บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การทดลองที่ 1 ผลการใช้ความร้อนแห้งป้องกันการย่อยสลายของกากถั่วเหลืองในรูเมน

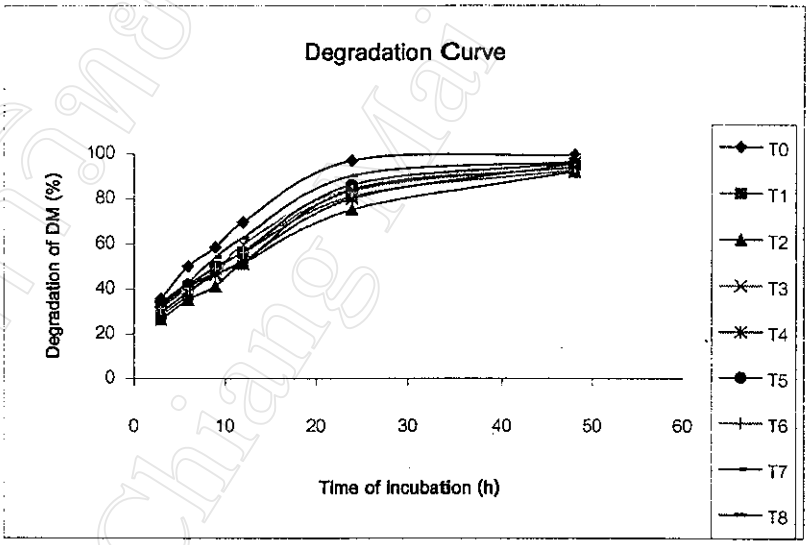
ตาราง 4.1 การย่อยสลายวัตถุแห้งของกากถั่วเหลืองที่คั่วเวลาต่าง ๆ โดยวิธีใช้ถุงไนล่อน

Table 4.1 DM disappearance (%) incubated *in sacco* of soybean meal roasted at various time

Oil (%)	Time (min)	Incubation time (h)					
		3	6	9	12	24	48
Control		35.6[b]	50.0[b]	58.4[b]	69.6[b]	97.0[b]	99.3[b]
0	10	28.0	37.1	49.8	56.1	81.0	92.7
	20	26.4	35.1	41.3	51.2	75.1	92.0
5	10	32.3	40.7	45.8	59.8	84.6	96.5
	20	29.5	38.6	46.7	52.4	80.1	95.5
8	10	34.1	41.9	49.8	56.4	86.2	95.7
	20	31.4	40.2	49.1	56.4	83.4	94.2
10	10	34.2	42.8	54.2	62.8	90.3	96.4
	20	33.2	41.1	46.9	51.9	84.0	93.9
Avg. 10 min.		32.2[ab]	40.6[a]	49.9[a]	58.8[ab]	85.6[a]	95.3[a]
Avg. 20 min.		30.1[a]	38.8[a]	46.0[a]	53.0[a]	80.7[a]	94.0[a]
Avg. 0% oil		27.2[a]	36.1[a]	45.6	53.7	78.1	92.4[a]
5% oil		30.9[ab]	39.7[ab]	46.3	56.1	82.4	95.0[ab]
8% oil		32.8[b]	41.1[b]	49.5	56.4	84.8	95.2[ab]
10% oil		33.7[b]	42.0[b]	50.6	57.4	87.2	96.0[b]

[a,b] Means in the same column with different superscript differ significantly ($p < 0.05$)

เมื่อนำตัวอย่างของกากถั่วเหลืองที่ผ่านการคั่วแล้วไปหาค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งโดยวิธีใช้ถุงไนล่อน ได้ข้อมูลดังแสดงในตาราง 4.1 และภาพ 4.1 พบว่าการคั่วกากถั่วเหลืองทำให้การย่อยสลายของวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมนลดลงกว่ากลุ่มควบคุมซึ่งไม่ได้คั่ว โดยการคั่วเป็นเวลา 20 นาที ทำให้ค่าการย่อยสลายในทุก ๆ ชั่วโมงของการบ่มลดลงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการคั่วเป็นเวลา 10 นาทีแล้วความแตกต่างของการย่อยสลายอันเนื่องมาจากเวลาในการคั่วไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาที่ 12 ชั่วโมง พบว่ากลุ่มควบคุม กลุ่มที่คั่ว 10 และ 20 นาที มีค่าการย่อยสลาย 69.6, 58.8 และ 53.0% ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับ Crooker *et al.* (1986) ที่รายงานว่ากลุ่มควบคุมมีค่าการย่อยสลาย 69.2% ส่วนกลุ่มที่ใช้ความร้อนอุณหภูมิ 250 ^{0}C เป็นเวลา 30 นาที ในการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดถั่วเหลืองมีค่าการย่อยสลาย 58.5 สำหรับการใส่น้ำมันระดับ 5% ให้ผลทางสถิติไม่ต่าง ($p>0.05$) จากกลุ่มที่ไม่ใส่น้ำมัน แต่การใส่น้ำมันระดับ 8 และ 10% ทำให้มีการย่อยสลายในรูเมนที่ 3 และ 6 ชั่วโมง สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพ 4.1 การย่อยสลายวัตถุแห้งในรูเมนที่ชั่วโมงต่าง ๆ ของกากถั่วเหลืองที่คั่วเวลาต่างกัน

Figure 4.1 DM disappearance (%) at different incubation period of soybean meal roasted at various time

Note: T_0 = Control (No oil and unheated)

T_1 = No oil heated for 10 min T_2 = No oil heated for 20 min

T_3 = 5% oil, heated for 10 min T_4 = 5% oil, heated for 20 min

T_5 = 8% oil, heated for 10 min T_6 = 8% oil, heated for 20 min

T_7 = 10% oil, heated for 10 min T_8 = 10% oil, heated for 20 min

เมื่อพิจารณาค่าลักษณะต่าง ๆ ของการย่อยสลายจากตาราง 4.2 พบว่ากลุ่มที่ไม่คั่ว (กลุ่มควบคุม) มีอัตราการย่อยสลาย (c) เร็วที่สุด และมีระยะเวลาที่รอให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลาย (L) น้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าการย่อยสลายในตาราง 4.1 ซึ่งพบว่ามีสูงสุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น การใช้เวลาคั่วเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการย่อยสลายลดลง (ยกเว้นกลุ่มที่ใช้น้ำมัน 8%) และมีค่า L เพิ่มขึ้นแสดงว่าคงทนต่อการย่อยสลายมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับตาราง 4.1 เช่นกัน สำหรับค่าอื่น ๆ ค่อนข้างผันแปร ส่วนการเสริมน้ำมันมีผลค่อนข้างแปรปรวน และไม่ได้ช่วยลดการย่อยสลายของวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมน เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้คั่ว

ตาราง 4.2 ค่าลักษณะการย่อยสลายโดยวิธีใช้ถุงไนล่อนของกากถั่วเหลืองที่ใช้ระยะเวลาคั่วต่างกัน

Table 4.2 Degradation characteristic of soybean meal roasted at various time

Oil	Time	Degradation characteristic						
(%)	(min)	a	b	c	A	B	P(A+B)	L
		← (%) →		(%/h)	← (%) →			(h)
0	0	14.1	89.4	0.084	31.9	68.1	100.0	2.6
	10	11.6	85.9	0.064	29.5	68.0	97.5	3.7
	20	13.6	88.8	0.046	28.3	71.7	100.0	3.9
5	10	16.3	87.7	0.056	33.4	66.6	100.0	3.9
	20	16.6	89.2	0.047	37.1	62.9	100.0	5.6
8	10	18.7	85.0	0.055	30.7	69.3	100.0	2.8
	20	16.1	84.8	0.058	34.0	66.0	100.0	4.1
10	10	15.1	86.2	0.071	35.4	64.6	100.0	3.8
	20	19.2	85.0	0.049	34.8	65.2	100.0	4.2

การที่การคั่วสามารถลดการย่อยสลายของกากถั่วเหลืองได้นั้น เพราะความร้อนไปทำให้เกิด crosslinkage ทั้งภายในสายโซ่และระหว่างสายโซ่ของเส้นเพปไทด์ ทำให้โปรตีนมีการละลายได้ลดลง (Deacon *et al.*, 1988) แต่ผลจากการทดลองนี้พบว่า ค่าการย่อยสลายที่ลดลงนี้ยังค่อนข้างต่ำ คือการย่อยสลายในชั่วโมงที่ 12 ลดลงจาก 69.6% ในกลุ่มควบคุม เหลือ 58.8 และ 53.0% ในกลุ่มที่ทำการคั่ว 10 และ 20 นาที ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการคั่วในกะทะขนาดใหญ่สามารถทำให้กากถั่วเหลืองมีอุณหภูมิสูงสุดได้เพียง 110-120^{o}C เท่านั้น ถ้าให้ความร้อนสูงกว่านี้จะทำให้กากถั่วเหลืองไหม้ แสดงว่าความร้อนในระดับ 110-120^{o}C ไม่เพียงพอต่อการป้องกันการย่อยสลายของโปรตีนในรูเมน ซึ่งสอดคล้องกับ Reddy *et al.* (1993) ที่พบว่าการให้ความร้อนแห้ง

โดยการอบถั่วเหลืองทั้งเมล็ดที่อุณหภูมิ 127^{0}C จะทำให้มีสัดส่วนของโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในรูเมนเพียง 48% แต่การให้ความร้อน 143 และ 146^{0}C จะทำให้โปรตีนที่ไม่ย่อยสลายเพิ่มขึ้นเป็น 58 และ 60% ตามลำดับ

ประเภทของความร้อนที่ใช้ก็มีผลต่อการลดการย่อยสลายของโปรตีนเช่นกัน ดังจะเห็นได้จากการทดลองของ Kaufmann and Luepping. (1982) ที่แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนเปียกโดยวิธี autoclave ที่อุณหภูมิ 130^{0}C เป็นเวลาเพียง 15 นาที สามารถลดการปลดปล่อยแอมโมเนียในรูเมนได้ 3 เท่าของการใช้ความร้อนแห้งที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน การใช้ความร้อนเปียกที่ 120^{0}C สามารถลดการปลดปล่อยแอมโมเนียได้ดีน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 130^{0}C เล็กน้อย แต่ยังดีกว่าการใช้ความร้อนแห้งที่ 130^{0}C มาก สำหรับความร้อนที่ให้แก่กากถั่วเหลืองในการทดลองนี้เป็นประเภทความร้อนแห้ง จึงมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก

ผลการทดลองนี้พบว่าการคั่วกากถั่วเหลืองยังไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมในการลดการย่อยสลายในกระเพาะรูเมน และยังต้องมีการศึกษาวิธีที่เหมาะสมในทางปฏิบัติต่อไป

การทดลองที่ 2 ผลของระดับฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีต่อค่าการย่อยสลายของกากถั่วเหลืองในรูเมน

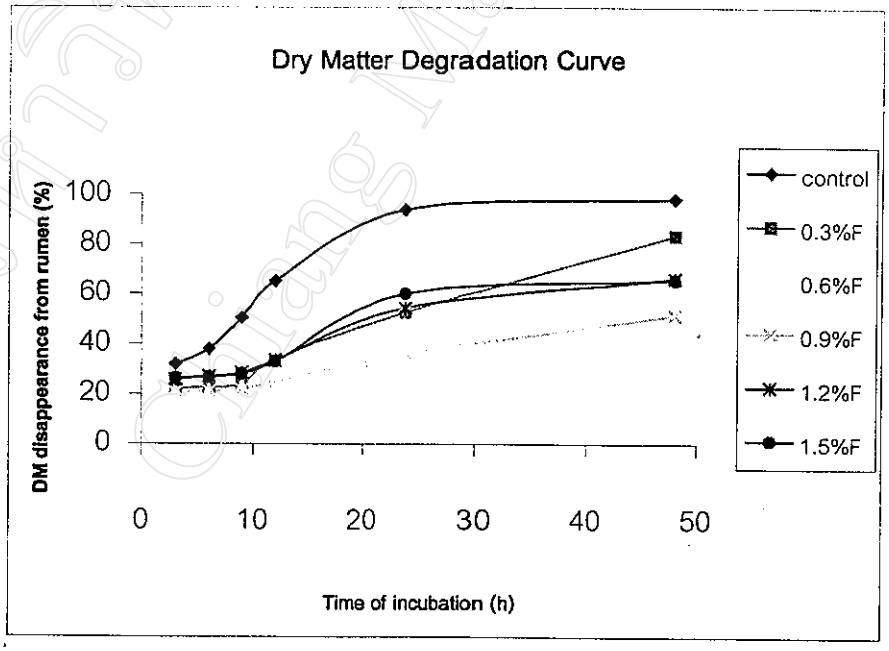
เมื่อนำตัวอย่างของกากถั่วเหลืองที่ผ่านการคลุกกับฟอร์มัลดีไฮด์ระดับต่าง ๆ ไปหาค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งโดยวิธีใช้ถุงไนล่อน (ตาราง 4.3 และภาพ 4.2) พบว่าการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ทำให้การย่อยสลายลดลงต่ำกว่ากลุ่มไม่ใช้อย่างมีนัยสำคัญในทุกชั่วโมงของการแช่ในกระเพาะรูเมน และการย่อยสลายนี้ลดลงตามระดับฟอร์มัลดีไฮด์ที่สูงขึ้น การที่ฟอร์มัลดีไฮด์ช่วยลดการย่อยสลายของวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมนได้นั้น เนื่องมาจากมันทำให้เกิด crosslinkage ดังได้กล่าวมาแล้ว จึงทำให้การละลายได้ที่สภาพ pH ของรูเมนลดลง (Chalupa, 1974) อย่างไรก็ดีพบว่าเมื่อใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ระดับ 1.2 และ 1.5% แม้ว่าจะทำให้ค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าดังกล่าวยังสูงกว่าการใช้ที่ระดับ 0.3-0.9% แสดงว่าระดับของฟอร์มัลดีไฮด์ที่สามารถใช้ได้ผลดีอยู่ในช่วง 0.3 – 0.9% เท่านั้น การใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ในระดับสูงกว่านั้น นอกจากจะเป็นการสิ้นเปลืองแล้ว ยังทำให้การป้องกันการย่อยสลายมีประสิทธิภาพต่ำลงด้วย เมื่อพิจารณาที่ชั่วโมงที่ 12 ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ 0.3 - 0.9% พบว่ามีค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งใกล้เคียงกับ Crooker *et al.* (1986) คือ 65.2, 34.8, 32.0 และ 29.7% โดยการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ 0.9% ทำให้ค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมนต่ำที่สุดในทุกชั่วโมงของการบ่ม

ตาราง 4.3 การย่อยสลายของวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมนที่ชั่วโมงต่าง ๆ ของกากถั่วเหลืองที่ทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์

Table 4.3 DM disappearance (%) at various incubation time of soybean meal treated with formaldehyde

Formaldehyde (%) w/w	Incubation times (h)					
	3	6	9	12	24	48
0	31.79^{a}	37.88^{a}	50.33^{a}	65.23^{a}	93.92^{a}	98.31^{a}
0.3	22.10^{c}	22.60^{c}	23.99^{c}	33.67^{b}	52.72^{bc}	83.64^{b}
0.6	21.10^{cd}	21.35^{c}	22.94^{c}	28.82^{b}	43.98^{cd}	63.26^{c}
0.9	20.59^{d}	20.79^{c}	21.46^{c}	24.89^{b}	35.87^{d}	51.57^{d}
1.2	25.64^{b}	26.99^{b}	28.52^{b}	33.39^{b}	54.43^{bc}	66.28^{c}
1.5	26.29^{b}	26.67^{b}	28.14^{b}	32.86^{b}	60.09^{b}	65.65^{c}

^{a,b,c,d,e} Means in the same column with different superscript differ significantly ($p < 0.05$)



ภาพ 4.2 ค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมนที่ชั่วโมงต่าง ๆ ของกากถั่วเหลืองที่ทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์

Figure 4.2 DM disappearance (%) at various incubation time of soybean meal treated with formaldehyde

สำหรับค่าลักษณะต่าง ๆ ของการย่อยสลาย (ตาราง 4.4) พบว่าการทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ระดับ 0.3 – 0.9% ทำให้ค่า L (ระยะเวลาที่รอจุลินทรีย์เข้าย่อยอาหาร) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระดับการเพิ่มของฟอร์มัลดีไฮด์ ในขณะที่ค่า A คือส่วนที่ละลายได้ทันที และค่า B (ส่วนที่ไม่ละลายแต่สามารถเกิดกระบวนการย่อยสลายได้) มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการที่ฟอร์มัลดีไฮด์ทำให้เกิด crosslinkage ในโปรตีนนั่นเอง จึงทำให้กากถั่วเหลืองมีความคงทนต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้น สำหรับการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ระดับ 1.2 และ 1.5% นั้นพบว่าทำให้ค่า B และ A+B (การย่อยได้สูงสุด) ลดลงคือมีค่าต่ำกว่ากากถั่วเหลืองปกติ แต่ก็ยังสูงกว่าการทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ที่ระดับ 0.6 และ 0.9% แสดงว่าการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ระดับสูงทำให้การป้องกันการย่อยสลายมีประสิทธิภาพลดลง อย่างไรก็ดีพบว่าค่า A และ B ของกากถั่วเหลืองปกติสูงกว่าที่ ปราโมทย์และคณะ (2543) ได้รายงานไว้ คือ 15.2 และ 69.5% ซึ่งอาจเนื่องมาจากกรรมวิธีการผลิตกากถั่วเหลืองที่มีเงื่อนไขต่างกัน

ตาราง 4.4 ค่าลักษณะการย่อยสลายของกากถั่วเหลืองที่ทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์

Table 4.4 Degradation characteristic of soybean meal treated with formaldehyde

Formaldehyde	Degradation characteristic						
(% w/w)	a	b	C	A	B	P(A+B)	L
	← (%) →		(%/h)	← (%) →			(h)
0	31.8	98.3	0.05	24.8	75.2	100	0.0
0.3	22.1	83.6	0.05	22.4	77.6	100	0.1
0.6	21.1	63.3	0.05	21.7	62.7	84.4	0.2
0.9	20.6	51.6	0.05	21.5	50.6	72.2	0.4
1.2	25.6	66.3	0.05	24.6	67.4	91.9	0.0
1.5	26.3	65.7	0.05	26.3	65.6	91.9	0.0

เมื่อพิจารณาปริมาณการย่อยสลายของโปรตีนรวมในกระเพาะรูเมน พบว่าการย่อยสลายโปรตีนรวมของกากถั่วเหลืองปกติ มีค่าต่ำกว่าที่ โชคและ Lebzien (2540) ได้รายงานไว้ คือ 81.58 และ 98.92% ที่ 12 และ 24 ชั่วโมงของการบ่ม ตามลำดับ แต่มีค่าสูงกว่าที่ ปราโมทย์และคณะ (2543) ได้รายงานไว้ คือ 71.91% ที่ 24 ชั่วโมงของการบ่ม การใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ทำให้การย่อยได้ของโปรตีนรวมในกระเพาะรูเมนลดลงอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับของฟอร์มัลดีไฮด์ และทุกชั่วโมง

ของการแช่ในกระเพาะรูเมน (ตาราง 4.5 และ ภาพ 4.3) โดยการย่อยสลายมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้ที่ 0.9% ดังจะสังเกตได้ว่าโปรตีนรวมไม่ถูกย่อยสลายเลยตลอด 24 ชั่วโมงของการบ่ม แสดงว่าฟอร์มัลดีไฮด์ระดับนี้สามารถป้องกันการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะรูเมนได้มากที่สุด ไม่จำเป็นต้องใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ระดับสูงกว่านี้ และเมื่อพิจารณาการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ระดับ 0.3% พบว่าอาจจะเพียงพอต่อการป้องกันการย่อยสลายของโปรตีนในกากถั่วเหลือง เพราะทำให้กากถั่วเหลืองมีการย่อยสลายในรูเมนในระยะ 12 ชั่วโมงแรกต่ำมากเพียง 0.42% เท่านั้น ซึ่งต่ำกว่ากากถั่วเหลืองปกติอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างจากการใช้ที่ระดับ 0.6 และ 0.9% นอกจากนี้ยังพบว่าที่ 24 ชั่วโมงของการบ่มในรูเมน กากถั่วเหลืองที่ผ่านการป้องกันการย่อยสลายด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 0.3% มีโปรตีนไหลผ่าน 82.28%[1/] ซึ่งใกล้เคียงกับ NRC. (1988) ที่ได้รายงานไว้ คือ 80% สำหรับการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ระดับ 1.2 และ 1.5% กลับทำให้การย่อยสลายโปรตีนสูงขึ้นกว่าการใช้ในระดับ 0.3-0.9% ซึ่งสอดคล้องกับการย่อยสลายของวัตถุแห้ง

ตาราง 4.5 การย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะรูเมนที่ชั่วโมงต่าง ๆ ของกากถั่วเหลืองที่ทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์

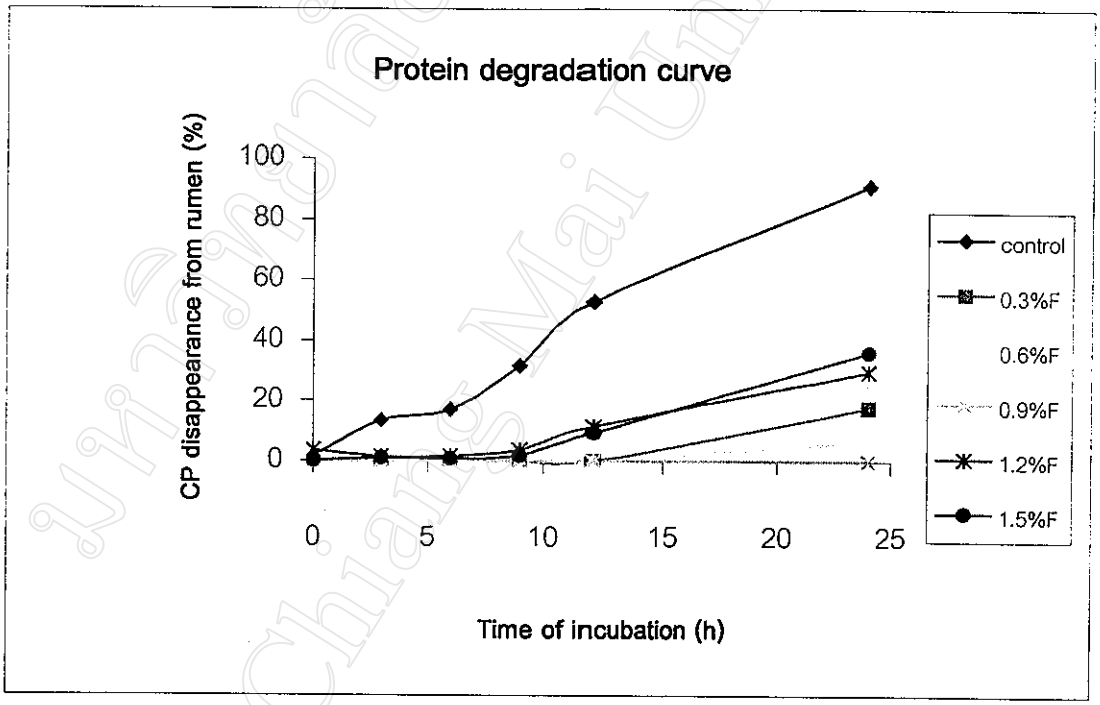
Table 4.5 CP disappearance (%) at various incubation time of soybean meal treated with formaldehyde

Formaldehyde	Incubation times (h)					
(%) w/w	0	3	6	9	12	24
0	1.40	13.48^{a}	17.06^{a}	31.70^{a}	52.68^{a}	91.02^{a}
0.3	0.00	0.00^{c}	0.00^{d}	0.00^{d}	0.42^{d}	17.72^{d}
0.6	0.00	0.00^{c}	0.00^{d}	0.00^{d}	0.00^{d}	6.53^{e}
0.9	0.00	0.00^{c}	0.00^{d}	0.00^{d}	0.00^{d}	0.00^{f}
1.2	3.69	1.52^{b}	1.75^{b}	3.77^{b}	11.61^{b}	29.71^{c}
1.5	0.00	1.10^{b}	0.77^{c}	1.85^{c}	9.41^{c}	36.13^{b}

^{a,b,c,d,e,f} Means in the same column with different superscript differ significantly ($p < 0.05$)

[1/] โปรตีนไหลผ่าน (%) = 100 - %โปรตีนที่ย่อยสลายในรูเมน

เมื่อพิจารณาค่าการย่อยสลายโปรตีนเปรียบเทียบกับการย่อยสลายวัตถุแห้ง จะเห็นได้ว่าโปรตีนมีการย่อยสลายช้ากว่าวัตถุแห้งมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะ 12 ชั่วโมงแรก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโปรตีนเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่มีการย่อยสลายได้ยากกว่าวัตถุแห้งซึ่งประกอบด้วยโภชนะหลายชนิดทั้งที่ย่อยง่ายและย่อยยาก ดังนั้นการใช้ข้อมูลการย่อยสลายของวัตถุแห้งแทนการย่อยสลายของโปรตีนจึงไม่ถูกต้องนัก แต่เนื่องจากการวัดการย่อยสลายของวัตถุแห้งสามารถทำได้รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายกว่า จึงมีประโยชน์ในแง่ของการทำ screening test กับตัวอย่างจำนวนมาก เมื่อคัดเลือกได้ตัวอย่างที่ศักยภาพจำนวนหนึ่งแล้วจึงค่อยทำการวัดการย่อยสลายโปรตีนต่อไป



ภาพ 4.3 การย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะรูเมนที่ชั่วโมงต่าง ๆ ของกากถั่วเหลืองที่ทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์

Figure 4.3 CP disappearance (%) at various incubation time of soybean meal treated with formaldehyde

การทดลองที่ 3 ผลการประเมินค่าการย่อยได้ของโปรตีนในกากถั่วเหลืองด้วยเอนไซม์ในหลอดทดลอง (*in vitro* enzymatic technique)

จากการนำโปรตีนที่เหลือจากการย่อยในกระเพาะรูเมนที่ระยะ 12 ชั่วโมงไปย่อยด้วยเอนไซม์ pepsin และ pancreatin ในหลอดทดลอง พบว่ากลุ่มควบคุมมีการย่อยได้สูงถึง 98.28% ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ Chiou *et al.* (1999) ได้รายงานไว้คือ 95.22% (ตาราง 4.6 แนวตั้งที่ 2) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกากถั่วเหลืองมีเยื่อใยต่ำ มีลิกนินเพียง 0.5% เท่านั้น (NRC, 2001) การทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 0.3 และ 0.6% ไม่ทำให้การย่อยได้ดังกล่าวลดลงต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เพราะ crosslinkage ของ amide group ในโปรตีนที่เกิดจากปฏิกิริยาของฟอร์มัลดีไฮด์นั้นสามารถถูกทำลายได้ในสภาวะที่เป็นกรดในกระเพาะแท้ของสัตว์ (Chalupa, 1974) แต่การใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ในระดับสูงกว่านั้น ทำให้การย่อยได้ลดลงตามลำดับ โดยเฉพาะเมื่อใช้ในระดับ 1.2 และ 1.5% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ฟอร์มัลดีไฮด์ระดับสูงทำให้เกิด crosslinkage กับโปรตีนที่แข็งแรงขึ้นหรือมีสถานะที่เรียกว่า irreversible protection ทำให้มีพันธะเพียงบางส่วนเท่านั้นที่สามารถถูกทำลายได้ จึงมีการย่อยได้ที่ลำไส้เล็กลดลง (Antoniewicz *et al.*, 1992)

เมื่อนำค่าการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะรูเมนจากการทดลองที่ 2 มาคำนวณหาสัดส่วนการย่อยได้ของโปรตีนในลำไส้เล็ก รวมทั้งส่วนที่ย่อยไม่ได้ ได้ข้อมูลดังตาราง 4.6 แนวตั้งที่ 3-4 และภาพ 4.4 จะเห็นได้ว่ากากถั่วเหลืองปกติมีการย่อยได้ในรูเมนและลำไส้เล็กในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน เมื่อนำทั้ง 2 ส่วนมารวมกัน พบว่ามีการย่อยได้ในระดับที่สูงมากถึง 99.18% จึงเหลือส่วนที่ไม่ถูกย่อย (undigested) ต่ำมากเพียง 0.82% เท่านั้น การใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ระดับ 0.3% สามารถป้องกันการย่อยในรูเมนได้ดีมาก ซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้ที่ระดับ 0.6 และ 0.9% แต่ทำให้การย่อยได้ในลำไส้เล็กดีที่สุด คือย่อยได้ถึง 98.68% เป็นเหตุให้มีส่วนที่ไม่ถูกย่อยเพียง 0.90% เท่านั้น ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าการใช้ในระดับนี้ทำให้เกิด crosslinkage เหมาะสม ผลการศึกษานี้เป็นไปในทำนองเดียวกับของ Antoniewicz *et al.* (1992) ที่ใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ 0, 10, 20, 30 และ 40 กรัมต่อกิโลกรัมของโปรตีนรวมในกากเรปซีด พบว่าโปรตีนรวมมีการย่อยได้ในรูเมน 65, 30, 11, 9 และ 4% และย่อยได้ในลำไส้เล็ก 91, 89, 87, 75 และ 65% ตามลำดับ โดยได้ให้เหตุผลว่าปฏิกิริยาของฟอร์มัลดีไฮด์กับโปรตีนอาจจะเป็นแบบการเพิ่ม (addition) หรือ การควบแน่น (condensation) ซึ่งเป็นพันธะ non-ionic โดยการจับระหว่างกลุ่มของกรดอะมิโนที่มีหมู่ S-H, -OH, $-NH_2$ เป็นต้น กับหมู่ carbonyl (-C=O) ของฟอร์มัลดีไฮด์ทำให้เกิด crosslinkage แบบเมทธิลีน (methylene bridges) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวไม่มีผลต่อส่วนประกอบของกรดอะมิโนและการย่อยได้ของโปรตีนที่กระเพาะแท้และลำไส้เล็ก สอดคล้องกับ

Crooker *et al.* (1986) ที่พบว่าการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์สามารถรักษา (preserving) สัดส่วนของกรดอะมิโนเดิม (original amino acid profile) ในกากถั่วเหลืองไว้ได้

ตาราง 4.6 การย่อยได้ของโปรตีนในกระเพาะแท้และลำไส้เล็กของกากถั่วเหลืองที่ทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ โดยวิธีการใช้เอนไซม์

Table 4.6 Postruminal CP digestibility (%) by enzymatic method of formaldehyde treated soybean meal

Formaldehyde (%) w/w	Postruminal CP digestibility (%)[1/]	Ratio of CP being digested in		Total CP digestibility (%)[4/]	Undigested CP (%)[5/]
		Rumen[2/]	Intestine[3/]		
0	98.28[a]	52.68[a]	46.50[c]	99.18[a]	0.82[d]
0.3	99.10[a]	0.42[d]	98.69[a]	99.11[a]	0.90[d]
0.6	96.71[a]	0[d]	96.71[b]	96.71[a]	3.29[d]
0.9	82.07[b]	0[d]	84.07[b]	84.06[b]	15.93[c]
1.2	25.38[c]	11.61[b]	22.41[d]	34.02[c]	65.98[b]
1.5	12.01[d]	9.41[c]	10.88[e]	20.29[d]	79.71[a]

[a,b,c,d,e,f] Means in the same column with different superscript differ significantly ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่าย พบว่าการทรีตกากถั่วเหลืองด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 0.3% ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเพียง 0.22 บาท/กก. ซึ่งนับว่าถูกมาก เพราะฟอร์มาลิน 37% ราคาเพียง 27 บาท/กก. เท่านั้น อีกทั้งยังมีความปลอดภัยกว่าการใช้ในระดับสูง

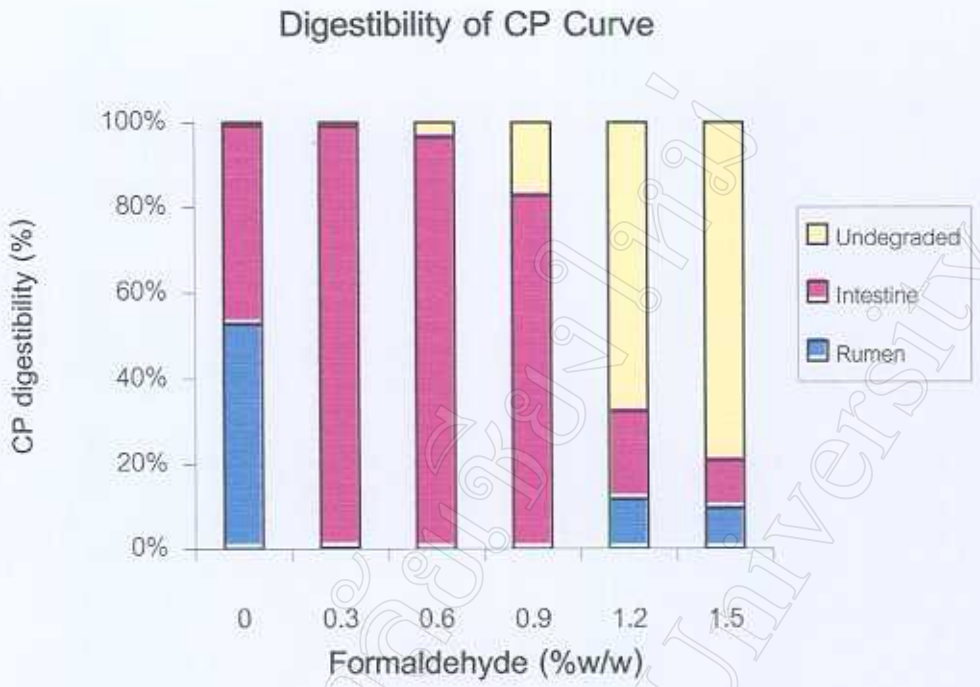
[1/] Postruminal CP digestibility (*in vitro* enzymatic method) = (Initial CP – Residual CP) ×100 /Initial CP

[2/] The values are CP digestibility from table 8

[3/] Ratio of CP digested in intestine = Total CP digestibility (%) – ratio of CP digested in rumen

[4/] Total digestibility = $\frac{\text{(Initial CP in nylon bag – Residual CP in the tube)} \times 100}{\text{Initial CP in nylon bag}}$

[5/] Undigested CP (%) = 100 - % total CP digestibility



ภาพ 4.4 การย่อยได้ของโปรตีนในรูเมน (บ่ม 12 ชั่วโมง) และที่ย่อยด้วยเอนไซม์ในหลอดทดลองของกากถั่วเหลืองที่ทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์

Figure 4.4 Ruminal (12 h incubation) and *in vitro* enzymatic digestibility of crude protein in formaldehyde treated soybean meal

การทดลองที่ 4 ผลการไล่ฟอร์มัลดีไฮด์ออกจากกากถั่วเหลืองและผลที่มีต่อจุลินทรีย์ในรูเมน

จากการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์มาตรฐาน ได้สมการ regression คือ y = 1.13 + 25.47x โดยที่ y เป็นปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ และ x คือค่า absorbent เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการกลั่นตัวอย่างกากถั่วเหลืองที่ผ่านการทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์แล้วมาวิเคราะห์ค่าดูดกลืนแสงได้ผลดังแสดงในตาราง 4.7 พบว่าการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ระดับสูงขึ้นมีผลทำให้ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ตกค้างในกากถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละกลุ่มพบว่าการตากแดดทำให้ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือมีค่าน้อยกว่าการเก็บในถุงพลาสติกและการใช้พัดลมเป่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และเมื่อพิจารณากลุ่มที่เป่าจะเห็นได้ว่าการใช้เวลาเป่าเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 10 นาที มีแนวโน้มทำให้ค่าฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

(P<0.05) อย่างไรก็ดีเมื่อเทียบกับปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้แล้วพบว่าปริมาณที่เหลือมีน้อยมาก ไม่เกิน 7 %ของปริมาณที่ใช้ไม่ว่าจะใช้ที่ระดับใดและมีการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ส่วนเกินหรือไม่ โดยปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือตกค้างนี้ระดับต่ำที่สุด คือ 0.0127% หรือ 127 ppm ระดับที่สูงที่สุด คือ 0.0876% หรือ 876 ppm ซึ่งระดับดังกล่าวนี้ยังต่ำกว่าที่ Food and Drug Administration (FDA) อนุญาตให้ใช้ในการทำลายเชื้อ *Salmonella senftenberg* ในอาหารสัตว์ คือ 2.5 กรัมต่อกิโลกรัมของอาหารหรือ 2500 ppm ซึ่งการใช้ในระดับนี้ทำให้มีฟอร์มัลดีไฮด์เหลืออยู่ในปลาป่น 667 ppm (European Commission, 1999) ยิ่งถ้าใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ระดับต่ำกว่านี้ก็จะทำให้มีฟอร์มัลดีไฮด์ที่ตกค้างต่ำกว่านี้ด้วย แสดงว่าการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ในการศึกษาทั้งหมดนี้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย

ตาราง 4.7 ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือหลังจากทรีตกากถั่วเหลือง แล้วทำการเป่าหรือตากแดด

Table 4.7 Formaldehyde residue after treating with soybean meal and being expelled by blowing or sun-drying

Method	Formaldehyde (%)	Time	Formaldehyde residue	
			% of SBM	% of formaldehyde used
Keeping in an airtight plastic bag	0.9		0.05[b]	5.68[b]
	1.2		0.08[a]	6.37[a]
	1.5		0.09[a]	5.84[ab]
Fan blowing	0.9	5 min	0.02[e]	4.52[d]
		10 min	0.03[e]	5.06[cd]
	1.2	5 min	0.04[cd]	3.35[c]
		10 min	0.04[d]	3.18[c]
	1.5	5 min	0.05[b]	3.30[c]
		10 min	0.05[bc]	2.87[cd]
Sun-drying	0.9		0.01[f]	1.41[e]
	1.2		0.02[ef]	1.58[e]
	1.5		0.02[e]	1.61[e]

[a,b,c,d,e, f] Mean in the same column with different superscript differ significantly (P < 0.05)

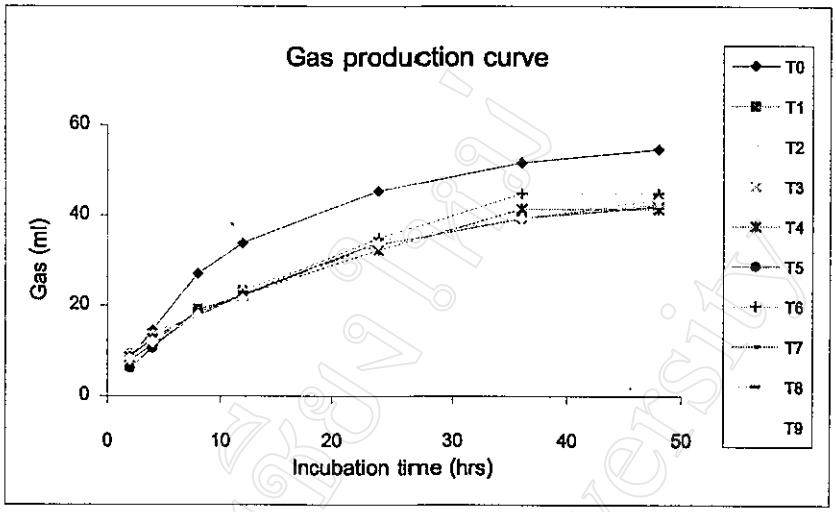
เมื่อนำตัวอย่างกากถั่วเหลืองที่ผ่านการทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์มาบ่มหมักกับน้ำย่อยจากกระเพาะรูเมนของโคที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในหลอดทดลองได้ผลดังแสดงในตาราง 4.8 และ

ภาพ 4.5 ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาตรแก๊สที่เกิดขึ้นจากตัวอย่างกากถั่วเหลืองปกติ พบว่าที่ชั่วโมง 4, 8, 12 และ 24 ของการบ่มมีค่าต่ำกว่าที่ วรรณา (2544) ได้รายงานไว้ คือ 21.2, 34.9, 39.5 และ 48.4 ml ตามลำดับ แต่การบ่มที่ 36 และ 48 ชั่วโมงของทั้ง 2 การทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน คือ วรรณารายงานว่าเท่ากับ 52.8 และ 55.2 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากโคที่ใช้ทดลองได้รับอาหารต่างกัน และเมื่อพิจารณาในกลุ่มที่มีการเป่าและตากแดด พบว่าปริมาตรแก๊สของกลุ่มที่ใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีค่าต่ำกว่ากากถั่วเหลืองปกติในทุก ๆ ชั่วโมงของการบ่ม ซึ่งค่านี้จะเห็นได้ชัดเจนตั้งแต่ชั่วโมงที่ 4 เป็นต้นไปแสดงว่าฟอร์มัลดีไฮด์สามารถช่วยป้องกันการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะรูเมนได้ และถ้าพิจารณาค่าแก๊สตั้งแต่ชั่วโมงที่ 8 ขึ้นไป จะเห็นได้ว่ามีค่าที่ค่อนข้างคงที่ไม่ว่าจะใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ระดับใดและใส่ฟอร์มัลดีไฮด์ส่วนเกินด้วยวิธีใด ยกเว้นชั่วโมงที่ 36 ซึ่งมีค่าแปรปรวนเล็กน้อย แสดงว่าฟอร์มัลดีไฮด์ระเหยออกไปได้ง่ายในเวลาอันรวดเร็ว จนส่วนที่เหลือไม่เป็นพิษกับจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (Mangan *et al.*, 1980 อ้างโดย Schwab, 1995) ผลอันนี้เป็นเครื่องบ่งชี้ว่าในทางปฏิบัติอาจไม่จำเป็นต้องใส่ฟอร์มัลดีไฮด์ เพราะระหว่างที่นำกากถั่วเหลืองมาใช้ผสมอาหาร หรือระยะเวลาที่รอสัตว์กินนั้นฟอร์มัลดีไฮด์น่าจะระเหยไปหมดหรือเกือบหมดแล้ว เพราะมันเป็นสารที่ระเหยได้ง่าย จากการสังเกตการนำฟอร์มัลดีไฮด์ปริมาณ 3 มล. มาใส่ภาชนะเปิดรูปทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 ซม. พบว่าสามารถระเหยได้หมดในเวลาเพียง 4 ชั่วโมง

ตาราง 4.8 ปริมาตรแก๊ส (ml/200mgDM) ที่ชั่วโมงต่าง ๆ

Table 4.8 *In vitro* gas production (ml/200mgDM) at incubation time

Method	Formaldehyde (%)	Time	Incubation time (hrs) V2	V4	V8	V12	V24	V36	V48
Untreated soybean meal			8.2	14.5	27.0	33.8	45.4	51.7	54.7
Fan blowing	0.9	5 min	9.2	13.3	19.3	23.3	34.3	39.5	42.5
		10 min	9.0	13.2	19.3	23.3	34.9	43.8	43.8
	1.2	5 min	9.2	13.0	18.6	22.5	34.6	40.0	43.4
		10 min	8.6	12.6	18.4	22.1	32.3	41.4	41.4
	1.5	5 min	6.2	10.6	19	22.2	33.5	39.2	43.3
		10 min	8.0	12.0	18.4	22.5	34.9	44.9	44.9
Sun-drying	0.9		7.8	11.3	17.7	22.3	34.0	39.3	42.0
	1.2		8.0	11.8	17.7	21.6	34.0	39.3	42.2
	1.5		8.2	11.9	17.6	21.3	33.6	39.3	43.3



ภาพ 4.5 ปริมาตรแก๊ส (ml/200mgDM) ที่ชั่วโมงต่าง ๆ

Figure 4.5 *In vitro* gas production (ml/200mgDM) at incubation time

Note: T0 = Untreated soybean meal (SBM)

T1, T2 = SBM treated with 0.9% formaldehyde w/w, then blown for 5 and 10 min.

T3, T4 = SBM treated with 1.2% formaldehyde w/w, then blown for 5 and 10 min.

T5, T6 = SBM treated with 1.5% formaldehyde w/w, then blown for 5 and 10 min.

T7, T8 และ T9 = SBM treated with 0.9, 1.2, 1.5% formaldehyde w/w, then sun dried.

การทดลองที่ 5 ผลต่อประสิทธิภาพการผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมในโคให้นมสูง

5.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลืองและอาหารที่โคได้รับ

จากตาราง 4.9 พบว่า กากถั่วเหลืองมีอินทรียวัตถุและโปรตีน ใกล้เคียงกับที่สุชนและคณะ (2543) ได้รายงานไว้คือ 92.9 และ 50.45% ตามลำดับ ส่วนไขมันมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ วรรณา (2544) คือ 1.93 แต่ต่ำกว่ารายงานของ สุชนและคณะ (2543) คือ 2.21 เทียบกับ 3.35% สำหรับค่าเยื่อใย (ADF) ของกากถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ 9.57% ซึ่งใกล้เคียงกับที่ วรรณา (2544) ได้รายงานไว้ คือ 9.90 และ Church (1991) กับ Donald *et al.* (1999) คือ 10.0%

ตาราง 4.9 องค์ประกอบทางเคมีของกากถั่วเหลือง

Table 4.9 Chemical composition (DM basis) of soybean meal.

	DM	OM	CP	EE	NDF	ADF
		←		%DM		→
SBM	89.11	91.81	49.71	2.21	19.41	9.57

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของหญ้ารูซี่ และตัวอย่างอาหารข้นทั้ง 3 สูตรนั้น แสดงไว้ในตาราง 4.10 ซึ่งสูตรอาหารข้นที่โคทั้ง 6 ตัวได้รับใน 3 ระยะมีทั้งหมด 18 สูตร เพราะมีการปรับปริมาณโภชนะให้ตรงตามความต้องการของโคแต่ละตัวที่มีสรีระและการให้นมที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ดี พบว่าอาหารข้นแต่ละสูตรมีโภชนะที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นค่าโปรตีนของสูตรควบคุมมีค่าต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องมาจากการสร้างสูตรอาหารเป็นไปตามปริมาณผลผลิตของโคดังได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นการที่โคกลุ่มนี้ให้นมน้อยกว่ากลุ่มอื่น จึงมีความต้องการโปรตีนเพื่อการผลิตน้ำนมต่ำกว่า

ตาราง 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้ารูซี่ และอาหารข้นทั้ง 3 สูตร

Table 4.10 Chemical composition of ruzi grass and 3 concentrate rations.

Chemical Composition (%DM)	Ruzi grass	Concentrate feed		
		Control	TSBM	FM
DM	18.78	89.06	89.28	88.82
CP	7.86	17.57	19.11	22.44
EE	2.62	3.37	4.13	4.62
NDF	56.64	34.45	36.14	27.03
ADF	33.35	15.21	14.80	14.71
Ash	8.00	13.89	12.93	13.54
NFC	24.88	30.72	27.69	32.37
TDN	57.34[1/]	72.61[2/]	72.66[2/]	72.27[2/]
ME[3/]	2.10	2.78	2.79	2.77

[1/] TDN was calculated from the equations of Kearl (1982) as follows :

TDN of dry roughage (%DM) = -17.2649 +1.2120 (%CP) + 0.8352 (%NFE) + 2.4637 (%EE) + 0.4475 (%CF)

TDN of energy feed (%DM) = 40.2625 + 0.1969 (%CP) + 0.4228 (%NFE) + 1.1 (%EE) – 0.1379 (%CF)

TDN of protein supplement (%DM) = 40.3227 + 0.5398 (%CP) + 0.4448 (%NFE) + 1.4218 (%EE) – 0.7007 (%CF)

Note : ADF = 1.61+1.3 CF (Promma *et al.*, 1998)

[2/] Calculated from the value of ingredients

[3/] **ME* (Mcal / kgDM) = -0.45 + (0.04453 x TDN (%))**

5.2 ปริมาณอาหารที่กินได้ และโภชนะที่โคได้รับ

ตาราง 4.11 ปริมาณวัตถุแห้ง โปรตีน และพลังงานที่โคได้รับในแต่ละวัน

Table 4.11 Amount of dry matter, crude protein and TDN intake of cows per day.

	Control	TSBM	FM
Dry matter intake			
- kg/cow/day	12.93	13.0	12.94
- %BW	2.44	2.47	2.47
- % metabolic weight ($BW^{0.75}$)	11.69	11.82	11.82
Concentrate intake (kg/cow/day)	8.39	8.26	7.95
CP intake (kg/cow/day)	3.38	3.54	3.82
RUP intake from concentrate	0.50	0.62	0.69
RDP intake from concentrate	0.88	0.85	0.99
NFC intake (kg/cow/day)	2.78	2.51	2.82
TDN intake (kg/cow/day)	7.47	7.44	7.26
ME intake (Mcal/cow/day)	27.46	27.29	26.51
Roughage : Concentrate	50 : 50	50 : 50	50 : 50

จากการคำนวณสูตรอาหารให้แก่โคทดลองแต่ละตัวในแต่ละระยะโดยปรับตามปริมาณน้ำนม ทำให้โคแต่ละกลุ่มได้รับวัตถุแห้งและโภชนะดังแสดงไว้ในตาราง 4.11 จะเห็นได้ว่าปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะโคทุกตัวได้รับอาหารหยาบในปริมาณที่เท่ากันและกินได้หมด อีกทั้งอาหารข้นก็มีสัดส่วนโภชนะที่ใกล้เคียงกัน และตรงตามความต้องการของโค สอดคล้องกับการทดลองของ Kanjanapruthipong *et al*. (2002) ที่รายงานว่า ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งของสูตรอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองปกติ กับกากถั่วเหลืองที่ผ่านการทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ไม่มีความแตกต่างกัน สำหรับปริมาณโปรตีนที่โคกลุ่มที่ 1 (Control) ได้รับต่ำกว่ากลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 อาจเนื่องมาจากสูตรอาหารข้นของโคกลุ่มควบคุมมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า เพราะถูกปรับตามปริมาณนมดังได้กล่าวมาแล้ว

5.3 ผลผลิต และต้นทุนค่าอาหาร

เนื่องจากไม่สามารถคัดเลือกโคที่ใช้ทดลองทั้ง 6 ตัว ให้มีส่วนของน้ำหนักตัว อายุ และจำนวนวันการให้นมเท่ากันได้ ดังนั้นในการเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณและส่วนประกอบของน้ำนมจึงต้องนำข้อมูลดังกล่าวของโคแต่ละตัวมาคิดเป็นตัวแปรร่วม จากตาราง 4.12 พบว่าปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้ต่อวันไม่ว่าจะปรับไขมัน (4%FCM) หรือไม่ปรับก็ตาม กลุ่มที่ใช้สูตรอาหารกากถั่วเหลืองทรีตฟอร์มัลดีไฮด์ และกลุ่มที่ใช้ปลาป่นมีแนวโน้มว่าให้นมสูงกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับ Higginbotham *et al.* (1989) และ Crawford and Hoover. (1984) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการ คือ 1. อาหารของ 2 กลุ่มหลังนี้มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่า จึงทำให้โคได้รับโปรตีนมากกว่า 2. สูตรอาหาร 2 กลุ่มหลังมีสัดส่วนโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนสูงกว่ากลุ่มควบคุม (38 เทียบกับ 34% ของสูตรอาหาร) จึงทำให้มีโปรตีนไปย่อยที่ลำไส้เล็กและดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น อย่างไรก็ดีการที่การทดลองนี้ไม่เห็นผลในเชิงบวกของกากถั่วเหลืองทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ หรือการใช้อาหารที่มี bypass protein สูง ชัดเจนนักอาจเนื่องมาจากโคที่ใช้ในการทดลองให้นมไม่สูงมาก เฉลี่ยประมาณ 17 กก. เท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wachira *et al.* (1974) ที่ได้ใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ทรีตกับกากถั่วเหลืองที่ระดับ 0.32% ก็พบว่าไม่มีผลตอบสนองสำหรับโคที่ให้นม 20-25 กิโลกรัมต่อวันและได้คาดการณ์ว่าผลการตอบสนองอาจจะเป็นไปในทางบวกสำหรับโคที่ให้นมสูงกว่านี้และกำลังอยู่ในช่วงแรกของการให้นม (early lactation) ส่วนองค์ประกอบของน้ำนมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นโปรตีนในกลุ่มที่ใช้กากถั่วเหลืองทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ (กลุ่ม 2) มีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุม (กลุ่ม 1) และกลุ่มที่ใช้ปลาป่น (กลุ่ม 3) การที่เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมของโคกลุ่ม 2 มีค่าต่ำกว่ากลุ่ม 3 อาจเนื่องมาจากโคกลุ่มกลุ่ม 2 ได้รับโปรตีนต่อวัน ทั้งในส่วนของ RUP และ RDP ต่ำกว่าโคกลุ่ม 3 แต่การที่โคกลุ่ม 2 มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมต่ำกว่าโคกลุ่มควบคุมนั้นอาจเป็นเพราะโคกลุ่ม 2 ให้น้ำนมมากกว่า แต่ได้รับ RUP ต่ำกว่า ผลการทดลองนี้สอดคล้องกันกับการทดลองของ Crawford and Hoover. (1984) และ Folman *et al.* (1981) ที่ใช้กากถั่วเหลืองทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ระดับ 0.3 และ 0.17% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่า MUN พบว่าไม่แตกต่างกัน แต่กลุ่มที่ใช้ปลาป่นมีแนวโน้มสูงกว่า ซึ่งอาจเนื่องมาจากโคกลุ่มนี้ได้รับโปรตีนรวมและโปรตีนในรูปของ RDP สูงกว่ากลุ่มอื่น อย่างไรก็ดีค่า MUN อยู่ในช่วง 12-16 mg/dl โดยมีความเข้มข้นของโปรตีนในน้ำนมประมาณ 3% ซึ่งเป็นระดับปกติสำหรับสูตรอาหารที่มีระดับพลังงานและโปรตีนเพียงพอต่อการให้ผลผลิตน้ำนม (Amaral-Phillips, No date)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอาหารที่กินต่อการให้ผลผลิตน้ำนม (FCR) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีแนวโน้มว่ากลุ่มควบคุมใช้อาหารในการผลิตน้ำนม 1 กก. สูงกว่าอีก 2 กลุ่ม ในขณะที่ 2 กลุ่มหลังนี้มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าสามารถใช้กากถั่วเหลืองทรีตฟอร์มัลดีไฮด์แทนปลาป่นในสูตรอาหารได้เกือบทั้งหมด

ตาราง 4.12 ปริมาณ และองค์ประกอบน้ำนม ของโคที่กินอาหารสูตรต่าง ๆ

Table 4.12 Milk production and milk composition of cows fed different diets.

Animal performance	Treatment		
	Control	TSBM	FM
Milk yield (kg/day)	16.24	17.16	17.42
4FCM[1]	16.64	17.64	18.07
Milk constituent (%)			
-Fat	4.21	4.23	4.13
-Protein	3.01[b]	2.92[a]	3.02[b]
-Lactose	4.58	4.60	4.64
-Total solid	12.49	12.44	12.59
-Solid not fat	8.28	8.22	8.36
Yield of constituent (kg/day)			
-Fat	0.70	0.72	0.72
-Protein	0.50[a]	0.50[a]	0.52[b]
-Lactose	0.76[a]	0.79[b]	0.79[b]
-Total solid	2.07[a]	2.13[b]	2.15[b]
-Solid not fat	1.37[a]	1.41[b]	1.43[c]
Milk urea nitrogen (mg/dl)	12.45	12.40	13.38
FCR (feed DM/kg milk)	0.81	0.78	0.77
FCR (feed DM/4%FCM)	0.81	0.75	0.74

[1]FCM = (0.4)(kg of milk) + (15)(kg of fat), FCR: Feed conversion ratio

[a,b,c] Means in the same row with different superscript differ significantly ($p < 0.05$)

Note : Day in milk, age and weight of cows used as covariates in comparison between treatments.

เมื่อพิจารณาจากค่าอาหารในแต่ละวันเฉลี่ยต่อโค 1 ตัว พบว่าสูตรอาหาร TSBM มีค่าต่ำสุด รองลงมาคือสูตร control และ FM ตามลำดับ (ตาราง 4.13) ทั้งนี้เนื่องจากสูตร control มีการใช้กากถั่วเหลืองปกติคิดเป็นร้อยละของสูตรอาหารมากกว่าการใช้กากถั่วเหลืองปกติรวมกับกากถั่วเหลืองทรีตด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ในสูตร TSBM จึงทำให้มีราคาอาหารที่สูงกว่า ส่วนในสูตร FM มีการใช้ปลาป่นจึงทำให้มีราคาอาหารสูงขึ้น อย่างไรก็ดีเมื่อคิดเป็นกำไรที่หักต้นทุนค่าอาหารแล้ว พบว่าอาหารสูตร TSBM มีกำไรสูงสุด (บาท/วัน) เพราะมีค่าอาหารต่ำสุด และการให้น้ำนมก็สูงกว่าสูตร control หรือถ้าคิดเป็นกำไรเมื่อหักค่าอาหารจากการผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัมไม่ว่าจะปรับหรือไม่ปรับไขมันนมก็ตาม จะเห็นได้ว่าอาหารสูตร TSBM มีค่าสูงสุด รองลงมาคือสูตร control และ FM ตามลำดับ แต่สูตร control นั้นมีการให้น้ำนมที่ต่ำกว่าสูตรปลาป่น จึงทำให้ได้กำไรต่อวันต่ำกว่า

ตาราง 4.13 ต้นทุน และกำไรจากผลผลิตน้ำนม

Table 4.13 Feed cost and income over feed of milk production.

Treatment	Control	TSBM	FM
Feed cost (Baht/day)	87.39	87.06	97.69
Income over feed (Baht/day)	115.61	127.44	120.06
Income over feed (Baht/kg milk)	7.12	7.43	6.83
Income over feed (Baht/4%FCM)	7.25	7.56	7.09

Note : Income over feed (baht/kg milk) = {(milk yield × milk price) – feed cost} / milk yield
Milk price = 12.5 baht/kg milk, soybean meal = 10, fish meal = 30, ruzi grass = 0.5 baht / kg of fresh weight