

ผลของการเสริมกรดไขมันสายกลางในอาหาร ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพเนื้อ และ ประชากรจุลินทรีย์ในไส้ติ่งของไก่เนื้อ

Effect of medium-chain fatty acids supplementation in diet on productive performance, meat quality and cecal microbial population of broiler chickens

จิราพร ธรรมะ¹, วิริยา ลุ่งใหญ่¹ และ เชาวิต รัชชังทอง^{1*}

Jiraporn Thamma¹, Wiriya Loongyai¹ and Choawit Rakangthong^{1*}

¹ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

¹ Department of Animal Science, Faculty of Agricultural Kasetsart University, Bangkok 10900

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมระดับกรดไขมันสายกลางในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพเนื้อ และจุลินทรีย์ในไส้ติ่งของไก่เนื้อ โดยใช้ลูกไก่เนื้อสายพันธุ์ ROSS 308 เพศผู้ อายุ 1 วัน จำนวน 210 ตัว แบ่งการศึกษาเป็น 3 กลุ่มการทดลอง ได้แก่ กลุ่มควบคุม (Control) กลุ่มเสริมกรดไขมันสายกลาง (MCFAs) และกลุ่มเสริมกรดไขมันสายสั้น (SCFA) ใช้เวลาทดลองทั้งสิ้น 36 วัน ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายกลางมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายสั้น ในไก่เนื้อช่วงอายุ 25-36 วัน ($P<0.05$) และอายุ 1-36 วัน ($P<0.01$) ผลการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อพบว่ากลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายกลางและกรดไขมันสายสั้น มีค่าความแข็ง ค่าความเหนียว ค่าการทนต่อการเคี้ยวดีกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.01$) และยังพบว่ามีค่าสีแดงของเนื้อหลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมง ในกลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายกลางดีกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ผลการศึกษาจุลินทรีย์ในไส้ติ่ง พบว่าไก่กลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายกลางมีแบคทีเรียกลุ่ม *Lactobacillus* spp. มากกว่ากลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายสั้น อย่างไรก็ตามแบคทีเรียรวมและแบคทีเรียกลุ่ม *Escherichia coli* ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม จึงสามารถสรุปได้ว่าการเสริมกรดไขมันสายกลางในอาหารไก่เนื้อมีผลดีต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว คุณภาพเนื้อและประชากรจุลินทรีย์ ในไส้ติ่งของไก่เนื้อ

คำสำคัญ: กรดไขมันสายกลาง; สมรรถภาพการผลิต; คุณภาพเนื้อ; จุลินทรีย์ในไส้ติ่ง; ไก่เนื้อ

ABSTRACT: This research aimed to investigate the effects of medium-chain fatty acids supplementation in the diet on broiler chickens' performance, meat quality, and cecal microorganisms. A total of 210 one-day-old male ROSS 308 broiler chicks were used. The study was divided into 3 experimental groups: the control group (Control), the medium-chain fatty acids supplementation group (MCFAs), and the short-chain fatty acid supplementation group (SCFA). The experiment was conducted for 36 days. The results showed that the MCFAs group had a better feed conversion ratio during 25-36 day old ($P<0.05$) and 1-36 day old ($P<0.01$) compared to the control and the SCFA group in broilers. The meat quality of MCFAs group showed better hardness, gumminess, and chewiness than the control group ($P<0.01$). It was also found that the meat redness value after 24 hours in the MCFAs group was significantly better than the control group ($P<0.05$). Microbial population in cecum revealed that MCFAs group had more *Lactobacillus* spp. than the SCFA group. However, total bacteria and *Escherichia coli* were not different from the control group. It can be concluded that dietary MCFAs had a positive effect on the feed conversion ratio, meat quality, and cecal microbial population of broiler chickens.

Keywords: medium-chain fatty acids; productive performance; meat quality; cecal microbial; broilers

* Corresponding author: fagrcwr@ku.ac.th

Received: date; April 5, 2023 Accepted: date; June 26, 2023 Published: date; September 28, 2023

บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ปีกในประเทศไทย มีแนวโน้มการเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งการผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศ และการผลิตเพื่อการส่งออก การพัฒนาสมรรถภาพการผลิตถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญยิ่งให้มีความสนใจเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้ดีที่สุด แต่หลังจากประเทศกลุ่ม EU ประกาศการห้ามใช้ยาปฏิชีวนะเป็นสารเสริมกระตุ้นการเจริญเติบโตในอาหารสัตว์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2006 เนื่องจากกังวลเรื่องการดื้อยาทั้งในคนและสัตว์ (Gallegos et al., 2019) ทำให้ผู้ผลิตปศุสัตว์พยายามหาทางเลือกอื่นมาทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะ เช่น สารเสริมในกลุ่ม prebiotic, probiotic, antibacterial peptide และ yeasts เป็นต้น รวมถึงกรดไขมันสายกลาง (medium-chain fatty acids; MCFAs) ซึ่งเป็นสารอีกชนิดหนึ่งที่มีความสนใจ

กรดไขมันสายกลาง พบมากในน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันปาล์ม (Baltić et al., 2017) โครงสร้างประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอน 6-12 อะตอม โดยปลายสายด้านหนึ่งเป็นกลุ่มคาร์บอกซิลิก (COOH) สูตรโดยทั่วไปคือ R-COOH กรดไขมันสายกลางประกอบไปด้วย กรดคาร์โปอิก (caproic acid; C6) กรดคาร์ปริลิก (caprylic acid; C8) กรดคาร์ปริค (capric acid; C10) และกรดลอริก (lauric acid; C12) โครงสร้างไขมันที่แตกต่างกัน มีผลต่อกระบวนการเผาผลาญ (metabolic pathway) ที่แตกต่างกัน ความแตกต่างระหว่างกรดไขมันสายกลาง และกรดไขมันสายยาว คือ กรดไขมันสายกลางมีสายคาร์บอนที่สั้นกว่า ทำให้สัตว์สามารถย่อยและดูดซึมกรดไขมันได้ดีกว่า (Cera et al., 1989; Straarup et al., 2006) ซึ่งสัตว์สามารถดูดซึมได้โดยตรงผ่าน portal circulation ส่งไปยังตับเพื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย ทำให้สัตว์ได้รับพลังงานอย่างรวดเร็ว (Odle, 1997) กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในไก่เนื้อและสุกร ส่งผลดีต่อสัตว์ทั้งในด้านสุขภาพ ความสามารถในการย่อยรวมถึงดูดซึมอาหาร และสมรรถภาพการผลิต นอกจากนี้กรดไขมันสายกลาง ยังมีฤทธิ์ เป็นสารต้านเชื้อจุลชีพ (antimicrobial) ต้านเชื้อแบคทีเรีย (antibacterial) (Batovska et al., 2009) และต้านเชื้อไวรัส (antiviral) (Du et al., 2017) โดยทำลายผนังเซลล์ phospholipid ของแบคทีเรีย และไวรัสที่มีเปลือกหุ้ม (lipid bilayer enveloped virus) แทรกเข้าสู่ผนังเซลล์ของเชื้อก่อโรค ทำให้เกิดความเสียหายของผนังเซลล์และองค์ประกอบภายในเซลล์ ส่งผลให้เซลล์ก่อโรคถูกทำลายในที่สุด (Wang and Johnson, 1992; Thormar et al., 1987) และยังมีคุณสมบัติในการกระตุ้นภูมิคุ้มกัน (immunomodulatory activity) (Martinez et al., 2016) นอกจากนี้ ในแง่ของคุณภาพของเนื้อที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญ การศึกษาของ Begum et al. (2015) พบว่าการเสริมกรดไขมันสายกลางในอาหารมีผลต่อค่าสีแดงของเนื้ออกในสัตว์ปีกด้วย

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมกรดไขมันสายกลางในอาหาร ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพเนื้อ และประชากรจุลินทรีย์ในไส้ติ่งของไก่เนื้อ เพื่อนำเสนอข้อมูลการวิจัยให้กับผู้เลี้ยงไก่เนื้อพิจารณานำกรดไขมันสายกลางมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะต่อไป

วิธีการศึกษา

สัตว์ทดลองและการวางแผนการทดลอง

วิธีการศึกษาในงานทดลองครั้งนี้ผ่านการพิจารณาโดยคณะกรรมการจริยบรรณและมาตรฐานการเลี้ยงและการใช้สัตว์เพื่อ งานทางวิทยาศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (เลขที่ ACKU64-AGR-012) ใช้ไก่เนื้อเพศผู้สายพันธุ์ ROSS 308 จำนวน 210 ตัว เลี้ยงภายใต้โรงเรือนระบบควบคุมอุณหภูมิด้วยการระเหยน้ำและระบายอากาศแบบอูโมงค์ลม (evaporative cooling house system) ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยง 36 วัน โดยภายในโรงเรือนใช้คอกทดลองขนาด 1.2 ตร.ม. พื้นคอนกรีตใช้กลบเป็นวัสดุรองพื้นหนา 5 ซม. จำนวน 15 คอกทดลอง สุ่มแบ่งไก่เนื้อออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 5 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้ไก่ทดลองจำนวน 14 ตัวต่อคอก ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomize design; CRD) ไก่ทุกตัวได้รับวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิล (Newcastle Disease) และวัคซีนโรคหลอดลมอักเสบ (Infectious Bronchitis) ที่อายุแรกเกิดและที่อายุ 10 วัน

อาหารทดลอง

อาหารทดลองที่ใช้คำนวณค่าโภชนะในสูตรอาหารตามคำแนะนำของสายพันธุ์ ROSS 308 (Aviagen, 2019) แบ่งสูตรอาหารออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะเล็ก (starter) 1-10 วัน ระยะเจริญเติบโต (grower) 11-24 วัน และระยะสุดท้าย (finisher) 25-36 วัน

โดยแบ่งอาหารออกเป็น 3 กลุ่มการทดลองได้แก่ กลุ่มที่ 1 อาหารพื้นฐาน (Control) กลุ่มที่ 2 อาหารพื้นฐานเสริมกรดไขมันสายกลาง (MCFAs) ที่ระดับ 0.12%, 0.12% และ 0.07% ในอาหารแต่ละระยะตามลำดับ กลุ่มที่ 3 อาหารพื้นฐานเสริมกรดไขมันสายสั้น (SCFA) ที่ระดับ 0.10%, 0.10%, 0.05% ในอาหารแต่ละระยะตามลำดับ ดังแสดงใน Table 1 และ Table 2

Table 1 Ingredients and calculated nutrient composition of experimental diets

Ingredients (kg)	Starter	Grower	Finisher
Corn	49.87	52.68	57.52
Soybean meal 48%	40.60	37.17	32.11
Rice bran oil	4.70	5.74	6.40
Monocalcium phosphate 22%	1.54	1.36	1.22
Limestone	1.43	1.30	1.19
Salt	0.58	0.48	0.29
Sodium bicarbonate	-	0.15	0.30
DL-Methionine	0.34	0.28	0.25
L-Lysine	0.19	0.12	0.12
L-Threonine	0.10	0.07	0.04
Vitamin & Mineral Premix	0.24	0.24	0.24
Choline chloride 60%	0.08	0.08	0.08
Antioxidant & Toxin binder	0.16	0.16	0.16
Anticoccidial	0.05	0.05	-
Total	100.00	100.00	100.00
Calculated nutrient composition			
Crude protein (%)	23.00	21.50	19.50
Crude fiber (%)	3.58	3.44	3.25
Crude fat (%)	7.09	8.18	8.93
Methionine (%)	0.68	0.61	0.56
Methionine + Cystine (%)	1.08	0.99	0.91
Lysine (%)	1.44	1.29	1.16
Calcium (%)	0.96	0.87	0.79
Total phosphorus (%)	0.72	0.67	0.62
Sodium (%)	0.23	0.23	0.20
Metabolizable energy (Kcal/kg)	3,000	3,100	3,200

Table 2 The levels of MCFAs and SCFA supplementation in experimental diets

Treatment	Starter	Grower	Finisher
Control	0	0	0
MCFAs	0.12%	0.12%	0.07%
SCFA	0.10%	0.10%	0.05%

กรดไขมันสายกลาง (medium-chain fatty acids; MCFAs) ที่ใช้เสริมในอาหารทดลองพื้นฐานอยู่ในรูปแบบกรดไขมันสายกลางอิสระ (free medium-chain fatty acids) ประกอบด้วยกรดไขมัน 3 ชนิด คือ กรดคาร์ปโรลิก กรดคาร์ปริก และกรดลอริก และกรดไขมันสายสั้น (short-chain fatty acid; SCFA) ประกอบด้วย กรดบิวทริก (butyric acid; C4) ในรูปแบบโซเดียมบิวทิเรท (sodium butyrate) โดยอัตราส่วนที่เลือกใช้ เป็นอัตราส่วนที่ทางบริษัทผู้ผลิตสารเสริมแนะนำ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

บันทึกข้อมูลสมรรถภาพการผลิตแบ่งเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ไก่เนื้ออายุ 1 – 10 วัน 11 – 24 วัน 25 – 36 วัน และ 1 – 36 วัน ตามลำดับ โดยทำการชั่งน้ำหนักไก่เนื้อทุกตัว และอาหารทดลองในแต่ละคอกเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อแต่ละระยะ เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ไก่เนื้ออายุ 36 วัน สุ่มไก่เนื้อในแต่ละคอกจำนวน 3 ตัว อดอาหารเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ก่อนการทำการถนอมรักษา เพื่อนำเนื้ออกมาศึกษาผลด้านคุณภาพเนื้อ โดยวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) และวิเคราะห์สีของเนื้อ ได้แก่ ค่าความสว่าง (lightness; L*) ค่าสีแดง (redness; a*) และ ค่าสีเหลือง (yellowness; b*) หลังฆ่าที่เวลา 45 นาที และ 24 ชม. วัดความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity; WHC) ได้แก่ ค่าการสูญเสียน้ำในเก็บรักษา (drip loss; DL) ค่าการสูญเสียน้ำจากการละลายน้ำแข็ง (thawing loss; TL) ค่าการสูญเสียน้ำจากการประกอบอาหาร (cooking loss; CL) วิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture profile analysis; TPA) โดยประเมินผล ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (shear force) ค่าความแข็ง (hardness) ค่าการเกาะรวมตัว (cohesiveness) ค่าการคืนตัว (springiness) ค่าความเหนียว (gumminess) ค่าทนต่อการเคี้ยว (chewiness) (ฉัญญาภรณ์, 2550) นอกจากนี้ เก็บตัวอย่างสิ่งย่อยภายในไส้ตั้ง เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณแบคทีเรียรวม (total bacteria) ปริมาณเชื้อ *Lactobacillus* spp. ปริมาณเชื้อ *Escherichia coli* และ *Salmonella* spp. ในการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ของการทดลองครั้งนี้ใช้วิธี Real-time polymerase chain reaction (real-time PCR) ซึ่งมีการใช้ primer ที่จับกับยีนส์ได้จำเพาะเจาะจงเพื่อเปรียบเทียบจุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่มการทดลอง (Vanhoutte et al., 2004; Wang et al., 2007; Malorny et al., 2003)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan’s multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SAS® OnDemand for academic (SAS Institute Inc. 2014)

ผลการศึกษา

สมรรถภาพการผลิต

ผลการศึกษาการเสริมกรดไขมันสายกลางต่อสมรรถภาพการผลิตพบว่า ไก่เนื้อที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 3 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายกลาง และกลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายสั้น มีน้ำหนักตัวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (body weight gain; BWG) น้ำหนักตัวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (average daily gain; ADG) และปริมาณอาหารเฉลี่ยที่กิน (feed intake; FI) ไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกระยะของการทดลอง (P>0.05) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลต่อค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (feed conversion ratio; FCR) พบว่า ในระยะเล็ก (อายุ 1-10 วัน) ไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมกรดไขมันสายกลางมีแนวโน้มทำให้ค่าการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายสั้น (P=0.09) เช่นเดียวกับผลการทดลองระยะสุดท้าย (อายุ 25-36 วัน) พบว่าอัตรา

การเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวในไก่กลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายกลางในอาหาร ตีกว่าไก่กลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายสั้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.02$) โดยมีค่าเท่ากับ 1.52 และเมื่อพิจารณาผลตลอดการทดลองตั้งแต่อายุ 1-36 วัน การเสริมกรดไขมันสายกลางทำให้ไก่เนื้ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรวมดีที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1.29 ซึ่งต่ำกว่าไก่กลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายสั้น ซึ่งทั้งสองกลุ่มมีค่าเท่ากับ 1.34 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Effect of MCFAs and SCFA supplementation on productive performance of broiler chickens

Items	Control	MCFAs	SCFA	SEM	P-value
Initial weight (g/bird)	42.87	42.79	42.83	0.10	0.57
Final weight (g/bird)	2,746.71	2,793.40	2,770.54	130.27	0.87
1-10 days					
Body weight gain (g/bird)	286.67	290.74	291.44	8.90	0.69
Average daily gain (g/bird)	28.67	29.07	29.14	0.89	0.69
Feed intake (g/bird)	278.71	271.76	276.91	8.38	0.43
Feed conversion ratio	0.97	0.94	0.96	0.03	0.09
11-24 days					
Body weight gain (g/bird)	1,224.00	1,220.21	1,235.70	38.90	0.83
Average daily gain (g/bird)	87.43	87.16	88.26	2.78	0.83
Feed intake (g/bird)	1,422.27	1,397.87	1,437.27	50.36	0.49
Feed conversion ratio	1.16	1.15	1.16	0.02	0.25
25-36 days					
Body weight gain (g/bird)	1,193.17	1,239.65	1,200.58	105.69	0.78
Average daily gain (g/bird)	99.43	103.30	100.05	8.81	0.78
Feed intake (g/bird)	1,923.43	1,878.90	1,946.83	144.51	0.78
Feed conversion ratio	1.61 ^b	1.52 ^a	1.62 ^b	0.07	0.02
1-36 day					
Body weight gain (g/bird)	2,703.84	2,750.60	2,727.72	130.26	0.87
Average daily gain (g/bird)	75.11	76.41	75.77	3.62	0.87
Feed intake (g/bird)	3,624.41	3,548.52	3,661.02	185.43	0.65
Feed conversion ratio	1.34 ^B	1.29 ^A	1.34 ^B	0.03	<0.01
Survival rate (%)	100	99.87	99.87	0.04	0.35

^{a, b} Means within a row with different letters indicate a significant difference ($P<0.05$)

^{A, B} Means within a row with different letters indicate a significant difference ($P<0.01$)

คุณภาพเนื้อและปริมาณจุลินทรีย์ในไส้ติ่ง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อ พบว่า ค่าความเป็นกรดต่างของเนื้ออกที่ 45 นาที และ 24 ชั่วโมง ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ค่าการสูญเสียน้ำในการเก็บรักษา ค่าการสูญเสียน้ำจากการละลายน้ำแข็ง และค่าการสูญเสียน้ำจากประกอบอาหาร ของไก่ทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกับผลวิเคราะห์สีของเนื้อ ได้แก่ ความสว่างและค่าสีเหลืองของเนื้ออกที่ 45 นาทีและ 24 ชั่วโมง ที่ไม่พบความแตกต่างกัน ($P>0.05$) อย่างไรก็ตาม ผลวิเคราะห์ค่าสีแดงของเนื้อหน้าอกที่

24 ชั่วโมง ในไก่กลุ่มที่มีการเสริมกรดไขมันสายกลางมีค่าเท่ากับ 3.57 ซึ่งสูงกว่าไก่กลุ่มควบคุมที่มีค่าเท่ากับ 2.51 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.02$) พบว่า ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ค่าการเกาะรวมตัว และค่าการคืนตัว ของไก่ทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนี้ไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมกรดไขมันสายกลางและกรดไขมันสายสั้นทำให้ค่าเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง ค่าความเหนียว และค่าทนต่อการเคี้ยวของเนื้อออกต่ำกว่าไก่กลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ดังแสดงใน

Table 4

Table 4 Effect of MCFAs and SCFA supplementation on meat quality of broiler chickens at 36 days of age

Items	Control	MCFAs	SCFA	SEM	P-value
pH					
pH 45 min	6.83	6.93	6.83	0.22	0.38
pH 24 h	5.94	6.01	6.07	0.21	0.25
Meat Color 45 min					
Lightness (L*)	49.87	49.45	50.23	2.93	0.78
Redness (a*)	6.04	11.27	5.06	9.43	0.16
Yellowness (b*)	6.72	9.24	7.55	3.69	0.17
Meat Color 24 h					
Lightness (L*)	53.01	53.42	53.65	2.33	0.76
Redness (a*)	2.51 ^b	3.57 ^a	3.08 ^{ab}	1.06	0.02
Yellowness (b*)	8.48	8.42	8.50	1.41	0.99
Water Holding Capacity (%)					
Drip loss (%)	2.82	3.02	3.10	0.88	0.70
Thawing loss (%)	5.40	6.54	6.51	2.15	0.27
Cooking loss (%)	22.26	21.80	21.22	2.58	0.56
Textural profile analysis					
Shear force (g)	12.67	10.48	12.09	4.26	0.36
Hardness (N)	26.96 ^A	22.54 ^B	20.68 ^B	5.14	<0.01
Springiness (ratio)	0.59	0.58	0.59	0.04	0.69
Cohesiveness (ratio)	0.57	0.55	0.53	0.04	0.10
Gumminess (g)	15.38 ^A	12.37 ^B	11.15 ^B	3.43	<0.01
Chewiness (g mm)	9.19 ^A	7.24 ^B	6.61 ^B	2.23	<0.01

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

^{A, B} Indicated the difference within a row was statistically significant ($P<0.01$)

ผลการวิเคราะห์ประชากรจุลินทรีย์ในไส้ติ่งพบว่า ไก่กลุ่มควบคุมมีแบคทีเรียใน (P=0.07) พบปริมาณเชื้อแบคทีเรียรวม และแบคทีเรียกลุ่ม *Escherichia coli* สูงกว่าไก่กลุ่มที่ได้รับการเสริมกรดไขมันสายกลางและกรดไขมันสายสั้นในอาหาร และพบว่าไก่กลุ่มที่ได้รับการเสริมกรดไขมันสายกลางในอาหารมีแบคทีเรียใน (P=0.08) ทำให้ปริมาณเชื้อแบคทีเรียกลุ่ม *Lactobacillus* spp. เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ไม่พบเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* spp. ในทุกกลุ่มการทดลองดังแสดงใน Table 5

Table 5 Effect of MCFAs and SCFA supplementation on cecal bacteria counts of broiler chickens

Items	Control	MCFAs	SCFA	SEM	P-value
<i>Lactobacillus</i> spp. (Log CFU/g)	11.25	11.46	11.01	0.32	0.08
<i>Escherichia coli</i> (Log CFU/g)	12.57	12.32	11.96	0.44	0.08
Total Bacteria (Log CFU/g)	13.26	13.13	12.92	0.24	0.07
<i>Salmonella</i> spp. (Log CFU/g)	ND	ND	ND	-	-

ND = Not detected

วิจารณ์

สมรรถภาพการผลิตถือเป็นปัจจัยหนึ่งของผู้เลี้ยงให้มีความสนใจในอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์ปีก เพราะหมายถึงผลกำไรที่ผู้เลี้ยงจะได้รับ แต่ยังคงพบปัญหาของแบคทีเรียปะปนมากับอาหารและสภาพแวดล้อม ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการผลิตของตัวสัตว์ อีกทั้งการห้ามใช้ยาปฏิชีวนะและสารเสริมกระตุ้นการเจริญเติบโตในอาหารสัตว์ปีก ทำให้ต้องหาทางเลือกทดแทน จากผลการศึกษาการเสริมกรดไขมันสายกลางในอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ พบว่า กรดไขมันสายกลางมีผลในการเพิ่มสมรรถภาพการผลิตในแง่ของน้ำหนักตัวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นได้ดีกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายสั้นในช่วงการเลี้ยงระยะท้าย และตลอดช่วงการเลี้ยง โดยเฉพาะทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของไก่เนื้อระยะสุดท้าย ช่วงอายุ 25-36 วัน ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เช่นเดียวกับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของไก่เนื้อตลอดช่วงการทดลองที่อายุ 1-36 วัน มีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวในกลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายกลาง อยู่ที่ 1.29 ($P < 0.01$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของกลุ่มควบคุม เทียบกับค่ามาตรฐานสายพันธุ์พบว่า ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวช่วงอายุ 1-10 วัน, 11-24 วัน และ 25-36 วัน ดีกว่ามาตรฐานของสายพันธุ์ประมาณ 10%, 17% และ 10% ตามลำดับ อาจเกิดจาก การเลี้ยงไก่ทดลองเพื่อเก็บข้อมูลงานวิจัย ผู้วิจัยมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้มีผลกระทบต่อตัวสัตว์น้อยที่สุดในด้านโรงเรือนและสภาพแวดล้อม สัตว์ทดลองสามารถเข้าถึงอาหารและน้ำได้อย่างเต็มที่ และใช้วัตถุดิบหลักในสูตรอาหารเป็นข้าวโพดและกากถั่วเหลือง ซึ่งมีค่าการย่อยได้สูง สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้ดี จึงทำให้ไก่สามารถแสดงศักยภาพทางพันธุกรรมในด้านการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ ไก่ทดลองจึงมีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการใช้อาหารดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานสายพันธุ์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Hejdysz et al. (2012) และ Khosravinia (2015) ที่พบว่าการเสริมกรดไขมันสายกลางในอาหารไก่เนื้อช่วยเพิ่มสมรรถภาพการผลิตทั้งในแง่ น้ำหนักตัวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวที่ดีขึ้นด้วย และการศึกษาของ Sucheera et al. (2009) ที่พบว่าการเสริมกรดไขมันสายกลางในอาหารไก่เนื้ออายุ 1-42 วัน ทำให้น้ำหนักตัวสุดท้าย และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ดีกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ เนื่องจากกรดไขมันสายกลางมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรียและไวรัส ในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก โดยกรดไขมันสามารถแทรกซึมเข้าสู่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียในรูปแบบที่ยังไม่แตกตัว ทำให้ผนังเซลล์เกิดเป็นช่องว่าง เมื่อเข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรียแล้วจะเกิดการแตกตัวของประจุบวกและประจุลบภายในเซลล์ (Timbermont, 2011) ประจุบวกจะลดค่า pH ภายในเซลล์แบคทีเรีย ทำให้สมดุลภายในเซลล์เปลี่ยนแปลงไป แบคทีเรียลดการทำงานในเซลล์ลง (Kabara et al., 1972) ประจุลบยับยั้งกระบวนการสร้าง DNA ภายในเซลล์ (Van et al., 2004) ส่งผลทำให้เซลล์ตายในที่สุด ทำให้สภาพแวดล้อมในทางเดินอาหารสมดุล และสัณฐานวิทยาของลำไส้ดีขึ้น ส่งผลดีต่อระบบการย่อยและระบบการดูดซึมอาหารที่ดีขึ้น (Deschepper et al., 2003) อีกทั้งกรดไขมันสายกลาง สามารถเป็นแหล่งพลังงานของ enterocyte ได้โดยตรง ทำให้เพิ่มความสมบูรณ์ของวิลไลและเนื้อเยื่อในลำไส้ (Guillot et al., 1993) ส่งผลต่อการดูดซึมอาหารที่มีประสิทธิภาพ ทำให้สมรรถภาพการผลิตของตัวสัตว์ดียิ่งขึ้น

คุณภาพของเนื้อสัตว์ได้รับผลกระทบจากหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นสายพันธุ์ อาหาร การจัดการ โดยอาหารถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพของเนื้อ (Mir et al., 2017) การศึกษา Liu et al. (2021) พบว่า การเสริม กรดไขมันสายกลางในอาหารสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพซากได้อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการศึกษาของ Valentini et al. (2020) ที่พบว่าการเสริมกลุ่มของ

กรดไขมันสายกลางในอาหารสามารถเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในเนื้อ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของเนื้อ จากผลการศึกษาการเสริมกรดไขมันสายกลางในอาหารต่อคุณภาพเนื้อครั้งนี้พบว่า ค่าความสว่าง ค่าสีแดงและค่าสีเหลือง หลังการฆ่า 45 นาที ไม่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ในกลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายกลางมีค่าสีแดงของเนื้อออกหลังฆ่าที่ 24 ชั่วโมง สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สาเหตุอาจเนื่องมาจาก myoglobin ที่เป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อสีของเนื้อโดยเฉพาะสีแดง สอดคล้องกับการศึกษาของ Begum et al. (2015) ที่พบว่ากรดไขมันสายกลาง ส่งผลต่อค่าสีแดงของเนื้อออกในสัตว์ปีกเช่นกัน โดย myoglobin มีหน้าที่นำออกซิเจนเอาเข้าไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของกล้ามเนื้อ และทำหน้าที่เป็นตัวสำรองออกซิเจนให้กับเซลล์กล้ามเนื้อ โครงสร้างของ myoglobin ประกอบด้วย ส่วนโปรตีน (protein portion) และส่วนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein porphyrin ring) ซึ่งมีอะตอมของธาตุเหล็กอยู่ตรงกลาง อะตอมของธาตุเหล็กมีบทบาทที่สำคัญของการเกิดสีของเนื้อในกระบวนการทางเคมี และกล้ามเนื้อแต่ละชนิดจะมีปริมาณ myoglobin ต่างกันออกไป ส่วนที่ทำงานหนักและต้องเคลื่อนไหวตลอดเวลา จะมีเลือดและออกซิเจนมาเลี้ยงมาก กล้ามเนื้อก็จะแดงกว่ากล้ามเนื้อที่มีกิจกรรมน้อย (Bodwell and McClain, 1971) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยด้านอื่นๆที่มีผลต่อคุณภาพสีเนื้อได้แก่ อายุ เพศ ความเครียด เป็นต้น นอกจากนี้ในการศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ พบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ค่าการเกาะรวมตัว และค่าการคืนตัว ของไก่ทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่าง และพบว่า ค่าความแข็ง ค่าความเหนียว และค่าทนต่อการเคี้ยว ในกลุ่มที่เสริมกรดไขมันสายกลางและกรดไขมันสายสั้นต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ซึ่งค่าที่น้อยกว่าบ่งบอกถึง เนื้อสัมผัสที่มีความนุ่ม ความเหนียว และค่าทนต่อการเคี้ยวดีกว่ากลุ่มที่มีค่ามาก (ธัญญาภรณ์, 2550) โดยเนื้อสัตว์มีไขมันเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีอิทธิพลต่อเนื้อสัตว์ทั้งในแง่รสชาติ เนื้อสัมผัส ความนุ่มและความชุ่มฉ่ำของเนื้อ (Amaral et al., 2018) เนื้อที่มีความนุ่มมากกว่าจะมีปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันต่ำและระดับไขมันแทรกสูงกว่า (ชัยณรงค์, 2529) การศึกษาของ Rubén et al. (2019) พบว่า จำนวนพันธะคู่ รวมถึงความยาวของกรดไขมัน มีผลต่อกระบวนการ oxidation ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า กรดไขมันสายกลางที่เสริมในอาหารมีผลต่อคุณภาพของเนื้อสัมผัส

การเปลี่ยนแปลงทางโภชนาของอาหารสัตว์ สามารถปรับองค์ประกอบของจุลินทรีย์ในลำไส้ได้ (Sonnenburg and Backhed, 2016) ซึ่งภายในระบบทางเดินอาหารไก่เป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์มากกว่า 100 ล้านล้านตัว เรียกโดยรวมว่า microbiota ซึ่งประกอบไปด้วย แบคทีเรีย ฟังไจ โปรโตซัว ไวรัส โดยแบคทีเรียมีบทบาทต่อการทำงานของลำไส้ ช่วยย่อยอาหาร พัฒนาภูมิคุ้มกัน และช่วยในเรื่องสุขภาพของลำไส้ (Zmora et al., 2019) จุลินทรีย์ในลำไส้ มีส่วนร่วมในการทำหน้าที่เป็นตัวปกป้องลำไส้เพื่อทำให้สุขภาพของลำไส้ดีขึ้น จุลินทรีย์ในลำไส้ช่วยปกป้องสิ่งกีดขวางในลำไส้โดยการเกาะติดกับผนังเยื่อเมือกของเอนเทอโรไซด์และลดการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียก่อโรค (Yegani and Korver, 2008) แบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในลำไส้ ได้แก่ *Lactobacillus* spp. (Yan et al., 2017) และพบว่าแบคทีเรียในกลุ่ม *Escherichia coli* มีความสัมพันธ์เชิงลบต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพของตัวสัตว์ (Rubio et al., 2015) การศึกษาของ Borsoi et al. (2011) และ Marounek et al. (2003) พบว่า กรดไขมันสายกลาง สามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียในกลุ่ม *Salmonella* spp. และ *Escherichia coli* ได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Hanczakowska et al. (2011) ที่พบว่ากรดไขมันสายกลางทำให้ระดับ *Escherichia coli* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม จากผลการศึกษาครั้งนี้ ไก่กลุ่มควบคุมมีแนวโน้มพบเชื้อแบคทีเรียรวม และแบคทีเรียกลุ่ม *Escherichia coli* ในไส้ตั้งสูงกว่าไก่กลุ่มที่ได้รับการเสริมกรดไขมันสายกลางและกรดไขมันสายสั้นในอาหาร และการเสริมกรดไขมันสายกลางทำให้เชื้อแบคทีเรียกลุ่ม *Lactobacillus* spp. มีปริมาณสูงสุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Nguyen et al. (2018) ที่พบว่ากรดไขมันสายกลางร่วมกับกรดไขมันสายสั้น ส่งผลต่อการเพิ่มจำนวนของ *Lactobacillus* spp. และลดจำนวนของ *Escherichia coli* โดยการออกฤทธิ์ของกรดไขมันสายกลางและสายสั้นต่อแบคทีเรียในสัตว์ปีก ทำหน้าที่เป็น antimicrobial ออกฤทธิ์เข้าสู่เซลล์แบคทีเรีย ทำให้ผนังเซลล์แบคทีเรียเกิดความเสียหาย รวมถึงยับยั้งกระบวนการ metabolism ภายในเซลล์ และเปลี่ยนแปลงค่า pH ภายในเซลล์ ส่งผลทำให้แบคทีเรียก่อโรคไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ต่อไป ส่งผลดีต่อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ นอกจากนี้เมื่อจุลินทรีย์ก่อโรคลดลง สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากพลังงานและสารอาหารได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น (Upadhyaya et al., 2016)

สรุป

ผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า การเสริมกรดไขมันสายกลางในอาหารไก่เนื้อ ทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมในอาหาร อีกทั้งมีแนวโน้มลดปริมาณแบคทีเรียก่อโรคและเพิ่มแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้การเสริมกรดไขมันสายกลางและสายสั้นทำให้น้ำหนักไก่มีค่าความแข็ง ความเหนียว และการทนต่อการเคี้ยวลดลง ดังนั้นการเสริมกรดไขมันสายกลางในอาหารไก่เนื้ออาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และปรับปรุงคุณภาพเนื้อให้กับผู้ผลิตและผู้เลี้ยงไก่เนื้อต่อไป

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บริษัท แนนค โคห์แลน จำกัด และบริษัท Agrifirm ที่ให้คำปรึกษาและการสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529. วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.
- ชญานุภรณ์ ศิริเลิศ. 2550. การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 3(1): 6-13.
- สัญญาชัย จตุรสิทธิ์ธา. 2543. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์. โรงพิมพ์ธนบรรณการพิมพ์, เชียงใหม่.
- Amaral, A.B., M.V. Da Silva, and S.C.D.S. Lannes. 2018. Lipid oxidation in meat: Mechanisms and protective factors- A review. *Food Science and Technology*. 38: 1–15.
- Aviagen. 2019. ROSS 308 Broiler Performance Objectives.
- Baltić, B., M. Starčević, J. Đorđević, B. Mrdović, and R. Marković. 2017. Importance of medium chain fatty acids in animal nutrition. *Earth and Environmental Sciences*. 85.
- Batovska, D. I., T. Todorova, V. Tsvetkova, and H. M. Najdenski. 2009. Antibacterial study of the medium chain fatty acids and their 1-monoglycerides: individual effects and synergistic relationships. *Polish Journal of Microbiology*. 58: 43-47.
- Begum, M., M. M. Hossain, and I. H. Kim. 2015. Effects of caprylic acid and *Yucca schidigera* extract on growth performance, relative organ weight, breast meat quality, haematological characteristics and caecal microbial shedding in mixed sex Ross 308 broiler chickens. *Veterinarni Medicina*. 60: 635-643.
- Bodwell, C. E., and P. E. McClain. 1971. Chemistry of animal tissues. *The Science of Meat and Meat Products*. 78-133.
- Borsoi, A., L. R. D. G. S. Diniz Santos, C. T. P. C. Salle, H. L. S. Moraes, and V. P. Nascimento. 2011. Salmonella fecal excretion control in broiler chickens by organic acids and essential oils blend feed added. *Revista Brasileira de Ciencia Avicola*. 13: 65–69.
- Cera, K. R., D. C. Mahan, and G. A. Reinhart. 1989. Apparent fat digestibilities and performance responses of post-weaning swine fed diets supplemented with coconut oil, corn oil or tallow. *Journal of Animal Science*. 67(1): 2040-2047.
- Deschepper, K., M. Lippens, G. Huyghebaert, and K. Molly. 2003. The effect of Aromabiotic and GALI D'OR on technical performances and intestinal morphology of broilers. *European Symposium 14th*: 189–192.
- Du, T., Y. Nan, S. Xiao, Q. Zhao, and E. M. Zhou. 2017. Antiviral strategies against PRRSV infection. *Trends in Microbiology*. 25: 968-979.

- Gallegos, R. C., R. S. Vázquez, C. A. H. Martínez, J. G. G. Soto, J. R. K Garza, M.E. Hume, and G. M. M. Zamora. 2019. Performance, carcass variables and meat quality of broilers supplemented with dietary Mexican oregano oil. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 21: 1-10.
- Guillot, B., P. Vaugelade, P. Lemarchal, and A. Rerat. 1993. Intestinal absorption and liver uptake of medium-chain fatty acids in non-anaesthetized pigs. *British Journal of Nutrition*. 69: 431–442.
- Hanczakowska, E., A. Szewczyk, and K. Okon. 2011. Effects of dietary caprylic and capric acids on piglet performance and mucosal epithelium structure of the ileum. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 20: 556-565.
- Hejdysz, M., M. Wiaz, D. Józefiak, S. Kaczmarek, and A. Rutkowski. 2012. Effect of medium chain fatty acids (MCFA) on growth performance and nutrient utilization in broiler chickens. *Scientific Annals of Polish Society of Animal Production*. 8: 9-17.
- Kabara, J.J., D.M. Swieczkowski, A.J. Conley, and J.P. Truant. 1972. Fatty acids and derivatives as antimicrobial agents. *Antimicrob Agents Chemother*. 2: 23-28.
- 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.
- Liu, T., C. Li, H. Zhong, and F. Feng. 2021. Dietary medium-chain alpha-monoglycerides increase BW, feed intake, and carcass yield in broilers with muscle composition alteration. *Poultry Science*. 100: 186-95.
- Malorny, B., J. Hoorfar, C. Bunge, and R. Helmuth. 2003. Multicenter validation of the analytical accuracy of Salmonella PCR: towards an international standard. *Applied and Environmental Microbiology*. 69: 290–296.
- Marounek, M., E. Skrivanova, and V. Rada. 2003. Susceptibility of *Escherichia coli* to C2 –C18 fatty acids. *Folia Microbiologica*. 48: 731–735.
- Martinez-Vallespin, B., W. Vahjen, and J. Zentek. 2016. Effects of medium-chain fatty acids on the structure and immune response of IPEC-J2 cells. *Cytotechnology*. 68: 1925-1936.
- Mir, N. A., A. Rafiq, F. Kumar, V. Singh, and V. Shukla. 2017. Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review. *Research and Review: Journal of Food Science and Technology*. 54: 2997–3009.
- Nguyen, D.H., K.Y. Lee, M. Mohammadigheisar, and I.H. Kim. 2018. Evaluation of the blend of organic acids and medium-chain fatty acids in matrix coating as antibiotic growth promoter alternative on growth performance, nutrient digestibility, blood profiles, excreta microflora, and carcass quality in broilers. *Poultry Science*. 97: 4351–4358.
- Odle, J. 1997. New insights into the utilization of medium-chain triglycerides by the neonate: observations from a piglet model. *The Journal of Nutrition*. 127: 1061–1067.
- Rubén, D., P. Mirian, G. Mohammed, J. Francisco, Z. Wangang, and M. José. 2019. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *MDPI*. 429.
- Rubio, L.A., M. J. Peinado, R. Ruiz, E. Suárez-Pereira, C. O. Mellet, and J.M. García Ferná. 2015. Correlations between changes in intestinal microbiota composition and performance parameters in broiler chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 99: 418–423.

- SAS Institute Inc. 2014. SAS OnDemand for academics. SAS Campus Drive, Cary, North Carolina 27513, USA.
- Sonnenburg, J.L., and F. Backhed. 2016. Diet-microbiota interactions as moderators of human metabolism. *Nature*. 535(7610): 56–64.
- Straarup, E. M., V. Danielsen, C.E. Hoy, and K. Jakobsen. 2006. Dietary structured lipids for post-weaning piglets: Fat digestibility, nitrogen retention and fatty acid profiles of tissue. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 90: 124-135.
- Sucheera, C., I. Kramomthong, and K. Angkanaporn. 2009. Effects of medium chain fatty acids, organic acids and fructo-oligosaccharide on cecal *Salmonella enteritidis* colonization and intestinal parameters of broilers. *The Thai Journal of Veterinary Medicine*. 39(3): 245-258.
- Timbermont, L., F. Haesebrouck, R. Ducatelle, and F. Van Immerseel. 2011. Necrotic enteritis in broilers: An updated review on the pathogenesis. *Avian Pathology*. 40: 341–347.
- Thormar, H., C. E. Isaacs, H. R. Brown, M. R. Barshatzky, and T. Pessolano. 1987. Inactivation of enveloped viruses and killing of cells by fatty acids and monoglycerides. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 31: 27–31.
- Upadhaya, S.D., K. Y. Lee, and I. H. Kim. 2016. Effect of protected organic acid blends on growth performance, nutrient digestibility and faecal micro flora in growing pigs. *Journal of Applied Animal Research*. 44: 238–242.
- Valentini, J., A. Da Silva, B. Fortuoso, J. Reis, R. Gebert, L. Griss, M. Boiago, L. Lopes, R. Christ-Santos, and R. Wagner. 2020. Chemical composition, lipid peroxidation, and fatty acid profile in meat of broilers fed with glycerol monolaurate additive. *Food Chemistry*. 330: 127-187.
- Vanhoutte, T., G. Huys, E. D. Brandt, and J. Swings. 2004. Temporal stability analysis of the microbiota in human feces by denaturing gradient gel electrophoresis using universal and groupspecific 16S rRNA gene primers. *FEMS Microbiology Ecology*. 48: 437–446.
- Van Immerseel, F., V. Fievez, J. De Buck, F. Pasmans, A. Martel, and F. Haesebrouck. 2004. Microencapsulated short-chain fatty acids in feed modify colonization and invasion early after infection with *Salmonella enteritidis* in young chickens. *Poultry Science*. 83: 69–74.
- Wang, L. L., and E. A. Johnson. 1992. Inhibition of *Listeria monocytogenes* by fatty acids and monoglycerides. *Applied and Environmental Microbiology*. 58: 624–629.
- Wang, L., Y. Li, and A. Mustapha. 2007. Rapid and simultaneous quantitation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, and *Shigella* in ground beef by multiplex real-time PCR and immunomagnetic separation. *Journal of Food Protection*. 70: 1366–1372.
- Yegani, M., and D. R. Korver. 2008. Factors affecting intestinal health in poultry. *Poultry Science*. 87: 2052–2063.
- Yan, W., C. Sun, J. Yuan, and N. Yang. 2017. Gut metagenomic analysis reveals prominent roles of *Lactobacillus* and cecal microbiota in chicken feed efficiency. *Science Report*. 7: 45308.
- Zmora, N., J. Suez, and E. Elinav. 2019. You are what you eat: Diet, health, and the gut microbiota. *Nature Review Gastroenterology and Hepatology*. 16: 35–56.