

อิทธิพลของแหล่งโปรตีนจากหนอนแมลงวันลายอบแห้ง (*Hermetia illucens*)
ต่อคุณภาพไข่ในไก่ไข่พันธุ์การค้าที่เลี้ยงในโรงเรือนแบบเปิด
Effect of Protein Source from Dried Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*)
on Egg Quality in Commercial Laying Hens Raised in Opened-house

นันทิญา พันธุ์เทศ¹ ชลธิชา รัตนมณี^{2,4} ธีรพงษ์ ใจชาญสุขกิจ^{2,*} สันทยา มุลศรีแก้ว² มานะ สุภาดี²
สุภาพร พาเจริญ³ ชุศักดิ์ พูลมา² และ บดินทร์ วงศ์พรหม²
Nantiya Panted¹, Chonticha Rattanamanee^{2,4}, Teerapong Jaichansukkit^{2,*}, Sonthaya Moonrikaew²,
Mana Suphadee², Supaporn Pajareon³, Chusak Pulmar² and Bodin Wongpom²

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
พระนครศรีอยุธยา 13000

² สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ พระนครศรีอยุธยา
13000

³ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
พระนครศรีอยุธยา 13000

⁴ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นนทบุรี 11120

¹ Department of Agricultural Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University
of Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000

² Department of Animal Science, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of
Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000

³ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala
University of Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000

⁴ School of Agriculture and Cooperatives, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi 11120

รับเรื่อง: 22 กรกฎาคม 2565 Received: 22 July 2022

ปรับแก้ไข: 12 กันยายน 2565 Revised: 12 September 2022

รับตีพิมพ์: 21 กันยายน 2565 Accepted: 21 September 2022

* Corresponding author: teerapong.j@rmutsb.ac.th

ABSTRACT: The larvae of black soldier fly contain a large amount of protein. They might thus be incorporated into laying hen diets as a source of protein. Therefore, the objective of this research was to study the effect of protein source from dried black soldier fly larvae on egg quality in twenty-nine weeks old of Lohmann Brown laying hens. A hundred hens were divided into four groups with twenty-five replications. Completely randomize design was used. Laying hens were fed diets with four different protein sources: fish meal and soybean meal (FSH), 100% soybean meal (SOY), 2% black soldier fly with soybean meal (BS2) and 5% black soldier fly with soybean meal (BS5). Egg quality traits were egg weight (ETW), albumin weight (ALW), yolk weight (YKW), shell weight (SHW), Haugh unit (HU), yolk color score (YCS), shell thickness at tip (STT), shell thickness at middle (STM) and shell thickness at base (STB). The results found that type of protein source had no statistically significant difference on ETW, ALW, YKW, SHW, HU and YCS. Least squares mean for ETW, ALW, YKW, SHW, HU and YCS ranged from 49.98 (BS5) to

50.91 g (SOY), 32.64 (BS5) to 33.78 g (SOY), 11.86 (FSH) to 12.00 g (BS5), 5.05 (SOY) to 5.35 g (BS5), 84.58 (BS5) to 84.74 unit (FSH), and 3.24 (SOY) to 3.63 unit (BS2), respectively. Feed costs for FSH, SOY, BS2 and BS5 were 15.16, 15.76, 14.79 and 13.70 baht per kilogram. According to this study, 5% BSF with soybean meal could be fed the laying hens without harming their egg qualities and this diet was also more affordable than other feed formulations.

Keywords: Alternative protein, insect protein, laying hen feed, egg quality

Agricultural Sci. J. (2022) Vol. 53(3): 256–270

ว. วิทยา. กษ. (2565) 53(3): 256–270

บทคัดย่อ

หนอนแมลงวันลายมีระดับโปรตีนสูงจึงอาจนำมาในการใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารไก่ไข่ได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแหล่งโปรตีนจากหนอนแมลงวันลายอบแห้งต่อคุณภาพไข่ในไก่ไข่พันธุ์โลมันบราวน์ที่มีอายุ 29 สัปดาห์ไก่ไข่ จำนวน 100 ตัว ถูกแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 25 ตัว ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยไก่ไข่ได้รับอาหารที่มีแหล่งโปรตีนต่างกัน 4 ชนิด คือ ปลาปนร่วมกับกากถั่วเหลือง (FSH) กากถั่วเหลืองร้อยละ 100 (SOY) หนอนแมลงวันลายร้อยละ 2 ร่วมกับกากถั่วเหลือง (BS2) และหนอนแมลงวันลายร้อยละ 5 ร่วมกับกากถั่วเหลือง (BS5) ลักษณะคุณภาพไข่ ได้แก่ น้ำหนักไข่ (ETW) น้ำหนักไข่ขาว (ALW) น้ำหนักไข่แดง (YKW) น้ำหนักเปลือกไข่ (SHW) ฮอกยูนิต (HU) คะแนนสีไข่แดง (YCS) ความหนาเปลือกส่วนปลาย (STT) ความหนาเปลือกส่วนกลาง (STM) และความหนาเปลือกส่วนฐาน (STB) ผลการศึกษา พบว่า ชนิดของแหล่งโปรตีนมีผลทำให้ ETW, ALW, YKW, SHW, HU และ YCS แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าเฉลี่ยลีสต์แควร์ สำหรับลักษณะ ETW, ALW, YKW, SHW, HU และ YCS มีค่าอยู่ในช่วง 49.98 (BS5) ถึง 50.91 กรัม (SOY), 32.64 (BS5) ถึง 33.78 กรัม (SOY), 11.86 (FSH) ถึง 12.00 กรัม (BS5), 5.05 (SOY) ถึง 5.35 กรัม (BS5), 84.58 (BS5) ถึง 84.74 หน่วย (FSH) และ 3.24 (SOY) ถึง 3.63 หน่วย (BS2) ตามลำดับ ต้นทุนค่าอาหาร

สำหรับ FSH, SOY, BS2 และ BS5 เท่ากับ 15.16, 15.76, 14.79 และ 13.70 บาทต่อกิโลกรัม งานวิจัยนี้สรุปได้ว่าอาหารที่มีหนอนแมลงวันลายร้อยละ 5 ร่วมกับกากถั่วเหลืองสามารถนำมาใช้เป็นอาหารไก่ไข่ได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพไข่ไก่และอาหารสูตรนี้มีราคาถูกกว่าสูตรอาหารอื่น

คำสำคัญ: โปรตีนทางเลือก, โปรตีนจากแมลง, อาหารไก่ไข่, คุณภาพไข่

บทนำ

จากสถานการณ์ที่มีจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลทำให้ความต้องการบริโภคผลิตภัณฑ์จากสัตว์มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์จากไก่ไข่ เนื่องจากไข่ไก่เป็นแหล่งอาหารประเภทโปรตีนคุณภาพสูงที่ราคาไม่แพง หาซื้อได้ง่าย สามารถบริโภคได้ทุกเพศทุกวัย อีกทั้งยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง (Secci *et al.*, 2018) ด้วยสาเหตุดังกล่าวนี้ทำให้ผู้ผลิตไก่ไข่ให้ความสนใจในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของไข่ไก่เป็นอย่างมากเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งในบางสถานการณ์ดังเช่นที่เกิดขึ้นเมื่อมีภาวะการระบาดของโรคโควิด 2019 ไข่ไก่ยังมีภาวะขาดแคลนอย่างหนัก แต่อย่างไรก็ตาม ในการเลี้ยงไก่ไข่จำเป็นต้องพิจารณาหลายด้าน เช่น ต้นทุนการผลิต ปริมาณผลผลิต และผลกำไรที่เกิดขึ้น เป็นต้น (Bryden *et al.*,

2021) และอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือนิ่งถึงคือ รูปแบบในการเลี้ยงไก่ไข่ โดยทั่วไปแล้วเกษตรกรรายใหญ่เลี้ยงไก่ไข่ในโรงเรือนระบบปิด (Evaporative cooling system) ซึ่งสามารถควบคุมปัจจัยด้านอุณหภูมิและความชื้นได้ แต่สำหรับเกษตรกรระดับกลางและเกษตรกรรายย่อยเลี้ยงไก่ไข่ในโรงเรือนระบบเปิด (Opened-house) ที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ถ้าหากอุณหภูมิสูงอาจส่งผลให้เกิดความเครียดจากความร้อน (Heat stress) ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตคุณภาพของเปลือกไข่ และการกินได้ (Feed intake) ลดลง นอกจากนี้ ยังส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเลือดอีกด้วย (Barrett *et al.*, 2019)

ในปัจจุบันการเลี้ยงไก่ไข่ต้องเผชิญปัญหาราคาดันทุนการผลิตที่ปรับตัวสูงขึ้น ซึ่งมีผลมาจากต้นทุนค่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ไข่เป็นแหล่งโปรตีนหลัก มีแนวโน้มของราคาที่สูงขึ้นทั้งแหล่งโปรตีนจากพืชและสัตว์ เช่น กากถั่วเหลือง และปลาป่น เป็นต้น ทั้งนี้ในต้นทุนการผลิตไข่ไก่ คิดเป็นต้นทุนค่าอาหารร้อยละ 60 ถึง 70 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด (Al-Qazzaz *et al.*, 2016; Barragan-Fonseca *et al.*, 2017; Lalander *et al.*, 2019) ส่งผลทำให้ต้นทุนค่าอาหารเพิ่มขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น จึงเป็นประเด็นให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปศุสัตว์ให้ความสำคัญในการหาแหล่งโปรตีนทางเลือกชนิดใหม่ที่มีคุณภาพดีและมีต้นทุนที่ไม่สูงมากนัก ซึ่งแหล่งโปรตีนที่มาจากแมลง เช่น จิ้งหรีด หนอนนก และหนอนแมลงวันลาย เป็นต้น จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน (Secci *et al.*, 2018) ทั้งนี้ในปัจจุบันแมลงวันลายกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นแมลงที่เลี้ยงง่าย ใช้พื้นที่ในการเลี้ยงน้อย กินอาหารได้หลากหลายชนิด และมีคุณค่าทางโภชนาศาสตร์อยู่ในระดับสูง (Wang and Shelomi, 2017)

แมลงวันลาย (Black soldier fly, BSF) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hermetia illucens* พบได้ทั่วไปในเขตร้อนและเขตอบอุ่น มีรอบวงจรชีวิตทั้งหมด 5 ระยะคือ ระยะตัวเต็มวัย (Adult) ระยะไข่ (Egg) ระยะหนอน

(Larvae) ระยะหนอนก่อนเข้าดักแด้ (Prepupae) และระยะดักแด้ (Pupae) มีจุดเด่นคือ ไม่จัดเป็นแมลงศัตรูพืช และไม่เป็นพาหะนำโรค เนื่องจากไม่มีการปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารและมักไม่เกาะกินอาหารของมนุษย์ (Wang and Shelomi, 2017; Attivi *et al.*, 2020) อีกทั้ง ยังมีการปล่อยสารสื่อประสาทส่งผลทำให้บริเวณที่มีแมลงชนิดนี้จะไม่มีการมีแมลงวันบ้าน (*Musca domestica*) จึงช่วยลดความเสี่ยงในการเป็นพาหะและการแพร่กระจายของโรค (Burana and Jamjanya, 2010) นอกจากนี้ หนอนแมลงวันลายยังสามารถลดของเสียทางการเกษตรเนื่องจากสามารถดำรงชีวิตและเติบโตได้ในวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ เช่น เศษผักผลไม้ เศษอาหาร และมูลสัตว์ เป็นต้น (Nguyen *et al.*, 2015; Sripontan *et al.*, 2017; Tancho, 2017) โดยการกินเข้าไปและเปลี่ยนแปลงเป็นสารอาหาร ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุที่มีประโยชน์ อีกทั้ง หนอนแมลงวันลายมีระดับโปรตีนร้อยละ 30 ถึง 53 ของวัตถุแห้ง ระดับไขมันร้อยละ 20 ถึง 41 ของวัตถุแห้ง (Bessa *et al.*, 2020) และระดับแคลเซียมร้อยละ 6.6 ถึง 9.3 ซึ่งค่าโภชนาศาสตร์ดังกล่าวมีค่าที่สูงกว่าแมลงหลายชนิด (Wang and Shelomi, 2017) จากคุณสมบัติดังกล่าวนี้จึงมีความเป็นไปได้ว่าหนอนแมลงวันลายอาจมีคุณสมบัติในการนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนชนิดใหม่ในอาหารสัตว์ได้

อย่างไรก็ตาม การศึกษาการใช้ประโยชน์จากหนอนแมลงวันลายเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนสำหรับสัตว์มีอย่างแพร่หลาย เช่น ปลา (Bondari and Sheppard, 1981) สุนัข (Chia *et al.*, 2021) นกกระทาเนื้อ (Cullere *et al.*, 2016) ไก่เนื้อ (Anankware *et al.*, 2018) และไก่ไข่ (Al-Qazzaz *et al.*, 2016; Marono *et al.*, 2017; Secci *et al.*, 2018) เป็นต้น แต่เป็นการศึกษาในต่างประเทศที่มีการจัดการฟาร์มและสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างจากประเทศไทย และเนื่องจากการศึกษาการใช้ประโยชน์จากหนอนแมลงวันลายเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนสำหรับสัตว์ในประเทศไทยยังมีอย่างจำกัดด้วยเหตุนี้ การศึกษารังนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา

ผลของแหล่งโปรตีนทดแทนจากหนอนแมลงวันลายอพบแห้ง (*Hermetia illucens*) ต่อคุณภาพไข่ในไก่ไข่พันธุ์การค้าที่เลี้ยงในโรงเรือนแบบเปิดของประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาครั้งนี้ได้ผ่านการพิจารณาจรรยาบรรณการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ จากคณะกรรมการกำกับดูแลการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ภายใต้โครงการเลขที่ IAU-RUS64-01

รูปแบบการเลี้ยงและการจัดการฟาร์ม

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาในแม่ไก่ไข่พันธุ์โลห์มันน์บราวน์ (Lohmann Brown) อายุ 29 สัปดาห์ ที่มีการบันทึกข้อมูลการให้ผลผลิตไข่ไก่และมีการให้ไข่เป็นปกติ จากนั้น สุ่มแม่ไก่ไข่ จำนวน 100 ตัว น้ำหนักตัวเฉลี่ย 1.73 ± 0.03 กิโลกรัม เลี้ยงในกรงเดี่ยว (Single-bird cage) ขนาด $20 \times 45 \times 37$ เซนติเมตร (900 ตารางเซนติเมตรต่อตัว) ที่ตั้งอยู่บริเวณกลางโรงเรือนและสูงจากพื้น 1 เมตร มีรางอาหารอยู่ด้านหน้ากรงพร้อมติดตั้งระบบการให้น้ำอัตโนมัติแบบหัวหยด (Nipple) ที่บริเวณเหนือกรงของไก่ไข่ทุกตัว ทำให้แม่ไก่ไข่ทุกตัวสามารถดื่มน้ำได้อย่างเต็มที่ โรงเรือนที่ใช้เลี้ยงไก่ไข่นี้เป็นโรงเรือนแบบเปิด (Opened-house system) ของงานฟาร์มไก่ไข่ภายใต้การดูแลของสาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (ละติจูด 14.377070 ลองจิจูด 100.611998) โดยด้านข้างของโรงเรือนติดตั้งตาข่ายลวดเพื่อป้องกันสัตว์จากภายนอกและติดตั้งตาข่ายสีดำบริเวณด้านข้างโรงเรือนเพื่อลดรังสีความร้อนจากภายนอกเข้าสู่โรงเรือนและป้องกัน

ละอองฝน ไก่ไข่ทุกตัวได้รับโปรแกรมแสงเท่ากันในแต่ละวันตามสภาพแวดล้อมร่วมกับการให้แสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งระยะเวลาได้รับแสงเท่ากับ 16 ชั่วโมงต่อวัน (16L : 8D) สำหรับการให้อาหาร ไก่ทุกตัวได้รับอาหารเม็ดที่ทำขึ้นในโรงอาหารสัตว์ของสาขาวิชาสัตวศาสตร์เช่นเดียวกัน ในปริมาณ 110 กรัมต่อตัวต่อวัน โดยแบ่งการให้อาหารออกเป็น 2 ครั้งต่อวัน คือ เวลา 07.00 น. และ 15.00 น. (ครั้งละ 55 กรัม) ตลอดระยะเวลาการศึกษา สำหรับโปรแกรมวัคซีนในไก่ไข่ที่เลี้ยงในฟาร์มถูกกำหนดตามโปรแกรมที่กรมปศุสัตว์แนะนำ ซึ่งมีการทำวัคซีนป้องกันโรคคหิวขาดและไก่ นิวคาสเซิล และหลอดลมอักเสบ ทุก 3 เดือน ทั้งนี้ ในระหว่างการวิจัยไม่พบการระบาดของโรคภายในฟาร์ม

การศึกษานี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) โดยสุ่มแม่ไก่ไข่ออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 25 ตัว มีระยะเวลาการศึกษาทั้งสิ้น 4 สัปดาห์ ซึ่งสูตรอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงไก่ไข่ถูกคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป FeedLIVE ที่ใช้ในการประกอบสูตรอาหารโดยเฉพาะที่พิจารณาปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดตามความต้องการของไก่ตามคำแนะนำของ NRC (1994) ที่มีระดับโปรตีนร้อยละ 18 และมีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) เท่ากับ 2,750 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ดังแสดงใน Table 1 ทั้งนี้ อาหารทุกสูตรกำหนดให้มีระดับโปรตีน พลังงาน วิตามิน และแร่ธาตุใกล้เคียงกัน จำนวน 4 สูตร คือ สูตรอาหารที่ 1 คือ อาหารที่มีปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนหลัก (FSH) สูตรอาหารที่ 2 คือ อาหารที่มีกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนหลัก (SOY) สูตรอาหารที่ 3 คือ อาหารที่มีกากถั่วเหลืองร่วมกับหนอนแมลงวันลายอพบแห้งที่ระดับร้อยละ 2 ของสูตรอาหาร (BS2) และสูตรอาหารที่ 4 คือ อาหารที่มีกากถั่วเหลืองร่วมกับหนอนแมลงวันลายอพบแห้งที่ระดับร้อยละ 5 ของสูตรอาหาร (BS5)

Table 1 Feed formulation for laying hens

Ingredient	Amount ¹			
	FSH	SOY	BS2	BS5
Fish meal (60% crude protein) (kg)	5.00	0.00	0.00	0.00
Soybean meal (44% crude protein) (kg)	21.60	29.90	28.04	24.94
Black soldier fly larvae powder (kg)	0.00	0.00	2.00	5.00
Corn (kg)	57.00	57.00	57.00	57.00
Rice bran oil (kg)	0.26	1.39	0.84	0.00
Wheat bran (kg)	7.35	1.79	2.08	2.72
DL-Methionine (kg)	0.09	0.12	0.00	0.00
Dicalcium phosphate (18% phosphorus) (kg)	1.03	2.07	2.09	2.13
Calcium carbonate (kg)	7.26	7.19	7.40	7.66
Salt (kg)	0.17	0.30	0.30	0.30
Premix (kg) ²	0.25	0.25	0.25	0.25
Total (kg)	100.00	100.00	100.00	100.00
Calculated values				
Metabolizable energy (cal/g) ³	2,639.78	2,723.25	2,718.73	2,714.74
Crude protein (%)	18.22	18.05	18.07	18.08
Crude fibre (%)	3.72	3.70	3.75	3.82
Fat (%)	3.22	3.80	3.76	3.70
Calcium (%)	3.50	3.50	3.60	3.72
Proximate analysis				
Gross energy (cal/g) ⁴	3,664.00	3,611.00	3,652.00	3,630.00
Crude protein (%)	19.59	17.49	17.16	16.86
Crude fibre (%)	3.01	2.96	3.09	3.29
Fat (%)	2.60	2.70	3.07	3.41
Calcium (%)	4.53	4.93	3.97	5.37

¹ FSH = protein source from fish meal, SOY = protein source from soybean meal, BS2 = protein source from soybean meal and 2% of dried black soldier fly larvae, and BS5 = protein source from soybean meal and 5% of dried black soldier fly larvae

² Vitamin mineral premix provided per kilogram of premix: vitamin A 2.00 MIU, vitamin D3 0.25 MIU, vitamin E 4,000 IU, vitamin K3 0.80 g, vitamin B1 0.80 g, vitamin B1 0.83 g, vitamin B2 1.60 g, vitamin B6 1.81 g, vitamin B12 3.00 g, choline 240.00 g, niacin 12.00 g, pantothenic 5.00 g, magnesium 5.34 g, manganese 24.80 g, iron 22.50 g, zinc 18.00 g, copper 2.25 g, selenium 0.06 g and preservative 2.50 g.

³ Metabolizable energy was calculated by FeedLIVE program

⁴ Gross energy was calculated by proximate method using bomb calorimeter

ซึ่งในสูตรอาหารที่มีหนอนแมลงวันลายเป็นส่วนประกอบนั้นจะไม่มีเติม DL-Methionine เนื่องจากในการคำนวณสูตรอาหารในโปรแกรมได้อ้างอิงปริมาณกรดอะมิโนของหนอนแมลงวันลายจากตารางแสดงองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาศาสตร์ของอาหาร (INRAE-CIRAD-AFZ feed Tables) โดยเลือกใช้ข้อมูลหนอนแมลงวันลายอบแห้งที่มีระดับไขมันมากกว่าร้อยละ 20 (Dried black soldier fly larvae with fat > 20%) ทำให้ในการคำนวณสูตรอาหารที่ใช้หนอนแมลงวันลายอบแห้งที่มีปริมาณ methionine เพียงพอกับความต้องการของไก่ไข่แล้ว นอกจากนี้ในการประกอบสูตรอาหารในครั้งนี่ยังมีการพิจารณา กำหนดให้ระดับของหนอนแมลงวันลายและปลาป่นอยู่

ในระดับร้อยละ 5 ของสูตรอาหารและใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนอีกชนิดหนึ่งเพื่อให้ระดับโปรตีนในอาหารอยู่ที่ร้อยละ 18 ตามกำหนดของ NRC (1994) หนอนแมลงวันลายอบแห้งที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นหนอนระยะก่อนเข้าตักแด้ (Prepupae) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทเอกชนที่มีกระบวนการฆ่าเชื้อสำหรับหนอนแมลงวันลายด้วยวิธีการลวก (Blanching) อบแห้ง (Drying) และบดละเอียด (Grinding) ก่อนนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการประกอบสูตรอาหารไก่ไข่ อีกทั้งบริษัทเอกชนดังกล่าวยังได้แนบผลการตรวจคุณค่าทางโภชนาศาสตร์ของหนอนแมลงวันลายอบแห้งที่นำมาศึกษาครั้งนี้จากหน่วยงานราชการด้วย ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Chemical nutrition of black soldier fly larva meal (*H. illucens*)

Characteristics	Amount
Moisture (%)	4.21
Crude protein (%)	42.28
Ether extract (%)	36.21
Crude fibre (%)	7.51
Ash (%)	6.88
Calcium (%)	2.02
Sodium chloride (%)	0.04
Gross energy (cal/g)	6,031.55

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ (Ambient temperature) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, RH) ภายในโรงเรือนไก่ไข่ถูกวัดด้วยดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์และถูกจดบันทึกโดยเจ้าหน้าที่ประจำฟาร์มทุกวันตลอดระยะเวลาที่ศึกษา (มีนาคม - เมษายน พ.ศ. 2565) โดยจากข้อมูลอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลาที่ศึกษามีอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ในช่วง 19.70 ถึง 29.10 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดอยู่ในช่วง 28.20 ถึง 36.40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 19.10 ถึง 31.95 องศาเซลเซียส ในขณะที่ ข้อมูล

ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 25 ถึง 62 ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 80 ถึง 99 และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 57 ถึง 81 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยถูกนำมาคำนวณค่าดัชนีอุณหภูมิ-ความชื้น (Temperature-humidity index, THI) โดยใช้สมการ $THI = 3.43 + (1.058 \times Tdb) - (0.293 \times RH) + (0.0164 \times Tdb \times RH) + 35.7$ ตามวิธีของ Berman *et al.* (2016) มีค่าอยู่ในช่วง 60.61 ถึง 90.22

ข้อมูลและลักษณะที่ศึกษา

ไข่ไก่ที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้จำนวน 330 ฟอง ถูกเก็บรวบรวมจากแม่ไก่ไข่จำนวน 100 ตัว เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยเก็บรวบรวมไข่ไก่ทั้งหมดนำมาวิเคราะห์คุณภาพไข่สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นประจำทุกสัปดาห์ ซึ่งประกอบด้วย น้ำหนักไข่ (Egg weight, ETW) น้ำหนักไข่ขาว (Albumin weight, ALW) น้ำหนักไข่แดง (Yolk weight, YKW) น้ำหนักเปลือกไข่ (Shell weight, SHW) ฮอกยูนิต (Haugh unit, HU) คะแนนสีไข่แดง (Yolk color score, YCS) ความหนาเปลือกส่วนปลาย (Egg shell thickness at tip, STT) ความหนาเปลือกส่วนกลาง (Egg shell thickness at middle, STM) และความหนาเปลือกส่วนฐาน (Egg shell thickness at base, STB) โดยลักษณะ ETW, HU และ YCS ถูกวัดค่าโดยใช้เครื่อง Egg multitester, EMT (EMT-7300, Touhoku Rhythm Co., Ltd, Japan) ในขณะที่ ลักษณะ ALW, YKW และ SHW ถูกวัดค่าโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Model BSA420S, Sartorius, Germany) และลักษณะ STT, STM และ STB ถูกวัดค่าโดยใช้เครื่อง QCT-shell thickness micrometers (TSS, England) ซึ่งตำแหน่งในการวัดค่าความหนาเปลือกส่วนปลายนั้นวัดจากบริเวณด้านแหลมของฟองไข่ ขณะที่ ความหนาเปลือกส่วนกลางวัดที่บริเวณกึ่งกลางของฟองไข่ และความหนาเปลือกส่วนฐานวัดที่บริเวณด้านป้านของฟองไข่

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลที่นำมาศึกษามีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลโดยใช้ Kolmogorov-Smirnov และ Shapiro-Wilk เป็นตัวทดสอบ อย่างไรก็ตาม สำหรับลักษณะที่มีการกระจายตัวแบบโค้งเบ้ซ้ายยังคงถูกใช้ในการทดสอบเนื่องจากเป็นค่าที่เกิดขึ้นจริงจากการดำเนินงานวิจัย ได้แก่ HU, YCS, STT, STM และ STB

แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ถูกใช้ในการศึกษาค้างนี้ โดยกำหนดให้ทรีทเมนต์เป็นสูตรอาหารที่

แตกต่างกัน 4 สูตร (FSH, SOY, BS2 และ BS5) ข้อมูลสำหรับลักษณะที่ศึกษาถูกนำมาประมาณค่าเฉลี่ยลีสแควร์ (Least squares means, LSM) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error, SE) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test โดยใช้คำสั่ง GLM procedure ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ทั้งนี้ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient, b) และค่าความเชื่อมั่น (Reliability, R²) ถูกนำมาพิจารณาโดยวิเคราะห์จากค่าเฉลี่ยลีสแควร์สำหรับลักษณะที่ศึกษาจากสัปดาห์ที่ทดสอบ

ผลการทดลองและวิจารณ์

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับลักษณะน้ำหนักไข่ (ETW) มีค่าเท่ากับ 50.43 ± 4.17 กรัม น้ำหนักไข่ขาว (ALW) เท่ากับ 3.09 ± 3.11 กรัม น้ำหนักไข่แดง (YKW) เท่ากับ 11.96 ± 1.12 กรัม น้ำหนักเปลือกไข่ (SHW) เท่ากับ 5.29 ± 0.62 กรัม ฮอกยูนิต (HU) เท่ากับ 84.85 ± 7.18 หน่วย คะแนนสีไข่แดง (YCS) เท่ากับ 3.48 ± 0.67 หน่วย ความหนาเปลือกส่วนปลาย (STT) เท่ากับ 0.36 ± 0.05 มิลลิเมตร ความหนาเปลือกส่วนกลาง (STM) เท่ากับ 0.35 ± 0.04 มิลลิเมตร และความหนาเปลือกส่วนฐาน (STB) เท่ากับ 0.35 ± 0.04 มิลลิเมตร และค่าต่ำสุดและสูงสุดของแต่ละลักษณะมีค่าอยู่ในช่วงดังนี้ สำหรับ ETW เท่ากับ 38.80 ถึง 65.70 กรัม ALW เท่ากับ 23.23 ถึง 43.18 กรัม YKW เท่ากับ 8.71 ถึง 15.40 กรัม SHW เท่ากับ 3.41 ถึง 7.34 กรัม HU เท่ากับ 52.1 ถึง 97.2 หน่วย YCS เท่ากับ 2.30 ถึง 5.9 หน่วย STT เท่ากับ 0.19 ถึง 0.51 มิลลิเมตร STM เท่ากับ 0.22 ถึง 0.47 มิลลิเมตร และ STB เท่ากับ 0.24 ถึง 0.45 มิลลิเมตร

การวิเคราะห์อิทธิพลของสูตรอาหารที่มีแหล่งโปรตีนแตกต่างกันต่อลักษณะที่ศึกษาทั้งหมด พบว่าสูตรอาหารที่แตกต่างกันมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยลีสแควร์

(LSM) สำหรับสำหรับลักษณะ ETW, ALW, YKW, SHW, HU และ YCS แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังแสดงใน Table 3 โดยพบว่าค่า LSM มีค่าอยู่ในช่วง 49.98 ± 0.65 (BS5) ถึง 50.91 ± 0.72 กรัม (SOY), 32.64 ± 0.49 (BS5) ถึง 33.78 ± 0.54 กรัม (SOY), 11.86 ± 0.16 (FSH) ถึง 12.00 ± 0.17 กรัม (BS5), 5.05 ± 0.10 (SOY) ถึง 5.35 ± 0.09 กรัม (BS5), 84.58 ± 0.83 (BS5) ถึง 85.42 ± 0.85 หน่วย (BS2) และ 3.24 ± 0.11 (SOY) ถึง 3.63 ± 0.10 หน่วย (BS2) สำหรับลักษณะ ETW, ALW, YKW, SHW, HU และ YCS ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Dalle Zotte *et al.* (2019) ที่ศึกษาการใช้หนอนแมลงวันลายสกัดน้ำมันทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารนกกะทาไข่ที่ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 พบว่านกกะทาที่กินอาหารที่มีหนอนแมลงวันลายเป็นวัตถุดิบมีน้ำหนักไข่มากกว่านกกะทาที่กินอาหารกลุ่มควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Secci *et al.* (2018) ที่พบว่า การใช้หนอนเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองทั้งหมดมีผลทำให้น้ำหนักไข่ น้ำหนักเปลือกไข่ และน้ำหนักไข่แดงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากอาหารทุกสูตรมีค่าทางโภชนาการต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน เพียงพอต่อความต้องการเพื่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิตของแม่ไก่อย่างใดก็ตาม ผลการศึกษารั้งนี้ขัดแย้งกับ Ruhnke *et al.* (2018) ที่รายงานว่าการใช้หนอนแมลงวันลายปนในระดับร้อยละ 0, 2, 3 และ 4 ทดแทนอาหารสำเร็จรูปในไก่ไข่ที่ระดับร้อยละ 16 ส่งผลให้น้ำหนักไข่น้ำหนักเปลือก และสีของไข่แดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่ง Ruhnke *et al.* (2018) ได้อธิบายถึงผล

ที่เกิดขึ้นนี้อาจเป็นผลมาจากปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ พันธุ์ไก่ อายุ สภาพภูมิอากาศ และรูปแบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน จึงทำให้ลักษณะที่ศึกษามีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้ในการศึกษาครั้งนี้มีปัจจัยในด้านพันธุ์ไก่ อายุ และรูปแบบการเลี้ยงที่เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโรงเรือนที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้เป็นโรงเรือนระบบเปิด จึงทำให้สภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการทดสอบอาจส่งผลต่อลักษณะที่ศึกษา

ทั้งนี้ จากงานวิจัยของ Bejaei and Cheng (2020) ที่ศึกษาปริมาณการใช้หนอนแมลงวันลายสกัดน้ำมันในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับร้อยละ 10 และ 18 รายงานว่า น้ำหนักไข่ไก่ที่มีความแตกต่างกันอาจมีสาเหตุมาจากการใช้หนอนแมลงวันลายทำให้ความสามารถในการย่อยได้ต่ำ เนื่องจากในโครงสร้างเปลือกนอก (Exoskeleton) ของหนอนแมลงวันลายมีสารไคตินในปริมาณมาก สอดคล้องกับรายงานของ Cullere *et al.* (2016) ที่รายงานว่า หนอนแมลงวันลายในระยะก่อนเข้าดักแด้ (Pre-pupae) มีปริมาณไคตินอยู่ที่ 87 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ซึ่งไคตินเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งที่ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยเอนไซม์ที่ผลิตจากระบบทางเดินอาหาร ซึ่งในไก่ไข่ไม่มีกระบวนการย่อยสลายไคติน (Chitinolytic system) จึงไม่สามารถผลิตเอนไซม์ไคตีเนส (Chitinase) ได้ อย่างไรก็ตาม เอนไซม์ดังกล่าวสามารถผลิตโดยจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร ดังนั้น การมีไคตินในระดับที่สูงเกินไปในอาหารสัตว์จะส่งผลในการขัดขวางการย่อยและเป็นตัวจำกัดการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนา (Khempaka *et al.*, 2006; Kroeckel *et al.*, 2012 อ้างโดย Senkwankaw *et al.*, 2017) ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการให้ผลผลิตของไก่ไข่ได้

Table 3 Least squares means and standard errors (LSM ± SE) for egg quality of laying hens fed with different feed types

Trait	Feed type ¹				P-value
	FSH	SOY	BS2	BS5	
Egg weight (ETW, g)	50.11 ± 0.65	50.91 ± 0.72	50.10 ± 0.68	49.98 ± 0.65	0.776
Albumin weight (ALW, g)	32.92 ± 0.49	33.78 ± 0.54	32.94 ± 0.51	32.64 ± 0.49	0.446
Yolk weight (YKW, g)	11.86 ± 0.16	11.89 ± 0.18	11.98 ± 0.17	12.00 ± 0.17	0.918
Shell weight (SHW, g)	5.34 ± 0.09	5.05 ± 0.10	5.24 ± 0.09	5.35 ± 0.09	0.092
Haugh unit score (HU, unit)	84.74 ± 0.80	84.77 ± 0.93	85.42 ± 0.85	84.58 ± 0.83	0.898
Yolk color score (YCS, unit)	3.46 ± 0.10	3.24 ± 0.11	3.63 ± 0.10	3.59 ± 0.10	0.062
Shell thickness					
at tip (STT, mm)	0.38 ± 0.01 ^a	0.34 ± 0.01 ^b	0.36 ± 0.01 ^b	0.36 ± 0.01 ^b	0.008
at middle (STM, mm)	0.36 ± 0.00 ^a	0.33 ± 0.00 ^c	0.34 ± 0.01 ^{bc}	0.35 ± 0.00 ^{ab}	0.001
at base (STB, mm)	0.36 ± 0.01 ^a	0.34 ± 0.01 ^b	0.34 ± 0.01 ^b	0.34 ± 0.01 ^{ab}	0.036

¹ FSH = protein source from fish meal, SOY = protein source from soybean meal, BS2 = protein source from soybean meal and 2% of dried black soldier fly larvae, and BS5 = protein source from soybean meal and 5% of dried black soldier fly larvae

^{a,b,c} Means within the same row with different superscript letters differ (P < 0.05)

อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์อิทธิพลของสูตรอาหารที่มีแหล่งโปรตีนแตกต่างกันต่อลักษณะที่ศึกษาทั้งหมด พบว่า แม่ไก่ไข่ที่กินอาหารที่มีแหล่งโปรตีนแตกต่างกันมีผลทำให้ค่า LSM สำหรับลักษณะ STT (P = 0.008), STM (P = 0.001) และ STB (P = 0.036) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) โดยแม่ไก่ไข่ที่กินอาหาร FSH มีค่า LSM สำหรับลักษณะ STT, STM และ STB สูงที่สุด เท่ากับ 0.38 ± 0.01, 0.36 ± 0.00 และ 0.36 ± 0.01 มิลลิเมตรตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับแม่ไก่ไข่ที่กินอาหาร BS5 พบว่า ค่า LSM สำหรับลักษณะ STM และ STB แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสาเหตุที่ความหนาของเปลือกไข่ลดลงนั้นอาจเกิดจากภาวะการขาดแคลเซียม (Ca) และฟอสฟอรัส (P) เนื่องมาจากปริมาณโดดินที่มีอยู่ใน BSF ส่งผลต่อการย่อย Ca และ P และ

อีกประการหนึ่งคือปริมาณไขมันที่มีอยู่ใน BSF เนื่องจาก Ca สามารถจับกับกรดไขมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับกรดไขมันอิ่มตัวในทางเดินอาหาร (Bouvalet *et al.*, 2011 อ้างโดย Bejaei and Cheng, 2020) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ไก่ไม่สามารถดูดซึมแคลเซียมไปใช้ได้ หรือดูดซึมแต่นำไปใช้ได้เพียงเล็กน้อย ทำให้แม่ไก่ไข่ที่กินอาหารที่มีแหล่งโปรตีนจาก BSF มีความหนาของเปลือกไข่ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม อีกสาเหตุที่เป็นไปได้คืออาหารมีความฟาม (Bulkiness) เนื่องจากการรวมกันของรำข้าวสาลีและ BSF ส่งผลทำให้อาหารมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีเยื่อใยสูง จึงอาจส่งผลต่อปริมาณอาหารที่แม่ไก่บริโภค (Bejaei and Cheng, 2020) ซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณคุณค่าทางโภชนาของอาหารดัง Table 1 ที่แสดงให้เห็นว่า BS2 และ BS5 มีปริมาณเยื่อใยมากกว่า FSH และ SOY

ด้วยสาเหตุที่การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการเลี้ยงไก่ไข่อายในโรงเรือนระบบเปิด ซึ่งสภาพอากาศอาจส่งผลกระทบต่อไก่ไข่ได้โดยตรง ดังนั้น การพิจารณาผลการศึกษาเพิ่มเติมสำหรับข้อมูลสภาพอากาศที่ส่งผลกระทบต่อลักษณะที่ศึกษาจึงอาจช่วยให้เข้าใจถึงผลการศึกษาได้ดีขึ้น เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยสำหรับลักษณะคุณภาพไข่ที่ทดสอบในรายสัปดาห์ พบว่า สัปดาห์ทดสอบมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยสำหรับทุกลักษณะที่ศึกษามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.01$) ยกเว้น ลักษณะ STT ($P = 0.116$) โดยพบว่า แม่ไก่ไข่ที่เลี้ยงในสัปดาห์ที่ 1 มีค่า LSM สำหรับลักษณะ ETW สูงที่สุด (51.80 ± 0.42 กรัม; $P < 0.05$) มากกว่าสัปดาห์ที่ 2, 3 และ 4 ประมาณ 1.76, 1.72 และ 2.63 กรัม ตามลำดับ (Figure 1A) เช่นเดียวกันกับลักษณะ ALW ที่พบว่า ในสัปดาห์ที่ 1 แม่ไก่ไข่มีค่า LSM สูงที่สุด เท่ากับ 33.99 ± 0.32 กรัม มากกว่าสัปดาห์ที่ 2, 3 และ 4 ประมาณ 1.03, 1.06 และ 1.61 กรัม ตามลำดับ (Figure 1B) อีกทั้งในสัปดาห์ที่ 1 ยังมีค่า LSM สำหรับลักษณะ YKW (12.35 ± 0.12 กรัม) มากกว่าสัปดาห์ที่ 2, 3 และ 4 ที่มีค่า LSM 11.99 ± 0.12 , 11.84 ± 0.12 และ 11.55 ± 0.12 กรัม ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย (Figure 1C) ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาลักษณะ SHW พบว่า ในสัปดาห์ที่ 1 (5.42 ± 0.06 กรัม) และ 3 (5.32 ± 0.07 กรัม) มีค่า LSM แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่า เมื่อจำนวนของสัปดาห์ที่ทดสอบเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ภาพรวมของน้ำหนักฟองไข่ลดลงนั้นสามารถชี้ให้เห็นว่าการลดลงนี้เป็นการลดลงของทั้งฟองไข่ ไม่ใช่การลดลงแค่เพียงบางส่วนของไข่ ซึ่งสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไข่ไก่ที่ทดสอบมีขนาดเล็กลงน่าจะเป็นผลมาจากโรงเรือนที่เลี้ยงแม่ไก่ไข่เป็นโรงเรือนแบบเปิดทำให้สภาพอากาศภายนอกโรงเรือนสามารถส่งผลกระทบต่อตัวแม่ไก่ไข่ได้โดยตรง แม่ไก่ไข่จึงเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน สอดคล้องกับข้อมูลสภาพอากาศภายในโรงเรือนในช่วงที่ศึกษาที่มีค่า THI ระหว่าง 84.53 ถึง 89.45, 84.08 ถึง 90.22, 60.61 ถึง 89.46 และ 73.85 ถึง 84.25 สำหรับสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่ง

จากงานวิจัยของ Zulovich and DeShazer (1990) ที่อ้างโดย Kim *et al.* (2021) รายงานถึงการกำหนดระดับของค่า THI สำหรับแม่ไก่ไข่โดยพิจารณาจากการให้ผลผลิตไข่และการตอบสนองทางสรีรวิทยา สามารถจำแนกค่า THI ออกเป็น 4 ระดับ คือ comfort ($THI < 70$), alert ($THI 70-75$), danger ($THI 76-81$) และ emergency ($THI > 81$) ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากค่า THI ของการศึกษานี้ พบว่า แม่ไก่ไข่ถูกเลี้ยงภายใต้สภาพอากาศที่มีค่า THI ในระดับ alert จนถึง emergency ตั้งแต่สัปดาห์แรกจนกระทั่งถึงสัปดาห์สุดท้ายของการศึกษา ถึงแม้ว่าในการศึกษานี้มีวันที่มีค่า THI ต่ำกว่า 70 แต่จำนวนวันดังกล่าวมีเพียง 1 วัน เท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แม่ไก่ไข่มีการให้ผลผลิตที่ลดลงตามจำนวนสัปดาห์ที่ทดสอบ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย เท่ากับ -0.79 ($R^2 = 0.85$), -0.48 ($R^2 = 0.87$), -0.25 ($R^2 = 0.98$) และ -0.08 ($R^2 = 0.50$) สำหรับลักษณะ ETW, ALW, YKW และ SHW ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kilic and Simsek (2013) ที่รายงานค่า THI ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ต่อความเครียดในแม่ไก่ไข่และการให้ผลผลิตของแม่ไก่ไข่ โดยที่เมื่อค่า THI เพิ่มขึ้น 4 หน่วย จะมีผลทำให้ผลผลิตไข่ลดลงร้อยละ 25 นอกจากนี้ Barrett *et al.* (2019) ยังได้รายงานถึงความเครียดเนื่องจากความร้อนแบบฉับพลัน (Acute heat stress) และแบบเรื้อรัง (Chronic heat stress) ที่เกิดขึ้นได้เมื่อแม่ไก่ไข่ได้รับความเครียดจากความร้อนเป็นระยะเวลา 4 ถึง 6 ชั่วโมง และ 2 ถึง 4 สัปดาห์ ตามลำดับ โดยมีผลทำให้แม่ไก่ไข่มีการให้ผลผลิตสำหรับลักษณะน้ำหนักไข่ขาวและน้ำหนักเปลือกไข่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับ Mashaly *et al.* (2004) ที่พบว่า ความเครียดเนื่องจากความร้อนในแม่ไก่ไข่มีผลทำให้การให้ผลผลิตสำหรับลักษณะน้ำหนักไข่ขาวและน้ำหนักเปลือกไข่ลดลง ซึ่งสาเหตุที่เปลือกไข่มีน้ำหนักลดลงนั้นน่าจะเป็นผลมาจาก การลดลงของปริมาณแคลเซียมในเลือดทำให้การทำงานของต่อมสร้างเปลือกไข่ (Shell gland) มีประสิทธิภาพลดลง (Etches *et al.*, 2008)

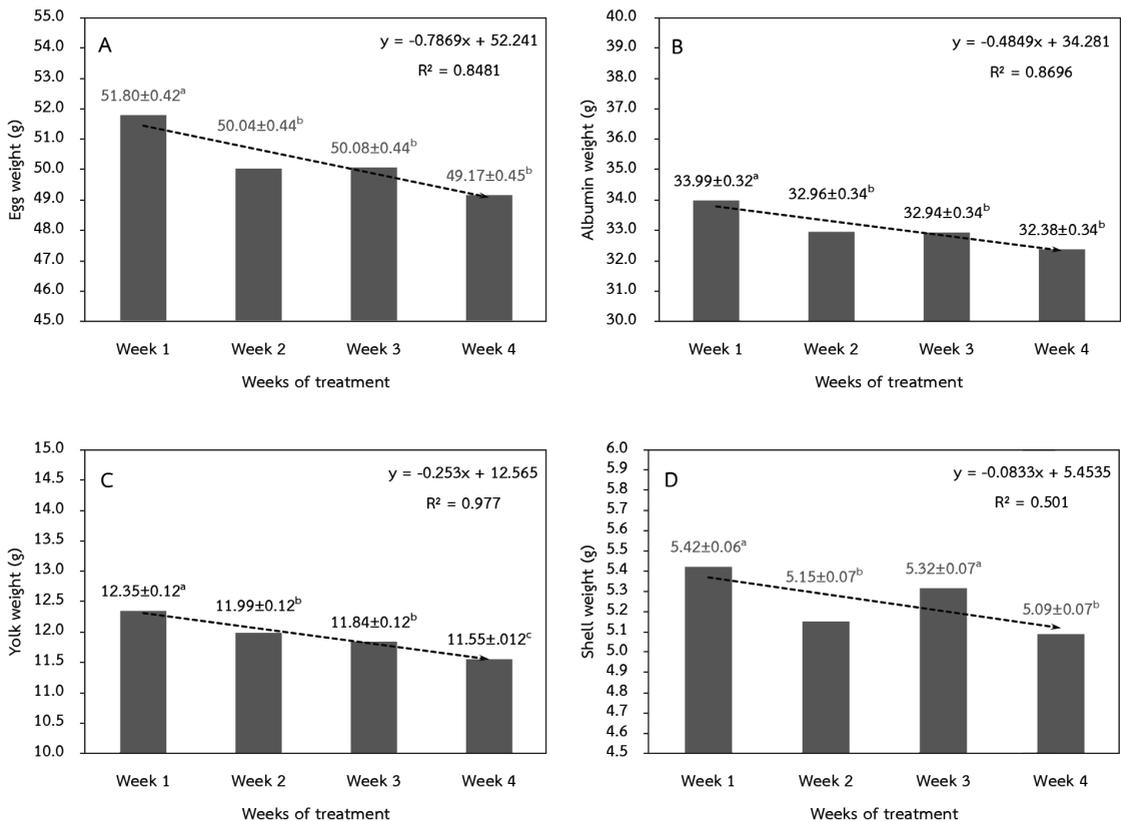


Figure 1 Least squares means and trend for egg weight (A), albumin weight (B), yolk weight (C) and shell weight (D) during four weeks of experiment

เมื่อพิจารณาในด้านต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์ ต้นทุนการผลิตอาหารแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันตาม ชนิดและปริมาณของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ ซึ่งอาหาร กลุ่ม BS5 มีต้นทุนในการผลิตอาหารต่ำที่สุด เท่ากับ 13.70 บาทต่อกิโลกรัม และรองลงมาคือ อาหารกลุ่ม BS2, FSH และ SOY ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 4 ซึ่งในการศึกษานี้ต้นทุนค่าหนอนแมลงวันลายคิดเป็น 0 บาท เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทเอกชน และผู้วิจัยได้เริ่มส่งเสริมและมุ่งหวังให้เกษตรกรผู้เลี้ยงไก่

ไข่ใช้เป็นแนวทางในการเลี้ยงหนอนแมลงวันลายไว้เป็น แหล่งโปรตีนในอาหารไก่ไข่หรือเสริมในอาหารไก่ไข่เพื่อ ลดต้นทุนการผลิตไข่ไก่นั้นเอง นอกจากนี้ในสูตรอาหาร ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้กำหนดให้ต้นทุนสำหรับ DL-Methionine ที่ปรากฏในสูตรอาหารมีราคา 0 บาท ด้วย เช่นกัน เนื่องจากคุณสมบัติของหนอนแมลงวันลายที่มี methionine ในปริมาณสูง เมื่อดำเนินการประกอบสูตร อาหารจึงทำให้สูตรอาหารที่มีหนอนแมลงวันลายเป็นส่วนประกอบสามารถลดต้นทุนในส่วนนี้ได้อีกทางหนึ่ง

Table 4 Feed cost (Baht) for laying hens

Ingredient	Feed type ¹			
	FSH	SOY	BS2	BS5
Fish meal (60% crude protein)	155.00	-	-	-
Soybean meal (44% crude protein)	447.43	619.36	580.83	516.61
Black soldier fly larvae powder	-	-	0.00	0.00
Corn	706.80	706.80	706.80	706.80
Rice bran oil	16.90	90.35	54.60	0.00
Wheat bran	79.38	19.33	22.46	29.38
DL-Methionine	20.25	27.00	0.00	0.00
Dicalcium phosphate (18% phosphorus)	18.54	37.26	37.62	38.34
Calcium carbonate	43.56	43.14	44.40	45.96
Salt	5.78	10.20	10.20	10.20
Premix ²	22.22	22.22	22.22	22.22
Feed cost per 100 kg	1,515.86	1,575.66	1,479.13	1,369.51
Feed cost per 1 kg	15.16	15.76	14.79	13.70

¹ FSH = protein source from fish meal, SOY = protein source from soybean meal, BS2 = protein source from soybean meal and 2% of dried black soldier fly larvae, and BS5 = protein source from soybean meal and 5% of dried black soldier fly larvae

² Vitamin mineral premix provided per kilogram of premix: vitamin A 2.00 MIU, vitamin D3 0.25 MIU, vitamin E 4,000 IU, vitamin K3 0.80 g, vitamin B1 0.80 g, vitamin B1 0.83 g, vitamin B2 1.60 g, vitamin B6 1.81 g, vitamin B12 3.00 g, choline 240.00 g, niacin 12.00 g, pantothenic 5.00 g, magnesium 5.34 g, manganese 24.80 g, iron 22.50 g, zinc 18.00 g, copper 2.25 g, selenium 0.06 g and preservative 2.50 g.

สรุป

หนอนแมลงวันลายอบแห้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการประกอบสูตรอาหารไก่ไข่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนจากปลาป่นได้ทั้งในระดับร้อยละ 2 และ 5 โดยไม่ส่งผลทำให้น้ำหนักไข่ น้ำหนักไข่ขาว น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักเปลือกไข่ ค่าชอกยูนิต และคะแนนสีไข่แดงแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีผลทำให้ความหนาของเปลือกไข่ลดลงในช่วง 0.01 ถึง 0.02 มิลลิเมตร และเมื่อใช้หนอนแมลงวันลายในสูตรอาหารมีต้นทุนต่ำกว่าการใช้ปลาป่นและกากถั่วเหลือง ดังนั้นการใช้หนอนแมลงวันลายอบแห้งเป็นวัตถุดิบในอาหารจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความน่าสนใจอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตาม หากมีการศึกษาเพิ่มเติมในการใช้หนอนแมลงวัน

ลายอบแห้งในสูตรอาหารในระดับที่สูงขึ้นน่าจะช่วยสร้างความมั่นใจเพิ่มขึ้นในการนำหนอนแมลงวันลายไปใช้ประโยชน์เพื่อลดต้นทุนอาหารไก่ไข่

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย (รหัสโครงการ R65202004) ภายใต้กองทุนส่งเสริมงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ และขอขอบคุณหน่วยวิจัยเฉพาะทางพันธุศาสตร์สัตว์เขตร้อนขึ้น ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับคำแนะนำในการวิเคราะห์ทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

- Al-Qazzaz, M.F.A., D. Ismail, H. Akit and L.H. Idris. 2016. Effect of using insect larvae meal as a complete protein source on quality and productivity characteristics of laying hens. R. Bras. Zootec. 45(9): 518–523.
- Anankware, P.J., R.A. Ayizanga, O. Opoku and D. Obeng-Ofori. 2018. Potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) as a replacement for fish/soybean meal in the diet of broilers. Glo. Adv. Res. J. Agric. Sci. 7(8): 272–280.
- Attivi, K., K. Agboka, G.K. Mlaga, O.E. Oke, A. Teteh, O. Onagbesan and K. Tona. 2020. Effect of black soldier fly (*Hermetia illucens*) maggots meal as a substitute for fish meal on growth performance, biochemical parameters and digestibility of broiler chickens. Int. J. Poult. Sci. 19(2): 75–80.
- Barragan-Fonseca, K.B., M. Dicke and J.J.A. van Loon. 2017. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review. J. Insects Food Feed. 3(2): 105–120.
- Barrett, N.W., K. Rowland, C.J. Schmidt, S.J. Lamont, M.F. Rothschild, C.M. Ashwell and M.E. Persia. 2019. Effect of acute and chronic heat stress on the performance, egg quality, body temperature, and blood gas parameters of laying hens. Poult. Sci. 98(12): 6684–6692.
- Bejaei, M. and K.M. Cheng. 2020. The effect of including full-fat dried black soldier fly larvae in laying hen diet on egg quality and sensory characteristics. J. Insects Food Feed 6(3): 305–314.

- Berman, A., T. Horovitz, M. Kaim and H. Gacitua. 2016. A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. *Int. J. Biometeorol.* 60(10): 1453–1462.
- Bessa, L.W., E. Pieterse, J. Marais and L.C. Hoffman. 2020. Why for feed and not for human consumption? The black soldier fly larvae. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 19(5): 2747–2763.
- Bondari, K. and D.C. Sheppard. 1981. Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. *Aquaculture* 24: 103–109.
- Bryden, W.L., X. Li, I. Ruhnke, D. Zhang and S. Shini. 2021. Nutrition, feeding and laying hen welfare. *Anim. Prod. Sci.* 61: 893–914.
- Burana, K. and T. Jamjanya. 2010. Distribution, rearing methods and nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.), pp. 603–609. *In Proc. the 11th Graduate Research Conference Khon Kaen University, 12 February 2010.* (in Thai)
- Chia, S.Y., C.M. Tanga, I.M. Osluga, A.O. Alaru, D.M. Mwangi, M. Githinji, T. Dubois, S. Ekesi, J.J.A. van Loon and M. Dicke. 2021. Black soldier fly larval meal in feed enhances growth performance carcass yield and meat quality of finishing pigs. *J. Insects Food Feed.* 7(4): 433–447.
- Cullere, M., G. Tasoniero, V. Giaccone, R. Miotti-Scapin, E. Claeys, S. De Smet and A. Dalle Zotte. 2016. Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits. *Animal* 10(12): 1923–1930.
- Dalle Zotte, A., Y. Singh, J. Michiels and M. Cullere. 2019. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) as dietary source for laying quails: live performance, and egg physico-chemical quality, sensory profile and storage stability. *Animals* 9(3): 115.
- Etches, R.J., T.M. John and A.M.V. Gibbins. 2008. Behavioural, physiological, neuroendocrine and molecular responses to heat stress, pp. 48–79. *In N. Dagher, ed. Poultry Production in Hot Climates.* 2nd edition. CABI, Oxfordshire, UK.
- Khempaka, S., K. Koh and Y. Karasawa. 2006. Effect of shrimp meal on growth performance and digestibility in growing broilers. *J. Poult. Sci.* 43(3): 250–254.
- Kilic, I. and E. Simsek. 2013. The effects of heat stress on egg production and quality of laying hens. *J. Anim. Vet. Adv.* 12(1): 42–47.
- Kim, D.H., Y.K. Lee, S.H. Kim and K.W. Lee. 2021. The impact of temperature and humidity on the performance and physiology of laying hens. *Animals* 11(1): 56.

- Lalander, C., S. Diener, C. Zurbrügg and B. Vinneras. 2019. Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). J. Clean. Prod. 208: 211–219.
- Marono, S., R. Loponte, P. Lombardi, G. Vassalotti, M.E. Pero, F. Russo, L. Gasco, G. Parisi, G. Piccolo, S. Nizza, C. Di Meo, Y.A. Attia and F. Bovera. 2017. Productive performance and blood profiles of laying hens fed *Hermetia illucens* larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 weeks of age. Poult. Sci. 96(6): 1783–1790.
- Mashaly, M.M., G.L. Hendricks, M.A. Kalama, A.E. Gehad, A.O. Abbas and P.H. Patterson. 2004. Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens. Poult. Sci. 83(6): 889–894.
- National Research Council (NRC). 1994. Nutrient Requirements of Poultry. 9th edition. National Academy Press, Washington, D.C., USA.
- Nguyen, T.T.X., J.K. Tomberlin and S. Vanlaerhoven. 2015. Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste. Environ. Entomol. 44(2): 406–410.
- Ruhnke, I., C. Normant, D.L.M. Campbell, Z. Iqbal, C. Lee, G.N. Hinch and J. Roberts. 2018. Impact of on-range choice feeding with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) on flock performance, egg quality, and range use of free-range laying hens. Anim. Nutr. 4(4): 452–460.
- Secci, G., F. Bovera, S. Nizza, N. Baronti, L. Gasco, G. Conte, A. Serra, A. Bonelli and G. Parisi. 2018. Quality of eggs from Lohmann Brown Classic laying hens fed black soldier fly meal as substitute for soya bean. Animal 12(10): 2191–2197.
- Senkwankaew, C., P. Khenjan, P. Sooksoi and N. Thongtip. 2017. Using of chitosan on growth performance in swine. Prawarun Agr. J. 14(2): 136–145. (in Thai)
- Sripontan, Y., T. Juntavimon, S. Songin and C.I. Chiu. 2017. Egg-trapping of black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) with various wastes and the effects of environmental factors on egg-laying. Khon Kaen Agr. J. 45(1): 179–184.
- Tancho, A. 2017. Maejo Maggots. Trio Advertising & Media Co., Ltd., Chiang Mai, Thailand. 90 pp. (in Thai)
- Wang, Y.S. and M. Shelomi. 2017. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. Foods 6(10): 91.