บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล

การทดลองที่ 1 การผลิตหญ้ารูซี่หมักในถุง 20 กิโลกรัมโดยใช้สารช่วยหมักชนิดต่าง ๆ

1.1 ผลของสารช่วยหมักต่อการปรับวัตถุแห้ง การสูญเสียวัตถุแห้งของหญ้าหมัก

จากตาราง 4.1 จะเห็นได้ว่าการใช้รำละเอียดและมันเส้นบดสามารถเพิ่มวัตถุแห้งของหญ้าหมักได้มากกว่ากากน้ำตาลในทุกระดับทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากมันเส้นบดและรำละเอียด (NRC, 2001) ไม่เพียงแต่มีวัตถุแห้งสูงกว่ากากน้ำตาล (90.9 และ 90.6 vs 81.0%) เท่านั้นแต่ยังมีระดับการใช้ที่สูงกว่าอีกด้วย (16 vs 3-5%) อย่างไรก็ตามการใช้กากน้ำตาลเพื่อเพิ่มวัตถุแห้งด้วยนั้นพบว่าได้ค่าเพิ่มขึ้นตามระดับกากน้ำตาลที่ใช้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของจุฑารัตน์ (2520) และวารุณีและคณะ (2541) ทั้งนี้เพราะกากน้ำตาลมีวัตถุแห้งสูงกว่าหญ้ารูซี่สด (81 vs 25.1%) นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริมสารช่วยหมักทั้ง 3 ชนิดในการทดลองนี้ ทำให้หญ้าหมักมีวัตถุแห้งอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการหมักคือ 25-35% (McDonald *et al.*, 1991 และบุญล้อมและคณะ, 2543)

หญ้าที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 3, 4 และ 5 % และรำละเอียดมีการสูญเสียวัตถุแห้งเป็น 5.80 %, 5.65 %, 4.67 % และ 5.96 % ตามลำดับ (ตาราง 4.1) โดยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มทดลอง แต่มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่หมักร่วมมันเส้นบดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) ทั้งนี้เนื่องมาจากว่ามันเส้นบดประกอบด้วย NFC 72.6% โดยส่วนใหญ่อยู่ในรูป amylose และ amylopectin ถึง 82% มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เป็นน้ำตาลคือ 2 - 5% (เจริญศักดิ์, 2519) ในขณะที่กากน้ำตาลประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ซึ่งส่วนใหญ่เป็นซูโครส 36%, กลูโคส 9.6% และฟรุคโตส 9.5% ของ NFC (Napompeth, 1992) การที่ใช้กากน้ำตาลที่ระดับ 5% มีการสูญเสียวัตถุแห้งน้อยสุดเพราะว่ากากน้ำตาลมีแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้สูงโดยเฉพาะแหล่งน้ำตาล reducing sugar จุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกจึงสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ดี ปลดปล่อยกรดแลคติกออกมาเป็นจำนวนมาก และที่สุดยับยั้งจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว ดังที่ Frame (1994) ได้รายงานไว้ว่ากระบวนการหมักที่ดีและเกิดได้อย่างรวดเร็วนั้นจะมีการสูญเสียวัตถุแห้งไปประมาณ 1-2% นอกจากนี้ McCarrick (อ้างโดย Tjandraatmadja *et al.*, 1994) ยังได้กล่าวว่าการใช้กากน้ำตาลทำให้การสูญเสียวัตถุแห้งของพืช

หมักลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการมีคะแนนจากการประเมินทางกายภาพสูงที่สุด

อย่างไรก็ตามการสูญเสียวัตถุแห้งในการทดลองครั้งนี้มีค่าต่ำกว่าในรายงานของ Weiss (1996) ที่ได้รายงานว่าการหมักพืชในหลุมหมักภายใต้การจัดการที่เหมาะสมจะมีการสูญเสียวัตถุแห้งประมาณ 10 – 15% ซึ่งสอดคล้องกับการหมักข้าวโพดแบบกองใหญ่ที่สหกรณ์การเกษตรไชยปราการ (บุญเสริมและคณะ, 2544) ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการศึกษานี้ทำในถุงขนาด 20 กิโลกรัม และใช้ปั๊มดูดอากาศในถุงออกได้อย่างอย่างรวดเร็วจึงสามารถควบคุมสภาพไร้ออกซิเจนได้ดีกว่าการทำในหลุมหมักขนาดใหญ่

ตาราง 4.1 ผลของสารช่วยหมักต่อการสูญเสียวัตถุแห้ง ลักษณะทางกายภาพ ความเป็นกรดด่าง และการผลิตกรดอินทรีย์ในหญ้าหมัก

Ruzi silage with	Rice bran	Cassava	Molasses			sig
	16 %	16%	3%	4%	5%	
DM (%) $_{\text{before ensilage}}$	33.2	35.19	29.01	29.90	30.49	
DM (%) $_{\text{after ensilage}}$	31.48	30.95	27.96	28.44	29.36	
DM loss (%)[1]	5.96^{a}	12.96^{b}	5.80^{a}	5.65^{a}	4.67^{a}	***
Organoleptic test[2]	18.0^{b}	17.2^{a}	16.8^{a}	16.8^{a}	18.0^{b}	**
pH	4.15^{c}	4.20^{c}	3.94^{a}	3.99^{b}	3.99^{b}	***
NH_3-N (as % total N)	7.98^{c}	11.55^{d}	6.06^{b}	6.36^{b}	5.02^{a}	***
NH_3 (%DM)	0.12^{c}	0.13^{d}	0.09^{b}	0.08^{b}	0.06^{a}	***
Organic acid (%DM)						
- acetic acid	2.12^{b}	1.02^{a}	2.01^{b}	2.27^{b}	2.11^{b}	***
- butyric acid	0.00^{a}	0.17^{b}	0.05^{a}	0.01^{a}	0.02^{a}	*
- lactic acid	3.69^{b}	2.00^{a}	4.25^{c}	4.55^{c}	5.18^{d}	***
Lactic acid (%total acid)	63.4	61.4	66.9	63.5	70.7	ns
Quality score[3]	75.70^{b}	63.50^{a}	76.40^{b}	80.80^{bc}	86.90^{c}	***

หมายเหตุ : [1] ((DM x น้ำหนัก)$_{\text{ก่อนหมัก}}$ - (DM x น้ำหนัก)$_{\text{หลังหมัก}}$ x 100) / (DM x น้ำหนัก)$_{\text{ก่อนหมัก}}$

[2] การให้คะแนนรวมของสี กลิ่น และส่วนประกอบ

[3] 0-20 = bad, 21-40 = fair, 41-60 = average, 61-80 = good, 81-100 = very good

*** ($p < 0.001$), ** ($p < 0.01$) และ * ($p < 0.01$)

1.2 ผลของสารช่วยหมักต่อการผลิตกรดอินทรีย์ระเหยได้ของหญ้าหมัก

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของหญ้ารูซี่ที่หมักร่วมกับรำละเอียดและมันเส้นบด มีค่าใกล้เคียงกัน แต่สูงกว่ากากน้ำตาลในทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.001$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก

พืชหมักทั้งสองกลุ่มมีอัตราการเกิดแอมโมเนียค่อนข้างสูง ซึ่งแอมโมเนียมีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ จึงสามารถพยุงค่า pH ให้อยู่สูงกว่ากลุ่มที่ใช้กากน้ำตาล อย่างไรก็ดีค่า pH ของหญ้ารูซี่หมักในการทดลองครั้งนี้จัดอยู่ในระดับที่เหมาะสม ดังที่บุญเสริม (2539) ได้รายงานไว้ว่า พืชหมักที่ดีควรมี pH อยู่ 3.7 – 4.2 แต่อย่างไรก็ตาม Catchpool and Henzell (1971) ได้กล่าวว่าการใช้ค่า pH เป็นดัชนีในการประเมินคุณค่าของพืชหมักอย่างเดียวนั้นนับว่าไม่ถูกต้องนัก เพราะไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าจุลินทรีย์กลุ่มใดมีการเจริญเติบได้ดีกว่ากัน

กรดอะซิติก พบว่ากลุ่มที่หมักร่วมกับรำละเอียดมีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาลทุกระดับ แต่มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่หมักร่วมกับมันเส้นบดอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.001$) การที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากมันเส้นประกอบด้วย NFC จำพวกแป้ง ประกอบกับมีชิ้นใหญ่กว่ารำละเอียด จึงอาจสันนิษฐานได้ว่าแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนเหล่านี้ต้องใช้ระยะเวลานานในการเข้าย่อยสลายให้ได้คาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็ก ๆ ด้วยเหตุนี้แบคทีเรียดังกล่าวจึงมีประสิทธิภาพการทำงานด้อยลง ซึ่งจะเห็นได้จากการมีกรดค่าบิวทีริกสูงแต่มีกรดแลคติกต่ำ แต่อย่างไรก็ตามการใช้สารช่วยหมักเหล่านี้ช่วยให้หญ้ารูซี่หมักมีคุณภาพในเกณฑ์ที่ดี เนื่องจากว่าหญ้าหมักมีกรดอะซิติกน้อยกว่ากรดแลคติก ซึ่งผิดจากรายงานของ Catchpoole and Henzell (1971) ที่กล่าวไว้ว่าหญ้าหมักเขตร้อนมีกรดอะซิติกมากกว่ากรดแลคติก

กรดบิวทีริก พบว่ากลุ่มที่เสริมกากน้ำตาลทุกระดับมีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มที่หมักร่วมกับรำละเอียด แต่มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่หมักร่วมกับมันเส้นบดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานอื่น ๆ พบว่ากลุ่มที่หมักร่วมกับกากน้ำตาลทุกระดับ และรำละเอียดมีค่าใกล้เคียงกับหลายรายงานเช่น Castle and Watson (1985), Sibanda *et al.* (1997), Kavana *et al.* (1999), Yokota *et al.* (1998) และ Tjandraatmadja *et al.* (1993; 1994) การที่ปริมาณกรดบิวทีริกในการทดลองครั้งนี้มีค่าต่ำแสดงว่ากระบวนการหมักเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณความชื้นของพืชหมักได้ถูกปรับให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมคือ 29-35% (ตาราง 4.1) และแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำมีสูง โดยเฉพาะกากน้ำตาลสามารถเร่งการเจริญเติบโตของ lactic acid bacteria ได้อย่างรวดเร็วจนทำให้สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ clostridium ซึ่งสังเกตได้จากการเกิดแอมโมเนียไนโตรเจนที่ต่ำ ส่วนกลุ่มที่หมักร่วมกับมันเส้นบดมีค่าดังกล่าวเกิดขึ้นสูงทั้ง ๆ ที่มีวัตถุแห้งสูง อาจเนื่องมาจากว่าแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำมีปริมาณน้อย ประกอบกับมันเส้นมีขนาดชิ้นใหญ่กว่ารำละเอียดจึงต้องใช้ระยะเวลานานในการย่อยสลาย ทำให้แบคทีเรียที่ต้องการมีการเจริญเติบโตได้ช้าและไม่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์พวก clostridium ได้ทัน ผลของการใช้มันเส้นในการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับที่สตางค์ (2543) และจุฑารัตน์ (2520) ได้รายงานไว้

สำหรับกรดแลคติกพบว่ากลุ่มที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% มีค่าสูงกว่าทุกกลุ่มทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) ในขณะที่การเสริมกากน้ำตาล 3% ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มที่เสริม 4% แต่มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่หมักร่วมกับรำละเอียดและมันเส้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) และกลุ่มที่หมักร่วมกับรำละเอียดมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่หมักร่วมกับมันเส้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากว่ากากน้ำตาลประกอบด้วยแหล่งคาร์โบไฮเดรตประเภทน้ำตาลในปริมาณมาก ซึ่ง lactic acid bacteria สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดี จึงผลิตกรดแลคติกได้เป็นจำนวนมาก ทำให้ pH ลดลงอย่างรวดเร็ว จนจุลินทรีย์ประเภทที่ไม่ต้องการมีการเจริญเติบโตลดลงหรือไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จึงทำให้ได้หญ้าหมักคุณภาพดี ส่วนกลุ่มที่หมักร่วมกับรำละเอียด หรือร่วมกับมันเส้นมีปริมาณกรดแลคติกไม่สูงนักอาจเนื่องมาจากรำละเอียดประกอบด้วยแป้ง 64%ของNFC มีปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และ ฟรุคโตสรวมกันเพียง 6.5%ของNFC เท่านั้น ส่วนน้ำตาลอื่น เช่น อะราบิโนส และแรฟฟิโนส มีเพียงเล็กน้อย (อรอนงค์, 2532) สำหรับมันเส้นมีน้ำตาลเพียง 2-5%ของNFC เท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอที่จะเร่งการเจริญเติบโตของ lactic acid bacteria ได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้จุลินทรีย์กลุ่ม clostridium และ enterobacter ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ประเภทที่ไม่ต้องการ สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่า ดังจะเห็นได้จากการสูญเสียวัตถุแห้งที่มากกว่า และแอมโมเนียไนโตรเจนที่สูงกว่า อีกทั้งยังมีคุณภาพของพืชหมักโดยรวมแล้วด้อยกว่า

เมื่อพิจารณาแอมโมเนียไนโตรเจนในหญ้ารูซี่หมักพบว่าเป็นปฏิภาคกลับกับกรดแลคติก คือ กลุ่มที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% มีค่าต่ำกว่าทุกกลุ่มทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) ในขณะที่เสริมกากน้ำตาล 3% และ 4% มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่หมักร่วมรำละเอียดและมันเส้นบดอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนกลุ่มที่หมักร่วมกับมันเส้นบดมีค่าแอมโมเนียไนโตรเจนสูงที่สุด และสูงกว่ากลุ่มที่หมักร่วมกับรำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การที่มีแอมโมเนียต่ำในกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล 5% แสดงให้เห็นว่าหญ้าหมักที่ได้มีการสูญเสียโปรตีนน้อย

โดยสรุปแล้ว lactic acid bacteria เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการ เนื่องจากเหตุผลประการแรกคือการเปลี่ยนกลูโคสเป็นกรดแลคติกนั้นมีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด ประการที่สองคือกรดแลคติกมีเปอร์เซ็นต์การแตกตัวสูงทำให้ pH ลดลงอย่างรวดเร็ว และประการสุดท้ายคือสามารถผลิตสารปฏิชีวนะ เช่น nisin และ diplococcin และ H_2O_2 ซึ่งมีผลต่อการยับยั้งจุลินทรีย์กลุ่มอื่นได้ (ปิยะนุช, 2540 และอัจฉรา, 2541) สำหรับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการโดยเฉพาะ clostridium ซึ่งทำหน้าที่ย่อยสลายกรดอะมิโนให้เป็นแอมโมเนีย และสารพิษบางชนิด เช่น histamine รวมทั้งย่อยสลายกรดแลคติกให้เป็นกรดบิวทีริกซึ่งทำให้พืชหมักเกิดกลิ่นเหม็น สัตว์ไม่ชอบกิน อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานได้ต่ำ เกิดการสูญเสียพลังงานไปมาก (McDonald *et al.*, 1991) โดย

ทางกลไกแล้วจุลินทรีย์เหล่านี้จะมีการแก่งแย่งแข่งขันในการเจริญเติบโต โดยอาศัยปัจจัยต่าง ๆ เป็นตัวกำหนด เช่นสภาพไร้ออกซิเจน ชนิดและปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ความชื้น และสภาพ pH เป็นต้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวการที่กลุ่มเสริมกากน้ำตาล 5% มีคาร์โบไฮเดรตประเภทน้ำตาลสูง และสามารถยกระดับวัตถุแห้งให้เหมาะสม ประกอบการมีระบบการไล่อากาศที่ดี ทำให้สภาพแวดล้อมเกื้อกูลต่อการเจริญเติบโตของ lactic acid bacteria ได้ดีจนสามารถยับยั้งกลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการเช่น clostridium และ enterobacteria โดยอาศัยสารที่ผลิตขึ้นมาในระหว่างการหมักคือ กรดแลคติกและสารยับยั้งจุลินทรีย์ ดังนั้นหญ้ารูซี่ที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% จึงมีกรดแลคติกสูง สอดคล้องกับค่า pH, กรดบิวทีริก, แอมโมเนียไนโตรเจน และการสูญเสียวัตถุแห้งต่ำ ค่าเหล่านี้จึงเป็นหลักฐานยืนยันได้ว่าการใช้กากน้ำตาลที่ระดับ 5%ของน้ำหนักหญ้าสด สามารถทำให้หญ้ารูซี่หมักมีคุณภาพดีที่สุด และมีปริมาณกรดแลคติกสูงถึง 70.7%ของกรดทั้งหมด ตลอดจนมีคะแนนจากการประเมินคุณภาพถึง 86.9 สอดคล้องกับ Parker and Bastiman (1982) ที่กล่าวว่าลักษณะของพืชหมักที่ดีจะมี pH $\leq$ 4.2, lactic acid $\geq$ 50 %ของ total acid, butyric acid $\leq$ 5 g/kgDM และ NH_3-N $\leq$ 100 g/kgDM นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับที่ Yokota *et al.* (1992) และ Tjandraatmadja *et al.* (1994) ที่ได้รายงานว่าการหมักหญ้าร่วมกับกากน้ำตาลจะเป็นการยกระดับวัตถุแห้ง และการเพิ่มกรดแลคติก ตลอดจนลดระดับ pH และแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำลง

สำหรับกลุ่มที่เสริมมันเส้นซึ่งมีกรดแลคติก และอะซิติกต่ำที่สุด แต่มีกรดบิวทีริก แอมโมเนียไนโตรเจน ค่า pH และการสูญเสียวัตถุแห้งสูงที่สุดนั้น แสดงว่าให้เห็นว่าแม้มันเส้นจะอุดมด้วยคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายสูง แต่เป็นประเภทแป้งส่วนใหญ่ดังที่กล่าวมาแล้ว แบคทีเรียในสภาพไร้ออกซิเจนโดยเฉพาะ lactic acid bacteria นั้นไม่สามารถใช้ได้โดยง่าย (McDonald *et al.*, 1991) แต่ในการทดลองนี้ยังสามารถตรวจพบ organic acid ดังนั้นอาจสันนิษฐานได้ว่า แบคทีเรียเหล่านี้คงต้องใช้เวลาในการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน ในระหว่างนี้ แบคทีเรียพวก clostridium สามารถย่อยสลายโปรตีนเป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้ จึงทำให้มีกรดบิวทีริก, แอมโมเนียไนโตรเจน และการสูญเสียวัตถุแห้งที่สูง ค่าดังกล่าวเป็นสิ่งยืนยันได้ว่าหญ้ารูซี่ที่หมักร่วมกับมันเส้นจะมีคุณภาพต่ำที่สุดสำหรับการทดลองครั้งนี้ ซึ่งสอดคล้องกับสตางค์ (2543) ที่พบว่าการเสริมมันเส้นทำให้เปลือกปนซังข้าวโพดหวานหมักมีคุณภาพด้อยกว่าการใช้สารเสริมชนิดอื่น อย่างไรก็ตามแม้ว่าเมล็ดธัญพืชและพืชหัวจะเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นแป้งส่วนใหญ่ แต่อาจปรับปรุงให้ lactic acid bacteria นำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพดีขึ้นได้ด้วยการเสริมเอนไซม์ amylase หรือเสริมร่วมกับข้าวมอลท์ซึ่งเป็นแหล่งที่อุดมด้วย amylase (McDonald *et al.*,1991)

เมื่อพิจารณาปริมาณกรดอินทรีย์, pH และแอมโมเนียไนโตรเจนที่พบในการทดลองนี้เปรียบเทียบกับงานทดลองอื่นในตาราง 2.11 พบว่าบางกรณีสอดคล้องและบางกรณีแตก ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากมีปัจจัยเกี่ยวข้องหลายประการ เช่น ชนิดของหญ้า อายุของหญ้าที่ตัด ลักษณะการหมัก การไล่อากาศ ตลอดจนคุณค่าทางโภชนะของสารช่วยหมักที่มีความแตกต่างกัน รวมถึงชนิดของจุลินทรีย์ที่ร่วมในการหมักด้วย

1.3 ผลของสารช่วยหมักต่อองค์ประกอบทางเคมีของหญ้ารูซี่หมัก

องค์ประกอบทางเคมีของหญ้ารูซี่หมักได้แสดงไว้ในตาราง 4.2 จะเห็นได้ว่าในกรณีของโปรตีนรวมพบว่าการหมักร่วมกับรำละเอียด 16% และกากน้ำตาล 3, 4 และ 5% มีค่า CP สูงกว่าการหมักร่วมกับมันเส้นบดทั้งนี้เพราะรำละเอียด และกากน้ำตาลมีโภชนะดังกล่าวสูงกว่ามันเส้น (15.5 และ 5.8 vs 2.9%) และการที่กลุ่มที่ใช้รำมีค่า CP แตกต่างกับกลุ่มที่ใช้กากน้ำตาลไม่มากนั้นอาจเนื่องมาจากว่ากลุ่มที่ใช้รำละเอียดนั้นมีการสูญเสียโปรตีนในรูปแอมโมเนียมากกว่า

ตาราง 4.2 ผลของสารช่วยหมักต่อองค์ประกอบทางเคมีของหญ้ารูซี่หมัก

Ruzi silage with	DM	CP	EE	ASH	NDF	ADF	ADL	NFC
	(%)	←			%DM			→
Rice bran 16 %	31.48	7.93	6.01	10.68	67.06	40.81	8.31	8.32
Cassava 16 %	30.95	4.93	2.45	9.30	61.28	40.01	5.63	22.04
Molasses 3 %	27.96	7.35	4.00	9.31	66.98	40.61	6.17	12.36
Molasses 4 %	28.44	7.07	3.39	8.90	68.05	41.99	6.29	12.59
Molasses 5 %	29.36	6.95	4.65	8.77	65.64	40.96	5.41	13.99

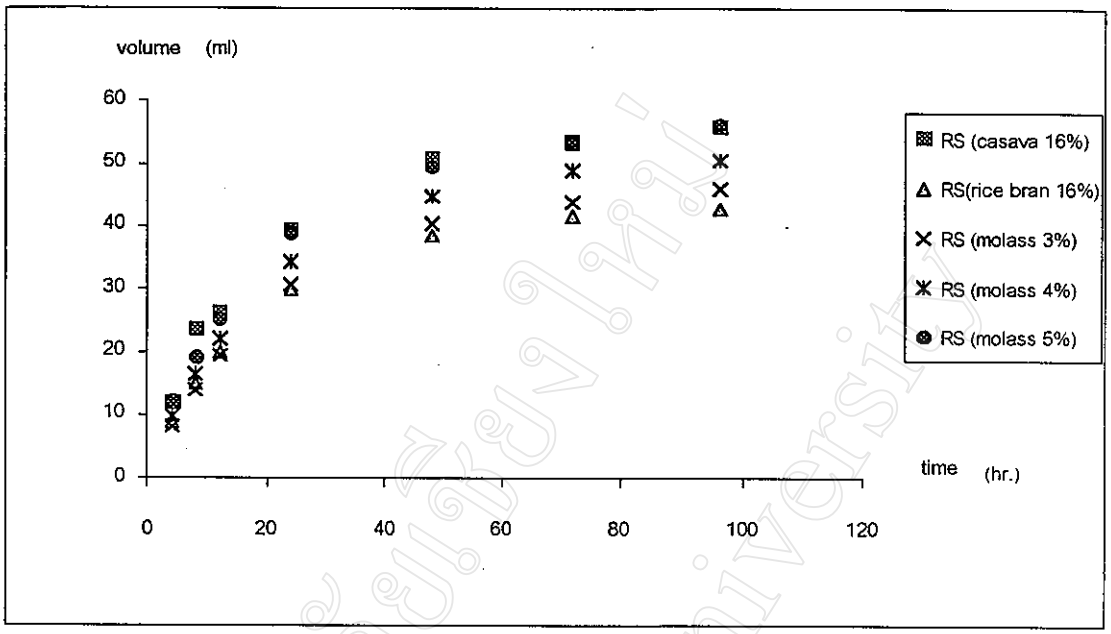
สำหรับค่า NDF นั้นพบว่าการหมักร่วมกับรำละเอียดจะมีค่าสูงกว่าการหมักร่วมกับมันเส้นบดทั้งนี้เพราะว่ารำละเอียดมีโภชนะดังกล่าวสูงกว่า (26.1 vs 18.7%)

ในทางกลับกันพบว่าการหมักร่วมกับมันเส้นบดมีค่า NFC สูงกว่าการหมักร่วมกับกากน้ำตาล 3, 4 และ 5 % และรำละเอียด โดยค่า NFC นี้จะเพิ่มขึ้นตามการใช้กากน้ำตาล ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากว่ามันเส้นบดมีค่าดังกล่าวในรูปของแป้งสูง ประกอบกับจุลินทรีย์นำแป้งไปใช้ได้ยากในระหว่างการหมักจึงมีโภชนะส่วนนี้เหลืออยู่มาก สอดคล้องกับรายงานของ Yokota (1998) และ Castle and Watson (1985)

ส่วนไขมันนั้นพบว่าการหมักร่วมกับรำละเอียดจะมีค่า EE สูงกว่าการหมักร่วมกับมันเส้นบดและกากน้ำตาล 3, 4 และ 5% ทั้งนี้เพราะรำละเอียดมีโภชนะดังกล่าวสูง (15.2 vs 0.8 และ 0.2%) แต่อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่ากลุ่มที่เสริมกากน้ำตาลในทุกระดับมีค่า EE สูงกว่ากลุ่มที่หมักร่วมกับมันเส้น ทั้ง ๆ ที่กากน้ำตาลมีโภชนะดังกล่าวต่ำกว่า ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากว่ากรดอินทรีย์ผลิตขึ้นในกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาลมีปริมาณมาก ประกอบกับกรดดังกล่าวสามารถรวมกับไขมันในหญ้าหมักได้ ดังที่ Holm (1974 อ้างโดย จุฑารัตน์, 2520) กล่าวว่าไขมันในพืชหมักสามารถดูดจับกรดอินทรีย์เหล่านี้ได้

1.4 ผลของสารช่วยหมักต่อปริมาณแก๊ส การย่อยได้ และพลังงาน

จากการนำหญ้ารูซี่ที่หมักร่วมกับสารช่วยหมักต่าง ๆ มาบ่มหมักกับ rumen fluid buffer ในหลอด syringe ชนิดพิเศษเพื่อวัดปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในชั่วโมงต่าง ๆ กันตามวิธีที่ดัดแปลงโดย Bluemmel and Ørskov (1993) ได้ค่าแก๊สดังตาราง 4.3 และภาพ 4.1 จะเห็นได้ว่าหญ้ารูซี่ทุกกลุ่มมีอัตราการเกิดแก๊สอย่างรวดเร็วในช่วงต้น ๆ แต่ภายหลังจาก 24 ชั่วโมงการเกิดแก๊สจะเป็นไปในอัตราที่ช้ามากดังจะสังเกตได้จากเส้นกราฟที่เกือบจะอยู่ในแนวระดับ อย่างไรก็ตามพบว่าหญ้ารูซี่ที่หมักร่วมกับกากน้ำตาลที่ระดับ 5% และมันเส้นบดมีอัตราการเกิดแก๊สสูงกว่ากากน้ำตาลที่ระดับ 3% และ 4% และรำละเอียด ที่เป็นเช่นนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากทั้งกากน้ำตาล และมันเส้นเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย จุลินทรีย์จากกระเพาะรูเมนที่นำมาใส่ในหลอดทดลองสามารถนำไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาตรแก๊สสูงขึ้นตามระดับกากน้ำตาล ข้อสังเกตดังกล่าวสอดคล้องกับ Krishnamoorthy *et al.* (1995 อ้างโดยนฤมล, 2541) ที่พบว่าอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตมีอิทธิพลหลักต่อปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น ในกรณีของการเสริมรำละเอียดที่ได้ค่าแก๊สต่ำกว่าสารเสริมชนิดอื่นนั้นอาจเนื่องมาจากมีลิกนิน (ADL)และไขมันสูง โดยเฉพาะไขมันมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ เพราะอาจไปเคลือบผิวของอาหารและผิวผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์เข้าย่อยโภชนะได้ลำบาก ดังนั้นประสิทธิภาพการย่อยอาหารจึงลดลง (บุญล้อม, 2541) ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของสตางค์ (2543) ที่พบว่าเปลือกปนซังข้าวโพดหมักร่วมกับรำผสมฟอร์มาลินมีอัตราการเกิดแก๊สต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้สารเสริม เหตุผลอีกประการหนึ่งคือรำมีโปรตีนสูงซึ่งเมื่อถูกย่อยสลายให้เป็น NH_3 แล้วจะเกิดการจับตัว (binding) กับ CO_2 จึงเป็นเหตุให้เกิดแก๊สน้อยลง (Menke and Steingass, 1988 อ้างโดยนฤมล, 2541) ผลอันนี้สอดคล้องกับรายงานของวรรณา (2544) ที่พบว่าการหมักย่อยพืชตระกูลถั่วในหลอดทดลองได้ค่าแก๊สต่ำกว่าพืชตระกูลหญ้า และธัญญพืช



ภาพ 4.1 ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในหลอดทดลองจากการย่อยสลายที่ชั่วโมงต่าง ๆ

ตาราง 4.3 ผลของสารช่วยหมักต่อปริมาตรแก๊ส (ml.) ของหญ้ารูซี่หมักร่วมกับสารช่วยหมักต่าง ๆ

Ruzi silage with	Incubated time (hour)						
	4	6	12	24	48	72	96
Cassava 16 %	12.06	23.58	26.37	39.52	50.87	53.65	56.06
Rice bran 16 %	8.97	15.05	19.96	30.04	38.54	41.70	42.79
Molasses 3 %	8.18	14.01	19.52	30.70	40.49	44.01	46.17
Molasses 4 %	9.85	16.56	22.15	34.53	44.89	48.95	50.61
Molasses 5 %	12.18	19.25	25.18	39.10	49.49	53.40	56.22

เมื่อนำค่าแก๊สที่เกิดขึ้นที่เวลา 24 ชั่วโมงภายหลังจากถูกปรับ (corrected GP) แล้วมาคำนวณหาค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (OMD) พลังงาน ME และ NEL โดยอาศัยสมการของ Menke and Steingass (1988) ได้ผลดังปรากฏในตาราง 4.4 จะเห็นได้ว่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุของกลุ่มที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% มีค่าไม่ต่างจากกลุ่มที่หมักร่วมกับมันเส้นแต่มีค่าสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) สำหรับกลุ่มที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 3% และรำละเอียดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 4% ($p<0.001$)

ตาราง 4.4 การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ และ พลังงาน (ME, NEL) ของหญ้ารูซี่หมักร่วมกับสารเสริมชนิดต่าง ๆ

Ruzi silage with	Rice bran	Cassava	Molasses			sig
	16 %	16%	3%	4%	5%	
$(F_h + F_c)/2$	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	
GP (ml)	30.04	39.52	30.70	34.53	39.10	
Corrected GP[1] (ml)	31.24	41.10	31.93	35.91	40.65	
XP (g/kgDM)	79.30	49.30	73.50	70.70	69.50	
XL (g/kgDM)	60.10	24.50	40.00	33.90	46.50	
XA (g/kgDM)	106.80	93.00	93.10	89.00	87.70	
OMD (%)	53.71[a]	59.33[c]	53.03[a]	55.95[b]	59.80[c]	***
ME (Mcal/kgDM)	1.89[b]	1.97[c]	1.77[a]	1.86[b]	2.09[d]	***
NEL(Mcal/kgDM)	1.07[b]	1.14[c]	0.99[a]	1.06[b]	1.21[d]	***

หมายเหตุ : XP = โปรตีนรวม, XL = ไขมัน และ XA = เถ้า และ *** ($p < .001$)

[1] $(F_h+F_c)/2$ x GP, F_h และ F_c คือค่าแก๊สของอาหารหยาบและข้นมาตรฐานตามลำดับ

สำหรับค่าพลังงานในรูป ME และ NEL เป็นไปในทำนองเดียวกัน และสอดคล้องกับค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุคือ กลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล 5% มีค่าดังกล่าวสูงสุด รองลงมาคือกลุ่มที่เสริมด้วยมันเส้น ส่วนกลุ่มที่เสริมรำละเอียดและกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล 4% มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่กลุ่มที่เสริมด้วยกากน้ำตาล 3% มีค่าพลังงานต่ำสุด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากกากน้ำตาลและมันเส้นมีพลังงานสูงกว่ารำ (NRC, 2001) แต่ค่อนข้างแปลกคือการเสริมกากน้ำตาล 5% ทำให้หญ้าหมักมีพลังงานสูงกว่ามันเส้น ทั้ง ๆ ที่มันเส้นมีพลังงานมากกว่า และเสริมในระดับที่สูงกว่ากากน้ำตาล ที่เป็นเช่นนี้อาจมีสาเหตุมาจากสมการที่ใช้คำนวณค่าพลังงานตามวิธีวัดปริมาณแก๊สนี้นอกจากอาศัยปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นแล้วยังต้องอาศัยค่าโปรตีน และไขมันมาเป็นปัจจัยร่วมอีกด้วย ซึ่งกลุ่มที่เสริมมันเส้นมีโปรตีนต่ำประกอบกับเกิดแอมโมเนียสูง จึงทำให้หญ้าหมักร่วมกับมันเส้นมีค่าเหล่านี้ต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล 5% อย่างไรก็ดีพบว่าค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ และพลังงานในรูป ME และ NEL ของหญ้ารูซี่ที่หมักร่วมกับสารเสริมชนิดต่าง ๆ ในการทดลองครั้งนี้มีค่าสอดคล้องและแตกต่างกับหลายการทดลองดังตาราง 2.12 ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากชนิดของหญ้าที่ใช้ทดลอง สภาพภูมิอากาศที่ปลูก และคุณภาพของหญ้าหมัก ตลอดจนวิธีการทดลอง รวมถึงตัวสัตว์มี

ความแตกต่างกัน ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งคือการใช้กากน้ำตาลมากขึ้นยังผลให้มีการปรับปรุงคุณภาพของหญ้าหมักที่ดีทั้งในด้านการย่อยได้ และค่าพลังงาน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Castle and Watson (1985) แต่อย่างไรก็ตามการใช้กากน้ำตาลก็มิได้ให้ข้อดีเสมอไป โดยเฉพาะระดับโปรตีน จะมีการลดลงตามระดับกากน้ำตาล ดังนั้นการใช้กากน้ำตาลจึงควรคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย

การที่หลุมหมักมีคะแนนคุณภาพต่ำกว่าในถุงบรรจุ 20 กิโลกรัม เนื่องจากว่าการหมักในหลุมต้องใช้เวลานานกว่าจะปิดหลุมได้ (7 วัน) ทำให้กระบวนการหมักจึงผิดแปลกไปจากถุง 20 กิโลกรัม โดยสังเกตได้จากการเกิดกรดอะซิติกและกรดบิวทีริกที่สูง

การทดลองที่ 2 การหมักหญ้ารูซี่ในหลุมขนาดใหญ่โดยใช้สารช่วยหมัก

2.1 ผลของสารช่วยหมักต่อการเกิดกรดอินทรีย์ในหญ้าหมัก

ค่า pH, กรดแลคติก, บิวทีริก, อะซิติก และ คะแนนคุณภาพของหญ้าหมัก ได้แสดงไว้ในตาราง 4.5 จะเห็นได้ว่ากลุ่มที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% มีกรดแลคติกทั้งที่คิดเป็นร้อยละของวัตถุแห้งและร้อยละของกรดทั้งหมด ตลอดจนคะแนนคุณภาพสูงกว่า แต่มี pH ต่ำกว่ากลุ่มทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) สำหรับกรดอะซิติกนั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มทดลอง ส่วนกรดบิวทีริกพบว่ากลุ่มที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% และสารละลายเกลือ 1% มีปริมาณสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้สารช่วยหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) เมื่อนำดัชนีทั้งหมดมาพิจารณาร่วมกัน สามารถสรุปได้ว่าการหมักหญ้ารูซี่ร่วมกับกากน้ำตาล 5% สามารถผลิตหญ้าหมักได้อย่างมีประสิทธิภาพดี สำหรับเหตุผลนั้นสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ตาราง 4.5 ผลของสารช่วยหมักต่อปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในหญ้ารูซี่หมัก

Ruzi silage with	No additive	Salt 1 %	Molasses 5 %	sig
pH	5.00^{c}	4.45^{b}	4.17^{a}	***
Organic acid (%DM)				
- Acetic acid	4.65^{b}	2.85^{a}	3.68^{ab}	*
- Butyric acid	0.72^{b}	$.12^{a}$	0.10	***
- Lactic acid	2.1^{a}	3.48^{b}	6.37^{b}	***
Lactic acid (%total acid)	27.58^{a}	50.59^{b}	62.36^{c}	***
Quality score[1]	25.5^{a}	53.8^{b}	66.7^{c}	***

หมายเหตุ : [1] 0-20 = bad, 21-40 = fair, 41-60 = average, 61-80 = good, 81-100 = very good *** ($p< .001$), * ($p< .05$)

การที่กลุ่มที่ใช้สารละลายเกลือได้คุณภาพของหญ้าหมักไม่ดี ทั้ง ๆที่โดยหลักการแล้วเกลือจะทำหน้าที่ยับยั้งจุลินทรีย์ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากว่าเกลือระดับดังกล่าวไม่สามารถทำหน้าที่ถนอมได้ โดยสังเกตได้จากการมีกรดเกิดขึ้น โดยเฉพาะกรดแลคติกที่ไม่สูง เมื่อใช้เกลือระดับสูงกว่านี้อาจมีผลกระทบต่อการกินได้และอาจนำไปสู่ความผิดปกติของไตได้

2.2 ผลของสารช่วยหมักต่อองค์ประกอบทางเคมีของหญ้ารูซี่หมัก

หญ้ารูซี่ที่หมักร่วมกับสารช่วยหมักชนิดต่าง ๆ ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 1 เดือนมีองค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่ากลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล 5% มีวัตถุแห้งสูงกว่ากลุ่มอื่น เนื่องมาจากว่ามีคุณภาพของพืชหมักที่ดีจึงมีการสูญเสียวัตถุแห้งต่ำ แม้ไม่ได้วิเคราะห์หาแต่สามารถสังเกตได้จากการมีกรดแลคติกที่สูงและกรดบิวทีริกที่ต่ำ ประกอบกับกากน้ำตาลมีวัตถุแห้งสูง

ตาราง 4.6 ผลของสารช่วยหมักต่อองค์ประกอบทางเคมีของหญ้ารูซี่หมักในหลุมหมัก

Ruzi silage with	DM	CP	EE	ADF	NDF	ADL	ASH	NFC
	(%)	◄			%DM			►
No additive	24.3	6.23	4.80	40.41	65.23	6.42	14.86	8.88
Salt 1 %	25.1	5.27	4.73	41.45	66.28	6.91	12.68	11.04
Molasses 5 %	25.6	7.95	4.67	39.95	64.29	5.88	8.16	14.93

สำหรับ CP นั้นพบว่ากลุ่มที่ไม่ใช้สารช่วยหมักมีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล 5% แต่สูงกว่ากลุ่มที่ใช้สารละลายเกลือ 1% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกลุ่มที่ไม่ได้เสริมสารช่วยหมักน่าจะมีการเจริญเติบโตของ clostridium ทำให้มีการสูญเสียโปรตีนในรูปแอมโมเนียมาก โดยสังเกตได้จากการมีกรดบิวทีริกสูง ส่วนกลุ่มที่ใช้สารละลายเกลือ 1% มีค่าดังกล่าวต่ำกว่าทุกกลุ่มอาจเนื่องมาจากเกลือไม่มี CP เป็นองค์ประกอบ

สำหรับค่า EE นั้นพบว่ากลุ่มที่ไม่ใช้สารช่วยหมักมีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากกลุ่มดังกล่าวมีจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีจึงเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตเป็นไขมันสะสมไว้ในตัวของมันเองดังที่ Wattiaux (no date) ได้กล่าวว่าแบคทีเรียในรูเมนมีไขมัน 7% ประกอบกับกลุ่มนี้มีกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณสูง จึงสามารถถูกดูดซับไขมันของหญ้าหมักได้ ทำให้กลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล 5% มี EE สูง

สำหรับค่า NDF นั้นพบว่ากลุ่มที่เสริมกากน้ำตาล 5%มีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่น ทั้งนี้เนื่องจากว่ากากน้ำตาลมีโภชนะดังกล่าวต่ำ (0.4%ของวัตถุแห้ง)

2.3 ผลของสารช่วยหมักต่อปริมาตรแก๊ส การย่อยได้ และค่าพลังงาน

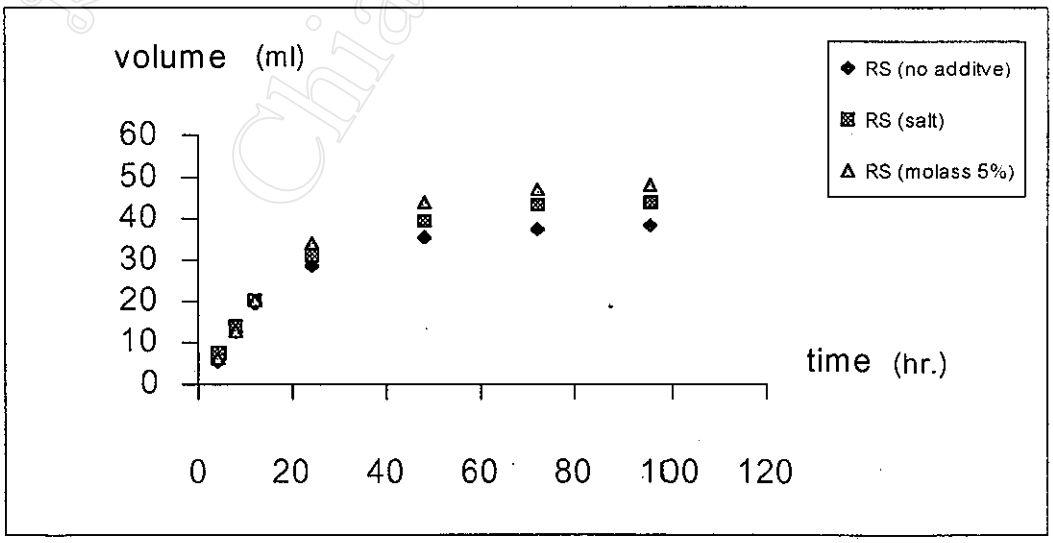
จากตาราง 4.7 และภาพ 4.2 จะเห็นได้ว่าอัตราการเกิดแก๊สเป็นอย่างรวดเร็วในช่วงต้น ๆ

ของการบ่ม แต่ภายหลังจาก 24 ชั่วโมงเป็นไปอย่างช้า ๆ ดังจะเห็นได้จากได้เส้นกราฟที่ค่อนข้างเป็นแนวระนาบโดยอัตราการเกิดแก๊สของกลุ่มที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5 % มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาลมีคุณภาพดีดังจะเห็นได้การมีระดับโปรตีนและ NFC ที่สูง จุลินทรีย์สามารถนำไปหมักย่อยได้อย่างรวดเร็ว จึงเกิดแก๊สในปริมาณที่มาก

เมื่อนำค่าแก๊สที่เกิดขึ้นที่ 24 ชั่วโมงภายหลังจากการปรับด้วยค่าเฉลี่ยแก๊สที่เกิดขึ้นจากการบ่มอาหารหยาบ และอาหารข้นมาตรฐานที่ 24 ชั่วโมง มาคำนวณหาค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ พลังงาน ME และ NE โดยอาศัยสมการของ Menke and Steingass (1988) ได้ผลดังปรากฏในตาราง 4.8 จะเห็นได้ว่ากลุ่มที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% มีค่า OMD, ME และ NEL สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% มีคุณภาพดี มี CP, EE และ NFC สูงที่สุด เมื่อนำมาบ่มหมักในหลอดทดลอง จุลินทรีย์จากน้ำรูเมนที่ใส่ไว้ในหลอดทดลองสามารถเข้าย่อยได้ง่าย เกิดแก๊สมาก ประกอบกลุ่มนี้มีค่า CP สูงกว่ากลุ่มอื่น และ EE ไม่แตกต่างกับกลุ่มอื่นมากนัก เมื่อนำค่าเหล่านี้มาเข้าสมการจึงได้ค่าพลังงานสูง

ตาราง 4.7 ปริมาตรแก๊สที่เกิดขึ้นในระยะเวลาต่าง ๆ ของหญ้ารูซี่หมักต่าง ๆ ในหลุมหมัก

Ruzi silage with	Incubation time (hour)						
	4	8	12	24	48	72	96
No additive	5.68	12.62	19.41	28.62	35.64	37.60	38.47
Salt 1 %	6.44	13.00	20.10	31.15	39.66	43.26	43.98
Molasses 5 %	7.83	14.13	22.21	34.23	43.95	47.20	48.37



ภาพ 4.2 ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายที่ชั่วโมงต่าง

ตาราง 4.8 การย่อยได้และ พลังงาน ME และ NE

Ruzi silage with	No additive	Salt 1 %	Molasses 5 %	sig
$(F_h + F_c)/2$	1.04	1.04	1.04	
GP (ml)	28.62	3.15	34.23	
Adjusted GP (ml)	29.77	32.40	35.60	
XP (g/kgDM)	62.5	52.7	79.5	
XL (g/kgDM)	48.0	47.3	46.7	
XA (g/kgDM)	148.6	126.8	81.6	
OMD (%)	54.28^{a}	54.46^{ab}	56.12^{c}	**
ME (Mcal/kgDM)	1.73^{a}	1.80^{a}	1.94^{b}	**
NEL(Mcal/kgDM)	0.96^{a}	1.01^{a}	1.11^{b}	**

หมายเหตุ : ** ($p < .01$), XP = โปรตีนรวม, XL = ไขมัน และ XA = เถ้า

การทดลองที่ 3 การหาการย่อยได้ และพลังงานของหญ้ารูซี่หมักกับกากน้ำตาล 5 % โดยวิธี *in vivo* และ *in vitro* gas production

จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าการหมักหญ้ารูซี่ร่วมกับกากน้ำตาล 5 % ในถุงขนาด 20 กิโลกรัมและในหลุมหมักมีคุณภาพดีที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการหมักหญ้าร่วมกับกากน้ำตาลในหลุมขนาดใหญ่อีกครั้งเพื่อทดลองหาปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของอาหาร และพลังงานในรูปต่าง ๆ เช่น TDN, DE, ME และ NEL ของหญ้ารูซี่หมักในโคนม โดยวิธี *in vivo* digestibility และ *in vitro* gas production technique

การทดลองที่ 3.1 ศึกษาแบบ *in vivo* digestibility ในโคนมแห้ง

3.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5%

หญ้ารูซี่ที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% ในครั้งนี้มีองค์ประกอบทางเคมีดังตาราง 4.9 แม้ว่าใช้สารเสริมชนิดเดียวกัน, ระดับเดียวกัน และกระบวนการหมักในหลุมใหญ่เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 แต่พบว่ามีค่าองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน สันนิษฐานว่าหญ้าที่หมักในครั้งนี้อาจมีความอ่อนกว่า ดังจะสังเกตเห็นได้จากค่าวัตถุแห้ง และเยื่อใย (NDF และ ADF) ที่ต่ำกว่า แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า CP มีค่าต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยที่มีความแตกต่างกัน

ตาราง 4.9 องค์ประกอบทางเคมี (%DM) ของหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5 %

Chemical composition	%DM	Chemical composition	%DM
DM	25.00	ADF[1]	36.28
OM	92.65	ADL	5.61
CP	7.20	Cellulose	30.67
EE	4.10	Hemicellulose	26.10
Ash	7.35	NFC	18.97
NDF[1]	62.38	GE (Mcal/kgDM)	3.61

หมายเหตุ : [1] ค่าที่หักเอาเถ้าออกแล้ว (ash free)

ตาราง 4.10 ปริมาณหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5 % ที่โคกินได้ (voluntary intake)

	weight	Dry matter intake		
	(kg)	g/day	%BW	$g/kgW^{0.75}$
Ruzi silage	478.5	6890	1.44	67.42

3.1.2 ปริมาณการกินได้ของหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% ในโคนมแห้ง

จากตาราง 4.10 จะเห็นได้ว่าโคนมแห้งกินหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% เป็นอาหารเดี่ยวได้วันละ 6.89 กิโลกรัมวัตถุแห้ง หรือคิดเป็น 1.44 %ของน้ำหนักตัว หรือ 67.42 $g/kgW^{0.75}$ สอดคล้องกับที่ Catchpoole and Henzell (1971) ได้กล่าวว่าโคนมจะกินพืชหมักเขตร้อนในปริมาณ 1.5 – 1.6 %ของน้ำหนักตัว อย่างไรก็ดีการกินได้ของหญ้ารูซี่หมักในการทดลองนี้ยังสูงกว่าสตางค์ (2543) ที่ได้รายงานไว้ว่าโคนมแห้งสามารถกินเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมักร่วมกับรำสกัดน้ำมันและปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลิน (HC+RB) คิดเป็นปริมาณวัตถุแห้งได้วันละ 4.13 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 0.97%ของน้ำหนักตัว ความแตกต่างนี้สันนิษฐานว่าเกิดมาจาก 2 สาเหตุ คือ การใช้รำทำให้ไขมันโดยรวมของพืชหมัก (HC+RB) สูงขึ้น ทำให้จุลินทรีย์เข้าย่อยอาหารได้ยาก ประการสองคือการใช้ฟอร์มาลินมีผลยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน การที่จุลินทรีย์ทำงานผิดปกติไปจึงมีผลต่อการกินได้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง อย่างไรก็ดีการที่โคสามารถกินพืชหมักได้น้อยกว่าหญ้ารูซี่สดดังรายงานของชูศักดิ์ (2533) ที่พบว่าโครุ่นสามารกินได้ 2.3%ของน้ำหนักตัว การที่โคกินพืชหมักได้น้อยมีสาเหตุมาจากสารซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการหมักพืช เช่น NH_3-N, butyric acid, acetic acid, pH และ biogenic amine ดังที่ Cushnahan and Gordon (1995),

Buchanan-Smith (1990), Van Os *et al.* (1995) และ Phuntsok *et al.* (1998) พบว่ามีผลยับยั้งการกินได้ของสัตว์

3.1.3 การย่อยได้ของหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5 %

จากตาราง 4.11 จะเห็นได้ว่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในการทดลองนี้มีค่า 58.95% สูงกว่าที่จุฑารัตน์ (2520) พบในหญ้าขนหมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% คือ 54.3% ทั้ง ๆ ที่เยื่อใยของหญ้ารูซี่หมักมีค่าสูงกว่า ที่เป็นเช่นนี้อาจมีสาเหตุมาจากว่าหญ้าหมักในครั้งนี้มีการย่อยได้ของ NFC สูงกว่า จึงอาจสันนิษฐานได้ว่าจุลินทรีย์สามารถนำแหล่งพลังงานที่ได้จากการย่อย NFC มาสร้างคู่ควบกับแหล่งของ N-solubility ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความสมดุลระหว่างพลังงาน และโปรตีนมากกว่า จุลินทรีย์จึงมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่า โดยสังเกตได้จากค่าการย่อยได้ของ NDF ที่สูงกว่า ดังตาราง 2.12 แต่สาเหตุที่การย่อยได้ของโปรตีนในครั้งนี้ต่ำกว่าหญ้าขนหมักที่จุฑารัตน์ (2520) ทดลองในแกะ อาจเนื่องมาจากโคมีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนต่ำกว่าแกะดังที่เสาวลักษณ์ (2542) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบไว้ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าหญ้ารูซี่ที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% ในครั้งนี้สามารถปรับปรุงการย่อยได้ของสัตว์ให้มีประสิทธิภาพขึ้น อย่างไรก็ดีสำหรับเหตุผลในการอธิบายในครั้งนี้อาจเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งในอีกหลาย ๆ เช่น สภาพการปลูก อายุการเก็บเกี่ยว กรรมวิธีการหมัก ชนิดของหญ้าที่หมัก องค์ประกอบทางโภชนะของหญ้าหมัก คุณภาพของพืชหมัก และวิธีการทดลอง ตลอดจนตัวสัตว์ทดลองเอง รวมถึงส่วนที่เหลือในมูลที่ประกอบด้วย 1.) น้ำย่อย น้ำดี และเอนไซม์อื่น ๆ 2.) เซลล์ของระบบทางเดินอาหาร และเซลล์ของของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ (บุญล้อม, 2541) สิ่งที่กล่าวมามีผลกระทบต่อระบบทางเดินอาหารจนทำให้ค่าการย่อยได้ของโภชนะบิดเบือนไป ดังที่ได้รวบรวมไว้ในตาราง 2.12

ตาราง 4.11 การย่อยได้ของโภชนะ และค่าพลังงานในหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5%ในหลุมหมักขนาดใหญ่

Nutrient	Digestibility (%)	Nutrient	Digestibility (%)
DM	58.95	ADF	57.47
OM	59.27	NFC	65.36
CP	43.58	TDN (%)	57.69
EE	54.70	DE (Mcal/kgDM)	2.06
NDF	59.53		

3.1.4 การประเมินค่าพลังงาน TDN, DE, ME และ NEL ของหญ้ารูซี่หมักโดยวิธี *in vivo* digestibility

พลังงาน TDN ได้แสดงไว้ในตาราง 4.12 จะเห็นได้ว่าค่าพลังงาน TDN มีค่าเท่ากับ 57.69 % ใกล้เคียงกับที่สมคิด และคณะ (2535) ได้รายงานว่าหญ้ารูซี่-กินนีหมักร่วมกับกากน้ำตาล 3 % ในหลุมหมักมีค่า 58.1 % และหญ้าจัมโบ้หมักร่วมกับกากน้ำตาล 3 % ที่คำนวณได้จากสมการคือ 59.3% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากว่าการจัดการในเรื่องของการปลูก การดูแล และการตัดหญ้าเพื่อนำมาหมัก ตลอดจนกระบวนการหมัก มีความคล้ายคลึงกันทำให้คุณภาพของหญ้าหมัก และการย่อยได้ของหญ้าหมักดังกล่าวไม่แตกต่างกัน รวมถึงสมการที่ใช้ในการประมาณมีความแม่นยำสูง อย่างไรก็ดีค่า TDN ของหญ้ารูซี่หมักในงานทดลองนี้มีค่าสูงกว่าหญ้าขนหมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% ที่ศึกษาในแกะคือ 51.1% (จุฑารัตน์, 2521) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชนิดของหญ้าที่ใช้, สัตว์ทดลอง และการอาศัยสมการในการทำนาย

สำหรับพลังงานในรูป ME และ NEL ที่คำนวณจากค่า TDN โดยอาศัยสมการทำนายที่แนะนำโดย NRC (1989) ตลอดจนค่า DE ที่วัดโดยตรงจากตัวสัตว์ แล้วคำนวณเป็นค่า ME และ NEL โดยอาศัยสมการจาก NRC (1989) แสดงไว้ในตาราง 4.12

ตาราง 4.12 พลังงานที่คำนวณได้จาก TDN และ DE

Energy	Cow	Calculated from		Average
		TDN	DE	
TDN (%)	57.69	-	-	57.69
DE (Mcal/kgDM)	2.06	2.54	-	2.30
ME (Mcal/kgDM)		2.12	1.63	1.87
NEL (Mcal/kgDM)		1.29	1.03	1.16

จากตาราง 4.12 จะเห็นได้ว่าพลังงาน ME และ NEL ที่คำนวณได้จาก DE (1.63 และ 1.03 Mcal/kgDM) มีค่าต่ำกว่าที่คำนวณได้จาก TDN (2.12 และ 1.29 Mcal/kgDM ตามลำดับ) และค่า DE ที่คำนวณจาก TDN (2.54 Mcal/kgDM) มีค่าสูงกว่าค่า DE ที่ศึกษาจากตัวสัตว์ (2.06 Mcal/kgDM) ผลของการทดลองนี้ไปในทิศทางเดียวกันกับรายงานของเสาวลักษณ์ (2542) ที่ได้ศึกษาในฟางข้าว ไกรสิทธิ (2543) ที่ได้ศึกษาในต้นอ้อยสับตากแห้ง สตางค์ (2543) ที่ศึกษาในเปลือก และซังข้าวโพดหวานหมักร่วมกับรำและฟอร์มาลิน ตลอดจนของนฤมล (2544) ที่ได้ศึกษาในข้าวโพดหมัก ดังตาราง 2.13 การที่พลังงานที่คำนวณจาก TDN มีค่าสูงกว่าที่คำนวณจาก

DE อาจเนื่องมาจากตัวสมการที่ใช้ ดังที่ NRC (2001) ได้ให้คำอธิบายสาเหตุไว้หลายประการดังนี้ ประการแรกคือสมการทำนายที่ใช้ได้รวบรวมมาจากข้อมูลเก่า ประการที่สองคือ การทดลองแบบ difference method จะเกิดผลของ associative effect อาจทำให้ TDN มีความไม่แน่นอน และได้ค่าไม่เที่ยงตรง ประการสุดท้ายคือ ค่า TDN ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้อาจอยู่นอกช่วงของสมการทำนาย ซึ่งสมการที่ใช้ทำนายอาจจะไม่เป็นเส้นตรงก็ได้ ดังนั้นการที่อยู่นอกช่วงของสมการที่สร้างขึ้นจึงอาจทำให้ได้ค่าที่ไม่แม่นยำ ผลดังกล่าวจึงเป็นหลักฐานที่พิสูจน์ให้เห็นแล้วว่าการใช้สมการจากต่างประเทศอาจได้ค่าที่บิดเบือนไป เนื่องจากเหตุผล 3 ประการที่กล่าวมา นอกจากนี้ยังอาจมีปัจจัยในเรื่องของสภาพภูมิอากาศ สภาพของสัตว์ทดลอง รวมถึงจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะรูเมนที่มีความแตกต่างกันด้วย

ดังนั้นเพื่อที่จะพยายามลดความแปรปรวนซึ่งเกิดจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้นจึงได้นำค่าพลังงานที่ได้จากทั้ง 2 วิธีมาหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในตาราง 4.12 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพืชหมักชนิดอื่นที่มีผู้ศึกษาไว้แล้ว ดังตาราง 2.13 จะเห็นได้ว่าหญ้ารูซี่หมักมีค่าต่ำกว่าต้นอ้อยตากแห้งและเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมักร่วมกับรำและฟอร์มาลิน แต่สูงกว่าเปลือกฝักถั่วเหลืองและฟางข้าว ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมักร่วมกับรำและฟอร์มาลินมี CP (10.91%) สูงกว่าหญ้ารูซี่หมัก (7.20%) และฟางข้าว (4.6%) ประกอบกับมีโภชนะอื่น ๆ ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์ได้ดี จึงมีการย่อยอาหารได้มาก ได้ค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์ในระดับสูง เหตุผลดังกล่าวสอดคล้องกับ Aston *et al.* (1994) ที่ได้ทดลองเสริมโปรตีนพบว่าโคทดลองมีการกินได้ของหญ้าหมักมากขึ้น และได้รับพลังงานที่ย่อยได้ (DE) สูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้พลังงานเฉลี่ยเหล่านี้ของเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมักร่วมกับรำและฟอร์มาลินมีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นหญ้ารูซี่หมัก และสุดท้ายคือฟางข้าว

เมื่อพิจารณาโปรตีนที่สัตว์นำไปใช้ พบว่าโคทดลองได้รับโปรตีนสูงกว่า NRC (1989) แนะนำไว้ว่าโคนมไม่อุ้มท้อง น้ำหนักตัวอยู่ระหว่าง 450 – 500 กิโลกรัม ต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีวิตปริมาณ 341 – 364 กรัมต่อวัน แต่การทดลองในครั้งนี้ใช้โคนมแห้งไม่อุ้มท้องมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 480 กิโลกรัม ให้กินหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% ซึ่งมีโปรตีน 7.20% เป็นอาหารเดี่ยว ปรากฏว่าโคสามารถกินวัตถุแห้งได้ 6.89 กิโลกรัมต่อวัน ได้รับโปรตีนคือ 496.1 กรัม/วัน สูงกว่าที่ NRC แนะนำไว้ เป็นผลให้ N–balance มีค่าเป็นบวก ดังตาราง 4.13 นั่นแสดงให้เห็นว่าโคนมแห้งสามารถเลี้ยงด้วยหญ้ารูซี่หมักเดี่ยว ๆ ได้โดยมีการย่อยได้เป็นปกติและได้รับพลังงาน และโปรตีนเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย

ตาราง 4.13 สมดุลของไนโตรเจนและโปรตีนของโคนมแห้งที่ได้รับหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5%เป็นอาหารเดี่ยว

Nitrogen or CP (g/day)	Nitrogen balance	CP balance
Intake	84.60	528.75
Ort	1.03	6.44
Feacal excretion	45.20	282.50
Urinary excretion	28.81	180.06
Retain nitrogen	9.56	59.75

การทดลองที่ 3.2 การประเมินการย่อยได้ ค่าพลังงาน ME และ NEL ของหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5 % โดยวิธี *in vitro* gas production

จากการนำหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% มาบ่มหมักกับ rumen fluid buffer ในหลอด syringe ชนิดพิเศษ แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ (OMD) และพลังงานในรูป ME และ NEL โดยอาศัยสมการ Menke and Stiengass (1988) ได้ผลดังตาราง 4.14 คือการย่อยได้ของ OM มีค่า 55.5% ต่ำกว่าค่าที่ได้จากตัวสัตว์ (59.27%) ส่วนค่าพลังงาน ME และ NEL เท่ากับ 1.92 และ 1.10 Mcal/kgDM ซึ่งต่ำกว่าที่คำนวณได้จาก TDN (2.12 และ 1.29 Mcal/kgDM) แต่สูงกว่าค่าที่คำนวณได้จาก DE (1.63 และ 1.03 Mcal/kgDM) สอดคล้องกับที่ สตางค์ (2543), เสาวลักษณ์ (2542) และนฤมล (2544) ได้รายงานไว้ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากว่าสมการที่ใช้ในการคำนวณมีที่มาแตกต่างกัน โดยเฉพาะการตัดสินใจเลือกปัจจัยต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กันเข้ามาในสมการ เช่นตัววัตถุดิบอาหาร องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ตัวสัตว์ทดลองเอง และวิธีการทดลองซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อความแน่นอน และความถูกต้องของสมการ นอกจากนี้ยังรวมถึงสภาพภูมิอากาศ และการจัดการดูแลพืชอาหารสัตว์อีกด้วย

ตาราง 4.14 การย่อยได้ และพลังงานที่คำนวณจาก gas production

	GP	GP[1]	XP	XL	XA	OMD	ME	NEL
	(ml)	(ml)	g/kgDM			(%)	Mcal/kgDM	
Ruzi silage with Molasses 5%	35.17	36.58	72.0	41.0	73.5	55.55	1.92	1.10

หมายเหตุ: [1] Corrected GP = $(F_h+F_c)/2$ x GP

เมื่อ F_h, F_c = แก๊สของอาหารหยาบและข้นมาตรฐานที่ เวลา 24 ชั่วโมงตามลำดับ

ดังนั้นเพื่อลดความผิดพลาดอันเกิดจากตัวสมการจึงได้นำค่าที่ได้จากทั้ง 3 วิธีมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในตาราง 4.15 พบว่าพลังงาน ME มีค่าเท่ากับ 1.90 Mcal/kgDM และ NEL มีค่าเท่ากับ 1.13 Mcal/kgDM ต่างจากอาหารหยาบชนิดอื่นที่แสดงไว้ในตาราง 2.13 การที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบทางโภชนะของวัตถุดิบ และค่าพลังงาน TDN มีความแตกต่างกันกล่าวคือ ฟางข้าวมีโภชนะ และค่า TDN น้อยกว่าจึงทำให้มีค่าพลังงานเฉลี่ยเหล่านี้น้อยที่สุด ส่วนเปลือกและซังข้าวโพดหวานหมักร่วมกับรำและฟอร์มาลินมีโภชนะ และ TDNสูงที่สุดจึงทำให้มีค่าพลังงานเฉลี่ยเหล่านี้มากสุด

ตาราง 4.15 ค่าเฉลี่ยของค่าพลังงาน ME และ NEL ทั้ง 3 วิธี

(Mcal/kgDM)	Calculate from				Average
	In vivo digestibility			In vitro gas production	
	TDN	DE	Average		
ME	2.12	1.63	1.88	1.92	1.90
NEL	1.29	1.03	1.16	1.10	1.13

การทดลองที่ 4 ความต้องการพลังงาน และโปรตีนของโคนมลูกผสมขาวดำที่ใช้หญ้ารูซี่หมักเป็นแหล่งอาหารหยาบหลัก

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้ารูซี่หมักและอาหารผสมครบส่วน

จากตาราง 4.16 จะเห็นได้ว่าหญ้ารูซี่ที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มี NH_3-N 10.7%total N, pH 3.86, acetic acid 3.73%, butyric acid 0.22 และ lactic acid 6.81%DM ใกล้เคียงกับการทดลองที่ 2 และได้คะแนนคุณภาพซึ่งประเมินจากปริมาณกรดอินทรีย์เท่ากับ 63.8 รวมถึงมีวัตถุแห้ง 28.74%, โปรตีน 6.59%, NDF 61.77% และ NFC 21.57% หญ้ารูซี่หมักในครั้งนี้จึงมีคุณภาพที่ดี เหมาะสำหรับเลี้ยงโคนม สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอื่น ๆ ได้แสดงไว้แล้วในอุปกรณ์และวิธีการ (ตาราง 3.2)

ตาราง 4.16 ปริมาณกรดอินทรีย์ แอมโมเนียไนโตรเจน และคะแนนคุณภาพของหญ้ารูซี่หมักร่วมกับกากน้ำตาลในหลุมหมักขนาดใหญ่

	pH	Organic acid (%)			Quality score[1]	NH_3-N % total N
		Acetate	Butyrate	Lactate		
Ruzi silage with Molasses 5%	3.86	3.73	0.22	6.81	63.38	10.7

ตาราง 4.17 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารผสมครบส่วนที่มีพลังงานและโปรตีนระดับต่าง กัน

TDN (E)	1.0		1.2	
Protein (P)	1.0	1.2	1.0	1.2
	←…… %DM ……→			
DM	48.39	48.67	49.46	49.49
CP	15.45	18.14	12.45	14.49
EE	6.01	5.82	6.25	6.00
ADF	23.99	24.26	23.99	22.88
NDF	40.31	40.67	38.74	38.61
NFC	31.65	28.45	36.59	34.66
TDN	68.99	68.98	69.63	69.74
Roughage/Concentrate	44/56	44/56	43/57	45/55

สำหรับองค์ประกอบของโภชนะในอาหารผสมครบส่วนทั้ง 4 สูตรนั้น แสดงไว้ในตาราง 4.17 จะเห็นได้ว่าค่าโภชนะ รวมถึงอัตราส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นในสูตรอาหารทุกสูตรมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย โดยเฉพาะ TDN และ CP นั้นมีความแตกต่างไม่ถึง 20% ตามที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำเปอร์เซ็นต์ของโภชนะทั้งสองมาคูณกับปริมาณอาหารที่กินได้ พบว่าค่าทั้งสองมีความแตกต่างกันจริงตามที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ ดังตาราง 4.18 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่าการคิดหาเป็นเปอร์เซ็นต์ของโภชนะได้นำเอาวัตถุแห้งที่กินได้มาเป็นค่าใช้ในการคำนวณ

4.2 ปริมาณการกินอาหาร และโภชนะที่ได้รับ

พลังงาน และโปรตีนที่โคได้รับ ตลอดจนวัตถุแห้งที่กินได้ในการทดลองครั้งนี้ แสดงไว้ในตาราง 4.18 จะเห็นได้ว่าการเพิ่ม TDN และ/หรือ CP มากกว่าที่ NRC กำหนด มีการกินได้ของวัตถุแห้ง, TDN และ CP สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับตาม NRC (15.14 และ 14.11 vs 12.79 และ 13.79 kg/day) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากว่าการเพิ่มสูตรอาหารให้มี TDN และ/หรือ CP เพิ่มขึ้น ทำโดยการเพิ่มปริมาณอาหารข้นมากขึ้น ซึ่งอาหารข้นถูกย่อยสลายได้ง่าย ให้โภชนะที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์จึงทำให้การย่อยอาหารมีประสิทธิภาพขึ้น เมื่ออาหารถูกย่อยสลายและดูดซึมออกจากทางเดินอาหารได้เร็วจึงเหลือที่ว่างในทางเดินอาหารที่สามารถรับอาหารใหม่ได้มากขึ้น อย่างไรก็ดีสหสัมพันธ์ระหว่างโภชนะที่ย่อยได้ในอาหารหรือพลังงานกับปริมาณอาหารที่กินได้จะเป็นไปในทางบวกจนถึงระดับหนึ่งเท่านั้นและอาจลดลงด้วย เพราะกลไกการกินอาหารถูกควบคุมด้วย chemostatic and thermostatic sensory signal มากกว่า (Pond *et al.*, 1995)

ตาราง 4.18 ปริมาณพลังงาน โปรตีน และวัตถุแห้งที่โคได้กินในแต่ละวัน

TDN (E)	1		1.2		E		P		E*P
Protein (P)	1	1.2	1	1.2	1	1.2	1	1.2	
TDN intake (kg/cow/day)	8.68	8.96	10.49	10.62	8.82^{a}	10.56^{b}	9.59^{a}	9.79^{b}	ns
CP intake (kg/cow/day)	1.94	2.36	1.87	2.21	2.15^{a}	2.04^{b}	1.91^{a}	2.29^{b}	*
Dry matter intake									
-kg/day	12.79	13.00	15.06	15.23	12.90^{a}	15.15^{b}	13.9^{a}	14.1^{b}	ns
-%BW	2.71	2.75	3.19	3.24	2.73^{a}	3.22^{b}	2.95^{a}	3.00^{b}	ns

หมายเหตุ: ns = non significant, * $p<0.05$

ตาราง 4.19 ปริมาณและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมที่ได้รับพลังงาน และโปรตีนในระดับต่าง ๆ

	Energy (E)		Protein (P)		E	P	E*P
	1.0	1.2	1.0	1.2	← sig →		
Milk yield (kg/day)	14.18	14.12	13.95	14.35	ns	**	ns
4% Fat corrected milk (g/day)	15.16	14.90	14.90	15.16	ns	*	ns
Milk constituent (%)							
-Fat	4.41	4.37	4.45	4.32	ns	ns	*
-Protein	3.38	3.45	3.41	3.42	**	*	ns
-Lactose	4.72	4.78	4.74	4.77	ns	ns	*
-Total solid	13.41	13.53	13.51	13.42	ns	ns	ns
Yield of milk constituent (kg/day)							
-Fat	0.633	0.617	0.622	0.628	*	ns	ns
-Protein	0.476	0.478	0.466	0.488	ns	**	ns
-Lactose	0.682	0.686	0.674	0.695	ns	**	ns
-Total solid	1.920	1.904	1.889	1.936	ns	*	ns
Milk urea nitrogen (mg/dl)	15.96	14.40	14.12	16.60	***	***	ns
FCR (feed DM/kg milk)	0.909	1.086	1.003	0.989	***	ns	ns

หมายเหตุ : 4% Fat corrected milk = (0.4)(kg of milk) + (15)(kg of fat)

ns = non significant, * $p<0.05$, ** $p<0.01$ and *** $p<0.001$

4.3 ผลของระดับพลังงาน และโปรตีนต่อปริมาณ และองค์ประกอบของน้ำนม

จากตาราง 4.19 ได้แสดงผลของพลังงาน และโปรตีนต่อองค์ประกอบของน้ำนม พบว่าพลังงาน และโปรตีนไม่มีปฏิสัมพันธ์กันทั้งปริมาณนม น้ำนมที่ปรับด้วยไขมันแล้ว ตลอดจนความเข้มข้นของโปรตีนในนม ด้วยเหตุนี้จึงสามารถแยกคิดเป็นแต่ละปัจจัยได้ดังนี้คือ

4.3.1 ผลของพลังงาน

จากตาราง 4.19 จะเห็นได้ว่าโคนมที่ได้รับพลังงานสูงกว่าที่ NRC กำหนดมีปริมาณน้ำนม, ปริมาณน้ำนมที่ปรับให้มีไขมัน 4% (4%FCM) และความเข้มข้นของไขมันในน้ำนมมีแนวโน้มลดลง แต่มีความเข้มข้นของโปรตีน และ FCR สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) และมีปริมาณ milk urea nitrogen (MUN) ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) ผลดังกล่าวนี้มีสอดคล้องกับ Keady *et al.* (1998) แต่ขัดแย้งกับ Rinne *et al.* (1999) ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากว่าการเพิ่มพลังงานต้องเสริมอาหารข้นมาก ดังจะเห็นได้จากส่วนประกอบของสูตรอาหาร เมื่อเข้าสู่กระเพาะรูเมน จุลินทรีย์จำพวก amylolytic and glucose fermentating bacteria จึงเข้าย่อยสลายอย่างรวดเร็วและผลิต propionate และ lactate ออกมามาก ทำให้อัตราส่วน acetate/propionate ลดลง ประกอบกับอาหารข้นมีคาร์โบไฮเดรตที่หมักย่อยได้ง่ายจึงทำให้ค่า osmolality สูงขึ้น ค่านี้มีผลทำให้การเคี้ยวเอื้องและการหลั่งน้ำลายลดลง จึงเป็นการลด pH โดยทางอ้อม นอกจากนี้กรดเหล่านี้โดยเฉพาะ lactate มีเปอร์เซ็นต์การแตกตัวของกรดสูง จึงมีผลเสียต่อชนิดและจำนวนประชากรจุลินทรีย์, สมดุลกรด-ด่าง ตลอดจนผนังกระเพาะรูเมน ดังที่ Cooper *et al.* (1995) ได้รายงานว่าโคที่ได้รับอาหารที่มีพลังงานสูงจะเกิด pH ในกระเพาะรูเมนต่ำ (5.59) สภาพเช่นนี้มีผลยับยั้งการทำงานของ cellulolytic bacteria ซึ่งทำหน้าที่ย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างให้เป็น acetate และ butyrate ซึ่งกรดดังกล่าวเป็นสารต้นตอในการสร้างไขมันนม เมื่อกรดเหล่านี้ผลิตได้ลดลงจึงทำให้ความเข้มข้นของไขมันในน้ำนมมีปริมาณลดลง

และการที่ lactose และ protein มีค่าสูงตามการเพิ่มพลังงานในครั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มอาหารข้นในสูตรอาหารผสมครบส่วนทำให้เกิดการสร้าง propionate เพิ่มขึ้นซึ่งในทางชีวเคมีนั้นกรดนี้สามารถเปลี่ยนเป็น glucose ได้โดยขั้นแรกเปลี่ยนเป็น succinyl CoA เข้า Tricarboxylic acid cycle แล้วย้อนกระบวนการ glycolysis ต่อไปจนได้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยกลไกแล้วกลูโคสสามารถเปลี่ยนเป็น galactose ได้ ซึ่งเมื่อรวมกับ glucose จะได้เป็นน้ำตาล lactose (บุญล้อม, 2541) นอกจากนี้การที่ อาหารมีพลังงานเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานที่มาจากคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายในอาหารข้น จึงทำให้จุลินทรีย์นำพลังงานและ carbon chain

ไปใช้จับแอมโมเนียเพื่อสังเคราะห์เป็นโปรตีนของตัวมันเองได้ดีขึ้น เมื่อจุลินทรีย์ถูกย่อยในลำไส้เล็กจะได้เป็นกรดอะมิโนที่โคสามารถนำไปใช้สร้างโปรตีนได้มากขึ้น น้ำนมจึงมีโปรตีนสูงขึ้น สอดคล้องกับค่า MUN ที่พบว่ามีต่ำลงเมื่ออาหารมีพลังงานสูงขึ้น เพราะแอมโมเนียในรูเมนถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้นดังได้กล่าวมาแล้ว จึงทำให้มีแอมโมเนียถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือดลดลง เป็นเหตุให้ MUN ต่ำลงด้วย

4.3.2 ผลของโปรตีน

จากตาราง 4.19 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มโปรตีนมากกว่า 1.2 เท่าของ NRC กำหนดทำให้ปริมาณน้ำนม, 4%FCM, ความเข้มข้นของโปรตีน และความเข้มข้นของ MUN มีค่าสูงกว่าการได้รับโปรตีนเท่า NRC อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ความเข้มข้นของแลคโตสในน้ำนมยังมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่มีความเข้มข้นของไขมันมีแนวโน้มลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากว่าการเพิ่มกรดอะมิโนทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตดี มีการย่อยได้ของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้น อัตราการไหลผ่านสูงขึ้น และมีการกินได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้พลังงานที่กินได้เพิ่มขึ้น และการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพดีขึ้น (Nocek and Russell, 1988) โคจึงได้รับโปรตีนและโภชนะอื่นเพิ่มขึ้น ตลอดจนมีสมดุลของกรดอะมิโนดีขึ้น สอดคล้องกับงานทดลองของ Dewhurst *et al.* (2000) และกังวาน และคณะ (2544) ที่พบว่าโคที่กินอาหารโปรตีนสูงจะกินอาหารได้มาก และมีการใช้ประโยชน์ของพลังงาน และโปรตีนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Reynolds *et al.* (1994) ได้กล่าวว่าการที่กรดอะมิโนเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะ glutamate, glycine, cysteine และ methionine จะถูกนำไปสังเคราะห์ glutathione สารนี้เป็น antioxidant มีประโยชน์ในการลดความเป็นพิษของ free radical ส่งผลให้สัตว์มีสุขภาพดีขึ้น

อย่างไรก็ดีการเพิ่มโปรตีนมากกว่า 1.2 เท่าของ NRC ทำให้ค่า MUN มีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากว่าปริมาณโปรตีนที่โคได้รับมีมากกว่าที่จุลินทรีย์จะใช้ได้ทันเพราะสูตรอาหารดังกล่าวมีกากถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ซึ่งกากถั่วเหลืองมีโปรตีนที่ถูกหมักย่อยได้ง่าย (degradable protein) สูง จึงทำให้เกิด NH_3 มาก แอมโมเนียจึงถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเข้าสู่กระแสเลือดไปเปลี่ยนเป็นยูเรียที่ตับ แล้สขับออกมาในน้ำนม อย่างไรก็ดีค่า MUN ของโคกลุ่มที่ได้รับโปรตีนสูงมีค่าเพียง 16.6 mg/dl ซึ่งจัดอยู่ในระดับปกติ (Mason, 2001)

4.4 ผลของการได้รับพลังงานร่วมกับโปรตีนต่อองค์ประกอบทางเคมีของนม

แม้ว่าจากการศึกษาครั้งนี้ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับโปรตีนต่อผลผลิตน้ำนม และ 4%FCM แต่เนื่องจากจุลินทรีย์ในรูเมนต้องการความสมดุลของพลังงานและโปรตีน ดังนั้นจึงพิจารณาผลของพลังงานร่วมกับโปรตีน เพื่อหาระดับที่เหมาะสมที่สุดโดยทดสอบหาความแตกต่าง

ระหว่าง treatment combination ทั้ง 4 กลุ่ม ได้ผลดังตาราง 4.20 จะเห็นได้ว่ากลุ่มที่ 4 มีปริมาณนม และ4%FCMสูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ และมีความเข้มข้นของโปรตีนสูงกว่ากลุ่มที่ 1 และ 2 ($p < 0.001$) นอกจากนี้ยังมีความเข้มข้นของแลคโตสสูงกว่า และมีความเข้มข้นของไขมันต่ำกว่ากลุ่มอื่น ($p>0.05$) ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากทั้งโปรตีนและพลังงานในสูตรอาหารอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมทำให้จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพดังได้กล่าวมาแล้ว จึงทำให้สมรรถภาพในการผลิตของโคกลุ่มนี้สูงกว่ากลุ่มอื่น ส่วนการที่น้ำนมของโคกลุ่มนี้มีเปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำ อาจเนื่องมาจากเปอร์เซ็นต์ไขมันในนมเป็นปฏิภาคกลับกับปริมาณน้ำนม (Wattiaux, no date) ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงปริมาณไขมันนมที่โคสร้างในแต่ละวันแล้วจะเห็นได้ว่ามีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับโปรตีนต่ำแต่พลังงานสูง (กลุ่มที่ 3) อย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 4.20 ปริมาณ และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจากโคที่ได้รับพลังงาน และโปรตีนในระดับต่าง ๆ

Animal performance	Energy & Protein				sig
	T_1	T_2	T_3	T_4	
	1.0 & 1.0	1.0 & 1.2	1.2 & 1.0	1.2 & 1.2	
Milk yield (kg/day)	14.00^{a}	14.39^{b}	13.91^{a}	14.83^{c}	***
Fat corrected milk (kg/day)	15.01^{ab}	15.33^{b}	14.78^{a}	15.53^{c}	**
Milk constituent (%)					
-Fat	4.40	4.43	4.51	4.21	ns
-Protein	3.37^{a}	3.39^{b}	3.45^{b}	3.44^{b}	**
-Lactose	4.72	4.72	4.76	4.81	ns
-Total solid	13.35	13.48	13.68	13.36	ns
Yield of milk constituent (kg/day)					
-Fat	$.629^{ab}$	$.639^{b}$	$.615^{a}$	$.640^{b}$	*
-Protein	$.468^{ab}$	$.485^{b}$	$.465^{a}$	$.510^{c}$	***
-Lactose	$.660^{a}$	$.691^{a}$	$.673^{a}$	$.723^{b}$	***
-Total solid	1.897^{a}	1.948^{ab}	1.882^{a}	1.996^{b}	**
Milk urea nitrogen (mg/dl)	14.67^{b}	17.33^{d}	13.40^{a}	16.60^{c}	***
FCR (feed DM/kg milk)	$.913^{a}$	$.905^{a}$	1.099^{c}	1.076^{b}	***

หมายเหตุ: 1.0 TDN & CP = NRC 1.2 TDN & CP > NRC (20%)

ns = non significant, * $p<0.05$, ** $p<0.01$ and *** $p<0.001$

เป็นที่น่าสังเกตว่ากลุ่มที่ 2 จะมีผลผลิตน้ำนม และความเข้มข้นของโปรตีนในนมมากกว่ากลุ่มที่ 1 แต่ความเข้มข้นของโปรตีนที่เพิ่มขึ้นนี้มีเพียง 2.37% ไม่สูงมากเหมือนเช่นปริมาณโปรตีนที่โคได้รับเพิ่มขึ้น (20%) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่าสัดส่วนของพลังงานและโปรตีนที่โคกลุ่มนี้ได้รับไม่อยู่ในระดับสมดุล จึงทำให้การใช้ประโยชน์ของโปรตีนไม่ค่อยมีประสิทธิภาพมีการสูญเสียในรูปของยูเรียไนโตรเจนในนมสูงถึง 17.33 mg/dl (Mason, 2001) นอกจากนี้ยังสูญเสียพลังงานในการกำจัดออกอีกด้วยดังที่ Higginbotham *et al.* (1989) กล่าวว่าการสังเคราะห์ยูเรียต้องใช้พลังงาน 5.5 Kcal/g N ดังนั้นอาจเป็นไปได้ที่ต่อมน้ำนมใช้กลูโคสได้ไม่เต็มที่ จึงทำให้แลคโตสของกลุ่มที่ 2 ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ 1

4.5 ต้นทุน และกำไรจากการให้อาหารที่มีระดับพลังงานและโปรตีนต่างกัน

เมื่อพิจารณาจากค่าอาหารที่ต้องจ่ายในแต่ละวันเฉลี่ยต่อโค 1 ตัว พบว่าการให้อาหารที่มีโปรตีนและ/หรือพลังงานเพิ่มขึ้นทำให้ต้องจ่ายเงินค่าอาหารมากขึ้น (ตาราง 4.21) แต่เนื่องจากโคที่ได้รับทั้งโปรตีนและพลังงานเพิ่มขึ้น (กลุ่มที่ 4) ผลิตน้ำนมได้มากที่สุด ดังนั้นเมื่อคิดเป็นรายรับที่หักเฉพาะค่าอาหารออกแล้ว (บาท/วัน) หรือกำไรจากการผลิตนม 1 กิโลกรัม เมื่อหักเฉพาะค่าอาหาร จะเห็นได้ว่ากลุ่มที่ 4 ทำกำไรให้สูงที่สุด ในขณะที่โคกลุ่มที่ 3 ซึ่งได้รับพลังงานเพิ่มอย่างเดียว เสียค่าอาหารต่อวันสูงกว่า แต่ให้นมต่ำกว่ากลุ่มควบคุม (กลุ่มที่ 1) ดังนั้นจึงทำกำไรน้อยที่สุด

ตาราง 4.21 ต้นทุน และกำไรจากผลผลิตน้ำนมเมื่อโคได้รับพลังงานและโปรตีนระดับต่างกัน

Treatment	T_1	T_2	T_3	T_4
Feed cost (baht/day)	79.16	85.31	84.30	87.07
Income over feed (baht/day)	95.84	94.57	89.58	98.31
Income over feed (baht/kg milk)	7.67	7.57	7.17	7.86

หมายเหตุ: Income over feed (baht/kg milk) = {(milk yield x milk price) – feed cost}/milk yield

milk price = 12.5 baht/kg milk