

ผลของการเสริมเอนไซม์ช่วยย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งในวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้ ของวัตถุดิบในหลอดทดลอง

ศศิกานต์ นันแก้ว^{1*}, ณัฐปภัสร ธนพิมพ์วงศ์², และดร.ณิ ศรีชนะ¹

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
²ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์ บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ตำบลคลองกู่ อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี

* Corresponding author: sasikan.nunk@dome.tu.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีเยื่อใยสูงมักมีโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (NSP) ซึ่งอาจลดประสิทธิภาพการย่อยและการดูดซึมสารอาหารในไก่เนื้อ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ย่อย NSP สองชนิด ได้แก่ เอนไซม์ไซลานเนสและเอนไซม์รวม (ไซลานเนส เบต้า-กลูคาเนส เซลลูเลส และไซโลกลูคาเนส) ต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในหลอดทดลองของวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม การทดลองเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มเสริมและไม่เสริมเอนไซม์ วิเคราะห์ด้วย t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลการทดลองพบว่า การเสริมเอนไซม์ไซลานเนสไม่ส่งผลต่อค่าการย่อยได้อย่างมีนัยสำคัญในทุกวัตถุดิบ ($P>0.05$) ขณะที่การเสริมเอนไซม์รวมช่วยเพิ่มค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในข้าวเปลือกอย่างมีนัยสำคัญ (61.58% เทียบกับ 60.53%; $P<0.05$) แต่ไม่มีผลในวัตถุดิบอื่น โดยสรุป การเสริมเอนไซม์รวมสามารถช่วยปรับปรุงการย่อยได้ของวัตถุดิบในข้าวเปลือก ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการใช้แทนวัตถุดิบหลักที่มีราคาสูงในสูตรอาหารสัตว์ การใช้เอนไซม์ในอาหารที่มีวัตถุดิบท้องถิ่นหรือวัตถุดิบรองอย่างข้าวเปลือกจึงเป็นแนวทางที่ช่วยลดต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรในประเทศอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังมีแนวโน้มส่งผลดีต่อการผลิตสัตว์ปีกในเชิงอุตสาหกรรม โดยเฉพาะด้านการจัดการต้นทุน การเพิ่มอัตราการเปลี่ยนอาหาร และความยั่งยืนของระบบการผลิต

คำสำคัญ: วัตถุดิบอาหารสัตว์ / ไก่เนื้อ / เอนไซม์ย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง / อุตสาหกรรมอาหารสัตว์

Effect of Supplementing Non-Starch Polysaccharide-Degrading Enzymes in Broiler Feed Ingredients on *In Vitro* Dry Matter Digestibility

Sasikan Nunkaew^{1*}, Natpaphat Thanapimpawong², and Darunee Srichana¹

¹ Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani 12120, Thailand

² Feed Innovation and Research Center 1 (FRIC), Charoen Pokphand Group Cp., Ltd, Chonbri 20220, Thailand

* Corresponding author: sasikan.nunk@dome.tu.ac.th

Abstract

Feed ingredients with high fiber content are typically rich in non-starch polysaccharides (NSPs), which are known to adversely affect nutrient digestibility and absorption in broiler chickens. This study aimed to evaluate the effects of supplementing two types of NSP-degrading enzymes xylanase and multi-enzyme complex comprising xylanase, beta-glucanase, cellulase, and xyloglucanase on the *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) of five broiler feed ingredients: corn, soybean meal, rice bran, paddy rice, and palm kernel meal. A two-treatment comparison (with and without enzyme supplementation) was conducted for each ingredient. IVDMD was determined using a standardized *in vitro* digestion method, and data were analyzed using independent samples t-tests at a 95% confidence level. The results indicated that xylanase supplementation alone had no significant effect on IVDMD across all ingredients ($P > 0.05$). However, the multi-enzyme complex significantly improved the IVDMD of paddy rice (61.58% vs. 60.53%; $P < 0.05$), while no significant differences were observed for the other ingredients. In conclusion, the inclusion of a multi-enzyme complex improved the digestibility of paddy rice a locally available, NSP-rich feedstuff with the potential to replace more expensive conventional ingredients in broiler diets. The use of exogenous enzymes in diets containing alternative or non-conventional feed ingredients such as paddy rice may offer a cost-effective strategy to enhance nutrient utilization, reduce feed costs, and promote sustainability in commercial poultry production systems.

Keywords: Feed Ingredients / Broiler / Non-starch Polysaccharide-degrading Enzymes / Poultry Feed Industry

1. บทนำ

การผลิตปศุสัตว์นั้นมีต้นทุนการผลิตที่ผันผวนตามราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่คิดเป็น 60 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด โดยต้นทุนค่าอาหารสัตว์ปีงบประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ มาจากแหล่งของวัตถุดิบที่ให้พลังงาน [1] ปัจจุบันราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์มีการปรับตัวสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากภาวะเศรษฐกิจโลก ราคาน้ำมันดิบ การเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ และสงครามรัสเซีย-ยูเครน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้วัตถุดิบจากพืชที่มีราคาไม่แพงมาเป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์มากขึ้น เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต โดยวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีเยื่อใยสูงซึ่งมีส่วนประกอบของโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (Non-Starch Polysaccharides: NSP) ถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารไก่เนื้อ อย่างไรก็ตามการใช้วัตถุดิบดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหารและการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ เนื่องจากสัตว์ปีกขาดเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลาย NSP [2] แต่หากสามารถปรับปรุงความสามารถในการย่อยและการดูดซึมสารอาหารต่างๆ ในระบบทางเดินอาหารของไก่เนื้อให้ดีขึ้น วัตถุดิบอาหารจากพืชที่มีเยื่อใยสูงที่กล่าวมานี้จะกลายมาเป็นแหล่งของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหารสัตว์ที่มีราคาไม่แพง

การเสริมเอนไซม์ในอาหารสัตว์เป็นหนึ่งในวิธีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหาร เนื่องจากเอนไซม์สามารถย่อยสลายโครงสร้างของ NSP ซึ่งช่วยให้สัตว์สามารถย่อยและดูดซึมสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากการศึกษาพบว่า การเสริมเอนไซม์ช่วยย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งในอาหารสัตว์ปีก เช่น ไชลานเนส [3] เบต้าแมนนาเนส เบต้ากลูคาเนส แอลฟาอะไมเลส และไฟเตส [4] สามารถช่วยลดความหนืดในระบบทางเดินอาหารและเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหารของสัตว์ปีกได้ อย่างไรก็ตามเอนไซม์ที่ใช้จะมีความทำงานที่เฉพาะเจาะจงกับสารตั้งต้นหรือวัตถุดิบซึ่งเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ การตอบสนองต่อการเสริมเอนไซม์ในไก่เนื้อจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น กิจกรรมของเอนไซม์ ความเฉพาะเจาะจงกับสารตั้งต้น ปฏิกริยาระหว่างเอนไซม์ คุณภาพของวัตถุดิบ และอายุของไก่เนื้อ [5]

ในอุตสาหกรรมเลี้ยงไก่เนื้อ อาหารส่วนใหญ่ประกอบด้วยวัตถุดิบหลักคือข้าวโพดและกากถั่วเหลือง โดยข้าวโพดมีอะราบิโนไซแลนเป็นส่วนประกอบหลักประมาณ 48.65 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณ NSP ทั้งหมด [6] แม้ว่าการเสริมเอนไซม์ ไชลานเนส ซึ่งมีหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายโครงสร้างหลักของไซแลน [7] จะถูกนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ แต่การตอบสนองของเอนไซม์ไชลานเนสต่อข้าวโพดนั้นยังคงต่ำกว่าวัตถุดิบอื่นๆ เช่น ข้าวสาลี ข้าวไรย์ และข้าวบาร์เลย์ เนื่องจากข้าวโพดมีปริมาณ NSP ทั้งหมดต่ำกว่า [8] ปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในการเลือกใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่หาได้ภายในประเทศ เช่น ข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและมีปริมาณมาก แต่มีข้อจำกัดในการใช้เนื่องจากวัตถุดิบเหล่านี้มีปริมาณ NSP สูง เช่น ข้าวมีปริมาณเบต้ากลูแคน [9] เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสในระดับสูง [10] พบว่าการเสริมเอนไซม์รวม (ไชลานเนส เบต้ากลูคาเนส อินเวอร์เทส โปรตีเอส เซลลูเลส อะไมเลส และแมนนาเนส) ในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวเป็นส่วนประกอบทำให้ไก่เนื้อมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวสูงกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมเอนไซม์ [11] ข้าวเปลือกมีปริมาณ NSP สูงเช่นกัน พบว่าการเสริมเอนไซม์รวม (ไชลานเนส เบต้ากลูคาเนส และเซลลูเลส) ในอาหารที่มีส่วนประกอบของโพด ข้าวเปลือก และกากถั่วเหลือง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหารของเป็ด [12] กากเนื้อในเมล็ดปาล์มประกอบด้วยแมนแนนเป็นส่วนประกอบหลัก และพบเซลลูโลส กลูคูโรโนไซแลน และอาราบินโนไซแลนประกอบอยู่ด้วย [13,14] พบว่าการเสริมเอนไซม์รวม (เบต้าแมนนาเนส ไชลานเนส อะไมเลส โปรตีเอส เซลลูเลส และเบต้ากลูคาเนส) ในอาหารไก่เนื้อที่มีส่วนประกอบของกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม 16 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ [15] จากความซับซ้อนของโครงสร้าง NSP ที่พบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่างๆ การใช้เอนไซม์หลายชนิดร่วมกันจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อย NSP และการดูดซึมสารอาหารในสัตว์ปีก ดังนั้นการศึกษาความเฉพาะเจาะจงของเอนไซม์กับวัตถุดิบอาหารสัตว์จะนำไปสู่การใช้งานของเอนไซม์ในอาหารสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (NSP) สองชนิด ได้แก่ เอนไซม์ไซลานเนส และเอนไซม์รวม (ไซลานเนส เบต้า-กลูคาเนส เซลลูเลส และไซโลกลูคาเนส) ต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในหลอดทดลองของวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้ดำเนินการในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมุ่งเน้นการประเมินค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในหลอดทดลอง (in vitro dry matter digestibility) ของวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่เสริมเอนไซม์ย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (เอนไซม์ไซลานเนส และเอนไซม์รวม) กับกลุ่มที่ไม่เสริมเอนไซม์ การทดลองใช้ตัวอย่างจำนวน 8 ซ้ำต่อชุดการทดลอง และวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4. วิธีการศึกษา

4.1 การวางแผนการทดลอง

การทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ (in vitro) โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ การเปรียบเทียบ 2 กลุ่ม (Two-group comparison) ได้แก่ กลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์ และกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมเอนไซม์ เพื่อประเมินผลของเอนไซม์ช่วยย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (NSP) ต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ชุด ได้แก่

1. ชุดการทดลองที่เสริมเอนไซม์ไซลานเนส
2. ชุดการทดลองที่เสริมเอนไซม์รวม (ประกอบด้วยไซลานเนส เบต้า-กลูคาเนส เซลลูเลส และไซโลกลูคาเนส)

แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วยวัตถุดิบ 5 ชนิด x 2 กลุ่ม (เสริมเอนไซม์/ไม่เสริมเอนไซม์) x 8 ซ้ำ รวมทั้งสิ้น 80 หน่วยทดลองในแต่ละชุด (40 หน่วย/กลุ่ม)

การวิเคราะห์ค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบดำเนินการตามวิธีมาตรฐานในหลอดทดลอง และใช้การวิเคราะห์ทางสถิติแบบ t-test แบบอิสระ (independent samples t-test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าการย่อยได้ระหว่างกลุ่มที่เสริมและไม่เสริมเอนไซม์ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติไว้ที่ $P < 0.05$

4.2 การเตรียมวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ศึกษาและการวิเคราะห์ทางเคมี

นำวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ที่ได้จากโรงงานอาหารสัตว์มาบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร และนำตัวอย่างวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ในการทดลองส่งตรวจวิเคราะห์หาส่วนประกอบของน้ำตาลในรูปที่ไม่สามารถละลายน้ำ สามารถละลายน้ำ และน้ำตาลทั้งหมด โดยห้องปฏิบัติการผลิตภัณฑ์อาหารกรุงเทพฯ (ถนนบางนา-ตราด กม.21 สมุทรปราการ) ตามวิธีของ [16] ดังแสดงในตารางที่ 1, 2 และ 3

4.3 การเตรียมเอนไซม์

นำเอนไซม์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์ไซลานเนสและเอนไซม์รวม (ไซลานเนส เบต้า-กลูคาเนส เซลลูเลส และไซโลกลูคาเนส) ซึ่งเป็นเอนไซม์ทางการค้าของบริษัท DSM Nutritional Products (Thailand) Ltd. มาผสมในวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้ง 5 ชนิด ที่เตรียมจากข้อ 4.2 ที่ระดับ 0 และ 1 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของน้ำตาลที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ในวัตถุดิบอาหารสัตว์

วัตถุดิบอาหาร	อะราบิโนส	ฟรุกโตส	ซูโคส	กาแล็กโทส	กลูโคส	แมนโนส	แรมโนส	ไรโบส	ไซโลส
ข้าวโพด	1.650	0.000	0.000	0.389	2.590	0.059	0.023	0.000	2.030
กากถั่วเหลือง	1.560	0.000	0.210	2.500	2.870	0.212	0.137	0.000	0.845
รำข้าว	2.250	0.000	0.018	0.637	3.780	0.180	0.048	0.000	2.630
ข้าวเปลือก	0.740	0.000	0.000	0.205	6.100	0.041	0.019	0.000	3.150
กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม	0.698	0.000	0.000	1.290	6.540	26.100	0.000	0.000	2.380

ปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดมีหน่วย คือ กรัม/100 กรัม

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของน้ำตาลที่สามารถละลายน้ำได้ในวัตถุดิบอาหารสัตว์

วัตถุดิบอาหาร	อะราบิโนส	ฟรุกโตส	ซูโคส	กาแล็กโทส	กลูโคส	แมนโนส	แรมโนส	ไรโบส	ไซโลส
ข้าวโพด	0.140	0.000	0.000	0.073	1.120	0.017	0.001	0.000	0.133
กากถั่วเหลือง	0.262	0.000	0.041	0.493	0.040	0.153	0.074	0.000	0.029
รำข้าว	0.116	0.000	0.003	0.020	0.034	0.023	0.008	0.000	0.041
ข้าวเปลือก	0.001	0.000	0.000	0.063	0.096	0.005	0.008	0.000	0.039
กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม	0.192	0.000	0.000	0.127	0.172	1.220	0.000	0.000	0.220

ปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดมีหน่วย คือ กรัม/100 กรัม

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของน้ำตาลทั้งหมดในวัตถุดิบอาหารสัตว์

วัตถุดิบอาหาร	อะราบิโนส	ฟรุกโตส	ซูโคส	กาแล็กโทส	กลูโคส	แมนโนส	แรมโนส	ไรโบส	ไซโลส
ข้าวโพด	1.790	0.000	0.000	0.463	3.700	0.076	0.024	0.000	2.160
กากถั่วเหลือง	1.820	0.000	0.251	2.990	2.910	0.365	0.211	0.000	0.874
รำข้าว	2.360	0.000	0.021	0.657	3.820	0.202	0.056	0.000	2.670
ข้าวเปลือก	0.742	0.000	0.000	0.268	6.190	0.046	0.027	0.000	3.190
กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม	0.889	0.000	0.000	1.420	6.710	27.400	0.000	0.000	2.600

ปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดมีหน่วย คือ กรัม/100 กรัม

4.4 การวิเคราะห์ค่าการย่อยได้ในหลอดทดลอง

แบ่งระยะในการจำลองสภาวะการย่อยอาหารในระบบทางเดินอาหารของไก่เนื้อในหลอดทดลองออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะการย่อยอาหารในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ [17] โดยทำการชั่งตัวอย่างอาหาร 0.5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และเติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ 25 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) 0.2 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร และทำการปรับ pH ให้มีค่าเท่ากับ 2 หลังจากนั้นเติมเอนไซม์เปปซิน (pepsin) 1 มิลลิลิตร และเติมคลอแรมเฟนิคอล (chloramphenicol) 0.5 มิลลิลิตร และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส ที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ขั้นตอนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อจำลองระยะการย่อยอาหารในกระเพาะอาหาร

หลังจากครบเวลาในการบ่มทำการเติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.2 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร และ NaOH 0.6 โมลาร์ 5 มิลลิลิตร และทำการปรับ pH ให้มีค่าเท่ากับ 6.8 หลังจากนั้นเติมเอนไซม์แพนครีเอติน (pancreatin) 1 มิลลิลิตร และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส ที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ขั้นตอนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อจำลองระยะการย่อยอาหารในลำไส้เล็ก และทำการเติมกรดซัลโฟซาลิไซลิก 20 เปอร์เซ็นต์ 5 มิลลิลิตร เพื่อยุติกิจกรรมเอนไซม์ โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

หลังจากนั้นนำไปกรองและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และทำการบันทึกน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณหาค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลองตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลอง} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งก่อนย่อย} - \text{น้ำหนักแห้งหลังย่อย}}{\text{น้ำหนักแห้งก่อนย่อย}} \times 100$$

4.5 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษาการเสริมเอนไซม์ไซลาลเนสในวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ

จากการศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ไซลาลเนสในวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลอง พบว่าการเสริมเอนไซม์ไซลาลเนสไม่ได้ช่วยปรับปรุงค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ของกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมเอนไซม์ไซลาลเนสเทียบกับกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์ไซลาลเนส เท่ากับ 72.16 เทียบกับ 72.11, 72.12 เทียบกับ 72.47, 76.91 เทียบกับ 77.47, 61.81 เทียบกับ 62.20 และ 30.62 เทียบกับ 31.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($P>0.05$) อาจเนื่องมาจากในข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม มีปริมาณของน้ำตาลอะราบินโนสและไซโลส (arabinose และ xylose) ที่เป็นสารตั้งต้นของอะราบินโนไซด์ (arabinoxylan) เป็นส่วนประกอบอยู่เพียงเล็กน้อย เท่ากับ 1.79 และ 2.16, 1.82 และ 0.87, 2.36 และ 2.67, 0.74 และ 3.19 และ 0.89 และ 2.60 กรัม/100 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3) จึงทำให้การเสริมเอนไซม์ไซลาลเนสที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายโครงสร้างของไซแลนในวัตถุดิบเหล่านี้ไม่ได้ช่วยปรับปรุงค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลอง อันเนื่องมาจากการไฮโดรไลซิสไซแลนที่อยู่ในรูปของอะราบินโนไซด์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนและต้องการเอนไซม์ที่มีความเฉพาะเจาะจงสูง โดยอะราบินโนไซด์มีความหนืดและสามารถกักเก็บน้ำได้ ซึ่งจะทำให้เกิดสารละลายน้ำที่มีความหนืดสูง [18] ซึ่งความหนืดที่เกิดขึ้นจะไปยับยั้งการไฮโดรไลซิสของเอนไซม์กับสารอาหารต่างๆ [19] ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ [20] พบว่าการเสริมเอนไซม์ไซลาลเนสไม่ได้ช่วยปรับปรุงค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลองของข้าวโพดและกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม เนื่องจากข้าวโพดมีอะราบินโนไซด์เป็นส่วนประกอบเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ [21] และกากเนื้อในเมล็ดปาล์มมีอะราบินโนไซด์เป็นส่วนประกอบต่ำเพียง 3 เปอร์เซ็นต์ [22] และจากงานทดลองของ [23] พบว่าการเสริมเอนไซม์ไซลาลเนสไม่ได้ช่วยปรับปรุงค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลองของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเช่นกัน

ตารางที่ 4 ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลองของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เสริมด้วยเอนไซม์ไซลาลเนส

ค่าการย่อยได้	เอนไซม์ไซลาลเนส (เปอร์เซ็นต์)		P-value
	0	1	
ข้าวโพด	72.16±1.70	72.11±1.66	.897
กากถั่วเหลือง	72.12±1.42	72.47±1.61	.854
รำข้าว	76.91±0.51	77.47±0.36	.339
ข้าวเปลือก	61.81±1.46	62.20±2.36	.243
กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม	30.62±0.34	31.22±0.65	.192

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±S.D.)

5.2 ผลการศึกษาการเสริมเอนไซม์รวมในวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ

จากการศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์รวมในวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในหลอดทดลอง พบว่าการเสริมเอนไซม์รวมสามารถช่วยปรับปรุงค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในข้าวเปลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในข้าวเปลือกของกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมเอนไซม์รวมเทียบกับกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์รวม เท่ากับ 60.53 เทียบกับ 61.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 5 อาจเนื่องมาจากส่วนประกอบของ NSP ในข้าวเปลือกประกอบไปด้วยน้ำตาลกลูโคสและไซโลสเป็นส่วนใหญ่ (ตารางที่ 3) เมื่อเสริมเอนไซม์รวมที่ประกอบไปด้วยเอนไซม์เซลลูลาเนสที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายไซโลส, เบต้า-กลูคาเนสที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายเบต้ากลูแคนที่เกิดขึ้นจากโมโนเมอร์ของกลูโคส, เซลลูเลสที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายกลูโคส และไซโลกลูคาเนสที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายกลูโคสและไซโลส จึงทำให้การเสริมเอนไซม์รวมสามารถช่วยปรับปรุงค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในข้าวเปลือกให้ดีขึ้น ดังนั้นการเสริมเอนไซม์หลายชนิดร่วมกันอาจมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงการย่อยได้ของอาหารสัตว์ที่มีส่วนประกอบของ NSP ที่ซับซ้อน ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากเอนไซม์แต่ละชนิดสามารถทำงานร่วมกันในการย่อยสลายโครงสร้างที่ซับซ้อนของ NSP พบว่าการใช้เซลลูลาเนสร่วมกับเบต้า-กลูคาเนสช่วยลดความหนืดในวัตถุดิบอาหาร เช่น ข้าวบาร์เลย์ มากกว่าเมื่อเทียบกับการใช้เซลลูลาเนสหรือเบต้า-กลูคาเนสเพียงอย่างเดียว [24] และไม่พบความแตกต่างของการเสริมเอนไซม์รวมในข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ของกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมเอนไซม์รวมเทียบกับกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์รวม เท่ากับ 72.34 เทียบกับ 72.82, 74.30 เทียบกับ 74.99, 77.06 เทียบกับ 77.40 และ 30.00 เทียบกับ 31.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($P>0.05$) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบในหลอดทดลองของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เสริมด้วยเอนไซม์รวม

ค่าการย่อยได้	เอนไซม์รวม (เปอร์เซ็นต์)		P-value
	0	1	
ข้าวโพด	72.34±1.36	72.82±1.26	.810
กากถั่วเหลือง	74.30±1.46	74.99±0.95	.459
รำข้าว	77.06±0.39	77.40±0.52	.634
ข้าวเปลือก	60.53±1.68 ^b	61.58±0.92 ^a	.047
กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม	30.00±0.30	30.69±0.59	.179

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±S.D.)

^{a,b} อักษรที่ต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การเสริมเอนไซม์ช่วยย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (NSP) มีผลต่อการย่อยได้ของวัตถุดิบในวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อที่แตกต่างกัน การค้นพบนี้สะท้อนว่าการใช้เอนไซม์หลายชนิดร่วมกันอาจมีประสิทธิภาพมากกว่าในการปรับปรุงการย่อยวัตถุดิบที่มีเส้นใยสูง เช่น ข้าวเปลือก ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพทางเศรษฐกิจในท้องถิ่น โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้ 1.ควรขยายการศึกษาไปสู่การทดลองในสัตว์จริง (in vivo) เพื่อยืนยันผลการเพิ่มการย่อยและดูดซึมสารอาหาร รวมถึงผลกระทบต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ 2.ควรศึกษาระดับการใช้เอนไซม์ที่เหมาะสมในแต่ละชนิดวัตถุดิบ เพื่อความคุ้มค่าเชิงเศรษฐกิจในการผลิตอาหารสัตว์ 3.พิจารณาทดสอบเอนไซม์ชนิดใหม่หรือเทคโนโลยีเอนไซม์เข้มข้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยวัตถุดิบที่มีใยอาหารสูงอื่นๆ 4.ส่งเสริมความร่วมมือระหว่างนักวิจัย ผู้ผลิตอาหารสัตว์ และภาคอุตสาหกรรมเอนไซม์ เพื่อพัฒนาแนวทางการใช้เอนไซม์ที่เหมาะสมและยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จและสมบูรณ์ได้เนื่องมาจากการได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ตำบลคลองกิว อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี ในการใช้สถานที่ทำการทดลอง รวมทั้งขอขอบคุณบุคลากรในบริษัทที่ได้ให้คำปรึกษาในการทำการทดลอง ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดร.ณิ ศรีชนะ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษาและดูแลในการทำวิจัยนี้จนทำให้งานวิจัยนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ และสุดท้ายผลงานนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนบัณฑิตเรียนดีเพื่อศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ตามสัญญาเลขที่ ทบ 41/2565) ที่สนับสนุนทุนการศึกษาและวิจัยงานชิ้นนี้จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Donohue, M., & Cunningham, D. L. (2009). Effects of grain and oilseed prices on the costs of US poultry production. The Journal of Applied Poultry Research, 18(2), 325–337.
- [2] Raza, A., Bashir, S., & Tabassum, R. (2019). An update on carbohydrases: growth performance and intestinal health of poultry. Heliyon, 5(4), e01437.
- [3] Silversides, F. G., & Bedford, M. R. (1999). Effect of pelleting temperature on the recovery and efficacy of a xylanase enzyme in wheat-based diets. Poultry science, 78(8), 1184–1190.
- [4] Valente Junior, D. T., Genova, J. L., Kim, S. W., Saraiva, A., & Rocha, G. C. (2024). Carbohydrases and phytase in poultry and pig nutrition: A review beyond the nutrients and energy matrix. Animals, 14(2), 226.
- [5] Cowieson, A. J., & Ravindran, V. (2008). Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: growth performance and digestibility of energy, minerals and amino acids. British poultry science, 49(1), 37–44.
- [6] Baker, J. T., Duarte, M. E., Holanda, D. M., & Kim, S. W. (2021). Friend or foe? impacts of dietary xylans, xylooligosaccharides, and xylanases on intestinal health and growth performance of monogastric animals. Animals, 11(3), 609.
- [7] Moreira, L. R., & Filho, E. X. (2016). Insights into the mechanism of enzymatic hydrolysis of xylan. Applied microbiology and biotechnology, 100(12), 5205–5214.
- [8] Kiarie, E., Romero, L. F., & Ravindran, V. (2014). Growth performance, nutrient utilization, and digesta characteristics in broiler chickens fed corn or wheat diets without or with supplemental xylanase. Poultry science, 93(5), 1186–1196.
- [9] Kaur, S., Savita, S., & Nagi, H. P. S. (2011). Functional properties and anti-nutritional factors in cereal bran. Asian J. Food Agro Industr, 4(2), 122–131.
- [10] Shaheen, M., Ahmad, I., Anjum, F.M., Saeed, M.K., & Mills, R. R. (2015). Effect of processed rice bran on growth performance of broiler chicks from Pakistan. J. Agri. Sci, 21(2), 440–445.
- [11] Sanchez, J., Thanabalan, A., Khanal, T., Patterson, R., Slominski, B. A., & Kiarie, E. (2019). Growth performance, gastrointestinal weight, microbial metabolites and apparent retention of components in broiler chickens fed up to 11% rice bran in a corn-soybean meal diet without or with a multi-enzyme supplement. Animal nutrition, 5(1), 41–48.
- [12] Kang, P., Hou, Y. Q., Toms, D., Yan, N. D., Ding, B. Y., & Gong, J. (2013). Effects of enzyme complex supplementation to a paddy-based diet on performance and nutrient digestibility of meat-type ducks. Asian-Australasian journal of animal sciences, 26(2), 253–259.
- [13] Dusterhoft, E. M., Voragen, A. G. J., & Engles, F. M. (1991). Nonstarch polysaccharides from sunflower (Helianthus annuus) meal and palm kernel (Elaeis guineensis) meal-preparation of cell wall material and extraction of polysaccharide fractions. J. Sci. Food Agric, 55(3), 411–422.
- [14] Knudsen, K. E. B. (1997). Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. Anim. Feed Sci. Technol, 67(4), 319–338.

- [15] Abdollahi, M. R., Hosking, B. J., Ning, D., & Ravindran, V. (2016). Influence of Palm Kernel Meal Inclusion and Exogenous Enzyme Supplementation on Growth Performance, Energy Utilization, and Nutrient Digestibility in Young Broilers. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 29(4), 539–548.
- [16] Englyst, H. N., Quigley, M. E., & Hudson, G. J. (1994). Determination of dietary fibre as non-starch polysaccharides with gas-liquid chromatographic, high-performance liquid chromatographic or spectrophotometric measurement of constituent sugars. *The Analyst*, 119(7), 1497–1509.
- [17] Yegani, M., Swift, M.L., Zijlstra, R.T., & Korver, D.R. (2013). Prediction of energetic value of wheat and triticale in broiler chicks: A chick bioassay and an in vitro digestibility technique. *Animal Feed Science and Technology*, 183, 40-50.
- [18] Izydorczyk, M. S., & Biliaderis, C. G. (1995). Cereal arabinoxylans: advances in structure and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 28(1), 33–48.
- [19] Fabek, H., Messerschmidt, S., Brulport, V., & Goff, H.D. (2014). The effect of in vitro digestive processes on the viscosity of dietary fibres and their influence on glucose diffusion. *Food Hydrocolloids*, 35, 718-726.
- [20] Jo, H., Sung, J. Y., & Kim, B. G. (2021). Effects of supplemental xylanase on in vitro disappearance of dry matter in feed ingredients for swine. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 34, 316-323.
- [21] Masey O'Neill, H. V., Smith, J. A., & Bedford, M. R. (2014). Multicarbohydrase Enzymes for Non-ruminants. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 27(2), 290-301.
- [22] Alshelmani, M. I., Loh, T. C., Foo, H. L., Lau, W. H., & Sazili, A. Q. (2014). Biodegradation of palm kernel cake by cellulolytic and hemicellulolytic bacterial cultures through solid state fermentation. *The Scientific World Journal*, 2014, 729852.
- [23] Kim, H. Y., Moon, J. O., & Kim, S. W. (2024). Development and application of a multi-step porcine in vitro system to evaluate feedstuffs and feed additives for their efficacy in nutrient digestion, digesta characteristics, and intestinal immune responses. *Animal nutrition*, 265–282.
- [24] Mathlouthi, N., Saulnier, L., Quemener, B., & Larbier, M. (2002). Xylanase, beta-glucanase, and other side enzymatic activities have greater effects on the viscosity of several feedstuffs than xylanase and beta-glucanase used alone or in combination. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(18), 5121–5127.