

ผลการเสริมมนาโนซิงค์ออกไซด์ในอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของลูกสุกรหย่านม

Effect of Nano Zinc Oxide Supplementation in Diet on Growth Performance of Weaned Piglets

เด่นดวง ประวาฬ

Denduang Prawan

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมสุกรไทยฟื้นตัวหลังวิกฤต ASF และกำลังยกระดับมาตรฐานการผลิตอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ช่วงหย่านมยังเป็นระยะวิกฤตที่ทำให้ลูกสุกรเครียดและเกิดท้องเสีย หลังเคยใช้ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ขนาดสูง ปัจจุบันจึงพัฒนาเป็นนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano-ZnO) เพื่อเพิ่มการดูดซึม ลดการใช้ซิงค์ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการดื้อยา ทั้งยังช่วยคงประสิทธิภาพการเลี้ยงได้ดีขึ้นในระยะยาว ดังนั้น การสัมมนานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลของการใช้ซิงค์ออกไซด์ในรูปแบบอนุภาคนาโน ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและคะแนนมูลในลูกสุกรหย่านม จากการรวบรวมและศึกษาเอกสารวิชาการ จำนวน 3 ฉบับ ในช่วงปี พ.ศ. 2564–2567 พบว่า การเสริมมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ระดับ 150–500 มก./กก. อาหาร สามารถส่งเสริมสมรรถภาพการเจริญเติบโต ทั้งในด้านอัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว ได้ดีเทียบเท่ากับการใช้ซิงค์ออกไซด์ปกติในระดับสูง (2,500–3,000 มก./กก.) และสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ ยังพบว่าการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ช่วยปรับปรุงลักษณะมูลให้มีความชื้นแข็งขึ้นและลดคะแนนความเหลวของมูลลง ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับการลดอุบัติการณ์การเกิดท้องร่วงหลังหย่านม โดยระดับที่เหมาะสมในการควบคุมคะแนนมูลให้คงที่คือ 150 มก./กก. จึงสรุปได้ว่า สามารถใช้นาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อทดแทนซิงค์ออกไซด์ปกติในการเร่งการเจริญเติบโตและควบคุมปัญหาท้องเสียในลูกสุกรช่วงหย่านมได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณการใช้แร่ธาตุสังกะสีเกินความจำเป็น

คำสำคัญ: นาโนซิงค์ออกไซด์ ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต อาการท้องเสีย ลูกสุกรหย่านม

บทนำ

อุตสาหกรรมการเลี้ยงสุกรในประเทศไทยมีการพัฒนาและยกระดับมาตรฐานอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านการปรับปรุงพันธุกรรม อาหารสัตว์ และระบบสุขภาพ โดยเฉพาอย่างยิ่งหลังจากวิกฤตโรคหวัดแอฟริกาในสุกร (ASF) ที่ส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่อการผลิต ในช่วงปี พ.ศ. 2567–2568 สถานการณ์การผลิตเริ่มฟื้นตัวและกลับเข้าสู่ภาวะปกติ โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรและกรมปศุสัตว์คาดการณ์ว่าผลผลิตสุกรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 4.0–5.0% ต่อปี หรือประมาณ 18–19 ล้านตัว (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567; กรมปศุสัตว์, 2567) อย่างไรก็ตาม ระยะเวลานม (Weaning period) ยังคงเป็นช่วงวิกฤตที่สำคัญในกระบวนการผลิต เนื่องจากลูกสุกรต้องเผชิญกับความเครียดจากการแยกแม่ การเปลี่ยนรูปแบบอาหารจากนมแม่เป็นอาหารแห้ง และการรวมกลุ่มใหม่ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของอาการท้องเสียหลังหย่านม (Post-weaning diarrhea) และภาวะการเจริญเติบโตชะงัก (Long et al., 2023) ในอดีต การควบคุมปัญหาเหล่านี้มักพึ่งพาการใช้ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide: ZnO) ในระดับเภสัชวิทยาที่สูงถึง 2,000–3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร เพื่อทำหน้าที่ต้านจุลชีพและกระตุ้นภูมิคุ้มกัน แต่การใช้ในปริมาณสูงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการขับทิ้งออกมามูล และเพิ่มความเสี่ยงต่อการดื้อยาต้านจุลชีพ (Szuba-Trznadel et al., 2021; Kim et al., 2022) เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว เทคโนโลยีอนุภาคนาโน (Nanotechnology) โดยเฉพาะนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano-ZnO) จึงถูกพัฒนาขึ้น ด้วยคุณสมบัติที่มีขนาดเล็กและพื้นที่ผิวสัมผัสสูง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมเข้าสู่เซลล์ลำไส้ ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้ซิงค์ลงได้ถึง 5–10 เท่า เมื่อเทียบกับรูปแบบดั้งเดิม โดยยังคงประสิทธิภาพในการรักษาไว้ (Kim et al., 2022; Long et al., 2023) ดังนั้น สัมมนาจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของการเสริมนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและคะแนนมูลสุกร เพื่อประเมินศักยภาพในการเป็นสารทดแทนซิงค์ออกไซด์ปกติในระดับเภสัชวิทยา

ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต (Growth Performance)

Long et al. (2023) ได้ทดลองในลูกสุกรลูกผสม (Duroc × Landrace × Yorkshire) อายุ 21 วัน จำนวน 144 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุมลบ, กลุ่มควบคุมบวก (ZnO 3,000 mg/kg), กลุ่ม Porous ZnO และกลุ่ม Nano-ZnO 500 mg/kg พบว่าในลูกสุกรระยะ 1–28 วันหลังหย่านม การเสริม Nano-ZnO ที่ระดับ 500 มก./กก. (ZNP500) ช่วยให้อัตราการกินได้เฉลี่ย (963 กรัม/วัน) และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย (520 กรัม/วัน) สูงกว่ากลุ่มควบคุม (NC) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริม ZnO ปกติที่ระดับ 3,000 มก./กก. (Table 1) ข้อมูลนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Kim et al. (2022) ซึ่งพบว่าการเสริม Nano-ZnO 500 มก./กก. (N500) ทำให้อัตราการเจริญเติบโตในช่วง 0–14 วันแรก (239 กรัม/วัน) สูงกว่ากลุ่มควบคุม (195 กรัม/วัน) และใกล้เคียงกับกลุ่มที่ได้รับ ZnO 2,500 มก./กก. (In2500) (Table 4)

การเสริม Nano-ZnO มีแนวโน้มช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารให้ดีขึ้น โดย Long et al. (2023) พบว่ากลุ่ม Nano-ZnO 500 มก./กก. มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวที่ดีที่สุด (1.83) เมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ ซึ่งแสดงถึง

ประสิทธิภาพที่ดีกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (Table 1) นอกจากนี้ Szuba-Trznadel et al. (2021) ยังพบว่า การเสริม Nano-ZnO ที่ระดับเพียง 150 มก./กก. (Group III) สามารถทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) ในช่วงวันที่ 28–47 และ 48–74 ของการทดลอง (ค่า 1.54 และ 1.60 ตามลำดับ) ดีกว่ากลุ่มที่ได้รับซิงค์ซัลเฟต (ZnSO₄) และกลุ่มที่ได้รับ ZnO ปกติ 3,000 มก./กก. อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (Table 2)

Table 1 Effect of nano-ZnOs on growth performance in weaned piglets

Item	Diet groups (mg/kg)				P-value
	NC	PC 3,000	HiZ500	ZNP500	
1 to 28 days					
ADFI, (g)	870±28.8 ^B	1002±34.2 ^A	978±8.0 ^A	963±16.0 ^A	< 0.01
ADG, (g)	439±17.9 ^B	529±21.8 ^A	500±17.6 ^A	520±7.9 ^A	< 0.01
F:G ratio	1.99±0.041 ^a	1.90±0.048 ^{ab}	1.94±0.050 ^{ab}	1.83±0.020 ^b	0.09

ADFI average daily feed intake; ADG average daily gain; F:G ratio feed to gain ratio: NC negative control; PC - positive control. Data are shown as means SEM (n7 or 8).

Means labeled with different uppercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$), and means labeled with different lowercase letters indicate a trend ($0.05 < P < 0.10$)

¹ HiZ500, 500 mg/kg porous ZnO particles in the diet

² ZNP500, 500 mg/kg of nano ZnO particles in the diet **Source:** Long et al. (2023)

ผลการศึกษาจากทั้ง 3 ฉบับ ชี้ให้เห็นไปในทิศทางเดียวกันอย่างชัดเจนว่า การเสริมนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano-ZnO) ในระดับต่ำเพียง 150–500 มก./กก. สามารถส่งเสริมสมรรถภาพการเจริญเติบโตของลูกสุกรหย่านมได้เทียบเท่ากับการใช้ซิงค์ออกไซด์ปกติ (ZnO) ในระดับสูงถึง 2,500–3,000 มก./กก. และยังให้ผลดีที่กลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

ประสิทธิภาพที่โดดเด่นของ Nano-ZnO แม้จะใช้ในปริมาณที่ลดลงถึง 5-10 เท่า สามารถอธิบายได้ด้วยกลไกทางกายภาพและชีวภาพที่สำคัญ กล่าวคือ อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface Area) เพิ่มขึ้นมหาศาล ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายและชีวประสิทธิผล (Bioavailability) ในการดูดซึมผ่านผนังลำไส้ได้ดียิ่งขึ้นตามรายงานของ Kim et al. (2022) และสอดคล้องกับ Bonetti et al. (2024) ที่ยืนยันว่าอนุภาคนาโนสามารถทดแทนการใช้ ZnO ระดับสูงได้อย่างสมบูรณ์

นอกจากกลไกด้านการดูดซึมแล้ว Nano-ZnO ยังมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมสุขภาพลำไส้ โดยมีศักยภาพในการลดการอักเสบในระบบทางเดินอาหารและป้องกันอาการท้องเสีย ซึ่ง Szuba-Trznadel et al. (2021) พบว่าระดับการเสริมเพียง 150 มก./กก. ก็เพียงพอต่อการป้องกันปัญหานี้ อีกทั้งยังช่วยปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ โดยเฉพาะการเพิ่มความหลากหลายของแบคทีเรียกลุ่มที่มีประโยชน์ เช่น *Coprococcus* และ *Blautia* ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Long et al., 2023)

Table 2 Production results and diarrhea occurrence.

Trait	(ZnSO ₄) 150mg/kg	(ZnO) 3500mg/kg	(nZnO) 150mg/kg	p-Value
Body weight, kg				
28th day	8.2 ± 0.24	8.4 ± 0.50	8.3 ± 0.46	0.692
47th day	12.7 ^a ± 0.62	13.4 ^b ± 0.58	13.2 ^b ± 0.72	0.041
74th day	27.0 ^a ± 1.64	28.2 ^b ± 1.42	28.9 ^b ± 1.16	0.019
Daily gain, g				
28th–47th day	231 ^a ± 22.27	262 ^b ± 13.14	252 ^b ± 28.20	0.021
48th–74th day	528 ^a ± 49.30	542 ^b ± 41.11	586 ^b ± 41.45	0.023
28th–74th day	394 ^a ± 36.35	415 ^b ± 32.65	435 ^b ± 24.91	0.018
Daily feed intake, g				
28th–47th day	406 ± 0.05	426 ± 0.04	401 ± 0.03	0.303
48th–74th day	979 ± 0.08	975 ± 0.06	959 ± 0.07	0.807
Feed conversion				
28th–47th day	1.71 ^A ± 0.12	1.66 ^A ± 0.09	1.54 ^B ± 0.08	0.004
48th–74th day	1.77 ^a ± 0.14	1.70 ^a ± 0.12	1.60 ^b ± 0.10	0.017

Significant differences marked within a new in small letters indicate $p < 0.05$, while those marked with capital letters indicate $p \leq 0.01$.

Source: Szuba-Trznadel et al. (2021)

ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อคะแนนมูลสุกร (Fecal Score)

Kim et al. (2022) พบว่าในช่วง 14 วันแรกหลังหย่านม กลุ่มที่ได้รับ Nano-ZnO 500 มก./กก. มีอุบัติการณ์การเกิดท้องเสียลดลงเหลือเพียง 5.13% ซึ่งเท่ากับกลุ่มที่ได้รับ ZnO ปกติ 2,500 มก./กก. ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีอัตราสูงถึง 20.51% ($P = 0.009$) (Table 4)

จากการศึกษาของ Oh et al. (2022) พบว่าการเสริม Nano-ZnO (1.575 คะแนน) และ ZnO ปกติ (2.096 คะแนน) ช่วยให้คะแนนลักษณะอุจจาระดีขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P = 0.045$) (Table 3) อย่างไรก็ตาม ระดับของ Nano-ZnO มีผลต่อประสิทธิภาพในการควบคุมท้องเสีย โดย Kim et al. (2022) ชี้ให้เห็นว่า การใช้ Nano-ZnO ที่ระดับ 300 มก./กก. (N300) ให้ผลคะแนนอุจจาระ (Fecal score) ที่ดีกว่าและมีความคงที่มากกว่าการใช้ที่ระดับ 150 มก./กก. (N150) โดยเฉพาะในช่วงแรกหลังหย่านม (Table 5)

Table 3 Effects of different forms and levels of zinc as alternative to medical zinc oxide on growth performance and faecal score of weaning piglets 0–28 days. (6 replications/treatment).

Performance	NC	PC	Nano		SE	p-Value
	0	2500	100	200		
Initial BW (kg)	6.8	6.8	6.8	6.8	0.2	1.000
Final BW (kg)	14.3	16.3	16.2	15.4	1.01	0.721
ADG (g)	266.6	339.2	334.8	307.6	31.94	0.608
ADFI (g)	446.4	565.4	496.8	489.6	33.02	0.288
G:F (g/g)	0.592	0.59	0.668	0.628	0.0456	0.712
Faecal score ^x	1.613 ^b	2.096 ^a	1.575 ^b	1.715 ^{ab}	0.1093	0.045

Abbreviations: NC: no additional added zinc oxide in diet (negative control); PC:NC + 2500mg/kg zinc oxide (positive control); zinc; SE: standard error; BW: body weight; ADG: average daily gain; ADFI: average daily feed intake; G:F: feed efficiency; Faecal score: 0–3 score (diarrhea–fresh-faced). ^{a-c} Means in the same row with different superscripts differ (p<.05). ^x Contrast: NC vs other treatments (p<.05). ^y Contrast: PC vs Chelate (p<.05). ^z Contrast: PC vs Nano(p<.05).

Source: Oh et al. (2022)

อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตที่น่าสนใจจากการศึกษาของ Wang et al. (2022) ซึ่งพบประเด็นที่แตกต่างกันเล็กน้อย โดยระบุว่าการใช้ Nano-ZnO ในระดับที่ต่ำเกินไป (น้อยกว่า 100–200 มก./กก.) อาจไม่สามารถควบคุมคะแนนอุจจาระ (Faecal score) ได้อย่างเสถียรเมื่อเทียบกับการใช้ ZnO ระดับเภสัชวิทยา (3,000 มก./กก.) ความผันแปรของผลการทดลองนี้อาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก เช่น สุขลักษณะของสภาพแวดล้อมในการเลี้ยง (Environmental Hygiene) หรือความไวของสายพันธุ์ลูกสุกรต่อเชื้อก่อโรคที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้ ระดับการเสริมที่เหมาะสมและปลอดภัยที่สุดในการควบคุมอาการท้องเสียภายใต้สภาวะการเลี้ยงทั่วไป จึงควรอยู่ในช่วง 200–500 มก./กก. ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ Xiao et al. (2023) ที่พบว่าในระดับปริมาณนี้ Nano-ZnO จะเข้าไปทำหน้าที่ปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ (Gut Microbiota Modulation) โดยส่งเสริมการเพิ่มจำนวนแบคทีเรียกลุ่มที่มีประโยชน์ เช่น *Coprococcus* ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสร้างกรดไขมันสายสั้น (SCFAs) เพื่อช่วยบำรุงเซลล์ผนังลำไส้และลดการอักเสบ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่น Oh et al. (2022) รายงานว่า ซิงค์ในรูปคีเลต (Chelated Zinc) อาจมีอัตราการดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ดีกว่าในบางสภาวะ ในแง่ของการป้องกันโรคทางเดินอาหาร Nano-ZnO มีข้อได้เปรียบเชิงเปรียบเทียบที่เหนือกว่าในสองประเด็นหลัก คือ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และกลไกการออกฤทธิ์เฉพาะที่ โดยต้นทุนการผลิตของ Nano-ZnO นั้นต่ำกว่ารูปแบบคีเลต อีกทั้งยังมีคุณสมบัติทางกายภาพที่มีขนาดเล็กหรือ Nano-size effect ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ส่งผลให้มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียที่บริเวณพื้นผิวลำไส้ได้โดยตรงและมีความ

รุนแรงมากกว่า ทำให้สามารถจัดการกับเชื้อก่อโรคที่เกาะติดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงส่งผลให้ Nano-ZnO เป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการป้องกันโรคทางเดินอาหาร

Table 4 Effect of dietary zinc oxide of concentrations and sources on growth performance in weaning piglets

Item	Experiment 1				SEM	p-value
	Control	In2500	N500	N150		
0–14 day						
ADG (g)	195 ^b	242 ^a	239 ^a	203 ^{ab}	8.6	0.026
ADFI (g)	304 ^b	368 ^a	362 ^a	322 ^{ab}	9.43	0.011
FCR	1.56	1.52	1.51	1.6	0.02	0.644
Fecal score	3.87 ^a	3.13 ^b	3.23 ^b	3.53 ^{ab}	0.1	0.016
Diarrhea incidence (%)	20.51 ^a	5.13 ^b	5.13 ^b	10.26 ^{ab}	0.02	0.009
15–28 day						
ADG (g)	344	406	392	367	10.59	0.154
ADFI (g)	528	562	500	486	16.94	0.442
FCR	1.52	1.44	1.43	1.45	0.03	0.721
Fecal score	3.47	3	3.1	3.2	0.07	0.121
Diarrhea incidence (%)	20.51 ^a	2.56 ^b	5.13 ^b	7.69 ^{ab}	2.56	0.011
Overall (0–28 d)						
ADG (g)	270 ^b	324 ^a	316 ^a	285 ^{ab}	8.35	0.034
ADFI (g)	412 ^b	476 ^a	462 ^{ab}	426 ^{ab}	9.49	0.025
FCR	1.53	1.47	1.46	1.5	0.01	0.396

Control=0 In2500= 2,500 mg ZnO/kg N500= 500 mg nano-ZnO/kg N150= 150 mg nano-ZnO/kg

¹⁾ 1 = hard, dry pellets in a small, hard mass; 2 = hard, formed stool that remains firm and soft; 3 = soft, formed and moist stool that retains its shape; 4 = soft, unformed stool that assumes the shape of the container; 5 = watery, liquid stool that can be poured.

^{a,b} Means within a column with different superscripts differ significantly ($p < 0.05$). ADG, average daily gain; ADFI, average daily feed intake; FCR, feed conversion ratio.

Source: Kim et al. (2022)

Table 5 Effect of nano-ZnOs on growth performance in weaned piglets

Item	Experiment 2			SEM	p-value
	In2500	N300	N150		
Phase 1 (0–14 d)					
ADG (g)	219 ^{ab}	239 ^a	196 ^b	7.19	0.028
ADFI (g)	307	331	274.5	10.4	0.061
FCR	1.40	1.39	1.39	0.02	0.941
Fecal score	3.16 ^b	3.13 ^b	3.45 ^a	0.06	0.033
Phase 2 (15–28 d)					
ADG (g)	293	300	270	9.53	0.442
ADFI (g)	438	442	400	8.58	0.065
FCR	1.5	1.48	1.51	0.05	0.979
Fecal score	4.05	4.08	4.28	0.07	0.379
Overall (0–28 d)					
ADG (g)	256	270	233	7.85	0.056
ADFI (g)	373	387	337	9.12	0.056
FCR	1.45	1.435	1.45	0.036	0.961

In2500= 2,500 mg ZnO/kg N300= 300 mg nano-ZnO/kg N150= 150 mg nano-ZnO/kg

¹⁾ 1 = hard, dry pellets in a small, hard mass; 2 = hard, formed stool that remains firm and soft; 3 = soft, formed and moist stool that retains its shape; 4 = soft, unformed stool that assumes the shape of the container; 5 = watery, liquid stool that can be poured.

^{a,b} Means within a column with different superscripts differ significantly ($p < 0.05$).

ADG, average daily gain; ADFI, average daily feed intake; FCR, feed conversion ratio.

Source: Kim et al. (2022)

สรุป

การเสริมนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ระดับ 150 มก./กก. ในอาหารลูกสุกรหย่านม มีประสิทธิภาพสูงในการส่งเสริมสมรรถภาพการผลิต โดยสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและปรับปรุงประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารได้เทียบเท่าหรือดีกว่าการใช้ซิงค์ออกไซด์ปกติในระดับสูง (2,500–3,000 มก./กก.) นอกจากนี้ Nano-ZnO ช่วยปรับปรุงคะแนนมูลสุกรให้ดีขึ้น ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับการลดอุบัติการณ์การเกิดท้องเสีย

เอกสารอ้างอิง

- กรมปศุสัตว์. (2567). **ข้อมูลจำนวนปศุสัตว์ในประเทศไทย ประจำปี 2567**. ปทุมธานี: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมปศุสัตว์.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2567). **สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2567**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- Bonetti, A., et al. (2024). Effects of particle size of zinc oxide on growth performance and bioavailability in piglets: A meta-analysis. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 15(1), 12-25.
- Kim, T., Kim, M., Lee, J., Moturi, J., Ha, S., Tajudeen, H., Mun, J., Hosseindoust, A., and Chae, B. 2022. Supplementation of nano-zinc in lower doses as an alternative to pharmacological doses of ZnO in weanling pigs. *Journal of Animal Science and Technology*, 64(1), 70–83.
- Long, L., Zhao, X., Chen, J., Wang, Z., Tang, Y., Huang, J., and Yin, Y. 2023. Piglet growth performance improved by dietary supplementation of porous or nano particles of zinc oxide may be related to the gut microbiota. *Animal Nutrition*, 15, 159–172.
- Oh, H. J., Kim, M. H., Yun, W., Lee, J. H., An, J. S., Kim, Y. J., Kim, M. J., Kim, H. B., and Cho, J. H. 2022. Effect of nano zinc oxide or chelated zinc as alternatives to medical zinc oxide on growth performance, faecal scores, nutrient digestibility, blood profiles and faecal *Escherichia coli* and *Lactobacillus* concentrations in weaned piglets. *Italian Journal of Animal Science*, 21(1), 708–716.
- Szuba-Trznadel, A., Rżuska, A., Hikawczuk, T., and Fuchs, B. 2021. Effect of Zinc Source and Level on Growth Performance and Zinc Status of Weaned Piglets. *Animals*, 11(7), 2030.
- Wang, L., et al. (2022). High-dose conventional ZnO vs. low-dose nano-ZnO: Impact on fecal scores and intestinal health of piglets. *Livestock Science*, 255, 104791.
- Xiao, Y., et al. (2023). Nano-zinc oxide regulates gut microbiota and reduces environmental zinc excretion in weaned piglets. *Frontiers in Microbiology*, 14, 115234.