

ผลของวิธีการทำแห้งต่อองค์ประกอบทางเคมี กรดอะมิโนและค่าการย่อยได้ของโปรตีน
ในหลอดทดลองของหนอนแมลงวันลาย (*Hermetia illucens*)

Effect of Drying Method on Chemical Composition, Amino Acids
and *In Vitro* Protein Digestibility of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*)

ธนกร วิชัยวงศ์¹ ชามา อินซอน² และชาญวิทย์ แก้วตาปี^{1*}

Thanakorn Wichaiwong¹, Chama Inson² and Chanwit Kaewtapee^{1*}

¹ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

²ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, Thailand 10900

²Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, Thailand 10900

*Corresponding author: agrcwk@ku.ac.th

Received: July 22, 2022

Revised: November 19, 2022

Accepted: December 29, 2022

Abstract

Drying method using heat treatment has a major impact on nutritional value of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*; BSFL) as an excessive processing (80-100°C) may destroy amino acids, resulting in low digestible value. The objective of this research was to determine effect of the drying method of BSFL on chemical composition, amino acids and *in vitro* protein digestibility. Two drying methods were used as follows: 1) hot air oven at 60°C 48 hours (BSFL-O) and 2) microwave at 500-550 watt for 10 to 12 minutes (BSFL-M). The results showed that dry matter (DM) was greater ($P<0.05$) in BSFL-O (97.39% DM) than in BSFL-M (93.03% DM), but ether extract was greater ($P<0.05$) in BSFL-M (32.01% DM) than in BSFL-O (31.83% DM). Furthermore, crude fiber was greater ($P<0.05$) in BSFL-O (5.77% DM) than in BSFL-M (5.58% DM), whereas neutral detergent fiber (NDF) and NDF-linked protein were greater ($P<0.05$) in BSFL-O (15.30 and 5.22% DM, respectively) than in BSFL-M (14.85 and 2.82% DM, respectively). However, there was no difference ($P>0.05$) in crude protein between BSFL-O (46.51% DM) and BSFL-M (46.62% DM). For amino acids, contents of histidine, threonine, aspartic acid, serine and tyrosine were greater ($P<0.05$) in BSFL-M than in BSFL-O. Moreover, *in vitro* protein digestibility was greater ($P<0.05$) in BSFL-M (88.69% DM) than in BSFL-O (86.80% DM). In conclusion, drying method using microwave can reduce the denature of amino acids, resulting in greater protein digestibility of BSFL. Therefore, microwave can be considered as an alternative drying method to improve the BSFL quality for industrial animal production.

Keywords: black soldier fly larvae, chemical composition, digestibility, hot air oven, microwave

บทคัดย่อ

การทำแห้งด้วยความร้อนส่งผลกระทบต่อคุณค่าทางโภชนาการในหนอนแมลงวันลาย เนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนสูงเกินไป (80-100°C) จะทำลายกรดอะมิโน มีผลให้ค่าการย่อยได้ลดลง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของวิธีการทำแห้งหนอนแมลงวันลาย ต่อดังต่อไปนี้ องค์ประกอบทางเคมี กรดอะมิโนและการย่อยได้ของโปรตีนในหลอดทดลอง การทำแห้งมี 2 วิธี ดังนี้ 1) อบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C. ระยะเวลา 48 ชั่วโมง (BSFL-O) และ 2) อบด้วยไมโครเวฟกำลังไฟ 500-550 วัตต์ ระยะเวลา 10-12 นาที (BSFL-M) ผลการศึกษาพบว่า วัตถุแห้ง (DM) มีค่าสูง ($P < 0.05$) ใน BSFL-O (97.39% DM) เปรียบเทียบกับ BSFL-M (93.03% DM) แต่ไขมันมีค่าสูง ($P < 0.05$) ใน BSFL-M (32.01% DM) เปรียบเทียบกับ BSFL-O (31.83% DM) นอกจากนี้พบว่า เยื่อใยมีค่าสูง ($P < 0.05$) ใน BSFL-O (5.77% DM) เปรียบเทียบกับ BSFL-M (5.58% DM) ขณะที่เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (NDF) และ NDF ที่จับกับโปรตีนมีค่าสูง ($P < 0.05$) ใน BSFL-O (15.30 และ 5.22% DM, ตามลำดับ) เปรียบเทียบกับ BSFL-M (14.85 และ 2.82% DM, ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามค่าโปรตีนไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) ระหว่าง BSFL-O (46.51% DM) และ BSFL-M (46.62% DM) สำหรับค่ากรดอะมิโน พบว่าฮิสติดีน ทรีโอนีน กรดแอสปาร์ติก เซอรีนและไทโรซีนมีค่าสูง ($P < 0.05$) ใน BSFL-M เปรียบเทียบกับ BSFL-O นอกจากนี้พบว่าการย่อยได้ของโปรตีนในหลอดทดลองมีค่าสูงกว่า ($P < 0.05$) ใน BSFL-M (88.69% DM) เปรียบเทียบกับ BSFL-O (86.80% DM) กล่าวโดยสรุป การทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟสามารถลดการทำลายกรดอะมิโนและส่งผลให้ค่าการย่อยได้ของโปรตีนของหนอนแมลงวันลายมีค่าสูง ดังนั้นไมโครเวฟจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของวิธีการทำแห้งเพื่อเพิ่มคุณภาพหนอนแมลงวันลายสำหรับผลิตสัตว์ในระดับอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: หนอนแมลงวันลาย องค์ประกอบทางเคมี การย่อยได้ อบลมร้อน ไมโครเวฟ

คำนำ

ปัจจุบันในอุตสาหกรรมปศุสัตว์ทั่วโลกมีความต้องการอาหารสัตว์มากกว่าหนึ่งพันล้านตันต่อปี (Alltech, 2021) ส่งผลให้ความต้องการวัตถุดิบแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะกากถั่วเหลือง อย่างไรก็ตาม มากกว่า 95% ของการปลูกถั่วเหลืองมีความเกี่ยวข้องกับการใช้ที่ดิน และปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม (Van Huis *et al.*, 2013) จากปัญหาดังกล่าวจึงมีศึกษาหาแหล่งโปรตีนทางเลือกเพื่อความมั่นคงยั่งยืนของอาหารในอนาคต ซึ่งแมลงจัดเป็นหนึ่งในวัตถุดิบที่น่าสนใจและสามารถนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ได้ เนื่องจากเป็นแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยโปรตีน ไขมัน วิตามินและแร่ธาตุ (Ravindran and Blair, 1993) และใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารสัตว์ได้ (Makkar *et al.*, 2014)

หนอนแมลงวันลาย (Black soldier fly larvae: BSFL; *Hermetia illucens*) เป็นแมลงชนิดหนึ่งที่มีวงจรชีวิตสั้น เลี้ยงง่าย โตเร็ว และสามารถเลี้ยงโดยใช้วัตถุดิบคุณภาพต่ำเปลี่ยนไปเป็นตัวหนอนที่มีคุณค่าทางอาหารสูง (Oonincx and Boer, 2012) จากการศึกษาข้อมูลพบว่า หนอนแมลงวันลายมีค่าโปรตีน 35-57% และไขมัน 6-32% โดยความผันแปรของค่าโภชนาการในตัวหนอนขึ้นกับคุณภาพของอาหารที่นำมาเลี้ยง (Kim *et al.*, 2021) นอกจากนี้กระบวนการผลิตหนอนแมลงวันลายแห้งยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าโภชนาการไม่ว่าจะเป็นการอบลมร้อน การบีบอัด การสลายไขมัน หรือการสกัดไขมัน (Ottoboni *et al.*, 2017; Schiavone *et al.*, 2017) ซึ่งกระบวนการทำแห้งโดยใช้ความร้อนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่กระทบต่อดังต่อไปนี้ องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการในตัวหนอน (Huang *et al.*, 2019) ซึ่งการให้ระดับความร้อนสูงและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้กรดอะมิโนในวัตถุดิบ

ถูกทำลายและส่งผลให้ค่าการย่อยได้ในตัวสัตว์ลดลง (Kaewtapee *et al.*, 2017) ทั้งนี้กระบวนการให้ความร้อนแบบอบลมร้อน (Hot air oven) จะใช้เวลาและส่งผลต่อค่าโภชนะลดลงในผลิตภัณฑ์ (Figiel, 2010; Sunjka *et al.*, 2004) ในขณะที่กระบวนการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ (Microwave) เป็นการใชหลักการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงไปกระตุ้นโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ให้เกิดการสั่นและเสียดสีกันจนเกิดพลังงานความร้อนทำให้ผลิตภัณฑ์สุกและเกิดการระเหยของน้ำ โดยที่ใช้ระยะเวลาที่สั้นและมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าองค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์น้อย (Giri and Prasad, 2007; Lenaerts *et al.*, 2018) โดยจากการศึกษาการทำนอนแมลงวันลายแห้งด้วยไมโครเวฟพบว่ามีปริมาณกรดอะมิโนสูงกว่าการอบด้วยเตาอบลมร้อน (Purnamasari *et al.*, 2021) เช่นเดียวกับการอบแห้งจึงหริตโดยการใช้ไมโครเวฟมีผลทำให้ปริมาณของไขมัน แร่ธาตุและวิตามินบีสูงกว่าการใช้เตาอบลมร้อน (Bawa *et al.*, 2020) อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาหาค่าการย่อยได้ของโภชนะของนอนแมลงวันลายแห้งที่ใช้ไมโครเวฟเปรียบเทียบกับวิธีการอบด้วยลมร้อน การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีการอบลมร้อนและไมโครเวฟต่อองค์ประกอบทางเคมี กรดอะมิโนและค่าการย่อยได้ของโปรตีนในหลอดทดลอง (*In Vitro* protein digestibility) ของนอนแมลงวันลายสำหรับใช้เป็นแนวทางในการผลิตนอนแมลงวันลายแห้งที่มีคุณภาพเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์

อุปกรณ์และวิธีการ

นอนแมลงวันลายที่ใช้ในงานทดลองเลี้ยงด้วยอาหารไก่ โดยวัตถุดิบหลัก คือ ข้าวโพดและกากถั่วเหลือง ทำการเก็บนอนสดที่อายุ 14 วันหลังจากฟักออกจากไข่ (Figure 1 A) จากนั้นนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ -20°C. เพื่อร่นนำไปทดลองต่อไป ในการทดลองจะนำนอนออกมา

ละลายแล้วแบ่งนอนออกเป็น 2 ชุด ๆ ละ 500 กรัม เพื่อนำไปทำให้แห้ง ดังนี้ Treatment 1 (T1) นอนแมลงวันลายอบแห้งด้วยลมร้อน (Black soldier fly larvae drying by oven; BSFL-O) ด้วยตู้อบ (ED115-E2, BINDER GmbH, Tuttlingen, Germany) ที่อุณหภูมิ 60°C. เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง (Figure 1 B) (De Marco *et al.*, 2015; Maurer *et al.*, 2016) และ Treatment 2 (T2) นอนแมลงวันลายอบแห้งด้วยไมโครเวฟ (Black soldier fly larvae drying by microwave; BSFL-M) โดยใช้เครื่องไมโครเวฟ (EMM20K18GW, Electrolux AB Ltd., Stockholm, Sweden) ที่ กำลังไฟ 500-550 วัตต์ ระยะเวลา 10-12 นาที (Figure 1 C) โดยอบให้นอนแมลงวันลายแห้งจากนั้นจะถูกนำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มม. แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C. จากนั้นทำการเตรียมตัวอย่างนอนทั้ง 2 แบบโดยแบ่งออกเป็น 3 ซ้ำเพื่อใช้ในการทดลอง

วิธีการทำการย่อยได้ในหลอดทดลอง (*In Vitro* digestibility)

ขั้นตอน อุปกรณ์ และวิธีการทำการย่อยได้ในหลอดทดลอง (*In Vitro* digestibility) จะทำตามวิธีของ Boisen and Fernández (1997) โดยนำตัวอย่างใส่ในหลอดทดลองจำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่างจากนั้นเติมสารบัฟเฟอร์เพื่อจำลองสภาวะในกระเพาะอาหารโดยมีการปรับ pH ให้ได้ 2.0 จากนั้นเติมเอนไซม์เปปซิน (Pepsin) ทำการเขย่าด้วยเครื่อง Water bath (FWS-30, Faithful Instrument Co., Ltd., Hebei, China) ที่ อุณหภูมิ 40°C. เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นปรับ pH เป็น 6.8 เพื่อจำลองสภาวะในลำไส้แล้วเติมเอนไซม์แพนกรีเอติน (Pancreatin) เขย่าต่อด้วยเครื่อง Water bath ที่อุณหภูมิ 40°C. เป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วกรองตัวอย่างด้วยถุงไนลอน (Nylon bag) จากนั้นนำตัวอย่างที่อยู่ในถุงไนลอนที่ไม่ผ่านการย่อยไปวิเคราะห์หาค่าโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl method และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าการย่อยได้ต่อไป



Figure 1 A: Black soldier fly larvae (BSFL), B: Black soldier fly larvae drying by hot air oven (BSFL-O), C: Black soldier fly larvae drying by microwave (BSFL-M)

การวิเคราะห์ทางเคมี

หนอนแมลงวันลายทั้งสองแบบจะถูกแบ่งเป็นชนิดละ 3 ซ้ำ โดยนำไปวิเคราะห์หาค่าโภชนาด้วยวิธีการ Proximate analysis (AOAC, 2005) ประกอบด้วยวัตถุแห้ง (Dry matter; DM) โปรตีน (Crude protein) ไขมัน (Ether extract) เยื่อใย (Crude fiber) และเถ้า (Ash) วิเคราะห์หากรดอะมิโนด้วยเครื่อง Ultra-high performance liquid chromatography (UHPLC; 1100 Series LC system, Agilent Technologies, Santa Clara, CA) และวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber; NDF) และส่วนของผนังเซลล์ที่ไม่ละลายในกรด (Acid detergent fiber; ADF) ตามวิธีของ Van Soest *et al.* (1970) ทั้งนี้มีการวิเคราะห์หาค่าโปรตีนและเถ้าที่รวมอยู่ในองค์ประกอบของ NDF และ ADF ซึ่งจะได้ค่า NDF-link protein, ADF-link protein และ ADF-ash จากนั้นจะนำมาคำนวณหาค่าไคตินตามวิธีของ Marono *et al.* (2015) จากสมการ $\text{Chitin (\%)} = \text{Ash free ADF (\%)} - \text{ADF-linked protein (\%)}$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ค่าองค์ประกอบทางเคมี กรดอะมิโนและค่าการย่อยได้ของหนอนแมลงวันลายแสดงในรูปแบบค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(Standard deviation) จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 กลุ่มด้วย Paired T-Test และกำหนดความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ $P < 0.05$ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS Studio (SAS Inst. Inc., Cary, NC)

ผลการวิจัย

ค่าองค์ประกอบทางเคมีและกรดอะมิโน

ผลการศึกษาค่าองค์ประกอบทางเคมี (Table 1) พบว่าค่าวัตถุแห้งของ BSFL-O (97.39% DM) มีค่าสูงกว่า BSFL-M (93.03% DM) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เช่นเดียวกับค่าไขมัน BSFL-M (32.01% DM) สูงกว่า ($P < 0.05$) BSFL-O (31.83% DM) ในขณะที่ค่าเยื่อใยใน BSFL-M (5.58% DM) มีค่าต่ำกว่า ($P < 0.05$) BSFL-M (5.77% DM) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามค่าโภชนาอื่น ๆ ได้แก่ โปรตีน เถ้า ADF ADF-linked protein ADF-ash และ ash free ADF ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่า NDF พบว่า BSFL-M (14.85% DM) มีค่าต่ำกว่า ($P < 0.05$) BSFL-O (15.30% DM) เช่นเดียวกันกับค่า NDF-link protein ใน BSFL-M (2.82 % DM) ที่มีค่าต่ำกว่า ($P < 0.05$) BSFL-O (5.22% DM) แต่ค่าไคตินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดย BSFL-O และ BSFL-M มีค่าเท่ากับ 2.29 และ 2.17% DM ตามลำดับ

Table 1 Chemical composition (%DM) of the black soldier fly from two drying methods

Item	BSFL-O (n=3)	BSFL-M (n=3)	<i>P-value</i>
Dry mater (%DM)	97.39±0.03 ^a	93.09±0.17 ^b	<0.05
Crude protein (%DM)	46.51±0.17	46.62±0.32	0.86
Ether extract (%DM)	31.83±0.06 ^b	32.01±0.06 ^a	<0.05
Crude fiber (%DM)	5.77±0.02 ^a	5.58±0.04 ^b	<0.05
Ash (%DM)	6.23±0.02	6.18±0.04	0.15
Neutral detergent fiber (NDF; %DM)	15.30±0.04 ^a	14.85±0.09 ^b	<0.05
Acid detergent fiber (ADF; %DM)	6.44±0.03	6.04±0.13	0.08
NDF-linked protein ¹	5.22±0.48 ^a	2.82±0.36 ^b	<0.05
ADF-linked protein ²	3.68±0.05	3.50±0.05	0.33
ADF-ash ³	0.47±0.03	0.37±0.05	0.06
Ash free ADF ⁴	5.97±0.03	5.67±0.13	0.14
Chitin ⁵	2.29±0.02	2.17±0.04	0.33

BSFL-O: Black soldier fly drying by oven, BSFL-M: Black soldier fly drying by microwave

¹NDF-linked protein: Neutral detergent fiber combined with protein; ²ADF-linked protein: Acid detergent fiber combined with protein; ³ADF-ash: Acid detergent fiber combined with ash; ⁴ash free ADF: Acid detergent fiber non combined with ash (ADF-ADF-ash); ⁵Chitin: ash free ADF-ADF-linked protein values within the same raw carrying different superscript letters (a, b) are statistically significant at *P-value*<0.05 by Paired T-Test.

สำหรับปริมาณกรดอะมิโน (Table 2) พบว่า BSFL-O มีค่ากรดอะมิโนจำเป็นระหว่าง 0.50-3.47% DM และ BSFL-M มีค่าระหว่าง 0.78-3.79% DM โดยที่ฮิสติดีน และทรีโอนีนของ BSFL-M (1.54 และ 0.50% DM ตามลำดับ) มีค่าสูงกว่า ($P<0.05$) BSFL-O (1.41 และ 0.78% DM ตามลำดับ) ขณะที่กรดอะมิโนไม่จำเป็น

ของ BSFL-O มีค่าระหว่าง 1.05-5.12% DM และ BSFL-M มีค่าระหว่าง 0.94-5.43% DM โดยที่กรดแอสปาดิก เซอรีน และไทโรซีนของ BSFL-M (5.11, 1.93 และ 3.69% DM ตามลำดับ) มีค่าสูงกว่า ($P<0.05$) BSFL-O (4.47, 1.70 และ 3.00% DM ตามลำดับ)

Table 2 Amino acids (%DM) of black soldier fly from two drying methods

Item	BSFL-O (n=3)	BSFL-M (n=3)	P-Value
Essential amino acid			
Arginine	3.47±0.11	3.79±0.15	0.41
Histidine	1.41±0.06 ^b	1.54±0.14 ^a	<0.05
Isoleucine	1.50±0.05	1.52±0.09	0.65
Leucine	2.84±0.10	3.02±0.03	0.09
Lysine	2.02±0.05	2.06±0.08	0.78
Methionine	2.90±0.10	2.91±0.61	0.88
Phenylalanine	1.39±0.06	1.48±0.11	0.22
Threonine	0.50±0.13 ^b	0.78±1.77 ^a	<0.05
Valine	0.60±0.02	0.63±0.06	0.06
Non-essential amino acid			
Alanine	3.75±0.19	4.00±0.04	0.37
Aspartic acid	4.47±0.19 ^b	5.11±0.03 ^a	<0.05
Cystine	1.05±0.08	0.94±0.01	0.32
Glycine	1.14±0.04	1.26±0.02	0.09
Glutamic acid	5.12±0.24	5.43±0.25	0.12
Proline	2.62±0.05	2.50±0.01	0.36
Serine	1.70±0.08 ^b	1.93±0.01 ^a	<0.05
Tyrosine	3.00±0.14 ^b	3.69±0.07 ^a	<0.05

BSFL-O: black soldier fly drying by oven, BSFL-M: black soldier fly drying by microwave

Values within the same raw carrying different superscript letters (a, b) are statistically significant at *P-value*<0.05 by Paired T-Test.**ค่าการย่อยได้ในหลอดทดลอง (*In vitro* digestibility)**

ค่าการย่อยได้ของโปรตีน วัสดุแห้ง และ อินทรีย์วัตถุในหลอดทดลอง (Table 3) พบว่า ค่าการย่อยได้ของโปรตีนใน BSFL-O (86.80%) ต่ำกว่า (*P*<0.05) BSFL-M (88.69%) เช่นเดียวกับค่าการย่อย

ได้วัตถุแห้งใน BSFL-O (88.77%) ต่ำกว่า (*P*<0.05) BSFL-M (91.05 %) อย่างไรก็ตามค่าการย่อยได้ อินทรีย์วัตถุใน BSFL-O และ BSFL-M ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P*>0.05)

Table 3 *In vitro* digestibility (%) of black soldier fly two drying methods

<i>In vitro</i> digestibility	BSFL-O (n=3)	BSFL-M (n=3)	<i>P-value</i>
Dry matter	88.77±0.26 ^b	91.05±0.22 ^a	<0.05
Crude protein	86.80±0.32 ^b	88.69±0.02 ^a	<0.05
Organic matter	87.39±1.44	88.64±1.15	0.36

BSFL-O: black soldier fly drying by oven, BSFL-M: black soldier fly drying by microwave, SEM: standard error of mean

Values within the same raw carrying different superscript letters (a, b) are statistically significant at *P-value*<0.05 by Paired T-Test.

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการศึกษาลงมือของกระบวนการทำให้แห้งด้วยวิธีการอบลมร้อนและไมโครเวฟของหนอนแมลงวันลายต่อค่าโภชนะ พบว่ามีค่าโปรตีนไม่แตกต่างกันเนื่องจากความร้อนไม่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนซึ่งใช้ในการคำนวณหาค่าโปรตีน สอดคล้องกับงานทดลองของ Purnamasari *et al.* (2021) ที่ศึกษาการทำหนอนแห้งพบว่า การใช้เตาอบไม่แตกต่างจากการใช้ไมโครเวฟมีค่าโปรตีน 37.77 และ 37.71% DM ตามลำดับ ในขณะที่ค่าวัตถุแห้งใน BSFL-O มีค่าสูงกว่าใน BSFL-M อาจเป็นผลมาจากการอบใช้เวลานานจนทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักออกไปมากซึ่งการอบด้วยเตาอบสูญเสียน้ำหนักถึง 63% และยังทำให้หนอนมีสีเข้ม เนื้อเหนียวและแข็ง (Purnamasari *et al.*, 2021) สอดคล้องกับงานทดลองในครั้งนี้ที่พบว่าหนอนที่อบด้วยลมร้อนมีสีน้ำตาลเข้ม ตัวหนอนเหนียวและแข็ง ในขณะที่การอบด้วยไมโครเวฟมีสีเหลือง ตัวหนอนพองตัวและเนื้อไม่แข็ง เนื่องจากไมโครเวฟเป็นการให้ความร้อนที่ช่วยให้การระเหยความชื้นได้ดีและป้องกันการหดตัว รวมไปถึงลดการสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้ (Guiné, 2018; Rakesh and Datta, 2011) สำหรับค่าไขมันใน BSFL-O (31.83% DM) มีค่าต่ำกว่าใน BSFL-M (32.01% DM) เนื่องจากการให้ความร้อนเป็นเวลานานของการอบลมร้อนทำให้ไขมันสลายหรือละลายออกมามาก สอดคล้องกับการศึกษาของ Purnamasari *et al.* (2021) พบว่าหนอนแมลงวัน

ลายที่อบลมร้อนมีไขมันต่ำกว่าไมโครเวฟ (25.62 และ 36.00% DM ตามลำดับ) เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Tschirner and Simon (2015) พบว่าการสกัดไขมันของหนอนแมลงวันลายด้วยความร้อน 60°C. จะทำให้ไขมันออกมามากกว่าที่ให้ความร้อน 50°C. และเมื่อให้ความร้อนในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นปริมาณไขมันที่สกัดได้จะมีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ไขมันในหนอนแมลงวันลายมีแนวโน้มลดลง

สำหรับปริมาณกรดอะมิโนในหนอนแมลงวันลายจะเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของโปรตีนได้ โดยกระบวนการทำให้แห้งด้วยการอบลมร้อนและไมโครเวฟอาจส่งผลต่อปริมาณของกรดอะมิโน จากการทดลองพบว่ากรดอะมิโนฮิสติดีน ทรีโอนิน กรดแอสปาดิก เซอรีนและไทโรซีนของ BSFL-O มีค่าต่ำกว่าใน BSFL-M ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการให้ความร้อนเป็นเวลานานทำให้โครงสร้างของกรดอะมิโนถูกทำลายด้วยความร้อนและมีผลกระตุ้นให้เกิดการรวมตัวกับน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) เช่น กลูโคส ในปฏิกิริยาที่เรียกว่า Maillard reaction (Nursten, 2005) ส่งผลให้ปริมาณกรดอะมิโนลดลงและมีสารที่เรียกว่า Maillard reaction products เพิ่มขึ้น (Desrosiers and Savoie, 1991; Yeung *et al.*, 2006) สอดคล้องกับการทดลองของ Purnamasari *et al.* (2021) ที่ปริมาณของกรดอะมิโนของหนอนแมลงวันลายที่อบด้วยเตาอบลมร้อน (Oven) มีค่าต่ำกว่าที่อบด้วยไมโครเวฟ

การหาค่าการย่อยได้ในหลอดทดลองเป็นการจำลองการย่อยของสัตว์เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพของวัตถุดิบและการย่อยได้ของโภชนะเบื้องต้น จากผล

การศึกษาพบว่าค่าการย่อยได้โปรตีนของ BSFL-O มีค่าต่ำกว่า BSFL-M ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการอบลมร้อนนั้นให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานกว่าไมโครเวฟซึ่งมีผลทำให้กลูโคสที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของ NDF ไปทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน (Goering *et al.*, 1973; Newkirk *et al.*, 2003) ทำให้ส่วนของไนโตรเจนของโปรตีนรวมเข้ากับส่วนของน้ำตาลรีดิวซ์ที่อยู่ในโครงสร้างของ NDF ส่งผลให้ปริมาณ NDF และ NDF-link protein เพิ่มขึ้น (Pastuszeska *et al.*, 2003) สอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้ที่พบว่าการอบลมร้อนมีผลทำให้ NDF และ NDF-link protein ใน BSFL-O เพิ่มขึ้นสูงกว่าการใช้ไมโครเวฟทั้งนี้เอนไซม์เปปซินและแพนครีเอตินที่จะไม่สามารถย่อยโปรตีนที่รวมอยู่กับ NDF และ NDF-link protein ส่งผลให้ค่าการย่อยได้โปรตีนในตัวสัตว์ลดลง (Kaewtapee *et al.*, 2017)

สรุปผลการวิจัย

กระบวนการให้ความร้อนมีผลต่อต่อลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางโภชนาการ รวมถึงค่าการย่อยได้ของโปรตีนในหลอดทดลอง การอบด้วยตู้อบลมร้อนจะทำให้เกิดการสูญเสียลักษณะทางกายภาพและการอบเป็นระยะเวลานานจะทำให้ปริมาณกรดอะมิโนลดลง ในขณะที่การอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟช่วยคงลักษณะทางกายภาพและลดการสูญเสียกรดอะมิโน ลดการเกิดปฏิกิริยา Maillard reaction ทำให้มีปริมาณ NDF-link protein ที่ต่ำส่งผลให้ค่าการย่อยได้ของโปรตีนในหลอดทดลองเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นกระบวนการทำแห้งด้วยไมโครเวฟจึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการผลิตหนอนแมลงวันลายที่มีคุณภาพสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์ในระดับอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาหาค่าการย่อยได้ในตัวสัตว์และหาระดับการเสริมที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และขอขอบคุณภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Alltech. 2021. **Alltech annual global feed survey**. [Online]. Available <https://one.alltech.com/2021-global-feed-survey/> (April 25, 2022).
- AOAC. 2005. **Official Methods of Analysis**, 18th (eds). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists. 246 p.
- Bawa, M., S. Songsermpong, C. Kaewtapee and W. Chanput. 2020. Effects of microwave and hot air oven drying on the nutritional, microbiological load, and color parameters of the house crickets (*Acheta domesticus*). **Journal of Food Processing and Preservation** 44(5): e14407.
- Boisen, S. and J.A. Fernández. 1997. Prediction of the total tract digestibility of energy in feedstuffs and pig diets by *In Vitro* analyses. **Animal Feed Science and Technology** 68(3-4): 277-286.

- De Marco, M., S. Martínez, F. Hernandez, J. Madrid, F. Gai, L. Rotolo, M. Belforti, D. Bergero, H. Katz, S. Dabbou, A. Kovitvadhi, I. Zoccarato, L. Gasco and A. Schiavone. 2015. Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. **Animal Feed Science and Technology** 209: 211-218.
- Desrosiers, T. and L. Savoie. 1991. Extent of damage to amino acid availability of whey protein heated with sugar. **Journal of Dairy Research** 58(4): 431-441.
- Figiel, A. 2010. Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. **Journal of Food Engineering** 98(4): 461-470.
- Giri, S. and S. Prasad. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. **Journal of Food Engineering** 78(2): 512-521.
- Goering, H.K., P.J. Van Soest and R.W. Hemken. 1973. Relative susceptibility of forages to heat damage as affected by moisture, temperature, and pH. **Journal of Dairy Science** 56(1): 137-143.
- Guiné, R. 2018. The drying of foods and its effect on the physical-chemical, sensorial and nutritional properties. **International Journal of Food Engineering** 2(4): 93-100.
- Huang, C., W. Feng, J. Xiong, T. Wang, W. Wang, C. Wang and F. Wang. 2019. Impact of drying method on the nutritional value of the edible insect protein from black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae: amino acid composition, nutritional value evaluation, *In Vitro* digestibility, and thermal properties. **European Food Research and Technology** 245(11): 1-11.
- Kaewtapee, C., M. Eklund, M. Wiltafsky, H.P. Piepho, R. Mosenthin and P. Rosenfelder. 2017. Influence of wet heating and autoclaving on chemical composition and standardized ileal crude protein and amino acid digestibility in full-fat soybeans for pigs. **Journal of Animal Science** 95(2): 779-788.
- Kim, B., H.R. Kim, S. Lee, Y.-C. Baek, J.Y. Jeong, H.T. Bang, S.Y. Ji and S.H. Park. 2021. Effects of dietary inclusion level of microwave-dried and press-defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on carcass traits and meat quality in broilers. **Animals** 11(3): 665.

- Lenaerts, S., M. Van Der Borgh, A. Callens and L. Van Campenhout. 2018. Suitability of microwave drying for mealworms (*Tenebrio molitor*) as alternative to freeze drying: Impact on nutritional quality and colour. **Food Chemistry** 254: 129-136.
- Makkar, H.P.S., G. Tran, V. Heuzé and P. Ankers. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. **Animal Feed Science and Technology** 197: 1-33.
- Marono, S., G. Piccolo, R. Loponte, C.D. Meo, Y.A. Attia, A. Nizza and F. Bovera. 2015. *In Vitro* crude protein digestibility of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* insect meals and its correlation with chemical composition traits. **Italian Journal of Animal Science** 14(3): 338-343.
- Maurer, V., M. Holinger, Z. Amsler, B. Früh, J. Wohlfahrt, A. Stamer and F. Leiber. 2016. Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in diets for layers. **Journal of Insects as Food and Feed** 2(2): 83-90.
- Newkirk, R.W., H.L. Classen, T.A. Scott and M.J. Edney. 2003. The digestibility and content of amino acids in toasted and non-toasted canola meals. **Canadian Journal of Animal Science** 83(1): 131-139.
- Nursten, H.E. 2005. **The Maillard Reaction: Chemistry, Biochemistry and Implications**. United Kingdom: Royal Society of Chemistry, Cambridge. 208 p.
- Oonincx, D.G.A.B. and I.J.M. de Boer. 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—a life cycle assessment. **PLOS One** 7(12): e51145.
- Ottoboni, M., T. Spranghers, L. Pinotti, A. Baldi, W. De Jaeghere and M. Eeckhout. 2017. Inclusion of *Hermetia illucens* larvae or prepupae in an experimental extruded feed: process optimization and impact on in vitro digestibility. **Italian Journal of Animal Science** 17(2): 418-427.
- Pastuszezowska, B., G. Jabłocki, L. Buraczewska, P. Dakowski, M. Taciak, R. Matyjek and A. Ochtabińska. 2003. The protein value of differently processed rapeseed solvent meal and cake assessed by in vitro methods and in tests with rats. **Animal Feed Science and Technology** 106(1-4): 175-188.
- Purnamasari, L., D.C. Widyaningrum, W. Muhlison, M.E. Krismaputri, I. Sucipto and N. Pratiwi. 2021. Amino acid profile and proximate composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) with two drying methods. p. 48. *In International Seminar on Livestock Production and Veterinary Technology*. Jakarta: University of Jember.
- Rakesh, V. and A. Datta. 2011. Microwave puffing mathematical modeling and optimization. **Procedia Food Science** 1: 762-769.

- Ravindran, V. and R. Blair. 1993. Feed resources for poultry production in Asia and the Pacific. Iii. Animal protein sources. **World's Poultry Science Journal** 49(3): 219-235.
- Schiavon, A., M. De Marco, S. Martinez, 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(1): 1-9.
- Sunjka, P., T. Rennie, C. Beaudry and G. Raghavan. 2004. Microwave convective and microwave-vacuum drying of cranberries: a comparative study. **Drying Technology** 22(5): 1217-1231.
- Tschirner, M. and A. Simon. 2015. Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. **Journal of Insects as Food and Feed** 1(4): 249-259.
- Van Huis, A., J. Van Isterbeeck, H. Klunder, E. Mertens, A. Halloran, G. Muir and P. Vantomme. 2013. **Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 191 p.
- Van Soest, P.J. 1970. The Chemical Basis for the Nutritive Evaluation of Forages. pp. 1-19. *In Proceedings Natn. Conf. Forage Qual. Eval. Util.* Lincoln: Univ, Nebraska.
- Yeung, C.Y., H.C. Lee, S.P. Lin, Y.C. Yang, F.Y. Huang and C.K. Chuang. 2006. Negative effect of heat sterilization on the free amino acid concentrations in infant formula. **European Journal of Clinical Nutrition** 60(1): 136-141.