

ผลการเสริมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zn-NPs) ในอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยา
ของกระต่าย

(Effects of Zinc Oxide Nanoparticle Supplementation on Growth Performance and Serum
Biochemical in Rabbits)

ภียดา เหลาพรม

Phiyada laophrom

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทคัดย่อ

แร่ธาตุในอาหารมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์ โดยแร่ธาตุสังกะสีเป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่มีการเสริมในอาหารสัตว์ แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้ในรูปแบบของสารอนินทรีย์ (ZnO) เมื่อผ่านกระบวนการย่อยอาหารในกระเพาะอาหาร ทำให้เหลือซิงค์ออกไซด์เพียงปริมาณเล็กน้อยในการดูดซึมโภชนาการของสัตว์และมีการขับทิ้งของสังกะสีในปริมาณมาก ดังนั้น สัมมนาฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการเสริมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zn-NPs) ในอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยา โดยการรวบรวมและศึกษาเอกสารวิชาการจำนวน 3 ฉบับ ตั้งแต่ปี 2017- 2022 มีการเสริมอนุภาคนาโนซิงค์ - ออกไซด์ในอาหารที่ระดับ 20-80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการศึกษาพบว่า การเสริมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในอาหารทุกระดับ ผลทำให้การเจริญเติบโตมากขึ้น อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้น แต่ปริมาณการกินไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม และยังไม่ส่งผลให้ระดับค่าโลหิตวิทยาของกระต่ายดีขึ้น จึงสรุปได้ว่าการเสริมที่ระดับ 20-30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการเพิ่มผลผลิตเท่ากับระดับอื่น

คำสำคัญ : อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ สมรรถภาพการเจริญเติบโต ค่าโลหิตวิทยา กระต่าย

บทนำ

การเลี้ยงกระต่ายเนื้อในปัจจุบันมีแนวโน้มลดลงในทวีปอื่น ๆ แต่ในทวีปเอเชียมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยในปี 2020 ทวีปเอเชียผลิตเนื้อกระต่ายได้ 634,025 ตัน คิดเป็น 70.47% ของการผลิตเนื้อกระต่ายทั่วโลกที่ได้ 899,726 ตัน (FAO, 2020) และประชากรโลกในปัจจุบันต้องการเนื้อที่ดีต่อสุขภาพในปริมาณมากขึ้น เนื้อกระต่ายจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือก เนื่องจาก มีโปรตีนที่สูง โดยปริมาณโปรตีน มีค่าอยู่ระหว่าง 17% ถึง 26% ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ (Kumar et al., 2023) และมีไขมันต่ำโดยเนื้อกระต่ายมีไขมันประมาณ 1.8% ถึง 8.8% (Umaraw et al., 2024) เมื่อเทียบกับเนื้อของสัตว์ชนิดอื่น กระต่ายเป็นสัตว์ที่เจริญเติบโตได้รวดเร็ว มีความสามารถในการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อได้ดี อย่างไรก็ตาม การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้ดีขึ้น ยังเป็นสิ่งที่จำเป็น ซึ่งแนวทางหนึ่งที่มีการศึกษากันคือการใช้แร่ธาตุในอาหาร ซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์ โดยแร่ธาตุสังกะสีเป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่มีการเสริมในอาหารสัตว์ ราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้ในรูปแบบของสารอนินทรีย์ (ZnO) เมื่อผ่านกระบวนการย่อยอาหารในกระเพาะอาหารทำให้เหลือซิงค์ออกไซด์เพียงปริมาณเล็กน้อยในการดูดซึมโภชนาการของสัตว์และมีการขับทิ้งของสังกะสีในปริมาณมาก จึงมีการนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ เพื่อใช้ประโยชน์จากสารอาหารและแร่ธาตุ ได้แก่ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnONPs) ซึ่งได้จากกระบวนการเปลี่ยนขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับอนุภาคนาโนเมตร มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียด มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาวและไม่เปลี่ยนสี การเสริมในอาหารสัตว์สามารถดูดซึมได้ง่าย และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว ไม่เกิดการตกค้างและมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม การใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในกระบวนการเลี้ยงเพื่อปรับปรุงสมรรถภาพเจริญเติบโต เพิ่มอัตราการดูดซึมสารอาหารเข้าสู่ร่างกายสัตว์ อย่างไรก็ตามการเสริมซิงค์ออกไซด์ให้แก่สัตว์ในปริมาณสูงอาจส่งผลเสียต่อการขับออกของสังกะสีในปริมาณมากทำให้เกิดปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับการขับออกของสังกะสีจะหลั่งออกมากับน้ำย่อยจากตับอ่อนและจากลำไส้และถูกขับออกมากับมูล (ฉลอง, 2560)

ดังนั้น สัมมนาฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการเสริมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zn-NPs) ในอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยา โดยศึกษาถึงปริมาณการเสริมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้มาซึ่งการเจริญเติบโตที่ดีของกระต่าย

แร่ธาตุซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในอาหารสัตว์

แร่ธาตุสังกะสี เป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ ระบบภูมิคุ้มกัน และการป้องกัน อนุมูลอิสระ ช่วยในการย่อยและเผาผลาญสารอาหาร (Hill and Spears, 2000) มีความจำเป็นต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมและการทำงานทางสรีรวิทยาหลายอย่างของสัตว์ ทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ (co-factor) ของเอนไซม์ ซึ่งมีส่วนร่วมในการสังเคราะห์และการย่อยสลาย โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต การป้องกันอนุมูลอิสระและระบบภูมิคุ้มกัน

สังกะสี (Zn) สามารถส่งผลต่อการหลั่งไทมูลินจากต่อมไทมัส ซึ่งกระตุ้นการผลิต T-cell ดังนั้นการขาดสังกะสีจึงส่งผลให้การทำงานของต่อมไทมัสผิดปกติ ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน บทบาทสำคัญของสังกะสีจึงนำไปสู่การเสริมในอาหารสัตว์อย่างต่อเนื่อง ทำให้อาหารสัตว์มีปริมาณของสังกะสีที่เพียงพอต่อความ

ต้องการในแต่ละวัน โดยสารประกอบสังกะสีที่นิยมใช้ในอาหารสัตว์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ (inorganic Zn) ได้แก่ สังกะสีออกไซด์ หรือซิงค์ออกไซด์ (ZnO) มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดสีขาว ราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย สามารถทำปฏิกิริยากับกรดในกระเพาะอาหารกลายเป็นสังกะสีอิสระทำให้เหลือซิงค์ออกไซด์ เพียงปริมาณเล็กน้อยที่สามารถผ่านไปทำงานยังส่วนของลำไส้เล็ก เพื่อดูดซึมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Shen et al., 2014) และมีการขับทิ้งของสังกะสีในปริมาณมาก

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีนาโน (Nanotechnology) และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับอาหารสัตว์ แร่ธาตุในระดับนาโนมีปฏิกิริยากับสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในร่างกายสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อเพิ่มการดูดซึมของโภชนาการ สารอาหารและวิตามินได้ทันที จึงมีการนำเทคโนโลยีนาโนเข้ามาใช้ในการจัดการหรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร (<100 นาโนเมตร) ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวของอนุภาค ความสามารถในการดูดซึมที่ดี ผ่านลำไส้เล็กและหมุนเวียนเข้าสู่เลือดและอวัยวะต่างๆได้ดีขึ้น โดยการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย

กลไกการทำงานของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราระหว่างอนุภาคซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ พบว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการการยับยั้งการเจริญของเชื้อได้สูงกว่าการใช้อนุภาคซิงค์ออกไซด์ (Priyanka and Arun, 2013) มีกลไกที่ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์สามารถอธิบายได้จากปฏิกิริยาระหว่าง เชื้อจุลินทรีย์และแร่ธาตุ โดยในกลุ่มแบคทีเรียแกรมลบจะทำการขนส่ง Zn^{2+} ที่อยู่นอกเซลล์ของแบคทีเรียเข้าสู่ไซโตพลาสซึม โดยจับกับโปรตีนที่เยื่อผิวของแบคทีเรียแกรมลบเพื่อเข้าสู่เซลล์ แบคทีเรียจะเกิดปฏิกิริยาขับ Zn^{2+} ออกจากเซลล์เพื่อปรับสมดุลภายในเซลล์ของแบคทีเรียซึ่งต้องใช้พลังงานในการขับ Zn^{2+} ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถที่จะสร้างจำนวนเพิ่มขึ้นได้เนื่องจากมีพลังงานไม่เพียงพอและมีแบคทีเรียจำนวนหนึ่งสูญเสียสภาพไปเนื่องจากเกิดสภาวะขาดสมดุลภายในเซลล์จึงมีปริมาณที่ลดลง ดังนั้น อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ดีในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์เพราะเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึม สารอาหารทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโตที่ดี เมื่อเทียบกับการเสริมสังกะสีรูปแบบทั่วไป (Park et al., 2004)

ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตในกระต่าย

จากการศึกษาของ Wareth et al. (2022) โดยเสริม ZnO-NPs ในอาหารที่ระดับ 0,20,40,60,80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยการทดลองนี้ใช้กระต่ายเนื้อสายพันธุ์นิวซีแลนด์ไวท์ อายุ 30 วัน จำนวน 125 ตัว ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 60 วัน อุณหภูมิในการเลี้ยงเฉลี่ยอยู่ที่ 39 ± 2 องศาเซลเซียส พบว่า การเสริมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ระดับ 20-80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลต่อการเจริญเติบโตมากขึ้น และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้นในกระต่ายสายพันธุ์นิวซีแลนด์ไวท์ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) แต่ผลของปริมาณการกินอาหารต่อวันทุกระดับไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) (Table 1) ซึ่งสอดคล้องกับ Kamel et al. (2020) พบว่าการเสริม ZnO-NPs ในอาหารที่ระดับ 0,30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในกระต่ายเนื้อสายพันธุ์ Egyptian line อายุ 35 วัน จำนวน 60 ตัว ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 56 วัน อุณหภูมิในการเลี้ยงเฉลี่ยอยู่ที่

30.4±0.29 องศาเซลเซียส การเสริมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ระดับ 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีผลต่อการเจริญเติบโตมากขึ้น และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) แต่ผลของปริมาณการกินอาหารต่อวันไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) (Table 2)

Table 1. Effects of ZnO-NPs on growth performance of male rabbits.

parameter	ZnO-NPs Levels mg/kg					SEM	P-value	
	0	20	40	60	80		Lin.	Quad.
BW, g								
30 days	628	625	631	624	623	11	0.158	0.333
60 days	1225 ^b	1281 ^a	1289 ^a	1308 ^a	1292 ^a	23	0.005	0.042
90 days	2030 ^b	2119 ^a	2145 ^a	2186 ^a	2158 ^a	22	0.010	0.033
DFI, g								
30-60 days	81.37	83.94	84	84.67	83.67	3.51	0.612	0.66
60-90 days	97.92	96.40	97.10	98.70	97.70	3.83	0.174	0.547
30-90 days	86.65	90.17	90.87	91.69	90.69	2.72	0.124	0.244
FCR								
30-60 days	4.089 ^b	3.839 ^a	3.859 ^a	3.714 ^a	3.752 ^a	0.08	0.004	0.022
60-90 days	3.649 ^b	3.451 ^a	3.403 ^a	3.372 ^a	3.385 ^a	0.04	0.002	0.017
30-90 days	3.836 ^b	3.621 ^a	3.601 ^a	3.522 ^a	3.545 ^a	0.03	0.001	0.019

BW= Bodyweight; DFI= Daily feed intake; SEM= Standard error of the mean; ^{a-b}Means (n = 25)

not sharing a common superscript in a row are significantly different

($P < 0.05$); Lin and Quad linear and quadratic responses

Source: Wareth et al. (2022)

Table 2. Effects of ZnO-NPs on growth performance of male rabbits.

Parameter	G1 (Control)	G2 (30 mg ZnO-NP/ Kg diet)	SEM	P-value
BW, g				
35 days	705.45	702.43	3.715	0.0415
63 days	1385.55 ^b	1432.50 ^a	5.206	<.0001
91 days	2090.64 ^b	2185.2 ^a	4.828	<.0001
DFI, g				
35-63 days	67.45	65.71	0.715	0.2478
63-91 days	109.09	108.43	1.625	0.9105
35-91 days	88.27	87.07	0.949	0.6512
FCR				
35-63 days	2.78 ^b	2.52 ^a	0.035	<.0001
63-91 days	4.33 ^b	4.03 ^a	0.062	0.0048
35-91 days	3.57 ^b	3.29 ^a	0.040	<.0001

BW= Bodyweight; DFI= Daily feed intake; SEM= Standard error of the mean; a, b and: Significant group differences at $P<0.05$.

Source: Kamel et al. (2020)

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Hassan et al. (2017) โดยเสริม ZnO-NPs ในอาหารที่ระดับ 0,30,60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยการทดลองนี้ใช้กระต่ายเนื้อสายพันธุ์นิวซีแลนด์ อายุ 35 วัน จำนวน 120 ตัว ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 42 วัน อุณหภูมิในการเลี้ยงเฉลี่ยอยู่ที่ 22 ± 1.5 องศาเซลเซียส พบว่า การเสริมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ระดับ 30 และ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีผลต่อการเจริญเติบโตมากขึ้นและปริมาณการกินอาหารต่อวันสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) แต่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($P>0.05$) (Table 3) ชาญวิทย์ และเสนาะ (2533) ในการผลิตสัตว์นั้นอัตราการเจริญเติบโตของสัตว์จะถูกจำกัดด้วยพันธุกรรมของสัตว์นั้น ๆ และการที่สัตว์จะแสดงความสามารถในการผลิตออกมาอย่างเต็มที่ จะต้องอยู่ในสภาพที่มีปัจจัยต่าง ๆ อย่างเหมาะสมด้วย ซึ่งอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการผลิตของสัตว์เป็นอย่างมาก รัตนพงศ์ และลอเรน (2538) เมื่ออุณหภูมิของสภาพแวดล้อมสูงขึ้นจะทำให้สัตว์กินอาหารลดลง เพื่อให้การผลิตความร้อนในร่างกายลดน้อยลง และมีการเพิ่มกลไกการระบายความร้อนส่วนเกินออกจากร่างกาย ประสิทธิภาพการนำพลังงานจากอาหารไปใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตจึงลดลง ซึ่งถ้าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมต่ำกว่าอุณหภูมิของร่างกาย สัตว์จะสามารถกินอาหารได้มากขึ้นและร่างกายสัตว์จะมีการเผาผลาญอาหารสูงเพื่อรักษาอุณหภูมิร่างกายให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งอุณหภูมิร่างกายเฉลี่ยของกระต่ายอยู่ในช่วง 38.5-40.0 องศาเซลเซียส อาจแตกต่างกันเล็กน้อยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อายุและสภาพแวดล้อม

Table 3. Effects of ZnO-NPs on growth performance of male rabbits.

Parameter	ZnO-NPs Levels mg/kg			SEM	P-value
	G1 (Control)	G2	G3		
BW, g					
35 days	568.30	594.30	588.62	5.29	0.321
56 days	1185.11 ^b	1281.51 ^a	1259.16 ^a	7.88	<.001
77 days	1889.13 ^b	2047.44 ^a	2030.11 ^a	9.86	<.001
DFI, g					
35-56 days	83.61 ^b	89.89 ^a	88.21 ^a	0.68	0.001
56-77 days	118.19 ^b	129.61 ^a	126.75 ^a	0.93	<.001
35-77 days	100.90 ^b	109.75 ^a	107.48 ^a	0.73	<.001
FCR					
35-56 days	2.84	2.74	2.76	0.04	0.090
56-77 days	3.52	3.55	3.45	0.02	0.185
35-77 days	3.21	3.17	3.13	0.02	0.127

BW= Bodyweight; DFI= Daily feed intake; G2= 60 mg/kg; G3= 30 mg/kg; SEM= Standard error of the mean; ^{a-b}Means bearing different superscripts within the same row are significantly different (P<0.05)

Source: Hassan et al. (2017)

การเสริมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ระดับ 20-80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีผลต่อการเจริญเติบโต น้ำหนักตัว กระต่ายที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีขึ้น (P<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามการเสริมที่ระดับ 20-30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุน ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในระดับที่สูงกว่า เนื่องจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ช่วยเพิ่มการดูดซึมและการใช้ประโยชน์จากสังกะสี รวมถึงกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหาร ทั้งนี้ การเสริมในระดับที่สูงเกินความต้องการของสัตว์อาจส่งผลเชิงลบ เช่น ทำให้กระต่ายกินอาหารลดลงและลดประสิทธิภาพการผลิต ดังนั้น ควรเสริมในระดับที่เหมาะสมต่อความต้องการของสัตว์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ พันธุ์กรรมของสัตว์ และระยะเวลาในการเลี้ยง

ผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อค่าโลหิตวิทยาในกระต่าย

จากการศึกษาของ Wareth et al. (2022) โดยเสริม ZnO-NPs ในกระต่ายเนื้อสายพันธุ์นิวซีแลนด์ไวท์ใน ระดับ 0,20,40,60,80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า การเสริม ZnO-NPs ที่ระดับ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีระดับ GOT, GPT, Urea, Creatinine และ Cholesterol ที่ต่ำเช่นเดียวกับในระดับอื่น ๆ และต่างจากกลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) (Table 4)

Table 4. Effects of ZnO-NPs on Serum metabolic profile of growing rabbits.

Blood,	ZnO-NPs Levels mg/kg					SEM	P-value	
	0	20	40	60	80		Lin.	Quad.
GOT, U/L	27.65 ^a	23.61 ^b	23.26 ^b	22.05 ^b	23.03 ^b	0.218	0.001	0.008
GPT, U/L	45.32 ^a	39.07 ^b	38.60 ^b	36.08 ^b	37.21 ^b	1.601	0.008	0.018
Urea, mg/L	45.29 ^a	42.08 ^b	41.65 ^b	38.40 ^b	40.19 ^b	1.101	0.006	0.012
Creatinine, mg/L	6.160 ^a	4.165 ^b	3.916 ^b	3.412 ^b	4.387 ^b	0.532	0.002	0.014
Cholesterol, mg/L	85.93 ^a	81.57 ^b	81.25 ^b	79.50 ^b	80.27 ^b	1.018	0.001	0.021

GOT= Glutamic-Oxaloacetic Transaminase; GPT= Glutamic-Pyruvic Transaminase; SEM= Standard error of the mean; ^{a-b}Means (n = 25) not sharing a common superscript in a row are significantly different ($P < 0.05$); Lin and Quad linear and quadratic responses

Source: Wareth et al. (2022)

จากการศึกษาของ Kamel et al. (2020) พบว่าการเสริม ZnO-NPs ที่ระดับ 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีระดับของ Cholesterol และ LDL ไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม ($p > 0.05$) แต่มีระดับ Glucose, Triglycerides, HDL, GSH, GPx, SOD, IgG, IgM สูงกว่ากลุ่มควบคุมและมีระดับ MDA ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) (Table 5)

Table 5. Serum biochemicals of growing rabbits in the experimental groups at 91 days of age And Antioxidant enzymes, lipid peroxidation and immunoglobulins concentrations in blood serum of growing rabbits in the experimental groups.

Parameter	G1 (Control)	G2 (30 mg ZnO-NP/ Kg diet)	SEM	P-value
Carbohydrate metabolism (mg/dl):				
Glucose, mg/dl	64.80 ^b	92.60 ^a	1.322	0.0001
Lipid metabolism (mg/dl):				
Cholesterol, mg/dl	132.60	125.20	2.390	0.1288
Triglycerides, mg/dl	120.80 ^b	79.80 ^a	1.575	0.0001
HDL, mg/dl	51.00 ^b	58.20 ^a	1.058	0.0313
LDL, mg/dl	47.40	48.40	1.381	0.8769
Antioxidant enzymes (IU/ml)				
GSH, IU/ml	11.73 ^b	15.93 ^a	0.184	<.0001
GPx, IU/ml	3.14 ^b	4.24 ^a	0.018	<.0001
SOD, IU/ml	6.75 ^b	7.23 ^a	0.017	<.0001
Lipid peroxidation (nmol/ml)				
MDA, nmol/ml	7.25 ^b	5.99 ^a	0.014	<.0001
Immunity status (mg/dl):				
IgG, mg/dl	2.11 ^b	3.51 ^a	0.017	<.0001
IgM, mg/dl	3.96 ^b	5.16 ^a	0.028	<.0001

HDL= High-Density Lipoprotein; LDL=Low- Density Lipoprotein; SEM= Standard error of the mean; GSH=Glutathione; GPx= Glutathione Peroxidase; SOD= Superoxide dismutase; MDA= Malondialdehyde; IgG= Immunoglobulin G; IgM= Immunoglobulin M; SEM= Standard error of the mean; a, b and c: Significant group differences at $P<0.05$

Source: Kamel et al. (2020)

จากการศึกษาของ Hassan et al. (2017) พบว่าการเสริม ZnO-NPs ที่ระดับ 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีระดับ Albumin และ TSH ไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม ($p>0.05$) แต่ระดับ Total proteins, Globulin, IgG, SOD และ GH สูงกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) และพบว่าการเสริม ZnO-NPs ที่ระดับ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีระดับ GH ไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม ($p>0.05$) ในขณะที่ระดับ 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีระดับ GH สูงกว่ากลุ่มควบคุม ($p<0.05$) (Table 6) เนื่องจากหากร่างการได้รับซิงค์ออกไซด์ในปริมาณที่สูงเกินความจำเป็นการของร่างกายเกิดการสะสมในร่างกายมากขึ้นอาจส่งผลเสียต่อระบบสมดุลแร่ธาตุในร่างกายหรือถ้าได้ Hassan et al. (2017) การเสริมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO-NPs) ส่งผลให้ความเข้มข้นของสังกะสีใน

ตับและในเลือดเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการเสริม ZnO-NPs กับสมรรถภาพการเจริญเติบโตของกระต่าย ในทางตรงกันข้ามการเสริม ZnO-NPs ส่งผลทำให้ความเข้มข้นของทองแดง (Cu) ในตับและในเลือดลดลง ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Marques et al. (2011) ยืนยันถึงปฏิสัมพันธ์การแย่งการดูดซึมระหว่างสังกะสีและทองแดง กลไกที่สังกะสีต่อต้านทองแดงนั้นยังไม่เป็นที่เข้าใจดี แม้ว่าจะมีการสันนิษฐานว่าการต่อต้านนี้เกิดจากคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่คล้ายคลึงกัน ทั้งสองแร่ธาตุมีการแย่งพื้นที่การดูดซึมในเยื่อเมือกลำไส้และถูกควบคุมโดย metallothionein protein ชนิดเดียวกัน ดังนั้นการเสริม ZnO-NPs จำเป็นต้องคำนึงถึงความต้องการของร่างกายสัตว์ ซึ่ง GH (growth hormone) เป็นฮอร์โมนที่ควบคุมการเจริญเติบโต ควรเสริมในระดับที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ซึ่งประสิทธิภาพการผลิตที่ดี

Table 6. Effect of dietary nano-zinc oxide supplementation on serum parameters of New Zealand White rabbits.

Serum parameters	ZnO-NPs Levels mg/kg			SEM	P-value
	G1 (Control)	G2	G3		
Total proteins (g/dL)	5.35 ^b	5.86 ^a	6.15 ^a	0.08	<.001
Albumin (g/dL)	4.45	4.42	4.29	0.02	0.051
Globulin (g/dL)	0.90 ^c	1.44 ^b	1.85 ^a	0.07	<.001
IgG (mg/dL)	1.35 ^c	2.23 ^b	3.78 ^a	0.16	<.001
SOD (U/mL)	7.82 ^c	27.32 ^a	18.51 ^b	1.37	<.001
GH (mg/mL)	0.16 ^b	0.22 ^b	0.37 ^a	0.02	<.001
TSH (μ U/mL)	0.77	0.72	0.68	0.08	0.873

G2= 60 mg/kg; G3= 30 mg/kg; IgG= Immunoglobulin G; SOD= Superoxide dismutase; GH= Growth hormone; TSH= Thyroid Stimulating hormone; SEM= Standard error of the mean; ^{a-c}Means bearing different superscripts within the same row were significantly different ($P<0.05$)

Source: Hassan et al. (2017)

สรุป

จากการทบทวนงานวิจัยที่มีผลการเสริมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zn-NPs) ในอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาของกระต่าย จำนวน 3 ฉบับ ซึ่งมีการเสริมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zn-NPs) ที่ระดับ 20-80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในสูตรอาหาร ส่งผลให้สมรรถภาพการเจริญเติบโตและค่าโลหิตวิทยาของกระต่ายดีขึ้น อย่างไรก็ตามการเสริมที่ระดับ 20-30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในอาหาร มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการเพิ่มผลผลิตเท่ากับระดับอื่น

เอกสารอ้างอิง

- ฉลอง วชิราภากร. 2560. "โภชนศาสตร์แร่ธาตุของสัตว์". ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.
- ชาญวิทย์ วัชรพุก และ เสนาะ กาศเกษม. 2533. "อิทธิพลของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่มีต่อสมรรถภาพของสุกรขุน". **สุกรสาร** 17 (66): 25-33.
- รัตนพงศ์ สุขภาพ และ ลอเรน ฮิลเดนแบร์น. 2538. "การแก้ปัญหาความเครียดจากความร้อนของสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงสุกร". **สุกรสาร** 22 (85): 51-56.
- FAOSTAT. 2020. The Statistics Division of the FAO. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> 26 July 2024.
- Hassan, F.A., Mahmoud, R., and Araby, I.E. 2017 "Growth Performance, Serum Biochemical, Economic Evaluation and IL6 Gene Expression in Growing Rabbits Fed Diets Supplemented with Zinc Nanoparticles". **Zagazig Veterinary Journal**. DOI: 10.21608/zvjz.2017.7949.
- Hill, G.M. and J.W. Spears. 2000. Trace and ultratrace elements in swine nutrition, pp. 229-262. In A.J. Lewis and L.L. Southen, eds. Swine Nutrition. CRC Press, New York.
- Kamel, D.A., Khalek, A.E., and Gabr, S.A. 2020 "Performance, Oxidative Stress, and Immunity of Growing Rabbits under Hot Climate Conditions". **Journal of Animal and Poultry Production**. 12 (11): 565-571.
- Kumar, S. A., Kim, H. J., Jayasena, D. D., and Jo, C. 2023. On-farm and processing factors affecting rabbit carcass and meat quality attributes. **Food Science of Animal Resources**. 43(2): 197-219. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2023.e5>.
- Marques, L.F.J.C., Donangelo, C.M., Franco, J.G., Pires, L., Luna, A.S., Casimiro-Lopes, G., Lisboa, P.C., and Koury, J.C. 2011 "Plasma zinc, and copper, and serum thyroid hormones and Insulin levels after zinc supplementation followed by placebo in competitive athletes". **Biol Trace Elem Res**. 142(3): 415-423.
- Priyanka, S. and Arun N. 2013. "Antimicrobial and antifungal potential of zinc oxide nanoparticles in comparison to conventional zinc oxide particles". **J Chem. Pharm. Res**. 5(11): 457-463.
- Park, S.Y., S.G. Birkhold, L.F. Kubena, D.J. Nisbet and S.C. Ricke. 2004. "Review on the role of dietary zinc in poultry nutrition, immunity, and reproduction". **Biol Trace Elem Res**. 101: 147-163.
- Shen, J., Y. Chen, Z. Wang, A. Zhou, M. He, L. Mao, H. Zou, Q. Peng, B. Xue, L. Wang, X. Zhang, S. Wu and Y. Lv. 2014. "Coated zinc oxide improves intestinal immunity function and regulates microbiota composition in weaned piglets". **Br J Nutr**. 111: 2123-2134.
- Umaraw, P., Verma, A. K., Singh, V. P., Kumar, P., Mehta, N., and Kumar, D. 2024. **Veterinary Care**

of Farm Rabbits: A Complete Practice Guide to Rabbit Medicine and Production.

Vila Real: Springer Nature.

Wareth, A.A., Amer, S.A., Mobashar, M., and Sayea, H.G. 2022 “Use of zinc oxide nanoparticles in the growing rabbit diets to mitigate hot environmental conditions for sustainable production and improved meat quality”. **BMC Veterinary Research**.

doi.org/10.1186/s12917-022-03451-w.