

การพัฒนาขนมขบเคี้ยวสุนัขจากโปรตีนหนอนแมลงวันลายระยะก่อนเข้าดักแด้

THE DEVELOPMENT OF DOG SNACK USING PREPUPAE OF BLACK

SOLDIER FLY, *HERMETIA ILLUCENS* (L.) PROTEIN

ณัฐพงศ์ เมธินธรังสรรค์*, ศศมล ผาสุข, ปุณยนุช นิลแสง และ ศริน้อย ชุ่มคำ

Nathapong Matintarangson*, Sasamol Pasuk, Poonyanuch Nilsang

and Srinoy Chumkam

วิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

Science Education Program, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

Received: 12 November 2023

Revised: 29 January 2024

Accepted: 5 February 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการพัฒนาขนมขบเคี้ยวสุนัขจากโปรตีนหนอนแมลงวันลายระยะก่อนเข้าดักแด้ ผู้วิจัยทำการศึกษาสูตรอาหารพื้นฐานที่มีการเสริมแหล่งโปรตีนที่เหมาะสมที่สุด พบว่า มีค่า a_w เท่ากับ 0.33 ความชื้นเท่ากับ 4.08 ผลการวิเคราะห์ค่าสี L^* (ความสว่าง) เท่ากับ 53.56 ค่า a^* (สีแดง) เท่ากับ 7.17 และค่า b^* (สีเหลือง) เท่ากับ 22.50 ค่าความแข็งเท่ากับ 2376 และค่าความแตกหักเท่ากับ 1674 โดยปริมาณหนอนแมลงวันลายทดแทนโปรตีนในอาหารสุนัข 15% มีลักษณะทางกายภาพเหมาะสมที่สุด พบว่ามีค่า a_w เท่ากับ 0.38 ค่าความชื้นเท่ากับ 2.14 ผลการวิเคราะห์ค่าสี L^* (ความสว่าง) เท่ากับ 41.26 ค่า a^* (สีแดง) เท่ากับ 3.02 และค่า b^* (สีเหลือง) เท่ากับ 9.16 ค่าความแข็งเท่ากับ 4035 และค่าความแตกหักเท่ากับ 3177 และมีองค์ประกอบทางเคมี ความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน แล้เส้นใยเท่ากับ 1.13, 40.56, 40.56, 8.66, 9.29 และเส้นใยเท่ากับ 1.18% ตามลำดับเมื่อเทียบกับสูตรอาหารสุนัขพื้นฐาน โดยขนมขบเคี้ยวสุนัขจากผงโปรตีนหนอนแมลงวันลาย

* Corresponding author: ณัฐพงศ์ เมธินธรังสรรค์

E-mail: Nathapong@vru.ac.th

มีมาตรฐานความปลอดภัยด้านอาหารตามมาตรฐานด้านจุลินทรีย์ และมาตรฐานโลหะหนักตกค้าง

คำสำคัญ: ขนมขบเคี้ยวสุนัข, โปรตีน, หนอนแมลงวันลายระยะก่อนเข้าดักแด้

Abstract

This research studied the development of dog snack using prepupae of black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) protein. The researcher studied the most suitable basic diet formula from nutritional analysis. The results found the a_w value of 0.33, humidity of 4.08 and the color value analysis results of brightness value (L^*) of 53.56, red value (a^*) of 7.17 and yellow value (b^*) of 22.50. AS for the texture value, it had hardness value of 2376 and fracturability value of 1674. The amount of black soldier fly powder that can replace protein in dog snack 15% was the most suitable physical properties. Which was found the a_w value of 0.38, the humidity value of 2.14 and the color value analysis results of brightness value (L^*) 41.26, red value (a^*) of 3.02 and yellow value (b^*) of 9.16. AS for the texture value, it had hardness value of 4035 and a fracturability value of 3177. The chemical properties, the moisture, cabohydrate, protein, fat, ash and fiber value are 1.13, 40.56, 40.56, 8.66, 9.29 and 1.18%, respectively. When compared with the basis of dog snack, the dog snack from prepupae of black soldier fly had safety standards, microbial standards and heavy metal residual standards.

Keywords: Dog Snack, Protein, Prepupae of Black Soldier Fly

บทนำ

ปัจจุบันความนิยมในการเลี้ยงสัตว์เลี้ยงทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ประชากรสัตว์เลี้ยงมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะสุนัขซึ่งกลุ่มคนรักสัตว์เลี้ยงมักต้องการดูแลสัตว์เลี้ยงของตนเองให้มีสุขภาพที่ดี โดยเฉพาะการเลี้ยงด้วยอาหารที่มีคุณภาพสูงและมีความหลากหลาย (ชนิดา เกตุแก้ว, 2564) ส่งผลให้มูลค่าตลาดอาหารสุนัขทั้งอาหารและขนมขบเคี้ยวเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง

หนอนแมลงวันลาย (Black Soldier Fly Larvae; BSFL) เป็นช่วงระยะการเจริญเติบโตของแมลงวันลายซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hermetia illucens* (L.) จัดอยู่ในวงศ์ Stratiomyidae อันดับ Diptera โดยมีพฤติกรรมชอบกินและย่อยสลายเศษอินทรีย์วัตถุ จากงานวิจัยของ Purnamasar & Khasanah (2022) ใช้หนอนแมลงวันลายย่อยสลายขยะอินทรีย์เป็นชีวภาพโดยสามารถแปรรูปขยะอินทรีย์ในครัวเรือนและมูลสัตว์ โดยลดปริมาณขยะอินทรีย์ลงได้ 80% และจากวิจัยของ Lu et al. (2022) กล่าวว่าหนอนแมลงวันลายอุดมไปด้วยสารอาหาร เช่น ไขมัน โปรตีน กรดอะมิโน และแร่ธาตุคุณภาพสูง ทำให้เป็นแหล่งโปรตีนที่ดีสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านการผลิตอาหารสัตว์ โดยไปเสริมหรือทดแทนสารอาหารประเภทโปรตีน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shah et al. (2022) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารในแมลง 5 ชนิด ได้แก่ หนอนแมลงวันลาย ตั๊กแตน หนอนนก หนอนแมลงวัน และจิ้งหรีด พบว่าหนอนแมลงวันลายมีปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 56.10% เมื่อเปรียบเทียบกับแมลงชนิดอื่น จากงานวิจัยของ Stamer et al. (2014) ใช้โปรตีนจากหนอนแมลงวันลายทดแทนโปรตีนจากปลาป่นเพื่อใช้เป็นอาหารปลา rainbow trout โดยมีผลต่อการเจริญเติบโตและน้ำหนักของปลาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จากงานวิจัยของเฉลิมพร จิระปัญญาเลิศ และ ศิริจรรยา อายุมัน (2565) พบว่าการใช้หนอนแมลงวันลายเสริมกับอาหารสำเร็จรูปมีผลทำให้หน้กระต่ายขุนมีน้ำหนักสูงที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 135.80 กรัมต่อตัว และมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 100.93 กรัมต่อตัว จากความสำคัญดังกล่าวจึงนำมาสู่ งานวิจัยในการพัฒนาขนมขบเคี้ยวของสุนัขจากโปรตีนหนอนแมลงวันลายระยะก่อนเข้าดักแด้ เพื่อใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งอาหารทางชีวภาพที่มีคุณค่าโภชนาการสูง และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรจากธรรมชาติอย่างคุ้มค่าเพื่อให้ได้ประโยชน์อย่างสูงสุด

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมผงหนอนแมลงวันลาย

นำหนอนแมลงวันลายในระยะก่อนเข้าดักแด้โปรตีนสูงที่ได้ทำการเพาะเลี้ยงจากห้องปฏิบัติการชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ อายุ 18-20 วัน มาอบด้วยเครื่องอบลมร้อน (UN110 Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 60 เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (IKA, Germany) ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 16 mesh (Endecotts, England) จะได้ผงหนอนแมลงวันลายก่อนเข้าดักแด้ (รูปที่ 1) เพื่อนำไปเป็นส่วนผสมในการพัฒนาขนมขบเคี้ยวสุนัขในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 1 ผงหนอนแมลงวันลายก่อนเข้าดักแด้

2. การพัฒนาขนมขบเคี้ยวสุนัขจากโปรตีนหนอนแมลงวันลาย

2.1 การศึกษาอาหารสุนัขสูตรพื้นฐาน

สูตรพื้นฐานอาหารสุนัข 3 สูตร ดัดแปลงจากสูตรอาหารสุนัข ได้แก่ สูตรที่ 1 ของศิริลักษณ์ นามวงษ์ (2565) สูตรที่ 2 ของศิริพรรณ สุคนธ์สิงห์ (2561) สูตรที่ 3 ของปิยนภ รวมทรัพย์ และคณะ (2549) (ตารางที่ 1) โดยนำส่วนผสมทั้งหมดมาต้มให้ความร้อนจนสุก จากนั้นนำมาปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ขึ้นรูปด้วยการใส่ถุงบีบให้มีขนาดเล็ก 1 เซนติเมตร ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (KD-6040, Thailand) อบด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารด้วยโปรแกรม INMUCAL-Nutrients (สถาบันโภชนาการ, มหาวิทยาลัยมหิดล) เพื่อประเมินสารอาหารเบื้องต้นซึ่งเน้นปริมาณโปรตีนสูงสุด วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) วัดด้วยเครื่อง

Aqua Lab (3TE, USA) ค่าความชื้น วัดด้วยเครื่อง Moisture Analyzer ยี่ห้อ sartorius (MA37, Germany) ค่าสีวัดด้วยเครื่อง Konica Minolta (CR-400, Japan) วัดค่าเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความแตกหัก (Fracturability) ด้วยเครื่องวัด Brookfield (CT3, USA) หัววัดทรงกระบอก cylinder TA4/1000 ใช้แรงกด 2 กรัม นำสูตรอาหารพื้นฐานที่เหมาะสมที่สุดไปศึกษาการพัฒนาขนมขบเคี้ยวสุนัขจากโปรตีนหนอนแมลงวันลายในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรอาหารพื้นฐาน

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสมอาหารสูตรพื้นฐาน (ร้อยละ)		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
น้ำสะอาด	55.12	50.81	53.38
อกไก่ต้มสุก	14.17	27.64	16.01
เนื้อปลาทู	9.45	-	-
ตับต้มสุก	7.09	-	-
แป้งข้าวเจ้า	4.72	-	-
ข้าวกล้องหุงสุก	4.72	6.10	14.23
น้ำมันพืช	-	0.20	-
ฟักทอง	2.36	-	-
แครอท	2.36	8.13	-
ผักโขม	-	3.05	-
บวบเหลี่ยม	-	2.03	-
ถั่วลันเตา	-	2.03	-
บรอกโคลี	-	-	8.19
ดอกกะหล่ำ	-	-	8.19

2.2 การพัฒนาขนมขบเคี้ยวสุนัข

นำสูตรอาหารพื้นฐานที่เหมาะสมที่สุดไปศึกษาการพัฒนาขนมขบเคี้ยวสุนัขจากโปรตีนหนอนแมลงวันลาย ดัดแปลงจากงานวิจัยของ ศิริลักษณ์ นามวงษ์ (2565) โดยการศึกษาอัตราส่วนของผงหนอนแมลงวันลายในระยะก่อนเข้าตากแดดต่อปริมาณเนื้อสัตว์ทั้งหมด 4 ระดับคือ ร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 ตามลำดับ เนื้อสัตว์ โดยนำเนื้อสัตว์มาทำให้สุกด้วยความร้อนและนำมาปั่นส่วนผสมรวมกัน ซึ่งการเตรียมหนอนแมลงวันดังกล่าวข้อ 1

และวิธีการทำอาหารสุนัขดังข้อ 2.1 ซึ่งมีการปรับใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่และข้าวไรซ์เบอร์รี่แทนการใช้แป้งข้าวเจ้าและข้าวกล้อง และขึ้นรูปให้เป็นแท่งขนาดเล็ก โดยขึ้นรูปด้วยถุงบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร บีบให้เป็นเส้นยาว นำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด อบด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาตัดเป็นชิ้นเล็กยาว 1.5 เซนติเมตร (ชมภู ยิ้มโต, 2550) ซึ่งความร้อนในตู้อบอยู่ระหว่าง 60-80 องศาเซลเซียส จะระเหยไอน้ำได้ดี ผิวหน้าอาหารจะแห้งจนถึงภายในประกอบกับการขึ้นรูปให้มีขนาดเล็กจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวจึงอาหารแห้งได้เร็ว จากนั้นอบต่อประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) ค่าความชื้น ค่าสีวัด วัดค่าเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง และค่าความแตกหัก และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต โดยวิธี AOAC (2012) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวสุนัขที่ผ่านการพัฒนาที่เหมาะสมที่สุด และอาหารสูตรพื้นฐาน

3. การศึกษามาตรฐานความปลอดภัยด้านอาหารของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวของสุนัข

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวสุนัขจากผงโปรตีนหนอนแมลงวันลายที่มีปริมาณผงหนอนแมลงวันที่เหมาะสมที่สุด มาวิเคราะห์ความปลอดภัยด้านอาหาร (มอกข. 9017 2550) ดังนี้ การวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชตกค้าง อ้างอิงวิธีการของภัทราวดี วัฒนสุนทร และจินตนา อมรสงวนสิน (2559) การวิเคราะห์มาตรฐานด้านจุลินทรีย์ อ้างอิงวิธีการของรัตนา เทียงทิพย์ และคณะ (2564) และวิเคราะห์โลหะหนักตกค้าง อ้างอิงวิธีการของพรพิมล เชื้อดวงผุย และเสาวคนธ์ วัฒนจันทร์ (2555)

4. การวิเคราะห์ค่าสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variances (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติร้อยละ 95 ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยการเปรียบเทียบระหว่างอาหารสุนัขสูตรพื้นฐานและขนมขบเคี้ยวสุนัขจากโปรตีนหนอนแมลงวันลาย เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการ T-test independent

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาอาหารสูตรพื้นฐาน

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการจากส่วนที่กินได้ของโปรแกรม INMUCAL-Nutrients พบว่า อาหารพื้นฐานสูตรที่ 1 มีปริมาณโปรตีนสูง และสารอาหารชนิดต่าง ๆ สูงกว่าสูตรที่ 2 และ 3 ดังตารางที่ 2 เนื่องจากมีวัตถุดิบที่ให้อาหารที่มีโปรตีนสูง ได้แก่ เนื้ออกไก่ ตับไก่ และเนื้อปลาหู เป็นต้น ซึ่งโปรตีนเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต และสร้างความแข็งแรงให้กล้ามเนื้อ มีรายงานว่าในสุนัขพันธุ์เล็ก มีความต้องการสารอาหารประเภทโปรตีนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 28 ต่อวัน (Case & Czarnecki-Maudlen, 1990) ดังนั้น จึงนำอาหารพื้นฐานสูตรที่ 1 มาพัฒนาเป็นขนมขบเคี้ยวสุนัขจากโปรตีนหนอน แผลงวันลายระยะก่อนเข้าดักแด้ต่อไป

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของอาหารพื้นฐาน 3 สูตร ผลการทดลองดังตารางที่ 2 พบว่าผลการวิเคราะห์ค่า a_w มีค่าอยู่ระหว่าง 0.27-0.61 ส่วนความชื้น มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 4.08-4.60 โดยทั้งสามสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ (a_w) มีค่าต่ำ ทำให้การเสียสภาพจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เป็นไปได้ยาก เนื่องจากยีสต์ และราเจริญได้ดีเมื่อค่า a_w น้อยกว่า 0.6 และแบคทีเรียเจริญได้ดีเมื่อค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.88-0.96 (พรพล รมย์บุญกุล, 2542) ส่วนด้านความชื้น ของอาหารสัตว์เลี้ยงประเภทอาหารแห้งจัดอยู่ในเกณฑ์ของ กรมปศุสัตว์ (2556) ซึ่งมีความชื้นไม่มากกว่าร้อยละ 14 ของน้ำหนักอาหารสัตว์ และผลการวิเคราะห์ค่าสีของค่าความสว่าง (L^*) อยู่ระหว่าง 53.56-56.05 ค่าสีแดง (a^*) อยู่ระหว่าง 1.46-7.17 และค่าสีเหลือง (b^*) อยู่ระหว่าง 19.40-30.25 โดยพบว่า ค่าความสว่างใกล้เคียงกัน โดยสูตรที่ 3 มากกว่าสูตรอื่น เนื่องจากมีส่วนผสมของเนื้ออกไก่ ดอกกะหล่ำปลี บล็อกโคลี่ ต้มสุก ซึ่งวัตถุดิบดังกล่าวทำให้ส่วนผสมมีสีขาวนวลจึงมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีเหลือง สูตรที่ 2 มากกว่าสูตรอื่น เนื่องจากในส่วนผสมมีแครอทให้สีส้มมีผลทำให้มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2) ส่วนค่าเนื้อสัมผัส มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 1956-3535 กรัม ค่าความแตกหักอยู่ระหว่าง 1156-2660 กรัม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) โดยสูตรที่ 3 มีค่าความแข็งมากที่สุดเนื่องจากมีปริมาณข้าวกล้องมากกว่าสูตรอื่น เมื่อให้ความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดเจลลาตินเซชัน ทำให้ข้าวสุกใส เมื่ออุณหภูมิลดลงโมเลกุลจะเกิดการเรียงตัวกันใหม่ และเกิดการคืนตัวจึงส่งผลทำให้เกิดความแน่นเนื้อเกิดความแข็งคงตัวเพิ่มขึ้น (ดุขฎิ อุดภาพ, 2562)

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ และการวิเคราะห์ทางกายภาพของอาหาร สูตรพื้นฐาน

การวิเคราะห์	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
1. การวิเคราะห์สารอาหาร			
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)	991.53	677.40	472.02
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	70.75	27.08	42.00
โปรตีน (กรัม)	108.80	82.08	44.95
ไขมัน (กรัม)	30.36	26.74	13.79
ไขมันอิ่มตัว (กรัม)	11.14	8.45	4.44
น้ำตาล (กรัม)	0.24	4.28	2.75
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	153.29	108.83	54.32
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	1046.81	606.92	421.13
เหล็ก (มิลลิกรัม)	10.34	3.01	1.83
โซเดียม (มิลลิกรัม)	338.30	303.17	157.87
วิตามิน เอ (ไมโครกรัม อาร์ อี)	11008.73	367.54	11.92
วิตามิน บี1 (มิลลิกรัม)	0.66	0.29	0.28
วิตามิน บี 2 (มิลลิกรัม)	2.52	0.76	0.46
วิตามิน บี 6 (มิลลิกรัม)	0.67	0.00	0.12
วิตามิน บี 12 (มิลลิกรัม)	15.16	0.00	0.00
เกลือ (กรัม)	7.45	7.25	4.75
น้ำ (กรัม)	1032.13	854.07	737.01
2. การวิเคราะห์กายภาพ			
ค่า aw	0.33±0.01 ^b	0.27±0.03 ^c	0.61±0.03 ^a
ค่าความชื้น (ร้อยละ)	4.08±0.10 ^c	4.35±0.08 ^{ab}	4.60±0.33 ^a
ค่าสี			
L*	53.56±0.30 ^c	55.34±0.17 ^b	56.05±0.52 ^a
a*	7.17±0.41 ^b	1.46±0.35 ^b	2.02±0.43 ^a
b*	22.50±0.68 ^b	30.25±0.53 ^a	19.40±0.54 ^c
ค่าเนื้อสัมผัส			
ค่าความแข็ง (Hardness/g.)	2376±1.42 ^b	1956±1.55 ^c	3535±1.28 ^a
ค่าความแตกหัก (Fracturability/g.)	1674±1.45 ^b	1156±1.33 ^c	2660±1.27 ^a
หมายเหตุ L* หมายถึง ค่าความสว่าง (ดำ = 0, ขาว = 100) a* หมายถึง สีแดงหรือสีเขียว (+ สีแดง, - สีเขียว) b* หมายถึง สีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (+ สีเหลือง, - สีน้ำเงิน) ^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ใน แนวอนเดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ (p≤.05)			



รูปที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของอาหารสูตรพื้นฐาน

2. ผลการศึกษาการพัฒนาขนมขบเคี้ยวสุนัขจากโปรตีนหนอนแมลงวันลาย

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวสุนัขที่มีปริมาณผงโปรตีนหนอนแมลงวันลายแตกต่างกัน ผลการทดลองดังตารางที่ 3 พบว่า ค่า a_w มีค่าอยู่ระหว่าง 0.22-0.69 ความชื้น มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 1.62-3.99 โดยพบว่าจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มผงโปรตีนหนอนแมลงวันลาย เนื่องจากผงโปรตีนได้ผ่านกระบวนการอบแห้งทำให้ลดปริมาณน้ำในวัตถุดิบ โดยสูตรปริมาณหนอนแมลงวันลายทดแทนโปรตีนในอาหารสุนัขอัตราส่วนร้อยละ 15 มีค่า a_w 0.38 และค่าความชื้น 2.14 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตรการค้าที่มีค่า a_w 0.41 และความชื้นร้อยละ 2.32 และผลการวิเคราะห์ค่าสีของค่าความสว่าง (L^*) อยู่ระหว่าง 34.68-45.54 ค่าสีแดง (a^*) อยู่ระหว่าง 1.07-4.91 และค่าสีเหลือง (b^*) อยู่ระหว่าง 3.91-14.57 โดยค่าสีทุกค่าของทุกสูตรต่ำกว่าสูตรการค้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) (รูปที่ 3) เนื่องจากผงหนอนแมลงวันลายประกอบไปด้วยเปลือกห่อหุ้มด้านนอกที่เป็นสารจำพวกไคตินที่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีเม็ดสีน้ำตาลถึงดำ (Cullere et al., 2016) ซึ่งมีผลต่อค่าสีที่ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผงหนอนแมลงวันลาย ส่วนค่าเนื้อสัมผัส มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 2,407-6,610 กรัม ค่าความแตกหักอยู่ระหว่าง 1,663-4,218 กรัม โดยพบว่าการเพิ่มปริมาณผงโปรตีนหนอนแมลงวันลายจะทำให้ค่าความแข็ง และค่าความแตกหักเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปริมาณความชื้นที่ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผงหนอนแมลงวันลาย ทำให้วัตถุดิบมีความแข็งเพิ่มมากขึ้นจึงแตกหักง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่า สูตรปริมาณหนอนแมลงวันลายทดแทนโปรตีนในอาหารสุนัขอัตราส่วนร้อยละ 15 มีค่าความแข็ง 4,035 กรัม และค่าความแตกหัก 3,177 กรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตรการค้า โดยสูตรการค้ามีค่าความแข็ง 4,571 กรัม และค่าความแตกหัก 3,413 กรัม โดยจากผลการวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเติมผงโปรตีนหนอนแมลงวันลายทดแทนโปรตีนในอาหารสุนัขอัตราส่วนร้อยละ 15 มีลักษณะทางกายภาพ

ที่เหมาะสมที่จะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะการนำไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับสุนัขพันธุ์เล็กที่มีฟันที่เล็ก และขากรรไกรที่แคบ (Merlin et al., 2020) การรับประทานอาหารที่แข็งมากเกินไปอาจส่งผลกระทบกับสุขภาพการบดเคี้ยวอาหารได้ในระยะยาว

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวสุนัขจากโปรตีนหนอนแมลงวันลาย

ปัจจัยคุณภาพ	สูตรการค้า	ปริมาณหนอนแมลงวันลายทดแทนโปรตีนในอาหารสุนัข (ร้อยละ)			
		0:100	10:90	15:85	20:80
ค่า aw	0.41±0.02 ^a	0.69±0.01 ^b	0.54±0.01 ^c	0.38±0.15 ^a	0.22±0.03 ^d
ค่าความชื้น (%)	2.32±0.08 ^a	3.99±0.17 ^b	3.27±0.08 ^c	2.14±0.09 ^a	1.62±0.10 ^d
ค่าสี					
L*	47.12±0.06 ^a	45.54±1.10 ^b	40.63±1.03 ^c	41.26±0.88 ^c	34.68±0.38 ^d
a*	6.16±0.30 ^a	4.91±0.09 ^b	3.31±0.15 ^c	3.02±0.14 ^d	1.07±0.03 ^e
b*	20.08±0.23 ^a	14.57±1.02 ^b	9.51±0.51 ^c	9.16±0.42 ^c	3.91±0.18 ^d
ค่าเนื้อสัมผัส					
ค่าความแข็ง (Hardness/g.)	4571±1.99 ^a	2407±1.31 ^b	3288±1.26 ^c	4035±1.67 ^a	6610±1.92 ^d
ค่าความแตกหัก (Fracturability/g.)	3413±1.39 ^a	1663±1.38 ^b	2305±1.63 ^c	3177±1.43 ^a	4218±1.81 ^d

หมายเหตุ L* หมายถึง ค่าความสว่าง (ดำ = 0, ขาว = 100) a* หมายถึง สีแดงหรือสีเขียว (+ สีแดง, - สีเขียว)
b* หมายถึง สีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (+ สีเหลือง, - สีน้ำเงิน)
a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ (p≤.05)



สูตรการค้า



ร้อยละ 0



ร้อยละ 10



ร้อยละ 15



ร้อยละ 20

รูปที่ 3 ลักษณะทางกายภาพขนมขบเคี้ยวสุนัขจากโปรตีนหนอนแมลงวันลาย

3. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

จากการทดลองพบว่าขนมขบเคี้ยวสุนัขมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.57 คาร์โบไฮเดรตลดลงร้อยละ 5.82 โปรตีนเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.86 ไขมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.65 แลคตอลลดลงร้อยละ 3.27 และเส้นใยเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.33 โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากในขนมขบเคี้ยวสุนัขเสริมผงโปรตีนจากหนอนแมลงวันลายในระยะก่อนเข้าดักแด้มีโปรตีนสูงเนื่องจากในกระบวนการเลี้ยงมีการให้อาหารประเภทโปรตีน ได้แก่ เนื้อสัตว์ กากเต้าหู้ และธัญพืช ซึ่งสารอาหารดังกล่าวจะช่วยให้หนอนแมลงวันมีการเจริญเติบโตที่ดี และสะสมโปรตีนภายในร่างกาย และพบปริมาณมากในระยะก่อนเข้าดักแด้ เนื่องจากเป็นระยะที่ร่างกายจะต้องเก็บสะสมสารอาหารประเภทโปรตีนในปริมาณมาก ก่อนที่จะพัฒนาเป็นระยะดักแด้ที่เป็นสภาวะที่ร่างกายอยู่ในระยะพัก และไม่มี การกินอาหาร (Bessa et al., 2020) ในงานวิจัยของ Wang & Shelomi (2017) พบว่าอาหารที่ใช้เลี้ยงเกี่ยวข้องกับการสะสมสารอาหารในร่างกายของหนอนแมลงวันลาย ซึ่งคุณค่าทางด้านของโภชนศาสตร์ โดยเฉพาะโปรตีนสูงกว่าแมลงหลายชนิด นอกจากนั้นยังมีเส้นใยอาหารในกลุ่มไคตินที่เป็นสารประเภทโพลีแซคคาไรด์ที่พบบริเวณโครงสร้างเปลือกนอก (Exoskeleton) ของหนอนแมลงวันลาย โดยเฉพาะในระยะก่อนเข้าดักแด้ (Pre-pupae) ซึ่งไคตินไม่สามารถย่อยได้ในระบบทางเดินอาหารทำให้เกิดเป็นเส้นใยอาหารที่ช่วยในระบบการขับถ่ายให้ดีขึ้น (Cullere et al., 2016) ดังนั้นการนำผงโปรตีนหนอนแมลงวันลายในระยะก่อนเข้าดักแด้มาทดแทนวัตถุดิบที่ให้โปรตีน เช่น เนื้อไก่ ตับไก่ และปลาหุ เป็นต้น จึงเป็นทางเลือกอย่างหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวสุนัข โดยเฉพาะสุนัขพันธุ์เล็กที่รับประทานได้ปริมาณน้อย ดังนั้นการเพิ่มปริมาณโปรตีนลงไปในการให้อาหารจึงเป็นการส่งเสริมสุขภาพของสุนัขให้เจริญเติบโต และแข็งแรงได้มากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีอาหารสุนัขสูตรพื้นฐานและขนมขบเคี้ยวสุนัขจากโปรตีนหนอนแมลงวันลาย

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละน้ำหนักแห้ง		การเปรียบเทียบ (ร้อยละ)
	อาหารสุนัขสูตรพื้นฐาน	ขนมขบเคี้ยวสุนัขจากโปรตีนหนอนแมลงวันลาย	
ความชื้น	0.56±0.05*	1.13±0.12*	เพิ่มขึ้น 0.57
คาร์โบไฮเดรต	46.38±1.38*	40.56±1.17*	ลดลง 5.82
โปรตีน	35.75±1.06*	40.56±1.17*	เพิ่มขึ้น 6.86
ไขมัน	7.01±0.07*	8.66±0.08*	เพิ่มขึ้น 1.65
เถ้า	7.02±0.62*	9.29±0.74*	เพิ่มขึ้น 2.27
เส้นใย	0.88±0.05*	1.18±0.09*	เพิ่มขึ้น 0.33

หมายเหตุ * หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤.05)

4. ผลการศึกษามาตรฐานความปลอดภัยด้านอาหารของขนมขบเคี้ยวสุนัข

จากการวิเคราะห์มาตรฐานความปลอดภัยด้านอาหารของขนมขบเคี้ยวสุนัขจากผงโปรตีนหนอนแมลงวันลาย พบว่ามีค่าอยู่ในมาตรฐานด้านความปลอดภัย โดยพบว่ามาตรฐานด้านจุลินทรีย์ ได้แก่ ไม่พบ *Salmonella* spp. ต่อปริมาณอาหาร 25 กรัม ปริมาณ *Escherichia coli* เท่ากับ 2 cfu/g (ไม่เกิน 10 cfu/g) ปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์ม เท่ากับ 20 cfu/g (ไม่เกิน 300 cfu/g) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) จำนวน 6×10^2 (ไม่เกิน 1×10^4 cfu/g) และไม่พบยีสต์และรา (ไม่เกิน 1×10^2 cfu/g) ส่วนมาตรฐานโลหะหนัก ตกค้างไม่พบ แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท และสารหนู

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการพบว่า อาหารพื้นฐานสูตรที่มีการเสริมแหล่งโปรตีน เนื้อมีไก่ ตับไก่ และเนื้อปลา เป็นต้น เป็นสูตรที่เหมาะสมในการพัฒนาขนมขบเคี้ยวสุนัขจากโปรตีนหนอนแมลงวันลายระยะก่อนเข้าดักแด้ โดยผลการทดลองพบว่า มีค่า a_w เท่ากับ 0.33 ความชื้นเท่ากับ 4.08 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 53.56 ค่าสีแดง (a^*) เท่ากับ 7.17 และค่าสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 22.50 ส่วนค่าเนื้อสัมผัส มีค่าความแข็งเท่ากับ 2376 และค่าความแตกหักเท่ากับ 1674 จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

ของขนมขบเคี้ยวสุนัขจากโปรตีนหนอนแมลงวันลายที่มีปริมาณผงโปรตีนหนอนแมลงวันลายที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า ปริมาณหนอนแมลงวันลายทดแทนโปรตีนในอาหารสุนัขร้อยละ 15 เป็นปริมาณที่มีลักษณะทางกายภาพเหมาะสมที่สุด โดยพบว่ามีค่า a_w 0.38 ค่าความชื้น 2.14 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 41.26 ค่าสีแดง (a^*) เท่ากับ 3.02 และค่าสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 9.16 ส่วนค่าเนื้อสัมผัส มีค่าความแข็งเท่ากับ 4035 และค่าความแตกหักเท่ากับ 3177 มีองค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ) เทียบกับสูตรอาหารสุนัขพื้นฐาน ได้แก่ ความชื้นเท่ากับ 1.13 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.57 คาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 40.56 ลดลงร้อยละ 5.82 โปรตีนเท่ากับ 40.56 เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.86 ไขมันเท่ากับ 8.66 เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.65 เถ้าเท่ากับ 9.29 ลดลงร้อยละ 3.27 และเส้นใยเท่ากับ 1.18 เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.33 โดยขนมขบเคี้ยวสุนัขจากผงโปรตีนหนอนแมลงวันลาย มีมาตรฐานความปลอดภัยด้านอาหารตามมาตรฐานด้านจุลินทรีย์ และมาตรฐานโลหะหนักตกค้าง

เอกสารอ้างอิง

- กรมปศุสัตว์. (2556). *หลักการปฏิบัติที่ดีสำหรับอาหารสัตว์เลี้ยง*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 18 หน้า.
- เฉลิมพร จิระปัญญาเลิศ และ ศิริจรรยา आयुมน. (2565). ผลการใช้หนอนแมลงวันลายต่อสมรรถภาพการผลิตของนกกกระทาญี่ปุ่น. *วารสารวิชาการสถาบันการอาชีวศึกษาเกษตร*, 6(2), 23-29.
- ชนิดา เกตุแก้ว. (2564). *พฤติกรรมการตัดสินใจซื้ออาหารสุนัขสำเร็จรูประดับพรีเมียม ในกรุงเทพมหานคร*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยกรุงเทพ).
- ชมภู ยิ้มโต. (2550). *การถนอมอาหาร*. กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พรีนติ้ง เฮาส์.
- ดุชนิ อุดภาพ. (2562). *เคมีและสมบัติของแป้ง*. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม 2566, จาก <https://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter2.html>.

- ปิยนาด รวมทรัพย์, เสาวณีย์ เลิศวรสิริกุล, หทัยรัตน์ ริมศิริ และ ธงชัย สุวรรณลิขณ. (2549). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวสำหรับสุนัขเพื่อขัดหินปูน*. น. 316-323. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 : สาขาอุตสาหกรรมเกษตร สาขาเศรษฐศาสตร์ สาขาบริหารธุรกิจ. 30 ม.ค.-2 ก.พ. 2549. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พรพิมล เชื้อดวงผุย และ เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์. (2555). *ปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี) ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจบางชนิดบริเวณแหล่งทำการประมงอำเภอละงู จังหวัดสตูล*. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พรพล รมย์นุกูล. (2542). *การถนอมอาหาร*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ภัทราวดี วัฒนสุนทร และ จินตนา อมรสวงสิน. (2559). การตรวจวิเคราะห์การตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในตัวอย่างดินจากนาข้าวในพื้นที่จังหวัดชัยนาท. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์*, 11(2), 246-258.
- รัตนา เตียงทิพย์, พิมลวรรณ โภคาพันธ์ และ สุมาลี คอนโด. (2564). การตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ในอาหารพร้อมบริโภคจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 29(6), 1021-1031.
- ศิริพรรณ สุนทรสิงห์. (2561). *อาหารสุนัขและแมวแบบทำตัวเอง*. คณะเทคนิคการสัตวแพทย์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิริลักษณ์ นามวงษ์. (2565). *ผลิตภัณฑ์ขนมสุนัขเสริมโปรไบโอติกและเส้นใยอาหาร*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- AOAC. (2012). *Official Method of Analysis: Association of Analytical Chemists*. 19th Edition, Washington DC.
- Bessa, L. W., Pieterse, E., Marais, J., & Hoffman, L. C. (2020). Why for feed and not for human consumption? the black soldier fly larvae. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(5), 2747–2763.
- Case, L. P. & Czarnecki-Maudlen, G. L. (1990). Protein requirements of growing pups fed practical dry-type diets containing mixed-protein sources. *American Journal of Veterinary Research*, 51, 808–812.

- Cullere, M., Tasoniero, G., Giaccone, V., Miotti-Scapin, R., Claeys, E., De Smet, S., & Dalle Zotte, A. (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.
- Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., Archa, P., Thongpea, S., Paengkoum, S., & Purba, R. A. P. (2022). Nutritional composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) and its potential uses as alternative protein sources in animal diets: a review. *Insects*, 13, <https://doi.org/10.3390/insects13090831>.
- Merlin, M., Guintard, C., Monchâtre-Leroy, E., Barrat, J., Bausmayer, N., Bausmayer, S., Bausmayer, A., Beyer, M., Varlet, A., Houssin, C., Callou, C., Cornette, R., & Herrel, A. (2020). Bite force and its relationship to jaw shape in domestic dogs. *Journal of Experimental Biology*, 223(16), 224–229.
- Purnamasar, L., & Khasanah, H. (2022). Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as a Potential agent of organic waste bioconversion. *ASEAN Journal on Science & Technology for Development*, 39(2), 69–83.
- Shah, A. A., Totakul, P., Matra, M., Cherdthong, A., Hanboonsong, Y., & Wanapat, M. (2022). Nutritional composition of various insects and potential uses as alternative protein sources in animal diets. *Animal Bioscience*, 35, 317–331.
- Stamer, A., Wesselss, S., Neidigk, R., & Hoerstgen-Schwark, G. (2014). *Black Soldier Fly (Hermetia illucens) larvae-meal as an example for a new feed ingredients' class in aquaculture diets*. In: Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference, 13–15 October 2014, Istanbul, Turkey. 1043–1046.
- Wang, Y. S., & Shelomi, M. (2017). Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, 6(10), 91–99.