

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 ผลของโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารต่อผลผลิตไข่ และลักษณะภายนอกไข่

ผลของอาหารต่อสมรรถภาพในการผลิตไข่

1. ผลต่อผลผลิต น้ำหนัก และมวลไข่

ความผันแปรร่วมระหว่างโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารตลอดระยะเวลาการทดลองมีอิทธิพลต่อความผันแปรของผลผลิต น้ำหนัก และมวลไข่อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 12 - 14 แต่พบว่าระดับโปรตีนมีผลให้ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และมวลไข่ตลอดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนมีผลให้น้ำหนักไข่ตลอดการทดลองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$; ตารางผนวกที่ ก2)

โดยในช่วง 21-32 สัปดาห์ระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อการให้ผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ขณะที่ในช่วง 33-48 สัปดาห์กลับพบว่าอิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารมีผลต่อการให้ผลผลิต โดยไก่ที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีนให้ผลผลิตไข่ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 16 และ 18% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ส่วนน้ำหนักไข่พบว่าระดับของโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารมีผลให้น้ำหนักไข่เพิ่มขึ้น โดยช่วง 21-32 สัปดาห์กลุ่มที่ได้รับอาหาร 18% โปรตีนมีน้ำหนักไข่มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) เช่นเดียวกับอาหารที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน (CP : Met 51.62) มีน้ำหนักไข่น้อยกว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ส่วนในช่วง 33-48 สัปดาห์ก็ให้ผลเช่นเดียวกับในช่วงแรก โดยกลุ่มที่ได้รับอาหาร โปรตีนสูง (16 และ 18%) มีน้ำหนักไข่มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) และการเสริมเมทไธโอนีนที่มี CP : Met เท่ากับ 31.82 ให้น้ำหนักไข่มากกว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

สำหรับมวลไข่พบความแตกต่างกันในทั้ง 2 ช่วงของการทดลอง โดยในช่วง 21-32 สัปดาห์พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีนมีมวลไข่ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 16 และ 18% โปรตีน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อมวลไข่ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เช่นเดียวกับในช่วง 33-48 สัปดาห์ที่ไม่พบว่าการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารมีผลต่อมวลไข่ แต่ระดับโปรตีนในอาหารมีผลต่อมวลไข่โดยกลุ่มที่ได้รับอาหาร 18 และ 16% โปรตีนมีมวลไข่มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

ระดับโปรตีนในอาหารที่ต่างกันมีผลต่อความผันแปรของผลผลิต น้ำหนัก และมวลไข่ โดยการใช้อาหารโปรตีนที่สูงขึ้นทำให้ผลผลิตไข่เพิ่มขึ้น ลักษณะเช่นนี้สอดคล้องกับ Reid (1976); Valencia *et al.* (1980); Pesti (1991); Coon (1993); Yakout *et al.* (2002) และ Bunchasak *et al.* (2005) ที่รายงานว่าระดับโปรตีนในอาหารมีผลต่อการให้ผลผลิตไข่ ทั้งนี้อาจเนื่องจากในไข่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบถึง 12-13% (Li-Chan *et al.*, 1995; Etches, 1996 และ USDA, 2002) จึงทำให้ไก่มีความต้องการโปรตีนเพื่อนำไปสร้างเป็นไข่ แต่หากพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนที่ได้รับกับการให้ผลผลิตไข่ในช่วง 21-32 สัปดาห์พบว่ามีความสัมพันธ์กันต่ำ ($r = 0.20$; $P > 0.05$) จึงเป็นไปได้ว่าไก่ในช่วงระยะนี้อาจมีความต้องการโปรตีนที่ไม่สูงมากนักเพราะสามารถใช้สารอาหารที่สะสมในร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามระดับโปรตีนในอาหารมีความสัมพันธ์กับผลผลิตไข่ที่เพิ่มขึ้นในช่วง 33-48 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญ ($r = 0.51$; $P < 0.01$) แสดงให้เห็นว่าการใช้อาหารที่มีโปรตีนต่ำ (14%) มีอิทธิพลต่อการให้ผลผลิตในระยะยาวมากกว่า ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารแม้ไม่มีผลต่อการให้ผลผลิตไข่ออย่างมีนัยสำคัญ แต่ Brody (1994) รายงานว่าการเสริมเมทไธโอนีนสามารถช่วยปรับปรุงสมดุลของไนโตรเจนในอาหาร และทำให้สมดุลไนโตรเจนในร่างกายดีขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับ ทวีศักดิ์และคณะ (2546) ที่รายงานว่าไก่ที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีนที่มีการเสริมเมทไธโอนีน 0.44% ให้ผลผลิตไข่ไม่ต่างกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับอาหาร 16% โปรตีนที่มีเมทไธโอนีน 0.38% อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าในการศึกษาครั้งนี้พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 18% โปรตีนและเสริมเมทไธโอนีนให้มี CP : Met เท่ากับ 31.82 กลับมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตไข่ลดลง ซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจเกิดจากระดับเมทไธโอนีนที่สูงนั้นก่อให้เกิดความไม่สมดุลของจนทำให้ปริมาณอาหารที่ได้รับมีปริมาณลดลง (Harper and Rogers, 1965) จึงมีผลให้ผลผลิตไข่ลดลงในช่วง 33-48 สัปดาห์

สำหรับน้ำหนักไข่ที่เพิ่มขึ้นพบว่าเกิดจากความผันแปรร่วมของระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหาร โดยไก่ในกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง (16 และ 18%) มีน้ำหนักฟองไข่มากกว่ากลุ่ม 14% โปรตีน เช่นเดียวกับสัดส่วน CP : Met ที่ลดลง (ปริมาณ Met เพิ่มขึ้น) มีผลให้น้ำหนักไข่เพิ่ม

ขึ้น โดยพบว่ามีสหสัมพันธ์ระดับปานกลางอย่างมีนัยสำคัญยิ่งระหว่างปริมาณโปรตีน ($r = 0.51$, 0.45 ; $P < 0.01$) และเมทไธโอนีนที่ได้รับ ($r = 0.45$, 0.46 ; $P < 0.01$) กับน้ำหนักฟองไข่ทั้งในช่วง 21-32 และ 33-48 สัปดาห์ตามลำดับ ดังนั้นการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไก่ไข่จึงเป็นการช่วยเพิ่มน้ำหนักไข่ให้เพิ่มขึ้น มากกว่าช่วยเพิ่มผลผลิตไข่ซึ่งลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Chung Hsu *et al.* (1998) และ Bunchasak and Silapasorn (2005) ที่รายงานว่า การเสริมเมทไธโอนีนในอาหารโปรตีนต่ำมีผลให้น้ำหนักไข่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม และไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง

ส่วนค่ามวลไข่ซึ่งเป็นผลคูณที่ได้จากผลผลิตไข่กับน้ำหนักไข่ ดังนั้นไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง (16 และ 18% โปรตีน) ซึ่งมีผลผลิตไข่และน้ำหนักไข่สูงกว่ากลุ่ม 14% โปรตีน ดังนั้นเมื่อนำมาคำนวณเป็นมวลไข่จึงมีค่ามากกว่า อีกทั้งยังพบความสัมพันธ์ระดับปานกลางอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณโปรตีน ($r = 0.47$, 0.61 ; $P < 0.01$) และเมทไธโอนีนที่ได้รับ ($r = 0.37$, 0.38 ; $P < 0.01$) กับมวลไข่ทั้งในช่วง 21-32 และ 33-48 สัปดาห์ตามลำดับซึ่งลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองของ Bunchasak *et al.* (2005) ที่รายงานว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหาร 16 และ 18% โปรตีนมีมวลไข่มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีน และการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารสามารถเพิ่มมวลไข่ได้ (Harms and Russell, 1996)

ตารางที่ 12 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อผลผลิตไข่ไก่

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
ผลผลิตไข่	14	91.26	93.05	92.79	93.14	92.56				
ช่วง 21-32 สัปดาห์	16	93.10	93.41	93.74	94.01	93.57	0.30	0.97	0.75	0.30
(%)	18	94.64	93.58	93.38	92.96	93.64				
	เฉลี่ย	93.00	93.35	93.30	93.37					
ผลผลิตไข่	14	84.95	86.91	86.86	88.49	86.80 ^Y				
ช่วง 33-48 สัปดาห์	16	88.24	89.43	91.00	89.88	89.64 ^X	<0.01	0.60	0.18	0.50
(%)	18	92.15	93.76	90.83	88.20	91.23 ^X				
	เฉลี่ย	88.45	90.03	89.56	88.86					

หมายเหตุ ^X และ ^Y อักษรต่างกันแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

ตารางที่ 13 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อน้ำหนักฟองไข่

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
น้ำหนักฟองไข่	14	55.77	56.79	56.85	56.80	56.55 ^Y				
ช่วง 21-32 สัปดาห์	16	57.41	58.29	57.93	58.08	57.93 ^X	<0.01	0.04	0.87	0.17
(g)	18	57.62	58.41	58.14	59.29	58.36 ^X				
	เฉลี่ย	56.93 ^b	57.83 ^a	57.64 ^{ab}	58.06 ^a					
น้ำหนักฟองไข่	14	58.22	57.90	57.83	59.11	58.27 ^Y				
ช่วง 33-48 สัปดาห์	16	58.41	59.54	60.24	59.87	59.51 ^X	<0.01	0.02	0.23	0.18
(g)	18	59.32	60.21	59.16	60.97	59.91 ^X				
	เฉลี่ย	58.65 ^b	59.21 ^{ab}	59.08 ^b	59.98 ^a					

หมายเหตุ ^X และ ^Y อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^a และ ^b อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 14 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อมวลไข่

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
มวลไข่	14	50.91	52.86	52.74	52.94	52.36 ^Y				
ช่วง 21-32 สัปดาห์	16	53.48	54.50	54.33	54.60	54.23 ^X	<0.01	0.21	0.90	0.24
	18	54.54	54.72	54.33	55.13	54.68 ^X				
	เฉลี่ย	52.98	54.03	53.80	54.22					
มวลไข่	14	49.41	50.28	50.23	52.28	50.55 ^Y				
ช่วง 33-48 สัปดาห์	16	51.53	53.22	54.81	53.79	53.34 ^X	<0.01	0.28	0.13	0.36
	18	54.64	56.41	53.71	53.71	54.62 ^X				
	เฉลี่ย	51.86	53.30	52.92	53.26					

หมายเหตุ ^X และ ^Y อักษรต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

2. ผลต่อน้ำหนักตัว และอัตราการตาย

ผลของระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารต่อน้ำหนักตัว และอัตราการตายดังแสดงในตารางที่ 15 และ 16 ไม่พบว่ามีความผันแปรร่วมระหว่างระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดระยะเวลาการทดลอง ($P>0.05$) แต่อิทธิพลของโปรตีนมีผลให้น้ำหนักตัวตลอดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนไม่มีผลต่อน้ำหนักตัวและอัตราการตายตลอดการทดลอง ($P>0.05$; ตารางผนวกที่ ก2)

โดยในช่วง 21-32 สัปดาห์ไม่พบว่าอิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารมีผลต่อน้ำหนักตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 18% โปรตีนมีแนวโน้มทำให้น้ำหนักตัวมากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 16 และ 14% โปรตีน ($P>0.05$) ขณะที่ในช่วง 33-48 สัปดาห์กลับพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีนมีน้ำหนักตัวน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 18 และ 16% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ($P>0.05$) เช่นเดียวกับอัตราการตายที่ตลอดระยะเวลาของการทดลองไม่พบว่าอิทธิพลของระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนมีผลต่ออัตราการตายของไก่ไข่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ระดับโปรตีนในอาหารที่สูงมีผลให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น โดยไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหาร 16 และ 18% โปรตีนมีน้ำหนักตัวมากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีนซึ่งลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Yakout *et al.* (2002) ที่รายงานว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำ (14% CP; TSAA:Lysine 0.71) มีน้ำหนักตัวน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง (16 และ 18% CP; TSAA:Lysine 0.71) แต่ขัดแย้งกับรายงานของ Chung Hsu *et al.* (1998), Bunchasak and Silapasorn (2005), Bunchasak *et al.* (2005) ที่รายงานว่าระดับโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่อน้ำหนักตัวของไก่ไข่ ซึ่งในการศึกษาทดลองครั้งนี้พบความสัมพันธ์ระดับต่ำระหว่างปริมาณโปรตีน ($r = 0.25$; $P<0.05$) และเมทไธโอนีนที่ได้รับ ($r = 0.15$; $P>0.05$) กับน้ำหนักตัวในช่วงอายุ 21-32 สัปดาห์ ขณะที่ในช่วง 33-48 สัปดาห์กลับพบว่าปริมาณโปรตีนและเมทไธโอนีนที่ได้รับมีผลต่อน้ำหนักตัว โดยพบความสัมพันธ์ปานกลางอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณโปรตีนที่ได้รับกับน้ำหนักตัว ($r = 0.53$; $P<0.01$) และระดับต่ำอย่างมีนัยสำคัญปริมาณเมทไธโอนีนที่ได้รับกับน้ำหนักตัว ($r = 0.30$; $P = 0.01$) ซึ่งสาเหตุที่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและเมทไธโอนีนที่ได้รับกับน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วง 21-32 สัปดาห์แต่พบในช่วง 33-48 สัปดาห์นั้นอาจเนื่องมาจากในช่วง 21-32 สัปดาห์ไก่

ไขยังคงใช้สารอาหารที่สะสมในอยู่ร่างกาย ส่วนในช่วง 33-48 สัปดาห์นั้นเนื่องจากกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูงมีปริมาณโปรตีนและเมทไธโอนีนที่ได้รับมากกว่าจึงมีการเปลี่ยนโปรตีนที่เกินความต้องการมาเป็นไขมันสะสมในร่างกายจึงทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น โดย ทวีศักดิ์ (2546) รายงานว่าพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนและเมทไธโอนีนกับเปอร์เซ็นต์ไขมันช่องท้องที่เพิ่มขึ้น ($r = 0.70$ และ 0.54 ตามลำดับ)

สำหรับอัตราการตายที่พบว่าในแต่ละกลุ่มนั้นไม่แตกต่างกัน อาจมีผลเนื่องมาจากไก่ไข่ถูกเลี้ยงอยู่ในโรงเรือนระบบปิดที่มีการควบคุมอุณหภูมิตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยเท่ากับ 25.65 ± 1.75 (ตารางผนวกที่ ก1) ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ไก่ไข่อยู่สบาย (comfort zone) และไม่ได้รับอิทธิพลความเครียดจากความร้อน (heat stress) หรือความร้อนที่ผลิตขึ้นจากการเผาผลาญสารอาหาร (heat production) สอดคล้องกับรายงานของ Keshavarz (1990) ที่รายงานว่าช่วงอุณหภูมิที่สัตว์ปีกอยู่สบายนั้นอยู่ในช่วง $18.3\text{--}23.9$ °C ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในโรงเรือนในการศึกษาครั้งนี้จึงทำให้ไก่มีอัตราการตายไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 15 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อน้ำหนักตัว

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
น้ำหนักตัว	14	1689.86	1697.40	1692.69	1699.43	1694.85				
ช่วง 21-32 สัปดาห์	16	1725.05	1725.63	1715.36	1712.89	1719.73	0.09	0.97	0.96	5.26
(กรัม)	18	1719.82	1707.81	1720.95	1736.20	1721.20				
	เฉลี่ย	1711.58	1710.28	1709.67	1716.18					
น้ำหนักตัว	14	1808.05	1816.04	1818.56	1826.75	1817.35 ^Y				
ช่วง 33-48 สัปดาห์	16	1874.95	1876.34	1876.49	1897.91	1881.42 ^X	<0.01	0.83	0.85	7.02
(กรัม)	18	1909.68	1864.82	1895.22	1880.15	1887.47 ^X				
	เฉลี่ย	1864.23	1852.40	1863.42	1868.27					

หมายเหตุ ^X และ ^Y อักษรต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

ตารางที่ 16 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่ออัตราการตาย

	ระดับโปรตีน	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
	(CP)	51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
อัตราการตาย	14	0.33	0.33	0.22	0.28	0.29				
ช่วง 21-32 สัปดาห์	16	0.11	0.11	0.39	0.22	0.21	0.68	0.86	0.41	0.04
(%)	18	0.28	0.44	0.17	0.11	0.25				
	เฉลี่ย	0.24	0.30	0.26	0.20					
อัตราการตาย	14	0.04	0.21	0.08	0.04	0.09				
ช่วง 33-48 สัปดาห์	16	0.12	0.04	0.08	0.04	0.07	0.68	0.60	0.63	0.02
(%)	18	0.08	0.08	0.00	0.10	0.05				
	เฉลี่ย	0.08	0.11	0.06	0.05					

3. ผลต่อปริมาณสารอาหารที่กินได้ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรูขี้เฒ่า และต้นทุนในการผลิตไข่

ไม่พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารต่อปริมาณอาหาร โปรตีนที่กินได้ อัตราการเปลี่ยนอาหาร และต้นทุนในการผลิตไข่ตลอดระยะเวลาการทดลอง ($P>0.05$; ตารางที่ 17 - 21) แต่อิทธิพลของโปรตีนมีผลต่อปริมาณโปรตีนที่กินได้ อัตราการเปลี่ยนอาหาร และต้นทุนในการผลิตไข่ตลอดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนมีผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรูขี้เฒ่าตลอดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$; ตารางผนวกที่ ก2)

ส่วนปริมาณเมทไธโอนีนที่กินได้ (ตารางที่ 19) พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารทั้ง 2 ช่วงของการทดลอง โดยไก่กลุ่มที่ได้รับอาหาร 18% โปรตีนที่เสริมเมทไธโอนีน 0.56% เป็นกลุ่มที่มีปริมาณเมทไธโอนีนที่กินได้มากที่สุด ขณะที่กลุ่มที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีนที่มีปริมาณเมทไธโอนีน 0.28% เป็นกลุ่มที่มีปริมาณเมทไธโอนีนที่กินได้น้อยกว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)

ในช่วง 21-32 สัปดาห์พบว่าไก่ในกลุ่มที่ได้รับอาหาร 16 และ 18% โปรตีนมีปริมาณอาหารและโปรตีนที่กินได้มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ขณะที่ในช่วง 33-48 สัปดาห์ไม่พบวาระดับโปรตีนในอาหารมีผลต่อปริมาณอาหารที่กินได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่กินได้ โดยกลุ่มที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีนมีปริมาณโปรตีนที่กินได้น้อยกว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนปริมาณเมทไธโอนีนที่กินได้ พบว่ากลุ่มที่กินได้อาหาร 18% โปรตีนมีปริมาณเมทไธโอนีนที่กินได้มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 16 และ 14% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ทั้งในช่วง 21-32 และ 33-48 สัปดาห์ ขณะที่การเสริมเมทไธโอนีนในอาหารมีผลให้ปริมาณเมทไธโอนีนที่กินได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)

กลุ่มที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีนมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักรูขี้เฒ่าในช่วง 21-32 สัปดาห์น้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 16 และ 18% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไม่พบว่ามีผลในช่วงเวลาดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ขณะที่ในช่วง 33-48 สัปดาห์พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 18 และ 16% โปรตีนมีอัตราการ

เปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไขดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ส่วนกลุ่มที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน (CP : Met 51.62) มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไขดีกว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สำหรับต้นทุนในการผลิตไข่ 1 กิโลกรัมนั้นพบว่าในช่วง 21-32 สัปดาห์กลุ่มที่ได้รับอาหาร 16 และ 14% โปรตีนมีต้นทุนในการผลิตไข่ 1 กิโลกรัมต่ำกว่าไกลุ่มที่ได้รับอาหาร 18% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ส่วนในช่วง 33-48 สัปดาห์กลุ่มที่ได้รับอาหาร 16% โปรตีนมีต้นทุนในการผลิตไข่ 1 กิโลกรัมน้อยกว่ากลุ่ม 14 และ 18% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ขณะที่การเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อต้นทุนในการผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ระดับโปรตีนในอาหารมีผลต่อปริมาณอาหารที่ได้รับ โดยพบความสัมพันธ์ระดับปานกลางอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณโปรตีนกับปริมาณอาหารที่ได้รับ ($r = 0.47, 0.34; P < 0.01$) ในช่วง 21-32 และ 33-48 สัปดาห์ ขณะที่เมทไธโอนีนไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณอาหารที่ได้รับซึ่งแสดงให้เห็นว่าระดับโปรตีนมีอิทธิพลมากกว่าระดับเมทไธโอนีนในอาหาร การศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของ ทวีศักดิ์ (2546) ที่รายงานว่าปริมาณโปรตีนมีความสัมพันธ์กับปริมาณอาหาร ($r = 0.85$) มากกว่าปริมาณเมทไธโอนีนที่ได้รับ ($r = 0.73$)

ไก่ไขกลุ่มที่ได้รับอาหาร โปรตีนสูงมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไขดีกว่ากลุ่ม 14% โปรตีนซึ่งลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับ Bunchasak and Silapasorn (2005) และ Bunchasak *et al.* (2005) ที่รายงานว่าการใช้อาหาร โปรตีนสูงมีผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไขดีขึ้น นอกจากนี้การเสริมเมทไธโอนีนยังมีผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไขดีขึ้น โดย Chung Hsu *et al.* (1998) และ Bunchasak and Silapasorn (2005) รายงานว่าการเสริมเมทไธโอนีนในอาหาร โปรตีนต่ำมีผลให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไขดีกว่ากลุ่มควบคุม

ส่วนต้นทุนในการผลิตไข่ 1 กิโลกรัมพบว่าระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารที่กินได้เพิ่มขึ้นมีผลให้ต้นทุนในการผลิตไขสูงขึ้น โดยในช่วง 21-32 สัปดาห์กลุ่มที่ได้รับอาหาร 18% โปรตีนมีต้นทุนในการผลิตไขมากกว่ากลุ่ม 16 และ 14% โปรตีนอีกทั้งยังพบความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีน ($r = 0.31, 0.30; P < 0.01$) และเมทไธโอนีนที่ได้รับ ($r = 0.27, 0.26; P < 0.05$) กับต้นทุนในการผลิตไขที่เพิ่มขึ้นในช่วง 21-32 และ 33-48 สัปดาห์ตามลำดับ ส่วนในช่วง 33-48 สัปดาห์เนื่อง

จากกลุ่ม 14% โปรตีนมีผลผลิตไข่น้อยกว่าเมื่อนำมาคำนวณเป็นต้นทุนจึงมีผลให้กลุ่ม 14% โปรตีน มีต้นทุนในการผลิตไข่น้อยกว่ากลุ่ม 18% โปรตีน ซึ่งจากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าในระยะยาว แล้ว (21-48 สัปดาห์) การใช้อาหารโปรตีนสูงนั้นทำให้ต้นทุนในการผลิตไข่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 17 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อปริมาณอาหารที่กินได้

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
ปริมาณอาหารที่กิน	14	110.08	109.39	107.70	108.75	108.98 ^Y				
ได้ช่วง 21-32 สัปดาห์	16	110.70	110.83	112.03	109.92	110.87 ^X	<0.01	0.41	0.06	0.21
(กรัม/ตัว/วัน)	18	111.21	110.47	109.92	111.10	110.68 ^X				
	เฉลี่ย	110.67	110.23	109.92	109.89					
ปริมาณอาหารที่กิน	14	112.68	113.60	116.17	112.49	113.73				
ได้ช่วง 33-48 สัปดาห์	16	111.95	111.97	112.35	111.90	112.04	0.17	0.18	0.38	0.37
(กรัม/ตัว/วัน)	18	114.64	113.81	113.11	110.57	113.03				
	เฉลี่ย	113.09	113.13	113.87	111.65					

หมายเหตุ ^X และ ^Y อักษรต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

ตารางที่ 18 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อปริมาณโปรตีนที่กินได้

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
โปรตีนที่กินได้	14	15.41	15.31	15.08	15.22	15.26 ^Z				
ช่วง 21-32 สัปดาห์	16	17.71	17.73	17.62	17.59	17.66 ^Y	<0.01	0.56	0.18	0.23
(กรัม/ตัว/วัน)	18	20.02	19.88	20.17	20.00	20.02 ^X				
	เฉลี่ย	17.71	17.64	17.62	17.60					
โปรตีนที่กินได้	14	15.77	15.90	16.26	15.75	15.92 ^Z				
ช่วง 33-48 สัปดาห์	16	17.91	17.91	17.97	17.90	17.93 ^Y	<0.01	0.18	0.35	0.22
(กรัม/ตัว/วัน)	18	20.63	20.49	20.36	19.90	20.35 ^X				
	เฉลี่ย	18.11	18.10	18.20	17.85					

หมายเหตุ ^X ^Y และ ^Z อักษรต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

ตารางที่ 19 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อปริมาณเมทไธโอนีนที่กินได้

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
เมทไธโอนีนที่กินได้	14	308.22 ^l	328.17 ^k	409.27 ^g	478.49 ^e	381.04 ^z				
ช่วง 21-32 สัปดาห์	16	343.18 ^j	379.04 ⁱ	486.23 ^d	552.91 ^b	440.34 ^y	<0.01	<0.01	<0.01	11.26
(มิลลิกรัม/ตัว/วัน)	18	389.25 ^h	425.31 ^f	536.42 ^c	627.73 ^a	494.68 ^x				
เฉลี่ย		346.89 ^D	377.51 ^C	477.31 ^B	553.04 ^A					
เมทไธโอนีนที่กินได้	14	315.49 ^h	340.80 ^g	441.43 ^d	494.94 ^c	398.16 ^z				
ช่วง 33-48 สัปดาห์	16	347.05 ^g	382.93 ^f	487.59 ^c	562.85 ^b	445.11 ^y	<0.01	<0.01	<0.01	11.17
(มิลลิกรัม/ตัว/วัน)	18	401.24 ^e	438.19 ^d	551.99 ^b	624.71 ^a	504.03 ^x				
เฉลี่ย		354.59 ^D	387.31 ^C	493.67 ^B	560.83 ^A					

หมายเหตุ ^{xy} และ ^z อักษรต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^{ABC} และ ^D อักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^{abcdefghijkl} และ ^l อักษรต่างกันทั้งในแต่ละแถวและคอลัมน์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

ตารางที่ 20 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักไข่

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
อัตราการเปลี่ยนอาหาร เป็นไข่	14	2.12	2.02	2.00	2.05	2.05 ^y	0.02	0.17	0.34	<0.01
ช่วง 21-32 สัปดาห์	16	2.03	1.99	1.98	1.95	1.99 ^x				
(กรัม/กรัมฟองไข่)	18	1.98	1.99	2.02	1.97	1.99 ^x				
	เฉลี่ย	2.04	2.00	2.00	1.99					
อัตราการเปลี่ยนอาหาร เป็นไข่	14	2.26	2.19	2.27	2.09	2.20 ^y	<0.01	0.04	0.11	0.01
ช่วง 33-48 สัปดาห์	16	2.11	2.03	2.00	2.05	2.05 ^x				
(กรัม/กรัมฟองไข่)	18	2.03	1.96	2.05	2.00	2.01 ^x				
	เฉลี่ย	2.13 ^b	2.06 ^a	2.11 ^{ab}	2.04 ^a					

หมายเหตุ ^x และ ^y อักษรต่างกันแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^x และ ^y อักษรต่างกันแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^a และ ^b อักษรต่างกันแถวนอนเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 21 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อต้นทุนในการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
ต้นทุนในการผลิตไข่	14	15.40	14.72	14.80	15.33	15.06 ^Y				
ช่วง 21-32 สัปดาห์	16	15.26	15.07	15.26	15.22	15.20 ^Y	<0.01	0.32	0.30	0.09
(บาท / น้ำหนักไข่ 1	18	15.85	16.00	16.51	16.36	16.18 ^X				
กิโลกรัม)	เฉลี่ย	15.50	15.26	15.52	15.64					
ต้นทุนในการผลิตไข่	14	16.44	15.99	16.82	15.62	16.22 ^X				
ช่วง 33-48 สัปดาห์	16	15.89	15.34	15.38	15.95	15.64 ^Y	<0.01	0.12	0.10	0.10
(บาท / น้ำหนักไข่ 1	18	16.19	15.82	16.79	16.64	16.36 ^X				
กิโลกรัม)	เฉลี่ย	16.17	15.72	16.33	16.07					

หมายเหตุ ^X และ ^Y อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

ผลต่อคุณภาพและลักษณะภายนอกของเปลือกไข่

1. ผลต่อน้ำหนักและความหนาของเปลือกไข่

ผลของระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารต่อน้ำหนัก และความหนาของเปลือกไข่ ดังแสดงในตารางที่ 22 - 24 ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหาร ตลอดระยะเวลาการทดลอง ($P>0.05$) แต่อิทธิพลของโปรตีนมีผลต่อน้ำหนักเปลือกไข่ตลอดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนไม่มีผลต่อน้ำหนัก และความหนาของเปลือกไข่ ($P>0.05$; ตารางผนวกที่ ก2)

ในช่วง 21-32 สัปดาห์ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหาร 16% โปรตีนมีน้ำหนักเปลือกไข่เป็นกรัม และเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 18 และ 14% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนไม่มีต่อผลให้น้ำหนักเปลือกไข่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ขณะที่ในช่วง 33-48 สัปดาห์กลุ่มที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีนมีน้ำหนักเปลือกไข่เป็นกรัม น้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 16 และ 18% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) แต่เมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์กลับพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 18% โปรตีนมีเปอร์เซ็นต์เปลือกไข่น้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 14 และ 16% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนมีผลทำให้น้ำหนักเปลือกไข่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วน CP : Met เท่ากับ 31.82 มีเปอร์เซ็นต์เปลือกไข่น้อยกว่าทุกกลุ่ม

สำหรับความหนาของเปลือกไข่พบว่าในช่วง 21-32 สัปดาห์กลุ่มที่ได้รับอาหาร 18% โปรตีนมีแนวโน้มความหนาของเปลือกไข่น้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 16 และ 14% โปรตีนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนเมทไธโอนีนในอาหารมีผลให้ความหนาของเปลือกไข่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมเมทไธโอนีน (CP : Met 51.62) มีความหนาของเปลือกไข่น้อยกว่าทุกกลุ่ม ขณะที่ในช่วง 33-48 สัปดาห์พบว่าระดับโปรตีน และการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อความหนาของเปลือกไข่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

การใช้อาหาร โปรตีนสูง (18%) มีผลให้น้ำหนักและความหนาของเปลือกไข่ลดลง อาจมีสาเหตุจากกลุ่มที่ได้รับอาหาร 18% โปรตีนมีขนาดฟองไข่ใหญ่ ขณะที่กระบวนการสร้างเปลือกไข่

นั้นอาจยังคงมีอัตราการสังเคราะห์ที่เท่าเดิมจึงทำให้น้ำหนักและความหนาของเปลือกไข่ลดลงในทางกลับกันพบว่ากลุ่มที่รับอาหาร 14% โปรตีนมีน้ำหนักเปลือกไข่และความหนาเปลือกไข่มากกว่าจึงเป็นไปได้ว่าการลดลงของน้ำหนักเปลือกไข่อาจเกิดจากสาเหตุดังกล่าว และ / หรืออาจเกิดขึ้นจากการที่ใช้อาหาร โปรตีนสูงหรือสารที่มีหมู่ซัลเฟต (SO_4) เป็นองค์ประกอบ เช่น เมทไธโอนีน หรือซิสทีน ที่สูงจนทำให้เกิดภาวะแคลเซียมในปัสสาวะสูงเกิน (hypercalciuria) จากการขับหมู่ซัลเฟตออกจากร่างกาย ทำให้มีผลไปลดการดูดกลับของแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่ท่อกรวยไต (Zemel, 1988) นอกจากนี้ Lent and Wideman (1994) ได้ทำการทดลองการใช้เมทไธโอนีน (0.6% DL-Met, 18% CP) และสารที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ (แอมโมเนียมซัลเฟต) ในระดับที่สูงมีผลกระตุ้นให้เกิดการขับออกแคลเซียมในปัสสาวะและลดการหมุนเวียนของแคลเซียมในของเหลวภายนอกเซลล์ จนก่อให้เกิดภาวะ hypercalciuric เช่นกัน ฉะนั้นการใช้อาหารที่มีโปรตีน 16% และมีสัดส่วน CP : Met 31.84 จึงน่าจะเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการผลิตเปลือกไข่ที่มีความแข็งแรงที่สุด โดยไม่กระทบต่อการให้ผลผลิต

ตารางที่ 22 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อน้ำหนักเปลือกไข่

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
น้ำหนักเปลือกไข่	14	6.14	6.40	6.36	6.42	6.33 ^y				
สัปดาห์ที่ 21-32	16	6.42	6.57	6.56	6.54	6.52 ^x	0.02	0.13	0.82	0.03
(g)	18	6.33	6.32	6.35	6.49	6.37 ^y				
	เฉลี่ย	6.30	6.43	6.42	6.49					
น้ำหนักเปลือกไข่	14	6.30	6.21	5.98	6.14	6.16 ^y				
สัปดาห์ที่ 33-48	16	6.30	6.51	6.52	6.35	6.42 ^x	<0.01	0.81	0.21	0.03
(g)	18	6.35	6.30	6.33	6.32	6.32 ^x				
	เฉลี่ย	6.31	6.34	6.28	6.27					

หมายเหตุ ^x และ ^y อักษรต่างกันแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

^x และ ^y อักษรต่างกันแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 23 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อน้ำหนักเปลือกไข่ (ต่อ)

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
เปอร์เซ็นต์เปลือกไข่	14	10.81	11.05	10.91	11.20	10.99 ^x				
สัปดาห์ที่ 21-32	16	10.91	11.04	10.93	10.94	10.96 ^{xy}	0.05	0.79	0.76	0.05
(%)	18	10.70	10.64	10.87	10.68	10.72 ^y				
	เฉลี่ย	10.80	10.91	10.91	10.94					
เปอร์เซ็นต์เปลือกไข่	14	10.71	10.42	10.41	10.23	10.44 ^x				
สัปดาห์ที่ 33-48	16	10.42	10.40	10.50	10.40	10.43 ^x	0.04	0.03	0.14	0.04
(%)	18	10.20	10.20	10.58	9.96	10.23 ^y				
	เฉลี่ย	10.44 ^a	10.34 ^{ab}	10.50 ^a	10.20 ^b					

หมายเหตุ ^x และ ^y อักษรต่างกันแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^a และ ^b อักษรต่างกันแถวนอนเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 24 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อความหนาของเปลือกไข่

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
ความหนาของเปลือกไข่	14	36.34	36.88	36.19	36.62	36.51				
สัปดาห์ที่ 21-32	16	35.57	36.99	37.06	36.90	36.63	0.08	0.05	0.79	0.14
(mm × 100)	18	35.17	36.32	36.05	36.12	35.91				
	เฉลี่ย	35.69 ^b	36.73 ^a	36.43 ^{ab}	36.55 ^a					
ความหนาของเปลือกไข่	14	38.23	38.33	37.77	38.29	38.16				
สัปดาห์ที่ 33-48	16	38.40	37.53	37.86	37.15	37.73	0.31	0.58	0.54	0.12
(mm × 100)	18	38.06	38.43	37.78	38.16	38.12				
	เฉลี่ย	38.23	38.10	37.80	37.87					

หมายเหตุ ^a และ ^b อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

2. ผลต่อสี และพื้นที่ผิวบนของฟองไข่

ความผันแปรร่วมระหว่างระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารตลอดระยะเวลาการทดลองไม่มีผลต่อความผันแปรของสี และพื้นที่ผิวบนฟองไข่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 25 และ 26 แต่อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนมีผลให้พื้นที่ผิวบนฟองไข่ตลอดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$; ตารางผนวกที่ ก2)

ระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อสีของเปลือกไข่ในช่วง 21-32 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกับการเสริมเมทไธโอนีนในอาหาร ขณะที่ในช่วง 33-48 สัปดาห์กลับพบว่า การเสริมเมทไธโอนีนในอาหารมีผลให้สีของเปลือกไข่ลดลง โดยกลุ่มที่ได้รับ CP : Met เท่ากับ 31.82 มีความเข้มของสีเปลือกไข่น้อย (ค่าที่สูงหมายถึงมีความเข้มของสีน้อย) กว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนระดับโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่อสีของเปลือกไข่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

นอกจากนี้ระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารยังมีผลต่อพื้นที่ผิวบนฟองไข่ โดยในช่วง 21-32 สัปดาห์พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง (18 และ 16%) มีพื้นที่ผิวบนฟองไข่มากกว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารมีผลให้พื้นที่ผิวบนฟองไข่เพิ่มขึ้น โดยไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมเมทไธโอนีนมีพื้นที่ผิวบนฟองไข่น้อยกว่ากลุ่มที่มีการเสริมเมทไธโอนีนในทุกๆ ระดับโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เช่นเดียวกับในช่วง 33-48 สัปดาห์ที่พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 14% มีพื้นที่ผิวบนฟองไข่น้อยกว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ขณะที่การเสริมเมทไธโอนีนในอาหารในระดับสูงสุด (CP : Met 31.82) มีพื้นที่ผิวบนฟองไข่มากกว่ากลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีนในระดับต่ำ (51.62 และ 36.84) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

สีของเปลือกไข่เกิดขึ้นที่ shell gland ในช่วงสุดท้ายก่อนการวางไข่ประมาณ 2-3.5 ชั่วโมง (Woodard and Mather, 1964; Poole, 1965; Tanaka *et al.*, 1977; Soh *et al.*, 1989, 1993) โดยแหล่งที่มาของสีนั้นได้มาจากการขบวนการสังเคราะห์ porphyrin ที่เป็นส่วนประกอบของหมู่ฮีมที่พบอยู่ในเม็ดเลือดแดง โดยมี succinyl-CoA และ ไกลซีนเป็นสารตั้งต้นซึ่งขบวนการนี้ถูกควบคุมโดยเอนไซม์ ALA-synthetase และ ALA-dehydratase และเอนไซม์ดังกล่าวทำงานมากที่บริเวณ shell

gland ของท่อน้ำไข่ (Stevens *et al.*, 1974) การลดลงของสีในช่วง 33-48 สัปดาห์อาจมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของขนาดฟองไข่เนื่องจากอิทธิพลของโปรตีนและเมทาโครอินินทำให้น้ำหนักฟองไข่ใหญ่ขึ้น (Chung Hsu *et al.*, 1998 and Coon, 1993) ซึ่งลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Solomon (1985) ที่รายงานว่าไก่ที่มีอายุมากขึ้นให้ไข่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจึงทำให้มีพื้นที่ผิวบนฟองไข่มากขึ้น แต่ความสามารถในการสังเคราะห์สารสีนั้นยังคงมีเท่าเดิมจึงเป็นเหตุให้ความเข้มข้นของสีเปลือกไข่ลดลงเมื่ออายุของไก่มากขึ้นทั้งความสามารถในการสังเคราะห์สารสีมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้นจึงอาจเป็นสาเหตุให้สีของเปลือกซีดจางลง

ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหาร โปรตีนต่ำและกลุ่มที่ไม่ได้เสริมเมทาโครอินินในอาหารมีพื้นที่ผิวบนฟองไข่น้อยขึ้นเนื่องมาจากพื้นที่ผิวบนฟองไข่เป็นค่าที่ได้จากผลคูณของน้ำหนักฟองไข่กับค่าสมการ ($3.9782 \times \text{น้ำหนักฟองไข่}^{0.7056}$; Carter, 1975) ซึ่งระดับโปรตีนและเมทาโครอินินในอาหารที่ต่างกันจึงส่งผลให้น้ำหนักฟองไข่แตกต่างกัน เมื่อนำมาคำนวณเป็นพื้นที่ผิวบนฟองไข่จึงทำให้มีค่าที่ผันแปรตามน้ำหนักฟองไข่ ($r = 0.99$) ขณะที่ Curtis *et al.* (1985) รายงานว่าพื้นที่ผิวบนฟองไข่สามารถใช้อธิบายได้ถึง的增加หรือลดลงของความหนาของเปลือกไข่ โดยพื้นที่ผิวบนฟองไข่ที่ลดลงมีความหนาของเปลือกไข่เพิ่มขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่าพื้นที่ผิวบนฟองไข่สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความแข็งแรงของฟองไข่ทางอ้อมได้

ดังนั้นการใช้อาหารที่มีโปรตีนสูงแม้ว่าจะให้ผลผลิตและขนาดไข่ที่ใหญ่ขึ้น แต่ก็มีผลให้สีของเปลือกไข่มีความเข้มลดลง อีกทั้งยังมีแนวโน้มทำให้ความแข็งแรงของฟองไข่น้อยลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นพื้นที่ผิวบนฟองไข่

ตารางที่ 25 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อสีของเปลือกไข่

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
สีของเปลือกไข่	14	28.64	28.45	27.98	28.54	28.40				
ช่วง 21–32 สัปดาห์	16	28.46	27.87	27.40	28.29	28.00	0.36	0.69	0.20	0.13
(%)	18	28.15	27.80	29.22	28.38	28.39				
	เฉลี่ย	28.42	28.04	28.20	28.41					
สีของเปลือกไข่	14	30.38	30.28	30.34	31.57	30.64				
ช่วง 33–48 สัปดาห์	16	30.09	30.11	29.62	30.79	30.15	0.28	0.01	0.98	0.14
(%)	18	30.55	30.62	29.91	31.38	30.61				
	เฉลี่ย	30.34 ^b	30.34 ^b	29.96 ^b	31.24 ^a					

หมายเหตุ ^a และ ^b อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 26 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อพื้นที่ผิวบนฟองไข่

	ระดับโปรตีน	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
	(CP)	51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
พื้นที่ผิวบนฟองไข่	14	67.91	68.77	68.83	68.78	68.57 ^Y				
ช่วง 21-32 สัปดาห์	16	69.31	70.06	69.75	69.89	69.75 ^X	<0.01	0.04	0.88	0.14
(cm ²)	18	69.48	70.16	69.93	70.90	70.12 ^X				
	เฉลี่ย	68.90 ^b	69.66 ^a	69.50 ^{ab}	69.86 ^a					
พื้นที่ผิวบนฟองไข่	14	69.99	69.72	69.67	70.74	70.03 ^Y				
ช่วง 33-48 สัปดาห์	16	70.15	71.11	71.70	71.38	71.09 ^X	<0.01	0.02	0.23	0.15
(cm ²)	18	70.92	71.67	70.79	72.31	71.42 ^X				
	เฉลี่ย	70.36 ^b	70.83 ^{ab}	70.72 ^b	71.48 ^a					

หมายเหตุ ^X และ ^Y อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเชิงทางสถิติ (P<0.01)

^a และ ^b อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเชิงทางสถิติ (P<0.05)

3. ผลต่อความกว้าง ยาว และดัชนีรูปร่างของไข่

ผลของระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารต่อความกว้าง ยาว และดัชนีรูปร่างของไข่ ดังแสดงในตารางที่ 27 - 29 ไม่พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดระยะเวลาของการทดลอง ($P>0.05$) แต่อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนมีผลให้ความกว้างของไข่ตลอดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$; ตารางผนวกที่ ก2)

ในช่วง 21-32 สัปดาห์ไม่พบว่ามีผลของระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารมีผลต่อความกว้างและยาวของไข่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ขณะที่ในช่วง 33-48 สัปดาห์พบว่าระดับโปรตีนมีผลต่อความกว้างของไข่ โดยกลุ่มที่ได้รับอาหาร 18% โปรตีนมีความกว้างของไข่มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 16 และ 14% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนความยาวของฟองไข่พบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 18% โปรตีนมีความยาวของไข่มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 16 และ 14% โปรตีนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนมีแนวโน้มทำให้ความยาวเพิ่มขึ้น โดยกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมเมทไธโอนีนมีความยาวของนัยกลุ่มที่เสริมเมทไธโอนีนทุกกลุ่มอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อค่าดัชนีรูปร่างของไข่ ตลอดระยะเวลาของการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ในช่วง 21-32 สัปดาห์พบว่าเมทไธโอนีนมีแนวโน้มทำให้ค่าดัชนีรูปร่างของไข่เพิ่มขึ้น โดยกลุ่มที่ได้รับ CP : Met เท่ากับ 31.82 ทุกระดับโปรตีนมีค่าดัชนีรูปร่างมากกว่าทุกกลุ่มอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนระดับโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่อดัชนีรูปร่างของไข่เช่นเดียวกับในช่วง 33-48 สัปดาห์ที่พบว่าระดับโปรตีนและการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อดัชนีรูปร่างของไข่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

การใช้อาหารโปรตีนสูงและการเสริมเมทไธโอนีนทำให้น้ำหนักไข่ใหญ่ขึ้น ซึ่งขนาดของไข่ที่ใหญ่ขึ้นนั้นเกิดจากการขยายออกทางด้านกว้างของไข่ ซึ่งลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับ Portillo *et al.* (2004) ที่รายงานว่าน้ำหนักไข่มีค่าสหสัมพันธ์สูงกับความกว้างของไข่ ($r = 0.82-0.90$) อีกทั้ง Ehtesham and Chowdhury (2002) ยังรายงานว่าอาหารที่มีระดับโปรตีนและพลังงานต่างกันมีผลให้ความกว้างของไข่ต่างกัน โดยไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนสูง (~19%) มีความกว้างของไข่มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำ (~17%) การทดลองครั้งนี้ก็พบเช่นกันว่าน้ำ

หนักไข่มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างของไข่ในช่วง 21-32 ($r = 0.68$) และ 33-48 สัปดาห์ ($r = 0.67$) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความยาวของไข่นั้นกลับมีสหสัมพันธ์ในระดับต่ำ ($r = 0.38, 0.44$; ที่ 21-32 และ 33-48 สัปดาห์ตามลำดับ) ซึ่งขัดแย้งกับรายงานของ Portillo *et al.* (2004) ที่รายงานว่าความยาวของไข่มีค่าสหสัมพันธ์กับน้ำหนักไข่ในระดับปานกลาง ($r = 0.70-0.78$)

มีรายงานหลายฉบับรายงานว่าค่าดัชนีรูปร่างของไข่สามารถใช้บ่งบอกได้ถึงความแข็งแรงของเปลือกไข่ (Richards and Swanson, 1965; Voisey and Hunt, 1967; Richards and Staley, 1967; Anderson *et al.*, 1970) โดยค่าดัชนีรูปร่างที่มีค่าน้อยหมายถึงไข่นั้นมีลักษณะเป็นรูปไข่หรือกลมรี (oblong) และค่าที่มากหมายถึงไข่นั้นมีลักษณะทรงกลม (spherical) (Roland, 1978) สำหรับลักษณะของไข่ที่ดีควรมีทรงเป็นรูปร่างรีด้านหนึ่งป้านอีกข้างหนึ่งแหลม (สุวรรณ, 2529) โดย Romanoff and Romanoff (1949) รายงานว่าลักษณะของไข่ในอุดมคติซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 50 กรัมจะมีค่าดัชนีรูปร่างของไข่ประมาณ 74 อีกทั้งมีรายงานการศึกษาค่าดัชนีรูปร่างในไก่ไข่พันธุ์เล็กฮอร์นจำนวน 262 ตัวพบว่าอยู่ในช่วง 63.1-81.7 และค่าดัชนีรูปร่างของไข่นั้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อไก่ไข่มีอายุมากขึ้น (Li-Chan *et al.*, 1994) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่ามีค่าอยู่ประมาณ 75-77 และรูปร่างของไข่มีแนวโน้มเปลี่ยนจากทรงกลมเป็นรูปร่างไข่มากขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาถึงการเสริมเมทาไธโอนีนนั้นมีผลให้ลักษณะภายนอกของไข่เปลี่ยนจากรูปร่างไข่ไปเป็นลักษณะทรงกลม โดยพบว่าความกว้างของฟองมีสหสัมพันธ์เป็นบวกกับค่าดัชนีรูปร่างของไข่ ($r = 0.71, 0.63$ ที่ 33 และ 48 สัปดาห์ตามลำดับ $P < 0.01$) ขณะที่ความยาวของไข่นั้นสหสัมพันธ์เป็นลบกับค่าดัชนีรูปร่างของไข่ ($r = -0.54, -0.62$ ที่ 33 และ 48 สัปดาห์ตามลำดับ $P < 0.01$) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Portillo *et al.* (2004) ที่รายงานว่าความยาวของไข่มีค่าสหสัมพันธ์เป็นลบกับค่าดัชนีรูปร่างของไข่ ซึ่งไข่ที่มีลักษณะทรงกลมจะมีคุณภาพของเปลือก (ความหนา และน้ำหนักเปลือกไข่) ด้อยกว่ารูปร่างไข่ (Roland, 1978)

จะนั้นการใช้อาหารที่มีโปรตีนต่ำ (14%) และมีสัดส่วน CP : Met 36.84 ในช่วงระยะให้ผลผลิตไข่สูงสุด (21-32 สัปดาห์) ส่วนในช่วงระยะหลังให้ผลผลิตไข่สูงสุด (33-48 สัปดาห์) การใช้อาหาร 18% โปรตีน และมีสัดส่วน CP : Met 46.67 นอกจากจะไม่ทำให้ผลผลิตไข่ลดลง ยังสามารถรักษารูปร่างของไข่ให้เป็รูปร่างไข่ซึ่งเป็นรูปร่างที่ผู้บริโภคต้องการมากที่สุด

ตารางที่ 27 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อความกว้างของไข่

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
ความกว้างของไข่	14	4.24	4.27	4.25	4.27	4.26				
ช่วง 21–32 สัปดาห์	16	4.26	4.28	4.29	4.28	4.28	0.19	0.10	0.86	<0.01
(cm)	18	4.26	4.30	4.26	4.30	4.28				
	เฉลี่ย	4.25	4.28	4.27	4.29					
ความกว้างของไข่	14	4.26	4.29	4.29	4.28	4.28 ^y				
ช่วง 33–48 สัปดาห์	16	4.26	4.30	4.32	4.32	4.30 ^{xy}	0.04	0.15	0.38	<0.01
(cm)	18	4.31	4.32	4.29	4.35	4.32 ^x				
	เฉลี่ย	4.28	4.30	4.30	4.32					

หมายเหตุ ^x และ ^y อักษรต่างกันแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 28 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อความยาวของไข่

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
ความยาวของไข่	14	5.56	5.59	5.57	5.53	5.56				
ช่วง 21–32 สัปดาห์	16	5.55	5.55	5.58	5.57	5.56	0.98	0.91	0.25	<0.01
(cm)	18	5.56	5.56	5.56	5.58	5.57				
	เฉลี่ย	5.56	5.57	5.57	5.56					
ความยาวของไข่	14	5.72	5.68	5.65	5.69	5.69				
ช่วง 33–48 สัปดาห์	16	5.64	5.69	5.67	5.69	5.67	0.20	0.07	0.06	<0.01
(cm)	18	5.65	5.75	5.68	5.71	5.70				
	เฉลี่ย	5.67	5.70	5.70	5.70					

ตารางที่ 29 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อดัชนีรูปร่างของไข่

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
ดัชนีรูปร่างของไข่	14	76.32	76.31	76.41	77.85	76.62				
ช่วง 21-32 สัปดาห์	16	76.71	76.82	76.94	76.91	76.85	0.26	0.07	0.38	0.11
	18	76.90	77.29	76.95	77.38	77.14				
	เฉลี่ย	76.64	76.81	76.76	77.32					
ดัชนีรูปร่างของไข่	14	74.56	75.65	76.31	75.69	75.55				
ช่วง 33-48 สัปดาห์	16	75.68	75.61	76.18	76.45	75.98	0.39	0.24	0.12	0.13
	18	76.40	75.24	75.50	76.16	75.83				
	เฉลี่ย	75.55	75.50	76.00	76.10					

4. ผลต่อพื้นที่ผิวบนฟองไข่ต่อน้ำหนักของเปลือก ปริมาตร และความหนาแน่นของเปลือกไข่

ผลของระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารต่อพื้นที่ผิวบนฟองไข่ต่อน้ำหนักของเปลือก (SWUSA) ปริมาตร และความหนาแน่นของเปลือกไข่ดังแสดงในตารางที่ 30 - 32 ไม่พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดระยะเวลาของการทดลอง ($P>0.05$) แต่อิทธิพลของโปรตีนมีผลให้ SWUSA และความหนาแน่นของเปลือกไข่ตลอดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนไม่มีผลต่อ SWUSA ปริมาตร และความหนาแน่นของเปลือกไข่ตลอดการทดลอง ($P>0.05$; ตารางผนวกที่ ก2)

ระดับโปรตีนในอาหารส่งผลให้ค่า SWUSA แตกต่างกัน โดยในช่วง 21-32 สัปดาห์พบว่า กลุ่มที่ได้รับอาหาร 16 และ 14% โปรตีนมีค่า SWUSA มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีน 18% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ขณะที่ในช่วง 33-48 สัปดาห์ระดับโปรตีนในอาหารมีผลต่อค่า SWUSA เช่นกัน โดยไก่กลุ่มที่ได้รับอาหาร 16% โปรตีนมีค่า SWUSA มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 14% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อค่า SWUSA ตลอดระยะเวลาการทดลอง ($P>0.05$)

ส่วนปริมาตรของเปลือกไข่ในช่วง 21-32 สัปดาห์พบว่าเมทไธโอนีนในอาหารมีผลต่อปริมาตรของเปลือกไข่เพิ่มขึ้น โดยกลุ่มที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมเมทไธโอนีน (CP : Met 51.62) มีปริมาตรของเปลือกไข่น้อยกว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนระดับโปรตีนที่ในอาหารไม่มีผลต่อปริมาตรของเปลือกไข่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกับในช่วง 33-48 สัปดาห์ที่ไม่พบว่าระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารมีผลต่อปริมาตรของเปลือกไข่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

สำหรับความหนาแน่นของเปลือกไข่ในช่วง 21-32 สัปดาห์ไม่พบว่าอิทธิพลของระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารมีผลต่อความหนาแน่นของเปลือกไข่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนในช่วง 33-48 สัปดาห์พบว่าระดับโปรตีนในอาหารมีผลต่อความหนาแน่นของเปลือกไข่ โดยไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหาร 16% โปรตีนมีความหนาแน่นของเปลือกไข่มากกว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหาร 14 และ 18% โปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อความหนาแน่นของเปลือกไข่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

SWUSA เป็นวิธีการประเมินถึงความหนาของเปลือกไข่เพื่อใช้เปรียบเทียบฟองไข่ที่มีขนาดต่างกัน (Tyler and Geake, 1953, 1958, 1961) ทั้งนี้เพราะการใช้เปอร์เซ็นต์หรือน้ำหนักเปลือกไข่เปรียบเทียบความแข็งแรงของเปลือกไข่เป็นวิธีการเปรียบเทียบที่ไม่แม่นยำ เนื่องจากไข่แต่ละฟองมีพื้นที่ผิวบนฟองไข่ไม่เท่ากัน (Curtis *et al.*, 1985) โดยจะผันแปรไปตามน้ำหนักของฟองไข่ ฉะนั้นการเปรียบเทียบโดยคำนึงถึงน้ำหนักของของเปลือกไข่ต่อพื้นที่ผิวบนฟองไข่จึงเป็นวิธีการที่มีความแม่นยำมากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออิทธิพลของระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารมีผลต่อน้ำหนักฟองไข่ ดังนั้นการที่ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับโปรตีนสูง (18%) มีค่า SWUSA น้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ ในช่วง 21-32 สัปดาห์เนื่องจากมีกลุ่มดังกล่าวมีน้ำหนักฟองไข่มาก เมื่อคำนวณเป็นพื้นที่ผิวบนฟองไข่แล้วจึงมีค่ามากตาม ขณะที่น้ำหนักเปลือกไข่นั้นมีน้อยเมื่อคำนวณเป็นค่า SWUSA จึงมีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 16 และ 14% โปรตีน แต่ในช่วง 33-48 สัปดาห์กลุ่มที่ได้รับอาหาร 18% โปรตีนกลับมีค่า SWUSA มากกว่ากลุ่ม 14% โปรตีน ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้บ่งชี้ได้ว่าการใช้อาหาร 16% โปรตีนเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการผลิตไข่ที่ให้เปลือกแข็งแรงเนื่องจากเป็นระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของเปลือกไข่ในตลอดระยะเวลาของการทดลอง โดยสัดส่วน CP : Met เท่ากับ 36.84 และ 46.67 เป็นระดับที่เหมาะสมในช่วง 21-32 และ 33-48 สัปดาห์ตามลำดับ

การเพิ่มขึ้นของปริมาตรเปลือกไข่นั้นได้รับอิทธิพลจากเมทไธโอนีนที่เสริมในอาหารทำให้น้ำหนักฟองไข่เพิ่มขึ้น จึงมีผลให้ปริมาตรของเปลือกไข่มากขึ้นตาม (พื้นที่ผิวบนฟองไข่เพิ่มขึ้น) โดยพบความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางในช่วง 21-32 สัปดาห์ระหว่างน้ำหนักฟองไข่กับปริมาตรอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r = 0.49$; $P < 0.01$) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาตรเปลือกไข่นั้นมีทิศทางเดียวกับการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเปลือกไข่ ($r = 0.32$; $P < 0.01$) และความหนาเปลือกไข่ ($r = 0.89$; $P < 0.01$) จากผลการทดลองจะเห็นว่าระดับโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารทำให้น้ำหนักและความหนาของเปลือกไข่มากขึ้น นอกจากนี้ปริมาตรของเปลือกไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของไก่ที่มาก ลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับ Rahn *et al.* (1981) ที่รายงานว่าปริมาตรของเปลือกไข่นั้นเพิ่มขึ้นตามอายุ ซึ่งเกิดจากน้ำหนักฟองไข่ที่เพิ่มขึ้นตามอายุ (Romanoff and Romanoff, 1949)

ความหนาแน่นของเปลือกไข่เป็นค่าที่ได้จากผลคูณของน้ำหนักเปลือกไข่กับปริมาตรของเปลือกไข่ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถใช้บ่งบอกถึงความแข็งแรงของเปลือกไข่และความสามารถในการถ่ายเทอากาศของฟองไข่ซึ่งมีความสำคัญในกรณีของไข่ฟัก (Christensen *et al.*, 1996) การศึกษาในครั้งนี้พบว่าความหนาแน่นของฟองไข่มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเมทไธโอนีนในอาหารและอายุ

ของไก่ที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่ามีสหสัมพันธ์เป็นลบกับปริมาตรของเปลือกไข่ ($r = -0.55, -0.51$; $P < 0.01$) และความหนาเปลือกไข่ ($r = -0.53, -0.53$; $P < 0.01$) ในช่วง 21-32 และ 33-48 สัปดาห์ตามลำดับซึ่งแนวโน้มที่ลดลงของความหนาแน่นของเปลือกไข่นั้นขัดแย้งกับรายงานของ Rahn *et al.* (1981) ที่รายงานว่าความหนาแน่นของเปลือกไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของไก่

ดังนั้นการใช้อาหารโปรตีนต่ำ (14%) ที่มีสัดส่วน CP : Met 31.82 ในระยะให้ผลผลิตไข่สูงสุด และใช้อาหาร 16% โปรตีนที่มี CP : Met 36.84 ในช่วงระยะหลังให้ผลผลิตไข่สูงสุดเป็นระดับที่เหมาะสมในการผลิตไข่ที่ให้ความแข็งแรงเปลือกไข่ดีที่สุด

ตารางที่ 30 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อค่า SWUSA

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
SWUSA	14	90.44	93.17	92.41	93.43	92.36 ^{xy}				
ช่วง 21-32 สัปดาห์	16	92.67	93.78	94.15	93.58	93.54 ^x	0.05	0.69	0.90	0.42
(mg / cm ²)	18	91.28	90.14	90.77	91.64	90.96 ^y				
	เฉลี่ย	91.46	92.36	92.44	92.89					
SWUSA	14	90.04	89.12	85.92	86.81	87.98 ^y				
ช่วง 33-48 สัปดาห์	16	89.77	91.57	90.94	89.00	90.32 ^x	0.04	0.24	0.37	0.39
(mg / cm ²)	18	89.52	87.83	89.46	87.48	88.57 ^{xy}				
	เฉลี่ย	89.78	89.51	88.77	87.77					

หมายเหตุ SWUSA = shell weight per surface area

^x และ ^y อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 31 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อปริมาณของเปลือกไข่

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
ปริมาณเปลือกไข่	14	2.47	2.54	2.49	2.52	2.50				
ช่วง 21-32 สัปดาห์	16	2.46	2.59	2.58	2.58	2.55	0.14	<0.01	0.90	0.01
(cm ³)	18	2.44	2.55	2.52	2.56	2.52				
	เฉลี่ย	2.46 ^B	2.56 ^A	2.53 ^A	2.55 ^A					
ปริมาณเปลือกไข่	14	2.67	2.67	2.63	2.71	2.67				
ช่วง 33-48 สัปดาห์	16	2.69	2.67	2.71	2.65	2.68	0.12	0.79	0.43	0.01
(cm ³)	18	2.70	2.75	2.68	2.76	2.72				
	เฉลี่ย	2.69	2.70	2.67	2.70					

หมายเหตุ ^A และ ^B อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

ตารางที่ 32 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อความหนาแน่นของเปลือกไข่

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
ความหนาแน่นเปลือกไข่	14	2.50	2.53	2.56	2.56	2.54				
ช่วง 21-32 สัปดาห์	16	2.61	2.54	2.54	2.54	2.56	0.83	0.73	0.73	0.01
(g / cm ³)	18	2.60	2.49	2.52	2.54	2.54				
	เฉลี่ย	2.57	2.52	2.54	2.55					
ความหนาแน่นเปลือกไข่	14	2.36	2.33	2.28	2.27	2.31 ^Y				
ช่วง 33-48 สัปดาห์	16	2.34	2.45	2.42	2.41	2.40 ^X	<0.01	0.75	0.41	0.01
(g / cm ³)	18	2.36	2.29	2.30	2.30	2.31 ^Y				
	เฉลี่ย	2.35	2.36	2.33	2.32					

หมายเหตุ ^X และ ^Y อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

5. ผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่

ความผันแปรร่วมระหว่างโปรตีนและเมทไธโอนีนในอาหารตลอดระยะเวลาการทดลองมีอิทธิพลต่อความผันแปรขององค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ (ปริมาณเถ้า แคลเซียม และฟอสฟอรัส) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 33 – 37 แต่การเสริมเมทไธโอนีนมีผลให้ปริมาณเถ้าในเปลือกไข่ตลอดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$; ตารางผนวกที่ ก2) ส่วนระดับโปรตีนไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ระดับโปรตีนในอาหารไม่มีผลต่อปริมาณเถ้าตลอดระยะเวลาการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่การเสริมเมทไธโอนีนมีผลต่อปริมาณเถ้า โดยกลุ่มที่ได้รับ CP : Met 31.82 มีปริมาณเถ้าน้อยกว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ในช่วง 33 สัปดาห์และอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในช่วง 48 สัปดาห์

ขณะที่องค์ประกอบของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในเปลือกไข่พบว่าระดับโปรตีนในอาหารมีผลต่อปริมาณแคลเซียมในช่วง 33 สัปดาห์ โดยกลุ่มที่ได้รับอาหาร 16% โปรตีนมีองค์ประกอบของแคลเซียมในเปลือกไข่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหาร 14 และ 18% โปรตีนตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่เมื่อคิดเป็นกรัมต่อฟองกลับไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกับระดับโปรตีนในต่อองค์ประกอบฟอสฟอรัสที่ไม่พบว่าได้รับผลทั้งในช่วง 33 และ 48 สัปดาห์ ส่วนการเสริมเมทไธโอนีนในอาหารไม่มีผลต่อองค์ประกอบของแคลเซียมและฟอสฟอรัสตลอดระยะเวลาการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

เถ้าคือส่วนที่เหลืออยู่ภายหลังการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (AOAC, 2000) โดยปริมาณเถ้าบ่งบอกถึงปริมาณอนินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในเปลือกไข่ซึ่งอนินทรีย์วัตถุส่วนใหญ่ที่เป็นองค์ประกอบในเปลือกไข่คือ แคลเซียมซึ่งอยู่ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตสูงถึง 94% (Vaclavik, 1998) นอกจากนี้ยังมีฟอสฟอรัสและแมกนีเซียม (Sugino *et al.*, 1997) สำหรับการเสริมเมทไธโอนีนในปริมาณสูงทำให้ปริมาณเถ้าในเปลือกไข่ลดลงนั้นอาจเกิดจากการที่ไคกลุ่มดังกล่าวมีการสังเคราะห์โปรตีนในเปลือกไข่ (protein matrix) และเยื่อหุ้มไข่ (shell membrane) สูงขึ้น โดย Okubo *et al.* (1997) รายงานว่าในเปลือกไข่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบถึง 3.3% ซึ่งโปรตีนที่พบนั้นเป็นสารประกอบประเภท protein-acid mucopolysaccharide complex (Simkiss and Tyler, 1957)

นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้ตัวอย่างเปลือกไข่นั้นมีเชื้อหุ้มไขรวมอยู่ด้วย ดังนั้นเมื่อนำมาเผาจึงอาจทำให้มีปริมาณต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ ซึ่งลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ นำชัย (2532) ที่รายงานว่ไขกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มี TSAA สูงขึ้นมีปริมาณเถ้าในเปลือกไขลดลงเช่นกัน

เปลือกไขประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต 94% (Vaclavik, 1998) โดยเป็นแคลเซียมประมาณ 36.8% (Walton *et al.*, 1973) หรือ 2.21 กรัมต่อน้ำหนักไข่ (Sugino *et al.*, 1997) ซึ่งแคลเซียมที่นำมาสร้างเป็นเปลือกไขนั้นได้มาจากอาหารและกระดูก ส่วนการที่ไขกลุ่มที่ได้รับอาหาร 16% โปรตีนมีเปอร์เซ็นต์แคลเซียมในเปลือกไขน้อยกว่า แต่มีน้ำหนักและความหนาของเปลือกไขมากกว่าทุกกลุ่มนั้นอาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักและความหนาของเปลือกไขซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นในเชิงปริมาณ แต่ในเชิงคุณภาพ (องค์ประกอบทางเคมี) กลับไม่มีการเพิ่มขึ้นแต่อย่างใดและ / หรืออาจเกิดจากกลุ่มที่ได้รับอาหาร 16% โปรตีนมีปริมาณของโปรตีนในเปลือกไข (protein matrix) มากกว่าเมื่อนำตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสจึงทำให้ส่วนดังกล่าวหายไป โดยมีรายงานว่าการใช้อาหารที่มี TSAA สูงขึ้นมีผลให้เกิดการสร้าง shell matrix หรือสังเคราะห์โปรตีนในส่วนของเชื้อหุ้มไขมากขึ้น (นำชัย, 2532; Yakout *et al.*, 2002; Novak *et al.*, 2004) สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสนั้นเนื่องจากในเปลือกไขมีปริมาณของฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบอยู่น้อยโดยมีอยู่เพียง 0.02 กรัม/ฟอง (Sugino *et al.*, 1997) จึงทำให้ไม่ได้รับอิทธิพลจากระดับโปรตีนและเมทาโบไลต์ที่ได้รับ

ตารางที่ 33 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อองค์ประกอบเนื้อของเปลือกไข่

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
องค์ประกอบเนื้อของ	14	94.49	94.46	92.20	91.00	93.04				
เปลือกไข่	16	93.45	94.90	93.03	92.76	93.54	0.21	<0.01	<0.01	0.18
ที่ 33 สัปดาห์	18	91.78	92.39	94.54	94.42	93.28				
(%)	เฉลี่ย	93.24 ^{AB}	93.92 ^A	93.25 ^{AB}	92.73 ^B					
องค์ประกอบเนื้อของ	14	94.38	94.91	94.64	94.40	94.58				
เปลือกไข่	16	94.93	94.26	94.73	93.98	94.48	0.33	0.02	0.09	0.06
ที่ 48 สัปดาห์	18	94.61	94.80	94.94	94.43	94.69				
(%)	เฉลี่ย	94.64 ^a	94.66 ^a	94.77 ^a	94.27 ^b					

หมายเหตุ ^A และ ^B อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

^a และ ^b อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 34 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อองค์ประกอบแคลเซียมของเปลือกไข่

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
แคลเซียมของเปลือกไข่	14	38.60	37.28	35.69	37.75	37.33 ^{xy}				
ที่ 33 สัปดาห์	16	36.75	36.57	36.63	35.38	36.32 ^y	0.05	0.36	0.24	0.24
(%)	18	38.03	36.93	38.16	37.60	37.71 ^x				
	เฉลี่ย	37.81	36.95	36.83	36.80					
แคลเซียมของเปลือกไข่	14	37.35	37.05	37.51	37.33	37.31				
ที่ 48 สัปดาห์	16	37.45	36.77	36.55	37.09	36.96	0.32	0.52	0.93	0.11
(%)	18	37.65	37.12	37.38	37.33	37.36				
	เฉลี่ย	37.47	36.98	37.25	37.25					

หมายเหตุ ^x และ ^y อักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 35 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อองค์ประกอบแคลเซียมของเปลือกไข่ (ต่อ)

	ระดับโปรตีน	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
	(CP)	51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
แคลเซียมของเปลือกไข่	14	2.20	2.36	2.25	2.29	2.28				
ที่ 33 สัปดาห์	16	2.16	2.29	2.29	2.28	2.25	0.93	0.50	0.85	0.03
(กรัม/น้ำหนักเปลือกไข่)	18	2.22	2.25	2.38	2.14	2.25				
	เฉลี่ย	2.19	2.31	2.31	2.24					
แคลเซียมของเปลือกไข่	14	2.39	2.34	2.30	2.33	2.34				
ที่ 48 สัปดาห์	16	2.36	2.41	2.35	2.31	2.36	0.87	0.84	0.91	0.02
(กรัม/น้ำหนักเปลือกไข่)	18	2.35	2.34	2.35	2.38	2.36				
	เฉลี่ย	2.37	2.36	2.33	2.34					

ตารางที่ 36 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อองค์ประกอบฟอสฟอรัสของเปลือกไข่

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
ฟอสฟอรัสของเปลือกไข่ ที่ 33 สัปดาห์ (%)	14	0.23	0.25	0.23	0.25	0.24				
	16	0.24	0.23	0.26	0.23	0.24	0.74	0.99	0.68	<0.01
	18	0.26	0.25	0.24	0.25	0.25				
	เฉลี่ย	0.24	0.24	0.24	0.25					
ฟอสฟอรัสของเปลือกไข่ ที่ 48 สัปดาห์ (%)	14	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10				
	16	0.10	0.09	0.09	0.10	0.10	0.57	0.73	0.98	<0.01
	18	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10				
	เฉลี่ย	0.10	0.09	0.10	0.10					

ตารางที่ 37 อิทธิพลของโปรตีนและเมทไธโอนีนต่อองค์ประกอบฟอสฟอรัสของเปลือกไข่ (ต่อ)

	ระดับโปรตีน (CP)	สัดส่วนโปรตีน : เมทไธโอนีนในอาหาร (CP : Met)					P-value			SEM
		51.62	46.67	36.84	31.82	เฉลี่ย	CP	CP : Met	CP × (CP : Met)	
ฟอสฟอรัสของเปลือกไข่	14	11.81	15.28	14.08	15.01	14.04				
ที่ 33 สัปดาห์	16	14.01	14.20	16.07	14.59	14.72	0.50	0.30	0.35	0.29
(มิลลิกรัม/นน.เปลือกไข่)	18	14.89	15.19	14.58	14.56	14.79				
	เฉลี่ย	13.57	14.87	14.91	14.72					
ฟอสฟอรัสของเปลือกไข่	14	6.50	6.28	6.04	6.54	6.33				
ที่ 33 สัปดาห์	16	6.29	6.33	6.07	6.37	6.26	0.91	0.92	0.98	0.14
(มิลลิกรัม/นน.เปลือกไข่)	18	6.35	5.85	6.36	6.14	6.17				
	เฉลี่ย	6.37	6.15	6.16	6.35					