

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองที่ 1

การวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีโดยการวิเคราะห์โดยประมาณ การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม ฟอสฟอรัส และการวิเคราะห์หาพลังงานรวมของวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ ผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4

เมื่อพิจารณาจากส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์จากตารางที่ 4 ในกลุ่มวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ให้พลังงาน ซึ่งได้แก่ ปลาช่อน ข้าว มันสำปะหลัง ข้าวฟ่าง และข้าวโพด พบว่ามีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (NFE) อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 81.34, 79.65, 74.81 และ 73.88 ตามลำดับ ยกเว้นรำละเอียดและรำหยาบ ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำคือ ร้อยละ 51.21 และ 42.21 แต่เมื่อพิจารณาจากส่วนของไขมันของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกลุ่มนี้พบว่า รำละเอียดมีไขมันอยู่ในระดับสูงที่สุดคือ ร้อยละ 16.32 ตามด้วยรำป่นแฉะ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ปลาช่อน และมันสำปะหลัง คือมีค่า 5.99, 4.66, 2.61, 0.88 และ 0.55 ตามลำดับ ส่วนโปรตีนรวม (CP) ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกลุ่มนี้มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 1.52, 6.94, 7.32, 8.07, 8.15 และ 12.50 ในมันสำปะหลัง ปลาช่อน รำป่นแฉะ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และรำละเอียด ตามลำดับ ส่วนปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสรวมพบว่ามีอยู่ในระดับต่ำมากคือ ร้อยละ 0.02-0.60 และ 0.09-0.35 ตามลำดับ

ส่วนวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกลุ่มที่เป็นแหล่งของโปรตีน ซึ่งได้แก่ กากถั่วเหลือง ปลาป่น กากเมล็ดทานตะวัน กากเมล็ดงา และใบกระถิน พบว่า มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย (NFE) อยู่ในระดับที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกลุ่มที่เป็นแหล่งของพลังงาน คือ มีค่าร้อยละ 3.51 ในปลาป่น 21.97, 30.14, 32.27 และ 35.45 ในใบกระถิน กากเมล็ดงา กากถั่วเหลือง และกากเมล็ดทานตะวัน ตามลำดับ ส่วนประกอบของไขมันในวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกลุ่มนี้ก็พบว่า อยู่ในระดับใกล้เคียงกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกลุ่ม

ตารางที่ 4 แสดงส่วนประกอบทางเคมีที่ได้จากการวิเคราะห์โดยประมาณ พลังงานรวม แคลเซียม และฟอสฟอรัสของวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่าง ๆ

วัตถุดิบอาหารสัตว์	สิ่งแห้ง	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	แคลเซียม	ฟอสฟอรัส	NFE	GE
	ร้อยละ								kcal/gms
กากถั่วเหลือง	89.24	44.75	0.68	5.72	5.82	0.30	0.54	32.27 ^{1/4}	4.87
ปลายัน	88.70	51.52	4.99	0.68	28.00	6.93	2.13	3.51	4.57
กากเมล็ดทานตะวัน	94.17	24.59	1.27	24.34	8.52	0.19	0.74	35.45	4.53
กากเมล็ดงา	95.40	38.09	12.57	5.91	8.69	1.81	1.24	30.14	5.42
ใบกระถิน	94.13	11.15	0.82	27.04	33.15	0.77	0.39	21.97	4.44
ปลายข้าว	90.28	6.94	0.88	0.50	0.62	0.60	0.09	81.34	4.59
รำละเอียด	91.80	12.50	16.32	4.73	6.94	0.05	0.15	51.21	5.47
ข้าวโพด	91.76	8.07	4.66	3.58	1.57	0.04	0.24	73.88	4.73
ข้าวฟ่าง	90.15	8.15	2.61	2.23	2.35	0.02	0.35	74.81	4.53
มันปะทะแห้ง	92.00	1.52	0.55	2.37	7.91	0.11	0.08	79.65	4.15
รำป่นแก้ว	91.88	7.32	5.99	23.56	12.80	0.60	0.49	42.21	4.70
น้ำมันพืช	-	-	-	-	-	-	-	-	9.02
โซว	-	-	-	-	-	-	-	-	8.96
โคแคลเซียม-	99.52	-	-	-	96.24	33.91	21.17	-	-
ฟอสเฟต									
หินปูน	99.57	-	-	-	99.52	38.65	0.01	-	-
เปลือกหอย	99.44	-	-	-	95.85	27.62	0.01	-	-
กระดูกป่น	97.10	-	-	-	90.76	20.55	5.49	-	-

^{1/} หน่วยต่อน้ำหนักแห้ง

ที่เป็นแหล่งของพลังงาน คือ มีค่าร้อยละ 0.68, 0.82, 1.27, 4.99 และ 12.57 ในกากถั่วเหลือง ใบกระถิน กากเมล็ดทานตะวัน ปลาป่น และกากเมล็ดงา ตามลำดับ ส่วนโปรตีนรวมของวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกลุ่มนี้ ส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าในกลุ่มวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของพลังงานมาก คือ มีค่าร้อยละ 51.52, 44.75, 38.09, 24.59 และ 11.15 ในปลาป่น กากถั่วเหลือง กากเมล็ดงา กากเมล็ดทานตะวัน และใบกระถิน ส่วนแคลเซียม และฟอสฟอรัสรวมในวัตถุดิบอาหารสัตว์กลุ่มนี้ ก็มีค่าในระดับต่ำเช่นเดียวกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของพลังงาน ยกเว้นกากเมล็ดงา และปลาป่น ที่มีปริมาณแคลเซียมและ ฟอสฟอรัสรวมสูงถึงร้อยละ 1.81; 1.24 และ 6.39; 2.13

วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของแร่ธาตุ ซึ่งได้แก่ ไคแคลเซียมฟอสเฟต หินปูน เปลือกหอย และกระดูกป่น พบว่าส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบเหล่านี้มีค่าอยู่ในระดับสูงถึงร้อยละ 90.76 ถึง 99.52 และเมื่อพิจารณาปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสรวม พบว่า ไคแคลเซียมฟอสเฟตและกระดูกป่นมีปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสรวมอยู่ในระดับร้อยละ 33.91:21.17 และ 20.55:5.49 ส่วนหินปูนและเปลือกหอยมีปริมาณแคลเซียมร้อยละ 38.65 และ 27.62 ตามลำดับ และพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสรวมในระดับต่ำมาก คือ ร้อยละ 0.01 ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้ง 2 ชนิด

4.2 ผลการทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 นี้เป็นการทดลองประเมินคุณค่าของวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยการประเมินจากตัวเปิดโดยตรง เปิดกลุ่มที่ไม่ได้รับวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดใด ๆ เลย น้ำหนักตัว 1.24 กิโลกรัม พบว่ามีปริมาณมูลและปัสสาวะที่ขับออกมามีค่าเฉลี่ย 4.05 กรัม/ตัว/24 ชั่วโมง โดยมีปริมาณพลังงานที่ถูกขับออกมาทางมูลและปัสสาวะ ($FE_m + UE_e$) มีค่าเฉลี่ย 7.29 kcal/ตัว/24 ชั่วโมง หรือเมื่อเปรียบเทียบกับกิโลกรัมของน้ำหนักตัว จะมีค่า 5.88 kcal/kgBW ส่วนไนโตรเจนที่ถูกขับออกมาทางมูลและปัสสาวะมีค่าเท่ากับ 0.42 กรัม/ตัว/24 ชั่วโมงส่วนเปิดที่ได้รับวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ นั้น ปริมาณมูลและปัสสาวะที่ถูกขับออกมา การย่อยได้ของสิ่งแห้ง จะแสดงไว้ในตารางที่ 5 ส่วนสมดุลไนโตรเจนจะแสดงไว้ในตารางที่ 6 และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) แสดงไว้ในตารางที่ 7

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณมูล การย่อยได้ของสิ่งแห้ง

วัตถุดิบอาหารสัตว์	ปริมาณอาหารที่กิน	ปริมาณมูล	การย่อยได้ของสิ่งแห้ง
	-----กรัม-----		ร้อยละ
ไม่ได้รับอาหาร	-	4.05±0.19	-
กากถั่วเหลือง	53.54	1/ 35.99±0.91	32.77±1.70
ปลายุ่น	53.22	36.34±0.80	31.72±1.51
กากเมล็ดทานตะวัน	56.50	46.88±0.64	17.03±1.13
กากเมล็ดงา	57.24	29.78±0.37	47.98±0.65
ใบกระถิน	56.48	56.42±0.25	0.10±0.02
ปลายข้าว	54.17	4.30±0.20	92.06±0.36
รำละเอียด	55.08	12.83±0.54	76.71±0.99
ข้าวโพด	55.06	11.08±0.79	79.87±1.43
ข้าวฟ่าง	54.09	11.63±0.34	78.49±0.63
มันสำปะหลัง	55.20	12.20±0.53	77.89±0.96
รำป่นแก้ว	55.13	43.07±0.93	21.88±1.69
น้ำมันพืช	53.18	4.19±0.30	2/ 92.11±0.56
ไขวัว	53.78	3.42±0.38	3/ 93.64±0.72

1/ ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

2/ เป็นค่าการย่อยได้ของปลายข้าวผสมน้ำมันพืช

3/ เป็นค่าการย่อยได้ของปลายข้าวผสมไขวัว

4.2.1 การย่อยได้ของสิ่งแห้ง

วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของโปรตีนพบว่า มีการย่อยได้ของสิ่งแห้งต่ำคือ อยู่ในช่วงร้อยละ 17.03 ถึง 47.98 ยกเว้นใบกระถินมีการย่อยได้ร้อยละ 0.10 ส่วนวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของพลังงานที่ได้จากธัญพืชและพืชหัว มีการย่อยได้ของสิ่งแห้งใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วงร้อยละ 76.71 ถึง 79.87 ยกเว้นปลายข้าวมีการย่อยได้ของสิ่งแห้งสูงถึงร้อยละ 92.06 ส่วนแหล่งพลังงานที่ได้จากไขมันทั้งน้ำมันพืชและไขวัว มีการดูดซึมได้ร้อยละ 92.11 และ 93.64 ตามลำดับ ส่วนการดูดซึมได้ของน้ำมันพืชมีค่าร้อยละ 93.20 และไขวัวมีค่าร้อยละ 100

4.2.2 สมดุลไนโตรเจน

ปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกมาทางมูลและปัสสาวะ (excreta) เมื่อเปิดไม่ได้รับอาหารคือ 0.43 กรัม (น้ำหนักแห้ง) สมดุลไนโตรเจนเมื่อเปิดได้รับวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ มีค่าเป็นบวก ยกเว้นใบกระถินที่ค่าสมดุลไนโตรเจนมีค่าเป็นลบ ในกลุ่มวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของโปรตีน ปลาบ่มีค่าสมดุลไนโตรเจนมากที่สุดคือ +1.17 ส่วนวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งที่ให้พลังงาน ไร่ละเอียดมีสมดุลไนโตรเจนสูงที่สุดคือ +0.63

4.2.3 พลังงานใช้ประโยชน์ได้

เมื่อพิจารณาค่า ME ของวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิด ส่วนใหญ่พบว่า ค่า AME, AME_n, TME และ TME_n ที่ประเมินได้ในการทดลองที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ของค่า ME ที่ประเมินได้พบว่า วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของพลังงานจะมีค่า SE ต่ำกว่าวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งของโปรตีนคือ 11-55 kcal/kg เปรียบเทียบกับ 100-169 kcal/kg

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณไนโตรเจนที่กิน ไนโตรเจนที่ขับถ่าย และสมดุลไนโตรเจน เมื่อได้รับวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ (กรัมของสิ่งแห้ง)

วัตถุดิบอาหารสัตว์	ไนโตรเจนที่กิน	ไนโตรเจนที่ขับถ่าย	สมดุลไนโตรเจน	ร้อยละของ ไนโตรเจนที่กิน
ไม่ได้รับอาหาร	-	1/0.43±0.02	-0.43±0.02	-
กากถั่วเหลือง	4.29	4.59±0.20	+0.14±0.14	3.26
ปลายุ่น	4.95	4.21±0.08	+1.17±0.08	23.64
กากเมล็ดทานตะวัน	2.36	2.61±0.05	+0.18±0.05	7.63
กากเมล็ดงา	3.66	3.14±0.08	+0.95±0.08	25.96
ใบกระถิน	1.07	1.87±0.17	-0.37±0.17	-34.58
ปลายข้าว	0.67	0.67±0.02	+0.43±0.02	64.18
รำละเอียด	1.20	1.00±0.04	+0.63±0.04	52.50
ข้าวโพด	0.77	0.85±0.04	+0.35±0.04	45.45
ข้าวฟ่าง	0.78	0.77±0.04	+0.44±0.04	56.41
มันสำปะหลัง	0.15	0.50±0.02	+0.08±0.02	53.33
รำป็นแก้ว	0.70	1.04±0.07	+0.09±0.05	12.86
น้ำมันพืช	0.63	0.65±0.03	+0.41±0.03	65.08
ไขวัว	0.63	0.63±0.04	+0.43±0.04	68.25

1/ ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

ตารางที่ 7 แสดงค่า GE, AME, AME_n, TME และ TME_n ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ, kcal/kg (น้ำหนักแห้ง)

วัตถุดิบอาหารสัตว์	GE	AME	AME _n	TME	TME _n
กากถั่วเหลือง	4,870 ^{1/}	2,656±142	2,671±163	2,792±142	2,771±158
ปลายุ่น	4,570	3,369± 73	3,189± 74	3,506± 73	3,326± 74
กากเมล็ดทานตะวัน	4,530	1,732±136	1,705±132	1,861±136	1,834±132
กากเมล็ดงา	5,420	3,605±168	3,470±169	3,732±169	3,597±169
ใบกระถิน	4,440	942±115	996±100	1,071±115	1,125±100
ปลายข้าว	4,590	4,136± 12	4,074± 11	4,271± 12	4,209± 11
รำละเอียด	5,470	4,494± 44	4,400± 42	4,627± 44	4,532± 42
ข้าวโพด	4,730	3,902± 44	3,849± 39	4,034± 44	3,981± 39
ข้าวฟ่าง	4,530	3,749± 50	3,681± 55	3,884± 50	3,816± 55
มันสำปะหลัง	4,150	3,190± 45	3,234± 54	3,377± 56	3,366± 54
รำป่นแแก้ว	4,700	1,794±116	1,780±111	1,926±116	1,912±111
น้ำมันพืช	9,020	8,852±312	8,754±245	9,019±312	8,929±245
ไขวัว	8,960	6,660±282	6,522±242	7,103±552	6,961±514

^{1/} แสดงค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

จากตารางที่ 7 ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (TME_n) ของวัตถุดิบอาหารสัตว์เมื่อคิดเป็นร้อยละของพลังงานรวม (GE) พบว่ามีค่าร้อยละ 91.70, 84.24, 84.16, 82.85, 81.11 และ 40.68 ในปลายข้าว ข้าวฟ่าง ข้าวโพด รำละเอียด มันสำปะหลัง และรำป่นแแก้ว ตามลำดับ ส่วนในปลายุ่น กากเมล็ดงา กากถั่วเหลือง กากเมล็ดทานตะวัน และใบกระถินมีค่าร้อยละ 72.78, 66.37, 56.90, 40.49 และ 25.34 ตามลำดับ

เมื่อนำค่าโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตที่น้อยกว่าที่ได้จากการทดลองที่ 1 มาหาสหสัมพันธ์กับค่า ME ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ได้จากการทดลองที่ 2 และใช้เป็นสมการทำนายค่า ME โดยอาศัย multiple regression equation ซึ่งได้สมการทำนายค่า ME ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ดังต่อไปนี้

$$\text{AME Kcal/kg} = -208.79 + 4.07\text{CP} + 9.77\text{EE} + 3.86\text{NFE}$$

$$r^2 = 0.84$$

$$\text{AME}_n \text{ Kcal/kg} = -135.34 + 3.82\text{CP} + 9.08\text{EE} + 3.79\text{NFE}$$

$$r^2 = 0.84$$

$$\text{TME Kcal/kg} = -79.21 + 4.07\text{CP} + 9.69\text{EE} + 3.88\text{NFE}$$

$$r^2 = 0.84$$

$$\text{TME}_n \text{ Kcal/kg} = 1.76 + 3.79\text{CP} + 9.12\text{EE} + 3.79\text{NFE}$$

$$r^2 = 0.84$$

โดยที่ CP = โปรตีน (กรัม/กิโลกรัม)

EE = ไขมัน (กรัม/กิโลกรัม)

NFE = คาร์โบไฮเดรตที่น้อยกว่า (กรัม/กิโลกรัม)

จากการคำนวณพบว่า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตที่น้อยกว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ($r^2 = 0.84$) กับค่า AME, AME_n , TME และ TME_n เมื่อนำค่าโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตที่น้อยกว่าของวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองที่ 1 มาคำนวณค่า ME ต่าง ๆ จากสมการทำนายค่าทั้ง 4 และสมการทำนายค่า ME ของ Carpenter และ Clegg (1956) $\text{AME kcal/kg} = 53 + 38 (\% \text{CP} + 2.25 \times \% \text{EE} + 1.1 \times \% \text{NFE})$ และ National Research Council (1984) $\text{AME kcal/kg} = 4.4 \times \text{CP} + 8.7 \times \text{EE} + 4 \text{NFE}$ เนื่องจากค่า ME ที่ได้จากการคำนวณจากสมการทำนายค่าของ Carpenter และ Clegg (1956) และ National Research Council (1984) อยู่ในรูปของ AME ดังนั้นเพื่อความยุติธรรมในการเปรียบเทียบ จึงแสดงค่า ME ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่าง ๆ ที่ได้ในรูปของ AME ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงค่า AME ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ได้จากการประเมินจริง และที่ได้จากการคำนวณจากสมการทำนายค่าต่าง ๆ, kcal/kg

วัตถุดิบ	AME ¹ /	AME ² /	AME ³ /	AME ⁴ /
กากถั่วเหลือง	2,656	3,302	3,535	3,719
ปลาป่น	3,369	2,857	2,907	3,204
กากเมล็ดทานตะวัน	1,732	2,438	2,734	2,772
กากเมล็ดงา	3,605	3,923	4,018	4,167
ใบกระถิน	942	1,259	1,553	1,531
ปลายข้าว	4,136	3,677	4,194	4,027
รำละเอียด	4,494	4,235	4,422	4,377
ข้าวโพด	3,902	3,753	4,187	4,049
ข้าวฟ่าง	3,749	3,645	4,113	3,969
มันสำปะหลัง	3,190	3,258	3,786	3,584
รำป่นแก้ว	1,794	2,525	2,834	2,756

1/ ค่า AME ที่ได้จากการประเมินจริง

2/ ค่า AME ที่ได้จากการคำนวณจากสมการทำนายค่าจากการทดลอง

3/ ค่า AME ที่ได้จากการคำนวณจากสมการทำนายค่าของ Carpenter และ Clegg (1956)

4/ ค่า AME ที่ได้จากการคำนวณจากสมการทำนายค่าของ National Research Council (1984)

ค่า ME ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ได้จากการคำนวณจากสมการทำนายค่า ME ในการทดลองครั้งนี้ ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่าที่วัดได้จริง ยกเว้น กากถั่วเหลือง กากเมล็ดทานตะวัน ใบกระถิน และรำหยาบ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จริง แต่เมื่อนำค่าส่วนประกอบ

ทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์จากการทดลองที่ 1 ไปคำนวณค่า ME จากสมการของ Carpenter และ Clegg (1956) และสมการของ National Research Council (1984) พบว่าค่า ME ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ส่วนใหญ่ที่ได้จากสมการทั้ง 2 มีค่าสูงกว่าที่ได้จากค่าที่วัดจริง ยกเว้น ปลาป่น ปลาขี้ขาวและรำละเอียด ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าที่วัดจริง และระดับของความแตกต่าง ระหว่างค่าที่ได้จากสมการทำนายค่ากับค่าที่ได้จากการประเมินจริง จะมีค่าสูงในวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีระดับของเยื่อใยและโปรตีนสูง แต่ระดับความแตกต่างจะต่ำในวัตถุดิบอาหารสัตว์ในกลุ่มที่เป็นแหล่งของพลังงาน ซึ่งจะพบว่ามีลักษณะเหมือนกันทั้งสมการที่คำนวณขึ้นจากการทดลองนี้ สมการของ National Research Council (1984) และ Carpenter และ Clegg (1956) แต่ระดับของความแตกต่างของสมการทำนายค่าจากการทดลองครั้งนี้ จะต่ำกว่า 2 สมการข้างต้น เมื่อนำค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในรูป AME, AME_n, TME และ TME_n มาหาความสัมพันธ์กัน จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$TME = 1.064 AME_n$$

$$TME = 1.053 AME$$

$$TME_n = 1.051 AME_n$$

$$TME_n = 1.040 AME$$

โดยค่า AME, AME_n, TME และ TME_n มีหน่วยเป็น kcal/g

เมื่อพิจารณาจากสัมประสิทธิ์ของสมการความสัมพันธ์ต่าง ๆ จะเห็นว่าค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในรูปต่าง ๆ มีความแตกต่างกันน้อย

4.3 การทดลองที่ 3

การศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่ใช้ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน เมื่อใช้อาหารสูตรต่าง ๆ นั้น ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 9, 10, 11, 12 และ 13 เมื่อเริ่มการทดลองนั้น ลูกเป็ดทดลองมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 40.41 กรัม และน้ำหนักเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4.3.1 การเจริญเติบโต

ในระยะเปิดเล็ก (0-2 สัปดาห์) เป็ดได้รับอาหารแต่ละสูตรที่มีโปรตีนร้อยละ 22 และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,300 kcal/kg พบว่าน้ำหนักตัวและอัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวของเป็ดทดลองที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีแนวโน้มว่าเป็ดในกลุ่มที่ 5 มีอัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวสูงสุดคือ 261.93 กรัม รองลงมาคือ กลุ่มที่ 1, 2, 4 และเป็ดทดลองในกลุ่มที่ 3 มีอัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวต่ำสุดคือ 255.77, 254.75, 244.87 และ 241.64 กรัมตามลำดับ

ในระยะเปิดรุ่น (2-8 สัปดาห์) เป็ดได้รับอาหารแต่ละสูตรซึ่งมีระดับโปรตีนร้อยละ 16 และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,200 kcal/kg พบว่าน้ำหนักตัวเปิดและอัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวของเป็ดที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยเป็ดในกลุ่มที่ 3 มีอัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวสูงสุดคือ 1,004.65 กรัม ตามด้วยเป็ดในกลุ่มที่ 1, 4, 5 และเป็ดในกลุ่มที่ 2 มีอัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวต่ำสุดคือ 982.93, 978.91, 957.81 และ 945.70 กรัม ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาตลอดระยะเวลาการทดลอง 8 สัปดาห์ พบว่าน้ำหนักตัวเปิดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และอัตราการเพิ่มน้ำหนักของเป็ดทดลองในกลุ่มต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยเป็ดทดลองในกลุ่มที่ 3 มีอัตราเพิ่มน้ำหนักสูงสุดคือ 1,245.76 กรัม ตามด้วยเป็ดในกลุ่มที่ 1, 4, 2 และ 5 โดยมีค่า 1,238.70, 1,223.45, 1,200.45 และ 1,219.70 กรัมตามลำดับ

ตารางที่ 9 แสดงน้ำหนักตัวเมื่อเริ่มการทดลอง น้ำหนักตัวเมื่อ 2 สัปดาห์ น้ำหนักตัวเพิ่มช่วง 0-2 สัปดาห์ ปริมาณอาหารที่ใช้ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

อาหาร สูตร	น.น. ตัวเมื่อ เริ่มทดลอง	น.น. ตัวเมื่อ 2 สัปดาห์	น.น. ตัวเพิ่ม 0-2 สัปดาห์	ปริมาณอาหาร 0-2 สัปดาห์	อัตราการเปลี่ยน อาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพ การใช้โปรตีน
1	40.38±0.97	296.16±8.00	255.77±8.91	535.77±6.76	2.10±0.06 ^{1/}	2.18±0.07 ^{1/}
2	40.77±0.23	295.51±4.20	254.75±4.41	528.85±10.47	2.08±0.01 ^ข	2.20±0.01 ^ข
3	40.51±0.68	282.15±6.75	241.64±7.11	540.85±13.82	2.24±0.05 ^จ	2.02±0.05 ^จ
4	39.74±0.33	284.62±2.22	244.87±1.89	542.05±10.53	2.21±0.02 ^ง	2.06±0.03 ^ง
5	40.64±0.25	302.56±5.01	261.93±5.03	531.28±10.74	2.03±0.01 ^ก	2.26±0.01 ^ก

1/ อักษรภาษาไทยที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 10 แสดงน้ำหนักตัวเมื่ออายุ 2 และ 8 สัปดาห์ น้ำหนักตัวเพิ่มในช่วง 2-8 สัปดาห์ ปริมาณอาหารที่ใช้ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

อาหาร สูตร	น.น. ตัวเมื่อ 2 สัปดาห์	น.น. ตัวเมื่อ 8 สัปดาห์	น.น. ตัวเพิ่ม 2-8 สัปดาห์	ปริมาณอาหาร 2-8 สัปดาห์	อัตราการเปลี่ยน อาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพ การใช้โปรตีน
1	296.16±8.00 ^{1/}	1279.08±27.83	982.93±35.83	4788.46±44.76	4.88±0.16	1.28±0.04
2	295.51±4.20	1241.22±19.14	945.70±20.68	4693.86±22.09	4.97±0.12	1.26±0.03
3	282.15±6.75	1286.27±30.81	1004.65±35.37	4653.68±53.82	4.64±0.11	1.35±0.08
4	284.62±2.22	1263.19±14.87	978.91±12.66	4763.06±44.38	4.87±0.03	1.29±0.01
5	302.56±5.01	1260.34±18.54	957.81±23.52	4719.94±36.78	4.93±0.09	1.27±0.02

1/ ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

4.3.2 ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

ในระยะเบ็ดเล็ก (0-2 สัปดาห์) เบ็ดทดลองที่ได้รับอาหารสูตรต่าง ๆ นั้น พบว่า ปริมาณอาหารที่กินได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยที่เบ็ดในกลุ่มที่ 4 จะมีปริมาณอาหารที่กินได้สูงสุด คือ 542.05 กรัม ตามด้วยเบ็ดในกลุ่มที่ 3, 1, 5 และเบ็ดในกลุ่มที่ 2 จะมีปริมาณอาหารที่กินได้ต่ำสุด คือ 540.90, 535.77, 531.28 และ 528.85 กรัมตามลำดับ ส่วนอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของเบ็ดในกลุ่มต่าง ๆ นั้น พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยที่เบ็ดทดลองในกลุ่มที่ 5 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 2.03 ตามด้วยเบ็ดในกลุ่มที่ 2, 1, 4 และเบ็ดในกลุ่มที่ 3 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำสุด โดยมีค่า 2.08, 2.10, 2.21 และ 2.24 ตามลำดับ

ในระยะเบ็ดรุ่น (2-8 สัปดาห์) พบว่า เบ็ดทดลองในกลุ่มต่าง ๆ มีปริมาณอาหารที่กินได้และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยเบ็ดในกลุ่มที่ 3 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงสุดคือ 4.64 รองลงมาได้แก่ เบ็ดในกลุ่มที่ 4, 1, 5 และเบ็ดในกลุ่มที่ 2 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำสุดคือ 4.87, 4.88, 4.93 และ 4.97 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาตลอดระยะเวลาทดลอง 8 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณอาหารที่กินและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของเบ็ดทดลองในกลุ่มต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยเบ็ดในกลุ่มที่ 3 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงสุดคือ 4.17 ตามด้วยเบ็ดในกลุ่มที่ 1, 5, 4 และ 2 โดยมีค่า 4.30, 4.31, 4.34 และ 4.35 ตามลำดับ

4.3.3 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

ในระยะเบ็ดเล็ก (0-2 สัปดาห์) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของเบ็ดกลุ่มต่าง ๆ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยเบ็ดทดลองในกลุ่มที่ 5 มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงสุด คือ 2.26 รองลงมา คือ เบ็ดทดลองในกลุ่มที่ 2, 1, 4 และ 3 ซึ่งมีค่า 2.20, 2.17, 2.07 และ 2.04 ตามลำดับ

ในระยะเบ็ดรุ่น (2-8 สัปดาห์) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของเบ็ดกลุ่มต่าง ๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยเบ็ดทดลองในกลุ่มที่ 3 มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงสุด คือ 1.36 รองลงมาคือเบ็ดในกลุ่มที่ 4, 1, 5 และ 2 โดยมีค่า 1.29, 1.28, 1.27 และ 1.26 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้โปรตีนตลอดการทดลอง 8 สัปดาห์ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เบ็ดทดลองในกลุ่มที่ 5 มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงสุด คือ 1.45 รองลงมาคือ เบ็ดทดลองในกลุ่มที่ 1, 5, 4 และ 2 โดยมีค่า 1.41, 1.41, 1.40 และ 1.39 ตามลำดับ

ตารางที่ 11 แสดงน้ำหนักตัวเมื่อเริ่มการทดลอง น้ำหนักตัวเมื่อ 8 สัปดาห์ น้ำหนักตัวเมื่อ 0-8 สัปดาห์ ปริมาณอาหารที่ใช้ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

อาหาร สูตร	น.น. ตัวเมื่อ เริ่มทดลอง	น.น. ตัวเมื่อ 8 สัปดาห์	น.น. ตัวเมื่อ 0-8 สัปดาห์	ปริมาณอาหาร 0-8 สัปดาห์	อัตราการเปลี่ยน อาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพ การใช้โปรตีน
1	40.38±0.97 ^{1/}	1279.08±27.83	1238.70±26.96	5324.23±47.63	4.30±0.08	1.40±0.03
2	40.77±0.23	1241.22±19.14	1200.45±19.00	5222.71±32.55	4.35±0.08	1.39±0.03
3	40.51±0.68	1286.19±30.81	1245.76±30.14	5194.53±56.21	4.18±0.06	1.45±0.02
4	39.74±0.33	1263.19±14.87	1223.45±14.53	5305.11±54.17	4.34±0.02	1.40±0.01
5	40.64±0.25	1260.34±18.54	1219.70±18.49	5254.22±27.84	4.30±0.05	1.40±0.02

^{1/} ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

ตารางที่ 12 แสดงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อในแต่ละสัปดาห์ตลอดการทดลอง

สัปดาห์ที่	สูตรอาหาร				
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5
1	1.81±0.09 ^{1/}	1.65±0.04	1.81±0.03	1.83±0.16	1.60±0.06
2	2.21±0.06	2.26±0.02	2.44±0.07	2.36±0.04	2.21±0.04
3	3.27±0.23	3.10±0.32	2.82±0.02	3.72±0.34	3.35±0.27
4	4.04±0.16	3.94±0.23	3.76±0.31	4.10±0.05	4.55±0.36
5	5.39±0.49	4.87±0.21	4.91±0.63	4.27±0.20	4.97±0.29
6	4.49±0.15	5.08±0.41	4.88±0.57	4.60±0.33	4.67±0.06
7	5.32±0.06	5.69±0.05	5.39±0.14	5.56±0.08	5.38±0.10
8	7.92±0.03	8.23±0.31	7.76±0.08	7.87±0.11	7.81±0.08

^{1/} ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)

ตารางที่ 13 แสดงประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในแต่ละสัปดาห์

สัปดาห์ที่	สูตรอาหาร				
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5
1	2.54 $\pm$ 0.13 ^{1/}	2.78 $\pm$ 0.06	2.54 $\pm$ 0.06	2.53 $\pm$ 0.22	2.87 $\pm$ 0.11
2	2.08 $\pm$ 0.06	2.02 $\pm$ 0.02	1.89 $\pm$ 0.05	1.93 $\pm$ 0.03	2.07 $\pm$ 0.04
3	1.93 $\pm$ 0.14	2.06 $\pm$ 0.23	2.23 $\pm$ 0.01	1.72 $\pm$ 0.16	1.58 $\pm$ 0.18
4	1.55 $\pm$ 0.06	1.60 $\pm$ 0.09	1.69 $\pm$ 0.14	1.53 $\pm$ 0.02	1.38 $\pm$ 0.10
5	1.18 $\pm$ 0.10	1.29 $\pm$ 0.06	1.32 $\pm$ 0.17	1.48 $\pm$ 0.07	1.27 $\pm$ 0.08
6	1.40 $\pm$ 0.04	1.25 $\pm$ 0.09	1.32 $\pm$ 0.15	1.38 $\pm$ 0.09	1.35 $\pm$ 0.02
7	1.17 $\pm$ 0.01	1.10 $\pm$ 0.01	1.17 $\pm$ 0.03	1.13 $\pm$ 0.02	1.17 $\pm$ 0.02
8	0.79 $\pm$ 0.00	0.76 $\pm$ 0.03	0.81 $\pm$ 0.01	0.80 $\pm$ 0.01	0.80 $\pm$ 0.01

^{1/} ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE)