



เอกสารประกอบการสอน



สารเสริมอาหารสัตว์

ANIMAL FEED ADDITIVES 11102401

สุรรัตน์ ถ้อยแก้ว (วท.ด. สัตวศาสตร์ประยุกต์)
คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2567

เอกสารประกอบการสอน
วิชา สารเสริมอาหารสัตว์
(11102401)



คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2567

คำนำ

สารเสริมอาหารสัตว์ถูกใช้เป็นเครื่องมือสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพอาหารสัตว์ ช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตและสุขภาพของสัตว์ การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตสารเสริมอาหารสัตว์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารเสริมและลดข้อจำกัดในการใช้งาน นักโภชนาศาสตร์สัตว์จำเป็นต้องพัฒนาสารเสริมชนิดใหม่ๆ และสร้างความรู้ ความเข้าใจแก่ผู้ใส่สารเสริม ให้รู้ถึงฤทธิ์ของสารเสริมทั้งประโยชน์และข้อจำกัด รวมถึงเพื่อสังเกตผลที่เกิดขึ้นจากการใช้สารเสริม และคำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 11102401 สารเสริมอาหารสัตว์ ผู้สอนได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 บท โดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความสำคัญของสารเสริมในการผลิตสัตว์ ประเภทของสารเสริม คุณสมบัติสารเสริม กระบวนการผลิตสารเสริม และการนำไปใช้ในอาหารสัตว์ นอกเหนือจากนี้มุ่งเน้นให้ผู้เรียนเข้าใจถึงข้อจำกัดของการใช้สารเสริมและเทคโนโลยีเพิ่มความเสถียรของสารเสริม รวมถึงระเบียบข้อบังคับการใช้สารเสริมในอาหารสัตว์ ในแต่ละบทเรียนผู้สอนได้ออกแบบแบบฝึกหัดท้ายบทและสอบย่อย เพื่อประเมินความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนและสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการประกอบอาชีพต่อไป

ผู้สอนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารประกอบการสอนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักเรียน นักศึกษา และผู้ที่สนใจ หากมีข้อบกพร่อง หรือผู้อ่านมีข้อเสนอแนะประการใด ผู้สอนขออภัยมา ณ ที่นี้ และยินดีรับฟังทุกความคิดเห็น

สุรวิรัตน์ ถือแก้ว

เมษายน 2567

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 ความสำคัญของสารเสริมอาหารสัตว์	1
การใช้ยาปฏิชีวนะในการเร่งการเจริญเติบโต	1
สถานการณ์เชื้อดื้อยา	3
สารเสริมอาหารสัตว์หรือวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์	5
บทที่ 2 ประเภทสารเสริมอาหารสัตว์	10
แบบฝึกหัดบทที่ 2	15
บทที่ 3 คุณสมบัติสารเสริมอาหารสัตว์	18
สารเติมแต่งทางเทคโนโลยี	18
สารกันบูด	18
สารต้านอนุมูลอิสระ	19
สารอิมัลซิฟายเออร์หรือสารช่วยในการกระจายตัว	20
สารคงตัว	22
สารเพิ่มความชื้น	22
สารก่อเจล	23
สารยัดเกาะ	23
สารสำหรับควบคุมการปนเปื้อนของกัมมันตรังสี	25
สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน	25
สารควบคุมความเป็นกรด	27
สารเติมแต่งสำหรับหญ้าหมัก	28
สารทำให้เสียสภาพหรือสารแปลงสภาพ	29
สารสำหรับลดการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อราในอาหาร	29
สารปรับสภาพสุขอนามัย	32

สารบัญ

	หน้า
สารเติมแต่งทางประสาทสัมผัส	32
สารให้สี/สารสี	32
สารปรุงแต่งกลิ่นรส	33
สารเสริมทางโภชนาการ	34
วิตามิน โปรวิตามิน และสารที่มีโครงสร้างทางเคมีซึ่งให้ผลคล้ายกัน	34
สารประกอบของธาตุรอง	34
กรดอะมิโน และเกลือกรดอะมิโน	35
ยูเรียและสารอนุพันธ์	36
สารเสริมเฉพาะทางสำหรับสัตว์	36
เอนไซม์	37
สารเสริมชีวิตหรือโพรไบโอติก	41
สารส่งเสริมชีวิตหรือพรีไบโอติก	43
ซินไบโอติก	46
โพลีไบโอติก	47
สารเสริมความเป็นกรด	49
สารเสริมไฟโตจีนิก หรือ ไฟโตไบโอติก	52
สาร coccidiostat และ histomonostat	58
แบบฝึกหัดบทที่ 3	60
สอบย่อยครั้งที่ 1	65
บทที่ 4 การผลิตสารเสริมอาหารสัตว์	66
กระบวนการผลิตสารเสริมอาหารสัตว์ภาพรวม	66
การผลิตสารเสริมอาหารสัตว์ผ่านเทคโนโลยีการหมัก	69
การผลิตโพรไบโอติก	70
การผลิตพรีไบโอติก	74

สารบัญ

	หน้า
การผลิตเอนไซม์	76
การผลิตสารเสริมไฟโตจีนิก	78
ข้อมูลบนฉลากตามหลักปฏิบัติทางอุตสาหกรรมสำหรับการติดฉลาก	81
แบบฝึกหัดบทที่ 4	86
สอบย่อยครั้งที่ 2	89
บทที่ 5 การใช้สารเสริมในอาหารสัตว์	90
การใช้สารเสริมในอาหารสัตว์ปีก	91
การใช้สารเสริมในอาหารสัตว์สุกร	93
การใช้สารเสริมในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง	94
แบบฝึกหัดบทที่ 5	98
บทที่ 6 ข้อจำกัดในการใช้สารเสริมอาหารสัตว์	99
การสูญเสียคุณสมบัติของสารเสริมในช่วงการเก็บรักษาและการขนส่ง	99
การสูญเสียคุณสมบัติของสารเสริมในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์	100
การสูญเสียคุณสมบัติของสารเสริมในระหว่างการนำส่งสารเสริมในทางเดินอาหารสัตว์	102
แนวทางการลดข้อจำกัดในการใช้สารเสริม และการปรับปรุงความเสถียรของสารเสริม	103
แบบฝึกหัดบทที่ 6	105
สอบย่อย ครั้งที่ 3	106
บทที่ 7 ข้อบังคับในการใช้สารเสริมอาหารสัตว์	107
แบบฝึกหัดบทที่ 7	123
เอกสารอ้างอิง	125

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	8
บทบาการทำงานของสารเสริมสุขภาพในการปรับปรุง การทำงานทางสรีรวิทยาและสุขภาพสัตว์	
ตารางที่ 3.1	37
ชนิดของเอนไซม์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และสารตั้งต้น	
ตารางที่ 3.2	47
ตัวอย่างโปรไบโอติก 프리ไบโอติก และซินไบโอติกที่ใช้ในอาหารสัตว์	
ตารางที่ 3.3	50
รายชื่อกรดอินทรีย์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์	
ตารางที่ 3.4	54
สารสำคัญและคุณสมบัติของสารเสริมไฟโตจีนิกที่ใช้ในปศุสัตว์	
ตารางที่ 4.1	84
รูปแบบของความเข้มข้นสารเสริมบนฉลากผลิตภัณฑ์	
ตารางที่ 4.2	85
รูปแบบของความเข้มข้นสารเสริมบนฉลากผลิตภัณฑ์	
ตารางที่ 7.1	108
ปริมาณสูงสุดของแร่ธาตุที่กำหนดให้มีในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูป	
ตารางที่ 7.2	109
ปริมาณสูงสุดของแร่ธาตุที่กำหนดให้มีในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูป	
ตารางที่ 7.3	111
ปริมาณต่ำสุดของวิตามินที่กำหนดให้มีในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูป	
ตารางที่ 7.4	112
ปริมาณวัตถุที่มีคุณสมบัติถนอมคุณภาพของอาหารสัตว์	
ตารางที่ 7.5	113
ปริมาณวัตถุที่มีคุณสมบัติถนอมคุณภาพของอาหารสัตว์	
ตารางที่ 7.6	114
สารเสริมชีวนะที่ใช้เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ (กลุ่มเชื้อแบคทีเรีย)	
ตารางที่ 7.7	115
สารเสริมชีวนะที่ใช้เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ (กลุ่มเชื้อแบคทีเรีย)	
ตารางที่ 7.8	116
สารเสริมชีวนะที่ใช้เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ (กลุ่มเชื้อรา)	
ตารางที่ 7.9	117
เอนไซม์ที่ใช้เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์	
ตารางที่ 7.10	118
ยากันปดที่ใช้ในไก่เนื้อ	
ตารางที่ 7.11	119
ยากันปดที่ใช้ในไก่เนื้อ	
ตารางที่ 7.12	120
ยากันปดที่ใช้ในไก่ไข่	

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1	เส้นทางการแพร่กระจายของการดื้อยาต้านจุลชีพ
ภาพที่ 1.2	สรุปผลการตรวจวิเคราะห์การดื้อยาต้านจุลชีพในสัตว์ ปี 2560-2563
ภาพที่ 3.1	การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารสัตว์
ภาพที่ 3.2	การทำงานของอิมัลซิไฟเออร์
ภาพที่ 3.3	การทำงานของสารยึดเกาะต่อการประสานอนุภาคของอาหาร
ภาพที่ 3.4	การเกิดการจับตัวเป็นก้อนของอนุภาคอาหาร และการทำงานของสารป้องกัน การจับตัวเป็นก้อน
ภาพที่ 3.5	การทำงานของสารจับสารพิษจากเชื้อรา
ภาพที่ 3.6	การทำงานของเอนไซม์ไฟเตสในการย่อยสลายโครงสร้างไฟเตท
ภาพที่ 3.7	กลไกการทำงานของโปรไบโอติกและพรีไบโอติก
ภาพที่ 3.8	องค์ประกอบของโพลีไบโอติก
ภาพที่ 3.9	กลไกการทำงานของกรดอินทรีย์ต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรค
ภาพที่ 3.10	กลไกการออกฤทธิ์ของสารเสริมไฟโตจีนิกสำหรับฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย
ภาพที่ 3.11	กลไกการออกฤทธิ์ของสารเสริมไฟโตจีนิกสำหรับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ
ภาพที่ 4.1	กระบวนการผลิตสารเสริมอาหารสัตว์โดยรวม
ภาพที่ 4.2	การผลิตสารเสริมอาหารสัตว์ผ่านเทคโนโลยีการหมัก
ภาพที่ 4.3	กระบวนการการผลิตโพรไบโอติก
ภาพที่ 4.4	กระบวนการการผลิตเอนไซม์
ภาพที่ 4.5	การสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ
ภาพที่ 5.1	การลดก๊าซมีเทนจากการใช้สารเสริม
ภาพที่ 6.1	การสูญเสียคุณสมบัติของสารเสริมในระหว่างการอัดเม็ดอาหาร
ภาพที่ 6.2	การสูญเสียคุณสมบัติของสารเสริมในระหว่างการนำส่ง ผ่านทางเดินอาหารไปสู่อวัยวะเป้าหมาย
ภาพที่ 6.3	โครงสร้างไมโครแคปซูลแบบง่าย และการปลดปล่อยสาร

แผนการสอน

หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์

คณะสัตวศาสตร์และ
เทคโนโลยี

11102401 สารเสริมอาหารสัตว์ (animal feed additives)

3 (3-0-6)

ประเภทหลักสูตร ☒ วิชาเฉพาะ ☐ กลุ่มวิชา ☐ แกน ☐ เอกบังคับ☒ เอกเลือก ☐ วิชาเลือกเสรี

วิชาบังคับก่อน ไม่มี

คำอธิบายรายวิชา

ความสำคัญของสารเสริม ประเภทสารเสริม คุณสมบัติและกลไกการทำงานของสารเสริม
การใช้สารเสริมในอาหารสัตว์

ผลลัพธ์การเรียนรู้รายวิชา (Course Learning Outcomes; CLOs)

CLO 1 แสดงความรับผิดชอบต่อนักศึกษา

CLO 2 อธิบายความสำคัญของสารเสริม

CLO 3 ระบุประเภทและคุณสมบัติสารเสริม

CLO 4 อธิบายการผลิตสารเสริม

CLO 5 อธิบายการใช้สารเสริมในอาหารสัตว์

แผนการสอน

สัปดาห์ที่	บทที่	จำนวนชั่วโมงบรรยาย
1	บทที่ 1 ความสำคัญของสารเสริมอาหารสัตว์	3
2-3	บทที่ 2 ประเภทของสารเสริมอาหารสัตว์	6
4-7	บทที่ 3 คุณสมบัติสารเสริมอาหารสัตว์	12
8	สอบกลางภาค	-
9-10	บทที่ 4 การผลิตสารเสริมอาหารสัตว์	6
11-13	บทที่ 5 การใช้สารเสริมในอาหารสัตว์	9
14-15	บทที่ 6 ข้อจำกัดของการใช้สารเสริม และเทคโนโลยีการเพิ่ม ความเสถียรของสารเสริม	6
16	บทที่ 7 ข้อบังคับการใช้สารเสริมอาหารสัตว์	3
17	สอบปลายภาค	-
รวม		45

วิธีการสอนและกิจกรรม

1. เรียนรู้จากการนำเสนอด้วย PowerPoint
2. ศึกษาจากวิดีโอที่เกี่ยวข้อ
3. ศึกษาจากการดูตัวอย่างสารเสริม
4. ศึกษาจากกรณีศึกษาและงานวิจัย

สื่อการสอน

1. PowerPoint
2. วิดิทัศน์
3. Infographic
4. ตัวอย่างสารเสริม



บทที่ 1 ความสำคัญของสารเสริมอาหารสัตว์

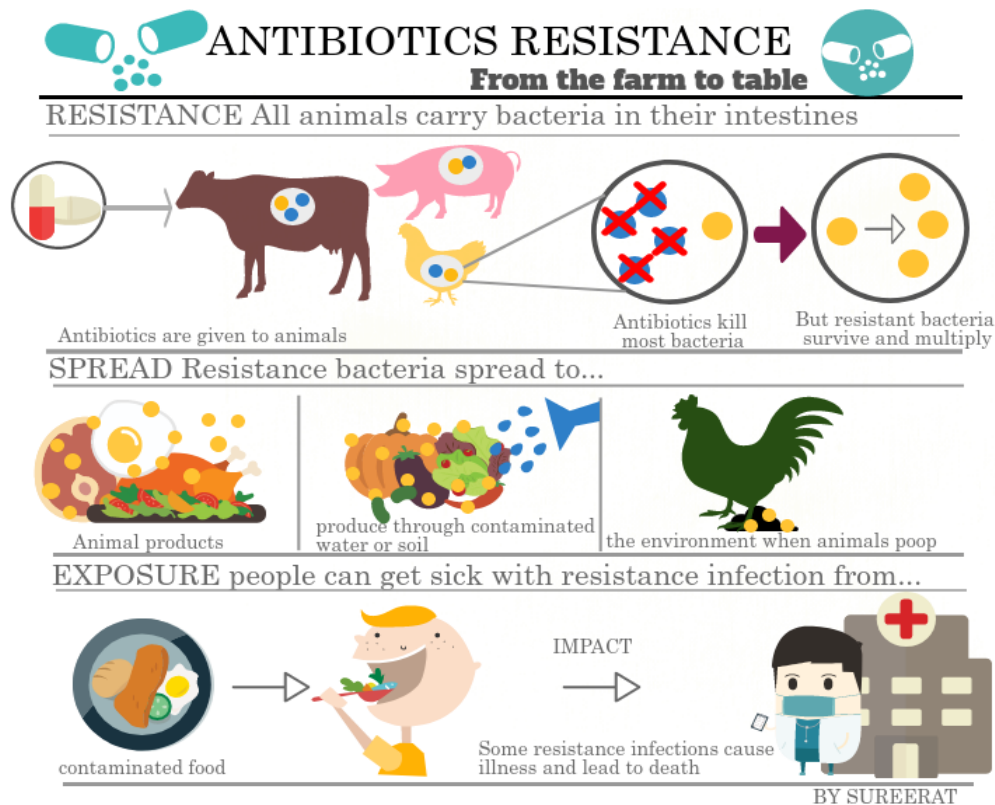
(Importance of animal feed additives)

อาหารเป็นปัจจัยหลักในการผลิตสัตว์ที่มีคุณภาพ การพัฒนาด้านอาหารสัตว์เป็นเรื่องที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก รวมถึงการพัฒนาสารเสริมอาหารสัตว์และวิธีการผลิตที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และคุณภาพผลิตภัณฑ์จากสัตว์ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค และยังต้องคำนึงถึงการเลี้ยงสัตว์ตามหลักสวัสดิภาพสัตว์ (animal welfare) และการปลดปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม การใช้วัตถุที่เติมในอาหารสัตว์หรือสารเสริมในอาหารสัตว์ (feed additives) ถือเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญในการส่งเสริมประสิทธิภาพการทำงานของทางเดินอาหาร และประสิทธิภาพการผลิต โดยเป็นทางเลือกในการทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะในการเร่งการเจริญเติบโต (antibiotic as growth promoters, AGPs) ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตสารเสริมอย่างรวดเร็ว ร่วมกับการนำเทคโนโลยีทางเภสัชกรรมมาใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ข้อควรระวังคือการพัฒนาอาหารสัตว์ควรมีการศึกษาและวิจัยอย่างละเอียด เพื่อค้นหาวัตถุดิบที่มีราคาเหมาะสม และการผลิตที่สามารถเพิ่มคุณภาพของอาหารสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความคุ้มค่าในการใช้สารเสริมเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากการเพิ่มส่วนผสมใดๆ ในสูตรอาหารสัตว์มีผลกระทบอย่างมากต่อธุรกิจอาหารสัตว์

การใช้ยาปฏิชีวนะในการเร่งการเจริญเติบโต (Antibiotic growth promoters; AGPs)

ในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์มีการใช้ยาปฏิชีวนะเร่งการเจริญเติบโต (Antibiotic growth promoters; AGPs) เป็นการใช้ยาในปริมาณต่ำกว่าระดับรักษาโรคเพื่อป้องกันโรค ซึ่งเป็นที่รู้กันดีว่าการทำงานของ AGPs เป็นการสร้างสมดุลของระบบนิเวศในลำไส้ ควบคุมโรคติดเชื้อในทางเดินอาหาร ส่งผลให้การย่อย และการดูดซึมอาหารมีประสิทธิภาพ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ผ่านการป้องกันโรค กระตุ้นอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (Broderick *et al.*, 2021) อย่างไรก็ตามผลกระทบของการใช้ยาปฏิชีวนะในการเร่งการเจริญเติบโตทำให้เกิดการดื้อยาของยาปฏิชีวนะไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์จากสัตว์ และเป็นสาเหตุการดื้อยาในผู้บริโภค (ภาพที่ 1.1)

กลไกการขัดขวางการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรคสามารถแบ่งได้ตามกลุ่มยาต้านจุลชีพที่ใช้ 1) กลุ่มยาที่ทำหน้าที่ยับยั้งการสร้างผนังเซลล์ ซึ่งผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบมีความซับซ้อนกว่าผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวก ส่งผลให้ยาด้านแบคทีเรียออกฤทธิ์ทำลายแบคทีเรียแกรมลบได้ยากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก



ภาพที่ 1.1 เส้นทางการแพร่กระจายของการดื้อยาด้านจุลชีพ (Routes of transmission of antimicrobial resistance)

ที่มา: ดัดแปลงจาก US Centre for Disease Control; CDC (2014)

ยากลุ่มที่ออกฤทธิ์โดยการยับยั้งการสร้างผนังเซลล์ ได้แก่ 1) กลุ่มเพนิซิลลิน (penicillin) กลุ่มเซฟาโลสปอริน (cephalosporin) และกลุ่มบาซิทรากซิน (bacitracin) ซึ่งยาจะออกฤทธิ์ในช่วงที่แบคทีเรียกำลังเจริญเติบโต และยังไม่มีการสร้างผนังเซลล์ที่แข็งแรง 2) กลุ่มยาที่ทำหน้าที่ทำลายเยื่อหุ้มเซลล์เยื่อหุ้มเซลล์ชั้นไลโปโปรตีน (lipoprotein) หรือฟอสโฟลิพิด (phospholipid) เป็นโครงสร้างที่เปราะแตกง่ายเนื่องจากมีไขมันประกอบอยู่มาก ทำหน้าที่ควบคุมส่วนประกอบภายในเซลล์โดยขัดขวางการซึมผ่านของสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์สูงกว่าภายนอก

เซลล์ จึงทำให้ความดันออสโมติกภายในเซลล์เพิ่มขึ้น ยากลุ่มนี้ ได้แก่ กลุ่มโพลีอิน (polyene) เช่น นิสเตติน (nystatin) และแอมโฟเทอริซิน บี (amphotericin B) 3) ยาที่ทำหน้าที่ยับยั้งการสังเคราะห์ โปรตีน ได้แก่ อะมิโนกลัยโคไซด์ (aminoglycoside) เตตราซัยคลิน (Tetracycline) แมโครไลด์ (macrolide) ลินโคซาไมด์ (lincosamide) คลอแรมเฟนิคอล (chloramphenicol) และไทอะมุลิน (tiamulin) จะออกฤทธิ์ในการทำลายแบคทีเรียโดยการจับกับไรโบโซมของแบคทีเรีย ส่งผลให้การสร้างโปรตีนผิดปกติหรือหยุดการสร้างโปรตีน และ 4) กลุ่มยาที่ทำหน้าที่ขัดขวางการสร้างกรด นิวคลีอิก ได้แก่ ไรแฟมปีน (rifampin) ไนโตรฟูแรน (nitrofurantoin) โนวไบโอซิน (novobiocin) กลุ่มฟลูออโรควิโนโลน (fluoroquinolone) กลุ่มซัลโฟนาไมด์ (sulfonamide) และเมทโทรนิดาโซล (metronidazole) (บุญขวัญ, 2563)

สถานการณ์เชื้อดื้อยา (Antimicrobial resistance, AMR)

การดื้อยา (resistance) หมายถึงสภาวะที่แบคทีเรียไม่ตอบสนองต่อยาต้านแบคทีเรียชนิดที่เคยใช้ในการรักษามาก่อน สถานการณ์เชื้อดื้อยาเป็นวิกฤติร่วมของทุกประเทศทั่วโลก กระทบต่อคน สัตว์ อาหาร และสิ่งแวดล้อม ทั่วโลกมีผู้เสียชีวิตที่เกี่ยวข้องกับ AMR ประมาณ 4.95 ล้านคน มีผู้เสียชีวิตโดยตรง 1.2 ล้านคน (เพิ่มจากเดิมในปี 2557 ที่คาดการณ์ว่าปีละ 7 แสนคน) มีการคาดการณ์ว่าในปี 2593 สถานการณ์ AMR จะทำให้ประชากรในหลายประเทศทั่วโลกลดลง 1.1-3.8% และทำให้ประชากรจำนวน 28.3 ล้านคน เข้าสู่สภาวะความยากจนขั้นรุนแรง (extremely poverty) ในปี 2553 ประเทศไทยมีรายงานว่าพบคนไทยติดเชื้อ AMR ปีละ 88,000 ราย อยู่โรงพยาบาลนานขึ้น 3.24 ล้านวัน และเสียชีวิตปีละ 38,481 ราย คิดเป็นการสูญเสียทางเศรษฐกิจไม่ต่ำกว่า 4 หมื่นล้านบาท (กระทรวงสาธารณสุข และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2567)

เนื่องจากสถานการณ์ความรุนแรงของ AMR รัฐบาลไทยจึงมีการวางแผนยุทธศาสตร์ชาติว่าด้วยเรื่องการจัดการการดื้อยาด้านจุลชีพปี 2560-2564 (ขยายถึงปี 2565) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ภาคปศุสัตว์ลดปริมาณการใช้ยาต้านจุลชีพสำหรับสัตว์ลง 30% โดยมีการเฝ้าระวังการดื้อยาด้านจุลชีพ การป้องกัน ควบคุมเชื้อดื้อยาและควบคุมกำกับดูแลการใช้ยาต้านจุลชีพอย่างเหมาะสมในภาคการเกษตรและสัตว์เลี้ยง เฝ้าระวังเชื้อและยีนดื้อยาที่มีความสำคัญทางสาธารณสุขในปศุสัตว์และสัตว์น้ำ เฝ้าระวังเชื้อดื้อยาในห่วงโซ่การผลิตและสิ่งแวดล้อมในปศุสัตว์และสัตว์น้ำ การลดการใช้ยาปฏิชีวนะมีแนวทางปฏิบัติติดตามการใช้ยาปฏิชีวนะในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ปศุสัตว์ ประมง พืช และสถานพยาบาลสัตว์ กำกับดูแลอาหารสัตว์ที่ผสมยา (กระทรวงสาธารณสุข และกระทรวงเกษตรและ

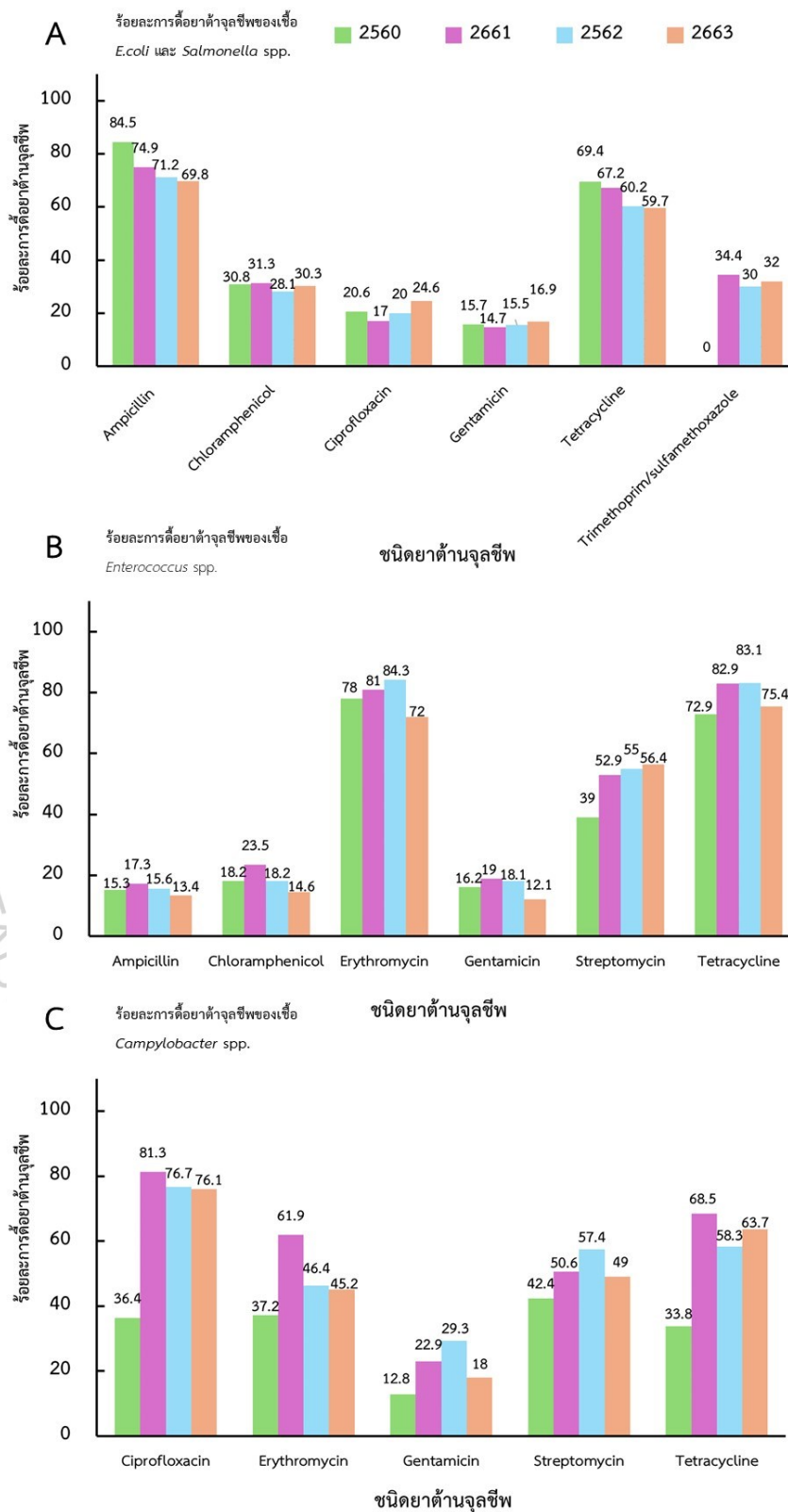
สหกรณ์, 2567) แบคทีเรียก่อโรคในทางเดินอาหารหลายชนิดที่สร้างผลกระทบต่อการผลิตสัตว์ ได้แก่ *Salmonella* spp. *Escherichia coli* *Enterococcus* spp. และ *Campylobacter* spp. แบคทีเรียก่อโรสดังกล่าวที่ปนเปื้อนในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค หรือบางกรณีทำให้ผู้บริโภคเสียชีวิตได้ในหลายประเทศทั่วโลก รวมทั้งการเรียกคืนผลิตภัณฑ์ของโรงงานอาหาร จากรายงานของกลุ่มยาสัตว์และการจัดการเชื้อดื้อยา กองควบคุมอาหารและยาสัตว์ กรมปศุสัตว์ได้สรุปภาพรวมผลการตรวจวิเคราะห์การดื้อยาต้านจุลชีพในไก่และสุกรที่แยกได้จากชีกัม เนื่องจากโรงฆ่าและสถานที่จำหน่าย ปี 2560-2563 (ภาพที่ 1.2) โดยทำการเปรียบเทียบร้อยละการดื้อยาในยาที่มีการใช้ในปศุสัตว์ การดื้อยาของเชื้อ *E. coli* และ *Salmonella* spp. พบสูงในยา Ampicillin (70-85%) และ Tetracycline (60-70%) ซึ่งยา Ampicillin และ Tetracycline เป็นยาที่มีการใช้ในปศุสัตว์เป็นระยะเวลานานพบร้อยละการดื้อยาปานกลางในยา Chloramphenicol (28-32%) และ Trimethoprim หรือ Sulfamethoxazole (30-35%) (ภาพที่ 1.2A) การดื้อยาของเชื้อ *Enterococcus* spp. พบร้อยละการดื้อยาสูงในยา Erythromycin (70-85%) และ Tetracycline (70-85%) พบร้อยละการดื้อยาปานกลางในยา Streptomycin (40-60%) (ภาพที่ 1.2B) และการดื้อยาของเชื้อ *Campylobacter* spp. พบร้อยละการดื้อยาปานกลางถึงสูงในยา Ciprofloxacin Erythromycin Streptomycin และ Tetracycline อยู่ในช่วง 30-82% (ภาพที่ 1.2C) ประเทศไทยมีมาตรการทางกฎหมายหลายฉบับในการจัดการเกี่ยวกับการป้องกันและควบคุมการใช้ยาปฏิชีวนะคือ พระราชบัญญัติยา พ.ศ.2510 และพระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ.2558 โดยมีประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดชื่อ ประเภท ชนิด ลักษณะหรือคุณสมบัติของวัตถุที่ห้ามใช้ผสมในอาหารสัตว์ โดยที่เห็นสมควรให้ใช้ยาต้านจุลชีพมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ ควรเป็นไปเพื่อประโยชน์ในการควบคุม ป้องกัน และรักษาโรค การนำยาดังกล่าวมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์เร่งการเจริญเติบโต ทำให้เกิดปัญหาเชื้อดื้อยาซึ่งไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ดังนั้นจึงห้ามใช้ยาต้านจุลชีพทุกชนิดผสมลงในอาหารสัตว์เพื่อเร่งการเจริญเติบโตหรือเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารสัตว์

นอกเหนือจากนี้มีการห้ามใช้ยาปฏิชีวนะในการเร่งการเจริญเติบโตในหลายประเทศ เช่น สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา และจีน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตสัตว์ลดลงและทำให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจ ทำให้สัตว์มีความไวต่อการติดเชื้อก่อโรค มีความต้องการสารเสริมอาหารสัตว์ที่มาจากธรรมชาติเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากการตระหนักถึงปัญหาสุขภาพ (Bacanli and Basaran,

2019) การพัฒนาแนวทางการใช้อย่างสมเหตุผลจึงมีการส่งเสริมให้ใช้สารเสริมทางเลือก เช่น สารที่ได้จากพืช สมุนไพร กรดอินทรีย์ เอนไซม์ โปรไบโอติกและพรีไบโอติก ผลักดันการเลี้ยงสัตว์อย่างปลอดภัย ลดการใชยาปฏิชีวนะในปศุสัตว์และประมง ในปัจจุบันนักวิจัยมีกลยุทธ์ทางโภชนาการและ/หรือการใช้สารเสริมอาหารสัตว์ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต หรือปรับเปลี่ยนจุลินทรีย์ในลำไส้โดยมีรูปแบบการทำงานคล้ายกับการทำงานของสารกระตุ้นการเจริญเติบโต

สารเสริมอาหารสัตว์หรือวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ (Animal feed additives)

สารเสริมอาหารสัตว์หรือวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ คือสิ่งที่เติมลงไปในการอาหารสัตว์ในปริมาณน้อย เพื่อทำหน้าที่เฉพาะเจาะจงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้ และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้า หรือขายอาหารสัตว์ พ.ศ. 2559 ให้ความหมายของ “วัตถุที่เติม” ว่าวัตถุที่ใช้เติมในอาหารสัตว์เพื่อวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพของอาหารสัตว์และซากสัตว์หรือเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสัตว์และสุขภาพของสัตว์ และให้ความหมายของ สื่อ (carriers) ไว้ว่าวัตถุที่ใช้ในการเจือจางหรือใช้เป็นส่วนผสมในปริมาณที่เหมาะสมของวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ และให้หมายความรวมถึงส่วนของพืช แร่ธาตุ กากน้ำตาล ผลิตภัณฑ์เหลือจากการหมัก น้ำ น้ำมัน ที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ วัสดุที่เหลือจากการเกษตรที่ปลอดภัย เคลย์ (clay) ซิลิคอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) เคโอลิน (kaolin) เดกซ์โตรส (dextrose) และหรือแล็กโตส (lactose) และแบ่งจากพืชที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ ควบคุมเฉพาะด้วย (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559) ทั้งนี้สามารถใช้คำว่า "สารเสริมในอาหารสัตว์" หรือ "วัตถุที่เติมในอาหารสัตว์"



ภาพที่ 1.2 สรุปผลการตรวจวิเคราะห์การดื้อยาต้านจุลชีพในสัตว์ ปี 2560-2563
ที่มา: กองควบคุมอาหารและยาสัตว์ (2566)

ในปัจจุบันใช้เพื่อวัตถุประสงค์ปรับปรุงคุณภาพอาหารสัตว์ เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและสุขภาพสัตว์ ลดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดการปลดปล่อยไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ลงสู่ ดิน น้ำ การใช้สารเสริมผู้ใช้ต้องมีความรู้ในการใช้อย่างถูกต้อง เข้าใจถึงกลไกการออกฤทธิ์ที่แตกต่างกัน เข้าใจข้อบ่งคับของแต่ละประเทศ เพื่อไม่เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาปศุสัตว์ ในปัจจุบันอุตสาหกรรมปศุสัตว์กำลังมองหาเทคโนโลยี และสารเสริมจากธรรมชาติ เพื่อมาปรับปรุงสวัสดิภาพสัตว์ และผลผลิต แนวคิดการใช้สารเสริมสุขภาพ (functional feed additives) หรือสารกลุ่มนิวตราซูติคอล (nutraceutical) ในอาหารสัตว์จึงถือว่าเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของทางเดินอาหาร และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต สารเสริมสุขภาพเป็นทางเลือกเพื่อทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะในการเร่งการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นที่รู้กันดีว่าการทำงานของ AGPs เป็นการสร้างสมดุลของระบบนิเวศในลำไส้ ควบคุมโรคติดเชื้อในทางเดินอาหาร ส่งผลให้การย่อย และการดูดซึมอาหารมีประสิทธิภาพ (Liu *et al.*, 2018) ในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์การใชยาปฏิชีวนะ เพื่อเพิ่มการผลิตเนื้อ ผ่านการป้องกันโรค กระตุ้นอัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว อย่างไรก็ตามผลกระทบของ AGPs ทำให้เกิดการตกค้างของยาปฏิชีวนะ ไปสู่การผลิตสัตว์ และเป็นสาเหตุการดื้อยาในผู้บริโภค (Broderick *et al.*, 2021) สารเสริมสุขภาพที่นิยมนำมาใช้ในอาหารสัตว์ ได้แก่ เอนไซม์ (enzymes) สารที่มาจากพืช (plant-derived substances) กรดอินทรีย์ (organic acids) โพรไบโอติก (probiotics) พรีไบโอติกส์ (prebiotics) และ/หรือการทำงานร่วมกันของสารเสริมเหล่านี้ การทำงานของสารเสริมเพื่อสุขภาพช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของร่างกาย การลดจำนวนจุลินทรีย์ก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร ปรับสมดุลของระบบนิเวศในลำไส้ กระตุ้นภูมิคุ้มกัน กระตุ้นกระบวนการเมตาบอลิซึม เพิ่มการดูดซึมสารอาหาร ส่งผลต่อสุขภาพโดยรวม นำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และคุณภาพของผลผลิตสัตว์ (Bacanli and Basaran, 2019; Alagawany *et al.*, 2021) บทบาทของสารเสริมในการปรับปรุงการทำงานทางสรีรวิทยา และสุขภาพสัตว์แสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 บทบาทการทำงานของสารเสริมสุขภาพในการปรับปรุงการทำงานทางสรีรวิทยา และสุขภาพสัตว์

ชนิด	กลไกการทำงาน	ผลลัพธ์
เอนไซม์ (Exogenous enzymes)	ย่อยพอลิแซ็กคาไรด์ในผนังเซลล์ ↓ ลดความหนืดในทางเดินอาหาร อัตราการการไหลผ่านในทางเดินอาหาร ↓ เพิ่มการดูดซึมสารอาหาร/ ลดแบคทีเรียก่อโรคในลำไส้เล็ก	● ลดสารต้านการใช้ประโยชน์ของโภชนะ ● ปรับปรุงการย่อยอาหาร ● ส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้ อาหารและคุณภาพไข่ ● เพิ่มประสิทธิภาพการ เจริญเติบโตที่ดีขึ้น ● ลดแอมโมเนียในเลือด และเพิ่ม การดูดซึมแคลเซียม
สารเสริมที่เป็นอนุพันธ์ของ พืช (Plant-derived substances)	รบกวนการทำงานของแบคทีเรีย ก่อโรคในทางเดินอาหาร ↓ กำจัดอนุมูลอิสระ/ กระตุ้นการ หลังเอนไซม์ในการย่อยอาหาร ↓ เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ ลำไส้ และเพิ่มสถานะการในการ ต้านอนุมูลอิสระในลำไส้	● เพิ่มน้ำหนักตัวและประสิทธิภาพ การใช้อาหาร ● ปรับปรุงสัณฐานวิทยาในลำไส้ และความสูงของวิลไล (villus height; VH) และความลึก ของคริปต์ (crypt depth; CD) ● เพิ่มการหลังเยื่อเมือกในทางเดิน อาหาร ● ปรับปรุงคุณภาพเนื้อ ลดไขมัน ในช่องท้อง
กรดอินทรีย์ (Organic acids)	ปรับ pH ในกระเพาะอาหาร กระตุ้นการหลั่งเปปซิน และ ทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียก่อ โรคในทางเดินอาหาร ↓ เพิ่มการย่อยได้ของโปรตีน	● ปรับปรุงสัณฐานวิทยาในลำไส้ ● ปรับปรุงการย่อยได้ ● เพิ่มอัตราการเจริญเติบโต

สารเสริมชีวนะหรือ โพรไบโอติก (Probiotics)	ลดจำนวนเชื้อก่อโรคในทางเดิน อาหาร โดยการผลิตสารยับยั้งการ เจริญเติบโตของเชื้อก่อโรค และลด pH ในทางเดินอาหาร ↓ ควบคุมจำนวนเชื้อก่อโรคใน ทางเดินอาหารและปรับปรุงระบบ ภูมิคุ้มกัน	● ปกป้องจุลินทรีย์ (microflora) ในลำไส้ ● ป้องกันเยื่อบุลำไส้ (intestinal mucosa) ● ปรับปรุงการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของโฮสต์ ● เพิ่มประสิทธิภาพของระบบย่อยอาหาร โดยกิจกรรมของแบคทีเรีย ● ลดการผลิตแอมโมเนีย ● ปรับปรุง FCR ประสิทธิภาพผลผลิต (ไข่ และการผลิตเนื้อสัตว์)
สารส่งเสริมชีวนะหรือ พรีไบโอติก (Prebiotics)	สารตั้งต้นของกระบวนการหมัก โดยจุลินทรีย์ ผลิตกรดไขมันสาย สั้น (short chain fatty acids; SCFAs) ↓ กระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ที่มีประโยชน์ เช่น <i>Bifidobacteria</i> และยับยั้งการ เพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ก่อโรค	● พัฒนาจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารและกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ● ลดสารพิษ สารตกค้าง กรดน้ำดี เอนไซม์ก่อมะเร็งในทางเดินอาหาร ● เพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์ (คอเลสเตอรอลในไข่ต่ำ)

บทที่ 2 ประเภทสารเสริมอาหารสัตว์ (Categories of feed additives)

ตลาดสารเสริมอาหารสัตว์ทั่วโลกมีมูลค่า 40.74 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี 2565 และคาดว่าจะเติบโตที่อัตราการเติบโตต่อปีที่เฉลี่ย 3.5% ตั้งแต่ปี 2566 ถึง 2573 ซึ่งเป็นผลมาจากการบริโภคเนื้อสัตว์ที่เพิ่มขึ้นทั่วโลก การมีความรู้เพิ่มมากขึ้นของผู้บริโภคเกี่ยวกับประโยชน์ของสารเสริมอาหารสัตว์และการตระหนักถึงการเกิดโรคของโรคต่างๆ ได้ส่งผลกระทบเชิงบวกต่ออุตสาหกรรมอาหาร รวมถึงการรับรู้ของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวกับโรคที่เกิดจากสัตว์ปศุสัตว์ได้เพิ่มความกังวลเกี่ยวกับคุณภาพและความปลอดภัยของเนื้อสัตว์ ซึ่งทำให้มีการใช้สารเสริมอาหารสัตว์เพิ่มมากขึ้น รวมถึงการห้ามให้ยาปฏิชีวนะในการเร่งการเจริญเติบโตที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้ การสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับประเภทของสารเสริมอาหารสัตว์ตามการแบ่งของสถาบันต่างๆ จะช่วยให้การเลือกใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม อีกทั้งการเลือกใช้สารเสริมตรงตามวัตถุประสงค์ยังสามารถเพิ่มความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ (Afedzi *et al.*, 2023)

การแบ่งกลุ่มสารเสริมอาหารจะแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ ในเอกสารการสอนเล่มนี้ ได้แบ่งกลุ่มสารเสริมตามระเบียบของหน่วยงานตรวจสอบความปลอดภัยด้านอาหารแห่งสหภาพยุโรป (European Food Safety Authority :EFSA) ได้แบ่งหมวดหมู่ของสารเสริมครอบคลุมสำหรับอาหารมนุษย์ อาหารสัตว์เลี้ยง และอาหารปศุสัตว์ให้ขึ้นอยู่กับการทำงานและคุณสมบัติได้ดังนี้

1. สารเติมแต่งทางเทคโนโลยี (technological additives) สารใดๆ ที่เติมลงในอาหารเพื่อจุดประสงค์ทางเทคโนโลยีประกอบด้วย
 - 1.1 สารกันบูด (preservatives) คือสารหรือจุลินทรีย์ที่สามารถปกป้องวัตถุดิบอาหารและอาหารจากการเสื่อมสภาพที่เกิดจากจุลินทรีย์หรือสารเมตาบอไลต์ของจุลินทรีย์
 - 1.2 สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) คือสารที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารและวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยป้องกันการเสื่อมสภาพที่เกิดจากออกซิเดชัน หรือป้องกันการหืนในอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบสูง
 - 1.3 สารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifiers) คือสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้อนุภาคของส่วนผสมสองชนิดที่ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ให้เป็นเนื้อเดียวกัน

- 1.4 สารคงตัว (stabilizers) คือสารที่ทำให้สามารถรักษาสถานะทางกายภาพและเคมีของอาหาร
 - 1.5 สารเพิ่มความข้น (thickeners) คือสารที่เพิ่มความหนืดของอาหาร
 - 1.6 สารก่อเจล (gelling agents) คือสารที่ให้เนื้อสัมผัสของอาหารโดยการสร้างเจล
 - 1.7 สารยึดเกาะ (binders) คือสารที่เพิ่มการเกาะติดของอนุภาคของอาหาร
 - 1.8 สารสำหรับควบคุมการปนเปื้อนของกัมมันตรังสี (radiation countermeasures) คือสารที่ระงับการดูดซึมของนิวคลีโอไทด์หรือส่งเสริมการขับถ่ายออกนอกร่างกาย
 - 1.9 สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (anticaking agents) คือสารที่ช่วยลดการเกาะติดกันของอนุภาคอาหาร
 - 1.10 สารควบคุมความเป็นกรด (acidity regulators) คือสารที่ปรับ pH ของอาหาร
 - 1.11 สารเติมแต่งสำหรับหญ้าหมัก (silage additives) คือสารรวมถึงเอนไซม์หรือจุลินทรีย์ที่มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพหญ้าหมัก
 - 1.12 สารทำให้เสียสภาพหรือสารแปลงสภาพ (denaturant) คือสารที่ใช้ในการผลิตอาหารแปรรูปที่แปลงสภาพของวัตถุดิบอาหาร
 - 1.13 สารสำหรับลดการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อราในอาหาร (reduction of the mycotoxins contamination) คือสารที่สามารถระงับ หรือลดการดูดซึมสารพิษจากเชื้อรา หรือปรับเปลี่ยนรูปแบบการออกฤทธิ์
 - 1.14 สารเพิ่มสภาพสุขลักษณะ (hygiene condition enhancers) คือสารหรือจุลินทรีย์ซึ่งส่งผลดีต่อคุณลักษณะด้านสุขอนามัยของอาหารสัตว์ โดยลดการปนเปื้อนทางจุลชีววิทยาโดยเฉพาะ
2. สารเติมแต่งทางประสาทสัมผัส (sensory additives) สารใดๆ ที่เติมเข้าไปในอาหารเพื่อปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของอาหารหรือลักษณะการมองเห็นของอาหาร

- 2.1 สารสี (colorants) คือสารที่เพิ่มหรือคืนสีให้กับอาหารสัตว์ หรือเพิ่มสีสันให้กับอาหาร เช่น สารที่มีผลดีต่อสีของไข่ไก่ ปลาสวยงาม และนก
- 2.2 สารปรุงแต่งกลิ่นรส (flavoring compounds) คือสารที่รวมอยู่ในอาหารจะเพิ่มกลิ่นกระตุ้นการอยากอาหาร
3. สารเสริมทางโภชนาการ (nutritional additives) สารใดๆ ที่เติมลงในอาหารเพื่อให้คุณค่าทางโภชนา
 - 3.1 วิตามิน (vitamins) โปรวิตามิน (pro-vitamins) และสารที่มีโครงสร้างทางเคมีซึ่งให้ผลคล้ายวิตามิน
 - 3.2 สารประกอบของธาตุรอง (trace elements)
 - 3.3 กรดอะมิโน และเกลือกรดอะมิโน (amino acids and amino acid salts)
 - 3.4 ยูเรียและสารอนุพันธ์ (urea and its derivatives)
4. สารเสริมเฉพาะทางสำหรับสัตว์ (zootechnical additives) สารเติมแต่งใดๆ ที่ใช้เพื่อให้ส่งผลดีต่อประสิทธิภาพของสัตว์ที่มีสุขภาพที่ดี หรือใช้เพื่อส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม
 - 4.1 สารเสริมความสามารถในการย่อยได้ (digestibility enhancers) สารที่เพิ่มความสามารถในการย่อยได้ของอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์อาหารสัตว์เป้าหมายในการย่อย เช่น เอนไซม์
 - 4.2 สารเพิ่มความคงตัวจุลินทรีย์ในลำไส้ (gut flora stabilizers) จุลินทรีย์หรือสารที่ให้กับสัตว์จะมีผลเชิงบวกต่อจุลินทรีย์ในลำไส้และสุขภาพลำไส้
 - 4.3 สารที่ส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม
 - 4.4 สารเติมแต่งเฉพาะทางสำหรับสัตว์อื่นๆ
5. กลุ่มสาร coccidiostat และ histomonostat สารใดๆ ที่เติมลงในอาหารที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อฆ่าหรือยับยั้งโปรโตซัวโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์ ความปลอดภัยของผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม เช่น ควบคุมโรคบิด (coccidiosis)

ยาปฏิชีวนะนอกเหนือจากกลุ่มสาร coccidiostats หรือ histomonostats ไม่ถือเป็นเสริมอาหารสัตว์ภายใต้กฎหมายยุโรป สารเสริมอาหารสัตว์มีทั้งแบบสังเคราะห์ (synthetic) และมาจากธรรมชาติ

(natural) อยู่ในรูปแบบแห้ง ของเหลว และผงการนำมาใช้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ (Rychen *et al.*, 2017)

การแบ่งประเภทของสารเสริมอาหารสัตว์ตามส่วนแบ่งตลาด

การจำแนกประเภทของสารเสริมในอาหารสัตว์ตามส่วนแบ่งตลาดมักจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารเสริม หน้าที่ และความนิยมและมีคุณค่าในตลาด สารเสริมในอาหารสัตว์สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. สารเสริมอาหารสัตว์ที่ให้โภชนะ (nutrient feed additives)
 - 1.1 กรดอะมิโน (amino acids) ได้แก่ ไลซีน (lysine) เมไทโอนีน (methionine) ทริปโตเฟน (tryptophan) และทรีโอนีน (threonine)
 - 1.2 วิตามิน (vitamin) ได้แก่ ไรโบฟลาวิน (vitamin B2) วิตามินอี (vitamin E) และวิตามินซี (vitamin C)
 - 1.3 ฟอสฟอรัส (phosphates)
2. สารเสริมอาหารสัตว์ที่ไม่ให้โภชนะ (non-nutrient feed additives)
 - 2.1 สารเสริมความเป็นกรด (acidifiers) ได้แก่ กรดอินทรีย์ เช่น กรดฟูมาริก (fumaric acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid)
 - 2.2 เอนไซม์ (enzymes) ได้แก่ ไฟเตส (phytase) และเอนไซม์กลุ่มที่ย่อยโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch polysaccharides)
 - 2.3 สารเสริมไฟโตจีนิกหรือไฟโตไบโอติก (phytogenic feed additives; PEA or phytobiotic)
 - 2.4 สารเสริมชีวนะหรือโพรไบโอติก (probiotics) เป็นจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อตัวสัตว์ ปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร
 - 2.5 สารส่งเสริมชีวนะหรือพรีไบโอติก (prebiotics) เป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ผ่านการหมัก
 - 2.6 สารให้สี/สารสี (coloring/ pigments agents) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) และแซนโทฟิลล์ (xanthophylls)
 - 2.7 สารเติมแต่งทางประสาทสัมผัส (sensory additives)
 - 2.8 สารปรุงแต่งกลิ่นและรส (flavors & sweeteners)

2.9 อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier)

2.10 ยาปฏิชีวนะ (antibiotics) หรือยาต้านจุลชีพที่ผสมในอาหารสัตว์
(medicated premix)

2.11 สารถนอมอาหาร (preservatives) ได้แก่ สารกันหืนหรือสารต้านการออกซิเดชัน
วิตามินอี วิตามินซี บิวทิลไฮดรอกซีแอนนิโซล (butylated hydroxyanisole;
BHA) และบิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytoluene; BHT)

ส่วนแบ่งตลาดของสารเสริมเหล่านี้อาจแตกต่างกันตามภูมิภาค ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น
กฎระเบียบในแต่ละประเทศ ความพึงพอใจของผู้บริโภค และชนิดของปศุสัตว์ที่แพร่หลายในพื้นที่
นั้นๆ อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มที่ชัดเจนว่าสารเสริมที่มาจากธรรมชาติกำลังได้รับการพัฒนาเพิ่ม
มากขึ้น เพื่อเป็นทางเลือกทดแทนยาปฏิชีวนะ



แบบฝึกหัดบทที่ 2 ประเภทสารเสริมอาหารสัตว์

ให้นักศึกษาจับกลุ่มประเภทสารเสริมให้ถูกต้อง โดยการเลือกชื่อสารเสริม เติมลงในตารางแบ่ง

หมวดหมู่

Preservatives	Gelling agents	Emulsifiers	Anticaking agents	Exogenous enzymes
Silage additives	Postbiotics	Sensory additives	Palatability enhancer	Amino acid salts
Binders	Thickeners	Flavoring compounds	Urea and its derivatives	Reduction of the mycotoxin contamination
Antioxidants	Denaturant	Xylanase	Acidity regulators	Healthy Bacteria
Carotenoids	BHA	Lysine	Methionine	Phytase

1. แบ่งหมวดหมู่ของสารเสริมอาหารสัตว์ตามระเบียบของสหภาพยุโรป (European Union EU) ดังนี้ พร้อมบอกวัตถุประสงค์ในการใช้งาน

สารเสริมกลุ่ม.....

วัตถุประสงค์ในการใช้งาน.....

.....

.....

สารเสริมกลุ่ม.....

วัตถุประสงค์ในการใช้งาน.....

.....

.....



สารเสริมกลุ่ม.....

วัตถุประสงค์ในการใช้งาน.....

.....

.....



สารเสริมกลุ่ม.....

วัตถุประสงค์ในการใช้งาน.....

.....

.....



สารเสริมกลุ่ม.....

วัตถุประสงค์ในการใช้งาน.....

.....

.....

2. แบ่งหมวดหมู่ของสารเสริมอาหารสัตว์ตามส่วนแบ่งตลาด พร้อมบอกวัตถุประสงค์ในการใช้งาน

1. ชื่อกลุ่ม..... 	2. ชื่อกลุ่ม.....
--	--

บทที่ 3 คุณสมบัติสารเสริมอาหารสัตว์ (Properties of feed additives)

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตสารเสริมอาหารสัตว์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารเสริมและลดข้อจำกัดในการใช้งาน การศึกษาปฏิกิริยาระหว่างสารเสริมในร่างกายสัตว์เป็นสิ่งที่สำคัญ เพื่อให้การใช้สารเสริมเป็นไปตามเป้าหมายและเกิดประโยชน์สูงสุด ผู้ใช้สารเสริมควรมีความรู้เกี่ยวกับฤทธิ์ของสารเสริมทั้งทางด้านที่พึงประสงค์และไม่พึงประสงค์ รวมถึงเพื่อสังเกตผลที่เกิดขึ้นจากการใช้สารเสริม และคำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ในบทนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติ และกลไกการทำงานของสารเสริมแต่ละชนิด เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้สารเสริมได้ถูกต้องและเหมาะสมกับการแก้ไขปัญหา

คุณสมบัติสารเสริม

1. สารเติมแต่งทางเทคโนโลยี

1.1 สารกันบูด

สารหรือจุลินทรีย์ที่สามารถปกป้องวัตถุดิบอาหารและอาหารจากการเสื่อมสภาพที่เกิดจากจุลินทรีย์หรือสารเมตาบอไลต์ของจุลินทรีย์ คุณภาพทางจุลชีววิทยา (microbiological quality) ของอาหารสัตว์เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการผลิตสัตว์ เนื่องจากมีผลกระทบต่อผลผลิตและสุขภาพของสัตว์ อีกทั้งยังมีผลกระทบทางเศรษฐกิจ ตลอดจนความเสี่ยงด้านสาธารณสุขที่อาจเกิดขึ้น นอกจากนี้ความสำคัญของจุลินทรีย์ (แบคทีเรีย เชื้อรา หรือยีสต์) และสารพิษที่มีอยู่ในอาหารสามารถเข้าถึงการบริโภคของมนุษย์และก่อให้เกิดโรคได้ ดังนั้นจุลินทรีย์บางชนิดจึงมีความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภค เช่นเดียวกับสารอื่นๆ ที่ก่อให้เกิดโรค เช่น สารพิษจากเชื้อรา สารกันบูดสำหรับอาหารสัตว์หลายชนิดที่สามารถนำมาใช้เพื่อควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ หรือเป็นการเพิ่มอายุการเก็บรักษาอาหารสัตว์ (Dijksterhuis *et al.*, 2019) เช่น การใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีกรดอินทรีย์ (organic acids) เป็นองค์ประกอบ และสารฟอรัมาลดีไฮด์ (formaldehyde) กรดอินทรีย์ที่นิยมใช้ ได้แก่ กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) และกรดฟอร์มิก (formic acid) เนื่องจากมีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์หลากหลายชนิด กรดอินทรีย์จะทำให้อาหารมีค่า pH ต่ำลง ซึ่งมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น ยับยั้ง

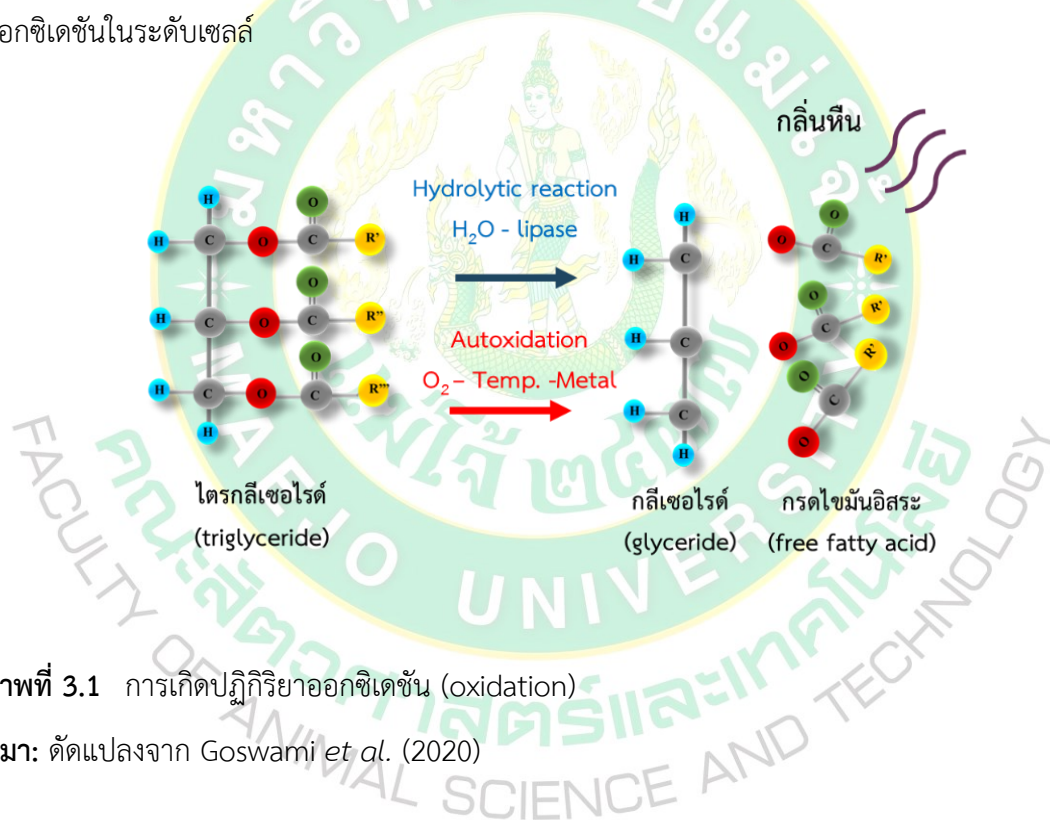
การผลิตเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ยับยั้งการสร้าง ATP และยับยั้งการขนส่งสารอาหาร ทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หยุดชะงัก ข้อจำกัดในการใช้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้อาจกีดกีดร่อนภาชนะที่บรรจุ

ในส่วนของฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารกันบูดในอาหารสัตว์อีกประเภทหนึ่งเป็นสารประกอบไบโอไซด์ (biocide) ซึ่งมีปฏิกริยารุนแรงและระเหยง่าย สารประกอบอินทรีย์นี้อาจทำให้เกิดแผลไหม้จากความร้อนในระบบทางเดินอาหารเมื่อใช้ในปริมาณที่สูงและสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานในลำไส้ แสดงให้เห็นความเป็นพิษและอันตรายต่อสุขภาพของสัตว์และมนุษย์ เนื่องจากกระคายเคืองต่อผิวหนังและทางเดินหายใจเป็นสารก่อมะเร็ง และอาจทำให้เกิดปัญหาระบบสืบพันธุ์ด้วย ดังนั้นประเทศสมาชิกสหภาพยุโรปมีมติการห้ามใช้สารฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารสำหรับสัตว์ปีก ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่ๆ ที่มาจากธรรมชาติเพื่อลดข้อจำกัดและลดความกังวลเกี่ยวกับการตกค้างของสารสังเคราะห์ เช่น ผลิตภัณฑ์จากพืชที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราในระยะยาว มีฤทธิ์ได้หลากหลาย สารกันบูดกลุ่มนี้เกิดปฏิกริยาต่ำ และไม่กีดกีดร่อนหรือเป็นพิษ แต่มีราคาสูง

1.2 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระหรือสารป้องกันการหืน (rancidity) ใช้เพื่อป้องกันการเปลี่ยนคุณภาพของวัตถุดิบอาหารหรืออาหารสัตว์ที่มีน้ำมันและไขมันเป็นองค์ประกอบสูง โดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีความไวต่อการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชัน (oxidation) ปฏิกริยาออกซิเดชันนำไปสู่การเสื่อมคุณภาพของอาหาร โดยการเปลี่ยนโครงสร้างไขมันทำให้เกิดการสลายของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) เป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) มี 2 แบบคือ ปฏิกริยาไฮโดรลิซิส (hydrolytic reaction) โดยมีน้ำและเอนไซม์ลิเพส (lipase) หรือลิพอกซิเดส (lipoxidase) ที่มีอยู่ในอาหารเป็นตัวเร่งปฏิกริยา ปฏิกริยาออโตออกซิเดชัน (autoxidation) ถูกกระตุ้นโดยปัจจัยภายนอก เช่น ความชื้น ออกซิเจน แสง อุณหภูมิ และโลหะ ทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวสูญเสียไฮโดรเจน เกิดเป็นอนุมูลอิสระ (free radicals) ซึ่งอนุมูลอิสระจะไปเหนี่ยวนำโครงสร้างของไขมัน ทำให้เกิดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นจนเกิดปฏิกริยาลูกโซ่ (ภาพที่ 3.1) จากทั้งสองปฏิกริยาทำให้อาหารเกิดกลิ่นผิดปกติและสูญเสียคุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพ และทำให้วิตามินกลุ่มที่ละลายในไขมันอาจถูกทำลายไปด้วยทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์ และความน่ากินของอาหารลดลง ทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลง และอัตราการเจริญเติบโตต่ำ ปัจจัยที่มีผลต่อการออกซิเดชันของไขมัน เช่น ชนิดของไขมัน สัดส่วนไขมันอิ่มตัวต่อไขมันไม่อิ่มตัว สภาพแวดล้อมในการเก็บรักษา แร่ธาตุและโลหะ และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์

การเติมสารต้านอนุมูลอิสระจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาวัตถุดิบอาหารและอาหารสัตว์ การทำงานสารต้านอนุมูลอิสระทำได้โดยยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดในระหว่างการเก็บรักษา โดยการให้อิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระให้กลายเป็นโมเลกุลที่เสถียร และหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระไม่เกิดเป็นสารอนุมูลอิสระตัวใหม่ หยุดการทำลายโครงสร้างของไขมัน สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่นิยมใช้ได้แก่ บิวทิลไฮดรอกซีแอนิโซล (butylated hydroxyanisole; BHA) บิวทิลไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytoluene; BHT) ใช้ได้ไม่เกิน 0.05% ของอาหาร (Imbabi *et al.*, 2021) และเอทิลควิน (ethoxyquin, 6-ethoxy-1,2-dihydro-2,2,4-trimethylquinoline) ใช้ได้ไม่เกิน 0.015% และโพรพิลแกลเลต (propyl gallate) ใช้ได้ไม่เกิน 0.10% ส่วนวิตามินอีช่วยป้องกันออกซิเดชันในระดับเซลล์



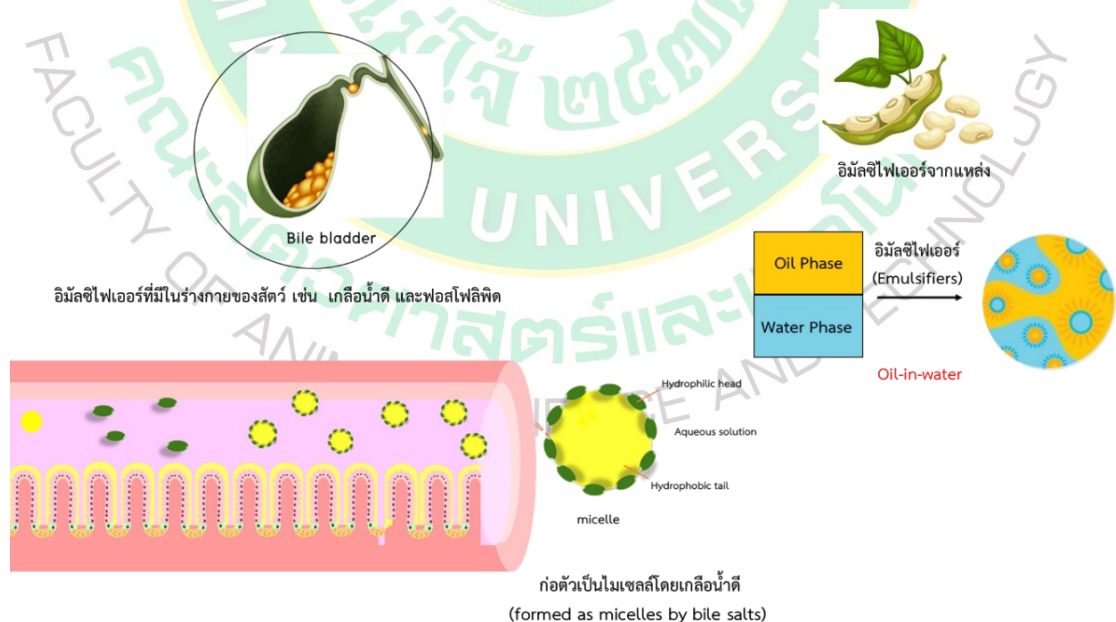
ภาพที่ 3.1 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Goswami *et al.* (2020)

1.3 สารอิมัลซิไฟเออร์หรือสารช่วยในการกระจายตัว

สารอิมัลซิไฟเออร์ทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้อนุภาคของน้ำกับน้ำมันที่ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ ให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันหรือการเกิดอิมัลชัน (emulsion) เนื่องจากมีโครงสร้างโมเลกุลทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และชอบไขมัน (lipophilic) การรวมกันของทั้งสององค์ประกอบในโมเลกุลเดียวทำให้มีคุณสมบัติพิเศษสามารถละลายได้ทั้งในไขมันและในน้ำ ไขมันเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในอาหารสัตว์เนื่องจากมีคุณค่าทางพลังงานสูง ปริมาณพลังงานที่สัตว์จะได้รับจากไขมันในอาหารส่วน

ใหญ่ขึ้นอยู่กับการย่อยได้ของไขมัน การย่อยได้ของไขมันจะลดลงอย่างมาก เมื่อไม่มีสารที่ทำให้เกิดอิมัลชัน โดยเฉพาะในสัตว์อายุน้อยมีข้อจำกัดทางสรีรวิทยาในการย่อยและการดูดซึมไขมัน เนื่องจากมีการผลิตเอนไซม์ไลเปสอยู่ในระดับต่ำ และมีการผลิตเกลือน้ำดีในอัตราที่ต่ำเช่นเดียวกัน การย่อยไขมันอาจจะไม่สมบูรณ์ส่งผลให้มีความต้องการแหล่งพลังงานมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์ เพื่อปรับปรุงการย่อยไขมันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน และลดต้นทุนอาหารสัตว์ การทำงานของสารอิมัลซิไฟเออร์จะช่วยลดแรงตึงผิว สารอิมัลซิไฟเออร์ช่วยสลายโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมัน และก่อตัวเป็นไมเซลล์ (micelle) เพิ่มพื้นที่ผิวของไขมันในการสัมผัสกับเอนไซม์ไลเปส เพิ่มการย่อยและการดูดซึมไขมัน (ภาพที่ 3.2) ปัจจุบันมีการใช้อิมัลซิไฟเออร์หลายชนิดในอาหารสัตว์ปีกและสุกร อิมัลซิไฟเออร์ที่มีตามธรรมชาติ เช่น เกลือน้ำดีผลิตขึ้นในร่างกายของสัตว์ และฟอสโฟลิพิด รวมถึงอิมัลซิไฟเออร์จากพืช เช่น เลซิธิน (lecithin) จากถั่วเหลืองและไข่แดง และเคซีนจากนม (milk-derived casein) อิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น ไลโซฟอสฟาติลโคลีน (lysophosphatidylcholine) และไลโซฟอสโฟลิพิด (lysophospholipid) การเลือกใช้อิมัลซิไฟเออร์ต้องพิจารณาจากสัดส่วนของส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ไม่ชอบน้ำของแต่ละผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 3.2 การทำงานของอิมัลซิไฟเออร์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Shoaib *et al.* (2023)

1.4 สารคงตัว

สารคงตัวเป็นสารปรุงแต่งอาหารประเภทหนึ่งที่ใช้เพื่อรักษาความคงตัว เนื้อสัมผัส และความเสถียรของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทั่วไปสารคงตัวจะถูกเติมลงไปเพื่อป้องกันการแยกชั้นของเหลว การตกตะกอน ป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสคุณค่าทางโภชนาการ หรือการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์อื่นๆ ระหว่างการเก็บรักษาหรือการบริโภค สารคงตัวมักทำงานร่วมกับอิมัลซิไฟเออร์เพื่อให้ส่วนผสมอาหารที่ไม่สามารถผสมเข้ากันได้เข้ากันได้ดีขึ้น กระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกัน สารคงตัวมีความสำคัญมากในอาหารแปรรูปหลายชนิดเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความน่ารับประทาน คงเนื้อสัมผัสที่ต้องการ และมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น สารคงตัวมักใช้ในอาหารสัตว์เลี้ยงมากกว่าอาหารปศุสัตว์ เช่น ในอาหารกระป๋องช่วยให้อาหารและส่วนประกอบอื่นๆ ไม่แยกจากกัน ทำให้เนื้อสัมผัสและลักษณะภายนอกสม่ำเสมอ ในอาหารเม็ดทั้งสารคงตัวช่วยรักษาความกรอบและป้องกันไม่ให้อาหารเม็ดแตก และกลุ่มขมสารคงตัวช่วยให้ขนมนุ่มและเคี้ยวหนึบได้นาน โดยไม่ทำให้ขนมแข็งหรือแห้งเกินไป

ประเภทของสารคงตัวที่ใช้ในอาหารสัตว์เลี้ยง ได้แก่ กัม (gums) วุ้น (agar) คาราจีแนน (carrageenan) เพคติน (pectin) เซลลูโลส (cellulose) เจลาติน (gelatin) และกลุ่มแป้งดัดแปร (modified Starches) แป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง แป้งเหล่านี้ยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะในอาหารเม็ดและขนม ทำให้อาหารคงรูปและแน่น

ข้อควรพิจารณาและความปลอดภัยของสารคงตัวในอาหารสัตว์เลี้ยงโดยทั่วไปถือว่าปลอดภัยเมื่อใช้ในปริมาณที่กำหนด หน่วยงานกำกับดูแล เช่น องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) และหน่วยงานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งยุโรป (EFSA) จะตรวจสอบการใช้สารเติมแต่งเหล่านี้เพื่อให้แน่ใจว่าไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์เลี้ยง อย่างไรก็ตาม เช่นเดียวกับอาหารมนุษย์ สัตว์เลี้ยงบางตัวอาจมีความไวหรือแพ้ส่วนผสมบางอย่าง ดังนั้นเจ้าของสัตว์เลี้ยงจึงควรสังเกตปฏิกิริยาของสัตว์เลี้ยงและปรึกษาสัตวแพทย์หากจำเป็น

1.5 สารเพิ่มความชื้น

สารเพิ่มความชื้นในอาหารสัตว์เป็นสารเติมแต่งที่ใช้เพื่อปรับความหนืดหรือเนื้อสัมผัสของอาหารสัตว์โดยไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติอื่นๆ เช่น รสชาติ ทำให้อาหารง่ายต่อการจัดการ มีความน่ากินมากขึ้น และคงความสม่ำเสมอทางโภชนาการ สารเพิ่มความชื้นสามารถช่วยชะลอการผ่านของอาหาร

ผ่านระบบย่อยอาหาร ทำให้การดูดซึมสารอาหารดีขึ้น ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งในอาหารที่มีไฟเบอร์สูงหรืออาหารสำหรับสัตว์ที่มีปัญหาทางเดินอาหาร

สารเหล่านี้มีบทบาทสำคัญทั้งในสูตรอาหารสัตว์แบบเปียกและแห้ง ได้แก่ อาหารเปียกสำหรับสุนัขและแมวสารเพิ่มความข้นถูกใช้เพื่อสร้างเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียนและสม่ำเสมอซึ่งสัตว์เลี้ยงสามารถกินได้ง่าย อาหารปศุสัตว์สารเพิ่มความข้นช่วยรักษารูปทรงของอาหารและป้องกันไม่ให้อาหารแตกหักหรือเกิดฝุ่นมากเกินไป และในอาหารปลาหรือกุ้ง สารเพิ่มความข้นมีความสำคัญอย่างยิ่งในป้องกันไม่ให้อาหารละลายเร็วเกินไป สารเหล่านี้ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้ง กัม แซนแทนกัม (xanthan gum) และโซเดียมอัลจีเนต (sodium alginate) และเจลาติน ซึ่งมีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยากับน้ำจึงส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร

1.6 สารก่ोजล

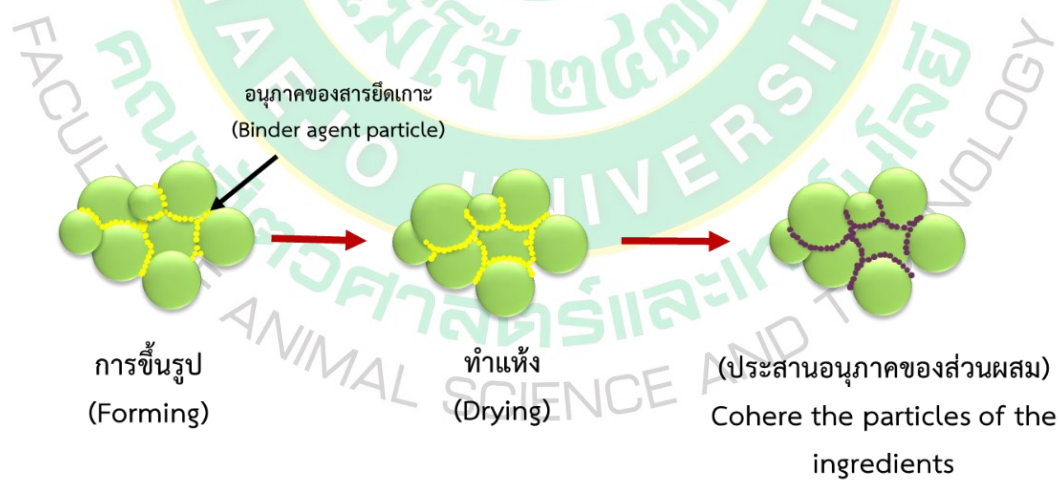
สารก่ोजลในอาหารสัตว์เป็นสารที่ใช้เพื่อสร้างเนื้อสัมผัสคล้ายเจล (a gel-like consistency) ซึ่งช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส เสถียรภาพ และความน่ากินของอาหาร สารเหล่านี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในอาหารเปียก อาหารเสริม และผลิตภัณฑ์เฉพาะทาง เช่น ขนมหหรืออาหารที่มีส่วนผสมของยา ซึ่งการควบคุมความสม่ำเสมอและเนื้อสัมผัสมีความสำคัญ ในบางกรณีสารก่ोजลใช้เพื่อควบคุมการปลดปล่อยสารอาหารหรือยาหรือสารออกฤทธิ์ เมทริกซ์เจลสามารถชะลอกระบวนการย่อยอาหาร ทำให้การดูดซึมสารอาหารหรือสารออกฤทธิ์ได้อย่างช้าๆ นอกเหนือจากนี้สารก่ोजลสามารถช่วยเก็บกักความชื้นในอาหาร ซึ่งสำคัญต่อการรักษาความสดใหม่และความน่ากินของอาหารเปียกหรืออาหารกึ่งเปียก ประเภทของสารก่ोजลจะอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับสารเพิ่มความคงตัวและสารเพิ่มความข้นกระบวนการเกิดเจลขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเข้มข้นของสารก่ोजล การเปลี่ยนแปลงของค่า pH และอุณหภูมิ

1.7 สารยัดเกาะ

การอัดเม็ดอาหารสัตว์สามารถช่วยให้สัตว์กินอาหาร และใช้ประโยชน์จากสารอาหารได้ดีขึ้นเนื่องจากลดการเลือกกินอาหาร ลดการตกหล่นสูญเสีย และการฟุ้งกระจายของอาหาร นอกเหนือจากนี้การอัดเม็ดอาหารยังช่วยลดจุลินทรีย์ก่อโรคที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบอาหาร ลดสารต้านการใช้ประโยชน์ของโภชนะ และเพิ่มความหนาแน่นของอาหาร (bulk density) ทั้งนี้คุณภาพเม็ดอาหารขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ สูตรอาหาร ขนาดของวัตถุดิบอาหาร อุณหภูมิอัดเม็ดอาหาร แม่พิมพ์

อัดเม็ด และการลดอุณหภูมิอัดเม็ดอาหาร ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารมักจะใช้สารยึดเกาะหรือสารประสานทำให้เม็ดอาหารคงตัว ในการปรับปรุงคุณภาพเม็ดอาหาร

สารยึดเกาะ คือสารที่เพิ่มการเกาะติดของอนุภาคของอาหาร ต้องมีคุณสมบัติในการก่อเจล มีความหนืดสูงเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม เช่น การให้ความร้อน จึงจะสามารถยึดเกาะส่วนผสมของอาหารเข้าด้วยกันได้ การทำงานของสารยึดเกาะต่อการประสานอนุภาคของอาหาร (ภาพที่ 3.3) สารยึดเกาะตามธรรมชาติ (natural binder) กลุ่มโปรตีน ได้แก่ กลูเตนข้าวสาลีหรือแป้ง เจลาติน คอลลาเจน อัลบูมิน วัตถุติดอาหารที่ใช้เป กากมันสำปะหลัง กากน้ำตาล และไขมัน สามารถช่วยในการยึดเกาะเม็ดอาหารได้อีกด้วย ปัจจุบันมีการปรับปรุงสารยึดเกาะชนิดใหม่ๆ เป็นกลุ่มของโพลีแซ็กคาไรด์ เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose) อัลจีเนต (alginate) โพรพิลีนไกลคอลอัลจีเนต (propylene glycol alginate) และลิกนินซัลโฟเนต (lignin sulfonate) สารยึดเกาะสังเคราะห์ (synthetic binder) เช่น โซเดียมหรือแคลเซียมเบนโทไนต์ (sodium or calcium bentonite) โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) และยูเรีย พอร์มาลดีไฮด์ (polyvinyl alcohol) อย่างไรก็ตามการใช้สารสังเคราะห์ยังคงมีความกังวลเกี่ยวกับการผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์ (Aksoy *et al.*, 2022)



ภาพที่ 3.3 การทำงานของสารยึดเกาะต่อการประสานอนุภาคของอาหาร

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kalus *et al.* (2020) และ Bashir *et al.* (2022)

1.8 สารสำหรับควบคุมการปนเปื้อนของกัมมันตรังสี

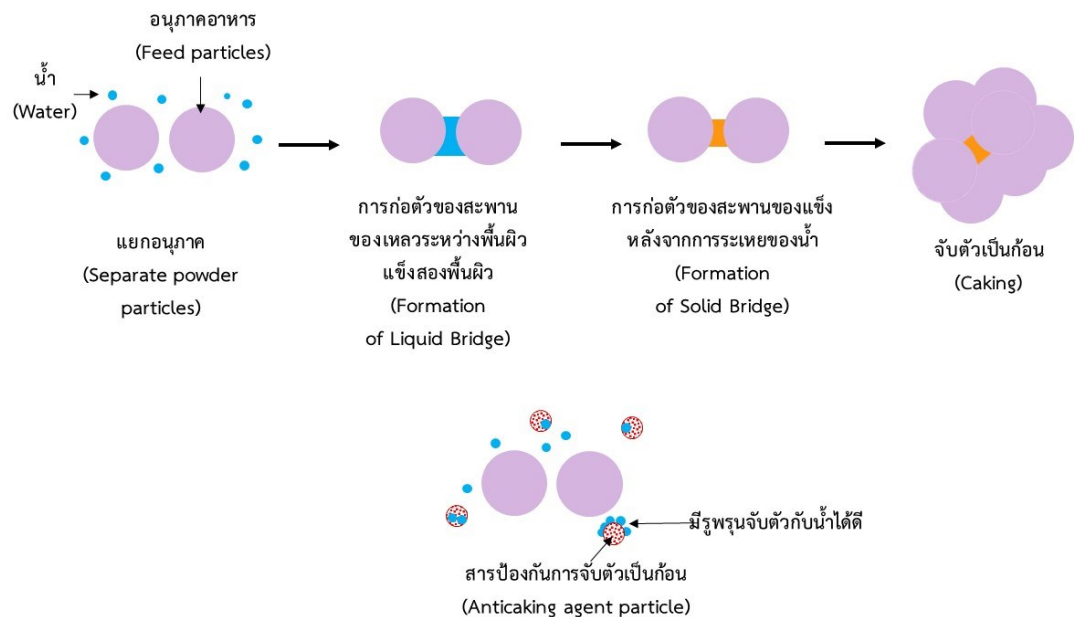
ในสภาพแวดล้อมที่อาจเกิดอุบัติเหตุนิวเคลียร์ การปนเปื้อนกัมมันตรังสี หรือเหตุฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องกับรังสีได้ ดังนั้นจึงมีการใช้มาตรการป้องกันรังสีในอาหารคนและสัตว์ เพื่อป้องกันผลกระทบที่เป็นอันตรายจากการสัมผัสกับรังสี มาตรการเหล่านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการดูดซึม การกระจาย และความเสียหายที่เกิดจากวัสดุกัมมันตรังสี เพื่อรักษาสุขภาพสัตว์และป้องกันไม่ให้สารกัมมันตรังสีเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของมนุษย์ สารที่ทำหน้าที่ยับยั้งการดูดซึมของนิวคลีโอไทด์หรือส่งเสริมการขับถ่ายสารกัมมันตรังสีบางชนิดมีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น แร่เรเดียม-226 ยูเรเนียม-238 ส่วนบางชนิดเป็นสารที่มนุษย์ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในวงการแพทย์ปัจจุบัน เช่น โคบอลต์-60 (Cobalt-60) ซีเซียม 137 (Caesium-137) และอิริเดียม-192 (Iridium-192; Ir-192) สารเสริมชนิดนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมนุษย์ เนื่องจากกระบวนการแปรรูปอาหารอาจจะมีการสัมผัสวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้งานหรือผู้ปฏิบัติงาน รวมทั้งพื้นที่ปฏิบัติงานซึ่งอาจเกิดการปนเปื้อนของกัมมันตรังสี ตัวอย่างสารสำหรับควบคุมการปนเปื้อนของกัมมันตรังสี เช่น สีครามปรัสเซียน (prussian blue) เป็นสารที่สามารถจับตัวกับซีเซียมกัมมันตรังสี (Cs-137) ในทางเดินอาหาร เพื่อลดการดูดซึมและช่วยในการขับออกจากร่างกาย และซีโอไลต์ (zeolites) และเบนโทไนท์ เคลย์ (bentonite clay) ดูดซับไอโซโทปกัมมันตรังสีช่วยป้องกันการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายสัตว์ นอกเหนือจากนี้ยังมีการเติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ลงในอาหารป้องกันการดูดซึมไอโอดีนกัมมันตรังสี (I-131) การเพิ่มแคลเซียมในอาหารช่วยป้องกันการดูดซึมสตรอนเชียมกัมมันตรังสี (Sr-90) ซึ่งเป็นธาตุที่แย่งพื้นที่แคลเซียมในกระบวนการสร้างกระดูก ในกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) เช่น วิตามินอี ซีลีเนียมสามารถลดความเสียหายของเซลล์ที่เกิดจากออกซิเดชันที่เกิดจากการสัมผัสรังสี

สารสำหรับควบคุมการปนเปื้อนของกัมมันตรังสีควรคำนึงถึงเวลาที่เหมาะสมและปริมาณที่ถูกต้อง การใช้มากเกินไปหรือการใช้ไม่ถูกต้องอาจนำไปสู่การขาดสมดุลทางโภชนาการหรือเป็นพิษต่อสัตว์

1.9 สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน

สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนช่วยลดการเกาะติดกันของอนุภาคอาหาร ช่วยป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (caking) การจับตัวเป็นก้อนของอาหารสัตว์มีผลต่อคุณภาพอาหารสัตว์ ความสามารถในการไหลของวัตถุดิบอาหารในกระบวนการผลิต คุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์ และคุณภาพเม็ดอาหาร การจับตัวเป็นก้อนของอนุภาคอาหารเกิดจากความชื้นส่วนเกินสูง ทำให้เกิดการรวมตัวของน้ำ

ในอาหาร เรียกว่าการก่อตัวของสะพานของเหลว (formation of liquid bridge) ระหว่างพื้นผิวแข็งสองพื้นผิว หลังจากนั้นเกิดการระเหยของน้ำ เกิดการก่อตัวของสะพานของแข็ง (formation of solid bridge) ทำให้อนุภาคอาหารยึดเกาะกันแน่นมากยิ่งขึ้น (ภาพที่ 3.4) สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนมีสมบัติสำคัญคือ โมเลกุลของสารสามารถดูดซับน้ำหรือจับกับน้ำได้ดี สารมีโครงสร้างเป็นรูพรุน (porosity) โดยธรรมชาติอาจดูดน้ำได้มากถึง 2 เท่าของน้ำหนักตัว การทำงานของสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน ทำได้โดยดูดซับความชื้น หรือห่อหุ้มอนุภาคของอาหารป้องกันความชื้น ทำให้อนุภาคของอาหารไม่รวมตัวกันเป็นก้อน ช่วยดูดน้ำจากบรรยากาศที่ล้อมรอบอาหารในบรรจุภัณฑ์ และช่วยดูดน้ำออกจากผิวของอาหารผง ทำให้อาหารผงมีความชื้นต่ำ กระจายตัวได้ดี ไม่เกาะกันเป็นก้อน สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนมีการใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในอาหารคนและอาหารสัตว์ โดยไม่มีผลเสียต่อสัตว์ สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนหลายชนิดที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ได้มาจากแร่ธาตุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่ สารประกอบแคลเซียม (calcium compounds) สารประกอบโซเดียม (sodium compounds) สารประกอบแมกนีเซียม (magnesium compounds) และสารอื่นๆ เช่น เบนโทไนต์ (bentonite) ดินขาว (diatomaceous earth) แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) ยกตัวอย่างเช่น เบนโทไนต์เป็นดินเหนียวคอลลอยด์ ปัจจุบันได้รับอนุญาตให้ใช้เป็นสารเสริมเพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อน ใช้ได้ในปริมาณสูงสุด 20 กรัม/กิโลกรัม มีรายงานว่าไก่และลูกสุกรทนต่อการเติมเบนโทไนต์ที่ความเข้มข้น 3% ของอาหาร และโคนมทนต่อการเติมเบนโทไนต์ 2% และปลาเทราท์สามารถทนต่อเบนโทไนต์ได้น้อย 2.5% ในอาหาร ดังนั้นจึงมีการประกาศระเบียบในการใช้โดยคณะกรรมการพิจารณาสารปนเปื้อน ผลิตภัณฑ์และสารเคมีที่ใช้ในอาหารสัตว์ (The Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed: FEEDAP) อนุญาตให้ใช้ได้ไม่เกิน 2%



ภาพที่ 3.4 การเกิดการจับตัวเป็นก้อนของอนุภาคอาหาร และการทำงานของสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Bashir *et al.* (2022)

1.10 สารควบคุมความเป็นกรด

สารควบคุมความเป็นกรดเป็นสารกลุ่มเติมแต่งทางเทคโนโลยี และยังอยู่ในกลุ่มสารเสริมเฉพาะทางสำหรับสัตว์ (zootechnical additives) ทำหน้าที่ปรับ pH ของอาหารช่วยในการรักษาสภาพแวดล้อมของอาหาร เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ชะลอการสุก ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา และยับยั้งการแพร่พันธุ์ของแมลง นอกเหนือจากนี้ยังสามารถควบคุม pH ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ซึ่งจำเป็นต่อการย่อยและการดูดซึมสารอาหารอย่างเหมาะสม สารควบคุมความเป็นกรดที่นิยมใช้ในอาหารสัตว์ ได้แก่ กรดซิตริก (citric acid) แคลเซียมอะซิเตท (calcium acetate) กรดแลคติก (lactic acid) กรดฟูมาริก (fumaric acid) กรดอะซิติก (acetic acids) และกรดเบนโซอิก (benzoic acid) นิยมใช้มากในอาหารสุกร ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร สัตว์มักจะใช้สารควบคุมความเป็นกรดแบบผสม (mixed type acidity regulator) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ที่ผสมระหว่างกรดฟูมาริกและกรดซิตริก กลไกการยับยั้งจุลินทรีย์อธิบายในข้อ 4.6 สารเสริมความเป็นกรดในกลุ่มสารเสริมเฉพาะทางสำหรับสัตว์

1.11 สารเติมแต่งสำหรับหญ้าหมัก

สารเติมแต่งสำหรับหญ้าหมักคือ กลุ่มสารเอนไซม์หรือจุลินทรีย์ที่มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพหญ้าหมัก วัตถุประสงค์ของสารกลุ่มนี้เพื่อการควบคุมกระบวนการหมัก รักษาคุณภาพหญ้าหมัก เพิ่มคุณค่าทางโภชนา และยืดอายุการเก็บรักษาผ่านการส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระหว่างกระบวนการหมัก กระบวนการหมักที่ไม่เหมาะสมมีปัจจัยมาจากการขาดจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก การขาดสารตั้งต้น (คาร์โบไฮเดรต) หรือสารตั้งต้นมีระดับต่ำ สภาวะไม่เหมาะสมต่อการหมัก รวมถึงการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์

สารเติมแต่งสำหรับหญ้าหมักแบ่งตามการทำงาน ได้แก่ สารที่เติมเพิ่มกระตุ้นการหมัก ประกอบด้วย 1) แหล่งคาร์โบไฮเดรตและสารเพิ่มคุณค่าทางโภชนา เช่น กากน้ำตาล ซูโครส และยูเรีย ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตอย่างของแบคทีเรียในช่วงต้นของกระบวนการหมัก ทำให้กระบวนการหมักเร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น 2) เอนไซม์ เช่น เซลลูเลส (cellulases) เฮมิเซลลูเลส (hemicellulases) และอะไมเลส (amylases) ทำหน้าที่ในการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนในพืชอาหารสัตว์ให้เป็นน้ำตาลที่ง่ายต่อการหมัก ซึ่งช่วยเพิ่มการผลิตกรดแลคติก และ 3) หัวเชื้อจุลินทรีย์ เช่น กลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria; LAB) ช่วยกระตุ้นและควบคุมกระบวนการหมัก โดยการส่งเสริมการหมักที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ การเสริมเชื้อจุลินทรีย์จะช่วยให้ค่า pH ลดลงอย่างรวดเร็ว ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์

สารกันเสียประกอบด้วย 1) กรดและเกลือของกรดอินทรีย์ เช่น ไฮโดรคลอริก กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดแลกติก กรดอะคริลิก แคลเซียมฟอร์มเมต กรดโพรพิโอนิก โพรพิโอเนต ถูกเติมลงไปเพื่อปรับลดค่า pH และป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เน่าเสีย เช่น เชื้อราและยีสต์ กรดเหล่านี้ช่วยรักษาเสถียรภาพของหมักระหว่างการเก็บรักษาและการนำไปใช้ 2) สารยับยั้งและสารเคมีอื่นๆ เช่น พอร์มาลดีไฮด์ โซเดียมไนไตรต์ และโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และสารดูดซับ ข้าวบาร์เลย์ฟาง เบนโทไนด์ เนืชูการ์บีท และโพลีอะคริลาไมด์ สารเติมแต่งสำหรับหญ้าหมักควรปลอดภัยต่อสัตว์และคนทำงาน และลดการสูญเสียวัตถุแห้งในระหว่างการหมัก (Zhao *et al.*, 2021)

ข้อควรพิจารณาการเลือกสารที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับประเภทของพืชอาหารสัตว์ ปริมาณความชื้น สภาพการเก็บรักษา และเป้าหมาย เช่น ปรับปรุงการหมัก ป้องกันการเน่าเสีย ปรับปรุงความเสถียรในสภาพแวดล้อมที่มีอากาศ แม้ว่าสารเสริมคุณภาพหมักจะมีประโยชน์มากมาย แต่ก็เป็น

ต้นทุนเพิ่มเติม ผู้ผลิตต้องพิจารณาค่าใช้จ่ายของสารเติมเหล่านี้นี้เทียบกับการปรับปรุงคุณภาพของหมัก และประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์

1.12 สารทำให้เสียสภาพหรือสารแปลงสภาพ

สารทำให้เสียสภาพหรือสารแปลงสภาพในอาหารสัตว์ เป็นสารที่ถูกเติมเข้าไปในอาหารสัตว์ หรือผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีหรือกายภาพ และเป็นการทำเครื่องหมายที่ระบุว่าจะไม่เหมาะสมสำหรับการบริโภคของมนุษย์ อาจเป็นสารที่ใช้ในการผลิตอาหารแปรรูปใช้ในการแปลงสภาพของวัตถุดิบอาหาร เช่น กระบวนการในการเตรียมปรับเปลี่ยนโครงสร้างของ โปรตีนหรือส่วนผสมอื่นๆ ทำให้อย่างง่ายขึ้น หรือเพื่อทำลายสารที่อาจเป็นอันตรายต่อสัตว์ ซึ่ง เกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมี ทำให้เนื้อมีสี กลิ่น หรือรสชาติที่โดดเด่น การนำเศษเหลือจาก อุตสาหกรรมการผลิตอาหารมนุษย์ประเภทเนื้อสัตว์ ไขมัน นมและผลิตภัณฑ์จากนม ธัญพืชและ ผลิตภัณฑ์พลอยได้อื่นๆ มาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงสภาพก่อน เพื่อป้องกัน ไม่ให้ถูกนำกลับไปใช้สำหรับการบริโภคของมนุษย์ เช่น ในระหว่างการแปรรูปเนื้อสัตว์มีเศษเหลือจาก กระบวนการผลิต เช่น อวัยวะภายใน กระดูก และเลือด อาจไม่เหมาะสมสำหรับอาหารมนุษย์ แต่มี คุณค่าทางโภชนาการสำหรับสัตว์ เพื่อให้แน่ใจว่าส่วนเหล่านี้จะไม่ถูกนำไปใช้ในอาหารมนุษย์ จึงต้อง ใช้สารเปลี่ยนแปลงสภาพ เช่น สีย้อมที่ไม่สามารถบริโภคได้ เพื่อทำเครื่องหมายให้เห็นได้ชัดว่า เนื้อสัตว์นี้ไม่เหมาะสมสำหรับมนุษย์ แต่สามารถนำมาใช้ในอาหารสัตว์ได้อย่างปลอดภัย ในบาง ประเทศมีการประกาศกฎระเบียบว่า เนื้อสัตว์ปีกและเนื้อแดงทั้งหมดที่ถูกปฏิเสธหรือถือว่าไม่ เหมาะสมสำหรับการบริโภคของมนุษย์จะต้องผ่านการเปลี่ยนแปลงสภาพ ด้วยสารที่ทำให้เสื่อมสภาพ (denaturing agent) เพื่อป้องกันการนำไปใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์

1.13 สารสำหรับลดการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อราในอาหาร

สารพิษจากเชื้อรา (mycotoxins) เป็นปัญหาสำคัญในการผลิตอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (tropical climate) ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ เชื้อรา *Aspergillus Penicillium* และ *Fusarium* เป็นกลุ่มเชื้อราเป็นอันตรายต่อสัตว์และมนุษย์ สารพิษจากเชื้อราที่มักพบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ สารพิษอะฟลาทอกซิน (aflatoxin) ออกรา ทอกซิน (ochratoxin) ซีราลีโนน (zearalenone) ฟุโมนิซิน (fumonisin) และไตรโคทีซิน (trichothecene) สารพิษจากเชื้อราเป็นสารประกอบทางเคมีที่ผลิตโดยเชื้อราที่ก่อให้เกิดอันตราย

ร้ายแรงต่อสัตว์ เมื่อได้รับอย่างต่อเนื่องทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง อัตราการตายเพิ่มขึ้น และเกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจ ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ และออกซิเจน สารเสริมที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราในอาหารเป็นสารเสริมกลุ่มกรดอินทรีย์ เนื่องจากความเป็นกรดไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา ทำให้ความสามารถในการสร้างสารพิษของเชื้อราลดลง ระดับการใช้กรดอินทรีย์ถนอมอาหารสัตว์อยู่ในช่วง 0.1 - 2.0% ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดอินทรีย์ การใช้สารถนอมคุณภาพอาหารสัตว์ ควรต้องใช้ตามคำแนะนำหากใช้น้อยเกินไปอาจไม่เห็นผลชัดเจนเท่าที่ควร หรือใช้ในปริมาณมากเกินไปอาจจะเป็นอันตรายต่อสัตว์

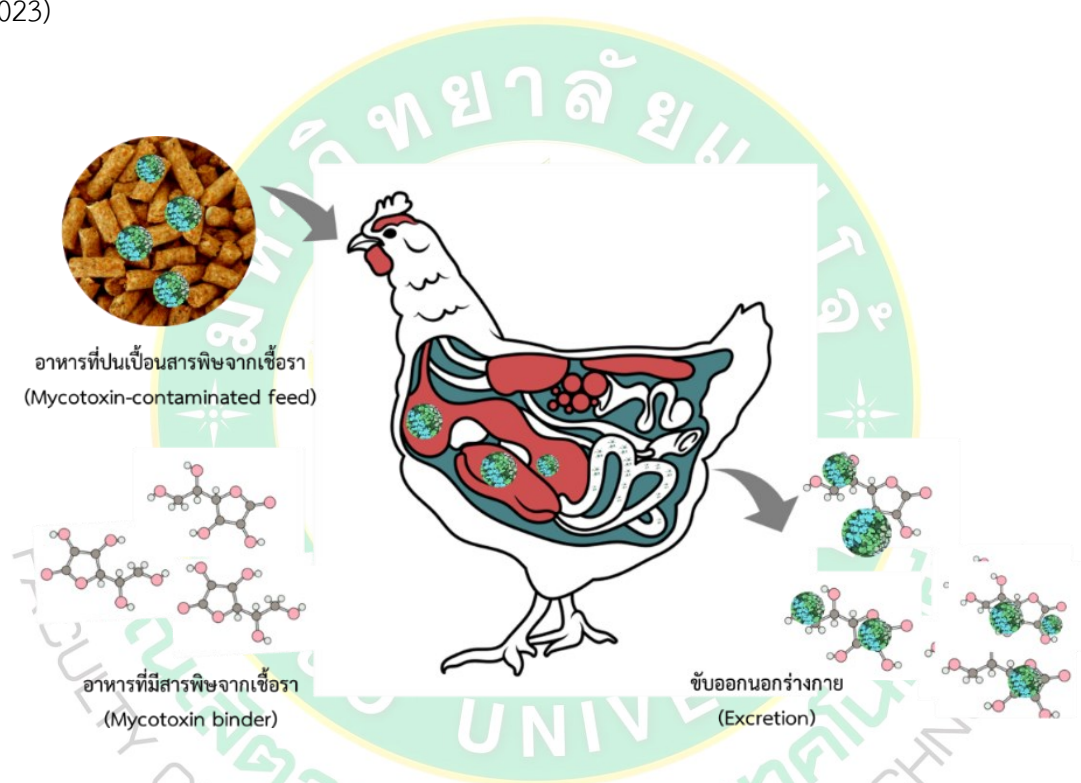
ในกรณีที่เกิดการผลิตสารพิษปนเปื้อนในอาหารไปแล้วนั้น ต้องใช้สารเสริมกลุ่มที่จับสารพิษจากเชื้อรา (mycotoxin binder) เป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดใหญ่เติมปริมาณเล็กน้อยเพื่อจับและตรึงสารพิษจากเชื้อรา วิธีนี้จะช่วยป้องกันหรือลดการสารพิษจากเชื้อราที่ปนเปื้อนในอาหารเมื่อผ่านทางเดินอาหารและขับออกไปกับมูล ป้องกันไม่ให้เข้าสู่กระแสเลือด ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงต่อสัตว์ (ภาพที่ 3.5)

สารจับสารพิษจากเชื้อราที่มีหลายประเภทประกอบด้วย

1 สารจับพิษจากเชื้อราเป็นสารประกอบอนินทรีย์ (inorganic binders) มีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับ เนื่องจากมีโครงสร้างรูพรุน และมีประจุไฟฟ้าในการดูดจับสารพิษ มีความสัมพันธ์ทางเคมีระหว่างตัวดูดซับกับโครงสร้างของสารพิษ วัสดุเหล่านี้จะดูดซับสารพิษจากเชื้อราในระบบทางเดินอาหารโดยทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกัน และดักจับสารพิษโดยไม่เป็นอันตรายต่อตัวสัตว์ เช่น อะลูมินอซิลิเกต (aluminosilicates) เบนโทไนต์ (bentonites) ดินขาว (clay) และซีโอไลต์ (zeolites) นอกเหนือจากนี้มีการนำผงถ่าน (active charcoal) หรือผงคาร์บอน (active carbon) มาศึกษาความสามารถในการจับพิษจากเชื้อรา โดยการใช้ความร้อนในการสร้างโครงสร้างรูพรุน

2 สารจับพิษจากเชื้อราเป็นสารประกอบอินทรีย์ (organic binders) ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ย่อยไม่ได้ เช่น เซลลูโลส โพลีแซ็กคาไรด์ในผนังเซลล์ของยีสต์ และโครงสร้างของแบคทีเรีย เช่น กลูโคแมนแนน เพปติโดไกลแคน และแมนแนนโอลิโกแซ็กคาไรด์ ซึ่งสามารถจับสารพิษได้ดีมีการทำงานแตกต่างไปจากสารประกอบอนินทรีย์เล็กน้อย จะสามารถจับกับโครงสร้างของสารพิษได้ดี

3 สารจับพิษจากเชื้อราโดยการเปลี่ยนโครงสร้างของสารพิษ (toxin-modifying binders) เป็นการลดสารพิษจากเชื้อราด้วยการใช้จุลินทรีย์และเอนไซม์ การทำงานแตกต่างจากสารยัดเกาะกลุ่มอินทรีย์และอินทรีย์ สารกลุ่มนี้มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของสารพิษให้มีความเป็นพิษน้อยลง ลดการดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ทำให้ไม่เป็นอันตรายหรือเป็นอันตรายน้อยที่สุดต่อตัวสัตว์ สารประเภทนี้อาจจะมีคุณสมบัตินอกเหนือจากมีประสิทธิภาพในการควบคุมสารพิษจากเชื้อรา ยังมีประโยชน์อื่นๆ เช่น การปรับปรุงการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์ (Siri-anusornsak *et al.*, 2023)



ภาพที่ 3.5 การทำงานของสารจับสารพิษจากเชื้อรา (mycotoxin binder)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Xu *et al.* (2022)

1.14 สารเพิ่มสภาพสุลักษณะ

สารเพิ่มสภาพสุลักษณะคือสารหรือจุลินทรีย์ซึ่งส่งผลดีต่อคุณลักษณะด้านสุขอนามัยของอาหารสัตว์ โดยการลดการปนเปื้อนทางจุลชีววิทยา สารเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการป้องกันการปนเปื้อน ควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นอันตราย และรักษาคุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาและการใช้งาน หน้าที่หลักของสารเพิ่มสภาพสุลักษณะควบคุมจุลินทรีย์ เช่น กรดอินทรีย์ พอร์มาลดีไฮด์ โซเดียมฟอร์เมต หรือสารสกัดจากพืชที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เชื้อรา และยีสต์ที่เป็นอันตรายในอาหารสัตว์ โดยการควบคุมประชากรจุลินทรีย์ สารเหล่านี้ช่วยป้องกันการเน่าเสียของอาหารสัตว์และลดความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายของโรคในสัตว์ สารกันเสียสารเหล่านี้ใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารสัตว์ โดยป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย สารกันเสียที่พบบ่อย เช่น กรดโพรพิโอนิก และเกลือของมัน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการป้องกันเชื้อราและแบคทีเรียบางชนิด สารเหล่านี้ได้รับอนุญาตให้ใช้เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์ ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม

2. สารเติมแต่งทางประสาทสัมผัส

2.1 สารให้สี/สารสี

สารให้สีเป็นสารที่มีวัตถุประสงค์หลักคือให้สีอาหาร และปรับปรุงสีของอาหาร ซึ่งสีและลักษณะทางกายภาพเป็นเกณฑ์สำคัญที่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคและราคาตลาด โดยเฉพาะอาหารสัตว์เลี้ยง สารสีแบ่งตามแหล่งที่มาและคุณสมบัติ มีอยู่ 2 กลุ่มคือ สารสีสังเคราะห์ และสารสีที่มีในธรรมชาติ การเติมสารสีนิยมใช้มากในอาหารสัตว์ปีก โดยเฉพาะกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) และแซนโทฟิลล์ (xanthophylls) ที่สกัดหรือแปรรูปจากสัตว์ พืช และจุลินทรีย์

ปัจจุบันสารสีธรรมชาติที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายในตลาดต่างประเทศส่วนใหญ่ ได้แก่ อนุพันธ์แอนโทไซยานิน (anthocyanin) และลูทีน (lutein) และอนุพันธ์ของแคปแซนทิน (capsanthin) เม็ดสีสังเคราะห์ส่วนใหญ่เป็นแคโรทีนอยด์ เช่น β -Apo-8-carotolaldehyde ($C_{30}H_{40}O$) หรือ β -A-Pao-8-carotenoid ethyl ester ($C_{32}H_{44}O$) และ citrin ($C_{33}H_{44}O$) cantharidin เป็นต้น ยกตัวอย่างการทำงานของแคโรทีนอยด์ แคโรทีนอยด์ให้เม็ดสีเหลือง ม่วง และสีแดง มักจะพบในเนื้อเยื่อพืช แคโรทีนอยด์ละลายน้ำได้น้อย ละลายในไขมันและคงตัวในสภาพที่เป็นด่าง ไม่ทนทานต่อ

สภาพที่เป็นกรด แคโรทีนอยด์ในอาหารจะอยู่ในรูปของตัวย่อยสลายกรดโอเลอิกในปาล์ม (the form of palm oleic acid diesters) แคโรทีนอยด์ในอาหารสัตว์จะถูกย่อยและดูดซึมในรูปแบบอิสระ โดยส่วนใหญ่จะรวมกับไลโปโปรตีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low-density lipoprotein; LDL) แคโรทีนอยด์ที่ถูกดูดซึมจะเข้าสู่กระแสเลือดเข้าสู่ผิวหนัง ไข่แดง และเนื้อเยื่ออื่นๆ ควบคู่ไปกับการไหลเวียนของเลือด แคโรทีนอยด์มีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้เมื่อระดับของเม็ดสีในอาหารเพิ่มขึ้น สัดส่วนของเม็ดสีที่สะสมในเนื้อเยื่อของสัตว์ก็ลดลง

มีการนำสารสีต่างๆ มาใช้ทดแทนแคโรทีนอยด์ เนื่องจากไม่เพียงพอและต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ เช่น คลอโรฟิลล์ในสาหร่าย (microalgal chlorophylls) ให้สีเขียว ขมิ้นชันมีสารเคอร์คิวมิน ให้สีเหลือง-ส้ม เบตาเลน (betalain) พบในบีทรูท (beetroot) แก้วมังกรให้สีเหลืองและสีแดง ม่วง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ เบตาไซยานิน (betacyanin) และเบตาแซนทิน (betaxanthin) สารเบตาเลนสามารถละลายน้ำได้ มีความคงตัวระหว่าง pH 3.5 ถึง 7.0 ซึ่งครอบคลุมอาหารเกือบทั้งหมด โดยมีความคงตัวของสีสูงสุดที่ pH 5.5 แต่ไวต่อแสงและอุณหภูมิ เห็นได้ว่าการใช้สารสีควรคำนึงถึงความเสถียรของสาร และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพ

2.2 สารปรุงแต่งกลิ่นรส

วัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดจะมีรสชาติและกลิ่นเฉพาะตัว ทำให้สัตว์สามารถสัมผัสและแยกชนิดของวัตถุดิบอาหารได้ รวมถึงการรับรู้รสชาติ และกลิ่นของอาหารที่ไม่พึงประสงค์ เช่น อาหารเน่าเสีย ซึ่งมีผลกระทบต่อปริมาณการกินอาหาร ดังนั้นการใช้สารเสริมที่สามารถกระตุ้นการกินอาหาร ปรับปรุงคุณภาพกลิ่นของอาหาร จะช่วยให้สัตว์เข้ามากินอาหารได้มากขึ้น สารปรุงแต่งกลิ่นรส คือสารที่รวมอยู่ในอาหารจะเพิ่มกลิ่นอาหาร กระตุ้นการอยากอาหาร เพิ่มความน่ากินของอาหาร (feed palatability) และกระตุ้นการหลั่งเอนไซม์ย่อยอาหาร สารปรุงแต่งกลิ่นรสอาจมาจากธรรมชาติ เช่น กระเทียม โป๊ยกั๊ก และยี่หระดำ หรือวัตถุปรุงแต่งต่างๆ สารสกัดจากผลไม้และผลิตภัณฑ์เคมี เช่น วานิลลิน โมโนโซเดียมกลูตาเมต (monosodium glutamate) เป็นต้น การเติมสารแต่งกลิ่นมักอยู่ในระดับตั้งแต่ 0.5% ถึง 1.5% อย่างไรก็ตาม ระดับเหล่านี้อาจมีการปรับเปลี่ยนตามประเภทของสัตว์ ประเภทของส่วนผสมอาหารสัตว์ ระยะเวลาในการเก็บรักษาอาหาร และคุณภาพน้ำ สารปรุงแต่งกลิ่นรสใช้มากในสัตว์เคี้ยวเอื้อง และสัตว์เลื้อย ในสัตว์เคี้ยวเอื้องมีปุ่มรับรส (taste bud) จำนวนมากอยู่ที่ด้านหลังของลิ้น คอหอย และกล่องเสียง จำนวนปุ่มรับรสในวัวอยู่ที่

ประมาณ 35,000 ตุ่ม เทียบกับ 15,000 ตุ่ม ในแกะและแพะ ในไก่มีเพียง 24 ตุ่ม อีกทั้งสัตว์เคี้ยวเอื้องมีระยะเวลาที่อาหารอยู่ในปากนาน ส่งผลต่อการละลายของสารแต่งกลิ่นรสได้ดีส่งผลต่อรสชาติของอาหารในปาก ดังนั้นการเติมสารแต่งกลิ่นรสจึงช่วยให้สัตว์ตอบสนองต่อรสชาติอาหารได้ดีขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ในลูกโคจะมีการเปลี่ยนอาหาร เพื่อการพัฒนากระเพาะรูเมน การเติมกลิ่นวานิลลาในอาหารช่วงเริ่มต้นสามารถเพิ่มปริมาณอาหารกินอาหาร ในอาหารสัตว์เลี้ยวและอาหารสัตว์น้ำจะเรียกว่าสารปรุงแต่งกลิ่นรสว่า “palatants” ใช้เป็นสารเพิ่มความน่ากินของอาหาร (palatability enhancer) อาจทำมาจากวัตถุดิบหลายชนิด เช่น หมึกป่น (squid meal) เคยป่น (kill meal) น้ำนึ่งปลา (fish soluble หรือ fish hydrolysates) ตับหมึก (squid liver paste หรือ squid liver powder) และน้ำมันปลา (fish oil) กรดอะมิโนบางชนิด เช่น ไกลซีนและบีเทน

3. สารเสริมทางโภชนาการ

การเติมสารเสริมทางโภชนาการมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สัตว์ได้รับสารอาหารตรงตามความต้องการ ซึ่งในวัตถุดิบอาหารมีไม่เพียงพอจึงมีการเติมเข้าไปในสูตรอาหาร

3.1 วิตามิน โปรวิตามิน และสารที่มีโครงสร้างทางเคมีซึ่งให้ผลคล้ายกัน

วิตามินมีทำหน้าที่ช่วยควบคุมการทำงานของร่างกาย ทำให้ร่างกายแข็งแรง และส่งเสริมการต้านทานโรค การขาดวิตามินอาจทำให้เกิดโรค วิตามินที่เติมในสูตรอาหาร ได้แก่ วิตามินซี วิตามินอี และกลุ่มวิตามินบี ตัวอย่างการขาดวิตามินซึ่งจะมีผลต่อการดูดซึมแคลเซียม ซึ่งอาจเกิดโรคกระดูกอ่อนในสัตว์เล็ก และโรคกระดูกพรุนในสัตว์โตเต็มวัย ดังนั้นการเสริมวิตามินจึงมีความจำเป็นต่อประสิทธิภาพการผลิต สารเสริมกลุ่มนี้เสริมในอาหารสัตว์ในรูปแบบของพรีมิกซ์ (vitamin premixes) ที่มีส่วนผสมระหว่างสารเสริมและสื่อนำ (carriers) คำนวณตามความต้องการของสัตว์แต่ละช่วงอายุ สื่อนำช่วยในการกระจายตัวของสารเสริมในสูตรอาหาร พรีมิกซ์แต่ละชนิดจะถูกคำนวณความต้องการของสัตว์อย่างจำเพาะเจาะจง

3.2 สารประกอบของธาตุรอง

ธาตุรองสัตว์ต้องการในปริมาณน้อยมาก แต่มีความสำคัญต่อสุขภาพสัตว์ เช่น เป็นโครงสร้างของร่างกาย กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินและฮอร์โมน ช่วยดูดซึมธาตุชนิดอื่นๆ ธาตุรองที่เติมไปในสูตรอาหาร ได้แก่ โครเมียม (chromium)

โคบอลต์ (cobalt) ทองแดง (copper) ฟลูออรีน (fluorine) ไอโอดีน (iodine) เหล็ก (iron) แมงกานีส (manganese) โมลิบดีนัม (molybdenum) ซีลีเนียม (selenium) และสังกะสี (zinc) เสริมในอาหารรูปแบบของพรีมิกซ์ (mineral premixes) ยกตัวอย่างเช่น การใช้ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide) มีความสำคัญอย่างยิ่งในการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของสัตว์เล็ก ปริมาณสังกะสีที่ไม่เพียงพอสามารถนำไปสู่การชะลอการเจริญเติบโต ความผิดปกติของโครงกระดูก นอกจากนี้พบว่าสังกะสีช่วยเพิ่มการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันในสัตว์ ซึ่งสามารถช่วยป้องกันโรคและการติดเชื้อได้ การใช้ซีลีเนียมเพื่อปรับปรุงระบบภูมิคุ้มกัน และกระบวนการต้านอนุมูลอิสระ รูปแบบที่ใช้ในอาหารสัตว์ เช่น ซีลีไนท์ (selenite) และซีลีเนท (selenate)

แร่ธาตุบางชนิดทำหน้าที่เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolytes) อิเล็กโทรไลต์เป็นสารเคมีที่แตกตัวเป็นโมเลกุลบวก (cation) และลบ (anion) ในสารละลาย และมีความสามารถในการส่งกระแสไฟฟ้าในตัว ไอออนหลักที่จำเป็นต่อการรักษาแรงดันออสโมติกและสมดุลกรด-เบสของเหลวในร่างกายคือ Na^+ K^+ และ Cl^- อิเล็กโทรไลต์จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนของเนื้อเยื่อ การรักษาสมดุลของกรด-เบสของเซลล์ และสภาวะสมดุลของเซลล์ (Attia *et al.*, 2024) การเสริมธาตุรองอยู่ในรูปแบบของพรีมิกซ์แร่ธาตุ (mineral premixes) เช่นเดียวกับวิตามิน การเสริมแร่ธาตุต้องมีการคำนวณตามความต้องการของสัตว์ เนื่องจากแร่ธาตุบางชนิดมีความเป็นพิษต่อสัตว์

3.3 กรดอะมิโน และเกลือกรดอะมิโน

กรดอะมิโนพบได้ตามธรรมชาติในวัตถุดิบอาหารสัตว์ แต่ไม่เพียงพอต่อความต้องการจึงมีการเติมกรดอะมิโนสังเคราะห์ (synthetic sources) ในสูตรอาหาร เพื่อคำนึงถึงระดับความสมดุลของกรดอะมิโนซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์ ส่วนใหญ่เป็นกรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid; EAA or indispensable amino acid) มีการเสริมกรดอะมิโนทั้งในอาหารสัตว์กระเพาะเดียว สัตว์กระเพาะรวม สัตว์เลี้ยง และสัตว์น้ำ กรดอะมิโนที่ใช้มากในปศุสัตว์ ได้แก่ กรดอะมิโนไลซีน (lysine) เมไทโอนีน (methionine) ทรีโอนีน (threonine) และทริปโตเฟน (tryptophan) ยกตัวอย่างเช่น เมไทโอนีนเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นในสัตว์ทุกชนิด กรดอะมิโนที่มีความจำเป็นอันดับแรก (first limiting amino acid) ในสัตว์ปีก และกรดอะมิโนที่มีความจำเป็นอันดับที่สอง (second limiting amino acid) ในสุกร ปัจจุบันกรดอะมิโนเมไทโอนีนที่ใช้เสริมในอาหารสัตว์ปีกและสุกรอยู่ในรูปแบบ ดีแอล เมไทโอนีน (DL- methionine) หน้าที่ของเมไทโอนีนคือส่งเสริมการเจริญเติบโตและปรับปรุงผลผลิต ในไก่ไข่สามารถปรับปรุงผลผลิตและคุณภาพไข่ได้

อย่างมีประสิทธิภาพ ระดับโปรตีนและกรดอะมิโนในอาหารส่งผลต่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์ เมไทโอนีนสามารถส่งเสริมการดูดซึมสารอาหารอื่นๆ ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพิ่มความต้านทานและลดอัตราการตาย การเสริมต้องคำนึงถึงระดับความสมดุลของกรดอะมิโนในอาหารสัตว์ซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์ ในส่วนของกรดอะมิโนไลซีนที่เติมอยู่ในรูปแบบแอล ไลซีน ไฮโดรคลอไรด์ (L-lysine HCL) ไลซีนเป็นองค์ประกอบสำคัญของการสังเคราะห์โปรตีนสร้างเอนไซม์ ฮอร์โมน และช่วยในการเจริญเติบโตและซ่อมแซมเนื้อเยื่อรวมถึงการผลิตน้ำนม ปริมาณที่แนะนำของเมไทโอนีนและไลซีนในอาหารสัตว์โดยทั่วไปคือ 0.05% ถึง 0.2% อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับสูตรอาหาร อายุของสัตว์ และระดับการใช้ผลผลิต การเติมกรดอะมิโนสังเคราะห์ในอาหารสัตว์ไม่เพียงแต่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของสัตว์เท่านั้น แต่ยังมีความคุ้มค่าการเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย เนื่องจากการใช้กรดอะมิโนช่วยลดความจำเป็นในการใช้วัตถุดิบที่มีราคาแพงกว่า เช่น กากถั่วเหลือง ปลาป่น และช่วยลดการปล่อยไนโตรเจนส่วนเกินออกสู่สิ่งแวดล้อม

3.4 ยูเรียและสารอนุพันธ์

ยูเรียเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่มของสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogenous; NPN) ยูเรียมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ 46% เท่ากับโปรตีน 288% ดังนั้นสามารถใช้ทดแทนแหล่งโปรตีน (true protein) ในอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนให้เป็นโปรตีนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่ถ้าใช้ปริมาณมากเกินไปก็อาจทำให้เป็นพิษ จึงมีข้อกำหนดให้เสริมในอาหารได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000 ppm (0.1% โดยน้ำหนัก)

4. สารเสริมเฉพาะทางสำหรับสัตว์

ในปัจจุบันสารเสริมเฉพาะทางสำหรับสัตว์ได้รับความนิยมอย่างมาก และถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากคุณสมบัติหลากหลาย เช่น ความสามารถในการย่อยได้ (digestibility enhancers) เพิ่มความคงตัวจุลินทรีย์ในลำไส้ (gut flora stabilizers) จุลินทรีย์หรือสารที่ให้ผลเชิงบวกต่อจุลินทรีย์และสุขภาพลำไส้ และสารเสริมกลุ่มนี้ยังมีผลเชิงบวกต่อสิ่งแวดล้อม

4.1 เอนไซม์ (Enzymes)

เอนไซม์เป็นโปรตีนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติซึ่งสร้างขึ้นโดยกระบวนการย่อยอาหาร เอนไซม์มีหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาเคมีในร่างกาย เอนไซม์สามารถได้จากพืช ทางเดินอาหารสัตว์ และจากการหมักของจุลินทรีย์ เอนไซม์มีการทำงานอย่างจำเพาะเจาะจง ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับสารตั้งต้น (substrate) ค่า pH อุณหภูมิที่เหมาะสม การใช้เอนไซม์ในอาหารสัตว์มีความสำคัญและมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ โดยมีเป้าหมายในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสัตว์ให้ดียิ่งขึ้น และมีความต้องการที่จะศึกษาเทคโนโลยีสำหรับผลิตเอนไซม์ในเชิงลึกมากขึ้น เอนไซม์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์มีรูปแบบการออกฤทธิ์ที่หลากหลาย ในปัจจุบันมีการผลิตเอนไซม์จากจุลินทรีย์ได้รับความนิยม เนื่องจากให้ผลผลิตสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์กระเพาะเดียว เอนไซม์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพสุขภาพของลำไส้ สัตว์มีการเจริญเติบโตที่สม่ำเสมอ ทำให้สุขภาพโดยรวมดีขึ้น และการใช้เอนไซม์ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย สำหรับผู้ผลิตสามารถลดต้นทุนอาหารสัตว์ และเพิ่มผลกำไร ชนิดของเอนไซม์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และสารตั้งต้นแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ชนิดของเอนไซม์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และสารตั้งต้น

เอนไซม์	สารตั้งต้น	วัตถุดิบอาหารสัตว์
เอนไซม์ที่ผลิตได้ในตัวสัตว์ (Endogenous enzymes)	อะไมเลส	แป้ง
	โปรตีเอส	โปรตีน
	ไลเปส	ลิปิด
	ไฟเตส	ไฟเตต
	ไซลาส	อะราบิโนไซด์
เอนไซม์ที่ผลิตไม่ได้ในตัวสัตว์ (Exogenous enzymes)	เบต้ากลูคาเนส	เบต้ากลูแคน
	แอลฟา กาแลคโตซิเดส	โอลิโกแซ็กคาไรด์
	แมนนาเนส	แมนแนน
	เซลลูเลส	ผนังเซลล์พืช
	เฮมิเซลลูเลส	
	เพกทิเนส	
		วัตถุดิบทุกชนิดที่มีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบ

ที่มา: Imran *et al.* (2016)

การเสริมเอนไซม์ในอาหารสัตว์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1. การเสริมเอนไซม์กลุ่มที่ผลิตได้ในตัวสัตว์ (Endogenous enzymes)

สัตว์ทุกชนิดใช้เอนไซม์ที่ผลิตได้ในตัวสัตว์ในการย่อยอาหาร เช่น โปรติเอส (protease) อะไมเลส (amylase) ไลเปส (lipases) ในทางเดินอาหารสัตว์เอนไซม์จะถูกผลิตและหลั่งสู่กระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก การผลิตเอนไซม์ในสัตว์แต่ละชนิดมีข้อจำกัด ยกตัวอย่างเช่น ในลูกสัตว์ที่ทางเดินอาหารยังพัฒนาไม่เต็มที่การผลิตเอนไซม์ไม่เพียงพอต่อการย่อยอาหาร และในสภาวะที่สัตว์เกิดความเครียดส่งผลต่อระบบย่อยอาหาร เช่น ระยะเวลาเปลี่ยนอาหาร การขนส่ง สภาวะเครียดจากความร้อน (heat stress) ในลูกสุกรช่วงหย่านมจะมีการเปลี่ยนจากการกินน้ำนมเป็นอาหารสำเร็จรูป ชนิดของเอนไซม์ที่ถูกผลิตออกมายังไม่จำเพาะเจาะจงต่ออาหารและปริมาณไม่เพียงพอ ส่งผลให้ลูกสุกรท้องเสียและได้รับสารอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการ การเจริญเติบโตต่ำ ในช่วงนี้จึงนิยมเสริมเอนไซม์โปรติเอส อะไมเลส รวมถึงไลเปส เพื่อช่วยย่อยอาหารและเพิ่มความสม่ำเสมอของลูกสุกรหลังหย่านม

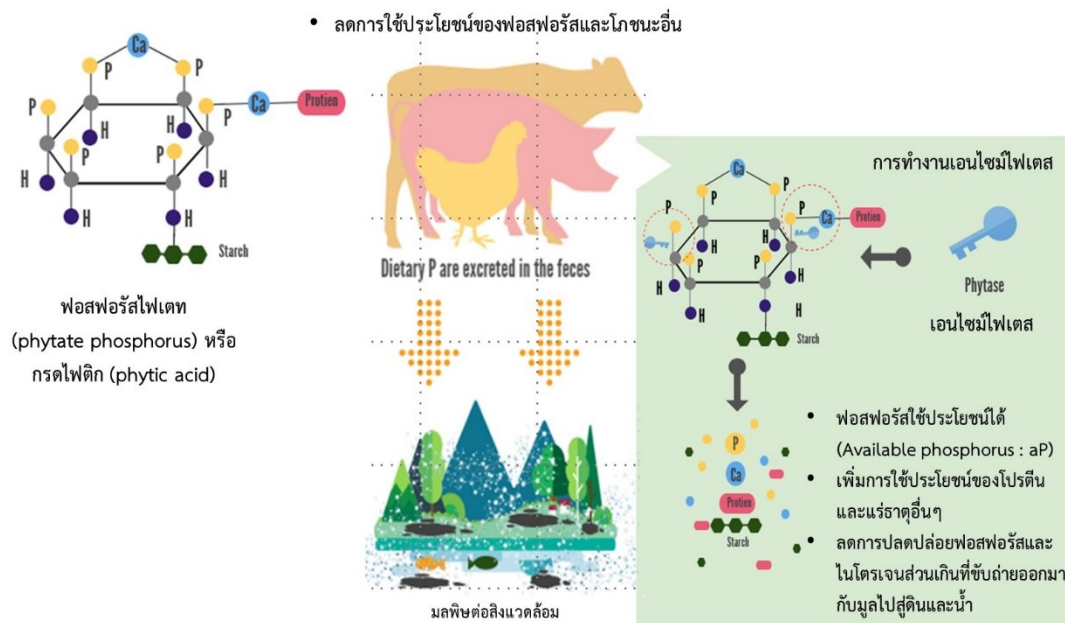
2. การเสริมเอนไซม์กลุ่มที่ผลิตไม่ได้ในตัวสัตว์ (Exogenous enzymes)

เอนไซม์ที่ผลิตไม่ได้ในตัวสัตว์แต่สามารถผลิตได้โดยจุลินทรีย์ เช่น ไฟเตส (phytase) เซลลูเลส (cellulase) ไคซานเนส (xylanase) และเอนไซม์กลุ่มย่อยเยื่อใยรวม (non-starch polysaccharides (NSP) enzymes) เอนไซม์กลุ่มนี้ใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพอาหาร และลดข้อจำกัดของวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์กระเพาะเดี่ยว เนื่องจากไม่มีจุลินทรีย์ในกระเพาะอาหาร เอนไซม์กลุ่มนี้จะช่วยย่อยผนังเซลล์ของพืชซึ่งเป็นส่วนประกอบภายนอกของวัตถุดิบอาหาร ทำให้เอนไซม์ที่ผลิตได้ในตัวสัตว์เข้าไปย่อยโครงสร้างภายในได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งปลดปล่อยสารอาหารบางชนิดที่จับกับอยู่กับโครงสร้างของผนังเซลล์ของพืช การเสริมเอนไซม์จะช่วยลดการหลั่งเอนไซม์ในตัวสัตว์ ลดการสูญเสียโปรตีน (protein loss) ในทางเดินอาหาร ลดการสูญเสียการพลังงานในการผลิตเอนไซม์ สัตว์จะสามารถนำพลังงานไปใช้สำหรับกระบวนการอื่นๆ ในร่างกาย เช่น การให้ผลผลิต ในวัตถุดิบอาหารสัตว์มีสารต้านโภชนา (antinutritional factors; ANF) เป็นองค์ประกอบอยู่ เช่น โพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch polysaccharides; NSPs) ไฟเตท (phytate) สัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถผลิตเอนไซม์ในย่อยโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง สุกรและสัตว์ปีกไม่สามารถย่อยได้ประมาณ 25% ของอาหารที่กินทั้งหมด

ยกตัวอย่างการเสริมเอนไซม์เพื่อปรับปรุงการใช้ประโยชน์ของโภชนะในอาหารสัตว์

การเสริมกลุ่มเอนไซม์ไซลาเนสในสูตรอาหารที่มีข้าวบาร์เลย์หรือข้าวสาลีในสูตรอาหาร ข้าวบาร์เลย์หรือข้าวสาลีมีข้อจำกัดเนื่องจากมีอะราบิโนไซเลน (arabinoxylans) ไซแลน (xylan) เบต้า-กลูแคน (beta-glucan) และเพกติน (pectin) เป็นองค์ประกอบ สารเหล่านี้มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำและพองตัวเป็นวุ้นซึ่งสามารถขยายหรือพองตัวได้ถึง 10- 25 เท่าของน้ำหนักตัว มักจับตัวกับสารอาหารอื่นๆ มีลักษณะหนืดคล้ายเจล ทำให้เพิ่มความหนืด (viscosity) ในทางเดินอาหาร ลดอัตราการไหลผ่านของอาหาร ปกคลุมทางเดินอาหาร ลดการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร ดังนั้นการเสริมเอนไซม์จะช่วยลดข้อจำกัดในการย่อยอาหาร ส่งผลต่อการดูดซึมไปใช้ประโยชน์ อีกทั้งยังลดอาหารเหลือตกค้างในทางเดินอาหารสัตว์ ซึ่งเป็นสาเหตุให้มีการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรค

เอนไซม์ไฟเตท เป็นเอนไซม์ที่ผลิตได้จากเชื้อราและแบคทีเรีย สามารถย่อยฟอสฟอรัสในรูปของไฟเตทได้ ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น รำข้าว ข้าวโพด กากถั่วเหลือง มีฟอสฟอรัสส่วนใหญ่อยู่ในรูปฟอสฟอรัสไฟเตท (phytate phosphorus) หรือ กรดไฟติก (phytic acid) ไฟเตทมีโครงสร้างเชิงซ้อนจับกับแร่ธาตุอื่นๆ เช่น แคลเซียม เหล็ก สังกะสี และแมกนีเซียม จับกับโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต เอนไซม์จากตัวสัตว์ไม่สามารถย่อยโครงสร้างนี้ได้ ส่งผลต่อระดับฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้ (available phosphorus : aP) และทำให้ลดการใช้ประโยชน์จากโภชนะอื่นๆ จึงต้องมีการเสริมฟอสฟอรัสจากแหล่งอื่น เพื่อให้สัตว์ได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณที่เพียงพอ ในปัจจุบันมีการผลิตเอนไซม์ไฟเตสจากจุลินทรีย์ การทำงานของเอนไซม์ไฟเตสเป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่สามารถย่อยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ (phosphodiester bond) ได้ ทำให้ HPO_3 หลุดออกจากโมเลกุลของไฟเตททีละหมู่จนครบ 6 หมู่ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นอินโนซิทอล (inositol) และ 5 หมู่ inorganic orthophosphate (Muhammad Imran *et al.*, 2016; Shi *et al.*, 2024) ทำให้ฟอสฟอรัสหลุดออกเป็นโมเลกุลอิสระ ฟอสฟอรัสรูปแบบนี้ร่างกายสัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ และยังปลดปล่อยโมเลกุลของโปรตีนและแร่ธาตุอื่นๆ อีกด้วย เพิ่มการใช้ประโยชน์โภชนะลดการปลดปล่อยฟอสฟอรัส และไนโตรเจนส่วนเกินที่ขับถ่ายออกมากับมูลไปสู่ดินและน้ำ (ภาพที่ 3.6)



ภาพที่ 3.6 การทำงานเอนไซม์ไฟเตสในการย่อยสลายโครงสร้างไฟเตท

ที่มา: ดัดแปลงจาก Abbasi *et al.* (2019)

เนื่องจากเอนไซม์มีความสามารถในการย่อยอาหารอย่างจำเพาะเจาะจงต่อสารตั้งต้น โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของอาหารนั้นๆ การเสริมเอนไซม์เพียงชนิดเดียวจึงไม่สามารถแก้ปัญหาได้ทั้งหมด ปัจจุบันมีการใช้เอนไซม์หลายชนิด (multi-enzymes) จะช่วยให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากสารอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบอย่างหลากหลายและอย่างมีประสิทธิภาพ เอนไซม์ที่ใช้ถูกสร้างขึ้นโดยตัวสัตว์เองหรือ จากจุลินทรีย์ที่อยู่ในทางเดินอาหาร (normal flora) เอนไซม์นั้นต้องได้มาจากแหล่งผลิตที่ปลอดภัย หรือถ้าเป็นเชื้อจุลินทรีย์ก็ต้องเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ได้รับการยอมรับแล้วว่าปลอดภัย (generally recognized as safe; GRAS) ไม่สร้างสารพิษ (toxin) ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่สัตว์หรือผู้บริโภคผลิตภัณฑ์จากสัตว์นั้น

ปัจจัยในการเลือกชนิดเอนไซม์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ต้องคำนึงถึงชนิดของเอนไซม์ที่เหมาะสมกับสารตั้งต้นเป้าหมาย เช่น ในอาหารสัตว์มีวัตถุดิบอาหารที่เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอยู่สูง ควรเลือกเสริมเอนไซม์เซลลูเลส เพื่อใช้ประโยชน์จากหน่วยย่อยของโครงสร้างดังกล่าว ความคงตัวของเอนไซม์ (stability) ในกระบวนการผลิตอาหาร การขนส่งในทางเดินอาหารสัตว์ เอนไซม์จะมีความคงตัวต่ำเมื่อผ่านความร้อน ความแปรปรวนของสภาวะกรด-ด่าง ทำให้เปลี่ยนสภาพไม่สามารถ

ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรูปแบบที่ใช้รูปแบบผงแห้ง หรือของเหลว รวมถึงขั้นตอนในการเติมในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ ในโรงงานผลิตอาหารจะมีการเติมเอนไซม์หลังจากการอัดเม็ด โดยการใช้เอนไซม์เคลือบเม็ดอาหาร เพื่อลดการสูญเสียจากความร้อนในการอัดเม็ด

4.2 สารเสริมชีวนะหรือโพรไบโอติก (Probiotics)

สารเสริมชีวนะหรือโพรไบโอติก คือกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีชีวิตสามารถเจริญเติบโต เพิ่มจำนวนในลำไส้ และผลิตสารเมแทบอลิต์ที่มีประโยชน์ในทางเดินอาหาร องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration: FDA) กำหนดให้ผู้ผลิตใช้คำว่า “จุลินทรีย์ที่กินได้โดยตรง (Direct-fed microbial, DFM)” โพรไบโอติกที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ กลุ่มแล็กโทบาซิลลัส (*Lactobacillus* spp.) กลุ่มบิฟิโดแบคทีเรีย (*Bifidobacteria* spp.) กลุ่มสเตรปโทค็อกคัส (*Streptococcus* spp.) กลุ่มบาซิลลัส (*Bacillus* spp.) และยีสต์ (*Saccharomyces* spp.) หรือกลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria) ในส่วนท้ายของทางเดินอาหารสัตว์โดยเฉพาะลำไส้ใหญ่มีจุลินทรีย์หลายชนิดตั้งถิ่นฐาน (colonization) จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนโดยใช้อาหารที่เหลือจากการย่อยและการดูดซึมจากทางเดินอาหารส่วนบนของสัตว์ (host) ชนิดของจุลินทรีย์และการผลิตสารเมแทบอลิต์จะมีผลกระทบต่อจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ และสุขภาพสัตว์ อีกทั้งยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่ออาณานิคมจุลินทรีย์ เช่น ความเครียดจากความร้อน ความหนาแน่นในการเลี้ยง การเปลี่ยนอาหาร การขนส่ง ในกรณีที่จุลินทรีย์ก่อโรคเพิ่มจำนวนมากขึ้นในทางเดินอาหาร จะส่งผลเสียต่อตัวสัตว์อาจจะส่งผลต่อปริมาณการกินอาหารลดลง ท้องร่วง ระบบภูมิคุ้มกันต่ำ นำไปสู่การเกิดโรคในทางเดินอาหารได้

กลไกการทำงานของโพรไบโอติก (Mode of action of probiotics)

การทำงานของโพรไบโอติกในลำไส้ โพรไบโอติกสามารถควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ก่อโรค โดยการแย่งสารอาหารและแย่งการเกาะติดผนังลำไส้กับเชื้อก่อโรค (competitive exclusion of pathogens) กระตุ้นการหลั่งเยื่อเมือกจากเยื่อบุลำไส้ เพื่อเป็นผนังป้องกันการเกาะติดของเชื้อก่อโรค เนื่องจากเยื่อบุลำไส้มีการสัมผัสโดยตรงกับอาหาร จุลินทรีย์ และสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ที่เข้ามาสู่ร่างกาย กระตุ้นภูมิคุ้มกันช่วยลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อโรค และลดการผลิตสารพิษจากจุลินทรีย์ก่อโรค ลดการติดเชื้อและอักเสบจากการเกาะติดของจุลินทรีย์ก่อโรค ควบคุมการขับออกของจุลินทรีย์ก่อโรคในทางเดินสู่สิ่งแวดล้อม โพรไบโอติกสามารถผลิตสารเมแทบอลิต์จากการหมัก

ประกอบด้วย กรดอินทรีย์ แบคทีริโอซิน (bacteriocins) สารยับยั้งอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เอนไซม์ และวิตามินบี ซึ่งสารเหล่านี้มีผลเชิงบวกต่อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพลำไส้ ยกตัวอย่างเช่น กรดไขมันสายสั้น (short-chain fatty acids; SCFAs) ได้แก่ กรดแลคติก (lactic acid) กรดบิวทีริก (butyric acid) และกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) กรดไขมันสายสั้นใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับเยื่อบุผนังลำไส้ ส่งเสริมการพัฒนาของวิลไล (villi) และคริป (crypt) เพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมสารอาหาร อีกทั้งยังช่วยพัฒนาเซลล์กอบเลต (goblet cell) ซึ่งทำหน้าที่หลั่งเยื่อเมือกปกคลุมผนังลำไส้ ป้องกันการติดเชื้อในทางเดินอาหาร กรดไขมันสายสั้นยังเพิ่มความเป็นกรดในทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ในขณะที่จุลินทรีย์ที่ก่อโรบบางชนิดไม่ทนทานต่อความกรด เนื่องจากกรดไขมันสายสั้นสามารถซึมผ่านผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ก่อโรค ทำให้ pH เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ภายในเซลล์จุลินทรีย์ขาดสมดุล ส่งผลให้จุลินทรีย์ก่อโรคชะงักการเจริญเติบโตหรือตาย นอกเหนือจากนี้ความเป็นกรดยังช่วยเพิ่มการดูดซึมแร่ธาตุ โซเดียม แคลเซียม และคลอไรด์ ในส่วนของแบคทีริโอซินและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่ได้จากการสังเคราะห์ของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria) และมีฤทธิ์ในการทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อโรคโดยตรง

โพรบิโอติกต่อการกระตุ้นภูมิคุ้มกันของสัตว์แบบไม่จำเพาะเจาะจง (non-specific defense) เกี่ยวข้องกับการกินของเซลล์แปลกปลอม (phagocytosis) โดยโพรบิโอติกกระตุ้นการทำงานของแมโครฟาจ (macrophages) ซึ่งเป็นเซลล์ที่กินเซลล์แปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกายสัตว์มากขึ้น กระตุ้นการทำงานของเซลล์อิมมูโนคอมพิเท้น และกระตุ้นการทำงานของแอนติบอดี (antibody) เช่น IgA เพื่อมาจับกับจุลินทรีย์ก่อโรคที่มากเกาะเยื่อผนังลำไส้ (Biswas *et al.*, 2022)

เส้นใยอาหาร (dietary fiber) หรือโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งจัดเป็นพรีไบโอติก เส้นใยอาหารส่วนใหญ่อยู่ในผนังเซลล์พืช เส้นใยอาหารมีคุณสมบัติที่คล้ายกับพรีไบโอติก แต่เส้นใยอาหารโครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่า เส้นใยอาหารแบ่งออกเป็น 2 ประเภท เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber, SDF) และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber, IDF) เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำบางชนิดเป็นสารต้านการใช้ประโยชน์ของโภชนะ เนื่องจากเพิ่มความหนืดในทางเดินอาหาร เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมีคุณสมบัติในการพัฒนากระเพาะบด (gizzard) เพิ่มการหดตัวและบีบตัว ควบคุมการไหลผ่านและการไหลย้อนกลับของอาหาร และส่งผ่านไปยังลำไส้เล็ก

กระตุ้นการผลิตเอนไซม์ เพิ่มการใช้ประโยชน์ของโภชนะ นอกเหนือจากนี้เส้นใยอาหารยังมีบทบาทในพัฒนาคุณภาพเนื้อสัตว์ โดยการลดดูดซึมไขมันในทางเดินอาหาร ส่งผลต่อการสะสมของไขมันในช่องท้องที่ลดลง

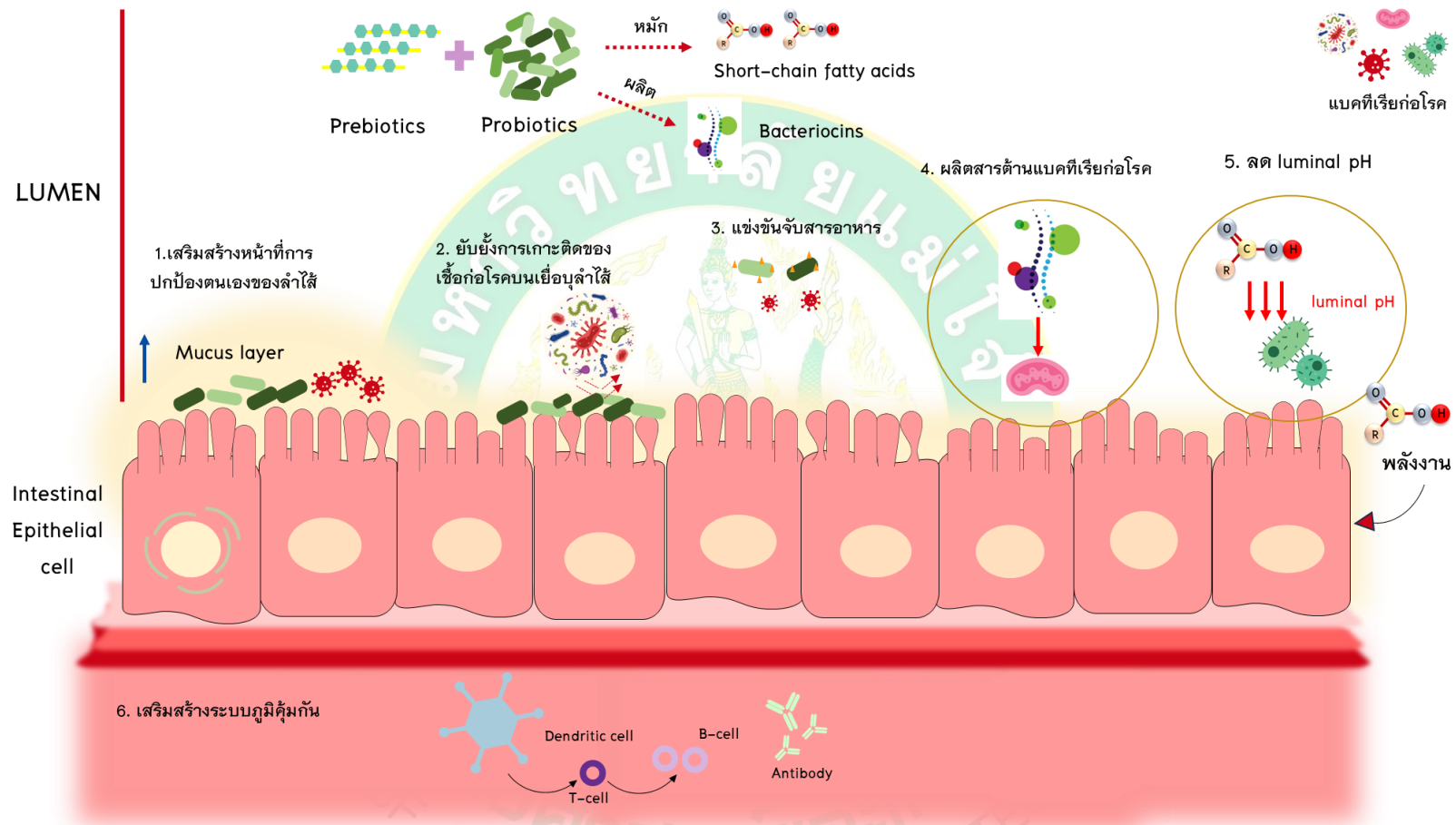
ปัจจัยที่มีผลต่อการเสริมโพรไบโอติกในอาหารสัตว์ ประเภทของโพรไบโอติก ความทนทานของโพรไบโอติกต่อสภาวะทางเดินอาหาร และความสามารถในการตั้งอาณานิคม ขั้นตอนการผลิตสภาวะการเก็บรักษา และการใช้ร่วมกับสารเสริมชนิดอื่นๆ เช่น ข้อควรระวังในการใช้โพรไบโอติกใช้พร้อมกับการใช้ยา หรือ สารเสริมที่มีฤทธิ์ยับยั้งจุลชีพ หรือผสมกับน้ำที่มีคลอรีนสูง

4.3 สารส่งเสริมชีวิตหรือพรีไบโอติก (Prebiotics)

สารส่งเสริมชีวิตหรือพรีไบโอติกคือสารอาหารที่ไม่ถูกย่อย (a non-digestible food ingredient) โดยเอนไซม์ในทางเดินอาหารสัตว์ แต่ถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในทางเดินอาหาร ดังนั้นพรีไบโอติกต้องทำงานร่วมกับจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร พรีไบโอติกทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงานสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ กระตุ้นการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของโพรไบโอติกในทางเดินอาหาร พรีไบโอติกที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์เป็นสารกลุ่มโอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) สารเหล่านี้ประกอบด้วยน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่เชื่อมโยงกับพันธะ β -(1-4) ซึ่งเอนไซม์ในทางเดินอาหารสัตว์กระเพาะเดียวไม่สามารถย่อยได้ ได้แก่ อินนูลิน (inulin) ฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ (fructo-oligosaccharides, FOS) กาแลคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (galactooligosaccharides, GOS) และ แล็กทูโลส (lactulose) แมนแนนโอลิโกแซ็กคาไรด์ (mannan-oligosaccharide, MOS) ไซโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ (xylooligosaccharide, XOS) ไอโซมัลtooligosaccharide (IMO) และโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch polysaccharides; NSP) เช่น เบต้ากลูแคน (β -glucan) โครงสร้างเหล่านี้จะเคลื่อนผ่านทางเดินอาหารไปสู่ลำไส้ใหญ่เพื่อเป็นอาหารของจุลินทรีย์ ดังนั้นชนิดและปริมาณของพรีไบโอติกจึงมีผลต่ออาณานิคมของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร

กลไกการทำงานของพรีไบโอติก (Mode of action of prebiotics)

เนื่องจากพรีไบโอติกมีโครงสร้างที่หลากหลาย และมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบที่แตกต่างกัน กลไกการทำงานก็แตกต่างกันด้วย พรีไบโอติกกระตุ้นการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนโพรไบโอติกในทางเดินอาหาร พรีไบโอติกสามารถเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ก่อโรค ทำให้ลดการยึดเกาะบริเวณเยื่อบุลำไส้ โดยเฉพาะแมนแนนโอลิโกแซคคาไรด์ทำหน้าที่จับกับจุลินทรีย์ก่อโรค เนื่องจากน้ำตาลแมนโนสมีคุณสมบัติเป็นตัวรับ (receptor) ทำให้จุลินทรีย์ก่อโรคไม่สามารถสร้างความเสียหายให้กับเยื่อหุ้มเซลล์ได้ ลดอาการอักเสบจากการทำลายของจุลินทรีย์ก่อโรค และขับออกจากร่างกาย พรีไบโอติกสามารถกระตุ้นการสร้างเยื่อเมือกของผนังลำไส้ เพื่อเป็นเกราะป้องกันลำไส้ นอกเหนือจากนี้พรีไบโอติกยังเพิ่มระยะเวลาให้อาหารอยู่ในทางเดินอาหารได้นานขึ้น ลดการดูดซึมกลูโคส ลดระดับน้ำตาลในกระแสเลือด และกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนในทางเดินอาหาร ข้อดีของการใช้พรีไบโอติก ไม่ตกค้าง ไม่เป็นพิษ มีความเสถียรต่อความเป็นกรดในกระเพาะอาหาร ทนทานต่อความร้อนในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ ต้นทุนการผลิตต่ำ พรีไบโอติกถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย ภาพที่ 3.7 แสดงกลไกการทำงานของโพรไบโอติกและพรีไบโอติก (Shehata *et al.*, 2022)



ภาพที่ 3.7 กลไกการทำงานของโพรไบโอติกและพรีไบโอติก

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ayalew *et al.* (2022) และ Anee *et al.* (2021)

4.4 ซินไบโอติก (Synbiotics)

ซินไบโอติกหมายถึงการรวมตัวกันของพรีไบโอติกและโพรไบโอติก มาใช้เพื่อพัฒนาระบบนิเวศในทางเดินอาหารผ่านการใช้ประโยชน์ของพรีไบโอติก โดยการหมักย่อยของจุลินทรีย์ในลำไส้ (gut microbiota) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการรักษาสุขภาพลำไส้และส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของสัตว์ ซินไบโอติก คือความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในพัฒนาการทำงานของโพรไบโอติกและพรีไบโอติกให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น การใช้ซินไบโอติกในการปรับปรุงจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารเป็นที่นิยมเนื่องจากมีผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้โพรไบโอติกและพรีไบโอติกอย่างเดียว อย่างไรก็ตามฤทธิ์ทางชีวภาพของซินไบโอติกขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ประเภทของโพรไบโอติก ความทนทานต่อโพรไบโอติกต่อสภาวะทางเดินอาหาร และความสามารถในการตั้งอาณานิคม แหล่งที่มาของพรีไบโอติก ขั้นตอนการผลิต และสภาวะการเก็บรักษา กลไกการทำงานของโพรไบโอติกได้อธิบายไปก่อนหน้านี้ เนื่องจากโพรไบโอติกแต่ละสายพันธุ์มีคุณสมบัติเฉพาะและสามารถผลิตสารเมตาบอไลต์ได้แตกต่างกัน ดังนั้นประโยชน์ของการใช้โพรไบโอติกหลายสายพันธุ์ (multi-strain probiotics) จึงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อก่อโรคและกระตุ้นกระบวนการทางชีวภาพได้แตกต่างกัน การทำงานของโพรไบโอติก พรีไบโอติก และซินไบโอติก มีกลไกการทำงานหลากหลาย ส่งเสริมซึ่งกันและกัน และมีประโยชน์อย่างครอบคลุม โดยเป้าหมายการทำงานคือการส่งเสริมการทำงานของลำไส้และสุขภาพพร้อมทั้งป้องกันการติดเชื้อในทางเดินอาหาร แตกต่างจากการทำงานของยาปฏิชีวนะ ซึ่งยับยั้งเชื้อก่อโรคเพียงอย่างเดียว **ตารางที่ 3.2** แสดงตัวอย่างโพรไบโอติก พรีไบโอติก และซินไบโอติกที่ใช้ในอาหารสัตว์

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างโพรไบโอติก พรีไบโอติก และซินไบโอติกที่ใช้ในอาหารสัตว์

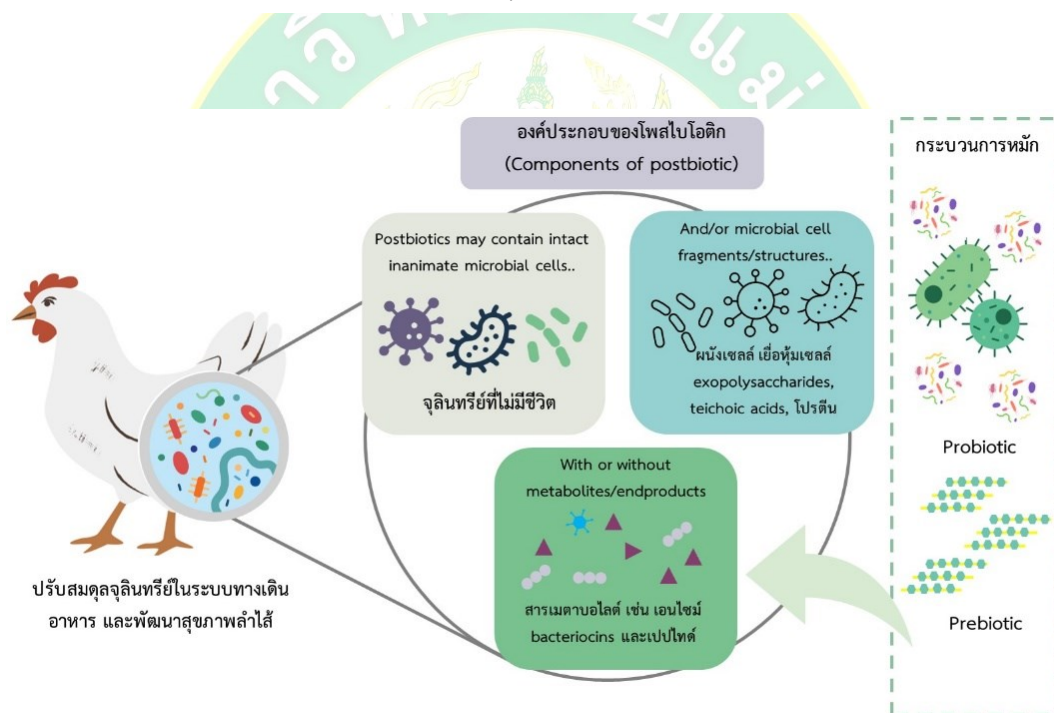
probiotics	prebiotic	symbiotic
<i>Lactobacillus</i> spp	Inulin	<i>Lactobacilli</i> + inulin
<i>Bifidobacterium</i> spp	Galactooligosaccharides (GOS)	<i>Bifidobacteria</i> + FOS
<i>Saccharomyces</i> spp.	Fructo-oligosaccharides (FOS)	<i>Lactobacilli</i> + FOS
<i>Streptococcus</i> spp.	Lactulose	<i>Bifidobacteria</i> + <i>Lactobacilli</i> + inulin
<i>Bacillus coagulans</i>	Lactitol	<i>Bifidobacteria</i> + <i>Lactobacilli</i> + FOS
<i>Propionibacterium</i>	Cereals fibers Xylooligosaccharides	<i>Lactobacilli</i> + lactitol <i>Bifidobacteria</i> + GOS

ที่มา: Markowiak and Slizewska (2018)

4.5 โพลสไบโอติก (Postbiotics)

สมาคมนานาชาติทางวิทยาศาสตร์สำหรับโพรไบโอติกและพรีไบโอติก (International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics; ISAPP) ได้ให้คำจำกัดความของโพลสไบโอติกไว้ว่า “การเตรียมจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตและ/หรือส่วนประกอบที่ให้ประโยชน์ต่อสุขภาพแก่โฮสต์” โพลสไบโอติกจึงหมายถึงสารที่ได้จากกระบวนการหมักของโพรไบโอติกผ่านการใช้ประโยชน์ของพรีไบโอติก โพลสไบโอติกมีส่วนประกอบของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด เช่น เซลล์จุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต ผนังเซลล์ exopolysaccharides wall polysaccharides teichoic acids และสารเมตาบอไลต์ เช่น เอนไซม์ และเปปไทด์ ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารสำคัญสามารถดูดซึมไปใช้ได้ง่าย โดยสารเหล่านี้จะมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณโพรไบโอติกมากขึ้น ซึ่งทำให้มีสุขภาพลำไส้ดีขึ้น ส่งเสริมการดูดซึมสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และมีส่วนช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายดีขึ้น ซึ่งโพลสไบโอติกนั้นถือเป็นนวัตกรรมใหม่สำหรับการทำธุรกิจอาหารเสริมที่น่าจับตามองเป็นอย่างมาก (ภาพที่ 3.8) แต่อย่างไรก็ตามการหมักเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนซึ่งผลผลิตอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ สารตั้งต้น และสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ ดังนั้นความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับ

กระบวนการจึงมีความจำเป็นเพื่อให้แน่ใจว่าองค์ประกอบและคุณสมบัติจากผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอ สามารถทำซ้ำได้อย่างน่าเชื่อถือ ข้อดีของโพลีไบโอติกที่แตกต่างจากพรีไบโอติกและโพรไบโอติกก็คือ โพลีไบโอติกพึ่งพาปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อการทำงานน้อยกว่าจากพรีไบโอติกและโพรไบโอติก ตัวอย่างเช่น การทำงานพรีไบโอติกและโพรไบโอติกต้องอาศัยซึ่งกันและกัน เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่ตัวสัตว์ ขณะที่โพลีไบโอติกเป็นสารเสริมที่พร้อมใช้งาน อีกทั้งโพลีไบโอติกมีความเสถียรสูงเมื่อผ่านการแปรรูปอาหารสัตว์และการเก็บรักษาในระยะยาว ทำให้ปริมาณของสารเข้าไปยังตัวสัตว์ได้สูง โพลีไบโอติกที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือโพลีไบโอติกที่ถูกสร้างจากกระบวนการหมักของยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae* fermentation product; SCFP) (Hosseini *et al.*, 2024)



ภาพที่ 3.8 องค์ประกอบของโพลีไบโอติก

ที่มา: ดัดแปลงจาก International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics; ISAPP (2021) และ Salminen *et al.* (2021)

4.6 สารเสริมความเป็นกรด (Acidifiers)

สารเสริมความเป็นกรดใช้เพื่อควบคุมสภาวะกรด-ด่าง (pH) ในทางเดินอาหาร นิยมใช้ในรูปแบบของกรดอินทรีย์ โดยมีโครงสร้างมีกรดคาร์บอกซิลิกเป็นองค์ประกอบ ($R-COOH$) กรดอินทรีย์แบ่งกลุ่มตามโครงสร้างโมเลกุล กลุ่มที่ 1 กรดไขมันสายสั้น (short-chain fatty acids; SCFA) มีคาร์บอนตั้งแต่ 1- 7 โมเลกุล กรดไขมันสายยาวปานกลาง (medium-chain fatty acids; MCFA) มีคาร์บอนตั้งแต่ 7- 10 โมเลกุล และกรดไขมันสายยาว (long-chain fatty acids; LCFA) มีคาร์บอนตั้งแต่ 11 โมเลกุล วัตถุประสงค์ของการใช้กรดอินทรีย์ คือ 1) รักษาคุณภาพวัตถุดิบและอาหารสัตว์ 2) ยับยั้งเชื้อก่อโรคในทางเดินอาหาร 3) เพิ่มความเป็นกรดในทางเดินอาหารสัตว์ ความเป็นกรดที่เหมาะสมจะช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคที่ติดมากับอาหาร ยืดระยะเวลาการไหลผ่านของอาหารในกระเพาะอาหาร ทำให้เพิ่มระยะเวลาการสัมผัสกับเยื่อลำไส้ได้นานขึ้น เพิ่มการดูดซึมสารอาหาร กระตุ้นการหลั่งและการทำงานของเอนไซม์ ปรับปรุงความสมบูรณ์ของลำไส้โดยการปรับสภาพแวดล้อมในทางเดินอาหารสัตว์ให้เหมาะสมต่อการย่อยอาหาร กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน เพิ่มการใช้ประโยชน์ของโภชนะ และประสิทธิภาพการเจริญเติบโต (Pearlin *et al.*, 2020)

สารเสริมความเป็นกรดนิยมใช้ในรูปแบบกรดอินทรีย์ (organic acids) กรดอนินทรีย์ (inorganic acids) และเกลือกรด (acid salt) กรดอินทรีย์ประกอบด้วย กรดฟูมาริก (fumaric acid) กรดแลคติก (lactic acid) กรดซิตริก (citric acid) กรดบิวทีริก (butyric acid) กรดอนินทรีย์ที่นิยมใช้ในประกอบด้วย กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) กรดซัลฟูริก (sulfuric acid) และกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) กรดอนินทรีย์มีราคาถูกกว่ากรดอินทรีย์ เกลือกรดมักนิยมใช้ในอาหารสุกร ได้แก่ แคลเซียมฟอर्मेट (calcium formate) โพแทสเซียมไดฟอर्मेट (potassium-diformate) โซเดียมฟอर्मेट (sodium diformate) และโซเดียมฟูมาเรต (sodium-fumarate) ข้อได้เปรียบของเกลือกรดคือโดยทั่วไปแล้วไม่มีกลิ่นและง่ายต่อการจัดการในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ มีฤทธิ์กัดกร่อนน้อยกว่าและละลายในน้ำได้ดี ข้อเสียของกรดอินทรีย์ กรดบางชนิดมีการกัดกร่อนก่อให้เกิดปัญหาการจัดการและอุปกรณ์ให้กับผู้ผลิตอาหารสัตว์ เกลือของกรดอินทรีย์โดยทั่วไปไม่มีกลิ่นและมีฤทธิ์กัดกร่อนน้อยกว่ากรดอินทรีย์ ทำให้ง่ายต่อการจัดการในการผลิตอาหารสัตว์ กรดอินทรีย์อาจส่งผลเสียต่อความน่ากินของอาหาร เมื่อเติมเข้าไปในปริมาณที่มากเกินไปส่งผลให้ปริมาณการกินอาหารลดลง **ตารางที่ 3.3** รายชื่อกรดอินทรีย์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์

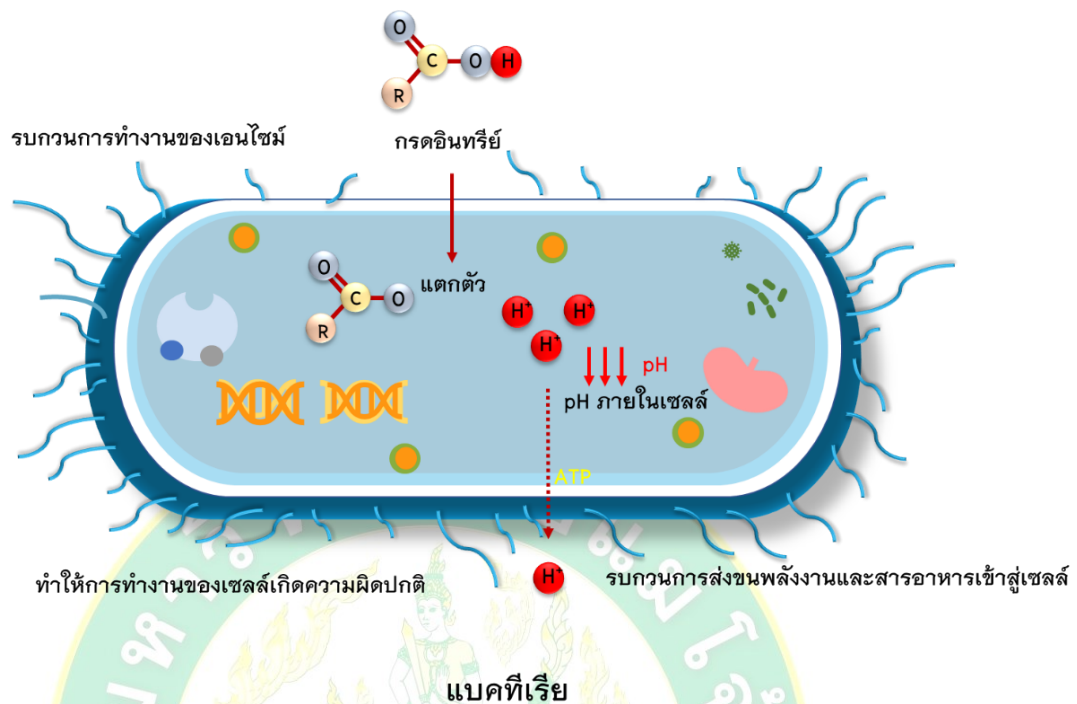
ตารางที่ 3.3 รายชื่อกรดอินทรีย์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์

ชนิดกรดอินทรีย์	ชื่อทางเคมี	สูตร	pKa
กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid)	2,3-Dihydroxy- Butanedioic Acid	$\text{COOHCH(OH)CH(OH)COOH}$	2.93
กรดฟูมาริก (Fumaric acid)	2-Butenedioic Acid	COOHCH:CHCOOH	3.02
กรดซิตริก (Citric acid)	2-Hydroxy-1,2,3- Propanetricarboxylic Acid	$\text{COOHCH}_2\text{C(OH)(COOH)CH}_2\text{COOH}$	3.13
กรดมาลิก (Malic acid)	Hydroxybutanedioic Acid	$\text{COOHCH}_2\text{CH(OH)COOH}$	3.40
กรดฟอร์มิก (Formic acid)	Formic Acid	HCOOH	3.75
กรดแลคติก (Lactic acid)	2-Hydroxypropanoic Acid	$\text{CH}_3\text{CH(OH)COOH}$	3.83
กรดเบนโซอิก (Benzoic acid)	Benzenecarboxylic acid	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$	4.20
กรดอะซิติก (Acetic acid)	Acetic acid	CH_3COOH	4.76
กรดซอร์บิก (Sorbic acid)	2,4-Hexandienoic acid	$\text{CH}_3\text{CH:CHCH:CHCOOH}$	4.76
กรดบิวทีริก (Butyric acid)	Butanoic Acid	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	4.82
กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid)	2-Propanoic Acid	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	4.88

ที่มา: Partanen and Mroz (1999) และ Nguyen *et al.* (2020)

กลไกการทำงานของกรดอินทรีย์ (Mode of action of organic acids)

กลไกการทำงานของกรดอินทรีย์แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ในทางเดินอาหารส่วนบน กรดอินทรีย์ช่วยเพิ่มความเป็นกรดในกระเพาะอาหาร เมื่อกระเพาะอาหารมีค่า pH ที่เหมาะสม จะกระตุ้นการหลั่งและการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน (proteolytic enzymes) เช่น การเปลี่ยน inactive pepsinogen เป็น active pepsin กรดอินทรีย์ยังสามารถชะลออัตราการไหลผ่านของอาหาร จากกระเพาะอาหารไปยังลำไส้เล็กส่วนต้นให้ช้าลง กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์จากตับอ่อน (pancreatic enzymes) และกระตุ้นการหลั่งเยื่อเมือกของระบบทางเดินอาหารและลำไส้ กรดอินทรีย์นิยมใช้เสริมในสัตว์อายุน้อยที่ทางเดินอาหารยังพัฒนาไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการผลิตกรดไฮโดรคลอริก และเอนไซม์ย่อยอาหารไม่เพียงพอ ในช่วงปรับเปลี่ยนอาหาร ช่วงหย่านมในสุกร หรือในช่วงที่สัตว์มีความผิดปกติของการย่อยอาหาร ส่งผลให้เพิ่มค่าการย่อยได้ของสารอาหาร เพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสัตว์ นิยมใช้ในอาหารสุกรเนื่องจากการเปลี่ยนอาหาร อากาศท้องเสีย (Suiryranrayna and Ramana, 2015) กรดอินทรีย์ยังสามารถทำหน้าที่ลดการด้านการเปลี่ยนแปลง pH (high buffering capacity) อาหารบางชนิดทำให้ pH ในกระเพาะอาหารสูงขึ้น (pH 5.5-6.0) เช่น หินปูน กากถั่วเหลือง และปลาป่น เสี่ยงต่อการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรค โดยเฉพาะในลูกสัตว์ อาจเกิดอาการท้องเสีย ส่วนที่ 2 การทำงานในทางเดินอาหารส่วนล่าง กรดอินทรีย์สามารถผ่านเยื่อหุ้มและไซโตพลาสซึมของแบคทีเรียก่อโรค เมื่อเข้าไปในเซลล์กรดอินทรีย์จะเกิดการแตกตัว ทำให้ค่า pH ภายในเซลล์ลดลง และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ทำให้การทำงานของเซลล์เกิดความผิดปกติ และรบกวนกระบวนการส่งชนพลังงานและสารอาหารเข้าสู่เซลล์ แบคทีเรียไม่สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง pH (pH-sensitive bacteria species) อาจทำให้ตายได้ แต่ในขณะเดียวกันกลุ่มจุลินทรีย์ที่ผลิตกรด (acid-producing bacteria species) จะสามารถทนทานต่อการถูกทำลายและมีชีวิตอยู่ในสภาวะกรดได้ (ภาพที่ 3.9) (Pearlin *et al.*, 2020) นอกเหนือจากนี้กรดอินทรีย์ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมแร่ธาตุ โดยกรดอินทรีย์จะมีประจุลบสามารถจับกับประจุบวกของแคลเซียม และฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และสังกะสี ลดการขับออกของแร่ธาตุสู่สิ่งแวดล้อม กรดอินทรีย์ที่ได้จากการหมักในทางเดินอาหาร เช่น กรดบิวทิริกสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการพัฒนาเยื่อบุผนังลำไส้ เพิ่มความสามารถในการฟื้นตัวของวิลลัส (สุทิศา, 2563)



ภาพที่ 3.9 กลไกการทำงานของกรดอินทรีย์ต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรค
ที่มา: ดัดแปลงจาก Khan *et al.* (2022)

4.7 สารเสริมไฟโตจีนิก หรือ ไฟโตไบโอติก

(Phytogetic feed additives; PEA or Phytobiotic)

สารประกอบไฟโตจีนิก หรือไฟโตไบโอติก (phytobiotic) หรือโบทานิคอล (botanical) เป็นสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolites) ที่ได้จากกระบวนการชีวสังเคราะห์ของพืช (biosynthesis) สารออกฤทธิ์ทางธรรมชาติที่พบในสมุนไพร (herb) เครื่องเทศ (spice) หรือสารสกัดจากพืช เช่น น้ำมันหอมระเหย (essential oils) พบในส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ใบ ดอก และก้าน สารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิประกอบด้วย โมโนเทอร์พีน (monoterpenes) เซสควิเทอร์พีน (sesquiterpenes) ไตรเทอร์พีน (triterpenes) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และสารประกอบอะโรมาติก (aromatic compounds) การใช้สารเสริมไฟโตจีนิกในปศุสัตว์มีหลายวัตถุประสงค์ เช่น ทดแทนการใช้อาปฏิชีวนะในการเร่งการเจริญเติบโต และลดการปล่อยก๊าซมีเทน สารเสริมกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ถูกใช้ในการผลิตสัตว์กระเพาะเดี่ยว เนื่องจากสัตว์กระเพาะเดี่ยวสามารถใช้ประโยชน์ได้โดยตรง

แต่ในปัจจุบันสารเสริมไฟโตจีนิกเริ่มมีบทบาทในการพัฒนาสัตว์กระเพาะรวม มีผู้สนใจศึกษาเกี่ยวกับการใช้เพิ่มสมรรถภาพการสืบพันธุ์ เนื่องจากมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ

สารเสริมไฟโตจีนิกมีคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อก่อโรค (antimicrobials) ด้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) ด้านการอักเสบ (anti-inflammatory) เพิ่มความน่ากิน และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในทางเดินอาหาร ลำไส้เล็กจึงเป็นอวัยวะเป้าหมายในการทำงานของสารกลุ่มนี้ นอกเหนือจากนี้สารเสริมไฟโตจีนิกได้รับความสนใจนำมาใช้ลดผลกระทบต่องสิ่งแวดล้อมจากการทำปศุสัตว์ (Alem, 2024) สารเสริมไฟโตจีนิกสามารถลดการปล่อยก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia ; NH_3) ในการผลิตสุกร ยกตัวอย่างเช่น ซาโปนิน (saponins) สามารถเข้าไปจับกับแอมโมเนีย และยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอสในสัตว์กระเพาะรวม มีสารออกฤทธิ์ที่นิยมใช้ในอาหารสัตว์ ได้แก่ คาร์วาครอล (carvacrol) ไธมอล (thymol) ยูจีนอล (eugenol) และซินนามาลดีไฮด์ (cinnamaldehyde) และสารไพเพอรีน (piperine) (ตารางที่ 3.4) คาร์วาครอลพบมากในน้ำมันออริกาน โธมอลพบมากในน้ำมันไทม์ และซินนามาลดีไฮด์พบมากในน้ำมันหอมระเหยจากอบเชย (cinnamon oil) คาร์วาครอลและไธมอลมีคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อก่อโรค โดยจะเข้าไปทำลายผนังเซลล์ของจุลินทรีย์

ตารางที่ 3.4 สารสำคัญและคุณสมบัติของสารเสริมไฟโตจีนิกที่ใช้ในปศุสัตว์

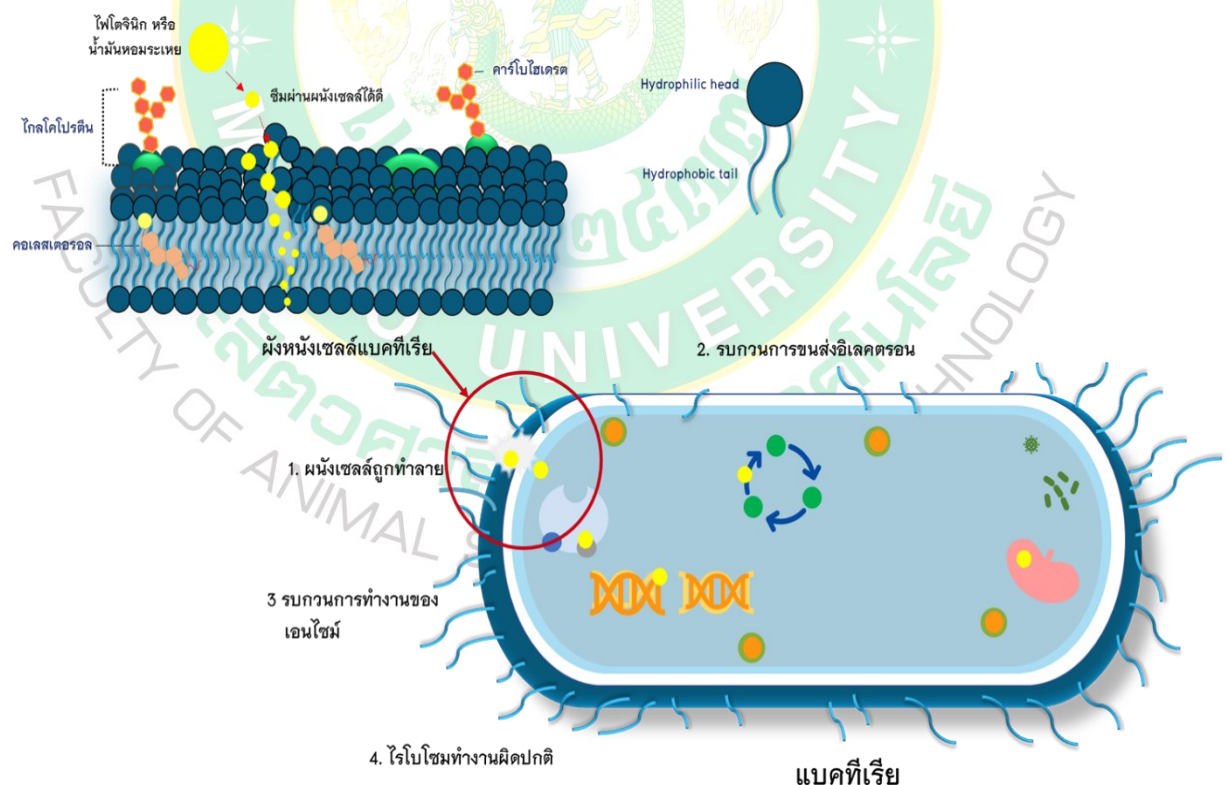
สารสำคัญ	แหล่งที่มา	ส่วนที่ใช้ ประโยชน์	คุณสมบัติ
ยูจีนอล (Eugenol)	กานพลู (<i>Syzygium aromaticum</i>)	ดอก	กระตุ้นการหลั่งเอนไซม์ในทางเดิน อาหาร ยับยั้งเชื้อก่อโรค
ซินนามาลดีไฮด์ (Cinnamaldehyde)	ซินนาม่อน (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>)	ใบ	กระตุ้นการหลั่งเอนไซม์ในทางเดิน อาหาร ยับยั้งเชื้อก่อโรค
ลINALOOL (Linalool)	กระเพรา/โหระพา (<i>Ocimum species</i>)	ใบ เมล็ด	กระตุ้นการหลั่งเอนไซม์ในทางเดิน อาหาร ยับยั้งเชื้อก่อโรค ต้าน อนุมูลอิสระ
แคพไซซิน (Capsaicin)	พริก (<i>Capsicum annum</i>)	ผล	ลดอาการปวดบวม ต้านอนุมูล อิสระ ลดความเครียด ยับยั้งเชื้อ
ซิงเจอโรน (Zingerone)	ขิง (<i>Zingiber officinale</i>)	เหง้า	ก่อโรค
อัลลิซิน (Allicin)	กระเทียม (<i>Allium sativum</i>)	ผล	เพิ่มกิจกรรมของลำไส้ ต้านอนุมูล อิสระ ยับยั้งเชื้อก่อโรค
ยูคาลิปทอล (Eucalyptol) หรือ ซิเนออล (Cineol, cineole)	โรสแมรี่ (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	ใบ	ป้องกันแบคทีเรียและต่อต้าน จุลินทรีย์ป้องกันระบบประสาท
คาร์วาครอล (carvacrol)	ไทม์ (<i>Thymus vulgaris</i>)	ทุกส่วน	การประยุกต์ใช้ทางเภสัชกรรม ยับยั้งเชื้อก่อโรค สารต้านอนุมูล
ไทมอล (thymol)	ออริกาโน (<i>Origanum vulgare</i>)	ของพืช	อิสระ สารต้านมะเร็ง สารต้านการ อักเสบและกระตุ้นภูมิคุ้มกัน

ที่มา: Thuekeaw et al. (2022) และ Alem (2024)

การกลไกการทำงานของสารเสริมไฟโตจีนิก (Mode of action of PEA)

การยับยั้งเชื้อก่อโรค (Antimicrobial activity)

กลไกการยับยั้งเชื้อก่อโรค คือการเข้าทำลายผนังเซลล์แบคทีเรีย ลักษณะเฉพาะของสารเสริมไฟโตจีนิกมีโครงสร้างที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และละลายได้ดีในไขมัน จึงสามารถซึมผ่าน (permeability) ผนังเซลล์แบคทีเรียได้ดี โดยเข้าไปจับกับไขมันของผนังเซลล์ของแบคทีเรียก่อโรค และผ่านเข้าไปในเยื่อหุ้มไมโทคอนเดรียชั้นนอกและชั้นใน ทำให้เกิดการรั่วไหลของไอออน การทำงานปกติของแบคทีเรียหยุดชะงักเป็นผลมาจากการสลายตัวของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลต่อการรบกวนค่า pH ในเซลล์ ลดการผลิต ATP และการสังเคราะห์โปรตีนของแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังช่วยลดการหลั่งสารพิษของแบคทีเรีย เนื่องจากแบคทีเรียต้องรักษาลำพังงาน เพื่อซ่อมแซมโครงสร้างของเซลล์ที่เสียหาย ซึ่งนำไปสู่การชะงักการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและการตายของเซลล์ (ภาพที่ 3.10) (Shehata *et al.*, 2022)



ภาพที่ 3.10 กลไกการออกฤทธิ์ของสารเสริมไฟโตจีนิกสำหรับฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย

ที่มา: ดัดแปลงจาก Chukwuma *et al.* (2023)

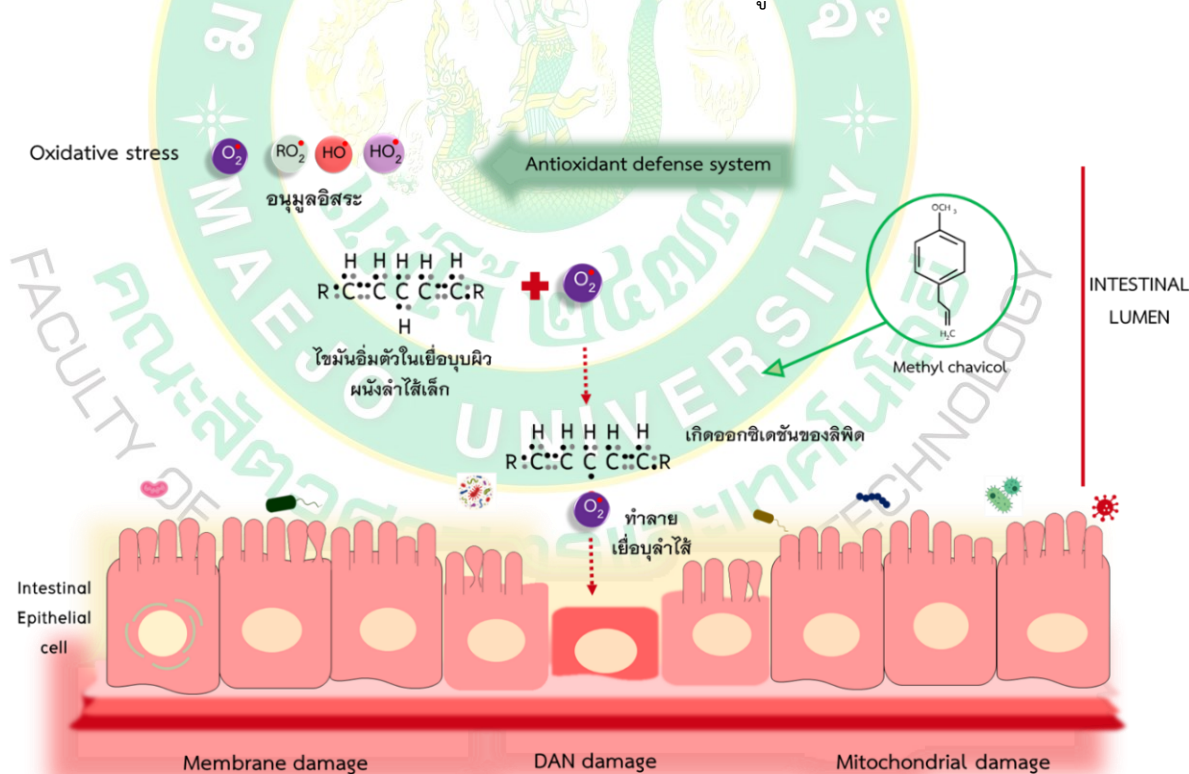
การต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity)

อนุมูลอิสระ (free radicals) และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายเนื่องจากออกซิเจน (reactive oxygen species; ROS) เป็นผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ การออกซิเดชันของเซลล์ และปัจจัยภายนอกอื่นๆ เช่น ทำให้เกิดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative stress) ความเครียดจากความร้อน (heat stress) และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid peroxidation) อนุมูลอิสระมีความคงตัวต่ำ สามารถเหนี่ยวนำและสร้างอนุมูลอิสระตัวใหม่ (Li et al., 2021) ปกติแล้วร่างกายมีกลไกการรักษาสมดุลของร่างกาย (antioxidant defense system) ด้วยการผลิตสารต้านอนุมูลอิสระ เพื่อรักษาสมดุลระหว่างการเกิดและการต้านอนุมูลอิสระภายในร่างกาย โดยการผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในการต้านอนุมูลอิสระ (Intracellular antioxidants หรือ antioxidant enzyme) ได้แก่ Glutathione peroxidase (GPx), Superoxide dismutase (SOD) และ Catalase (CAT)

ในสภาวะที่ร่างกายสัตว์เกิดความเครียดสูงจากการกระตุ้นของปัจจัยต่างๆ เช่น ความร้อน จะทำให้เกิดการสูญเสียสมดุลของระบบป้องกันการต้านอนุมูลอิสระ เกิดการผลิตอนุมูลอิสระออกมามากขึ้น ร่างกายไม่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้ ส่งผลให้อนุมูลอิสระเข้าไปเหนี่ยวนำโครงสร้างไขมันในร่างกายสัตว์เสียหาย สัตว์ไวต่อการเกิดโรค และติดเชื้อได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทางเดินอาหาร สารเสริมไฟโตจีนิกมีสารประกอบฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบ เช่น กรดแกลลิก ยูจีนอล คาร์วาครอล ไทมอล เป็นต้น สารเหล่านี้มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอน (electron donation) หรือไฮโดรเจนไอออน (hydrogen ions) แก่อนุมูลอิสระกลุ่ม ROS ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ ป้องกันโมเลกุลในร่างกายจากการเกิดออกซิเดชัน หลังจากให้อิเล็กตรอนสารเหล่านี้มีความเสถียรค่อนข้างสูง ไม่เหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ ช่วยลดความเสียหายของเนื้อเยื่อ และลดการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันในทางเดินอาหารสัตว์ ส่งผลต่อการพัฒนาการทางสรีรวิทยา การทำงานของลำไส้ และลดการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์สัตว์ (Zhao et al., 2017) (ภาพที่ 3.11)

กระตุ้นการกินอาหารหรือเพิ่มความน่ากินของอาหาร (stimulate feed intake or palatability enhancer)

สมุนไพรและเครื่องเทศบางชนิด มีกลิ่นและรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ซึ่งมีบทบาทในการกระตุ้นการกินอาหาร และส่งเสริมการทำงานของระบบย่อยอาหาร ความอยากอาหารของสัตว์จะถูกรับรู้ผ่านทางระบบประสาทสัมผัสทำงานร่วมกับทางเดินอาหาร เช่น ต่อมรับรส และเยื่อจมูก และการมองเห็น สัตว์แต่ละชนิดมีความสามารถในการรับรู้แตกต่างกัน ดังนั้นหากต้องการเสริมสารเสริมไฟโตจีนิก เพื่อกระตุ้นการกินต้องประเมินการรับรู้ของระบบประสาทสัมผัสของสัตว์แต่ละชนิด เช่น สัตว์ปีกมีความสามารถในการรับกลิ่นได้น้อย การเสริมสมุนไพรหรือเครื่องเทศเพื่อกระตุ้นการกินอาหาร อาจจะไม่มียผลต่อปริมาณการกินอาหารเท่าที่ควร สารเสริมไฟโตจีนิกยังมีบทบาทในการกระตุ้นการทำงานของระบบย่อยอาหาร โดยการกระตุ้นการหลั่งเอนไซม์เพปซิน ทริปซิน ไลเปส และอะไมเลส และการหลั่งเยื่อเมือกในทางเดินอาหาร ซึ่งจะช่วยให้การย่อยและการดูดซึมอาหาร



ภาพที่ 3.11 กลไกการออกฤทธิ์ของสารเสริมไฟโตจีนิกสำหรับการต้านอนุมูลอิสระ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ayalew *et al.* (2022) และ Chukwuma *et al.* (2023)

5. กลุ่มสาร coccidiostat และ histomonostat

โรคบิดเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญของอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ปีก โรคบิดเป็นโรคที่เกิดจากเชื้อโปรโตซัวเซลล์เดียวในสกุลของอัยเมอเรีย (*Eimeria* spp.) ได้แก่ *Eimeria acervulina*, *Eimeria tenella*, *Eimeria maxima* และ *Eimeria necatrix* เชื้อบิดแพร่ระบาดได้ง่ายในประเทศไทย เนื่องจากสภาพอากาศที่ร้อนชื้นทำให้การควบคุมโรคบิดเป็นไปได้ยาก การเลือกใช้ยาที่เหมาะสมควรเลือกยาที่สามารถขับออกจากร่างกายได้เร็ว หรือโปรแกรมการเปลี่ยนยา เพื่อช่วยในการป้องกันการพัฒนาการติดยาของเชื้อบิด ยาในกลุ่มนี้ส่วนมากใช้ในฟาร์มเนื้อ โดยผสมยาลงในอาหาร เพื่อป้องกันและยับยั้งโปรโตซัวโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์ ความปลอดภัยของผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม การติดเชื้อมีผลในสัตว์ปีก ทำให้การเจริญเติบโตช้า เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อลำไส้ เชื้ออัยเมอเรียจะทำลายเยื่อเมือกของลำไส้ ทำให้ลำไส้อักเสบ ท้องเสียหรือถ่ายเป็นมูกหรือเลือด ทำให้ผลผลิตต่ำและพบอัตราการตายสูง ซึ่งสร้างความเสียหายต่อเศรษฐกิจอย่างมาก

ดังนั้นยากันบิดจึงถือเป็นสารเสริมอาหารสัตว์ในรายชื่อสารที่อนุญาตให้ใช้ได้ ในสหภาพยุโรป ยากันบิดได้มาจากการสังเคราะห์หรือผลิตโดยจุลินทรีย์ที่ยับยั้งหรือทำลายโปรโตซัว กลุ่มยากันบิดที่ได้รับอนุญาต ได้แก่ ไอโอโนฟอร์โพลีเอเทอร์ (polyether ionophores) โมเนนซิน (monensin; MON) มาดูรามิซิน (maduramicin; MAD) นาราซิน (narasin; NAR) ซาลิโนไมซิน (salinomycin; SAL) เซมดูรามิซิน (semduramicin; SEM) ยาปฏิชีวนะนอกเหนือจาก coccidiostats หรือ histomonostats ไม่ถือเป็นสารเสริมอาหารสัตว์ภายใต้กฎหมายยุโรป

ยาด้านโรคบิด จำแนกได้ 2 ชนิด

1. ยากันบิด (coccidiostat) คือ ยาที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อบิด ไม่ทำให้เชื้อบิดตายมีคุณสมบัติเป็นยาป้องกัน
2. ยารักษาโรคบิด (coccidiocidal) เป็นยาที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อบิด ยาบางชนิดอาจมีฤทธิ์ทั้ง 2 แบบ โดยถ้าใช้ความเข้มข้นต่ำหรือระยะสั้นจะเป็นยาป้องกันโรคบิด แต่ถ้าใช้ความเข้มข้นสูงหรือให้เป็นระยะเวลานานจะมีฤทธิ์เป็นยาฆ่าเชื้อบิด ดังนั้นในปัจจุบันจึงมักเรียกรวมกันว่ายาด้านโรคบิด โดยรูปแบบการการใช้ยาด้านโรคบิดมี 2 รูปแบบ คือการให้ยาโดยการผสมอาหารหรือผสมน้ำ

การออกฤทธิ์ของยาต้านปรสิตได้ 2 แบบ

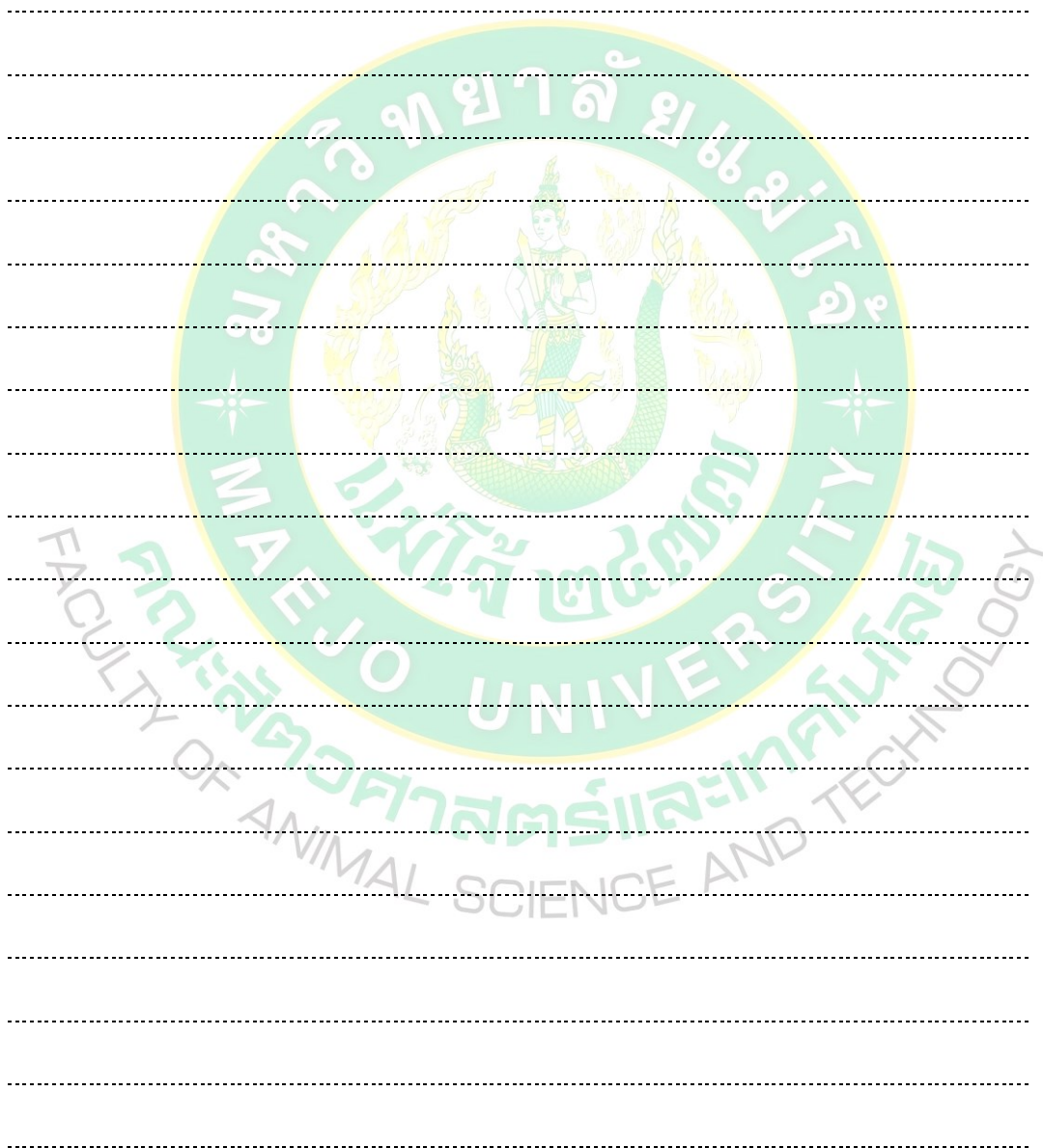
1. การออกฤทธิ์ต่อเชื้อในระยะเจริญนอกเซลล์โฮสต์ (extracellular stage) คือออกฤทธิ์ป้องกันการเจริญของเชื้อเข้าสู่เซลล์โฮสต์
2. การออกฤทธิ์ต่อเชื้อในระยะเจริญในเซลล์โฮสต์ (intracellular stage) โดยยาจะยับยั้งหรือทำลายเชื้อที่เจริญในเซลล์โฮสต์

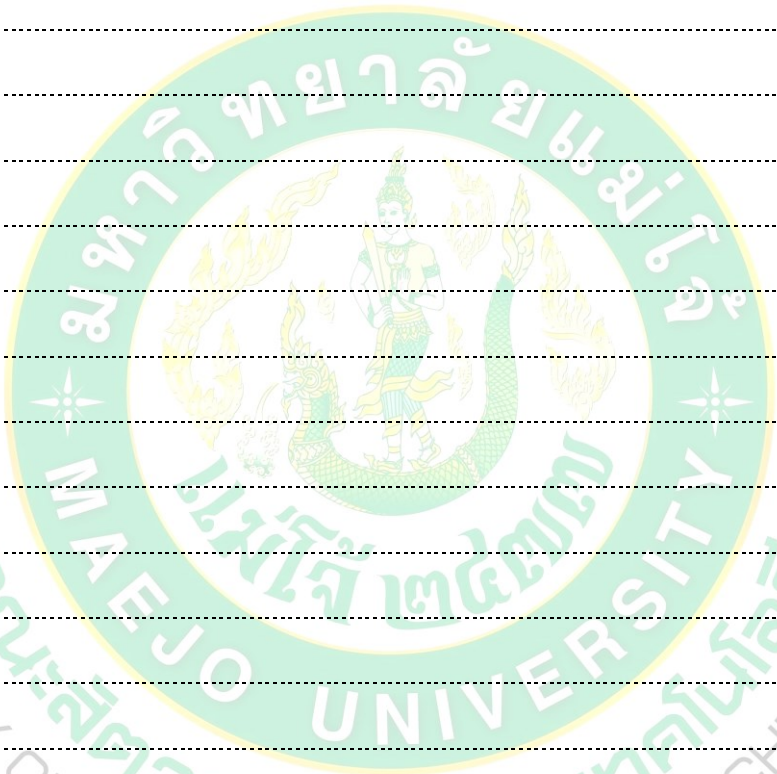
วิธีการให้ยาป้องกันโรคบิดในไก่เนื้อมีการจัดการที่แตกต่างกัน 3 ลักษณะ

1. Continuous program หรือ Straight program การใช้เป็นยาป้องกัน โดยเป็นการใช้ยาเพียงชนิดเดียวในการเลี้ยงไก่ระยะแรก และระยะที่สอง ส่วนระยะที่สามเป็นระยะที่ไม่มีการใช้ยาผสมในอาหาร
2. Shuttle program การใช้ยาป้องกันแบบนี้เป็นการใช้ยาชนิดหนึ่งผสมในอาหารในการเลี้ยงในระยะแรกประมาณ 3 สัปดาห์ แล้วทำการเปลี่ยนเป็นยากันบิดอีกชนิดหนึ่งในการเลี้ยงไก่อายุที่สอง
3. Rotation program เป็นการใช้ยากันบิดเพียงชนิดเดียวในอาหาร เมื่อเลี้ยงไก่อายุได้หลายรุ่น จึงทำการเปลี่ยนยาซึ่งนิยมเปลี่ยนยาที่ใช้ตามฤดูกาลขึ้นกับอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนไป

ให้นักศึกษาอธิบายการแก้ไขปัญหาการผลิตปศุสัตว์จากกรณีตัวอย่าง โดยการเลือกใช้สารเสริมอาหาร
สัตว์พร้อมอธิบายแนวทางการแก้ไขปัญหาและกลไกการทำงานของสารเสริมอาหารสัตว์

1. ในลูกสุกรหย่านนมมีอาการท้องเสีย ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตต่ำ มีข้อจำกัดในการย่อยโภชนา
ในอาหาร เนื่องจากทางเดินอาหารยังไม่สมบูรณ์ จากปัญหาดังกล่าวควรแก้ไขอย่างไร



- 
- The logo of Maejo University is a circular emblem. The outer ring is green with a yellow border. Inside the ring, the Thai text 'มหาวิทยาลัยแม่โจ้' is written in white at the top, and 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี' is written in green at the bottom. The center of the logo features a white background with a green and yellow illustration of a deity or guardian figure standing on a green base, surrounded by yellow flames. The text 'MAEJO UNIVERSITY' is written in white across the middle of the green ring.

-

สอบย่อยครั้งที่ 1 (5%)

เรื่องความสำคัญของสารเสริมอาหารสัตว์ ประเภทสารเสริมอาหารสัตว์ และคุณสมบัติสารเสริม
นักศึกษาต้องใช้อีเมลของมหาวิทยาลัยในการเข้าทำข้อสอบย่อย หลังจากทำข้อสอบอาจารย์ผู้สอน
จะแจ้งคะแนนกับเข้าไปยังอีเมลของผู้สอบ อาจารย์ผู้สอนจะทำการเปิดรับคำตอบในคาบเรียน
นักศึกษาสามารถเข้าทำข้อสอบผ่านลิงค์ <https://forms.gle/HHR717qGhsqwSVty8> หรือสแกน

QR Code



สแกน QR Code เข้าทำข้อสอบเก็บคะแนน

บทที่ 4 การผลิตสารเสริมอาหารสัตว์ (Production of feed additives)

คุณภาพอาหารสัตว์เป็นพื้นฐานในการผลิตผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่มีคุณภาพสูง ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และให้ผลกำไรสูง การผลิตอาหารสัตว์ให้มีคุณภาพสูงต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จากปริมาณอาหารสัตว์ที่มีความต้องการเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีการใช้สารเสริมอาหารสัตว์เพิ่มมากขึ้น ตามไปด้วย สารเสริมอาหารสัตว์มักใช้เป็นเครื่องมือสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพอาหารสัตว์ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์มีคุณภาพ ปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตและสุขภาพของสัตว์ สารเสริมอาหารสัตว์เหล่านี้มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย และมีสินค้าผลิตเข้าสู่ตลาดมากขึ้น ดังนั้นผู้ใช้ต้องมีความรู้ความเข้าใจในผลิตภัณฑ์สารเสริมเหล่านี้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร ผลิตภัณฑ์ใดมีประสิทธิภาพดีที่สุด เพื่อให้เข้าใจถึงประโยชน์ได้ดีขึ้น ในบทนี้พูดถึงกระบวนการผลิตสารเสริมอาหารสัตว์ภาพรวม พร้อมยกตัวอย่างกระบวนการผลิตสารเสริมที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

กระบวนการผลิตสารเสริมอาหารสัตว์ภาพรวม (ภาพที่ 4.1) แบ่งเป็น 2 ระดับ ระดับการผลิตที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อการเพิ่มปริมาณสารที่ต้องการ หรือแยกสารที่ต้องการออกจากโครงสร้างเดิม และระดับการผลิตที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกสารและทำให้เกิดความบริสุทธิ์ ประเมินคุณสมบัติไปจนถึงพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ โดยการผลิตสารเสริมแต่ละชนิดอาจจะเลือกใช้บางขั้นตอนจากกระบวนการภาพรวม อย่างไรก็ตามการผลิตสารเสริมต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบ วัตถุเจือปนอาหารสัตว์อยู่ภายใต้กฎระเบียบและแนวปฏิบัติที่กำหนดโดยหน่วยงานรัฐบาลต่างๆ เช่น สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (Food and Drug Administration; FDA) ผู้ผลิตจะต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบเหล่านี้เกี่ยวกับความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ การติดฉลาก และส่วนผสมที่ได้รับอนุญาต

การผลิตระดับที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อการเพิ่มปริมาณสารที่ต้องการ หรือแยกสารที่ต้องการออกจากโครงสร้างเดิม ประกอบด้วย

1. การเพาะหรือการเพิ่มจำนวน (cultivation) คือกระบวนการขยายพันธุ์สิ่งมีชีวิตโดยจัดให้มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ยกตัวอย่างเช่น จุลินทรีย์ที่อยู่ในช่วงเริ่มต้นของการเพิ่มจำนวน ต้องการสารอาหารที่จำเป็นต่อการเพิ่มจำนวน ปัจจัยที่ต้องควบคุมในระหว่างการผลิตได้แก่ สารอาหาร ค่าความเป็นกรด ด่าง อุณหภูมิ และการเติมอากาศ

2. การหมัก (fermentation) คือกระบวนการแปลงโครงสร้างทางชีวเคมี เพื่อให้วัตถุดิบเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์ของจุลินทรีย์ เช่น การสลายทางเคมีของน้ำตาลโดยจุลินทรีย์ (แบคทีเรียหรือยีสต์) ซึ่งส่งผลให้เกิดก๊าซ ความร้อน หรือผลพลอยได้อื่นๆ
3. สารเคมี การสังเคราะห์ (chemical, synthesis) คือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารตั้งต้นทำให้เกิดสารใหม่หรือผลิตภัณฑ์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมีหรือเอนไซม์ สารตั้งต้นจะมีการจัดเรียงตัวใหม่ได้เป็นผลิตภัณฑ์สารสังเคราะห์ไม่ใช้การสกัด กระบวนการนี้ใช้ในการผลิตสารเสริมสังเคราะห์ (synthetic feed additives)
4. การสกัด (extraction) คือเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้แยกสารผสม หรือสารที่ต้องการออกจากโครงสร้างซับซ้อนโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสม สารผสมอาจเป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีหรือเป็นสารต่างๆ จากพืชหรือสัตว์ ตัวทำละลายที่นิยมใช้ ได้แก่ อะซิโตน (acetone) เมทานอล (methanol) และเอทานอล (ethanol)

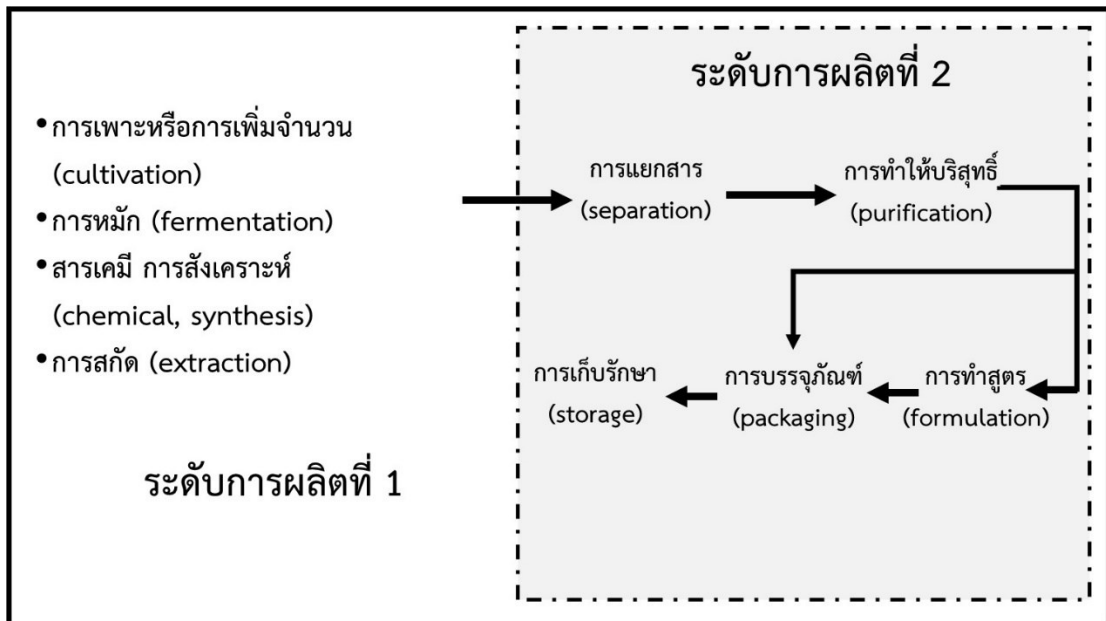
การผลิตระดับที่ 2 เป็นกระบวนการต่อเนื่องจากกระบวนการผลิตระดับที่ 1 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่รูปสารผสม ดังนั้นขั้นตอนนี้มีจึงวัตถุประสงค์เพื่อแยกสารที่ต้องการ ประเมินคุณสมบัติไปจนถึงเป็นผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย

1. การแยกสาร (separation) การแยกสารที่ผสมกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ออกจากกันเพื่อนำสารที่ได้นั้นไปใช้ประโยชน์ตามต้องการ ซึ่งสามารถจำแนกได้หลายวิธี เช่น การเหวี่ยง (centrifugation) การตกตะกอน (sedimentation) การกรอง (filtration) และการแยกสารโดยวิธีโครมาโทกราฟี (chromatography)
2. การทำให้บริสุทธิ์ (purification) การกำจัดสารปนเปื้อนหรือสารที่ไม่ต้องการออกจากสารที่ต้องการ วิธีการทำให้บริสุทธิ์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในการวิจัยในห้องปฏิบัติการสามารถปรับขนาดตามกระบวนการทางอุตสาหกรรมได้อย่างง่าย มีวิธีการคล้ายกับการแยกสาร
3. การทำสูตร (formulation) การกำหนดสูตรสารเสริมมีกระบวนการหลายขั้นตอนโดยการผสมสารเสริมหนึ่งชนิด หรือมากกว่าหนึ่งชนิดกับส่วนประกอบอื่นๆ เช่น สื่อ โดยพิจารณาจากปัจจัยของขนาดอนุภาค ความหลากหลาย ค่า pH และความสามารถในการละลาย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นประโยชน์

สื่อคือสิ่งที่สัตว์สามารถกินได้ ไม่เป็นอันตรายต่อทางเดินอาหารสัตว์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยในการกระจายตัวดีขึ้น ช่วยปรับปรุงความสม่ำเสมอ สื่อมีความสามารถในการกักเก็บน้ำ มีความสม่ำเสมอทางกายภาพและเคมี ความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและไม่เป็นพิษ สารเสริมจะสามารถเกาะติด คูดซึม หรือเคลือบไว้บนสื่อได้ จากนั้นสื่อจะเป็นตัวพา สารเสริมกระจายตัวทั่วสูตรอาหาร และเข้าสู่ทางเดินอาหาร สื่อที่นิยมใช้ ได้แก่ รำ (rice bran) เปลือกข้าว (rice hulls) เปลือกถั่ว (soy hulls) ชังข้าวโพด (corn cob) แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) และซีโอไลต์ (zeolite powder)

4. การบรรจุภัณฑ์ (packaging) ความสำคัญของการบรรจุภัณฑ์ คือ สามารถรักษาคุณสมบัติของสารเสริม ป้องกันการปนเปื้อน และปลอดภัยทั้งต่อสารเสริม ผู้ใช้งาน และสิ่งแวดล้อม การบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ ได้แก่ บรรจุภัณฑ์หลักใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์รองใช้เพื่อบรรจุบรรจุภัณฑ์หลักป้องกันการเสียหายของบรรจุภัณฑ์หลัก และบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งเป็นบรรจุภัณฑ์ป้องกันสินค้าระหว่างการขนส่ง
5. การเก็บรักษา (storage) ผลิตภัณฑ์สารเสริมแต่ละชนิดต้องมีการศึกษาการหาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (shelf life evaluation) เช่น การเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ สภาพแวดล้อมในการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ ชนิดบรรจุภัณฑ์ และการเคลื่อนย้ายผ่านการประเมินการสูญเสียคุณสมบัติ การเก็บรักษาต้องมีการควบคุมสภาพอากาศเพื่อป้องกันการเน่าเสียหรือลดความสม่ำเสมอ ซึ่งระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อคุณสมบัติสารเสริม อาจจะมีเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมี หรือเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์ โดยระหว่างช่วงเวลาดังกล่าว ผลิตภัณฑ์ยังคุณสมบัติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏเป็นที่พอใจหรือเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการระบุอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปแล้ว สารเสริมจะมีอายุการเก็บรักษา 1-2 ปี ขึ้นอยู่กับชนิด และรูปแบบการผลิต

ในกรณีที่เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์สารเสริมชนิดใหม่จำเป็นต้องพิสูจน์ความปลอดภัยและประสิทธิภาพในตัวสัตว์ จึงต้องดำเนินการทดลองเพื่อยืนยันประสิทธิภาพการทำงานในตัวสัตว์ โดยปกติแล้วสารเสริมจะได้รับการทดสอบในสายพันธุ์ของสัตว์เป้าหมาย



ภาพที่ 4.1 กระบวนการผลิตสารเสริมอาหารสัตว์โดยรวม

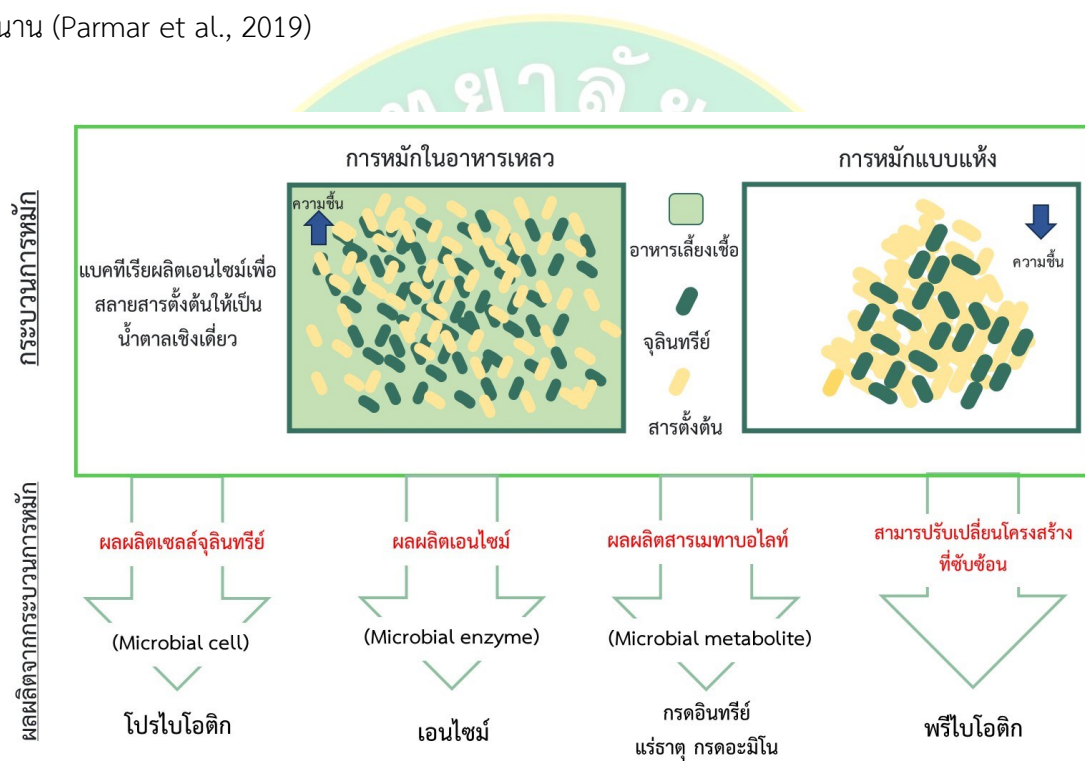
ที่มา: ดัดแปลงจาก Afedzi *et al.* (2023)

การผลิตสารเสริมอาหารสัตว์ผ่านเทคโนโลยีการหมัก

การผลิตสารเสริมอาหารสัตว์ผ่านเทคโนโลยีการหมักเกี่ยวข้องกับการใช้จุลินทรีย์ และสารตั้งต้น เกิดกระบวนการหมักและผลิตเมตาโบไลต์ในระหว่างการหมัก จุลินทรีย์ย่อยสลายสารตั้งต้น ทำให้เกิดสารประกอบที่ต้องการ เช่น กรดอินทรีย์ เอนไซม์ วิตามิน กรดอะมิโน หรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ สารเหล่านี้มีหน้าที่เฉพาะ เช่น ปรับปรุงการย่อยอาหาร เพิ่มการดูดซึมสารอาหาร เพิ่มภูมิคุ้มกัน หรือการยับยั้งแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค การผลิตสารเสริมผ่านการหมักทำได้ 2 ลักษณะ คือระบบการหมักในอาหารเหลว (submerge fermentation; SMF) และกระบวนการหมักแบบแห้ง (solid state fermentation; SSF) การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการผลิต (ภาพที่ 4.2)

การหมักในอาหารเหลวเป็นการเลี้ยงจุลินทรีย์ในอาหารเหลวซึ่งต้องมีการกวน คลุกเคล้า และให้อากาศแก่จุลินทรีย์ มีค่า pH อุณหภูมิ และคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสม ซึ่งวิธีนี้สามารถควบคุมสภาวะในการหมัก ส่งผลต่อคุณภาพผลผลิตที่ได้มีความสม่ำเสมอและง่ายต่อการขยายกำลังการผลิต ลดการปนเปื้อน แต่มีต้นทุนการผลิตที่ค่อนข้างสูง

กระบวนการหมักแบบแห้งเป็นการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์บนอาหารแข็ง เช่น กลุ่มธัญพืช เมล็ดข้าว เมล็ดถั่ว หรือรำข้าว ร่วมกับการใช้ความชื้นต่ำ สามารถใช้สารตั้งต้นที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตร การหมักแบบนี้จึงกลายเป็นทางเลือกที่ได้รับความนิยมเนื่องจากกระบวนการไม่ซับซ้อน ประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ผลผลิตที่ได้มีความเข้มข้นระดับสูงและมีความเสถียรค่อนข้างสูง และต้นทุนต่ำ ข้อเสียคือการแยกสารที่ต้องการค่อนข้างยาก อาจมีการปนเปื้อน การตรวจสอบและควบคุมที่กระบวนการหมักยากกว่าการหมักในของเหลว และใช้เวลาในการหมักนาน (Parmar et al., 2019)



ภาพที่ 4.2 การผลิตสารเสริมอาหารสัตว์ผ่านเทคโนโลยีการหมัก

ที่มา: ดัดแปลงจาก Nemes et al. (2022)

กระบวนการผลิตสารเสริมที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

1. การผลิตโปรไบโอติก (Manufacturing probiotics)

จุลินทรีย์ที่ใช้เป็นโปรไบโอติกส่วนใหญ่เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก สามารถแยกได้จากหลายแหล่ง เช่น ทางเดินอาหารสัตว์ ผลิตภัณฑ์นม หรือในดิน กระบวนการผลิตโปรไบโอติกมีความละเอียดอ่อนมาก ต้องใช้อุปกรณ์และความเชี่ยวชาญในการผลิต วิธีการผลิตโปรไบโอติกเชิง

พาณิชนัยที่พบมากที่สุดคือกระบวนการหมัก โพรไบโอติกในรูปแบบที่พบบ่อยที่สุดมักเกิดขึ้นตามธรรมชาติในผลิตภัณฑ์นมหมัก ผู้ผลิตโพรไบโอติกเชิงพาณิชย์หลายรายใช้เทคนิคการตรึง (immobilization techniques) เพื่อให้มีการส่งเซลล์จุลินทรีย์มีชีวิตไปยังลำไส้ได้อย่างสม่ำเสมอ ยืดอายุการมีชีวิตของจุลินทรีย์ และปกป้องโพรไบโอติกในระหว่างการขนส่งทางเดินอาหาร กระบวนการผลิตโพรไบโอติกเกี่ยวข้องกับหลายขั้นตอนสำคัญ เพื่อให้ได้การผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารโพรไบโอติกคุณภาพสูง และมีประสิทธิภาพ

ความเสี่ยงที่ควรคำนึงถึงในการใช้โพรไบโอติกเสริมในอาหารสัตว์ คือ การติดเชื้อในทางเดินอาหารสัตว์ และผู้ที่สัมผัสกับสัตว์ การปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์สัตว์ไปสู่ผู้บริโภค การปลดปล่อยจุลินทรีย์ก่อโรคไปสู่สิ่งแวดล้อม และการถ่ายโอนยีนที่ต้านทานยาปฏิชีวนะไปยังจุลินทรีย์ก่อโรค ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกต้องระบุสายพันธุ์จุลินทรีย์

ขั้นตอนสำคัญในกระบวนการผลิตโพรไบโอติกเชิงพาณิชย์แสดงในภาพที่ 4.3 ประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1: การเลือกสายพันธุ์ (strain selection)

ขั้นตอนที่สำคัญที่สุดคือการคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ ผู้ผลิตต้องกำหนดเป้าหมายของการนำไปใช้ประโยชน์ ไม่ว่าจะเป็นเพื่อช่วยในการย่อยอาหาร การปรับปรุงสุขภาพของลำไส้ การเพิ่มภูมิคุ้มกัน หรือการตอบสนองต่อความเครียด จุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์มีลักษณะและข้อดีแตกต่างกัน บางชนิดส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกัน ในขณะที่บางชนิดช่วยในการย่อย มีการศึกษาลักษณะเฉพาะของแต่ละสายพันธุ์ เช่น สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต ความทนทานในทางเดินอาหาร หรือความทนทานจากความร้อน สายพันธุ์เหล่านี้ต้องได้รับการวิจัยและพิสูจน์แล้วว่ามีความปลอดภัยต่อสุขภาพที่เฉพาะเจาะจง สายพันธุ์ที่พบมากที่สุด ได้แก่ *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* และ *Saccharomyces boulardii* สายพันธุ์ที่เลือกจะได้รับการทดสอบความบริสุทธิ์เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีสิ่งปนเปื้อนอยู่

ขั้นตอนที่ 2: การเตรียมการเพาะเลี้ยง (culture preparation)

การศึกษากระบวนการทางชีวภาพของจุลินทรีย์ในห้องปฏิบัติการ เช่น การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมและสภาวะที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ องค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความต้องการสารอาหารของสายพันธุ์ ส่วนประกอบทั่วไปของอาหารเลี้ยงเชื้อ ได้แก่ น้ำตาล กรดอะมิโน วิตามิน แร่ธาตุ และปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการ

เจริญเติบโต และความสามารถมีชีวิตอยู่ได้ (viability) การผลิตขนาดใหญ่จะนำข้อมูลเหล่านี้ไปกำหนดส่วนผสมของอาหาร และเลือกใช้อุปกรณ์และเครื่องมืออย่างเหมาะสม

ขั้นตอนที่ 3: การหมัก (fermentation)

การหมักคือการจัดการสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในการผลิตเชิงพาณิชย์ใช้การหมักในอาหารเหลว (SMF) โดยใช้ถังหมัก (fermenter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการหมักที่มีการจัดและควบคุมสภาวะต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ค่า pH อัตราการกวน อากาศ และสารอาหารให้เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ต้องการจากการหมัก เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมจุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์มาย่อยอาหาร เพื่อนำสารอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวน อีกทั้งยังมีสารเมตาโบไลต์ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการหมักสารตั้งต้นของจุลินทรีย์ ระยะเวลาการหมักอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ สายพันธุ์ของจุลินทรีย์ ประเภทของสารตั้งต้นหรืออาหารเลี้ยงเชื้อ สภาวะการหมัก และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการ กระบวนการหมักอาจมีระยะเวลาดังแต่ไม่กี่ชั่วโมงไปจนถึงหลายวันหรือหลายสัปดาห์

ขั้นตอนที่ 4: การเก็บเกี่ยว (harvesting)

เมื่อการหมักเสร็จสมบูรณ์ทำการแยกเซลล์โพรไบโอติกออกจากสารเมตาโบไลต์และอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งสามารถทำได้โดยการปั่นเหวี่ยง การกรอง หรือเทคนิคการแยกอื่นๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของจุลินทรีย์และกระบวนการหมัก เซลล์มีความเข้มข้นเมื่อถูกแยกเซลล์ออกจากตัวกลาง เมื่อแยกเซลล์โพรไบโอติกแล้วต้องระมัดระวังการสูญเสีย เนื่องจากความคงตัวของโพรไบโอติกค่อนข้างต่ำ

ขั้นตอนที่ 5: การทำแห้ง (drying)

กระบวนการทำให้แห้งของโพรไบโอติกมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษาความมีชีวิตและความเสถียร เนื่องจากจุลินทรีย์โพรไบโอติกไวต่อความชื้นและอุณหภูมิสูง การอบแห้งจะระเหยน้ำออกจากเซลล์โพรไบโอติก ชะงักการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา ก่อนการทำแห้งต้องมีการเติมสารเพิ่มความคงตัวของเซลล์ เช่น ไครโอโพรเทกแทนต์ (cryoprotectant) เพื่อปกป้องเซลล์จากการบาดเจ็บระหว่างการแช่แข็ง ไครโอโพรเทกแทนต์

ที่ใช้กันทั่วไปคือสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตและเปปไทด์ การทำแห้งมีหลายวิธีที่ใช้กันทั่วไป เช่น การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying or lyophilization) และการอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) หลังจากกระบวนการเหล่านี้โปรไบโอติกจะถูกเปลี่ยนเป็นผงแห้ง ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีการห่อหุ้มสาร (microencapsulation) มาใช้เพื่อเพิ่มความเสถียรและเพื่อให้แน่ใจว่าโปรไบโอติกสามารถรอดพ้นจากสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดในกระเพาะอาหารได้

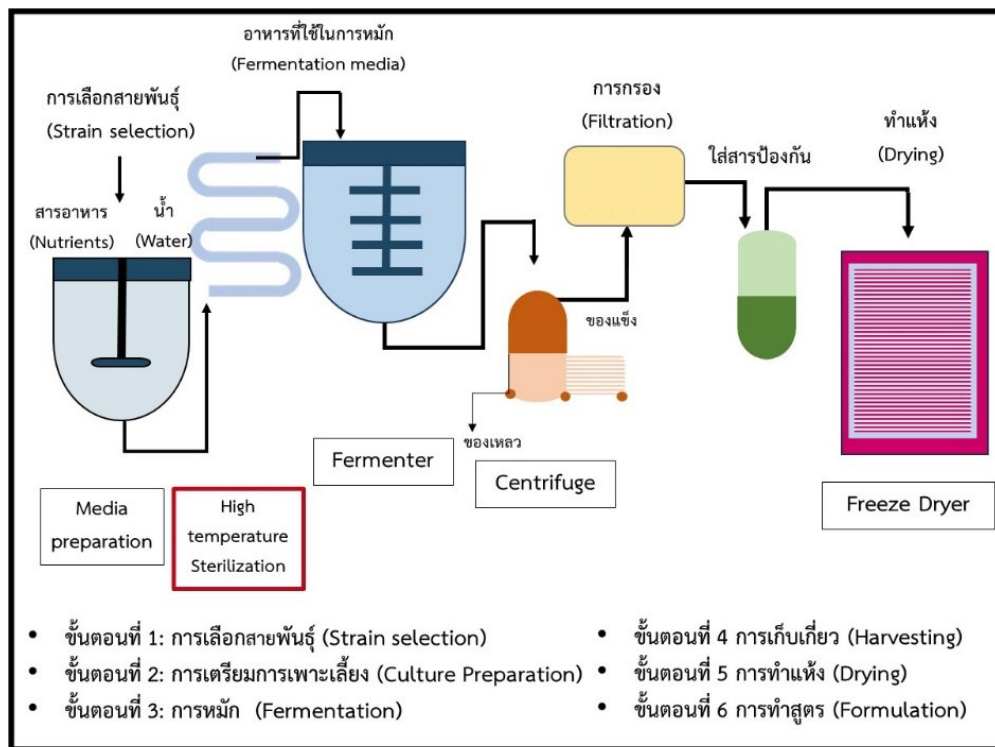
ขั้นตอนที่ 6: การผสมหรือการทำสูตร (formulation)

ผลิตภัณฑ์โปรไบโอติกส่วนมากจะอยู่ในรูปแบบการใช้โปรไบโอติกหลายๆ สายพันธุ์ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการผสมผงโปรไบโอติกหลายๆ ชนิดรวมกันสารอื่นๆ เช่น พรไบโอติกในกรณีการผลิตซินไบโอติก สารปรุงแต่งรส สี และสารยึดเกาะ เพื่อให้กระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ

ขั้นตอนที่ 7: การควบคุมคุณภาพ (quality control)

ในระหว่างกระบวนการผลิตจะมีการทดสอบความมีชีวิตของสายพันธุ์โปรไบโอติก เพื่อให้แน่ใจว่าโปรไบโอติกยังมีชีวิตในปริมาณที่ต้องการ จากนั้นทำการทดสอบความปลอดภัยและความบริสุทธิ์ เช่น แบคทีเรียที่เป็นอันตรายหรือโลหะหนัก และเพื่อตรวจสอบว่าตรงตามมาตรฐานของหน่วยงานที่กำกับดูแล และทดสอบอายุการเก็บรักษา เพื่อให้แน่ใจว่าโปรไบโอติกยังคงมีชีวิตอยู่ตลอดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์โปรไบโอติกต้องปฏิบัติตามข้อบังคับของประเทศที่จำหน่าย ซึ่งรวมถึงการจัดทำหลักฐานแสดงความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และคุณภาพต่อหน่วยงานกำกับดูแล



ภาพที่ 4.3 กระบวนการการผลิตโพรไบโอติก (Manufacturing probiotics)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Fenster *et al.* (2019)

2. การผลิตพรีไบโอติก (production of prebiotic)

กระบวนการผลิตพรีไบโอติกมีขั้นตอนที่ไม่ค่อยซับซ้อน พรีไบโอติกเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่สามารถย่อยโดยเอนไซม์ในทางเดินอาหาร พบอยู่ในโครงสร้างของพืชหลากหลายชนิด ซึ่งทำหน้าที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์ในลำไส้ที่เป็นประโยชน์ ส่งเสริมการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ การผลิตส่วนผสมหรือผลิตภัณฑ์พรีไบโอติกคุณภาพสูง มีกระบวนการผลิตเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างตามวิธีที่แตกต่างกันไปเช่น การสกัด และการย่อย ปัจจัยที่ควรพิจารณาก่อนนำวัตถุดิบที่ต้องการ มาผลิตเป็นพรีไบโอติก ได้แก่ โครงสร้างต้องทนทานต่อเอนไซม์ในทางเดินอาหาร ส่วนต้น สามารถเป็นสารตั้งต้นของกระบวนการหมัก ผลผลิตจากการหมักมีประโยชน์ต่อโฮสต์ กระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ และมีความคงตัวจากความร้อนในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์

กระบวนการผลิตพรีไบโอติกประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1: การเลือกวัตถุดิบ (raw material selection)

พรีไบโอติกสามารถได้มาจากวัตถุดิบหลายชนิดส่วนใหญ่อยู่ในโครงสร้างของพืช ธัญพืช และแหล่งธรรมชาติอื่นๆ เช่น โคตินในเปลือกกุ้ง พรีไบโอติกที่นิยมใช้ ได้แก่ อินนูลิน ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ กาแลคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ และคาร์โบไฮเดรตที่ไม่สามารถย่อย ในปัจจุบันมีการนำวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมเกษตร (agro-industrial wastes) มาปรับปรุงโครงสร้างและพัฒนาเป็นพรีไบโอติก แต่อย่างไรก็ตามวัตถุดิบควรมีคุณภาพสูง ปราศจากสารปนเปื้อน และไม่เป็นพิษต่อทางเดินอาหารสัตว์

ขั้นตอนที่ 2: การเตรียมและการสกัด (preparation and extraction)

การเปลี่ยนแปลงโพลีแซ็กคาไรด์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนให้เป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ ขั้นตอนการแปรรูปขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัตถุดิบเริ่มต้น และชนิดโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ต้องการ ทำได้โดยการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ (enzymatic hydrolysis) การไฮโดรไลซิสทางเคมี (chemical hydrolysis) หรือเทคนิคการแยกทางกายภาพ (physical separation techniques) เช่น การบด การโม่ หรือการบีบ และการสกัดด้วยน้ำร้อน ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้มากกว่า 1 วิธี (co-modification) เพื่อปลดปล่อยโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่มีประสิทธิภาพ

ขั้นตอนที่ 3: การทำให้บริสุทธิ์ (purification)

การทำให้บริสุทธิ์ขั้นตอนนี้ทำให้สารประกอบพรีไบโอติกที่สกัดแล้วบริสุทธิ์ โดยการขจัดสิ่งเจือปน สารไม่พึงประสงค์ และวัสดุตกค้าง วิธีการทำให้บริสุทธิ์อาจรวมถึงการกรอง โครมาโตกราฟี การตกตะกอน หรือการตกผลึก เพื่อให้ได้ส่วนผสมพรีไบโอติกที่มีความบริสุทธิ์และความเข้มข้นสูง จากนั้นเพิ่มความเข้มข้นพรีไบโอติกบริสุทธิ์ด้วยการทำแห้ง เช่น การระเหย การทำแห้งอาจถูกนำมาใช้เพื่อกำจัดน้ำส่วนเกินออกและให้ได้ความเข้มข้นพรีไบโอติกที่ต้องการ และยังคงคุณภาพและคุณสมบัติการทำงาน

ขั้นตอนที่ 4: การทำแห้ง (drying)

การทำแห้งจะคล้ายกับการทำแห้งของพรีไบโอติก ได้แก่ การทำแห้งแบบพ่นฝอย สารละลายพรีไบโอติกที่เข้มข้นจะถูกทำให้แห้งแบบพ่นฝอย เพื่อให้ได้ผงละเอียด กระบวนการนี้

เกี่ยวข้องกับการพ่นของเหลวเข้าไปในกระแสมร่อน ซึ่งจะทำให้ความชื้นระเหยออกอย่างรวดเร็วและเหลือผงพรีไบโอติก และการทำแห้งแบบแช่แข็ง เพื่อคายน้ำออกจากสารละลายพรีไบโอติก ในขณะที่ยังคงรักษากิจกรรมและโครงสร้างของพรีไบโอติก

ขั้นตอนที่ 5: การลดขนาด และการทำสูตร (particle size reduction)

การลดขนาดเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากขนาดมีผลต่อการการนำไปใช้ประโยชน์ ขั้นตอนการลดขนาดขึ้นอยู่กับข้อกำหนดในการใช้งานและการกำหนดสูตร การลดขนาดช่วยให้การกระจายขนาดอนุภาคที่ต้องการ และปรับปรุงคุณสมบัติการไหลของอนุภาค การกำหนดสูตรมีการกำหนดสูตรเช่นเดียวกับการผลิตพรีไบโอติก จะเป็นการผสมผงพรีไบโอติกร่วมกันสารอื่นๆ ดังนั้นควรพิจารณาขนาด ความคงตัว ความเข้ากันได้กับส่วนผสมอื่นๆ ปฏิกริยาที่จะเกิดขึ้นจากการรวมตัว และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ขั้นตอนที่ 6: การควบคุมคุณภาพ (quality control)

พรีไบโอติกจะถูกทดสอบความบริสุทธิ์ เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีสิ่งปนเปื้อนหรือผลพลอยได้ที่ไม่พึงประสงค์ การตรวจสอบความเข้มข้นและกิจกรรมของพรีไบโอติก กิจกรรมของพรีไบโอติกคือการวัดปริมาณจุลินทรีย์เมื่อใช้พรีไบโอติกที่ต้องการทดสอบเป็นแหล่งอาหาร ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติตามที่กำหนด และการทดสอบความคงตัว เช่น คุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่นรสชาติ หรือเนื้อสัมผัส คุณภาพทางเคมีตลอดอายุการเก็บรักษา เช่น pH water activity (a_w) การออกซิเดชันของลิพิด คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ เพื่อให้แน่ใจว่าพรีไบโอติกยังคงมีประสิทธิภาพ

3. การผลิตเอนไซม์ (production of enzymes)

เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ (biological catalyst) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ การผลิตเอนไซม์เชิงพาณิชย์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและจำนวนผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเพื่อตอบสนองต่อตลาดที่ขยายตัว การผลิตเอนไซม์ในระดับอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในอาหารสัตว์มีขั้นตอนหลายขั้น ขั้นตอนแรกในการผลิตเอนไซม์คือการเลือกแหล่งที่มาของเอนไซม์ เอนไซม์สามารถได้มาจากจุลินทรีย์โดยผ่านกระบวนการหมัก เอนไซม์ที่ผลิตจากพืชและสัตว์ อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์สามารถผลิตเอนไซม์ได้ผลผลิตที่สูง รวดเร็ว และมีความ

หลากหลายของเอนไซม์มากกว่าแหล่งอื่น การใช้จุลินทรีย์จึงเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ (ภาพที่ 4.4)

กระบวนการผลิตเอนไซม์ประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1: การคัดเลือกจุลินทรีย์ (microorganism selection)

ขั้นตอนแรกคือการระบุเอนไซม์ที่ต้องการ เช่น ไฟเตส โปรตีเอส เซลลูเลส และอะไมเลส และการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่เหมาะสมที่สามารถผลิตเอนไซม์ชนิดที่ต้องการได้ในปริมาณมาก จุลินทรีย์ที่ใช้กันทั่วไปอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ได้แก่ แบคทีเรีย (*Bacillus* spp.) เชื้อรา (*Aspergillus* spp.) และยีสต์ จุลินทรีย์เหล่านี้มักได้รับการดัดแปลงพันธุกรรม เพื่อเพิ่มความสามารถในผลิตเอนไซม์ และเพิ่มความเสถียร

ขั้นตอนที่ 2: การหมัก (fermentation)

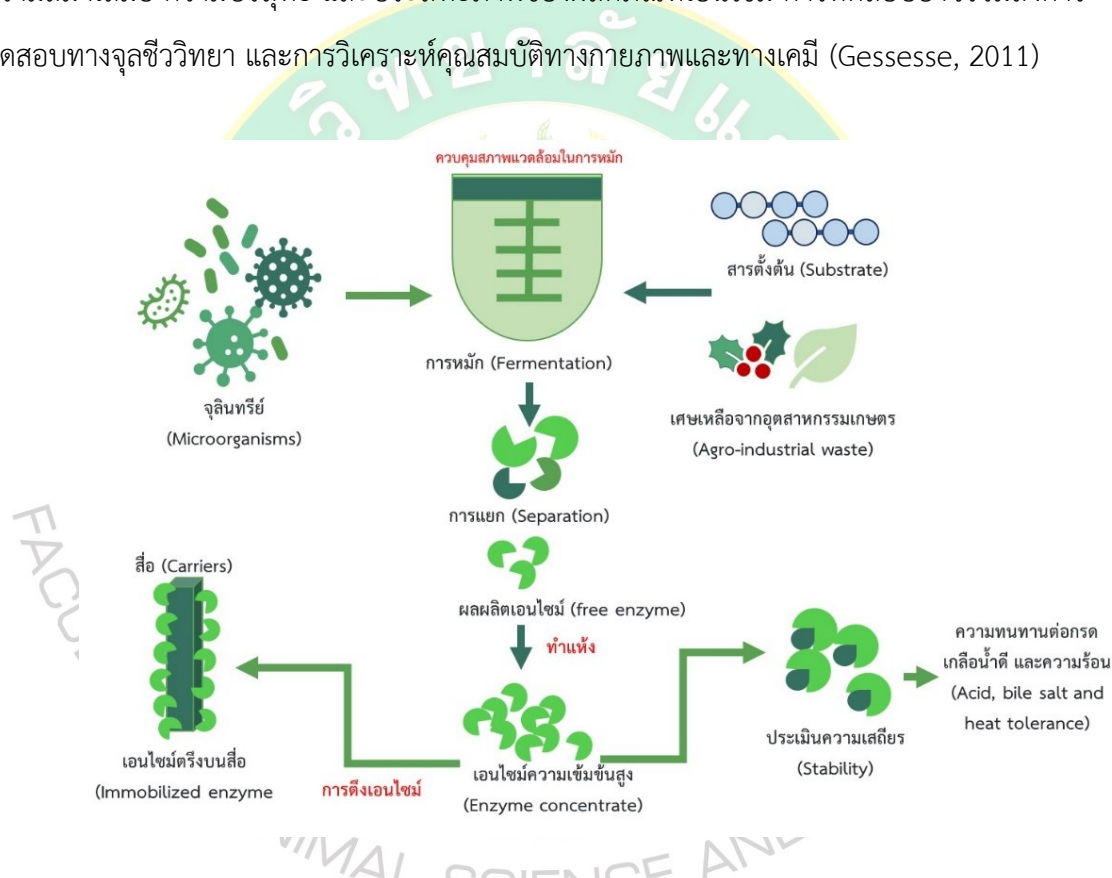
สายพันธุ์จุลินทรีย์ที่ถูกคัดเลือกจะถูกเลี้ยงในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมเพื่อผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง (inoculum) และถูกใช้ในการเริ่มกระบวนการหมักในขนาดใหญ่ การหมักขนาดใหญ่ภายใต้สภาวะที่ได้รับการควบคุม การหมักทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจุลินทรีย์ในการผลิตเอนไซม์ที่ต้องการ กระบวนการหมักอาจใช้เวลาหลายวันหรือหลายสัปดาห์ ขึ้นอยู่กับเอนไซม์และจุลินทรีย์ที่ใช้ การผลิตเอนไซม์สามารถใช้วิธีการหมักในอาหารเหลวและการหมักแบบแห้ง ในเชิงพาณิชย์มักใช้วิธีการหมักในอาหารเหลว เนื่องจากเป็นการควบคุมทั้งปริมาณและคุณภาพของเอนไซม์

ขั้นตอนที่ 3: การสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ (extraction and purification)

การสกัดเอนไซม์ออกจากจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิต สารตั้งต้น และทำให้บริสุทธิ์โดยใช้เทคนิคต่างๆ เช่น การกรอง การหมุนเหวี่ยง และการตกตะกอน เป็นการกำจัดสิ่งเจือปนและสารที่ไม่พึงประสงค์ ความบริสุทธิ์เป็นปัจจัยสำคัญของกิจกรรมของเอนไซม์ ในขั้นตอนนี้มักมีการทดสอบความทนทานของเอนไซม์ต่อสภาวะต่างๆ เช่น ความร้อน ความเป็นกรด ด่าง และความสามารถในการย่อย เป็นการเพิ่มความเสถียร และเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ของเอนไซม์

ขั้นตอนที่ 4: การกำหนดสูตรและความคงตัว (formulation and stabilization)

หลังจากได้เอนไซม์ที่ต้องการแล้ว เอนไซม์จะถูกนำมาผสมเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียรซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปผสมในอาหารสัตว์ เอนไซม์จะถูกนำมาผสมกับตัวพาหรือสารทำให้คงตัว เช่น สารกันบูด และการเคลือบป้องกัน เพื่อปรับปรุงอายุการเก็บรักษาและประสิทธิภาพการทำงาน เทคนิคการทำให้เสถียร เช่น การทำแห้งแบบเยือกแข็งหรือการทำแห้งแบบพ่นฝอยมักใช้ เพื่อรักษาการทำงานของเอนไซม์ จากนั้นนำมาประเมินกิจกรรมของเอนไซม์ในแต่ละขั้นตอน เพื่อควบคุมความสม่ำเสมอ ความบริสุทธิ์ และประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์เอนไซม์ การทดสอบอาจรวมถึงการทดสอบทางจุลชีววิทยา และการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (Gessesse, 2011)



ภาพที่ 4.4 กระบวนการการผลิตเอนไซม์ (production of enzyme)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Shinkawa and Mitsuzawa (2020)

4. การผลิตสารเสริมไฟโตจีนิก หรือ ไฟโตไบโอติก (production of PEA)

การผลิตสารเสริมกลุ่มไฟโตจีนิกมีการใช้ในรูปแบบของผงอบแห้ง (dried powder form) และสารสกัด (extract form) เช่น น้ำมันหอมระเหย สารเสริมไฟโตจีนิกสามารถได้จากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ดอก ใบ ก้าน และผล องค์ประกอบของสารสำคัญ (active ingredients) หรือสารออก

ฤทธิ์จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ตลอดวงจรชีวิตของพืชแตกต่างกันไปตามส่วนต่างๆ ถึงแม้ว่าจะเป็นพืชสายพันธุ์เดียวกันก็อาจจะพบชนิดสารและปริมาณออกฤทธิ์ที่แตกต่างกัน ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับชนิดสารและปริมาณออกฤทธิ์ ได้แก่ สภาพอากาศ สิ่งแวดล้อม กระบวนการเก็บเกี่ยว และการสกัด วิธีการสกัดถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่กำหนดคุณภาพของสารเสริมไฟโตจีนิก ขั้นตอนการสกัดที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดความเสียหายหรือเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีของสารออกฤทธิ์ในพืช ส่งผลให้สูญเสียฤทธิ์ทางชีวภาพและลักษณะทางธรรมชาติ ในกรณีที่รุนแรงอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น/รสชาติ และความหนืด

การผลิตสารเสริมไฟโตจีนิกมีหลายขั้นตอนภาพรวมของกระบวนการผลิตมีรายละเอียดดังนี้

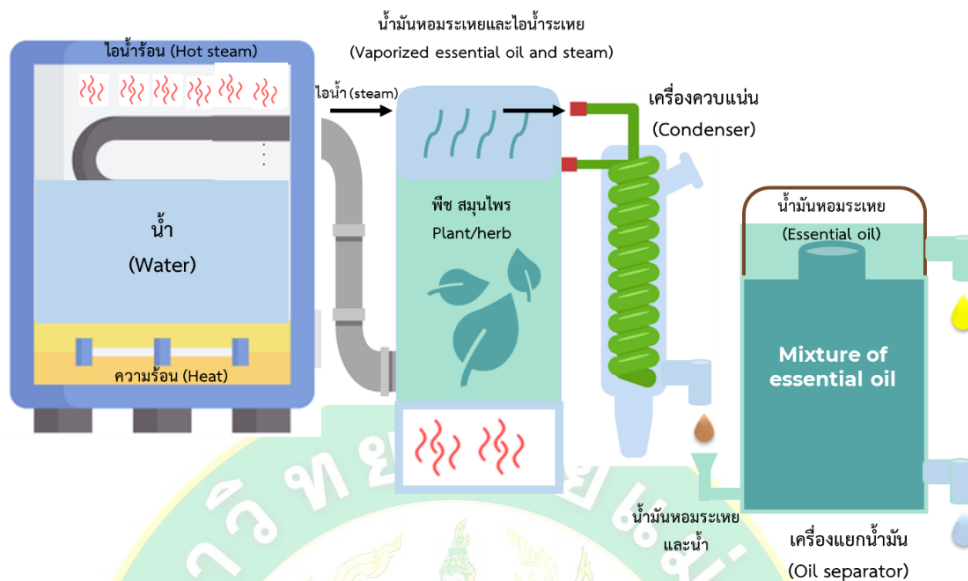
ขั้นตอนที่ 1: การเลือกแหล่งที่มาของพืช (selection of plant source)

การเลือกแหล่งที่มาของพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น กลิ่นที่ต้องการ องค์ประกอบทางเคมี และวัตถุประสงค์ในการใช้ การเลือกควรพิจารณาพืชสมุนไพรที่ให้ปริมาณสารสกัดไฟโตจีนิกสูง และมีคุณสมบัติที่ดี เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ หรือสารต้านเชื้อโรค พืชสมุนไพรที่เลือกใช้ควรมีความสม่ำเสมอ

ขั้นตอนที่ 2: วิธีการสกัด (extraction methods)

สารสกัดไฟโตจีนิกหรือน้ำมันหอมระเหยสามารถสกัดได้จากส่วนต่างๆ ของพืช การเลือกวิธีการสกัดอาจส่งผลต่อคุณภาพและองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย การสกัดน้ำมันหอมระเหยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกลั่นด้วยไอน้ำ การสกัดด้วยตัวทำละลาย การสกัดเย็น และการสกัดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) วิธีการสกัดแต่ละวิธีมีข้อดี และเหมาะสมกับชนิดพืชที่ต่างกัน

การกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation) เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการสกัดและแยกน้ำมันหอมระเหยจากพืช โดยการใช้ไอน้ำทำให้สารสำคัญในพืชระเหยกลายเป็นไอ จากนั้นผ่านกระบวนการควบแน่น โดยเกี่ยวข้องกับการส่งไอน้ำผ่านพืช ซึ่งทำให้สารออกฤทธิ์ระเหยและควบแน่นเป็นของเหลว ความร้อนที่ใช้เป็นสาเหตุหลักของการสลายของโครงสร้างของพืช เป็นผลให้สารประกอบอะโรมาติกหรือน้ำมันหอมระเหยจากพืชถูกปลดปล่อยออกมา อุณหภูมิความร้อนจะต้องเพียงพอที่จะสลายโครงสร้าง แต่อุณหภูมิไม่สูงจนเกินไปจนทำลายคุณสมบัติของสารเสริม (ภาพที่ 4.5)



ภาพที่ 4.5 การสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Tongnuanchan and Benjakul (2014)

การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) วิธีนี้ใช้ตัวทำละลาย เช่น เฮกเซนหรือเอธานอล นำมาใช้ในการละลายสารออกฤทธิ์ออกจากโครงสร้างของพืช จากนั้นแยกตัวทำละลายออกด้วยการระเหยตัวทำละลาย ทำให้สารออกฤทธิ์มีความเข้มข้นสูงขึ้น วิธีนี้ต้องพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความสามารถในการละลาย ความเป็นพิษ ต้นทุน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตัวทำละลายที่เลือกใช้ควรแยกออกจากร้านที่สกัดได้ง่าย

การสกัดเย็น (cold pressing) กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับการบดเมล็ดหรือผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำ (ปกติจะต่ำกว่า 50°C) เพื่อรักษารสชาติ กลิ่น คุณค่าทางโภชนาการ และสารออกฤทธิ์ตามธรรมชาติของพืช สารที่สกัดแล้วจะถูกกรองเพื่อแยกกากหรือสิ่งเจือปน วิธีนี้จะลดการสูญเสียสารออกฤทธิ์จากความร้อน

การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ extraction) วิธีนี้ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ไหลเวียนผ่านโครงสร้างของพืชเพื่อดึงสารออกฤทธิ์ ภายใต้แรงดันสูงและอุณหภูมิต่ำ ได้เป็นสกัดสารออกฤทธิ์โดยไม่ทิ้งตัวทำละลายตกค้าง ทำให้น้ำมันหอมระเหยมีคุณภาพสูง ลดการสูญเสียคุณสมบัติจากความร้อน

ขั้นตอนที่ 3: การแยกและการทำให้บริสุทธิ์

หลังจากการสกัดสารออกฤทธิ์ สารจะถูกแยกออกจากพืชและตัวทำละลายที่เหลืออยู่ และนำไปทำให้บริสุทธิ์เพื่อขจัดสิ่งสกปรก ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการกรอง การปั่นเหวี่ยง หรือเทคนิคการแยกอื่นๆ การทำให้บริสุทธิ์มีผลต่อประสิทธิภาพ และความปลอดภัยของน้ำมันหอมระเหย ชนิด ปริมาณ และคุณสมบัติสารออกฤทธิ์อาจถูกวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้

ขั้นตอนที่ 4: กำหนดปริมาณการใช้และสูตร (dosage and formulation)

การใช้สารสกัดหรือน้ำมันหอมระเหยในอาหารสัตว์ต้องได้รับการควบคุมอย่างระมัดระวัง เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบด้านลบ เช่น ความเป็นพิษต่อทางเดินอาหาร ระดับการให้อาหารแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของน้ำมันหอมระเหย ประเภทของสัตว์ และวัตถุประสงค์ของการเสริม โดยทั่วไปแล้วน้ำมันหอมระเหยจะถูกเติมเข้าไปในอาหารในปริมาณที่น้อยมาก โดยมักจะวัดเป็นหน่วยในล้านส่วน (parts per million; ppm) หรือกรัมต่อตันของอาหาร โดยบรรจุในภาชนะที่เหมาะสม เพื่อป้องกันแสง ความร้อน และจากการย่อยสลายของอากาศ สภาพการเก็บรักษาที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อการรักษาคุณภาพของสารออกฤทธิ์และอายุการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์สารเสริมไฟโตจีนิกมักอยู่ในรูปแบบสารผสมไฟโตจีนิกหลายชนิด (PEA mixture) ดังนั้นควรมีการศึกษาการเสริมฤทธิ์ (synergistic) และการต้านฤทธิ์ (antagonistic) ของสารแต่ละตัว

นอกเหนือจากขั้นตอนการผลิตที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้ สิ่งที่สำคัญในการผลิตสารเสริมอาหารสัตว์เชิงพาณิชย์ คือการสื่อสารข้อมูลผลิตภัณฑ์ไปสู่ผู้ใช้ให้เกิดความรู้ความเข้าใจมากขึ้น ดังนั้นข้อมูลบนฉลากจึงมีบทบาทในการสร้างความเข้าใจ และสร้างความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์ ช่วยให้ผู้บริโภคสามารถตัดสินใจในการซื้อ และการใช้งานผลิตภัณฑ์ได้อย่างมั่นใจและปลอดภัย ข้อมูลบนฉลากควรเป็นไปตามหลักปฏิบัติทางอุตสาหกรรมสำหรับการติดฉลากวัตถุเจือปนอาหารและสารผสมล่วงหน้าโดยมีรายละเอียดดังนี้

ข้อมูลบนฉลาก (label information) ตามหลักปฏิบัติทางอุตสาหกรรมสำหรับการติดฉลากวัตถุเจือปนอาหารและสารผสมล่วงหน้า

ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายจะถูกติดฉลากด้วยรายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติของสารเสริม คำแนะนำในการใช้ และการปฏิบัติตามกฎระเบียบ ผลิตภัณฑ์สารเสริมต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบที่กำหนดโดยหน่วยงานต่างๆ เช่น European Food Safety Authority (EFSA) หรือ U.S. Food and

Drug Administration (FDA) ข้อมูลบนฉลากของสารเสริมในอาหารสัตว์เป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้มั่นใจในการใช้งานที่ถูกต้อง ปลอดภัย และเป็นไปตามกฎระเบียบ ฉลากจะให้ข้อมูลที่สำคัญแก่ผู้ใช้ เช่น เกษตรกร นักโภชนาการ และผู้ผลิตอาหารสัตว์ ต่อไปนี้เป็นส่วนประกอบสำคัญที่มักพบได้บนฉลากของสารเสริมในอาหารสัตว์

1. ชื่อทางการค้า (commercial brand name) ชื่อทางการค้าของวัตถุเจือปนอาหารตามที่ระบุไว้ในกฎระเบียบที่อนุญาตสารเติมแต่งที่ได้รับอนุญาตเฉพาะผู้ถือ
2. กลุ่มสารออกฤทธิ์ (functional group) กลุ่มการทำงานของสารเสริมจะระบุหน้าที่ชื่อของผลิตภัณฑ์ ผู้ประกอบธุรกิจสามารถแสดงกลุ่มของสารเสริมอาหารตั้งแต่หนึ่งกลุ่มขึ้นไป ระบุส่วนประกอบที่ออกฤทธิ์ในสารเสริมอาหารสัตว์ พร้อมทั้งความเข้มข้น ส่วนนี้จะระบุชนิดของสารเสริม เช่น เอนไซม์ วิตามิน แร่ธาตุ โพรไบโอติก และปริมาณที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ บางฉลากจะมีการวิเคราะห์ที่รับประกัน ซึ่งแสดงเปอร์เซ็นต์ขั้นต่ำหรือสูงสุดของสารอาหารหรือส่วนประกอบที่ออกฤทธิ์บางชนิด เพื่อให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์ตรงตามข้อกำหนดที่ระบุไว้
3. ชื่อของสารเสริม (name of the additive) ชื่อที่ใช้บนฉลากต้องเป็นไปตามชื่อที่ใช้ในการอนุญาตสารเสริมตามที่ระบุไว้ในทะเบียนระบุพร้อมด้วยหมายเลขประจำตัว เช่น หมายเลข E ชื่อของสารเสริมต้องมาพร้อมกับความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์ในผลิตภัณฑ์
4. ชื่อและที่อยู่ของผู้ประกอบการ (name and address of the operator) ชื่อหรือชื่อธุรกิจ และที่อยู่หรือสถานที่จดทะเบียนธุรกิจของบุคคลรับผิดชอบ ในการนำสารเสริมอาหารสัตว์ออกสู่ตลาด และจัดทำข้อมูลการติดตาม
5. การอนุมัติหรือหมายเลขการลงทะเบียน (approval or registration number) เลขที่อนุมัติหรือทะเบียนตามที่กำหนด เพื่อขายสารเสริมอาหารสัตว์ บางฉลากอาจมีการยืนยันว่าผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์กร เช่น องค์การอาหารและยา (FDA) ของสหรัฐฯ หรือ European Food Safety Authority (EFSA) หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอื่น
6. คำแนะนำสำหรับการใช้งาน (directions for use) เงื่อนไขการใช้งานที่ระบุไว้ในภาคผนวกของกฎระเบียบที่อนุญาตให้ใช้ผลิตภัณฑ์ ชนิดและประเภทของสัตว์ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้วัตถุเจือปนอาหาร ความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดของสารเสริมในอาหารสัตว์ ตามที่ระบุในการอนุญาตเงื่อนไขเฉพาะสำหรับการใช้งานจะต้องติดไว้บนฉลาก รูปแบบของความเข้มข้นสาร

เสริมบนฉลากผลิตภัณฑ์แสดงบนตารางที่ 4.1 และ 4.2 หากสารเสริมควรใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์เฉพาะอื่นๆ หรือหลีกเลี่ยงการใช้ร่วมกับสารประกอบบางชนิด ข้อมูลนี้ควรถูกระบุเพื่อให้การใช้งานเป็นไปอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

7. หมายเลขประจำตัว การอ้างอิงแบทช์ และวันที่ผลิตน้ำหนัก (identification number, batch reference and date of manufacture, weight) ระบุปริมาณสุทธิหรือน้ำหนักสุทธิ ระบุหมายเลขแบทช์และวันที่ผลิตบนฉลาก สำหรับสารเสริมเฉพาะทางสำหรับสัตว์ สารเสริม coccidiostat และ histomonostat และสารเสริมทางโภชนาการ ให้ระบุบนฉลาก ระบุอายุการเก็บรักษาลักษณะนับจากวันที่ผลิตหรือวันที่ “ควรใช้ก่อน” (best use before) บอกถึงคุณภาพหรือกลิ่นรสที่ดีที่สุด ซึ่งไม่ใช่วันที่ปลอดภัย (safety date) และไม่ได้ระบุว่าอาหารนั้นควรซื้อเมื่อใด อายุการเก็บรักษาจะต้องกำหนดขึ้นบนพื้นฐานของการศึกษาภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่แนะนำ ในกรณีที่วัตถุดิบอาหารมีอายุการเก็บรักษาเกิน 6 เดือน ให้ระบุวันที่ผลิตหรือวันที่ใช้ดีที่สุด สามารถระบุได้ดังนี้: ปี เดือน (yyyy.mm)
8. คำแนะนำด้านความปลอดภัยใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน (Any safety recommendations regarding the use) ข้อมูลบางอย่างที่จำเป็นในการปกป้องผู้ใช้งาน เมื่อต้องมีการสัมผัสกับสารจะต้องระบุไว้บนฉลาก (สัญลักษณ์อันตราย ความเสี่ยง และประโยคความปลอดภัย) ฉลากจะมีคำเตือนเกี่ยวกับความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้สารเสริม เช่น การใช้เกินขนาด ปฏิกริยากับส่วนประกอบอื่น ๆ ของอาหาร หรือผลกระทบต่อสัตว์เฉพาะกลุ่ม อาจมีคำแนะนำเพื่อให้มั่นใจว่ามีการจัดการและเก็บรักษาลักษณะอย่างปลอดภัย หากจำเป็นฉลากอาจแนะนำการใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (personal protective equipment) เช่น ถุงมือหรือหน้ากาก
9. บาร์โค้ด (Bar coding) บาร์โค้ดเหล่านี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดโอกาสในการจัดการข้อผิดพลาด ปรับปรุงการตรวจสอบย้อนกลับของผลิตภัณฑ์ บาร์โค้ดจะต้องมีข้อมูลขั้นต่ำ รหัสสินค้า และหมายเลขล็อต (Rychen et al., 2017)

ตารางที่ 4.1 รูปแบบของความเข้มข้นสารเสริมบนฉลากผลิตภัณฑ์

ประเภทสารเสริม	ความเข้มข้นสารเติมแต่ง
สารเติมแต่งทางเทคโนโลยี	
สารกันบูด	
สารต้านอนุมูลอิสระ	
สารอิมัลซิไฟเออร์	
สารคงตัว	
สารเพิ่มความชื้น	
สารก่อเจล	มิลลิกรัมต่อกรัม หรือเปอร์เซ็นต์ (mg/g or %)
สารยัดเกาะ	ยูนิตของกิจกรรมต่อกรัม (Units of activity/g)
สารสำหรับควบคุมการปนเปื้อนของ	Colony forming unit (CFU)
กัมมันตรังสี	
สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน	
สารควบคุมความเป็นกรด	
สารเติมแต่งสำหรับหญ้าหมัก	
สารทำให้เสียสภาพหรือสารแปลงสภาพ	
สารเติมแต่งทางประสาทสัมผัส	
สารสี (ทั้งหมด)	มิลลิกรัมต่อกรัม หรือเปอร์เซ็นต์
สารปรุงแต่งกลิ่นรส	
สารปรุงแต่งกลิ่นรสไม่อยู่ภายใต้	มิลลิกรัมต่อกรัม หรือเปอร์เซ็นต์ (ไม่บังคับ)
ข้อจำกัดเชิงปริมาณเมื่อใช้ในอาหารสัตว์	
สารปรุงแต่งกลิ่นรสอยู่ภายใต้ข้อจำกัด	มิลลิกรัมต่อกรัม หรือเปอร์เซ็นต์
เชิงปริมาณเมื่อใช้ในอาหารสัตว์	
สารเสริมทางโภชนาการ	
วิตามิน และโปรวิตามิน	มิลลิกรัมต่อกรัม หรือเปอร์เซ็นต์, ไอยูต่อกรัม, เปอร์เซ็นต์
สารประกอบของธาตุรอง	
กรดอะมิโน และเกลือกรดอะมิโน	มิลลิกรัมต่อกรัม หรือเปอร์เซ็นต์ (mg/g or %)
ยูเรียและสารอนุพันธ์	

ที่มา: Rycken *et al.* (2017)

ตารางที่ 4.2 รูปแบบของความเข้มข้นสารเสริม (Format of additive concentration) บนฉลากผลิตภัณฑ์

ประเภทสารเสริม	ความเข้มข้นสารเติมแต่ง
สารเสริมเฉพาะทางสำหรับสัตว์	
สารเสริมความสามารถในการย่อยได้	มิลลิกรัมต่อกรัม หรือเปอร์เซ็นต์ (mg/g or %)
สารเพิ่มความคงตัวจุลินทรีย์ในลำไส้	ยูนิตของกิจกรรมต่อกรัม (Units of activity/g)
สารที่ส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม	Colony forming unit (CFU)
สารเติมแต่งเฉพาะทางสำหรับสัตว์	
อื่นๆ	
เอนไซม์	ยูนิตของกิจกรรมเอนไซม์ต่อกรัม (Units of activity/g)
จุลินทรีย์	Colony forming unit (CFU)
กลุ่มสาร coccidiostat และ histomonostat	มิลลิกรัมต่อกรัม หรือเปอร์เซ็นต์ (mg/g or %)

ที่มา: Rychen *et al.* (2017)

1. ให้นักศึกษาเลือกอธิบายขั้นตอนการผลิตสารเสริมพร้อมการเขียนผังงานการผลิตอย่างละเอียด 1 ชนิด

ตัวอย่างฉลากสารเสริมอาหารสัตว์และสารผสมล่วงหน้า





นวัตกรรมจุลินทรีย์จากธรรมชาติ
Probiotic สำหรับสัตว์ เริ่มต้นสุขภาพสัตว์ที่ดี เริ่มต้น
อาหารปลอดภัยสำหรับคุณ

สารผสมล่วงหน้า (พรีมิกซ์) สำหรับสุกร

- เพิ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ควบคุมและยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค
- เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของเชื้อใยและการดูดซึม
สารอาหาร
- ลดปัญหาการเป็นไข้หลังคลอด เต้านมอักเสบ และมดลูก
อักเสบในแม่สุกร
- ลดปัญหานุสแฉะ และกลิ่นแก๊สแอมโมเนียในนุส
- กระตุ้นการกินอาหารของสุกร

ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัม ประกอบด้วย	
บาซิลลัส ซับทิลิส	2x10 ¹⁰ CFU
บาซิลลัส อะไมโลไลเคอฟาเซียน	1x10 ¹⁰ CFU
บาซิลลัส ไลเคนนิฟอร์มิส	1x10 ¹⁰ CFU
แอ็กคาไลโมเชส เซอร์วิซี	1x10 ¹⁰ CFU
สารปรุงแต่ง อาหารสัตว์	105 g.

สือ เต็มจนครบ 1 กิโลกรัม

เลขทะเบียนอาหารสัตว์ 01 04 63 0363

สรรพคุณ : ใช้เป็นสารเสริมชีวนะสำหรับสุกร

วิธีการใช้ : ผสมในอาหารสุกร

อาหารเลี้ยงราง-สุกรเล็ก	อาหารสุกรรุ่น-ขุน	อาหารแม่สุกรอู้มท้อง	อาหารแม่สุกรเลี้ยงลูก
0.5-1 กิโลกรัม /ตันอาหารสัตว์	0.5-1 กิโลกรัม /ตันอาหารสัตว์	0.5-1 กิโลกรัม /ตันอาหารสัตว์	1 กิโลกรัม /ตันอาหารสัตว์

บริษัท สยาม อะกริ ซัพพลาย จำกัด

386 ถนนศรีนครินทร์ แขวงหนองบอน เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร 10250
โทร. +66 2185 6598-99 แฟกซ์ +66 2059 9802 อีเมล. contact@siamagrisupply.com

f s i

siamagrisupply



2. ให้นักศึกษาอธิบายข้อมูลตัวอย่างบนฉลากสารเสริมอาหารสัตว์และสารผสมล่วงหน้าด้านบน

1. หมายเลข 1 คือ.....

.....

2. หมายเลข 2 คือ.....

.....

3. หมายเลข 3 คือ.....

.....

4. หมายเลข 4 คือ.....

.....

5. หมายเลข 5 คือ.....

.....

6. หมายเลข 6 คือ.....

.....

7. หมายเลข 7 คือ.....

.....

3. จากปฏิบัติทางอุตสาหกรรมสำหรับการติดฉลากสารเสริมและสารผสมล่วงหน้า ข้อมูลใดไม่ปรากฏบนฉลากผลิตภัณฑ์นี้

.....

.....

.....

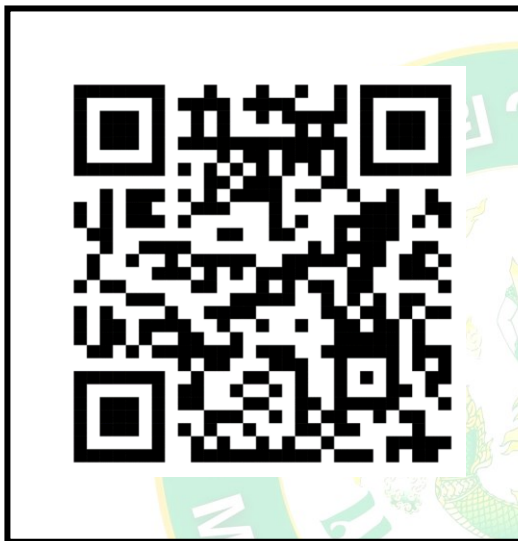
.....

.....

สอบย่อยครั้งที่ 2 (5%)

เรื่องคุณสมบัติสารเสริม

นักศึกษาต้องใช้อีเมลของมหาวิทยาลัยในการเข้าทำข้อสอบ หลังจากการสอบอาจารย์ผู้สอนจะแจ้งคะแนนกับเข้าไปยังอีเมลของผู้สอบ อาจารย์ผู้สอนจะทำการเปิดรับคำตอบในคาบเรียน นักศึกษาสามารถเข้าทำข้อสอบผ่านลิงค์ <https://forms.gle/cmZyYj7dv8WuJcrV6> หรือสแกน QR Code



สแกน QR Code เข้าทำข้อสอบเก็บคะแนน

บทที่ 5 การใช้สารเสริมในอาหารสัตว์

(Use of additives in animal feed)

การผลิตปศุสัตว์มีอาหารสัตว์ถือเป็นต้นทุนหลักในกระบวนการผลิตสัตว์ และการใช้อาหารสัตว์มีจำนวนมากเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามการขยายตัวของธุรกิจ ดังนั้นการใช้สารเสริมอาหารสัตว์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพต่างๆ จึงเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย การใช้สารเสริมในอาหารสัตว์ควรมีการคำนึงถึงปริมาณที่เหมาะสมสำหรับสัตว์แต่ละชนิด และเป้าหมายในการผลิต เพื่อให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการผลผลิตมีคุณภาพดี การเลือกสารเสริมอาหารสัตว์หรือการตัดสินใจเพิ่มสารเสริมในสูตรอาหาร ต้องคำนึงถึงต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสารเสริมเพียงหนึ่งชนิดไม่สามารถแก้ไขปัญหาทั้งระบบการผลิตได้ การเลือกใช้สารเสริมให้บรรลุเป้าหมาย ผู้ผลิตจะต้องตรวจสอบปัญหาและพิจารณาอย่างละเอียดว่าสารเสริมที่ใช้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งสารเสริมบางชนิดมีคุณสมบัติค่อนข้างกว้าง ทั้งทางตรงและทางอ้อม หากเลือกใช้ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ สารเสริมอาจจะแสดงผลได้ไม่ชัดเจนเท่าที่ควร การใช้สารเสริมในอาหารสัตว์ควรมีการคำนึงถึงข้อกำหนดและมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์กรหรือหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านการผลิตสัตว์ เช่น องค์กรที่อนุญาตเกี่ยวกับอาหารสัตว์ มาตรฐานการผลิตสัตว์ หรือกฎระเบียบด้านอาหารสัตว์ของแต่ละประเทศ การตรวจสอบและประเมินความปลอดภัยของสารเสริมก่อนการใช้งาน เพื่อให้มั่นใจว่าการใช้สารเสริมนั้นไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์และผู้บริโภค

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้สารเสริมในอาหารสัตว์อย่างมีประสิทธิภาพ

1. ความเข้มข้นและคุณภาพของสารเสริมมีผลต่อประสิทธิภาพของการใช้งาน การเลือกใช้สารเสริมที่มีคุณภาพดี มาจากแหล่งผลิตที่น่าเชื่อถือผ่านการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐาน และเข้มข้นที่เหมาะสมที่ผ่านการศึกษาทดลองในตัวสัตว์ และจุดประสงค์ในการใช้งานที่ชัดเจน ช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด
2. ปริมาณและสัดส่วนที่ถูกต้อง การให้สารเสริมในปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับความต้องการ เช่น ปริมาณและสัดส่วนของวิตามิน กรดอะมิโน และแร่ธาตุที่เหมาะสมตามความต้องการในแต่ละช่วงอายุ ช่วงการให้ผลผลิต และสุขภาพของสัตว์

3. สูตรอาหาร องค์ประกอบของอาหาร และการผสมเข้ากับอาหาร สารเสริมควรผสมเข้ากับอาหารในสูตรอย่างสม่ำเสมอ เป็นเนื้อเดียวกัน ลดการสูญเสียระหว่างการผลิตอาหาร ลดความแปรปรวนในปริมาณการกินอาหาร และประสิทธิภาพของสัตว์
4. ความเข้าใจเกี่ยวกับความต้องการของสัตว์แต่ละชนิด โภชนะในสูตรอาหารการจัดการอาหาร และเข้าใจความสัมพันธ์และหน้าที่ของโภชนะกับการทำงานร่วมกันกับการใช้สารเสริม
5. การจัดการสุขภาพสัตว์ การควบคุมป้องกันโรค และสุขภาพของสัตว์เป็นพื้นฐานสำคัญในการเลือกใช้สารเสริมที่เหมาะสม สัตว์ควรได้รับน้ำและอาหารอย่างเพียงพอ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้สารเสริม (Rychen *et al.*, 2018)

การใช้สารเสริมในอาหารสัตว์ปีก

ในการผลิตสัตว์ปีกสารเสริมมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมสุขภาพ ปรับปรุงอัตราการเติบโต เพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร และปรับปรุงคุณภาพผลผลิต สารเสริมที่นิยมใช้ในปัจจุบันมุ่งเน้นความสามารถในการปรับปรุงสุขภาพของลำไส้ (gut health) เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์จากโภชนะ เพิ่มการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน และส่งเสริมประสิทธิภาพโดยรวมในการผลิตสัตว์ปีก การผลิตสัตว์ปีกคาดว่าจะมีส่วนแบ่งการตลาดสารเสริมที่ใหญ่ที่สุด เมื่อเทียบกับการผลิตปศุสัตว์ชนิดอื่น เนื่องจากความต้องการผลิตสัตว์ปีกทั่วโลก เช่น เนื้อไก่และไข่ไก่ จึงมีการหันมาใช้สารเสริมมากขึ้น อีกทั้งการเลี้ยงสัตว์ปีกมีอัตราการหมุนเวียนที่รวดเร็วเหมาะสมที่จะได้รับประโยชน์จากการใช้สารเสริมสามารถให้ผลลัพธ์ได้อย่างรวดเร็วในแง่ของการเพิ่มน้ำหนัก การป้องกันโรค และประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหาร ดังนั้นอุตสาหกรรมสัตว์ปีกกลายเป็นตัวขับเคลื่อนหลักสำหรับตลาดสารเสริมอาหารสัตว์ โดยเฉพาะไก่เนื้อที่มีวงจรการผลิตสั้นกว่าเมื่อเทียบกับสัตว์ชนิดอื่นๆ

วัตถุประสงค์ในการใช้สารเสริมในอาหารสัตว์ปีก

1. การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนา (nutritional enhancement) มีการเติมสารเสริมกลุ่มเสริมทางโภชนาการ เพื่อปรับสมดุลของโภชนาในสูตรอาหาร ให้สัตว์ได้รับโภชนาตามความต้องการ เช่น กรดอะมิโน วิตามิน แร่ธาตุ และกรดไขมัน
2. การส่งเสริมการเจริญเติบโต (growth promoters) มีการเติมสารเสริมทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะในการเร่งการเจริญเติบโต เช่น โพรไบโอติก พรีไบโอติก และเอนไซม์ เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและสุขภาพของทางเดินอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ
3. การป้องกันและควบคุมโรค (disease prevention and control) เช่น ยาต้านบิด (เมื่อได้รับอนุญาต) โพรไบโอติก พรีไบโอติก และกรดอินทรีย์ ช่วยควบคุมแบคทีเรียก่อโรคในลำไส้ ลดความเสี่ยงต่อโรค และส่งเสริมสุขภาพโดยรวม
4. การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหาร (improved feed conversion efficiency) สารเสริมเฉพาะทางสำหรับสัตว์ที่ส่งเสริมการย่อยอาหาร เช่น เอนไซม์ช่วยย่อยและการดูดซึมสารอาหารได้ดีขึ้น ดังนั้นจึงมีผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) และลดต้นทุนอาหารสัตว์
5. การลดความเครียด (stress reduction) ในช่วงที่เกิดความเครียด เช่น การขนส่ง ความเครียดจากความร้อน หรือโรคต่างๆ สารเสริมกลุ่มวิตามิน อีเล็กโทรไลต์ โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) และสารกระตุ้นภูมิคุ้มกัน เพื่อเพิ่มสุขภาพและความสามารถในการฟื้นตัว
6. ปรับปรุงคุณภาพไข่ (enhanced egg quality) ในช่วงที่อัตราการให้ผลผลิตไข่ลดลง คุณภาพลดลง อาจใช้สารเสริมที่สามารถปรับปรุงคุณภาพเปลือกไข่ สีของไข่แดง และประสิทธิภาพการผลิตไข่โดยรวม เช่น แคลเซียม วิตามินดี กรดไขมัน หรือสารเสริมที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ สารสีตามธรรมชาติเพื่อเพิ่มสีส้มของผลิตภัณฑ์จากสัตว์ปีก เช่น ไข่แดงและไข่แดง
7. การจัดการการปนเปื้อนของสารพิษจากเชื้อรา (management of mycotoxin contamination) สารพิษจากเชื้อราเป็นสารพิษที่ผลิตโดยเชื้อราที่สามารถปนเปื้อนส่วนผสม

ของอาหารสัตว์ได้ สามารถเติมสารดูดซับและสารยึดเกาะลงในอาหารสัตว์ปึกเพื่อลดผลกระทบที่เป็นอันตรายจากสารพิษจากเชื้อรา

ตัวอย่างการใช้สารเสริมในอาหารสัตว์ปึก

1. การใช้ซีลีเนียมในรูปของซีลีโนเมทไธโอนีน และซีลีเนียมยีสต์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพเนื้อและไข่ ซึ่งซีลีเนียมในรูปแบบนี้ สัตว์สามารถดูดซึมได้สูง สามารถส่งผ่านไปยังไข่ไก่ได้สูง นอกเหนือจากนี้ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพเนื้อไก่ โดยการลดการสูญเสีย (drip loss)

2. การใช้กระเทียมผงในระดับ 0.01% ทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะเพื่อการเร่งการเจริญเติบโต เพื่อเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร พบว่ากระเทียมผงมีคุณสมบัติในการกระตุ้นการกินอาหาร และสารสำคัญในกระเทียมยังสามารถช่วยลดคอเลสเตอรอลในเนื้อไก่ ในขณะที่วิตามินที่สำคัญในกระเทียมสามารถลดความเครียดเนื่องจากความร้อนในไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบปล่อย เนื่องจากมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

3. การเสริมกรดอะมิโนเพื่อลดการสร้างแอมโมเนียและกลิ่น โดยการลดโปรตีนในอาหาร เพื่อลดการขับออกของไนโตรเจน และลดการสร้างก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งก๊าซแอมโมเนียมีผลต่อสมรรถนะการผลิตและสุขภาพสัตว์ ในบรรยากาศที่มีก๊าซแอมโมเนียสูงก่อการระคายเคืองตาและระบบทางเดินหายใจของคนทำงานในพื้นที่ ความต้านทานของโรคในสัตว์ลดลง ลดอัตราการผลิตไข่ นอกเหนือจากนี้สารเสริมกลุ่มที่มีคุณสมบัติช่วยย่อยอาหารยังสามารถลดการขับไนโตรเจน

การใช้สารเสริมในอาหารสัตว์สุกร

การใช้สารเสริมในอาหารสัตว์สุกรมีวัตถุประสงค์คล้ายกับการใช้สารเสริมในสัตว์ปึกที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้ แต่มีประเด็นที่สำคัญเพิ่มเติม เช่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต สุขภาพทั่วไปของสุกร ความสามารถในการต้านโรค หรือเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น เนื้อสารเสริมหลายชนิดมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารสุกร (กรดอินทรีย์ น้ำมันหอมระเหย โพรไบโอติก ยีสต์ Cu และ Zn) ยกตัวอย่าง เช่น การพัฒนานวัตกรรมสารเสริมในอาหารเพื่อปรับปรุงคุณภาพเนื้อสุกร โดยการพัฒนาสารเสริมอินทรีย์ควบคู่กับการประยุกต์องค์ความรู้ด้านสรีรวิทยาของการทำงานสารเสริมให้เหมาะสมกับการสร้างกล้ามเนื้อ และ/หรือ ไขมันของสุกรขุนในระยะท้าย โดยการเพิ่มการสร้างกล้ามเนื้อเป็นการเตรียมสุกรรุ่น 40-70 กิโลกรัม ให้มีการสร้างกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นในช่วงการขุนระยะท้าย 70-110 กิโลกรัม อัตราการสร้างกล้ามเนื้อจะลดลง แต่อัตรา

การสร้างไขมันรอบกล้ามเนื้อหรือเนื้อเยื่อไขมันจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จึงมีการใช้สารเสริมที่เปลี่ยนแปลงเมตาบอลิซึมของไขมันเพื่อปรับให้มีการลดลงของไขมันในระดับที่เหมาะสมไม่ให้มากหรือน้อยเกินไป สาร 3 ชนิดที่มีผล ได้แก่ แอลคาร์นิทีน (L-carnitine) บีเทน (betaine) และสเตอรอลจากพืช ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพซากของสุกรขุนโดยใช้สารอาหารนี้เป็นการแก้ไขปัญหาของภาคอุตสาหกรรมให้สามารถผลิตเนื้อสุกรคุณภาพได้โดยไม่ต้องใช้สารเสริมในกลุ่มที่ถูกควบคุมจากกรมปศุสัตว์ เพื่อประโยชน์ของผู้บริโภค เกษตรกร และภาพรวมของการผลิตสุกรไทยให้ได้ตามมาตรฐานโลก สามารถตอบโจทย์การผลิตและการตลาดให้แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงสุกร (กฤษ และกิตติ, 2564)

นอกเหนือจากนี้การใช้สารสีตามธรรมชาติ สีสังเคราะห์หรือสารสกัดจากพืช เพื่อเพิ่มสีของผลิตภัณฑ์เนื้อสุกร เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากสารเร่งเนื้อแดงกลุ่มเบต้าอะโกนิสต์ (beta agonists) ถูกห้ามใช้ผสมในอาหารสัตว์ตาม พ.ร.บ.ควบคุมอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558 และ การใช้สารเสริมเพื่อลดกลิ่น (odor reduction) เช่น เอนไซม์ช่วยเพิ่มการย่อยอาหาร ทำให้ลดการขับการปล่อยก๊าซแอมโมเนีย ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสส่วนเกินในมูล ลดกลิ่นมูลสุกร ปรับปรุงความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม และบรรเทากลิ่นรบกวนสู่ชุมชนจากการเลี้ยงสุกร

การใช้สารเสริมในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

สัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น วัว แกะแพะ มีระบบย่อยอาหารที่เป็นเอกลักษณ์ซึ่งอาศัยการหมักของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเพื่อย่อยเยื่อใย การจัดการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ผู้เลี้ยงจะต้องมีความรู้ความเข้าใจเรื่องระบบการย่อยและการดูดซึมอาหารของสัตว์ การใช้สารเสริมเป็นทางเลือกสำหรับปรับเปลี่ยนจลนพลศาสตร์การย่อยอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตดีขึ้น

วัตถุประสงค์ในการใช้สารเสริมในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

1. สุขภาพและการทำงานของกระเพาะรูเมน (rumen health and function) สารเสริมในกลุ่มโอโอโนฟอร์ บัฟเฟอร์ และผลิตภัณฑ์ยีสต์ถูกนำมาใช้เพื่อส่งเสริมสภาพแวดล้อมในกระเพาะรูเมน ปรับปรุงการย่อยเยื่อใยและรักษาระดับ pH ที่เหมาะสม ซึ่งจำเป็นสำหรับการหมักที่มีประสิทธิภาพ

2. การปรับปรุงการใช้ประโยชน์ของโภชนา (nutrient utilization improvement) เอนไซม์ โปรไบโอติก เพิ่มการย่อยและการใช้ประโยชน์ของสารอาหาร โดยเฉพาะเยื่อใยและยูเรีย

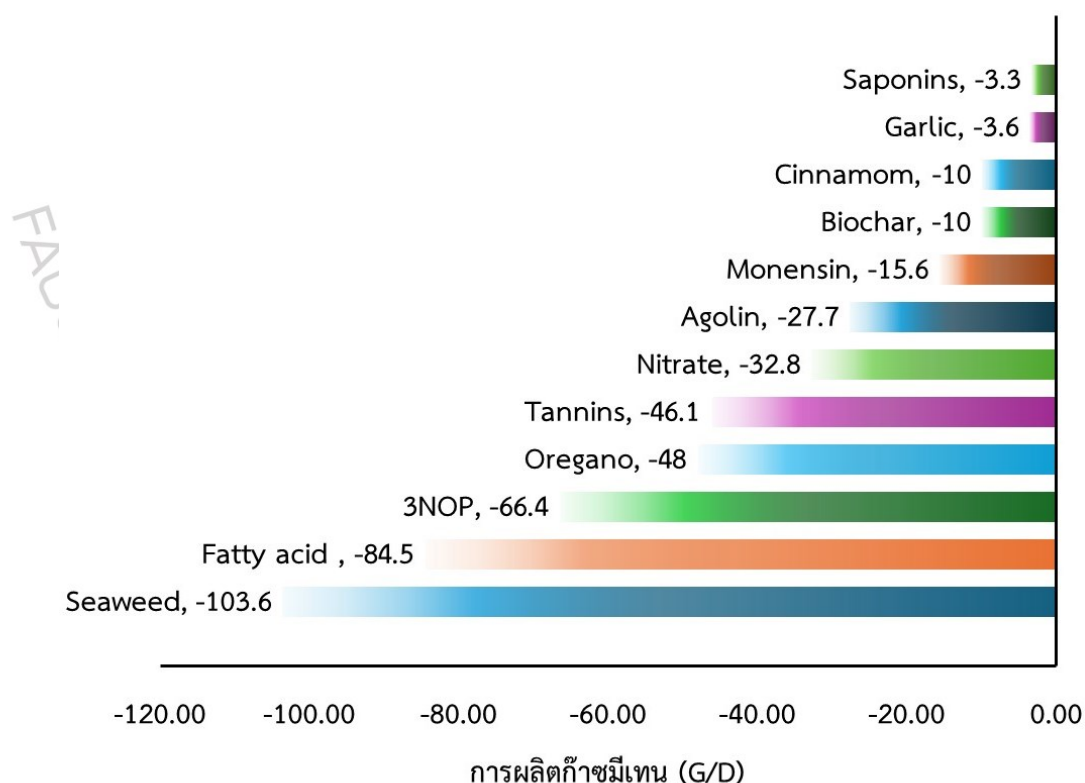
ยกตัวอย่างการใช้เอนไซม์ในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง เอนไซม์แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม เอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน เอนไซม์ที่ย่อยแป้ง และเอนไซม์ที่ย่อยเยื่อใย (fibrolytic enzymes) ในสัตว์เคี้ยวเอื้องมีการใช้อาหารหยาบสูงจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถย่อยเยื่อใยได้ประมาณ 65-70% โครงสร้างทั่วไปของพืชจะประกอบด้วยเซลลูโลส (35-50%) เฮมิเซลลูโลส (20-35%) และลิกนิน (10-15%) ซึ่งผันแปรตามอายุพืช ประสิทธิภาพในการย่อยของสัตว์เคี้ยวเอื้องขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน การเสริมเอนไซม์ที่ย่อยเยื่อใย ประกอบด้วย เอนไซม์เซลลูเลส เฮมิเซลลูเลส หรือกลุ่มเอนไซม์ที่ย่อยลิกนิน สามารถช่วยย่อยสลายผนังเซลล์พืช ส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ที่ผลิตได้ในตัวสัตว์ เช่น เอนไซม์โปรติเอสสามารถเข้าไปย่อยโปรตีนในพืชได้มากขึ้น เพิ่มการใช้ประโยชน์ของสารอาหาร

3. การลดก๊าซมีเทน (methane reduction) การผลิตสัตว์นอกจากจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการผลิตแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการจัดการของเสีย และมลภาวะที่จะเกิดขึ้น กับคนและสิ่งแวดล้อม การผลิตปศุสัตว์ก่อให้เกิดการผลิตก๊าซเรือนกระจก (global warming; GHG) มากถึง 51 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซที่ผลิตจากระบบทั้งหมด ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซเรือนกระจกก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน ซึ่งก๊าซมีเทนและก๊าซแอมโมเนียมีผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 และ 298 เท่าตามลำดับ พบว่าการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นกลุ่มหลักที่มีการผลิตก๊าซเรือนกระจกมากกว่าสัตว์กลุ่มอื่น ก๊าซมีเทนเกิดจากการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการทำงานจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนและลำไส้ใหญ่ (สุทิศา, 2563)

สารเสริมในอาหารสัตว์ที่มีคุณสมบัติเป็นสารยับยั้งหรือลดก๊าซมีเทน จึงถูกนำมาใช้ซึ่งช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สารเสริมที่สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้โดยตรงที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น ซีโอไลท์ กรดอินทรีย์ และไฟโตจีนิก และสารเสริมที่อาจจะช่วยลดก๊าซเรือนกระจกได้ทางอ้อม เช่น เอนไซม์ และโปรไบโอติก

ยกตัวอย่างเช่น ซีโอไลท์มีความสามารถในการดูดซับโดยการแลกเปลี่ยนประจุ ช่วยในการดูดซับโมเลกุลของแอมโมเนียในน้ำเสีย กำจัดโลหะหนักจากฟาร์ม และลดกลิ่นใน

โรงเรือนสัตว์ การใช้กรดอินทรีย์เป็นอีกวิธีหนึ่งในการลดก๊าซมีเทน โดยมีการเสริมกรดมาเลท และกรดฟumaric ในอาหารสัตว์ กรดเหล่านี้มีคุณสมบัติพิเศษคือสามารถดึงก๊าซไฮโดรเจนมาใช้ในการผลิตกรดโฟรฟิโอนิก ซึ่งช่วยลดการเกิดก๊าซมีเทนในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง และกลุ่มสารเสริมไฟโตจีนิกเป็นกลุ่มที่เริ่มมีการพัฒนานำมาแก้ปัญหาก๊าซมีเทน ยกตัวอย่าง เช่น มีการใช้สาหร่ายทะเล (seaweeds) สารสกัดจากสมุนไพร เช่น ชินนามอน กระเทียม และออริกาน โมเนนซิน ซาโปนิน และสาร 3-Nitrooxypropanol (3NOP) กลไกการทำงานคือสารเข้าไปยับยั้งกลุ่มจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน (methanogenic bacteria) ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มของโปรโตซัว สารเสริมเหล่านี้ยับยั้งเอนไซม์ในกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน และปรับสภาพแวดล้อมในกระเพาะรูเมนให้ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน ส่งผลให้การผลิตก๊าซมีเทนลดลง **ภาพที่ 5.1** แสดงปริมาณการลดก๊าซมีเทนจากการใช้สารเสริมชนิดต่างๆ โดยพบว่าสาหร่ายทะเลสามารถลดปริมาณก๊าซมีเทนได้สูงที่สุด



ภาพที่ 5.1 การลดก๊าซมีเทนจากการใช้สารเสริม

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ermias and Xiaoyu (2021)

4. ส่งเสริมการเจริญเติบโต (enhanced growth and performance) สารเสริมที่ส่งเสริมการเจริญเติบโต ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้อาหาร ส่งเสริมการเพิ่มน้ำหนัก และปรับปรุงผลผลิตโดยรวม
5. การเสริมแร่ธาตุ (mineral supplementation) แร่ธาตุรอง เช่น ซีลีเนียม ทองแดง สังกะสี และโคบอลต์ มักถูกเสริมในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อป้องกันการขาดสารอาหารและรักษาสุขภาพและผลผลิตให้เหมาะสม
6. การเสริมวิตามิน (vitamin supplementation) เช่น วิตามินเอ วิตามินดี และวิตามินอี ในอาหารเคี้ยวเอื้องเพื่อให้แน่ใจว่ามีระดับที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ และการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน
7. การเก็บรักษาอาหารและความเสถียรของอาหารสัตว์ (feed preservation and stability) สารยับยั้งเชื้อราและสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อป้องกันการเน่าเสีย และรักษาคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของอาหารหยาบและอาหารผสมครบส่วน (total mixed rations; TMR)
8. การสนับสนุนระบบภูมิคุ้มกัน (immune support) เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ กรดไขมันจำเป็น และสารกระตุ้นภูมิคุ้มกัน เพื่อสนับสนุนการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันและเพิ่มความต้านทานต่อโรค
9. การจัดการความเครียดจากความร้อน (heat stress management) ในช่วงที่เกิดความเครียดจากความร้อน สามารถใช้สารเสริม เช่น อิเล็กโทรไลต์และสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารเคี้ยวเอื้องได้ ลดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และลดผลกระทบด้านลบของความร้อนที่มีต่อสุขภาพ ปริมาณและคุณภาพผลผลิต
10. การเจริญพันธุ์และการสืบพันธุ์ (fertility and reproduction) สารเสริมที่มีความจำเพาะต่อการเจริญพันธุ์และการสืบพันธุ์ เช่น กรดไขมันโอเมก้า 3 หรือกรดอะมิโนบางชนิด อาจถูกนำมาใช้เพื่อส่งเสริมสมรรถภาพการสืบพันธุ์ และภาวะเจริญพันธุ์ในช่วงเวลาที่เหมาะสม

บทที่ 6 ข้อจำกัดในการใช้สารเสริมอาหารสัตว์

(The limitations of feed additives)

การรักษาความคงตัวของสารเสริมเป็นสิ่งสำคัญในการรับรองประสิทธิภาพการทำงานและความปลอดภัย การนำสารเสริมมาใช้ในการอุตสาหกรรมปศุสัตว์ยังคงมีข้อจำกัด เนื่องจากสารเสริมส่วนมากมีความเสถียรค่อนข้างต่ำ เมื่อถูกนำส่งเข้าไปในตัวสัตว์ มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อความเสถียรของสารเสริม สารเสริมบางชนิดอาจมีคุณสมบัติทางกายภาพเฉพาะ เช่น ขนาดอนุภาค ความสามารถในการละลาย หรือการกระจายตัว ซึ่งอาจส่งผลต่อความเสถียรในสูตรอาหารสัตว์ การกำหนดสูตรที่เหมาะสมถือเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้แน่ใจว่ามีการกระจายตัวสม่ำเสมอและป้องกันการแยกหรือการตกตะกอนของสารเสริม การจัดการที่เหมาะสมในการจัดเก็บ กระบวนการผลิตอาหารสัตว์ ตลอดจนระหว่างการกินและการย่อยอาหารของสัตว์ อาจจะมีการสัมผัสกับความร้อน ความชื้น ออกซิเจน แสง และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ อาจทำให้สารเสริมบางชนิดเสื่อมสภาพ ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง หรืออาจเกิดการก่อตัวกับสารอื่นๆ และเป็นอันตรายต่อสัตว์

การสูญเสียคุณสมบัติของสารเสริมในช่วงการเก็บรักษาและการขนส่ง

ผลิตภัณฑ์สารเสริมอาหารสัตว์มีอายุการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 1–2 ปี สภาพแวดล้อมในการเก็บรักษาที่เหมาะสมมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษาความเสถียรของสารเสริม โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์สารเสริมต้องมีการประเมินอายุการเก็บรักษา โดยใช้ขั้นตอนการทดสอบความเสถียร 2 ขั้นตอน คือ การทดสอบความเสถียรแบบในสภาพแวดล้อมและระยะเวลาจริงตามที่ผลิตภัณฑ์แนะนำ และทดสอบความเสถียรในสภาวะเร่งโดยใช้เครื่องจำลองและเร่งสภาวะอากาศใช้เวลาระยะสั้น ข้อมูลที่เหมาะสมจะระบุไว้บนผลิตภัณฑ์ แต่อย่างไรก็ตามหากผู้ขายหรือผู้ใช้ผลิตภัณฑ์จัดเก็บผลิตภัณฑ์ในขณะรอจำหน่ายหรือรอการใช้งานไม่เหมาะสมสามารถเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายและลดคุณภาพของสารเสริมได้

การเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์สารเสริมประกอบด้วยการเสื่อมสภาพทางกายภาพ ได้แก่ เกิดการแยกตัวของน้ำ เกิดการแยกตัวของไขมัน การจับตัวเป็นก้อน การตกตะกอน การเสื่อมสภาพทางเคมี การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน การเกิดสีคล้ำจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) การเกิดสีคล้ำจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ การเสื่อมทางจุลินทรีย์ เกิดการเน่าเสียจากการเจริญเติบโต

ของจุลินทรีย์ การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรค และการเสื่อมสภาพทางประสาทสัมผัส เนื้อสัมผัสเปลี่ยนไป กลิ่นหืน รสชาติเปลี่ยน ยกตัวอย่างเช่น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในน้ำมันหอมระเหยอาจลดลงได้เมื่อมีการสัมผัสกับความร้อน แสง โลหะ และความชื้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้โมเลกุลสารออกฤทธิ์ถูกทำลาย ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน นอกเหนือจากนี้ต้องคำนึงถึงชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ ชนิดวัสดุ และเทคนิคการบรรจุหีบห่อที่เหมาะสมช่วยปกป้องสารเสริมจากความชื้น ออกซิเจน และสิ่งปนเปื้อนภายนอกอื่นๆ ภาชนะที่ปิดสนิท ภาชนะไม่เกิดปฏิกิริยากับสารเสริม และควรมีสารดูดซับความชื้น เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการจัดเก็บและการขนส่ง

การสูญเสียคุณสมบัติของสารเสริมในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์

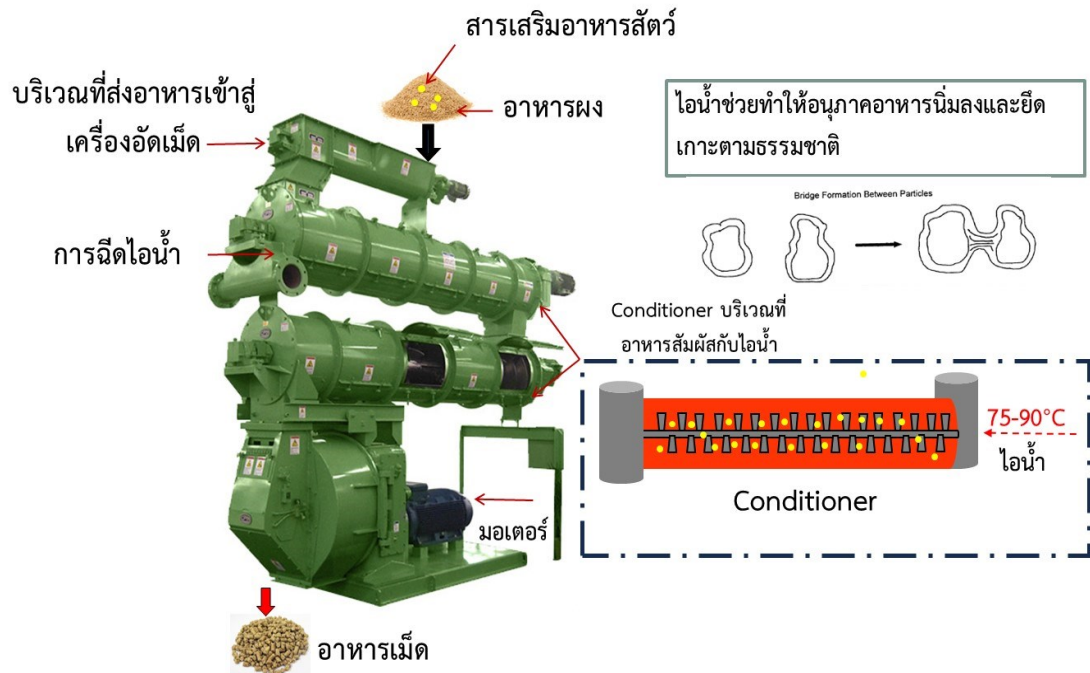
กระบวนการผลิตอาหารสัตว์เป็นขั้นตอนเปลี่ยนวัตถุดิบอาหารให้เป็นอาหารสัตว์ที่เหมาะสมกับการบริโภคของสัตว์แต่ละชนิด กระบวนการผลิตอาหารสัตว์มีหลายขั้นตอนที่มีความเสี่ยงต่อการสูญเสียของคุณสมบัติของสารเสริมอาหาร

1. ความเข้ากันได้กับส่วนผสมอื่นๆ เสริมบางชนิดอาจมีปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์กับส่วนผสมอื่นๆ เช่น วัตถุดิบอาหาร สารเสริมอื่นๆ การทดสอบความเข้ากันได้ถือเป็นสิ่งสำคัญในการระบุปฏิกิริยาที่อาจเกิดขึ้น และการกำหนดสูตรให้เหมาะสมเพื่อลดการสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานของสารเสริม

2. การผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน การกระจายตัวของสารเสริมต้องมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งสูตรอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับสารที่มีอัตราการรวมตัว หรือขนาดอนุภาคไม่เท่ากัน ซึ่งนำไปสู่ความแปรปรวนในปริมาณการกินอาหารและประสิทธิภาพของสัตว์

3. การอัดเม็ดอาหาร (pelletting) เป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในการผลิตอาหารสัตว์ เป็นกระบวนการที่วัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดและส่วนผสมอื่นๆ รวมกันโดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ ความชื้น และความดัน (อยู่ในช่วง 138 ถึง 552 kPa) ขึ้นรูปเป็นเม็ดอาหาร ในกระบวนการจะมีการเติมไอน้ำร้อน คลุกเคล้ากับอาหารเพื่อทำให้อนุภาคอาหารอ่อนตัวลง จะมีการควบคุมอุณหภูมิการคลุกไอน้ำ (conditioning temperature) ใน conditioner อุณหภูมิอาจผันผวนตั้งแต่ 75 ถึง 90 °C ขึ้นอยู่กับโปรแกรมการผลิตของแต่ละโรงงาน ความร้อนจากไอน้ำจะทำให้เกิดการเจลลาคีไนซ์ (gelatinization) ทำให้แป้งที่เป็นองค์ประกอบของวัตถุดิบอาหาร เกิดการเปลี่ยนแปลงในภายในโมเลกุลทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะสำหรับเม็ดอาหาร นอกเหนือจากนี้ไอน้ำทำ

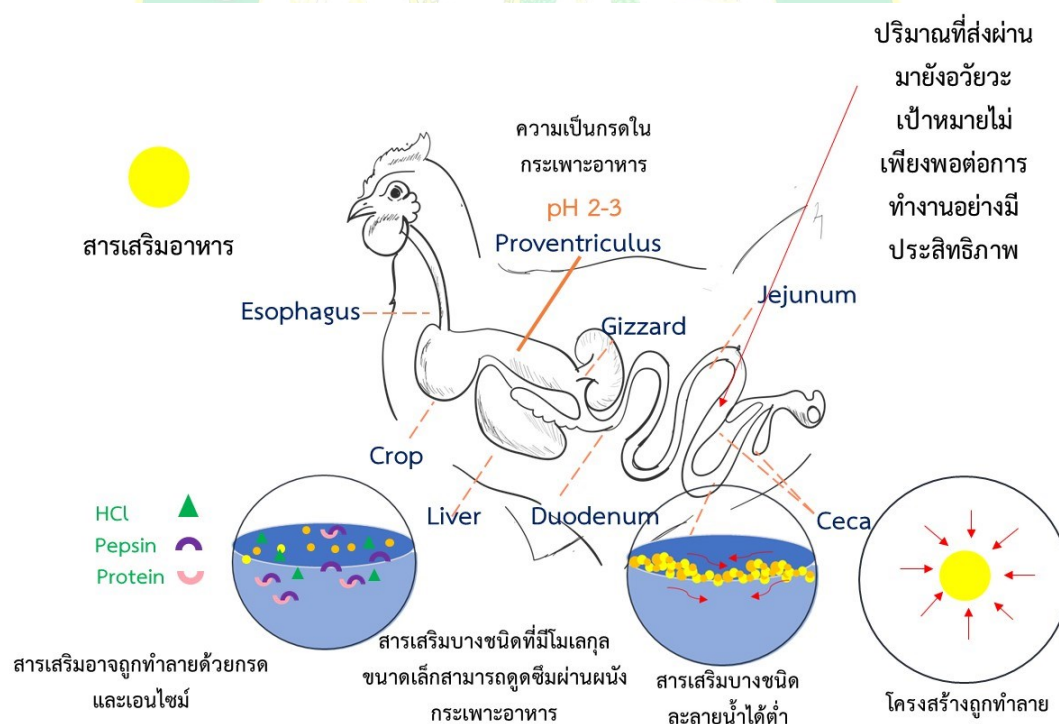
หน้าที่หล่อลื่นและลดแรงเสียดทาน การควบคุมอุณหภูมิการคลุกไอน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการขึ้นรูปเม็ดอาหาร อุณหภูมิการคลุกไอน้ำที่ต่ำ $<77^{\circ}\text{C}$ อาจทำให้คุณภาพเม็ดลดลง ในขณะที่อุณหภูมิการคลุกไอน้ำที่สูง $>90^{\circ}\text{C}$ สามารถปรับปรุงคุณภาพเม็ดและลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ แต่สารเสริมบางชนิดอาจสูญเสียประสิทธิภาพในระหว่างการผลิต โดยเฉพาะสารเสริมกลุ่มที่ทนความร้อนได้น้อย ยกตัวอย่างเช่น วิตามิน กรดอะมิโน เอนไซม์ที่สูญเสียโครงสร้างได้ง่าย เกิดการเสื่อมสภาพของเอนไซม์ (enzyme denaturation) และยังพบว่าสารเสริมกลุ่มไฟโตเจนิกสามารถสูญเสียได้ง่ายจากขั้นตอนนี้ เนื่องจากเป็นสารที่ระเหยได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับความร้อน (ภาพที่ 6.1)



ภาพที่ 6.1 การสูญเสียคุณสมบัติของสารเสริมในระหว่างการอัดเม็ดอาหาร

การสูญเสียคุณสมบัติของสารเสริมในระหว่างการนำส่งสารเสริมในทางเดินอาหารสัตว์

ในทางเดินอาหารของสัตว์การนำส่งสารเสริมเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุด เพื่อให้สารเสริมเข้าถึงอวัยวะเป้าหมายในร่างกายสัตว์และให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด สารเสริมบางชนิดอาจถูกทำลายจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะกรด-ด่างในกระเพาะอาหาร เอนไซม์ในตัวสัตว์ ในขณะที่เดียวกันสารเสริมบางชนิดมีโมเลกุลขนาดเล็กถูกดูดซึมอย่างรวดเร็วในกระเพาะอาหาร ซึ่งปริมาณที่เหลือที่อวัยวะเป้าหมายอาจจะไม่เพียงพอต่อการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ยกตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่ไปถึงลำไส้มีปริมาณน้อยกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียได้ (minimal inhibitory concentration; MIC) ซึ่งถ้าหากคาดหวังคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อก่อโรค ก็ไม่สามารถเห็นผลได้อย่างชัดเจน การนำส่งสารเสริมสู่อวัยวะเป้าหมายเป็นปัญหาหลักส่งผลให้การใช้สารเสริมในอาหารสัตว์ไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร (Thuekeaw *et al.*, 2022) (ภาพที่ 6.2)



ภาพที่ 6.2 การสูญเสียคุณสมบัติของสารเสริมในระหว่างการนำส่งผ่านทางเดินอาหารไปสู่อวัยวะเป้าหมาย

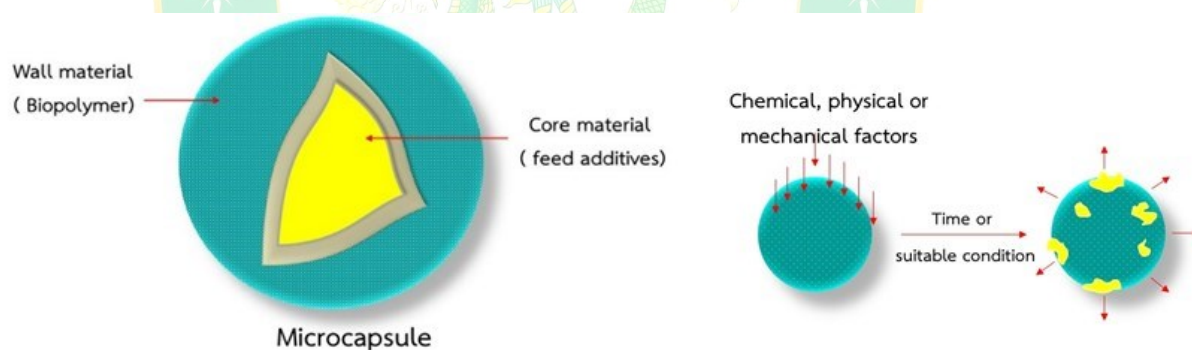
แนวทางในการลดข้อจำกัดในการใช้สารเสริม และการปรับปรุงความเสถียรของสารเสริม

1. การเพิ่มปริมาณสารเสริมจากปริมาณที่แนะนำในอาหารสัตว์ เพื่อแก้ไขปัญหาการสูญเสีย เป็นอีกวิธีที่มีถูกเลือกใช้มาก แต่อาจใช้ได้บางกรณี การตัดสินใจเพิ่มปริมาณสารเสริมควรพิจารณา อย่างรอบคอบ เพื่อให้มั่นใจว่ามีประโยชน์ทางเศรษฐกิจ และไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสัตว์ ควรพิจารณาปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- วิเคราะห์ความเหมาะสม เช่น ระหว่างผลผลิตที่เพิ่มขึ้นกับต้นทุนที่ต้องจ่ายเพิ่ม เพื่อให้ แน่ใจว่ามีความคุ้มค่า
- วิเคราะห์ความสำคัญของสารเสริม พิจารณาถึงชนิดสารเสริมที่จะเพิ่มปริมาณ เช่น วิตามิน แร่ธาตุ หรือสารอื่น ๆ และวิเคราะห์ความสำคัญของการเสริมในแต่ละกรณี
- วิเคราะห์ปริมาณที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณสารเสริมอาจมีความเสี่ยงต่อความสมดุลของ โภชนะ อาจมีผลต่อสุขภาพและประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของสัตว์
- การพิจารณาความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มปริมาณสารเสริม เช่น ความเสี่ยงต่อการ เป็นพิษของสารเสริมทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เช่น การเพิ่มปริมาณสารไฟโตจีนิก อาจทำให้เกิดการระคายเคือง การอักเสบในทางเดินอาหาร หรือความเสี่ยงในการขับ ออกสู่สภาพแวดล้อม

2. การใช้เทคโนโลยีในการแก้ไขการสูญเสียเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพ ในการลดการ สูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารเสริมในอาหารสัตว์ แต่ควรพิจารณาด้วยความ ระมัดระวังเพื่อให้มั่นใจว่าเทคโนโลยีที่ใช้เป็นประโยชน์และมีความปลอดภัย เช่น เทคโนโลยีการทำ ให้เป็นผงแห้ง การตรึงเพื่อควบคุมความเสี่ยงของการสูญเสียของสารเสริมในระหว่างการเก็บรักษา และการใช้งาน และกระบวนการห่อหุ้มหรือการเอนแคปซูเลชัน (encapsulation) ซึ่งเป็นการ พัฒนาระบบนำส่งสาร (delivery system) ที่ใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยา อาหาร เครื่องดื่ม และเครื่องสำอาง เป็นต้น ในปัจจุบันถูกนำมาพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร สัตว์ มากขึ้น การขนส่งสารทำได้โดยการก่อดัวของอนุภาคที่ประกอบด้วย สารห่อหุ้ม (wall material) และสารที่ถูกห่อหุ้มหรือสารแกนกลาง (core material) ลักษณะโดยทั่วไปของอนุภาคแสดงในภาพ **ที่ 6.3** กระบวนการเอนแคปซูเลชันสามารถเพิ่มความเสถียรทางความร้อน และความเสถียรต่อ การออกซิเดชัน ยืดอายุการเก็บรักษาสารออกฤทธิ์ ห่อหุ้มสารเสริมที่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่มีผลต่อ

การกินปริมาณการกินอาหารของสัตว์ เช่น น้ำมันหอมระเหย แทนนิน ซาโปนิน เป็นต้น ลดการระคายเคืองต่อผู้สัมผัส ลดการเกิดปฏิกิริยากับวัตถุดิบอาหารอื่น ควบคุมการปล่อยสารไปยังอวัยวะเป้าหมายให้เกิดความเสียหายให้น้อยที่สุด ถือเป็นวิธีการที่ส่งเสริมประสิทธิภาพการทำงานของสารเสริม ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์สารแกนกลางที่มักถูกนำมาห่อหุ้ม ได้แก่ น้ำมันหอมระเหย โพรไบโอติก วิตามิน กรดอะมิโน กรดไขมัน และแร่ธาตุ สารห่อหุ้ม แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สารห่อหุ้มที่มาจากธรรมชาติ และสารสังเคราะห์ ในอุตสาหกรรมอาหารคน และสัตว์มักจะใช้สารห่อหุ้มที่มาจากธรรมชาติ ได้แก่ โปรตีน (กลูเตน เจลติน อัลบูมิน) และพอลิแซ็กคาไรด์ (เด็คซ์แทรน อัลจิเนต ไคโตซาน) อย่างไรก็ตามวิธีการเอนแคปซูเลชันสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ emulsification coacervation spray-drying และ freeze-drying เป็นต้น การเลือกใช้เทคนิคขึ้นวัตถุดิบประสงค์ที่ต้องการนำไปใช้ และขนาดของอนุภาคที่ต้องการ อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงอุปกรณ์ เครื่องมือ และต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการผลิต (Saifullah *et al.*, 2019)



ภาพที่ 6.3 โครงสร้างไมโครแคปซูลแบบง่าย และการปลดปล่อยสาร
ดัดแปลงมาจาก: Bakry *et al.* (2016)

แบบฝึกหัดบทที่ 6 ข้อจำกัดในการใช้สารเสริมอาหารสัตว์

1. ให้นักศึกษาวิเคราะห์สภาวะใดบ้างที่มีความเสี่ยงในการสูญเสียของสารเสริมมากที่สุด โดยมีปัจจัยใดบ้างที่ผลต่อการสูญเสียคุณสมบัติของสารเสริม



2. จากการสูญเสียคุณสมบัติของสารเสริมในข้อที่ 1 นักศึกษามีแนวทางแก้ไขปัญหอย่างไร

สอบย่อย ครั้งที่ 3 (5%)

เรื่องคุณสมบัติสารเสริม

นักศึกษาต้องใช้อีเมลของมหาวิทยาลัยในการเข้าทำข้อสอบ หลังจากการสอบอาจารย์ผู้สอนจะแจ้งคะแนนกับเข้าไปยังอีเมลของผู้สอบ อาจารย์ผู้สอนจะทำการเปิดรับคำตอบในคาบเรียน นักศึกษาสามารถเข้าทำข้อสอบผ่านลิงค์ <https://forms.gle/6kwHu2n5ixRHGY688> หรือสแกน QR Code



สแกน QR Code เข้าทำข้อสอบเก็บคะแนน



บทที่ 7 ข้อบังคับในการใช้สารเสริมอาหารสัตว์

(Feed additive regulations)

จากสถานการณ์ปัจจุบันมีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีและวิทยาการเกี่ยวกับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และการเลี้ยงสัตว์อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและการขยายตัวในด้านการค้าและอุตสาหกรรมเกี่ยวกับอาหารสัตว์ ดังนั้นเพื่อประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ และคุ้มครองความปลอดภัยของผู้บริโภคจึงมีการประกาศพระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ และปรับปรุงต่อเนื่องมาเรื่อยๆ ให้ทันกับการเปลี่ยนแปลง ในปัจจุบันมีการใช้พระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558 ตาม พรบ. ได้ให้อำนาจรัฐมนตรีว่ากระทรวงเกษตรและสหกรณ์ออกประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้ และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้า หรือขายอาหารสัตว์ พ.ศ. 2559 (ฉบับที่ 1) และมีการปรับปรุงแก้ไขใน พ.ศ. 2561 (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2562 (ฉบับที่ 3) และ พ.ศ. 2564 (ฉบับที่ 4) ตามลำดับ

ผู้สอนเห็นว่าเนื้อหานี้เป็นประโยชน์และมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับรายวิชาสารเสริมในอาหารสัตว์ จึงได้นำเนื้อหาที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้สารเสริมอาหารสัตว์ มาสร้างความรู้ความเข้าใจแก่นักศึกษา โดยประกาศนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการกำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ในปริมาณที่เหมาะสมให้อาหารสัตว์มีคุณภาพ ปลอดภัยต่อสัตว์ และประชาชนผู้บริโภคเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ จึงสมควรกำหนดชื่อ ประเภทชนิด หรือลักษณะของอาหารสัตว์ที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือขาย และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้าหรือขายอาหารสัตว์ไว้ มีเนื้อหาที่สำคัญดังนี้

ประกาศในข้อ 1 นี้เรียกว่า “ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้ และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้า หรือขายอาหารสัตว์ พ.ศ. 2559”

ประกาศในข้อ 2 ประกาศฉบับนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศในข้อ 3 ให้ความหมายของวัตถุที่เติม (feed additives) ว่าวัตถุที่ใช้เติมในอาหารสัตว์เพื่อวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพของอาหารสัตว์และซากสัตว์หรือเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสัตว์และสุขภาพของสัตว์ และให้ความหมายของ สือ (carriers) ไว้ว่าวัตถุที่ใช้ในการเจือจางหรือใช้เป็นส่วนผสมในปริมาณที่เหมาะสมของวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ และให้หมายความรวมถึงส่วนของพืช แร่ธาตุ กากน้ำตาล ผลิตภัณฑ์เหลือจากการหมัก น้ำ น้ำมัน ที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ วัสดุที่

เหลือจากการเกษตรที่ปลอดภัย เคลย์ (clay) ซิลิคอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) เคโอลิน (kaolin) เดกซ์โตรส (dextrose) และหรือแล็กโทส (lactose) และแบ่งจากพืชที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ ควบคุมเฉพาะด้วย

ประกาศในข้อ 4 เกี่ยวข้องกับสารเสริมทางโภชนาการที่เติมลงในอาหารเพื่อให้คุณค่าทางโภชนาการ คือการกำหนดปริมาณการใช้กรดอะมิโนผสมในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูปแล้วจะต้องมีอัตราส่วนหรือปริมาณของกรดอะมิโนชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันไม่มากกว่าร้อยละ 5 และกรดอะมิโนที่ใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์ดังนี้ ไลซีน (lysine) เมไทโอนีน (methionine) อาร์จินีน (arginine) ฮิสติดีน (histidine) ซิสทีน (cystine) ทริптоเฟน (tryptophan) ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) ลิวซีน (leucine) ทรีโอนีน (threonine) แวลีน (valine) ไอโซลิวซีน (isoleucine) และไทโรซีน (tyrosine)

ประกาศในข้อ 5 กำหนดให้แร่ธาตุเป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์ โดยมีปริมาณที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูปแล้วจะต้องมีอัตราส่วนหรือปริมาณของแร่ธาตุชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันตามตารางที่ 7.1 และ 7.2

ตารางที่ 7.1 ปริมาณแร่ธาตุสูงสุดที่กำหนดให้มีในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูป

ชนิดของแร่ธาตุ	ปริมาณสูงสุดที่กำหนดให้มีในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูป 1 กิโลกรัม (มิลลิกรัม)			
	ไก่	เป็ด	สุกร	โค
โคบอลต์ (Cobalt)	10	10	10	10
คลอรีน (Chlorine)	1,500	1,500	-	-
ทองแดง (Copper)	300	300	250	100
ไอโอดีน (Iodine)	300	300	400	500
แมงกานีส (Manganese)	2,000	2,000	400	1,000
แคลเซียม (Calcium)	12,000	12,000	10,000	10,000
ซีลีเนียม (Selenium)	2	2	2	2

ที่มา: ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้ และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้า หรือขายอาหารสัตว์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2561

ตารางที่ 7.2 ปริมาณแร่ธาตุสูงสุดที่กำหนดให้มีในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูป

ชนิดของแร่ธาตุ	ปริมาณสูงสุดที่กำหนดให้มีในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูป 1 กิโลกรัม (มิลลิกรัม)			
	ไก่	เป็ด	สุกร	โค
ฟลูออรีน (Fluorine)	200	200	150	40
โมลิบดีนัม (Molybdenum)	100	100	20	10
โซเดียม (Sodium)	2,000	2,000	8,000	40,000
สังกะสี (Zinc)	1,000	1,000	1,000	500
เหล็ก (Iron)	1,000	1,000	3,000	1,000
แมกนีเซียม (Magnesium)	3,000	3,000	3,000	5,000
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	8,000	8,000	15,000	10,000
โพแทสเซียม (Potassium)	20,000	20,000	20,000	30,000
กำมะถัน (Sulphur)	-	-	-	40,000

ที่มา: ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้ และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้า หรือขายอาหารสัตว์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2561

มีการปรับปรุงประกาศในปี พ.ศ. 2562 เป็นประกาศฉบับที่ 3 โดยมีการกำหนดปริมาณปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมที่ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารไก่ไข่หรือเป็ดไข่สามารถใช้แคลเซียมปริมาณสูงสุดไม่เกิน 50,000 มิลลิกรัมในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูป 1 กิโลกรัม

ประกาศในข้อ 6 กำหนดให้วิตามินเป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ โดยมีปริมาณที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูปแล้วจะต้องมีอัตราส่วนหรือปริมาณของวิตามินชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันแสดงในตารางที่ 7.3

ประกาศในข้อ 7 กำหนดให้ลิปิดและอนุพันธ์ของลิปิดเป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ โดยมีปริมาณที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูปแล้วจะต้องมีอัตราส่วนหรือปริมาณของลิปิดและอนุพันธ์ของลิปิดชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันไม่มากกว่าร้อยละ 10 และลิปิดและอนุพันธ์ของลิปิดที่ใช้

เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ดังนี้ คอเลสเตอรอล (cholesterol) เลซิทีน (lecithin) ฟอสโฟไลปิด (phospholipid) และโพรพิลีน ไกลคอล (propylene glycol)

ประกาศในข้อ 8 กำหนดให้วัตถุซึ่งมีสรรพคุณเป็นการถนอมคุณภาพของอาหารสัตว์ เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ โดยมีปริมาณที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูปแล้วจะต้องมีอัตราส่วนหรือปริมาณของวัตถุซึ่งมีสรรพคุณเป็นการถนอมคุณภาพของอาหารสัตว์ตามตารางที่ 7.4 และ 7.5



บทที่ 7 ข้อบังคับในการใช้สารเสริมอาหารสัตว์

ตารางที่ 7.3 ปริมาณวิตามินต่ำสุดที่กำหนดให้มีในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูป

ชนิดของวิตามิน	ปริมาณต่ำสุดที่กำหนดให้มีในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูป 1 กิโลกรัม						
	ไก่เนื้อ	ไก่ไข่	เป็ด	สุกร	โคเนื้อ	โคนม	กระบือ
วิตามินบี 6 (Pyridoxine Hydrochloride)	3 มก.	2.80 มก.	-	1 มก.	-	-	-
วิตามินบี 12 (Cyanocobalamin)	0.007 มก.	0.003 มก.	-	0.005 มก.	-	-	-
วิตามินดี 2 (Calciferol) หรือ	-	-	-	150 IU	275 IU	300 IU	-
วิตามินดี 3 (Cholecalciferol)	200 ICU	200 ICU	-	-	-	-	-
วิตามินอี (Vitamin E)	10 IU	4.70 IU	-	11 IU	15 IU	15 IU	-
วิตามินเค (Vitamin K)	0.50 มก.	0.47 มก.	-	0.50 มก.	-	-	-
ไบโอติน (Biotin)	0.12 มก.	0.09 มก.	-	0.05 มก.	-	-	-
โคลีน (Choline)	750 มก.	470 มก.	-	300 มก.	-	-	-
โฟลิก แอซิด (Folic acid)	0.50 มก.	0.23 มก.	-	0.30 มก.	-	-	-
ไนอะซิน (Niacin)	25 มก.	10.30 มก.	-	7 มก.	-	-	-
แพนโทธีนิก แอซิด (Pantothenic acid)	10 มก.	9.40 มก.	-	7 มก.	-	-	-
เบทาอีน (Betaine)	100 มก.	100 มก.	-	100 มก.	-	-	-
แอล - คาร์นิทีน (L - Carnitine)	20 มก.	20 มก.	20 มก.	20 มก.	20 มก.	20 มก.	20 มก.

IU = international unit เป็นหน่วยวัดมาตรฐานสากลซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้อ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพผลกระทบทางชีวภาพ (biological effects) ของสารออกฤทธิ์ แต่ละชนิด ซึ่งกำหนดโดย World Health Organization (WHO)

ที่มา: ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้ และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้า หรือขายอาหารสัตว์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2561

ตารางที่ 7.4 ปริมาณวัตถุที่มีคุณสมบัติถนอมคุณภาพของอาหารสัตว์

ชนิด	ปริมาณ (%)	ชนิด	ปริมาณ (%)
โพรพิโอนิกแอซิด (Propionic acid)		บี.เอช.ที. บิวทิลเฮกซะไฮดรอกซีโทลูอิน (BHT; Butylated Hydroxytoluene)	ไม่เกิน 0.05
เบนโซอิกแอซิด (Benzoic acid)		บี.เอช.เอ บิวทิลเฮกซะไฮดรอกซีแอนนิโซล (BHA; Butylated Hydroxyanisol)	
แอสคอร์บิกแอซิด (Ascorbic acid)		อีทอกซีควิน (Ethoxyquin)	ไม่เกิน 0.015
อีริทอร์บิกแอซิด (Erythorbic acid)		เอดทา เอดทีลิน ไดอะมีน เทตระแอซิด เทต (EDTA; Ethylene Diamine Tetra acetate)	ไม่เกิน 0.024
ซอร์บิกแอซิด (Sorbic acid)	ไม่เกินร้อยละ 0.1	เกลือโพรพิโอเนต (Propionate salts)	ไม่เกิน 0.03
ไทโอไดโพรพิโอนิกแอซิด (Thiodipropionic acid)		เกลือเบนโซเอต (Benzoate salts)	
ฟอร์มิกแอซิด (Formic acid)		เกลือแอสคอร์เบต (Ascorbate salts)	
แอซีติกแอซิด (Acetic acid)		เกลืออีริทอร์เบต (Erythorbate salts)	
แล็กติกแอซิด (Lactic acid)		เกลือซอร์เบต (Sorbate salts)	
ซิทริกแอซิด (Citric acid)		ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulphur dioxide)	
ทาร์ตาริกแอซิด (Tartaric acid)		เกลือซัลไฟต์ (Sulphites salts)	
มาลิกแอซิด (Malic acid)		เกลือไบซัลไฟต์ (Bisulphites salts)	
ฟumaric แอซิด (Fumaric acid)		เกลือเมตาไบซัลไฟต์ (Metabisulphites salts)	
ออร์โทฟอสฟอริกแอซิด (Orthophosphoric acid)		เกลือฟอร์มेट (Formate salts)	

ที่มา: ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้ และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้า หรือขายอาหารสัตว์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2561

ตารางที่ 7.5 ปริมาณวัตถุที่มีคุณสมบัติยับยั้งการเสื่อมสภาพของอาหารสัตว์

ชนิด	ปริมาณ (%)	ชนิด	ปริมาณ (%)
ซัลฟิวริกแอซิด (Sulphuric acid)	ไม่เกินร้อยละ 0.1	เกลือไดอะซิเตต (Diacetate salts)	ไม่เกิน 0.03
โพรพิลแกลเลต (Propyl gallate)		เกลือแล็กเตต (Lactate salts)	
ออกทิลแกลเลต (Octyl gallate)		เกลือซิเตรต (Citrate salts)	
โดเดซิลแกลเลต (Dodecyl gallate)		เกลือทาร์เตรต (Tartrate salts)	
		โซเดียมไนไตรต์ (Sodium nitrite)	
		ไดลาอริล ไทโอดิโพรพิโอนัต (Dilauryl Thiodipropionate)	

ที่มา: ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้ และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้า หรือขายอาหารสัตว์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2561

ประกาศในข้อ 9 กำหนดให้ชีวผลิตภัณฑ์ซึ่งมีชื่อทางวิชาการอาหารสัตว์ว่าสารเสริมชีวนะต่อไปนี้เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ โดยมีปริมาณที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูปแล้วจะต้องมีอัตราส่วนหรือปริมาณของสารเสริมชีวนะชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันไม่น้อยกว่า 1×10^5 ซี.เอฟ.ยู (cfu) ต่ออาหารสัตว์ 1 กิโลกรัม และสารเสริมชีวนะที่ใช้เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ซึ่ง Colony forming unit เรียกว่า cfu เป็นหน่วยที่ได้จากวิธีตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ (microbial population count) รายชื่อสารเสริมชีวนะในกลุ่มของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราแสดงในตารางที่ 7.6-7.8 ในกรณีสารเสริมชีวนะที่มีชื่อต่างจากที่กำหนดไว้หากมีหลักฐานแสดงว่าเป็นสารเสริมชีวนะชนิดเดียวกันให้ถือว่าเป็นสารเสริมชีวนะ

ตารางที่ 7.6 สารเสริมชีวนะที่ใช้เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ (กลุ่มเชื้อแบคทีเรีย)

กลุ่มเชื้อแบคทีเรีย

แล็กโทบาซิลลัส แพลนทาร์รัม (<i>Lactobacillus plantarum</i>)
แล็กโทบาซิลลัส เคซีไอ (<i>Lactobacillus casei</i>)
แล็กโทบาซิลลัส เฟอว์เมนตัม (<i>Lactobacillus fermentum</i>)
แล็กโทบาซิลลัส เฟอว์เมนตัม (<i>Lactobacillus fermentum</i>)
แล็กโทบาซิลลัส เฟอว์เมนตัม (<i>Lactobacillus fermentum</i>)
แล็กโทบาซิลลัส เฟอว์เมนตัม (<i>Lactobacillus fermentum</i>)
แล็กโทบาซิลลัส เซลโลไบโอซัส (<i>Lactobacillus cellobiosus</i>)
แล็กโทบาซิลลัส เคอร์วาทัส (<i>Lactobacillus curvatus</i>)
แล็กโทบาซิลลัส เดลเบรูกีไอ (<i>Lactobacillus delbruekii</i>)
แล็กโทบาซิลลัส แล็กติส (<i>Lactobacillus lactis</i>)
แล็กโทบาซิลลัส ริวเทอริไอ (<i>Lactobacillus reuteri</i>)
แล็กโทบาซิลลัส เฮลวีทิกัส (<i>Lactobacillus helveticus</i>)
ลิวโคโนสตอก มีเซนเทอรอยเดส (<i>Leuconostoc mesenteroides</i>)
สเตรปโทค็อกคัส ฟิเซียม เซอร์เนลล์ 68 (<i>Streptococcus faecium cernelle 68</i>)
สเตรปโทค็อกคัส เทอร์โมฟิลัส (<i>Streptococcus thermophilus</i>)
สเตรปโทค็อกคัส ฟิเซียม (<i>Streptococcus faecium</i>)
สเตรปโทค็อกคัส ครีโมริส (<i>Streptococcus cremoris</i>)
สเตรปโทค็อกคัส ไดอะซีทิแล็กติส (<i>Streptococcus diacetylactis</i>)
สเตรปโทค็อกคัส แล็กติส (<i>Streptococcus lactis</i>)
สเตรปโทค็อกคัส อินเตอร์มีเดียส (<i>Streptococcus intermedius</i>)
บาซิลลัส ซับทิลิส สเตรน บีเอ็น (<i>Bacillus subtilis strain BN</i>)
บาซิลลัส โคแอกกูแลน (<i>Bacillus coagulans</i>)
บาซิลลัส เลนตัส (<i>Bacillus lentus</i>)
บาซิลลัส ไลเคนิเฟอร์มิส (<i>Bacillus licheniformis</i>)
บาซิลลัส พูมิลัส (<i>Bacillus pumilus</i>)

ตารางที่ 7.7 สารเสริมชีวนะที่ใช้เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ (กลุ่มเชื้อแบคทีเรีย)

กลุ่มเชื้อแบคทีเรีย*	
บาซิลลัส ซับทิลิส (<i>Bacillus subtilis</i>) (สเตรนที่ไม่สร้างยาปฏิชีวนะ) (non-antibiotic producing strains only)	
บาซิลลัส โทโยอิ (<i>Bacillus toyoi</i>)	
แบคทีเรียดีเอส แอมิโลฟิลัส (<i>Bacteroides amylophilus</i>)	
แบคทีเรียดีเอส คาพิลโลซัส (<i>Bacteroides capillosus</i>)	
แบคทีเรียดีเอส รูมินโคลา (<i>Bacteroides ruminicola</i>)	
แบคทีเรียดีเอส ซูอิส (<i>Bacteroides suis</i>)	
ไบฟิโดแบคทีเรียม แอดอเลสเซนติส (<i>Bifidobacterium adolescentis</i>)	
ไบฟิโดแบคทีเรียม แอนิมาลิส (<i>Bifidobacterium animalis</i>)	
ไบฟิโดแบคทีเรียม ไบฟิดัม (<i>Bifidobacterium bifidum</i>)	
ไบฟิโดแบคทีเรียม อินแฟนติส (<i>Bifidobacterium infantis</i>)	
ไบฟิโดแบคทีเรียม ลองกัม (<i>Bifidobacterium longum</i>)	
ไบฟิโดแบคทีเรียม เทอร์โมฟิลัม (<i>Bifidobacterium thermophilum</i>)	
เพดิโอค็อกคัส แอซิติกแล็กติกัส (<i>Pediococcus acidilacticii</i>)	
เพดิโอค็อกคัส เซอวีวีซีอี (<i>Pediococcus cerevisiae</i>) ดอมโมซัส (<i>domosus</i>)	
เพดิโอค็อกคัส เพนโทซาเซียส (<i>Pediococcus pentosaceus</i>)	
โพรพิโอนิแบคทีเรียม ฟรีเดนไรชี (<i>Propionibacterium freudenreichii</i>)	
โพรพิโอนิแบคทีเรียม เชอร์มานี (<i>Propionibacterium shermanii</i>)	
บาซิลลัส อะไมโลลิควิเฟเซียน (<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>)	
คลอสทริเดียม บิวทีริกัม (<i>Clostridium butyricum</i>)	เพิ่มในประกาศ ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2561)
แล็กโทบาซิลลัส พาราเคซี (<i>Lactobacillus paracasei</i>)	
แล็กโทบาซิลลัส รามโนซัส (<i>Lactobacillus rhamnosus</i>)	
แล็กโทบาซิลลัส ซาลิวาเรียส (<i>Lactobacillus salivarius</i>)	เพิ่มในประกาศ
ไบฟิโดแบคทีเรียม ซูโดลองกัม (<i>Bifidobacterium pseudolongum</i>)	ฉบับที่ 4 (พ.ศ.2564)

*ในกรณีสารเสริมชีวนะที่มีชื่อต่างจากที่กำหนดไว้หากมีหลักฐานแสดงว่าเป็นสารเสริมชีวนะชนิดเดียวกันให้ถือว่าเป็นสารเสริมชีวนะ

ตารางที่ 7.8 สารเสริมชีวนะที่ใช้เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ (กลุ่มเชื้อรา)

กลุ่มเชื้อรา

ฟิดิโอคูเซียส สปีชีส์ (*Pediococcus* spp.)

ยีสต์ (Yeast)

แอสเพอร์จิลลัส ไนเกอร์ (*Aspergillus niger*)

แอสเพอร์จิลลัส ออไรซี (*Aspergillus oryzae*)

แคนดิดา พินโทเลเพสซิ (*Candida pintolepessi*)

แซ็กคาโลไมเซส เซอวีวีซีอี (*Sacchalomyces cerevisiae*)

*ในกรณีสารเสริมชีวนะที่มีชื่อต่างจากที่กำหนดไว้หากมีหลักฐานแสดงว่าเป็นสารเสริมชีวนะชนิดเดียวกันให้ถือว่าเป็นสารเสริมชีวนะ

ที่มา: ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้ และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้า หรือขายอาหารสัตว์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2561

ประกาศในข้อ 10 กำหนดให้ชีวผลิตภัณฑ์ประเภทสารจำพวกเอนไซม์ (Enzyme) เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ โดยมีปริมาณที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูปแล้วจะต้องมีอัตราส่วนหรือปริมาณของเอนไซม์ชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันไม่น้อยกว่า 100 ยูนิต (Units) ต่ออาหารสัตว์ 1 กิโลกรัม (ตารางที่ 7.9)

ประกาศในข้อ 11 กำหนดให้วัตถุประเภทสารช่วยเสริมการย่อย เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ โดยมีปริมาณที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูปแล้วจะต้องมีอัตราส่วนหรือปริมาณของสารช่วยเสริมการย่อยชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกันไม่มากกว่าร้อยละ 2 และสารช่วยเสริมการย่อยที่ใช้เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ดังนี้ ซิทริกแอซิด (citric acid) แล็กติกแอซิด (lactic acid) มาลิกแอซิด (malic acid) ฟอर्मิกแอซิด (formic acid) ทาร์ทาริกแอซิด (tartaric acid) และโมโนโซเดียมออร์โทฟอสเฟต (monosodium orthophosphate)

ประกาศในข้อ 12 กำหนดให้โครเมียม พิคอลิเนต (chromium picolinate) เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ประเภทสารปรับปรุงคุณภาพซากสัตว์และให้ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารสัตว์ สำหรับสุรณ้าหนักตั้งแต่ 15 กิโลกรัมถึงส่งตลาด โดยให้มีโครเมียมในอัตราส่วนไม่เกิน 200 ไมโครกรัมต่ออาหารสัตว์ 1 กิโลกรัม ในรูปโครเมียม พิคอลิเนต

ประกาศในข้อ 13 กำหนดให้ทะเบียนตำรับยาที่มีตัวยาคือเป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ใช้เพื่อควบคุม ป้องกันโรคบิด สำหรับสัตว์ปีกทั้งในไก่เนื้อและไก่ไข่ในตารางที่ 7.10-7.12

ตารางที่ 7.9 เอนไซม์ที่ใช้เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์

ชนิดของเอนไซม์	
แอมิเลส (Amylase)	เซลลูเลส (Cellulase)
แอลฟา - แอมิเลส (Alpha - amylase)	เซลโลไบเอส (Cellobiase)
บีต้า - แอมิเลส (Beta - amylase)	ไซลานเนส (Xylanase)
กลูโค - แอมิเลส (Gluco - amylase)	เฮมิเซลลูเลส (Hemicellulase)
เอส - แอมิเลส (S - amylase)	ไลเปส (Lipase)
กลูโคซิเดส (Glucosidase)	แล็กเทส (Lactase)
กลูโคซิเดส (Glucosidase)	โปรทีเอส (Protease)
กลูคาเนส (Glucanase)	เอนโด - โปรทีเอส (Endo - Protease)
บีต้า - กลูคาเนส (Beta - glucanase)	เอกโซ - โปรทีเอส (Exo - Protease)
กาแล็กโทซิเดส (Galactosidase)	พรอกเทส (Proctase)
แอลฟา - กาแล็กโทซิเดส (Alpha - galactosidase)	เพกทิเนส (Pectinase)
แอลฟา - กาแล็กโทซิเดส (Alpha - galactosidase)	ไฟเตส (Phytase)

ตารางที่ 7.10 ยากันบิดที่ใช้ในอาหารสัตว์ไก่เนื้อ

ชนิดของวัตถุที่เติม ในอาหารไก่เนื้อ	ปริมาณที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์ ผสมสำเร็จรูป 1 กิโลกรัม		ข้อห้าม
	ขนาดต่ำสุด (มิลลิกรัม)	ขนาดสูงสุด (มิลลิกรัม)	
ดีโคควิเนต (Decoquate)	20	40	
โรเบนิดีน ไฮโดรคลอไรด์ (Robenidine hydrochloride)	30	36	
โมนენซิน (Monensin)	100	125	- ห้ามผสมกับยาป้องกันโรคบิดชนิดอื่น - ห้ามใช้ร่วมกับไทอะมุลิน (Tiamulin)
ซาลิโนไมซิน (Salinomycin)	50	70	- ห้ามใช้ร่วมกับไทอะมุลิน (Tiamulin)
ลาซาโลซิด (Lasalocid)	75	125	
มาดูรามิซิน (Maduramicin)	5	6	- ห้ามใช้ร่วมกับไทอะมุลิน (Tiamulin)
มาดูรามิซิน (Maduramicin)	60	70	- ห้ามใช้ร่วมกับไทอะมุลิน (Tiamulin)
ฮาโลฟิวจินอน ไฮโดรโบรไมด์ (Halofuginone hydrobromide)	2	3	

หมายเหตุ: ระยะเวลาหยุดยาเป็นไปตามที่กำหนดในฉลาก

ที่มา: ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้ และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้า หรือขายอาหารสัตว์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2561

ตารางที่ 7.11 ยากันบิดที่ใช้ในอาหารสัตว์ไก่เนื้อ

ชนิดของวัตถุที่เติม ในอาหารไก่เนื้อ	ปริมาณที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูป 1 กิโลกรัม		ข้อห้าม
	ขนาดต่ำสุด (มิลลิกรัม)	ขนาดสูงสุด (มิลลิกรัม)	
ไดคลาซูล (Diclazuril)	0.8	1.2	- ห้ามผสมกับยาป้องกันโรคบิดชนิดอื่น
เซมดูรามิซิน โซเดียม (Semduramicin sodium)	20	25	- หากใช้พร้อมกับไทอะมูลิน (Tiamulin) จะทำให้ลดอัตราการกินน้ำและอาหารลง ชั่วคราว
นาราสินและนิคาร์บาซิน (Narasin & Nicarbazin)	60	70	- ห้ามผสมกับยาป้องกันโรคบิดชนิดอื่น
นิคาร์บาซิน (Nicarbazin)	125	125	- ห้ามผสมกับยาป้องกันโรคบิดชนิดอื่น ยกเว้นนาราสิน (Narasin)
นาราสิน (Narasin) ** และนิคาร์บาซิน (Nicarbazin)	นาราสิน 40 นาราสิน 40	นาราสิน 50 นาราสิน 50	- ห้ามผสมกับยาป้องกันโรคบิดชนิดอื่น

** ถูกเพิ่มในประกาศฉบับที่ 2 พ.ศ. 2561 หมายเหตุ ระบุหยุดยา เป็นไปตามที่กำหนดในฉลาก

ที่มา: ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้ และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้า หรือขายอาหารสัตว์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2561

ตารางที่ 7.12 ยากันบิตที่ใช้ในอาหารสัตว์ไก่ไข่

ชนิดของวัตถุที่เติม ในอาหารไก่ไข่	ปริมาณที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์ ผสมสำเร็จรูป 1 กิโลกรัม		ข้อห้าม
	ขนาดต่ำสุด (มิลลิกรัม)	ขนาดสูงสุด (มิลลิกรัม)	
โมนენซิน (Monensin)	100	125	- ห้ามใช้ในไก่ไข่อายุเกิน 16 สัปดาห์ - ห้ามผสมกับยาป้องกันโรคบิดชนิดอื่น - ห้ามใช้ร่วมกับไทอะมูลิน (Tiamulin)
ซาลิโนไมซิน (Salinomycin)	50	50	- ห้ามใช้ในไก่ไข่อายุเกิน 12 สัปดาห์ - ห้ามใช้ร่วมกับไทอะมูลิน (Tiamulin)
ลาซาโลซิด (Lasalocid)	75	125	- ห้ามใช้ในไก่ไข่อายุเกิน 16 สัปดาห์
ไดคลาซูริล (Diclazuril)	1	1	- ห้ามใช้ในไก่ไข่อายุเกิน 16 สัปดาห์

หมายเหตุ: ระยะหยุดให้ยาก่อนนำสัตว์หรือผลผลิตจากสัตว์มาบริโภค ให้ไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ในฉลากยาแต่ละตำรับ
ที่ขึ้นทะเบียนยาไว้ตามกฎหมายว่าด้วยยา

ที่มา: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2559)

ประกาศในข้อ 14 ยาป้องกันโรคบิดอื่น ๆ สำหรับสัตว์ปีก นอกเหนือจากข้อ 13 ห้ามใช้เป็น
วัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ในการผลิตอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูปหรือหัวอาหารสัตว์

ประกาศในข้อ 15 กำหนดให้วัตถุประเภทสารควบคุมหนอนและแมลง ซึ่งมีชื่อทาง
วิทยาศาสตร์ว่าไซโรมาซีน (Cyromazine) เป็นวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ที่ใช้ผสมในอาหารสัตว์ผสม
สำเร็จรูปสำหรับไก่เท่านั้น และให้ใช้ในอัตราส่วนไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัม ต่ออาหารสัตว์ 1 กิโลกรัม

นอกเหนือจากการกำหนดปริมาณการใช้สารเสริมยังมีการประกาศกำหนดวัตถุที่ห้ามใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ โดยห้ามใช้ยา เกล็ดเคมีภัณฑ์ เกลือของเกล็ดเคมีภัณฑ์ เกล็ดเคมีภัณฑ์กิ่งสำเร็จรูปและเคมีภัณฑ์ เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ประกอบด้วย

1. กลุ่มเบต้าอะโกนิสต์ (β -agonist) เป็นยาใช้บรรเทาโรคหอบ หืด ช่วยในการขยายหลอดลม มีฤทธิ์ช่วยกระตุ้นการเต้นของหัวใจและช่วยให้กล้ามเนื้อขยายตัว เพิ่มการสลายตัวไขมันที่สะสมในร่างกาย ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นสารเร่งเนื้อแดงในการผลิตสุกร เพื่อให้มีเนื้อแดงมาก มีไขมันน้อย ซึ่งทำให้ได้ราคาดี ก่อให้เกิดผลข้างเคียงต่อตัวสัตว์ และการบริโภคเนื้อสัตว์ที่มีสารเร่งเนื้อแดงตกค้างอยู่ มีผลต่อการทำงานของระบบประสาทที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ กล้ามเนื้อเรียบของหลอดเลือด
2. กลุ่มไนโตรฟูแรนส์ (nitrofurans) เป็นกลุ่มยาปฏิชีวนะใช้เพื่อฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่เรื้อรังนำมาใช้ผสมในอาหารสัตว์ เพื่อเป็นการป้องกันและรักษาโรคในสัตว์
3. กลุ่มไนโตรอิมิดาโซล (nitroimidazoles) เป็นกลุ่มยาปฏิชีวนะไนโตรอิมิดาโซล (nitroimidazoles) ออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและโปรโตซัว (protozoa)
4. คลอแรมเฟนิคอล (chloramphenicol) เป็นกลุ่มยาปฏิชีวนะซึ่งใช้รักษาการติดเชื้อแบคทีเรียที่ค่อนข้างรุนแรง โดยยานี้จะเข้าไปทำลายโปรตีนที่สำคัญของเชื้อแบคทีเรีย และหยุดการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย
5. อะโวพาร์ซิน (avoparcin) เป็นกลุ่มยาปฏิชีวนะที่มีประสิทธิภาพต่อเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก มีการใช้ในการเกษตรเป็นสารเติมแต่งอาหารสัตว์เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตในไก่ และสุกร
6. คาร์บาดอกซ์ (carbadox) เป็นกลุ่มยาปฏิชีวนะมีฤทธิ์ต้านปรสิตที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์ใช้ในการควบคุมโรคท้องเสียในสุกร คาร์บาดอกซ์สามารถทำลายยีสและมีแนวโน้มเป็นสารก่อมะเร็ง
7. โอลาควินดอกซ์ (olaquinox) เป็นยาปฏิชีวนะมีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบ มีผลในการส่งเสริมการดูดซึมโปรตีน
8. ไดเอทิลstilbestrol (diethylstilbestrol; DES) เป็นฮอร์โมนสังเคราะห์ที่ใช้เป็นสารเร่งการเจริญเติบโต ซึ่งทำให้เกิดการตกค้างอยู่ตามเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกายสัตว์ส่งผลถึงผู้บริโภค

9 เมลามีนหรือสารในกลุ่มเมลามีน (melamine or melamine group) เช่น กรดซัยยานูริก (cyanuric acid) แอมมีไลด์ (ammelide) แอมมีลีน (ammeline) มีสูตรโครงสร้างทางเคมีที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เป็นกลุ่มไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen - NPN) โครงสร้างคล้ายคลึงกับสารที่มีโปรตีน การผสมเมลามีนลงไปในอาหารที่มีองค์ประกอบของโปรตีนเพื่อลดต้นทุนการผลิต ซึ่งเมลามีนจัดเป็นสารปนเปื้อนที่ก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพที่ร้ายแรงในมนุษย์และสัตว์เลี้ยง



แบบฝึกหัด บทที่ 7 ข้อบังคับในการใช้สารเสริมอาหารสัตว์

1. นักศึกษาอธิบายวัตถุประสงค์ของประกาศ เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้ และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้า หรือขายอาหารสัตว์ ตามพระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558



2. นักศึกษาอธิบายความหมายของคำว่า วัตถุที่เติม (Feed additives) ตามพระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558

3. นักศึกษาอธิบายความหมายของคำว่า สือ (Carriers) ตามพระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558

4. นักศึกษาอธิบายผลกระทบของการเสริมสารกลุ่มเบต้าอะโกนิสต์และเมลามีนในอาหารสัตว์

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2566. แผนยุทธศาสตร์ว่าด้วยการจัดการการดื้อยาต้านจุลชีพประเทศไทย พ.ศ. 2560–2564. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://narst.dmsc.moph.go.th/documentation/AMR%20strategy%202560-2564.pdf> (1 มีนาคม 2567).
- กฤษ อังคนาพร และกิตติ ทรัพย์ชูกุล. 2564. นวัตกรรมสารเสริมในอาหารเพื่อปรับปรุงคุณภาพเนื้อสุกรไทย. การพัฒนาการเกษตรอย่างยั่งยืน. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.journal.unisearch.chula.ac.th/th/issue-reader/85> (3 กันยายน 2564).
- กองควบคุมอาหารและยาสัตว์ กรมปศุสัตว์. 2566. แผนยุทธศาสตร์ว่าด้วยการจัดการการดื้อยาต้านจุลชีพประเทศไทย. เอกสารประกอบการอบรมการจัดการเชื้อดื้อยา และแนวทางการปฏิบัติหน้าที่ตามพระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558. วันที่ 29 มีนาคม 2566
- บุญขวัญ วงษอยุณ้อย. 2563. การใช้ยาต้านจุลชีพในสัตว์ปีกเพื่อการบริโภค. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://ns1.vetcouncil.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=1569:2022-03-03-02-23-23&catid=23&Itemid=143&lang=th (30 มีนาคม 2567).
- พระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558. เรื่อง กำหนดชื่อ ประเภท ชนิด ลักษณะหรือคุณสมบัติของวัตถุที่ห้ามใช้ผสมในอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558 (21 สิงหาคม 2558). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 132 ตอนพิเศษ 193 ง หน้า 3.
- พระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558. เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้าหรือขายอาหารสัตว์ พ.ศ. 2559 (26 ธันวาคม 2559). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 133 ตอนพิเศษ 306 ง. หน้า 18-26.
- พระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558. เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้าหรือขายอาหารสัตว์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2561 (30 พฤศจิกายน 2561). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 135 ตอนพิเศษ 306 ง. หน้า 9-11.

- พระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558. เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้าหรือขายอาหารสัตว์ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2562 (17 ตุลาคม 2562). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 136 ตอนพิเศษ 258 ง. หน้า 1.
- พระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558. เรื่อง กำหนดวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ ปริมาณการใช้และเงื่อนไขในการห้ามผลิต นำเข้าหรือขายอาหารสัตว์ (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2564 (15 ตุลาคม 2564). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 138 ตอนพิเศษ 251 ง. หน้า 18-19.
- พระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2558. เรื่อง กำหนดวัตถุที่ห้ามใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ พ.ศ. 2559 (22 มกราคม 2559). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 133 ตอนพิเศษ 18 ง. หน้า 27.
- สุทิสฯ เข้มพะกา. 2563. สารเสริมอาหารในการผลิตสัตว์. ห้างหุ้นส่วนจำกัด เลิศศิลป์ สารสนเทศ. นครราชสีมา.
- สาโรช คำเจริญ. 2547. อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่คีย์วเอื่อง. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา. ขอนแก่น.
- Abbasi, F., Fakhur-Un-Nisa, T., Liu, J., Luo, X., Abbasi, I.H.R., 2019. Low digestibility of phytate phosphorus, their impacts on the environment, and phytase opportunity in the poultry industry. *Environ Sci Pollut Res Int* 26, 9469-9479.
- Afedzi, A.E.K., Obeng-Boateng, F., Aduama-Larbi, M.S., Zhou, X., Xu, Y., 2023. Valorization of Ghanaian cocoa processing residues as extractives for value-added functional food and animal feed additives – A review. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 52
- Aksoy, B., Yildirim-Aksoy, M., Jiang, Z., Beck, B., 2022. Novel animal feed binder from soybean hulls -evaluation of binding properties. *Anim. Feed Sci. Technol.* 288; 115292.
- Alagawany, M., Elnesr, S.S., Farag, M.R., Abd El-Hack, M.E., Barkat, R.A., Gabr, A.A., Foda, M.A., Noreldin, A.E., Khafaga, A.F., El-Sabrou, K., Elwan, H.A.M., Tiwari, R., Yatoo, M.I., Michalak, I., Di Cerbo, A., Dhama, K., 2021. Potential role of important nutraceuticals in poultry performance and health - A comprehensive review. *Res. Vet. Sci.* 137; 9-29.

- Alem, W.T., 2024. Effect of herbal extracts in animal nutrition as feed additives. *Heliyon* 10, 24973.
- Anee, I.J., Alam, S., Begum, R.A., Shahjahan, R.M., Khandaker, A.M., 2021. The role of probiotics on animal health and nutrition. *J. Basic Appl. Zool.* 82
- Attia, Y.A., Abdallah, A.A., Bovera, F., Abd El-Hamid, A.E.-H.E., El-Naggar, A.S., Alhotan, R.A., Tufarelli, V., Zaki, R.M., 2024. Effect of dietary electrolyte balance and arginine to lysine ratio on hematological, antioxidant and immunological traits in dual-purpose breeding hens under cyclic heat stress condition. *J. Therm. Biol.* 121
- Ayalew, H., Zhang, H., Wang, J., Wu, S., Qiu, K., Qi, G., Tekeste, A., Wassie, T., Chanie, D., 2022. Potential Feed Additives as Antibiotic Alternatives in Broiler Production. *Front. Vet. Sci.* 9, 916473.
- Bacanli, M., Basaran, N., 2019. Importance of antibiotic residues in animal food. *Food Chem. Toxicol.* 125:, 462-466.
- Bakry, A.M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M.Y., Mousa, A., Liang, L., 2016. Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 15, 143-182.
- Bashir, O., Hussain, S.Z., Ameer, K., Amin, T., Beenish, Ahmed, I.A.M., Aljobair, M.O., Gani, G., Mir, S.A., Ayaz, Q., Nazir, N., 2022. Influence of Anticaking Agents and Storage Conditions on Quality Characteristics of Spray Dried Apricot Powder: Shelf Life Prediction Studies Using Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) Model. *Foods* 12
- Biswas, A., Dev, K., Tyagi, P.K., Mandal, A., 2022. The effect of multi-strain probiotics as feed additives on performance, immunity, expression of nutrient transporter genes and gut morphometry in broiler chickens. *Anim. Biosci.* 35, 64-74.
- Broderick, T.J., Gutierrez, O., Lee, J.T., Duong, T., 2021. Evaluation of functional feed additive administration in broiler chickens to 21d. *J. Appl. Poultry Res.* 30, 1-11.
- CDC, U.C.f.D.C., 2014. Antibiotic-resistant bacteria have the potential to spread from farm animals.

- Chukwuma, I.F., Uchendu, N.O., Asomadu, R.O., Ezeorba, W.F.C., Ezeorba, T.P.C., 2023. African and Holy Basil - a review of ethnobotany, phytochemistry, and toxicity of their essential oil: Current trends and prospects for antimicrobial/anti-parasitic pharmacology. *Arab. J. Chem.* 16
- Dijksterhuis, J., Meijer, M., van Doorn, T., Houbraken, J., Bruinenberg, P., 2019. The preservative propionic acid differentially affects survival of conidia and germ tubes of feed spoilage fungi. *Int. J. Food Microbiol.* 306:, 108258.
- Ermias, K., Xiaoyu, F., 2021. The Daily Churn.
- Fenster, K., Freeburg, B., Hollard, C., Wong, C., Ronhave Laursen, R., Ouwehand, A.C., 2019. The Production and Delivery of Probiotics: A Review of a Practical Approach. *Microorganisms* 7, 1-17.
- Gessesse, A., 2011. Industrial Enzymes for Sustainable Bio-Economy, International Livestock Research Institute, pp. 1-36.
- Goswami, S., Asrani, P., Ansheef Ali, T.P., Kumar, R.D., Vinutha, T., Veda, K., Kumari, S., Sachdev, A., Singh, S.P., Satyavathi, C.T., Kumar, R.R., Praveen, S., 2020. Rancidity Matrix: Development of Biochemical Indicators for Analysing the Keeping Quality of Pearl Millet Flour. *Food Anal. Methods* 13, 2147-2164.
- Hosseini, S.H., Farhangfar, A., Moradi, M., Dalir-Naghadeh, B., 2024. Beyond probiotics: Exploring the potential of postbiotics and parabiotics in veterinary medicine. *Res. Vet. Sci.* 167:, 105133.
- Imbabi, T., Hassan, A., Ahmed-Farid, O., El-Garhy, O., Sabeq, I., Moustafa, M., Mohammadein, A., Hassan, N., Osman, A., Sitohy, M., 2021. Supplementing rabbit diets with butylated hydroxyanisole affects oxidative stress, growth performance, and meat quality. *Animal* 15, 100339.
- Imran, M., Nazar, M., Saif, M., Khan, M.A., Vardan, M., Javed, O., 2016. Role of enzymes in animal nutrition: a review. *PSM Veterinary Research* 1, 38-45.
- ISAPP, I.S.A.o.P.a.P., 2021. Understanding ISAPP's new scientific consensus definition of postbiotics.
- Kalus, K., Konkol, D., Korczyński, M., Koziel, J.A., Opaliński, S., 2020. Laying Hens Biochar Diet Supplementation—Effect on Performance, Excreta N Content,

NH₃ and VOCs Emissions, Egg Traits and Egg Consumers Acceptance.
Agriculture 10

- Khan, R.U., Naz, S., Raziq, F., Qudratullah, Q., Khan, N.A., Laudadio, V., Tufarelli, V., Ragni, M., 2022. Prospects of organic acids as safe alternative to antibiotics in broiler chickens diet. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 29, 32594-32604.
- Li, F., Wu, X., Wu, W., 2021. Effects of protein oxidation induced by rice bran rancidity on the structure and functionality of rice bran glutelin. *LWT-Food Sci. Technol.* 149:, 111874.
- Liu, Y., Espinosa, C.D., Abelilla, J.J., Casas, G.A., Lagos, L.V., Lee, S.A., Kwon, W.B., Mathai, J.K., Navarro, D., Jaworski, N.W., Stein, H.H., 2018. Non-antibiotic feed additives in diets for pigs: A review. *Anim. Nutr.* 4, 113-125.
- Markowiak, P., Slizewska, K., 2018. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathog.* 10, 21.
- Muhammad Imran, M.N., Muhammad Saif, Muhammad Ahsan Khan, Sanauallah, Muhammad, Vardan, Omer Javed, 2016. Role of Enzymes in Animal Nutrition: A Review. *PSM Vet. Res.* 1, 38-45.
- Nemes, S.A., Calinoiu, L.F., Dulf, F.V., Farcas, A.C., Vodnar, D.C., 2022. Integrated Technology for Cereal Bran Valorization: Perspectives for a Sustainable Industrial Approach. *Antioxidants (Basel)* 11
- Nguyen, D.H., Seok, W.J., Kim, I.H., 2020. Organic Acids Mixture as a Dietary Additive for Pigs-A Review. *Animals (Basel)* 10, 1-2.
- Parmar, A., Patel, V., Usadadia, S., Rathwa, S., Prajapati, D., 2019. A solid state fermentation, its role in animal nutrition: A review. *Int. J. Chem. Stud.* 7, 4626-4633.
- Partanen, K.H., Mroz, Z., 1999. Organic acids for performance enhancement in pig diets. *Nutr. Res. Rev.* 12, 117-145.
- Pearlin, B.V., Muthuvel, S., Govidasamy, P., Villavan, M., Alagawany, M., Ragab Farag, M., Dhama, K., Gopi, M., 2020. Role of acidifiers in livestock nutrition and health: A review. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)* 104, 558-569.
- Rychen, G., Aquilina, G., Azimonti, G., Bampidis, V., Bastos, M.d.L., Bories, G., Chesson, A., Cocconcelli, P.S., Flachowsky, G., Gropp, J., Kolar, B., Kouba, M., López -

- Alonso, M., López Puente, S., Mantovani, A., Mayo, B., Ramos, F., Saarela, M., Villa, R.E., Wallace, R.J., Wester, P., Anguita, M., Galobart, J., Innocenti, M.L., Martino, L., 2018. Guidance on the assessment of the efficacy of feed additives. *EFSA J.* 16, 1-2.
- Rychen, G., Aquilina, G., Azimonti, G., Bampidis, V., Bastos, M.L., Bories, G., Chesson, A., Cocconcelli, P.S., Flachowsky, G., Gropp, J., Kolar, B., Kouba, M., Lopez-Alonso, M., Lopez Puente, S., Mantovani, A., Mayo, B., Ramos, F., Saarela, M., Villa, R.E., Wallace, R.J., Wester, P., Anguita, M., Galobart, J., Innocenti, M.L., 2017. Guidance on the identity, characterisation and conditions of use of feed additives. *EFSA J.* 15, 5023.
- Saifullah, M., Shishir, M.R.I., Ferdowsi, R., Rahman, M.R.T., Van Vuong, Q., 2019. Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: A critical review. *Trends Food Sci. Tech.* 86:, 230-251.
- Salminen, S., Collado, M.C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E.M.M., Sanders, M.E., Shamir, R., Swann, J.R., Szajewska, H., Vinderola, G., 2021. The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nat. Rev. Gastroenterol Hepatol.* 18, 649-667.
- Shehata, A.A., Yalcin, S., Latorre, J.D., Basiouni, S., Attia, Y.A., Abd El-Wahab, A., Visscher, C., El-Seedi, H.R., Huber, C., Hafez, H.M., Eisenreich, W., Tellez-Isaias, G., 2022. Probiotics, Prebiotics, and Phytogenic Substances for Optimizing Gut Health in Poultry. *Microorganisms* 10, 1-34.
- Shi, H., Lopes, T., Tompkins, Y.H., Liu, G., Choi, J., Sharma, M.K., Kim, W.K., 2024. Effects of phytase supplementation on broilers fed with calcium and phosphorus-reduced diets, challenged with *Eimeria maxima* and *Eimeria acervulina*: influence on growth performance, body composition, bone health, and intestinal integrity. *Poult. Sci.* 103, 103511.
- Shinkawa, S., Mitsuzawa, S., 2020. Feasibility study of on-site solid-state enzyme production by *Aspergillus oryzae*. *Biotechnol. Biofuels* 13, 31.
- Shoaib, M., Bhatti, S.A., Ashraf, S., Hamid, M.M.A., Najam us, S., Javed, M.M., Amir, S., Aslam, N., Roobi, A., Iqbal, H.H., Asif, M.A., Nazir, U., Saif-ur-Rehman, M., 2023.

- Fat digestion and metabolism: effect of different fat sources and fat mobilisers in broilers' diet on growth performance and physiological parameters – A review. *Ann. Anim. Sci.* 23, 641-661.
- Siri-anusornsak, W., Meneely, J., Greer, B., Vangnai, K., Mahakarnchanakul, W., Elliott, C., Petchkongkaew, A., Kolawole, O., 2023. In vitro assessment of commercial multi-mycotoxin binders to reduce the bioavailability of emerging mycotoxins in livestock. *Emerg. Contam.* 9, 100256.
- Suiryanrayna, M.V., Ramana, J.V., 2015. A review of the effects of dietary organic acids fed to swine. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6, 1-11.
- Thuekeaw, S., Angkanaporn, K., Nuengjamnong, C., 2022. Microencapsulated basil oil (*Ocimum basilicum* Linn.) enhances growth performance, intestinal morphology, and antioxidant capacity of broiler chickens in the tropics. *Anim. Biosci.* 35, 752-762.
- Tongnuanchan, P., Benjakul, S., 2014. Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *J. Food Sci.* 79, R1231-1249.
- Xu, R., Kiarie, E.G., Yiannikouris, A., Sun, L., Karrow, N.A., 2022. Nutritional impact of mycotoxins in food animal production and strategies for mitigation. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 13, 69.
- Zhao, J., Wang, S., Dong, Z., Li, J., Jia, Y., Shao, T., 2021. Effect of storage time and the level of formic acid on fermentation characteristics, epiphytic microflora, carbohydrate components and in vitro digestibility of rice straw silage. *Anim. Biosci.* 34, 1038-1048.
- Zhao, P., Piao, X., Pan, L., Zeng, Z., Li, Q., Xu, X., Wang, H., 2017. *Forsythia suspensa* extract attenuates lipopolysaccharide-induced inflammatory liver injury in rats via promoting antioxidant defense mechanisms. *Anim. Sci. J.* 88, 873-881.



11102401

ANIMAL FEED ADDITIVES

คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
252 หมู่ 8 ต.หนองหาร อ. สันทราย จ. เชียงใหม่ 50290