S. C. 2009. The science behind sacredness of Tulsi (*Ocimum sanctum* Linn.). **Indian Journal of Physiology and Pharma cology,** 53(4), 291-306.

Narahari, D., Michealraj, P., Kirubakaran, A. & Sujatha, T. 2005. **Antioxidant, cholesterol reducing, immunomodulating and other health promoting properties of herbal enriched designer eggs**. 194-201.

NRC. 1994. **National Research Council. Nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. ed**. National Academy Press, Washington, Dc. USA.

Pei, J. & Li, X. Y. 2000. Xanthine and hypoxanthine sensors based on xanthine oxidase immobilized on a $CuPtCl_6$ chemically modified electrode and liquid chromatography electrochemical detection. **Analytica Chimica Acta***,* 414 (1-2)*,* 205-213.

Pignoli, G., Rodriguez-Estrada, M. T., Mandrioli, M., Barbanti, L., Rizzi, L. & Lercker, G. 2009. Effects of different rearing and feeding systems on lipid oxidation and antioxidant capacity of freeze-dried egg yolks. **Journal of Agricultural and Food Chemistry***,* 57(24)*,* 11517-11527.

Pongsathorn, K., Duangporn, P., Sireethon, K. & Pornchanok, C. 2012. Determination of antioxidant property from some medicinal plant extracts from Thailand. **African Journal of Biotechnology***,* 11(45)*,* 10322-10327.

Poultry World. 1959. **The Poultry Handbook. London.** Reed Elsevier.

Rahman, S., Islam, R., Kamruzzaman, M., Alam, K. & Jamal, A. H. M. 2011. *Ocimum sanctum* L.: A review of phytochemical and pharmacological profile. **American Journal of Drug Discovery and Development***,* 1, 1-15.

Rizzi, L., Simioli, G., Martelli, G., Paganelli, R. & Sardi, L. 2006. Effects of organic farming on egg quality and welfare of laying hens**. In XII European Poultry Conference, Verona.**

Samarakoon, S. P., Wilson, J. R. & Shelton, H. M. 1990. Growth, morphology and nutritive quality of shaded *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus* and *Pennisetum clandestinum*. **The Journal of Agricultural Science***,* 114(2)*,* 161-169.

Scheideler, S. E., Weber, P., & Monsalve, D. 2010. Supplemental vitamin E and selenium effects on egg production, egg quality, and egg deposition of α-tocopherol and selenium. **Journal of Applied Poultry Research**, 19(4), 354-360.

Shimada, K., Fujikawa, K., Yahara, K. & Nakamura, T. 1992. Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. **Journal of agricultural and food chemistry***,* 40(6)*,* 945-948.

Simpson, K. L., Tsou, I. S. T. C. & Chichester, C. O. 1989. **Biochemical methodology for the assessment of carotene.** The International Vitamin A Consultative Group (IVACG).

Singh, R., Cheng, K. M. & Silversides, F. G. 2009. Production performance and egg quality of four strains of laying hens kept in conventional cages and floor pens. **Poultry science**, 88(2), 256-264.

Singh, S., Taneja, M. & Majumdar, D. K. 2007. Biological activities of *Ocimum sanctum* L. fixed oil—An overview. **Indian Journal of Experimental Biology**, 45, 403-412.

Smith, A. J. 1990. **The tropical agriculturist poultry**. Mcmillan, London and Basingstoke.

Sossidou, E. N., Dal Bosco, A., Castellini, C. & Grashorn, M. A. 2015. Effects of pasture management on poultry welfare and meat quality in organic poultry production systems. **World's poultry science journal**, 71(2), 375-384.

Steel, R. G., J. H. Torrie, and D. A. Dickey. 1997. **Principles and Procedures of Statistics: A Biological Approach**. McGraw-Hill.

Tauson, R. 1980. Influence of plumage condition on the hen's feed requirement. **Swedish Journal of Agricultural Research**, 10, 35-39.

Thamonton J. 2020. **Cage Free Egg ปี 2563-2568 พร้อมโตร้อยละ 4.75 พบปี 62 มีมูลค่า 4.98 ล้านดอลลาร์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.bltbangkok.com/news/29221/. (14 ธันวาคม 2563).

The standard team. 2562. **เทรนด์การบริโภคที่น่าจับตามองจากโลกตะวันตกที่คำนึงถึงสวัสดิภาพสัตว์ (Animal Welfare) มากขึ้น กับไข่แบบ Cage Free**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://thestandard.co/tesco-lotus-cage-free/. (3 กุมภาพันธ์ 2564).

Thornton, P. K. & Herrero, M. 2010. **The inter-linkages between rapid growth in livestock production, climate change, and the impacts on water resources, land use, and deforestation**. The World Bank.

Treat, C. M. 1964. We can control egg yolk color. **Poultry Digest**, 23(1), 350.

USDEC. 1999. **Reference manual for U.S. whey products 2nd Edition**. USA: United States Dairy Export Council.

Valacchi, G., Pagnin, E., Corbacho, A. M., Olano, E., Davis, P. A., Packer, L. & Cross, C. E.

2004. *In vivo* ozone exposure induces antioxidant/stress-related responses in murine lung and skin. **Free Radical Biology and Medicine**, 36(5), 673-681.

Van der Spiegel, M., Noordam, M. Y. & Van der Fels Klerx, H. J. 2013. Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 12(6), 662-678.

Wang, X. L., Zheng, J. X., Ning, Z. H., Qu, L. J., Xu, G. Y. & Yang, N. 2009. Laying performance and egg quality of blue-shelled layers as affected by different housing systems. **Poultry Science**, 88(7), 1485-1492.

Wangcharoen, W. & Morasuk, W. 2007. Antioxidant capacity and phenolic content of holy basil. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, 29(5), 1407-1415.

Weeks, C. A. & Nicol, C. J. 2006. Behavioural needs, priorities and preferences of laying hens. **World's Poultry Science Journal**, 62(2), 296-307.

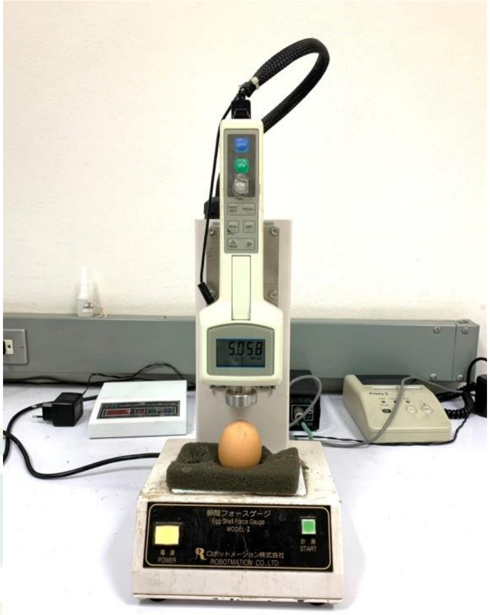
Well, R. G. & Belyavin, C. G. 1985. **Egg quality-current problems and recent advances**. England: Carfax Publishing Company.

Yakubu, A., Salako, A. E. & Ige, A. O. 2007. Effects of genotype and housing system on the laying performance of chickens in different seasons in the semi-humid tropics. **International Journal of Poultry Science**, 6(6), 434-439.

Zakaria, H. A. & Shammout, M. W. 2018. Duckweed in Irrigation water as a replacement of soybean meal in the laying hens' diet. **Brazilian Journal of Poultry Science**, 20(3), 573-582.

ภาคผนวก

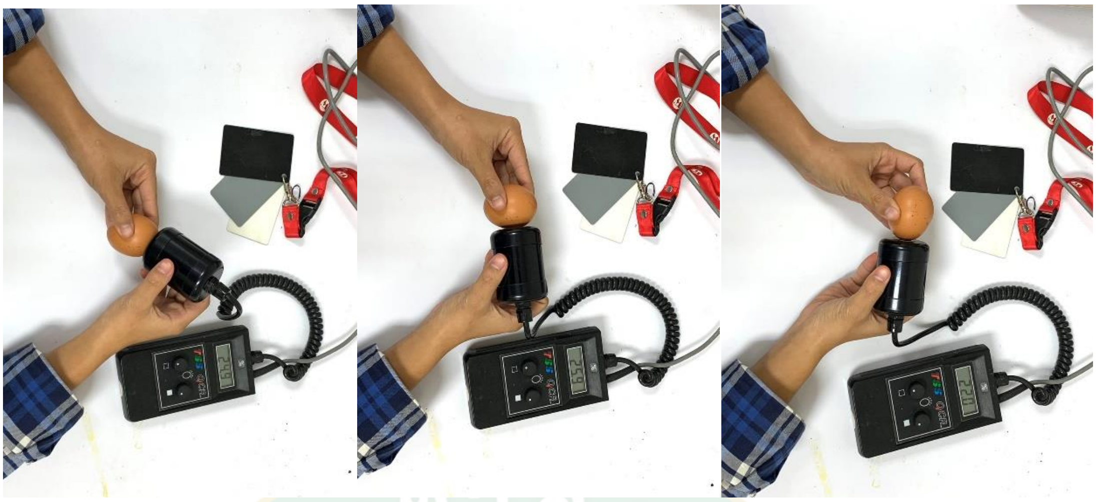
ภาพผนวกที่ 1 ชั่งน้ำหนักไข่ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล



ภาพผนวกที่ 2 การวัดความแข็งของเปลือกไข่

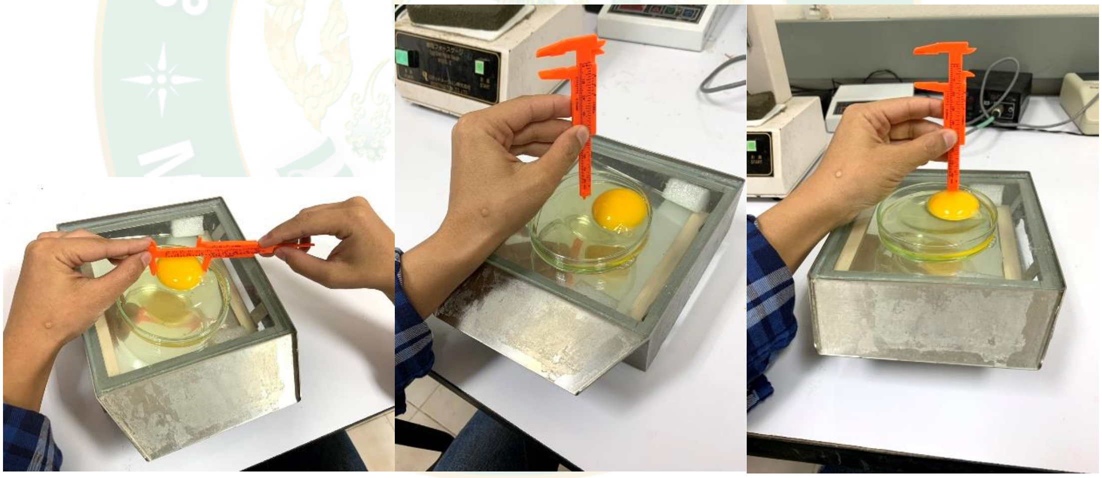
ภาพผนวกที่ 3 การวัดสีของไข่แดง

ภาพผนวกที่ 4 การวัดความหนาของเปลือกไข่



(ก) (ข) (ค)

ภาพผนวกที่ 5 การวัดสีของเปลือกไข่ (ก) ด้านป้าน (ข) ตรงกลาง (ค) ด้านแหลม



(ก) (ข) (ค)

ภาพผนวกที่ 6 การวัด (ก) ความกว้างไข่แดง (ข) ความสูงไข่ขาว (ค) ความสูงไข่แดง

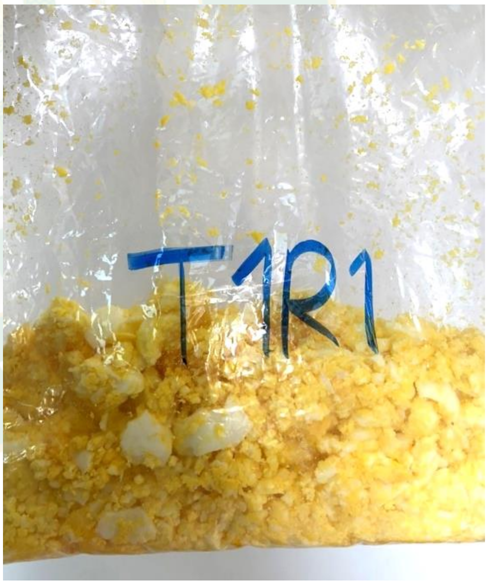
ภาพผนวกที่ 7 การเตรียมไข่ไก่สดสำหรับวิเคราะห์ Antioxidant

ภาพผนวกที่ 8 Standard DPPH

ภาพผนวกที่ 9 นับเวลาต้มไข่ 7 นาทีหลังน้ำเดือด

ภาพผนวกที่ 10 ไข่ต้ม 7 นาทีหลังน้ำเดือด

ภาพผนวกที่ 11 แกะเปลือกไข่และเยื่อเปลือกไข่ออก



ภาพผนวกที่ 12 การบี้ผสมไข่ขาวและไข่แดง

ภาพผนวกที่ 13 นำไข่ต้มเข้าไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C

ภาพผนวกที่ 14 ไข่ต้มหลังอบ

ภาพผนวกที่ 15 ตัวอย่างไข่ต้มบด

ภาพผนวกที่ 16 รังไข่ 3 รังต่อคอก

ภาพผนวกที่ 17 คอนนอน

ภาพผนวกที่ 18 จัดการวัชพืชและปรับหน้าดิน

ภาพผนวกที่ 19 รดน้ำดินให้ชุ่มก่อนนำดินผสมปุ๋ยคอกโรยหน้าดินให้ทั่ว

ภาพผนวกที่ 20 เปิดน้ำรดแปลงให้ชุ่มพร้อมกับเหยียบหญ้าให้รากจมลงดิน

ภาพผนวกที่ 21 โรยดินปลูกทับบนหญ้าและรดน้ำอีกครั้ง

ภาพผนวกที่ 22 ติดแสลนดำเพื่อลดความเข้มแสงในระยะแรกของการปลูก

ภาพผนวกที่ 23 แปลงหญ้าทดลอง

ภาพผนวกที่ 24 แม่ไก่ฟักไข่ในรังไข่

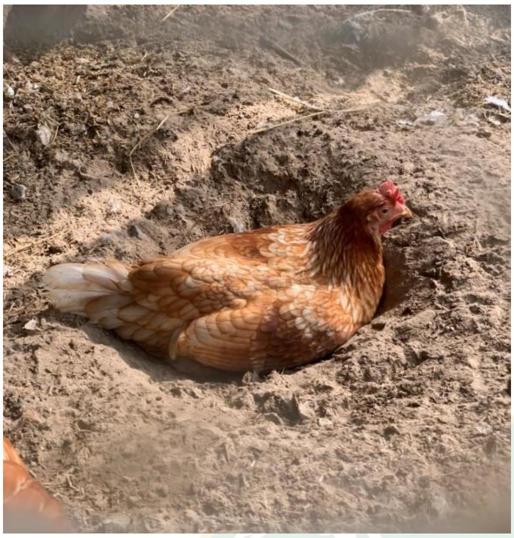
ภาพผนวกที่ 25 แม่ไก่ไข่บนพื้นแกลบและพื้นดิน

ภาพผนวกที่ 26 ไก่จิกกินหญ้าในแปลงหญ้า

ภาพผนวกที่ 27 ไก่คุ้ยเขี่ยหาอาหารในแปลงหญ้า

ภาพผนวกที่ 28 แม่ไก่กินอาหาร

ภาพผนวกที่ 29 แม่ไก่คุ้ยเขี่ยแกลบ



ภาพผนวกที่ 30 พฤติกรรมการคลุกฝุ่นและอาบแดดของแม่ไก่

ภาพผนวกที่ 31 รังไข่ 3 รัง/คอก

ภาพผนวกที่ 32 คอนนอน 2 ฝั่ง/คอก

ภาพผนวกที่ 33 แปลงหญ้าสัปดาห์แรกของการทดลอง

ภาพผนวกที่ 34 แปลงหญ้าสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง

Performance Tables

Rearing Period

AGE (weeks)	MORTALITY Cumulative (%)	BODY WEIGHT (kg)	FEED INTAKE (g /bird / day)	CUMULATIVE FEED INTAKE (g to date)	WATER CONS. (ml / bird / day)	UNIFORMITY (Cage)
1	0.5	0.06 – 0.07	14 – 15	98 – 105	21 – 30	>85%
2	0.7	0.12 – 0.13	17 – 21	217 – 252	26 – 42	
3	0.8	0.18 – 0.20	23 – 25	378 – 427	35 – 50	
4	0.9	0.26 – 0.27	27 – 29	567 – 630	41 – 58	>80%
5	1.0	0.35 – 0.37	34 – 36	805 – 882	51 – 72	
6	1.1	0.45 – 0.47	38 – 40	1071 – 1162	57 – 80	
7	1.2	0.54 – 0.58	41 – 43	1358 – 1463	62 – 86	>85%
8	1.2	0.65 – 0.69	45 – 47	1673 – 1792	68 – 94	
9	1.3	0.76 – 0.80	49 – 53	2016 – 2163	74 – 106	
10	1.3	0.86 – 0.92	52 – 56	2380 – 2555	78 – 112	
11	1.4	0.96 – 1.02	58 – 62	2786 – 2989	87 – 124	
12	1.5	1.05 – 1.11	62 – 66	3220 – 3451	93 – 132	
13	1.6	1.13 – 1.20	67 – 71	3689 – 3948	101 – 142	>85%
14	1.7	1.19 – 1.27	70 – 74	4179 – 4466	105 – 148	
15	1.8	1.26 – 1.34	72 – 76	4683 – 4998	108 – 152	
16	1.9	1.33 – 1.41	75 – 79	5208 – 5551	113 – 158	
17	2.0	1.40 – 1.48	78 – 82	5754 – 6125	117 – 164	>90%

AGE (weeks)	% HEN-DAY Current	HEN-DAY EGGS Cumulative	HEN-HOUSED EGGS Cumulative	MORT-ALITY Cumulative (%)	BODY WEIGHT (kg)	FEED INTAKE (g / bird / day)	WATER CONSUMP-TION[1] (ml / bird / day)	HEN-HOUSED EGG MASS Cumulative (kg)	AVG. EGGWEIGHT[2] (g / egg)
18	4 – 14	0.3 – 1.0	0.3 – 1.0	0.0	1.47 – 1.57	82 – 88	123 – 176	0.0	48.8 – 50.0
19	24 – 38	2.0 – 3.6	2.0 – 3.6	0.1	1.57 – 1.67	85 – 91	128 – 182	0.1	49.0 – 51.0
20	45 – 72	5.1 – 8.7	5.1 – 8.7	0.1	1.63 – 1.73	91 – 97	137 – 194	0.3	50.2 – 52.2
21	75 – 86	10.4 – 14.7	10.3 – 14.7	0.2	1.67 – 1.77	95 – 101	143 – 202	0.5	51.5 – 53.6
22	87 – 92	16.5 – 21.1	16.4 – 21.1	0.3	1.72 – 1.82	99 – 105	149 – 210	0.9	53.1 – 55.3
23	92 – 94	22.9 – 27.7	22.8 – 27.7	0.3	1.75 – 1.85	103 – 109	155 – 218	1.2	54.4 – 56.6
24	92 – 95	29.3 – 34.4	29.2 – 34.3	0.4	1.78 – 1.90	105 – 111	158 – 222	1.6	55.5 – 57.7
25	93 – 95	35.8 – 41.0	35.7 – 40.9	0.4	1.79 – 1.91	106 – 112	159 – 224	2.0	56.6 – 59.0
26	94 – 96	42.4 – 47.7	42.3 – 47.6	0.5	1.80 – 1.92	107 – 113	161 – 226	2.3	57.3 – 59.7
27	95 – 96	49.1 – 54.5	48.9 – 54.3	0.6	1.82 – 1.94	107 – 113	161 – 226	2.7	58.4 – 60.8
28	95 – 96	55.7 – 61.2	55.5 – 60.9	0.6	1.83 – 1.95	107 – 113	161 – 226	3.1	59.0 – 61.4
29	95 – 96	62.4 – 67.9	62.1 – 67.6	0.7	1.84 – 1.96	107 – 113	161 – 226	3.5	59.3 – 61.7
30	94 – 96	69.0 – 74.6	68.6 – 74.3	0.7	1.84 – 1.96	107 – 113	161 – 226	3.9	59.7 – 62.1
31	94 – 96	75.5 – 81.3	75.1 – 80.9	0.8	1.84 – 1.96	108 – 114	162 – 228	4.3	59.9 – 62.3
32	94 – 95	82.1 – 88.0	81.7 – 87.5	0.9	1.85 – 1.97	108 – 114	162 – 228	4.7	60.1 – 62.5
33	94 – 95	88.7 – 94.6	88.2 – 94.1	0.9	1.85 – 1.97	108 – 114	162 – 228	5.1	60.3 – 62.7
34	94 – 95	95.3 – 101.3	94.7 – 100.7	1.0	1.85 – 1.97	108 – 114	162 – 228	5.5	60.5 – 62.9
35	94 – 95	101.9 – 107.9	101.2 – 107.3	1.0	1.85 – 1.97	108 – 114	162 – 228	5.9	60.6 – 63.0
36	93 – 94	108.4 – 114.5	107.6 – 113.8	1.1	1.86 – 1.98	108 – 114	162 – 228	6.3	60.7 – 63.1
37	93 – 94	114.9 – 121.1	114.1 – 120.3	1.2	1.86 – 1.98	108 – 114	162 – 228	6.7	60.8 – 63.2
38	93 – 94	121.4 – 127.7	120.5 – 126.8	1.2	1.86 – 1.98	108 – 114	162 – 228	7.1	60.9 – 63.3
39	92 – 93	127.8 – 134.2	126.9 – 133.2	1.3	1.87 – 1.99	108 – 114	162 – 228	7.5	61.0 – 63.4
40	92 – 93	134.3 – 140.7	133.2 – 139.6	1.4	1.87 – 1.99	108 – 114	162 – 228	7.9	61.1 – 63.5
41	91 – 93	140.6 – 147.2	139.5 – 146.0	1.4	1.87 – 1.99	108 – 114	162 – 228	8.3	61.2 – 63.6
42	91 – 92	147.0 – 153.7	145.8 – 152.4	1.5	1.88 – 2.00	108 – 114	162 – 228	8.7	61.3 – 63.9
43	90 – 92	153.3 – 160.1	152.0 – 158.7	1.6	1.88 – 2.00	108 – 114	162 – 228	9.1	61.5 – 64.1

[1] The chart shows an expected range of feed and water consumption at normal environmental temperatures of 21–27°C. As the environmental temperature increases above this range, water consumption may increase up to double the amounts shown.

[2] Egg weights after 40 weeks of age assume phase feeding of protein to limit egg size.

2 JANUARY 2016 • © HY-LINE INTERNATIONAL

ภาพผนวกที่ 35 ประสิทธิภาพการผลิตของไก่ไข่พันธุ์ Hy-line brown

ที่มา: Hy-line international (2016)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวโยษิตา นวลละออง
เกิดเมื่อ	26 มีนาคม 2540
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2558-2562 (วท.บ.) เอกอาหารสัตว์ สาขาสัตวศาสตร์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
	พ.ศ. 2555-2557 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนกำแพงเพชรพิทยาคม
	พ.ศ. 2552-2554 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนกำแพงเพชรพิทยาคม
ประวัติการทำงาน	-

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY