



ผลของการเสริมโปรไบโอติกร่วมกับเอนไซม์รวมในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวเปลือก
เป็นองค์ประกอบต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและสุขภาพลำไส้

โดย

หยก ฤทธิ์นันต์ชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร)

สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2568

EFFECT OF PROBIOTIC AND MULTI-ENZYMES SUPPLEMENTATION
IN BROILER DIETS CONTAINING PADDY RICE ON GROWTH
PERFORMANCE AND GUT HEALTH

BY

YOK RIDANANCHAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE (AGRICULTURAL TECHNOLOGY)
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2025

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

หยก ฤทธิอนันต์ชัย

เรื่อง

ผลของการเสริมโปรไบโอติก ร่วมกับ เอนไซม์รวม ในอาหารไก่เนื้อ ที่มี ข้าวเปลือก เป็นองค์ประกอบต่อ
สมรรถภาพการเจริญเติบโต และ สุขภาพลำไส้

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร)

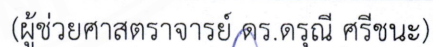
เมื่อ วันที่ 4 กันยายน พ.ศ. 2568

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



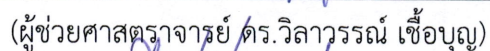
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโชค ปัญจะ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก



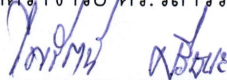
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดรุณี ศรีชนะ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม



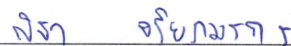
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิลาวรรณ เชื้อบุญ)

กรรมการ



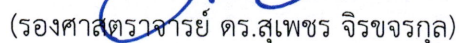
(ดร.ไพรัตน์ ศรีชนะ)

กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สพ.ญ.ณัฐา จริยภมรกุล)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเพชร จิรัชจรกุล)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการเสริมโปรไบโอติกร่วมกับเอนไซม์รวมในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและสุขภาพลำไส้
ชื่อผู้เขียน	หยก ฤทธิธินันต์ชัย
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร)
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดร.ณิ ศรีชนะ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิลาวรรณ เชื้อบุญ
ปีการศึกษา	2568

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์รวมและโปรไบโอติกทางการค้าในอาหารที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบ ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและสุขภาพลำไส้ในไก่เนื้อ ดำเนินการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) แบ่งกลุ่มการทดลองดังนี้ อาหารพื้นฐานที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบ 20% (T1, กลุ่มควบคุม) อาหารกลุ่มควบคุมที่เสริมด้วยเอนไซม์รวม 100 กรัม/ตัน (T2) อาหารกลุ่มควบคุมที่เสริมด้วยโปรไบโอติก 50 กรัม/ตัน (T3) และอาหารกลุ่มควบคุมที่เสริมด้วยเอนไซม์รวมและโปรไบโอติก ที่ 100 และ 50 กรัม/ตัน ตามลำดับ (T4) พบว่าที่อายุ 15-28 วัน ไก่เนื้อในกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นดีกว่า ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมกับโปรไบโอติก (1,213.36, 1,097.89 และ 1,152.70 กรัม ตามลำดับ) และมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมกับโปรไบโอติก (86.67, 78.42 และ 82.33 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) นอกจากนี้พบว่า กลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียวมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เท่ากับ 1.36 และ 1.45 ตามลำดับ ($P<0.05$) และยังช่วยลดต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตเนื้อ (23.68 บาท/กิโลกรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (25.21 บาท/กิโลกรัม; $P<0.05$) ที่อายุ 29-35 วัน พบว่าการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกช่วยลดต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตเนื้อได้ดีที่สุด เท่ากับ 23.25 บาท/กิโลกรัม ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับทุก

กลุ่มการทดลอง และในวันที่ 36 พบว่าไก่ที่ได้รับการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกมีน้ำหนักตัว มีชีวิตมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนสันใน มากที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) การศึกษาปริมาณความหลากหลายและความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ของจุลินทรีย์ในซีกัมของไก่เนื้อ พบว่าที่อายุ 21 วันกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียวมีความแตกต่างด้านความหลากหลายทางเบต้าในเชิงชนิดและปริมาณมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว ($P<0.05$) การเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ของแบคทีเรียในไฟลัม *Firmicutes* ($P<0.05$) ที่อายุ 35 วัน และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ในระดับสกุลของแบคทีเรียกลุ่ม *Ruminococcus torques* ที่อายุ 7 วัน ($P<0.05$)

คำสำคัญ: ข้าวเปลือก, เอนไซม์, โปรไบโอติก, ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต, จุลินทรีย์, ไก่เนื้อ

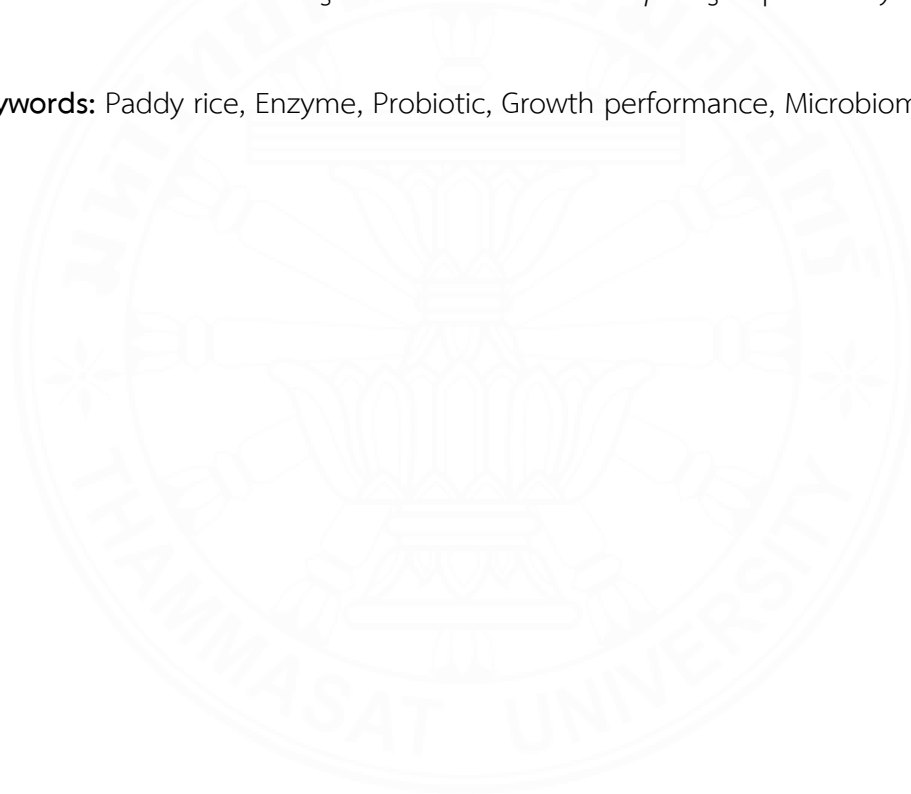
Thesis Title	EFFECT OF PROBIOTIC AND MULTI-ENZYMES SUPPLEMENTATION IN BROILER DIETS CONTAINING PADDY RICE ON GROWTH PERFORMANCE AND GUT HEALTH
Author	Yok Ridanunchai
Degree	Master of Science (Agricultural Technology)
Department/Faculty/University	Agricultural Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University
Thesis Advisor	Assistant Professor Darunee Srichana, Ph.D.
Thesis Co-Advisor	Assistant Professor Wilawan Chuaboon, Ph.D.
Academic Year	2025

ABSTRACT

This study investigated the effects of supplementing commercial multi-enzymes and probiotics in diets containing 20% paddy rice on the growth performance and gut health of broiler chickens. A completely Randomized Design (CRD) was used with four treatment groups: a control basal diet with 20% paddy rice (T1), as supplemented with 100 grams per ton (g/ton) of multi-enzyme (T2), supplemented with 50 g/ton of probiotics (T3) and 100 g/ton of multi-enzyme and 50 g/ton of probiotics (T4), respectively. Results from days 15–28 indicated that T2 group had significantly higher body weight gain ($P<0.05$) compared to T3 and T4, with final body weights of 1,213.36, 1,097.89, and 1,152.70 grams, respectively. Average daily gain (ADG) was also significantly higher for T2 (86.67 g/bird/day) compared to T3 (78.42 g/bird/day) and T4 (82.33 g/bird/day) ($P<0.05$). Additionally, T2 showed a significantly better feed conversion ratio (FCR) than the control group (1.36 and 1.45; $P<0.05$) and reduced feed cost per gain (23.68 THB/kg BWG) compared to the control (25.21 THB/kg BWG; $P<0.05$). During days 29–35, the combination of multi-enzyme and probiotic supplements (T4) resulted in the lowest feed cost per gain at 23.25 THB/kg BWG

($P < 0.05$) compared to other treatment groups. On day 36, T4 group had significantly greater live body weight than those in the control group ($P < 0.05$), while T2 birds showed the highest percentage of fillet yield compared to the control group ($P < 0.05$). The diversity and relative abundance of cecal microbiota in broiler chickens revealed that, at 21 days, the group supplemented with probiotics alone had significantly greater beta diversity compared to the control and enzyme groups ($P < 0.05$). Combined enzymes and probiotics supplementing significantly increased the relative abundance of bacteria of the phylum *Firmicutes* at 35 days ($P < 0.05$), and also boosted relative abundance of the bacterial genus *Ruminococcus torques* group at 7 days ($P < 0.05$).

Keywords: Paddy rice, Enzyme, Probiotic, Growth performance, Microbiome, Broiler



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ซึ่งท่านแรกขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดรุณี ศรีชนะ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อคิดต่าง ๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ทั้งในด้านวิชาการและการทำการทดลอง ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดรุณี ศรีชนะ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิลาวรรณ เชื้อบุญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโชค ปัญจะ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ไพรัตน์ ศรีชนะ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สพ.ญ.ณัฐา จริยภมรกุล ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำสิ่งต่าง ๆ ให้ข้อคิดในการทำงานจนถึงช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมการอาหารสัตว์ในเครือเจริญโภคภัณฑ์ ที่อนุเคราะห์งบประมาณ สถานที่ทำการทดลอง อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการและสารเคมีเพื่อนำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ รวมถึงขอขอบพระคุณบุคลากรทุกท่านในศูนย์วิจัยและนวัตกรรมการอาหารสัตว์ ที่ได้เมตตาให้ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยครั้งนี้ตั้งแต่การเตรียมการทดลองตลอดจนการทำการทดลอง ให้คำแนะนำและชี้แนะจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คุณพิสมัย โพธิ์ศรี และคณาจารย์ รวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ช่วยแนะนำแนวทางต่าง ๆ จนงานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวมาข้างต้น ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ ทูบบัณฑิตเรียนดีเพื่อศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 (ตามสัญญาเลขที่ ทบ. 42/2565) ที่สนับสนุนทุนการศึกษาในครั้งนี้

หยก ฤทธิ์อนันต์ชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(12)
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมุติฐาน	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 สัตว์ปีก	3
2.1.1 ระบบทางเดินอาหารของไก่เนื้อ	3
2.1.1.1 ปาก	4
2.1.1.2 กระเพาะแท้ และกระเพาะบด	4
2.1.1.3 ลำไส้เล็ก	4
(1) ลำไส้เล็กส่วนต้น	4

	(7)
(2) ลำไส้เล็กส่วนกลาง	5
(3) ลำไส้เล็กส่วนปลาย	5
2.1.1.4 ลำไส้ตั้ง	5
2.1.1.5 ลำไส้ใหญ่และทวารร่วม	5
2.1.1.6 อวัยวะสนับสนุนการย่อยอาหาร	6
2.1.1.7 การย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตในสัตว์กระเพาะเดียว	6
2.2 จุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของสัตว์ปีก	6
2.2.1 หน้าที่ของจุลินทรีย์	7
2.2.1.1 การแลกเปลี่ยนสารอาหาร	7
2.2.1.2 การปรับภูมิคุ้มกัน	8
2.2.1.3 การพัฒนาศรีวิทยาของระบบทางเดินอาหาร	9
2.2.1.4 การป้องกันการบุกรุกของจุลินทรีย์ก่อโรค	9
2.2.2 องค์ประกอบของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารไก่เนื้อ	9
2.2.2.1 องค์ประกอบของจุลินทรีย์ในลำไส้เล็ก	10
2.2.2.2 องค์ประกอบของจุลินทรีย์ในลำไส้ตั้ง	10
2.3 คาร์โบไฮเดรตและเยื่อใยในอาหารสัตว์ปีก	10
2.3.1 คาร์โบไฮเดรต	10
2.3.1.1 แป้ง	11
2.3.1.2 โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง	11
2.3.1.3 เซลลูโลส	13
2.3.1.4 อะราบิโนไซแลน	13
2.3.1.5 เบต้า-กลูแคน	14
2.3.1.6 ไซโลกลูแคน	14
2.3.1.7 เพคติน	14
2.3.2 ผลของเส้นใยต่อความหนืดในลำไส้ของสัตว์	14
2.3.3 ผลของเส้นใยต่อจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร	14
2.4 ข้าวเปลือก	15
2.4.1 โครงสร้างของข้าวเปลือก	16
2.4.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว	16
2.4.2.1 คาร์โบไฮเดรต	17
(1) แป้ง	17

(2) โพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง	18
(3) น้ำตาลอิสระ	18
2.4.2.2 ไขมัน	19
2.4.2.3 โปรตีน	19
2.5 เอนไซม์	20
2.5.1 เอนไซม์ย่อยแป้ง	21
2.5.1.1 เอนไซม์อะไมเลส	21
2.5.2 เอนไซม์ย่อยโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง	22
2.5.2.1 เบต้า-กลูคาเนส	23
2.5.2.2 ไซลาเนส	23
2.5.2.3 เซลลูเลส	24
2.5.2.4 เพคตินเนส	24
2.5.2.5 ไฟเตส	24
2.6 โปรไบโอติก	27
2.6.1 กลไกการทำงานของโปรไบโอติก	28
2.6.2 <i>Bacillus subtilis</i>	29
2.6.3 <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	30
2.7 การศึกษาที่ใช้โปรไบโอติกร่วมกับเอนไซม์	31
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	34
3.1 วิธีการและขั้นตอนการศึกษา	34
3.1.1 จรรยาบรรณการใช้สัตว์	34
3.1.2 การวางแผนการทดลอง	34
3.1.3 การจัดการโรงเรือนและสัตว์ทดลอง	34
3.1.3.1 สัตว์ทดลอง	34
3.1.3.2 การจัดการอาหารและน้ำ	34
3.1.3.3 การจัดการโรงเรือน	34
3.1.4 สารเสริมสำหรับทดลอง	35
3.1.5 อาหารทดลอง	35
3.1.6 การบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ผล	37

3.1.6.1 อัตราการเจริญเติบโต	37
3.1.6.2 การตรวจวัดคุณภาพซาก	38
3.1.7 การวิเคราะห์หาจุลินทรีย์ในลำไส้	38
3.1.7.1 การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาจุลินทรีย์ในลำไส้	38
3.1.7.2 การสกัดดีเอ็นเอ	38
3.1.7.3 การตรวจจับ 16S rRNA โดยวิธี PCR	39
3.1.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ	39
3.1.9 สถานที่ทำการทดลอง	40
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	41
4.1 ผลการวิจัย	41
4.1.1 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต	41
4.1.1.1 น้ำหนักตัว	41
4.1.1.2 น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น	41
4.1.1.3 ปริมาณการกินได้	42
4.1.1.4 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน	42
4.1.1.5 อัตราแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว	42
4.1.1.6 อัตราการสูญเสีย	43
4.1.1.7 ต้นทุนการผลิต	43
4.1.2 คุณภาพซาก	46
4.1.2.1 น้ำหนักตัวมีชีวิต	46
4.1.2.2 เปอร์เซ็นต์ซากและเปอร์เซ็นต์ซากดัดแต่ง	46
4.1.2.3 เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนดัดแต่ง	46
4.1.3 องค์ประกอบและการพัฒนาของจุลินทรีย์ในไส้ตั้ง	47
4.1.3.1 ความหลากหลายทางอัลฟา	47
4.1.3.2 ความหลากหลายทางเบต้า	47
4.1.3.3 ความหลากหลายของจุลินทรีย์ในไส้ตั้งในระดับไฟลัม วงศ์ และสกุล	51
(1) ความหลากหลายของจุลินทรีย์ในไส้ตั้งในระดับไฟลัม	51
(2) ความหลากหลายของจุลินทรีย์ในไส้ตั้งในระดับวงศ์	55

	(10)
(3) ความหลากหลายของจุลินทรีย์ในไส้ตึงในระดับสกุล	60
4.2 อภิปรายผล	65
4.2.1 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต	65
4.2.2 คุณภาพซาก	66
4.2.3 จุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร	66
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	69
5.1 สรุปผลการวิจัย	69
5.1.1 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและคุณภาพซาก	69
5.2.2 องค์ประกอบและการพัฒนาของจุลินทรีย์ในไส้ตึง	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	70
รายการอ้างอิง	71
ประวัติผู้เขียน	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 โพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (NSP) และส่วนประกอบของเส้นใย (%DM) ของเมล็ดธัญพืช	12
2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานรวมและค่าโภชนะของข้าวเปลือกเปรียบเทียบกับข้าวโพด	17
2.3 ปริมาณกรดอะมิโนและแอมโมเนียในข้าวเปลือกและส่วนต่าง ๆ ของข้าวเปลือก	19
2.4 ผลของการเสริมเอนไซม์ NSP ในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ	26
3.1 ส่วนประกอบของวัตถุดิบและองค์ประกอบทางโภชนาการของอาหารไก่เนื้อแต่ละกลุ่มการทดลอง ในแต่ละช่วงอายุ (%)	36
4.1 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อในอายุ 1-14 วัน	44
4.2 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อในอายุ 15-28 วัน	44
4.3 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อในอายุ 29-35 วัน	45
4.4 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อในอายุ 1-35 วัน	45
4.5 น้ำหนักตัวมีชีวิต (กรัม) เปอร์เซ็นต์ซากอ่อน (%) และเปอร์เซ็นต์ซากที่ไม่มีเครื่องใน (%) ที่อายุ 36 วัน	46
4.6 เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง (%) ที่อายุ 36 วัน	47

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีก	3
2.2 การกระจายส่วนประกอบของอาหารในเมล็ดพืช	13
2.3 โครงสร้างของข้าวเปลือก	16
2.4 องค์ประกอบของโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง ลิกนิน และเส้นใย	18
2.5 ประโยชน์ของเอนไซม์จากภายนอกที่มีต่อสุขภาพสัตว์ปีกและการย่อยได้	23
2.6 กลไกการทำงานของโปรไบโอติก	28
2.7 บทบาทของโปรไบโอติก 프리ไบโอติก เอนไซม์ กรดอะมิโน และไฟโตไบโอติกในการเสริมสร้างเกราะป้องกันลำไส้และป้องกันการติดเชื้อ	32
4.1 การวิเคราะห์ความหลากหลายทางอัลฟาโดยดัชนี Shannon ของจุลินทรีย์ในไส้ตั้งของไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 1, 4, 7, 14, 21 และ 35 วัน	48
4.2 การวิเคราะห์ความหลากหลายทางอัลฟาโดยดัชนี Observe feature ของจุลินทรีย์ในไส้ตั้งของไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 1, 4, 7, 14, 21 และ 35 วัน	49
4.3 การวิเคราะห์ความหลากหลายทางเบต้าโดย Bray curtis ของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อในแต่ละช่วงอายุ	50
4.4 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับฟิล์มของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 4 วัน	53
4.5 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับฟิล์มของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 7 วัน	53
4.6 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับฟิล์มของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 14 วัน	54
4.7 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับฟิล์มของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 21 วัน	54
4.8 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับฟิล์มของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 35 วัน	55
4.9 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับวงค์ของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 4 วัน	57

4.10 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับวงศ์ของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 7 วัน	58
4.11 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับวงศ์ของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 14 วัน	58
4.12 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับวงศ์ของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 21วัน	59
4.13 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับวงศ์ของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 35 วัน	59
4.14 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับสกุลของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 4 วัน	62
4.15 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับสกุลของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 7 วัน	63
4.16 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับสกุลของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 14 วัน	63
4.17 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับสกุลของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 21 วัน	64
4.18 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับสกุลของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 35 วัน	64

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำเต็ม/คำจำกัดความ
IBW	น้ำหนักตัวเริ่มต้น (Initial body weight)
FBW	น้ำหนักตัวสุดท้าย (Final body weight)
FI	ปริมาณการกินได้ (Feed intake)
ADG	อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average daily gain)
FCR	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (Feed conversion ratio)
FCG	ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว (Feed cost per gain)
SBB	อกไก่ไร้หนังและกระดูก (Skinless Boneless Breast)
SBL	เนื้อสะโพกไก่ไร้หนังและกระดูก (Skinless Boneless Leg)
DNA	กรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (Deoxyribonucleic Acid)
PCR	ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรส (Polymerase Chain Reaction)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันประชากรโลกขยายตัวอย่างรวดเร็วและความต้องการบริโภคอาหารกำลังเปลี่ยนแปลงไป สัตว์ปีกจึงกลายเป็นส่วนสำคัญของอาหารเนื่องจากมีราคาไม่แพง มีประโยชน์หลากหลาย และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งเนื้อสัตว์อื่น ๆ (Nath et al., 2023) การผลิตสัตว์ปีกทั่วโลกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเอเชีย คิดเป็น 35% ของการผลิตเนื้อสัตว์ทั่วโลก (Horyanto et al., 2024) ในขณะที่ความต้องการในการผลิตสัตว์ปีกสูงขึ้น ทำให้ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์สูงขึ้นตามด้วย เนื่องจากต้นทุนค่าอาหารสัตว์มีสัดส่วน 70-80% ของต้นทุนการผลิตทั้งหมดในการเลี้ยงสัตว์ปีก (Acamovic, 2001) การหาวัตถุดิบทางเลือกที่สามารถทดแทนแหล่งพลังงานได้จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ข้าวเปลือกถือเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในประเทศ ไม่ต้องนำเข้า และสามารถใช้ทดแทนข้าวโพดได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต (Li et al., 2019) แต่ในข้าวเปลือกมีปริมาณเส้นใยและสารต้านโภชนาที่ส่งผลกระทบต่อการย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์ปีก (Yu et al., 2022) ทำให้มีการใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น

และเนื่องจากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมสัตว์ปีกทำให้มีการใช้ยาต้านจุลชีพเพิ่มขึ้น โดยมีเป้าหมายเพื่อรักษาสุขภาพและผลิตผลผลิตที่สูงขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการดื้อยาต้านจุลชีพ ในจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (Abreu et al., 2023) ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาอาหารเสริมทางเลือก เช่น โปรไบโอติก และเอนไซม์ ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เอนไซม์ที่ใช้ได้สำหรับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์นั้นได้มาจากจุลินทรีย์ มีการใช้เอนไซม์ในอาหารสัตว์เพิ่มมากขึ้น เพื่อลดต้นทุนอาหารสัตว์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และลดการขับถ่ายสารอาหารให้เหลือน้อยที่สุด โปรไบโอติกแสดงคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงภูมิคุ้มกัน โครงสร้างลำไส้ และการทำงานของลำไส้ในไก่เนื้อ ปัจจัยเหล่านี้สามารถปรับปรุงการย่อยอาหารและช่วยเพิ่มการดูดซึมสารอาหาร (Khalid et al., 2022)

เนื่องด้วยทรัพยากรทางวัตถุดิบที่มีราคาสูงประกอบกับมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อตัวสัตว์ ผู้ผลิต และผู้บริโภค ทั้งในด้านต้นทุนราคาวัตถุดิบอาหาร การปล่อยของเสียจากตัวสัตว์ การที่สัตว์ใช้ประโยชน์ได้สูงสุดจากอาหารสัตว์ รวมถึงการตกค้างของยาปฏิชีวนะที่ส่งผลกระทบต่อตัวสัตว์และผู้บริโภคเนื้อสัตว์ การใช้เอนไซม์ในการช่วยย่อยเยื่อใยจาก

อาหารร่วมกับโปรไบโอติกในอาหารที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบจึงเป็นทางเลือกในการแก้ไข ปัญหาเหล่านี้ ทั้งนี้ยังช่วยเพิ่มแนวทางการใช้ข้าวเปลือกซึ่งเป็นผลผลิตจากเกษตรกรไทย และลดการ พังพการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ รวมถึงช่วยรักษาสมดุลและลดการเกิดจุลินทรีย์ดื้อยาตัวใหม่ ที่อาจเกิดจากการใช้ยาต้านจุลชีพในอุตสาหกรรมสัตว์ปีก นำไปสู่การพัฒนากลยุทธ์สำหรับการผลิตไก่ เนื้อที่ยั่งยืนในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลการใช้เอนไซม์ และโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว หรือการเสริมฤทธิ์กัน ระหว่างการใช้เอนไซม์ร่วมกับโปรไบโอติก ในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบต่อ ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และจุลินทรีย์ในลำไส้ของไก่เนื้อ

1.3 สมมุติฐาน

การใช้เอนไซม์ และโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว หรือการเสริมฤทธิ์กันระหว่างการ ใช้เอนไซม์ร่วมกับโปรไบโอติก ในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบ ส่งผลเชิงบวกต่อ ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และจุลินทรีย์ในลำไส้ของไก่เนื้อ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบผลการใช้เอนไซม์ และโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว หรือการเสริมฤทธิ์กันระหว่าง การใช้เอนไซม์ร่วมกับโปรไบโอติก ในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบต่อประสิทธิภาพ การเจริญเติบโต คุณภาพซาก และจุลินทรีย์ในลำไส้ของไก่เนื้อที่ดีที่สุด

บทที่ 2

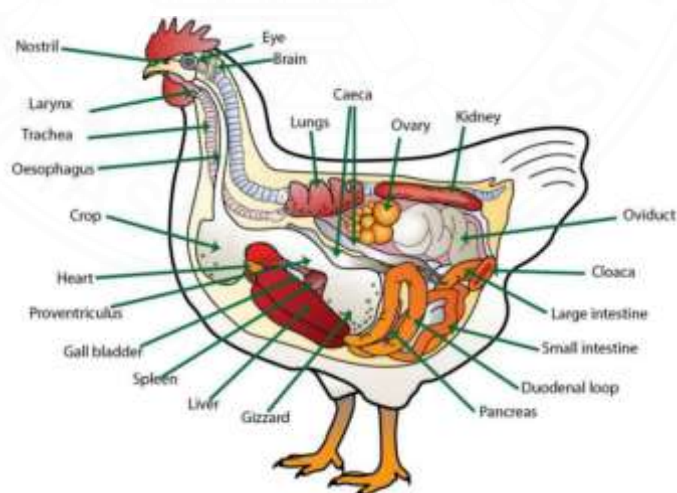
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สัตว์ปีก

สัตว์ปีก จัดเป็นสัตว์เลือดอุ่นและมีกระดูกสันหลัง สัตว์ปีกที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ได้แก่ ไก่ เป็ด ห่าน เป็นต้น สัตว์ปีกจัดอยู่ในกลุ่มของสัตว์กระเพาะเดี่ยว คือ กระเพาะมีลักษณะเป็นถุงเดี่ยว (ศรีสกุล และรณชัย, 2539) โดยปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตไก่เนื้อถือเป็นพื้นฐานของการผลิตโปรตีนทั่วโลก

2.1.1 ระบบทางเดินอาหารของไก่เนื้อ

ระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal tract) ของไก่เนื้อมีความสำคัญในการเจริญเติบโตและสุขภาพในช่วงอายุของสัตว์ โดยระบบทางเดินอาหารจะประกอบไปด้วยอวัยวะหรือต่อมต่าง ๆ ซึ่งแต่ละส่วนจะมีหน้าที่แตกต่างกันไป เช่น การเตรียมอาหาร การเคี้ยว การย่อย การดูดซึมของโภชนาการ รวมถึงการขับถ่ายของเสียออกนอกร่างกาย โดยมีส่วนประกอบของระบบทางเดินอาหาร ดังนี้ (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีก

ที่มา: <https://www.poultryhub.org/anatomy-and-physiology/body-systems/digestive-system>

2.1.1.1 ปาก

ปากเป็นจุดแรกในระบบย่อยอาหาร ปากของไก่จะประกอบไปด้วยจะงอยปาก ลิ้น และต่อมน้ำลาย โดยไก่จะใช้จะงอยปากในการหยิบและจิกอาหารและกลืนผ่านหลอดอาหารไปยังกระเพาะพัก (Crop) ซึ่งเกิดกระบวนการย่อยเป็นจุดแรกโดยการย่อยแบ่งเป็นน้ำตาลทำได้โดยเอนไซม์อะไมเลสที่มีอยู่ในน้ำลายของสัตว์ปีก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากอาหารจะคงอยู่ในส่วนนี้ได้ไม่นาน กระบวนการไฮโดรไลซิสจึงเกิดขึ้นได้เพียงเล็กน้อย (Ricke, 2019)

2.1.1.2 กระเพาะแท้ และกระเพาะบด

กระเพาะแท้ (Proventriculus) และกระเพาะบด (Gizzard) หรือ กิ้น เป็นกระเพาะที่แท้จริงของสัตว์ปีก กระเพาะแท้เป็นบริเวณที่มีต่อมต่างๆ อยู่มากมายจึงเรียกว่า “Glandular stomach” โดยส่วนกระเพาะแท่นี้มีการผลิตและหลั่งกรดไฮโดรคลอริก และเปปซิโนเจน มาช่วยในการย่อย โดยเอนไซม์เปปซินมีหน้าที่ย่อยโปรตีนโมเลกุลใหญ่ให้เล็กลง และกรดไฮโดรคลอริกมีหน้าที่ปรับสภาพ pH ให้มีสภาพเป็นกรดเหมาะแก่การย่อยโปรตีน กรดไฮโดรคลอริกจำเป็นต่อการรักษาค่า pH ในทางเดินอาหารเพื่อเปลี่ยนเปปซิโนเจนไปเป็นเปปซิน ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เริ่มการย่อยโปรตีน (Bohak, 1970) กระเพาะบดหรือกินมีหน้าที่เพิ่มเติมที่สำคัญในการบดวัตถุดิบอาหาร กิ้นจึงประกอบด้วยผนังกล้ามเนื้อที่มีความหนาและแข็งแรงเรียกว่า “Muscular stomach” ซึ่งจะช่วยในกระบวนการบดเนื่องจากมีฟันผิวคล้ายกระดากทราย น้ำย่อยที่หลังจากกระเพาะแท้มีค่า pH ประมาณ 2 อย่างไรก็ตาม ปริมาณ เวลาเก็บรักษา และคุณลักษณะทางเคมีของอาหารในบริเวณกินหรือบริเวณกระเพาะแท้จะส่งผลให้ค่า pH แปรผันมากขึ้นและโดยปกติจะสูงขึ้น (Svihus, 2014)

ในการศึกษาเกี่ยวกับอาหารที่มีข้าวสาลีและข้าวฟ่างเป็นหลัก รายงานว่าค่า pH ของกระเพาะลดลงในไก่เนื้อ และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นตามอายุที่มากขึ้น ค่า pH ที่เพิ่มขึ้นหลังจากวันที่ 14 อาจเป็นภาพสะท้อนของการบริโภคอาหารสัตว์ที่มีค่า pH เป็นกลางเพิ่มขึ้น ซึ่งเหนือกว่าอิทธิพลของกรดไฮโดรคลอริก ปริมาณและขนาดของหินปูนที่ใช้ในสูตรอาหารยังเป็นปัจจัยสำคัญของค่า pH (Guinotte et al., 1995)

2.1.1.3 ลำไส้เล็ก

(1) ลำไส้เล็กส่วนต้น

การย่อยอาหารและดูดซึมอาหารส่วนใหญ่เกิดขึ้นในลำไส้เล็ก ส่วนต้นของลำไส้เล็ก จะมีลักษณะคล้ายห่วงหรือรูปร่าง (Duodenal loop) ส่วนนี้จะสิ้นสุดที่ทางออกของตับอ่อนและท่อน้ำดี (Svihus, 2014) การศึกษาของ Sklan and Halevy (1985) รายงานว่า 95% ของไขมันถูกย่อยในลำไส้เล็กส่วนต้น

(2) ลำไส้เล็กส่วนกลาง

ส่วนนี้มีบทบาทสำคัญเนื่องจากสารอาหารหลักทั้งหมดจะถูกย่อยและดูดซึมในระดับสูงที่ส่วนนี้ เป็นส่วนที่มีขนาดใหญ่ แต่เวลาการเก็บรักษาอาหารในส่วนนี้เพียง 40 ถึง 60 นาที ซึ่งเป็นประมาณครึ่งหนึ่งของเวลาการเก็บรักษาของลำไส้เล็กส่วนปลาย มีรายงานว่าลำไส้เล็กส่วนกลางมีการดูดซึมผลิตภัณฑ์จากการย่อยจากไขมัน แป้ง และโปรตีน (Svihus, 2014)

(3) ลำไส้เล็กส่วนปลาย

ส่วนนี้มีบทบาทเป็นแหล่งดูดซึมน้ำและแร่ธาตุเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม มีการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอาจมีบทบาทสำคัญในการย่อยและการดูดซึมแป้งในไก่เนื้อที่โตเร็ว Zimonja and Svihus (2009) พบว่าความสามารถในการย่อยได้ของแป้งในอาหารที่มีข้าวสาลีรูปแบบอัดเม็ดเพิ่มขึ้นจาก 81 เป็น 98% จากลำไส้เล็กส่วนต้นไปยังมูล

(4) ไส้ติ่ง

ในสัตว์ปีกจะมีไส้ติ่ง 2 อัน มีลักษณะเป็นถุง ตอนปลายขยายใหญ่กว่าตอนโคนถุงเชื่อมต่อกับท่อทางเดินอาหารบริเวณรอยต่อระหว่างลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ (ileo-caeco-rectal junction) มีความกว้าง 1-2 มิลลิเมตร ในไก่อายุ 3 สัปดาห์ หน้าที่ที่สำคัญอย่างหนึ่งของไส้ติ่งคือการอิเล็กทรอนิกส์ ดูดซึมน้ำ และเป็นบริเวณที่เกิดการหมักและย่อยเยื่อใยในอาหารโดยแบคทีเรีย การทำงานของไส้ติ่งนั้นได้รับผลกระทบจากการกินอาหารเป็นส่วนใหญ่ และอาจจะขยายใหญ่ขึ้นเนื่องจากปริมาณของสารหมักในอาหารที่เพิ่มขึ้น (Svihus, 2014) ในไส้ติ่งของสัตว์ปีกเป็นสภาพแวดล้อมที่ไม่มีอากาศ มีบทบาทสำคัญในการควบคุมยูเรีย การดูดซึมน้ำ และการย่อยคาร์โบไฮเดรตของโครงสร้างพืช เช่น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส (Han et al., 2016)

2.1.1.4 ลำไส้ใหญ่และทวารร่วม

ส่วนเริ่มต้นของลำไส้ใหญ่อยู่ต่อจากลำไส้เล็กและสิ้นสุดที่ทวารร่วม มีความยาวเพียงประมาณ 10 เซนติเมตร ในส่วนนี้มีการดูดซึมน้ำจากกากใยอาหารเข้าสู่ร่างกายทำให้กากใยอาหารมีลักษณะแห้ง ก่อนที่จะขับถ่ายออกจากร่างกายผ่านทางทวารร่วม ซึ่งเป็นส่วนสุดท้ายของระบบทางเดินอาหารซึ่งจะเปิดเข้าสู่ทวารร่วมเป็นท่อร่วมระหว่างระบบขับถ่ายและระบบสืบพันธุ์ ในสัตว์ปีกเพศผู้จะเป็นท่อทวารร่วมกับท่อน้ำเชื้อ จะอยู่บริเวณตรงกลางของลำตัว ส่วนในเพศเมียจะเป็นท่อทวารร่วมกับท่อนำไข่ (Svihus, 2014)

2.1.1.5 อวัยวะสนับสนุนการย่อยอาหาร

ตับอ่อนมีหน้าที่ผลิตกรดน้ำดีและเกลือ ฟอสโฟลิพิด โคลเลสเตอรอล เม็ดสี น้ำ และอิเล็กโทรไลต์ (Tancharoenrat et al. 2014) พบว่าการหลั่งส่วนประกอบของน้ำดี รวมทั้งเกลือน้ำดีและกรดไขมันเข้าไปในลำไส้เล็กส่วนต้นเพิ่มขึ้น การหลั่งน้ำดีในช่วงสัปดาห์แรกคาดว่ามีการจำกัด และเป็นสาเหตุให้การดูดซึมไขมันไม่ดี (Tancharoenrat et al., 2013) การหลั่งของเอนไซม์ตับอ่อน ได้แก่ ทริปซิน ไคโมทริปซิน อะไมเลส และไลเปส มีการเปลี่ยนแปลงตามการบริโภคอาหาร และองค์ประกอบของอาหาร ตัวอย่างเช่น มีรายงานว่าลูกไก่แรกเกิดตอบสนองต่อการปรับปริมาณแป้งโดยการเพิ่มปริมาณอะไมเลสที่หลั่งออกมา (Moran, 1985)

2.1.1.6 การย่อยและการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตในสัตว์กระเพาะเดี่ยว

กระบวนการย่อยคาร์โบไฮเดรตเริ่มต้นที่ปากด้วยเอนไซม์อะไมเลสในน้ำลาย การย่อยในปากมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเนื่องจากอาหารอยู่ในปากเพียงระยะเวลาสั้นๆ แต่การย่อยที่สำคัญเกิดขึ้นที่ลำไส้เล็กโดยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) จากตับอ่อนจะย่อยแป้งได้เป็นเดกทรินสโมลโตส และไอโซมอลโตสตามลำดับ ซึ่งจะดูดซึมเข้าสู่ผนังเซลล์ลำไส้เล็ก และที่บริเวณผนังลำไส้ของสัตว์ มอลโตส ไอโซมอลโตส และเดกซ์ตรินจะถูกเอนไซม์มอลเตสและไอโซมอลเตส ย่อยได้น้ำตาลกลูโคส ซึ่งสามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ส่วนน้ำตาลซูโครสและแลคโตสจะถูกย่อยได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้เช่นกัน กลไกการดูดซึมน้ำตาลกลูโคสและกาแลคโตสเข้าสู่ร่างกายสัตว์มีความเกี่ยวข้องกับแร่ธาตุโซเดียม โดยอาศัยโซเดียมเป็นตัวพาเข้าไปจากที่มีความเข้มข้นต่ำไปสู่ที่มีความเข้มข้นสูง และต้องใช้พลังงาน (ATP) ในการดูดซึม (Active transport) ในขณะที่การดูดซึมน้ำตาลฟรุคโตสจะอาศัยการแพร่จากที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่ที่มีความเข้มข้นต่ำโดยไม่ต้องใช้พลังงาน (Passive transport) (Russell and Gahr, 2000; Ravindran and Abdollahi, 2021)

2.2 จุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของสัตว์ปีก

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าจุลินทรีย์ในลำไส้มีบทบาทสำคัญที่ส่งผลต่อสุขภาพไก่เนื้อ ในลูกไก่แรกเกิดจุลินทรีย์จะถูกส่งผ่านจากแม่ไก่ไปยังลูกไก่ทางท่อนำไข่หรือรูพรุนของเปลือกไข่ (Gantois et al., 2009) ซึ่งในระยะเริ่มต้นจุลินทรีย์ที่เข้ามาอาศัยจะมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาสุขภาพของลูกไก่ ความซับซ้อนของจุลินทรีย์ในลำไส้ไก่เนื้อจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่อายุ 1-19 วัน (Crhanova et al., 2011) เมื่อไก่เนื้ออายุมากขึ้น จุลินทรีย์จะมีความหลากหลายมากขึ้น (Oakley et al., 2014) และการเข้าอยู่อาศัยของจุลินทรีย์ในลำไส้จะดำเนินต่อเนื่องจนกระทั่งประชากรของจุลินทรีย์อยู่ในสภาวะสมดุล แต่ระยะเวลาในการสร้างจุลินทรีย์ที่เสถียรสามารถลดลงได้โดยขึ้นอยู่กับ

ปัจจัยหลายด้าน เช่น สายพันธุ์ เพศ อายุ พันธุกรรม ที่อยู่อาศัย และอาหาร (Borda-Molina et al., 2019)

มีจำนวนแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในทางเดินอาหารของไก่เนื้อมากกว่า 900 ชนิด ไฟลัมที่พบมากที่สุดคือ *Firmicutes* โดยมีสกุลที่พบเช่น *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Turicibacter* และ *Clostridium* เป็นต้น (Yue et al., 2024) แบคทีเรียแกรมบวกในไฟลัม *Firmicutes* ที่อาศัยอยู่ในบริเวณลำไส้เล็กที่ส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการผลิตของไก่เนื้อโดยส่วนใหญ่อยู่ในวงศ์ *Peptostreptococcaceae* และ *Lactobacillaceae* (Kollarcikova et al., 2019) เนื่องจากชนิดของแบคทีเรียแตกต่างกันไปตามความชอบของสารตั้งต้นและความต้องการการเจริญเติบโต องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของระบบย่อยอาหารส่วนใหญ่จะกำหนดการกระจายพันธุ์ของชุมชนแบคทีเรียในทางเดินอาหารของสัตว์ปีก ดังนั้นโครงสร้างชุมชนของแบคทีเรียและการทำงานของเมแทบอลิซึมจึงขึ้นอยู่กับสภาวะทางชีวเคมีของอาหารอย่างมาก (Apajalahti, 2005)

สภาวะที่จุลินทรีย์ในลำไส้ไม่สมดุลกัน (Dysbiosis) เป็นภาวะที่เกิดความไม่สมดุลกันของจุลินทรีย์ในลำไส้ทั้งเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ ซึ่งอาจนำไปสู่การทำงานของผนังลำไส้ที่ลดลง การย่อยอาหารได้ลดลง และเพิ่มความเสี่ยงของการเคลื่อนย้ายของชุมชนจุลินทรีย์ รวมถึงการตอบสนองต่อการอักเสบ (Teirlynck et al., 2011) การมีแบคทีเรียก่อโรคในจุลินทรีย์ในไก่เนื้อมีความสำคัญต่อสุขภาพของสัตว์และมนุษย์ ในบรรดาแท็กชาติที่สามารถทำให้เกิดการเจ็บป่วยในมนุษย์ และมีรายงานในจุลินทรีย์ในไก่ ได้แก่ *Campylobacter* โดยหลักคือ *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli*, *Salmonella enterica*, *Escherichia coli* และ *Clostridium perfringens* (Oakley et al., 2014) การติดเชื้อในทางเดินอาหารส่วนใหญ่ในไก่เนื้อที่เกิดจาก *Campylobacter* และ *Salmonella* มีความเกี่ยวข้องโดยหลักกับการบริโภคผลิตภัณฑ์จากห่วงโซ่สัตว์ปีก และด้วยเหตุนี้การควบคุมเชื้อโรคจากฟาร์มจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง (Wegener et al., 2003) *Campylobacter* พบได้ในความเข้มข้นสูงในจุลินทรีย์ในลำไส้ (10^7 CFU/g) อย่างไรก็ตาม เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าไม่ก่อให้เกิดโรคในสัตว์ปีก แม้ว่าเชื้อ *Salmonella enterica* จะจัดว่าเป็นอนุกรมวิธานที่มีความชุกต่ำในการกระจายตัวและการแข่งขันในการขยายตัวในระยะเปลี่ยนผ่าน แต่ก็สามารถทำให้เกิดโรคในไก่เนื้อได้ขึ้นอยู่กับอายุ สถานะภูมิคุ้มกัน และชนิดของซีโรวาร์ (Stern et al., 1995; Lee and Newell, 2006)

2.2.1 หน้าที่ของจุลินทรีย์

2.2.1.1 การแลกเปลี่ยนสารอาหาร

แบคทีเรียที่อยู่ร่วมกันของระบบย่อยอาหารมีส่วนช่วยให้ได้รับสารอาหารที่มีความสำคัญทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการเผาผลาญของไก่ ซึ่งรวมถึง กรดไขมัน สายสั้น

แอมโมเนียม กรดอะมิโน และวิตามิน (Pan and Yu, 2014) แบคทีเรียในลำไส้ส่วนใหญ่สามารถไฮโดรไลซ์โพลีแซ็กคาไรด์ โอลิโกแซ็กคาไรด์ และไดแซ็กคาไรด์ให้เป็นน้ำตาลปฐุมภูมิได้ แบคทีเรียในลำไส้จะหมักน้ำตาลเหล่านี้ทำให้เกิดกรดไขมันสายสั้น (SCFAs) เช่น อะซิเตต โพรพิโอเนต และบิวเทรต (Hooper et al., 2002) ในไส้ติ่ง SCFAs จะถูกดูดซึมผ่านเยื่อลำไส้โดยการแพร่กระจายแบบพาสซีฟเข้าสู่วิถีทางเมแทบอลิซึมที่หลากหลาย (Tellez et al., 2006) โดยปกติแล้ว SCFAs เป็นแหล่งพลังงานและคาร์บอน นอกจากนี้ยังควบคุมการไหลเวียนของเลือด กระตุ้นการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของเอนเทอโรไซต์ และควบคุมการผลิตเมือกซึ่งส่งผลต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของลำไส้ (Pryde et al., 2002; Sanderson, 2004) แบคทีเรียในลำไส้ยังมีส่วนช่วยในการเผาผลาญไนโตรเจน ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียจากทางเดินปัสสาวะที่มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการดิวริกไปเป็นแอมโมเนียมสามารถเคลื่อนที่จากช่องเปิดบริเวณทวารหนักไปยังไส้ติ่งได้ ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการเผาผลาญในระยะหลัง และยอมให้โฮสต์ดูดซับแอมโมเนียม ซึ่งจากนั้นจึงสามารถใช้เพื่อสังเคราะห์กรดอะมิโนได้ (Vispo and Karasov, 1997) ในทางกลับกันแบคทีเรียในลำไส้เดียวกันนั้นสามารถเป็นแหล่งของกรดอะมิโน (Metges, 2000) และวิตามิน (LeBlanc et al., 2013) แม้ว่าโปรตีนและวิตามินส่วนใหญ่ที่ผลิตโดยแบคทีเรียเหล่านี้จะสูญเสียไปในระหว่างการขับถ่ายก็ตาม แบคทีเรียในลำไส้ส่วนใหญ่พบได้ในลำไส้ใหญ่ส่วนต้นและอวัยวะนี้ไม่สามารถย่อยหรือดูดซับโปรตีนได้ (Vispo and Karasov, 1997) ในระบบร่างกายไก่เนื้ออาจมีการให้สารอาหารแก่แบคทีเรียในลำไส้ในลักษณะตอบแทนกัน ตัวอย่างเช่น เมือกที่ผลิตโดยเซลล์เคลเซียมฟอร์มในลำไส้เป็นแหล่งสำคัญของคาร์บอน ไนโตรเจน และพลังงานสำหรับแบคทีเรียและเชื้อโรคที่พบได้ทั่วไป (Tellez et al., 2006) การปรากฏตัวของแบคทีเรียที่ย่อยสลายเมือกนั้นสัมพันธ์กับสุขภาพของลำไส้ เนื่องจากสร้างแรงกดดันในการคัดเลือกแบคทีเรียที่ไม่สามารถเกาะติดกับพื้นผิวของเยื่อเมือก (Pan and Yu, 2014)

2.2.1.2 การปรับภูมิคุ้มกัน

จุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการปรับการควบคุมและกระตุ้นการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันเยื่อเมือกในลำไส้ถือเป็นด่านแรกในการป้องกันการติดเชื้อและเป็นอุปสรรคที่ป้องกันไม่ให้แบคทีเรียส่วนรวมแทรกซึมเข้าไปในเยื่อลำไส้ (Carter et al., 2009) จุลินทรีย์ในลำไส้มีส่วนเกี่ยวข้องในการควบคุมการสร้างชั้นเมือกและยังควบคุมการผลิตเปปไทด์ต้านจุลชีพที่อยู่บนพื้นผิวของเยื่อลำไส้ (Forder et al., 2007) แบคทีเรียมีส่วนร่วมในการป้องกันเยื่อเมือกโดยการปรับการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน โดยการควบคุมปริมาณของตัวกลางที่หลั่งโดยเซลล์ของระบบภูมิคุ้มกันที่ได้รับ และกระตุ้นเซลล์ CD4 (Pan and Yu, 2014) ในหลายการศึกษาแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์มีผลอย่างมากต่อการทำงานของทีเซลล์ในลำไส้และการแสดงออกของไซโตไคน์ (Mwangi et al., 2010; Ren et al., 2014)

2.2.1.3 การพัฒนาศรีวิทยาของระบบทางเดินอาหาร

การพัฒนาอย่างรวดเร็วของระบบลำไส้ทำให้เกิดช่องที่เหมาะสมสำหรับการตั้งรกรากของจุลินทรีย์และจุลินทรีย์ยังมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบทางเดินอาหาร (Uni et al., 1999) การศึกษาในไก่เนื้อที่เลี้ยงแบบปลอดเชื้อโรค พบว่าการพัฒนาลำไส้เล็กและไส้ติ่งมีน้ำหนักน้อยกว่าและมีผนังบางกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไก่ที่เลี้ยงตามปกติ (Mitsuhiro and Jun-ichi, 1994) กิจกรรมของเอนไซม์ย่อยอาหารในลำไส้ไก่อาจได้รับผลกระทบจากจุลินทรีย์ในลำไส้ด้วย อาหารยังสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิดเช่น *Bifidobacterium* และ *Lactobacillus* ซึ่งช่วยเพิ่มการทำงานของเอนไซม์โปรตีเอส ทริปซิน และไลเปส (Palmer and Rolls, 1983) แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคยังสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาได้ เช่น ไก่ที่ติดเชื้อ *Eimeria* sp. ร่วมกับ *C. perffingens* มีความยาวของวิลลัสในลำไส้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบในไก่ที่ติดเชื้อ *Salmonella Typhimurium* (Golder et al., 2011)

2.2.1.4 การป้องกันการบุกรุกของจุลินทรีย์ก่อโรค

ระบบทางเดินอาหารในสัตว์ปีกไม่ได้สนับสนุนการเจริญเติบโตหรือการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ เนื่องจากสารอาหารและพื้นที่มีจำกัด ดังนั้นการแข่งขันเพื่อแย่งชิงสารอาหารระหว่างจุลินทรีย์จึงเป็นปรากฏการณ์ทั่วไปในระบบนิเวศของลำไส้ (Soler et al., 2010) จุลินทรีย์ในลำไส้จะแข่งขันกับแบคทีเรียที่ก่อโรคและสามารถลดการยึดเกาะและการบุกรุกของเชื้อโรคในลำไส้ได้ การลดลงนี้อาจเป็นผลมาจากกลไกที่แตกต่างกัน (Golder et al., 2011) แนวป้องกันภูมิคุ้มกันโดยกำเนิดมารวมกันก่อนเป็นเมือกซึ่งเป็นแนวป้องกันด่านแรก ซึ่งส่วนใหญ่ขัดขวางการยึดเกาะและการซึมผ่านของจุลินทรีย์และสารพิษ ดังนั้นจึงป้องกันการเกิดการอักเสบ (Johansson and Hansson, 2016) ในสัตว์ปีกที่มีสุขภาพดีชุมชนแบคทีเรียทั่วไปในระบบทางเดินอาหารจะตั้งอาณานิคมของเยื่อเมือกในลำไส้และก่อตัวเป็นชั้นปกคลุมพื้นผิวเยื่อเมือก ด้วยการครอบครองพื้นที่ที่หลากหลายตามแนวทางเดินอาหาร ชั้นของชุมชนจุลินทรีย์ที่หนาแน่นและซับซ้อนนี้สามารถปิดกั้นการบุกรุกของจุลินทรีย์ก่อโรคในลำไส้ที่บุกรุกในภายหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Lawley and Walker, 2013; Pan and Yu, 2014)

2.2.2 องค์ประกอบของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารไก่เนื้อ

อวัยวะแต่ละส่วนในระบบย่อยอาหารทำหน้าที่สำคัญต่อกระบวนการย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหาร แต่ละส่วนจะมีจุลินทรีย์ที่เป็นอิสระ อาจถือได้ว่าเป็นระบบนิเวศที่แยกจากกัน (Clavijo and Flórez, 2018) เนื่องจากแบคทีเรียแต่ละชนิดจะปรับตัวให้เข้ากับระบบนิเวศของตัวเองและอาศัยอยู่ร่วมกับแบคทีเรียสายพันธุ์อื่นๆ (Pan and Yu, 2014) อาหารเป็นปัจจัยหลักอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อโครงสร้างและการพัฒนาของจุลินทรีย์ในลำไส้สัตว์ปีก นอกจากนี้ยังรวมถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น เพศ พันธุกรรม การเลี้ยงและการจัดการ และการใช้สารต้านจุลชีพ

2.2.2.1 องค์ประกอบของจุลินทรีย์ในลำไส้เล็ก

ในลำไส้เล็กของไก่มีจุลินทรีย์จำนวนมากที่มีปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนกันระหว่างองค์ประกอบ ในระยะเริ่มต้นจุลินทรีย์ในลำไส้จะประกอบไปด้วยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนเป็นหลัก หลังจากนั้นจะเปลี่ยนไปเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน ทำให้เกิดชุมชนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของช่วงอายุ (Yan et al., 2023) สารอาหารที่ไม่ถูกย่อยจากลำไส้เล็กส่วนต้น และส่วนกลางจะถูกส่งมายังลำไส้เล็กส่วนปลาย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในสารตั้งต้นของจุลินทรีย์ในลำไส้เล็กส่วนปลาย พบว่าแบคทีเรีย *Lactobacillus spp.* (70%) มีส่วนสำคัญต่อองค์ประกอบของจุลินทรีย์ในลำไส้เล็กส่วนปลาย นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียอื่น ๆ เช่น *Clostridiaceae* (11%), *Streptococcus* (6.5%) และ *Enterococcus spp.* (6.5%) (Lu et al., 2003)

2.2.2.2 องค์ประกอบของจุลินทรีย์ในไส้ติ่ง

เป็นอวัยวะที่มีความหลากหลายทางอนุกรมวิธานและความอุดมสมบูรณ์มากที่สุด เนื่องจากเป็นอวัยวะในระบบทางเดินอาหารที่เก็บอาหารไว้เป็นระยะเวลานานที่สุด (12 ถึง 20 ชั่วโมง) (Clavijo and Flórez, 2018) พบแบคทีเรียแกรมบวกมากที่สุด ไฟลัมที่พบมากที่สุดได้แก่ Firmicutes ซึ่งสกุลที่พบในไฟลัมนี้ได้แก่ *Lactobacillus*, *Blautia*, *Faecalibacterium*, *Heliobacterium*, *Oscillibacter*, *Peptococcus*, *Clostridium* และ *Eubacterium* ไฟลัมที่พบรองลงมาคือ Bacteroidetes และ Actinobacteria (Lu et al., 2003) พบแบคทีเรีย *Bacteroidetes* และ *Proteobacteria* มากขึ้นในไส้ติ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอายุที่ 25 วัน แบคทีเรีย *Firmicutes* และแบคทีเรีย *Bacteroidetes* ในลำไส้เล็กส่วนปลายและไส้ติ่งอาจเกี่ยวข้องกับการเผาผลาญไนโตรเจนโดยใช้กรดยูริกเพื่อผลิตกรดอะมิโนที่จำเป็น และปลดปล่อยพลังงานจากใยอาหารโดยการย่อยสลายโอลิโกแซ็กคาไรด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แบคทีเรียในไฟลัม *Bacteroidetes* เช่น *Bacteroides spp.* มีส่วนเกี่ยวข้องหลักในการย่อยสลายโมเลกุลที่ซับซ้อนให้เป็นสารประกอบที่สามารถย่อยได้ง่าย (Kumar et al., 2018)

2.3 คาร์โบไฮเดรตและเยื่อใยในอาหารสัตว์ปีก

2.3.1 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O₂) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับสัตว์และมนุษย์ (Navarro et al., 2019) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญและเป็นชีวโมเลกุลที่พบมากที่สุดในพืช และธัญพืช โดยมากถึง 85% ในเมล็ดธัญพืช โดยหลักสำคัญของคาร์โบไฮเดรต คือ แป้ง ผงของโพลีแซ็กคาไรด์ เช่น

เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน และโมโนแซ็กคาไรด์ เช่น กลูโคส ฟรักโทส และกาแลคโตส เป็นต้น ซึ่งพืชสามารถสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตได้เองจากคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และน้ำ (H₂O) โดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) (ชัตติยา, 2563)

2.3.1.1 แป้ง

แป้ง (Starch) เป็นหนึ่งในคาร์โบไฮเดรตที่มีมากที่สุดในธรรมชาติ จัดเป็นพอลิเมอร์ของ D-glucose ที่ประกอบด้วย 2 โมเลกุล คือ อะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเพคติน (Amylopectin) อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นของกลูโคสซึ่งมีระดับการพอลิเมอไรซ์เฉลี่ย 1,000 หน่วยกลูโคสที่เชื่อมโยงกันผ่านพันธะ α -(1,4) ส่วนอะไมโลเพคตินเป็นสายกลูโคสขนาดใหญ่ขึ้นโดยมีระดับการพอลิเมอไรซ์ 10,000 ถึง 100,000 โดยมีจุดแตกแขนงที่เชื่อมต่อ α -(1,6) สำหรับทุกๆ 20 ถึง 25 หน่วยกลูโคส (Englyst et al., 2007) เม็ดแป้งมีองค์ประกอบทางโครงสร้างและทางเคมีที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและส่วนของพืช ขนาดของเม็ดแป้งมีอิทธิพลต่ออัตราส่วนพื้นผิวต่อปริมาตร และยิ่งเม็ดเล็กลง อัตราส่วนพื้นผิวต่อปริมาตรก็จะยิ่งมากขึ้น ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสำหรับไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารมากขึ้น ในข้าวโพด ข้าวสาลี และมันฝรั่ง แป้งอาจมีอะไมโลส ประมาณ 20% และอะไมโลเพคติน 80% (Navarro et al., 2019)

2.3.1.2 โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง

โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (Non-starch polysaccharide; NSP) คือ โพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิดนอกเหนือจากน้ำตาลกลูโคสมาจับกันด้วยพันธะไกลโคสิติก (Glycosidic bond) ที่ไม่ใช่พันธะ α -1,4 และ α -1,6 เหมือนกับที่พบในแป้ง แต่เป็นพันธะอื่นๆ เช่น พันธะ β -(1,3) และ β -(1,4) (วรรณพร, 2560) NSP ส่วนใหญ่พบอยู่ในผนังเซลล์พืชปฐมภูมิหรือหัตถภูมิ และประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งที่ละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำ พบมากในธัญพืช ถูกจัดเป็นสารต้านโภชนะ (Anti nutritional factors; ANFs) ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่พบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ (Choct, 1996) ส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในสภาพดิบในพืชตระกูลข้าวต่างๆ (Triticale) และผลพลอยได้ที่เกิดจากการแปรรูป เช่น รำข้าว ซึ่ง NSP ประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส (Hemi-cellulose) เซลลูโลส (Cellulose) สารเพคติน (Pectin) โดย NSP ส่วนใหญ่จะเป็นส่วนของ เฮมิเซลลูโลส ซึ่งได้แก่ ไซแลน (Xylan) อะราบินัน (Arabinan) กาแลคแทน (Galactan) ไซโลกลูแคน (Xyloglucan) แมนแนน (Mannan) เบต้ากลูแคน (β -glucan) และ อะราบินโนไซแลน (Arabinoxylan) (Smith and Annison, 1996) ธัญพืชจำพวก ข้าว ข้าวไรย์ ข้าวสาลี และข้าวโพด จะอุดมไปด้วยอะราบินโนไซแลน ในขณะที่ข้าวบาร์เลย์และข้าวโอ๊ตมีเบต้ากลูแคนในระดับสูง (Theander et al., 1989; Knudsen, 1997) โดยจะกระจายตัวอยู่ในส่วนประกอบต่างๆ ของเมล็ดธัญพืช (ภาพที่ 2.2) ซึ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ส่วนใหญ่เป็นพวกเมล็ดธัญพืชและถั่วประมาณ 50-70% ซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงานและโปรตีนที่สำคัญ Knudsen (2014) ได้รายงานปริมาณ NSP และ

ส่วนประกอบของเส้นใย (% DM) ของเมล็ดธัญพืชและแบ่งในข้าวโพด ข้าวสาลี และข้าวบาร์เลย์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 โพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (NSP) และส่วนประกอบของเส้นใย (%DM) ของเมล็ดธัญพืช

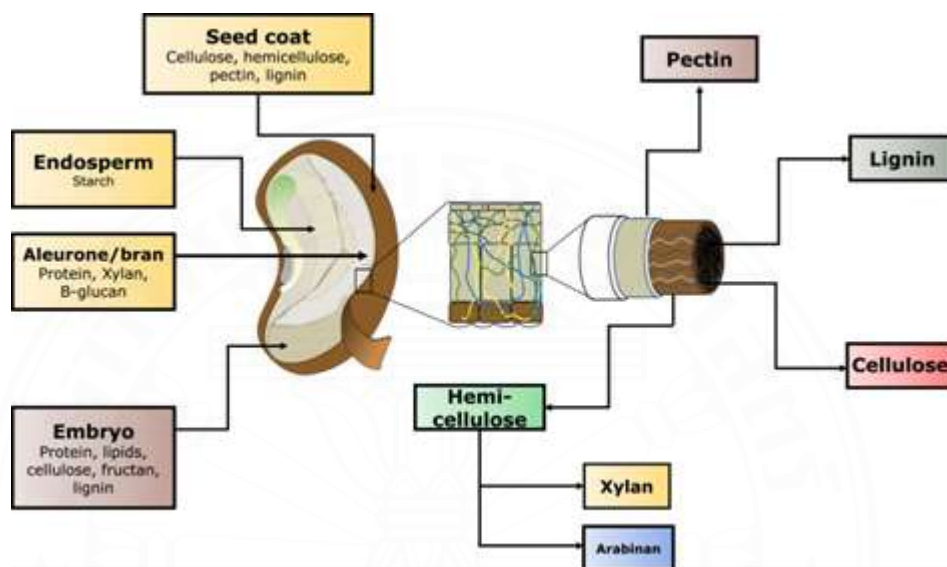
รายการ	ข้าวโพด		ข้าวสาลี		ข้าวบาร์เลย์	
	NSP รวม	NSP ละลายน้ำ	NSP รวม	NSP ละลายน้ำ	NSP รวม	NSP ละลายน้ำ
NSP						
เบต้า-กลูแคน	0.1		1.0		4.1	
เซลลูโลส	2.0		1.8		4.0	
กลูโคส	0.8	0.2 ¹	1.2	0.4	5.0	3.9
อะราบิโนไซแลน	4.7	0.5	7.3	1.8	8.4	1.2
อะราบิโนส	2.0	0.3	2.8	0.8	2.7	0.5
ไซโลส	2.7	0.2	4.5	1.1	5.6	0.7
อะราบิโนส/ไซโลส	0.7	1.3	0.6	0.7	0.5	0.9
NSP รวม	9.0		11.3		18.6	
เยื่อใย	10.1		13.1		21.8	
NSP ละลายน้ำ (%)		11.8		21.7		26.1

¹ ส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้

ที่มา: ดัดแปลงจาก Knudsen (2014)

NSP ออกฤทธิ์ส่งผลให้เกิดการต้านโภชนาการ เมื่อสัตว์ปีกกินอาหารที่มีเส้นใยที่ละลายน้ำได้ในปริมาณมาก ความหนืดของอาหารในลำไส้จะเพิ่มขึ้นโดยการสร้างเจลที่มีความหนืด ซึ่งลดอัตราการแพร่กระจายของเอนไซม์ย่อยอาหารและสารตั้งต้นจากภายนอกโดยขัดขวางปฏิสัมพันธ์ที่พื้นผิวเยื่อเมือก (Choct et al., 1996) ความหนืดที่เพิ่มขึ้นนี้ยังทำให้ชั้นเมือกในลำไส้หนาขึ้น (Hedemann et al., 2009) NSP ในความเข้มข้นสูงในธัญพืช เช่น ข้าวสาลี ส่งผลต่อการลดการย่อยและการดูดซึมสารอาหารผ่านผลกระทบทางเคมีและทางกายภาพในลำไส้ ส่งผลให้อัตราการย่อยและการดูดซึมสารอาหารช้าลง การบริโภคอาหารที่ลดลง และน้ำหนักตัวที่ลดลง มีการประมาณกันว่าพลังงานที่ย่อยได้ 400–450 กิโลแคลอรีต่ออาหารสัตว์ 1 กิโลกรัมยังที่ไม่ถูกย่อยเนื่องจากปริมาณ NSP ที่มีอยู่ในอาหารข้าวโพดและถั่วเหลืองปน ในทางกลับกัน NSP ที่ไม่ละลายน้ำจะพบอยู่ในผนังเซลล์ สามารถดักจับแป้ง โปรตีน และสารอาหารอื่นๆ ภายในที่เรียกว่าปฏิกิริยา Cage effect

ซึ่งจะเข้าไปขัดขวางการเข้าถึงเอนไซม์จากภายนอก (Cowieson, 2010) นอกจากผลกระทบโดยตรงต่อสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของลำไส้แล้ว NSP ยังมีผลทางอ้อมด้วย NSP ที่ละลายน้ำได้จะเอื้อต่อการพัฒนาจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่สามารถนำไปสู่การผลิตกรดไขมันสายสั้น และสารพิษจากสิ่งมีชีวิตแบบไม่ใช้ออกซิเจนบางชนิด (Simon, 1998)



ภาพที่ 2.2 การกระจายส่วนประกอบของอาหารในเมล็ดพืช

ที่มา: Mahmood and Guo (2020)

2.3.1.3 เซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นโฮโมโพลีเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยของ D-glucopyranosyl ซึ่งเชื่อมโยงกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิด β -(1,4) อย่างต่อเนื่อง โครงสร้างดังกล่าวมีความเสถียรระหว่างโมเลกุล เนื่องจากเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ตำแหน่งคาร์บอนที่ 3 (C-3) ของเรซิดิวหนึ่ง กับอะตอมออกซิเจนของวงแหวนไพแรน (O-5) ของเรซิดิวที่อยู่ถัดไปในสายโซ่ ส่งผลให้สายโซ่กลูแคนสามารถจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบและมีความมั่นคงทางโครงสร้าง (Selvendran, 1984)

2.3.1.4 อะราบินโนไซแลน

ถูกสร้างขึ้นจากแกนหลักเชิงเส้นของ (1,4)- β -D-xylopyranosyl เรซิดิว (X) โดยส่วนใหญ่จะแทนที่ด้วย α -L-arabinofuranosyl เรซิดิว (A) จนถึงระดับที่แตกต่างกันที่ตำแหน่ง O-2 ตำแหน่ง O-3 หรือทั้งสองอย่างทำให้เกิดองค์ประกอบโครงสร้าง 4 รายการในโครงสร้างโมเลกุลของอะราบินโนไซแลน ได้แก่ monosubstituted X ที่ O-2 หรือ O-3,

dissubstituted X ที่ O-2,3 และ unsubstituted X (Selvendran, 1984) อัตราส่วนอาราบินอสต่อไซโลสมักใช้เพื่อกำหนดลักษณะโครงสร้างของอะราบินโนไซแลน จำนวนสัมพัทธ์และลำดับการกระจายขององค์ประกอบโครงสร้างในอะราบินโนไซแลนจากธัญพืชต่างๆ จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา (Knudsen, 2014) ส่วนใหญ่ในธัญพืชจะไม่ละลายน้ำ เนื่องจากส่วนใหญ่จะยึดติดอยู่กับผนังของเซลล์พืชด้วยพันธะ alkali-labile ester-like cross links (วรรณพร, 2560)

2.3.1.5 เบต้า-กลูแคน

ประกอบด้วยโฮโมโพลีเมอร์เชิงเส้นของเรซิดิว d-glucopyranosyl ที่เชื่อมโยงกันส่วนใหญ่ผ่านการเชื่อมโยง β -(1,4) ติดต่อกัน 2 ถึง 3 จุด ซึ่งแยกจากกันด้วยการเชื่อมโยง β -(1,3) ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต และข้าวไรย์ พบว่ามีเบต้า-กลูแคนมากกว่าในผนังเซลล์เมื่อเทียบกับข้าวโพดและข้าวสาลี (Navarro et al., 2019)

2.3.1.6 ไซโลกลูแคน

เป็นโครงสร้างโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส ไซโลกลูแคนประกอบด้วยหน่วย d-กลูโคสที่เชื่อมโยงกับ β -(1,4) ซึ่งมีการแตกแขนงด้วยไซโลสและเรซิดิว β -กาแลคโตส ที่ติดอยู่กับหน่วยไซโลสบางส่วน หน่วยไซโลสสามารถทดแทนเพิ่มเติมด้วยฟูโคสหรืออาราบินอสได้ ไซโลกลูแคนสามารถเชื่อมโยงกับไมโครไฟบริลเซลลูโลสได้ (Caffall and Mohnen, 2009)

2.3.1.7 เพคติน

โครงสร้างหลักของเพคตินคือโพลีเมอร์ของ α -(1,4) ที่เชื่อมโยงกับ d-galacturonic acid โดยมีระดับเมทิลเอสเทอร์ฟิเคชันที่แตกต่างกันของกลุ่มคาร์บอกซิล C-6, อะซิติดิล-เอสเทอร์ฟิเคชันที่ O-2 หรือที่ O-2 และ O-3 ระดับของเมทิล-เอสเทอร์ฟิเคชัน ระดับของเอทิล-เอสเทอร์ฟิเคชัน และการกระจายตัวของเอสเทอร์เหนือแกนหลักจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา (Knudsen, 2014)

2.3.2 ผลของเส้นใยต่อความหนืดในลำไส้ของสัตว์

ความหนืด (Viscosity) ส่งผลต่อการจับตัวกันระหว่างวัตถุดิบอาหารสัตว์ เกลื่อน้ำดี และเอนไซม์จากตัวสัตว์ให้เป็นไปได้ยากขึ้น เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของทางเดินอาหารที่ไม่เหมาะสมต่อการดูดซึมสารอาหาร ความหนืดที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีเมือกไปห่อหุ้มวิลลัส ทำให้อัตราการไหลผ่านของอาหารเป็นไปได้อย่างยากลำบาก ส่งผลให้เกิดการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ในลำไส้เล็กผิดปกติ ก่อให้เกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีก เช่น อากาศท้องเสีย (Choct and Annison, 1992)

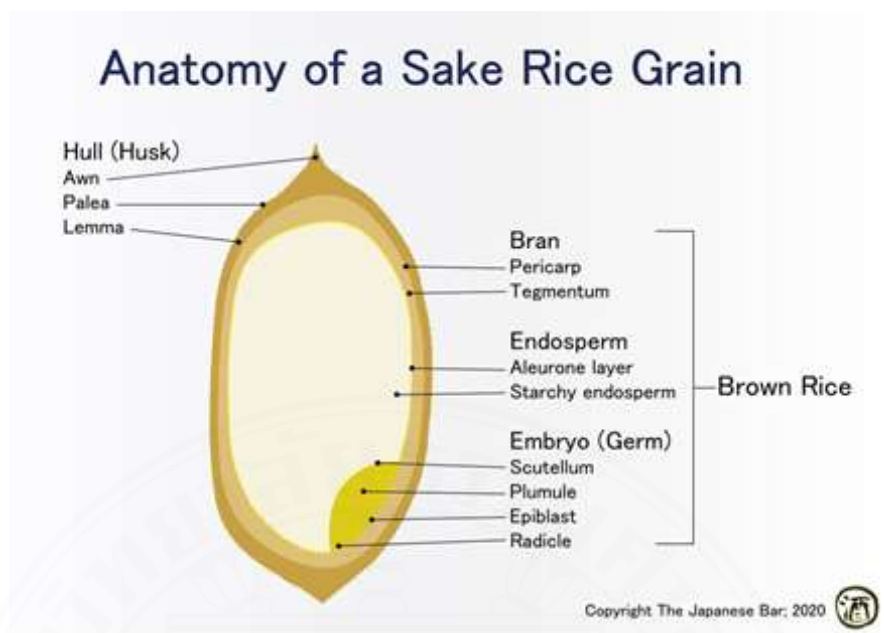
2.3.3 ผลของเส้นใยต่อจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร

ปริมาณเส้นใยในอาหารอาจเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของจุลินทรีย์ เส้นใยที่ละลายน้ำได้หลายชนิดทำหน้าที่เป็นพรีไบโอติกเมื่ออยู่ในอาหาร ซึ่งส่งเสริมการ

เจริญเติบโตของแบคทีเรียในลำไส้ที่เป็นประโยชน์และการผลิตกรดไขมันสายสั้นโดยตรง (Jha and Mishra, 2021) แต่ในทำนองเดียวกันเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในลำไส้ที่เป็นประโยชน์ (Jiménez-Moreno et al., 2016) การศึกษาของ Jorgensen et al. (1996) พบว่าการหมักของจุลินทรีย์สูงขึ้นโดยเพิ่มระดับ NSP ในขณะที่เส้นใยที่ไม่ละลายน้ำนั้นหมักได้ไม่ดี ข้อมูลทั้งหมดนี้ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ไม่ดีระหว่างปริมาณเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำกับองค์ประกอบและปริมาณของจุลินทรีย์ในลำไส้ อย่างไรก็ตาม เส้นใยที่ละลายน้ำได้มากเกินไปอาจทำให้เกิดผลเสียต่อลำไส้ได้

2.4 ข้าวเปลือก

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นหนึ่งในส่วนประกอบอาหารหลักของผู้คนเนื่องจากพิจารณาว่าเป็นอาหารของมนุษย์โดยตรงหรือโดยอ้อมเป็นอาหารสัตว์ จึงได้รับการยกย่องให้เป็นหนึ่งในพืชอาหารหลักที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญที่สุดของโลกในบรรดาธัญพืช (Verma and Srivastav, 2020) ข้าวมีต้นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เก็บเกี่ยวโดยยังมีเปลือกหรือแกลบติดอยู่ เรียกว่า “ข้าวเปลือก” หรือ “ข้าวหยาบ” ส่วนของเปลือก หรือแกลบ คิดเป็น 20% ของส่วนประกอบข้าวทั้งหมด องค์ประกอบหลักที่สำคัญของเมล็ดข้าวคือพอลิแซ็กคาไรด์ โปรตีน และไขมัน ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณภาพของเมล็ดข้าว การผลิตข้าวทั่วโลกส่วนใหญ่สายพันธุ์อินดิกา ซึ่งเป็นข้าวเกือบทั้งหมดที่ปลูกในเขตร้อนของเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ข้าวเป็นพืชหลักในประเทศไทยที่นิยมปลูกในฤดูฝนโดยใช้น้ำจากฝนมรสุม ประกอบด้วยพันธุ์ข้าวที่ไวต่อช่วงแสงแบบดั้งเดิม พันธุ์สมัยใหม่ที่ให้ผลผลิตสูงไม่ไวต่อช่วงแสงจะปลูกโดยใช้ระบบชลประทาน ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 1 ใน 4 ของพื้นที่นาข้าวของประเทศซึ่งมีการปลูกพืชพิเศษในฤดูแล้ง นอกเหนือจากพืชฤดูฝน และบางครั้งก็สามารถปลูกต่อเนื่องกัน 2-3 ครั้งต่อปี (Sommut, 2003)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของข้าวเปลือก

ที่มา: <https://thejapanesebar.com/sake-rice/anatomy-of-sake-rice-web/>

2.4.1 โครงสร้างของข้าวเปลือก

โครงสร้างของเมล็ดข้าวเปลือก (Paddy rice) (ภาพที่ 2.3) ประกอบด้วยเปลือกหุ้มเมล็ด (Hull) และเนื้อผล (Caryopsis) ในส่วนเปลือกหุ้มเมล็ดหรือกลีบ ประกอบด้วยเปลือกนอกใหญ่สองแผ่นประสานกัน เพื่อห่อ หุ้มส่วนที่อยู่ภายในไว้ เปลือกนอกใหญ่แผ่นนอก เรียกว่า เลมมา (Lemma) ส่วนเปลือกนอกใหญ่แผ่นใน เรียกว่า พาเลีย (Palea) ถูกยึดไว้ด้วยกันด้วยโครงสร้างคล้ายตะขอสองอัน เปลือกข้าวช่วยป้องกันส่วนเนื้อผล (Caryopsis rice) (Shewry, 2010) ส่วนประกอบเรียงลำดับจากชั้นนอกถึงชั้นในดังนี้ เยื่อหุ้มผล (Pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) เยื่อหุ้มชั้นใน (Aleurone layer) คัพภะ (Embryo) และ เอนโดสเปิร์ม (Endosperm) ในส่วนนี้จะประกอบด้วยเยื่อชั้นในสุด (Subaleurone) และส่วนของเนื้อสตาร์ช (Starchy endosperm) ซึ่งมีเม็ดสตาร์ช (Starch granule) ประมาณ 90% อัดตัวกันแน่น โดยมีโปรตีน 6-10% และไขมัน 0.5-1.2% แทรกอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ช (พิชญสิณี, 2558)

2.4.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

คาร์โบไฮเดรตหลักของข้าวคือแป้งซึ่งประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพคติน เมล็ดข้าวประกอบด้วยน้ำ 12% แป้ง 75%–80% เมล็ดข้าวที่เก็บเกี่ยวสดมีคาร์โบไฮเดรตประมาณ 80% ซึ่งรวมถึงแป้ง กลูโคส ซูโครส และเดกซ์ทริน และมีโปรตีนเพียง 7% พร้อมด้วยกรดอะมิโน

ครบถ้วน โปรตีนของข้าวสามารถย่อยได้สูง (93%) (Verma and Srivastav, 2020) มีแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และฟอสฟอรัส (P) ธาตุเหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และ แมงกานีส (Mn) (Oko et al., 2012) ปริมาณพลังงานรวมและค่าโภชนะของข้าวเปลือกเปรียบเทียบกับข้าวโพดแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานรวมและค่าโภชนะของข้าวเปลือกเปรียบเทียบกับข้าวโพด

รายการ	ข้าวเปลือก	ข้าวโพด
พลังงานรวม (kcal/kg)	3795.32	3530.14
วัตถุแห้ง (%)	88.45	88.30
โปรตีนรวม (%)	8.19	8.52
ไขมันรวม (%)	2.12	3.43
เถ้า (%)	3.40	1.68
เยื่อใยรวม (%)	11.25	2.49
NDF (%)	26.46	12.59
ADF (%)	14.21	3.47
แคลเซียม (%)	0.06	0.03
ฟอสฟอรัส (%)	0.25	0.27
ปริมาณแบ่งทั้งหมด (%)	61.79	55.52

ที่มา: ดัดแปลงจาก Yu et al. (2022)

2.4.2.1 คาร์โบไฮเดรต

(1) แป้ง

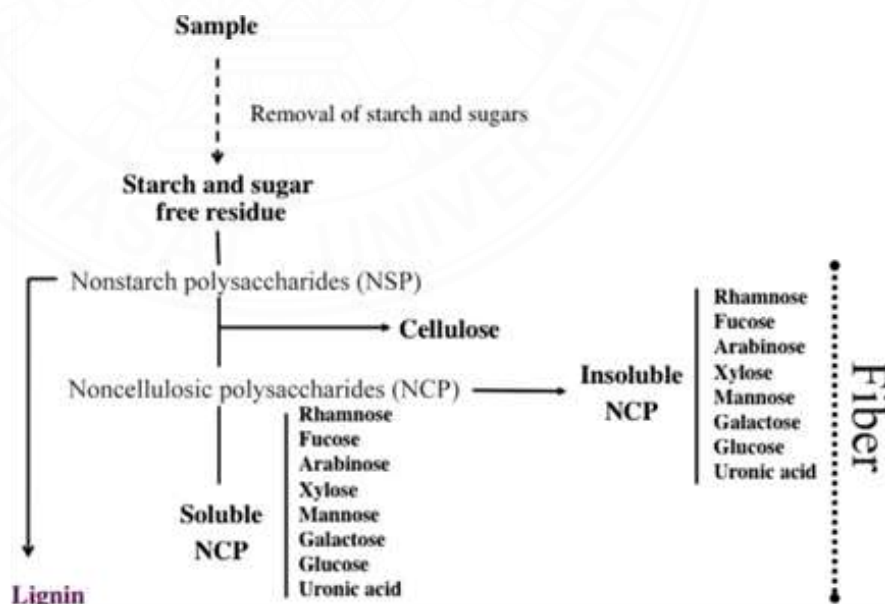
แป้งจากข้าวประกอบด้วยอะไมโลส 7-33% ของน้ำหนักเมล็ดข้าวสาร หรือ 8-37% ของปริมาณสตาร์ชทั้งหมด โดยอะไมโลส เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ประกอบด้วย โมเลกุลกลูโคสหลายๆโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นสายด้วยพันธะแอลฟา -1,4 ไกลโคซิดิก มีทั้งที่เป็น ส่วนประกอบของ อะไมโลเพคติน และเป็นสายเดี่ยวแทรกอยู่ในเมล็ดสตาร์ช ส่วนอะไมโลเพคติน เป็น สารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลส เชื่อมต่อกันเป็นกิ่งก้านด้วยพันธะแอลฟา -1,6 ไกลโคซิดิก มีการ จัดเรียงตัวเป็นแบบกระจายไปในแนวรัศมีชั้นๆในรูปของคลัสเตอร์ (Clusters) (พิชญสิณี, 2558)

(2) โพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง

พบมากในเปลือกหุ้มผลและเปลือกหุ้มเมล็ด ซึ่งเป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่อยู่ในรูปเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) ซึ่งประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส สารเพคติน และโปรตีนที่ติดอยู่ โดยแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ละลายน้ำ และกลุ่มที่ไม่ละลายน้ำ (พิชญสินี, 2558) โพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งกลุ่มที่ไม่ละลายน้ำ ประกอบด้วย เซลลูโลส ซึ่งเป็นสายพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสที่ต่อกันแบบ β -1,4 เป็นส่วนประกอบโครงสร้างหลักของพืชทั่วไป โดยเฉพาะผนังเซลล์ของพืชชั้นสูง โพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งกลุ่มที่ละลายน้ำ คือ ส่วนของ เฮมิเซลลูโลส ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของน้ำตาลหลายชนิด โครงสร้างภายในของเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วย ไซโลกลูแคน ไซแลน แมนแนน กลูโคแมนแนน และเบต้ากลูแคน พบในชั้นของผนังเซลล์ของพืช (Scheller and Uvlskov, 2010) โดยองค์ประกอบของโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง ลิกนิน และเส้นใยดังแสดงในภาพที่ 2.4

(3) น้ำตาลอิสระ

น้ำตาลอิสระที่พบมากในส่วนคัพภะและเนื้อเมล็ดของข้าวคือ ซูโครส (Sucrose) นอกจากนั้นจะเป็น แรฟฟิโนส (Raffinose) กลูโคส (Glucose) และฟรักโทส (Fructose) โดยพบว่าน้ำตาลทั้งหมดในคัพภะมีประมาณ 8-25% ในรำมีประมาณ 6.5% และในข้าวสารมีประมาณ 0.5% และน้ำตาลรีดิวซ์ที่พบมาก คือ กลูโคส และ ฟรักโทส (วรรณพร, 2558)



ภาพที่ 2.4 องค์ประกอบของโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง ลิกนิน และเส้นใย
ที่มา: Knudsen (2014)

2.4.2.2 ไขมัน

ไขมันที่พบในเมล็ดข้าวอยู่ในรูปแบบลักษณะเป็นหยดกลม (Lipid droplets) สามารถแบ่งประเภทจากลักษณะของไขมันได้เป็น 2 ส่วนใหญ่จากการสกัด คือ ไขมันที่สกัดจากแป้ง และไขมันที่ไม่ใช่มาจากแป้ง ไขมันที่พบในข้าวจะพบมากในส่วนของคัพพะและรำมากกว่าส่วนแกลบและเนื้อเมล็ด สำหรับองค์ประกอบของกรดไขมัน ในแกลบพบกรดไขมันโอเลอิกมากที่สุด ในขณะที่ข้าวสารพบพอลิติก และลิโนลินิกมากที่สุด (วรรณพร, 2558)

2.4.2.3 โปรตีน

โปรตีนในข้าวส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเยื่อหุ้มและคัพพะ ในข้าวสารปกติมีโปรตีนเพียง 5-10% โปรตีนในข้าวแบ่งออกเป็น 4 ชนิดตามสมบัติทางการละลาย คือ อัลบูมิน (Albumin) มีประมาณ 3.8-8.8% ของโปรตีนทั้งหมด เป็นโปรตีนที่ละลายน้ำ โกลบูลิน (Globulin) มีปริมาณ 9.6-10.8% ละลายได้ในน้ำเกลือ โปรลามิน (Prolamin) มีประมาณ 2.6-3.3% ละลายในเอทานอลเข้มข้น และกลูเตลิน (Glutelin) มีประมาณ 66-78% ละลายในน้ำที่เป็นกรดหรือด่างเพียงเล็กน้อย ซึ่งโปรตีนในข้าวมีกลูเตลินเป็นองค์ประกอบหลัก จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า โอริซีนิน (Oryzenin) ซึ่งจะเกาะอยู่บริเวณผิวของสตาร์ช เมื่อเกิดการเจลาติไนซ์เซชัน โปรตีนจะสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับแป้ง ทำให้สตาร์ชมีอัตราการดูดซับน้ำและเกิดการพองตัว ปริมาณกรดอะมิโนแต่ละชนิดในโปรตีนจากข้าวเปลือกไม่ต่างจากข้าวกล้องมาก (วรรณพร, 2558) โดยส่วนที่แยกได้จะมีปริมาณกรดอะมิโนต่างกันไป ซึ่งมีปริมาณกรดอะมิโนดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณกรดอะมิโนและแอมโมเนียในข้าวเปลือกและส่วนต่าง ๆ ของข้าวเปลือก

กรดอะมิโน	ข้าวเปลือก	ส่วนที่แยกได้		
		เปลือก	รำ	คัพพะ
อะลานีน	4.6-6.7	6.4-7.4	6.2-6.7	6.6-7.2
อาร์จินีน	7.2-10.0	4.2-4.9	8.2-8.7	9.7-10.4
กรดแอสพาร์ติก	7.2-11.0	9.0-10.9	9.5-10.5	9.1-10.6
ซีสทีน	1.2-3.0	1.9-2.1	2.4-2.7	2.6-2.8
กรดกลูตามิก	15.4-20.5	10.9-13.8	13.9-14.3	15.1-17.3
ไกลซีน	4.1-5.7	5.7-6.3	5.5-5.9	6.0-6.6
ฮิสทีดีน	1.6-2.9	1.7	2.8-3.5	3.4-3.8
ไอโซลิวซีน	3.2-5.0	3.4-4.2	2.8-4.3	3.2-3.8
ลิวซีน	7.2-9.2	8.4	7.2-8.0	6.9-7.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก อรอนงค์ (2538)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณกรดอะมิโนและแอมโมเนียในข้าวเปลือกและส่วนต่าง ๆ ของข้าวเปลือก (ต่อ)

กรดอะมิโน	ข้าวเปลือก	ส่วนที่แยกได้		
		เปลือก	รำ	คัพภะ
ไลซีน	3.4-4.9	4.0-5.7	5.0-5.7	6.2-7.4
เมไทโอนีน	1.6-3.6	1.6	1.8-2.4	1.4-1.9
เฟนิลอะลานีน	3.3-6.1	4.6-5.4	4.7-5.0	4.0-4.5
โปรลีน	3.9-6.3	6.8-10.8	4.4-5.8	4.3-5.0
เซอรีน	4.2-6.0	4.8-5.7	4.9-5.7	4.8-5.4
ทรีโอนีน	3.2-4.7	4.4-5.3	4.0-4.4	4.2-4.5
ทริปโตเฟน	1.3-2.1	0.6	0.6	1.0-1.4
ไทโรซีน	4.0-5.7	2.3	3.3-3.6	3.3-3.7
วาเลีน	4.8-7.4	5.8-7.9	5.1-6.3	5.1-6.3
แอมโมเนีย	1.4-6.8	2.6-8.5	1.8-7.2	1.8-9.7

ที่มา: ดัดแปลงจาก อรอนงค์ (2538)

2.5 เอนไซม์

เอนไซม์ที่ใช้ได้สำหรับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์นั้นได้มาจากจุลินทรีย์ (เชื้อราและแบคทีเรีย) ปัจจุบันไฟเตสครองตลาดอุตสาหกรรมการผลิตเอนไซม์ โดยครองส่วนแบ่ง 60% คาร์โบไฮเดรส 30% และส่วนที่เหลือ เช่น โปรตีเอส ไลเปส และอื่นๆ 10% (Adeola and Cowieson, 2011) การศึกษาของ Kiarie et al. (2014) ได้อธิบายบทบาทของเอนไซม์ในการปรับปรุงมูลค่าการผลิตของอาหารสำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยวนั้นมีบริบทแตกต่างกันดังนี้ 1) เกิดกระบวนการการไฮโดรไลซิสของพันธะเคมีจำเพาะในอาหารสัตว์ที่ไม่ได้รับการย่อยสลายอย่างเพียงพอหรือไม่ได้ย่อยสลายเลยด้วยเอนไซม์จากภายในตัวสัตว์ 2) กำจัดผลการห่อหุ้มสารอาหารของโพลีแซ็กคาไรด์ที่ผนังเซลล์ และทำให้แบ่ง กรดอะมิโน และแร่ธาตุพร้อมใช้งานมากขึ้น 3) เกิดการสลายตัวของปัจจัยต่อต้านโภชนาการที่มีอยู่ในส่วนผสมอาหารสัตว์หลายชนิด เช่น NSP ที่ละลายน้ำได้ และกรดไฟติก 4) การละลายของ NSP ที่ไม่ละลายน้ำเพื่อการหมักลำไส้ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และทำให้การใช้พลังงานโดยรวมดีขึ้น 5) การเสริมเอนไซม์ เช่น อะไมเลส โปรตีเอส และไลเปส ในสัตว์อายุน้อยเนื่องจากระบบย่อยอาหารยังไม่สมบูรณ์การผลิตเอนไซม์จึงอาจไม่เพียงพอ เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพที่เร่งปฏิกิริยาและออกฤทธิ์กับสารตั้งต้นหรือสารตั้งต้นที่จำเพาะ การเชื่อมโยงระหว่างเอนไซม์ และ จุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร สามารถเข้าใจได้ดีขึ้นจากสองมุมมอง หนึ่งคือผลกระทบของซีสเตรตโดยตัวมันเองต่อ

คุณลักษณะทางชีวเคมีของลำไส้และสรีรวิทยาของระบบทางเดินอาหาร (GIT) และในทางกลับกันคือการปรับเปลี่ยนผลกระทบเหล่านี้โดยการใช้เอนไซม์ ไปจนถึงขอบเขตที่ซับซ้อนถูกย่อยสลายหรือดัดแปลงใน GIT มุมมองนี้มีความสำคัญเนื่องจากเหตุผลสำหรับการพัฒนาและการประยุกต์ใช้เอนไซม์คือการกำหนดเป้าหมายสารตั้งต้นในอาหารบางชนิด เช่น ไฟเตต และ NSP ที่ไม่ได้ถูกย่อยสลายอย่างเพียงพอ ความหนืดของลำไส้ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก NSP ที่ละลายน้ำได้นั้นเป็นกลไกที่สำคัญที่สุดสำหรับการเจริญเติบโตที่ไม่ดีและการใช้ประโยชน์จากอาหารได้ลดลง (Choct et al., 1996; Bedford and Schulze, 1998)

2.5.1 เอนไซม์ย่อยแป้ง

แป้งเป็นโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดสะสมชนิดหนึ่งที่พบมากในพืช โครงสร้างทางเคมีของแป้งจะประกอบไปด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ 2 ชนิด ได้แก่ อะไมโลส และ อะไมโลเพกติน ซึ่งจะถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์อะไมเลส อะไมเลสมีลักษณะไม่ละลายน้ำ แต่อะไมโลเพกตินสามารถละลายน้ำได้ (El-Fallal et al., 2012)

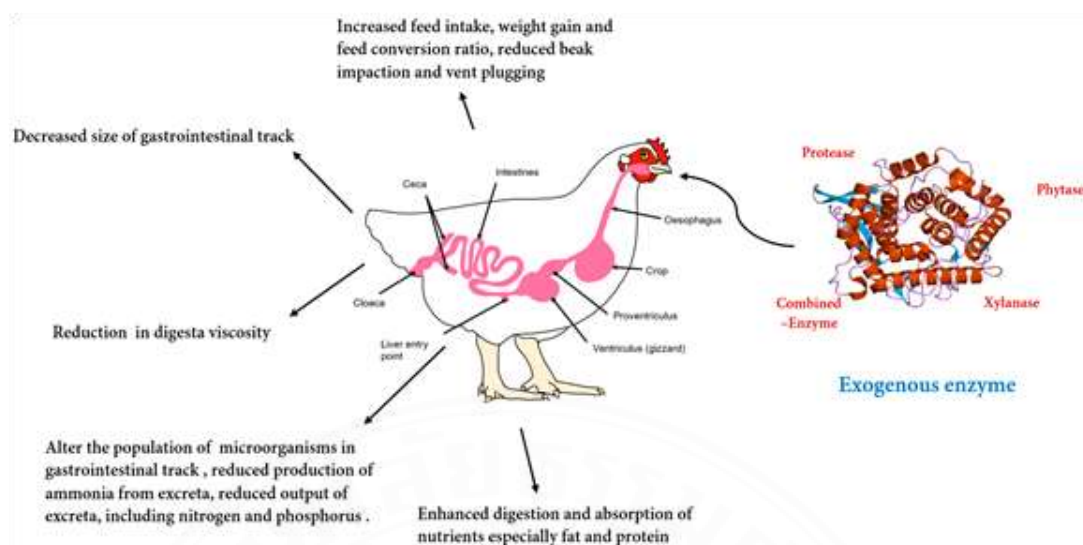
2.5.1.1 เอนไซม์อะไมเลส

แป้งสามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นน้ำตาลกลูโคส โดยเอนไซม์อย่างน้อย 3 ชนิด คือ แอลฟา-อะไมเลส เบต้า-อะไมเลส และ สตาร์ชฟอสโฟไลเอส เอนไซม์อะไมเลสเร่งปฏิกิริยาการสลายแป้งไปเป็นหน่วยย่อยที่ประกอบด้วยกลูโคส 2 โมเลกุลคือ มอลโตส จากนั้นมอลโตสจะถูกสลายต่อไปด้วยเอนไซม์มอลเตส เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส จะเร่งสลายพันธะ α -(1-4) ของอะไมโลสแบบสุ่มได้ Fragment 10 glucose subunit เรียกว่า Maltodextrins ซึ่งจะสลายไปเป็นมอลโตสซ้ำๆ โดย แอลฟา-อะไมเลส สามารถสลายพันธะ α -(1-4) ของอะไมโลเพกตินได้เช่นกัน แต่ไม่ตัด α -(1-6) branch points จึงเหลือ Limit dextrins ส่วน เบต้า-อะไมเลส ตัดหน่วยของมอลโตส เริ่มจาก Non-reducing end ถึง α -(1-6) branch points ให้ มอลโตส และ Limit-dextrins สำหรับสตาร์ชฟอสโฟไลเอส ตัดพันธะ α -(1-4) แต่ให้ Glucose-1-phosphate และต้องใช้ H_2O ในการตัดแต่ละพันธะ แป้งดิบมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ และต้านทานต่อการย่อยสลายของเอนไซม์ แป้งดิบจะไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ ต้องให้ความร้อนแก่แป้งให้อยู่ในรูปสารละลาย จะทำให้เกิดการ Gelatinization เกิดความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากแกรนูลของแป้งขยายตัวดูดซึมน้ำเข้าไป ทำให้สูญเสียลักษณะ birefringence และถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ได้เร็วขึ้น (Streb and Zeeman, 2012; Mondal et al., 2019) ปัจจุบันอะไมเลสได้เข้ามาแทนที่การไฮโดรไลซิสทางเคมีของแป้งในอุตสาหกรรมแปรรูปแป้งเกือบหมดแล้ว อะไมเลสที่ได้จากจุลินทรีย์มีการใช้งานทางอุตสาหกรรมในวงกว้าง เนื่องจากมีความเสถียรมากกว่าอะไมเลสจากพืชและสัตว์ ข้อได้เปรียบที่สำคัญของการใช้จุลินทรีย์ในการผลิต

อะไมเลส คือความสามารถในการผลิตจำนวนมากที่ประหยัด และจุลินทรีย์ยังง่ายต่อการจัดการ เพื่อให้ได้เอนไซม์ที่มีลักษณะตามที่ต้องการ (Pandey et al., 2000)

2.5.2 เอนไซม์ย่อยโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง

ในปัจจุบันพบว่าการเสริมเอนไซม์ในอาหารสัตว์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหารได้มากขึ้นรวมถึงปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตให้ดีขึ้น โดยประโยชน์ของเอนไซม์จากภายนอกแสดงในภาพที่ 2.5 การเสริมเอนไซม์ในกลุ่มที่สัตว์ผลิตเองไม่ได้ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยและการนำไปใช้ประโยชน์ของโภชนะ เช่นการเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใย (NSP-degrading enzyme) เพื่อช่วยย่อยผนังเซลล์พืช ทำให้เกิดการปลดปล่อยโภชนะที่อยู่ภายในผนังเซลล์พืชออกมา เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และแร่ธาตุ (งษชาติ, 2556) เอนไซม์จากภายนอกมักถูกเติมเข้าไปในอาหารเพื่อช่วยในการย่อยสารอาหารและการใช้พลังงานจากอาหารสัตว์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Hahn-Didde and Purdum, 2014) มีรายงานว่า การใช้เอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรตร่วมกันหลายตัวเช่น ไซลาเนส และเบต้า-กลูคาเนส ช่วยลดความหนืดของการย่อยโดยการไฮโดรไลซิสบางส่วนหรือทั้งหมดของ NSP ที่ละลายน้ำได้ ปรับปรุงประสิทธิภาพของสัตว์และการใช้สารอาหาร แต่ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและศักยภาพในการเผาผลาญของประชากรแบคทีเรีย (Hu'benner et al., 2002) และการศึกษาของ El-Full et al. (2000) แสดงให้เห็นว่าอาหารสัตว์ที่มีส่วนผสมของเอนไซม์ประกอบด้วย α -amylase, β -glucanase, Protease, Lipase และ Cellulase สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้น การใช้เอนไซม์จะช่วยกำจัดผลการห่อหุ้มสารอาหารของNSPในอาหารไก่เนื้อ ซึ่งจะช่วยให้ปรับปรุงการเข้าถึงสารอาหารสำหรับเอนไซม์ภายนอกและเพิ่มความสามารถในการย่อยอาหารโดยรวม (Meng and Slominski, 2005) การศึกษาแสดงให้เห็นว่าประเภทอาหารและการย่อยได้อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของเอนไซม์ NSP และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในลำไส้ (Kiarie et al., 2013, 2014) การศึกษาของ Jozefiak et al. (2004) แสดงให้เห็นว่าทั้งประเภทธัญพืชและการเสริมเอนไซม์จากภายนอกมีอิทธิพลต่อจุลินทรีย์ในไส้ติ่งไก่เนื้อ และลดจำนวนประชากร *Enterobacteriaceae* ที่ทำให้เกิดโรคได้ ซึ่ง NSP ในอาหารที่สัตว์ไม่สามารถย่อยได้ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของส่วนผสม เช่น ข้าวสาลีเทียบกับข้าวโพด ปริมาณและประเภทของ NSP ที่แตกต่างกันจะถูกส่งไปยังส่วนต่างๆ ของระบบทางเดินอาหาร (Kim et al., 2022) NSP เหล่านี้เป็นสารตั้งต้นหลักสำหรับจุลินทรีย์ในลำไส้เล็กและไส้ติ่ง ส่วนที่ไม่ละลายน้ำของ NSP ได้รับการพิสูจน์ว่ามีผลดีต่อสุขภาพของลำไส้ผ่านการเสริมสร้างกิจกรรมของจุลินทรีย์ในลำไส้ส่วนปลาย (Kheravii et al., 2018)



ภาพที่ 2.5 ประโยชน์ของเอนไซม์จากภายนอกที่มีต่อสุขภาพสัตว์ปีกและการย่อยได้

ที่มา: Sureshkumar et al. (2023)

2.5.2.1 เบต้า-กลูคาเนส

เบต้า-กลูคาเนส (β -glucanase) สามารถแยกได้จากพืชและจุลินทรีย์จะ ช่วยย่อยเยื่อใยชนิด เบต้า-กลูแคน รวมถึงสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในผนังเซลล์พืช ให้เป็น คาร์โบไฮเดรตน้ำหนักรวมเล็กลง โดยเฉพาะวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง เช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวไรน์ เป็นต้น ทำให้สัตว์กระเพาะเดี่ยวสามารถปลดปล่อยสารอาหารที่เป็นแหล่งพลังงานได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่ง ทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์หน่วยเบต้า-กลูแคน (β -glucan) ที่มีอยู่ในผนังเซลล์และเอนโดสเปิร์มของธัญพืช (Knudsen, 2014) เบต้า-กลูคาเนสมักถูกเลือกให้เป็นเอนไซม์ที่มีศักยภาพที่จะนำไปใช้ใน อุตสาหกรรม (Planas, 2000)

2.5.2.2 ไซลานเนส

ไซลานเนส (Xylanase) จัดอยู่ในประเภทเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรต ซึ่ง เอื้อต่อการไฮโดรไลซิสของพันธะไกลโคซิดิกที่มีอยู่ในสารประกอบน้ำตาลเชิงซ้อน มีบทบาทสำคัญใน การเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของการเชื่อมโยง 1,4- β -D-xylopyranosyl ที่มีอยู่ในไซแลน มีคุณสมบัติ ทนความร้อนได้สูง สามารถย่อยอะราบิโนไซแลนได้ดีทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ส่งผลให้ ความหนืดของอาหารลดลง และเยื่อใย NSPs ถูกย่อยได้เพิ่มขึ้น เพิ่มการปลดปล่อยสารอาหาร เช่น แป้ง และโปรตีน (Petry et al., 2020) การวิจัยเกี่ยวกับการเสริมไซลานเนสในไก่เนื้อแสดงผลเชิงบวก ในด้านความหนืดของทางเดินอาหารลดลง และความสามารถในการย่อยสารอาหารได้ดีขึ้น (Cowieson et al., 2005) และการศึกษาของ Cowieson et al. (2010) ศึกษาการเสริมเอนไซม์ไซ

ลาเนสในอาหารที่มีส่วนประกอบหลักจากข้าวโพดและถั่วเหลืองส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็น น้ำหนักดีขึ้นและการย่อยสลายอาหารในลำไส้เล็กดีขึ้นในไก่เนื้ออายุ 42 วัน และการเสริมโซลานอสช่วย ปรับปรุงพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏที่ปรับไนโตรเจน (AMEn) ในไก่เนื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีข้าว สาาลีเป็นส่วนประกอบหลัก (Pirgozliev et al., 2015)

2.5.2.3 เซลลูเลส

เซลลูเลส (Cellulase) เป็นเอนไซม์หลายชนิดที่ผลิตโดยเชื้อรา แบคทีเรีย และโปรโตซัว เซลลูเลสมีหน้าที่ย่อยเยื่อใยเซลลูโลส ทำให้ความสามารถในการอมน้ำของเยื่อใยใน อาหารลดลง ซึ่งส่งผลต่อการกินได้ และการเจริญเติบโตของสัตว์ที่ดีขึ้น และเมื่อเยื่อใยเซลลูโลสใน รั้วพืช หรือพืชตระกูลถั่วถูกย่อยแล้วสัตว์สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นแหล่งพลังงานได้ เซลลูเลสจะ สลายโมเลกุลเซลลูโลสออกเป็นโมโนแซ็กคาไรด์ เซลลูเลสถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มการย่อยได้ของอาหารที่ มีรั้วพืชเป็นส่วนประกอบหลัก และเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการสำหรับอาหารสัตว์ให้มีคุณภาพ (Baker and Wicker, 1996)

2.5.2.4 เพคตินเนส

เพคตินเนส (Pectinase) หมายถึงเอนไซม์ผสมที่ทำไฮโดรไลส์สารเพคติน ซึ่งส่วนใหญ่พบในจุลินทรีย์และพืชชั้นสูง ช่วยย่อยเยื่อใยประเภท เพคติน ส่วนใหญ่พบมากในผนัง เซลล์พืชทำหน้าที่ยึดเซลล์ให้เชื่อมประสานกัน จึงให้ผลดีในพืชตระกูลถั่วชนิดต่างๆ ช่วยย่อยเยื่อใย ลดความหนืดในทางเดินอาหาร รวมทั้งช่วยให้มีการดูดซึมสารอาหารได้เพิ่มมากขึ้น (Jayani et al., 2005) เพคตินเนสเกี่ยวข้องกับการเผาผลาญของผนังเซลล์ตลอดจนการเจริญเติบโตของเซลล์ การชรา ภาพ การสุกของผลไม้ การเกิดโรค และกระบวนการหลั่งรัง เพคตินเนสได้รับการใช้ในเชิงพาณิชย์จาก จุลินทรีย์โดยเฉพาะจากเชื้อรามาตั้งแต่ปี 1970 จากข้อมูลของคณะกรรมการเอนไซม์และสหภาพ ชีวเคมีระหว่างประเทศ เอนไซม์เพคตินเนสจัดอยู่ในกลุ่มเอนไซม์ไฮโดรเลส (Gurung et al., 2013)

2.5.2.5 ไฟเตส

ไฟเตส (Phytase) โดยในลำไส้เล็กของสัตว์กระเพาะเดี่ยวมีความสามารถ ที่ยังจำกัดในการสลายไฟเตต เนื่องจากไม่มีเอนไซม์ไฟเตสภายในที่มีศักยภาพ และมีจุลินทรีย์ในระบบ ทางเดินอาหารส่วนบนจำนวนค่อนข้างน้อย ปรากฏการณ์นี้ยังสามารถอธิบายการดูดซึมฟอสฟอรัส จากไฟเตตได้ต่ำ (Walz and Pallauf, 2002) โดยปกติฟอสฟอรัสจากพืชถึงสองในสามส่วนอยู่ในรูป ของกรดไฟติกหรือเกลือไฟเตท ซึ่งร่างกายของสัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถนำมาใช้ได้จึงขับออกกับ สิ่งขับถ่าย ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม มีการผลิตไฟเตสจากจุลินทรีย์บางชนิด เช่น กลุ่ม เชื้อรา *Aspergillus ficuum* และ *Aspergillus niger* กลุ่มยีสต์ *Saccharomyces occidentalis* กลุ่มแบคทีเรีย *Pseudomonas spp.* และ *Bacillus subtilis* การใช้เอนไซม์ไฟเตสสามารถช่วย

เพิ่มการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสสูงขึ้น 20.5-40.9% และแร่ธาตุอื่นๆ ในอาหารสัตว์ อาทิ แคลเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง (Pallauf et al., 1994)

มีการศึกษาหลายการศึกษารายงานผลต่อการใช้เอนไซม์ที่ใช้อยู่ NSP ต่อประสิทธิภาพการผลิตของไก่เนื้อในระยะต่างๆ การศึกษาของ Walker et al. (2024) ศึกษาการเสริมเอนไซม์คาร์โบไฮเดรส ที่ประกอบด้วย เพคติเนส ไฟเตส เบต้า-กลูคาเนส เซลลูเลส อะไมเลส และ ไซลาลเนส ที่ 200 กรัม/ตัน และ 400 กรัม/ตัน ในอาหารพื้นฐานที่มีข้าวโพดและถั่วเหลือง พบว่าในไก่อายุ 1-42 วัน การเสริมเอนไซม์ในระดับ 400 กรัม/ตัน ช่วยปรับปรุงค่า FCR ได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เสริมเอนไซม์ ($P<0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Wisniewska et al. (2023) ศึกษาการเสริมเอนไซม์คาร์โบไฮเดรส ที่ประกอบด้วย เซลลูเลส แมนนาเนส กาแลคทาเนส ไซลาลเนส กลูคาเนส อะไมเลส โปรติเอส ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์ พบว่ากลุ่มที่เสริมเอนไซม์ร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์มีค่า FCR ดีที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมเพียงอย่างเดียว ($P<0.05$)

Gao et al. (2008) ศึกษาการเสริมเอนไซม์ไซลาลเนสในอาหารข้าวสาลี พบว่าไก่เนื้อกลุ่มที่กินอาหารกลุ่มที่เสริมเอนไซม์ไซลาลเนสมีน้ำหนักตัวสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และปรับปรุงค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่กินอาหารข้าวสาลีเพียงอย่างเดียว ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ผลของการเสริมเอนไซม์ NSP ในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ

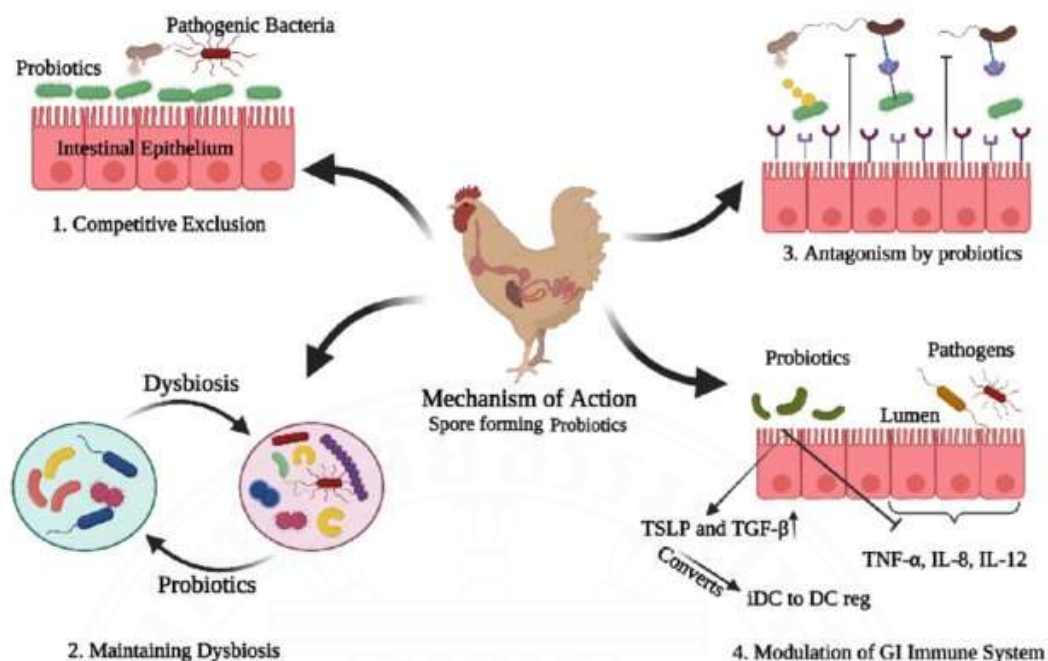
Enzymes	Age (day)	Treatment	FI (g)	BWG (g)	FCR (g/g)	References
คาร์โบไฮเดรส (เพคตินาส ไฟเตส เบต้า-กลูคาเนส เซลลู เลส อะไมเลส และ ไซลาลเนส)	0-21	Control เอนไซม์รวม 200 g/Mt เอนไซม์รวม 400 g/Mt	21.0 ¹ 20.6 20.4	- - -	1.45 ^b 1.42 ^{ab} 1.39 ^a	Walker et al. (2024)
ไซลาลเนส	49	Wheat Wheat + xylanase	4,026 4,169	1,652 ^b 1,775 ^a	2.43 ^a 2.34 ^b	Gao et al. (2007)
คาร์โบไฮเดรส (โปรติเอส อัลฟา-อะ ไมเลส เพคตินาส ไฟ เตส กลูโคอะไมเลส และ เซลลูเลส)	42	Control เอนไซม์รวม 250 g/ton เอนไซม์รวม 500 g/ton เอนไซม์รวม 750 g/ton	3,615 ^{ab} 3,650 ^a 3,586 ^{bc} 3,533 ^c	1,716 ^a 1,653 ^b 1,667 ^b 1,645 ^b	2.14 2.21 2.24 2.22	Zakaria et al. (2010)
คาร์โบไฮเดรส (เซลลูเลส แมน นาลาส กาแลคทาเนส ไซลาลเนส กลูคาเนส อะไมเลส โปรติเอส)	1-42	Control อิมัลซิไฟเออร์ เอนไซม์ อิมัลซิไฟเออร์+เอนไซม์	4,110 ^a 4,002 ^{bc} 4,054 ^{ab} 3,954 ^c	2,678 ^b 2,711 ^b 2,766 ^{ab} 2,798 ^a	1.60 ^a 1.54 ^b 1.52 ^b 1.46 ^c	Wisniewska et al. (2023)

หมายเหตุ : ^{a-c} Means within a column with no common superscripts differ significantly (P<0.05)

¹ Feed intake (kg/pen)

2.6 โพรไบโอติก

โพรไบโอติก ถูกให้คำจำกัดความว่า เป็นส่วนผสมของจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ซึ่งหากให้ในปริมาณที่เพียงพอจะเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพผู้รับ (Smith, 2014) มีรายงานการใช้โพรไบโอติกในห่วงโซ่สัตว์ปีกตั้งแต่ปี 1973 ในการควบคุมเชื้อ *Salmonella* ในไก่เนื้อ (Nurmi and Rantala, 1973) โดยสิ่งสำคัญที่จะถูกพิจารณาถึงความเป็นโพรไบโอติกได้คือ ไม่ก่อให้เกิดโรค มีความสามารถในการยึดติดเซลล์เยื่อผิว มีความสามารถในการก่อตั้งอาณานิคมและขยายตัวในโฮสต์ สามารถมีชีวิตรอดในระบบทางเดินอาหารได้ ทนต่อกรดในกระเพาะอาหารและน้ำดี สามารถผลิตสารยับยั้งแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค ผ่านการทดสอบในหลอดทดลองและในร่างกายแล้วว่าเป็นประโยชน์ และ ควรจะสามารถคงอยู่ได้ภายใต้กระบวนการการผลิต และสภาวะการเก็บรักษา (Kabir, 2009) ผลของการใช้โพรไบโอติกขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น องค์ประกอบของส่วนผสม เวลาที่ใช้ในการให้ และแหล่งที่มาของจุลินทรีย์ (Chambers and Gong, 2011) จากการศึกษาหลายการทดลองพบว่าการเสริมโพรไบโอติกมีผลอย่างเห็นได้ชัดต่อคุณลักษณะของซากและพบว่ามือน้ำหนักตัวสูงขึ้นในไก่เนื้อที่เลี้ยงด้วยโพรไบโอติก (Aksu et al., 2005; Tayeri et al., 2018; Sumanu et al., 2021) นอกจากนี้ การเสริมโพรไบโอติดยังส่งผลเชิงบวกต่อน้ำหนักของตับ ลำไส้ และกระเพาะ (Joysowal et al., 2018) สอดคล้องกับการศึกษาของ Sadati et al. (2022) ที่แสดงให้เห็นว่าโพรไบโอติกสามารถปรับปรุงคุณภาพซากโดยรวมได้ และการเติมกรดยังส่งผลต่อน้ำหนักของกินอีกด้วย ซึ่งอาจบ่งบอกถึงการย่อยอาหารที่ดีขึ้น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าโพรไบโอติกมีอิทธิพลเชิงบวกต่อสัณฐานวิทยาของลำไส้ (Dong et al., 2016) ความหลากหลายและโครงสร้างของจุลินทรีย์ การย่อยได้ของสารอาหาร (Rodjan et al., 2017) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Inatomi and Otomaru, 2018) และการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน (Junaid et al., 2018)



ภาพที่ 2.6 กลไกการทำงานของโปรไบโอติก

ที่มา: Khalid et al. (2022)

2.6.1 กลไกการทำงานของโปรไบโอติก

รูปแบบการออกฤทธิ์ของโปรไบโอติกในสัตว์ปีก (ภาพที่ 2.6) ได้แก่ รักษา จุลินทรีย์ในลำไส้ให้เป็นปกติโดยการกีดกันทางการแข่งขันและการเป็นปรปักษ์กัน การเปลี่ยนแปลง การเผาผลาญโดยการเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหาร ลดการทำงานของเอนไซม์จากแบคทีเรีย การผลิตแอมโมเนีย การปรับปรุงการบริโภคอาหารและการย่อยอาหาร และกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน (Kabir, 2009) เปรียบเทียบผลของโปรไบโอติกและยาปฏิชีวนะกับอาหารมาตรฐาน เมื่อใช้ร่วมกับยา ปฏิชีวนะพบว่าเยื่อเมือกในลำไส้ได้รับความเสียหายโดยมีข้อบกพร่องเพิ่มขึ้นที่ส่วนปลายของวิลไลใน ลำไส้ และการเปลี่ยนแปลงของชั้นเมือกในลำไส้ ในทางกลับกันการให้โปรไบโอติกให้ผลตรงกันข้าม กล่าวคืออาหารที่อุดมด้วยการเตรียมโปรไบโอติกทำให้เกิดการพัฒนาของลำไส้ (Park et al., 2016) องค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของจุลินทรีย์คือแหล่งเก็บยีนที่เข้ารหัสเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการ เปลี่ยนแปลงทางเมตาบอลิซึม สัตว์ปีกไม่มีเอนไซม์ที่ผลิตโดยลำไส้ หรือการไฮโดรไลซิสไกลโคซิดิก ซึ่งจำเป็นสำหรับการกระจายตัวของโพลีแซ็กคาไรด์ ดังนั้นการมีแบคทีเรียจึงช่วยและอำนวยความสะดวกในกระบวนการนี้ (Mousavi et al., 2022) องค์ประกอบของจุลินทรีย์ยังได้รับอิทธิพลจาก ปัจจัยอื่นๆ เช่น ปริมาณและคุณภาพของสารอาหาร หรือองค์ประกอบและความสมดุลของอาหาร (Freter, 1992) การปรับเปลี่ยนเล็กน้อยนี้มักเกี่ยวข้องกับการเพิ่มจำนวนของ *Bifidobacterium*

spp. และ *Lactobacillus* spp. แบคทีเรียซึ่งมีจำนวนมากที่สุดในองค์ประกอบของจุลินทรีย์ในลำไส้ และผลกระทบอื่นๆ ได้แก่ กิจกรรมที่ลดลงของเอนไซม์แบคทีเรีย และลดค่า pH ของอุจจาระ (Ashraf and Shah, 2014) กลไกการออกฤทธิ์ขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ของจุลินทรีย์โปรไบโอติกกับเซลล์เยื่อเมือกซึ่งกระตุ้นให้เกิด CD-206 และเซลล์ Toll-like receptor (TLR)-2 ที่จำเพาะ ซึ่งการลดลงของ pH ในสภาพแวดล้อมในลำไส้มีสาเหตุมาจากความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของกรดอะซิติก กรดแลคติก และกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) สภาพแวดล้อมที่เป็นกรดเอื้อต่อการพัฒนาจุลินทรีย์ในลำไส้ สนับสนุนการแข่งขันกับจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และสนับสนุนกลไกการป้องกันตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต (Park et al., 2016)

2.6.2 *Bacillus subtilis*

B. subtilis เป็นหนึ่งในแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติเป็นโปรไบโอติกที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในไก่เนื้อ เนื่องจากมีประโยชน์ในวงกว้าง ตั้งแต่การปรับปรุงเซลล์โมเลกุลไปจนถึงการเจริญเติบโตและประโยชน์ต่อสุขภาพ ในทศวรรษที่ผ่านมา มีความก้าวหน้าอย่างมากในการใช้เชื้อบาซิลลัสในไก่เนื้อ (El-Hack et al., 2020) ไม่เพียงแต่เป็นสารเพิ่มการเจริญเติบโตเท่านั้น แต่ยังเป็น การป้องกันโรคด้วย (Hayashi et al., 2018; Whelan et al., 2019) *B. subtilis* มีความสามารถในการทนทานต่อสภาวะที่รุนแรงได้สูงและมีเสถียรภาพมากกว่าในกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงเมื่อเปรียบเทียบกับโปรไบโอติกสายพันธุ์อื่นๆ (Ramlucken et al., 2020) ทำให้บาซิลลัสเป็นสารเติมแต่งอาหารสัตว์ที่เหมาะสมและมีแนวโน้มมากขึ้นในการรับมือกับความรวดเร็วในการเปลี่ยนแปลงปฏิชีวนะ นอกจากนี้ การศึกษาจำนวนมากได้แสดงให้เห็นว่า *B. subtilis* เพิ่มความสมบูรณ์ของสิ่งกีดขวางในลำไส้ เสริมสร้างภูมิคุ้มกันของเยื่อเมือก ช่วยให้อาหารของเอนไซม์ย่อยอาหารได้ดีขึ้น และการเผาผลาญสารอาหารโดยการควบคุมของจุลินทรีย์ในลำไส้ (Yaqoob et al., 2022; Zou et al., 2022) *B. subtilis* ถูกนำมาใช้กันทั่วไปเนื่องจากมีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์มากมาย ซึ่งรวมถึง การควบคุมสมดุลทางจุลินทรีย์ในลำไส้ เพิ่มการใช้สารอาหาร และส่งเสริมการเจริญเติบโตและ พัฒนาการของสัตว์ในไก่เนื้อ (Gao et al., 2017; Sen et al., 2012) การศึกษาในหลอดทดลองและในสัตว์ทดลองแสดงให้เห็นว่า 90% ของสปอร์ของ *B. subtilis* เจริญเติบโตในส่วนต่างๆของทางเดินอาหารภายใน 60 นาทีเมื่อมีอาหารอยู่ในทางเดินอาหาร (Latorre et al., 2014) นอกจากนี้ การใช้ อาหารสัตว์ปีกที่แตกต่างกันในหลอดทดลอง เช่น อาหารที่มีข้าวไรย์ ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และอาหาร ที่มีข้าวโอ๊ตเป็นส่วนประกอบหลัก การเสริมโปรไบโอติก *Bacillus* -DFM ในอาหารสัตว์ปีก ส่งผลให้ ทั้งความหนืดของลำไส้และ *Clostridium perfringens* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Latorre et al., 2015)

เนื่องจากเป็นโปรไบโอติกที่ไม่ก่อให้เกิดโรค *B. subtilis* จึงมักถูกใช้เป็นสารเติมแต่งจุลินทรีย์เพื่อปรับปรุงการทำงานของลำไส้ในสัตว์ พบว่าส่งเสริมการเจริญเติบโตของสัตว์และ

ป้องกันโรค (Lee, 2019) สามารถผลิตได้ในรูปแบบของเอนโดสปอร์ ซึ่งเข้าสู่ทางเดินอาหารลำไส้ของสัตว์และกระตุ้นใหม่อย่างรวดเร็วเพื่อหลังโปรตีนที่มีฤทธิ์สูง เช่น ไลเปส และ อะไมเลสในลำไส้ส่วนบน ซึ่งมีประโยชน์ในการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนในพืช นอกจากนี้ *B. subtilis* ยังสามารถผลิตโพลิเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ต้านจุลชีพในลำไส้ ซึ่งช่วยปรับปรุงการย่อยอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Olmos et al., 2020) *B. subtilis* เป็นแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน จึงมีส่วนช่วยในสภาพแวดล้อมแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยการบริโภคออกซิเจนในลำไส้ ซึ่งในทางกลับกันจะส่งเสริมการสืบพันธุ์ของแบคทีเรียที่โตเด่นในลำไส้ โดยรักษาสสมดุลทางนิเวศวิทยาของลำไส้โดย *B. subtilis* สามารถหลั่งเปปไทด์ต้านจุลชีพและแบคทีเรียโอซินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำหลายชนิด เช่น surfactin (Kim et al., 2010) การก่อตัวเป็นไบโอฟิล์มของจุลินทรีย์จะช่วยเพิ่มความสามารถของจุลินทรีย์ในการเผาผลาญสารอาหารและผลิตสารเคมี และสามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของกระบวนการหมักได้ (Mahdinia et al., 2019) การศึกษาพบว่า การเสริมอาหารด้วย *B. subtilis* HW2 ที่ 5×10^6 CFU/g ช่วยเพิ่มความสูงของวิลลัส และสามารถบรรเทาอาการของลำไส้ที่เกิดจากการติดเชื้อในลำไส้อักเสบแบบเนื้อตายได้ (Sun et al., 2020) การศึกษาของ Hadieva et al. (2021) รายงานว่า *B. subtilis* GM5 เพิ่มดัชนี Observed (OTUs) และ Chao1 ของจุลินทรีย์ในลำไส้ในไก่เนื้อ ลดความอุดมสมบูรณ์ของ *Turicibacter* และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของ *Erwinaceae* ในไก่เนื้ออายุ 28 วัน และในวันที่ 42 ลดความอุดมสมบูรณ์ของ *Barnesiellaceae*, *Barnesiella* และ *Alistipes* ซึ่งมีรายงานว่า *Barnesiella* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ ADG ความสูงของวิลลัส และอัตราส่วน วิลลัส/คริปส์ ของไก่เนื้อ (Zhao et al., 2023)

2.6.3 *Bacillus amyloliquefaciens*

Bacillus amyloliquefaciens (OG Ba) เป็นแบคทีเรียที่จัดอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียแกรมบวก ชนิดแอโรบิก ก่อตัวเป็นเอนโดสปอร์ มีรูปร่างเป็นแท่ง จัดอยู่ในวงศ์ *Bacillaceae* คลาส *Bacilli* และไฟลัม *Firmicutes* ในทางอนุกรมวิธาน OG Ba เป็นของ สายพันธุ์ *B. subtilis* ที่ซับซ้อนเป็นที่รู้จักในชื่อแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (PGPB) เนื่องจากความสามารถในการตรึงไนโตรเจน ละลายฟอสเฟต และผลิตไฮโดรฟอรัล และไฟโตฮอร์โมน รวมถึงสารประกอบต้านจุลชีพ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสามารถผลิตเอนไซม์หลายชนิดรวมถึง แอลฟา-อะไมเลส โปรตีนเอส ไลเปส เซลลูเลส ไซลันเนส เพคติเนส อะมิโนทรานสเฟอเรส บาร์นาส เปอร์ออกซิเดส และแลคเคส (Zakataeva et al., 2010; Ngalimat et al., 2021) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่ามีความสัมพันธ์เป็นโปรไบโอติก และถูกนำมาใช้เป็นโปรไบโอติกสำหรับสัตว์ (Ryu et al., 2018) *B. amyloliquefaciens* เป็นโปรไบโอติกอเนกประสงค์ในอุตสาหกรรม มีศักยภาพที่สำคัญในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคและเพิ่มการดูดซึมสารอาหาร (Zhang et al., 2020; Horyanto et al.,

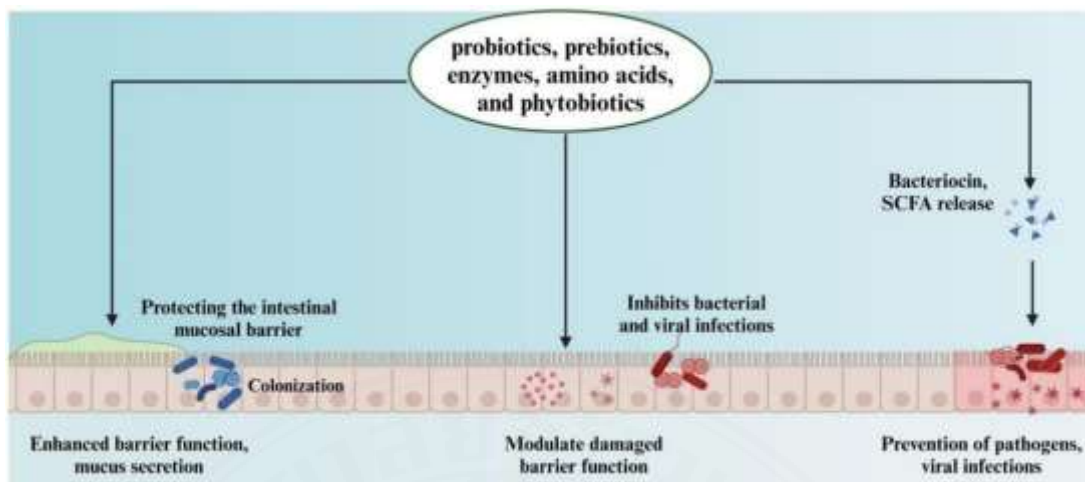
2024) *B. amyloliquefaciens* ส่งผลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพสัตว์ปีก เช่น น้ำหนักตัว น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณการกินอาหาร และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (Shini et al., 2020)

Li et al. (2022) ศึกษาการใช้โปรไบโอติกสายพันธุ์ *B. amyloliquefaciens* 2.5×10^{10} CFU/kg ในอาหารไก่เนื้อ พบว่าไก่เนื้อที่กินอาหารในกลุ่มที่เสริมด้วยโปรไบโอติก (BA) มีค่า BW สูงกว่ากลุ่มควบคุม (CON) และมีค่า ADG สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในช่วงอายุ 22-42 วัน และผลการตรวจสอบด้านความหลากหลายของจุลินทรีย์พบว่าจำนวนของ *Bacteroidetes*, *Deinococcus-Thermus* และ *Verrucomicrobia* มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ($P < 0.05$) ในกลุ่ม BA มากกว่าในกลุ่ม CON และที่ระดับสกุลแบคทีเรีย 15 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณสัมพันธ์ของแบคทีเรีย *Acinetobacter*, *Muribaculaceae*, *Ruminococcaceae*, *Cupriavidus*, *Vagococcus*, *Akkermansia*, *Blautia* และ *Alistipes* พบว่าโดดเด่นที่สุดในกลุ่ม BA ($P < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ahmed et al. (2014) ที่ได้รายงานไว้ว่า *B. amyloliquefaciens* มีส่วนทำให้การเจริญเติบโตดีขึ้นผ่านการควบคุมภูมิคุ้มกันโดยการเพิ่มการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกันของเยื่อเมือกในลำไส้เล็กส่วนต้นและยีนที่ควบคุมการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันแบบปรับตัว

การวิเคราะห์ความอุดมสมบูรณ์ในชุมชนจุลินทรีย์แสดงให้เห็นว่า *B. amyloliquefaciens* สามารถชักนำให้เกิดแบคทีเรียที่ช่วยเสริมสมรรถนะที่แตกต่างกันในระดับอนุกรมวิธาน ในระดับไฟลัมพบว่ามีแบคทีเรีย *Bacteroidetes* และ *Verrucomicrobia* เพิ่มมากขึ้นในไก่เนื้อที่เสริมด้วย BA หน้าที่ของ *Bacteroidetes* มีสัมพันธ์เชิงบวกกับการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และเส้นใย (Rajilić-Stojanović et al., 2011; Huo et al., 2014) พบว่าแบคทีเรียกลุ่ม *Verrucomicrobia* ที่พบจากการเสริม BA ช่วยปรับปรุงการเผาผลาญกลูโคสในสัตว์ และการเพิ่มจำนวนของ *Verrucomicrobia* อาจส่งผลให้จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคลดลง เช่น *Escherichia* และ *Shigella* (Shin et al., 2014)

2.7 การศึกษาที่ใช้โปรไบโอติกร่วมกับเอนไซม์

ในปัจจุบันเอนไซม์และโปรไบโอติกได้รับการสนใจมากขึ้นในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เนื่องจากเป็นสารเสริมที่มีบทบาทที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพสัตว์ปีก ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 บทบาทของโปรไบโอติก พรีไบโอติก เอนไซม์ กรดอะมิโน และไฟโตไบโอติกในการเสริมสร้างเกราะป้องกันลำไส้และป้องกันการติดเชื้อ

ที่มา: Yue et al. (2024)

การเสริมอาหารด้วยเอนไซม์และโปรไบโอติกร่วมกันสามารถปรับปรุงสุขภาพของลำไส้ได้โดยไม่ส่งผลเสียต่อองค์ประกอบของจุลินทรีย์ในลำไส้ เนื่องจากโปรไบโอติกมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ย่อยสลายเส้นใย ซึ่งอาจเสริมการทำงานของเอนไซม์จากภายนอก นอกจากนี้เอนไซม์ย่อยอาหารจากภายนอกช่วยเพิ่มความพร้อมของสารตั้งต้นที่เหมาะสมสำหรับโปรไบโอติก (Adeoye et al., 2016)

Wang et al. (2021) ได้ศึกษาการใช้โปรไบโอติกสายพันธุ์ *B. subtilis* DSM29784 ร่วมกับเอนไซม์รวมที่ประกอบด้วย Beta-glucanase และ Xylanase ที่ 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในอาหาร ผลลัพธ์แสดงว่าการเสริมเอนไซม์ หรือโปรไบโอติก เพียงอย่างเดียวหรือรวมกัน ช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของไก่เนื้อ เพิ่มความหลากหลายของจุลินทรีย์ในลำไส้อย่างมีนัยสำคัญและเพิ่มกิจกรรมไลเปสในเยื่อลำไส้เล็กส่วนต้นอย่างเห็นได้ชัด และการเสริมโปรไบโอติกร่วมกับเอนไซม์ ส่งผลให้ปริมาณ *Fournierella*, *Bilophila*, *Odoribacter*, *Fournierella Massiliensis* และ แบคทีเรีย *New Zealand D* ในไส้ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งบ่งชี้ว่าการเสริมเอนไซม์ โปรไบโอติก และเอนไซม์ร่วมกับโปรไบโอติกช่วยลดจุลินทรีย์ก่อโรคในทางเดินอาหารของไก่เนื้อ

การศึกษาของ Luo et al. (2023) กล่าวว่า การเติมไซลานเนสและโปรไบโอติกในอาหารข้าวโพดที่เพิ่งเก็บเกี่ยวจะช่วยลดผลกระทบต่อน้ำกัดขวางในลำไส้โดยการลดปริมาณเพนโตซานที่ละลายน้ำได้และปัจจัยด้านโภชนาการโดยพบว่า จากการศึกษาการใช้โปรไบโอติกร่วมกับไซลานเนส

(XL+BCC) ในอาหารไก่เนื้อเชิงพาณิชย์ช่วยเพิ่มความสูงของวิลไลในลำไส้อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) และช่วยเพิ่มกรดอะซิติกและกรดบิวริกในไส้ติ่งอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) และการศึกษาของ นัสวัล และ ปิยะพันธุ์ (2565) ศึกษาการเสริมโปรไบโอติกและเอนไซม์ในน้ำดื่มในไก่เนื้ออายุ 0-35 วัน ผลการทดลองพบว่าค่าน้ำหนักสุดท้าย และค่าปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อวันมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และช่วยปรับปรุงค่า FCR อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และการเสริมโปรไบโอติกพร้อมกับเอนไซม์ในน้ำดื่มส่งผลให้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคลดลง ซึ่งได้แก่ *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, และ *Clostridium perfringens* และช่วยเพิ่มจุลินทรีย์ตัวดีได้แก่ *Lactobacillus* spp. ($P<0.05$) โดยเชื้อ *C. perfringens* ได้รับการรายงานว่าเป็นสาเหตุของลำไส้อักเสบแบบไม่แสดงอาการในไก่เนื้อ ก่อให้เกิดสารพิษและเป็นสาเหตุของโรคในมนุษย์ (Mora et al., 2020)



บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 วิธีการและขั้นตอนการศึกษา

3.1.1 จรรยาบรรณการใช้สัตว์

การทดลองนี้ดำเนินการอย่างมีจริยธรรมตามแนวทางการดูแลสัตว์และการใช้สัตว์ทดลองในการวิจัยโดยได้รับการอนุมัติโดยคณะกรรมการดูแลและการใช้สัตว์ FRIC-ACUP หมายเลข 2508002

3.1.2 การวางแผนการทดลอง

ดำเนินการทดลองในรูปแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomize Design; CRD) แบ่งเป็น 4 กลุ่มการทดลอง กลุ่มการทดลองละ 6 ซ้ำ โดยมีกลุ่มการทดลอง ดังนี้
 กลุ่มการทดลองที่ 1 อาหารพื้นฐานที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบ 20% (T1)
 กลุ่มการทดลองที่ 2 อาหารกลุ่มควบคุมเสริมด้วยเอนไซม์รวม 100 กรัม/ตัน (T2)
 กลุ่มการทดลองที่ 3 อาหารกลุ่มควบคุมเสริมด้วยโปรไบโอติก 50 กรัม/ตัน (T3)
 กลุ่มการทดลองที่ 4 อาหารกลุ่มควบคุมเสริมด้วยเอนไซม์รวมและโปรไบโอติก 100 และ 50 กรัม/ตัน (T4)

3.1.3 การจัดการโรงเรือนและสัตว์ทดลอง

3.1.3.1 สัตว์ทดลอง

ไก่เนื้อเพศผู้พันธุ์ ROSS 308 อายุ 1 วัน จำนวน 514 ตัว แบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 4 กลุ่มการทดลอง กลุ่มการทดลองละ 6 ซ้ำ ซึ่งน้ำหนักและสุ่มเข้าสู่หน่วยทดลองจำนวน 21 ตัวต่อกรง ทำการเลี้ยงตั้งแต่อายุ 1-35 วัน ไก่เนื้อได้รับวัคซีนตามมาตรฐานจากโรงฟัก

3.1.3.2 การจัดการอาหารและน้ำ

ไก่เนื้อได้รับน้ำสะอาดและให้กินอาหารแบบเต็มที่ (*ad libitum*) โดยช่วง 1-14 วันไก่เนื้อได้รับอาหารแบบเม็ดบี้ (crumble) และตั้งแต่อายุ 15-35 วันจะเปลี่ยนเป็นอาหารแบบเม็ดใหญ่ (pellet) โดยอาหารทุกสูตรมีค่าโภชนะพลังงานและโปรตีนเพียงพอต่อความต้องการของไก่เนื้อ

3.1.3.3 การจัดการโรงเรือน

ไก่เนื้อเลี้ยงในโรงเรือนระบบปิด และใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหย (EVAP) ในการควบคุมสภาวะอากาศในโรงเรือน ไก่เนื้อได้รับแสงตามระบบโรงเรือน โดยในวันแรกจะเปิดไฟเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และค่อยๆ ลดเวลาลงวันละ 1 ชั่วโมงจนเมื่ออายุ 7 วัน แสงจะเปิดเป็น 16

ข้าวโม่จนถึงอายุ 35 วัน อุณหภูมิภายในโรงเรือนในช่วงกักอยู่ที่ 36 องศาเซลเซียส และค่อยๆ ลดลง เป็น 25 องศาเซลเซียสเมื่ออายุ 14-35 วัน ระดับความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 60-70% ตามคำแนะนำของ Aviagen (2018)

3.1.4 สารเสริมสำหรับทดลอง

สารเสริมที่ใช้คือ 1) เอนไซม์ทางการค้า ที่ประกอบไปด้วย เอนไซม์ไซลาเนส เบต้า-กลูคาเนส เซลลูเลส และไซโลกลูคาเนส 100 กรัม/ตัน และ 2) โปรไบโอติกทางการค้าชนิดผง ที่ประกอบไปด้วย *B. subtilis* DSM32325, *B. subtilis* DSM32324 และ *B. amyloliquefaciens* DSM25840 50 กรัม/ตัน ผสมลงในสูตรอาหารทดลอง

3.1.5 อาหารทดลอง

อาหารทดลองมี 4 สูตร ประกอบด้วย (T1) อาหารกลุ่มควบคุม คืออาหารที่มี ข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบ 20% ไม่มีการเสริมเอนไซม์และโปรไบโอติก (T2) อาหารควบคุม เสริมด้วย NSP เอนไซม์ทางการค้าที่ประกอบด้วย เอนไซม์ไซลาเนส เบต้า-กลูคาเนส เซลลูเลส และไซโลกลูคาเนส 100 กรัม/ตัน (T3) อาหารควบคุม เสริมด้วยโปรไบโอติกทางการค้า ที่ประกอบด้วย *B. subtilis* DSM32325, *B. subtilis* DSM32324 และ *B. amyloliquefaciens* DSM25840 50 กรัม/ตัน (T4) อาหารควบคุม ที่เสริมเอนไซม์ทางการค้าที่ประกอบด้วย เอนไซม์ไซลาเนส เบต้า-กลูคาเนส เซลลูเลส และไซโลกลูคาเนส 100 กรัม/ตัน ร่วมกับโปรไบโอติกทางการค้า ที่ประกอบด้วย *B. subtilis* DSM32325, *B. subtilis* DSM32324 และ *B. amyloliquefaciens* DSM25840 50 กรัม/ตัน องค์ประกอบของสูตรอาหารและผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 โดยค่าพลังงานรวมถูกวิเคราะห์โดยเครื่อง Bomb calorimeter ด้วยวิธี Isoperibol ตามวิธีของ AOAC (2000) และการตรวจสอบค่าโภชนะ ได้แก่ ความชื้น โปรตีนหยาบ ไขมัน เยื่อใย NDF ADF และเถ้า โดยวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการผลิตภัณฑ์อาหารกรุงเทพ (ถนนบางนา-ตราด กม.21 สมุทรปราการ)

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของวัตถุดิบและองค์ประกอบทางโภชนาการของอาหารไก่เนื้อแต่ละกลุ่มการทดลอง ในแต่ละช่วงอายุ (%)

Ingredient and analysis	Starter (1-14 days)				Grower (15-28 days)				Finisher (29-35 days)			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Feed ingredients (%)												
Corn	29.24	29.24	29.24	29.24	15.80	15.80	15.80	15.80	29.70	29.70	29.70	29.70
Paddy rice	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Wheat	4.20	4.20	4.20	4.20	15.00	15.00	15.00	15.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Full fat soy	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	15.00	15.00	15.00	15.00
SBM	28.00	28.00	28.00	28.00	21.83	21.83	21.83	21.83	14.30	14.30	14.30	14.30
Rice bran	3.00	3.00	3.00	3.00	10.50	10.50	10.50	10.50	10.10	10.10	10.10	10.10
fresh Palm kernel oil	1.60	1.60	1.60	1.60	3.30	3.30	3.30	3.30	2.50	2.50	2.50	2.50
Premix	3.97	3.97	3.97	3.97	3.58	3.58	3.58	3.58	3.41	3.41	3.41	3.41
Probiotic	0.00	0.00	0.005	0.005	0.00	0.00	0.005	0.005	0.00	0.00	0.005	0.005
Enzyme	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
Chemical composition (%)												
Moisture	11.60	11.20	11.10	11.20	10.80	10.80	9.80	9.96	11.40	10.60	10.40	11.20
CP	20.70	21.30	21.50	21.30	19.40	20.00	20.20	19.90	17.60	17.80	18.30	18.00
Fat	4.34	5.45	5.34	5.25	7.43	7.48	7.57	7.71	7.69	7.93	8.13	7.91
Fiber	4.37	4.32	4.71	3.98	4.57	4.53	4.70	4.43	4.54	4.78	4.59	4.75
ADF	5.03	5.33	5.11	4.81	5.27	5.19	5.24	5.01	5.45	5.98	5.82	5.21
NDF	9.14	10.10	9.51	8.43	10.40	10.40	10.30	10.00	10.30	11.20	9.53	10.70
Ash	5.85	5.85	5.83	5.81	5.90	5.90	5.89	5.93	5.82	5.71	5.67	5.76
GE (kcal/kg)	4059	4053	4060	4056	4226	4214	4268	4264	4194	4254	4258	4219

(T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว 100 g/ton, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว 50 g/ton และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวม 100 g/ton ร่วมกับโปรไบโอติก 50 g/ton)

3.1.6 การบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ผล

3.1.6.1 อัตราการเจริญเติบโต

ทำการบันทึกน้ำหนักตัวในวันที่ 1, 14, 28 และ 35 เพื่อนำมาคำนวณหา น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Body weight gain; BWG) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average daily gain; ADG) บันทึกปริมาณอาหารที่ใช้ทุกสัปดาห์เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณการกินได้ (Feed intake; FI) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (Feed conversion ratio; FCR) ต้นทุนค่าอาหาร (Feed cost per gain; FCG) และทำการบันทึกอัตราการตายและคัดทิ้ง โดยอ้างอิงตามวิธีการของ Kuhlers and Nestor (1994) เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการสูญเสีย (Depletion) ต่อไป

น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว) = น้ำหนักตัวสุดท้าย - น้ำหนักตัวเริ่มต้น

อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน) =
$$\frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{ระยะเวลาในการเลี้ยง}}$$

ปริมาณการกินได้ (กรัม/ตัว) =
$$\frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด}}{\text{จำนวนไก่ที่เลี้ยง}}$$

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว =
$$\frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น}}$$

ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนัก (บาท/กิโลกรัม) =
$$\frac{\text{อาหารที่กินทั้งหมด} \times \text{ราคาอาหาร}}{\text{น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น}}$$

อัตราการสูญเสีย (%) =
$$\frac{\text{จำนวนการตาย (ตัว)} + \text{จำนวนการคัดทิ้ง (ตัว)}}{\text{จำนวนไก่ทั้งหมด (ตัว)}} \times 100$$

3.1.6.2 การตรวจวัดคุณภาพซาก

เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่อายุ 35 วัน ทำการอดอาหารเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทำการการุณยฆาตไก่เนื้อตามวิธีการของ Jaturasitha (2008) จากนั้นทำการลวกในบ่อลวกที่มีน้ำร้อนเพียงพอเพื่อให้ง่ายต่อการนำขนออก ที่อุณหภูมิ 58-60 °C ลำเลียงสัตว์ปีกจากบ่อลวกสู่กระบวนการถอนขน เพื่อนำมาศึกษาคุณภาพซากและทำการบันทึกคุณภาพซากโดยบันทึกน้ำหนักตัวมีชีวิต น้ำหนักซากอุ่น น้ำหนักซากตัดแต่ง และน้ำหนักชิ้นส่วนเนื้อที่ได้จากการชำแหละและตัดแต่ง ประกอบด้วย เนื้ออก เนื้อสะโพก เนื้อน่อง เนื้อสันใน ปีก เพื่อนำมาคำนวณหาน้ำหนักตัวมีชีวิต เปอร์เซ็นต์ซาก เปอร์เซ็นต์ซากตัดแต่ง และเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง (Moses et al., 2022)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ซาก (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักซากหลังฆ่า}}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ซากตัดแต่ง (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักซากหลังฆ่า และเอาเครื่องในออก}}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักชิ้นส่วนตัดแต่ง}}{\text{น้ำหนักซากตัดแต่ง}} \times 100$$

3.1.7 การวิเคราะห์หาจุลินทรีย์ในลำไส้

3.1.7.1 การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาจุลินทรีย์ในลำไส้

ในวันที่ 1, 4, 7, 21 และ 35 สุ่มไก่ทดลองกลุ่มการทดลองละ 12 ตัว ทำการการุณยฆาตโดยวิธีการรมก๊าซ CO₂ โดยนำสัตว์ทดลองวางลงในกล่องการุณยฆาต แล้วจึงค่อยๆ ปล่อยให้ CO₂ ไหลออกในอัตราไม่เกินร้อยละ 30 ของปริมาตรของกล่องที่ใส่สัตว์ทดลองต่อการทำการการุณยฆาตสำหรับสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์อ้างอิงตามวิธีของ AVMA Guideline on Euthanasia of Animals (2013) จากนั้นทำการบันทึกน้ำหนักตัว และผ่าเก็บของเหลวในส่วน cecal ลงในหลอดเก็บตัวอย่าง จากนั้นตัวอย่างจะถูกแช่แข็งและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -80 °C เพื่อรอนำไปสกัดดีเอ็นเอต่อไป

3.1.7.2 การสกัดดีเอ็นเอ

นำตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในข้อ 3.1.7.1 มาทำการสกัดดีเอ็นเอของแบคทีเรียในลำไส้ด้วยชุดตรวจ QIAamp 96 Powerfecal QIAcube HT kit (Qiagen, Germany) โดยใส่บัพเฟอร์ที่ผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิ 60 °C 575 มิลลิลิตร ต่อตัวอย่าง จากนั้นนำไป

ปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง TissueLyser 10 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 20,000 รอบ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นใช้ปิเปตดูดส่วนใสปริมาตร 400 ไมโครลิตร ลงในหลอดใหม่ เติมน้ำฟอสเฟตปริมาตร 150 ไมโครลิตร นำไปปั่นด้วย Vortex mixer และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 4 °C 5 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงต่อที่ 20,000 รอบ เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นดูดส่วนใสที่ได้ลงในหลอดทดลองใหม่ เติมน้ำ Proteinase K 20 ไมโครลิตร ลงใน S-block จากนั้นดูดส่วนใสที่เตรียมในหลอดทดลอง S-block ตัวอย่างละ 300 ไมโครลิตร โดยขั้นตอนนี้ห้ามมีตะกอนหลงเหลืออยู่ นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1,500 รอบ เป็นระยะเวลาสั้น ๆ เพื่อให้สารผสมรวมกัน และบ่มต่อที่อุณหภูมิห้อง 10 นาทีและใช้เทปปิด S-block นำไปเข้าเครื่องสกัด QIAamp 96 DNA QIAcube HT kit จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCR ต่อไป

3.1.7.3 การตรวจจับ 16S rRNA โดยวิธี PCR

นำตัวอย่าง DNA ที่สกัดได้จากข้อ 3.1.7.2 มาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCR เพื่อกำหนดเป้าหมายบริเวณที่มีความแปรผันสูงที่แตกต่างกันของยีน 16S rRNA ได้แก่ บริเวณ V3-V4 โดยขยายด้วยไพรเมอร์ต่อไปนี้ forward illumina_16S_F, 5'-TCGTCGGCAGCGTCAGATGTGTATAAGAGACAGCCTACGGGNGGCWGCAG-3' และ reverse illumina_16S_R, 5'-GTCTCGTGGGCTCGGAGATGTGTATAAGAGACAGGACTACHVGGGTATCTAATCC-3' โดยใช้ KAPA HiFi HS Ready Mix (Kapa Biosystems, Ltd, London, UK) จากนั้นนำไปจัดลำดับบนแพลตฟอร์ม Illumina MiSeq เมื่อการจัดลำดับเสร็จสมบูรณ์ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์โดยใช้ชุดซอฟต์แวร์ Quantitative Insights Into Microbial Ecology Version 2 (QIIME2) เพื่อวิเคราะห์หาข้อมูลการจัดลำดับยีน 16S rRNA ของแบคทีเรีย โดยการแปลลำดับของแอมพลิคอน (ASV) การวิเคราะห์ความหลากหลายทางอัลฟาและเบต้า องค์ประกอบและความหลากหลายของชนิดสายพันธุ์ จุลินทรีย์ อ้างอิงตามวิธีการของ Jafar et al. (2024)

3.1.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและคุณภาพซากที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยการทดลองด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ความอุดมสมบูรณ์และความหลากหลายของอัลฟา (Observe feature และ Shannon index) และความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์เฉลี่ยของจุลินทรีย์ถูกวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยการทดสอบ Kruskal-Wallis โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ความอุดมสมบูรณ์และความหลากหลายทางเบต้า (Bray curtis) ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบหลายตัวแปรโดยการสุ่ม (PERMANOVA) ในโปรแกรม QIIME2

3.1.9 สถานที่ทำการทดลอง

ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์1 บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด
(มหาชน) ตำบลคลองกู่ อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี



บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิจัย

4.1.1 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต

4.1.1.1 น้ำหนักตัว

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลน้ำหนักตัวของไก่เนื้อในช่วงอายุ 1-14 วัน พบว่าน้ำหนักตัวสุดท้ายในกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$) เท่ากับ 407.47, 402.17, 406.72 และ 413.56 กรัม ตามลำดับ พบว่าน้ำหนักตัวสุดท้ายในช่วงอายุ 15-28 วัน กลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว มีน้ำหนักตัวสุดท้ายที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก เท่ากับ 1,615.53, 1,583.95 และ 1,511.45 ตามลำดับ ไม่พบความแตกต่างในทุกกลุ่มเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 4.2) และในช่วงอายุ 1-35 วัน (ตารางที่ 4.4) พบว่าน้ำหนักตัวสุดท้ายในทุกกลุ่มการทดลอง ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$) โดยกลุ่มควบคุมมีค่าน้ำหนักตัวเฉลี่ยเท่ากับ 2,466.23 กรัม กลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว เท่ากับ 2,512 กรัม กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 2,470.23 กรัม และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก เท่ากับ 2,520.23 กรัม

4.1.1.2 น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น

น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่เนื้อในช่วงอายุ 15-28 วัน (ตารางที่ 4.2) พบว่าการเสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นดีกว่า ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก เท่ากับ 1,213.36, 1,152.70 และ 1,097.89 กรัม ตามลำดับ และจากตารางที่ 4.4 พบว่าในช่วงอายุ 29-35 วัน น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก มีค่าเท่ากับ 893.77, 897.43, 886.28 และ 1,009.41 กรัม ตามลำดับ โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในระหว่างกลุ่มการทดลอง

4.1.1.3 ปริมาณการกินได้

จากตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้ออายุ 29-35 วัน พบว่า การเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก ส่งผลให้ไก่เนื้อมีการกินได้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เท่ากับ 1,414.23 กรัม/ตัว เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 1,309.05, 1,288.60 และ 1,250.87 กรัม/ตัว ตามลำดับ และพบว่าการเสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว การเสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก ไม่ส่งผลต่อปริมาณการกินที่เพิ่มขึ้นในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 1-14, 15-28 และ 1-35 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$)

4.1.1.4 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน

ในการศึกษานี้พบว่าในช่วงอายุ 15-28 วัน เมื่อพิจารณาค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียวพบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 86.67 และ 82.33 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์ร่วมกับโปรไบโอติก เท่ากับ 86.67 และ 78.42 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ พบว่าไม่แตกต่างกันกับกลุ่มควบคุม เท่ากับ 86.67 และ 83.21 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) และเมื่อพิจารณาในช่วงอายุ 1-14, 29-35 และ 1-35 วัน การเสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว การเสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก ไม่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันในไก่เนื้อทดลองเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$)

4.1.1.5 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักร่างกาย

จากตารางที่ 4.2 รายงานค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักร่างกายในไก่เนื้อทดลองที่ช่วงอายุ 15-28 วัน พบว่ากลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียวมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักร่างกายที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก มีค่าเท่ากับ 1.36, 1.45 และ 1.53 ตามลำดับ ($P<0.05$) และพบว่าการเสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว การเสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก ไม่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักร่างกายในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 1-14, 29-35 และ 1-35 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$)

4.1.1.6 อัตราการสูญเสีย

จากผลการทดลองพบว่า การเสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว การเสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก ไม่ส่งผลต่อค่าอัตราการสูญเสียในทุกช่วงอายุของไก่เนื้อ ($P>0.05$) โดยในช่วงอายุ 1-14 วัน (ตารางที่ 4.1) กลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกมีค่าอัตราการสูญเสียเท่ากับ 2.22, 0.00, 1.04 และ 1.06% ในช่วงอายุ 15-28 วัน (ตารางที่ 4.3) กลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกมีค่าอัตราการสูญเสียเท่ากับ 1.19, 1.19, 1.19 และ 0.00% ที่ช่วงอายุ 29-35 วัน (ตารางที่ 4.4) กลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกมีค่าอัตราการสูญเสียเท่ากับ 2.78, 4.42, 5.00 และ 3.03% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาในช่วงอายุ 1-35 วัน (ตารางที่ 4.5) กลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกมีค่าอัตราการสูญเสียเท่ากับ 7.20, 5.81, 7.78 และ 9.10% ตามลำดับ

4.1.1.7 ต้นทุนการผลิต

จากผลการศึกษาพบว่า ในช่วงอายุ 15-28 วัน (ตารางที่ 4.2) กลุ่มการทดลองที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียวช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก เท่ากับ 23.68, 25.21 และ 26.58 บาท/กิโลกรัม ($P<0.05$) และในช่วงอายุ 29-35 วัน (ตารางที่ 4.3) พบว่าการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกช่วยลดต้นทุนการผลิตได้มากที่สุด ที่ 23.25 บาท/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ที่ 25.14 บาท/กิโลกรัม กลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว ที่ 24.13 บาท/กิโลกรัม และกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว ที่ 25.91 บาท/กิโลกรัม และเมื่อพิจารณาในช่วงอายุ 1-14 วัน และ 1-35 วัน พบว่าในด้านต้นทุนการผลิตไม่มีความแตกต่างกันในระหว่างกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อในอายุ 1-14 วัน

1-14 Days	Treatment				P-value
	T1	T2	T3	T4	
IBW	48.41±0.22	48.52±0.28	48.54±0.24	48.48±0.19	0.779
FBW	407.47±15.09	402.17±11.38	406.72±7.84	413.56±9.89	0.405
ADG	29.11±1.08	28.73±0.81	29.05±0.56	29.54±0.71	0.405
FI	435.54±16.03	434.79±7.54	428.53±11.24	437.21±11.83	0.625
FCR	1.07±0.04	1.08±0.03	1.06±0.02	1.06±0.03	0.426
%Depletion	2.22±5.44	0.00±0.00	1.04±2.55	4.44±6.89	0.394
FCG	18.76±0.68	19.03±0.44	18.58±0.37	18.70±0.56	0.521

IBW = initial body weight (g/b), FBW= final body weight (g/b), ADG =average daily gain (g/b/d), FI = feed intake (g/b), FCR = feed conversion ratio and FCG = feed cost per gain (bath/kg BWG)

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อในอายุ 15-28 วัน

25-28 Days	Treatment				P-value
	T1	T2	T3	T4	
IBW	407.47±15.09	402.17±11.38	406.72±7.84	413.56±9.89	0.405
FBW	1,572.46±30.57 ^{ab}	1,615.53±29.75 ^a	1,583.95±74.83 ^a	1,511.45±56.35 ^b	0.017
BWG	1,164.99±34.34 ^{ab}	1,213.36±36.67 ^a	1,152.70±35.06 ^b	1,097.89±55.08 ^c	0.001
ADG	83.21±2.45 ^{ab}	86.67±2.62 ^a	82.33±2.50 ^b	78.42±3.93 ^c	0.001
FI	1,698.04±45.98	1,657.41±21.96	1,650.61±17.16	1,673.28±81.20	0.363
FCR	1.45±0.07 ^{ab}	1.36±0.03 ^c	1.40±0.07 ^{bc}	1.53±0.06 ^a	0.001
%Depletion	1.19±2.92	1.19±2.92	1.19±2.92	0.00±0.00	0.801
FCG	25.21±1.24 ^b	23.68±0.54 ^a	24.41±1.16 ^{ab}	26.58±1.08 ^c	<0.001

^{a, b, c} Mean values in the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

IBW = initial body weight (g/b), FBW= final body weight (g/b), BWG= body weight gain (g), ADG =average daily gain (g/b/d), FI = feed intake (g/b), FCR = feed conversion ratio and FCG = feed cost per gain (bath/kg BWG)

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อในอายุ 29-35 วัน

29-35 Days	Treatment				P-value
	T1	T2	T3	T4	
IBW	1,572.46±30.57 ^{ab}	1,615.53±29.75 ^a	1,583.95±74.83 ^a	1,511.45±56.35 ^b	0.017
FBW	2,466.23±58.34	2,512.96±56.18	2,470.23±162.43	2,520.86±198.50	0.849
BWG	893.77±38.34	897.43±53.60	886.28±88.88	1,009.41±41.48	0.340
ADG	125.08±5.48	128.20±7.66	126.48±12.69	138.29±6.26	0.146
FI	1,309.05±92.84 ^b	1,288.60±51.62 ^b	1,250.87±50.31 ^b	1,414.23±64.86 ^a	0.015
FCR	1.43±0.03	1.40±0.11	1.50±0.06	1.35±0.03	0.059
%Depletion	2.78±4.30	4.42±7.52	5.00±12.25	3.03±7.42	0.960
FCG	25.14±1.18 ^b	24.13±1.80 ^b	25.91±0.96 ^b	23.25±0.45 ^a	0.049

^{a, b, c} Mean values in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$)

IBW = initial body weight (g/b), FBW= final body weight (g/b), BWG= body weight gain (g), ADG =average daily gain (g/b/d), FI = feed intake (g/b), FCR = feed conversion ratio and FCG = feed cost per gain (bath/kg BWG)

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อในอายุ 1-35 วัน

1-35 days	Treatment				P-value
	T1	T2	T3	T4	
IBW	48.41±0.22	48.52±0.28	48.54±0.24	48.48±0.19	0.779
FBW	2,466.23±58.34	2,512.96±56.18	2,470.23±162.43	2,520.86±198.50	0.849
ADG	70.46±1.67	71.80±1.61	71.60±4.40	71.97±3.14	0.810
FI	3,746.68±34.00	3,725.96±50.60	3,615.67±111.79	3,725.18±124.75	0.076
FCR	1.52±0.03	1.48±0.04	1.46±0.06	1.48±0.04	0.226
%Depletion	7.20±6.75	5.81±7.31	7.78±11.63	9.10±9.96	0.939
FCG	26.26±0.50	25.71±0.64	25.48±1.10	25.78±0.77	0.372

IBW = initial body weight (g/b), FBW= final body weight (g/b), ADG =average daily gain (g/b/d), FI = feed intake (g/b), FCR = feed conversion ratio and FCG = feed cost per gain (bath/kg BWG)

4.1.2 คุณภาพซาก

4.1.2.1 น้ำหนักตัวมีชีวิต

จากตารางที่ 4.5 แสดงผลน้ำหนักตัวมีชีวิตของไก่เนื้อที่อายุ 36 วัน พบว่าการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบส่งผลให้น้ำหนักตัวมีชีวิตมากกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว ที่ 2,520.03, 2,441.28 และ 2,423.96 กรัม ($P<0.05$) ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก และ กลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว ($P>0.05$)

4.1.2.2 เปอร์เซ็นต์ซากและเปอร์เซ็นต์ซากตัดแต่ง

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ซากพบว่าไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองในด้านเปอร์เซ็นต์น้ำหนักซาก ($P>0.05$) โดยกลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ซากอยู่ที่ 91.21% กลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว ที่ 91.08% กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว ที่ 90.94% และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกที่ 91.08% (ตารางที่ 4.5)

และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ซากตัดแต่ง พบว่ากลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$) ที่ 81.13, 81.69 81.07 และ 81.73% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5)

4.1.2.3 เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง

จากผลการทดลอง เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่งไก่เนื้อทดลองที่อายุ 36 วัน (ตารางที่ 4.6) พบว่า การเสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียวส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนสันใน เท่ากับ 3.87% ซึ่งสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เท่ากับ 3.68% ($P<0.05$) และเมื่อพิจารณาผลในส่วนของเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนอก สะโพก และปีก พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.5 น้ำหนักตัวมีชีวิต (กรัม) เปอร์เซ็นต์ซากอ่อน (%) และเปอร์เซ็นต์ซากที่ไม่มีเครื่องใน (%) ที่อายุ 36 วัน

Traits	Treatment				P-value
	T1	T2	T3	T4	
Live BW (g)	2,441.28±103.86 ^b	2,459.93±115.79 ^{ab}	2,423.96±157.71 ^b	2,520.03±152.52 ^a	0.039
HW (%)	91.21±0.89	91.08±0.82	90.94±1.03	91.08±1.15	0.784
CW (%)	81.13±1.12	81.69±1.00	81.07±1.55	81.73±1.09	0.076

^{a, b, c} Mean values in the same row with different superscripts differ significantly ($P<0.05$)

Live BW = live body weight (g), HW = hot carcass weight (%) and CW = carcass weight without visceral organ (%)

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่ง (%) ที่อายุ 36 วัน

Traits	Treatment				P-value
	T1	T2	T3	T4	
SBB (%)	19.18±1.29	19.58±1.23	19.22±1.45	19.58±1.21	0.470
SBL (%)	15.23±0.86	15.19±0.74	15.31±0.98	15.22±0.90	0.961
Fillet (%)	3.68±0.28 ^b	3.87±0.26 ^a	3.80±0.20 ^{ab}	3.75±0.25 ^{ab}	0.029
Wing (%)	7.08±0.46	7.38±0.61	7.25±0.54	7.27±0.50	0.178

^{a, b, c} Mean values in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$)

SBB = Skinless Boneless Breast (%), SBL = Skinless Bone Leg (%), Fillet (%) and Wing (%)

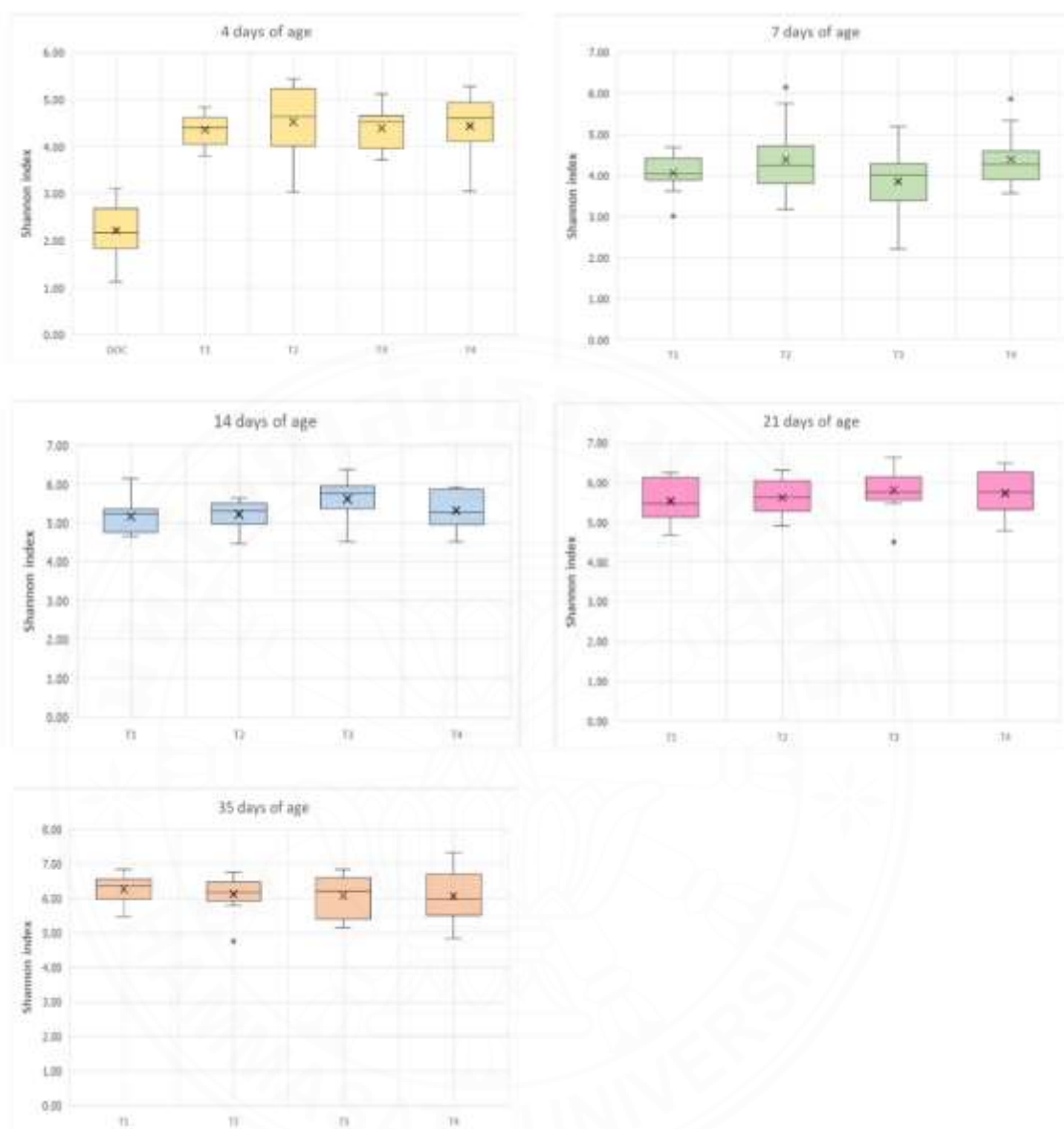
4.1.3 องค์ประกอบและการพัฒนาของจุลินทรีย์ในไส้ติ่ง

4.1.3.1 ความหลากหลายทางอัลฟา

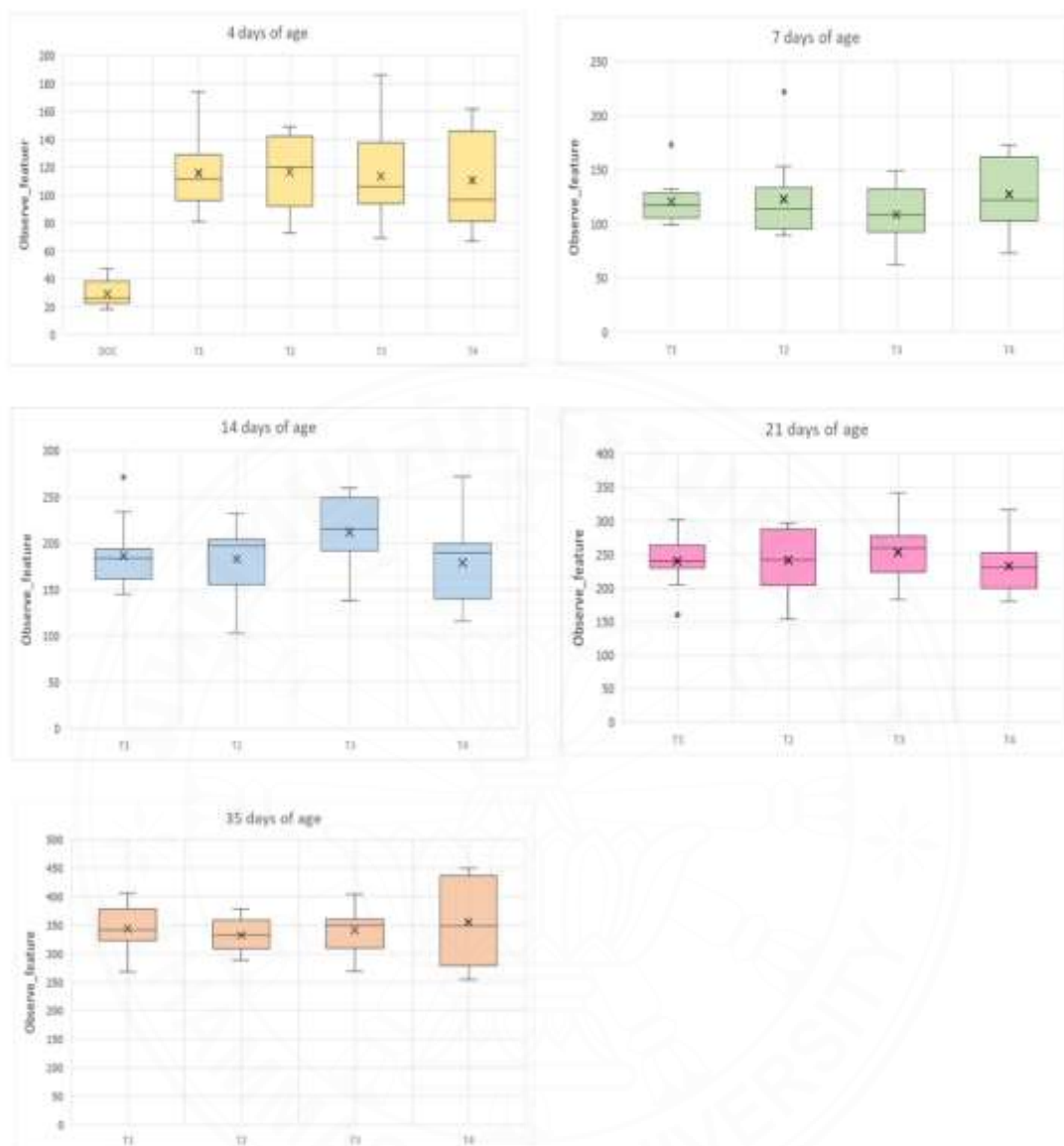
ความหลากหลายทางอัลฟาของลำดับยีน 16S rRNA โดยการวิเคราะห์ดัชนี Shannon และ ดัชนี Observed features ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความหลากหลายทางอัลฟา จากรูปที่ 4.1 พบว่าความหลากหลายของดัชนี Shannon ในทุกช่วงอายุ ไม่ได้รับผลกระทบ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกันกับดัชนี Observe feature (รูปที่ 4.2) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตัวอย่างแต่ละประเภทในทุกช่วงอายุของไก่เนื้อ ($P > 0.05$)

4.1.3.2 ความหลากหลายทางเบต้า

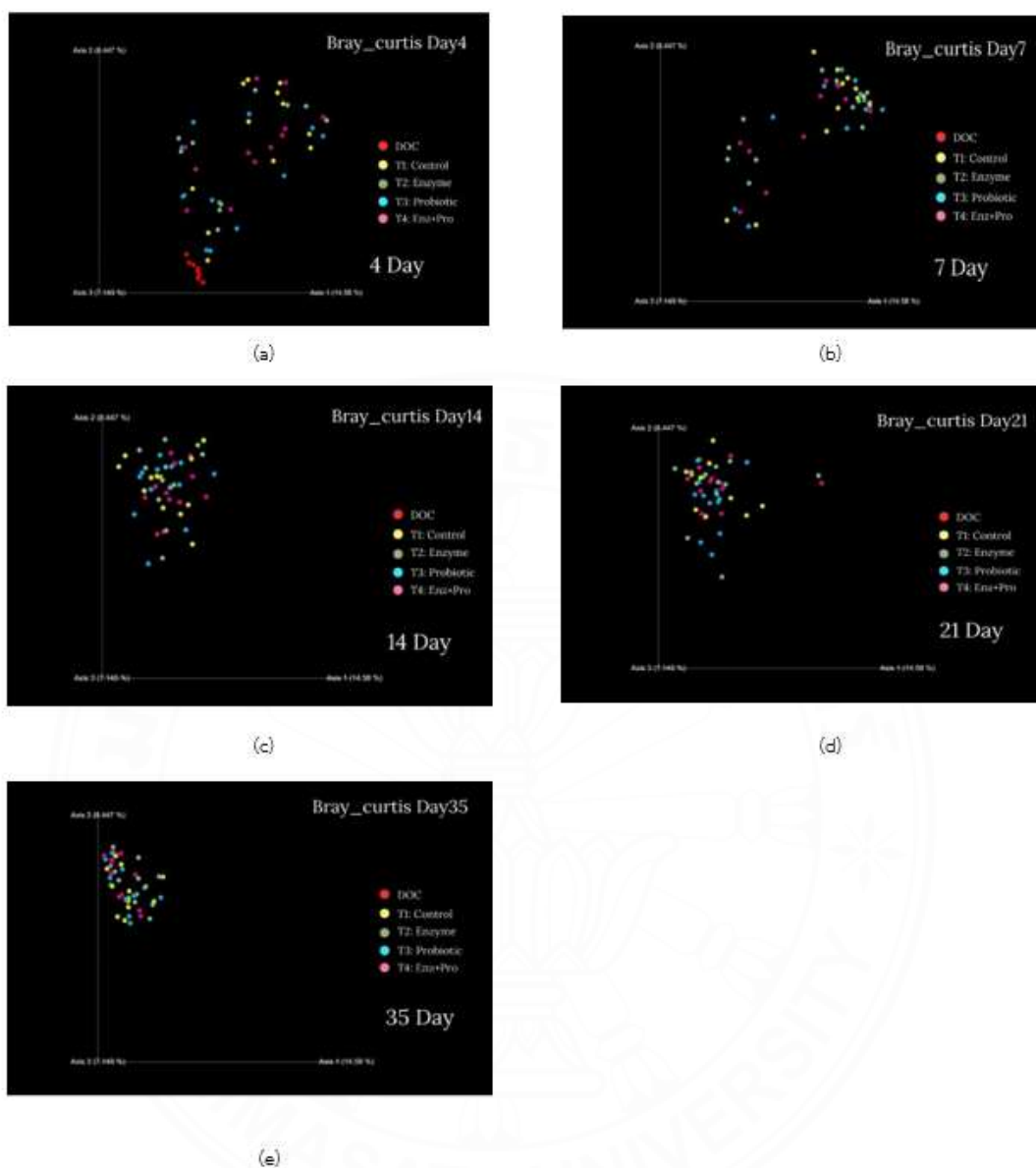
การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Coordinates Analysis; PCoA) ถูกนำมาใช้เพื่อแสดงภาพความหลากหลายทางเบต้าของชุมชนแบคทีเรียในไส้ติ่งไก่เนื้อในช่วงอายุต่างๆ (1, 4, 7, 14, 21 และ 35 วัน) วิเคราะห์ความคล้ายคลึงกันหรือความแตกต่างกันขององค์ประกอบชุมชนจุลินทรีย์ในเชิงชนิดและปริมาณโดยใช้ Bray Curtis ดำเนินการโดยใช้ QIIME 2 พบว่าในช่วงอายุ 21 วัน กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียวมีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญ (T3 เทียบกับ T1 และ T2; $P < 0.05$) (ภาพที่ 4.3 d) และในช่วงอายุ 35 วัน (ภาพที่ 4.3 e) พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว (T1 เทียบกับ T2; $P < 0.05$) และกลุ่มควบคุมเทียบกับกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (T1 เทียบกับ T4; $P < 0.05$) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในช่วงอายุ 4, 7 และ 14 วัน ($P > 0.05$)



ภาพที่ 4.1 การวิเคราะห์ความหลากหลายทางอัลฟาโดยดัชนี Shannon ของจุลินทรีย์ในไส้ติ่งของไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 1, 4, 7, 14, 21 และ 35 วัน (DOC: ไก่อายุ 1 วัน, T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)



ภาพที่ 4.2 การวิเคราะห์ความหลากหลายระดับอัลฟาโดยดัชนี Observe feature ของจุลินทรีย์ในไส้ติ่งของไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 1, 4, 7, 14, 21 และ 35 วัน (DOC: ไก่อายุ 1 วัน, T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)



ภาพที่ 4.3 การวิเคราะห์ความหลากหลายทางเบต้าโดย Bray curtis ของจุลินทรีย์ในไส้ดักไก่เนื้อในแต่ละช่วงอายุ (a) ที่ช่วงอายุ 1 และ 4 วัน, (b) ที่ช่วงอายุ 7 วัน (c) ที่ช่วงอายุ 14 วัน (d) ที่ช่วงอายุ 21 วัน และ (e) ที่ช่วงอายุ 35 วัน (T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)

4.1.3.3 ความหลากหลายของจุลินทรีย์ในไส้ตั้งในระดับไฟลัม วงศ์ และสกุล

(1) ความหลากหลายของจุลินทรีย์ในไส้ตั้งในระดับไฟลัม

ในช่วงอายุ 4 วัน การพัฒนาของชุมชนจุลินทรีย์ในระดับไฟลัมในไส้ตั้งของไก่เนื้อที่มีความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์สูงกว่า 1% แสดงไว้ในภาพที่ 4.4 จากผลการศึกษาความหลากหลายของปริมาณแบคทีเรียพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความอุดมสมบูรณ์ของแบคทีเรียในระหว่างกลุ่ม ($P>0.05$) ไฟลัมหลักที่พบ ได้แก่ *Firmicutes*, *Bacteroidota* และ *Proteobacteria* พบไฟลัม *Firmicutes* มากที่สุด และรองลงมาพบกลุ่ม *Bacteroidota* และ *Proteobacteria* ตามลำดับ พบ *Firmicutes* มากที่สุดในกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (72.72%) รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (71.21%) กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (66.89%) และกลุ่มควบคุม (64.19%) ตามลำดับ พบไฟลัม *Bacteroidota* มากที่สุดในกลุ่มควบคุม (29.51%) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (26.61%) กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (19.11%) และกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (17.97%) และพบว่ากลุ่มการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกยังลดเปอร์เซ็นต์ของ *Proteobacteria* มากที่สุด (6.08%) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (6.14%) กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (9.16%) และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (9.55%) ตามลำดับ

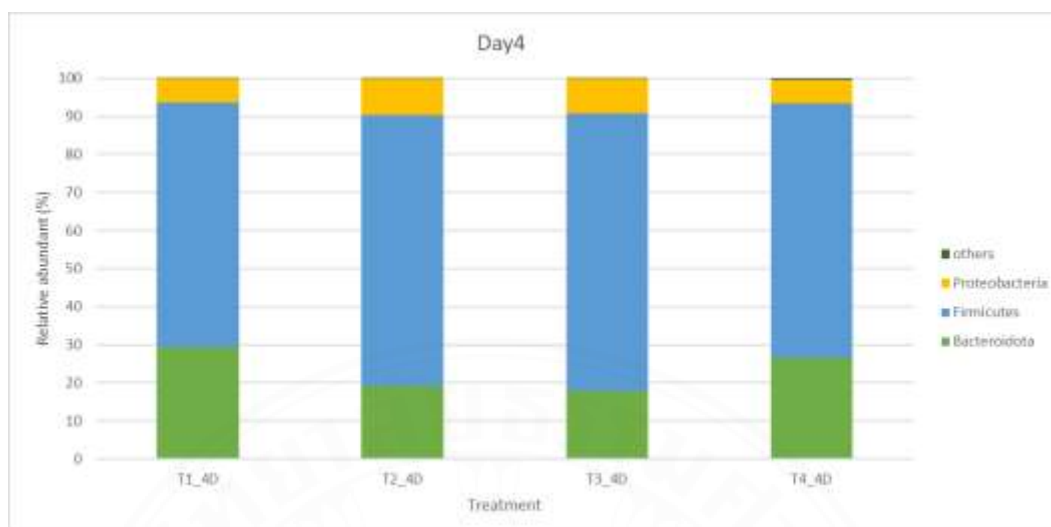
ในช่วงอายุ 7 วัน (ภาพที่ 4.5) พบว่าในทุกกลุ่มการทดลอง *Firmicutes* ยังคงเป็นไฟลัมที่พบมากที่สุด พบ *Firmicutes* มากที่สุดในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (68.02%) รองลงมาคือกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (66.41%) กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (53.96%) และกลุ่มควบคุม (51.02%) ในไก่เนื้ออายุ 7 วันไฟลัม *Bacteroidota* ในทุกกลุ่มการทดลองเพิ่มสูงขึ้นจากอายุ 4 วัน โดยพบมากที่สุดในกลุ่มควบคุม (46.57%) กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (44.53%) กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (30.96%) และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว (29.56%) ตามลำดับ พบไฟลัม *Proteobacteria* และ *Actinobacteriota* เล็กน้อยในช่วงอายุ 7 วัน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความอุดมสมบูรณ์ของแบคทีเรียในระหว่างกลุ่ม ($P>0.05$)

การพัฒนาของชุมชนจุลินทรีย์ในระดับไฟลัมในไส้ตั้งในช่วงอายุ 14 วัน พบว่าจุลินทรีย์ไฟลัมหลักคือ *Firmicutes* พบมากที่สุดในกลุ่มควบคุม (92.02%) รองลงมาคือกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (86.19%) กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (85.35%) และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว (81.71%) ตามลำดับ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างกลุ่ม ($P>0.05$) พบว่าแบคทีเรียกลุ่ม *Bacteroidota* ลดลงในช่วงอายุ 14 วัน พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญมากที่สุดในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (17.22%) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (6.78%) ($P<0.05$) นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียกลุ่ม *Proteobacteria*,

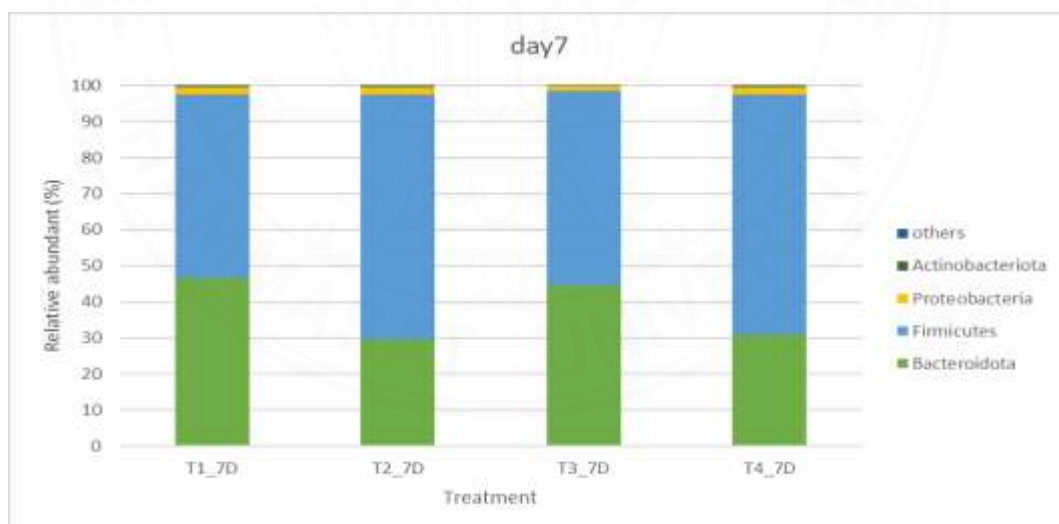
Actinobacteriota และ *Cyanobacteria* เพียงเล็กน้อยในช่วงอายุ 14 วัน (ภาพที่ 4.6) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความอุดมสมบูรณ์ของแบคทีเรียในระหว่างกลุ่ม ($P>0.05$)

จากภาพที่ 4.7 ในช่วงอายุ 21 วัน จุลินทรีย์ในกลุ่ม *Firmicutes* ลดลงในทุกกลุ่มการทดลอง แต่ยังคงเป็นไฟลัมหลักที่พบ โดยพบว่าสูงที่สุดในกลุ่มควบคุม (86.08%) รองลงมาคือกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (82.88%) กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (82.75%) และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว (74.73%) ตามลำดับ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความอุดมสมบูรณ์ของแบคทีเรียในระหว่างกลุ่ม ($P>0.05$) รองลงมาพบไฟลัม *Bacteroidota* พบมากที่สุดในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (23.45%) เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกลุ่มการทดลอง ได้แก่ กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกอย่างเดียว (15.20%) กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (14.11%) และกลุ่มควบคุม (11.93%) ($P<0.05$) นอกจากนี้ยังพบไฟลัม *Proteobacteria*, *Actinobacteriota* และ *Cyanobacteria* เพียงเล็กน้อย

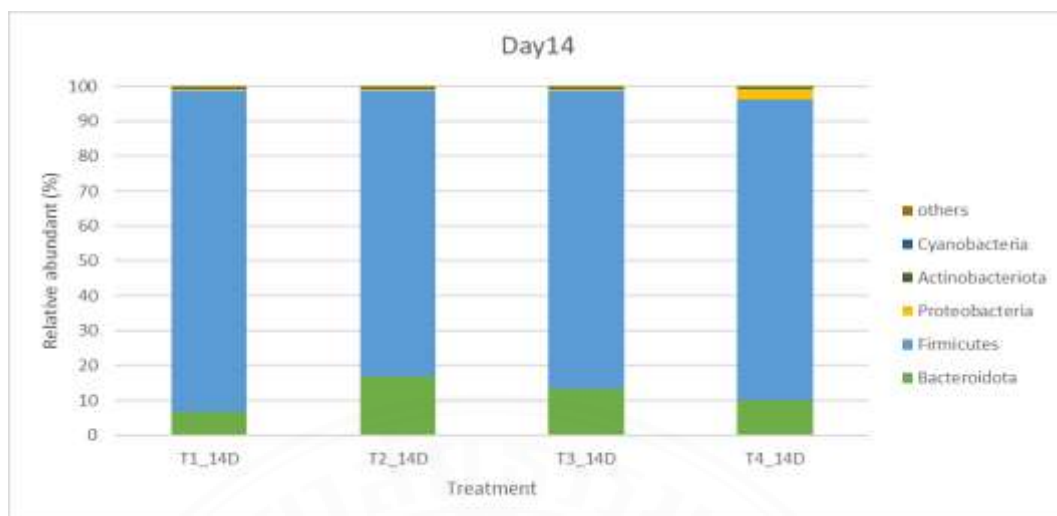
ความหลากหลายของจุลินทรีย์ระดับไฟลัมในไส้ติ่งที่ช่วงอายุ 35 วัน (ภาพที่ 4.8) พบว่า *Firmicutes* ลดลงจากวันที่ 21 แต่ยังคงเป็นไฟลัมที่พบมากที่สุด จากผลการศึกษาพบว่า *Firmicutes* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (84.57%) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (74.88%) และกลุ่มการทดลองที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (75.72%) ($P<0.05$) ตามลำดับ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความอุดมสมบูรณ์ของแบคทีเรียในระหว่างกลุ่มอื่นๆ ($P>0.05$) พบ *Bacteroidota* ในกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (เท่ากับ 21.71, 19.60, 13.09 และ 12.86%) พบไฟลัมอื่นๆเล็กน้อย ได้แก่ *Proteobacteria*, *Actinobacteriota*, *Cyanobacteria*, *Verrucomicrobiota* และ *Desulfobacterota*



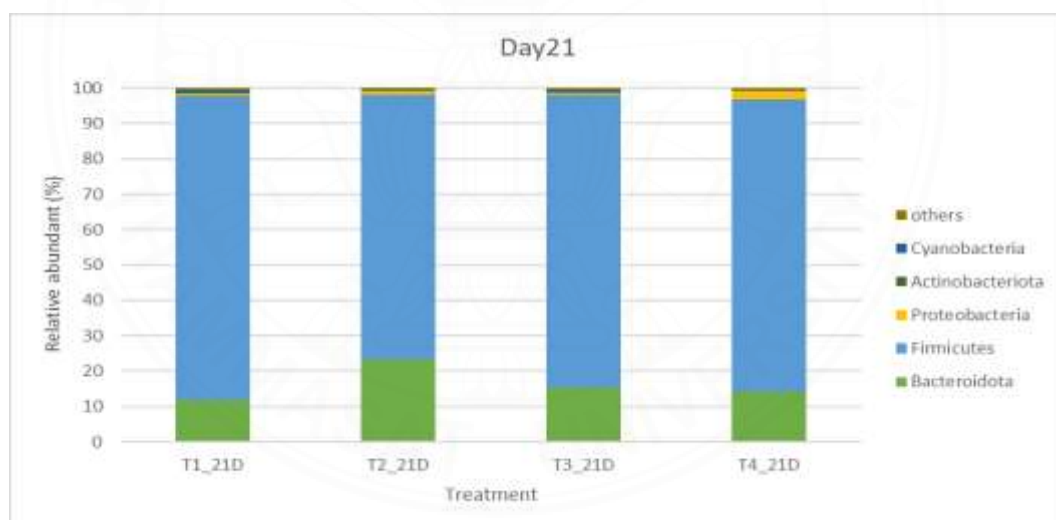
ภาพที่ 4.4 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับไฟลัมของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 4 วัน (T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)



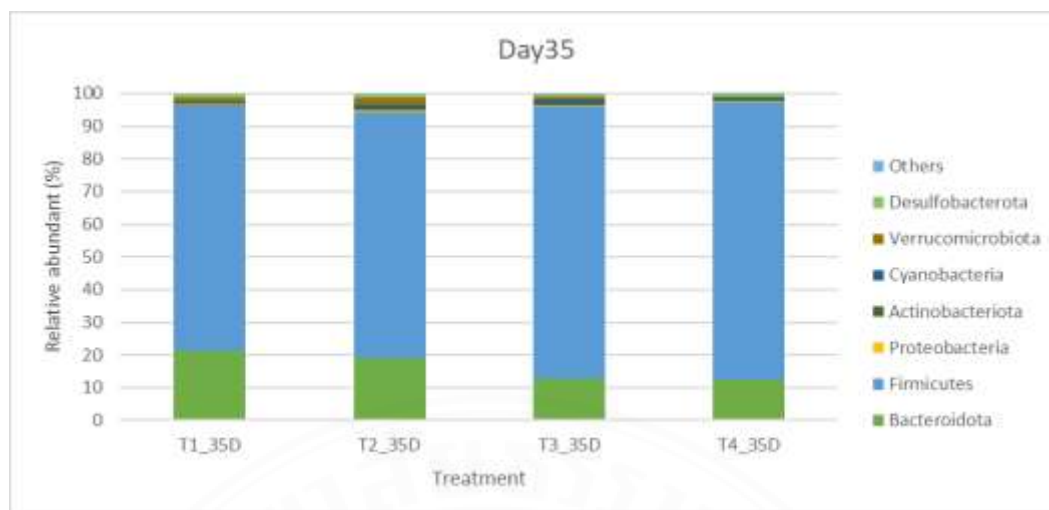
ภาพที่ 4.5 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับไฟลัมของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 7 วัน (T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)



ภาพที่ 4.6 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับฟิล์มของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 14 วัน (T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)



ภาพที่ 4.7 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับฟิล์มของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 21 วัน (T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)



ภาพที่ 4.8 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับไฟลัมของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 35 วัน (T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)

(2) ความหลากหลายของจุลินทรีย์ในไส้ติ่งในระดับวงศ์

การจำแนกระดับวงศ์ โดยคัดเลือกจากค่า Relative abundant ที่มากกว่า 1% ในไส้ติ่งของไก่เนื้อ ในช่วงอายุ 4 วัน (ภาพที่ 4.9) พบแบคทีเรียในวงศ์ *Lachnospiraceae* เป็นไฟลัมหลัก รองลงมาคือ *Bacteridaceae*, *Lactobacillaceae*, *Enterobacteriaceae* และ *Enterococcaceae* ซึ่งไม่แตกต่างกันในระหว่างกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$) พบว่ากลุ่มการทดลองที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียวมีเปอร์เซ็นต์แบคทีเรียในวงศ์ *Lachnospiraceae* สูงที่สุด (36.36%) และมี *Lactobacillaceae* สูงที่สุด (16.39%) พบแบคทีเรียในวงศ์ *Bacteroidaceae* มากที่สุดในกลุ่มควบคุม (29.84%) รองลงมาคือกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (26.90%) กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (19.32%) และน้อยที่สุดในกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (18.13%) พบวงศ์ *Ruminococcaceae* โดดเด่นที่สุดในกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (10.32%) นอกจากนี้ในทุกกลุ่มการทดลองยังพบ *Oscillospiraceae*, *Erysipelatoclostridiaceae* และ *Butyrificoccaceae* เพียงเล็กน้อยในช่วงอายุ 4 วัน

จากภาพที่ 4.10 พบว่าในช่วงที่ไก่เนื้ออายุ 7 วันพบแบคทีเรียในวงศ์ *Bacteroidaceae* มากที่สุด รองลงมาคือกลุ่ม *Lachnospiraceae* และกลุ่ม *Lactobacillaceae* ตามลำดับ พบ *Bacteroidaceae* ในกลุ่มควบคุม (47.07%) กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว

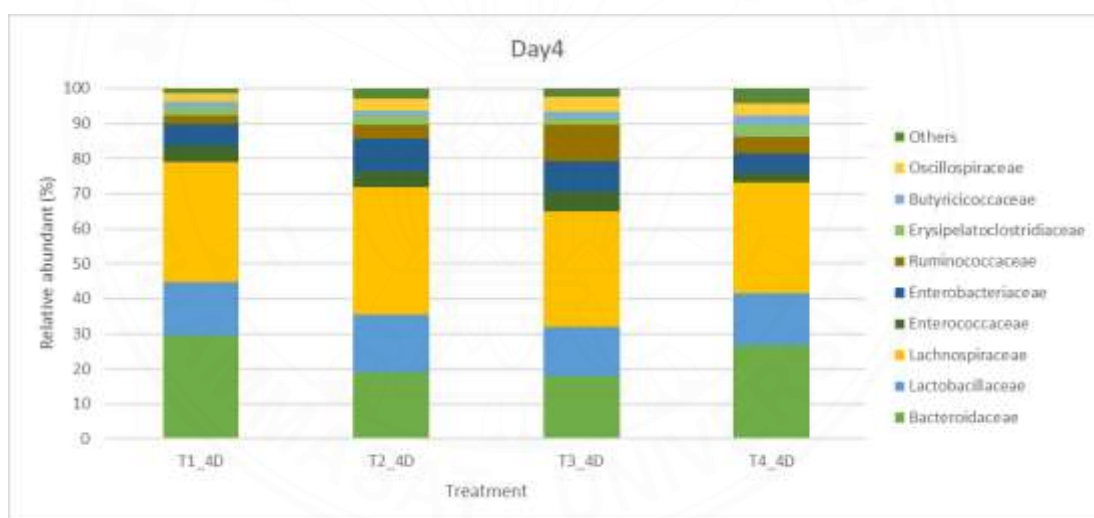
(44.98%) กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (27.08%) และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (31.29%) ตามลำดับ ปริมาณ *Lachnospiraceae* ไม่แตกต่างกันในกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$) พบมากที่สุดในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (38.65%) พบวงศ์ *Ruminococcaceae* โดดเด่นที่สุดในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว (12.46%) ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความอุดมสมบูรณ์ของแบคทีเรียในระหว่างกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$) นอกจากนี้ในช่วงอายุนี้อย่างพบแบคทีเรียในวงศ์ *Enterobacteriaceae*, *Butyricicoccaceae*, *Oscillospiraceae*, *Clostridia_vadinBB60_group* และ *Clostridia_UCG-014* เล็กน้อยประมาณ 1-2% ในทุกกลุ่มการทดลอง

ในช่วงอายุ 14 วัน ปริมาณสัมพัทธ์ของแบคทีเรียไม่แตกต่างกันในทุกกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$) พบแบคทีเรียในวงศ์ *Bacteroidaceae* ลดลงในทุกกลุ่มการทดลอง แบคทีเรียในวงศ์หลักที่โดดเด่นขึ้นมาในช่วงอายุนี้นี้ได้แก่ *Lachnospiraceae*, *Lactobacillaceae* และ *Ruminococcaceae* ในกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียวพบวงศ์ *Bacteroidaceae* (10.26%) และ *Ruminococcaceae* (20.46%) ซึ่งมากที่สุดในทุกกลุ่มการทดลอง นอกจากนี้ในช่วง 14 วัน ยังพบแบคทีเรียในวงศ์ *Oscillospiraceae*, *Clostridia_vadinBB60_group*, *Butyricicoccaceae*, *Erysipelatoclostridiaceae*, *Rikenellaceae*, *Clostridia_UCG-014* และ *Enterobacteriaceae* เพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 4.11

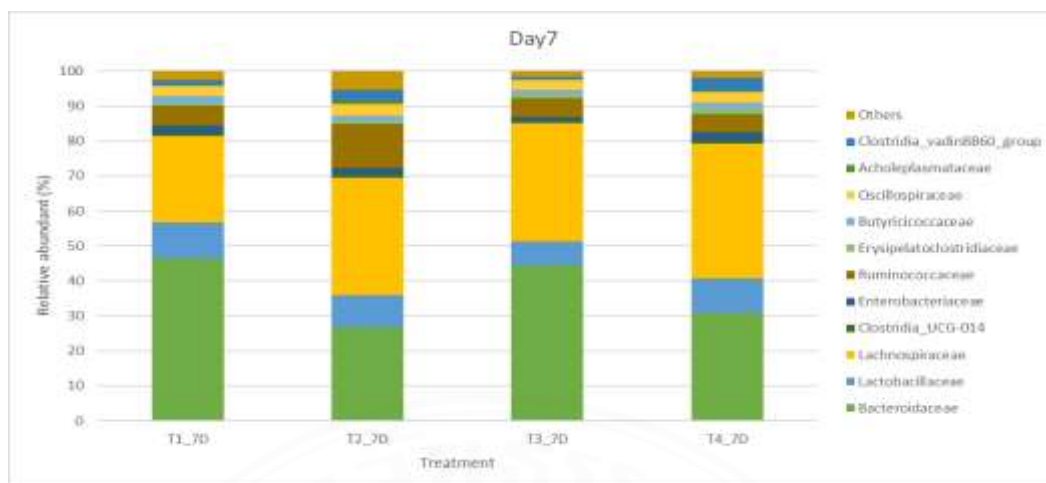
พิจารณาในช่วงอายุ 21 วัน ความหลากหลายของแบคทีเรียคล้ายกับในช่วงอายุ 14 วัน (ภาพที่ 4.12) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความอุดมสมบูรณ์ของแบคทีเรียในระหว่างกลุ่ม ($P>0.05$) แบคทีเรียวงศ์ที่โดดเด่นที่สุดในช่วงอายุนี้นี้ ได้แก่ *Lachnospiraceae* รองลงมาคือ *Ruminococcaceae*, *Lactobacillaceae* และ *Bacteroidaceae* นอกจากนี้ในช่วงอายุนี้นี้มีแบคทีเรียในวงศ์ *Rikenellaceae* เพิ่มขึ้นจากช่วงอายุที่ 14 วัน กลุ่มการทดลองที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว มีแบคทีเรียในวงศ์ *Bacteroidaceae* (13.57%) และ *Rikenellaceae* (10.29%) โดดเด่นที่สุดในขณะที่กลุ่มการทดลองที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกพบ *Lachnospiraceae* (34.48%) มากที่สุด และวงศ์ *Lactobacillaceae* พบมากที่สุดในกลุ่มควบคุม (17.31%) อย่างไรก็ตามในช่วงอายุ 21 วันยังพบแบคทีเรียในวงศ์ *Oscillospiraceae*, *Clostridia_vadinBB60*, *Butyricicoccaceae*, *Erysipelatoclostridiaceae*, *Clostridia_UCG-014* และ *Enterobacteriaceae* เพียงเล็กน้อยในทุกกลุ่มการทดลอง

ในช่วงสุดท้าย ไก่เนื้ออายุ 35 วัน แสดงในภาพที่ 4.13 พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในวงศ์ *Bacteroidaceae* พบว่ามีมากที่สุดในกลุ่มควบคุม (8.48%) และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว (6.74%) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (3.02%) ($P<0.05$) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความอุดมสมบูรณ์ของแบคทีเรียกลุ่มอื่น ๆ

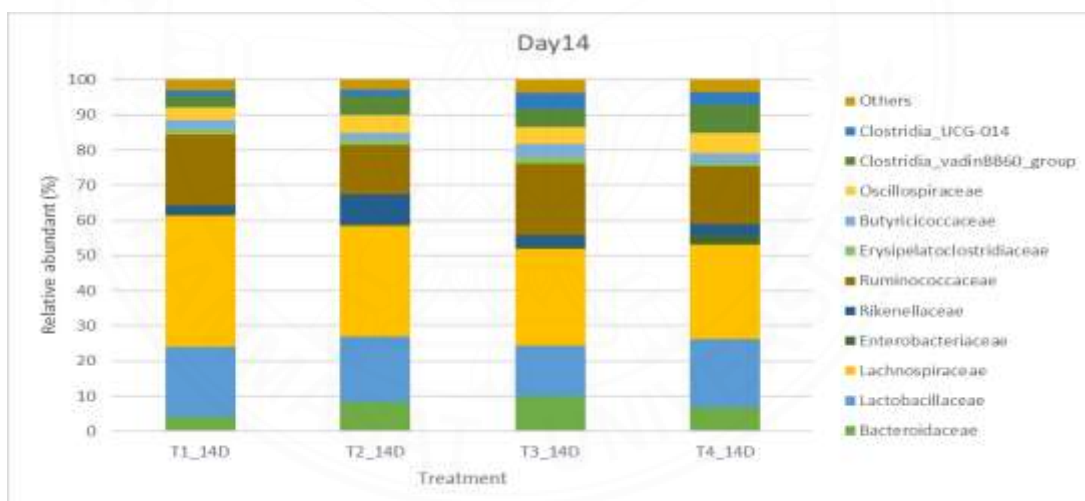
($P>0.05$) พบว่าในช่วงอายุนี้นี้มีความหลากหลายของแบคทีเรียที่มากที่สุด วงศ์ *Lachnospiraceae* ลดลงจากวันที่ 21 แต่ยังคงเป็นแบคทีเรียที่มากที่สุดในทุกกลุ่มการทดลอง พบมากที่สุดในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (21.97%) กลุ่มควบคุม (21.95%) กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (20.22%) และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (19.58%) ตามลำดับ แบคทีเรียวงศ์ที่พบรองลงมาคือ *Lactobacillaceae*, *Ruminococcaceae*, *Bacteroidaceae* และ *Rikenellaceae* จากผลการศึกษารังนี้พบ *Lactobacillaceae* โดดเด่นในกลุ่มการทดลองที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (22.34%) พบว่าในช่วงอายุนี้นี้มีแบคทีเรียบางชนิดที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจากในช่วงอายุที่ 21 วัน ได้แก่ *Oscillospiraceae*, *Clostridia_vadinBB60_group*, *Butyricicoccaceae* และ *Clostridia_UCG-014* และแบคทีเรียวงศ์ที่พบเพียงเล็กน้อยได้แก่ *Erysipelatoclostridiaceae*, *Streptococcaceae*, *Peptostreptococcaceae*, *Akkermansiaceae*, *Marinifilaceae*, *Tannerellaceae*, *Gastranaerophilales* และ *Christensenellaceae*



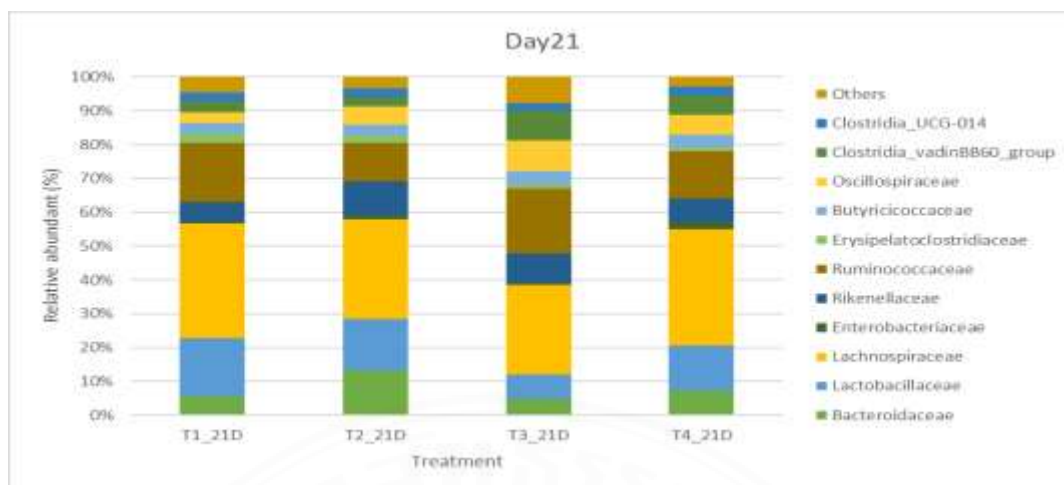
ภาพที่ 4.9 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับวงศ์ของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 4 วัน (T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)



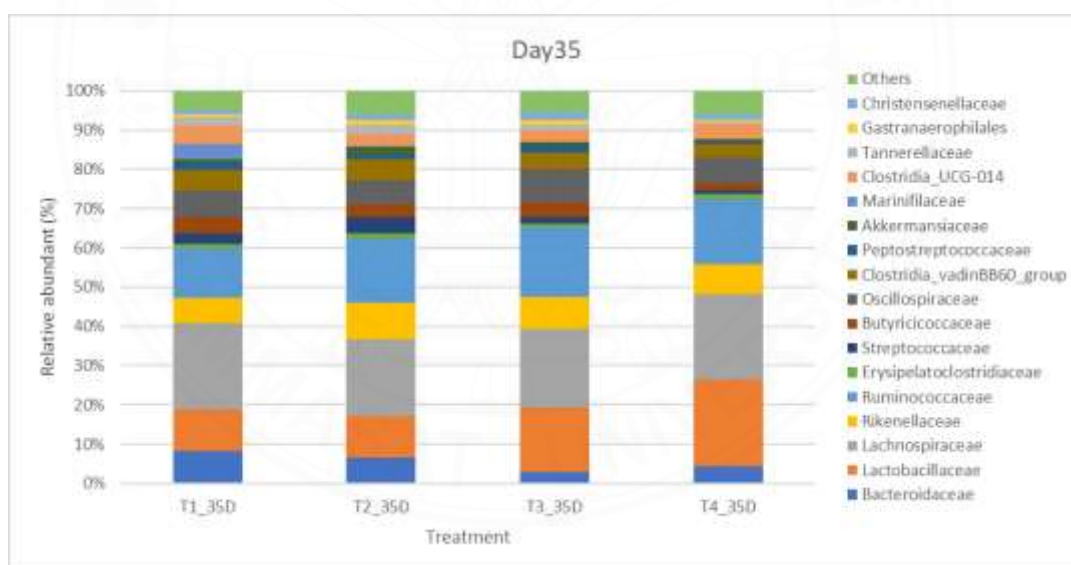
ภาพที่ 4.10 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับวงศ์ของจุลินทรีย์ในไถ่เนื้อที่ช่วงอายุ 7 วัน (T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)



ภาพที่ 4.11 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับวงศ์ของจุลินทรีย์ในไถ่เนื้อที่ช่วงอายุ 14 วัน (T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)



ภาพที่ 4.12 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับวงศ์ของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 21 วัน (T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)



ภาพที่ 4.13 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับวงศ์ของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 35 วัน (T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)

(3) ความหลากหลายของจุลินทรีย์ในไส้ตั้งในระดับสกุ

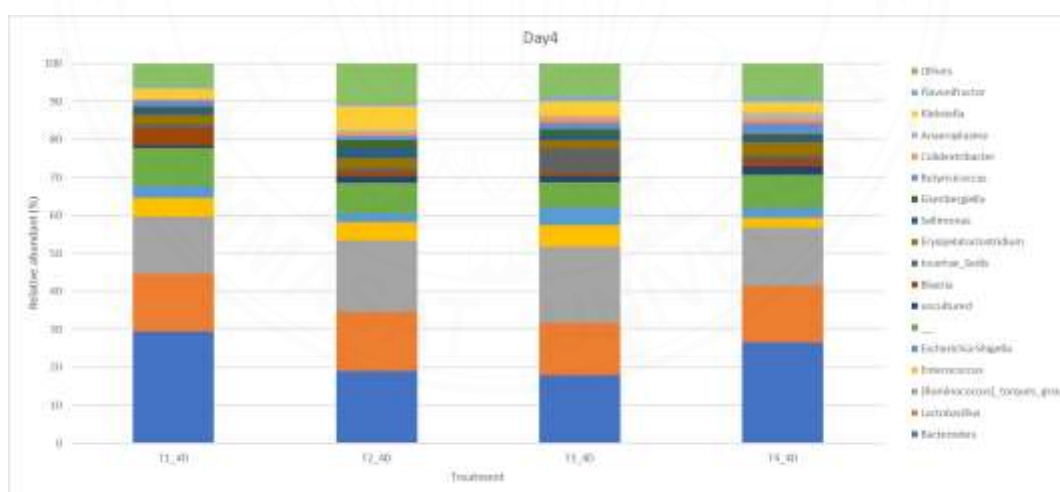
การพัฒนาของชุมชนจุลินทรีย์ในระดับสกุในไส้ตั้งของไก่เนื้อที่มีความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์สูงกว่า 1% ในช่วงอายุ 4 วัน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ของแบคทีเรียในระหว่างกลุ่ม ($P>0.05$) พบว่าสกุหลักที่โดดเด่นในช่วงอายุนี้นี้ ได้แก่ *Bacteroides*, *Ruminococcus_torques* และ *Lactobacillus* จากการทดลองนี้พบว่า พบสกุ *Bacteroides* มากที่สุดในกลุ่มควบคุม (29.49%) รองลงมาคือกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (26.60%) กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (19.11%) และกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (17.96%) ตามลำดับ ในขณะที่พบสกุ *Ruminococcus_torque* มากที่สุดในกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (20.20%) สกุ *Lactobacillus* พบมากที่สุดในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว ในช่วงอายุนี้นี้ยังพบสกุ *Blautia* มากที่สุดในกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ในทุกกลุ่มการทดลองพบสกุ *Escherichia-Shigella*, *Incertae_Sedis*, *Erysipelatoclostridium*, *Sellimonas*, *Eisenbergiella*, *Butyricoccus*, *Colidextribacter*, *Anaeroplasm*, *Klebsiella* และ *Flavonifractor* เพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 4.14

จากภาพที่ 4.15 การพัฒนาของชุมชนจุลินทรีย์ในช่วงอายุ 7 วัน พบว่าสกุหลักในช่วงอายุนี้นี้ยังคงเป็น *Bacteroides* รองลงมาคือ *Ruminococcus_torques* และ *Lactobacillus* พบสกุ *Ruminococcus_torques* ในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (20.13%) มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (10.57%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และในช่วงอายุนี้นี้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ของแบคทีเรียในกลุ่มอื่นๆ ($P>0.05$) กลุ่มควบคุมมีปริมาณแบคทีเรียกลุ่ม *Bacteroides* เท่ากับ 47.07% กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 44.98% กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก เท่ากับ 26.78% และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว เท่ากับ 27.08% ตามลำดับ พบสกุ *Lactobacillus* มากที่สุดในกลุ่มควบคุม (10.10%) รองลงมาคือกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (9.70%) กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (9.09%) และกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (6.93%) ตามลำดับ พบสกุ *Alistipes* โดดเด่นในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (2.78%) ในขณะที่กลุ่มการทดลองอื่นๆมีปริมาณสัมพัทธ์ไม่ถึง 1% นอกจากนี้ในทุกกลุ่มการทดลองพบสกุ *Clostridia_UCG-014*, *Escherichia-Shigella*, *Blautia*, *Fournierella*, *Subdoligranulum*, *Incertae_Sedis*, *Erysipelatoclostridium*, *Sellimonas*, *Eisenbergiella*, *Butyricoccus*, *Clostridia_vadinBB60* และ *Oscillibacter* เพียงเล็กน้อย

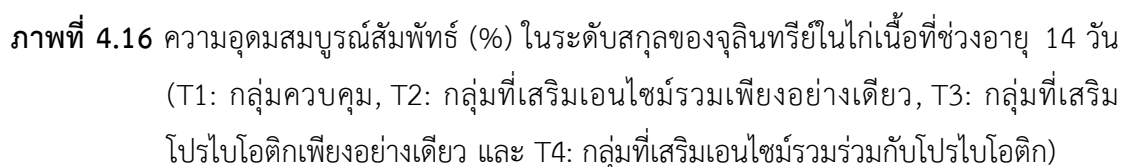
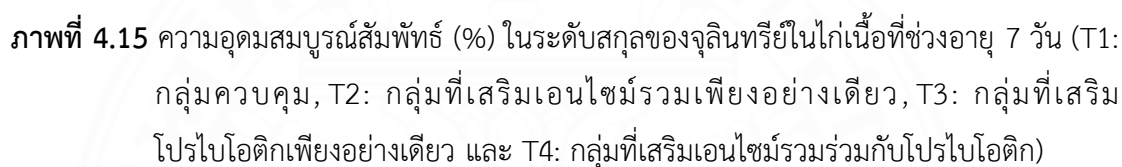
ในช่วงอายุ 14 วัน (ภาพที่ 4.16) การพัฒนาของจุลินทรีย์ในไส้ตั้งไก่เนื้อ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความอุดมสมบูรณ์ของแบคทีเรียในระหว่างกลุ่ม ($P>0.05$) จำนวน *Bacteroides* ลดลงในทุกกลุ่มการทดลอง โดยมากที่สุดในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (10.10%) กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (8.40%) กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (6.88%) และกลุ่มควบคุม (4.09%) ตามลำดับ สกุลแบคทีเรียที่โดดเด่นในช่วงอายุ 14 วัน คือ *Lactobacillus* และ *Ruminococcus_torques* พบว่าปริมาณสกุล *Lactobacillus* มีปริมาณสัมพันธ์ดังนี้ กลุ่มควบคุม (20.06%) กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (19.36%) กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (18.58%) และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (14.23%) ตามลำดับ และพบว่าสกุล *Ruminococcus_torques* พบมากที่สุดในกลุ่มควบคุม (14.61%) กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (12.92%) กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (12.17%) และกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (10.52%) สกุล *Alistipes* ยังคงโดดเด่นที่สุดในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (8.57%) และสกุล *Blautia* โดดเด่นที่สุดในกลุ่มควบคุม (6.89%) นอกจากนี้ในทุกกลุ่มการทดลองพบสกุล *Escherichia-Shigella*, *Fournierella*, *Subdoligranulum*, *Incertae_Sedis*, *Erysipelatoclostridium*, *Sellimonas*, *Faecalibacterium*, *Butyricicoccus*, *Eubacterium_hallii_group*, *Clostridia_vadinBB60*, *Marvinbryantia* และ *Clostridia_UCG-014* เพียงเล็กน้อย

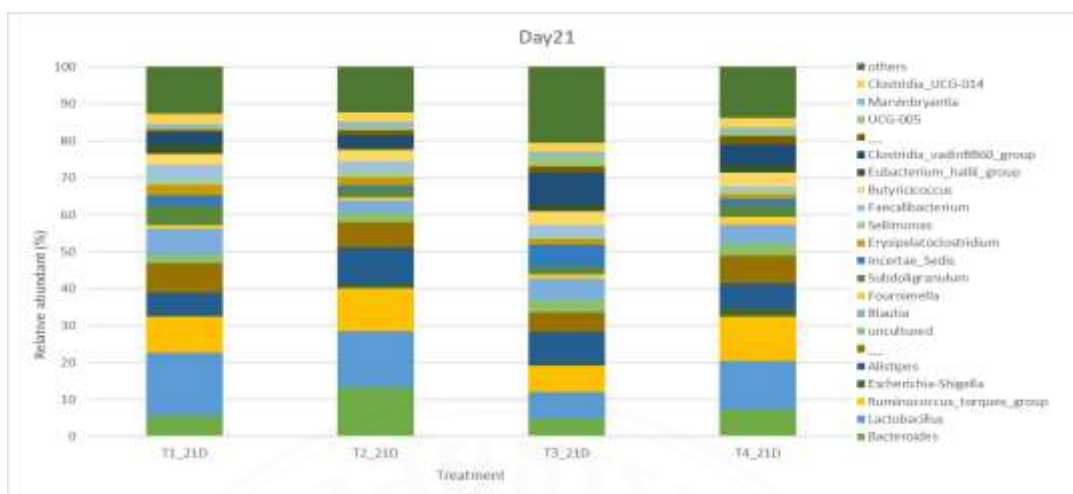
ในช่วงอายุ 21 วัน แสดงในภาพที่ 4.17 ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความอุดมสมบูรณ์ของแบคทีเรียในระหว่างกลุ่ม ($P>0.05$) ความหลากหลายของแบคทีเรียมีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้นจากวันที่ 14 สกุลของแบคทีเรียมีความหลากหลายมากขึ้น สกุลหลักที่พบยังคงเป็น *Lactobacillus* รองลงมาคือ *Ruminococcus_torques* และ *Bacteroides* พบ *Lactobacillus* มากที่สุดในกลุ่มควบคุม (16.99%) รองลงมาคือกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว (15.29%) กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (13.25%) และกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (7.12%) ตามลำดับ ในขณะที่สกุล *Ruminococcus_torques* พบมากที่สุดในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (11.91%) รองลงมาคือกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (11.47%) กลุ่มควบคุม (9.77%) และกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (7.12%) ตามลำดับ และที่สกุล *Bacteroides* พบโดดเด่นที่สุดในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (13.31%) และในช่วงอายุ 21 วันในทุกกลุ่มการทดลองยังพบสกุลอื่นๆอีกเพียงเล็กน้อย ได้แก่ *Fournierella*, *Subdoligranulum*, *Incertae_Sedis*, *Erysipelatoclostridium*, *Sellimonas*, *Faecalibacterium*, *Butyricicoccus*, *Eubacterium_hallii_group*, *Clostridia_vadin BB60*, *UCG-005*, *Marvinbryantia* และ *Clostridia_UCG-014*

จากภาพที่ 4.18 ในช่วงสุดท้าย การพัฒนาของจุลินทรีย์ในไส้ติ่งของไก่เนื้อที่อายุ 35 วัน พบว่า สกุลหลักที่พบในช่วงอายุนี้นี้คือ *Lactobacillus*, *Ruminococcus_torques* และ *Bacteroides* ที่สกุล *Lactobacillus* ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความอุดมสมบูรณ์ของแบคทีเรียในระหว่างกลุ่ม ($P>0.05$) พบมากที่สุดในกลุ่มการทดลองที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (21.84%) รองลงมาคือกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (16.30%) กลุ่มควบคุม (10.57%) และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (10.41%) พบ *Bacteroides* ลดลงมากที่สุดในกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว ($P<0.05$) พบว่าสกุล *Alistipes* มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว (9.31%) และสกุล *Faecalibacterium* โดดเด่นที่สุดในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก (7.04%) พบสกุล *Blautia* โดดเด่นที่สุดในกลุ่มควบคุม (4.05%) และในช่วงอายุ 35 วันพบว่าแบคทีเรียสกุล *Odoribacter* ในกลุ่มควบคุมมากที่สุด (3.60%) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความอุดมสมบูรณ์ของแบคทีเรียในระหว่างกลุ่ม ($P>0.05$) นอกจากนี้ในทุกกลุ่มการทดลองพบแบคทีเรียในสกุล *Subdoligranulum*, *Erysipelatoclostridium*, *Sellimonas*, *Streptococcus*, *Butyricoccus*, *Clostridia_vadinBB60*, *Parabacteroides*, *UCG-005*, *Akkermansia* และ *Clostridia_UCG-014* เพียงเล็กน้อย

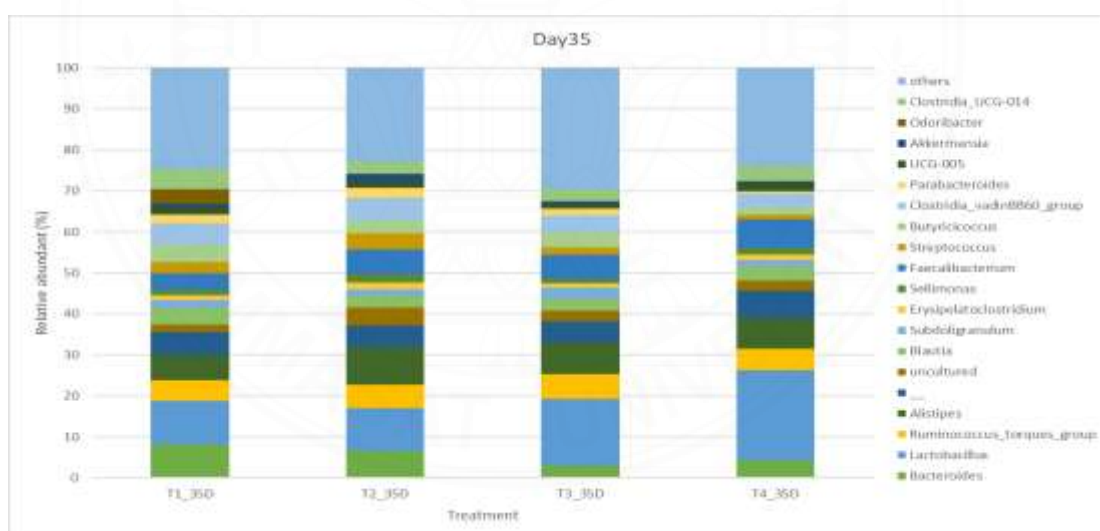


ภาพที่ 4.14 ความอุดมสมบูรณ์สัมพันธ์ (%) ในระดับสกุลของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 4 วัน (T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)





ภาพที่ 4.17 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับสกุลของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 21 วัน (T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)



ภาพที่ 4.18 ความอุดมสมบูรณ์สัมพัทธ์ (%) ในระดับสกุลของจุลินทรีย์ในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 35 วัน (T1: กลุ่มควบคุม, T2: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว, T3: กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว และ T4: กลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก)

4.2 อภิปรายผล

4.2.1 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต

การศึกษาผลของการเสริมโปรไบโอติก ร่วมกับเอนไซม์รวมในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ในการศึกษาครั้งนี้ ในช่วงระยะเริ่มต้น 1-14 วัน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกพารามิเตอร์ ($P>0.05$) อาจเนื่องจากในข้าวเปลือกมี NSP ที่ไม่ละลายน้ำ ที่จัดเป็นสารต้านโภชนาซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อเวลาในการเคลื่อนตัวของอาหาร ในทางเดินอาหาร และขัดขวางความสามารถของเอนไซม์ในร่างกายในไก่ที่อายุน้อย (Bedford and Schulze, 1998) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Seyedshohadaei et al. (2024) ซึ่งรายงานว่า การเสริมเอนไซม์รวมที่ 0.2 กรัม/กิโลกรัม ในอาหารที่มีข้าวสาลีเป็นองค์ประกอบในไก่เนื้อพันธุ์ Ross308 ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักตัวและอัตราแลกเนื้อในช่วง อายุ 1-14 วัน ($P>0.05$) ในช่วงอายุ 15-28 วัน พบว่าไก่เนื้อในกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวที่ต่ำกว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Kiarie et al. (2014) ศึกษาการเสริมเอนไซม์ไซลาลเนส 1,250 XU/กิโลกรัม ในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวสาลีเป็นองค์ประกอบ พบว่าในช่วงอายุ 22-42 วัน ไก่เนื้อที่ได้รับการเสริมเอนไซม์มีน้ำหนักตัวและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม ($P<0.05$) และประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ อายุ 29-35 วัน พบว่า การเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก ส่งผลให้ไก่เนื้อมีการกินได้สูงสุด ($P<0.05$) และส่งผลให้มีค่าต้นทุนอาหารต่อการผลิตเนื้อลูกที่สุด เท่ากับ 23.25 บาท/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกลุ่มการทดลอง ($P<0.05$) ในขณะที่ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตในพารามิเตอร์อื่นๆ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Sanchez et al. (2019) ศึกษาการเสริมเอนไซม์รวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำข้าวเป็นองค์ประกอบ 11% พบว่าน้ำหนักตัว และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวในไก่อายุ 25-35 วัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกพารามิเตอร์ในไก่เนื้อช่วงอายุ 1-35 วัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Cardoso et al. (2018) ศึกษาการเสริมเอนไซม์ 1,4- β -xylanase ที่ระดับ 62.5 กรัม/ตัน ในอาหารที่มีข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลีเป็นองค์ประกอบ พบว่าการเสริมเอนไซม์ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ($P<0.001$) และไม่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ($P>0.05$) ในไก่เนื้อพันธุ์ Ross308 อายุ 0-35 วัน ซึ่งการตอบสนองของเอนไซม์ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตอาจขึ้นอยู่กับระดับของเยื่อใย และสารต้านโภชนาในอาหารสัตว์เนื่องจากในข้าวเปลือกมีเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งส่งผลให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าถึงสารตั้งต้นได้อย่างเต็มที่ ส่งผลให้การใช้สารอาหาร และการเจริญเติบโตลดลง (Bedford and Schulze, 1998)

4.2.2 คุณภาพซาก

การศึกษาผลของการเสริมโปรไบโอติกร่วมกับเอนไซม์รวมในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบต่อคุณภาพซาก ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าน้ำหนักตัวมีชีวิตของไก่เนื้อที่อายุ 36 วัน ในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก มากกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว ($P < 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Machado et al., (2020) ศึกษาการเสริมเอนไซม์ไซลานเนสร่วมกับโปรไบโอติกทางการค้าในอาหารไก่เนื้อที่มีรำข้าวสาลีเป็นส่วนประกอบพบว่า การเสริมเอนไซม์ไซลานเนสร่วมกับโปรไบโอติกทางการค้าส่งผลเชิงบวกต่อเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนซาก ($P < 0.05$) และในการศึกษาครั้งนี้ในด้านเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนพบว่าไก่เนื้อกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียวมีเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนสันในมากที่สุด ($P < 0.05$) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในพารามิเตอร์เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนอื่นๆ สอดคล้องกับการศึกษาของ Yaqoop et al. (2022) ศึกษาการเสริมเอนไซม์รวมในอาหารไก่เนื้อ ได้แก่ 1,4- β -xylanase 20,000 U/g, α -amylase 2,000 U/g และ protease 40,000 U/g ในไก่เนื้อพันธุ์ Arbor Acres พบว่าการเสริมเอนไซม์รวมไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักชิ้นส่วน และน้ำหนักสัมพัทธ์ของอวัยวะ และการศึกษาของ Pelicano et al. (2003) ศึกษาเสริมโปรไบโอติกสายพันธุ์ *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* และ *Saccharomyces cerevisiae* ในอาหารไก่เนื้อ พบว่าไม่พบความแตกต่างในด้านผลผลิตซากระหว่างกลุ่มที่ได้รับโปรไบโอติกและกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) แม้ว่าการเสริมเอนไซม์รวมในอาหารจะส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์สันในที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่พบความแตกต่างในเปอร์เซ็นต์ซากเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งอาจเนื่องมาจากการเจริญเติบโตของร่างกายที่เป็นไปในลักษณะเชิงสัดส่วน กล่าวคือ ทั้งส่วนของซากและอวัยวะภายใน เช่น ลำไส้ ตับ และไขมันช่องท้อง อาจเพิ่มขึ้นพร้อมกัน ส่งผลให้สัดส่วนของซากต่อน้ำหนักตัวทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ ความแปรปรวนของน้ำหนักตัวก่อนเชือดและความชื้นที่สูญเสียจากซากหลังการชำแหละ อาจเป็นปัจจัยร่วมที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ซากไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติ

4.2.3 จุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร

ระบบทางเดินอาหารของสัตว์ปีกเป็นสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน ประกอบด้วยแบคทีเรีย โปรโตซัว เชื้อรา และไวรัส แต่พบว่าแบคทีเรียเป็นกลุ่มที่โดดเด่นและมีความสัมพันธ์กับระบบทางเดินอาหารมากที่สุด (Wei et al., 2013) จุลินทรีย์ในลำไส้มีความหลากหลายของสายพันธุ์สูง และช่วยรักษาสมดุลในลำไส้ นอกจากนี้ยังมีบทบาทในกระบวนการหมักคาร์โบไฮเดรต (Zhang et al., 2022) จากการศึกษาผลของการเสริมโปรไบโอติกร่วมกับเอนไซม์รวมในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบต่อความอุดมสมบูรณ์และความหลากหลายของจุลินทรีย์ในไส้ติ่งของไก่เนื้อ โดยพิจารณาจากความหลากหลายทางอัลฟา ได้แก่ Observe feature และ ดัชนี Shannon ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในด้านความหลากหลายในเชิงปริมาณและคุณภาพของ

จุลินทรีย์ในทุกช่วงอายุ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในด้านความหลากหลายทางเบต้า โดยพิจารณาจาก Bray curtis พบว่าในช่วงอายุ 21 วัน กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียวมีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว และในช่วงอายุ 35 วัน พบความแตกต่างในกลุ่มควบคุมเทียบกับกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก

ที่ความหลากหลายของแบคทีเรียในระดับไฟลัมพบว่า ในช่วงโก่ที่อายุน้อยพบไฟลัมหลัก ได้แก่ *Firmicutes*, *Bacterodota* และ *Proteobacteria* พบ *Firmicutes* มากที่สุดในทุกช่วงอายุ ซึ่งไฟลัม *Firmicutes* ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ของสัตว์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความสามารถในการได้รับพลังงานจากอาหาร (Turnbaugh et al., 2006) บิวทิเรตส่วนใหญ่ผลิตโดย *Firmicutes* ซึ่งเกิดจากการหมักของคาร์โบไฮเดรตเป็นไพรูเวต และอะซิติก-โคเอ (Vital et al., 2014) *Bacterodota* จะเพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 7 วัน และค่อยๆ ลดลงในช่วงอายุ 14 วัน เป็นต้นไป ในการศึกษาครั้งนี้พบ *Bacteroidota* มากที่สุดในช่วงอายุ 21 วัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Wei et al. (2013) รายงานว่าความอุดมสมบูรณ์ของ *Bacteroides* ในซีกัมของโก่เนื้อมีความหลากหลายอยู่ที่ประมาณ 2-40% ในโก่เนื้อตั้งแต่อายุน้อยจนถึงอายุมากขึ้น ซึ่งมีรายงานว่าปริมาณ *Bacteroides* มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อปริมาณกรดไขมันสายสั้นในไส้ติ่งของโก่เนื้อ (Liao et al., 2020) ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าพบไฟลัม *Proteobacteria* ในโก่เนื้ออายุ 4 วัน และลดลงหลังจากนั้น สอดคล้องกับรายงานของ Aruwa et al. (2021) รายงานว่าพบ *Proteobacteria* ในระดับที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกของอายุโก่เนื้อและค่อยๆ ลดลงจากนั้น อย่างไรก็ตาม เมื่ออายุเพิ่มขึ้น ไฟลัม *Firmicutes* เป็นไฟลัมที่พบมากที่สุด (Gong et al., 2002) สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ ในช่วงอายุ 35 วัน พบว่าการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกสามารถเพิ่มปริมาณ *Firmicutes* ได้มากกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเสริม ($p < 0.05$) อาจเนื่องจากโปรไบโอติกช่วยเสริมการทำงานของเอนไซม์จากภายนอก นอกจากนี้เอนไซม์ย่อยอาหารจากภายนอกช่วยเพิ่มความพร้อมของสารตั้งต้นที่เหมาะสมสำหรับโปรไบโอติก (Adeoye et al., 2016) การศึกษาในครั้งนี้ที่ระดับวงศ์ แบคทีเรียวงศ์หลักที่พบในทุกกลุ่มคือ *Lactobacillaceae*, *Ruminococcaceae*, *Bacteroidaceae* และ *Rikenellaceae* พบว่าปริมาณ *Lachnospiraceae* ไม่แตกต่างกันในกลุ่มการทดลอง ($P > 0.05$) ในช่วงอายุ 4 วันพบมากที่สุดในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว และในช่วงอายุ 7 วัน พบมากในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก *Lachnospiraceae* มีรายงานว่าสามารถหมักกลูโคสในลำไส้ใหญ่ส่วนต้น (cecum) และผลิตไขมันสายสั้นคือกรดไขมันระเหยง่ายเช่น กรดฟอร์มิก และกรดอะซิติก ซึ่งสามารถลดค่า pH ในลำไส้ ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นอันตราย และเป็นประโยชน์ต่อความสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ (Lan et al., 2021) ในการศึกษาครั้งนี้ในช่วงอายุ 7 วัน พบวงศ์ *Ruminococcaceae* ในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว ซึ่งมีรายงานว่า แบคทีเรีย

Faecalibacterium, *Ruminococcaceae* และ *Lactococcaceae* เกี่ยวข้องกับการผลิต SCFAs และส่งเสริมประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ (Qiu et al., 2022) จากผลการศึกษาที่ระดับสกุลในการศึกษาครั้งนี้พบว่า *Bacteroides*, *Ruminococcus_torques_group* และ *Lactobacillus* เป็นสกุลหลักในทุกช่วงอายุ ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าในช่วงอายุ 7 วันการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกช่วยเพิ่มความหลากหลายของแบคทีเรียในกลุ่ม *Ruminococcus_torques* เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) ซึ่งสกุล *Ruminococcus_torques* อยู่ในวงศ์ *Lachnospiraceae* ซึ่งเป็นวงศ์ที่สามารถผลิตกรดไขมันสายสั้น (SCFAs) เช่น บิวทิเรต (Biddle et al., 2013) การศึกษาของ Yang et al. (2023) พบว่า *Ruminococcus_torques* สูงขึ้นในไก่ที่มีน้ำหนักตัวมาก และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับกรดแพนโทเทนิค (วิตามินบี 5) ในทางตรงกันข้ามมีรายงานว่าอาจมีหน้าที่อื่นๆ เช่น เป็นตัวย่อยสลายมิวซิน ซึ่งปริมาณที่มากขึ้นอาจนำไปสู่ภาวะลำไส้ไม่สมบูรณ์ (Schaus et al., 2024) และในช่วงอายุ 7 วันพบสกุล *Alistipes* ในกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่ง *Alistipes* มีรายงานว่ามีความสามารถในการผลิตกรดอะซิติกโดยการหมักคาร์โบไฮเดรต (Rautio et al., 2003) และมีรายงานว่าสามารถต้านการอักเสบได้ และสกุล *Lactobacillus* สามารถผลิตแลคเตตและกรดไขมันสายสั้น สร้างแบคทีริโอซินเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค เพิ่มการแสดงออกของยีนขนส่งกลูโคส เพิ่มความสมบูรณ์ของลำไส้ (Dempsey and Corr, 2022) โดยชนิดและคุณสมบัติของโปรไบโอติกนั้นอาจขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของ *Lactobacillus*

อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้พบว่าการเสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียวช่วยเพิ่มความหลากหลายทางเบต้าในไส้ติ่งของไก่เนื้อได้ ($P < 0.05$) ในขณะที่การเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์สัมพันธ์ของแบคทีเรียในไฟลัม *Firmicute* ในช่วงอายุ 35 วัน ($P < 0.05$) และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของสกุล *Ruminococcus_torques* ในช่วงอายุ 7 วัน ($P < 0.05$) สอดคล้องกับผลของประสิทธิภาพการผลิตในด้านต้นทุนการผลิต พบว่าการเสริมเอนไซม์และโปรไบโอติกร่วมกันช่วยลดต้นทุนการผลิตลงมากที่สุด ($P < 0.05$) ในช่วงอายุ 29-35 วัน และในด้านคุณภาพซากพบว่าในกลุ่มนี้มีน้ำหนักตัวมีชีวิตที่อายุ 36 วันสูงที่สุดเช่นกัน ($P < 0.05$) อาจเนื่องจากการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกช่วยเพิ่มจำนวนแบคทีเรียชนิดดีในลำไส้ เนื่องจากเอนไซม์ช่วยย่อยอาหารให้เป็นสารตั้งต้นที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์มีประโยชน์ ขณะเดียวกันโปรไบโอติกเข้าไปแข่งขันกับเชื้อก่อโรคและปรับสมดุลจุลินทรีย์ ส่งผลให้ระบบย่อยอาหารทำงานดีขึ้นและช่วยสนับสนุนการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตาม การใช้ร่วมกันอาจเห็นผลดีกว่าการใช้เดี่ยวเนื่องจากโปรไบโอติกต้องใช้เวลาในการตั้งรกรากในลำไส้ ขณะที่การปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมด้วยเอนไซม์ก็ต้องใช้เวลาเช่นกัน จึงทำให้ผลเชิงบวกสะสมและปรากฏชัดในระยะต่อมา

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและคุณภาพซาก

จากผลการศึกษาการเสริมเอนไซม์รวม และโปรไบโอติกในอาหารที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อสรุปได้ว่า การเสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียวในอาหารที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบช่วยให้ไก่เนื้ออายุ 15-28 วัน มีต้นทุนการผลิตลดลง และประสิทธิภาพการผลิตในด้าน น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้น รวมถึงการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกช่วยลดต้นทุนค่าอาหารไก่เนื้อที่อายุ 29-35 วัน และในด้านคุณภาพซากการเสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียวในอาหารที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบส่งผลเชิงบวกต่อน้ำหนักตัวมีชีวิต และการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกส่งผลดีต่อเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนสันในของไก่เนื้อ อายุ 36 วัน

5.2.2 ความหลากหลายขององค์ประกอบและการพัฒนาของจุลินทรีย์ในไส้ติ่ง

จากผลการศึกษาการเสริมเอนไซม์รวมและโปรไบโอติกในอาหารที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบต่อปริมาณความอุดมสมบูรณ์ของจุลินทรีย์ในไส้ติ่งของไก่เนื้อที่อายุ 4, 7, 14, 21 และ 35 วัน วิเคราะห์ความคล้ายคลึงกันหรือความแตกต่างกันขององค์ประกอบชุมชนจุลินทรีย์ในเชิงชนิดและปริมาณโดยใช้ Bray Curtis สรุปได้ว่าในช่วงอายุ 21 วัน กลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียวมีความแตกต่างด้านความหลากหลายทางเบต้าในเชิงชนิดและปริมาณเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียว และในช่วงอายุ 35 วัน พบความแตกต่างในกลุ่มควบคุม เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียวและกลุ่มที่เสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก

จากผลการศึกษาปริมาณความหลากหลายสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ในไส้ติ่งของไก่เนื้อที่อายุ 4, 7, 14, 21 และ 35 วัน พบว่าที่อายุ 35 วันการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์สัมพันธ์ของแบคทีเรียในไฟลัม *Firmicutes* และที่ระดับสกุลพบว่าในช่วงอายุ 7 วันการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกช่วยเพิ่มความหลากหลายของแบคทีเรียในกลุ่ม *Ruminococcus_torques* เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของปัจจัยด้านช่วงอายุต่อการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก ต่อช่วงอายุในการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ

5.2.2 ควรมีการศึกษาการเสริมเอนไซม์ และโปรไบโอติก ในอัตราส่วนอื่น ๆ ต่อการเจริญเติบโต ของไก่เนื้อ

5.2.3 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านโลหิตวิทยา เพื่อศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในไก่เนื้อที่ได้รับการเสริมเอนไซม์และโปรไบโอติก



รายการอ้างอิง

- ชัตติยา ล้านแปง. 2563. การประเมินระดับที่เหมาะสมของใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำในสูตรอาหารไก่เนื้อต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ธงชาติ สุริยวงศ์. 2556. ผลของกากมันสำปะหลังเสริมด้วยเอนไซม์ไซลาลเนสต่อการย่อยได้ของโภชนาสมรรถนะการเจริญเติบโตและคุณภาพซากของไก่เนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นัสวัล บุญวงศ์ และ ปิยะณัฐ เอี่ยมเพ็ง. 2565. ผลของการเสริมโปรไบโอติกและเอนไซม์ในน้ำดื่มต่อสมรรถภาพการผลิตและสัณฐานวิทยาลำไส้เล็กของไก่เนื้อ. แก่นเกษตร, 50(1): 265-271.
- พิชญสิณี อริยธนะกตวงศ์. 2558. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. ทริปเปิ้ล เอ็ดดูเคชั่น. กรุงเทพฯ. 302 หน้า.
- วรรณพร ทะพิงค์แก. 2558. การเสริมเอนไซม์ในสัตว์. แหล่งที่มา: <http://www.asah.co.th>, 5 มีนาคม 2567.
- วรรณพร ทะพิงค์แก. 2560. อาหารและการให้อาหารสัตว์. ศูนย์บริหารงานวิจัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 338 หน้า.
- ศรีสกุล วรจันทรา และรณชัย สิทธิไกรพงษ์. 2539. โภชนศาสตร์สัตว์. โรงพิมพ์โอ. เอส. พรินต์ติ้งเฮาส์, กรุงเทพฯ. 216 หน้า.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2538. เคมีอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 154 หน้า.
- Abreu, R., Oliveira, C.B., Costa, J.A., Brito, J. and Teixeira, V.H. 2023. Effects of dietary supplements on athletic performance in elite soccer players: a systematic review. J. Int. Soc. Sports Nutr. 20(1): 2236060.
- Acamovic, T. 2001. Commercial application of enzyme technology for poultry production. Worlds Poult. Sci. J. 57: 225-242.
- Adeola, O. and Cowieson, A. J. 2011. Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve non-ruminant animal production. J. Anim. Sci. 89: 3189-3218.

- Adeoye, A.A., Yomla, R., Jaramillo-Torres, A., Rodiles, A., Merrifield, D.L. and Davies, S.J. 2016. Combined effects of exogenous enzymes and probiotic on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth, intestinal morphology and microbiome. *Aquaculture*. 463: 61-70
- Ahmed, S.T., Islam, M.M., Mun, H.S., Sim, H.J., Kim, Y.J. and Yang, C.J. 2014. Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* as a probiotic strain on growth performance, cecal microflora, and fecal noxious gas emissions of broiler chickens. *Poult. Sci.* 93: 1963-1971.
- Aksu, M.I., Karaoglu, M., Esenbuga, N., Kaya, M., Macit, M. and Ockerman, H.W. 2005. Effect of a dietary probiotic on some quality characteristics of raw broiler drumsticks and breast meat. *Journal of Muscle Foods*. 16(4): 306-317.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17thed. Association of official analytical chemists, Arlington, V. A.
- Apajalahti, J. 2005. Comparative Gut Microflora, Metabolic Challenges, and Potential Opportunities. *Journal of Applied Poultry Research*. 14(2): 444-453.
- Aruwa, C.E., Pillay, C. and Nyaga, M.M. 2021. Poultry gut health – microbiome functions, environmental impacts, microbiome engineering and advancements in characterization technologies. *J. Animal Sci. Biotechnol.* 12: 119.
- Ashraf, R. and Shah, N. P., 2014. Immune System Stimulation by Probiotic Microorganisms. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 54: 938–956.
- AVMA (American Veterinary Medical Association) Panel on Euthanasia. 2013. AVMA Guidelines for the Euthanasia of Animals: 2013 Edition. Schaumburg, IL: AVMA.
- Baker, R. A. and Wicker, L. 1996. Current and potential applications of enzyme infusion in the food industry. *Trends in Food Science and Technology*. 7: 279-284.
- Bedford, MR. and Schulze, H. 1998. Exogenous enzymes for pigs and poultry. *Nutr. Res. Rev.* 11: 91–114.
- Biddle, A., Stewart, L., Blanchard, J. and Leschine, S. Untangling the genetic basis of fibrolytic specialization by *Lachnospiraceae* and *Ruminococcaceae* in diverse gut communities. *Diversity*. 5(3): 627–40.
- Bohak, Z. 1970. Chicken pepsinogen and chicken pepsin. *Methods Enzymol.* 19: 347–358.

- Borda-Molina, D., Zuber, T., Siegert, W., Camarinha-Silva, A., Feuerstein, D. and Rodehutschord, M. 2019. Effects of protease and phytase supplements on small intestinal microbiota and amino acid digestibility in broiler chickens. *Poult. Sci.* 98(7): 2906-2918.
- Caffall, K.H. and Mohnen, D. 2009. The structure, function, and biosynthesis of plant cell wall pectic polysaccharides. *Carbohydr. Res.* 344: 1879-1900.
- Cardoso, V., Fernandes, E.A., Santos, H.M., Maças, B., Lordelo, M.M., Telo da Gama, L., Ferreira, L.M., Fontes, C.M. and Ribeiro, T. 2018. Variation in levels of non-starch polysaccharides and endogenous endo-1,4- β -xylanases affects the nutritive value of wheat for poultry. *Br. Poult. Sci.* 59(2): 218-226.
- Carter, A. J., Adams, M. R., Woodward, M. J. and La Ragione, R. M.. 2009. Control strategies for *Salmonella* colonization of poultry: The probiotic perspective. *J. Food Sci. Technol.* 5: 103–115.
- Chambers, J. R. and Gong, J. 2011. The intestinal microbiota and its modulation for *salmonella* control in chickens. *Food Res. Int.* 44: 3149–3159.
- Choct, M. and Annison, G. 1992. The inhibition of nutrient digestion by wheat pentosans. *British Journal of Nutrition.* 67(1): 123-132.
- Choct, M., Hughes, R. J. and Wang, J. 1996. Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. *Br. Poult. Sci.* 37: 609–621.
- Clavijo, V. and Flórez, M.J.V. 2018. The gastrointestinal microbiome and its association with the control of pathogens in broiler chicken production: A review. *Poult. Sci.* 97(3): 1006-1021.
- Cowieson, A.J., Hruby, M. and Faurschou Isaksen, M. 2005. The effect of conditioning temperature and exogenous xylanase addition on the viscosity of wheat-based diets and the performance of broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 46: 717–724.
- Cowieson, A.J. 2010. Strategic selection of exogenous enzymes for corn/soy-based poultry diets. *J. Poult. Sci.* 47(1): 1–7.

- Crhanova, M., Hradecka, H., Faldynova, M., Matulova, M., Havlickova, H., Sisak, F. and Rychlik, I. 2011. Immune response of chicken gut to natural colonization by gut microflora and to *Salmonella enterica* serovar enteritidis infection. *Infect Immun.* 79(7): 2755-63.
- Dempsey, E. and Corr, S.C. 2022. *Lactobacillus spp.* for Gastrointestinal Health: Current and Future Perspectives. *Frontiers in Immunology.* 13: 840245.
- Dong, Z.L., Wang, Y.W., Song, D., Hou, Y.J., Wang, Qi, W.T., Yun, T.T. and Li, A.K. 2016. The effects of dietary supplementation of microencapsulated *Enterococcus faecalis* and the extract of *Camellia oleifera* seed on growth performance, intestinal morphology, and intestinal mucosal immune functions in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology.* 212: 42-51.
- El-Fallal, A., Dobara, M.A., El-sayed, Ahmed. and Omar, N. 2012. Starch and Microbial α -Amylases: From Concepts to Biotechnological Applications. *IntechOpen.* 460-488.
- El-Full, E.A., Askar, N.E.A., Ali, M.M.M., Abdel Washed, H.M. and Oma, E.M. 2000. The Use of rice bran in broiler and layer diets with reference to enzyme supplementation. *Egypt Pout. Sci.* 20: 517-543.
- El-Hack, M.E.A., El-Saadony, M.T., Shafi, M.E., Qattan, S.Y.A., Batiha, G.E., Khafaga, A.F., Abdel Moneim, A.M.E. and Alagawany, M. 2020. Probiotics in poultry feed: a comprehensive review. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 104:1835–1850.
- Englyst, K.N., Liu, S. and Englyst, H.N. 2007. Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates. *Eur. J. Clin. Nutr.* 61: 19–39.
- Forder, R.E., Howarth, G. S., Tivey, D. R. and Hughes, R. J. 2007. Bacterial modulation of small intestinal goblet cells and mucin composition during early post hatch development of poultry. *Poult. Sci.* 86: 2396–2403.
- Freter, R. 1992. *Probiotics: The Scientific Basis.* Springer; Dordrecht, The Netherlands. Factors affecting the microecology of the gut. 111–144.
- Gantois, I., Ducatelle, R., Pasmans, F., Haesebrouck, F., Gast, R., Humphrey, T.J. and Van Immerseel, F. 2009. Mechanisms of egg contamination by *Salmonella Enteritidis*. *FEMS Microbiol Rev.* 33(4): 718-38.

- Gao, F., Jiang, Y., Zhou, G.H. and Han, Z.K. 2008. The effects of xylanase supplementation on performance, characteristics of the gastrointestinal tract, blood parameters and gut microflora in broilers fed on wheat-based diets. *Animal Feed Science and Technology*. 142(1-2): 173-184.
- Gao, Z., Wu, H., Shi, L., Zhang, X., Sheng, R., Yin, F. and Gooneratne R. 2017. Study of *Bacillus subtilis* on growth performance, nutrition metabolism and intestinal microflora of 1 to 42 d broiler chickens. *Animal Nutrition*. 3 (2): 109-113.
- Golder, H. M., Geier, M. S., Forder, R. E. A., Hynd, P. I. and Hughes, R. J. 2011. Effects of necrotic enteritis challenge on intestinal micro-architecture and mucin profile. *Br. Poult. Sci*. 52: 500–506.
- Gong, J., Forster, R.J., Yu, H., Chambers, J.R., Sabour, P.M., Wheatcroft, R. and Chen, S. 2002. Diversity and phylogenetic analysis of bacteria in the mucosa of chicken ceca and comparison with bacteria in the cecal lumen. *FEMS Microbiol Lett*. 208(1): 1-7.
- Guinotte, F., Gautron, J. and Nys, Y. 1995. Calcium solubilization and retention in the gastrointestinal tract in chicks (*Gallus domesticus*) as a function of gastric acid secretion, inhibition and of calcium carbonate particle size. *Br. J. Nutr*. 73: 125–139.
- Gurung, N., Ray, S., Bose, S. and Rai, V. 2013. A broader view: microbial enzymes and their relevance in industries, medicine, and beyond. *BioMed Research International*. 18: 329121.
- Hadieva, G., Lutfullin, M., Pudova, D., Akosah, Y., Shagimardanova, E., Gogoleva, N., Sharipova, M. and Mardanova, A. 2021. Supplementation of *Bacillus subtilis* GM5 enhances broiler body weight gain and modulates cecal microbiota. *Biotech*. 11: 126.
- Han, G.G., Kim, E.B., Lee, J., Lee, J.Y., Jin, G., Park, J., Huh, C.S., Kwon, I.K., Kil, D.Y., Choi, Y.J. and Kong, C. 2016. Relationship between the microbiota in different sections of the gastrointestinal tract, and the body weight of broiler chickens. *Springerplus*. 5(1): 911.

- Hayashi, R.M., Lourenço, M.C., Kraieski, A.L., Araujo, R.B., Gonzalez-Esquerre, R., Leonardecz, E., da Cunha, A.F., Carazzolle, M.F., Monzani, P.S. and Santin, E. 2018. Effect of feeding *Bacillus subtilis* spores to broilers challenged with *Salmonella enterica* serovar Heidelberg Brazilian strain UFPR1 on performance, immune response, and gut health. *Front. Vet. Sci.* 5: 1–12.
- Hedemann, M. S., Theil, P.K. and Knudsen, K. B. 2009. The thickness of the intestinal mucous layer in the colon of rats fed various sources of non-digestible carbohydrates is positively correlated with the pool of SCFA but negatively correlated with the proportion of butyric acid in digesta. *Br. J. Nutr.* 102(1): 117–125.
- Hadieva, G., Lutfullin, M., Pudova, D., Akosah, Y., Shagimardanova, E., Gogoleva, N., Sharipova, M. and Mardanova, A. 2021. Supplementation of *Bacillus subtilis* GM5 enhances broiler body weight gain and modulates cecal microbiota. *3 Biotech.* 11(3): 126.
- Hooper, L.V., Midtvedt, T. and Gordon, J.I. 2002. How host-microbial interactions shape the nutrient environment of the mammalian intestine. *Annu. Rev. Nutr.* 22: 283–307.
- Horyanto, D., Bajagai, Y.S. and Kayal, A., von Hellens, J., Chen, X., Van, T.T.H., Radovanović, A. and Stanley, D. 2024. *Bacillus amyloliquefaciens* Probiotics Mix Supplementation in a Broiler Leaky Gut Model. *Microorganisms.* 12: 419.
- Hübener, K., Vahjen, W. and Simon, O. 2002. Bacterial responses to different dietary cereal types and xylanase supplementation in the intestine of broiler chicken. *Arch. Anim. Nutr.* 56: 167–187.
- Huo, W., Zhu, W. and Mao, S. 2014. Impact of subacute ruminal acidosis on the diversity of liquid and solid-associated bacteria in the rumen of goats. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 30: 669–680.
- Inatomi, T. and Otomaru, K. 2018. Effect of dietary probiotics on the semen traits and antioxidative activity of male broiler breeders. *Scientific Reports.* 8: 5874.

- Jafar, S., Jamil, S., Yasin, M.S., Naseem, A., Zahoor, M.Y., Shehzad, W. and Imran, M. 2024. Successful application of modified crude DNA extraction from muscle tissues for various types of PCR amplifications. *Mol. Biol. Rep.* 51(1): 490.
- Jaturasitha, S., Srikanchai, T., Kreuzer, M. and Wicke, M. 2008. Differences in carcass and meat characteristics between chicken indigenous to northern Thailand (Black-boned and Thai native) and imported extensive breeds (Bresse and Rhode Island red). *Poult. Sci.* 87(1): 160-169.
- Jayani, R.S., Saxena, S. and Gupta, R. 2005. Microbial pectinolytic enzymes: a review. *Process Biochemistry.* 40(9): 2931–2944.
- Jha, R. and Mishra, P. 2021. Dietary fiber in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, performance, gut health, and on the environment: A Review. *Journal of Animal Science and Biotechnology.* 12: 1-16.
- Jiménez-Moreno, E., Coca-Sinova, A., de González-Alvarado, J. M. and Mateos, G. G., 2016. Inclusion of insoluble fiber sources in mash or pellet diets for young broilers. Effects on growth performance and water intake. *Poult. Sci.*, 95(1): 41-52.
- Johansson, M. E. V. and Hansson, G. C. 2016. Immunological aspects of intestinal mucus and mucins. *Nat. Rev. Immunol.* 16: 639-649.
- Jorgensen, H., Zhao, X.Q. and Eggum, B.O. 1996. The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs. *British Journal of Nutrition.* 75(3): 365-378
- Joysowal, M., Saikia, B., Dowarah, R., Tamuly, S., Kalita, D. and Choudhury, K.D. 2018. Effect of probiotic *Pediacoccus acidilactici* FT28 on growth performance, nutrient digestibility, health status, meat quality, and intestinal morphology in growing pigs. *Veterinary World.* 11(12): 1669.
- Józefiak, D., Rutkowski, A. and Martin, S. A. 2004. Carbohydrate fermentation in the avian ceca: A review. *Animal. Feed Sci. Technol.* 113: 1–15.
- Junaid, N., Biswas, A., Kumawat, M. and Mandal, A.B. 2018. Production performance, immune response and carcass traits of broiler chickens fed diet incorporated with probiotics. *Indian Journal of Animal Research.* 52: 1597-1602.

- Kabir, S. M. L. 2009. The role of probiotics in the poultry industry. *Int. J. Mol. Sci.* 10: 3531–3546.
- Khalid, A., Khalid, F., Mahreen, N., Hussain, M.H., Shahzad, M.M., Khan, S. and Wang, Z. 2022. Effect of Spore-Forming Probiotics on the Poultry Production: A Review. *Food Science of Animal Resources.* 42(06): 968-980.
- Kheravii, S.K., Morgan, N.K., Swick, R.A., Choct, M. and Wu, S.B. 2018. Roles of dietary fibre and ingredient particle size in broiler nutrition. *World Poult. Sci.* 74: 301-316.
- Kiarie, E., Romero, L.F. and Nyachoti C.M. 2013. The role of added feed enzymes in promoting gut health in swine and poultry. *Nutr. Res. Rev.* 26: 71-88.
- Kiarie, E., Romero, L.F. and Nyachoti C.M. 2014. Growth performance, nutrient utilization, and digesta characteristics in broiler chickens fed corn or wheat diets without or with supplemental xylanase. *Poult. Sci.* 93: 1186-1196.
- Kim, P.I., Ryu, J., Kim, Y.H. and Chi, Y.T. 2010. Production of biosurfactant lipopeptides iturin A, fengycin and surfactin A from *Bacillus subtilis* CMB32 for control of *Colletotrichum gloeosporioides*. *J Microbiol. Biotechnol.* 20: 138–45.
- Kim, E., Morgan, N. K., Moss, A. F. Li, L., Ader, P. and Choct, M. 2022. The flow of non - starch polysaccharides along the gastrointestinal tract of broiler chickens fed either a wheat- or maize-based diet. *Anim. Nutr.* 9: 138-142.
- Knudsen, K.E.B. 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Anim. Feed Sci. Technol.* 67: 319-38.
- Knudsen, K.E.B. 2014. Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. *Poult. Sci.* 93: 2380–2393.
- Kollarčíková, M., Kubasová, T., Karasová, D., Črhanová, M., Čejková, D., Sisák, F. and Rychlík, I. 2019. Use of 16S rRNA gene sequencing for prediction of new opportunistic pathogens in chicken ileal and cecal microbiota. *Poult. Sci.* 98: 2347–2353.
- Kuhlers, D.L., and Nestor, K.E. 1994. Broiler culling criteria and their relationship to growth and carcass yield. *Poult. Sci.* 73(2): 280-287.

- Kumar, S., Chen, C., Indugu, N., Werlang, G.O., Singh, M., Kim, W.K. and Thippareddi, H. 2018. Effect of antibiotic withdrawal in feed on chicken gut microbial dynamics, immunity, growth performance and prevalence of foodborne pathogens. *PLoS One*. 13: e0192450.
- Lan, J., Chen, G., Cao, G., Tang, J., Li, Q., Zhang, B. and Yang, C. 2021. Effects of α -glyceryl monolaurate on growth, immune function, volatile fatty acids, and gut microbiota in broiler chickens. *Poult. Sci.* 100(3): 100875.
- Latorre, J. D., Hernandez-Velasco, X., Kallapura, G., Menconi, A., Pumford, N. R., Morgan, M. J., Layton, S. L., Bielke, L. R., Hargis, B. M. and Téllez, G. 2014. Evaluation of Germination, Distribution, and Persistence of *Bacillus subtilis* Spores through the Gastrointestinal Tract of Chickens. *Poult. Sci.* 93: 1793–1800.
- Latorre, J. D., Hernandez-Velasco, X., Bielke, L. R., Vicente, J. L., Wolfenden, R., Menconi, A., Hargis, B.M. and Tellez, G. 2015. Evaluation of a *Bacillus* Direct-Fed Microbial Candidate on Digesta Viscosity, Bacterial Translocation, Microbiota Composition and Bone Mineralisation in Broiler Chickens Fed on a Rye-Based Diet. *Br. Poult. Sci.* 56: 723–732.
- Lawley, T. D. and Walker, A. W. 2013. Intestinal colonization resistance. *Immunology*. 138 :1-11.
- LeBlanc, J. G., Milani, C., de Giori, G. S., Sesma, F., van Sinderen, D. and Ventura, M.. 2013. Bacteria as vitamin suppliers to their host: A gut microbiota perspective. *Curr. Opin. Biotechnol.* 24: 160–168.
- Lee, M.D. and Newell, D.G. 2006. *Campylobacter* in Poultry: Filling an Ecological Niche. *Avian Dis.* 50:1–9.
- Lee, N.K., Kim, W.S. and Paik, H.D. 2019. *Bacillus* strains as human probiotics: characterization, safety, microbiome, and probiotic carrier. *Food Sci. Biotechnol.* 28: 1297–305.
- Li, C., Cai, H., Li, S., Liu, G., Deng, X., Bryden, W.L. and Zheng, A. 2022. Comparing the potential of *Bacillus amyloliquefaciens* CGMCC18230 with antimicrobial growth promoters for growth performance, bone development, expression of phosphorus transporters, and excreta microbiome in broiler chickens. *Poult. Sci.* 101(11) 102126.

- Li, Z., Li, J., Liu, X. L., Liu, D. D. Li, H. H., Li, Z. J., Han, R. L., Wang, Y. B., Liu, X. J., Kang, X. T., Yan, F. B. and Tian, Y. D. 2019. Effects of different starch sources on glucose and fat metabolism in broiler chickens. *Br. Poult Sci.* 60(4): 449-456.
- Liao, X., Shao, Y., Sun, G., Yang, Y., Zhang, L., Guo, Y., Luo, X. and Lu, L. 2020. The relationship among gut microbiota, short-chain fatty acids, and intestinal morphology of growing and healthy broilers. *Poult. Sci.* 99(11): 5883-5895.
- Lu, J., Idris, U., Harmon, B., Hofacre, C., Maurer, J.J. and Lee, M.D. 2003. Diversity and Succession of the Intestinal Bacterial Community of the Maturing Broiler Chicken. *Appl. Environ. Microbiol.* 69.
- Luo, C., Wang, L., Chen, Y. and Yuan, J. 2023. Supplemental enzymes and probiotics on the gut health of broilers fed with a newly harvested corn diet. *Poult. Sci.* 102(7): 102740.
- Machado, N. J. B., Cruz, F. G. G., Brasil, R. J. M., Rufino, J. P. F., Freitas, L. W., Dilelis, F., Quaresma, D. V. and Lima, C. A. R. 2020. Effects of xylanase and probiotic supplementation on broiler chicken diets. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 49: e20190216.
- Mahdinia, E., Demirci, A. and Berenjian, A. 2019. Biofilm reactors as a promising method for vitamin K (menaquinone-7) production. *Appl Microbiol Biotechnol.* 103(55): 83–92.
- Mahmood, T. and Guo, Y. 2020. Dietary fiber and chicken microbiome interaction: Where will it lead to?. *Anim. Nutr.* 6(1): 1-8.
- Meng, X. and Slominski, B. A. 2005. Nutritive values of corn, soybean meal, canola meal and peas for broiler chickens as affected by a multi carbohydrase preparation of cell wall degrading enzymes. *Poult. Sci.* 84: 1242-1251.
- Metges, C. C. 2000. Contribution of microbial amino acids to amino acid homeostasis of the host. *J. Nutr.* 130: 1857–1864.
- Mitsuhiro, F. and Jun-ichi, O. 1994. Nutritional and physiological characteristics in germ free chickens. *Comp. Biochem. Physiol. Pt. A Physiol.* 109: 547–556.

- Mondal, S., Halder, S.K. and Mondal, K.C. 2019. Fungal enzymes for bioconversion of lignocellulosic biomass. In: Yadav, A., Singh, S., Mishra, S., Gupta, A. (Eds.) Recent advancement in white biotechnology through fungi. Fungal Biology. Springer. Cham. 349–380.
- Mora, Z.V., Macías-Rodríguez, M.E., Arratia-Quijada, J., Gonzalez-Torres, Y.S., Nuño, K. and Villarruel-López, A. 2020. *Clostridium perfringens* as Foodborne Pathogen in Broiler Production: Pathophysiology and Potential Strategies for Controlling Necrotic Enteritis. Animals (Basel). 10(9): 1718.
- Moran, E. T. 1985. Jr. Digestion and absorption of carbohydrates in fowl and events through perinatal development. J. Nutr. 115: 665–674.
- Moses, C., Manyeula, F., Radikara, M.V., Mareko, M.H.D. and Madibela, O.R. 2022. Carcass characteristics and meat quality of Ross 308 broiler chickens fed malted red and white sorghum-based diets. Poultry. 1: 169-179.
- Mousavi, S.H., Sadeghian, M.S.F., Salami, M., Kavousi, K., Sheykh, A.M.A., Ariaeenejad, S. and Salekdeh, G.H. 2022. *In vitro* bioprocessing of corn as poultry feed additive by the influence of carbohydrate hydrolyzing metagenome derived enzyme cocktail. Sci. Rep. 12(1): 405.
- Mwangi, W. N., Beal, R. K., Powers, C., Wu, X., Humphrey, T., Watson, M., Bailey, M., Friedman, A. and Smith, A. L. 2010. Regional and global changes in TCR $\alpha\beta$ T cell repertoires in the gut are dependent upon the complexity of the enteric microflora. Dev. Comp. Immunol. 34: 406–417.
- Nath, P.C., Ojha, A. and Debnath, S. 2023. Valorization of food waste as animal feed : A step towards sustainable food waste management and circular bioeconomy. Animals 13: 1366.
- Navarro, D. M. D. L., Abelilla, J. J. and Stein, H. H. 2019. Structures and characteristics of carbohydrates in diets fed to pigs: a review. J. Animal Sci. Biotechnol. 10(39): 3-10.
- Ngalimat, M.S., Yahaya, R.S.R., Baharudin, M.M.A., Yaminudin, S.M., Karim, M., Ahmad, S.A. and Sabri, S. 2021. A Review on the Biotechnological Applications of the Operational Group *Bacillus amyloliquefaciens*. Microorganisms. 9: 614.

- Nurmi, E. and Rantala, M. 1973. New aspects of Salmonella infection in broiler production. *Nature*. 241: 210–211.
- Oakley, B.B., Lillehoj, H.S., Kogut, M.H., Kim, W.K., Maurer, J.J., Pedroso, A., Lee M.D., Collett, S.R., Johnson, T.J. and Cox, N.A. 2014. The chicken gastrointestinal microbiome. *FEMS Microbiol. Lett.* 360: 100–112.
- Oko, A.O., Ubi, B.E., Efisue, A.A. and Dambaba, N. 2012. Comparative analysis of the chemical nutrient composition of selected local and newly introduced rice varieties grown in Ebonyi State of Nigeria. *Int. J. Agric. Forest.* 2(2): 16-23.
- Olmos, J., Acosta, M., Mendoza, G. and Pitones, V. 2020. *Bacillus subtilis*, an ideal probiotic bacterium to shrimp and fish aquaculture that increase feed digestibility, prevent microbial diseases, and avoid water pollution. *Arch. Microbiol.* 202: 427–35.
- Pallauf, J., Rimbach, G., Pippig, S., Schindler, P., Hohler, D. and Most, E. 1994. Dietary effect of phytogenic phytase and an addition of microbial phytase to a diet based on field beans, wheat, peas and barley on the utilization of phosphorus and calcium, magnesium, zinc and protein in piglets. *Z. Ernährungswiss.* 33: 128-135.
- Palmer, M.F. and Rolls, B.A. 1983. The activities of some metabolic enzymes in the intestines of germ-free and conventional chicks. *Br. J. Nutr.* 50: 783–790.
- Pan, D. and Yu, Z. 2014. Intestinal microbiome of poultry and its interaction with host and diet. *Gut Microbes.* 5: 108–119.
- Pandey, A., Soccol, C.R. and Mitchell, D. 2000. New developments in solid state fermentation : I-bioprocesses and products. *Process Biochemistry.* 35(10): 1153–1169.
- Park, Y.H., Hamidon, F., Rajangan, C., Soh, K.P., Gan, C.Y., Lim, T. S., Abdullah, W.N.W. and Liong, M.T. 2016. Application of Probiotics for the Production of Safe and High-quality Poultry Meat. *Food Sci. Anim. Resour.* 36: 567–576.
- Pelicano, E.R.L., Souza, P.A., Souza, H.B.A., Oba, A., Norkus, E.A., Kodawara, L.M. and Lima, T.M.A. 2003. Effect of different probiotics on broiler carcass and meat quality. *Brazilian Journal of Poultry Science.* 5(3): 207-214.

- Petry, A.L., Huntley, N.F., Bedford, M.R. and Patience, J.F. 2020. Xylanase increased the energetic; contribution of fiber and improved the oxidative status, gut barrier integrity, and growth performance of growing pigs fed insoluble corn-based fiber. *J. Anim. Sci.* 98: 233.
- Pirgozliev, V., Rose, S.P., Pellny, T., Amerah, A.M., Wickramasinghe, M., Ulker, M., Rakszegi, M., Bedo, Z., Shewry, P.R. and Lovegrove, A. 2015. Energy utilization and growth performance of chickens fed novel wheat inbred lines selected for different pentosan levels with and without xylanase supplementation. *Poult. Sci.* 94: 232-239.
- Planas, N. 2000. Bacterial 1,3–1,4-beta-glucanases: structure, function and protein engineerin *Biochim. Biophys. Acta-Protein Struct. Mol. Enzym.* 1543(2): 361-382.
- Pryde, S.E., Duncan, S.H., Hold, G.L., Stewart, C.S. and Flint, H.J. 2002. The microbiology of butyrate formation in the human colon. *FEMS Microbiol. Lett.* 217: 133–139.
- Qiu, M., Hu, J., Han, P., Li, B., Xu, J., Song, X., Yu, C., Zhang, Z., Du, X., Bu, G., Huang, A., Han, X., Zeng, X., Yang, C. and Kong, F. 2022. Research Note: The gut microbiota varies with dietary fiber levels in broilers. *Poult. Sci.* 101(7): ISSN 0032-5791.
- Rajilić-Stojanović, M., Biagi, E., Heilig, H.G.H.J., Kajander, K., Kekkonen, R.A., Tims, S. and De Vos, W.M. 2011. Global and deep molecular analysis of microbiota signatures in fecal samples from patients with irritable bowel syndrome. *Gastroenterology.* 141: 1792-1801.
- Ramlucken, U., Ramchuran, S.O., Moonsamy, G., Lalloo, R., Thantsha, M.S., Jansen, V. and Rensburg, C. 2020. A novel *Bacillus* based multi-strain probiotic improves growth performance and intestinal properties of *Clostridium perfringens* challenged broilers. *Poult. Sci.* 99: 331–341.
- Rautio, M., Eerola, E., Väisänen-Tunkelrott, M.L., Molitoris, D., Lawson, P., Collins, M.D. and Jousimies-Somer, H. 2003. Reclassification of *Bacteroides putredinis* (Weinberg et al., 1937) in a new genus *Alistipes* gen. nov., as *Alistipes putredinis* comb. nov., and description of *Alistipes finegoldii* sp. nov., from human sources. *Syst Appl Microbiol.* 26(2): 182-188.
- Ravindran, V. and Abdollahi, M.R. 2021. Nutrition and digestive physiology of the broiler chick: state of the art and outlook. *Animals (Basel).* 11(10): 2795.

- Ren, C., Yin, G., Qin, M., Suo, J., Lv Q., Xie, L., Wang, Y., Huang, X., Chen, Y., Liu, X. and Suo, X. 2014. CDR3 analysis of TCR V β repertoire of CD8+ T cells from chickens infected with *Eimeria maxima*. *Exp. Parasitol.* 143 :1–4.
- Ricke, A. 2019. Improving gut health in poultry, Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK.
- Rodjan, P., Soisuwan, K., Thongprajukaew, K., Theapparatt, Y., Khongthong, S., Jeenkeawpieam, J. and Salaeharae, T. 2017. Effect of organic acids or probiotics alone or in combination on growth performance, nutrient digestibility, enzyme activities, intestinal morphology and gut microflora in broiler chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*: 102: e931-e940.
- Russell, R.W. and Gahr, S.A. 2000. Glucose availability and Associated Metabolism. In: *Farm animal metabolism and nutrition*. J.P.F. CABI. U.K. 121-147.
- Ryu, S., Park, M.R., Maburutse, B.E., Lee, W.J., Park, D.J., Cho, S., Hwang, I., Oh, S. and Kim, Y. 2018. Diversity and characteristics of the meat microbiological community on dry aged beef. *J Microbiol Biotechnol.* 28: 105–108.
- Sadati, M. M., Rezaeipour, V. and Abdollahpour, R. 2022. Efficacy of whole wheat grain in combination with acidified drinking water on growth performance, gizzard development, intestinal morphology, and microbial population of broiler chickens. *Livestock Science.* 259: 104911.
- Sanchez, J., Thanabalan, A., Khanal, T., Patterson, R., Slominski B.A. and Kiarie, E. 2019. Growth performance, gastrointestinal weight, microbial metabolites and apparent retention of components in broiler chickens fed up to 11% rice bran in a corn-soybean meal diet without or with a multi-enzyme supplement. *Animal Nutrition.* 5(1): 41-48.
- Sanderson, I. R. 2004. Short chain fatty acid regulation of signaling genes expressed by the intestinal epithelium. *J. Nutr.* 134: 2450–2454.
- Schaus, S., Vasconcelos Pereira, G., Luis, A., Madlambayan, E., Terrapon, N. and Ostrowski, M. 2024. *Ruminococcus torques* is a keystone degrader of intestinal mucin glycoprotein, releasing oligosaccharides used by *Bacteroides thetaiotaomicron*. *mBio.* e00039-24.

- Scheller, H. V. and Ulvskov, P. 2010. Hemicellulose. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61: 263-289.
- Selle, P.H., Huang, K.H. and Muir, W.I. 2003. Effects of nutrient specification and xylanase plus phytase supplementation of wheat-based diets on growth performance and carcass traits of broiler chicks. *Asian. J. Anim. Sci.* 16: 1501-1509.
- Selvendran, R.R. 1984. The plant cell wall as a source of dietary fiber: chemistry and structure. *Am J Clin Nutr.* 39(2): 320-37.
- Sen, S., Ingale, S., Kim, Y., Kim, J., Kim, K., Lohakare, J., Kim, E., Kim, H., Ryu, M. and Kwon, I. 2012. Effect of supplementation of *Bacillus subtilis* LS 1-2 to broiler diets on growth performance, nutrient retention, caecal microbiology and small intestinal morphology. *Research in Veterinary Science.* 93(1): 264-268.
- Seyedoshohadaei, S., Torki, M., Yaghoubar, A. and Abdolmohammadi, A. 2024. Interactions of wheat cultivars and supplemental enzyme in diet of broiler chickens on growth performance, carcass characteristics, intestinal morphometric features, and blood parameters. *Journal of Agriculture and Food Research.* 18: 101291.
- Shin, N.R., Lee, J. C., Lee, H.Y., Kim, M.S., Whon, T.W., Lee, M.S. and Bae, J.W. 2014. An increase in the *Akkermansia spp.* population induced by metformin treatment improves glucose homeostasis in diet-induced obese mice. *Gut.* 63: 727-735.
- Shini, S., Zhang, D., Aland, R.C., Li, X., Dart, P.J., Callaghan, M.J., Speight, R.E. and Bryden, W.L. 2020. Probiotic *Bacillus amyloliquefaciens* H57 ameliorates subclinical necrotic enteritis in broiler chicks by maintaining intestinal mucosal integrity and improving feed efficiency. *Poult. Sci.* 99: 4278-4293.
- Simon, O. 1998. The mode of action of NSP hydrolysing enzymes in the gastrointestinal tract. *J. Anim. Feed Sci.* 7: 115-123.
- Sklan, D. and Halevy, O. 1985. Digestion and absorption of protein along ovine gastrointestinal tract. *J. Dairy Sci.* 68: 1676-1681.
- Smiths, C.H.M. and Annison, G. 1996. Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition Towards a physiologically valid approach to their determination. *Wld's Poult. Sci. J.* 52: 203-221.
- Smith, J. M. 2014. A review of avian probiotics. *J. Avian Med. Surg.* 28: 87-94.

- Sommut, W. 2003. Changes in flood-prone rice ecosystems in Thailand, crop year 2000-2001. Department of Agriculture, Bangkok.
- Soler, J. J., Martín-Vivaldi, M., Peralta-Sánchez, J. M. and Ruiz-Rodríguez, M. 2010. Antibiotic producing bacteria as a possible defence of birds against pathogenic microorganisms. *Open Ornithology Journal*. 3: 93–100.
- Stern, N.J., Clavero, M.R., Bailey, J.S., Cox, N.A. and Robach, M.C. 1995. *Campylobacter* spp. In broilers on the farm and after transport. *Poult. Sci.* 74: 937–941.
- Streb, S. and Zeeman, S. C. 2012. Starch metabolism in *Arabidopsis*. *Arabidopsis Book*. Switzerland, 10 p.
- Sumanu, V. O., Aluwong, T., Ayo, J. O. and Ogbuagu, N. E. 2021. Effect of probiotic and fisetin supplementation on performance, carcass characteristics and small intestinal morphology in broiler chickens. *Open Veterinary Science*. 2(1): 23-32.
- Sun, J., Zhang, C. and Zhang, B. 2020. Effects of organic zinc on broiler intestinal permeability and integrity in *Clostridium perfringens*-challenged condition. *Poult. Sci.* 99(12): 6653-6656.
- Sureshkumar, S., Song, J., Sampath, V. and Kim, I. 2023. Exogenous Enzymes as Zootechnical Additives in Monogastric Animal Feed: A Review. *Agriculture*. 13(12): 2195.
- Svihus, B. 2014. Function of the digestive system¹ Presented as a part of the Informal Nutrition Symposium “From Research Measurements to Application: Bridging the Gap” at the Poultry Science Association's annual meeting in San Diego, California, *Journal of Applied Poultry Research*. 23(2): 306-314.
- Tancharoenrat, P., Ravindran, V., Zaefarian, F. and Ravindran, G. 2013. Apparent metabolisable energy and total tract fat digestibility of different fat sources for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 186: 186–192.
- Tancharoenrat, P., Ravindran, V., Zaefarian, Z. and Ravindran, G. 2014. Digestion of fat and fatty acids along the gastrointestinal tract of broiler chickens. *Poult. Sci.* 93: 412–419.

- Tayeri, V., Seidavi, A., Asadpour, L. and Phillips, C. J. 2018. A comparison of the effects of antibiotics, probiotics, synbiotics and prebiotics on the performance and carcass characteristics of broilers. *Veterinary Research Communications*. 42: 195-207.
- Teirlynck, E., Gussem M.D., Dewulf, J., Haesebrouck, F., Ducatelle, R. and Van Immerseel, F. 2011. Morphometric evaluation of "dysbacteriosis" in broilers. *Avian Pathol*. 40(2): 139-44.
- Tellez, G., Higgins, S.E., Donoghue, A.M. and Hargis, B.M. 2006. Digestive physiology and the role of microorganisms. *J. Appl. Poult. Sci. Res*. 15: 136–144.
- Theander, O., Westerlund, E., Åman, P. and Graham, H. 1989. Plant cell walls and monogastric diets *Anim. Feed Sci. Technol*. 23: 205-225.
- Turnbaugh, P.J., Ley, R.E., Mahowald, M.A. Magrini, V., Mardis, E.R. and Gordon, J.I. 2006. An obesity-associated gut microbiome with increased capacity for energy harvest *Nature*. 444: 1027-1031.
- Uni, Z., Noy, Y. and Sklan, D. 1999. Posthatch development of small intestinal function in the poult. *Poult. Sci*. 78:215–222.
- Verma, D.K. and Srivastav, P.P. 2020. Bioactive compounds of rice (*Oryza sativa* L.): Review on paradigm and its potential benefit in human health. *Trends in Food Science & Technology*. 97: 355-365.
- Vital, M., Howe, A.C. and Tiedje, J.M. 2014. Revealing the bacterial butyrate synthesis pathways by analyzing (meta)genomic data. *mBio*. 5(2): e00889.
- Vispo, C. and Karasov, W.H. 1997. The Interaction of Avian Gut Microbes and Their Host: An Exclusive Symbiosis. In: Mackie, R.J., White, B.A. and Issacson, R.E., Eds., *Gastrointestinal Microbiology: Gastrointestinal Microbes and Host Interactions*, Chapman and Hall, New York, 116-155.
- Walker, H., Vartiainen, S., Apajalahti, J., Taylor-Pickard, J., Nikodinoska, I. and Moran, C.A. 2024. The Effect of including a Mixed-Enzyme Product in Broiler Diets on Performance, Metabolizable Energy, Phosphorus and Calcium Retention. *Animals (Basel)*. 14(2): 328.

- Walz, O.P. and Pallauf, J. 2002. Microbial phytase combined with amino acid supplementation reduces P and N excretion of growing and finishing pigs without loss of performance. *Int. J. Food Sci. Technol.* 37: 835–848.
- Wang, Y., Xu, Y., Xu, S., Yang, J., Wang, K. and Zhan, X. 2021. *Bacillus subtilis* DSM29784 Alleviates Negative Effects on Growth Performance in Broilers by Improving the Intestinal Health Under Necrotic Enteritis Challenge. *Front Microbiol.* 12: 723187.
- Wegener, H.C., Hald, T., Wong, D.L.F., Madsen, M., Korsgaard, H., Bager, F., Gerner-Smidt, P. and Mølbak, K. 2003. Salmonella control programs in Denmark. *Emerg. Infect. Dis.* 9: 774–780.
- Wei, S., Morrison, M. and Yu, Z. 2013. Bacterial census of poultry intestinal microbiome. *Poult Sci.* 92: 671–683.
- Whelan, R.A., Doranalli, K., Rinttilä, T., Vienola, K., Jurgens, G. and Apajalahti, J. 2019. The impact of *Bacillus subtilis* DSM 32315 on the pathology, performance, and intestinal microbiome of broiler chickens in a necrotic enteritis challenge. *Poult. Sci.* 98: 3450–3463.
- Wisniewska, Z., Kołodziejcki, P., Pruszyńska, E., Konieczka, P., Kinsner, M., Górka, P., Flaga, J., Kowalik, K., Hejdysz, M., Kubis, M., Jarosz, Ł.S., Ciszewski, A. and Kaczmarek, S.A. 2023. Effect of emulsifier and multicarbohydrase enzyme supplementation on performance and nutrient digestibility in broiler diets containing rapeseed meal. *Poult. Sci.* 102(1): 102268.
- Yan, L., Chu, T., Zhang, Q., Blokker, B., Lv, Z., Geremia, J. and Bortoluzzi, C. 2023. Microbiome modulation by a precision biotic in broilers chickens: a commercial study validation. *Poult. Sci.* 102(5): 102596.
- Yang, S., Yang, Y., Long, X., Li, H., Zhang, F. and Wang, Z. 2023. Integrated analysis of the effects of cecal microbiota and serum metabolome on market weights of Chinese native chickens. *Animals (Basel)*. 13(19): 3034.
- Yaqoob, M.U., Wang, G. and Wang, M. 2022. An updated review on probiotics as an alternative of antibiotics in poultry - a review. *Anim. Biosci.* 35: 1109–1120.

- Yu, J., Zhang, H., Yang, H. M. and Wang, Z. Y. 2022. Effects of dietary paddy rice on growth performance, carcass traits, bare skin color, and nutrient digestibility in geese. *Poult. Sci.* 101: 1-4.
- Yue, Y., Luasiri, P., Li, J., Laosam, P. and Sangsawad, P. 2024. Research advancements on the diversity and host interaction of gut microbiota in chickens. *Front Vet Sci.* 11: 1492545.
- Zakaria, H.A.H., Jalal, M.A.R. and Ishmais, M.A.A. 2010. The Influence of Supplemental Multi-enzyme Feed Additive on the Performance, Carcass Characteristics and Meat Quality Traits of Broiler Chickens. *International Journal of Poultry Science.* 9(2): 126-133.
- Zakataeva, N.P., Nikitina, O.V., Gronskiy, S.V., Romanenkov, D.V. and Livshits, V.A. 2010. A simple method to introduce marker-free genetic modifications into the chromosome of naturally non transformable *Bacillus amyloliquefaciens* strains. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 85: 1201–1209.
- Zhao, J., Zhao, F., Li, X. Yuan, J., Zhang, K, Liu, H. and Wang, Y. 2023. Multi-omics reveals the mechanisms underlying Lactiplantibacillus plantarum P8-mediated attenuation of oxidative stress in broilers challenged with dexamethasone. *Anim. Nutr.* 14: 281-302.
- Zhang, F., Huo, K., Song, X., Quan, Y., Wang, S., Zhang, Z., Gao, W. and Yang, C. 2020. Engineering of a genome-reduced strain *Bacillus amyloliquefaciens* for enhancing surfactin production. *Microbio. Cell Fact.* 19: 223.
- Zhang, B., Liu, N., Hao, M., Zhou, J., Xie, Y. and He, Z. 2022. Plant-derived polysaccharides regulated immune status, gut health and microbiota of broilers: a review. *Front. Vet. Sci.* 8: 791371.
- Zimonja, O. and Svihus, B. 2009. Effects of processing of wheat or oat starch on technical pellet quality and nutritional value for broilers *Anim. Feed Sci. Technol.* 149: 287-297
- Zou, X.Y., Zhang, M., Tu, W.J., Zhang, Q., Jin, M.L., Fang, R.D. and Jiang, S. 2022. *Bacillus subtilis* inhibits intestinal inflammation and oxidative stress by regulating gut flora and related metabolites in laying hens. *Animal.* 16(3): 100474.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

Aviagen. (2018). Ross Broiler Handbook 2018 [PDF]. Retrieved 29 March 2024, from https://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross-BroilerHandbook2018-EN.pdf

Poultry Hub Australia. (n.d.). Digestive system. Retrieved 8 December 2024, from. <https://www.poultryhub.org/anatomy-and-physiology/body-systems/digestive-system>

The Japanese Bar. (n.d.). Anatomy of Sake Rice. Retrieved 19 September 2024, from. <https://thejapanesebar.com/sake-rice/anatomy-of-sake-rice-web/>



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	หยก ฤทธิธำณัฏช์ชัย
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2565: วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ทุนการศึกษา	ปีงบประมาณ 2566: ทุนบัณฑิตเรียนดีเพื่อศึกษาต่อระดับ บัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์ (ตามสัญญาเลขที่ ทบ. 42/2565)

ผลงานทางวิชาการ

หยก ฤทธิธำณัฏช์ชัย, ณัฐปภัสร ธนพิมพ์วงศ์ และดร.ศรียะ. 2568. ผลของการเสริมเอนไซม์
รวมร่วมกับโปรไบโอติกทางการค้าในอาหารที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบต่อ
ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ การพัฒนา
อย่างยั่งยืน ครั้งที่ 1 วันที่ 5 มิถุนายน 2568. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล. นครปฐม. หน้า 358-367.