

ผลของกรดไขมันสายกลางและสารประกอบไฟโตเจนิกในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะทางสัณฐานวิทยาลำไส้ของไก่เนื้อ

Effects of dietary medium chain fatty acids and phytogetic compounds on growth performance and intestinal histomorphology of broiler chickens

อนันต์ชัย พิลาทา¹, อรประพันธ์ ส่งเสริม¹, ขุนพล พงษ์มณี¹ และ ยูวเรศ เรืองพานิช^{1*}

Ananchai Philatha¹, Ornprapun Songserm¹, Koonphon Pongmanee¹ and Yuwares Ruangpanit^{1*}

¹ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

¹ Department of Animal Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon-Pathom 73140

บทคัดย่อ: การศึกษาการเสริมกรดไขมันสายกลาง (MCFAs) และสารประกอบไฟโตเจนิก (PCs) ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะทางสัณฐานวิทยาลำไส้ของไก่เนื้อ ทำการทดลองในไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 ที่อายุ 1 วัน จำนวน 1,200 ตัว (เพศผู้ 600 ตัว และเพศเมีย 600 ตัว) แบ่งไก่ทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 12 ซ้ำ (เพศผู้ 6 ซ้ำ และเพศเมีย 6 ซ้ำ) ซ้ำละ 25 ตัว ทำการเลี้ยงแยกเพศโดยใช้เพศเป็นบล็อก ใช้แผนแบบการทดลองสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก ไก่ทั้งหมดถูกสุ่มให้ได้รับอาหารทดลอง 4 กลุ่ม ได้แก่ อาหารควบคุม (T1) อาหารควบคุมเสริม MCFAs (T2) อาหารควบคุมเสริม PCs (T3) และอาหารควบคุมเสริม MCFAs ร่วมกับ PCs (T4) โดยมีการให้อาหารแบบเต็มทีและให้น้ำดื่มตลอดการทดลอง ผลการศึกษาพบว่าการเสริม MCFAs และ PCs อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือการเสริมร่วมกันส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อในทุกช่วงอายุไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ในด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อลำไส้เล็กส่วนกลาง (jejunum) ของไก่เนื้อที่อายุ 35 วัน พบว่าไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่เสริม MCFAs และ PCs อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือการเสริมร่วมกันมีค่าความลึกของคริปต์ที่ต่ำกว่าและอัตราส่วนความสูงวิลไลต่อความลึกของคริปต์ที่มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กล่าวคือการเสริม MCFAs และ PCs อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือการเสริมร่วมกันสามารถช่วยปรับปรุงสุขภาพทางเดินอาหาร ซึ่งอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยและการดูดซึมสารอาหารของไก่เนื้อได้

คำสำคัญ: กรดไขมันสายกลาง; สารประกอบไฟโตเจนิก; สัณฐานวิทยาลำไส้; ไก่เนื้อ

ABSTRACT: This study was conducted to investigate the effects of dietary medium chain fatty acids (MCFAs) and phytogetic compounds (PCs) on growth performance and intestinal histomorphology of broiler chickens. A total of 1,200 one-day-old Ross 308 broilers (600 males and 600 females) were used and randomly assigned into 4 dietary treatments with 12 replicates per treatment (6 males and 6 females) and 25 birds per replicate. The experimental design was randomized complete block design (RCBD) with sex as block. The four dietary treatments were, control diet (T1), control diet supplemented with MCFAs (T2), control diet supplemented with PCs (T3), and control diet supplemented with MCFAs and PCs (T4). Feed and water were provided *ad-libitum* throughout the experiment. The supplementation of MCFAs, PCs alone or their combination had no significant effect on growth performance of broilers ($P>0.05$) when compared to that of the control group. At 35-day-old the supplementation of MCFAs and PCs or their combination significantly lowered crypt depth and increased villi height: crypt depth ratio ($P<0.05$) of jejunum when compared to that of the control group. Under the condition of the present study the

* Corresponding author: agryos@ku.ac.th

Received: date; March 27, 2023 Accepted: date; July 3, 2023 Published: date;

supplementation of MCFAs and PCs, or their combination showed a promising of improving gastrointestinal health which could lead to an improvement of nutrient digestion and absorption of broiler chickens.

Keywords: medium-chain fatty acids; phytogetic compounds; intestinal histomorphology; broiler chicken

บทนำ

ความสมบูรณ์แข็งแรงของระบบทางเดินอาหารเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการย่อยและดูดซึมสารอาหาร จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อสมรรถภาพการผลิตที่ดี ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตไก่เนื้อในประเทศไทยมักมีรูปแบบการเลี้ยงที่หนาแน่น ในสภาพอากาศที่ร้อนชื้น และมีการจัดการต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลผลิตปริมาณมากต่อรอบการผลิตเพื่อควบคุมต้นทุน ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นสาเหตุหนึ่งที่เหนี่ยวนำให้เกิดภาวะความเครียด ส่งผลให้ร่างกายสัตว์มีการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันที่ลดลงและเกิดความเสี่ยงต่อการเจ็บป่วยจากเชื้อก่อโรคในระบบทางเดินอาหารได้ง่าย ในอดีตมีการใช้ยาปฏิชีวนะในลักษณะเร่งการเจริญเติบโต (antibiotics as growth promoters; AGPs) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร เสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน และส่งเสริมการเจริญเติบโต แต่การใช้ยาปฏิชีวนะลักษณะดังกล่าวส่งผลต่อการเกิดเชื้อดื้อยาและสามารถตกค้างในผลิตภัณฑ์จากสัตว์สู่ผู้บริโภค ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) เพื่อทดแทนการใช้ AGPs ในการปรับปรุงสุขภาพทางเดินอาหารและสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ

กรดไขมันสายกลาง (medium chain fatty acids; MCFAs) คือกลุ่มของกรดไขมันอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวที่มีความยาวของสายคาร์บอน 6 ถึง 12 อะตอม พบได้ในไขมันของสัตว์และพืช เช่น น้ำมัน น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม MCFAs จัดเป็นแหล่งพลังงานที่ดี ดูดซึมได้รวดเร็ว และสามารถซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ง่าย จึงมีคุณสมบัติซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลชีพและต้านจุลชีพได้ (Kim and Rhee, 2013) จุลชีพกลุ่มแบคทีเรียก่อโรคจะแย่งสารอาหาร รบกวนการใช้ประโยชน์จากสารอาหาร ผลิตภัณฑ์ และทำลายความสมบูรณ์ของลำไส้ ส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตของสัตว์ด้อยลง ดังนั้นการใช้ MCFAs จึงมีประสิทธิภาพในการควบคุมการเจริญของแบคทีเรียที่ก่อความเสียหายของระบบทางเดินอาหารและส่งผลให้สัตว์ใช้ประโยชน์จากสารอาหารได้ดีขึ้น ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ MCFAs ในสูตรอาหารไก่เนื้อเพื่อปรับปรุงสมรรถภาพการผลิต เช่น การใช้กรดลอริก (lauric acid) ในรูปของโมโนลอรีน (monolaurin) ในอาหารไก่เนื้อ พบว่าช่วยปรับปรุงสุขภาพลำไส้ อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตให้ดีขึ้น (Zeitz et al., 2015; Mustafa, 2019)

สารประกอบไฟโตเจนิค (phytogetic compounds; PCs) เป็นสารประกอบที่ได้จากพืช เช่น สมุนไพร เครื่องเทศ หรือสารสกัดจากพืช ซึ่งรวมถึงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ เช่น น้ำมันหอมระเหยที่มีสารออกฤทธิ์กลุ่มไทมอล (thymol) และคาร์วาครอล (carvacrol) ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านจุลชีพที่มีประสิทธิภาพ ช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคที่อาศัยอยู่ในทางเดินอาหาร (Athanasidou et al., 2007; Mohammadi et al., 2014) การเสริม PCs ในอาหารจึงช่วยปรับปรุงลักษณะทางสัณฐานวิทยาลำไส้ของไก่เนื้อได้ (Mohammadi et al., 2014; Du et al., 2016; Oso et al., 2019) นอกจากนี้ PCs เป็นอนุพันธ์จากพืชที่สามารถนำมาเสริมในอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มสมรรถภาพการผลิต (Windisch et al., 2008; Khatkhat et al., 2014) และปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์จากสัตว์ (Gholami-Ahangaran et al., 2022) การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริม MCFAs และ PCs อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือการเสริมร่วมกันในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะทางสัณฐานวิทยาลำไส้ของไก่เนื้อ

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ดำเนินการทดลอง ณ ฟาร์มสัตว์ปีก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ขั้นตอนการวิจัยเกี่ยวข้องกับสัตว์ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (เลขที่ ACKU64-AGK-023)

สัตว์ทดลองและแผนการทดลอง

การศึกษานี้ใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 ที่อายุ 1 วัน จำนวน 1,200 ตัว (เพศผู้ 600 ตัว และเพศเมีย 600 ตัว) แบ่งไก่ออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 12 ซ้ำ โดยใช้เพศเป็นบล็อก (เพศผู้ 6 ซ้ำ และเพศเมีย 6 ซ้ำ) ซ้ำละ 25 ตัว โดยเลี้ยงในคอกขนาด 1.5 × 2 ม.

(ความหนาแน่น 12 ตัว/ตร.ม.) ไก่ทั้งหมดถูกสุ่มให้ได้รับอาหารทดลอง 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 (T1) อาหารควบคุม กลุ่มที่ 2 (T2) อาหารควบคุมเสริม MCFAs (0.120% ในอาหารไก่เนื้อระยะเล็ก และ 0.070% ในระยะรุ่นและระยะสุดท้าย) กลุ่มที่ 3 (T3) อาหารควบคุมเสริม PCs (0.015% ในอาหารไก่เนื้อระยะเล็ก และ 0.010% ในระยะรุ่นและระยะสุดท้าย) และกลุ่มที่ 4 (T4) อาหารควบคุมเสริม MCFAs ร่วมกับ PCs (อัตราส่วน 1: 1; 0.120% ในอาหารไก่เนื้อระยะเล็ก และ 0.070% ในระยะรุ่นและระยะสุดท้าย) โดย MCFAs (Aromabiotic® Poultry, Nuscience Group, Drongen, Belgium) ประกอบด้วยกรดคาโปรอิก (caproic acid; C6) กรดคาปริลิก (caprylic acid; C8) กรดคาปริก (capric acid; C10) และกรดลอริก (C12) สำหรับในส่วนของ PCs (Activo, EW Nutrition, Germany) ประกอบด้วยโทมอล คาร์วาคอรอล และอื่น ๆ และ MCFAs ร่วมกับ PCs (M-prove®, Nuscience Group, Drongen, Belgium) ประกอบด้วย MCFAs (C6, C8, C10 และ C12) ร่วมกับ PCs (โทมอล คาร์วาคอรอล และอื่น ๆ) ไก่ทั้งหมดถูกเลี้ยงภายในโรงเรือนระบบปิดที่มีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น การระบายอากาศ และแสงสว่าง (ให้แสง 23 ชั่วโมง และไม่ให้แสง 1 ชั่วโมง) ทำการเลี้ยงแบบปล่อยพื้นโดยใช้ถาดเป็นวัสดุรองพื้น ไก่ทุกตัวได้รับการทำวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิล (Newcastle disease; ND) + โรคหลอดลมอักเสบติดเชื้อ (Infectious Bronchitis; IB), โรคกัมโบโร (Infectious Bursal disease; IBD) และ ND (LaSota strain) + IB เมื่ออายุ 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ มีการให้กินอาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*) และมีน้ำให้ดื่มตลอดเวลา ใช้ระยะเวลาการเลี้ยง 35 วัน อาหารทดลองใช้ข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลัก คุณค่าทางโภชนาของอาหารทดลองได้จากการคำนวณแสดงใน **Table 1** อาหารทุกกลุ่มทดลองมีคุณค่าทางโภชนาตามมาตรฐานที่สายพันธุ์กำหนด (Aviagen, 2022) โดยแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ ระยะเล็ก (starter; อายุ 1 ถึง 10 วัน) ระยะรุ่น (grower; อายุ 11 ถึง 24 วัน) และระยะสุดท้าย (finisher; อายุ 25 ถึง 35 วัน)

การศึกษาด้านสมรรถภาพการผลิต

ทำการชั่งน้ำหนักไก่ทดลองทุกตัวที่อายุ 1, 10, 24 และ 35 วัน เพื่อคำนวณน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (body weight gain; BWG) ชั่งน้ำหนักอาหารที่ให้แก่และอาหารที่เหลือในแต่ละระยะเพื่อคำนวณปริมาณอาหารที่กินต่อตัว (feed intake; FI) และคำนวณอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (feed conversion ratio; FCR) บันทึกจำนวนไก่ตายในแต่ละกลุ่มทดลองเป็นรายวันเพื่อนำมาคำนวณอัตราการตาย (mortality rate)

การศึกษาด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยาลำไส้เล็กส่วนกลางของไก่เนื้อ

เมื่อไก่อายุ 35 วัน ทำการสุ่มไก่ซ้ละ 2 ตัว และเก็บตัวอย่างลำไส้เล็กส่วนกลาง (jejunum) ของไก่ทั้ง 4 กลุ่มทดลอง โดยเก็บเนื้อเยื่อตำแหน่งตรงกลางของลำไส้เล็กส่วนกลางความยาวประมาณ 2 ซม. นำมาคงสภาพในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอร์มาลิน 10% จากนั้นตัดแบ่งเนื้อเยื่อความหนาประมาณ 4×10^{-6} ม. ทำการย้อมสีสไลด์โดยเทคนิคการย้อมสี hematoxylin และ eosin และนำกระจกสไลด์ที่มีเนื้อเยื่อที่ย้อมสีเสร็จแล้วไปตรวจศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 400 เท่า (Olympus CX33 Microscope; Olympus Optical Corp., Tokyo, Japan) ที่เชื่อมต่อกล้อง (Olympus DP22 digital camera, Olympus Optical Corp., Tokyo, Japan) และวิเคราะห์ภายใต้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ (DP2-SAL Firmware, Olympus Optical Corp., Tokyo, Japan) เพื่อศึกษาจุลกายวิภาคของความสูงวิลไล (villus height; จาก brush-border membrane ถึง villus-crypt junction) ความกว้างวิลไล (villus width; ตำแหน่ง villus-crypt junction จากด้านซ้ายไปขวา) ทำการคำนวณพื้นที่ผิววิลไล (villus surface area) โดยใช้สูตร $(2\pi)(VW/2)(VH)$ เมื่อ VW = ความกว้างวิลไล และ VH = ความสูงวิลไล (Sakamoto et al., 2000) ความลึกของคริปต์ (crypt depth; จาก basement membrane ถึง villus-crypt junction) และอัตราส่วนความสูงวิลไลต่อความลึกของคริปต์ (Rahman et al., 2017)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA) ตามแผนแบบการทดลองสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized completely block design; RCBD) เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองโดยวิธี Tukey multiple comparison test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป SAS (SAS® OnDemand for Academics, 2021)

Table 1 Ingredient composition and calculated analysis of experimental diets

Ingredient (%)	Starter diet	Grower diet	Finisher diet
Corn	54.72	57.17	61.07
Soybean meal 48% CP	36.68	33.58	29.06
Soybean oil	3.34	4.52	5.49
Monocalcium phosphate	2.25	2.02	1.81
Limestone	1.01	0.91	0.82
Salt	0.23	0.25	0.25
Broiler premix	0.20	0.20	0.20
DL-Methionine	0.33	0.28	0.25
L-Lysine	0.23	0.16	0.16
L-Threonine	0.13	0.08	0.06
L-Isoleucine	0.04	0.02	0.01
Sodium bicarbonate	0.21	0.19	0.19
Choline chloride 60%	0.08	0.07	0.08
Antimold	0.20	0.20	0.20
Cocidiostat	0.05	0.05	0.05
Pellet binder	0.30	0.30	0.30
Calculated analysis			
Dry matter (%)	87.89	87.94	87.96
ME for poultry (Kcal/kg)	3,000	3,100	3,200
Crude protein (%)	23.00	21.50	19.50
Crude fat (%)	5.88	7.10	8.13
Crude fiber (%)	2.63	2.57	2.48
Calcium (%)	0.96	0.87	0.79
Total phosphorus (%)	0.86	0.80	0.74
Available phosphorus (%)	0.48	0.44	0.40
Lysine (%)	1.43	1.29	1.15
Methionine (%)	0.67	0.6	0.55
Methionine + Cystine (%)	1.05	0.97	0.89
Choline (mg/kg)	1,700	1,600	1,550
Salt (%)	0.27	0.29	0.29

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ

คุณสมบัติที่คล้ายคลึงกันและแตกต่างกันของ MCFAs และ PCs การเสริมร่วมกันในอาหารจึงคาดหวังให้สารออกฤทธิ์ของสารทั้งสองได้ทำงานร่วมกันให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ อย่างไรก็ตามในการศึกษาผลของการเสริม MCFAs และ PCs อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือการเสริมร่วมกันต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อที่อายุ 1 ถึง 35 วัน (Table 2) พบว่าสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อระหว่างกลุ่มการทดลองในทุกช่วงอายุและตลอดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แม้ว่าไก่เนื้อกลุ่มที่มีการเสริม MCFAs ร่วมกับ PCs ในอาหารช่วงอายุ 25 ถึง 35 วัน พบว่ามีแนวโน้มของอัตราการตายต่ำกว่ากลุ่มการทดลองอื่น ๆ Pinchasov and Jensen (1989) ได้รายงานไว้อย่างชัดเจนว่าการทดลองที่มีการดำเนินการโดยใช้ลูกไก่ที่มีสุขภาพดี มีจัดการที่ดี มีการเลี้ยงในโรงเรือนที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม และถูกสุขอนามัยนั้น การเสริม MCFAs ร่วมกับ PCs ในอาหารอาจไม่สามารถส่งผลอย่างชัดเจนในการปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อได้ อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่เนื้อที่มีความหนาแน่นสูง การเสริม MCFAs และ PCs อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือการเสริมร่วมกันในอาหารอาจจะมีการปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ผลของการเสริม MCFAs ในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่าการเสริม MCFAs 0.10% ถึง 0.30% ในอาหารไม่ส่งผลต่อน้ำหนักมีชีวิต BWG, FI และ FCR ของไก่เนื้อ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Alamo et al., 2007; Shokrollahi et al., 2014; Khosravinia, 2015; Khatibjoo et al., 2018) นอกจากนี้พบว่ามีผลงานทดลองที่คล้ายคลึงกันของ Mohammadzade et al. (2013) ทำการเสริมกรดคาโปรอิก 0.10% ถึง 0.20% และ Demirci and Başalan (2021) ทำการเสริมกรดคาปริลิก กรดคาปริก และกรดลอริก 0.20% ในอาหารไก่เนื้อ พบว่าสมรรถภาพการผลิตไม่มีความแตกต่างกันกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริม ในทางตรงกันข้าม Khosravinia (2015) ทำการเสริม MCFAs 0.20% ในอาหารพบว่าสามารถช่วยปรับปรุง BWG และลดอัตราการตายในไก่เนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เช่นเดียวกับ Jadhav et al. (2021) ที่พบว่าการเสริม MCFAs (กรดลอริก 0.25% หรือกรดคาปริก 0.25%) ส่งผลให้ BWG ของไก่เนื้อเพิ่มขึ้นและช่วยปรับปรุง FCR ให้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ในงานวิจัยอื่น ๆ พบว่าการเสริม MCFAs ในอาหารอาจช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตสัตว์ได้ เนื่องจาก MCFAs มีผลต่อการต้านแบคทีเรียก่อโรคในทางเดินอาหาร Immerseel et al. (2004) ทำการเสริมกรดคาโปรอิก 0.30% ในอาหารไก่เนื้อที่ได้รับเชื้อ *Salmonella enterica* serovar Enteritidis พบว่าปริมาณ *Salmonella* ในไส้ติ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จึงสามารถลดปัญหาการแก่งแย่งสารอาหารและการผลิตสารพิษที่ส่งผลทำลายความสมบูรณ์ของลำไส้โดยแบคทีเรียก่อโรค ส่งผลให้การใช้ประโยชน์สารอาหารและสมรรถภาพการผลิตของสัตว์ดีขึ้น จึงอาจกล่าวได้ว่า MCFAs สามารถเป็นสารเสริมอาหารทางเลือกที่สามารถใช้ทดแทนการใช้ AGPs ในไก่เนื้อได้ (Kim and Rhee, 2013; Lee et al., 2015; Gracia et al., 2016; Dauksiene et al., 2021) อย่างไรก็ตามในงานวิจัยครั้งนี้ไม่มีการทดสอบฤทธิ์ด้านการต้านจุลชีพของ MCFAs ในทางเดินอาหารของไก่เนื้อ

ผลของการเสริม PCs ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อในงานวิจัยก่อนหน้านี้ให้ผลลัพธ์แตกต่างกันออกไป โดยพบว่าการเสริม PCs ในอาหารไก่เนื้อช่วยปรับปรุง BWG และ FCR ให้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Ocak et al., 2008; Hafeez et al., 2016; Oso et al., 2019) เช่นเดียวกับ Omar et al. (2020) ที่พบว่าการเสริม MCFAs ร่วมกับน้ำมันหอมระเหยในอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้มี BWG, FCR และดัชนีของสมรรถภาพการผลิตดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่เสริม MCFAs เพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม Amer et al. (2021) ทำการเสริมโมโนโลรินที่มีกรดลอริกเป็นองค์ประกอบร่วมกับน้ำมันหอมระเหยจากออริกานในอาหาร พบว่าไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ ความแตกต่างของงานวิจัยที่ศึกษาอิทธิพลของการเสริม PCs นั้นอาจเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น ชนิดและปริมาณของสารออกฤทธิ์ พื้นที่เพาะปลูก สภาพอากาศ ฤดูกาล และกระบวนการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลให้เกิดความแปรผันขององค์ประกอบและความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ในพืชสมุนไพรนั้น ๆ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการในการสกัดสารออกฤทธิ์ ตลอดจนประสิทธิภาพของการเก็บรักษา ก่อนการนำมาใช้ อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับรูปแบบของ PCs โดยพบว่าการใช้ PCs ในรูปผงแห้งจะมีสารออกฤทธิ์น้อยกว่าสารสกัดหรือน้ำมันหอมระเหย จึงต้องมีการเสริมในระดับที่สูงในสูตรอาหารเพื่อให้ได้ผลตามที่ต้องการ (Hafeez et al., 2016) แต่การกระทำดังกล่าว

อาจส่งผลให้อาหารมีเชื้อยีสเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อการย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ทางโภชนาในอาหารได้ PCs ที่นำมาใช้ในรูปน้ำมันหอมระเหยอาจมีการสูญเสียสารออกฤทธิ์ในระหว่างการใช้งาน ในการใช้งานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดควรทำการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบปริมาณสารออกฤทธิ์ในผลิตภัณฑ์ก่อนนำมาคำนวณปริมาณการใช้ หรืออาจใช้สารห่อหุ้ม (encapsulation) เพื่อป้องกันสารออกฤทธิ์ถูกทำลาย อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ของการใช้ยังขึ้นอยู่กับอายุและสุขภาพของสัตว์ด้วย โดยในสัตว์ที่มีสุขภาพดี มีการจัดการเลี้ยงดูอย่างดีและถูกสุขอนามัยนั้น การเสริม PCs ในอาหารนั้นอาจไม่ส่งผลเชิงบวกต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อได้อย่างชัดเจน

Table 2 Effect of MCFAs and PFAs supplementation on growth performance of broiler chicken

Items	Control	MCFAs	PFAs	MCFAs with PFAs	SEM	P-value
Initial body weight (g/bird)	42.78	42.47	42.56	42.69	0.083	0.455
1-10 days of age						
Body weight (g/bird)	323.84	323.89	327.43	322.84	1.051	0.251
BWG (g/bird)	281.06	281.43	284.88	280.15	1.031	0.230
FI (g/bird)	324.05	321.32	325.91	321.31	1.111	0.380
FCR	1.15	1.14	1.14	1.15	0.004	0.687
Mortality (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
11-24 days of age						
Body weight (g/bird)	1,324.86	1,347.13	1,359.21	1,344.01	12.585	0.127
BWG (g/bird)	1,001.01	1,023.23	1,031.77	1,021.17	11.866	0.135
FI (g/bird)	1,339.21	1,355.74	1,360.30	1,354.71	12.429	0.421
FCR	1.34	1.33	1.32	1.33	0.005	0.389
Mortality (%)	0.67	1.33	0.00	1.33	0.291	0.217
25-35 days of age						
Body weight (g/bird)	2,445.97	2,464.30	2,476.88	2,467.59	28.098	0.656
BWG (g/bird)	1,121.11	1,117.17	1,117.68	1,123.58	16.211	0.975
FI (g/bird)	1,774.24	1,768.77	1,768.63	1,768.03	24.854	0.994
FCR	1.58	1.58	1.58	1.57	0.007	0.948
Mortality (%)	0.36	0.38	1.43	0.00	0.210	0.069
1-35 days of age						
Body weight (g/bird)	2,445.97	2,464.30	2,476.88	2,467.59	28.098	0.656
BWG (g/bird)	2,403.19	2,421.83	2,434.33	2,424.90	28.066	0.652
FI (g/bird)	3,437.50	3,445.83	3,454.84	3,444.05	37.146	0.970
FCR	1.43	1.42	1.42	1.42	0.003	0.623
Mortality (%)	1.00	1.67	1.33	1.33	0.344	0.868

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้ส่วนกลางของไก่เนื้อ

ผลของ MCFAs และ PCs ต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อลำไส้เล็กส่วนกลางของไก่เนื้อที่อายุ 35 วัน แสดงไว้ใน **Table 3** ภาพลักษณะจุลกายวิภาคของลำไส้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสดงใน **Figure 1** ผลการศึกษาพบว่าความสูงวิลไล ความกว้างวิลไล และพื้นที่ผิววิลไลไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่เสริม MCFAs และ PCs อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือการเสริมร่วมกันมีค่าความลึกของคริปต์ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่งผลให้อัตราส่วนความสูงวิลไลต่อความลึกของคริปต์ของลำไส้เล็กส่วนกลางของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่เสริม MCFAs และ PCs อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือการเสริมร่วมกันมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามไปด้วย ($P<0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่า การเสริม MCFAs และ PCs ในอาหารไก่เนื้อ พบว่าช่วยปรับปรุงความลึกของคริปต์และอัตราส่วนความสูงวิลไลต่อความลึกของคริปต์ของลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) และส่วนปลาย (ileum) ให้ดีขึ้น (Perić et al., 2010; Murugesan et al., 2015; Baltić et al., 2018; Santos et al., 2019) นอกจากนี้การเสริม MCFAs เพียงอย่างเดียวหรือการเสริมร่วมกับ PCs พบว่าสามารถช่วยเพิ่มความสูงวิลไล ความกว้างวิลไล และพื้นที่ผิววิลไลของลำไส้เล็กส่วนต้น ส่วนกลาง และส่วนปลายของไก่เนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Rodríguez-Lecompte et al., 2012; Sultan et al., 2015; Abudabos et al., 2017; Amer et al., 2021) ในทางตรงกันข้าม Khatibjoo et al. (2018) และ Sadurni et al. (2022) พบว่าการเสริมเกลือ MCFAs 0.05% ถึง 0.20% ไม่มีผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็กของไก่เนื้อ

ความสูงของวิลไลสามารถบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการสร้างเอนไซม์จากเซลล์เยื่อบุผิวเพื่อช่วยย่อยอาหารและความสามารถในการดูดซึมสารอาหาร ความลึกของคริปต์บ่งชี้ถึงอัตราการสร้างเซลล์ที่บริเวณสเต็มเซลล์ (stem cell) ของคริปต์เพื่อทดแทนวิลไลที่หลุดลอกในสภาวะปกติ ซึ่งค่าความลึกของคริปต์ที่ต่ำแสดงว่ามีการสร้างเซลล์ใหม่น้อย เนื่องจากเซลล์วิลไลมีการถูกทำลายจากสิ่งแปลกปลอมและการหลุดลอกออกจากผนังลำไส้ชั้นย่อยลง ซึ่งบ่งชี้ถึงสุขภาพลำไส้ที่ดีและเป็นผลดีต่อเนื้อเยื่อวิทยาของลำไส้ อัตราส่วนความสูงวิลไลต่อความลึกของคริปต์ยังมีความสัมพันธ์กับจำนวนเซลล์เอนเทอโรไซต์ (enterocyte cell) และเซลล์กอบเบลท (goblet cell) หรือต่อมสร้างเมือกของลำไส้ที่มีหน้าที่สร้างเมือก โดยอัตราส่วนความสูงวิลไลต่อความลึกของคริปต์ที่มีค่าต่ำยังสัมพันธ์กับระดับ goblet cell ที่มากขึ้น ส่งผลให้ระดับสารคัดหลั่งเพิ่มขึ้นและมีช่วยป้องกันเยื่อบุผิวของลำไส้จากแบคทีเรียก่อโรค (Prakatur et al., 2019) โดย MCFAs และ PCs มีคุณสมบัติต้านแบคทีเรียที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินอาหารและลำไส้ (Athanasiadou et al., 2007; Zeitz et al., 2015) ทำให้การติดเชื้อของลำไส้ลดลงและเซลล์วิลไลที่ถูกทำลายได้รับการซ่อมแซมดีขึ้น นอกจากนี้ PCs ยังมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของการเกิดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและมีฤทธิ์ต้านการอักเสบของเซลล์ (Gessner et al., 2017) โดยสารออกฤทธิ์ของ PCs จะมีการยับยั้งการหลั่งสารกระตุ้นการอักเสบของเซลล์บริเวณลำไส้ ซึ่งจะไปยับยั้งการเคลื่อนที่ของเซลล์เม็ดเลือดขาวมาสู่บริเวณที่เกิดการอักเสบ ส่งผลทำให้มีการหลั่งสารกระตุ้นการอักเสบในกลุ่มไซโตไคน์ลดลงและเซลล์ลำไส้ได้รับการซ่อมแซมเร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นการเสริม MCFAs และ/หรือ PCs จึงมีคุณสมบัติช่วยปรับปรุงสุขภาพของลำไส้ได้ดี

Table 3 Effect of MCFAs and PFAs supplementation on jejunum histomorphology of broiler chicken

Items	Control	MCFAs	PFAs	MCFAs with PFAs	SEM	P-value
Villus height (µm)	1,242.84	1,262.00	1,262.03	1,258.08	16.686	0.974
Villus width (µm)	150.87	152.47	152.72	152.58	1.326	0.960
Villus surface area (mm ²)	0.188	0.192	0.193	0.192	0.003	0.956
Crypt depth (µm)	273.55 ^a	239.71 ^b	239.11 ^b	243.25 ^b	4.159	0.005
Villi height: crypt depth	4.539 ^b	5.347 ^a	5.295 ^a	5.257 ^a	0.098	0.004

^{a, b} indicated the difference within a row was significant ($P<0.05$)

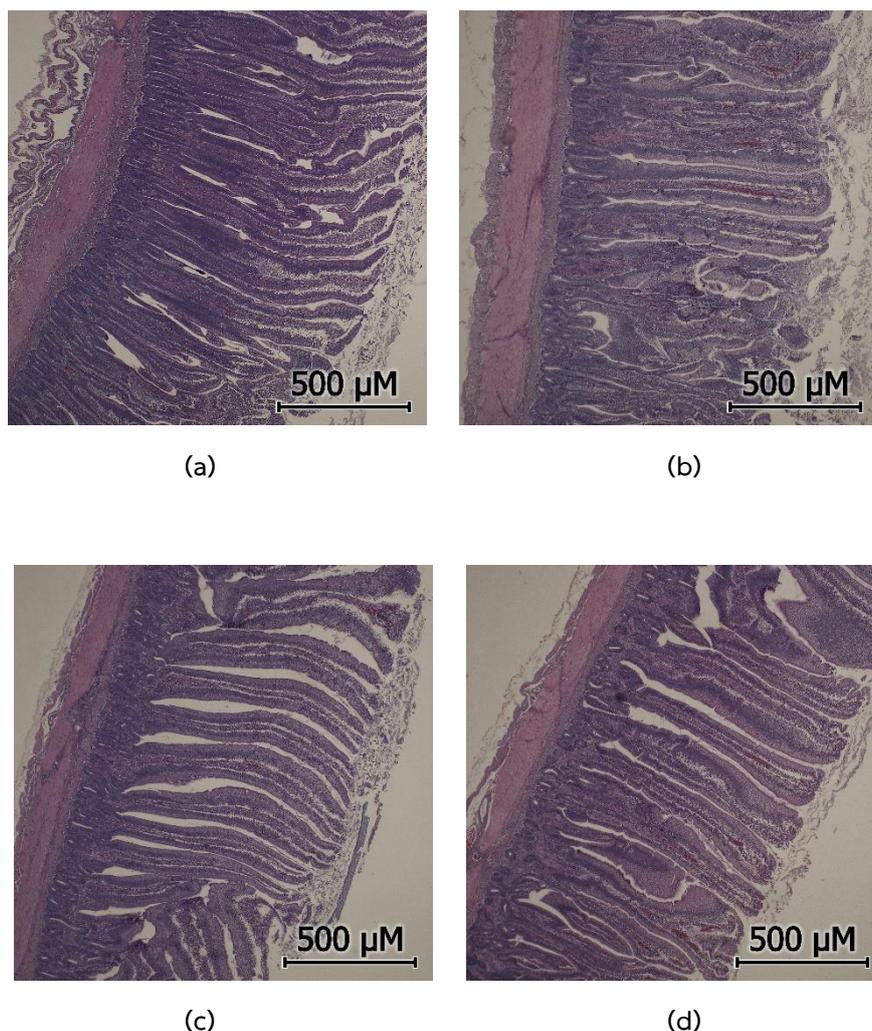


Figure 1 Histomorphology of the jejunum under a microscope: (a) control diet; (b) control diet with supplemented MCFAs; (c) control diet supplemented with PCs; (d) control diet supplemented with MCFAs and PCs.

สรุป

ภายใต้เงื่อนไขของการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ไขมันทอดถูกเลี้ยงในสภาพแวดล้อมปกติและไม่ได้ก่อให้เกิดความเครียด ส่งผลให้การเสริมสาร MCFAs และ PCs อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือการเสริมร่วมกันในอาหารไก่เนื้อไม่แสดงผลเชิงบวกต่อสมรรถภาพการผลิต บรรเทาความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิชั่น และภาวะการอักเสบโดยรวม อย่างไรก็ตามลักษณะสัญญาณวิทยาของลำไส้เล็ก ส่วนกลางของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่เสริมสารเสริมทุกกลุ่มทดลองได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยลดค่าความลึกของคริปต์ และเพิ่มอัตราส่วนความสูงวิลไลต่อความลึกของคริปต์ ดังนั้นการศึกษานี้จึงแสดงให้เห็นว่าการเสริม MCFAs และ PCs อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือการเสริมร่วมกันมีผลต่อการปรับปรุงสุขภาพทางเดินอาหารของไก่เนื้อที่เลี้ยงในสภาพแวดล้อมปกติ ซึ่งความสมบูรณ์ของเยื่อผิว ลำไส้ที่ดีขึ้นอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยและการดูดซึมสารอาหารของไก่เนื้อได้ อย่างไรก็ตามจากการทดลองนี้ การเสริม MCFAs และ PCs ร่วมกันไม่ได้ส่งผลให้เกิดการปรับปรุงสุขภาพทางเดินอาหารให้ดีกว่าการเสริมเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ Nuscience Singapore Pte Ltd. ที่สนับสนุนงบประมาณสำหรับการวิจัย ขอขอบคุณ ฟาร์มสัตว์ปีก คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับดำเนินการวิจัย ตลอดจนขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกสถานที่ เครื่องมือ คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- Abudabos, A.M., A.H. Alyemni, Y.M. Dafalla, and R.U. Khan. 2017. Effect of organic acid blend and *Bacillus subtilis* alone or in combination on growth traits, blood biochemical and antioxidant status in broiler exposed to *Salmonella typhimurium* challenge during the starter phase. *Journal of Applied Animal Research*. 45: 538-542.
- Alamo, A.G.D., J.D.L. Mozos, and J.T.P.V. Dam. 2007. The use of short and medium chain fatty acids as an alternative to antibiotic growth promoters in broilers infected with malabsorption syndrome. p.317-320. In: *Proceedings of the 16th European Symposium on Poultry Nutrition (ESPN)*. Strasbourg, France.
- Amer, S.A., S.A. Tolba, D.M.M. ALSadek, D.M.A. Fattah, A.M. Hassan, and A.E. Metwally. 2021. Effect of supplemental glycerol monolaurate and oregano essential oil blend on the growth performance, intestinal morphology, and amino acid digestibility of broiler chickens. *BMC Veterinary Research*. 17: 312.
- Athanasiadou, S., J. Githiori, and I. Kyriazakis. 2007. Medicinal plants for helminth parasite control: Facts and fiction. *Animal*. 1: 1392-1400.
- Aviagen. 2022. Ross broiler: Nutrition specifications. The local Aviagen, US.
- Baltić, B., J. Ćirić, D. Šefer, A. Radovanović, J. Đorđević, M. Glišić, M. Bošković, M.Ž. Baltić, V. Đorđević, and R. Marković. 2018. Effect of dietary supplementation with medium chain fatty acids on growth performance, intestinal histomorphology, lipid profile and intestinal microflora of broiler chickens. *South African Journal of Animal Science*. 48: 885-896.
- Dauksiene, A., M. Ruzauskas, R. Gruzauskas, P. Zavistanaviciute, V. Starkute, V. Lele, D. Klupsaite, J. Klementaviciute, and E. Bartkiene. 2021. A comparisons study of the caecum microbial profiles, productivity and production quality of broiler chickens fed supplements based on medium chain fatty and organic acids. *Animals (Basel)*. 11: 610.
- Demirci, M., and M. Başalan. 2021. Effects of medium-chain free fatty acids on performance, some biochemical parameters and meat fatty acids profile of broiler chickens. *The Thai Journal of Veterinary Medicine*. 51: 339-346.
- Du, E., W. Wang, L. Gan, Z. Li, S. Guo, and Y. Guo. 2016. Effects of thymol and carvacrol supplementation on intestinal integrity and immune responses of broiler chickens challenged with *Clostridium perfringens*. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 7: 19.
- Gessner, D.K., R. Ringseis, and K. Eder. 2017. Potential of plant polyphenols to combat oxidative stress and inflammatory processes in farm animals. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 101: 605-628.
- Gholami-Ahangaran, M., M. Karimi-Dehkordi, A. Javar, M.H. Salehi, and M. Ostadpoor. 2021. A systematic review on the effect of Ginger (*Zingiber officinale*) on improvement of biological and fertility indices of sperm in laboratory animals, poultry, and humans. *Veterinary Medicine and Science*. 7: 1959-1969.

- Gracia, M.I., C. Millán, J. Sánchez, M. Guyard-Nicodème, J. Mayot, Y. Carre, A. Csorbai, M. Chemaly, and P. Medel. 2016. Efficacy of feed additives against *Campylobacter* in live broilers during the entire rearing period: Part B. Poultry Science. 95: 886-892.
- Hafeez, A., K. Männer, C. Schieder, and J. Zentek. 2016. Effect of supplementation of phytogenic feed additives (powdered vs. encapsulated) on performance and nutrient digestibility in broiler chickens. Poultry Science. 95: 622-629.
- Immerseel F.V., J.D. Buck, F. Boyen, L. Bohez, F. Pasmans, J. Volf, M. Sevcik, I. Rychlik, F. Haesebrouck, and R. Ducatelle. 2004. Medium-chain fatty acids decrease colonization and invasion through *hilA* suppression shortly after infection of chickens with *Salmonella enterica* serovar Enteritidis. Applied and Environmental Microbiology. 70: 3582-3587.
- Jadhav, P., S. Manwar, K. Khose, M. Wade, M. Gole, and G. Langote. 2021. Effect of medium chain fatty acids as replacement to antibiotics in diets on growth performance and gut health in broiler chicken. Indian Journal of Animal Research. 55: 894-899.
- Khatibjoo, A., M. Mahmoodi, F. Fattahnia, M. Akbari-Gharaei, A.N. Shokri, and S. Soltani. 2018. Effects of dietary short- and medium-chain fatty acids on performance, carcass traits, jejunum morphology, and serum parameters of broiler chickens. Journal of Applied Animal Research. 46: 492-498.
- Khattak, F., A. Ronchi, P. Castelli, and N. Sparks. 2014. Effects of natural blend of essential oil on growth performance, blood biochemistry, cecal morphology, and carcass quality of broiler chickens. Poultry Science. 93 :132-137.
- Khosravinia, H. 2015. Effect of dietary supplementation of medium-chain fatty acids on growth performance and prevalence of carcass defects in broiler chickens raised in different stocking densities. Journal of Applied Poultry Research. 24: 1-9.
- Kim, S.A., and M.S. Rhee. 2013. Marked synergistic bactericidal effects and mode of action of medium-chain fatty acids in combination with organic acids against *Escherichia coli* O157: H7. Applied and Environmental Microbiology. 79: 6552-6560.
- Lee, S.I., H.S. Kim, and I. Kim. 2015. Microencapsulated organic acid blend with MCFAs can be used as an alternative to antibiotics for laying hens. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. 39: 520-527.
- Mohammadi, Z., S. Ghazanfari, and M.A. Moradi. 2014. Effect of supplementing clove essential oil to the diet on microflora population, intestinal morphology, blood parameters and performance of broilers. European Poultry Science. 78: 51.
- Mohammadzade, S., H.A. Shahriar, Y. Ebrahimnejad, A. Ahmadzadeh, and B. Tahmasebpour. 2013. Effect of different levels of medium chain fatty acids on performance, and some of microbial population of gastro in broiler chicks. Research Journal of Chemical and Environmental Sciences. 1: 5-7.
- Murugesan, G.R., B. Syed, S. Haldar, and C. Pender. 2015. Phytogenic feed additives as an alternative to antibiotic growth promoters in broiler chickens. Frontiers in Veterinary Science. 2: 187-192.
- Mustafa, N.G. 2019. Biochemical trails associated with different doses of alpha-monolaurin in chicks. Advances in Animal and Veterinary Sciences. 7: 187-192.

- Ocak, N., G. Erener, F. Burak Ak, M. Sungu, A. Altop, and A. Ozmen. 2008. Performance of broilers fed diets supplemented with dry peppermint (*Mentha piperita* L.) or thyme (*Thymus vulgaris* L.) leaves as growth promoter source. *Czech Journal of Animal Science*. 53: 169-175.
- Omar, E.M., W.H.A. Mohamed, H.M.A. Wahed, and M.S. Ragab. 2020. Addition of essential oils and medium chain fatty acids in the diets and their effect on productive performance of broiler chickens. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*. 23: 289-303.
- Oso, A.O., R.U. Suganthi, G.B.M. Reddy, P.K. Malik, G. Thirumalaisamy, V.B. Awachat, S. Selvaraju, A. Arangasamy, and R. Bhatta. 2019. Effect of dietary supplementation with phytogetic blend on growth performance, apparent ileal digestibility of nutrients, intestinal morphology, and cecal microflora of broiler chickens. *Poultry Science*. 98: 4755-4766.
- Perić, L., N. Milošević, D. Žikić, S. Bjedov, D. Cvetković, S. Markov, M. Mohnl, and T. Steiner. 2010. Effects of probiotic and phytogetic products on performance, gut morphology and cecal microflora of broiler chickens. *Archives Animal Breeding*. 53: 350-359.
- Pinchasov, Y., and L.S. Jensen. 1989. Effect of short-chain fatty acids on voluntary feed of broiler chicks. *Poultry Science*. 68: 1612-1618.
- Prakatur, I., M. Miskulin, M. Pavic, K. Marjanovic, V. Blazicevic, I. Miskulin, and M. Domacinovic. 2019. Intestinal morphology in broiler chickens supplemented with propolis and bee pollen. *Animals (Basel)*. 9: 301.
- Rahman, S.U., S. Khan, N. Chand, U. Sadique, and R.U. Khan. 2017. *In vivo* effects of *Allium cepa* L. on the selected gut microflora and intestinal histomorphology in broiler. *Acta Histochemica*. 119: 446-450.
- Rodríguez-Lecompte, J.C., A. Yitbarek, J. Brady, S. Sharif, M.D. Cavanagh, G. Crow, W. Guenter, J.D. House, and G. Camelo-Jaimes. 2012. The effect of microbial-nutrient interaction on the immune system of young chicks after early probiotic and organic acid administration. *Journal Animal Sciences*. 90: 2246-2254.
- Sadurní, M., A.C. Barroeta, R. Sala, C. Sol, M. Puyalto, and L. Castillejos. 2022. Impact of dietary supplementation with sodium butyrate protected by medium-chain fatty acid salts on gut health of broiler chickens. *Animals*. 12: 1496.
- Sakamoto, K., H. Hirose, A. Onizuka, M. Hayashi, N. Futamura, Y. Kawamura, and T. Ezaki. 2000. Quantitative study of changes in intestinal morphology and mucus gel on total parenteral nutrition in rats. *Journal of Surgical Research* 94: 99-106.
- Santos, R.R., A. Awati, H.P.J. Roubos-Van Den, T.A.T.G. Van Kempen, M.H.G. Tersteeg-Zijderveld, P.A. Koolmees, C. Smits, and J. Fink-Gremmels. 2019. Effects of a feed additive blend on broilers challenged with heat stress. *Avian Pathology*. 48: 582-601.
- SAS Institute Inc. 2021. SAS® OnDemand for academics: Studio. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Shokrollahi, B., Z. Yavari, and A.H. Kordestani. 2014. Effects of dietary medium-chain fatty acids on performance, carcass characteristics, and some serum parameters of broiler chickens. *British Poultry Science*. 55: 662-667.
- Sultan, A., T. Ullah, S. Khan, S. Khan, and R.U. Khan. 2015. Effect of organic acid supplementation on the performance and ileal microflora of broiler during finishing period. *Pakistan Journal of Zoology*. 47: 635-639.

Windisch, W., K. Schedle, C. Plitzner, and A. Kroismayr. 2008. Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry. *Journal Animal Sciences*. 86: E140-E148.

Zeitz, J.O., J. Fennhoff, H. Kluge, G. Stangl, and K. Eder. 2015. Effects of dietary fats rich in lauric and myristic acid on performance, intestinal morphology, gut microbes, and meat quality in broilers. *Poultry Science*. 94: 2404-2413.