

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

พัศกร พุทธฉายา¹, เปรมสุตา สมาน², กมล ฉวีวรรณ³, วิวัฒน์ กัลยาแลง⁴, จักรพันธ์ โตวิหศิรินเรศ⁴, และ สาวิตรี วงศ์ตั้งถิ่นฐาน^{1*}

Padsakorn Pootthachaya¹, Premsuda Saman², Kamon Chaweewan³, Viwat Kalyalang⁴, Jakkraphan Towitsirinaret⁴ 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 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (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 ลูกสุกรจะได้รับอาหารสำเร็จรูปพร้อมกับการเสริมสารละลายโพรไบโอติกส์ 5 มิลลิลิตรต่ออาหาร 100 กรัม จนถึงอายุ 8 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า ลูกสุกรที่ได้รับการเสริมโพรไบโอติกส์มีน้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) และไม่ส่งผลกระทบต่อระดับของอิมมูโนโกลบูลิน (IgA, IgG และ IgM) ในซีรัม ($P>0.05$) อย่างไรก็ตาม กลุ่มที่ได้รับโพรไบโอติกส์มีความสูงของวิลลัสในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมและไอเลียม รวมถึงอัตราส่วนระหว่างความสูงวิลลัสต่อความลึกของครีปในดูโอดินัมสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การเสริมโพรไบโอติกส์แบบหลายสายพันธุ์ช่วยส่งเสริมการพัฒนาสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็กในลูกสุกรโดยไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตและภูมิคุ้มกัน

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 เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็วช่วยให้สุกรมีน้ำหนักส่งตลาดได้ในระยะเวลาที่สั้นลง 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)

ในปัจจุบันมีการทดสอบและสำรวจแนวทางการใช้จุลินทรีย์โปรไบโอติกส์เป็นสารเติมแต่งในอาหารเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของลูกสุกร เนื่องจากข้อจำกัดในการใช้ยาปฏิชีวนะในปศุสัตว์ที่มีมากขึ้น จุลินทรีย์โปรไบโอติกส์หลายสายพันธุ์ได้รับความสนใจอย่างมาก โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก เช่น *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Enterococcus*, *Leuconostoc*, *Lactococcus*, *Weissella* และ *Streptococcus* (Vieco-Saiz et al., 2019) ซึ่งนิยมนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์โปรไบโอติกส์ในอาหารสัตว์ทางการค้าที่มีศักยภาพในการปรับปรุงสุขภาพของระบบทางเดินอาหาร โดยเฉพาะเยื่อผิวของลำไส้เล็กซึ่งเป็นบริเวณหลักในการดูดซึมสารอาหารที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของลูกสุกรผ่านการย่อยและการดูดซึมโภชนาการ รายงานการวิจัยหลายฉบับแสดงให้เห็นว่า การเสริมจุลินทรีย์โปรไบโอติกส์เพียงสายพันธุ์เดียว (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 การใช้โปรไบโอติกส์รวมหลายสายพันธุ์ (Multi-strain) ให้ผลดีกว่าการใช้โปรไบโอติกส์เพียงชนิดเดียว เนื่องจากมีการส่งเสริมกิจกรรมซึ่งกันและกัน (Synergistic activities) โดยช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ของลำไส้ และปรับสมดุลของไมโครไบโอมในลำไส้ได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้ลูกสุกรมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับลูกสุกรที่ได้รับอาหารร่วมกับโปรไบโอติกส์เพียงสายพันธุ์เดียวและอาหารควบคุม นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การใช้โปรไบโอติกส์แบบหลายสายพันธุ์มีศักยภาพในการกระตุ้นการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของร่างกาย โดยเฉพาะการเพิ่มระดับของอิมมูโนโกลบูลิน (IgG) ในกระแสเลือด ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นแอนติบอดีหลักในซีรัมที่สามารถจับและทำลายเชื้อโรค 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 และช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิตในลูกสุกรหย่านมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีหลักฐานจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่รายงานถึงระดับความเข้มข้นของโพรไบโอติกส์หลายสายพันธุ์ที่ประมาณ 10^9 cfu/mL มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาและสุขภาพของลำไส้ในลูกสุกร (Huting et al., 2023; Huang et al., 2024; Sahatsanon et al., 2025)

การศึกษาและพัฒนาสายพันธุ์ของจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ยังคงมีการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะสายพันธุ์ของโพรไบโอติกส์และรูปแบบการใช้ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการกลไกทำงานและประสิทธิผลของโพรไบโอติกส์ในสัตว์ (Gorzellanna et al., 2025) แม้ว่าจะมีงานวิจัยเกี่ยวกับโพรไบโอติกส์จำนวนมากในปัจจุบัน แต่ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้โพรไบโอติกส์แบบหลายสายพันธุ์ในลูกสุกรยังมีจำกัด นอกจากนี้ ยังมีความจำเป็นในการศึกษาจุลินทรีย์สายพันธุ์ใหม่ที่มีคุณสมบัติเด่นและเป็นประโยชน์ เนื่องจากประสิทธิภาพของโพรไบโอติกส์มีความเฉพาะเจาะจงต่อสายพันธุ์ (Sahatsanon et al., 2025) การศึกษานี้เป็นการศึกษาต่อเนื่องของการศึกษาก่อนหน้าที่ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (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 (Multi-strain probiotics) ที่ประกอบด้วยแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก 7 สายพันธุ์ต่ออัตราการเจริญเติบโต ระดับภูมิคุ้มกัน และการพัฒนาลักษณะทางสัณฐานวิทยาในลำไส้เล็กของลูกสุกร

วิธีการศึกษา

ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร-สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์ อำเภอบางบาล 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

ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design) โดยใช้เพศ (ผู้และเมีย) และสายพันธุ์ (Landrace, Large White และ Landrace x Large White crossbreds) เป็นบล็อกเพื่อควบคุมความแปรปรวน จากนั้นสุ่มลูกสุกรภายในแต่ละบล็อกเข้ากลุ่มการทดลอง 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 (Multi-strain probiotics; Table 1) โดยประกอบด้วยเชื้อในสกุล *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Weissella* และ *Pediococcus* ซึ่งถูกเตรียมให้อยู่ในรูปแบบสารละลายที่มีความเข้มข้น 1.0×10^9 cfu/mL โดยอ้างอิงจากรายงานการศึกษาก่อนหน้าที่รายงานว่า การเสริมโพรไบโอติกส์หลายสายพันธุ์ที่มีความเข้มข้น 10^9 cfu/mL มีประสิทธิภาพสูงต่อการส่งเสริมสุขภาพลำไส้และการเจริญเติบโตของลูกสุกร (Huang et al., 2024; Sahatsanon et al., 2025)

Table 1 The composition of multi-strain probiotics¹

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

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

โดยในช่วงระยะอนุบาลลูกสุกรทุกตัวจะได้รับนมจากแม่สุกรเป็นเวลา 6 วัน จากนั้น ลูกสุกรในกลุ่มควบคุมจะได้รับอาหารเลียงราง (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 ขณะที่กลุ่มที่ได้รับโปรไบโอติกส์จะได้รับอาหารเลียงรางร่วมกับการเสริมสารละลายโปรไบโอติกส์ 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) ขณะที่กลุ่มที่ได้รับโปรไบโอติกส์จะได้รับอาหารสำเร็จรูปร่วมกับการเสริมโปรไบโอติกส์ ทั้งนี้ลูกสุกรจะได้รับอาหารวันละสองครั้ง คือ ในช่วงเช้าเวลา 7.00 น. ลูกสุกรจะได้รับอาหารร่วมกับการเสริมโปรไบโอติกส์ โดยอาหารที่ผสมโปรไบโอติกส์จะถูกเตรียมใหม่ทุกวันด้วยการสเปรย์สารละลายโปรไบโอติกส์ปริมาณ 5 มิลลิลิตรต่ออาหาร 100 กรัม ผสมให้กระจายอย่างสม่ำเสมอด้วยมือ ก่อนนำไปไว้ในรางอาหารตอนเช้าทุกวันเพื่อคงความมีชีวิตของจุลินทรีย์โปรไบโอติกส์ตามวิธีการของ Sahatsanon et al. (2025) และในช่วงเย็นเวลา 16.00 น. ลูกสุกรจะได้รับอาหารปกติที่ไม่เสริมโปรไบโอติกส์ 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)

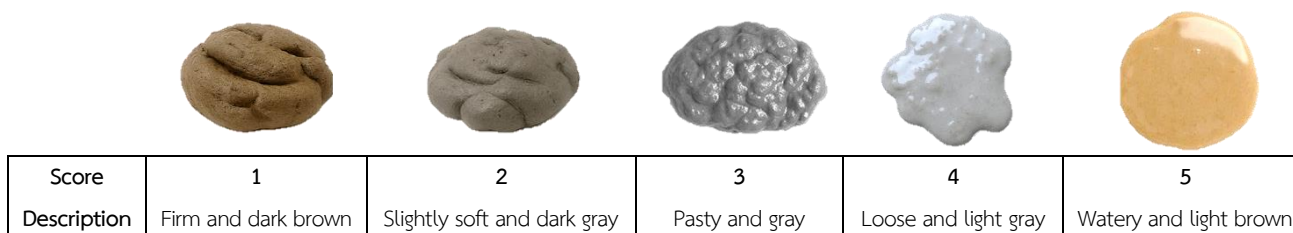


Figure 1 A proposal of a fecal scoring system (Lu et al., 2018)

เมื่อสุกรอายุครบ 8 สัปดาห์ อดอาหารสุกรทุกตัวอย่างน้อย 4 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างเลือดจากสุกรในแต่ละกลุ่มการทดลอง จำนวน 5 ตัว จากหลอดเลือดดำบริเวณคอ (Jugular vein) ปริมาณ 3 มิลลิลิตร เพื่อนำซีรัมไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของอิมมูโนโกลบูลิน (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: 2×10^4 , IgG: 5 และ IgM: 2×10^4 ตามคำแนะนำของผู้ผลิต โดยค่าความเข้มข้นของอิมมูโนโกลบูลินคำนวณโดยอ้างอิงจากกราฟมาตรฐาน (Wang et al., 2021a)

จากนั้น ทำการการุณยฆาตสุกรทุกตัวโดยการฉีดโซเดียมเพนโททาล (Sodium pentothal) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ทางหลอดเลือดดำ เพื่อให้หัวใจหยุดเต้นตามวิธีการของ AVMA Guidelines for the Euthanasia of Animals (2020) และทำการฆ่าชำแหละเพื่อเก็บตัวอย่างลำไส้เล็กทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ดูโอดินัม เจจูนัม และไอเลียม เก็บรักษาตัวอย่างในฟอร์มาลินบัฟเฟอร์ (4% Neutral buffered formalin) และทำการเตรียมสไลด์ตัวอย่างลำไส้โดยวิธีการย้อมสีด้วยฮีมาทอกซิลินและอีโอซิน (Hematoxylin & Eosin) ตามวิธีการของ Cheng et al. (2023) จากนั้น ทำการถ่ายภาพของวิลลัสและคริปต์ของทั้งหมัด 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) และความลึกของคริปต์ (Crypt depth) เพื่อนำมาคำนวณหาสัดส่วนความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปต์ (Villus height/Crypt depth ratio) และพื้นที่ผิวของวิลลัส (Villus surface area) ตามวิธีของ Marchewka et al. (2021) ดังนี้:

$$\text{Villus surface area (mm}^2\text{)} = 2\pi \times \{\text{Villus width } (\mu\text{m})/2\} \times \text{Villus height } (\mu\text{m})$$

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

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

โดยที่ T_i คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ (Main fixed effect)

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

$BW0$ คือ น้ำหนักแรกเกิด (Covariate)

P_k คือ อิทธิพลของคอก (Random effect)

ϵ_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อน (Residual error)

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

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการเสริมโปรไบโอติกส์ในอาหารลูกสุกรในระยะก่อนหย่านมจนถึงช่วงอายุ 8 สัปดาห์ พบว่า ลูกสุกรกลุ่มที่ได้รับการเสริมโปรไบโอติกส์มีน้ำหนักและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยที่ช่วงอายุ 4 และ 8 สัปดาห์ ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$; Table 2) ทั้งนี้ โปรไบโอติกส์มีบทบาทหลักในการปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ โดยการแข่งขันกับเชื้อก่อโรคเพื่อแย่งพื้นที่เกาะติดเยื่อลำไส้และ

การสร้างสารยับยั้งจุลินทรีย์ เช่น Lactic acid, Bacteriocins และ Hydrogen peroxide (Ismael et al., 2024) ตลอดจนการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันเยื่อลำไส้ผ่านการเพิ่มการผลิตอิมมูโนโกลบูลิน (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 2×10^9 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 1×10^{10} cfu/mL ในอาหารก็ไม่พบผลกระทบเชิงบวกต่ออัตราการเจริญเติบโตของลูกสุกรเช่นกัน

อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนใหญ่รายงานว่า การเสริมจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์มักส่งผลกระทบเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตของลูกสุกรทั้งในด้านน้ำหนักตัวและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Laskowska et al., 2019; Blavi et al., 2021; Sarkar et al., 2023) นอกจากนี้ จากการศึกษาและวิเคราะห์ห่อภิมาณ (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 รวมถึงสภาพแวดล้อมและสุขภาพของลูกสุกร (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 คะแนนอุจจาระในลูกสุกรถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความสม่ำเสมอของอุจจาระซึ่งสามารถบ่งบอกถึงสุขภาพของระบบย่อยอาหาร 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 ลูกสุกรกลุ่มที่ได้รับโพรไบโอติกส์มีค่า

คะแนนความสม่ำเสมอของอุจจาระเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่ผลการเปรียบเทียบทางสถิติไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองที่มีค่าคะแนนเฉลี่ยที่ 3.53 ทั้งนี้ การเก็บข้อมูลค่าคะแนนมูลเป็นการประเมินในระดับคอกที่มีลูกสุกรหลายตัวร่วมกัน ทำให้ไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่ามูลมาจากสุกรตัวใด ความแตกต่างระหว่างรายตัวภายในคอกจึงเพิ่มความผันผวนของข้อมูล (Pen-level limitation) ซึ่งอาจทำให้บดบังผลของการเสริมโพรไบโอติกส์และส่งผลให้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในเชิงสถิติ

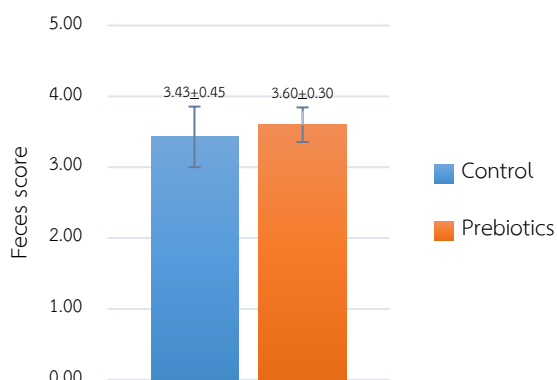


Figure 2 The effects of using multi-strain probiotics on feces score in piglets (Mean±SEM) $n=14$



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

ผลการเสริมโพรไบโอติกส์ต่อระดับภูมิโกลบูลินในซีรัม พบว่า ความเข้มข้นของ IgA, IgG และ IgM ไม่มีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P>0.05$; **Figure 4**) ทั้งนี้ การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันโดยการใช้สารน้ำ (Humoral immune response) เกิดจากการสร้างภูมิโกลบูลินหรือแอนติบอดี ซึ่งเป็นโปรตีนในกลุ่มโกลบูลินที่ผลิตโดยพลาสมาเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันที่ทำหน้าที่สำคัญในการจำแนกและกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นภูมิโกลบูลินจึงเป็นตัวชี้วัดสำคัญของสถานะภูมิคุ้มกันโดยเฉพาะในสัตว์วัยอ่อน เช่น ลูกสุกรที่เพิ่งหย่านมซึ่งระบบภูมิคุ้มกันยังพัฒนาไม่เต็มที่ โดยงานวิจัยหลายฉบับรายงานว่าการเสริมโพรไบโอติกส์ในลูกสุกรสามารถกระตุ้นการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันด้านสารน้ำ โดยส่งเสริมการผลิตภูมิโกลบูลินชนิดต่างๆ ได้แก่ IgA, IgG และ IgM (Xue et al., 2024; Xie et al., 2025) นอกจากนี้ ยังพบว่าผลการเสริมโพรไบโอติกส์มักเชื่อมโยงกับการเพิ่มขึ้นของภูมิคุ้มกันเฉพาะที่ในลำไส้ (Mucosal immunity) โดยตัวชี้วัดสำคัญคือระดับ IgA ชนิดหลั่ง (secretory IgA; sIgA) ที่ทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันการยึดเกาะของเชื้อโรคที่บริเวณเยื่อผิวลำไส้ (Zhang et al., 2023) โดยโพรไบโอติกส์สามารถกระตุ้นเซลล์เนื้อเยื่อน้ำเหลืองที่เกี่ยวข้องกับลำไส้ (Gut-associated lymphoid tissue) เช่น พีเยอร์สแพตช์ (Peyer's patches) ให้เกิดการตอบสนอง โดยกระตุ้นการสร้างพลาสมาเซลล์ที่หลั่ง sIgA ออกมาในบริเวณเยื่อผิวลำไส้เพิ่มขึ้น รวมทั้งเซลล์ในลามินาโพรเพรีย (Lamina propria) ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงสร้างภูมิคุ้มกันและสัณฐานวิทยาลำไส้โดยตรง (Konieczka et al., 2023) สอดคล้องกับ Sun et al. (2023) ที่พบว่า การเสริม *B. licheniformis* ช่วยเพิ่มระดับ sIgA ในเยื่อเมือกลำไส้ของสุกรหย่านมได้อย่างมีนัยสำคัญ แม้ระดับ IgA ในเลือดจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่สามารถบ่งชี้ได้ว่าโพรไบโอติกส์มีส่วนช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันแบบเยื่อเมือกในลำไส้ นอกจากนี้ การเสริมโพรไบโอติกส์ยังมีแนวโน้มเพิ่มระดับซีรัม IgG ซึ่งมีความสำคัญต่อการป้องกันอาการท้องร่วงหลังหย่านม และลดประชากรของแบคทีเรียในลำไส้ในขณะที่เพิ่มประชากรของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (Dlamini et al., 2017)

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

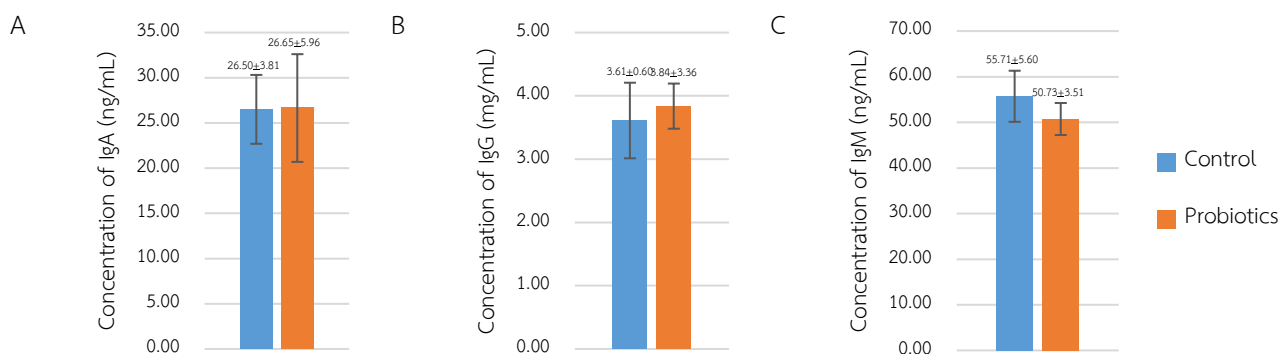


Figure 4 The mean concentration ($\pm$ SEM) of immunoglobulins in serum. A) IgA; B) IgG; C) IgM concentration

ในด้านสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็ก พบว่า ลูกสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์มีความสูงของวิลลัสในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมและไอเลียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) จากความสูงของวิลลัสในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราส่วนความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปต์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เสริมโพรไบโอติกส์ (1.73 vs 1.45) ขณะที่ความกว้างของวิลลัส ความลึกของคริปต์ 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 $\pm$ SEM) $n=14^A$

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

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

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

ผลการศึกษาในปัจจุบันได้เน้นย้ำถึงคุณสมบัติโพรไบโอติกส์ที่ช่วยปรับปรุงและส่งเสริมการพัฒนาสัณฐานวิทยาของเยื่อบุผิวลำไส้เล็ก ซึ่งพบว่า ความสูงของวิลลัสและอัตราส่วนความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปต์ของลูกสุกรในกลุ่มที่ได้รับโพรไบโอติกส์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Zhao et al. (2024) ที่รายงานว่า การเสริมโพรไบโอติกส์แบบผสม 0.2% (Mixed probiotic: *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus acidophilus* และ *Saccharomyces cerevisiae*) ในอาหารลูกสุกรหย่านมเป็นเวลา 28 วัน ช่วยเพิ่มความสูงของวิลลัสในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมและไอเลียมได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการวิเคราะห์ห่อภิรมานของ Zhu et al. (2022) ที่พบว่าโพรไบโอติกส์กลุ่ม *Lactobacillus* ช่วยปรับปรุงอัตราส่วนความสูงของวิลลัสต่อความลึก

ของคริปต์ในส่วนดูโอดินัมได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ การพัฒนาของสัณฐานวิทยาเกี่ยวข้องโดยตรงกับพื้นที่ในการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร รวมถึงการผลัดเปลี่ยนเซลล์ (Intestinal epithelial cell turnover) และการกระตุ้นการแบ่งตัว (Mitosis) ของเซลล์เยื่อบุผิวลำไส้ที่เพิ่มขึ้น (Wang et al., 2019b) อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตว่าความสูงของวิลลัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมและไอเลียมแต่ไม่พบความแตกต่างในส่วนเจจุนัม อาจเนื่องจากความจำเพาะในตำแหน่งของการตอบสนองต่อโพรไบโอติกส์ โดยลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมเป็นบริเวณที่ได้รับอาหารและโพรไบโอติกส์โดยตรงจึงมีการกระตุ้นการพัฒนาและซ่อมแซมของวิลลัสได้มากกว่า ขณะที่ส่วนไอเลียมเป็นตำแหน่งที่มีความหนาแน่นของจุลินทรีย์และเนื้อเยื่อภูมิคุ้มกัน (Peyer's patches) สูงกว่าส่วนอื่น ทำให้โพรไบโอติกส์มีอิทธิพลต่อภูมิคุ้มกันของเยื่อบุผิวและกระตุ้นการแสดงออกของไซโตไคน์ต้านการอักเสบ เช่น IL-4 และ IL-10 ที่ช่วยลดการอักเสบในเยื่อบุลำไส้และส่งเสริมความสมบูรณ์ของโครงสร้างวิลลัส (Sahatsanon et al., 2025) ในทางตรงกันข้าม เจจุนัมที่เป็นตำแหน่งหลักในการดูดซึมสารอาหารอาจมีค่าความสูงของวิลลัสเริ่มต้นที่สูงอยู่แล้วแต่มีความแปรปรวนในตำแหน่งมากกว่าส่วนอื่น (Ceiling effect) จึงทำให้ผลของโพรไบโอติกส์ไม่สามารถตรวจจับได้อย่างชัดเจนในเชิงสถิติแม้จะมีแนวโน้มที่ดีต่อสุขภาพลำไส้ สอดคล้องกับ Hauptenthal et al. (2020) และ Wang et al. (2021b) ที่รายงานว่าการเสริมโพรไบโอติกส์มีผลต่อโครงสร้างเยื่อบุลำไส้เล็กแตกต่างกันไปตามตำแหน่ง และจากการวิเคราะห์ห่อภิณที่รายงานว่าโพรไบโอติกส์สามารถเพิ่มความสูงของวิลลัสและอัตราส่วนความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปต์ได้ แต่ขนาดอิทธิพลอาจแตกต่างกันในแต่ละส่วนของลำไส้เล็กโดย (Zhu et al., 2022)

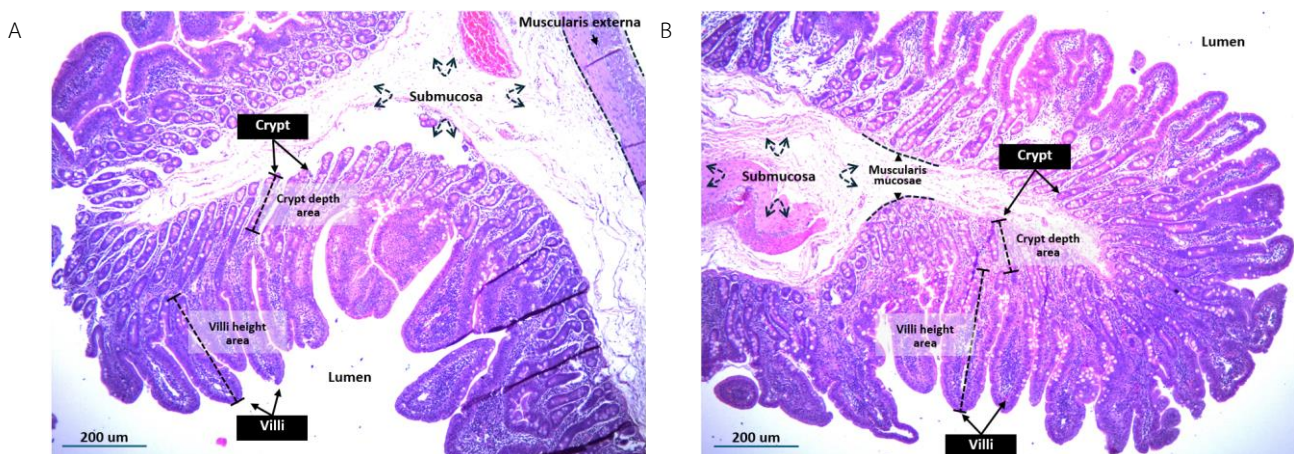


Figure 5 Histological structure of small intestinal (Duodenum) mucosa in 56-day old of piglets. A) Control group; B) Probiotics group

แม้ว่าจะไม่พบความแตกต่างทางสถิติของความกว้างวิลลัส ความลึกคริปต์ และพื้นที่ผิววิลลัส แต่ความสูงของวิลลัสที่เพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียว ก็สามารถส่งผลในทางที่ดีต่อประสิทธิภาพการทำงานของลำไส้เล็กได้ โดยกลไกที่โพรไบโอติกส์ส่งผลต่อการพัฒนาโครงสร้างของลำไส้ นั้นอาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายประการที่ทำงานร่วมกันในระดับสรีรวิทยา เช่น โพรไบโอติกส์ช่วยปรับสมดุลจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร โดยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคพร้อมกับส่งเสริมการเพิ่มจำนวนแบคทีเรียชนิดที่เป็นประโยชน์ ทำให้ลดการอักเสบในลำไส้และป้องกันการทำลายเยื่อบุผิววิลลัสจากเชื้อโรค (Jha et al., 2020; Galli et al., 2024) นอกจากนี้ จุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ยังสร้างสารเมตาบอไลต์ที่เป็นประโยชน์ต่อโฮสต์ เช่น กรดไขมันสายสั้น (อะซิเตท โพรพิโอเนต และบิวทิเรต) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานให้เซลล์เยื่อบุลำไส้และช่วยลดสถานะความเป็นด่าง ทำให้สภาพแวดล้อมเอื้อต่อการเจริญของวิลลัสมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบการเพิ่มขึ้นของระดับกรดไขมันสายสั้นในลูกสุกรที่ได้รับโพรไบโอติกส์ (Zhao et al., 2024) ยิ่งไปกว่านั้น โพรไบโอติกส์อาจช่วยกระตุ้นการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของลำไส้ (เช่น IGF-1 และ GLP-2) ส่งผลให้เกิดการพัฒนาของวิลลัสและโครงสร้างเยื่อบุ

ลำไส้ที่สมบูรณ์ขึ้นและเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซึมสารอาหาร (Zhang et al., 2023) โดยจากกลไกดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าเหตุใดลูกสุกรที่ได้รับโพรไบโอติกส์จึงมีวิลลัสที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการเจริญเติบโตของลูกสุกรที่มีแนวโน้มดีขึ้น และสอดคล้องกับผลการศึกษาการใช้โพรไบโอติกส์ในลูกสุกรที่ผ่านมา (Barba-Vidal et al., 2018; Jiang et al., 2024) นอกจากนี้กลไกของโพรไบโอติกส์ที่ช่วยปรับการเจริญของเซลล์เยื่อผิวในลำไส้แล้ว ยังเป็นที่ทราบกันว่าโพรไบโอติกส์สามารถผลิตเอนไซม์หลายประเภท อาทิเช่น arabinose, alpha-amylase, maltase, cellulase, levansucrase, dextranase, alkaline protease, beta-glucanase 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 ซึ่งสามารถนำไปสู่การปรับปรุงสมรรถนะการผลิตสัตว์ให้มีประสิทธิภาพ (Park et al., 2020; Bromfield et al., 2024)

ในการศึกษานี้มีการใช้คะแนนมูลสุกรและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้เป็นตัวบ่งชี้ทางอ้อมของสุขภาพลำไส้และประสิทธิภาพของโพรไบโอติกส์ ซึ่งตัวชี้วัดเหล่านี้เคยมีรายงานว่าสามารถสะท้อนถึงสมรรถนะการทำงานของระบบทางเดินอาหาร ความสมบูรณ์ของเยื่อลำไส้ 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 การที่ไม่ได้มีข้อมูลดังกล่าวจึงจำกัดการตีความเชิงลึกของผลลัพธ์ ซึ่งงานวิจัยในอนาคตควรเพิ่มการวิเคราะห์องค์ประกอบของจุลินทรีย์เข้ากับตัวบ่งชี้ด้านสุขภาพลำไส้อื่นๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงของสารเมตาบอไลต์ (Metabolomics) โดยเฉพาะกรดไขมันสายสั้นและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Oxidative activity) เพื่อสร้างความเข้าใจที่ครบถ้วนและเชิงลึกมากขึ้นเกี่ยวกับกลไกการทำงานของโพรไบโอติกส์แบบหลายสายพันธุ์

สรุป

การเสริมโพรไบโอติกส์หลายสายพันธุ์ในลูกสุกรช่วงก่อนหย่านมถึงอายุ 8 สัปดาห์ ส่งผลกระทบบางประการที่สำคัญต่อสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็ก โดยเพิ่มความสูงของวิลลัสในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมและไอเลียม และส่งผลให้อัตราส่วนของวิลลัสต่อครีปท์สูงขึ้นในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม ซึ่งบ่งชี้ถึงศักยภาพในการย่อยและดูดซึมสารอาหารที่ดีขึ้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตและภูมิคุ้มกันของลูกสุกร อย่างไรก็ตาม ควรมีศึกษาต่อเนื่องในระยะยาว รวมถึงการประเมินผลต่อสมรรถภาพการผลิตในระยะขุน และการศึกษาผลกระทบต่อดังกล่าวของไมโครไบโอมในลำไส้อย่างละเอียด เพื่อการศึกษาที่ครอบคลุมยิ่งขึ้นเกี่ยวกับบทบาทของโพรไบโอติกส์แบบหลายสายพันธุ์ต่อสุขภาพและประสิทธิภาพการผลิตของสุกร

การอนุญาตวิจัยในสัตว์

การทดลองนี้ได้รับอนุญาตใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ ตามเอกสารอนุญาตเลขที่ DLD036/64

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์ความหลากหลายทางชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างโพรไบโอติกส์ที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร-สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์ อำเภอบางช่อง 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.
- Czyżewska-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.

- Hauptenthal, 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-Kusnierek, D. Szkopek, N. Szyrnska, 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. Chaionkarn, 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.