วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

ผลการศึกษาเบื้องต้นของการเสริมโพรไบโอติกส์ (Multi-strain) ต่ออัตราการเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกัน และสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็กในลูกสุกร

A preliminary study on the effects of multi-strain probiotics supplementation on growth rate, immunity and small intestinal morphology in piglets

พัสกร พุทธฉายา[1], เปรมสุดา สมาน[2], กมล ฉวีวรรณ[3], วิวัฒน์ กัลยาลัง[4], จักรพันธ์ โตวิทศิรินเรศ[4], และ สาวิตรี วงศ์ตั้งถิ่นฐาน[1]*

Padsakorn Pootthachaya[1], Premsuda Saman[2], Kamon Chaweewan[3], Viwat Kalyalang[4], Jakkraphan Towitsirinaret[4] and Sawitree Wongtangtintharn[1]*

[1] *สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002*
[1] *Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, 40002*
[2] *ศูนย์ความหลากหลายทางชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 12120*
[2] *Biodiversity Research Center, Thailand Institute of Scientific and Technological Research, 12120*
[3] *สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์ 12000*
[3] *Bureau of Animal Husbandry and Genetic Improvement, Department of Livestock Development, 12000*
[4] *ศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุ์สัตว์นครราชสีมา กรมปศุสัตว์ 30130*
[4] *Swine Research and Development Center, Nakhon Ratchasima Animal Research and Breeding Center, Department of Livestock Development, 30130*

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลการเสริมจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์แบบหลายสายพันธุ์ (Multi-strain probiotics) ต่ออัตราการเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกัน และสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็กในลูกสุกร โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อค (randomized complete block design) โดยใช้เพศ (ผู้และเมีย) และสายพันธุ์ (แลนด์เรซ (Landrace) ลาร์จไวท์ (Large White) และลูกผสม (Landrace x Large White)) เป็นบล็อก รวมทั้งหมด 28 ตัว แบ่งเป็น 2 กลุ่มทดลอง ได้แก่ กลุ่มควบคุม (ไม่เสริมโพรไบโอติกส์) และกลุ่มที่ได้รับโพรไบโอติกส์ จำนวน 14 ตัวต่อกลุ่มทดลอง โพรไบโอติกส์ที่ใช้ประกอบด้วย *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus paraplantarum*, *Lactobacillus pentosus*, *Lactococcus lactis*, *Weissella cibaria* และ *Pediococcus pentosaceus* โดยมีความเข้มข้นที่ 10^9 cfu/mL โดยกลุ่มที่เสริมโพรไบโอติกส์จะได้รับสารละลายโพรไบโอติกส์ผ่านการป้อนทางปากที่ 2 มิลลิลิตรต่อตัว ตั้งแต่วันที่ 7 หลังคลอดจนถึงหย่านมที่อายุ 4 สัปดาห์ หลังจากนั้น ลูกสุกรจะได้รับอาหารสำเร็จรูปร่วมกับการเสริมสารละลายโพรไบโอติกส์ 5 มิลลิลิตรต่ออาหาร 100 กรัม จนถึงอายุ 8 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า ลูกสุกรที่ได้รับการเสริมโพรไบโอติกส์มีน้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) และไม่ส่งผลกระทบต่อระดับของอิมมูโนโกลบูลิน (IgA, IgG และ IgM) ในซีรั่ม ($P>0.05$) อย่างไรก็ตาม กลุ่มที่ได้รับโพรไบโอติกส์มีความสูงของวิลลัสในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมและไอเลียม รวมถึงอัตราส่วนระหว่างความสูงวิลลัสต่อความลึกของคริปท์ในดูโอดินัมสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การเสริมโพรไบโอติกส์แบบหลายสายพันธุ์ช่วยส่งเสริมการพัฒนาสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็กในลูกสุกรโดยไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่ออัตราการเจริญเติบโตและภูมิคุ้มกัน

คำสำคัญ: โพรไบโอติกส์; การเจริญเติบโต; ภูมิคุ้มกัน; สัณฐานวิทยา; ลูกสุกร

* Corresponding author: sawiwo@kku.ac.th

Received: date; June 9, 2025 Revised: date; October 2, 2025

Accepted: date; October 16, 2025 Published: date; February 6, 2026

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the effects of multi-strain probiotic supplementation on growth rate, immunity, and small intestinal morphology in piglets. The experiment was arranged in a randomized complete block design, with sex (Male and Female) and breed (Landrace, Large White, and Landrace × Large White crossbreds) considered as blocking factors. A total of 28 piglets were used and divided into two treatment groups: a control group (Without probiotics) and a probiotic group, with 14 piglets per group. The probiotics used consisted of *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus paraplantarum*, *Lactobacillus pentosus*, *Lactococcus lactis*, *Weissella cibaria*, and *Pediococcus pentosaceus*, at a concentration of 10^9 cfu/mL. Piglets in the probiotic group received 2 mL of the probiotic solution orally from day 7 after birth until weaning at 4 weeks of age. Subsequently, from weaning to 8 weeks of age, they were fed a commercial diet supplemented with 5 mL of the probiotic solution per 100 g of feed. The results showed that probiotic supplementation had no significant effect on body weight or average daily gain ($P>0.05$), and it also did not affect serum immunoglobulin levels (IgA, IgG, and IgM; $P>0.05$). However, the probiotic group exhibited significantly increased villus height in the duodenum and ileum, as well as a higher villus height-to-crypt depth ratio in the duodenum ($P<0.05$), compared to the control group. These preliminary findings suggest that multi-strain probiotic supplementation may enhance the development of small intestinal morphology in piglets without negatively affecting growth performance and immunity.
Keywords: probiotics; growth; immunity; histomorphology; piglet

บทนำ

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของลูกสุกรมีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมการผลิตสุกร เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็วจะช่วยให้สุกรมีน้ำหนักส่งตลาดได้ในระยะเวลาที่สั้นลง การทำความเข้าใจและปรับปรุงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของลูกสุกรจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เช่น พันธุกรรม โภชนาการ การจัดการและสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีผลกระทบอย่างมากต่อสุขภาพและผลผลิตของสุกร (Shin et al., 2019) โดยเฉพาะลูกสุกรในช่วงระยะก่อนและหลังหย่านมที่มีความเสี่ยงสูง เนื่องจาก ช่วงเวลาวิกฤตนี้มักก่อให้เกิดความเครียดที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในหน้าที่และสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็ก นอกจากนี้ สภาวะความเครียดยังส่งผลให้ลูกสุกรอ่อนแอและง่ายต่อการติดเชื้อโรคต่างๆ ที่มักก่อให้เกิดอาการท้องเสีย ซึ่งจะส่งผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของลูกสุกรลดลง (Su et al., 2022; Tang et al., 2022)

ในปัจจุบันมีการทดสอบและสำรวจแนวทางการใช้จุลินทรีย์โพรไบโอติกส์เป็นสารเติมแต่งในอาหารเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของลูกสุกร เนื่องจากข้อจำกัดในการใช้ยาปฏิชีวนะในปศุสัตว์ที่มีมากขึ้น จุลินทรีย์โพรไบโอติกส์หลายสายพันธุ์ได้รับความสนใจอย่างมาก โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก เช่น *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Enterococcus*, *Leuconostoc*, *Lactococcus*, *Weissella* และ *Streptococcus* (Vieco-Saiz et al., 2019) ซึ่งนิยมนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกส์ในอาหารสัตว์ทางการค้าที่มีศักยภาพในการปรับปรุงสุขภาพของระบบทางเดินอาหาร โดยเฉพาะเยื่อบุผิวของลำไส้เล็กซึ่งเป็นบริเวณหลักในการดูดซึมสารอาหารที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของลูกสุกรผ่านการย่อยและการดูดซึมโภชนะ รายงานการวิจัยหลายฉบับแสดงให้เห็นว่า การเสริมจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์เพียงสายพันธุ์เดียว (Single-strain) สามารถกระตุ้นภูมิคุ้มกัน ปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ ส่งเสริมการพัฒนาสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็ก ปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหาร เพิ่มอัตราการเจริญเติบโต และลดอุบัติการณ์ของอาการท้องเสีย (Galli et al., 2024; Saha et al., 2024) ซึ่งถือเป็นแนวทางที่น่าสนใจในฐานะสารเติมแต่งอาหารสำหรับลูกสุกร นอกจากนี้ จากรายงานของ Sarkar et al. (2023) และ Huang et al. (2024) พบว่า การใช้โพรไบโอติกส์รวมหลายสายพันธุ์ (Multi-strain) ให้ผลดีกว่าการใช้โพรไบโอติกส์เพียงชนิดเดียว เนื่องจากมีการส่งเสริมกิจกรรมซึ่งกันและกัน (Synergistic activities) โดยช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ของลำไส้และปรับสมดุลของไมโครไบโอมในลำไส้ได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้ลูกสุกรมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับลูกสุกรที่ได้รับอาหารร่วมกับโพรไบโอติกส์เพียงสายพันธุ์เดียวและอาหารควบคุม นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การใช้โพรไบโอติกส์แบบหลายสายพันธุ์มีศักยภาพในการกระตุ้นการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของร่างกาย โดยเฉพาะการเพิ่มระดับของอิมมูโนโกลบูลิน (IgG) ในกระแสเลือด ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นแอนติบอดีหลักในซีรั่มที่สามารถจับและทำลายเชื้อโรค รวมถึงช่วยกระตุ้นกระบวนการกำจัดสิ่งแปลกปลอมออกจากร่างกาย ทั้งยังแสดงผลในการลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียที่ก่อโรคในลำไส้ โดยเฉพาะบริเวณลำไส้เล็กส่วนปลายซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงต่อการติดเชื้อและเกิดอาการท้องเสียในลูกสุกรหย่านม โดยกลไกสำคัญเกิดจากการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ใน

ลำไส้เล็ก (Microbiota modulation) ทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ เช่น *Lactobacillus* spp. และ *Bifidobacterium* spp. มีจำนวนเพิ่มขึ้น ขณะที่เชื้อก่อโรค เช่น *Escherichia coli* และ *Clostridium* spp. ลดลง (Aiyegoro et al., 2017) ส่งผลให้สุขภาพลำไส้ดีขึ้น ลดความถี่และความรุนแรงของอาการท้องเสีย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิตในลูกสุกรหย่านม ทั้งนี้การใช้โพรไบโอติกส์แบบผสมถือเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการใช้เป็นสารเติมแต่งในอาหาร ซึ่งสามารถทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะในการบรรเทาความเครียดจากการหย่านม และช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิตในลูกสุกรหย่านมได้อย่างมีประสิทธิผล โดยมีหลักฐานจากงานวิจัยก่อนหน้าที่ได้รายงานถึงระดับความเข้มข้นของโพรไบโอติกส์หลายสายพันธุ์ที่ประมาณ 10^9 cfu/mL มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาและสุขภาพของลำไส้ในลูกสุกร (Huting et al., 2023; Huang et al., 2024; Sahatsanon et al., 2025)

การศึกษาและพัฒนาสายพันธุ์ของจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ยังคงมีการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะสายพันธุ์ของโพรไบโอติกส์และรูปแบบการใช้ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการกลไกทำงานและประสิทธิผลของโพรไบโอติกส์ในสัตว์ (Gorzelanna et al., 2025) แม้ว่าจะมีงานวิจัยเกี่ยวกับโพรไบโอติกส์จำนวนมากในปัจจุบัน แต่ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้โพรไบโอติกส์แบบหลายสายพันธุ์ในลูกสุกรยังมีจำกัด นอกจากนี้ ยังมีความจำเป็นในการศึกษาจุลินทรีย์สายพันธุ์ใหม่ที่มีคุณสมบัติเด่นและเป็นประโยชน์ เนื่องจากประสิทธิภาพของโพรไบโอติกส์มีความเฉพาะเจาะจงต่อสายพันธุ์ (Sahatsanon et al., 2025) การศึกษานี้เป็นการศึกษาต่อเนื่องของการศึกษาก่อนหน้านี้ที่ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (TISTR) ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การคัดเลือกจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ที่ผลิตกรดแลคติก (Lactic acid bacteria) ที่มีศักยภาพเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสุกร โดยได้คัดเลือกแบคทีเรียในกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติก 7 สายพันธุ์ ได้แก่ *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus paraplantarum*, *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus pentosus*, *Weissella cibaria* และ *Pediococcus pentosaceus* (Saman et al., 2022) โดยทั้งหมดแยกได้จากสุกรที่มีสุขภาพดีในประเทศไทย และผ่านการคัดเลือกตามคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการเป็นแหล่งโพรไบโอติกส์ เช่น ความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับระบบทางเดินอาหารของสุกรและความปลอดภัยเฉพาะสายพันธุ์

ดังนั้น งานทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบและเก็บข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับประสิทธิภาพของโพรไบโอติกส์แบบหลายสายพันธุ์ (Muti-strain probiotics) ที่ประกอบด้วยแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก 7 สายพันธุ์ต่ออัตราการเจริญเติบโต ระดับภูมิคุ้มกัน และการพัฒนาลักษณะทางสัณฐานวิทยาในลำไส้เล็กของลูกสุกร

วิธีการศึกษา

ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร-สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ลูกสุกรพันธุ์แลนด์เรซ (Landrace; LR) 16 ตัว (เพศผู้ 8 ตัว และเพศเมีย 8 ตัว) ลาร์จไวท์ (Large White; LW) 10 ตัว (เพศผู้ 6 ตัว และเพศเมีย 4 ตัว) ลูกผสม (Cross breed [LR x LW]; CB) 2 ตัว (เพศผู้ 2 ตัว) รวมทั้งหมด 28 ตัว (เพศผู้ 16 ตัว และเพศเมีย 12 ตัว) น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดเฉลี่ย 1.50 + 0.05 กิโลกรัม

ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อค (Randomized Complete Block Design) โดยใช้เพศ (ผู้และเมีย) และสายพันธุ์ (Landrace, Large White และ Landrace × Large White crossbreds) เป็นบล็อกเพื่อควบคุมความแปรปรวน จากนั้นสุ่มลูกสุกรภายในแต่ละบล็อคเข้ากลุ่มการทดลอง 2 กลุ่มๆ ละ 14 ตัวอย่างสมดุล (เพศผู้: LR-4 ตัว; LW-3 ตัว; CB-1 ตัว และเพศเมีย: LR-4 ตัว; LW-2 ตัว) ประกอบด้วยกลุ่มควบคุม (Control) และกลุ่มที่ได้รับการเสริมโพรไบโอติกส์หลายสายพันธุ์ (Muti-strain probiotics; **Table 1**) โดยประกอบด้วยเชื้อในสกุล *Lactobacillus*, *Lactococcus, Weissella* และ *Pediococcu* ซึ่งถูกเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายที่ความเข้มข้น 1.0 x 10^9 cfu/mL โดยอ้างอิงจากรายงานการศึกษาก่อนหน้าที่รายงานว่าการเสริมโพรไบโอติกส์หลายสายพันธุ์ที่ความเข้มข้น 10^9 cfu/mL มีประสิทธิภาพสูงต่อการส่งเสริมสุขภาพลำไส้และการเจริญเติบโตของลูกสุกร (Huang et al., 2024; Sahatsanon et al., 2025)

Table 1 The composition of muti-strain probiotics[1]

Microbial composition	Concentration
Lactobacillus brevis	1.0 x 10^9 cfu/mL
Lactobacillus reuteri	1.0 x 10^9 cfu/mL
Weissella cibaria	1.0 x 10^9 cfu/mL
Lactobacillus paraplantarum	1.0 x 10^9 cfu/mL
Lactococcus lactis	1.0 x 10^9 cfu/mL
Lactobacillus pentosus	1.0 x 10^9 cfu/mL
Pediococcus pentosaceus	1.0 x 10^9 cfu/mL

[1] Probiotics from the Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR)

โดยในช่วงระยะอนุบาลลูกสุกรทุกตัวจะได้รับนมจากแม่สุกรเป็นเวลา 6 วัน จากนั้น ลูกสุกรในกลุ่มควบคุมจะได้รับอาหารเลียราง (Creep feed- โปรตีน 22% และพลังงาน 3,400 kcal/kg; HI-GRO 550 LAC, บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)) เพียงอย่างเดียวด้วยถังให้อาหารแบบกลม (Round feeder) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร และลึก 6 เซนติเมตร ขณะที่กลุ่มที่ได้รับโพรไบโอติกส์จะได้รับอาหารเลียรางร่วมกับการเสริมสารละลายโพรไบโอติกส์ 2 มิลลิลิตร ผ่านการป้อนทางปากทุกๆ 3 วัน ตั้งแต่วันที่ 7 หลังคลอด จนถึงหย่านมที่อายุ 28 วัน โดยเลี้ยงในคอกคลอดขนาด 2 x 2.2 เมตร (0.6 x 2.2 เมตร สำหรับแม่สุกร และ 1.4 x 2.2 เมตร สำหรับลูกสุกร) หลังจากหย่านมลูกสุกรแต่ละกลุ่มทดลองจะถูกย้ายนำไปเลี้ยงรวมกันในคอกอนุบาลขนาด 2.5 x 2.5 x 0.95 เมตร (จำนวน 14 ตัวต่อคอก ประกอบด้วยเพศผู้ 8 ตัว และเพศเมีย 6 ตัว) โดยลูกสุกรในกลุ่มควบคุมจะได้รับอาหารสำเร็จรูป (โปรตีน 20% และพลังงาน 3,200 kcal/kg) ขณะที่กลุ่มที่ได้รับโพรไบโอติกส์จะได้รับอาหารสำเร็จรูปร่วมกับการเสริมโพรไบโอติกส์ ทั้งนี้ลูกสุกรจะได้รับอาหารวันละสองครั้ง คือ ในช่วงเช้าเวลา 7.00 น. ลูกสุกรจะได้รับอาหารร่วมกับการเสริมโพรไบโอติกส์ โดยอาหารที่ผสมโพรไบโอติกส์จะถูกเตรียมใหม่ทุกวันด้วยการสเปรย์สารละลายโพรไบโอติกส์ปริมาณ 5 มิลลิลิตรต่ออาหาร 100 กรัม ผสมให้กระจายอย่างสม่ำเสมอด้วยมือก่อนนำไปให้ในรางอาหารตอนเช้าทุกวันเพื่อคงความมีชีวิตของจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ตามวิธีการของ Sahatsanon et al. (2025) และในช่วงเย็นเวลา 16.00 น. ลูกสุกรจะได้รับอาหารปกติที่ไม่เสริมโพรไบโอติกส์ มีน้ำให้กินตลอดเวลา (*Ad libitum*) และเลี้ยงภายใต้สภาพแวดล้อมโรงเรือนแบบเปิด (อุณหภูมิเฉลี่ย 28 ± 4°C และความชื้นเฉลี่ย 77 ± 5%) จนถึงอายุ 56 วัน

เก็บบันทึกข้อมูลน้ำหนักตัว (Body weight) ของลูกสุกรที่อายุ 4 และ 8 สัปดาห์ เพื่อคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average daily gain) รวมทั้งบันทึกและประเมินให้คะแนนความสม่ำเสมอของมูล (Feces score) ทุกวัน ตามวิธีการของ Lu et al. (2018) ซึ่งระบุเกณฑ์การให้คะแนนของมูล 5 ระดับต่อไปนี้ 1 = อุจจาระเป็นก้อนเนื้อแน่นมีสีน้ำตาลเข้ม 2 = อุจจาระเป็นก้อนเนื้อนิ่มมีสีน้ำตาลเทา 3 = อุจจาระเป็นเนื้อกึ่งเหลวมีสีเทา 4 = อุจจาระเป็นเนื้อเหลวมีสีเทาอ่อน และ 5 = อุจจาระเป็นน้ำเหลวมากมีสีน้ำตาลอ่อน (**Figure 1**)

Score	1	2	3	4	5
Description	Firm and dark brown	Slightly soft and dark gray	Pasty and gray	Loose and light gray	Watery and light brown

Figure 1 A proposal of a fecal scoring system (Lu et al., 2018)

เมื่อสุกรอายุครบ 8 สัปดาห์ อดอาหารสุกรทุกตัวอย่างน้อย 4 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างเลือดจากสุกรในแต่ละกลุ่มการทดลองจำนวน 5 ตัว จากหลอดเลือดดำบริเวณคอ (Jugular vein) ปริมาณ 3 มิลลิลิตร เพื่อนำซีรั่มไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของอิมมูโนโกลบูลิน

(Immunoglobulin; Ig) ด้วยชุดทดสอบ Elisa test kit ได้แก่ IgA (ab190536, Pig, Abcam, Wuhan, China), IgG (MBS746924, Pig, MyBioSource, California, USA) และ IgM (ab190537, Pig, Abcam, Wuhan, China) โดยใช้ค่าระดับการเจือจาง (Dilution factor) ที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้ IgA:$2x10^4$, IgG:5 และ IgM:$2x10^4$ ตามคำแนะนำของผู้ผลิต โดยค่าความเข้มข้นของอิมมูโนโกลบูลินคำนวณโดยอ้างอิงจากกราฟมาตรฐาน (Wang et al., 2021a)

จากนั้น ทำการการุณยฆาตสุกรทุกตัวโดยการฉีดไทโอเพนทัล (Sodium pentothal) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ทางหลอดเลือดดำ เพื่อทำให้ลูกสุกรหมดสติ ตามด้วยการฉีดสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) อิ่มตัวทางหลอดเลือดดำเพื่อทำให้หัวใจหยุดเต้นตามวิธีการของ AVMA Guidelines for the Euthanasia of Animals (2020) และทำการผ่าชำแหละเพื่อเก็บตัวอย่างลำไส้เล็กทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ดูโอดินัม เจจูนัม และไอเลียม เก็บรักษาตัวอย่างในฟอร์มาลินบัฟเฟอร์ (4% Neutral buffered formalin) และทำการเตรียมสไลด์ตัวอย่างลำไส้โดยวิธีการย้อมสีด้วยฮีมาทอกซิลินและอีโอซิน (Hematoxylin & Eosin) ตามวิธีการของ Cheng et al. (2023) จากนั้น ทำการถ่ายภาพของวิลลัสและคริปท์ออฟไลเบอร์คูนทั้งหมด 3 จุดต่อสไลด์หนึ่งแผ่น โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Eclipse E600, Nikon Corp., Tokyo, Japan) ที่กำลังขยาย 40x ร่วมกับกล้องวิดีโอ (XC77E, Sony Corp., Tokyo, Japan) เพื่อบันทึกภาพและวัดลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็กด้วยโปรแกรม Axio vision version 2018 (Carl Zeiss Co., Ltd., Seoul, Korea) โดยวัดความสูงของวิลลัส (Villus height) ความกว้างของวิลลัส (Villus width) และความลึกของคริปท์ (Crypt depth) เพื่อนำมาคำนวณหาสัดส่วนความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปท์ (Villus height/Crypt depth ratio) และพื้นที่ผิวของวิลลัส (Villus surface area) ตามวิธีของ Marchewka et al. (2021) ดังนี้:

Villus surface area (mm^2) = $2\boldsymbol{\pi}$ x {Villus width (μm)/2} x Villus height (μm)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในช่วงก่อนหย่านมหน่วยทดลอง (Experimental unit) คือสุกรรายตัว แต่หลังหย่านมเมื่อสุกรถูกเลี้ยงรวมเป็นคอกละ 14 ตัว ตามการจัดการทดลองหน่วยทดลองจึงถือเป็นคอก โดยข้อมูลทั้งหมดถูกวิเคราะห์ทั้งในระดับคอกและระดับรายตัว ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นแบบผสม (Linear Mixed Model) โดยใช้โปรแกรม SAS (Version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) ตามสมการดังนี้

$Y_{ijkl} = \mu + T_i + B_j + \boldsymbol{\beta}$ (BW0) $+ P_k + \boldsymbol{\varepsilon}_{ijk}$

โดยที่ T_i คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ (Main fixed effect)

B_j คือ อิทธิพลของบล็อค (Additional fixed effect: Sex and Breed)

BW0 คือ น้ำหนักแรกเกิด (Covariate)

P_k คือ อิทธิพลของคอก (Random effect)

$\boldsymbol{\varepsilon}_{ijk}$ คือ ความคลาดเคลื่อน (Residual error)

ผลการทดลองรายงานเป็นค่า Least squares means ± Standard error (LSMeans ± SE) โดยพิจารณาความแตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ทั้งนี้ ได้ทำการตรวจสอบสมมติฐานของโมเดล (ความเป็นปกติของเศษเหลือและความเท่ากันของความแปรปรวน) และวิเคราะห์ซ้ำโดยใช้ค่าเฉลี่ยระดับคอกเพื่อยืนยันความสอดคล้องของผลการวิเคราะห์ (Pen-averaged sensitivity analysis) และลดอคติที่อาจเกิดจากการเลี้ยงรวมคอกเดียวต่อทรีตเมนต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการเสริมโพรไบโอติกส์ในอาหารลูกสุกรในระยะก่อนหย่านมจนถึงช่วงอายุ 8 สัปดาห์ พบว่า ลูกสุกรกลุ่มที่ได้รับการเสริมโพรไบโอติกส์มีน้ำหนักและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยที่ช่วงอายุ 4 และ 8 สัปดาห์ ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($P>0.05$; **Table 2**) ทั้งนี้ โพรไบโอติกส์มีบทบาทหลักในการปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ โดยการแข่งขันกับเชื้อก่อโรคเพื่อแย่งพื้นที่เกาะติดเยื่อบุลำไส้และการสร้างสารยับยั้งจุลินทรีย์ เช่น Lactic acid, Bacteriocins และ Hydrogen peroxide (Ismael et al., 2024) ตลอดจนการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันเยื่อบุลำไส้ผ่านการเพิ่มการผลิตอิมมูโนโกลบูลิน (IgA) และการกระตุ้นการตอบสนองของไซโตไคน์ (Liang et al., 2022)

กลไกเหล่านี้ช่วยลดการติดเชื้อและปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร แต่ไม่ได้มีผลโดยตรงต่อเส้นทางการเผาผลาญพลังงาน การสังเคราะห์โปรตีนของกล้ามเนื้อ หรือการเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตโดยตรง (Galli et al., 2024) การศึกษาในปัจจุบันให้ผลคล้ายกับ Huang et al. (2024) ที่รายงานว่า การเสริมโพรไบโอติกส์หลายสายพันธุ์ (*L. plantarum*, *S. thermophilus* และ *B. subtilis*) ที่ความเข้มข้น 2 x 10^9 cfu/mL ในอาหารลูกสุกรหย่านมที่อายุ 4-8 สัปดาห์ ไม่ส่งผลให้น้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตแตกต่างจากกลุ่มควบคุม เช่นเดียวกับ Lähteinen et al. (2015) ที่เสริมโพรไบโอติกส์ (Multistrain *Lactobacillus*: *L. amylovorus*, *L. mucosae*, *L. salivarius*, *L. johnsonii* และ *L. reuteri*) ที่ความเข้มข้น 1 x 10^{10} cfu/mL ในอาหารก็ไม่พบผลกระทบเชิงบวกต่ออัตราการเจริญเติบโตของลูกสุกรเช่นกัน

อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนใหญ่รายงานว่า การเสริมจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์มักส่งผลกระทบเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตของลูกสุกรทั้งในด้านน้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Laskowska et al., 2019; Blavi et al., 2021; Sarkar et al., 2023) นอกจากนี้ จากการศึกษาและวิเคราะห์อภิมาน (Meta-analysis) ถึงการประเมินผลของการเสริมโพรไบโอติกส์ *Lactobacillus* spp. ที่ครอบคลุมผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตและสัณฐานวิทยาของลำไส้มากกว่า 190 รายการ พบว่า การเสริม *Lactobacillus* spp. สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของลูกสุกรได้อย่างมีนัยสำคัญ (Zhu et al., 2022) ผ่านการปรับปรุงการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร รวมทั้งนิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ที่ส่งเสริมสุขภาพในระบบทางเดินอาหาร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบเชิงบวกของโพรไบโอติกส์ทางอ้อมต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของลูกสุกร (Wang et al., 2019a) ทั้งนี้ ความแตกต่างของผลการศึกษาอาจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดและสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นแหล่งของโพรไบโอติกส์ ปริมาณและระยะเวลาในการเสริม รวมถึงสภาพแวดล้อมและสุขภาวะของลูกสุกร (Huang et al., 2024; Sahatsanon et al., 2025) ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของโพรไบโอติกส์ต่อการตอบสนองหรือการกระตุ้นการเจริญเติบโตของลูกสุกรอย่างชัดเจน (Wang et al., 2019b)

Table 2 The effects of using multi-strain probiotics on growth performance in piglets (Mean±SEM) n=14[A]

Performance	Period	Control	Probiotics	*P*-value
Birth weight (kilograms/pig)		1.47 ± 0.04	1.53 ± 0.05	0.38
Body weight (kilograms/pig)	28 days	7.41 ± 0.36	7.41 ± 0.31	1.00
	56 days	18.63 ± 1.38	19.29 ± 0.71	0.68
Average daily gain (grams/pig)	28 days	212.24 ± 12.20	210.20 ± 11.49	0.91
	56 days	306.38 ± 24.52	317.09 ± 11.93	0.70

[A] Values within the same row having different superscript letters are significantly different (P<0.05)

ผลของการเสริมโพรไบโอติกส์ต่อค่าคะแนนของมูล โดยใช้ระบบคะแนน 5 ระดับ พบว่า กลุ่มที่ได้รับโพรไบโอติกส์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.64 ขณะที่กลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.43 เมื่อวิเคราะห์ด้วย Linear mixed model ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.68, **Figure 2** และ **Figure 3**) ทั้งนี้ คะแนนอุจจาระในลูกสุกรถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความสม่ำเสมอของอุจจาระซึ่งสามารถบ่งบอกถึงสุขภาวะของระบบย่อยอาหาร และค่าคะแนนของมูลที่สูงมักบ่งบอกถึงอุบัติการณ์ของอัตราการเกิดอาการท้องร่วงที่สูง ซึ่งโพรไบโอติกส์เป็นแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ที่สามารถส่งผลดีต่อค่าคะแนนอุจจาระผ่านการปรับปรุงสุขภาพลำไส้และลดอาการท้องร่วง (Lu et al., 2018) สอดคล้องกับรายงานของ Wang and Kim (2021) และ Konieczka et al. (2023) ที่รายงานว่า การเสริมจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ในกลุ่มของ *Lactobacillus* spp. และ *Bacillus* spp. สามารถปรับปรุงค่าคะแนนอุจจาระในลูกสุกรได้โดยการสร้างสมดุลของไมโครไบโอมในลำไส้ ซึ่งสามารถลดอุบัติการณ์และความรุนแรงของอาการท้องร่วงได้ แม้ว่าผลการทดลองในครั้งนี้ ลูกสุกรกลุ่มที่ได้รับโพรไบโอติกส์มีค่าคะแนนความสม่ำเสมอของอุจจาระเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่ผลการเปรียบเทียบทางสถิติไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองที่มีค่าคะแนนเฉลี่ยที่ 3.53 ทั้งนี้ การเก็บข้อมูลค่าคะแนนมูลเป็นการประเมินในระดับคอกที่มีลูกสุกรหลายตัวร่วมกัน ทำให้ไม่สามารถระบุได้

อย่างชัดเจนว่ามูลมาจากสุกรตัวใด ความแตกต่างระหว่างรายตัวภายในคอกจึงเพิ่มความผันผวนของข้อมูล (Pen-level limitation) ซึ่งอาจทำให้บดบังผลของการเสริมโพรไบโอติกส์และส่งผลให้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในเชิงสถิติ

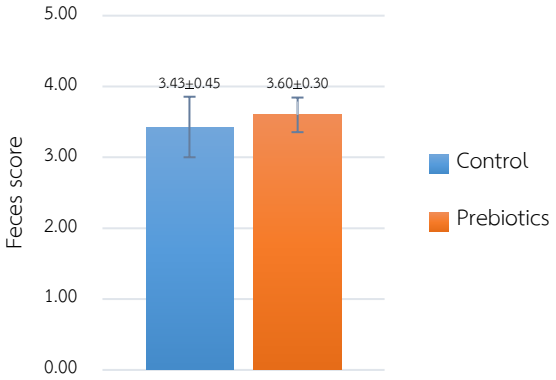

Figure 2 The effects of using multi-strain probiotics on feces score in piglets (Mean±SEM) *n*=14

Control group Probiotics group

Figure 3 Representative feces characteristics of piglets observed in control and probiotics groups

ผลการเสริมโพรไบโอติกส์ต่อระดับอิมมูโนโกลบูลินในซีรั่ม พบว่า ความเข้มข้นของ IgA, IgG และ IgM ไม่มีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (P>0.05; **Figure 4**) ทั้งนี้ การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันโดยการใช้สารน้ำ (Humoral immune response) เกิดจากการสร้างอิมมูโนโกลบูลินหรือแอนติบอดี ซึ่งเป็นโปรตีนในกลุ่มโกลบูลินที่ผลิตโดยพลาสม่าเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันที่ทำหน้าที่สำคัญในการจำแนกและกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นอิมมูโนโกลบูลินจึงเป็นตัวชี้วัดสำคัญของสถานะภูมิคุ้มกันโดยเฉพาะ

ในสัตว์วัยอ่อน เช่น ลูกสุกรที่เพิ่งหย่านมซึ่งระบบภูมิคุ้มกันยังพัฒนาไม่เต็มที่ โดยงานวิจัยหลายฉบับรายงานว่า การเสริมโพรไบโอติกส์ในลูกสุกรสามารถกระตุ้นการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันด้านสารน้ำ โดยส่งเสริมการผลิตอิมมูโนโกลบูลินชนิดต่างๆ ได้แก่ IgA, IgG และ IgM (Xue et al., 2024; Xie et al., 2025) นอกจากนี้ ยังพบว่าผลการเสริมโพรไบโอติกส์มักเชื่อมโยงกับการเพิ่มขึ้นของภูมิคุ้มกันเฉพาะที่ในลำไส้ (Mucosal immunity) โดยตัวชี้วัดสำคัญคือระดับ IgA ชนิดหลั่ง (secretory IgA; sIgA) ที่ทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันการยึดเกาะของเชื้อโรคที่บริเวณเยื่อบุผิวลำไส้ (Zhang et al., 2023) โดยโพรไบโอติกส์สามารถกระตุ้นเซลล์เนื้อเยื่อน้ำเหลืองที่เกี่ยวข้องกับลำไส้ (Gut-associated lymphoid tissue) เช่น พีเยอร์สแพตช์ (Peyer's patches) ให้เกิดการตอบสนอง โดยกระตุ้นการสร้างพลาสม่าเซลล์ที่หลั่ง sIgA ออกมาในบริเวณเยื่อบุผิวลำไส้เพิ่มขึ้น รวมทั้งเซลล์ในลามิน่าโพรเพรีย (Lamina propria) ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงสร้างภูมิคุ้มกันและสัณฐานวิทยาลำไส้โดยตรง (Konieczka et al., 2023) สอดคล้องกับ Sun et al. (2023) ที่พบว่าการเสริม *B. licheniformis* ช่วยเพิ่มระดับ sIgA ในเยื่อเมือกลำไส้ของสุกรหย่านมได้อย่างมีนัยสำคัญ แม้ระดับ IgA ในเลือดจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่สามารถบ่งชี้ได้ว่าโพรไบโอติกส์มีส่วนช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันแบบเยื่อเมือกในลำไส้ นอกจากนี้ การเสริมโพรไบโอติกส์ยังมีแนวโน้มเพิ่มระดับซีรั่ม IgG ซึ่งมีความสำคัญต่อการป้องกันอาการท้องร่วงหลังหย่านม และลดประชากรของแบคทีเรียในลำไส้ในขณะที่เพิ่มประชากรของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (Dlamini et al., 2017)

แม้ว่างานวิจัยส่วนใหญ่จะให้ผลที่สนับสนุนประโยชน์ของโพรไบโอติกส์ต่อภูมิคุ้มกันของสุกร แต่ก็มีบางงานวิจัยที่รายงานว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในตัวชี้วัดภูมิคุ้มกันบางประการ (เช่น ระดับ Ig ในซีรัม) ความแตกต่างของค่าพารามิเตอร์ทางภูมิคุ้มกันที่พบในงานวิจัยนี้เมื่อเทียบกับรายงานอื่นๆ อาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น สายพันธุ์โพรไบโอติกส์ สภาพแวดล้อม สูตรอาหาร อายุของสัตว์ องค์ประกอบของจุลินทรีย์เริ่มต้นในลำไส้ ปริมาณและความถี่ในการให้โพรไบโอติกส์ ตลอดจนช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง (Jorgensen et al., 2016) นอกจากนี้ การใช้โพรไบโอติกส์เพียงสายพันธุ์เดียวหรือหลายสายพันธุ์ก็อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลการศึกษามีความแตกต่างกัน โดยโพรไบโอติกส์สายพันธุ์เดียวมักออกฤทธิ์แบบจำเพาะเจาะจงต่อกลไกบางอย่างในระบบภูมิคุ้มกัน แต่ประสิทธิภาพโดยรวมมีข้อจำกัดและขึ้นอยู่กับความสามารถเฉพาะของสายพันธุ์นั้น (Konieczka et al., 2023) ในขณะที่โพรไบโอติกส์หลายสายพันธุ์มีศักยภาพในการออกฤทธิ์แบบเสริมฤทธิ์กัน (Synergistic effects) ส่งผลให้การใช้โพรไบโอติกส์หลายสายพันธุ์สามารถครอบคลุมกลไกได้หลากหลายกว่า (Czyzewska-Dors et al., 2018) อย่างไรก็ตาม การใช้โพรไบโอติกส์หลายสายพันธุ์ก็อาจมีข้อจำกัดในแง่ความเข้ากันได้ของจุลินทรีย์ (Compatibility) หากสายพันธุ์ต่างๆ มีการแข่งขันกันเองในการเจริญเติบโตหรือใช้สารอาหารร่วมกันอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง

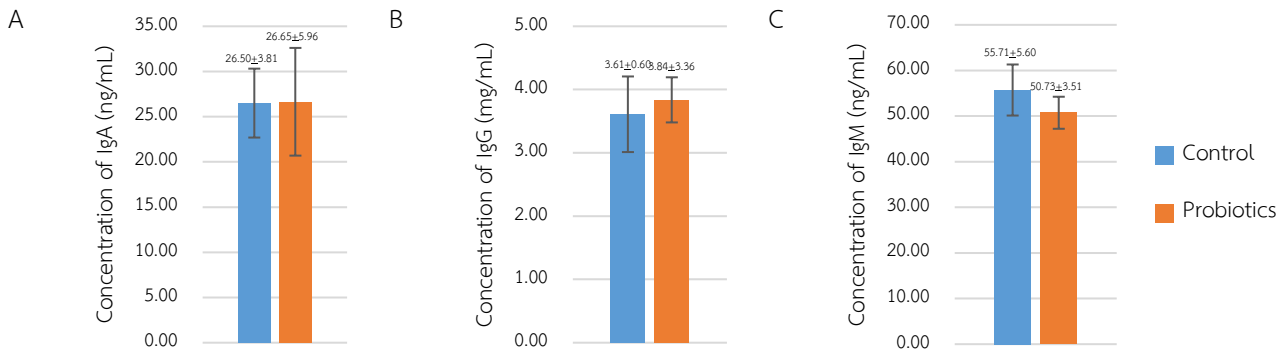

Figure 4 The mean concentration (±SEM) of immunoglobulins in serum. A) IgA; B) IgG; C) IgM concentration

ในด้านสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็ก พบว่า ลูกสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์มีความสูงของวิลลัสในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมและไอเลียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) จากความสูงของวิลลัสในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราส่วนความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปท์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เสริมโพรไบโอติกส์

(1.73 vs 1.45) ขณะที่ความกว้างของวิลลัส ความลึกของคริปท์ และพื้นที่ผิวของวิลลัสในทุกส่วนของลำไส้เล็กไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ผลการทดลองดังแสดงใน **Table 3** และ **Figure 5**

Table 3 The effects of using multi-strain probiotics on small intestine histomorphology in piglets (Mean±SEM) n=14[A]

Histomorphology	Part	Control	Probiotics	*P*-value
Villus height (μm)	Duodenum	359.25 ± 24.35	429.33 ± 21.80	0.05
	Jejunum	350.72 ± 10.34	382.21 ± 14.61	0.10
	Ileum	317.11 ± 12.40	365.25 ± 19.52	0.05
Villus width (μm)	Duodenum	151.31 ± 9.24	156.81 ± 6.71	0.64
	Jejunum	167.53 ± 6.96	148.49 ± 6.90	0.07
	Ileum	144.53 ± 5.96	147.09 ± 7.27	0.79
Crypt depth (μm)	Duodenum	247.99 ± 11.36	253.46 ± 16.88	0.79
	Jejunum	208.60 ± 9.73	231.99 ± 15.72	0.22
	Ileum	203.52 ± 11.49	238.23 ± 14.89	0.08
Villus height/Crypt depth ratio	Duodenum	1.45 ± 0.08	1.73 ± 0.11	0.05
	Jejunum	1.70 ± 0.07	1.72 ± 0.15	0.91
	Ileum	1.58 ± 0.08	1.57 ± 0.10	0.91
Villus surface area (mm^2)	Duodenum	0.19 ± 0.02	0.21 ± 0.01	0.48
	Jejunum	0.18 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.66
	Ileum	0.14 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.06

[A] Values within the same row having different superscript letters are significantly different (P<0.05)

ระบบทางเดินอาหารของสุกรเป็นอวัยวะที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบภูมิคุ้มกัน การเสริมสร้างภูมิต้านทานให้ลูกสุกรจึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่ไม่เพียงแต่ช่วยลดการใช้ยาปฏิชีวนะ แต่ยังทำให้ลูกสุกรมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นและเกษตรกรสามารถทำกำไรได้มากขึ้น (Liao and Nyachoti, 2017) อย่างไรก็ตาม การพัฒนาของเซลล์เยื่อบุผิวในระบบทางเดินอาหารและระบบภูมิคุ้มกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของจุลินทรีย์ประจำถิ่นในลำไส้ โดยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์สามารถส่งผลต่อโครงสร้างของลำไส้ ซึ่งจะช่วยปรับปรุงการเจริญของเซลล์เยื่อบุผิว พัฒนาสุขภาพ และการทำงานของลำไส้ให้ดีขึ้น (Zou et al., 2016) โดยมีรายงานว่าจุลินทรีย์ในลำไส้สามารถได้รับอิทธิพลจากอาหารผ่านการใช้สารเสริมอาหารต่างๆ เช่น พรีไบโอติก โพรไบโอติก และผลิตภัณฑ์จากสมุนไพร (de Lange et al., 2010)

ผลการศึกษาในปัจจุบันได้เน้นย้ำถึงคุณสมบัติโพรไบโอติกส์ที่ช่วยปรับปรุงและส่งเสริมการพัฒนาสัณฐานวิทยาของเยื่อบุ ผิวลำไส้เล็ก ซึ่งพบว่า ความสูงของวิลลัสและอัตราส่วนความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปท์ของลูกสุกรในกลุ่มที่ได้รับโพรไบโอติกส์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Zhao et al. (2024) ที่รายงานว่า การเสริมโพรไบโอติกส์แบบผสม 0.2% (Mixed probiotic: *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus acidophilus* และ *Saccharomyces cerevisiae*) ในอาหารลูกสุกรหย่านมเป็นเวลา 28 วัน ช่วยเพิ่มความสูงของวิลลัสในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมและไอเลียมได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการวิเคราะห์อภิมานของ Zhu et al. (2022) ที่พบว่าโพรไบโอติกส์กลุ่ม *Lactobacillus* ช่วยปรับปรุงอัตราส่วนความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปท์ในส่วนดูโอดินัมได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ การพัฒนาของสัณฐานวิทยาเกี่ยวข้องโดยตรงกับพื้นที่ในการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร รวมถึงการผลัดเปลี่ยนเซลล์ (Intestinal epithelial cell turnover) และการกระตุ้นการแบ่งตัว (Mitosis) ของเซลล์เยื่อบุผิว

ลำไส้ที่เพิ่มขึ้น (Wang et al., 2019b) อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตว่าความสูงของวิลลัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมและไอเลียมแต่ไม่พบความแตกต่างในส่วนเจจูนัม อาจเนื่องจากความจำเพาะในตำแหน่งของการตอบสนองต่อโพรไบโอติกส์ โดยลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมเป็นบริเวณที่ได้รับอาหารและโพรไบโอติกส์โดยตรงจึงมีการกระตุ้นการพัฒนาและซ่อมแซมของวิลลัสได้มากกว่า ขณะที่ส่วนไอเลียมเป็นตำแหน่งที่มีความหนาแน่นของจุลินทรีย์และเนื้อเยื่อภูมิคุ้มกัน (Peyer's patches) สูงกว่าส่วนอื่น ทำให้โพรไบโอติกส์มีอิทธิพลต่อภูมิคุ้มกันของเยื่อบุผิวและกระตุ้นการแสดงออกของไซโตไคน์ต้านการอักเสบ เช่น IL-4 และ IL-10 ที่ช่วยลดการอักเสบในเยื่อบุลำไส้และส่งเสริมความสมบูรณ์ของโครงสร้างวิลลัส (Sahatsanon et al., 2025) ในทางตรงกันข้าม เจจูนัมที่เป็นตำแหน่งหลักในการดูดซึมสารอาหารอาจมีค่าความสูงของวิลลัสเริ่มต้นที่สูงอยู่แล้วแต่มีความแปรปรวนในตำแหน่งมากกว่าส่วนอื่น (Ceiling effect) จึงทำให้ผลของโพรไบโอติกส์ไม่สามารถตรวจจับได้อย่างชัดเจนในเชิงสถิติแม้จะมีแนวโน้มที่ดีต่อสุขภาพลำไส้ สอดคล้องกับ Haupenthal et al. (2020) และ Wang et al. (2021b) ที่รายงานว่าการเสริมโพรไบโอติกส์มีผลต่อโครงสร้างเยื่อบุลำไส้เล็กแตกต่างกันไปตามตำแหน่ง และจากการวิเคราะห์อภิมานที่รายงานว่าโพรไบโอติกส์สามารถเพิ่มความสูงของวิลลัสและอัตราส่วนความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปท์ได้ แต่ขนาดอิทธิพลอาจแตกต่างกันในแต่ละส่วนของลำไส้เล็กโดย (Zhu et al., 2022)

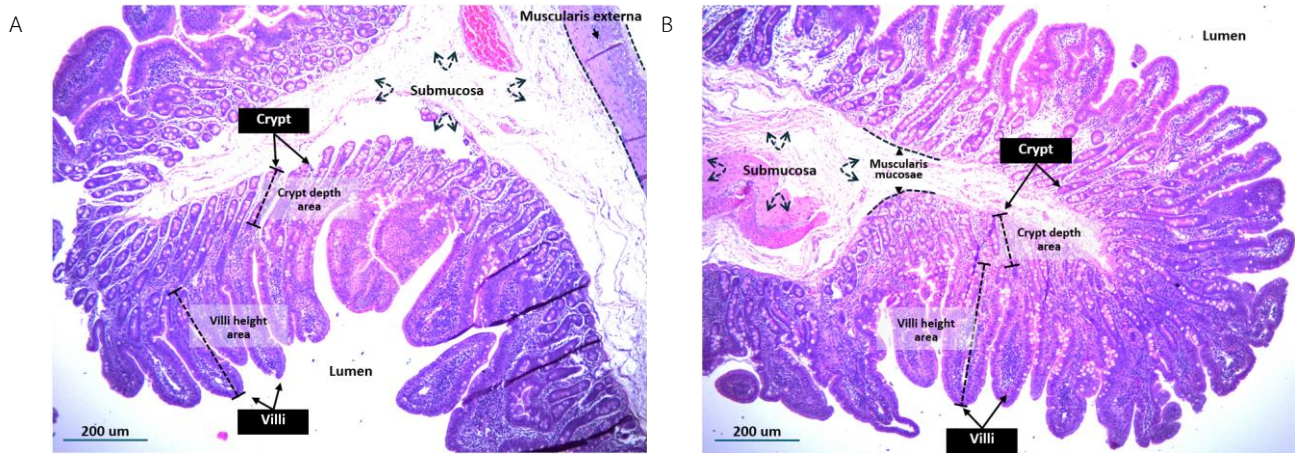

Figure 5 Histological structure of small intestinal (Duodenum) mucosa in 56-day old of piglets. A) Control group; B) Probiotics group

แม้ว่าจะไม่พบความแตกต่างทางสถิติของความกว้างวิลลัส ความลึกคริปท์ และพื้นที่ผิววิลลัส แต่ความสูงของวิลลัสที่เพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียว ก็สามารถส่งผลในทางที่ดีต่อประสิทธิภาพการทำงานของลำไส้เล็กได้ โดยกลไกที่โพรไบโอติกส์ส่งผลต่อการพัฒนาโครงสร้างของลำไส้นั้นอาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายประการที่ทำงานร่วมกันในระดับสรีรวิทยา เช่น โพรไบโอติกส์ช่วยปรับสมดุลจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร โดยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคพร้อมกับส่งเสริมการเพิ่มจำนวนแบคทีเรียชนิดที่เป็นประโยชน์ ทำให้ลดการอักเสบในลำไส้และป้องกันการทำลายเยื่อบุผิววิลลัสจากเชื้อโรค (Jha et al., 2020; Galli et al., 2024) นอกจากนี้ จุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ยังสร้างสารเมตาบอไลต์ที่เป็นประโยชน์ต่อโฮสต์ เช่น กรดไขมันสายสั้น (อะซิเตท โพรพิโอเนต และบิวทิเรท) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานให้เซลล์เยื่อบุลำไส้และช่วยลดสภาวะความเป็นด่าง ทำให้สภาพแวดล้อมเอื้อต่อการเจริญของวิลลัสมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่พบการเพิ่มขึ้นของระดับกรดไขมันสายสั้นในลูกสุกรที่ได้รับโพรไบโอติกส์ (Zhao et al., 2024) ยิ่งไปกว่านั้น โพรไบโอติกส์อาจช่วยกระตุ้นการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของลำไส้ (เช่น IGF-1 และ GLP-2) ส่งผลให้เกิดการพัฒนาของวิลลัสและโครงสร้างเยื่อบุลำไส้ที่สมบูรณ์ขึ้นและเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซึมสารอาหาร (Zhang et al., 2023) โดยจากกลไกดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าเหตุใดลูกสุกรที่ได้รับโพรไบโอติกส์จึงมีวิลลัสที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการเจริญเติบโตของลูกสุกรที่มีแนวโน้มดีขึ้น และสอดคล้องกับผลการศึกษาการใช้โพรไบโอติกส์ในลูกสุกรที่ผ่านมา (Barba-Vidal et al., 2018; Jiang et al., 2024)

นอกจากกลไกของโพรไบโอติกส์ที่ช่วยปรับการเจริญของเซลล์เยื่อบุผิวในลำไส้แล้ว ยังเป็นที่ทราบกันดีว่าโพรไบโอติกส์สามารถผลิตเอนไซม์หลายประเภท อาทิเช่น arabinose, alpha-amylase, maltase, cellulase, levansucrase, dextranase, alkaline protease, beta-glucanas และ neutral protease ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยสารอาหารในลำไส้ (Yi et al., 2020) สอดคล้องกับ Dowarah et al. (2018) ที่รายงานว่า *Lactobacillus* spp. สามารถผลิตเอนไซม์ย่อยอาหาร เช่น protease และ phytase ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยอาหารในกลุ่มของลูกสุกรที่ได้รับการเสริมโพรไบโอติกส์ และยังให้ผลไปในทิศทางเดียวกับ Galli et al. (2024) ซึ่งรายงานว่า การเสริมโพรไบโอติกส์สามารถปรับปรุงสัณฐานวิทยาของลำไส้ เพิ่มการทำงานของเอนไซม์ เพิ่มการผลิตกรดไขมันระเหยง่าย และลดอาการท้องร่วง ซึ่งสามารถนำไปสู่การปรับปรุงสมรรถนะการผลิตสัตว์ให้มีประสิทธิผล (Park et al., 2020; Bromfield et al., 2024)

ในการศึกษานี้มีการใช้คะแนนมูลสุกรและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้เป็นตัวบ่งชี้ทางอ้อมของสุขภาพลำไส้และประสิทธิผลของโพรไบโอติกส์ ซึ่งตัวชี้วัดเหล่านี้เคยมีรายงานว่าสามารถสะท้อนถึงสมรรถนะการทำงานของระบบทางเดินอาหาร ความสมบูรณ์ของเยื่อบุลำไส้ และความสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ได้ (Zhang et al., 2019; Song et al., 2025) อย่างไรก็ตาม การที่ไม่ได้ตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของจุลินทรีย์ในลำไส้ (Gut microbiota profile) เช่น การทำ 16S rRNA sequencing หรือ การวิเคราะห์จีโนมของจุลินทรีย์ (Metagenomic analysis) ถือเป็นข้อจำกัด เนื่องจากโพรไบโอติกส์มักออกฤทธิ์ผ่านการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ การที่ไม่มีข้อมูลดังกล่าวจึงจำกัดการตีความเชิงลึกของผลลัพธ์ ซึ่งงานวิจัยในอนาคตควรเพิ่มการวิเคราะห์องค์ประกอบของจุลินทรีย์เข้ากับตัวบ่งชี้ด้านสุขภาพลำไส้อื่นๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงของสารเมตาบอไลต์ (Metabolomics) โดยเฉพาะกรดไขมันสายสั้น และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Oxidative activity) เพื่อสร้างความเข้าใจที่ครบถ้วนและเชิงลึกมากขึ้นเกี่ยวกับกลไกการทำงานร่วมกันของโพรไบโอติกส์แบบหลายสายพันธุ์

สรุป

การเสริมโพรไบโอติกส์หลายสายพันธุ์ในลูกสุกรช่วงก่อนหย่านมถึงอายุ 8 สัปดาห์ ส่งผลกระทบเชิงบวกที่สำคัญต่อสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็ก โดยเพิ่มความสูงของวิลลัสในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมและไอเลียม และส่งผลให้อัตราส่วนของวิลลัสต่อคริปท์สูงขึ้นในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม ซึ่งบ่งชี้ถึงศักยภาพในการย่อยและดูดซึมสารอาหารที่ดีขึ้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตและภูมิคุ้มกันของลูกสุกร อย่างไรก็ตาม ควรมีศึกษาต่อเนื่องในระยะยาว รวมถึงการประเมินผลต่อสมรรถภาพการผลิตในระยะขุน และการศึกษาผลกระทบต่อองค์ประกอบของไมโครไบโอมในลำไส้อย่างละเอียด เพื่อการศึกษาที่ครอบคลุมยิ่งขึ้นเกี่ยวกับบทบาทของโพรไบโอติกส์แบบหลายสายพันธุ์ต่อสุขภาพและประสิทธิภาพการผลิตของสุกร

การอนุญาตวิจัยในสัตว์

การทดลองนี้ได้รับอนุญาตใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ ตามเอกสารอนุญาตเลขที่ DLD036/64

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์ความหลากหลายทางชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างโพรไบโอติกส์ที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร-สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และสัตว์ทดลองในการเก็บข้อมูลวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Aiyegoro, O., Z. Dlamini, A. Okoh, and R. Langa. 2017. Effects of probiotics on growth performance, blood parameters, and antibody stimulation in piglets. South African Journal of Animal Science. 47: 766–775.

American Veterinary Medical Association (AVMA). 2020. AVMA Guidelines for the Euthanasia of Animals: 2020 Edition. Schaumburg, IL: American Veterinary Medical Association. Available: https://www.avma.org. Accessed Jul.31, 2024.

Barba-Vidal, E., S. M. Martín-Orúe, and L. Castillejos. 2018. Review: Are we using probiotics correctly in post-weaning piglets? Animal: An International Journal of Animal Bioscience. 12: 2489–2498.

Blavi, L., D. Sola-Oriol, P. Llonch, S. Lopez-Verge, S. M. Martín-Orue, and J. F. Perez. 2021. Management and feeding strategies in early life to increase piglet performance and welfare around weaning: A review. Animals. 11: 302.

Bromfield, J. I., S. Niknafs, X. Chen, J. von Hellens, D. Horyanto, B. Sun, L. Yu, V. H. Tran, M. Navarro, and E. Roura. 2024. The evaluation of next-generation probiotics on broiler growth performance, gut morphology, gut microbiome, nutrient digestibility, in addition to enzyme production of *Bacillus* spp. *in vitro*. Animal Nutrition. 18: 133–144.

Cheng, Y., S. Ding, M. A. K. Azad, B. Song, and X. Kong. 2023. Comparison of the pig breeds in the small intestinal morphology and digestive functions at different ages. Metabolites. 13: 132.

Czyzewska-Dors, E., K. Kwit, E. Stasiak, J. Rachubik, K. Slizewska, and M. Pomorska-Mól. 2018. Effects of newly developed synbiotic and commercial probiotic products on the haematological indices, serum cytokines, acute phase proteins concentration, and serum immunoglobulins amount in sows and growing pigs – A pilot study. Journal of Veterinary Research. 62: 317–328.

de Lange, C. F. M., J. Pluske, J. Gong, and C. M. Nyachoti. 2010. Strategic use of feed ingredients and feed additives to stimulate gut health and development in young pigs. Livestock Science. 134: 124–134.

Dlamini, Z. C., R. L. S. Langa, O. A. Aiyegoro, and A. I. Okoh. 2017. Effects of probiotics on growth performance, blood parameters, and antibody stimulation in piglets. South African Journal of Animal Science. 47: 766–775.

Dowarah, R., A. K. Verma, N. Agarwal, P. Singh, and B. R. Singh. 2018. Selection and characterization of probiotic lactic acid bacteria and its impact on growth, nutrient digestibility, health and antioxidant status in weaned piglets. Plos One. 13: e0192978.

Galli, G. M., I. Andretta, C. Levesque, T. Stefanello, C. L. Carvalho, J. Y. Perez Pelencia, G. B. Bueno Martins, B. Souza de Lima Cony, C. Romeiro de Oliveira, C. H. Franceschi, and M. Kipper. 2024. Using probiotics to improve nutrient digestibility and gut-health of weaned pigs: a comparison of maternal and nursery supplementation strategies. Frontiers in Veterinary Science. 11: 1356455.

Gorzelanna, Z., A. Mamrot, D. Bedkowska, J. Bubak, and M. Miszczak. 2025. Exploring the potential of novel animal-origin probiotics as key players in one health: opportunities and challenges. International Journal of Molecular Sciences. 26: 5143.

Haupenthal, L. A., J. G. Caramori Júnior, G. S. S. Corrêa, and B. A. N. Silva. 2020. Oral supplementation of probiotics on the performance and intestinal histo-morphology of suckling piglets. Ciência Rural. 50: e20190602.

Huang, C. W., S. Y. Liu, B. P. Bhattarai, T. Y. Lee, H. T. Chang, H. C. Lin, H. M. Weng, H. H. Huang, J. S. Lin, and J. W. Lee. 2024. Live multi-strain probiotics enhance growth performance by regulating intestinal morphology and microbiome population in weaning piglets. Microorganisms. 12: 2334.

Ismael, M., M. Huang, and Q. Zhong. 2024. The bacteriocins produced by lactic acid bacteria and the promising applications in promoting gastrointestinal health. Foods. 13: 3887.

Jha, R., R. Das, S. Oak, and P. Mishra. 2020. Probiotics (direct-fed microbials) in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, growth and laying performance, and gut health: a systematic review. Animals. 10: 1863.

Jiang, Z., M. Yang, W. Su, L. Mei, Y. Li, Y. Guo, Y. Li, W. Liang, B. Yang, Z. Huang, and Y. Wang. 2024. Probiotics in piglet: from gut health to pathogen defense mechanisms. Frontiers in Immunology. 15: 1468873.

Jorgensen, J. N., J. S. Laguna, C. Millán, O. Casabuena, and M. I. Gracia. 2016. Effects of a *Bacillus*-based probiotic and dietary energy content on the performance and nutrient digestibility of wean to finish pigs. Animal Feed Science and Technology. 221: 54–61.

Konieczka, P., K. Ferenc, J. N. Jorgensen, L. H. B. Hansen, R. Zabielski, J. Olszewski, Z. Gajewski, M. Mazur-Kusnirek, D. Szkopek, N. Szyrynska, and K. Lipinski. 2023. Feeding *Bacillus*-based probiotics to gestating and lactating sows is an efficient method for improving immunity, gut functional status and biofilm formation by probiotic bacteria in piglets at weaning. Animal Nutrition. 13: 361–372.

Lähteinen, T., T. Rinttilä, J. M. K. Koort, R. Kant, K. Levonen, M. Jakava-Viljanen, J. Björkroth, and A. Palva. 2015. Effect of a multispecies *Lactobacillus* formulation as a feeding supplement on the performance and immune function of piglets. Livestock Science. 180: 164–171.

Laskowska, E., L. Jarosz, and Z. Gradzki. 2019. Effect of multi-microbial probiotic formulation Bokashi on pro- and anti-inflammatory cytokines profile in the serum, colostrum and milk of sows, and in a culture of polymorphonuclear cells isolated from colostrum. Probiotics and Antimicrobial Protein. 11: 220–232.

Liang, H., Y. Zhang, Z. Miao, R. Cheng, F. Jiang, X. Ze, X. Shen, and F. He. 2022. Anti-allergic effects of two potential probiotic strains isolated from infant feces in China. Journal of Functional Foods. 92: 105070.

Liao, S. F., and M. Nyachoti. 2017. Using probiotics to improve swine gut health and nutrient utilization. Animal Nutrition. 3: 331–343.

Lu, X., M. Zhang, L. Zhao, K. Ge, Z. Wang, L. Jun, and F. Ren. 2018. Growth performance and post-weaning diarrhea in piglets fed a diet supplemented with probiotic complexes. Journal of Microbiology and Biotechnology. 28: 1791–1799.

Marchewka, J., P. Sztandarski, Z. Zdanowska-Sasiadek, D. Adamek-Urbanska, K. Damaziak, F. Wojciechowski, A. B. Riber, and S. Gunnarsson. 2021. Gastrointestinal tract morphometrics and content of commercial and indigenous chicken breeds with differing ranging profiles. Animals. 11: 1881.

Park, J. H., S. I. Lee, and I. H. Kim. 2020. The effect of protease on growth performance, nutrient digestibility, and expression of growth-related genes and amino acid transporters in broilers. Journal of Animal Science and Technology. 62: 614–627.

Saha, S., F. Namai, K. Nishiyama, J. Villena, and H. Kitazawa. 2024. Role of immunomodulatory probiotics in alleviating bacterial diarrhea in piglets: a systematic review. Journal of Animal Science and Biotechnology. 15: 112.

Sahatsanon, K., P. Sivapirunthep, K. Sringarm, C. Arjin, P. Hnokaew, K. Chaweewan, and C. Chaosap. 2025. Influence of host-specific and locally isolated multi-strain probiotics on piglet performance, mortality, inflammatory response, and gut microbiome. Animal Bioscience. 38: 717–727.

Saman, P., A. Chaiongkarn, S. Moonmangmee, S. Singhtho, P. Kornngam, and N. Yongkit. 2022. Research and development of effective mixed microorganism for piglet production. Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR).

Sarkar, G., S. Mondal, D. Bhattacharya, P. Ponraj, S. Sawhney, P. Bala, D. Chakraborty, J. Sunder, and A. K. De. 2023. Effect of a multi-strain probiotic on growth performance, lipid panel, antioxidant profile, and immune response in Andaman local piglets at weaning. Fermentation. 9: 970.

SAS Institute Inc. 2019. SAS/STAT User's Guide, Version 9.4. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Shin, D., S. Y. Chang, P. Bogere, K. Won, J. Y. Choi, Y. J. Choi, H. K. Lee, J. Hur, B. Y. Park, Y. Kim, and J. Heo. 2019. Beneficial roles of probiotics on the modulation of gut microbiota and immune response in pigs. Plos One. 14: e0220843.

Song, D., J. Lee, Y. Yoo, H. Oh, S. Chang, J. An, S. Park, K. Jeon, Y. Cho, Y. Yoon, and J. Cho. 2025. Effects of probiotics on growth performance, intestinal morphology, intestinal microbiota in weaning pig challenged with *Escherichia coli* and *Salmonella enterica*. Journal of Animal Science and Technology. 67: 106–136.

Su, W., T. Gong, Z. Jiang, Z. Lu, and Y. Wang. 2022. The role of probiotics in alleviating postweaning diarrhea in piglets from the perspective of intestinal barriers. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. 12: 883107.

Sun, W., W. Chen, K. Meng, L. Cai, G. Li, X. Li, and X. Jiang. 2023. Dietary supplementation with probiotic *Bacillus licheniformis* S6 improves intestinal integrity via modulating intestinal barrier function and microbial diversity in weaned piglets. Biology. 12: 238.

Tang, X., K. Xiong, R. Fang, and M. Li. 2022. Weaning stress and intestinal health of piglets: a review. Frontiers in Immunology. 13: 1042778.

Vieco-Saiz, N., Y. Belguesmia, R. Raspoet, E. Auclair, F. Gancel, I. Kempf, and D. Drider. 2019. Benefits and inputs from lactic acid bacteria and their bacteriocins as alternatives to antibiotic growth promoters during food-animal production. Frontiers in Microbiology. 10: 57.

Wang, H., and I. H. Kim. 2021a. Evaluation of dietary probiotic (*Lactobacillus plantarum* BG0001) supplementation on the growth performance, nutrient digestibility, blood profile, fecal gas emission, and fecal microbiota in weaning pigs. Animals. 11: 2232.

Wang, K., C. Hu, W. Tang, M. A. K. Azad, Q. Zhu, Q. He, and X. Kong. 2021b. The enhancement of intestinal immunity in offspring piglets by maternal probiotic or synbiotic supplementation is associated with the alteration of gut microbiota. Frontiers in Nutrition. 8: 686053.

Wang, S., B. Yao, H. Gao, J. Zang, S. Tao, S. Zhang, S. Huang, B. He, and J. Wang. 2019a. Combined supplementation of *Lactobacillus fermentum* and *Pediococcus acidilactici* promoted growth performance, alleviated inflammation, and modulated intestinal microbiota in weaned pigs. BMC Veterinary Research. 15: 239.

Wang, S., M. Bai, K. Xu, Y. Shao, Z. Yang, X. Xiong, R. Huang, Y. Li, and H. Liu. 2021. Effects of coated cysteamine on oxidative stress and inflammation in weaned pigs. Animals. 11: 2217.

Wang, T., K. Teng, Y. Liu, W. Shi, J. Zhang, E. Dong, X. Zhang, Y. Tao, and J. Zhong. 2019b. *Lactobacillus plantarum* PFM 105 promotes intestinal development through modulation of gut microbiota in weaning piglets. Frontiers in Microbiology. 10: 90.

Xie, Q., M. Yang, Q. Duanmu, M. Kang, J. Wang, and B. E. Tan. 2025. Ningxiang pig-derived *Lactobacillus reuteri* improves the gut health of weaned piglets by regulating intestinal barrier function and cytokine profiles. Scientific Report. 15: 3993.

Xue, L., S. Long, B. Cheng, Q. Song, C. Zhang, L. H. B. Hansen, Y. Sheng, J. Zang, and X. Piao. 2024. Dietary triple-strain *Bacillus*-based probiotic supplementation improves performance, immune function, intestinal morphology, and microbial community in weaned pigs. Microorganisms. 12: 1536.

Yi, R., Y. Pan, X. Long, F. Tan, and X. Zhao. 2020. Enzyme producing activity of probiotics and preparation of compound enzyme. Journal of Chemistry. 2020: 9140281.

Zhang, S., D. H. Yoo, X. Ao, and I. H. Kim. 2020. Effects of dietary probiotic, liquid feed and nutritional concentration on the growth performance, nutrient digestibility and fecal score of weaning piglets. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 33: 1617–1623.

Zhang, Y., Y. Zhang, F. Liu, Y. Mao, Y. Zhang, H. Zeng, S. Ren, L. Guo, Z. Chen, N. Hrabchenko, J. Wu, and J. Yu. 2023. Mechanisms and applications of probiotics in prevention and treatment of swine diseases. Porcine Health Management. 9: 5.

Zhao, J., Z. Xie, M. Zheng, W. Tang, H. Diao, and H. Yin. 2024. Dietary complex probiotic supplementation changed the composition of intestinal short-chain fatty acids and improved the average daily gain of weaned piglets. Frontiers in Veterinary Science. 11: 1424855.

Zhu, C., J. Yao, M. Zhu, C. Zhu, L. Yuan, Z. Li, D. Cai, S. Chen, P. Hu, and H. Y. Liu. 2022. A meta-analysis of *Lactobacillus*-based probiotics for growth performance and intestinal morphology in piglets. Frontiers in Veterinary Science. 9: 1045965.

Zou, Y., Q. Xiang, J. Wang, J. Peng, and H. Wei. 2016. Oregano essential oil improves intestinal morphology and expression of tight junction proteins associated with modulation of selected intestinal bacteria and immune status in a pig model. BioMed Research International. 2016: 11.