

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ข้าวโพดหวาน (Sweet corn)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ทั่วไปของข้าวโพดหวาน คือ ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกันอยู่คนละดอก แต่อยู่ในต้นเดียวกัน เป็นพืชที่มีความสามารถในการปรับตัวได้มาก เจริญได้ดีในสภาพอุณหภูมิปานกลาง มีน้ำเพียงพอ อายุเมื่อเก็บเกี่ยวฝักสดอยู่ระหว่าง 65-80 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ที่ใช้ปลูก ข้าวโพดหวานจะนิยมปลูกในช่วงฤดูฝน แต่ก็สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีถ้ามีแหล่งน้ำและดินที่อุดมสมบูรณ์ดี (วลัยกานต์, 2542)

ข้าวโพดหวานเป็นข้าวโพดที่ปลูกเพื่อรับประทานฝักสดโดยเฉพาะ โดยเลือกเก็บในระยะที่ฝักมีน้ำตาลมากที่สุด ไม่อ่อนหรือแก่เกินไป ในสภาพอากาศร้อนน้ำตาลที่อยู่ในเมล็ดข้าวโพดหวานจะเปลี่ยนเป็นแป้งได้ง่าย ดังนั้นการปลูกในช่วงฤดูฝนจนถึงฤดูหนาวหรือในที่ที่มีสภาพอากาศหนาวเย็นจะทำให้ได้ข้าวโพดหวานที่มีคุณภาพดี (กรมวิชาการเกษตร, 2545)

ข้าวโพดหวาน เป็นพืชที่มีศักยภาพสูงทั้งเพื่อบริโภคและเพื่ออุตสาหกรรมการส่งออกโดยการบรรจุกระป๋องและแช่แข็งในรูปของเมล็ด ฝักสด และข้าวโพดครีม ซึ่งมีการขยายตัวขึ้นทุกปี ข้าวโพดหวานปลูกกันมากในแถบภาคตะวันตกของประเทศไทย ได้แก่พื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี ราชบุรี นครปฐม เพชรบุรี สมุทรสาคร และทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมาบุรีรัมย์ มหาสารคาม จากรายงานของกรมการส่งออก (2551) พบว่า ประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์จาก ข้าวโพดหวานรูปแบบต่าง ๆ ในช่วงปี 2548-2550 มีปริมาณและมูลค่าเพิ่มขึ้นจาก 108,793 เป็น 157,712 ตัน และ 3,168.93 เป็น 4,832.12 ล้านบาท ตามลำดับ

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของต้นข้าวโพดหวานหลังเก็บฝัก

บุญเสริม และคณะ (2545) รายงานว่า ต้นข้าวโพดหวานหมัก มีวัตถุแห้ง 23.75% และมีองค์ประกอบทางเคมีคิดเป็นร้อยละของวัตถุแห้ง ดังนี้คือ โปรตีน (CP) 10.37%, NDF 66.87%, ADL 3.82% มีปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งในโคนมไม่ตั้งท้องเท่ากับ 0.97% BW หรือ 45.07 g/kgBW^{0.75} มีการย่อยได้ของวัตถุแห้งเท่ากับ (DMD) 65.50% มี TDN เท่ากับ 63.50% และพลังงาน DE เท่ากับ 2.80 Mcal/kg DM.

Cheva-Isarakul *et al.* (2008) รายงานว่า ต้นข้าวโพดหวานหมัก มีวัตถุดิบ 16.09% และมีองค์ประกอบทางเคมีคิดเป็นร้อยละของวัตถุดิบ ดังนี้คือ โปรตีน (CP) 9.44%, EE 3.37%, NDF 58.31%, ADF 31.71% มีปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบในโคเนื้อเท่ากับ 1.52% BW หรือ 54.18 g/kgBW^{0.75} มีการย่อยได้ของวัตถุดิบเท่ากับ (DMD) 53.69% มี TDN เท่ากับ 55.96% พลังงาน DE, ME, NEm และ NEg เท่ากับ 2.24, 1.84, 1.00 และ 0.45 Mcal/kg DM ตามลำดับ

2.3 เปลือกและซังข้าวโพดหวาน

กระบวนการแปรรูปข้าวโพดหวานทั้งฝักที่ถูกส่งเข้าโรงงานมีส่วนเหลือทิ้ง ได้แก่ เปลือกใหม่ และซัง เป็นจำนวนมาก ซังข้าวโพดหวานที่เหลือทิ้งนี้จะมีส่วนของเมล็ดหลงเหลืออยู่ ทำให้มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีโปรตีนเพียง 1.94 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (Gohl, 1981 ; อ้างโดย จินดา และคณะ, 2541) เปลือกและซังข้าวโพดหวานเป็นวัสดุเศษเหลือจากโรงงานข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีปริมาณมาก คือประมาณ 65.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดที่เข้าโรงงาน (ราชชนทร์ และเอกภพ, 2537 ; อ้างโดย สดางค์, 2543) เมื่อประเมินจากปริมาณความต้องการข้าวโพดหวานของโรงงาน ปี 2550 ทั้งประเทศซึ่งมีค่าเท่ากับ 618,946.60 ตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2551) จำนวนเศษเหลือจากกระบวนการแปรรูปข้าวโพดหวานจะมีปริมาณสูงถึง 407,266.86 ตันต่อปี หรือ 1,115.80 ตันต่อวัน ซึ่งเป็นภาระของโรงงานอย่างมากในการกำจัด ดังนั้นทางโรงงานจึงระบายเศษเหลือเหล่านี้ออกไป โดยให้เกษตรกรนำไปใช้เลี้ยงโค กระบือ ดังเช่นในเขตพื้นที่อำเภอสันป่าตอง อำเภอแม่วาง และอำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกและซังข้าวโพดหวาน

เปลือกข้าวโพดหวานมีโปรตีน (CP), ไขมัน (EE), เยื่อใย (CF) เท่ากับ 6.53, 1.01, 36.25 เปอร์เซ็นต์ และมีพลังงานรวม (GE) 3.86 กิโลแคลอรีต่อกรัมวัตถุดิบ ส่วนซังมีโกชนะดังกล่าวเท่ากับ 8.01, 2.24, 23.57 เปอร์เซ็นต์ และ 4.46 กิโลแคลอรีต่อกรัมวัตถุดิบ ตามลำดับ (จินดา และคณะ, 2541) โดยมีโปรตีนสูงกว่ารายงานของ Cheva-Isarakul *et al.* (2001) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.41 และ 6.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกและซังข้าวโพดหวานนี้ย่อมจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ การจัดการ อายุการเก็บเกี่ยว และปริมาณเนื้อข้าวโพดที่ถูกเดือนออกไปมากหรือน้อยเพียงใด

สดางค์ และคณะ (2543) รายงานว่า เปลือกและซังข้าวโพดหวานมีวัตถุดิบ โปรตีน เยื่อใย ส่วน acid detergent fiber (ADF) เท่ากับ 21.98, 6.27 และ 33.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียง

กับรายงานของ Cheva-Isarakul *et al.* (2001) ที่มีค่าเท่ากับ 19.75, 6.86 และ 35.61 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบทางเคมีจากรายงานต่างๆ แสดงในตาราง 1 จะเห็นได้ว่า เปลือกและขังข้าวโพดหวาน มีคุณค่าทางอาหารสูงทั้งโปรตีนและพลังงาน จึงน่าจะใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องได้

ตาราง 1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกและขังข้าวโพดหวาน

	DM	CP	EE	CF	Ash	NFE	NDF	ADF	GE
	← %DM basis →								(Mcal/kg DM)
เปลือกข้าวโพดหวาน ^{1/}	28.00	6.53	1.01	36.25	-	-	68.19	48.13	4.46
เปลือกข้าวโพดหวาน ^{2/}	17.79	5.41	1.51	-	3.87	-	77.48	38.73	-
ขังข้าวโพดหวาน ^{1/}	27.50	8.01	2.24	23.57	-	-	69.26	28.20	3.86
ขังข้าวโพดหวาน ^{2/}	24.24	6.11	4.44	-	2.48	-	68.50	33.48	-
เปลือกและขัง- ข้าวโพดหวาน ^{2/}	19.75	6.86	3.21	-	3.97	-	70.89	35.61	-
เปลือกและขัง- ข้าวโพดหวาน ^{3/}	21.98	6.27	2.28	-	2.86	-	77.32	33.90	-

^{1/} จินดา และคณะ (2541) ^{2/} Cheva-Isarakul *et al.* (2001) ^{3/} สดางค์ และคณะ (2543)

2.5 การใช้เปลือกและซังข้าวโพดหวานในการเลี้ยงโค

จินดา และคณะ (2541) ได้ทดลองใช้ซังข้าวโพดหวานเป็นอาหารหยาบเลี้ยงโครีดนม เปรียบเทียบกับการใช้หญ้าสดผสมเปลือกข้าวโพดหวาน (1:1) พบว่าให้ผลไม่แตกต่างกันในแง่ผลผลิตน้ำนมที่ปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ (9.7 เทียบกับ 9.6 กิโลกรัม/ตัว/วัน) ปริมาณอาหารที่กินได้ทั้งหมดคิดเป็นวัตถุแห้ง (6.71 เทียบกับ 6.36 กิโลกรัม/ตัว/วัน) อัตราแลกน้ำหนักรวม (0.97 เทียบกับ 0.94) และส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนม ซึ่งสรุปได้ว่าสามารถใช้ซังข้าวโพดหวานเป็นอาหารหยาบเลี้ยงแม่โครีดนมในช่วงฤดูแล้งได้ โดยมีต้นทุนค่าอาหารในการผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัมต่ำกว่าการใช้หญ้าสดผสมเปลือกข้าวโพดหวาน

Jaster *et al.* (1983) ได้นำเศษเหลือของข้าวโพดหวาน (sweet corn residue) มาทำเป็นพืชหมักทดลองเลี้ยงโคสาวเปรียบเทียบกับข้าวโพดหมักทั้งต้นและฝัก (corn silage) พบว่า ข้าวโพดหมักมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงกว่า (69.7 เทียบกับ 59.1 เปอร์เซ็นต์) ทำให้โคมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่า (790 เทียบกับ 280 กรัม/วัน) และมีอัตราแลกน้ำหนักดีกว่าด้วย เมื่อให้โคได้รับข้าวโพดหวานหมักและข้าวโพดหมักอย่างละครึ่งจะทำให้ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงขึ้น (68.1 เปอร์เซ็นต์) เศษเหลือของข้าวโพดหวานหมักในการศึกษานี้ มีวัตถุแห้ง 21 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีน ถ้ำ NDF และ ADF เท่ากับ 10.8, 7.1, 59.4 และ 37.4 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง มีค่า pH 3.9 และโคทดลองกินอาหารดังกล่าวคิดเป็นวัตถุแห้งได้ 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

Cheva-Isarakul *et al.* (2001) ได้ทดลองใช้เปลือกและซังข้าวโพดหวานหมักร่วมกับฟอรัมาลินเป็นอาหารหยาบเลี้ยงโคนมแห้ง พบว่ามีการย่อยได้ของ DM เท่ากับ 58.50% , CP เท่ากับ 56.26%, EE เท่ากับ 84.68%, NDF เท่ากับ 58.97%, ADF เท่ากับ 51.30% และ NFC เท่ากับ 70.68% โคนมแห้งไม่อุ่มท้องกินพืชหมักคิดเป็นวัตถุแห้งได้ 0.91%BW หรือ 41.81 g/kg BW^{0.75} พืชหมักมีค่า TDN 71.31% ค่าพลังงาน DE, ME และ NEL เท่ากับ 3.10, 2.68 และ 1.60 Mcal/kg DM ตามลำดับ

ปัจจุบันเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อก็ได้นำเศษเหลือเหล่านี้มาใช้เลี้ยงสัตว์เช่นกัน แต่ในบางฤดู เช่น ฤดูฝนโรงงานมีเศษเหลือเหล่านี้เป็นจำนวนมากเกินกว่าที่เกษตรกรจะสามารถนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ได้หมดและมักเป็นช่วงที่มีพืชอาหารสัตว์ชนิดอื่นอุดมสมบูรณ์อยู่แล้ว ดังนั้นหากมีการนำเปลือกและซังข้าวโพดหวานที่เป็นเศษเหลือมาถนอมไว้ในรูปของพืชหมัก (silage) น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีให้แก่เกษตรกรในการแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้งได้

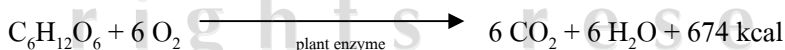
2.6 พืชหมัก

2.6.1 หลักสำคัญของการทำพืชหมักแบบปกติและปฏิกิริยาที่เกิดในหลุมหมัก

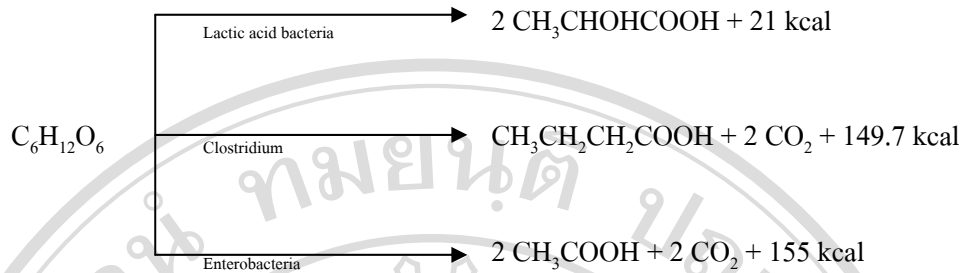
การหมักเป็นการถนอมพืชในสภาพที่ก่อให้เกิดกรดแลคติก (lactic acid) ในปริมาณเพียงพอที่จะคงสภาพของพืชหมักไว้ได้เป็นเวลานาน คือ มีความชื้นพอเหมาะ ได้รับการอัดจนแน่นในถังหรือกองที่ปิดสนิทเพื่อให้อากาศที่จะก่อให้เกิดการหายใจของพืชหลงเหลืออยู่น้อยที่สุด ขบวนการทางชีวเคมีในการหมักมีดังนี้คือ ขณะเริ่มต้นการหมัก พืชยังมีการหายใจอยู่จนกระทั่งออกซิเจนหมดซึ่งการหายใจนี้ทำให้กลูโคสในพืชถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งถือเป็นการสูญเสีย ดังนั้นจึงควรทำให้มีออกซิเจนอยู่ในถังหรือหลุมหมักน้อยที่สุดโดยการหั่นพืชให้เป็นชิ้นเล็กๆ อัดให้แน่นและปิดถังหรือหลุมหมัก โดยเร็วและปิดให้สนิท ในปฏิกิริยาดังกล่าวมีความร้อนเกิดขึ้นด้วย ทำให้อุณหภูมิของพืชหมักสูงขึ้นซึ่งถ้ามีออกซิเจนอยู่มากจะทำให้ชั้นตอนนี้กินเวลานาน ความร้อนจะทำให้พืชหมักใหม่เกิดการสูญเสียมาก อีกทั้งยังทำให้เกิดเชื้อราโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณด้านข้างและด้านบนของกองพืชหมัก

เมื่ออยู่ในสภาพปราศจากออกซิเจนหรือคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (water soluble carbohydrate, WSC) ถูกใช้จนหมดแล้ว แบคทีเรียพวก Enterobacteria จะเริ่มผลิตกรดอะซิติก (acetic acid) ทำให้ pH ต่ำลง จนไปยับยั้งให้แบคทีเรียกลุ่มนี้หยุดเจริญ แต่แบคทีเรียพวกที่ผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria, LAB) ซึ่งทนกรดได้ดีกว่าจะมีชีวิตอยู่ และเริ่มต้นสร้างกรดแลคติก ขบวนการนี้จะดำเนินต่อไปเป็นเวลา 15-20 วันจึงเสร็จสิ้น พืชหมักจะมี pH ประมาณ 4.0 หรือต่ำกว่านี้ทำให้เกิดการคงสภาพสามารถเก็บไว้ได้นานเป็นปี แต่ถ้ากรดไม่เพียงพอที่จะทำให้ pH ลดลงถึง 4.0 ได้ แบคทีเรียพวก clostridium จะเริ่มสร้างกรดบิวทีริก (butyric acid) ทำให้สูญเสียมาก พืชหมักที่มีกรดนี้สูงจัดจะมีคุณภาพต่ำ มีกลิ่นเหม็นไม่น่ากิน (McDonald, 1991) ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในหลุมหมักสามารถสรุปได้โดยย่อดังนี้ (สมสุข, 2544)

1. กระบวนการหายใจโดยใช้ออกซิเจน



2. กระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (fermentation)



2.6.2 เงื่อนไขและปัจจัยสำคัญของการทำพืชหมัก (บุญล้อมและคณะ, 2542)

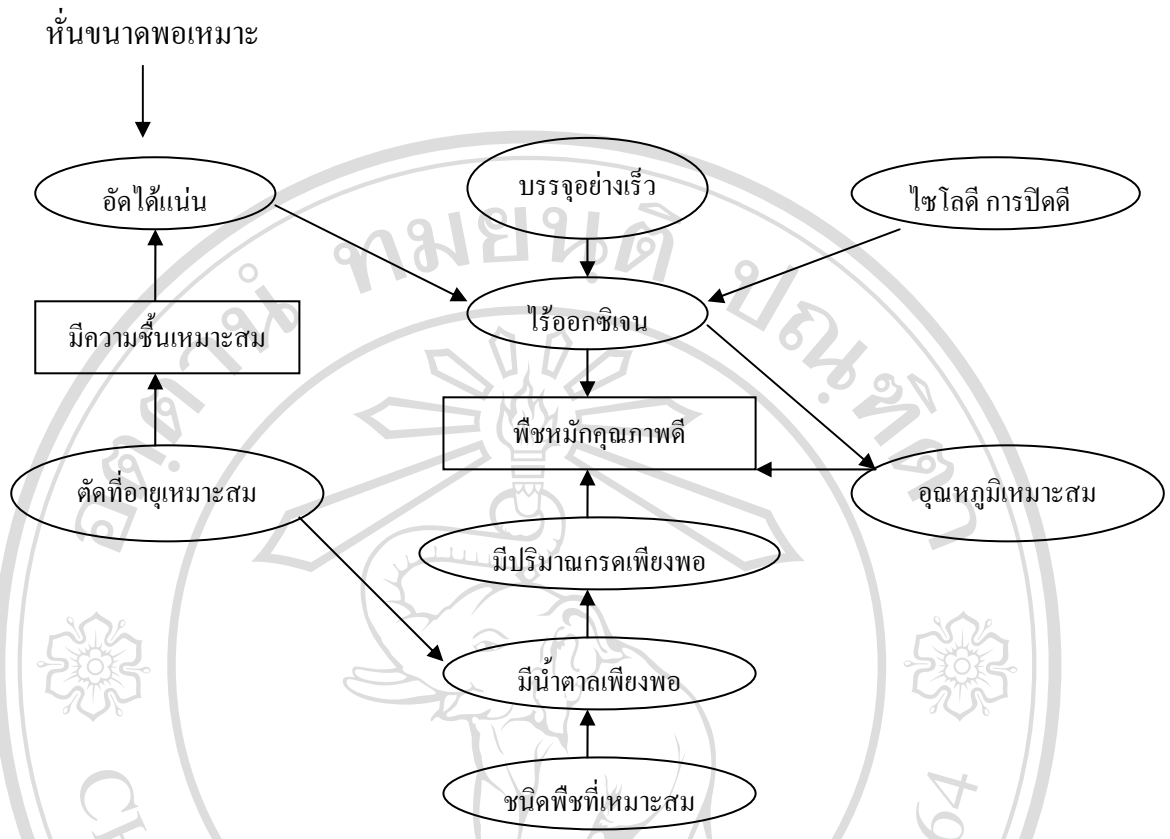
การทำพืชหมักให้ได้คุณภาพดี จะต้องมียeast และปัจจัยที่เกี่ยวข้องของหลายประการ ที่สำคัญคือต้องมีอายุการตัดที่เหมาะสม ต้องมีความชื้นหรือวัตถุแห้งในระดับที่เหมาะสม ต้องมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ในปริมาณที่เหมาะสม ทำการหั่นให้มีขนาดชิ้นที่พอเหมาะ ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนโดยเร็วที่สุด และมีอุณหภูมิการหมักที่เหมาะสม เงื่อนไขและปัจจัยเหล่านี้มีส่วนสัมพันธ์กันดังแสดงไว้ในภาพ 1

2.6.2.1. อายุที่เหมาะสมในการตัดพืช

พืชที่จะนำมาหมักควรตัดเมื่อมีอายุที่เหมาะสม ให้ผลผลิตต่อหน่วยสูงและให้คุณค่าทางอาหารสูง ซึ่งอายุที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของพืชและสภาพภูมิอากาศ โดยปกติเมื่อพืชแก่ขึ้นจะมีปริมาณวัตถุแห้งและพลังงานสูงขึ้น แต่จะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและการย่อยได้ลดลง จะเห็นได้ว่าในช่วงที่พืชให้ผลผลิตต่อไร่สูงสุด คุณค่าทางอาหารของพืชจะลดลง อายุที่เหมาะสมจึงควรอยู่ตรงกลางระหว่างผลผลิตสูงสุดกับคุณค่าทางอาหารสูงสุด

2.6.2.2. ความชื้นที่เหมาะสม

ระดับความชื้นที่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งในการทำพืชหมักให้ได้คุณภาพดี เพราะถ้าพืชมีความชื้นสูงเกินกว่าร้อยละ 70 (และเกินไป) จะทำให้จุลินทรีย์ประเภทคลอสตริเดียมขยายปริมาณมาก ซึ่งจุลินทรีย์พวกนี้จะผลิตกรดบิวทริกทำให้พืชหมักมีกลิ่นเหม็น ไม่น่ากิน อีกทั้งยังมีการสูญเสียโภชนะที่เป็นประโยชน์ไปกับน้ำที่ไหลออกจากพืช (seepage) ดังนั้นในกรณีของพืชที่มีความชื้นสูงจะต้องมีน้ำตาลในพืชมากจึงจะช่วยทำให้ pH ลดลงในระดับที่ต้องการได้



ภาพ 1 เงื่อนไขสำคัญในการทำพืชหมักคุณภาพดีและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (บุญล้อมและคณะ, 2542)

การลดความชื้นที่จะนำมาหมัก อาจทำได้โดย

1. นำพืชมาผึ่ง (wilt) หรือตากแดดเพื่อให้ความชื้นลดลง กรณีนี้เหมาะสำหรับพืชที่สามารถระเหยน้ำได้ง่ายเพราะความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วทำให้ไม่สูญเสียโภชนะมาก

2. ใช้วัสดุดูดความชื้น เช่น รำละเอียด ข้าวโพดบด มันเส้น ฟางข้าว และฟางถั่วเหลือง เป็นต้น ช่วยดูดความชื้นโดยผสมกับพืชที่จะหมักในอัตราร้อยละ 10-25

ในกรณีที่พืชมีความชื้นต่ำ (แห้ง) เกินไปจะทำให้อัดไม่แน่น ไล่อากาศออกยาก มีออกซิเจนเหลืออยู่ในหลุมหมักมากซึ่งพืชจะหายใจต่อไปได้นาน เกิดการสูญเสียคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่าย ทำให้คุณค่าทางอาหารลดลง นอกจากนี้จุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ออกซิเจนจะเจริญได้ดี ซึ่งบางชนิดอาจสามารถสร้างสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสัตว์ด้วย อีกทั้งความร้อนที่เกิดจากการหายใจของพืชอาจมีสูง ถ้าเกิน 40 องศาเซลเซียส จะทำให้พืชหมักกลายเป็นสีน้ำตาลจนถึงดำ มีกลิ่นคล้ายน้ำตาลไหม้ ความร้อนที่เกิดจากการหมักที่สูงเกินไปอาจทำให้เกิดการลุกเป็นไฟได้ และพืชที่มีความชื้นต่ำยังทำให้การลดลงของค่า pH ในพืชหมักเป็นไปได้ยาก

การเพิ่มความชื้นในพืชที่จะนำมาหมัก อาจทำได้โดย

1. พรมน้ำ แต่วิธีการนี้ไม่สู้จะดีนัก เพราะน้ำอาจไม่ได้เข้าไปในพืช แต่ไปกองรวมกันอยู่ข้างล่างทำให้การหมักไม่ได้ผลดี
2. หมักร่วมกับวัสดุที่มีความชื้นสูงกว่า เช่น กากมะเขือเทศสด พืชอ่อน เปลือกสับประรด หรือพืชที่ฉ่ำน้ำ เป็นต้น โดยใส่พืชที่มีความชื้นต่างกันนี้สลับกันเป็นชั้น ๆ แล้วอัดให้แน่น

2.6.2.3. มีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ในระดับที่เหมาะสม

คาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ คือ น้ำตาลและแป้ง ในการหมักที่ดีต้องมีส่วนนี้อย่างเพียงพอ เพื่อให้สามารถเกิดกรดได้เร็วและมี pH ต่ำพอที่จะหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ได้ ซึ่งเรื่องนี้เกี่ยวข้องกับอายุของพืช และชนิดของพืชที่จะนำมาหมักด้วย

2.6.2.4. ขนาดชื้นที่เหมาะสม

ขนาดชื้นของพืชมีความสำคัญต่อการอัดแน่นและการเกิดสภาพไร้ออกซิเจน พืชที่จะนำมาหมัก ถ้าเป็นพวกที่มีลำต้นหนา เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ควรหั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ ประมาณ 1-2 เซนติเมตร เพื่อว่าคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายในพืชจะ สามารถใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้มีการสร้างกรดแลคติกมาก นอกจากนี้ยังทำให้สามารถอัดแน่นได้ง่าย และเอาออกจากหลุมหมักในแนวตั้งได้ง่าย แต่ถ้าหั่นชิ้นเล็กเกินไปพืชหมักนั้นจะสูญเสียความสามารถในการกระตุ้นกระเพาะหมักให้บีบตัวขยอกอาหารออกมาเคี้ยวเอื้อง เป็นเหตุให้มีการขับน้ำลายน้อย กระเพาะหมักมีสภาพเป็นกรดอย่างรุนแรง ทำให้อาหารไม่ย่อย สัตว์เบื่ออาหาร และมีไขมันในนมลดลง

การหั่นชิ้นหยาบเกินไปจะทำให้อัดแน่นได้ยาก มีออกซิเจนในหลุมหมักมากทำให้เกิดความร้อนสูงเกิน 40 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้โปรตีนถูกทำลาย ใช้ประโยชน์ไม่ได้ สังเกตได้จากพืชหมักมีสีน้ำตาลถึงดำ มีกลิ่นน้ำตาลไหม้ ทำให้จุลินทรีย์พวกที่ทนร้อน เช่น รา และแบคทีเรียบางชนิดเจริญได้ดี ทำให้พืชหมักมีคุณภาพลดลง

2.6.2.5. เกิดสภาพไร้ออกซิเจนโดยเร็ว

ทำได้โดยรีบบรรจุพืชหมักให้เต็มหลุมภายในระยะเวลา 2-3 วัน เพราะถ้าใช้เวลาบรรจุนาน จะทำให้มีการสูญเสียโภชนะมากเนื่องจากการหายใจของพืช และควรทำการอัดให้แน่น โดยเฉพาะบริเวณด้านข้างและมุมของหลุมหรือถังเพราะเป็นส่วนที่อัดแน่นได้ยาก หลังจากนั้นปิดให้สนิทกันอากาศเข้า

2.6.2.6. อุณหภูมิที่พอเหมาะของการหมัก

ปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วมีผลต่อการเกิดสภาพไร้ออกซิเจน ซึ่งจะเกี่ยวโยงไปถึงอุณหภูมิ ในหลุมหมัก อุณหภูมิที่พอเหมาะของการหมักอยู่ระหว่าง 27-38 องศาเซลเซียส พืชหมักที่ได้จะมีสีเขียวอ่อนก่อน ไปทางเหลือง มีกลิ่นหอมของน้ำส้มสายชู เนื้อเยื่อของพืชหมักจะมีลักษณะแน่นไม่ และ มีรสเป็นกรดออกเปรี้ยว ค่า pH จะต่ำกว่า 4.5 ถ้าอุณหภูมิในการหมักต่ำมากพืชหมักจะมีสีเขียว คัล้ามักมีกลิ่นฉุน มีลักษณะเป็นเมือกและไม่มีรสชาติ ค่า pH จะสูงกว่า 5 ขึ้นไป ส่วนในกรณีที่ อุณหภูมิการหมักสูง พืชหมักจะมีสีตั้งแต่น้ำตาลจนถึงดำ กลิ่นคล้ายน้ำตาลไหม้ pH และรสชาติไม่ แน่นอ่อนแล้วแต่จะมีการหมักเกิดขึ้นในระดับไหน

2.6.3 การสูญเสียอันเนื่องจากการทำพืชหมัก

พืชที่นำมาหมักเกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารเนื่องจากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น การ สูญเสียในขณะที่เก็บเกี่ยว การสูญเสียเนื่องจากการหายใจของพืช การสูญเสียเนื่องจากการหมัก การ สูญเสียของของเหลวที่ไหลออกมา และการสูญเสียระหว่างที่มีการนำพืชไปใช้เลี้ยงสัตว์ การสูญเสีย จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวิธีการจัดการ เช่น วิธีการเก็บเกี่ยว การบรรจุ การอัดแน่น ชนิดของไซโล (silo) การใช้สารเสริม (silage additive) เป็นต้น นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพืช เช่น ความชื้น ปริมาณน้ำตาล buffering capacity และลักษณะทางกายภาพ เป็นต้น Weiss (1996) กล่าวว่า ภายใต้การจัดการที่เหมาะสมจะมีการสูญเสียวัตถุแห้งจากการทำพืชหมักประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าหากมีการจัดการที่ไม่เหมาะสมแล้วอาจมีการสูญเสียวัตถุแห้งมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป

การสูญเสียเหล่านี้ บางกรณีสามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น การหมักระยะที่สอง ซึ่งเกิดขึ้นจาก พืชหมักสัมผัสกับอากาศขณะนำพืชหมักไปใช้เลี้ยงสัตว์ ส่วนการสูญเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ หมายถึง การสูญเสียที่จำเป็นต้องเกิดขึ้นไม่ว่าในกรณีใดก็ตามเพียงแต่ว่าจะเกิดมากหรือน้อยแตกต่างกันไป การสูญเสียดังกล่าว ได้แก่ การสูญเสียในช่วงเก็บเกี่ยว การหายใจของพืช และการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก เป็นต้น

McDonald *et al.* (1991) ได้สรุปและจำแนกการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการทำพืชหมักจาก สาเหตุต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งการสูญเสียจะมีความผันแปรมากตั้งแต่ 7% ถึง มากกว่า 40% ขึ้นไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง ซึ่งบางอย่างสามารถควบคุมได้ แต่บางอย่างก็ไม่สามารถ ควบคุมได้

ตาราง 2 พลังงานที่สูญเสีย และสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสีย

กระบวนการสูญเสีย	ประเภทของการสูญเสีย	ประมาณการสูญเสีย (%)	สาเหตุ
1.การหายใจของพืช	หลีกเลี่ยงไม่ได้	1-2	การทำงานของเอนไซม์ในพืช
2.กระบวนการหมัก	หลีกเลี่ยงไม่ได้	2-4	จุลินทรีย์
3.ของเหลวที่ไหลออกมา	หลีกเลี่ยงได้และไม่ได้	5->7	ปริมาณวัตถุแห้ง หรือ ความชื้น
4.การฝัง	หลีกเลี่ยงไม่ได้	2->5	สภาพอากาศ, วิธีการ, ชนิดของพืช
5.การหมักระยะที่สอง	หลีกเลี่ยงได้	0->5	ความเหมาะสมของพืช, สภาพในหลุมหมัก, วัตถุแห้ง
6.การสัมผัสกับอากาศในระหว่างการเก็บ	หลีกเลี่ยงได้	0->10	ระยะเวลาการบรรจุ, การอัดแน่น, ชนิดไซโล, การปิดหลุม, ชนิดพืช
7.การสัมผัสกับอากาศหลังจากนำพืชออกจากหลุม	หลีกเลี่ยงได้	0->15	เช่นเดียวกับข้อ 6, วัตถุแห้ง, การนำพืชออกจากหลุม, ฤดูกาล
รวม		7->40	

ดัดแปลงจาก : McDonald *et al.* (1991)

2.7 การหาการย่อยได้โดยทดลองกับตัวสัตว์โดยตรง (in vivo digestibility)

บุญล้อม (2541) กล่าวว่า การที่จะทราบว่าจะทราบค่าอาหารสัตว์มีองค์ประกอบทางเคมีหรือ โภชนะมากน้อยเพียงใด สามารถวัดได้โดยการวิเคราะห์ทางเคมี ในส่วนของอาหารที่สัตว์สามารถนำไปใช้ได้จริงจะทราบได้จากการวัดปริมาณที่หายไปในช่วงการย่อย การดูดซึมและการเมแทบอลิซึมในร่างกาย ส่วนที่ไม่ถูกย่อยจะไม่ถูกดูดซึมแต่จะถูกขับออกในมูล เมื่อนำโภชนะในมูลมาหักออกจากโภชนะในอาหารจะทราบปริมาณ โภชนะที่ย่อยได้ (digestible nutrient) ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณเป็นร้อยละของ โภชนะที่กินเข้าไป จะเป็นค่าการย่อยได้ (digestibility) ของ โภชนะนั้น ดังนั้นการหาการย่อยได้จึงนับว่าเป็นการศึกษาขั้นที่สอง ถัดจากการวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งนิยมทำโดยเฉพาะกับวัตถุดิบชนิดใหม่ๆ ที่ยังไม่ทราบคุณค่าทางอาหาร

การหาค่าการย่อยได้โดยทดลองกับตัวสัตว์โดยตรงแบบวิธีปกติ (Conventional method)

แบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วงคือ

1. ระยะก่อนการทดลอง (preliminary period) เป็นช่วงที่ให้สัตว์และจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมักได้ปรับตัวให้เข้ากับอาหารที่ศึกษาและเพื่อให้อาหารทดลองเข้าไปแทนที่อาหารเดิมในทางเดินอาหาร สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องถ้าเป็นอาหารปกติใช้เวลา 7-10 วัน แต่ถ้าเป็นอาหารแปลกใหม่อาจจะต้องใช้เวลา 14-21 วัน
2. ระยะทดลองจริง (collection period) เป็นช่วงเวลาสำหรับเก็บและบันทึกปริมาณอาหารที่สัตว์กิน และมูลที่ขับออกมา โดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 7 วันหากจำกัดปริมาณอาหารที่ให้ และ 10-14 วันถ้าให้อาหารแบบเต็มที่ ทำการสุ่มตัวอย่างอาหารและมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแล้วนำค่าต่างๆ ไปคำนวณหาการย่อยได้จากสูตร

$$\% \text{ Digestion coefficient} = \frac{\text{Nutrient intake} - \text{Nutrient excreted}}{\text{Nutrient intake}} \times 100$$

ค่าที่ได้เรียกว่าการย่อยได้ปรากฏ โดยถือว่าส่วนของ โภชนะที่ไม่ขับออกมาเท่ากับส่วนที่ถูกดูดซึม ซึ่งตามความเป็นจริงนับว่ายังไม่ถูกต้อง เพราะสิ่งที่ถูกขับออกในมูลไม่ได้มาจากอาหารทั้งหมด แต่มาจากส่วนของร่างกายด้วย เช่น น้ำย่อยหรือเซลล์ที่หลุดลอกจากทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์ที่อยู่ในทางเดินอาหารติดมาด้วย ส่วนนี้เรียกว่า metabolic fecal substance ดังนั้นจึงต้องนำส่วนนี้มาหักออกจากมูลจึงจะได้ส่วนที่ดูดซึมเข้าไปจริง สัมประสิทธิ์การ

ย่อยได้กรณีนี้เรียกว่าการย่อยได้จริง (บุญล้อม, 2541) อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติมักนิยมวัดการย่อยได้ปรากฏเพราะหาได้ง่ายกว่า

2.8 การหาการย่อยได้แบบ *in vitro* โดยวิธี Gas production

เมื่อนำตัวอย่างอาหารมาบ่มหมักกับน้ำรูเมนและสารละลายบัฟเฟอร์จะมีแก๊สเกิดขึ้น ซึ่งสามารถนำไปคำนวณเพื่อใช้ทำนายคุณค่าทางอาหารได้ แก๊สส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้น คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และมีเทน (CH₄) ที่เกิดจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต ไปเป็นกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid, SCFA) ได้แก่ acetate, propionate และ butyrate (Beuvinck and Spoelstra, 1992) ส่วนของโปรตีน และไขมัน เมื่อถูกหมักจะได้ปริมาณแก๊สน้อยกว่าคาร์โบไฮเดรต (Menke and Steingass, 1988) นอกจากนี้ยังมีแก๊สที่ไม่ได้เกิดจากกระบวนการหมักโดยตรง แต่เกิดจากการที่กรดไขมันสายสั้น (SCFA) เปลี่ยนเป็น bicarbonate buffer จึงมีการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณ 50% ของ SCFA ที่ถูกทำปฏิกิริยา (Bluemmel and Orskov, 1993)

วิธีการวัดปริมาณแก๊สเพื่อทำนายคุณค่าทางอาหารนี้คิดค้นโดย Menke *et al.* (1979) จึงเรียกว่า Menke method หรือเรียกตามสถานที่ว่า Hohenheim gas test (Getachew *et al.*, 1998) หลังจากนั้นได้พัฒนารูปแบบของสมการทำนาย ค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (Organic matter digestibility, OMD) ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ (Metabolizable energy, ME) และค่าพลังงานสุทธิ (Net energy, NE) โดยนำองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างอาหาร มาใช้ร่วมในสมการเพื่อให้การทำนายมีความแม่นยำยิ่งขึ้น โดย Menke and Steingass (1988) ได้นำค่าแก๊สที่ได้ปรับด้วยค่า blank (แก๊สที่เกิดจากสารละลายรูเมนบัฟเฟอร์โดยไม่มีตัวอย่างอาหาร) และค่า factor (ค่าที่คำนวณจากตัวอย่างอาหารชิ้นและอาหารหยาบมาตรฐาน) แล้วนำมาคำนวณร่วมกับองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และ ไนโตรเจนฟรีเอ็กแทรกซ์ (nitrogen free extract, NFE) มาสร้างสมการเพื่อทำนายค่า OMD, ME และ NE โดยเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองกับตัวสัตว์โดยตรง จำนวน 400 ค่า ที่ได้รวบรวมจากการศึกษาการย่อยได้ในแกะ (digestibility trial) 700 การทดลอง และการทดลองวัดค่าพลังงานโดยใช้วิธีวัดการหายใจ (respiration trial) ทั้งในแกะและโค จากนั้นคัดเลือกสมการโดยพิจารณาจากค่า t-test, r² (coefficient of determination) และ RSD (residual standard deviation) จากการศึกษาดังกล่าว Menke and Steingass (1988) ได้เสนอสมการรีเกรสชันที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าการย่อยได้ และพลังงานของอาหารแต่ละประเภท คือ อาหารผสม (compounds) อาหารผสมและวัตถุดิบอาหารชิ้น (compounds and component) อาหารหยาบแห้ง (dry roughages) อาหารหยาบ (roughages feeds) อาหารผสมและอาหารหยาบ (compounds and roughages feeds) จำนวนรวม 8 สมการ ประกอบกับวิธีนี้สามารถทำได้ง่าย ประหยัดทั้งเวลาและ

ค่าใช้ง่าย ตลอดจนได้ค่าที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งค่าการย่อยได้และค่าพลังงาน ดังนั้นวิธีการนี้จึงได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย

Menke and Steingass (1988) ได้ทำการวัดปริมาณแก๊สจากตัวอย่างอาหารประมาณ 1,000 ชนิด ที่ทราบค่าการย่อยได้แบบ *in vivo* แล้วนำปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น และค่าโภชนะในอาหารมาสร้างสมการ regression สำหรับใช้ทำนายค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (OMD) พลังงานเมแทบอลิซึม (ME) ซึ่งกรณีอาหารหยาบและอาหารข้นพอสรุปได้ดังนี้

อาหารหยาบ

$$\text{OMD (\%)} = 15.38 + 0.8453\text{GP} + 0.0595\text{XP} + 0.0675\text{XA}$$

$$\text{ME (MJ/kgDM)} = 2.20 + 0.1357\text{GP} + 0.0057\text{XP} + 0.0002859(\text{XL})^2$$

อาหารข้น

$$\text{OMD (\%)} = 9.00 + 0.9991\text{GP} + 0.0595\text{XP} + 0.0181\text{XA}$$

$$\text{ME (MJ/kgDM)} = 1.06 + 0.1570\text{GP} + 0.0084\text{XP} + 0.0220\text{XL} - 0.0081\text{XA}$$

เมื่อ GP = ปริมาณแก๊สสุทธิเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ml/200 mg DM)

XP = ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างอาหาร (กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง)

XA = ปริมาณเถ้าในตัวอย่างอาหาร (กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง)

XL = ปริมาณไขมันในตัวอย่างอาหาร (กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

2.9 ค่าพลังงานในอาหาร

นักโภชนศาสตร์สัตว์จะให้ความสนใจกับค่าพลังงานในอาหาร ทั้งนี้เพราะถ้าพลังงานในอาหารไม่เพียงพอก็จะมีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสัตว์ เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า พลังงานในอาหารที่สัตว์กินเข้าไป (Gross energy, GE หรือ Intake energy, IE) สัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด เพราะมีการสูญเสียไปในมูล ปัสสาวะ แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และความร้อน (heat increment, HI) ทำให้พลังงานที่เหลือจากการหักส่วนต่างๆ ออกเรียกว่าพลังงานย่อยได้ พลังงานใช้ประโยชน์ และพลังงานสุทธิ ตามลำดับ ระบบพลังงานที่นิยมใช้กัน โดยทั่วไปมี 4 ระบบ (บุญล้อม, 2541) แต่ละระบบมีข้อดีข้อเสีย ซึ่งพอสรุปได้สังเขปดังนี้คือ

ก. ยอดโภชนะย่อยได้ (TDN) มีข้อดีในแง่ที่สามารถวัดได้ง่าย อยู่ในวิสัยที่สถาบันต่างๆ พอจะทำได้เพราะต้องการทราบเพียงปริมาณ โภชนะย่อยได้ ซึ่งหาโดยการศึกษาการย่อยได้ (digestion trial) TDN เป็นระบบพลังงานที่คุ้นเคยกันดี มีข้อมูลมาก สามารถเปรียบเทียบกันได้ง่าย แต่มีข้อเสียหลายประการ ที่สำคัญคือมีอคติ (bias) กล่าวคือ TDN ประเมินพลังงานของอาหารหยาบคุณภาพต่ำได้สูงกว่าความเป็นจริง ทำให้ 1 กิโลกรัม TDN ของฟางมีค่า NE น้อยกว่า 1 กิโลกรัม TDN ของหญ้าแห้ง หรือข้าวโพด จากจุดบกพร่องหลายๆ ประการของ TDN ทำให้หลายประเทศหันไปใช้ระบบ ME และ NE มากขึ้น

ข. พลังงานย่อยได้ (DE) คล้ายคลึงกับ TDN คือมีข้อดีในแง่ที่วัดได้ง่าย อยู่ในวิสัยที่สามารถทำได้ เพราะต้องการทราบเพียงปริมาณพลังงานที่ขับออกในมูลเพื่อหักลบกับปริมาณพลังงานที่สัตว์กินเข้าไปเท่านั้น ค่านี้สามารถหาได้โดยทำ digestion trial และวิเคราะห์พลังงานในอาหารและในมูลด้วยเครื่อง bomb calorimeter จุดอ่อนของ DE คล้ายคลึงกับ TDN คือยังใช้ประเมินค่าพลังงานที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงได้ไม่แม่นยำ เพราะไม่ได้คำนึงถึงปริมาณพลังงานที่สูญเสียไปในขั้นตอนอื่น

ค. พลังงานใช้ประโยชน์ (ME) เป็นระบบพลังงานที่ค่อนข้างดี สามารถประเมินพลังงานในอาหารได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง และมีอคติน้อยลง เพราะได้คำนึงถึงพลังงานที่สูญเสียไปทั้งในมูลปัสสาวะ และแก๊สที่เกิดจากการหมักอาหารในกระเพาะส่วนหน้า ค่า ME นี้อยู่ในวิสัยที่พอจะวัดได้ถ้ามีเครื่อง respiration mask หรือ respiration calorimeter ประเทศอังกฤษนิยมใช้ระบบนี้ และมีการพัฒนาขึ้นตามลำดับ แต่ของประเทศไทยยังมีการวัดโดยวิธีดังกล่าวนี้้อยมา

ง. พลังงานสุทธิ (NE) เป็นระบบพลังงานที่ดีที่สุด เพราะบอกให้ทราบถึงปริมาณพลังงานที่สัตว์สามารถนำไปใช้ได้จริง เนื่องจากหักค่าพลังงานที่สูญเสียไปทุกขั้นตอนออกแล้ว รวมทั้งสูญเสียไปในรูปของความร้อนที่เกิดจากการเมแทบอลิซึมอาหารที่เรียกว่า heat increment (HI)

ด้วยค่า NE เป็นค่าที่ยุติธรรม ไม่มีอคติต่ออาหารประเภทใดประเภทหนึ่ง เพราะ 1 Mcal NE ในข้าวโพด ก็ให้ค่าพลังงานที่สัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้เท่ากับ 1 Mcal NE ในฟางข้าว แต่ NE มีข้อจำกัดคือ วัดได้ยาก ต้องอาศัยเครื่องมือที่ซับซ้อน เพราะต้องให้สัตว์เข้าไปอยู่ใน respiration calorimeter จึงจะสามารถวัดค่า HI ได้ หรือมีฉะนั้นก็ต้องใช้เทคนิคอื่นที่ค่อนข้างซับซ้อนเช่นกัน ด้วยเหตุนี้ค่า NE ในอาหารส่วนใหญ่จึงไม่ได้วัดโดยตรง แต่อาศัยสมการคำนวณ

เนื่องจากการวัดพลังงาน ME และ NE โดยตรงต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงซึ่งหน่วยงานวิจัยส่วนใหญ่ไม่มีใช้ ดังนั้นจึงต้องหาวิธีอื่นได้แก่วัดค่าการย่อยได้ในตัวสัตว์ (*in vivo* digestibility) เพื่อคำนวณพลังงานในรูปโภชนะย่อยได้ทั้งหมด (TDN) พลังงานย่อยได้ (DE) แล้วอาศัยสมการ regression ที่ผ่านการพิสูจน์และได้รับการยอมรับแล้วประเมินค่าพลังงาน ME และ NE ต่อไป

2.10 วัตถุดิบอาหารชั้น

2.10.1 กากชีอิ้ว

กากชีอิ้ว หมายถึง เศษเหลือจากผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนของถั่วเหลือง หรือส่วนผสมของถั่วเหลืองและแป้งสาลีโดยการหมักด้วยจุลินทรีย์ในกระบวนการทำชีอิ้ว แล้วนำไปผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (pasteurization) ก่อนการบรรจุ เศษที่เหลือจากการผลิตเรียกว่า กากชีอิ้ว หรือกากซอสถั่วเหลืองมีลักษณะทางกายภาพเป็นกากสีน้ำตาลเข้ม มีปริมาณไนโตรเจนค่อนข้างสูง ในได้ห้วนได้มีการนำมาใช้เป็นปุ๋ยในโตรเจนแก่พืช และใช้ในการเลี้ยงสัตว์ (วิเชียร, 2522)

คุณค่าทางอาหารของกากชีอิ้วผันแปรขึ้นอยู่กับสูตร และกรรมวิธีในการผลิต แต่โดยภาพรวมกากชีอิ้วมีโปรตีนค่อนข้างสูงประมาณ 21-23 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งมีไขมัน เยื่อใย และเกลือก้างค่อนข้างสูงประมาณ 20.12 และ 9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำให้มีการนำกากชีอิ้วมาใช้ในสูตรอาหารสัตว์ ปัจจุบันการใช้อากชีอิ้วผสมในอาหารเลี้ยงโคนมให้อยู่ที่ระดับ 15-25 เปอร์เซ็นต์ ของสูตรอาหารชั้น (ธีระ, 2541; อ้างโดย สุรศักดิ์, 2546)

สุรศักดิ์ (2546) ได้ศึกษาการย่อยได้ และการใช้ประโยชน์ได้ของกากซอสถั่วเหลืองเพื่อเป็นอาหารโคนม พบว่ามีวัตถุแห้ง 82.37% และมีองค์ประกอบทางเคมีคิดเป็นร้อยละของวัตถุแห้ง คือ OM, CP, EE, CF, NDFa และ ADFa เท่ากับ 85.91, 22.10, 20.08, 11.89, 45.32, 20.84% ตามลำดับ การประเมินค่าพลังงานและการย่อยได้โดยวิธี *in vitro* gas production พบว่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (OMD) เท่ากับ 55.40% พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) เท่ากับ 10.40 MJ/kgDM หรือ 2.42 Mcal/kgDM

จากการที่กากซีอิ๊วมีเกลือและไขมันอยู่สูง ถ้านำมาใช้ผสมอาหารในระดับสูงควรคำนึงถึง ปริมาณเกลือและไขมันที่อาจมีผลกระทบต่อสัตว์ด้วย

ผลของเกลือระดับสูงในอาหาร

Weeth และ Haverland (1961) ได้ศึกษาความทนทานต่อเกลือในน้ำของโคสาวพันธุ์เฮีย ฟอร์ด ซึ่งทำการทดลองในฤดูหนาวและฤดูร้อน โดยในฤดูหนาวได้เสริมเกลือระดับ 1.25, 1.50 และ 1.75% ตามลำดับ พบว่า ปริมาณน้ำที่กิน (14.93, 11.31 และ 8.59 ลิตร) อัตราการเจริญเติบโต (+0.25, 0.0 และ -0.78 กก./วัน) และอัตราการหายใจ (20, 17 และ 12 ครั้ง/นาที) ลดลงตามปริมาณ เกลือที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร โดยโคกลุ่มที่ได้รับเกลือ 1.75% มีค่าเหล่านี้ต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมี นัยสำคัญ นอกจากนี้อัตราการกินหญ้าแห้งของสองกลุ่มหลังยังต่ำกว่ากลุ่มแรกอย่างมีนัยสำคัญด้วย คือมีค่า 3.21, 2.53 และ 1.67 กก./วันตามลำดับ ส่วนในฤดูร้อนได้ทดลองเสริมเกลือที่ระดับ 0, 1.0 และ 1.2% พบว่าโคกลุ่มที่เสริมเกลือทั้งสองระดับกินน้ำมากกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมอย่างมีนัยสำคัญ คือ มีค่า 26.24, 38.46 และ 44.34 ลิตร/วันตามลำดับ และกินหญ้าแห้งลดลงตามระดับเกลือที่เพิ่มขึ้น โดยกลุ่มสุดท้ายมีค่าต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญ (5.29, 4.70 และ 3.80 กก./วัน) ทำให้การเจริญเติบโต ลดลงตามระดับเกลือที่เพิ่มขึ้น (0.543, 0.361 และ 0.090 กก./วัน)

Sillence *et. al.* (2006) ได้ศึกษาความทนทานต่อเกลือของโคพันธุ์แองกัส และแกะพันธุ์ เมอริโน โดยแบ่งสัตว์แต่ละชนิดเป็น 2 กลุ่ม คือ เสริมเกลือในอาหารชั้น 1.5 และ 20.0 % ของวัตถุดิบ พบว่าในกลุ่มที่ทำให้เกลือระดับสูง มีอัตราการกินได้ของอินทรีย์วัตถุและอัตราการเจริญเติบโต ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ คือ ในโคมีการกินได้ของอินทรีย์วัตถุ 8.19 ± 0.96 vs 3.69 ± 0.35 และในแกะมี ค่า 1.27 ± 0.61 vs 0.55 ± 0.07 กก./วัน ส่วนอัตราเจริญเติบโตในโคมีค่า $1,032 \pm 181$ vs 278 ± 143 และ ในแกะมีค่า 37 ± 21 vs -175 ± 31.9 กรัม/วัน อย่างไรก็ตามพบว่า การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุไม่มีความ แตกต่างกันระหว่างกลุ่มในสัตว์ทั้งสองชนิด

ผลของไขมันระดับสูงในอาหาร

ในกรณีของไขมันซึ่งเป็นแหล่งพลังงานในอาหารก็มีผลทั้งในทางบวกและลบต่อการหมัก ย่อยของอาหารในรูเมน อาหารของโคควรมีไขมันเป็นส่วนประกอบ 4-5 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบแห้ง หากระดับไขมันในอาหารสูงเกินไป จะมีผลกระทบต่อกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ในรูเมน ซึ่ง ระดับไขมันทั้งหมดในอาหาร (total dietary fat) ควรมีไม่เกิน 6-7% ของวัตถุดิบแห้ง (Jenkins, 1993 และ Bauman *et al.*, 2003)

Devendra และ Lewis (1974) กล่าวว่าโคที่กินอาหารที่มีไขมันสูง จะลดการย่อยได้ของ เซลลูโลสทำให้กินอาหารหยาบได้ลดลง ซึ่งเกิดจากสาเหตุต่อไปนี้

1. ไขมันจะไปหุ้มผิวของเยื่อใย ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเข้าไปย่อยเซลลูโลสได้
2. ไขมันอาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์บางชนิด ทำให้จำนวนจุลินทรีย์ชนิดนั้นลดลง เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลในกระเพาะรูเมน
3. กรดไขมันอาจไปหุ้มผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ จึงอาจทำให้ประสิทธิภาพการเข้าย่อยของ จุลินทรีย์ลดลง
4. กรดไขมันที่มีสายยาว จะทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุประเภท cation ทำให้เกิด insoluble complex จึงทำให้ cation เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ลดลง ประสิทธิภาพการย่อยของจุลินทรีย์จึงลดลงด้วย นอกจากนี้การที่ cation ลดลงทำให้ pH ในรูเมนลดลงจึงทำให้การย่อยเซลลูโลสเกิดขึ้นได้น้อยเพราะจุลินทรีย์จำพวกนี้ไม่สามารถเจริญอยู่ได้ในสภาพที่เป็นกรด

ชาวอุทธีและเมธา (2550) ได้ศึกษาผลของระดับน้ำมันพืชต่อประสิทธิภาพของรูเมน โดยทดลองในโคพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียน แบ่งเป็น 4 กลุ่มคือ เลี้ยงด้วยฟางข้าวร่วมกับอาหารข้นไขมัน 3 และ 6% หรือเลี้ยงด้วยฟางหมักยูเรียร่วมกับอาหารข้นไขมัน 3 และ 6% ตามลำดับ พบว่าอาหาร ไม่มีผลต่อการกินแต่มีผลต่อระดับยูเรียในเลือดและในน้ำนม โดยกลุ่ม 3 และ 4 มีค่า BUN มากกว่ากลุ่ม 1 และ 2 และยังพบแนวโน้มว่ากลุ่ม 2 และ 4 มีจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่ากลุ่มที่ 1 และ 3 โดยมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด 2.8 และ 3.3 vs 4.2 และ 5.4 x 10⁷ CFU/ml มี cellulolytic bacteria 4.3 และ 4.6 vs 5.2 และ 5.2 x 10⁷ CFU/ml ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นปัจจัยด้านปริมาณไขมันพบว่า กลุ่มที่ให้ อาหารข้นไขมัน 6% มีการกินได้ และเปอร์เซ็นต์ของโพธิโอเนตในรูเมน น้อยกว่าที่ระดับ 3% อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของอาหารหยาบกับเปอร์เซ็นต์ไขมันในอาหาร ข้น แสดงว่าการให้อาหารที่มีไขมันสูงมีผลให้โปรโตซัวและแบคทีเรียโดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกที่ย่อย เซลลูโลสลดลง ทำให้การกินได้และการย่อยได้ของโภชนะ โดยเฉพาะเยื่อใยและการผลิตกรด โพธิโอเนตลดลง

2.10.2 มันเส้น (Cassava Chip)

มันเส้น ได้จากการนำหัวมันสำปะหลัง (cassava) มาเข้าเครื่องหั่นที่เรียกว่า เครื่องโม่มันเส้น ซึ่งจะหั่นหัวมันสดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปตากแดดบนลานซีเมนต์ 2-3 วัน จนแห้ง มันสำปะหลัง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta*, Crantz มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบอเมริกากลาง และอเมริกาใต้ แหล่งผลิตที่สำคัญของโลกอยู่ในทวีปแอฟริกา เอเชีย และลาตินอเมริกา ประเทศผู้ผลิตที่สำคัญได้แก่ ไนจีเรีย บราซิล ไทย และอินโดนีเซีย (อุทัยและสุกัญญา, 2547)

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร (2550) พบว่าประเทศไทยมีการผลิตมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในปี 2548 มีการผลิตมันสำปะหลัง 16,938,245 ตัน ปี 2549 เท่ากับ 22,584,402 ตัน และในปี 2550 เท่ากับ 26,915,541 ตัน โดยไทยส่งออกมันสำปะหลังเป็นอันดับ 1 ของโลก มีมูลค่าการส่งออกในรูปแบบมันเส้น มันสำปะหลังอัดเม็ด และแป้งมันสำปะหลัง ในปี 2548 เท่ากับ 32,891 ล้านบาท ปี 2549 เท่ากับ 41,936 ล้านบาท และในปี 2550 เท่ากับ 32,336 ล้านบาท

มันสำปะหลังเป็นไม้ยืนต้นและเป็นพืชเมืองร้อน มีทรงพุ่มขนาดความสูง 1-4 เมตร ปลูกง่ายเหมาะกับพื้นที่ที่มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ปลูกได้ทั่วไปในประเทศเขตร้อนที่อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 30 องศาเหนือและใต้ ระดับความสูงไม่เกิน 2,000 เมตร สามารถปรับตัวได้ดีในเขตที่มีฝนตกอยู่ระหว่าง 1,000-3,000 มิลลิเมตรต่อปี มีความทนทานต่ออากาศแล้งได้ดี หลังจากปลูกจนตั้งตัวได้แล้ว แม้จะขาดน้ำเป็นระยะเวลาติดต่อกัน 3-4 เดือน ก็สามารถทนอยู่ได้โดยไม่ตาย ลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของมันสำปะหลังคือ ทนต่อสภาพดินที่เป็นกรดจัด เช่น ดินที่มีค่า pH ต่ำถึง 4.4 ก็ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิต แต่ไม่สามารถขึ้นได้ดีในดินที่เป็นด่าง ซึ่งมีค่า pH มากกว่า 8 ขึ้นไป มันสำปะหลังเป็นพืชช่วงวันสั้น หากช่วงแสงของวันเกิน 10-12 ชั่วโมง จะมีผลผลิตลดลง ข้อดีของการปลูกมันสำปะหลังคือถ้าปลูกติดต่อกันหลายปีแม้จะมีการใส่ปุ๋ยบำรุงดินอย่างถูกต้อง ก็ยังมีผลทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงอย่างรวดเร็วตลอดจนโครงสร้างของดินถูกทำลาย (อุทัยและสุกัญญา, 2547)

วรรณ และคณะ (2547) รายงานผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมันเส้น (Cassava chips) พบว่ามี วัตถุแห้ง 88.45% และมีองค์ประกอบทางเคมีคิดเป็นร้อยละของวัตถุแห้ง ดังนี้คือ CP 2.21%, EE 0.45%, NDF 10.72%, ADF 5.74% และมีค่าพลังงาน TDN 78.35%

จิระชัย (2543) กล่าวถึงหัวมันสำปะหลังเมื่อนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ว่ามีข้อดีหลายประการ ดังนี้

1. ความน่ากิน มันสำปะหลังเป็นอาหารที่โคชอบ โดยเฉพาะสูตรที่ไม่อัดเม็ด สังเกตได้ว่าโคจะเลือกกินมันสำปะหลังก่อนวัตถุดิบอย่างอื่น
2. ย่อยสลายง่ายในกระเพาะหมัก เป็นแหล่งแป้งและน้ำตาลที่ดี ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ทำให้ได้รับโภชนะต่างๆ โดยเฉพาะจากจุลินทรีย์มากขึ้น
3. มีเยื่อใยผนังเซลล์ต่ำ ซึ่งเป็นจุดเด่นของมันสำปะหลังอย่างหนึ่ง
4. ไม่พบการปนเปื้อนของเชื้อราที่ผลิตสารอะฟลาท็อกซิน หรือตรวจพบในระดับต่ำระหว่าง 1.6-1.8 ppm ซึ่งต่ำกว่าที่พบในเมล็ดข้าวโพด
5. ช่วยให้ต้นทุนค่าอาหารต่ำหากนำมาใช้กับแหล่งโปรตีนราคาถูก เช่น ยูเรีย หรือ กากผงชูรส ในระดับที่เหมาะสม

2.11 การศึกษาระดับโปรตีนและพลังงานในอาหารสัตว์

จิระวัชร และคณะ (2542) ได้ศึกษาผลการใช้อาหารผสมเสร็จอัดก้อนที่มีต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของโคลูกผสมพันธุ์อเมริกันบราห์มัน x ซิมเมนทอล โดยใช้โคลูกผสม จำนวน 3 ตัว มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 285 ± 30 กิโลกรัม ระยะเวลาการศึกษา 91 วัน อาหารผสมเสร็จอัดก้อนที่ใช้มีโปรตีน 10.73% และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 2,047 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม พบว่า โคมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 382 ± 67 กิโลกรัม มีอัตราการเจริญเติบโต 1.06 ± 0.41 กิโลกรัมต่อวัน ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ย 9.79 กิโลกรัมต่อวัน อัตราแลกน้ำหนักเท่ากับ 9.18

สมสุข (2544) ได้ศึกษาความต้องการโปรตีนและพลังงานของโคนมลูกผสมที่ให้นมปานกลาง โดยใช้หญ้าที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% เป็นอาหารหยาบฐานพบว่า การเพิ่ม CP อย่างเดียวหรือเพิ่ม CP ร่วมกับ TDN ขึ้นอีก 20% ของระดับที่แนะนำโดย NRC ทำให้ผลผลิตนมและ 4%FCM เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่ม CP ทำให้สัตว์กินอาหารและได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่ม TDN อย่างเดียวอีก 20% ของ NRC กลับมีแนวโน้มให้ผลผลิตน้ำนม และ 4%FCM ลดลง

วีระพล และคณะ (2548) ได้ศึกษาการใช้หญ้าแพงโกล่าแห้งร่วมกับอาหารข้นในระดับต่างๆ เลี้ยงโคเนื้อพันธุ์ตาก อายุราว 12-14 เดือน น้ำหนัก 294 กิโลกรัม แบ่งเป็น 4 กลุ่ม โดยกลุ่มแรก ให้หญ้าแพงโกล่าอย่างเดียว ส่วนในกลุ่ม 2 3 และ 4 ให้หญ้าแพงโกล่าที่มีโปรตีน 7.89 % เสริมด้วยอาหารข้นโปรตีน 14% ในอัตรา 0.5 1.0 และ 1.5% ของน้ำหนักตัว ตามลำดับ พบว่า โคกลุ่มที่ 3 และ 4 มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยสูงสุดคือ 1,128 และ 1,257 กรัม/วัน ตามลำดับ มากกว่ากลุ่มที่ 1 และ 2 ที่มีค่า 325 และ 710 กรัม/วัน อย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณอาหารที่กินได้ของโคกลุ่มที่ 3 และ 4 ใกล้เคียงกันวันละ 11.10 และ 11.66 กิโลกรัม/ตัว/วัน สูงกว่ากลุ่มที่ 1 และ 2 ที่มีค่าเท่ากับ 7.76 และ 9.53 กิโลกรัม/ตัว/วัน อัตราแลกน้ำหนักของโคกลุ่มที่ 4 ดีที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 9.27 ใกล้เคียงกับกลุ่มที่ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.83 แต่สูงกว่าโคกลุ่มที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีอัตราแลกน้ำหนักเท่ากับ 23.87 และ 13.42 โคกลุ่มที่ 2 3 และ 4 ใช้ต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัวต่อกิโลกรัมใกล้เคียงกัน คือเฉลี่ยเท่ากับ 29.59 27.31 และ 30.60 บาทต่อกิโลกรัม ดีกว่าโคกลุ่มที่ 1 ที่ใช้ต้นทุนค่าอาหารเฉลี่ยเท่ากับ 34.86 บาทต่อกิโลกรัม

อิทธิพล และสำราญ (2549) ได้ศึกษาผลของปริมาณโปรตีนและพลังงานที่กินต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของโคเนื้อพันธุ์พื้นเมืองไทย เพศผู้ไม่ตอน จำนวน 15 ตัว น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 146 ± 2.0 กิโลกรัม อายุเฉลี่ย 516 ± 20 วัน แบ่งเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 3 ตัว โดยให้โคได้รับปริมาณโปรตีนเฉลี่ยและปริมาณโภชนะย่อยได้ทั้งหมดเฉลี่ยในอาหาร (กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน) แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (0.517 และ 2.291) ระดับกลาง (0.633 และ 2.820) และระดับสูง (0.698 และ 3.006) ตามลำดับ ให้อาหารข้นร่วมกับการให้หญ้าที่แห้งเป็นอาหารหยาบหลัก ทำการ

เลี้ยง 547 วัน พบว่า กราฟการเจริญเติบโตเป็นแบบเส้นโค้งโดยจะมีขนาดและน้ำหนักตัวเริ่มคงที่เมื่อเลี้ยงได้ 453 วัน และโคทั้ง 3 กลุ่มกินอาหารคิดเป็นน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1.53 1.76 และ 1.88 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว มีอัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวันเท่ากับ 0.42 0.47 และ 0.44 กิโลกรัม ค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมในกลุ่มที่ 1 มีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ 2 และ 3 (41.60 vs 46.34 และ 56.87 บาท ตามลำดับ)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved