บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลของประเทศในเขตร้อนและกึ่งร้อน ในประเทศไทยปลูกมากในภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือตามลำดับ เนื้อที่เพาะปลูกรวมทั้งประเทศประมาณ 6.6 ล้านไร่ จังหวัดที่มีพื้นที่การปลูกอ้อยมากกว่า 100,000 ไร่ ได้แก่ จังหวัด สุพรรณบุรี ราชบุรี นครปฐม ชลบุรี ลพบุรี กำแพงเพชร นครสวรรค์ สุโขทัย อุดรธานี นครราชสีมา ชัยภูมิ และขอนแก่น ประเทศไทยผลิตอ้อยได้ประมาณปีละ 60 ล้านตัน เป็นผู้ส่งออกน้ำตาลที่ผลิตจากอ้อยเป็นอันดับ 3 รองจากประเทศบราซิล และออสเตรเลีย ตามลำดับ (พิพัฒน์, 2541)

ตารางที่ 1 พื้นที่ปลูกและผลผลิตอ้อยของภาคต่างๆ ในประเทศไทย

Table 1 Planted area and product of sugarcane in different parts of Thailand

area : 10^6rai , product : 10^6ton

	North		Central		East		Northeast		Whole area	
Years	Area	Product	Area	Product	Area	Product	Area	Product	Area	Product
2535/36	1.52	8.53	2.49	15.64	0.56	3.35	1.57	7.17	6.14	34.69
2536/37	1.56	8.48	2.42	16.85	0.55	3.32	1.50	8.90	6.03	37.55
2537/38	1.16	11.65	2.44	19.81	0.51	3.60	1.53	15.38	5.64	50.44
2538/39	1.41	13.69	2.40	20.77	0.46	4.42	1.97	18.80	6.24	57.68
2539/40	1.53	13.36	2.49	21.48	0.51	3.69	2.11	17.64	6.64	56.17
2540/41	1.31	9.30	2.11	12.73	0.42	2.44	1.90	17.72	5.74	42.19

Source : ดัดแปลงจาก พิพัฒน์ (2541)

ผลผลิตอ้อยและพื้นที่ในการปลูกอ้อยของประเทศไทยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมามีแนวโน้มการผลิตที่เพิ่มขึ้นทั้งพื้นที่ปลูกและผลผลิตต้นอ้อยรวม ส่วนในเรื่องราคาอ้อยนั้นขึ้นอยู่กับราคาน้ำตาลในตลาดโลกซึ่งบางช่วงชาวไร่อ้อยก็ขายอ้อยได้ราคาดี (ประมาณ 700 บาทต่อตัน) แต่ในช่วงปี 2541/42 ราคาน้ำตาลต่ำลงส่งผลต่อชาวไร่อ้อยขายอ้อยได้ราคาต่ำกว่า 500 บาทต่อตัน และมีแนวโน้มที่ราคาจะตกต่ำลงอีก ซึ่งในกรณีที่ราคาอ้อยตกต่ำนี้การนำอ้อยมาใช้เป็นอาหารสัตว์น่าจะเป็นวิธีการบรรเทาปัญหาทางหนึ่ง

2.1 ลักษณะพฤกษศาสตร์ของอ้อย

อ้อยจัดเป็นพืชในตระกูลหญ้า มีแหล่งกำเนิดดั้งเดิมอยู่ที่เกาะนิวกีนีในมหาสมุทรแปซิฟิก จัดจำแนกอยู่ใน ชั้น (Class) : Monocotyledonae

อันดับ (Order) : Glumaceae

วงศ์ (Family): Gramineae

กลุ่ม (Group) : Andropogoneae

สกุล (Genus) : Saccharum

อ้อยอยู่ในสกุล *Saccharum* แบ่งออกเป็นหลายชนิดคือ อ้อยป่า (*Saccharum spontaneum*) , อ้อยจีน(*Saccharum sinense*) , อ้อยอินเดีย (*Saccharum barberi*) ชนิดที่นิยมปลูกเป็นอ้อยมีตระกูล (noble cane, *Saccharum officinarum* L.) เพราะลำต้นอวบใหญ่มีปริมาณน้ำตาลสูง (กรมวิชาการเกษตร, 2523)

อ้อยเป็นพืชที่ให้ผลผลิตลำต้นสูง เฉลี่ย 9.2 ตันต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร,2540) คิดเป็นน้ำหนักแห้ง 2.76 ตันต่อไร่ อ้อยเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและกึ่งร้อนในดินเกือบทุกประเภท ตั้งแต่ดินร่วนจนถึงดินร่วนปนทราย ที่มีหน้าดินลึกอย่างน้อย 50 เซนติเมตร ระบายน้ำดี มีปริมาณน้ำฝนและแสงแดดเพียงพอ โดยทั่วไปอ้อยเจริญเติบโตช้าในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส แต่ขึ้นได้ดีในอุณหภูมิ 20-35 องศาเซลเซียส มีการเจริญแบบแตกกอประเภทข้ามปี (perennial) ลำต้นมีความสูง 2.5 - 6 เมตร เป็นข้อปล้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำ 3-6 เซนติเมตร ความยาวปล้อง 2-30 เซนติเมตร ลำต้นมีเปลือกแข็ง ความแข็งของเปลือกแตกต่างกันตามพันธุ์ เช่น อ้อยป่าวัดความแข็งของเปลือกมากกว่าอ้อยเคี้ยวประมาณ 4 เท่า ใบอ้อยเรียวยาว ช่อดอกเป็นแบบ panicle รากอ้อยเป็นระบบรากฝอยแต่แข็งแรงสามารถหยั่งลงไปในดินได้ลึก อ้อยโตเต็มที่สามารถเก็บผลผลิตได้เมื่ออ้อยมีอายุ 8 – 14 เดือน แล้วแต่พันธุ์ และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ถึง 3-4 ปี

เอกสารวิชาการการปลูกพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร(2539ข) แนะนำวิธีปฏิบัติ การปลูก การดูแลตลอดจนการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยสังเขปดังต่อไปนี้

การปลูกและการเก็บเกี่ยว ฤดูกาลปลูกอ้อยสามารถแบ่งตามภูมิภาคและสภาพดินฟ้าอากาศของประเทศไทยได้ดังนี้

1 ภาคกลางและภาคตะวันตกที่มีการชลประทาน สามารถปลูกอ้อยได้ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ในเขตอาศัยน้ำฝนเริ่มปลูกต้นฤดูฝนในเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม

2 ภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ไม่มีชลประทานนิยมปลูกอ้อยปลายฤดูฝน

การปลูกอ้อยส่วนใหญ่ใช้แรงงานคนในการปลูก ส่วนการเก็บเกี่ยวในปัจจุบันนิยมใช้เครื่องจักรเพิ่มขึ้น อ้อยที่ได้อายุเก็บเกี่ยว ใบจะซีดเหลือง การตรวจสอบความแก่ของอ้อยนิยมใช้เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ชนิดถือติดตัวได้ (Hand Refractometer) อ่านค่า Brix ซึ่งหมายถึงค่าปริมาณน้ำตาลในลำต้นอ้อยโดยวัดที่ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลาย ถ้าอัตราส่วนของค่า Brix ทั้ง 3 ส่วนใกล้เคียงกัน ก็นับว่าอ้อยสุกแก่เต็มที่ สามารถเก็บเกี่ยวได้

อ้อยพันธุ์อู่ทอง 2 (U-Thong 2) ประวัติพันธุ์ เป็น clone 81-1-026 จากลูกผสมเปิดของอ้อยพันธุ์ IAC52-326 จากประเทศบราซิลผสมพันธุ์และคัดเลือกพันธุ์ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ระหว่าง พ.ศ. 2524-2526 รับรองพันธุ์เมื่อวันที่ 9 กันยายน 2536 โดยกรมวิชาการเกษตร สามารถสะสมน้ำตาลได้เร็ว เมื่ออายุ 9 เดือน และอายุ 12 เดือน ให้ผลผลิต 10.2 และ 14.0 ตันต่อไร่ มีคุณภาพความหวาน 13.6 และ 14.4 หน่วย CCS ตามลำดับ ปลูกได้ดีในดินร่วน ควรเก็บเกี่ยวให้เสร็จภายในเดือนมีนาคม เพื่อให้น้ำหนักผลผลิตและปริมาณน้ำตาลไม่ลดลง (กรมวิชาการเกษตร, 2539ก)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตในส่วนต่างๆ ของต้นอ้อย

Table 2 Composition of carbohydrate in different parts of sugarcane stalk

Cane plant parts	% of Whole	Juice Extraction (%)	Juice Analyses (mg/ml)				
			Starch	Soluble polysaccharides	Sucrose	Fructose	Glucose
Leaf blade	11.1	40.0	0.30	5.40	7.72	3.75	6.76
Leaf sheath	4.3	38.6	0.00	4.03	14.20	3.33	5.92
Leaf roll	2.0	48.2	0.09	5.58	6.85	7.56	13.60
Stem tip	1.6	47.6	0.08	5.90	14.80	12.90	17.52
Millable cane	66.1	71.32	0.05	1.51	163.32	4.74	5.71
Stubble	9.3	65.3	0.07	2.01	152.50	3.01	5.94
Roots	1.3	27.2	0.00	1.28	8.76	1.25	2.50
Dead leaves	4.3	37.1	0.00	5.42	0.00	0.00	0.00

Source : ดัดแปลงจากวิทยา (2540)

องค์ประกอบของต้นอ้อยและน้ำอ้อยในส่วนต่างๆ ของลำต้นแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าใบอ้อยมีประมาณ 11% ส่วนต้นอ้อยซึ่งเป็นส่วนที่สกัดน้ำอ้อยได้มาก (millable cane) มีประมาณ 66.1% ของอ้อยทั้งต้น ในทุกส่วนของต้นอ้อยเกือบไม่มีแป้งอยู่เลยแต่มีน้ำตาลอยู่สูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำตาลซูโครส

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของลำต้นอ้อยและน้ำอ้อย

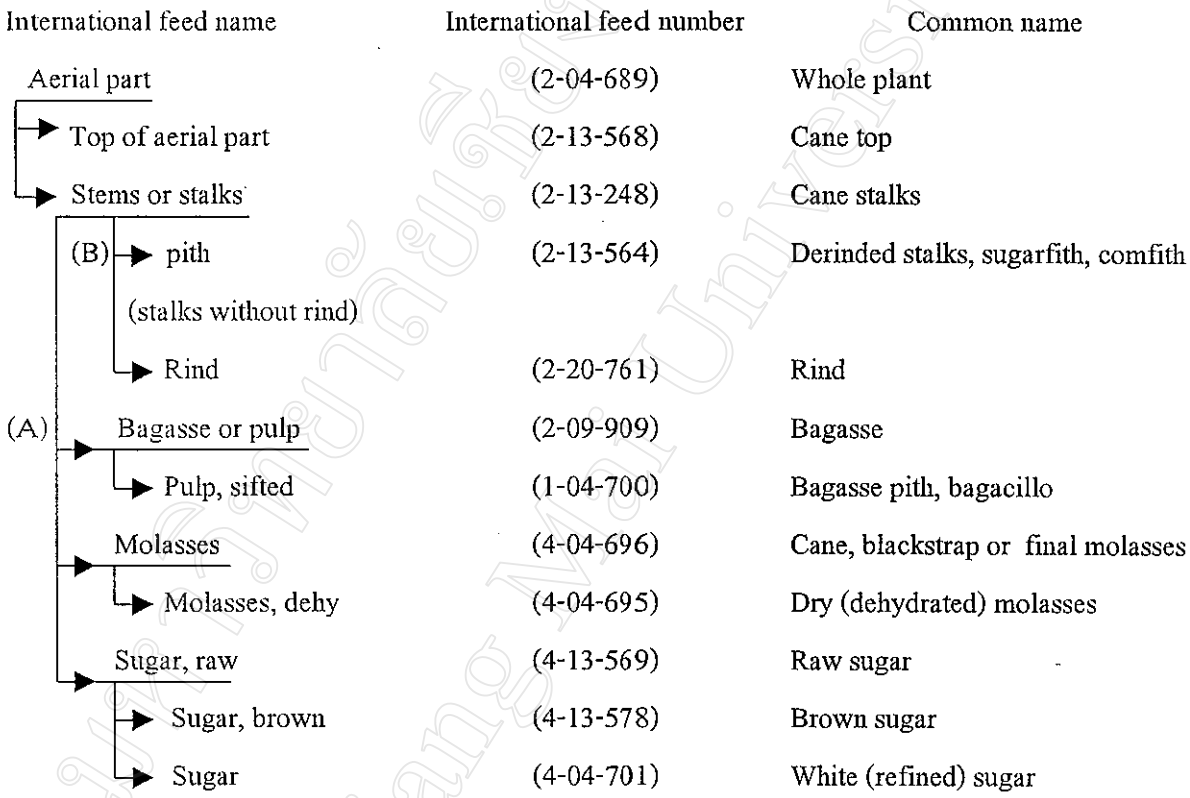
Table 3 Chemical composition of millable cane and cane juice

Composition	%
Millable cane	
Water	73-76
Solids	24-27
Soluble solids	10-16
Fiber (dry)	11-16
Cane juice	Soluble solids (%)
Sugar	75-92
Sucrose	70-88
Glucose	2-4
Fructose	2-4
Salts	3.000-4.500
Inorganic acids	1.500-4.500
Organic acids	1.000-3.000
Organic acids	1.500-5.500
Carboxylic acids	1.100-3.000
Amino acids	0.500-2.500
Other organic non-sugar	
Protein	0.500-0.600
Starch	0.001-0.050
Gums	0.300-0.600
Waxes, Fats, Phosphatides	0.050-0.150
Other	3.000-5.000

Source : วิทยา (2540)

เมื่อทำการวิเคราะห์ลำต้นอ้อยพบว่าประกอบด้วยน้ำ 73-76% ของแข็ง 24-37% ของแข็งที่ละลายได้ 10-16% และเยื่อใย 11-16% จะสังเกตเห็นได้ว่าลำต้นอ้อยมิได้มีเยื่อใยมากดังที่คนทั่วไปเข้าใจ ในน้ำอ้อยประกอบด้วยน้ำตาล 75-92% และน้ำตาลส่วนใหญ่ (70-88%) เป็นซูโครสดังได้กล่าวแล้ว ส่วนกรดอะมิโน โปรตีน แป้ง และส่วนประกอบอื่นมีอยู่น้อยมาก (ตารางที่ 3)

การเรียกชื่อส่วนต่างๆของต้นอ้อยที่นำมาใช้เป็นอาหาร ในการเรียกชื่อส่วนต่างๆ ที่ได้จากอ้อย ซึ่งนำมาใช้เลี้ยงสัตว์หรือเป็นอาหารคน เอกสารต่างๆ อาจจะเรียกชื่อแตกต่างกัน ก่อให้เกิดความสับสนและเข้าใจไม่ตรงกัน Donefer and Latrille (1980) ได้สรุปแผนภาพแสดงการเรียกชื่อชนิดอาหารไว้อย่างชัดเจนเกี่ยวกับชื่อที่เป็นสากล (International feed name) หมายเลขกำกับ (International feed number) และชื่อสามัญ (Common name) ดังแสดงในแผนภาพข้างล่างนี้



ภาพที่ 1 แผนภาพชื่อชนิดของอาหารที่ได้จากอ้อยที่เป็นชื่อสามัญและชื่อสากล

Fig 1 Common name and international feed name arise from sugar cane.

2.2 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะของอ้อย

Pate (1981) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของต้นอ้อย 2 สายพันธุ์ (varieties) คือ CP59-73 ซึ่งมีเยื่อใยสูง และ CP68-1026 ซึ่งมีเยื่อใยต่ำ การศึกษานี้กระทำที่มลรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา อายุอ้อยที่นำมาศึกษาประมาณ 110 วัน ผลการศึกษา (ตารางที่ 4) พบว่าต้นอ้อยมีวัตถุแห้งร้อยละ 30 และมีโภชนะคิดเป็นร้อยละของวัตถุแห้งดังนี้คือ โปรตีนหยาบ (CP) 3.3-3.5 ค่าNDF 44.8-49.2

และ ADF 28.3-30.6 ส่วนการศึกษาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยโดย Kawashima *et al.* (1996) รายงานว่าต้นอ้อยมี DM 29.5%, CP 1.9%, NDFและADF เท่ากับ 37.8 และ 23.2% ตามลำดับ ส่วนยอดอ้อยมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 36.7, 4.4, 74.7 และ 38.9% ตามลำดับ Pigden (1972) อ้างโดย Preston and Willis (1974) ได้ศึกษาองค์ประกอบของต้นอ้อยปอกเปลือก (derinded sugarcane; DSC) แสดงในตารางที่ 5

จากข้อมูลในตารางที่ 4 และ 5 สามารถสรุปได้ว่าต้นอ้อยมีโปรตีน (CP) ต่ำมาก มีประมาณ 2 %DM ซึ่งต่ำกว่า CP ในฟางข้าวโดยเฉลี่ย มีส่วนเยื่อใยต่ำกว่าฟางข้าว มีน้ำตาลสูง และค่าการย่อยได้สูง อ้อยปอกเปลือกรวมยอดอ้อยมีค่าการย่อยได้สูงถึง 69% สูงกว่าฟางข้าวและหญ้าที่ใช้เลี้ยงโคโดยทั่วไป และเมื่อพิจารณาค่า CP ของต้นอ้อยและองค์ประกอบทางเคมีในรายงานของ Pate (1981) เป็นที่น่าสังเกตว่าค่า CP ของต้นอ้อยมีค่าสูงกว่ารายงานอื่นๆ อาจเป็นไปได้ที่ตัวอย่างศึกษานี้จะรวมยอดอ้อยด้วย

การย่อยได้และค่าพลังงานของอ้อย

Pate (1979 อ้างโดย Pate, 1981) ศึกษาผลกระทบของปริมาณเยื่อใยในอ้อย 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ CP59-73 ที่มีเยื่อใยสูง (NDF = 55-60%) และ CP68-1026 ที่มีเยื่อใยต่ำ (NDF = 45-50%) ต่อค่าการย่อยได้ของอาหารในโคเนื้อ พบว่าอาหารที่มีอ้อย 30% มีค่าการย่อยได้สูงกว่าอาหารที่มีอ้อย 60% ทั้งสองสายพันธุ์ ส่วนการย่อยได้ของ DM, OM และ CP ระหว่างสายพันธุ์ไม่แตกต่างทางสถิติ แม้ว่า NDF และ ADF ของอ้อยพันธุ์ CP59-73 ถูกย่อยได้ดีกว่า แต่ค่าการย่อยได้ของเยื่อใยของอ้อยทั้งสองสายพันธุ์ก็ยังต่ำกว่าหญ้าโดยทั่วไป (หญ้า, 60-70% ; อ้อย, 35-40%)

พลังงานในอ้อยและส่วนต่างๆของอ้อยทั้งในรูป TDN, DE, ME และ NEL แสดงไว้ในตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าอ้อยทั้งต้นให้พลังงานค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากอ้อยมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายสูงซึ่งเป็นแหล่งของพลังงานที่ดี

ตารางที่ 4 องค์ประกอบเคมีของยอดอ้อย ต้นอ้อย และอ้อยทั้งต้น

Table 4 Chemical composition of sugarcane top , stalk and whole plant.

Maturity (month)	DM	OM	CP	NFE	CF	NDF	ADF	DMD (%)	References
		----------% of DM----------							
Whole sugarcane plant (WSP)									
18	30.0	93.8	2.3	60.1	30.1	-	-	-	Rangnekar(1988)
12	-	93.2	1.8	66.4	23.8	-	-	57.8	Rangnekar(1988)
10	30.3	94.8	3.0	-	-	58.7	32.7	56.2[IVD]	Salas *et al.*(1992)
10-12	27.2	94.0	7.3	52.7	32.0	-	-	-	NRC (1971)[a]
10-12	25.5	95.5	2.5	67.0	24.2	-	-	-	McDowell *et al.* (1974)[a]
>10	27.5	93.5	3.3	-	-	61.9	40.1	-	Neckles (1988)
10-12	26.0	93.9	5.9	54.9	30.9	-	-	-	Ensminger and Olentine (1978)[a]
Sugarcane top (ST)									
10-12	26.0	88.2	5.2			-	-	-	Ensminger and Olentine (1978)[a]
10-12	32.6	91.3	5.5	52.2	32.1	-	-	-	McDowell *et al.* (1974)[a]
	29.0	92.1	5.9	-	-	65.1	40.4	53.9	Naseeven (1988)
12	36.7	93.8	4.4			74.7	38.9	-	Kawashima *et al.* (1996)
10	28.8	98.1	5.5	-	-	75.7	39.6	39.3[IVD]	Salas *et al.*(1992)
Sugarcane stalk (SS)									
12-15	30.6	-	3.5	-	-	49.2	30.6	63.8	Pate (1981) Var CP59-73
12-15	29.5	-	3.3	-	-	44.8	28.3	63.0	Pate (1981) Var CP68-1026
12	29.5	98.1	1.9	77.4	18.2	37.8	23.2	-	Kawashima *et al.* (1996)
6	22.9	93.9	2.4	-	-	49.1	30.3	62.8[IVD]	Salas *et al.*(1992)
8	26.4	93.8	2.0	-	-	47.6	29.7	63.0[IVD]	Salas *et al.*(1992)
10	30.8	93.5	1.9	-	-	48.1	29.5	63.5[IVD]	Salas *et al.*(1992)
12	31.7	93.2	1.6	-	-	47.0	28.8	64.0[IVD]	Salas *et al.*(1992)

[a] Cited by Donefer and Latrille (1980)

[IVD] = in vitro digestibility

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย(และพิสัย)ขององค์ประกอบของต้นอ้อยปอกเปลือกอย่างเดียวและเมื่อรวมกับยอดอ้อย

Table 5 Average values (and range) for composition of derinded sugarcane (DSC) without and with the top

	DSC	DSC plus top
DM (%)	30 (27-31)	32 (30-33)
Composition of DM		
CP(%N x 6.25)	1.9 (1.0-2.5)	3.0 (1.8-4.2)
Cellulose	18 (15-20)	24 (21-38)
Total sugar	50 (40-63)	43 (40-48)
Digestibility of DM (%)	70 (68-73)	69 (68-71)

Source : Pigden (1972 cited by Preston and Willis, 1974)

ตารางที่ 6 ค่าพลังงานของยอดอ้อย ต้นอ้อย อ้อยทั้งต้น และชานอ้อย

Table 6 Energy values of sugarcane top (ST) , stalk (SS) , whole plant (WSP) and bagasse

	TDN (%)	DE (Mcal/kgDM)	ME (Mcal/kgDM)	NEL (Mcal/kgDM)	Reference
WSP	59.0	2.59	2.12	1.32	Ensminger and Olentine (1978)[a]
WSP	58.0	2.56	2.10	-	NRC (1971)[a]
WSP	55.3[c]	2.44	2.01[c]	1.23[c]	Salas *et al.*(1992)
WSP(chopped)	69.6	3.07	2.51	1.68	McDowell *et al.* (1974)[a]
SS	60.0	2.25	1.83	-	Kawashima *et al.*(1996)
SS	61.7[c]	2.72	2.29[c]	1.39[c]	Salas *et al.*(1992)
ST	41.7[c]	1.84	1.41[c]	0.90[c]	Salas *et al.*(1992)
ST	49.0	2.14	1.76	1.07	Ensminger and Olentine (1978)[a]
ST	54.4	2.40	1.97	1.16	McDowell *et al.* (1974)[a]
Bagasse	44.0	1.94	1.51	0.96	NRC (1988)

[a] Cited by Donefer and Latrille (1980)

[c] = Calculated from equation suggested by NRC (1988), TDN (%) = DE (Mcal/kgDM)/0.04409 ; ME (Mcal/kgDM) = -0.45 + (1.01 x DE) ; NEL (Mcal/kgDM) = (0.5557 x DE) – 0.12

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณค่าทางอาหารของอ้อย

อายุเก็บเกี่ยว

ลักษณะของพืชอาหารสัตว์ทั่วไป ปริมาณโปรตีนจะเป็นปฏิภาคกลับกับอายุ คือ พืชอายุน้อยย่อมมีโปรตีนสูงกว่าพืชที่มีอายุมากขึ้น ขณะที่ปริมาณเยื่อใยและผลผลิตเป็นวัตถุแห้งต่อไร่ของพืชจะเป็นปฏิภาคตรงกับอายุ คือเมื่อพืชอายุมากขึ้นจะมีเยื่อใยและให้ผลผลิตสูงขึ้น ดังนั้นอายุของพืชที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ทั้งปริมาณและคุณภาพของพืชอาหารสัตว์ที่เหมาะสมจึงเป็นเรื่องที่ควรพิจารณา การศึกษาอายุของอ้อยที่มีผลต่อคุณค่าทางอาหาร Kung and Stanley (1982) พบว่าเมื่ออ้อยมีอายุเพิ่มขึ้นจะมี CP ลดลง ในขณะที่มี DM, NFE และ IVDMD สูงขึ้น (ตารางที่ 7) Rangnekar (1988) ได้ทดลองใช้ต้นอ้อยเป็นพืชอาหารสัตว์ พบว่าถ้าทำการเก็บเกี่ยวถี่จะได้ส่วนใบมากขึ้นและได้ผลผลิตค่อนข้างสูง ส่วนของคุณค่าทางอาหารของอ้อยอายุ 6 เดือนจะดีกว่าอายุ 12 เดือน แต่ให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ค่าการย่อยได้ (56.9% เทียบกับ 57.8%) และพลังงานย่อยได้ (2.45 เทียบกับ 2.44 Mcal/kg DM) ของอ้อยทั้งสองไม่แตกต่างกันทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Salas *et al.* (1992) ที่พบว่าอ้อยที่อายุแตกต่างกันมีคุณค่าทางโภชนะไม่ต่างกันมาก แต่ปริมาณผลผลิตของอ้อยอายุ 10 และ 12 เดือน สูงกว่าอ้อยอายุ 6 และ 8 เดือน ดังนั้นพอสรุปได้ว่าน่าที่จะเลือกใช้อ้อยที่โตเต็มที่ในการนำมาเลี้ยงสัตว์เพราะให้ผลผลิตที่มากกว่าและมีคุณค่าทางโภชนะที่ลดลงเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีและค่าการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการของอ้อยสดทั้งต้น

Table 7 Chemical composition and *in vitro* dry matter digestibility of fresh sugarcane

Maturity	DM	CP	CF	NFE	EE	Ash	IVDMD
(month)	(%)	----------% of DM----------					(%)
6	22.3	6.4	35.3	47.7	3.2	7.4	52.6
9	21.4	4.4	32.8	52.4	2.6	7.8	53.5
12	29.0	3.2	29.2	58.9	1.6	7.1	55.0
15	30.4	3.4	30.0	57.2	1.4	8.0	58.1
24	31.5	1.8	27.7	65.5	1.1	3.9	60.3

Source : Kung and Stanley (1982)

ผลการตัดอ้อยมาเก็บ

ในทางปฏิบัติเมื่อนำอ้อยไปใช้เลี้ยงสัตว์นั้น เกษตรกรนิยมตัดอ้อยสัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง มากองไว้และทยอยสับให้กิน มีรายงานการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงเมื่อตัดอ้อยกองไว้ในที่ร่ม เป็นเวลา 0, 3, 6, 10, 20, 30 และ 60 วัน พบว่าองค์ประกอบทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลงภายใน 3 - 6 วัน หลังจากนั้นอ้อยจะเริ่มสูญเสียน้ำ ปริมาณวัตถุแห้งและเยื่อใยสูงขึ้น (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางอาหารของอ้อยภายหลังการตัดมากองไว้ในที่ร่ม

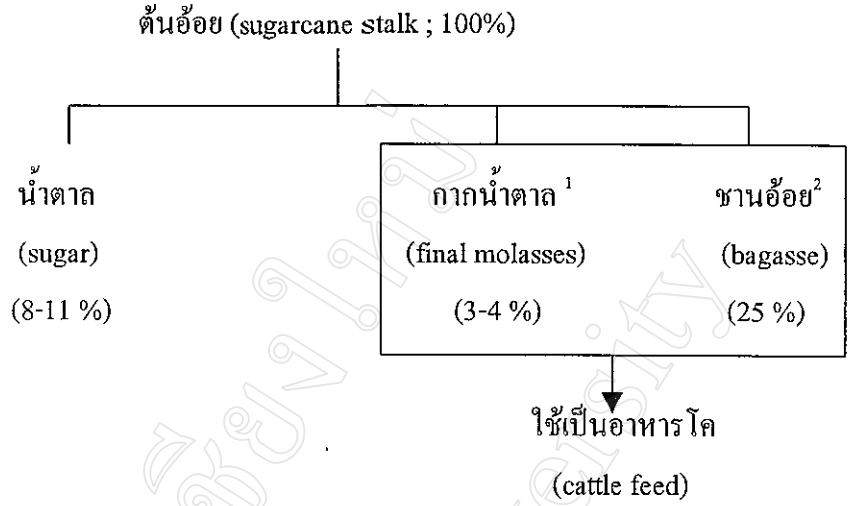
Table 8 Nutritive value changing of WSP after storage under shade

Nutrients	Duration of storage (day)						
	0	3	6	10	20	30	60
DM	29.5^{e}	30.3^{e}	32.7^{d}	34^{c}	32.8^{d}	38.2^{b}	51.3^{a}
% of DM							
CP	1.22^{abc}	1.14^{c}	1.13^{c}	1.31^{abc}	1.35^{ab}	1.16^{bc}	1.4^{a}
EE	0.59^{ab}	0.59^{ab}	0.48^{bcd}	0.54^{bc}	0.37^{d}	0.41^{cd}	0.71^{a}
CF	17.9^{b}	14.5^{b}	18.2^{b}	18.1^{b}	18.4^{b}	18.0^{b}	20.0^{a}
Ash	1.8^{a}	1.38^{b}	1.54^{ab}	1.57^{ab}	1.8^{a}	1.54^{ab}	1.82^{a}
NFE	78.5^{ab}	79.4^{a}	78.7^{ab}	77.7^{b}	78.1^{ab}	78.9^{ab}	76.1^{c}
NDF	39.5^{abc}	38.1^{bc}	38.4^{bc}	37.3^{c}	41.4^{a}	39.0^{abc}	41.0^{ab}
ADF	22.8^{abc}	21.4^{c}	22.0^{bc}	21.1^{c}	23.4^{ab}	22.6^{abc}	24.0^{a}

$^{a, b, c, d}$ and ^{e} Values with different supersubscripts differ ($P< 0.05$)

Source : Kawashima *et al.* 1996

Preston and Willis (1974) กล่าวว่าการนำอ้อยมาใช้ขุนโคในเขตร้อนทำได้สองวิธีคือ วิธีแรกการใช้ผลพลอยได้จากโรงงานน้ำตาล คือ กากน้ำตาลและชานอ้อย (ภาพที่ 2) และอีกวิธีคือ ใช้ต้นอ้อยโดยตรงหลังจากที่เอาเปลือกที่ย่อยยากออก (derinded stalks) (ภาพที่ 3)

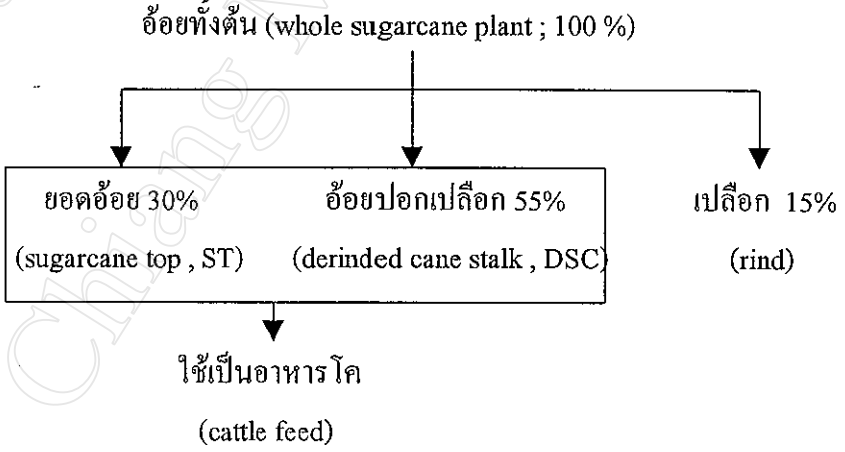


[1] มีความชื้น 20%

[2] มีความชื้น 50%

ภาพที่ 2 ผลพลอยได้จากโรงงานน้ำตาลที่นำมาใช้เลี้ยงโคได้ (Preston and Willis, 1974)

Fig 2 By-products for cattle feeding which arise during normal sugar production (Preston and Willis, 1974)



ภาพที่ 3 การปอกเปลือกอ้อยทั้งต้นที่นำมาเลี้ยงโค (Pigden, 1972 อ้างโดย Preston and Willis, 1974)

Fig 3 Derinding of sugarcane for cattle feeding (Pigden, 1972 cited by Preston and Willis, 1974)

2.3 การใช้อ้อยทั้งต้นเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การนำอ้อยมาใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องมีข้อควรพิจารณาคือ อ้อยมีโปรตีนต่ำ ซึ่งจะมีผลเสียต่อการย่อยเยื่อใยของจุลินทรีย์ในรูเมน การใช้อ้อยให้เกิดประโยชน์มากที่สุดจึงต้องให้จุลินทรีย์ได้รับโปรตีนเพียงพอ แหล่งของโปรตีนที่ใช้อาจจะอยู่ในรูปโปรตีนหรือสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) การใช้ยูเรีย 30 กรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้งของอ้อย (3%DM) เป็นระดับที่ให้แอมโมเนียเหมาะสมในกระเพาะรูเมน (Alvarez and Preston, 1976 อ้างโดย Preston (1988); Preston and Leng, 1987) นอกจากโปรตีนแล้วโภชนะปลีกย่อยต่างๆก็มีความสำคัญต่อสภาพการทำงานที่ดีเป็นปกติของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนที่ควรให้ความสนใจด้วย (Preston ,1988)

การทดลองเลี้ยงโคด้วยอ้อยทั้งต้นเสริมยูเรียร่วมกับการเสริมยอดมันสำปะหลังและใบกระถินพบว่าโคสามารถกินอาหารได้มากขึ้น การเสริมด้วยยอดมันสำปะหลังนั้นอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นระหว่าง –40 กับ +140 กรัม/วัน ส่วนการเสริมด้วยใบกระถินนั้นโคสามารถโตได้วันละ 200 กรัม (Meyreles *et al.* 1977 ; Hulman and Preston, 1981 อ้างโดย Preston and Leng, 1987) การใช้อ้อยทั้งต้นร่วมกับยูเรีย เสริมด้วยใบมันเทศพบว่าช่วยให้การกินอาหารได้เพิ่มขึ้นคิดเป็นวัตถุแห้งถึง 34% (Meyreles and Preston, 1978 อ้างโดย Preston and Leng, 1987) การทดลองนี้ผู้วิจัยไม่ได้ตรวจสอบการเพิ่มน้ำหนักของโคทดลอง แต่ในการทดลองที่ใช้ใบมันเทศในสูตรที่ใช้ต้นอ้อยปอกเปลือกโคทดลองเพิ่มน้ำหนักสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ใบมันเทศเป็นพืชอาหารสัตว์ซึ่งมีโปรตีนสูงที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ร่วมกับต้นอ้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะใบมันเทศเมื่อเทียบกับยอดมันสำปะหลังหรือใบกระถินจะมีอัตราการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนดีกว่า ส่วนใบตองสดซึ่งถูกย่อยได้ช้าในรูเมนไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เลี้ยงโคร่วมกับอ้อยทั้งต้นเพราะจะทำให้โคกินอ้อยทั้งต้นได้น้อย

Pate (1979 อ้างโดย Pate, 1981) ทดลองการใช้อ้อยทั้งต้นร่วมกับอาหารข้นที่ระดับ 20, 39, 58 และ 77% โดยทุกระดับมีโปรตีนที่ 12% พบว่าโคกินวัตถุแห้งได้ 2.17-2.53% BW โดยจะกินอาหารได้ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณอ้อยในอาหารขึ้น โคมีอัตราการเจริญเติบโต 0.86-1.59 กิโลกรัมต่อวัน และมีเปอร์เซ็นซาก 50.9-57.9 อยู่ในระดับมาตรฐานจนถึงระดับที่ดี ตามระดับอ้อยที่ลดลงในสูตรอาหาร ปริมาณวัตถุแห้งที่สัตว์กินได้ อัตราการเจริญเติบโตและเปอร์เซ็นซาก มีสหสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และมีค่าเป็นลบ ($r > -0.9$) กับปริมาณอ้อยในสูตรอาหาร รายงานผลการศึกษาการใช้ต้นอ้อยหรือส่วนต่างๆ ของอ้อยเลี้ยงโคส่วนใหญ่มิได้ใช้อ้อยเป็นอาหารเดี่ยว แต่มักเสริมด้วยอาหารโปรตีนและแร่ธาตุปลีกย่อย โคที่ได้รับอ้อยจะมีอัตราการเจริญเติบโตอยู่ในระหว่าง 0.4-0.8 กิโลกรัมต่อวันขึ้นกับอาหารโปรตีนที่เสริมให้ ดังเช่น Mena (1985) รายงานการใช้ต้นอ้อยสับโดยมีแหล่งโปรตีนจากยูเรีย ผสมกากน้ำตาลและจากมูลไก่ ในโคอายุ 10 เดือน น้ำหนัก 200-225 กิโลกรัม ทดลองนาน 8-10 เดือน จนน้ำหนักตัวถึง 380-400 กิโลกรัม พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตวันละ 750 กรัม

ส่วนการใช้อ้อยสับ 13-16 กิโลกรัมต่อวัน ร่วมกับยูเรีย กากน้ำตาล และมูลไก่ ผสมกัน 5 กิโลกรัม ในโคสาวทดแทน ลูกผสม Holstein X Brown Swiss จำนวน 1800 ตัว เลี้ยงจนน้ำหนักได้ 300-320 กิโลกรัมแล้วทำการผสมเทียม มีอัตราการผสมติด 84% จะเห็นว่าโคสาวทดแทนที่กินอ้อยมีความสมบูรณ์ดี Caielli (1988) ใช้อ้อยทั้งต้นสับ ให้โคกินตัวละ 14 กิโลกรัมต่อวัน เสริมด้วยกากเมล็ดฝ้ายหรือกากถั่วเหลือง ให้มีระดับโปรตีน 11-12% พบว่าโคขุนเติบโตได้ 700-800 กรัมต่อวัน มีรายงานการใช้อ้อยร่วมกับใบกระถิน หรือใบแคฝรั่งเลี้ยงโคเนื้อก็ให้ผลดีเช่นกัน จะเห็นว่าอ้อยและส่วนต่างๆ ของต้นอ้อยสามารถใช้ร่วมกับแหล่งโปรตีนทั้ง non-protein nitrogen (NPN) และโปรตีนจากพืชได้ดี

Neckle (1988) แนะนำว่าการใช้อ้อยทั้งต้นเลี้ยงลูกโคหลังหย่านมสามารถใช้อ้อยสับได้ถึง 20% ของอาหารที่กิน และสามารถเพิ่มปริมาณอ้อยขึ้นได้ตามขนาดตัวและอายุของลูกโคที่เพิ่มขึ้น ในโคที่กระเพาะรูเมนพัฒนาเต็มที่สามารถใช้อ้อยสับได้ถึง 50% ของสูตรอาหาร

Kawashima *et al.* (1996) ได้ทำการศึกษาการใช้ต้นอ้อยร่วมกับฟางข้าวเป็นอาหารหยาบในโคนม เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับฟางข้าวอย่างเดียวเป็นอาหารหยาบ พบว่าผลผลิตน้ำนมของทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่ากลุ่มที่ได้รับอ้อยจะให้ปริมาณน้ำนมที่มากกว่า (8.90 ลิตร/วัน : 8.49 ลิตร/วัน) นอกจากนี้ได้ศึกษาค่าการย่อยได้และปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ของโคที่กินอ้อยที่ระดับ 100, 70 และ 40% ร่วมกับอาหารข้น พบว่าเมื่อลดระดับของอ้อยในสูตรอาหารลงโคกินอาหารได้เพิ่มขึ้น

Bo Gohl (1981) ให้ความเห็นว่าการใช้ต้นอ้อยเลี้ยงโคไม่ควรสับทิ้งไว้นานเพราะจะเกิดการหมักทำให้น้ำตาลเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ ซึ่งเป็นผลเสียต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ Kung and Stanley (1982) รายงานว่าอ้อยไม่เหมาะที่จะนำมาทำพืชหมัก เพราะการหมักอ้อยทั้งต้นมีการสูญเสียวัตถุแห้งสูง และเกิดแอลกอฮอล์ (ethanol) ในระดับสูง Preston (1988) เสนอว่าการเติมแอมโมเนียหรือยูเรียจะช่วยควบคุมการหมักได้ Rangnekar (1988) พบว่าการทำอ้อยหมักโดยเติมยูเรีย 0.5% จะได้อ้อยหมักที่มี pH 3.6 , CP 6.25% สัตว์มีการยอมรับที่ดี อย่างไรก็ตามในการทำอ้อยหมักอาจไม่สะดวกแก่เกษตรกรรายย่อยที่ไม่พร้อมในด้านอุปกรณ์ และมีขั้นตอนการทำค่อนข้างยุ่งยาก ส่วนการทำอ้อยตากแห้งนั้นยังไม่พบรายงานที่กล่าวถึง แต่น่าจะมีความสะดวกในการปฏิบัติมากกว่า เพราะอ้อยเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงฤดูแล้งที่มีแสงแดดจัดเหมาะแก่การทำพืชแห้ง

การใช้ต้นอ้อยปอกเปลือก

ในช่วง ค.ศ. 1966-69 ได้มีการคิดค้นเทคโนโลยีในการปอกเปลือกอ้อย เพื่อนำส่วนเปลือกอ้อยไปใช้ทำแผ่นบอร์ด (compressed boards) ซึ่งสามารถใช้ทดแทนไม้อัด ส่วนเนื้ออ้อย (derinded sugarcane: DSC or sugarcane pith) จะนำไปหีบทำน้ำตาลหรือนำไปหมักเป็นแอลกอฮอล์ หรือนำไปใช้เลี้ยงโค Preston and Willis (1974) ได้รายงานว่ามีการใช้ต้นอ้อยปอกเปลือกขุนโคนมเพศผู้ตอนกันมากโดยเฉพาะในเกาะ Barbados แต่มีข้อจำกัดในแง่ที่ว่าต้นอ้อยปอกเปลือกมีเยื่อใยต่ำทำให้ไม่เหมาะในการใช้เป็นอาหารหยาบ อย่างไรก็ตามพบว่ามีการเสริมยอดอ้อยด้วยจะทำให้การกินอาหารคิดเป็นวัตถุแห้งเพิ่มขึ้นร้อยละ 19 และมีการเจริญเติบโตดีขึ้นประมาณร้อยละ 12 แต่ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเลวลงเล็กน้อยประมาณร้อยละ 6

Preston and Leng (1987) เสนอว่าการใช้เนื้ออ้อย เสริมด้วยยอดอ้อยและอาหารข้นที่มีกากเมล็ดพืชน้ำมันและยูเรียเลี้ยงโคเนื้อ โคสามารถเจริญเติบโตได้อัตราที่น่าพอใจ แต่เป็นที่น่าเสียดายว่าผลการศึกษานี้ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางการค้า เพราะเครื่องจักรที่ใช้ในการปอกเปลือกอ้อยและผลิตบอร์ดมีราคาแพง จำเป็นต้องมีพื้นที่ปลูกอ้อยปริมาณมากจึงจะคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ โรงงานผลิตแผ่นบอร์ดจะต้องสามารถผลิตแผ่นบอร์ดให้ได้วันละ 30 ตัน ซึ่งในการนี้ต้องมีต้นอ้อยป้อนเข้าสู่โรงงานวันละ 400 ตัน ตามเกณฑ์นี้จะได้เนื้ออ้อยประมาณ 300 ตันต่อวัน ใช้ขุนโคได้ถึง 15,000 ตัว ซึ่งในทางปฏิบัติคงทำได้ยากโดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา ข้อจำกัดประการต่อมาของการนำเนื้ออ้อยมาเลี้ยงโค จะเห็นได้จากผลการศึกษาวิจัยในประเทศเม็กซิโก Preston *et al.* (1976 อ้างโดย Preston and Leng, 1987) ที่รายงานว่าแม้ว่าเนื้ออ้อยจะมีปริมาณน้ำตาลสูงกว่าอ้อยทั้งต้น แต่เมื่อนำมาเลี้ยงโคโดยการให้อาหารเสริมที่เหมาะสม เนื้ออ้อยให้ผลดีกว่าอ้อยทั้งต้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แสดงว่าอาหารข้นเสริมมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของโคมากกว่าความแตกต่างของคุณค่าทางอาหารระหว่างเนื้ออ้อยและอ้อยทั้งต้น

Meyreles *et al.* (1979 อ้างโดย Preston and Leng, 1987) แสดงให้เห็นว่าศักยภาพที่จะใช้ประโยชน์จากเนื้ออ้อย ซึ่งมีพลังงานสูงทำได้โดยการให้อาหารอื่นๆ มาเสริม เช่น ใบมันเทศ และใบมันสำปะหลัง เป็นต้น แม้ว่าการใช้เนื้ออ้อยอาจจะให้ผลดีกว่าการใช้อ้อยทั้งต้นในบางงานทดลอง แต่ไม่สะดวกในทางปฏิบัติและต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นวิธีที่ง่ายที่สุดในการนำต้นอ้อยมาเลี้ยงโคในประเทศกำลังพัฒนาจึงควรใช้การสับอ้อยทั้งต้นให้เป็นชิ้นเล็กจะง่ายและเสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการปอกเอาเปลือกออก

2.4 การหาค่าการย่อยได้โดยทดลองกับสัตว์

การหาค่าการย่อยได้ของอาหารเป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมินคุณค่าทางโภชนะ

Schneider and Flatt (1975) ได้อธิบายรายละเอียดวิธีการศึกษาการย่อยได้โดยทดลองกับสัตว์ (*in vivo* digestibility) ตลอดจนปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการย่อยได้ของอาหาร ข้อสำคัญประการหนึ่งของการศึกษาการย่อยได้ คือ มูลที่สัตว์ขับออกมาจะต้องเป็นมูลที่เกิดจากการกินอาหารทดลอง ดังนั้นจะต้องแน่ใจว่าอาหารที่ให้ก่อนการทดลองจะต้องถูกขับออกหมดเมื่อเริ่มเก็บข้อมูล ระยะเตรียมการ (preliminary period) ให้อาหารทดลองแทนที่อาหารเก่าในทางเดินอาหารจึงเป็นระยะสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โค ซึ่งกระเพาะมีความจุมาก ควรใช้เวลานาน 10-12 วัน สำหรับระยะทดลองจริงซึ่งอาจเรียกว่า experimental period หรือ collection period ควรจะมีระยะนานเพียงพอที่จะได้ค่าปริมาณมูลที่ขับออกมาตามปกติ Schneider and Flatt (1975) ได้รวบรวมข้อมูลจากนักวิจัยต่างๆ พบว่าในโคใช้เวลาตั้งแต่ 14-18 วัน แกะ 10-14 วัน สุกรและม้า ไม่น้อยกว่า 10 วัน จากการเปรียบเทียบการเก็บมูลเป็นเวลา 14 วัน และ 21 วัน ในโคกำลังให้นมพบว่าควรใช้เวลา 14 วัน เนื่องจากให้ผลไม่แตกต่างกันแต่ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย สำหรับแกะควรใช้เวลามากกว่า 3 วันขึ้นไปซึ่งสอดคล้องกับบุญล้อม (2541) ที่แนะนำให้ใช้เวลา 10-14 วัน ทั้ง 2 ระยะในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในกรณีที่อาหารทดลองไม่สามารถนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ในรูปอาหารเดี่ยวได้ เพราะจะทำให้ระบบการย่อยได้ผิดปกติ เช่น อาหารข้น ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง หรืออาหารเยื่อใยสูง เช่น เปลือกถั่วลิสง วิธีหาค่าการย่อยได้ของอาหารควรใช้วิธีหาความแตกต่าง (difference method) (Schneider and Flatte, 1975 ; บุญล้อม, 2541) หรือใช้วิธีรีเกรชชั่น (regression method) ดังเช่นการศึกษาหาการย่อยได้ของโภชนะในเปลือกถั่วลิสงของ Linderman *et al.* (1986)

2.5 การย่อยได้ในโคและแกะ

การหาการย่อยได้ของอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ชนิดใดควรศึกษาในสัตว์ชนิดนั้นโดยตรง แต่เนื่องจากการหาการย่อยได้ของอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดใหญ่เช่นโค มีความยุ่งยากในการดูแลและเก็บมูล อีกทั้งสิ้นเปลืองอาหารในการทดลอง ใช้เวลา และค่าใช้จ่ายมาก ดังนั้นในการหาค่าการย่อยได้ของโคจึงมักจะใช้สัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีขนาดเล็ก เช่น แกะเป็นตัวแทน เนื่องจากโคและแกะมีระบบย่อยอาหารและมีลักษณะนิสัยการกินอาหารที่คล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตามสัตว์ทั้งสองชนิดนี้มิใช่จะมีการย่อยอาหารเหมือนกันเสียทีเดียว ความเหมือนและความต่างของการย่อยได้ในโคและแกะมีผู้รายงานไว้มากพอควร

Cipolloni *et al.* (1951) ได้รวบรวมข้อมูลจากผลการศึกษาต่าง ๆ สรุปได้ว่า แกะมีแนวโน้มว่าย่อยอาหารข้นได้ดีกว่าโคแต่ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทำนองเดียวกัน Heaney (1980) พบแนวโน้มว่าแกะสามารถย่อยอาหารข้นได้ดีกว่าโค แต่โคมักย่อยอาหารหยาบได้ดีกว่าแกะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกที่มีเยื่อใยสูง สำหรับอาหารหยาบคุณภาพดี คือ มีการย่อยได้สูงกว่า 55 – 60 %

การย่อยได้ในสัตว์ทั้งสองนี้มีความแตกต่างกันน้อยมาก ผลการศึกษาของแกะหรือโคสามารถใช้ทดแทนกันได้ แต่ถ้าอาหารหยาบมีคุณภาพต่ำ (ต่ำกว่า 45 – 50 %) โคจะย่อยอาหารนี้ได้ดีกว่าแกะ

Colucci *et al.* (1989) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการย่อยได้ของถั่วอัลฟัลฟ่าแห้งซึ่งเสริมด้วยอาหารข้น 3 ระดับ ในโคและแกะ พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนอาหารข้นขึ้น ค่าการย่อยได้ของอาหารรวมจะเพิ่มขึ้นทั้งในโคและแกะ แกะย่อย DM และ CP ได้ดีกว่าโค แต่โคย่อยเยื่อใยได้ดีกว่าแกะ และเมื่อเพิ่มระดับการกินได้ขึ้น โคจะย่อยเยื่อใยและ NFC ได้ดีขึ้น ในขณะที่แกะจะย่อยเยื่อใยและ NFC ได้ลดลง ดังนั้นแกะอาจจะไม่ใช่ตัวแทนโคที่ดีนักในการหาค่าการย่อยได้โดยเฉพาะที่การกินอาหารระดับสูง

Sudekum *et al.* (1995) สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบการย่อยได้ของโคและแกะที่เลี้ยงด้วยต้นข้าวสาลีหมัก (whole crop wheat silage) เป็นส่วนประกอบหลักของอาหาร (ประมาณร้อยละ 90 ของวัตถุแห้ง) เมื่อสัตว์กินอาหารได้ตามใจชอบ แกะกินอาหารต่อหน่วยน้ำหนักตัวได้มากกว่าโคเล็กน้อย ถ้าสัตว์ทดลองกินอาหารได้มาก พบว่า โคย่อย NDF และ ADF ได้ดีกว่า แต่ย่อย CP ได้น้อยกว่าแกะ ส่วนการย่อยได้ของ DM และ OM ไม่แตกต่างกัน แต่การกินอาหารในระดับต่ำ โคจะย่อย DM, OM, NDF และ ADF ได้ดีกว่าแกะ ยกเว้น CP ที่แกะยังคงย่อยได้ดีกว่าโค ในรายงานนี้พบว่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ จะแตกต่างกันเมื่อสัตว์กินอาหารนั้นที่ระดับการกินต่างกัน ดังนั้นการหาคุณค่าทางโภชนะของต้นข้าวสาลีหมักจึงแนะนำให้ใช้สัตว์ทดลองให้ตรงกับชนิดสัตว์ที่ต้องการและให้อาหารที่ระดับการกินซึ่งตรงกับความประสงค์ที่จะนำไปใช้จริง

Woods *et al.* (1999) ศึกษาเปรียบเทียบการย่อยได้ของอาหารข้นชนิดต่าง ๆ ในโคและแกะที่ให้อาหารในระดับดำรงชีพ (maintenance) พบว่า การย่อยได้ของ DM , OM , GE และ ADF ไม่แตกต่างกัน แต่การย่อยได้ของ CP แกะย่อยได้ดีกว่าโค ($P < 0.05$) ส่วนโคย่อย NDF ได้ดีกว่าแกะ ($P < 0.001$) ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับรายงานอื่น ๆ ที่มีการศึกษาไว้

อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะมีรายงานข้อมูลจากผลการทดลองจำนวนมากที่พบว่าสัตว์ทั้งสองชนิดนี้มีความสามารถในการย่อยโภชนะต่างๆ ได้แตกต่างกันอยู่บ้าง ขึ้นอยู่กับระดับอาหารที่กินและชนิดของอาหารทดลอง ในหลายรายงานจึงได้เสนอแนะว่าไม่ควรใช้ค่าการย่อยโภชนะในแกะที่การกินอาหารในระดับสูงมาใช้สำหรับโคเพราะจะมีความคลาดเคลื่อนสูง แต่ที่การกินอาหารในระดับต่ำ (ระดับดำรงชีพ) มีค่าการย่อยได้ที่แตกต่างกันน้อย และการย่อยได้ของวัตถุแห้งในรายงานส่วนใหญ่ไม่พบความแตกต่างกัน พออนุโลมใช้ทดแทนกันได้ โดยใช้สมการถดถอยมาปรับค่าที่วัดได้ในแกะให้เหมาะสมกับโค (Playne, 1978b)

2.6 การประเมินคุณค่าของอาหารโดยวิธีวัดการเกิดแก๊ส (gas production method)

วิธีประเมินคุณค่าทางอาหารนี้อาศัยหลักการที่ว่าเมื่ออาหารถูกหมักย่อยในกระเพาะรูเมนจะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนขึ้น ซึ่งถ้าวัดปริมาณแก๊สจะสามารถทราบค่าการย่อยสลายได้ วิธีนี้พัฒนาขึ้นในประเทศเยอรมันโดย Menke *et al.* (1979) วัตถุดิบอาหารที่ย่อยได้ต่างกันจะทำให้เกิดแก๊สในอัตราและปริมาณที่ต่างกัน ภายในระยะเวลาตามเงื่อนไขที่กำหนด 24 ชั่วโมง คณะวิจัยพบว่าปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น มีสหสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ (r = 0.96) Menke and Steingass (1988) ได้สร้างสมการทำนายการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ และพลังงาน จากปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในการบ่มอาหารหยาบกับของเหลวในรูเมน และส่วนประกอบทางเคมีของอาหารหยาบดังสมการต่อไปนี้

$$OMD\ (\%) = 15.38 + 0.8453\ Gb + 0.0595\ XP + 0.0675\ XA \quad (R^2=0.91)$$

$$ME\ (MJ/kgDM) = 2.20 + 0.1357\ Gb + 0.0057\ XP + 0.0002859\ XP^2 \quad (R^2=0.94)$$

$$NEL\ (MJ/kgDM) = 0.54 + 0.0959Gb + 0.0038XP + 0.0001733XP^2 \quad (R^2=0.93)$$

OMD = อินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้
ME = พลังงานเมแทบอไลซ์
NEL = พลังงานสุทธิเพื่อการให้น้ำนม
Gb = ค่าแก๊สที่เกิดขึ้นของตัวอย่างอาหารที่เวลา 24 ชม.
XP = ปริมาณโปรตีนในตัวอย่างอาหาร (กรัม/กิโลกรัมวัตถุแห้ง)
XA = ปริมาณเถ้าในตัวอย่างอาหาร (กรัม/กิโลกรัมวัตถุแห้ง)
1 Mcal = 4.184 MJ

Bluemmel *et al.* (1997) ได้ดัดแปลงวิธีวัดปริมาณแก๊ส (gas production method) ของ Menke *et al.* (1979) ทำให้สามารถประเมินปริมาณกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acids ; SCFAs) และมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ (microbial biomass yields) ซึ่งนำไปสู่การประเมินคุณค่าทางอาหารของวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ถูกต้องยิ่งขึ้น โดยพบว่าค่าแก๊สที่เกิด (Gb) มีค่าสหสัมพันธ์เป็นบวกกับกรดไขมันสายสั้น และมีค่าเป็นลบกับมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ วิธีการนี้สามารถทำให้ทราบค่าการย่อยสลายได้จริงของอาหาร (true substrate degradability) และค่าการย่อยสลายได้ปรากฏ (apparent substrate degradability) เมื่อนำค่าการย่อยได้จริงหักลบด้วยค่าการย่อยได้ปรากฏจะทราบค่าปริมาณจุลินทรีย์ สรุปได้ดังนี้

Incubated substrate – Truly undegraded substrate = Biomass + SCFAs + Gases

Incubated substrate – Apparently undegraded substrate = SCFAs + Gases

Truly degraded substrate – Apparently degraded substrate = Microbial biomass

Bluemmel and Orskov (1993) ได้นำวิธีศึกษาการเกิดแก๊ส ไปประยุกต์เข้ากับการศึกษาการย่อยสลายวิธีถุงไนล่อน โดยนำ exponential model ; $P = a + b (1 - e^{-ct})$ มาอธิบายลักษณะการเกิดแก๊ส คณะวิจัยได้ใช้ฟางธัญพืช 10 ชนิด ซึ่งได้ทดลองเลี้ยงโครุ่นเพศผู้ตอนมาก่อน เป็นอาหารทดลอง ผลการศึกษาพบว่าเมื่อนำค่าการเกิดแก๊สสูงสุด (a + b) และอัตราการเกิดแก๊ส (c) มาสร้างสมการทำนายการกินอาหารของโค โดยใช้ multiple regression ค่า a+b จะมีสหสัมพันธ์กับปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ ปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่กินได้ และอัตราการเจริญเติบโตสูง (r = 0.88, 0.93 และ 0.95 ตามลำดับ) การนำค่า c มาเป็นตัวแปรร่วมในสมการไม่ได้ช่วยให้ค่าทำนายที่ได้ (Y) มีความแม่นยำเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด

Bluemmel and Becker (1997) ได้เปรียบเทียบปริมาณการกินวัตถุแห้งได้จากอาหารหยาบ 54 ชนิดของโค กับวิธี *in vitro* gas production พบว่าค่าทั้งสองมีค่า R^2 สูง (R^2 0.747) ต่อมา Bluemmel *et al.* (1997) รายงานว่าเมื่อนำค่า partitioning factor (PF) ซึ่งได้จากอัตราส่วนของ วัตถุแห้งย่อยได้อย่างแท้จริงในห้องปฏิบัติการ หารด้วยปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นใน 24 ชั่วโมง มาใช้เป็นปัจจัยร่วมกับค่า a , b และ c ในการสร้างสมการทำนายปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ พบว่าทำให้เกิดความแม่นยำในการทำนายเพิ่มขึ้น (R^2จาก 0.747 เพิ่มเป็น 0.838)

Khazaal *et al.* (1993) ได้เปรียบเทียบการใช้วิธีหาการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการของ Tilley and Terry (1963), วิธี *in vitro* gas production และวิธีเทคนิคถุงไนล่อนมาใช้ทำนายค่าการย่อยได้ปรากฏในตัวสัตว์ และค่าปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ของหญ้าแห้ง 10 ชนิด ที่ระยะดอกเริ่มบาน (early bloom) ระยะดอกกำลังบาน (mid bloom) และระยะติดเมล็ด (in seed) เปรียบเทียบกับค่าที่สัตว์ย่อยได้และกินวัตถุแห้งได้จริงโดยใช้แกะเป็นสัตว์ทดลอง พบว่าสมการ multiple regression ที่ใช้ทำนายค่าดังกล่าวด้วยวิธีวัดปริมาณแก๊สมีความแม่นยำในการทำนายเทียบเท่ากับวิธีถุงไนล่อน และทั้งสองวิธีนี้ให้ค่า R^2 สูงกว่าวิธีหาการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการของ Tilley and Terry (1963)

2.7 การประเมินคุณค่าทางอาหารด้วยเทคนิคถุงไนล่อน

การศึกษาการย่อยสลายของอาหารด้วยวิธีถุงไนล่อน (nylon bag technique) เป็นการวัดปริมาณโภชนะที่หายไป (disappearance) หลังจากหย่อนถุงไนล่อนที่ใส่อาหารลงในกระเพาะรูเมนที่ระยะเวลาต่างๆกัน เมื่อครบเวลาแล้วนำออกมาจากตัวสัตว์ อาหารส่วนที่เหลืออยู่ในถุงคือส่วนที่ไม่ย่อยสลาย (undegradable material) และส่วนของอาหารที่หายไปคือส่วนที่ย่อยสลายได้ (degradable

material) เป็นวิธีการที่ง่าย สามารถบอกถึงปริมาณโภชนะที่ถูกย่อยสลายและอัตราการย่อยสลายของอาหารในกระเพาะรูเมน และอาหารที่ไม่ถูกย่อยในรูเมนผ่านไปยังลำไส้เล็ก ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่บอกถึงคุณค่าทางอาหารได้ระดับหนึ่ง

2.8 การทำนายปริมาณอาหารที่สัตว์กินได้โดยอาศัยค่าการย่อยสลายจากวิธีถุงไนล่อน

ค่าการย่อยสลายของพืชอาหารสัตว์ที่แช่ในกระเพาะรูเมนมีสหสัมพันธ์กับปริมาณการกินอาหารสูงกว่ากับค่าการย่อยได้ในตัวสัตว์ (Chenost *et al.*, 1970 อ้างโดย Orskov *et al.*, 1988 ; และ Hovell *et al.*, 1986) การใช้ค่าการย่อยสลายโดยวิธีถุงไนล่อนมาสร้างสมการถดถอยเพื่อทำนายค่าปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ของโคและแกะ มีผู้รายงานไว้ดังนี้

Orskov *et al.* (1988) รายงานผลการใช้ฟางข้าวบาเลย์ 2 สายพันธุ์ ฟางข้าวสาลี 1 สายพันธุ์ ซึ่งปรุงแต่งและไม่ปรุงแต่งด้วยยูเรีย หรือ anhydrous ammonia ทดลองเลี้ยงโคตอนเพศผู้พร้อมทั้งศึกษาปริมาณการกินและอัตราการเจริญเติบโต ระยะเวลาในการทดลองนาน 10 สัปดาห์ ขณะเดียวกันวัดค่าการย่อยสลายในรูเมน และค่าการย่อยได้ของอาหารทดลองศึกษาในแกะ การย่อยสลายในรูเมนอธิบายผลโดยใช้ exponential model ; $P = a + b (1 - e^{-ct})$ พบว่าเมื่อใช้ multiple regression ของ a, b และ c จากสมการแสดงลักษณะการย่อยสลายในรูเมนของฟางข้าว ค่า correlation coefficients กับปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ ปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่กินได้ และอัตราการเจริญเติบโต สูงถึง 0.88, 0.96 และ 0.95 ตามลำดับ

Kibon and Orskov (1993) ได้ทดลองหาปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ และค่าการย่อยได้ของไม้พุ่มชนิดต่างๆ กับแพะ และศึกษาลักษณะการย่อยสลายของใบไม้ในกระเพาะรูเมนของแกะ โดยใช้ exponential model ; $P = a + b (1 - e^{-ct})$ และใช้น้ำในกระเพาะรูเมนของแกะศึกษาการเกิดแก๊สของใบไม้พุ่มด้วย ผลจากการศึกษานี้พบว่า การนำลักษณะการย่อยสลายซึ่งได้แก่ ค่า a, b และ c ตลอดจนค่า L (lag phase) มาทำนายปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้และปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่กินได้ ของไม้พุ่มมีความเป็นไปได้สูง

Shem *et al.* (1995) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการทำนายค่าปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ ปริมาณวัตถุแห้งย่อยได้ที่กินได้ และ อัตราการเจริญเติบโตของโคเพศผู้ลูกผสม Ayrshire โดยใช้ลักษณะการย่อยสลายของพืชอาหารสัตว์ และวัสดุเศษเหลือที่เกษตรกรรายย่อยใช้เลี้ยงโคนมในประเทศแทนซาเนีย ผลการศึกษาพบว่าการใช้ลักษณะการย่อยสลาย A , B และ c แยกกันในสมการถดถอย เพื่อทำนาย DMI , DDMI และอัตราการเจริญเติบโต ให้ความแม่นยำในการทำนายดีกว่าที่จะใช้ A+B หรือ (A+B)+c ทั้งนี้พิจารณาจากค่า correlation coefficients (r) ที่สูงกว่าดังแสดงในตารางที่ 9

ค่าดัชนีบ่งชี้ (index value) สามารถหาได้จากผลการศึกษาการย่อยสลายของอาหารด้วยวิธีถุงไนล่อน นำค่า A, B และ c มาใช้ โดยค่าดัชนีบ่งชี้จะเท่ากับ $A + X_2/X_1 \times B + X_3/X_1 \times c$ เมื่อค่า X เป็นค่าคงที่ซึ่งได้จากการคำนวณในสมการถดถอย (Orskov, 1989 อ้างโดย Orskov and Ryle, 1990)

ตารางที่ 9 การทำนายปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอัตราการเจริญเติบโตของโค โดยใช้ค่าลักษณะการย่อยสลายที่ได้จากสมการ และหาค่าสหสัมพันธ์ในการทำนาย

Table 9 Prediction of DMI and DDM and the growth rate of steers from degradation characteristic from the equation , with regression coefficients used to derive predicted value of Y variables from the factors of this equation

Factors	Y variable	Formula	r
(A + B)	DMI	-5.525 + 0.120(A + B)	0.83
(A + B) + c	(kg/day)	-4.714 + 0.100(A + B) + 20.911c	0.85
A + B + c		-8.286 + 0.266A + 0.102B + 17.696c	0.90
(A + B)	DDMI	-5.611 + 0.104(A + B)	0.84
(A + B) + c	(kg/day)	-4.563 + 0.078(A + B) + 27.201c	0.88
A + B + c		-7.609 + 0.219A + 0.080B + 24.191c	0.93
(A + B)	Growth rate	-0.569 + 0.010(A + B)	0.80
(A + B) + c		-0.412 + 0.006(A + B) + 4.06c	0.90
A + B + c		-0.649 + 0.017A + 0.006B + 3.87c	0.93

Source : Shem *et al.* (1995)