

ผลของการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ และผงกะเพราแดง ในสูตรอาหารไก่ไข่ที่มี
หนอนแมลงวันลายเป็นส่วนประกอบ ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่
สารต้านอนุมูลอิสระ และองค์ประกอบกรดไขมันในไข่แดง

Effects of Lingzhi (*Ganoderma lucidum*) Extract and Red Holy Basil Powder
Supplementation in Laying Hen Diet with Black Soldier Fly Larvae on Production
Performance, Egg Quality, Antioxidant Activity, and Egg Yolk Fatty Acid Composition

สโรชา ยะแสง^{1*} ทองเลียน บัวจุม¹ บัวเรียม มณีวรรณ¹
วศิน เจริญตันธนกุล² และ วงศ์พันธ์ พรหมวงศ์³
Sarocho Yasang^{1*}, Tonglian Buwjoom¹, Buaream Maneewan¹,
Wasin Charentantanakul² and Wongphan Promwong³

¹ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

¹ Faculty of Animal Science and Technology, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

² คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

² Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

³ สาขาวิชาอารักขาพืช คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

³ Plant Protection, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

*Corresponding author: Email: sarocho.yas6401@gmail.com

(Received: 26 June 2023; Accepted: 30 October 2023)

Abstract: Production performance, egg quality, antioxidant activity and egg yolk fatty acid composition improvement by black soldier fly larvae with lingzhi extract or red holy basil powder in diet were conducted in a total of 144 Hy-Line Brown at 30 week-old. The hens were randomly divided into 3 groups with 4 replicates and 12 laying hens per replicate in a completely randomized design. Group 1; The control diet. Group 2 and 3; The 1.00% black soldier fly larvae diet supplemented by lingzhi extract 0.01% (BSFL) or red holy basil powder 0.50% (BSFR) respectively. The experiment was conducted for 12 weeks. The result showed that egg production performance, egg quality, egg yolk antioxidant concentration and the egg yolk fatty acids in overall of all groups had no significantly different ($P>0.05$), except the red/green value (a^*) of BSFL group was higher than CON and BSFR groups ($P<0.01$). The omega 6 of BSFL group was lower than that of CON and BSFR groups. Therefore, the using of the black soldier fly larvae with lingzhi extract or red holy basil powder supplementation in diet had no adverse effect on egg production performance, egg quality, antioxidant activity and saturated and unsaturated fatty acids and the black soldier fly larvae with lingzhi extract supplementation can increase the egg yolk red/green value (a^*) and decrease the omega 6.

Keywords: black soldier fly larvae, lingzhi, red holy basil, fatty acid, antioxidants

บทคัดย่อ: การปรับปรุงสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ สารต้านอนุมูลอิสระ และกรดไขมันในไข่แดง โดยใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ หรือผงกะเพราแดงในสูตรอาหาร ได้ศึกษาในไก่ไข่สายพันธุ์ไฮไลน์-บราวน์ อายุ 30 สัปดาห์ จำนวน 144 ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) แบ่งไก่ทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 12 ตัว กลุ่มที่ 1 กลุ่มอาหารควบคุม กลุ่มที่ 2 และ 3 กลุ่มอาหารที่ใช้หนอนแมลงวันลายระดับ 1.00% ร่วมกับการเสริมด้วยสารสกัดเห็ดหลินจือ 0.01% (BSFL) หรือร่วมกับการเสริมด้วยผงกะเพราแดง 0.50% (BSFR) ตามลำดับ ทดลองเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า สมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ สารต้านอนุมูลอิสระ และกรดไขมันโดยรวมของทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้นค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว (a^*) ของกลุ่ม BSFL มีค่าสูงกว่า BSFR และกลุ่มควบคุม ($P<0.01$) ในขณะที่กรดไขมันชนิด โอเมก้า 6 ของกลุ่ม BSFL มีค่าต่ำกว่ากลุ่ม BSFR และกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังนั้นการใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ หรือผงกะเพราแดง ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ รวมถึงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณกรดไขมันในไข่แดงทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว และการใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือสามารถเพิ่มค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียวของไข่แดง และทำให้ปริมาณกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 ลดลง

คำสำคัญ: หนอนแมลงวันลาย เห็ดหลินจือ กะเพราแดง กรดไขมัน สารต้านอนุมูลอิสระ

คำนำ

ปัจจุบันมนุษย์ให้ความสำคัญกับสุขภาพร่างกาย จึงใส่ใจเลือกรับประทานอาหารที่ดีต่อสุขภาพมากขึ้น หนึ่งในอาหารที่นิยมบริโภคกันมากที่สุดคือไข่ไก่ เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับทุกเพศทุกวัยไข่ไก่ประกอบด้วยโปรตีนอัลบูมินที่มีคุณภาพสูงที่จำเป็นต่อการสร้างอัลบูมินในเลือด ช่วยในการสร้างและซ่อมแซมเซลล์เนื้อเยื่อในร่างกาย นอกจากนี้ไข่ไก่ยังมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น ไลซีน ทรีโตนีน ฮีสทีดีน ฟีนิลแอลานีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน ทรีโอนีน เมไทโอนีน ซีสตีโอน วาลีน เป็นต้น (Chitisankul, 2017) กรดอะมิโนดังกล่าวมีส่วนเสริมสร้างการเจริญเติบโตและการทำงานของระบบประสาทและสมอง (Thanacharoenwat, 2019) การผลิตไข่ไก่เพื่อสุขภาพ เกษตรกรผู้ผลิตต้องคำนึงถึงวัตถุดิบที่จะนำมาประกอบในสูตรอาหารต้องมีความปลอดภัย ไม่ส่งผลเสียต่อตัวไก่ และปลอดภัยที่อาจตกค้างไปสู่ผู้บริโภค จึงมีการเสาะหาแหล่งวัตถุดิบ หรือสารเสริมจากธรรมชาติมาใช้เพื่อลดการใช้ยาหรือสารสังเคราะห์ และสามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพไข่ ซึ่งเห็ดหลินจือเป็นแหล่งของสารโพลีแซคคาไรด์ คาร์ติแอกไกลโคไซด์ สเตียรอยด์

และเรซิน ซึ่งมีผลช่วยเสริมสร้างสุขภาพ และเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ต้านเนื้องอก และต้านแบคทีเรีย (Ogbe *et al.*, 2009; Khan *et al.*, 2018) นอกจากนี้เห็ดหลินจือที่มีคุณภาพต่ำกว่าเกณฑ์ที่ใช้ในมนุษย์สามารถนำมาใช้ในสัตว์ได้ จากการศึกษาของ Buwjoom *et al.* (2022) รายงานว่า การเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0.01 % สามารถเพิ่มปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 ในไข่แดง โดยโอเมก้า 3 มีความสำคัญต่อโครงสร้างและการทำงานของสมอง ระบบประสาท และพัฒนาการเรียนรู้ (Boonpramook, 2014) ส่วนโอเมก้า 6 ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล ช่วยลดและชะลอการเสื่อมของเซลล์ต่าง ๆ (Pornchalormpong and Rattanapanone, 2017) และสำหรับผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญเรื่องสุขภาพ นิยมเลือกรับประทานอาหารที่มีไขมัน หรือคอเรสเตอรอลต่ำ เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด (Vibharam Hospital, 2016) ซึ่งในใบกะเพรา (red holy basil: *Ocimum tenuiflorum* L.) อุดมด้วยน้ำมันหอมระเหย eugenol ที่เป็นสารประกอบฟีนอลิกมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ และยับยั้งการเกิด lipid peroxidation ช่วยลดไขมันและคอเลสเตอรอลในเลือด และชะลอการเสื่อมสภาพของเซลล์

(Singh *et al.*, 2007) จากรายงานของ Nulla-ong *et al.* (2022) อ้างว่า การเสริมผงกะเพราแดง 0.50% ร่วมกับ แหน่เปิดใหญ่ในอาหารไก่ไข่ สามารถลดปริมาณไขมันในไข่ทั้งฟอง ส่วน Narahari *et al.* (2005) รายงานว่า การเสริมผงใบกะเพราแดง 0.50% ในอาหารไก่ไข่ สามารถลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงได้ การนำสารสกัดเห็ดหลินจือ และผงกะเพราแดงมาใช้เป็นสารเสริมในสูตรอาหารอาจช่วยเพิ่มคุณภาพไข่ เช่น เพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในไข่แดงเพิ่มกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมก้า 3 และ 6 และลดคอเลสเตอรอลในไข่แดง เป็นต้น นอกเหนือจากการผลิตไข่ที่มีคุณภาพแล้ว Malamaneerat *et al.* (2020) ได้รายงานว่าการใช้ หนอนแมลงวันลาย (black soldier fly: *Hermetia illucens*) ที่เลี้ยงด้วยกากเต้าหู้ทำให้หนอนแมลงวันมีโปรตีน 45.68% ไขมัน 34.53% แคลเซียม 1.22% ฟอสฟอรัส 0.8% และมีพลังงานรวม 6,235 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารไก่เนื้อได้ถึง 4% โดยไม่มีผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต และองค์ประกอบซาก หากใช้ในระดับต่ำคือ 1-3% ในสูตรอาหาร สามารถปรับปรุงคุณภาพเนื้อให้ดีขึ้นได้ และมีกรดอะมิโนที่สำคัญชนิดเมไทโอนีนและไลซีน 0.91-2.23% (Schiavone *et al.*, 2017) ทั้งนี้จากการทดลองของ Burana and Jamjanya (2011) พบว่า โภชนะของหนอนแมลงวันลายขึ้นอยู่กับอาหารที่ใช้เลี้ยง โดยการเลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรดทำให้หนอนแมลงวันลายมีโปรตีน 40.15 % และไขมัน 26.03% เลี้ยงด้วยเปลือกขนุนทำให้หนอนแมลงวันลายมีโปรตีน 37.77% และไขมัน 27.04% เป็นต้น สำหรับอาหารไก่ไข่ การใช้หนอนแมลงวันลายที่ระดับ 1.00% สามารถเพิ่มผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ แต่ไม่มีผลต่อคุณภาพไข่ (Maneewan *et al.*, 2022) ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ หรือผงกะเพราแดงในสูตรอาหารไก่ไข่สำหรับการเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อย ที่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ สารต้านอนุมูลอิสระ และกรดไขมันในไข่แดง

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมสารสกัดเห็ดหลินจือ ผงกะเพราแดง และหนอนแมลงวันลาย

สารสกัดเห็ดหลินจือได้จากส่วนขาและเศียรดอกเห็ดหลินจือ สายพันธุ์ G2 ที่ปลูกในศูนย์พัฒนาเห็ดหลินจือและเห็ดสมุนไพร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ เก็บเกี่ยวที่อายุ 110 วัน สกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้น 70% กลั่นแยกเอทานอลออกจากสารสกัดด้วยเครื่องปั่นระเหยสารแบบหมุน (Büchi rotavapor R-200, Switzerland) ซึ่งแบ่งข้าวโพดผสมกับน้ำสกัดเห็ดหลินจือที่สกัดแล้ว โดยคำนวณให้มีความเข้มข้นของสารสกัดเห็ดหลินจือที่ 10% จากนั้นนำสารสกัดเห็ดหลินจืออบให้แห้งสนิท และบดละเอียด เก็บในภาชนะที่ปิดสนิท ส่วนกะเพราแดง ได้จากบริษัทอุตสาหกรรมเครื่องหอม ไทย-จีน จำกัด อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย นำมาบดให้ละเอียด และเก็บไว้ในถุงหรือภาชนะที่ปิดมิดชิด สำหรับหนอนแมลงวันลาย ได้จากการเลี้ยงด้วยกากเต้าหู้ระยะก่อนดักแด้ที่ผ่านการทำให้ตายอย่างสงบด้วยวิธีแช่น้ำแข็งจากโรงเรือนเพาะเลี้ยงของสาขาวิชาอารักขาพืช คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ นำมาอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนแห้งสนิท และบดให้ละเอียด เก็บไว้ในถุงหรือภาชนะที่ปิดมิดชิด เมื่อนำหนอนแมลงวันลายที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการพบว่า มีโปรตีน 45.68 % ไขมัน 34.53 % เยื่อใย 8.30 % แคลเซียม 1.22 % ฟอสฟอรัส 0.80 % พลังงานรวม 6,235 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

อาหารทดลอง

แบ่งเป็น 3 สูตร ได้แก่ 1) สูตรอาหารควบคุม ไม่มีการใช้หนอนแมลงวันลายและสารเสริม 2) สูตรควบคุมเสริมด้วยหนอนแมลงวันลายและสารสกัดเห็ดหลินจือ 0.01 % (BSFL) และ 3) สูตรควบคุมเสริมด้วยหนอนแมลงวันลายและผงกะเพราแดง 0.50 % (BSFR) ซึ่งจากสูตรอาหารที่ 2 และ 3 มีการใช้วัตถุดิบหลักอื่นๆ เช่น กากถั่วเหลือง รำละเอียด หินเกล็ด หินฟูน ฯลฯ

ในระดับที่ไม่เท่ากับสูตรอาหารควบคุม เนื่องจากสูตรอาหารทดลองมีการใช้หนอนแมลงวันลายเป็นแหล่งโปรตีน เพื่อลดการใช้เนื้อป่นในอาหารสูตรทดลอง และได้คำนวณสูตรอาหารให้ตรงตามความต้องการทางโภชนาของแม่ไก่ในช่วงระยะในการทดลอง (อายุ 30 - 42 สัปดาห์) ทำให้มีการใช้วัตถุดิบบางชนิดในปริมาณที่

แตกต่างกัน โดยสูตรอาหารทั้ง 3 สูตรมีปริมาณโปรตีน 17 % พลังงานที่ใช้ประโยชน์ 2,800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมเท่ากัน และโภชนาอื่น เช่น เยื่อใย แคลเซียม และฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้ มีปริมาณใกล้เคียงกัน ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาของแมลงวันลายและอาหารทดลอง แสดงไว้ใน Table 1

Table 1. Ingredients and nutrient composition of Black soldier fly larvae and experiment diets

	Control (T1)	The black soldier fly with additive groups (T2 or T3)
Ingredients (%)		
Corn	58.29	60.00
Rice bran	7.10	5.91
Full fat soybean (>30% CP)	2.47	2.40
Soybean meal (>44% CP)	18.97	18.69
Meat meal (50% CP)	3.47	3.00
Limestone Flour	4.80	3.50
Limestone	2.53	3.90
Dicalcium phosphate (14% P)	1.77	1.00
Salt	0.20	0.20
Premix ¹	0.25	0.25
Methionine	0.15	0.15
Black soldier fly larvae	0.00	1.00
Lingzhi extract or red holy basil	0.00	0.01 or 0.50
Calculated chemical composition (% dry matter basis)		
Protein	17.00	17.05
Fiber	3.86	3.81
Ether extract	4.42	4.60
Calcium	3.52	3.40
Available phosphorus	0.58	0.50
Metabolizable energy (kcal/kg)	2,816.20	2,876.29

¹Premix = Mono Mix 201 1.00 kg. include vitamin A 5.60 MIU, vitamin D 1.12 MIU, vitamin E 2,400 MIU, vitamin K 0.40 g., vitamin B1 0.40 g., vitamin B2 1.20 g., vitamin B6 0.80 g., vitamin B12 0.008 mg., pantothenic acid 1.80 g., probiotic 0.006 g., nicotinic acid 8.00 g., choline chloride 120 g., folic acid 0.20 g., copper 2.00 g., manganese 47.00 g.

สัตว์ทดลองและแผนการทดลอง

ใช้ไก่ไข่สายพันธุ์ไฮไลน์ บราวน์ (Hy-Line Brown) อายุ 30 สัปดาห์ จำนวน 144 ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มทดลอง กลุ่มทดลองละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 12 ตัว โดยได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการเลี้ยงและใช้สัตว์เลขที่ MACUC042A/2565 ตลอดระยะเวลาการทดลองให้อาหารอย่างจำกัดที่ 115 - 120 กรัม/ตัว/วัน และให้น้ำอย่างเต็มที่ ทดลองเป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีการให้แสง 16 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 33.75 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 74.75 % และเลี้ยงแบบกึ่งขังกึ่งปล่อยที่มีพื้นที่ในการเลี้ยงของแต่ละซ้ำทั้งหมด 26 ตารางเมตร โดยมีพื้นที่ภายในโรงเรือนเปิด 0.50 ตารางเมตร/ตัว และพื้นที่ปล่อยออกสู่ภายนอก 1.67 ตารางเมตร/ตัว โรงเรือนฟักเพื่อป้องกัน คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

การประเมินสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ และสารต้านอนุมูลอิสระ

บันทึกจำนวนไข่ และน้ำหนักไข่ทุกวัน และเมื่อครบสัปดาห์บันทึกปริมาณอาหารที่กิน เพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่เฉลี่ย ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ทุกสัปดาห์ ส่วนคุณภาพไข่ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างไข่ไก่ที่เก็บไม่เกิน 24 ชั่วโมง ซ้ำละ 5 ฟอง รวม 20 ฟองต่อกลุ่ม เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพไข่ทุก 2 สัปดาห์ โดยบันทึกน้ำหนักไข่ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล วัดสีของเปลือกไข่ (%Light) ด้วยเครื่องวัดการสะท้อนสี (Technical Services and Supplies Ltd., England) 3 จุด ได้แก่ บริเวณด้านบน ตรงกลาง และด้านแหลมของฟองไข่ วัดความแข็งของเปลือกไข่บริเวณด้านบนของฟองไข่ โดยใช้เครื่องวัดค่าความแข็งเปลือกไข่ (Robotmation Co., Ltd., Japan) วัดความหนาของเปลือกไข่ด้วยเครื่องดิจิตอลไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo Co. Ltd., Japan) จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย วัดสีไข่แดง (score) โดยใช้พัดเทียบสีของโรช (Roche yolk color fan) วัดความกว้างไข่แดง ความสูงไข่แดง และความสูงไข่ขาว โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ เพื่อคำนวณหาดัชนีไข่แดง (yolk index) ตามวิธีของ Funk (1948) และค่าฮอก

ยูนิต (Haugh unit) ตามวิธีของ Eisen *et al.* (1962) เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการสุ่มเก็บตัวอย่างไข่ไก่จาก 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ฟอง รวม 9 ฟองต่อกลุ่ม โดยใช้ส่วนของไข่แดงสด เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ในไข่แดง โดยดัดแปลงจากวิธีของ Nulla-ong *et al.* (2022)

การวิเคราะห์กรดไขมันในไข่แดง

หลังสิ้นสุดการทดลองทำการเก็บตัวอย่างไข่แดงต้มสุก โดยเก็บเฉพาะไข่แดงต้มสุกจากกลุ่มทดลองละ 150 - 200 กรัม ส่งวิเคราะห์ที่ฝ่ายบริการห้องปฏิบัติการ สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์กรดไขมันตามมาตรฐาน AOAC (2016)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบ one way analysis of variance (one-way ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ค่าความเชื่อมั่นที่ 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

การใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ หรือผงกะเพราแดงตลอดระยะเวลาทดลอง 12 สัปดาห์ ผลแสดงไว้ใน Table 2 ปรากฏว่า ปริมาณอาหารที่กิน ผลผลิตไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดการทดลอง ($P > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Ruhnke *et al.* (2018) ที่รายงานว่า การใช้หนอนแมลงวันลายสกัดน้ำมันในอาหารไก่ไข่ไม่ทำให้ผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ดีขึ้น ($P > 0.05$) เช่นเดียวกับ Nulla-ong *et al.* (2022) ที่รายงานว่า การใช้ผงกะเพราแดง และแทนเบ็ดใหญ่ในอาหารไก่ไข่ ไม่มีผลต่อผลผลิตไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ ($P > 0.05$)

Table 2. Effects of black soldier fly larvae with lingzhi (*Ganoderma lucidum*) extract or red holy basil powder supplementation in laying hen diet on egg performance and egg quality

Groups	Control	BSFL	BSFR	SEM	P-value
Egg production (%)	60.81	59.70	59.08	1.45	0.90
Feed intake (g/day)	111.38	111.13	111.36	0.33	0.95
Feed conversion ratio	2.85	2.91	2.94	0.06	0.83
Egg weight (g)	59.38	59.15	59.69	0.53	0.93
Shell color	15.91	18.44	15.58	0.64	0.13
Shell strength (kg/cm ²)	4.71	4.83	4.68	0.07	0.43
Shell thickness (mm)	0.39	0.40	0.39	<0.01	0.33
Yolk color	8.40	8.70	8.70	0.06	0.07
Yolk index	0.47	0.47	0.46	<0.01	0.15
Haugh unit	102.63	102.66	103.42	0.34	0.62
L [*]	59.44	59.05	59.11	0.16	0.59
a [*]	4.98 ^c	5.49 ^a	5.23 ^b	0.07	<0.01
b [*]	37.35	37.29	37.69	0.24	0.79

a, b, c Means within the same row with different letters are significantly different ($P < 0.05$); BSFL = 1.00% black soldier fly larvae with lingzhi extract 0.01%; BSFR = 1.00% black soldier fly larvae with red holy basil 0.50%; SEM = standard error of the mean

ส่วน Ogbe *et al.* (2009) รายงานว่า การเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือระดับ 0.20 0.10 และ 0.05% ในอาหารไก่ไข่ ในช่วงท้ายของการให้ผลผลิต มีผลทำให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ผลผลิตไข่ และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในการศึกษาครั้งนี้การใช้หนอนแมลงวันลายและเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ 0.01% ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตน้ำหนักไข่ ความแข็งแรงของเปลือกไข่ สีของเปลือกไข่ ดัชนีไข่แดง ค่าสี L^{*} และค่าสี b^{*} ($P > 0.05$) ยกเว้นสีไข่แดงของกลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับสารสกัดเห็ดหลินจือ หรือร่วมกับผงกะเพราแดง (BSFL หรือ BSFR) มีแนวโน้มเข้มมากกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว (a^{*}) ที่พบว่า กลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับสารสกัดเห็ดหลินจือมีค่าสี a^{*} สูงกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับผงกะเพราแดง ($P < 0.05$) แตกต่างกับ Maneewan

et al. (2022) ที่การใช้หนอนแมลงวันลายที่ระดับ 1.00 % ในอาหารไก่ไข่ สามารถเพิ่มผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่ แต่ไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพไข่ได้ แต่สอดคล้องกับ Kirubakaran (2021) ที่รายงานว่า การเสริมใบกะเพราในอาหารไก่ไข่ ไม่มีผลต่อคุณภาพไข่โดยรวม ($P > 0.05$) แต่ทำให้สีไข่แดงมีความเข้มขึ้น ($P < 0.05$) เนื่องจากในผงกะเพราแดงมีสารให้สีชนิดคลอโรฟิลล์ที่เป็นสารสีเขียวซึ่งทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงของพืช และชนิดแคโรทีนอยด์เป็นสารให้สีส้มและเหลืองในพืช ผลไม้ และสัตว์ทะเลบางชนิด มีคุณสมบัติในการต้านสารอนุมูลอิสระ เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ และมีผลต่อการสะสมสารสีในไข่แดง โดยแคโรทีนอยด์มีคุณสมบัติละลายได้ในไขมัน และใช้ไขมันเป็นตัวพาเข้าไปสะสมในไข่แดง ทำให้สีไข่แดงเข้มขึ้น (Niyomdech and Khongsen, 2013; Banik *et al.*, 2018) นอกจากนี้เห็น

หลินจือยังเป็นแหล่งสารให้สีที่นำมาผลิตสารสีในอุตสาหกรรมมากมาย มีความเสถียรมากกว่าสีสังเคราะห์ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Shrivastava *et al.*, 2017; Kejarawal *et al.*, 2022) Yegenoglu *et al.* (2011) รายงานว่า สารสกัดเห็ดหลินจือที่สกัดในเอทานอล มีสารแบต้าแคโรทีน 0.465 mg/g และไลโคปีน 0.067 mg/g ซึ่งสารทั้งสองชนิดเป็นสารให้สี โดยแบต้าแคโรทีนเป็นสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่ให้สีส้มและเหลือง ส่วนไลโคปีนเป็นสารให้สีแดง จึงเป็นเหตุให้กลุ่มที่เสริมสารสกัดเห็ดหลินจือและกะเพราแดงมีสีไข่แดงเข้มกว่ากลุ่มควบคุม

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และกรดไขมันในไข่แดง

การใช้หนอนแมลงวันลาย ร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ หรือผงกะเพราแดงในสูตรอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ ผลแสดงไว้ใน Table 3 ผลปรากฏว่า สารต้านอนุมูลอิสระในไข่แดงสดของกลุ่มที่เสริมร่วมกับสารสกัดเห็ดหลินจือมีแนวโน้มมากกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับผงกะเพราแดง ($P=0.05$) ทั้งนี้คาดว่าเป็นผลมาจากการทดลองครั้งนี้มีการใช้ผงกะเพราทั้งต้น (ลำต้น กิ่ง ก้าน และใบ) ซึ่งอาจมีสารออกฤทธิ์ไม่เพียงพอ โดยปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในแต่ละส่วนของต้นกะเพราแดงมีปริมาณแตกต่างกัน สามารถจัดลำดับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากมากไปน้อย ได้แก่ ใบ ดอก ลำต้น และช่อดอก ตามลำดับ (Hakim *et al.*, 2007) แตกต่างกับกลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือที่มีแนวโน้มมากกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับ Secchi *et al.* (2018) ที่พบว่าการใช้หนอนแมลงวันลายสกัด

น้ำมันทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารไก่ไข่ ทำให้ปริมาณสารแคโรทีนอยด์ ลูทีน แซนธาทีน และเบต้าแคโรทีนในไข่แดงมากกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสารดังกล่าวมีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระ และ Liu *et al.* (2020) รายงานว่า การใช้สปอร์ของเห็ดหลินจือที่ระดับ 0.10 0.20 และ 0.50 % ในอาหารไก่เนื้อ ช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการเจริญเติบโต ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการทำงานของภูมิคุ้มกันของไก่เนื้อ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเกิดจากเห็ดหลินจือมีสารประกอบฟีนอลิกมากถึง 13,991.10 mg/100 g และสารไตรเตอเพนอยด์มากถึง 769.1 mg/100 g ซึ่งสารดังกล่าวมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังมีสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ และไลโคปีนที่เป็นสารให้สีและมีคุณสมบัติในการต้านสารอนุมูลอิสระเช่นกัน (Yegenoglu *et al.*, 2011; Kolniak-Ostek *et al.*, 2022) และเนื่องจากสัตว์ปีกเป็นสัตว์ที่มีโครงสร้างรก และพัฒนาการของตัวอ่อนแยกออกจากตัวแม่โดยสิ้นเชิง ทำให้เมื่อแม่ไก่กินอาหารร่างกายมีการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระหรือวิตามินในไข่เพื่อให้ลูกไก่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยผ่านรังไข่ และแม่ก้นม ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระมีคุณสมบัติละลายได้ในไขมันดังนั้นจึงพบในไข่แดงเท่านั้น (Zhu *et al.*, 2021) จึงเป็นเหตุให้พบสารต้านอนุมูลอิสระในไข่แดงในกลุ่มที่เสริมสารเห็ดหลินจือมีแนวโน้มมากกว่ากลุ่มอื่น

ในส่วนของปริมาณกรดไขมันในไข่แดงต้มสุก (Table 4) ปรากฏว่า การใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ ร่วมผงกะเพราแดง (BSFL หรือ BSFR) ไม่ทำให้ปริมาณกรดไขมันทั้งหมดทั้งชนิดอิ่มตัว (Saturated fatty acid) และไม่อิ่มตัว

Table 3. Effects of black soldier fly larvae with lingzhi (*Ganoderma lucidum*) extract or red holy basil powder supplementation in laying hen diet on antioxidant activity and on egg yolk

Groups	Control	BSFL	BSFR	SEM	P-value
Antioxidant (μmol eqi./g sample)	0.11	0.13	0.10	1.75	0.05
DPPH radical-scavenging active (%)	38.06	43.28	33.60	0.01	0.16

BSFL = 1.00% black soldier fly larvae with lingzhi extract 0.01%; BSFR = 1.00% black soldier fly larvae with red holy basil 0.50%; SEM = standard error of the mean

Table 4. Effects of black soldier fly larvae with lingzhi (*Ganoderma lucidum*) extract or red holy basil powder supplementation in laying hen diet on fatty acid profiles on egg yolk

Groups	Control	BSFL	BSFR	SEM	P-value
Saturated Fatty acid (mg/100g)	11,296.13	11,167.70	11,321.14	130.76	0.90
Lauric acid (C12:0)	3.86	3.51	5.22	0.41	0.21
Tridecanoic acid (C13:0)	3.73	3.00	4.32	0.31	0.25
Myristic acid (C14:0)	81.47	90.16	91.41	3.06	0.41
Pentadecanoic acid (C15:0)	13.62	15.08	15.60	0.58	0.40
Palmitic acid (C16:0)	6090.18	5894.16	5877.62	48.00	0.12
Heptadecanoic acid (C17:0)	331.62 ^a	63.12 ^b	336.47 ^a	47.89	<0.01
Stearic acid (C18:0)	4615.49	4852.30	4784.19	145.84	0.84
Arachidic acid (C20:0)	ND	13.12 ^a	2.52 ^b	1.37	<0.01
Heneicosanoic acid (C21:0)	5.81 ^b	5.31 ^b	11.65 ^a	1.11	0.01
Behenic acid (C22:0)	150.36 ^b	192.27 ^a	161.76 ^b	7.52	0.03
Tricosanoic acid (C23:0)	ND	32.41	30.37	7.27	0.81
Monounsaturated Fatty acid (mg/100g)	6,568.30	5,786.77	5,663.54	224.71	0.22
Myristoleic acid (C14:1)	17.38	20.97	19.62	1.07	0.44
Palmitoleic acid (C16:1n7)	784.82	835.87	776.78	24.03	0.62
cis-10-Heptadecenoic acid (C17:1n10)	18.22	15.49	17.00	1.12	0.67
trans-9-Elaidic acid (C18:1n9t)	4,908.44	4,910.06	4,841.47	85.09	0.95
cis-9-Oleic acid (C18:1n9c)	1,227.11	1,227.53	1,210.36	21.27	0.95

^{a, b} Means within the same row with different letters are significantly different ($P<0.05$); BSFL = 1.00% black soldier fly larvae with lingzhi extract 0.01%; BSFR = 1.00% black soldier fly larvae with red holy basil 0.50%; SEM = standard error of the mean; ND = Not detect

Table 4. Continued

Groups	Control	BSFL	BSFR	SEM	P-value
cis-11-Eicosenoic acid (C20:1n11)	7.50	8.08	8.70	0.49	0.67
Polyunsaturated Fatty acid (mg/100g)	3,977.04	3,597.83	4,100.99	101.99	0.09
trans-Linolelaidic acid (C18:2n6t)	2,612.3	2,514.4	2,663.1	57.56	0.63
γ -Linolenic acid (C18:3n6)	334.11 ^a	157.22 ^b	341.40 ^a	34.33	0.01
α -Linolenic acid (C18:3n3)	181.72 ^a	115.91 ^b	199.99 ^a	14.10	0.01
cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2)	76.20	98.61	103.97	7.31	0.29
cis-8,11,14-Eicosadienoic acid (C20:3n6)	ND	19.83	24.25	2.76	0.18
cis-11,14,17-Eicosadienoic acid (C20:3n3)	35.14	32.76	38.32	1.32	0.25
Arachidonic acid (C20:4n6)	497.81	439.15	467.24	13.44	0.22
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid (C20:5n3)	47.59	65.02	48.65	4.02	0.13
4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid (C22:6n3)	192.13 ^a	138.33 ^b	213.91 ^a	11.82	<0.01
Omega 3 (mg/100g)	542.42	377.23	570.63	40.64	0.09
Omega 6 (mg/100g)	831.92 ^a	613.03 ^b	808.65 ^a	37.89	<0.01
Omega 9 (mg/100g)	1,227.11	1,227.53	1,210.36	21.27	0.95
Total of fatty acid (mg/100g)	23.36	23.02	23.26	0.20	0.82

^{a, b} Means within the same row with different letters are significantly different ($P < 0.05$); BSFL = 1.00% black soldier fly larvae with lingzhi extract 0.01%; BSFR = 1.00% black soldier fly larvae with red holy basil 0.50%; SEM = standard error of the mean; ND = Not detect

(monounsaturated fatty acid และ polyunsaturated fatty acid) ยกเว้นปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดแกมมา-ลิโนเลนิก อัลฟา-ลิโนเลนิก โดโคซะเฮกซะอีโน-อิก และโอเมก้า 6 ของกลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลาย ร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือมีน้อยกว่ากลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมผงกะเพราแดง และกลุ่มควบคุม ($P < 0.01$) สอดคล้องกับ Bejaei and Cheng (2020) ที่รายงานว่า การใช้หนอนแมลงวันลาย ไขมันเต็มในอาหารไก่ไข่ ทำให้ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนกลุ่มกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 น้อยกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งอาจเป็นผลมาจากหนอนแมลงวันลาย ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวสายกลาง เช่น กรดปาล-มิติก และกรดลอริก เป็นต้น ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดที่ใช้พลังงานได้ง่ายกว่ากรดไขมันอิ่มตัวสายยาว หรือไม่อิ่มตัว (Kim *et al.*, 2020) ทำให้มีการสะสมไขมันชนิดโอเมก้า 3 และ 6 ในไข่แดงน้อยกว่ากลุ่มควบคุม และเห็ดหลินจือมีสาร ergosterol peroxide ซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งกระบวนการเปลี่ยนแปลงจาก preadipocyte 3T3-L1 cells ไปเป็น mature adipocyte ที่มีหน้าที่สร้างเม็ดไขมัน (fat droplets) ขึ้นภายในเซลล์และมีการสะสมของไขมัน (Jeong and Park, 2020) ส่งผลให้กลุ่มที่ใช้หนอนแมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนน้อยกว่ากลุ่มอื่น แตกต่างกับการเสริมร่วมกับกะเพราแดงที่ไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการใช้หนอนแมลงวันลายเป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารร่วมกับการเสริมผงกะเพราแดง

สรุปผลการทดลอง

การใช้หนอนแมลงวันลายระดับ 1.00 % ร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือ 0.01% หรือผงกะเพราแดง 0.50 % ในสูตรอาหารไก่ไข่เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ รวมถึงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และปริมาณกรดไขมันในไข่แดงทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ยกเว้นค่าเป็นสีแดงหรือสีเขียว (a^*) ที่มีค่าสีเข้มขึ้น และ การใช้หนอน

แมลงวันลายร่วมกับการเสริมสารสกัดเห็ดหลินจือทำให้ปริมาณกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 ลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนการศึกษา (ทุนเรียนดี) จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปีการศึกษา 2565 ชมรมศิษย์เก่าแม่โจ้รุ่น 36 ที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณศูนย์พัฒนาเห็ดหลินจือและเห็ดสมุนไพร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ และศูนย์พัฒนาแมลงและหมอนไหม สาขาวิชาอารักขาพืช คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ที่สนับสนุนเห็ดหลินจือและหนอนแมลงวันลาย

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2016. Official Methods of Analysis. 20th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.
- Banik, S., R. Mukherjee, P. Ghosh, S. Karmakar and S. Chatterjee. 2018. Estimation of plant pigments concentration from tulsi (*Ocimum sanctum* Linn.): A six months study. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 7(4): 2681 - 2684.
- 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. Journal of Insects as Food and Feed 6(3): 305 - 314
- Boonpramook, P. 2014. Factors affecting Omega-3 egg purchasing of consumers in Mueang district, Chiang Mai province. M.S. Thesis. Chiang Mai University, Chiang Mai. 90 p. (in Thai)
- Burana, K. and T. Jamjanya. 2011. Seasonal distribution, rearing methods and

- nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.). *KKU Research Journal* (GS) 11(1): 19 - 26. (in Thai)
- Buwjoom, T., B. Maneewan, Y. Nanta, A. Khamfongkruea, A. Boonputhuth and S. Yasang. 2022. Using of organic *Ganoderma lucidum* extract in laying hen diet. Research Report Meajo University, Chiang Mai. (in Thai)
- Chitisankul, W.T. 2017. Egg white, its health benefits. *Food* 47(1): 39 - 43. (in Thai)
- Eisen, E.J., B.B. Bohren and H.E. McKean. 1962. The Haugh unit as a measure of egg albumen quality. *Poultry Science* 41(5): 1461 - 1468.
- Funk, E.M. 1948. The relation of the yolk index determined in natural position to the yolk index as determined after separating the yolk from the albumen. *Poultry Science* 27(3): 367.
- Hakim, F.L., C.G. Shankar, and S. Girija. 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): 9117 - 9109.
- Jeong, Y.U. and Y.J. Park. 2020. Ergosterol peroxide from the medicinal mushroom *Ganoderma lucidum* inhibits differentiation and lipid accumulation of 3T3-L1 adipocytes. *International Journal of Molecular Sciences* 21(2): 460, doi: 10.3390/ijms21020460.
- Kejariwal, M., S. Soni, S. Koli, E. Jog, S. Ghosh, D. Singh, S. Parker, T. Patil, K. Chouhan, A. Kushwaha and K. Shetty. 2022. Peptone induced pigment production of *Ganoderma lucidum*. *Journal of Plant Science Research* 38(1): 165 - 172.
- Khan, S.H., N. Mukhtar and J. Iqbal. 2018. Role of mushroom as dietary supplement on performance of poultry. *Journal of Dietary Supplements* 16(5): 611 - 624.
- Kim, Y.B., D.H. Kim, S.B. Jeong, J.W. Lee, T.H. Kim, H.G. Lee and K.-W. Lee. 2020. Black soldier fly larvae oil as an alternative fat source in broiler Nutrition. *Poultry Science* 99(6): 3133 - 3143.
- Kirubakaran, A. 2021. Influence of designer diet and holy basil (*Ocimum sanctum*) leaves on yolk colour, yolk carotenoid, and immunity status of layers. *Indian Journal of Animal Sciences* 91(12): 1077 - 1080.
- Kolniak-Ostek, J., J. Oszmianski, A. Szyjka, H. Moreira and E. Barg. 2022. Anticancer and antioxidant activities in *Ganoderma lucidum* wild mushrooms in Poland, as well as their phenolic and triterpenoid compounds. *International Journal of Molecular Sciences* 23(16): 9359, doi: 10.3390/ijms23169359.
- Liu, T., J. Zhou, W. Li, X. Rong, Y. Gao, L. Zhao, Y. Fan, J. Zhang, C. Ji and Q. Ma. 2020. Effects of sporoderm-broken spores of *Ganoderma lucidum* on growth performance, antioxidant function and immune response of broilers. *Animal Nutrition* 6(1): 39 - 46.
- Malamaneerat, J., B. Maneewan, K. Chukiatsiri and J. Panatuk. 2020. Use of black soldier fly larvae (BSFL) fed with soy waste powder in broiler diet on growth performance, carcass composition and meat quality. *Khon Kaen Agriculture Journal* 48(5): 942 - 953. (in Thai)

- Maneewan, B., W. Promwong, T. Buwjoom, P. Korluang, A. Boonbanl and S. Yasang. 2022. Effect of black soldier fly larvae (BSFL) fed with soy waste in the semi-free range laying hens diet on egg production and egg quality. pp. 148-154. *In: Proceeding of the 10th National Animal Science Conference of Thailand. Chonburi. (in Thai)*
- Narahari, D., P. Michealraj, A. Kirubakaran and T. Sujatha. 2005. Antioxidant, cholesterol reducing, immunomodulating and other health promoting properties of herbal enriched designer eggs. pp.194-201. *In: Proceedings of the 11th European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products. World's Poultry Science Association (WPSA), Beekbergen.*
- Niyomdech A. and M. Khongsen. 2013. Metabolism and Nutritional Values of Carotenoids on Egg Yolk Color. *Princess of Naradhiwas University Journal* 5(4): 112 - 212.
- Nulla-ong, Y., T. Buwjoom, B. Maneewan and P. Tadee. 2022. Effects of holy basil and duckweed powder supplementation in the semi-free range laying hens diet on egg production performance, egg quality, antioxidant activity and nutritional value of eggs. *Khon Kaen Agriculture Journal* 50(1): 51 - 61. (in Thai)
- Ogbe, A.O., U. Ditse, I. Echeonwu, K. Ajodoh, S.E. Atawodi and P.A. Abdu. 2009. Potential of a wild medicinal mushroom, *Ganoderma* sp., as feed supplement in chicken diet: Effect on performance and health of pullets. *International Journal of Poultry Science* 8(11): 1052-1057.
- Pornchalormpong, P. and N. Rattanapanone. 2017. Omega-6 fatty acid / (Online). Available: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/002076/omega-6-fatty-acid> (May 6, 2023). (in Thai)
- 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. *Animal Nutrition* 4(4): 452 - 460.
- Schiavone, A., M. de Marco, S. Martínez, S. Dabbou, M. Renna, J. Madrid, F. Hernandez, L. Rotolo, P. Costa, F. Gai and L. Gasco. 2017. Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8: 51, doi: 10.1186/s40104-017-0181-5.
- 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.
- Shrivastava, M., M. Tiwari and A. Saraf. 2017. Pigment extraction methods from fungi for industrial applications: A review. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering* 6(10): 575 - 581.
- Singh, S., M. Taneja and D.K. Majumdar. 2007. Biological activities of *Ocimum sanctum* L. fixed oil – An overview. *Indian Journal of Experimental Biology* 45(5): 403 - 412.
- Thanacharoenwat, N. 2019. The importance of proper consumption of chicken eggs in

- each age group and people with congenital disease. (Online). Available: https://nutrition2.anamai.moph.go.th/th/dm-km/download?id=40507&mid=31943&mkey=m_document&lang=th&did=14345. (May 24, 2023). (in Thai)
- Vibharam Hospital. 2016. Hyperlipidemia. (Online). Available: <https://vibharam.com/medical-knowledge/hyperlipidemia/> (May 24, 2023). (in Thai)
- Yegenoglu, H., B. Aslim and F. Oke. 2011. Comparison of antioxidant capacities of *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst and *Funalia trogii* (Berk.) Bondartsev & Singer by using different *in vitro* methods. Journal of Medicinal Food 14(5): 512 - 516.
- Zhu, Y., Guo, W., Zhao, J., Qin, K., Yan, J., Huang, X., Ren, Z., Yang, X., Liu, Y and Yang X. 2021. Alterations on vitamin C synthesis and transportation and egg deposition induced by dietary vitamin C supplementation in Hy-Line Brown layer model. Animal Nutrition 7(4): 973 - 980.
-