ผลของการเสริม *Bacillus subtilis* ในอาหารต่อคุณภาพไข่และศักยภาพสารต้านอนุมูลอิสระในห่าน

Effect of *Bacillus subtilis* Supplementation in Diet on Egg Quality and Serum Antioxidant Capacity in Geese

นุชนาฏ คำตะนิตย์

Nutchanat Khamtanit

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทคัดย่อ

Bacillus subtilis เป็นจุลินทรีย์โปรไบโอติกที่มีบทบาทในการช่วยปรับสมดุลจุลชีพในลำไส้ ส่งเสริมการย่อยและการใช้ประโยชน์สารอาหาร รวมทั้งช่วยลดภาวะเครียดจากออกซิเดชันในสัตว์ปีก ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพไข่และสภาวะทางสรีรวิทยาของสัตว์ปีก สัมมนานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ *Bacillus subtilis* ในอาหารต่อคุณภาพไข่และศักยภาพสารต้านอนุมูลอิสระในห่าน โดยศึกษาจากเอกสารงานวิจัยจำนวน 3 ฉบับ ที่ตีพิมพ์ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2022 ซึ่งมีการใช้ระดับการเสริม 2.5×10^9 และ 5.0×10^9 CFU/kg อาหาร จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า การเสริมในระดับที่สูงขึ้น 5.0×10^9 CFU/kg อาหาร ช่วยเพิ่มค่าความหนาเปลือกไข่และค่า T-AOC สูงกว่าระดับที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการศึกษาที่นำมาวิเคราะห์เป็นการเสริมจุลินทรีย์ในอาหารโดยไม่มีกลุ่มควบคุม จึงไม่สามารถสรุปผลของการเสริม *Bacillus subtilis* ได้โดยตรง อีกทั้งการใช้ในระดับที่สูงเกินไปอาจส่งผลให้จุลินทรีย์ทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหารของจุลชีพในลำไส้ ส่งผลต่อสมดุลจุลชีพได้ ดังนั้น ควรพิจารณาระดับของการเสริม โดยระดับที่สูงขึ้นมีแนวโน้มให้ผลดีกว่าระดับที่ต่ำกว่า แต่ยังจำเป็นต้องมีการศึกษาที่มีกลุ่มควบคุมเพื่อยืนยันผลอย่างชัดเจน

คำสำคัญ : *Bacillus subtilis* ห่าน คุณภาพไข่ สารต้านอนุมูลอิสระ

บทนำ

ห่าน (Goose) เป็นสัตว์ปีกในวงศ์ *Anatidae* เป็นหนึ่งในสัตว์ปีกเชิงพาณิชย์ที่สามารถสร้างมูลค่าได้จากหลายผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เนื้อห่าน ไข่ห่าน ขนและขนดาวน์ ตับ ไขมัน รวมถึงการจำหน่ายเป็นห่านพันธุ์ โดยในปัจจุบันประเทศจีนเป็นประเทศที่มีจำนวนการเลี้ยงห่านมากที่สุดในโลก โดยในปี ค.ศ. 2021 จีนมีจำนวนห่านที่เพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ประมาณ 570 ล้านตัว คิดเป็นมากกว่าร้อยละ 90 ของการผลิตห่านทั่วโลก (Zhu et al., 2025) โดยเฉพาะห่านพ่อแม่พันธุ์ ถือเป็นรากฐานสำคัญของการเลี้ยงห่าน เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการขยายพันธุ์และลูกห่านที่เกิดใหม่ ห่านเริ่มเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์เมื่ออายุประมาณ 6–8 เดือน และมีอายุที่เหมาะสมต่อการใช้เป็นพ่อ–แม่พันธุ์ตั้งแต่ 8–10 เดือนขึ้นไป โดยสามารถให้ผลผลิตได้ต่อเนื่องประมาณ 3–5 ปี แม่ห่านให้ไข่เฉลี่ยประมาณ 30–60 ฟองต่อตัวต่อปี โดยพันธุ์เชิงเศรษฐกิจบางพันธุ์สามารถให้ไข่ได้สูงถึง 60–80 ฟองต่อปี (FAO, 2022) ดังนั้นการจัดการด้านโภชนะอาหารที่เหมาะสมเพื่อสนับสนุนสมรรถนะการให้ไข่และคุณภาพไข่จึงสำคัญ แม้ว่าสูตรอาหารพื้นฐานที่ใช้ในปัจจุบันจะมีสารอาหารเพียงพอตามความต้องการแล้วโดยเฉพาะโปรตีนและแร่ธาตุ แต่ยังมีข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพการดูดซึมและการใช้ประโยชน์ของสารอาหาร โดยเฉพาะในช่วงการให้ไข่ต่อเนื่อง จึงมีการศึกษาการเสริมโปรไบโอติกในอาหาร เช่น *Bacillus subtilis, Bacillus licheniformis* เพื่อช่วยสนับสนุนสุขภาพลำไส้ คุณภาพไข่ และสถานะสารต้านอนุมูลอิสระของห่านพ่อแม่พันธุ์

โปรไบโอติกคือจุลินทรีย์มีชีวิตที่ช่วยปรับสมดุลจุลชีพในลำไส้ ส่งเสริมการย่อย การดูดซึมสารอาหาร และเสริมภูมิคุ้มกันของสัตว์ปีก *Bacillus subtilis* เป็นโปรไบโอติกที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร *Bacillus subtilis* ในอาหารสัตว์ปีกออกฤทธิ์หลักผ่านกลไกสำคัญที่เชื่อมโยงกับคุณภาพไข่ ได้แก่ สร้างเอนไซม์ที่ช่วยย่อย phytase และ proteinase ในวัตถุดิบอาหาร ส่งผลให้แคลเซียมและฟอสฟอรัสที่ถูกจับอยู่กับโครงสร้างเชิงซ้อนของพืชถูกปลดปล่อยและดูดซึมจากลำไส้ได้ดีขึ้น เพิ่มการสะสมแคลเซียมและฟอสฟอรัสในกระดูก (bone formation) จากนั้นจะทำให้เกิดการหลั่ง parathyroid hormone (PTH) จาก parathyroid gland ที่จะไปกระตุ้นการสลายกระดูกบริเวณ medullary bone โดย osteoclast สลายเนื้อเยื่อกระดูกเก่าได้เป็น hydroxyapatite (แคลเซียมกับฟอสเฟต) เรียกกระบวนการนี้ว่า bone resorption จากนั้น osteoclast จะนำแคลเซียมและฟอสเฟตเข้าไปในกระแสเลือด แคลเซียมจะไปสร้างเปลือกไข่ และฟอสเฟตถูกขับออกจากร่างกาย ทำให้สมดุลการใช้แร่ธาตุแคลเซียมเพื่อการสร้างเปลือกไข่ดีขึ้น (Bougouin et al., 2014; Nishiyama et al., 2021; Zou et al., 2021) *Bacillus subtilis* การลดสภาวะ oxidative stress ซึ่งจะสร้างเอนไซม์ protease ที่ช่วยเพิ่มการย่อยโปรตีน ซึ่งกรดอะมิโนบางตัว เช่น histidine เป็นกรดอะมิโนที่สำคัญที่สุดในการทำหน้าที่เป็น "Ligands" เพื่อจับกับไอออนของโลหะ (เช่น Cu, Zn หรือ Mn) ซึ่งมีความสำคัญในการเป็นสารตั้งต้นการสังเคราะห์และการทำงานของเอนไซม์สารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ superoxide dismutase (SOD) เป็นต้น การสังเคราะห์ SOD ถูกสังเคราะห์จากกรดอะมิโนตามรหัสพันธุกรรมผ่านกระบวนการถอดรหัส (transcription) และแปลรหัส (translation) ยีนเช่นเดียวกับโปรตีนทั่วไป (McCord and Fridovich, 1969; Fridovich, 1995)

อย่างไรก็ตาม การควบคุมภาวะ oxidative stress ภายในร่างกายสัตว์ปีกไม่ได้ขึ้นอยู่กับการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น superoxide dismutase (SOD) เพียงชนิดเดียว แต่ยังอาศัยบทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระชนิดไม่ใช่เอนไซม์ที่ได้รับจากอาหารร่วมด้วย โดย Total Antioxidant Capacity (TAC) เป็นค่าที่ใช้แสดงความสามารถรวม

ของสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มดังกล่าว ได้แก่ วิตามิน C วิตามิน E แคโรทีนอยด์ และสารโพลีฟีนอลจากพืช ซึ่งค่า TAC สะท้อนการทำงานร่วมกันของสารเหล่านี้ในการลดการเกิดอนุมูลอิสระและช่วยบรรเทาภาวะ oxidative stress ภายในร่างกายสัตว์ปีก (Ghiselli et al., 2000) กลไกนี้มีความสำคัญโดยเฉพาะในช่วงที่สัตว์ปีกเผชิญความเครียดจากอายุหรือสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตามแม้ *Bacillus subtilis* จะแสดงศักยภาพในการปรับปรุงคุณภาพไข่และศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระของห่านพ่อแม่พันธุ์ แต่กลไกการออกฤทธิ์ ความสม่ำเสมอของผล และระดับการเสริมที่เหมาะสมในระยะการให้ไข่ต่อเนื่องยังคงเป็นประเด็นที่ต้องการการศึกษาเพิ่มเติม ดังนั้นสัมมนาฉบับจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ *Bacillus subtilis* ในอาหารต่อ คุณภาพไข่และศักยภาพสารต้านอนุมูลอิสระในห่าน

ผลของการเสริม *Bacillus subtilis* ในอาหารต่อความแข็งแรงของเปลือกไข่ (Eggshell strength)

Zhang et al. (2020) ทำการศึกษาการเสริม *Bacillus subtilis* ในอาหารพ่อ-แม่พันธุ์ห่านสายพันธุ์ Wulong จำนวน 120 ตัว อายุ 46 สัปดาห์ ที่ระดับ 2.5×10^9 และ 5.0×10^9 CFU/kg อาหาร พบว่าทุกกลุ่มที่เสริมมีค่าความแข็งแรงของเปลือกไข่ไม่ต่างกัน (Table 1) ขณะที่ Fan et al. (2022) ใช้พ่อ-แม่พันธุ์ห่านสายพันธุ์ Wulong จำนวน 120 ตัว อายุ 45 สัปดาห์ ที่ระดับ 2.5×10^9 และ 5.0×10^9 CFU/kg อาหาร พบว่าการเสริม *Bacillus subtilis* ทุกกลุ่มทดลองให้ผลไม่แตกต่างกัน (Table 2) สอดคล้องกับ Wang et al. (2020) พ่อ-แม่พันธุ์ห่านสายพันธุ์ Wulong จำนวน 120 ตัว อายุ 46 สัปดาห์ ที่ระดับ 2.5×10^9 และ 5.0×10^9 CFU/kg อาหาร ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลอง (Table 3) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความแข็งแรงของเปลือกไข่ไม่ได้ขึ้นกับ *Bacillus subtilis* ซึ่งมีบทบาททางอ้อมผ่านการเพิ่มการดูดซึมและใช้ประโยชน์จากแร่ธาตุแคลเซียม ซึ่งโครงสร้างการจัดเรียงของผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตของเปลือกไข่ขึ้นอยู่กับศักยภาพของแม่พันธุ์ห่านและความสมบูรณ์พันธุ์ของแม่ห่านมากกว่า (Nys et al., 2004; Roberts, 2010)

ผลของการเสริม *Bacillus subtilis* ในอาหารต่อความหนาเปลือกไข่ (Eggshell thickness)

Zhang et al. (2020) และ Wang et al. (2020) รายงานว่า การเสริม *Bacillus subtilis* ที่ระดับ 5.0×10^9 CFU/kg อาหาร ส่งผลให้ความหนาของเปลือกไข่มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่เสริมระดับ 2.5×10^9 CFU/kg อาหาร ซึ่งเป็นผลจากบทบาทของ *Bacillus subtilis* ในการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหารและการใช้ประโยชน์ของแคลเซียมและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของการสร้างเปลือกไข่ (Zhang et al., 2020; Wang et al., 2020) อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองทั้ง 2 ฉบับที่กล่าวมาขัดแย้งกับ Fan et al. (2022) ที่พบว่าการเสริม *Bacillus subtilis* ทั้งที่ระดับ 2.5×10^9 และ 5.0×10^9 CFU/kg อาหาร ไม่ทำให้คุณภาพเปลือกไข่เปลี่ยนแปลง (Table 2) โดยจากการศึกษาพบว่า *Bacillus subtilis* ส่งเสริมความหนาเปลือกไข่โดยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยและการดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัสผ่านการปรับสมดุลจุลชีพในลำไส้ ส่งผลให้มีแร่ธาตุเพียงพอสำหรับกระบวนการสะสมแคลเซียมคาร์บอเนตใน uterus (shell gland) ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการสร้างเปลือกไข่ จึงทำให้ความหนาเปลือกไข่เพิ่มขึ้น

ผลของการเสริม *Bacillus subtilis* ในอาหารต่อความสูงไข่ขาว (Albumen height)

งานวิจัยทั้ง 3 ฉบับ ได้แก่ Zhang et al.,2020; Fan et al.,2022 และ Wang et al.,2020 พบว่าการเสริม *Bacillus subtilis* ที่ระดับ 2.5×10^9 และ 5.0×10^9 CFU/kg อาหาร ให้ผลไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจาก *Bacillus subtilis* ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับสารตั้งต้นการสังเคราะห์ไข่ขาว เพราะจุลินทรีย์ชนิดนี้ทำหน้าที่เป็นโปรไบโอติกในระบบทางเดินอาหาร ไม่ใช่แหล่งสารอาหารหลักที่ใช้สร้างโปรตีนไข่ขาวโดยตรง โดยกระบวนการสร้างอัลบูมินในท่อนำไข่ต้องอาศัยกรดอะมิโนจากอาหารเป็นสารตั้งต้นหลัก ซึ่งมาจากโปรตีนในสูตรอาหารไม่ได้มาจากตัวจุลินทรีย์เอง (Roberts, 2004)

Table 1 Effects of Fe and *Bacillus subtilis* supplementations on egg quality of geese.

Treatment						
Fe (mg/kg)	BS (CFU/kg)	ES (N)	ET (mm)	AH (mm)	YC	HU
40	2.5×10^9	5.026	0.484	15.68	2.45	118.85
60	2.5×10^9	5.069	0.494	15.90	2.60	120.15
80	2.5×10^9	4.981	0.465	14.90	2.40	119.35
40	5.0×10^9	5.032	0.519	15.73	2.50	121.85
60	5.0×10^9	5.098	0.540	17.20	2.70	122.55
80	5.0×10^9	5.065	0.504	15.55	2.65	118.93
SEM		0.15	0.02	0.74	0.11	2.98
Main effect						
Fe (mg/kg)	40	5.029	0.502	15.70	2.48	120.35
	60	5.083	0.517	16.55	2.65	121.35
	80	5.023	0.485	15.23	2.53	119.14
B. subtilis (CFU/kg)	2.5×10^9	5.025	0.481^b	15.49	2.48	119.45
	5.0×10^9	5.065	0.521^a	16.16	2.62	121.11
P-value						
Fe		0.239	0.274	0.122	0.384	0.164
B. subtilis		0.233	0.020	0.202	0.215	0.083
Fe × *B. subtilis*		0.587	0.957	0.607	0.719	0.282

^{a,b,c} = means in the same row with different superscript are significantly different ($p<0.05$)

Abbreviations: BS, *B. subtilis*; ES, Eggshell strength; ET, Eggshell thickness; AH, Albumen height; YC, Yolk color; HU, Haugh unit.

SEM = standard error of mean

Source: Zhang et al. (2020)

ผลของการเสริม *Bacillus subtilis* ในอาหารต่อค่า Haugh unit

งานวิจัยทั้ง 3 ฉบับ ได้แก่ Zhang et al.,2020; Fan et al.,2022 และ Wang et al.,2020 พบว่าการเสริม *Bacillus subtilis* ที่ระดับ 2.5×10^9 และ 5.0×10^9 CFU/kg อาหาร ให้ผลไม่แตกต่างกัน *Bacillus subtilis* ไม่มีบทบาทเกี่ยวข้องกับคุณภาพไข่โดยตรง อ้างไปถึงความสูงไข่ขาวที่ไม่แตกต่างกัน จึงทำให้ไม่ส่งผลต่อคุณภาพขององค์ประกอบของสารอาหารในไข่ (Silversides and Scott, 2001)

Table 2 Effects of Zn and *Bacillus subtilis* supplementations on egg quality of geese.

Treatment						
Zn (mg/kg)	BS (CFU/kg)	ES (N)	ET (mm)	AH (mm)	YC	HU
25	2.5×10^9	4.97	0.42	13.93	2.40^{c}	110.78
45	2.5×10^9	5.03	0.45	15.63	2.68^{bc}	116.48
65	2.5×10^9	5.03	0.42	15.13	2.63^{bc}	111.50
25	5.0×10^9	5.04	0.47	16.30	3.13^{ab}	120.05
45	5.0×10^9	5.04	0.48	16.38	3.53^{a}	119.48
65	5.0×10^9	4.92	0.42	14.38	2.48^{c}	114.10
	Pooled SEM	0.06	0.02	0.96	0.17	4.83
Main effect						
Zn (mg/kg)	25	5.01	0.44	15.11	2.76	115.41
	45	5.04	0.47	16.00	3.10	117.98
	65	4.97	0.42	14.75	2.55	112.80
	Pooled SEM	0.04	0.01	0.68	0.12	3.42
B. subtilis (CFU/kg)	2.5×10^9	5.01	0.43	14.89	2.57	112.92
	5.0×10^9	5.00	0.46	15.68	3.04	117.88
	Pooled SEM	0.04	0.01	0.56	0.10	2.79
P-value						
Zn		0.582	0.071	0.427	0.016	0.573
B. subtilis		0.895	0.088	0.328	0.003	0.225
Zn × *B. subtilis*		0.355	0.380	0.293	0.018	0.744

^{a,b,c} = means in the same row with different superscript are significantly different ($p<0.05$)

Abbreviations: BS, *B. subtilis*; ES, Eggshell strength; ET, Eggshell thickness; AH, Albumen height; YC, Yolk color; HU, Haugh unit.

Source: Fan et al. (2022)

ผลของการเสริม *Bacillus subtilis* ในอาหารต่อสีของไข่แดง (Yolk color)

งานวิจัยทั้ง 3 ฉบับ ได้แก่ Zhang et al.,2020; Fan et al.,2022 และ Wang et al.,2020 พบว่าการเสริม *Bacillus subtilis* ที่ระดับ 2.5×10^9 และ 5.0×10^9 CFU/kg อาหาร ให้ผลไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากสีของไข่แดงนั้นขึ้นกับอยู่ปริมาณและชนิดของแคโรทีนอยด์ในอาหารเป็นหลัก ขณะที่ *Bacillus subtilis* ไม่มีบทบาทเพราะไม่ได้เป็นแหล่งของรงควัตถุสารสีหรือการสะสมแคโรทีนอยด์ในไข่แดง (Surai, 2016; Karadas et al., 2016)

Table 3 Effects of Mn and *Bacillus subtilis* supplementations on egg quality of geese.

Treatment						
Mn (mg/kg)	BS (CFU/kg)	ES (N)	ET (mm)	AH (mm)	YC	HU
10	2.5×10^9	4.284	0.47[b]	16.13	3.65	119.90
20	2.5×10^9	5.085	0.48[b]	15.23	3.55	112.20
30	2.5×10^9	5.122	0.49[b]	16.25	2.90	119.78
10	5.0×10^9	5.078	0.52[a]	14.57	3.03	112.48
20	5.0×10^9	5.029	0.51[a]	15.23	2.83	118.30
30	5.0×10^9	5.126	0.52[a]	16.18	2.63	120.18
Main effect						
Mn (mg/kg)	10	4.681	0.49	15.35	3.34	116.19
	20	5.052	0.50	14.71	3.19	115.25
	30	5.124	0.53	16.21	2.76	119.98
B. subtilis (CFU/kg)	2.5×10^9	4.830	0.49[b]	15.52	3.37	117.21
	5.0×10^9	5.074	0.52[a]	15.32	2.83	116.98
SEM		0.47	0.06	2.49	0.74	9.54
P-value						
Mn		0.093	0.514	0.536	0.271	0.615
B. subtilis		0.160	0.039	0.855	0.079	0.941
Mn × *B. subtilis*		0.092	0.628	0.629	0.804	0.417

In the same column, values with the same small or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), while values with adjacent small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), and values with alternate small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.01$).

Abbreviations: BS, *B. subtilis*; ES, Eggshell strength; ET, Eggshell thickness; AH, Albumen height; YC, Yolk color; HU, Haugh unit.

Source: Wang et al. (2022)

ผลของการเสริม *Bacillus subtilis* ในอาหารต่อค่า T-SOD (U/mL)

จากการศึกษาของ Zhang et al. (2020), Wang et al. (2020) และ Fan et al. (2022) พบว่าการเสริม *Bacillus subtilis* ที่ระดับ 2.5×10^9 และ 5.0×10^9 CFU/kg อาหาร ให้ผลไม่แตกต่างกัน ผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า เอนไซม์ superoxide dismutase เป็นเอนไซม์พื้นฐานที่ร่างกายสัตว์ใช้ควบคุมอนุมูลอิสระในระดับเซลล์ การเสริม *Bacillus subtilis* จึงมีบทบาทในลักษณะช่วยลดภาระการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวมากกว่าการกระตุ้นการสร้างหรือเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์โดยตรง ส่งผลให้ค่า T-SOD ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองทั้ง 3 การศึกษา

Table 4 Effects of Fe and *Bacillus subtilis* supplementations on serum antioxidant capacity of geese.

Treatment			
Fe (mg/kg)	BS (CFU/kg)	T-AOC (U/mL)	T-SOD (U/mL)
40	2.5×10^9	8.30	297.72
60	2.5×10^9	11.91	327.37
80	2.5×10^9	13.24	345.52
40	5.0×10^9	14.12	378.20
60	5.0×10^9	19.11	364.89
80	5.0×10^9	15.90	329.41
SEM		1.36	28.62
Main effect			
Fe (mg/kg)	40	11.21^b	337.96
	60	15.51^a	346.13
	80	14.57^a	337.47
B. subtilis (CFU/kg)	2.5×10^9	11.15^b	323.54
	5.0×10^9	16.38^a	357.50
P-value			
Fe		0.022	0.949
B. subtilis		<0.001	0.181
Fe × *B. subtilis*		0.308	0.294

^{a,b,c} = means in the same row with different superscript are significantly different ($p<0.05$)

Abbreviations: BS, *B. subtilis*; T-SOD, total superoxide dismutase; T-AOC, total antioxidant capacity.

SEM = standard error of mean

Source: Zhang et al. (2020)

Table 5 Effects of Zn and *Bacillus subtilis* supplementations on serum antioxidant capacity of geese.

Treatment			
Zn (mg/kg)	BS (CFU/kg)	T-AOC (U/mL)	T-SOD (U/mL)
25	2.5×10^9	0.30	190.73
45	2.5×10^9	0.48	287.02
65	2.5×10^9	0.44	249.66
25	5.0×10^9	0.55	285.56
45	5.0×10^9	0.64	335.56
65	5.0×10^9	0.39	217.16
	Pooled SEM	0.08	35.52
Main effect			
Zn (mg/kg)	25	0.42	238.14^b
	45	0.56	311.29^a
	65	0.42	233.41^b
	Pooled SEM	0.05	25.11
B. subtilis (CFU/kg)	2.5×10^9	0.41^b	242.47
	5.0×10^9	0.53^a	279.43
	Pooled SEM	0.04	20.51
P-value			
Zn		0.070	0.028
B. subtilis		0.030	0.142
Zn × *B. subtilis*		0.080	0.120

^{a,b,c} = means in the same row with different superscript are significantly different ($p<0.05$)

Abbreviations: BS, *B. subtilis*; T-SOD, total superoxide dismutase; T-AOC, total antioxidant capacity.

SEM = standard error of mean

Source: Fan et al. (2022)

ผลของการเสริม Bacillus subtilis ในอาหารต่อค่า T-AOC (U/mL)

จากการศึกษาของ Zhang et al. (2020), Wang et al. (2020) และ Fan et al. (2022) พบว่า การเสริม *Bacillus subtilis* ที่ระดับ 5.0×10^9 CFU/kg อาหาร มีความเกี่ยวข้องกับการเพิ่มค่า T-AOC ในเลือดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fridovich, 1995 และ Surai, 2016 ที่กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของค่า T-AOC สะท้อนถึงศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระที่มาจากอาหารที่สัตว์ได้รับ โดยอธิบายได้จากบทบาทของ Bacillus subtilis ในการปรับ

สมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้และเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหาร ส่งผลให้ร่างกายสัตว์ใช้ประโยชน์จากสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารได้มากขึ้นอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการควบคุมภาวะ oxidative stress โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระชนิดใดชนิดหนึ่ง

Table 6 Effects of Mn and *Bacillus subtilis* supplementations on serum antioxidant capacity of geese.

Treatment			
Mn (mg/kg)	BS (CFU/kg)	T-AOC (U/mL)	T-SOD (U/mL)
10	2.5×10^9	10.14^b	314.32^b
20	2.5×10^9	11.34^a	300.73^b
30	2.5×10^9	12.96^a	339.60^a
10	5.0×10^9	12.16^b	319.00^b
20	5.0×10^9	12.31^a	273.75^b
30	5.0×10^9	13.30^a	358.75^a
Main effect			
Mn (mg/kg)	10	11.15^b	316.10^b
	20	11.83^a	287.25^b
	30	13.13^a	349.17^a
B. subtilis (CFU/kg)	2.5×10^9	11.15^c	318.11
	5.0×10^9	12.59^a	317.17
SEM		8.13	55.99
P-value			
Mn		0.016	0.034
B. subtilis		<0.01	0.964
Mn × *B. subtilis*		0.312	0.661

In the same column, values with the same small or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), while values with adjacent small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), and values with alternate small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.01$).

Abbreviations: BS, *B. subtilis*; T-SOD, total superoxide dismutase; T-AOC, total antioxidant capacity.

SEM = standard error of mean

Source: Wang et al. (2022)

สรุป

จากการทบทวนเอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสริม *Bacillus subtilis* ในอาหารของห่านที่ระดับ 2.5×10^9 CFU/kg อาหาร และ 5.0×10^9 CFU/kg อาหาร จำนวน 3 ฉบับ ที่ตีพิมพ์ระหว่าง ปี ค.ศ. 2020-2022 การเสริมในระดับที่สูงขึ้น 5.0×10^9 CFU/kg อาหาร ช่วยเพิ่มค่าความหนาเปลือกไข่และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (T-AOC) สูงกว่าระดับที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการศึกษาที่นำมาวิเคราะห์เป็นการเสริมจุลินทรีย์โดยไม่มีกลุ่มควบคุม จึงไม่สามารถสรุปผลของ *Bacillus subtilis* ต่อคุณภาพไข่และศักยภาพสารต้านอนุมูลอิสระได้โดยตรง นอกจากนี้ การเสริมในระดับที่สูงเกินไปอาจส่งผลให้จุลินทรีย์กลายเป็นแหล่งสารอาหารของจุลชีพในลำไส้ ซึ่งอาจกระทบต่อสมดุลของระบบทางเดินอาหาร

เอกสารอ้างอิง

Bougouin, A., J. A. D. R. N. Appuhamy, E. Kebreab, J. Dijkstra and J. France. 2014. "Effects of phytase supplementation on phosphorus utilization and bone mineralization in laying hens". **Poultry Science.** 93: 2350–2359.

FAO. 2022. **Goose production and management**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/Y4359E/y4359e0i.htm 20 December.

Fan, W., J. Shi, B. Wang, M. Zhang, M. Kong and W. Li. 2022. "Effects of zinc and *Bacillus subtilis* on the reproductive performance, egg quality, nutrient digestion, intestinal morphology, and serum antioxidant capacity of geese breeders". **Poultry Science.** 101: 101677.

Fridovich, I. 1995. "Superoxide radical and superoxide dismutases". **Annual Review of Biochemistry.** 64: 97–112.

Ghiselli, A., Serafini, M., Natella, F. and Scaccini, C. (2000). "Total antioxidant capacity as a tool to assess redox status: Critical view and experimental data". **Free Radical Biology and Medicine.** 29(11): 1106–1114.

Karadas, F., Grammenidis, E., Surai, P. F., Acamovic, T. and Sparks, N. H. C. 2016."Effects of dietary natural antioxidants on the yolk carotenoid content and oxidative stability of eggs". **British Poultry Science.** 47(5): 561–568.

McCord, J. M. and Fridovich, I. 1969. "Superoxide dismutase: An enzymic function for erythrocuprein (hemocuprein)". **Journal of Biological Chemistry.** 244: 6049–6055.

Nishiyama, Y., K. Fukuda, H. Yamaguchi and K. Suzuki. 2021. “Regulation of calcium and phosphorus metabolism and medullary bone mobilization during eggshell formation in laying hens”. **Frontiers in Physiology.** 12: 640247.

Nys, Y., Gautron, J., Garcia-Ruiz, J. M. and Hincke, M. T. 2004. “Avian eggshell mineralization: biochemical and functional characterization of matrix proteins”. **Comptes Rendus Palevol.** 3(6–7): 549–562.

Roberts, J. R. 2004. “Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens”. **Journal of Poultry Science.** 41: 161–177.

Roberts, J. R. 2010. “Egg shell quality and bone strength in laying hens”. **World’s Poultry Science Journal.** 66(4): 711–722.

Silversides, F. G. and Scott, T. A. 2001.”Effect of storage and layer age on quality of eggs from two lines of hens”. **Poultry Science.** 80(8): 1240–1245.

Surai, P. F. (2016). “Antioxidant systems in poultry biology: Superoxide dismutase”. **Journal of Animal Research and Nutrition.** 1(1): 1–17.

Wang, Y., H. Wang, B. Wang, B. Zhang and W. Li. 2020. “Effects of manganese and *Bacillus subtilis* on the reproductive performance, egg quality, antioxidant capacity, and gut microbiota of breeding geese during laying period”. **Poultry Science.** 99: 6196–6204.

Zhang, B., F. Sui, B. Wang, Y. Wang and W. Li. 2020. “Dietary combined supplementation of iron and *Bacillus subtilis* enhances reproductive performance, eggshell quality, nutrient digestibility, antioxidant capacity, and hematopoietic function in breeder geese”. **Poultry Science.** 99: 6119–6127.

Zhu, J., Y. Ma, W. Ali, R. Yu, H. Zou and Z. Liu. 2025. “Investigation of off-season breeding effects on egg-laying performance, serum biochemical parameters, and reproductive hormones in Zhedong white geese”. **Veterinary Sciences.** 12(2): 179.

Zou, X., J. Ji, H. Qu, J. Wang, D. Shu, Y. Wang, T. Liu and H. Liu. 2021. “Effects of *Bacillus subtilis* supplementation on laying performance, eggshell quality, intestinal morphology, and calcium utilization in laying hens”. **Poultry Science.** 100: 101030.