



การเสริมไขมันแบบ On-Top ช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิต และลดภาวะความเครียดจาก  
ปฏิกิริยาออกซิเดชันในไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ใช้วัตถุดิบที่มีโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งในระดับสูง

อริยา สีเทา<sup>1</sup> ขุนพล พงษ์มณี<sup>1</sup> ยุวเรศ เรืองพานิช<sup>1,#</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

**บทคัดย่อ:** งานวิจัยทำขึ้นเพื่อประเมินผลของการเสริมไขมันแบบ on-top ในอาหาร ต่อสมรรถภาพการผลิตและความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่ใช้วัตถุดิบที่มีโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งในระดับสูง ลูกไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 จำนวน 1,500 ตัว อายุ 1 วัน เพศผู้ ถูกสุ่มแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มทดลอง กลุ่มละ 12 ตัว (25 ตัวต่อตัว) ภายใต้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ อาหารพื้นฐานถูกคำนวณให้มีข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ในระดับสูง เพื่อเป็นแหล่งของโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง อาหารทดลองถูกเสริมด้วยไขมันที่แตกต่างกัน 5 ระดับ ประกอบด้วย 0 1,200 2,400 4,800 และ 9,600 ยูนิตต่อกรัมอาหาร ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาทดลอง 35 วัน ในช่วงอายุ 1-10 และ 11-24 วัน พบว่าการเสริมไขมันในอาหารส่งผลให้น้ำหนักตัวของไก่เนื้อเพิ่มขึ้น ( $P<0.05$ ) และปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวให้ดีขึ้น ( $P<0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณอาหารที่กินเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองในด้านสมรรถภาพการผลิตในช่วงอายุ 25-35 วัน สมรรถภาพการผลิตตลอดระยะการเลี้ยง (วันที่ 1-35) ของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมไขมันมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ( $P<0.05$ ) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ( $P<0.01$ ) ดีกว่าไก่เนื้อกลุ่มควบคุม ( $P<0.01$ ) ทั้งนี้การเสริมไขมันไม่มีผลต่อปริมาณการกินของไก่เนื้อ การเสริมไขมันแบบ on-top ในอาหารที่ 2,400 ยูนิตต่อกรัมอาหารหรือมากกว่านี้ช่วยลดระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ ในซีรัมของไก่เนื้อ ( $P<0.01$ ) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเสริมไขมันแบบ on-top ในอาหารช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิต และช่วยลดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในไก่เนื้อที่ได้รับอาหารใช้วัตถุดิบที่มีโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งในระดับสูงได้

**คำสำคัญ:** ไก่เนื้อ ไขมัน ประสิทธิภาพการผลิต ความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

# ผู้รับผิดชอบบทความ

สัตวแพทยมหาวิทยาลัย. 2567. 19(2): 39-56.

E-mail address: [agryos@ku.ac.th](mailto:agryos@ku.ac.th)

## The On-top Supplementation of Xylanase Enhances Growth Performance and Alleviates Oxidative Stress in Broilers Fed Diets Containing High Non-Starch Polysaccharide

Areeya Seetao<sup>1</sup>, Koonphol Pongmanee<sup>1</sup>, Yuwares Ruangpanit<sup>1,#</sup>

<sup>1</sup>Department of Animal Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University,  
Kamphaeng Saen campus, Nakhon Pathom 73140

---

**Abstract:** This study was conducted to evaluate the effects of dietary on-top xylanase supplementation on growth performance and oxidative stress of broilers fed diets containing high non-starch polysaccharide (NSP). A total of 1,500 one-day-old male Ross 308 broiler chicks were randomly assigned to 5 treatments with 12 replicates per treatment (25 birds per replicate) using completely randomized design (CRD). The basal diet was formulated to contain high level of wheat and barley as sources of NSP. The experimental diets were supplemented with 5 different levels of xylanase including 0, 1,200, 2,400, 4,800, and 9,600 U/g feed, respectively. The experiment was run for a period of 35 days. During the 1-10 and 11-24 days of age (DOA), dietary xylanase supplementation improved body weight gain (BWG,  $P<0.05$ ) and feed conversion ratio (FCR,  $P<0.05$ ) of broilers, but had no effect on feed intake when compared to that of the control group. No significant difference in growth performance among dietary treatments was observed during 25-35 DOA. For overall performance (1-35 DOA), dietary xylanase supplementation had no effect on feed intake. However, xylanase supplementation increased BWG ( $P<0.05$ ) and improved FCR ( $P<0.01$ ) of broilers when compared to that of the control group. The on-top supplementation of xylanase at  $\geq 2,400$  U/g feed significantly decreased serum MDA of broilers ( $P<0.01$ ). The results showed that the on-top supplementation xylanase supplementation improved growth performance and reduced oxidative stress of broilers fed high NSP diets.

**Keywords:** Broiler, Xylanase, Growth performance, Oxidative stress

---

<sup>#</sup>Corresponding author

J. Mahanakorn Vet. Med. 2024 19(2): 39-56.

E-mail address: agryos@ku.ac.th

## บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตอาหารไก่เนื้อในประเทศไทยต้องเผชิญกับปัญหาที่ผลผลิตข้าวโพด ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักไม่เพียงพอต่อความต้องการในการผลิตอาหาร ส่งผลให้ราคาข้าวโพดในประเทศสูงขึ้น ทำให้ต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์สูงขึ้นตามไปด้วย ข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานที่มีการนำเข้ามาใช้เพื่อทดแทนข้าวโพดในการผลิตอาหาร เนื่องจากมีราคาที่ถูก จึงจัดได้ว่าเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่ดีที่ช่วยลดต้นทุนการผลิตอาหารไก่เนื้อ อย่างไรก็ตามการใช้ข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ พบว่ามีข้อจำกัดเมื่อใช้ที่ระดับสูงในอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว เนื่องจากข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์มีปริมาณของโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (non-starchpolysaccharide; NSP) เช่น อะราบิโนไซแลน (arabinoxylan) และเบต้า-กลูแคน ( $\beta$ -glucans) ที่เป็นสารต้านการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนา (anti-nutritive factors) ซึ่งเมื่อปรากฏที่ระดับสูงในอาหาร จะส่งผลขัดขวางการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร (Smeets *et al.*, 2018; Jha and Mishra, 2021) NSP แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ โดย NSP ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น เซลลูโลส และลิกนิน จะเป็นสารที่ห่อหุ้มสารอาหาร (cage effect) ไว้ภายในโครงสร้างที่ซับซ้อนและกีดขวางการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ทำให้สัตว์กินอาหารของเอนไซม์ในลำไส้เกิดความเสียหาย ส่งผลให้สัตว์ไม่สามารถย่อยสารอาหารได้เต็มที่ เป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารลดลง (Passos *et al.*, 2015; Röhe and Zentek, 2021) ส่วน NSP ที่ละลายในน้ำ เช่น อะราบิโนไซแลน และเบต้ากลูแคน นอกจากจะห่อหุ้มสารอาหารแล้ว ยังสามารถดูดซับน้ำและสร้างสารละลายที่มีความหนืดสูง การเพิ่มขึ้นของความหนืดของสิ่งย่อยในระบบทางเดินอาหาร ส่งผลกระทบเชิงลบต่อการย่อยและการดูดซึม รวมทั้งส่งผลให้การเคลื่อนที่ของสิ่ง

ย่อยในระบบทางเดินอาหารช้าลง เป็นเหตุให้สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อด้อยลงตามไปด้วย (DeKeyser *et al.*, 2018) นอกจากนี้พบว่าความเครียดที่เป็นผลกระทบจากความชื้นหนืด นำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและมีการผลิตอนุมูลอิสระ (free radical) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มความเสี่ยงมากขึ้น (Geissmann and Neukom, 1973) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณเซลล์เยื่อผนังลำไส้ (Ruemmele *et al.*, 2002) และไปมีผลเร่งให้เกิดภาวะการอักเสบ โดยกระตุ้นการเคลื่อนที่ของเม็ดเลือดขาวไปยังจุดที่เสียหาย ซึ่งเม็ดเลือดขาวที่ถูกกระตุ้นนี้จะผลิตไซโตไคน์ (cytokines) ที่ก่อให้เกิดการกระตุ้นกระบวนการตอบสนองด้านการอักเสบในระบบทางเดินอาหาร (McGee *et al.*, 1995; Yang *et al.*, 2019) ส่งผลให้ระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde; MDA) ที่เกิดจากปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) เพิ่มขึ้น MDA มีความเป็นพิษ ทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างและการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ (Phaniendra *et al.*, 2015) โดยเฉพาะเซลล์บริเวณลำไส้ที่มีความสำคัญต่อการย่อยและดูดซึมสารอาหาร จึงส่งผลโดยตรงต่อการถดถอยด้านสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ

ไซแลนเนสเป็นเอนไซม์ที่มีการแนะนำให้เสริมในอาหารไก่เนื้อที่มี NSP ที่ละลายน้ำได้ในระดับสูง เนื่องจากสามารถช่วยลดความหนืดของสิ่งย่อยในระบบทางเดินอาหาร ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนาบริเวณลำไส้เล็ก ส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อดีขึ้น (Knudsen, 2014) จากการที่ข้าวสาลีมีปริมาณอะราบิโนไซแลนที่ระดับสูงประมาณ 4.1-9.0 เปอร์เซ็นต์ ไซแลนเนสจึงมักถูกนำมาเสริมในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวสาลีระดับสูงเพื่อย่อยอะราบิโนไซแลน (RosickaKaczmarek *et al.*, 2016; Cardoso *et al.*, 2018) ในการย่อยโครงสร้างที่ซับซ้อนของสายไซแลน จำเป็นต้องใช้เอนไซม์หลายชนิดเพื่อให้ได้โมเลกุลของ

น้ำตาลไซโลสเป็นอิสระ เช่น  $\beta$ -1, 4-endoxylanase,  $\beta$ -xylosidase,  $\alpha$ -glucuronidase, acetyl xylan esterase,  $\alpha$ -arabino furanosidase เป็นต้น อย่างไรก็ตามเอนไซม์หลักที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ คือ  $\beta$ -1,4-endoxylanase ที่สามารถตัดพันธะไกลโคซิดิกในแกนหลักของสายไซแลนทำให้จำนวนมโนเมอร์ของสายไซแลนลดลง ส่งผลให้ความข้นหนืดของสิ่งย่อยในทางเดินอาหารลดลง (Motta *et al.*, 2013) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ที่สร้างได้จากตัวสัตว์ให้สามารถย่อยสลายอาหารได้ดีขึ้น เพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะ และช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ (Gonzalez-Ortiz *et al.*, 2017; Inayah *et al.*, 2022)

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### สัตว์ทดลองและอาหารทดลอง

การศึกษานี้ดำเนินการทดลอง ณ ศูนย์การเรียนรู้วิชาการด้านสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ขั้นตอนการวิจัยเกี่ยวข้องกับสัตว์ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (เลขที่ ACKU64-AGK-006)

การศึกษาใช้ไก่เนื้อสายพันธุ์ Ross 308 ที่อายุ 1 วัน เพศผู้ จำนวน 1,500 ตัว แบ่งออกเป็น 5 กลุ่มทดลอง แต่ละกลุ่มทดลองมี 12 ซ้ำ ซ้ำละ 25 ตัว โดยอาหารพื้นฐานจะเป็นอาหารที่มีข้าวโพดและกากถั่วเหลือง ร่วมกับการใช้ข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ที่เป็น

นอกจากนี้พบว่าการใช้ไซแลนเนสสามารถช่วยเพิ่มการย่อยได้ของโภชนะที่ลำไส้เล็กได้มากขึ้นนั้น จะส่งผลให้มีการสลายอาหารหลงเหลือไปที่ลำไส้ส่วนปลายลดลง ทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรคลดลง ลดการกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของเซลล์ลำไส้เล็กที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณเชื้อก่อโรค ซึ่งเป็นสาเหตุของความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Tiwari *et al.*, 2018) จึงช่วยลดความเสี่ยงต่อการอักเสบของทางเดินอาหาร (Raza *et al.*, 2019) ในการวิจัยครั้งนี้ได้มีการเสริมไซแลนเนสแบบ on-top ในอาหารที่มี NSP จากข้าวสาลีและข้าวบาร์เลย์ที่ระดับสูง เพื่อศึกษาผลต่อสมรรถภาพการผลิตและความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในไก่เนื้อ

วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มี NSP ในระดับสูงเป็นองค์ประกอบและมีการเสริมไซแลนเนส FE504C (CJ CheilJedang, Korea) แบบ on-top ที่ 0, 1,200, 2,400, 4,800 และ 9,600 U/g เอนไซม์อยู่ในรูปผลิตภัณฑ์ผงละเอียด ที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ 30,000 U/g องค์ประกอบของวัตถุดิบและคุณค่าทางโภชนะที่ได้จากการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 ไก่เนื้อทุกกลุ่มได้รับอาหารทดลองในรูปแบบอาหารผง (mash form) ที่มีคุณค่าทางโภชนะตามมาตรฐานที่สายพันธุ์แนะนำ (Aviagen, 2019) อาหารทดลองแบ่งเป็น 3 ช่วงอายุ ได้แก่ ช่วงอายุ 1-10 วัน (starter) ช่วงอายุ 11-24 วัน (grower) และช่วงอายุ 25-35 วัน (finisher) ทำการให้อาหารและน้ำแบบไม่จำกัด (*ad libitum*)

**ตารางที่ 1** องค์ประกอบของวัตถุดิบและคุณค่าทางโภชนาที่ไดจากการคำนวณ

| Ingredient (%)                 | Starter (1-10 day) | Grower (11-24 day) | Finisher (25-35 day) |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| Corn                           | 26.39              | 19.13              | 12.08                |
| Soybean, 48%CP                 | 31.11              | 24.49              | 18.27                |
| Feed wheat                     | 20.00              | 25.00              | 30.00                |
| Barley                         | 5.00               | 7.50               | 10.00                |
| Full fat soybean               | 5.00               | 7.50               | 10.00                |
| Rice bran                      | 5.00               | 7.50               | 10.00                |
| Soybean oil                    | 2.55               | 4.07               | 5.80                 |
| Monocalcium phosphate          | 1.65               | 1.43               | 1.16                 |
| Calcium carbonate              | 1.47               | 1.35               | 1.24                 |
| Salt                           | 0.10               | 0.10               | 0.12                 |
| Sodium bicarbonate             | 0.36               | 0.34               | 0.31                 |
| L-Methionine                   | 0.45               | 0.73               | 0.34                 |
| L-Lysine                       | 0.33               | 0.29               | 0.22                 |
| L-Threonine                    | 0.23               | 0.21               | 0.16                 |
| L-Valine                       | 0.04               | 0.05               | 0.04                 |
| Choline Chloride, 60%          | 0.08               | 0.08               | 0.07                 |
| Mycotoxin binder               | 0.02               | 0.02               | 0.02                 |
| Coccidiostat                   | 0.05               | 0.05               | 0.00                 |
| Mineral premix                 | 0.10               | 0.10               | 0.10                 |
| Vitamin premix                 | 0.08               | 0.08               | 0.08                 |
| Total                          | 100.00             | 100.00             | 100.00               |
| <b>Calculated nutrient (%)</b> |                    |                    |                      |
| ME for poultry (Kcal/kg)       | 3,000.00           | 3,100.00           | 3,200.00             |
| Crude protein                  | 23.00              | 21.50              | 19.50                |
| Crude fat                      | 5.99               | 8.14               | 10.51                |
| Crude fiber                    | 3.34               | 3.52               | 3.72                 |
| Calcium                        | 0.96               | 0.87               | 0.78                 |
| Total phosphorus               | 0.83               | 0.79               | 0.76                 |
| Available Phosphorus           | 0.48               | 0.44               | 0.39                 |
| Lysine                         | 1.43               | 1.29               | 1.14                 |
| Methionine                     | 0.72               | 0.68               | 0.58                 |
| Methionine+Cystine             | 1.07               | 1.03               | 0.90                 |

เลี้ยงไก่เนื้อทั้งหมดแบบปล่อยพื้น โดยใช้แกลบ ขนาด 1.3 x 1.9 เมตร ไก่เนื้อทั้งหมดถูกเลี้ยงภายใน เป็นวัสดุรองพื้น แบ่งคอกทดลองออกเป็น 60 คอก โรงเรือนระบบปิดแบบควบคุมอุณหภูมิด้วยการระเหยน้ำ

(evaporative cooling system) โดยให้แสง 23 ชั่วโมง และไม่ให้แสง 1 ชั่วโมงต่อวันตลอดการทดลอง ไก่ทุกตัว ได้รับวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิล (Newcastle disease; ND) + โรคหลอดลมอักเสบติดเชื้อ (infectious bronchitis; IB), โรคกัมโบโร (infectious bursal disease; IBD) และ ND (LaSota strain) + IB เมื่ออายุ 7, 14 และ 21 วัน ตามลำดับ ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 35 วัน

### การเก็บข้อมูล การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ตัวอย่าง

#### การศึกษาด้านสมรรถภาพการผลิต

การเก็บข้อมูลสมรรถภาพการผลิตแบ่งออกเป็น 3 ช่วงอายุ ได้แก่ ช่วงอายุ 1-10 วัน ช่วงอายุ 11-24 วัน และช่วงอายุ 25-35 วัน โดยทำการชั่งน้ำหนักไก่ทดลองทุกตัวที่อายุ 1, 10, 24 และ 35 วัน เพื่อคำนวณน้ำหนักตัวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (body weight gain; BWG) ชั่งน้ำหนักอาหารที่ให้และอาหารที่เหลือในแต่ละระยะ เพื่อคำนวณปริมาณอาหารที่กินต่อตัว (feed intake; FI) และคำนวณค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (feed conversion ratio; FCR) บันทึกจำนวนไก่ตายในแต่ละ กลุ่มทดลองทุกวัน เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราการตาย (mortality rate)

#### การวิเคราะห์ความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไข่เนื้อ

ทำการวิเคราะห์ระดับ MDA ในซีรัมของไข่เนื้อที่อายุ 35 วัน โดยทำการสุ่มไข่เนื้อเพศผู้ซ้าละ 2 ตัว ทำการเจาะเลือดบริเวณเส้นเลือดดำใต้ปีก (wing vein) ปริมาตร 3 มิลลิตรต่อตัว นำตัวอย่างเลือดที่ได้ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทำการแยกซีรัมและนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาวิเคราะห์หาการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน โดยวัดค่า Thiobarbituric acid reactive substances (TBARs) ที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร จากนั้นนำค่า TBARs ที่ได้ไปคำนวณค่า MDA จากกราฟมาตรฐานตามวิธีของ Grotto *et al.* (2007)

#### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) โดยใช้ GLM Procedure และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SAS (SAS® onDemand for Academics, 2021)

#### ผลการทดลอง

##### สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ

ผลของการเสริมโซแลนเนสในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อแสดงในตารางที่ 2 ที่ช่วงอายุ 1-10 วัน พบว่าการเสริมโซแลนเนสทุกระดับไม่มีผลต่อปริมาณอาหารที่กิน ( $P>0.05$ ) อย่างไรก็ตามพบว่าการเสริมโซแลนเนสที่ระดับ 4,800 U/g ช่วยเพิ่มน้ำหนักตัวของไก่เนื้อให้ดีขึ้น ( $P<0.05$ ) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมโซแลนเนสที่ระดับ 9,600 U/g แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริมโซแลนเนสที่ระดับ 1,200 และ 2,400 U/g อาหาร ( $P>0.05$ )

**ตารางที่ 2** ผลของการเสริมโซแลนเนสในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ

| Dietary Treatment     |                       |                       |                       |                       |                       |           |         |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|---------|
| Item                  | Control               | 1,200U/g              | 2,400U/g              | 4,800U/g              | 9,600U/g              | Pooled SE | P-value |
| 1 to 10 days          |                       |                       |                       |                       |                       |           |         |
| Feed intake (g)       | 318.71                | 316.74                | 318.87                | 320.18                | 315.82                | 1.0752    | 0.7240  |
| Initial weight (g)    | 44.79                 | 44.56                 | 44.72                 | 44.69                 | 44.61                 | 0.0493    | 0.5939  |
| BWG <sup>1/</sup> (g) | 276.05 <sup>b</sup>   | 282.79 <sup>ab</sup>  | 283.69 <sup>ab</sup>  | 286.37 <sup>a</sup>   | 277.58 <sup>b</sup>   | 1.1907    | 0.0258  |
| FCR <sup>2/</sup>     | 1.155 <sup>a</sup>    | 1.120 <sup>b</sup>    | 1.125 <sup>b</sup>    | 1.118 <sup>b</sup>    | 1.139 <sup>ab</sup>   | 0.0041    | 0.0192  |
| Mortality (%)         | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                  | 0.00                  | 0.0000    | 0.0000  |
| 11 to 24 days         |                       |                       |                       |                       |                       |           |         |
| Feed intake (g)       | 1,385.90              | 1,394.96              | 1,382.47              | 1,385.50              | 1,387.56              | 4.6866    | 0.9438  |
| BWG (g)               | 1,074.00 <sup>b</sup> | 1,107.90 <sup>a</sup> | 1,120.19 <sup>a</sup> | 1,110.20 <sup>a</sup> | 1,103.01 <sup>a</sup> | 3.9762    | 0.0021  |
| FCR                   | 1.291 <sup>a</sup>    | 1.259 <sup>ab</sup>   | 1.235 <sup>b</sup>    | 1.248 <sup>b</sup>    | 1.258 <sup>ab</sup>   | 0.0049    | 0.0034  |
| Mortality (%)         | 3.00 <sup>a</sup>     | 1.10 <sup>ab</sup>    | 0.00 <sup>b</sup>     | 0.38 <sup>b</sup>     | 0.71 <sup>ab</sup>    | 0.3380    | 0.0396  |
| 25 to 35 days         |                       |                       |                       |                       |                       |           |         |
| Feed intake (g)       | 1,946.30              | 1,960.37              | 1,953.88              | 1,962.90              | 1,958.10              | 7.6138    | 0.9677  |
| BWG (g)               | 1,231.25              | 1,262.34              | 1,251.28              | 1,268.92              | 1,263.74              | 7.2827    | 0.5059  |
| FCR                   | 1.583                 | 1.555                 | 1.564                 | 1.548                 | 1.551                 | 0.0075    | 0.6075  |
| Mortality (%)         | 0.69                  | 1.17                  | 0.35                  | 0.71                  | 0.00                  | 0.1955    | 0.4369  |
| 1 to 35 days          |                       |                       |                       |                       |                       |           |         |
| Feed intake (g)       | 3,650.92              | 3,672.07              | 3,655.22              | 3,668.58              | 3,661.48              | 9.7973    | 0.9605  |
| BWG (g)               | 2,581.29 <sup>b</sup> | 2,653.03 <sup>a</sup> | 2,655.17 <sup>a</sup> | 2,665.48 <sup>a</sup> | 2,644.32 <sup>a</sup> | 9.5101    | 0.0346  |
| FCR                   | 1.415 <sup>a</sup>    | 1.384 <sup>b</sup>    | 1.377 <sup>b</sup>    | 1.377 <sup>b</sup>    | 1.385 <sup>b</sup>    | 0.0037    | 0.0038  |
| Mortality (%)         | 3.67                  | 2.00                  | 0.33                  | 1.00                  | 0.67                  | 0.4044    | 0.1594  |

<sup>a,b</sup> Means within a row with different superscript differ significantly ( $P<0.05$ ); <sup>1/</sup>Body weight gain; <sup>2/</sup>Feed Conversion Ratio

ด้าน FCR พบว่าไก่เนื้อกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมโซแลนเนสที่ระดับ 1,200, 2,400 และ 4,800 U/g มีค่า FCR ที่ดีขึ้นกว่ากลุ่มควบคุม ( $P<0.05$ ) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริมโซแลนเนสที่ระดับ 9,600 U/g อาหาร ( $P>0.05$ ) และในระยะนี้ไม่พบว่าการตายของไก่เนื้อจากทุกกลุ่มทดลอง

ผลการทดลองของช่วงอายุ 11-24 วันพบว่าการเสริมโซแลนเนสทุกระดับไม่มีผลต่อปริมาณอาหารที่กิน ( $P>0.05$ ) แต่ช่วยเพิ่มน้ำหนักตัวและปรับปรุงค่า

FCR ของไก่เนื้อให้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยเฉพาะไก่เนื้อกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมโซแลนเนสที่ระดับ 2,400 และ 4,800 U/g พบว่า FCR ได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริมโซแลนเนสที่ระดับ 1,200 และ 9,600 U/g อาหาร ( $P>0.05$ ) ทางด้านอัตราการตายพบว่าการเสริมโซแลนเนสที่ระดับ 2,400 และ 4,800 U/g ช่วยลดอัตราการตายให้ต่ำกว่า

กลุ่มควบคุม ( $P < 0.05$ ) แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริมไขมันเนสที่ระดับ 1,200 และ 9,600 U/g อาหาร

ในช่วงอายุ 25-35 วัน พบว่าการเสริมไขมันเนสทุกระดับไม่มีผลต่อปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ค่า FCR และอัตราการตายของไก่เนื้อเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ( $P > 0.05$ )

ทางด้านผลตลอดช่วงการทดลอง 1-35 วัน พบว่าการเสริมไขมันเนสทุกระดับในอาหารไก่เนื้อไม่ส่งผลต่อปริมาณอาหารที่กิน ( $P > 0.05$ ) แต่พบว่าช่วยเพิ่มน้ำหนักตัว ( $P < 0.05$ ) และช่วยปรับปรุงค่า FCR ของไก่เนื้อให้ดีขึ้น เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ( $P < 0.01$ ) ขณะที่อัตราการตายของไก่เนื้อไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง ( $P > 0.05$ )

### ความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไก่เนื้อ

ผลการเสริมไขมันเนสในอาหารต่อความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไก่เนื้อ (ตารางที่ 3) พบว่าการเสริมไขมันเนสที่ระดับ 1,200 U/g ในอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้ระดับของ MDA ในซีรัมของไก่เนื้อที่อายุ 35 วัน ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ( $P > 0.05$ ) แต่เมื่อทำการเสริมไขมันเนสที่ระดับตั้งแต่ 2,400 U/g ขึ้นไป ส่งผลให้ค่า MDA ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยไก่เนื้อที่ได้รับอาหารเสริมไขมันเนสที่ระดับ 4,800 และ 9,600 U/g มีค่า MDA ลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับทุกกลุ่มทดลอง ( $P < 0.01$ )

**ตารางที่ 3** ผลของการเสริมไขมันเนสในอาหารต่อความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไก่เนื้อ

| Item                                      | Dietary Treatment  |                    |                   |                   | Pooled SE         | P-value          |
|-------------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
|                                           | Control            | 1,200U/<br>g       | 2,400U/<br>g      | 4,800U/<br>g      | 9,600U/<br>g      |                  |
| Malondialdehyde<br>( $\mu\text{mol/ml}$ ) | 12.08 <sup>a</sup> | 11.63 <sup>a</sup> | 9.47 <sup>b</sup> | 4.92 <sup>c</sup> | 3.78 <sup>c</sup> | 0.0044<br>0.0001 |

<sup>a,b,c</sup> Means within a row with different superscript differ significantly ( $P < 0.05$ )

### วิจารณ์

การปรับปรุงด้านสมรรถภาพการผลิตนี้พบว่าเกิดขึ้นจากการเสริมไขมันเนสที่ไม่มีผลกระทบต่ออาหารที่กินได้ แต่สามารถช่วยเพิ่มน้ำหนักตัวและปรับปรุง FCR ให้ดีขึ้นอย่างชัดเจนในช่วงอายุ 1-24 วัน ซึ่งเป็นช่วงที่ระบบทางเดินอาหารไก่เนื้อกำลังพัฒนาจากวันแรกที่ฟักออกจากไข่จนมีการทำงานที่สมบูรณ์เพิ่มขึ้นตามอายุ โดยปกติไก่เนื้อจะใช้เวลาอย่างน้อย 14 วันหลังจากฟักออกจากไข่ ในการพัฒนาอวัยวะที่ใช้ในการย่อยอาหารเพิ่มความยาวและพัฒนาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็ก เพื่อเพิ่มความสามารถด้านการย่อย การดูดซึม

และการใช้ประโยชน์ของสารอาหารให้มีประสิทธิภาพ (Iji *et al.*, 2001; Montagne *et al.*, 2003; Dai *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2021) การเสริมไขมันเนสแบบ on-top ในอาหารที่ใช้วัตถุดิบที่มี NSP ระดับสูง มีประโยชน์ที่ชัดเจนในการปรับปรุงการใช้ประโยชน์ของสารอาหารในไก่เนื้อที่อายุน้อยได้ดีกว่าในไก่ที่ระบบทางเดินอาหารพัฒนาสมบูรณ์แล้ว เนื่องจากช่วยลดผลกระทบเชิงลบของ NSP ที่มีต่อการทำงานของประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารในช่วงที่ระบบทางเดินอาหารไก่เนื้อยังพัฒนาไม่สมบูรณ์ จึงส่งเสริมด้านการเจริญเติบโตได้อย่างชัดเจนว่าการเสริม

ในช่วงที่ทางเดินอาหารพัฒนาสมบูรณ์แล้ว (25-35 วัน) เช่นเดียวกับ Vasanthakumari *et al.* (2023) รายงานว่าการเสริมไซแลนเนสแบบ on-top ที่ 45,000 - 90,000 U/kg ในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวสาลี 20 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงอายุ 21 วัน ส่งผลให้ปริมาณอาหารที่กินลดลง ขณะที่น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นตามปกติ จึงส่งผลช่วยปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวให้ดีขึ้น ( $P<0.05$ ) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ขณะที่ Abida *et al.* (2017) รายงานว่าการเสริมไซแลนเนสแบบ on-top ที่ 250 - 1,000 IU/kg ในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวสาลีเป็นหลัก ตลอดจนการทดลองพบว่าช่วยเพิ่มน้ำหนักตัวและปรับปรุงค่า FCR ของไก่เนื้อให้ดีขึ้น ( $P<0.05$ ) โดยไม่ส่งผลต่อปริมาณอาหารที่กิน และ Wang *et al.* (2021) รายงานว่าการเสริมไซแลนเนสแบบ on-top ที่ 4,000 U/kg ในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวสาลีระดับ 31.91-33 เปอร์เซ็นต์ สามารถปรับปรุงอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily gain; ADG) ของไก่เนื้อได้ ( $P<0.05$ )

เช่นเดียวกับ Van Hoeck *et al.* (2021) ที่รายงานว่าการเสริมไซแลนเนสแบบ on-top ที่ 30,000 U/g ในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวสาลีระดับสูงขึ้นไป (41.4-55 เปอร์เซ็นต์) ช่วยเพิ่มน้ำหนักตัวของไก่เนื้อตลอดช่วงการเลี้ยงอายุ 35 วันให้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริม โดยไม่ส่งผลต่อปริมาณอาหารที่กิน ( $P<0.05$ ) และยังช่วยปรับปรุงค่า FCR ของไก่เนื้อตลอดช่วงการทดลองเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ( $P<0.01$ ) และ Liu and Kim (2017) ที่รายงานว่าการเสริมไซแลนเนสแบบ on-top ที่ 1,875 - 5,625 XU/kg ในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวสาลี 44 เปอร์เซ็นต์ ตลอดจนการทดลอง 35 วัน ไม่ส่งผลต่อปริมาณอาหารที่กิน แต่ช่วยเพิ่มน้ำหนักตัวของไก่เนื้อให้ดีขึ้น ( $P<0.05$ ) และปรับปรุงค่า FCR ในลักษณะสมการเส้นตรงเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริม ( $P<0.01$ ) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเสริมไซแลนเนสในอาหารที่มีข้าวสาลีที่ระดับ 31-44 เปอร์เซ็นต์นั้นไม่มีผลต่อปริมาณอาหารที่กินแต่

ช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อให้ดีขึ้นได้ ขณะที่ Anwar *et al.* (2023) พบว่าการเสริมไซแลนเนส 500 XU ในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวสาลีระดับสูงขึ้นไป คือ 57.52 - 62.04 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลเพิ่มปริมาณอาหารที่กิน แต่ยังคงช่วยให้น้ำหนักตัวของไก่เนื้อดีขึ้นและช่วยปรับปรุงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ( $P<0.05$ ) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริม ทั้งนี้เนื่องจาก NSP ที่ละลายน้ำได้ในข้าวสาลีมีอะราบิโนไซแลน ซึ่งเป็นสารต้านการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนาที่สำคัญ ทำให้เพิ่มความข้นหนืดในทางเดินอาหาร รบกวนการย่อยและการดูดซึมสารอาหารทำให้สมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อด้อยลง (Choct and Annison, 1992; Choct *et al.*, 1996; Zhang *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2021)

นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Saeton *et al.* (2021) พบว่าการเสริมเอนไซม์ย่อย NSP (NSPase) ในอาหารที่มีข้าวสาลี 35 เปอร์เซ็นต์และมีการลดระดับพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 150 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมช่วยลดความข้นหนืดของสิ่งย่อยที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนเจจูนัม (jejunum) ของไก่เนื้อ ( $P<0.05$ ) และช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตให้ดีขึ้นเทียบเท่ากับกลุ่มควบคุมได้ เช่นเดียวกับ Gorenz *et al.* (2022) ที่รายงานว่าการเสริมไซแลนเนส 45,000 หรือ 90,000 UX/kg ในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวสาลีระดับสูง (55.4 - 63.56 เปอร์เซ็นต์) ที่มีการลดระดับพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 125 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ช่วยปรับปรุงน้ำหนักตัวและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของไก่เนื้อที่อายุ 28 วันให้ดีขึ้นกว่ากลุ่มควบคุม ( $P<0.05$ ) เนื่องจากไซแลนเนสทำหน้าที่ในการตัดพันธะ  $\beta$ -1-4 glycosidic บนสายของไซแลนให้มีโมเลกุลที่สั้นลง จึงช่วยลดความรุนแรงของการเกิดความข้นหนืดที่ก่อให้เกิดการต้านการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนา ช่วยปรับปรุงอัตราการเคลื่อนที่ของสิ่งย่อยในทางเดินอาหาร ทำให้การย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหารบริเวณลำไส้เล็กดีขึ้น จึงส่งผลช่วย

ปรับปรุง FCR ให้ดีขึ้นได้ (Masey-O'Neill *et al.*, 2014; Gonzalez-Ortiz *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2020; Inayah *et al.*, 2022)

นอกจากช่วยลดความชื้นหนืดของสิ่งย่อยในทางเดินอาหารแล้ว ไส้แลนเนสยังสามารถช่วยย่อยผนังเซลล์พืชทำให้เกิดการปลดปล่อยโภชนะที่อยู่ภายในเอนโดสเปิร์ม (endosperm) และชั้นเซลล์อะลูโรน (aleurone) ของพืช ส่งเสริมให้สารอาหารถูกใช้ประโยชน์และได้พลังงานไปใช้ในร่างกายสัตว์เพิ่มขึ้น อีกทั้งกลไกนี้ยังมีส่วนสำคัญในการปลดปล่อยไซโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ (xylooligosaccharides) ส่งผลให้เกิดภาวะพรไบโอติกที่สามารถถูกหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ที่ดี และผลิตกรดไขมันสายสั้นที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงสุขภาพทางเดินอาหาร ซึ่งจะส่งผลให้มีการใช้ประโยชน์สารอาหารและสมรรถภาพการผลิตที่ดีขึ้น (Dornez *et al.*, 2009; Kiarie *et al.*, 2017; Arczewska-Wlosek *et al.*, 2019) ในงานวิจัยครั้งนี้จะเห็นได้ว่าการเสริมไซแลนเนสแบบ on-top ไม่มีผลต่อการกินได้ แต่ช่วยปรับปรุงน้ำหนักตัวและ FCR ไก่เนื้อให้ดีขึ้นได้อย่างชัดเจน เนื่องจากช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ของสารอาหารในไก่เนื้อระยะเล็กที่ระบบทางเดินอาหารยังพัฒนาไม่สมบูรณ์ และได้รับผลกระทบจากสารต้านการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะที่มี NSP ระดับสูงในวัตถุดิบอาหารสัตว์

MDA เป็นตัวบ่งชี้ความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน การทดสอบ TBARs เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการหาค่า MDA (Singh *et al.*, 2014) หากระดับ MDA ในซีรัมสูง แสดงว่าไขมันในผนังเซลล์ถูกทำลายจากอนุมูลอิสระในระดับสูง (Claeson Bohnstedt, 2005) ในส่วนของงานทดลองนี้พบว่า การเสริมไซแลนเนสที่ระดับตั้งแต่ 2,400 U/g ขึ้นไปในอาหารไก่เนื้อ ช่วยลดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Wang *et al.* (2021) ที่พบว่า การเสริมไซแลนเนสแบบ

on-top ที่ 4,000 U/kg ในอาหารที่มีข้าวสาลี 31.91-33 เปอร์เซ็นต์ ช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของไก่เนื้อเมื่อทำการตรวจวัดที่ อายุ 42 วัน โดยพบว่าระดับ MDA มีแนวโน้มลดลงในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมไซแลนเนส ( $P=0.085$ ) เช่นเดียวกับ Zhang *et al.* (2018) ที่รายงานว่า การเสริมไซแลนเนสแบบ on-top ที่ 1,200 IU/kg และโพลีแซ็กคาไรด์จากการหมักเห็ด *Hericium caputmedusae* 0.1 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ในอาหารช่วยลดระดับ MDA ในซีรัมของไก่เนื้อ ช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของไก่เนื้อได้ และ Duarte *et al.* (2019) ที่รายงานว่า การเสริมไซแลนเนสแบบ on-top ที่ 45,000 XU/kg ในอาหารสุกรช่วงหย่านม ช่วยลดความชื้นหนืดและลดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยมีผลให้ระดับ MDA ของเยื่อบุผนังลำไส้ส่วนเจจูนั้ลดลง เนื่องจากโครงสร้างอะราบินโนไซแลน ประกอบด้วย แกนหลัก  $\beta$ -1-4-xylopyranosyl มีการแตกกิ่งของน้ำตาลอะราบินโนส (L-arabinose) ที่มีกรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) และ O-acetyl มาจับต่อกัน (Damen *et al.*, 2012; Lei *et al.*, 2016) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนและสามารถละลายน้ำได้ ทำให้ความชื้นหนืดของสิ่งย่อยในทางเดินอาหารเพิ่มขึ้น เพิ่มการหมักย่อยของแบคทีเรียก่อโรคที่เป็นสาเหตุให้ชั้นเยื่อบุผนังลำไส้ถูกทำลาย ลำไส้อักเสบ และเกิดแผลเรื้อรังในลำไส้ (Liu *et al.*, 2012; Lei *et al.*, 2016)

การเสริมไซแลนเนสสามารถย่อยโครงสร้างอะราบินโนไซแลนทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำในระบบทางเดินอาหารของไก่เนื้อและสุกรได้ การย่อยพอลิเมอร์ของอะราบินโนไซแลนให้มีขนาดสั้นลง ส่งผลให้ลดความชื้นหนืดที่ลำไส้ ปรับปรุงการย่อยสารอาหารให้ดีขึ้น (Kouzounis *et al.*, 2022) การย่อยอะราบินโนไซแลนที่ละลายน้ำให้ได้เป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่มีขนาดเล็กลง เช่น อะราบินโนไซโลโอลิโกแซ็กคาไรด์

(arabinoxyloligosaccharides; AXOS) มีศักยภาพเป็นพรีไบโอติก เนื่องจากจะถูกหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ที่ดีในลำไส้ส่วนปลายของไก่เนื้อ เช่น *Bifidobacteria* (Bedford and Cowieson, 2012; Lee *et al.*, 2017) และผลิตกรดไขมันสายสั้นที่ระเหยได้ (short chain fatty acid; SCFA) ประกอบด้วย กรดแลคติก (lactic acid) กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) และกรดบิวทิริก (butyric acid) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเป็นแหล่งพลังงานให้แก่เซลล์สนับสนุนการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันและการเพิ่มจำนวนของเซลล์ลำไส้เล็ก (Koh *et al.*, 2016) กรดบิวทิริกที่มีปริมาณสูงขึ้น จะช่วยปรับปรุงระบบภูมิคุ้มกัน โดยลดการผลิตไซโตไคน์ที่หลังจากเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันเพื่อตอบสนองการอักเสบและลดการแสดงออกของยีน nuclear factor kappa B (NF- $\kappa$ B) ซึ่งเป็น transcription factor ที่กระตุ้นกระบวนการอักเสบผ่าน iNOS, COX-2 และ pro-inflammatory cytokines ในเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดโมโนนิวเคลียส (peripheral blood mononuclear cells; PBMCs) (Usami *et al.*, 2008; Cleophas *et al.*, 2016) จึงช่วยลดภาวะความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

นอกจากนี้การย่อย NSP ของไซแลนเนส ยังสามารถนำไปสู่การปลดปล่อยกรดเฟอรูลิกที่จับกับอะราบิโนสในโครงสร้างของอะราบิโนไซแลน (Pereira *et al.*, 2021) กรดเฟอรูลิกเป็นสารประกอบฟีนอลิก (phenolic) ที่มีบทบาทในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสามารถกำจัดอนุมูลอิสระออกซิเจน (reactive oxygen species; ROS) ที่เกิดจากความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Mahmoud *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2022) การผลิตอนุมูลอิสระที่มากเกินไปจะทำลายเยื่อเมือกในลำไส้และทำให้การใช้ประโยชน์สารอาหารลดลง ผลจากการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน ของไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์และไลโปโปรตีน (lipoproteins) ที่มีกรดไขมันชนิด

ไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acids) จากการถูกสารอนุมูลอิสระ (R $\cdot$ ) ของสาร ROS ได้แก่ ซูเปอร์ออกไซด์ เรดิคัล (superoxide radical), ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เรดิคัล (hydrogen peroxide radical) และไฮดรอกซิล เรดิคัล (hydroxyl radical) เข้าทำลายโดยการไปดึงไฮโดรเจนจากโมเลกุลของกรดไขมันออกมาทำให้เกิดอนุมูลอิสระของกรดไขมัน (lipid radical; L $\cdot$ ) ที่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้รวดเร็วเกิดเป็นอนุมูลลิพิดเปอร์ออกซี (lipid peroxy radical; LOO $\cdot$ ) และทำปฏิกิริยาต่อไปกับไขมันโมเลกุลอื่นๆ เกิดลิพิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (lipid hydroperoxide; LOOH) และขยายเป็นวงกว้าง จากนั้น LOOH ซึ่งเป็นสารที่ไม่เสถียรจะสลายตัวเป็นไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) และอัลดีไฮด์ (aldehyde) ต่างๆ เช่น MDA และ 4-ไฮดรอกซีโนเนนอล (4-hydroxynonenal; 4-HNE) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชันที่มีความเป็นพิษ และมีผลต่อการเพิ่มความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์ในระบบทางเดินอาหาร ทำให้เกิดการติดเชื้อได้ง่าย (Claeson Bohnstedt, 2005; Mishra and Jha, 2019) ซึ่งมีรายงานว่า การเสริมไซแลนเนสสามารถช่วยลดระดับ MDA บนเยื่อผนังลำไส้ของลูกสุกรที่เผชิญความเครียดจากการหย่านมได้ (Moita *et al.*, 2022) เนื่องจากการเสริมไซแลนเนสที่ไปช่วยย่อยสลายอะราบิโนไซแลนในธัญพืชนั้น ช่วยลดปัญหาจากความเครียดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี โดยการไปเพิ่มการปลดปล่อยกรดเฟอรูลิกอิสระที่ช่วยในการต้านอนุมูลอิสระ และเพิ่มการหมักย่อยของจุลินทรีย์ที่ดีให้ได้ SCFA ที่ช่วยลดภาวะการอักเสบในทางเดินอาหาร (Lin *et al.*, 2014)

## สรุป

การเสริมไซแลนเนสแบบ on-top ที่ 1,200-9,600 U/g ในสภาวะที่ระบบทางเดินอาหารถูกกระตุ้นให้เกิดสภาวะเครียด โดยใช้อาหารไก่เนื้อที่มีแหล่งวัตถุดิบที่มีโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งที่ระดับสูง ช่วย

ปรับปรุงการเพิ่มน้ำหนักตัวและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวของไก่เนื้อในระยะเล็กได้ดีโดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณอาหารที่กิน จึงส่งผลปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตโดยรวมให้ดีขึ้น การเสริมไซแลนเนสที่ระดับ 2,400 U/g ขึ้นไป สามารถลดระดับความเครียดที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีโพสและเคคาไรต์ที่ไม่ใช่แป้งที่ระดับสูงได้ ดังนั้นการเสริมไซแลนเนสแบบ on-top ตั้งแต่ 2,400 U/g ขึ้นไปในอาหารไก่เนื้อ จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการอาหารไก่เนื้อเพื่อบรรเทาความเครียดซึ่งนำไปสู่การลดภาวะการอักเสบของระบบทางเดินอาหาร จากการใช้วัตถุดิบที่ส่งผลให้ระดับสารต้านการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนาในสูตรอาหารสูงขึ้นได้

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์การเรียนรู้วิชาการด้านสัตวศาสตร์ และห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณบริษัท CJ CheilJedang ประเทศเกาหลี ที่สนับสนุนงบประมาณ และผลิตภัณฑ์ในการวิจัย

#### เอกสารอ้างอิง

Anwar, U., Riaz, M., Farooq Khalid, M., Mustafa, R., Farooq, U., Ashraf, M., Munir, H., Auon, M., Hussain, M. and Hussain, M. 2023. Impact of exogenous xylanase and phytase, individually or in combination, on performance, digesta viscosity and carcass characteristics in broiler birds fed wheat-based diets. *Animals*. 13(2), 278.

Arczewska-Wlosek, A., Swiatkiewicz, S., Bederska-Lojewska, D., Orczewska-Dudek, S., Szczurek, W., Boros, D., Frasz, A., Tomaszewska, E., Dobrowolski, P. and Muszynski, S. 2019. The efficiency of xylanase in broiler chickens fed with increasing dietary levels of rye. *Animals*. 9(2): 46.

Aviagen. 2019. Ross broiler: Nutrition specifications. The local Aviagen, US.

Bedford, M.R. and Cowieson, A.J. 2012. Exogenous enzymes and their effects on intestinal microbiology. *Anim. Feed Sci. Technol.* 173(1-2): 76-85.

Cardoso, V., Fernandes, E., Santos, H., Maças, B., Lordelo, M., Telo da Gama, L., Ferreira, L., Fontes, C. and Ribeiro, T. 2018. Variation in levels of non-starch polysaccharides and endogenous endo-1, 4- $\beta$ -xylanases affects the nutritive value of wheat for poultry. *Br. Poult. Sci.* 59(2): 218-226.

Choct, M. and Annison, G. 1992. Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: Roles of viscosity and gut microflora. *Br. Poult. Sci.* 33(4): 821-834.

Choct, M., Hughes, R.J., Wang, J., Bedford, M., Morgan, A. and Annison, G. 1996. Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. *Br. Poult. Sci.* 37(3): 609-621.

- Claeson Bohnstedt, K. 2005. Determination of biomarkers for lipid peroxidation and oxidative stress: Development of analytical techniques and methods, PhD. Thesis. Institutionen för analytisk kemi.
- Cleophas, M. C., Crişan, T.O., Lemmers, H., Toenhake-Dijkstra, H., Fossati, G., Jansen, T.L., Dinarello, C.A., Netea, M.G. and Joosten, L.A. 2016. Suppression of monosodium urate crystal-induced cytokine production by butyrate is mediated by the inhibition of class I histone deacetylases. *Ann. Rheum. Dis.* 75(3): 593-600.
- Dai, D., Wu, S.-g., Zhang, H.-j., Qi, G.-h. and Wang, J. 2020. Dynamic alterations in early intestinal development, microbiota and metabolome induced by in ovo feeding of L-arginine in a layer chick model. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 11: 1-16.
- Damen, B., Pollet, A., Dornez, E., Broekaert, W.F., Haesendonck, I.V., Trogh, I., Arnaut, F., Delcour, J.A. and Courtin, C.M. 2012. Xylanase-mediated in situ production of arabinoxylan oligosaccharides with prebiotic potential in whole meal breads and breads enriched with arabinoxylan rich materials. *Food Chem.* 131(1): 111-118.
- DeKeyser, K., Dierick, N., Kuterna, L., Maigret, O., Kaczmarek, S., Rutkowski, A. and Vanderbeke, E. 2018. Non-starch polysaccharide degrading enzymes in corn and wheat-based broiler diets: dual activity for major substrates. *J. Agric. Sci. Technol. A.* 8(2): 76-88.
- Dornez, E., Gebruers, K., Delcour, J.A. and Courtin, C.M. 2009. Grain-associated xylanases: occurrence, variability, and implications for cereal processing. *Trends Food Sci. Technol.* 20(11-12): 495-510.
- Duarte, M. E., Zhou, F.X. Dutra Jr, W.M. and Kim, S.W. 2019. Dietary supplementation of xylanase and protease on growth performance, digesta viscosity, nutrient digestibility, immune and oxidative stress status, and gut health of newly weaned pigs. *Anim. Nutr.* 5(4): 351-358.
- Geissmann, T. and Neukom, H. 1973. note of ferulic acid as a constituent of the water-insoluble pentosans of wheat flour. *Cereal Chem.* 5: 414-416.
- Gonzalez-Ortiz, G., Sola-Oriol, D., Martinez-Mora, M., Perez, J. and Bedford, M.R. 2017. Response of broiler chickens fed wheat-based diets to xylanase supplementation. *Poult. Sci.* 96(8): 2776-2785.
- Gorenz, B., Iseri, V., Rubach, J. and Dilger, R.N. 2022. Xylanase supplementation of pelleted wheat-based diets increases growth efficiency and apparent metabolizable energy and decreases viscosity of intestinal contents in broilers. *Poult. Sci.* 101(12): 102220.

- Grotto, D., Santa Maria, L., Boeira, S., Valentini, J., Charão, M., Moro, A., Nascimento, P., Pomblum, V. and Garcia, S. 2007. Rapid quantification of malondialdehyde in plasma by high performance liquid chromatography-visible detection. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 43(2): 619-624.
- Iji, P., Saki, A. and Tivey, D. 2001. Body and intestinal growth of broiler chicks on a commercial starter diet. 1. Intestinal weight and mucosal development. *Br. Poult. Sci.* 42(4): 505-513.
- Inayah, S. R., Mutia, R., Jayanegara, A., Yanza, Y.R. and Amnah, S. 2022. Effects of xylanase supplementation on the performance, nutrient digestibility, and digestive organ profiles of broiler chickens: a meta-analysis. *World. Poult. Res.* 12: 199-211.
- Jha, R. and Mishra, P. 2021. Dietary fiber in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, performance, gut health, and on the environment: a review. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 12: 1-16.
- Kiarie, E., Walsh, M., Romero, L., Arent, S. and Ravindran, V. 2017. Nutrient and fiber utilization responses of supplemental xylanase in broiler chickens fed wheat based diets are independent of the adaptation period to test diets. *Poult. Sci.* 96(9): 3239-3245.
- Knudsen, K.E.B. 2014. Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. *Poult. Sci.* 93(9): 2380-2393.
- Koh, A., De Vadder, F., Kovatcheva-Datchary, P. and Bäckhed, F. 2016. From dietary fiber to host physiology: short-chain fatty acids as key bacterial metabolites. *Cell.* 165(6): 1332-1345.
- Kouzounis, D., Jonathan, M.C., Soares, N., Kabel, M.A. and Schols, H.A. 2022. In vivo formation of arabinoxylo-oligosaccharides by dietary endo-xylanase alters arabinoxylan utilization in broilers. *Carb. Poly.* 291: 119527.
- Lee, S., Apajalahti, J., Vienola, K., González-Ortiz, G., Fontes, C.M.G.A. and Bedford, M.R. 2017. Age and dietary xylanase supplementation affects ileal sugar residues and short chain fatty acid concentration in the ileum and caecum of broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 234: 29-42.
- Lee, S. H., Hosseindoust, A., Laxman Ingale, S., Rath, P.C., Yoon, S.Y., Choi, J.W. and Kim, J.S. 2020. Thermostable xylanase derived from *Trichoderma citrinoviride* increases growth performance and non-starch polysaccharide degradation in broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 61(1): 57-62.
- Lei, Z., Shao, Y., Yin, X., Yin, D., Guo, Y. and Yuan, J. 2016. Combination of xylanase

- and debranching enzymes specific to wheat arabinoxylan improve the growth performance and gut health of broilers. *J. Agric. Food Chem.* 64(24): 4932-4942.
- Lin, Q., Ou, S. and Wen, Q. 2014. In vitro antioxidant activity of feruloyl arabinose isolated from maize bran by acid hydrolysis. *J. Food Sci. Technol.* 51: 1356-1362.
- Liu, D., Guo, S. and Guo, Y. 2012. Xylanase supplementation to a wheat-based diet alleviated the intestinal mucosal barrier impairment of broiler chickens challenged by *Clostridium perfringens*. *Avian Pathol.* 41(3): 291-298.
- Liu, W.-C. and Kim, I.-H. 2017. Effects of dietary xylanase supplementation on performance and functional digestive parameters in broilers fed wheat-based diets. *Poult. Sci.* 96(3): 566-573.
- Mahmoud, A. M., Hussein, O.E., Hozayen, W.G., Bin-Jumah, M. and Abd El-Twab, S.M. 2020. Ferulic acid prevents oxidative stress, inflammation, and liver injury via upregulation of Nrf2/HO-1 signaling in methotrexate-induced rats. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27: 7910-7921.
- Masey-O'Neill, H., Singh, M. and Cowieson, A. 2014. Effects of exogenous xylanase on performance, nutrient digestibility, volatile fatty acid production and digestive tract thermal profiles of broilers fed on wheat-or maize-based diet. *Br. Poult. Sci.* 55(3): 351-359.
- McGee, D., Bamberg, T., Vitkus, S. and McGhee, J. 1995. A synergistic relationship between TNF-alpha, IL-1 beta, and TGF-beta 1 on IL-6 secretion by the IEC-6 intestinal epithelial cell line. *J. Immunol.* 86(1): 6.
- Mishra, B. and Jha, R. 2019. Oxidative stress in the poultry gut: Potential challenges and interventions. *Front. Vet. Sci.* 6: 60.
- Moita, V. H. C., Duarte, M.E. and Kim, S.W. 2022. Functional roles of xylanase enhancing intestinal health and growth performance of nursery pigs by reducing the digesta viscosity and modulating the mucosa-associated microbiota in the jejunum. *J. Anim. Sci.* 100(5): skac116.
- Montagne, L., Crévieu-Gabriel, I., Toullec, R. and Lallès, J.P. 2003. Influence of dietary protein level and source on the course of protein digestion along the small intestine of the veal calf. *J. Dairy Sci.* 86(3): 934-943.
- Motta, F., Andrade, C. and Santana, M. 2013. A review of xylanase production by the fermentation of xylan: classification, characterization and applications. Sustainable degradation of lignocellulosic biomass-techniques, applications commercialization. 251-276 p.
- Niazi, A., Khan, A., Alina, Z., Asghar, A., Ishfaq, B., Kousar, S., Riaz, L., Abbas, R. and Naseer, F. 2017. Effect of

- supplementation of xylanase on feed efficiency and serum biochemistry in broilers. *Res. j. Pharmacol. Pharmacy*. 1(1): 1-9.
- Passos, A. A., Park, I., Ferket, P., von Heimendahl, E. and Kim, S.W. 2015. Effect of dietary supplementation of xylanase on apparent ileal digestibility of nutrients, viscosity of digesta, and intestinal morphology of growing pigs fed corn and soybean meal based diet. *Anim. Nutri*. 1(1): 19-23.
- Pereira, G. V., Abdel-Hamid, A.M. Dutta, S., D'Alessandro-Gabazza, C.N., Wefers, D., Farris, J.A., Bajaj, S., Wawrzak, Z., Atomi, H. and Mackie, R.I. 2021. Degradation of complex arabinoxylans by human colonic Bacteroidetes. *Nat. Commun*. 12(1): 459.
- Phaniendra, A., Jestadi, D.B. and Periyasamy, L. 2015. Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian J. Clin. Biochem*. 30: 11-26.
- Raza, A., Bashir, S. and Tabassum, R. 2019. An update on carbohydrases: growth performance and intestinal health of poultry. *Heliyon*. 5(4).
- Röhe, I. and Zentek, J. 2021. Lignocellulose as an insoluble fiber source in poultry nutrition: a review. *J. Anim. Sci. Biotechnol*. 12(1): 82.
- Rosicka-Kaczmarek, J., Komisarczyk, A., Nebesny, E. and Makowski, B. 2016. The influence of arabinoxylans on the quality of grain industry products. *European Food Research and Technology*. 242: 295-303.
- Ruemmele, F., J. Beaulieu, S. Dionne, E. Levy, E. Seidman, N. Cerf-Bensussan, and M. Lentze. 2002. Lipopolysaccharide modulation of normal enterocyte turnover by toll-like receptors is mediated by endogenously produced tumour necrosis factor  $\alpha$ . *Gut*. 51(6): 842-848.
- Saeton, W., Jitviriyanon, S., Songserm, O., and Ruangpanit, Y. 2021. Effect of NSPase supplementation in wheat containing diet on performance, digesta viscosity and apparent metabolizable energy of broiler. *J. Mahanakorn Vet. Med*. Vol.16 No.1: 53-62. (in Thai)
- SAS. 2021. SAS<sup>®</sup> On Demand for academics: Studio. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Singh, Z., Karthigesu, I.P., Singh, P. and K. Rupinder, K. 2014. Use of malondialdehyde as a biomarker for assessing oxidative stress in different disease pathologies: a review. *Iran. J. Public Health*. 43(supple 3): 7-16.
- Smeets, N., Nuyens, F., Van Campenhout, L., Delezie, E. and Niewold, T. 2018. Interactions between the concentration

- of non-starch polysaccharides in wheat and the addition of an enzyme mixture in a broiler digestibility and performance trial. *Poult. Sci.* 97(6): 2064-2070.
- Tiwari, U. P., Chen, H. Kim, S.W. and Jha, R. 2018. Supplemental effect of xylanase and mannanase on nutrient digestibility and gut health of nursery pigs studied using both in vivo and in vitro models. *Anim. Feed Sci. Technol.* 245: 77-90.
- Usami, M., Kishimoto, K., Ohata, A., Miyoshi, M., Aoyama, M., Fueda, Y. and Kotani, J. 2008. Butyrate and trichostatin A attenuate nuclear factor  $\kappa$ B activation and tumor necrosis factor  $\alpha$  secretion and increase prostaglandin E2 secretion in human peripheral blood mononuclear cells. *Nutr. Res.* 28(5): 321-328.
- Van Hoeck, V., Papadopoulos, G.A., Giannenas, I., Lioliopoulou, S., Tsiouris, V., Mantzios, T., Kiskinis, K., Grivas, I., Gonzalez Sanchez, A.L., Vasanthakumari, B.L., Fortomaris, P. and Morisset, D. 2021. New intrinsically thermostable xylanase improves broilers' growth performance, organ weights, and affects intestinal viscosity and pH. *Agriculture*. 11(12): 1235.
- Vasanthakumari, B., Gedye, K., Abdollahi, M., Di Benedetto, M., Sanchez, D. G., Wealleans, A. and Ravindran, V. 2023. A new monocomponent xylanase improves performance, ileal digestibility of energy and nutrients, intestinal morphology, and intestinal microbiota in young broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 32(1), 100301.
- Wang, J., Liu, S., Ma, J. and Piao, X. 2021. Changes in growth performance and ileal microbiota composition by xylanase supplementation in broilers fed wheat-based diets. *Front. Microbiol.* 12: 706396.
- Yang, P., Hu, H., Li, Y., Ai, Q., Zhang, W., Zhang, Y. and Mai, K. 2019. Effect of dietary xylan on immune response, tight junction protein expression and bacterial community in the intestine of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Aquaculture*. 512: 734361.
- Zhang, L., Xu, J., Lei, L., Jiang, Y., Gao, F. and Zhou, G. 2014. Effects of xylanase supplementation on growth performance, nutrient digestibility and non-starch polysaccharide degradation in different sections of the gastrointestinal tract of broilers fed wheat-based diets. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 27(6): 855.
- Zhang, S., Wang, C., Sun, Y., Wang, G., Chen, H., Li, D., Yu, X. and Chen, G. 2018. Xylanase and fermented Polysaccharide of *Hericium caputmedusae* reduce pathogenic infection of broilers by improving antioxidant and anti-

inflammatory properties. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2018(1): 4296985.

cereal-derived arabinoxylans on host health. *Anim. Nutri.* 9: 31-38.

Zhang, Z., Yang, P. and Zhao, J. 2022. Ferulic acid mediates prebiotic responses of

