ผลการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 ในอาหารต่อคุณภาพไข่ และความแข็งแรงของกระดูกในไก่ไข่

Effects of Dietary 25-hydroxyvitamin D_3 on Egg Quality and Bone Strength in Laying Hens

นพดล หล้าใต้

Noppadon Lartai

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทคัดย่อ

25-hydroxyvitamin D_3 และวิตามิน D_3 มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการดูดซึมและการใช้ประโยชน์ของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกาย ส่งผลต่อความแข็งแรงของกระดูกและคุณภาพไข่ในไก่ไข่ การทบทวนเอกสารวิชาการจำนวน 4 ฉบับ ระหว่างปี ค.ศ. 2021–2025 ซึ่งศึกษาการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 ในสูตรอาหาร พบว่าการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 ไม่มีผลชัดเจนต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักไข่ แสดงว่าไม่ได้มีบทบาทโดยตรงต่อการเพิ่มน้ำหนักไข่ แต่เกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุลแคลเซียมในร่างกาย ด้านคุณภาพเปลือกไข่ พบว่าการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 สามารถช่วยเพิ่มความหนาเปลือกไข่ได้ในบางสภาวะ โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับวิตามิน D_3 หรือในช่วงปลายการผลิต ขณะที่ค่าความแข็งแรงของเปลือกไข่และความแข็งแรงของกระดูก tibia ให้ผลไม่สอดคล้องกันในทุกการทดลอง อย่างไรก็ตาม การใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 มีแนวโน้มช่วยลดการสูญเสียมวลกระดูกได้ โดยรวมจึงสรุปได้ว่า การใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แคลเซียมและฟอสฟอรัส และสามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการโภชนาการเพื่อช่วยคงคุณภาพไข่และความแข็งแรงของกระดูกในไก่ไข่ โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับวิตามิน D_3 ในระดับที่เหมาะสม

คำสำคัญ : 25-hydroxyvitamin D_3 คุณภาพไข่ ความแข็งแรงกระดูก ไก่ไข่

บทนำ

การเลี้ยงไก่ไข่เชิงพาณิชย์ในปัจจุบันมีแนวโน้มยืดระยะการให้ผลผลิตออกไปส่งผลให้แม่ไก่ไข่มักประสบปัญหาคุณภาพเปลือกไข่ลดลงและความแข็งแรงของกระดูกลดลงส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตและสวัสดิภาพสัตว์ (Whitehead, 2004; Kim et al., 2012) ในไก่ไข่ 25-hydroxyvitamin D_3 มีบทบาทสำคัญและสามารถได้รับจากการใช้ในสูตรอาหารหรือจากการสัมผัสแสงแดดหรือแสงจากหลอดไฟ เมื่อ Vitamin D_3 เข้าสู่ร่างกายไก่ไข่จะถูกเอ็นไซม์จากตับที่ชื่อว่า 25-hydroxylase เปลี่ยนรูป vitamin D_3 ให้อยู่ในรูปของ 25-vitamin D_3 เข้าสู่ไตจะถูกเอ็นไซม์จากไตที่ชื่อว่า 1-α hydroxylase เปลี่ยนเป็นรูปที่ทำงานได้คือ1,25(OH)2D_3 ทำหน้าที่ดูดกลับแคลเซียมและฟอสฟอรัสจากลำไส้เล็กเข้ากระแสเลือดอีกครั้ง โดยมีการผลิตฮอร์โมน calcitonin จากเซลล์ ultimobranchial bodies เพื่อนำแคลเซียมและฟอสฟอรัสในกระแสเลือดไปสร้างกระดูก (bone formation) โดยมี osteroblast ทำหน้าที่สร้างเนื้อกระดูกแข็ง โดยในสัตว์ปีกเมื่อมีระดับฟอสเฟตหมุนเวียนในกระแสเลือดภายในไต ลำไส้เล็ก และกระดูกเพิ่มสูงขึ้นเกินปกติในกระดูกโดย fibroblast growth factor 23 (FGF23) จะไปมีบทบาทในการลดการดูดซึมฟอสเฟตกลับเข้าสู่ร่างกายผ่านการยับยั้ง 1α-hydroxylase activity มีผลยับยั้งการผลิต Vitamin D ที่ออกฤทธิ์ในไต ดังนั้นเมื่อการจัดการรักษาสมดุลของแร่ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกายไก่ไข่ที่ไม่เหมาะสมจะนำไปสู่การลดความหนาแน่นของกระดูกและคุณภาพเปลือกไข่จึงทำให้ 25-hydroxyvitamin D_3 มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการรักษาสมดุลดังกล่าว (Hurwitz, 1965 ; Whitehead, 2004) 25-hydroxyvitamin D_3 จึงมีบทบาทสำคัญในการควบคุมสมดุลของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกาย โดยช่วยเพิ่มการดูดซึมแคลเซียมจากลำไส้และส่งเสริมการสะสมแร่ธาตุในกระดูก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพไข่และความแข็งแรงของกระดูกในไก่ไข่ (Rodriguez-Lecompte et al., 2016; Swiatkiewicz et al., 2017) อย่างไรก็ตาม ในแม่ไก่ไข่ที่มีอายุมาก ประสิทธิภาพของการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 อาจลดลง ส่งผลให้การดูดซึมแคลเซียมและการสะสมแร่ธาตุในกระดูกลดลง (Keshavarz, 2003) งานวิจัยหลายฉบับรายงานว่าการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 หรือวิตามินดีในอาหารสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพเปลือกไข่และความแข็งแรงของกระดูก เช่น การเพิ่มความแข็งแรงของเปลือกไข่และคุณภาพกระดูก tibia (Gao et al., 2024; Li et al., 2023; Nuntapaitoon et al., 2025) ดังนั้น สัมมนาฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนผลของการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 ในอาหารต่อคุณภาพไข่และความแข็งแรงของกระดูกในไก่ไข่ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการโภชนาการและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

ผลการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 ในอาหารต่อ Average egg weight

Gao et al. (2024) ทำการศึกษาผลของการเสริม 25-hydroxyvitamin D_3 (25-OHD_3) ร่วมกับวิตามิน D_3 ต่อคุณภาพไข่ในไก่ไข่ โดยใช้ไก่ไข่อายุ 55 สัปดาห์ จำนวน 270 ตัว แบ่งเป็น 3 ทรีทเมนต์ ได้แก่ วิตามิน D_3 4000 IU/kg, 25-OHD_3 50 µg/kg ร่วมกับวิตามิน D_3 2000 IU/kg และ 25-OHD_3 50 µg/kg ร่วมกับวิตามิน D_3 4000 IU/kg พบว่า Average egg weight ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง (Table 1) เช่นเดียวกับ Li et al. (2023) ที่

ศึกษาผลของการใช้ 25-OHD$_3$ แทนวิตามิน D$_3$ โดยใช้ไก่ไข่จำนวน 900 ตัว แบ่งเป็น 3 ทรีทเมนต์ ได้แก่ วิตามิน D$_3$ 2800 IU/kg, 25-OHD$_3$ 69 µg/kg และ 25-OHD$_3$ 125 µg/kg พบว่า Average egg weight ไม่แตกต่างกัน (Table 3) นอกจากนี้ Li et al. (2021) ศึกษาการเสริมวิตามิน D$_3$ ที่ระดับ 300 และ 2800 IU/kg ร่วมกับการเสริม 25-OHD$_3$ ในไก่ไข่จำนวน 400 ตัว พบว่า Average egg weight ไม่แตกต่างกัน (Table 4) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้ 25-hydroxyvitamin D$_3$ มีบทบาทหลักในการควบคุมการดูดซึมแคลเซียมและฟอสฟอรัส รวมถึงการสะสมแร่ธาตุในกระดูกและเปลือกไข่มากกว่าการควบคุมการสร้างไข่แดงหรือไข่ขาวซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่กำหนดน้ำหนักไข่ ดังนั้นการใช้ 25-hydroxyvitamin D$_3$ จึงไม่ส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มน้ำหนักไข่ และทำให้ค่า Average egg weight ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง

Table 1 Effect of vitamin D$_3$ and 25-hydroxyvitamin D$_3$ supplementation on egg quality parameters of laying hens.

Items	Time/ Week	25-OHD$_3$ Levels,µg/kg			SEM	p-Value
		0	50			
		4000 IU VD$_3$	2000 IU VD$_3$	4000 IU VD$_3$		
Average egg weight (g)	1-4	62.04	61.99	61.88	0.20	0.95
	5-8	61.32	61.47	61.16	0.27	0.91
	9-12	61.14	61.91	62.12	0.55	0.60
Eggshell strength (N)	4	37.60	39.32	40.00	0.45	0.07
	8	33.32^{b}	33.19^{b}	36.66^{a}	0.44	<0.01
	12	36.36^{b}	35.14^{a}	34.21^{ab}	0.28	0.02
Haugh unit	4	75.89^{b}	81.33^{a}	82.37^{a}	0.73	<0.01
	8	77.02^{b}	83.53^{a}	83.30^{a}	0.85	<0.01
	12	79.17^{b}	85.32^{a}	84.77^{a}	0.74	<0.01

Means within a row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

Source: Gao et al. (2024)

ผลการใช้ 25-hydroxyvitamin D$_3$ ในอาหารต่อ Eggshell thickness

Nuntapaitoon et al. (2025) ทำการศึกษาการเสริม วิตามิน D$_3$ ร่วมกับ 25-OHD$_3$ ในไก่ไข่ โดยใช้ไก่จำนวน 24,862 ตัว แบ่งเป็น 2 ทรีทเมนต์ ได้แก่ วิตามิน D$_3$ 3000 IU/kg และวิตามิน D$_3$ 1500 IU/kg ร่วมกับ 25-OHD$_3$ 1500 IU/kg พบว่า Eggshell thickness เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Table 2) ในทำนองเดียวกัน Li et al. (2023)

พบว่า Eggshell thickness มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทรีตเมนต์ (Table 3) อย่างไรก็ตาม Li et al. (2021) รายงานว่า Eggshell thickness ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง (Table 4) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 ต่อ eggshell thickness ยังไม่สอดคล้องกันในแต่ละการทดลอง โดย 25-hydroxyvitamin D_3 มีบทบาทหลักในการควบคุมการดูดซึมและการใช้แคลเซียม ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเปลือกไข่ จึงอาจช่วยเพิ่มความหนาเปลือกไข่ในกรณีที่ไก่มีความต้องการแคลเซียมสูง แต่เมื่อได้รับ 25-hydroxyvitamin D_3 ในระดับที่เพียงพอแล้ว การเพิ่มในระดับสูงขึ้นอาจไม่ทำให้ eggshell thickness เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

Table 2 Effect of 25-hydroxyvitamin D_3 supplementation on egg quality parameters of late-stage laying hens.

Parameters	Control	Treatment	P-value
Eggshell thickness (mm)	0.380	0.390	0.030
Eggshell strength (kgf)	4.2	4.2	0.769
Haugh unit	95.5	92.1	0.020

Remark: Values are presented as mean.

Control = hens fed a diet containing vitamin D_3 at 3,000 IU/kg

Treatment = hens fed a diet containing vitamin D_3 at 1,500 IU/kg and 25-hydroxyvitamin D_3 at 1,500 IU/kg.

Source: Nuntapaitoon et al. (2025)

ผลการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 ในอาหารต่อ Eggshell strength

Gao et al. (2024) พบว่า Eggshell strength เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในสัปดาห์ที่ 8 ในกลุ่มที่ได้รับการเสริม 25-OHD_3 ร่วมกับ D_3 (Table 1) อย่างไรก็ตาม Nuntapaitoon et al. (2025) ไม่พบความแตกต่างของ Eggshell strength ระหว่างกลุ่มทดลอง (Table 2) ซึ่งสอดคล้องกับ Li et al. (2023) และ Li et al. (2021) ที่พบว่า Eggshell strength ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง (Table 3 และ Table 4) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผลของการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 ต่อ Eggshell ไม่ได้มีผลต่อ eggshell strength อย่างสม่ำเสมอในทุกการทดลอง เนื่องจาก 25-hydroxyvitamin D_3 มีหน้าที่หลักในการควบคุมการดูดซึมและการใช้แคลเซียม ซึ่งมีผลต่อการสร้างเปลือกไข่โดยทางอ้อม ดังนั้นเมื่อไก่ได้รับแคลเซียมและ 25-hydroxyvitamin D_3 ในระดับที่เพียงพอแล้ว การเพิ่มระดับ 25-hydroxyvitamin D_3 อาจไม่ทำให้ความแข็งแรงของเปลือกไข่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน จึงทำให้ผลการทดลองในแต่ละงานวิจัยแตกต่างกัน

Table 3 Effect of vitamin D_3 and 25-hydroxyvitamin D_3 supplementation on egg quality parameters of laying hens at different ages.

Items	VD_3 2800 IU/Kg	25-OHD 69 µg/kg	25-OHD 125 µg/kg	SEM	p-Value
Average egg weight (g)	62.9	62.4	62.5	0.4	0.579
Eggshell thickness (mm)					
50 w	0.417	0.399	0.397	0.008	0.234
60 w	0.3864^{ab}	0.397^{a}	0.373^{b}	0.005	0.012
70 w	0.389	0.381	0.378	0.008	0.607
Eggshell strength (kg/cm^2)					
50 w	4.62	4.24	4.44	0.15	0.233
60 w	4.38	4.50	3.99	0.17	0.113
70 w	3.99	4.11	4.17	0.14	0.653
Haugh unit					
50 w	82.0	79.8	78.9	2.0	0.533
60 w	78.7	79.3	77.0	2.3	0.763
70 w	79.3	74.0	77.2	2.1	0.232

SEM = standard error of the mean.

Means within a row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

Source: Li et al. (2023)

ผลการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 ในอาหารต่อ Haugh unit

Gao et al. (2024) พบว่า Haugh unit สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามิน D_3 (Table 1) อย่างไรก็ตาม Nuntapaitoon et al. (2025) รายงานว่า Haugh unit มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในกลุ่มที่ได้รับการเสริมวิตามิน D_3 (Table 2) ขณะที่ Li et al. (2023) และ Li et al. (2021) พบว่า Haugh unit ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองในทุกช่วงอายุการผลิต (Table 3 และ Table 4) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผลการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 ต่อค่า Haugh unit ข้อสรุปชัดเจนในแต่ละการศึกษาอาจเป็นเพราะระดับการใช้ 25-

hydroxyvitamin D_3 ในแต่ละการศึกษาที่แตกต่างกัน การตอบสนองต่อการได้รับ25-hydroxyvitamin D_3 ความสามารถในการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 และผลจาก 25-hydroxyvitamin D_3 ที่ส่งผลต่อ Haugh unit อาจไม่ได้ส่งผลกระทบโดยตรง

Table 4. Effects of vitamin D_3 and 25-OHD_3 on egg quality in laying hens.

	300 IU/kg VD_3		2800 IU/kg VD_3			p-Value		
	25-OHD(-)	25-OHD(+)	25-OHD(-)	25-OHD(+)	SEM	VD_3	25-OHD	VD_3 x 25-OHD
Average egg								
Egg weight (g)	62.6	63.0	62.6	63.0	0.4	0.959	0.361	0.929
Eggshell thickness (mm)								
20 w	0.433	0.437	0.436	0.439	0.01	0.793	0.707	0.991
40 w	0.383	0.390	0.390	0.382	0.01	0.975	0.950	0.254
60 w	0.382	0.385	0.382	0.380	0.01	0.806	0.907	0.773
70 w	0.384	0.368	0.354	0.378	0.01	0.593	0.900	0.107
Eggshell strength (kgf)								
20 w	4.99	4.80	4.82	4.86	0.11	0.640	0.534	0.317
40 w	4.76	4.76	4.57	4.54	0.14	0.179	0.911	0.951
60 w	4.26	4.25	4.21	4.31	0.15	0.984	0.753	0.717
70 w	4.20	4.27	4.11	4.25	0.18	0.766	0.561	0.844

SEM = standard error of the mean.

Means within a row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

Source: Li et al. (2021)

Table 5. Effects of vitamin D_3 and 25-OHD_3 on tibia strength in laying hens.

Items	VD_3 2800 IU/Kg	25-OHD 69 µg/kg	25-OHD 125 µg/kg	SEM	p-Value
Tibia strength (kgf)					
10 w	15.1[ab]	17.4[b]	12.8[a]	0.9	0.023
20 w	17.0	17.2	19.4	1.5	0.488
72 w	16.0	18.3	18.2	1.1	0.262

SEM = standard error of the mean.

Source: Li et al. (2023)

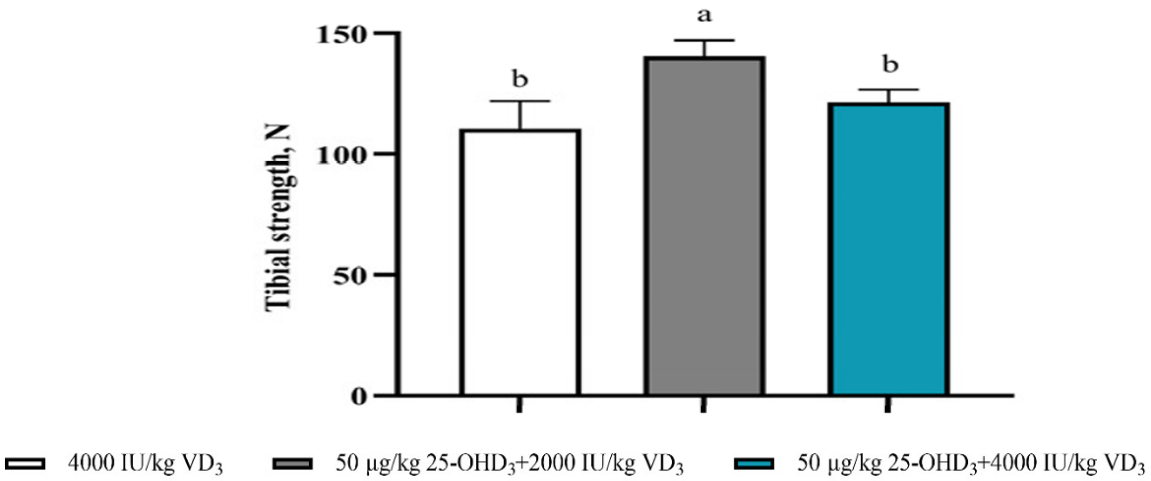

Figure 1 Effect of vitamin D_3 and 25-hydroxyvitamin D_3 supplementation on tibia strength of laying hens.

Control = hens fed a basal diet without vitamin D_3 supplementation; VD_3-supplemented groups received dietary vitamin D_3 at different levels.

Source: Gao et al. (2024)

ผลการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 ในอาหารต่อความแข็งแรงของกระดูก (Tibia strength)

Gao et al. (2024) ศึกษาการใช้ 25-hydroxyvitamin D_3 ร่วมกับวิตามิน D_3 พบว่าโดยภาพรวมกลุ่มที่ได้รับ 25-OHD_3 มีค่าความแข็งแรงของกระดูก tibia สูงกว่ากลุ่มควบคุม แสดงว่าการใช้ 25-OHD_3 อาจช่วยลดการสูญเสียมวลกระดูกได้ Li et al. (2023) ศึกษาการใช้ 25-OHD_3 ในระดับต่างกันและประเมินค่าความแข็งแรงของกระดูก พบว่า tibia strength ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง แสดงว่าการเพิ่มระดับ 25-OHD_3 อาจไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของกระดูก ในทำนองเดียวกัน Li et al. (2021) ที่ใช้ 25-OHD_3 ร่วมกับระดับวิตามิน D_3 ที่แตกต่างกัน

พบว่า tibia strength ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง แสดงว่าการใช้ 25-OHD$_3$ เมื่อได้รับในระดับที่เพียงพอแล้ว อาจไม่ทำให้ความแข็งแรงของกระดูกเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สรุปได้ว่าผลของการใช้ 25-hydroxyvitamin D$_3$ ต่อ tibia strength ยังไม่สอดคล้องกันในแต่ละการทดลอง โดย 25-OHD$_3$ มีบทบาทในการควบคุมการดูดซึมและการใช้แคลเซียมและฟอสฟอรัส ซึ่งมีผลต่อการสร้างและการคงสภาพของกร

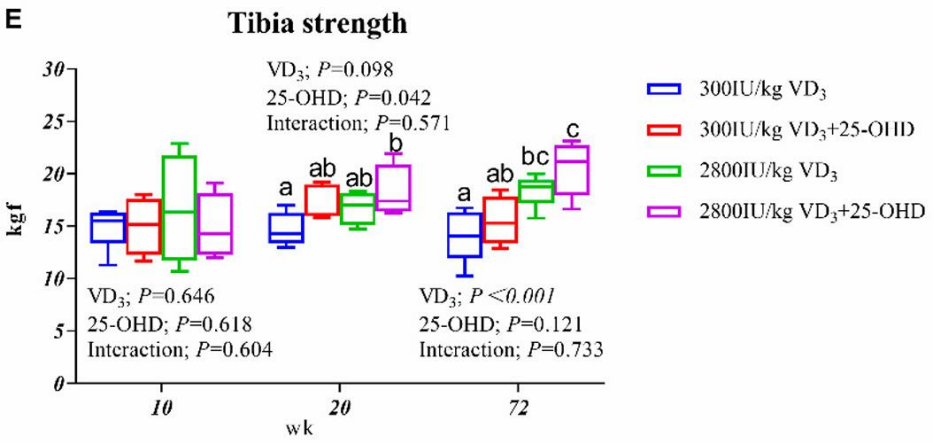

Figure 2 Effect of vitamin D$_3$ supplementation on tibia strength of laying hens at different ages. Bars represent mean values ± SEM.

Source: Li et al. (2021)

สรุป

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ 25-hydroxyvitamin D$_3$ (25-OHD$_3$) ต่อคุณภาพไข่และความแข็งแรงของกระดูกในไก่ไข่ จำนวน 4 ฉบับ ที่ศึกษาทั้งในไทยและต่างประเทศในช่วงปี 2021–2025 พบว่า การใช้ 25-hydroxyvitamin D$_3$ ไม่มีผลอย่างชัดเจนต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักไข่ แสดงว่า 25-OHD$_3$ ไม่ได้มีบทบาทโดยตรงต่อการเพิ่มน้ำหนักไข่ แต่มีหน้าที่สำคัญในการควบคุมสมดุลแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกาย ในด้านคุณภาพเปลือกไข่ โดยเฉพาะความหนาเปลือกไข่ ขณะที่ค่าความแข็งแรงของเปลือกไข่และความแข็งแรงของกระดูก tibia ให้ผลไม่สอดคล้องกันในทุกการทดลอง อย่างไรก็ตาม การใช้ 25-hydroxyvitamin D$_3$ มีแนวโน้มช่วยลดการสูญเสียมวลกระดูกได้ เมื่อพิจารณาระดับการใช้ พบว่าเมื่อได้รับในระดับที่เพียงพอแล้ว การเพิ่มระดับ 25-OHD$_3$ ไม่ได้แสดงประโยชน์เพิ่มเติมอย่างชัดเจน ดังนั้นการใช้ 25- hydroxyvitamin D$_3$ จึงสามารถเป็นแนวทางในการจัดการโภชนาการเพื่อช่วยคงคุณภาพไข่และความแข็งแรงของกระดูกในไก่ไข่ โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับวิตามิน D$_3$ ในระดับที่เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

Gao, Y., Liu, H., Wang, J., and Chen, X. (2024). Effects of vitamin D_3 supplementation on egg quality and bone characteristics in laying hens. **Animals**, 14, 878.

Hurwitz, S. (1965). Calcium metabolism and requirements in poultry. World's Poultry **Science Journal**, 21, 9–20.

Keshavarz, K. (2003). The effect of dietary levels of calcium and vitamin D on performance and eggshell quality of laying hens. **Poultry Science**, 82, 71–78.

Kim, W. K., Bloomfield, S. A., Sugiyama, T., and Ricke, S. C. (2012). Concepts and methods for understanding bone metabolism in laying hens. **World's Poultry Science Journal,** 68, 71–82.

Li, X., Zhang, B., Li, J., and Wang, Y. (2021). Effects of dietary vitamin D_3 supplementation on laying performance, egg quality and bone strength in laying hens. Agriculture, 11(8), 698.

Li, X., Zhang, B., Li, J., and Wang, Y. (2023). Dietary vitamin D_3 improves eggshell quality and skeletal health of laying hens. **Agriculture**, 13, 383.

Nuntapaitoon, M., Choisunirachon, N., Techangvamsuwan, S., and Jittidecha, J. (2025). Effects of 25-hydroxyvitamin D_3 supplementation as a partial replacement for vitamin D_3 on laying performance, egg quality, and bone traits in late-stage laying hens. **Thai Journal of Veterinary Medicine**, 55(2), 14.

Rodriguez-Lecompte, J. C., Yitbarek, A., Brady, J., Sharif, S., Cuperus, T., House, J. D., and Camara, L. (2016). Maternal dietary vitamin D_3 supplementation enhances immune response and bone development in poultry. **Poultry Science**, 95, 2401–2410.

Swiatkiewicz, S., Arczewska-Włosek, A., and Jozefiak, D. (2017). The efficacy of dietary vitamin D_3 and its metabolites in poultry nutrition: A review. **World's Poultry Science Journal**, 73, 571–584.

Whitehead, C. C. (2004). Overview of bone biology in the egg-laying hen. **Poultry Science**, 83, 193–199.