รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาการแปรรูปยอดอ้อยในการเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนม

Study on processing methods of sugarcane top as roughage source for dairy cattle.

โดย

รศ.ดร. ฉลอง วชิราภากร, นิโรจน์ ศรสูงเนิน

นนทศักดิ์ เปี่ยมผล, ภัทยา ภาคมฤค, กรุง วิลาชัย

สุภาพร แซ่เตียว และ อัจฉรา ลักขณานุกูล

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

E-mail address: chal_wch@kku.ac.th

เสนอต่อ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ฝ่ายเกษตร

รายงานฉบับสมบูรณ์
โครงการ

การศึกษาการแปรรูปยอดอ้อยในการเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนม

Study on processing methods of sugarcane top as roughage source for dairy cattle.

โดย

รศ.ดร. ฉลอง วชิราภากร, นิโรจน์ ศรสูงเนิน
นนทศักดิ์ เปี่ยมผล, ภัทยา ภาคมฤค, กรุง วิลาชัย
สุภาพร แซ่เตียว และ อัจฉรา ลักขณานุกูล

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
E-mail address: chal_wch@kku.ac.th

เสนอต่อ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
ฝ่ายเกษตร

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยโครงการ “การศึกษาการแปรรูปยอดอ้อยในการเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนม” ในครั้งนี้ ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายเกษตร คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ และขอขอบคุณ โครงการวิจัยอาหารโคนม โดย ศาสตราจารย์ ดร.เมธา วรรณพัฒน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์และความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย นางสาวศิวพร วรอนุ นายปิ่น จันจุฬา นายสิทธิศักดิ์ คำผา และนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาสัตวศาสตร์ ที่ช่วยเหลืองานทดลองครั้งนี้ รวมทั้งภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อการใช้สถานที่ ที่หมวดโคนม ตลอดจนห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง และบุคลากรทุกท่านที่เกี่ยวข้องที่ทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย

เมษายน 2547

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการหมักยอดอ้อยเพื่อเป็นอาหารหยาบสำหรับโคนม ได้ทำการศึกษาการหมักยอดอ้อยในถังหมักรีไซเคิล โดยใช้อ้อยที่มีอายุประมาณ 7 เดือนขึ้นไป ทำการตัดยอดอ้อยแล้วทำการหั่นแล้วหมักยอดอ้อยตามทรีทเมนต์ดังนี้ 1) ยอดอ้อยหมักไม่ใส่สารเสริม (None) 2) ยอดอ้อยหมักร่วมกับยูเรีย 1.5% โดยน้ำหนักสด (U) 3) ยอดอ้อยหมักร่วมกับกากน้ำตาล (8%) กับยูเรีย (1.5%) โดยน้ำหนักสด (M+U) 4) ยอดอ้อยหมักร่วมกับใบกระถิน 10% โดยน้ำหนักสด (L) 5) ยอดอ้อยหมักร่วมกับใบมันสำปะหลัง 10% โดยน้ำหนักสด (CH) และ 6) ยอดอ้อยหมักร่วมกับใบกระถิน (5%) และใบมันสำปะหลัง (5%) โดยน้ำหนักสด (L+CH) หมักทิ้งไว้เป็นเวลา 1, 2 และ 3 เดือน ทำการตรวจวัดลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของยอดอ้อยหมักตามระยะเวลาการหมัก จากการศึกษา พบว่า ลักษณะทางกายภาพของยอดอ้อยหมักทรีทเมนต์ None มีสีเขียวอมเหลือง มีกลิ่นเปรี้ยวของกรดแลคติค ไม่มีกลิ่นกรดบิวทิริค แม้ว่าจะหมักเป็นเวลา 3 เดือนในถังหมักรีไซเคิล เช่นเดียวกับยอดอ้อยหมักในทรีทเมนต์ L, CH และ L+CH แต่สีของยอดอ้อยหมักมีสีเหลืองเข้มกว่าของยอดอ้อยทรีทเมนต์ none ส่วนยอดอ้อยหมักทรีทเมนต์ U และ M+U มีสีเหลืองอมเขียวจนถึงน้ำตาล มีกลิ่นฉุนของแอมโมเนียมากกว่า ระยะเวลาในการหมักหลังจาก 1 เดือนไม่แตกต่างกันกับระยะเวลาการหมักที่ 2 และ 3 เดือน ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของยอดอ้อยหมักทรีทเมต์ none มี pH (4.76) ต่ำกว่าในยอดอ้อยหมักทรีทเมนต์อื่นๆ ยอดอ้อยหมักที่ใส่ยูเรีย มี pH (7.67) สูงที่สุด การเพิ่มแหล่งไนโตรเจนในยอดอ้อยหมักทำให้ pH ของยอดอ้อยหมักเพิ่มขึ้น แต่ทำให้โปรตีนหยาบ (crude protein, CP) (6.66-7.68%) ในยอดอ้อยหมักเพิ่มขึ้นสูงกว่ายอดอ้อยหมักทรีทเมนต์ none (4.68%) ส่วนระดับเยื่อใย neutral detergent fiber (NDF) และ acid detergent fiber (ADF) และไขมัน (ether extract, EE) ไม่แตกต่างกันในยอดอ้อยหมักในทุกทรีทเมนต์และระยะเวลาการหมัก กรดอะซิติคและกรดบิวทิริคในยอดอ้อยหมักทุกทรีทเมนต์มีค่าต่ำ เท่ากับ 0.37-2.14%DM และ 0.18-0.43%DM วัตถุแห้ง (dry matter, DM) ในยอดอ้อยหมักทรีทเมนต์ none ต่ำกว่า (23.65 %DM) ยอดอ้อยหมักในทรีทเมนต์ U, M+U, L, CH และ L+CH (27.42, 24.89, 27.50, 29.11 และ 32.31%DM) ยอดอ้อยหมักในทรีทเมนต์ None, L, CH และ L+CH (6.58, 3.32, 3.90 และ 4.83 % of total N) ที่ได้มีปริมาณแอมโมเนียต่ำ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานของพืชหมักที่มีคุณภาพดี (<10 % of total N) ขณะที่ยอดอ้อยหมักทรีทเมนต์ U และ M+U มีปริมาณแอมโมเนียสูงมาก เท่ากับ 53.17 และ 60.14% of total N แต่ยอดอ้อยหมักทั้งหมดไม่มีการเน่าเสียแต่อย่างใด แอมโมเนียที่สูงในยอดอ้อยหมักทรีทเมนต์ U และ M+U ทำให้ความชอบกินของโคนมต่ำกว่ายอดอ้อยหมักในทรีทเมนต์อื่นๆ โดยเฉพาะยอดอ้อยหมักทรีทเมนต์ none มีความน่ากินสูงที่สุด สำหรับต้นทุนการผลิตยอดอ้อยหมักในการศึกษาครั้งนี้ เท่ากับ 1.28, 1.40, 1.64, 1.34, 1.34 และ 1.34 บาท/กก.น้ำหนักสด ของยอดอ้อยหมักทรีทเมนต์ none, U, M+U, L, CH และ L+CH ตามลำดับ

จากการศึกษาครั้งนี้ สรุปได้ว่า การจัดทำยอดอ้อยหมัก เป็นการถนอมยอดอ้อยเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับโคนมได้ ในการจัดทำยอดอ้อยหมักในทรีทเมนต์ None น่าจะมีความเหมาะสมในการจัดทำยอดอ้อยหมักในเชิงพาณิชย์ต่อไป

ABSTRACT

The objective of this study was to determine ensiling sugarcane tops (SCT) as roughage source for dairy cattle. Sugarcane tops were ensiled in recycle plastic containers (150 liter). Sugarcane used in this study was over 7 month-old. Sugarcane tops were chopped by hand, ground by machine and then packed in the containers. Ensiling SCT were added nitrogen sources as followed: none (None), 1.5%w/w urea (U), 8%w/w molasses and 1.5%w/w urea (M+U), 10% w/w leucaena leaf (L), 10% w/w cassava leaf (CH) and 5% w/w leucaena leaf with 5% w/w cassava leaf (L+CH). Sugarcane tops were incubated in containers for 1, 2 and 3 months and then measured by vision evaluation and chemical analysis. It was found that color of none-SCT was light green-yellow with lactic acid odor, no butyric acid odor although none-SCT was incubated for 3 months. Ensiled SCT with additives such as L, CH and L+CH showed yellowish green or green-brown color with lactic acid odor, but no butyric acid odor as similar as none-SCT. While ensiled SCT with additives such as U and M+U showed yellowish to brown- green color with strong ammonia odor. Physical form of all treatments was very slight changed after ensiling 1 month. Addition of nitrogen sources significantly increased crude protein (CP) content of SCT silage, ranging between 6.66-7.68% when compared to None (4.68%). Change of CP content was observed in accordance with pH value of SCT silage. None silage had the lowest pH value (4.76) and U silage had highest pH value (7.67). Neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and ether extract contents were not different among treatments and time of incubation. Dry matter of None silage was lower (23.65%DM) than that of other treatments (27.42, 24.89, 27.50, 29.11 and 32.31%DM of U, M+U, L, CH, and L+CH silage). Acetic acid and butyric acid were found very low concentration in all treatments, ranging 0.37-2.14%DM and 018-0.43%DM, respectively. Ammonia found in SCT silage of none, L, CH, and L+CH treatments (6.58, 3.32, 3.90 and 4.83% of total N) was significantly lower ($p<0.01$) than that in SCT silage of U and M+U treatments (53.17 and 60.14% of total N). Good quality silage contains ammonia lower than 10 % of total N. Consequently, higher ammonia decreased palatability of SCT silage which was observed in this study. None silage seems to be a better palatability than the other treatments. Costs of silage production of None, U, M+U, L, CH and L+CH treatments were 1.28,1.40, 1.64, 1.34, 1.34 and 1.34 Baht/kg fresh, respectively.

In conclusion, ensiling SCT is a good method to preserve SCT for dairy cattle. Ensiling SCT with no additive is like to be suitable for commercial silage making.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
ABSTRACT	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ช
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	13
ผลการศึกษา	15
วิจารณ์ผลการศึกษา	25
สรุปและข้อเสนอแนะ	30
เอกสารอ้างอิง	32
ภาคผนวก	34

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.	อ้อยโรงงาน: เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ ราคา และมูลค่าของผลผลิตตามราคาที่เกษตรกรขายได้ปีการเพาะปลูก 2536/37-2545/46	3
ตารางที่ 2.	สัดส่วนของยอดอ้อยและส่วนอื่นๆ ของอ้อย (% วัตถุแห้ง)	4
ตารางที่ 3.	องค์ประกอบทางเคมีและสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของยอดอ้อย	4
ตารางที่ 4.	องค์ประกอบทางเคมีของยอดอ้อยและส่วนอื่นๆ ของอ้อย	5
ตารางที่ 5.	คุณลักษณะทางกายภาพของพืชหมักคุณภาพต่างๆ	8
ตารางที่ 6.	คุณลักษณะของผลผลิตจากกระบวนการหมักของพืชหมักคุณภาพต่างๆ	9
ตารางที่ 7.	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของพืชหมักชนิดต่างๆ ในถังหมักรีไซเคิล	11
ตารางที่ 8.	องค์ประกอบทางเคมีของพืชหมักชนิดต่างๆ ในถังหมักรีไซเคิล	11
ตารางที่ 9.	ลักษณะของยอดอ้อยหมักในถังหมักรีไซเคิลหลังจากหมักได้ 1 เดือน	16
ตารางที่ 10.	ลักษณะของยอดอ้อยหมักในถังหมักรีไซเคิลหลังจากหมักได้ 2 เดือน	17
ตารางที่ 11.	ลักษณะของยอดอ้อยหมักในถังหมักรีไซเคิลหลังจากหมักได้ 3 เดือน	18
ตารางที่ 12.	pH ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน	19
ตารางที่ 13.	แอมโมเนีย (NH_3-N, % of total N) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน	19
ตารางที่ 14.	กรดอะซิติค (acetic acid, %DM) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน	20
ตารางที่ 15.	กรดบิวทิริค (butyric acid, %DM) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน	20
ตารางที่ 16.	วัตถุแห้ง (DM, %) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน	21
ตารางที่ 17.	เถ้า (Ash, %DM) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน	21
ตารางที่ 18.	โปรตีนหยาบ (CP, %) pH ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน	22
ตารางที่ 19.	เยื่อใย NDF (%DM) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน	22
ตารางที่ 20.	เยื่อใย ADF (%DM) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน	23
ตารางที่ 21.	ไขมัน (%DM) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน	23
ตารางที่ 22.	ต้นทุนการผลิตยอดอ้อยหมักโดยคำนวณสำหรับยอดอ้อยหมัก 70 กก. น้ำหนักสด	24
ตารางที่ 23.	สรุปองค์ประกอบทางเคมีของยอดอ้อยหมักไม่ใส่สารเสริมและใส่สารเสริมในแบบต่างๆ	25
ตารางที่ 24.	ค่าประเมินปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (dry matter intake, %BW) ของยอดอ้อยหมักโดยใช้ค่า NDF	27
ตารางที่ 25.	ค่าประเมินความสามารถการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (digestible dry matter, %) ของยอดอ้อยหมักโดยใช้ค่า ADF	27

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 26.	ค่าประเมินคุณค่าทางโภชนะสัมพันธ์ (relative feed value, %) ของยอดอ้อยหมักโดยใช้ค่าประเมินปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของวัตถุแห้ง	28
ตารางที่ 27.	เปรียบค่าโภชนะสัมพันธ์ของแหล่งอาหารหยาบในเขตร้อนจากองค์ประกอบเยื่อใย	28
ตารางที่ 28.	ความสัมพันธ์ของ RFV, DDM, DMI, NDF และ ADF สำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง	29
ตารางที่ 29.	ต้นทุนแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนมที่คิดเป็นต้นทุนต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง	29

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1.	ยอดอ้อยที่รวบรวมจากแปลงปลูกอ้อยแล้วทำการตัดยอดอ้อยออกจากส่วนลำต้น	35
ภาพที่ 2.	จุดที่ตัดส่วนยอดออกจากส่วนลำต้นบริเวณห่างจากส่วนยอด (หางปลา) ประมาณ 2 ข้อครึ่ง	35
ภาพที่ 3.	จุดที่ตัดยอดอ้อยออกจากลำต้นที่ประมาณ 2-3 ข้อจากส่วนยอด ซึ่งเป็นช่วงต่อของส่วนที่ยังไม่พัฒนาเป็นน้ำตาลกับส่วนที่เป็นน้ำตาล	36
ภาพที่ 4.	สารเสริม (additives) ที่ใช้ในการทำยอดอ้อยหมักในทรีทเมนต์ต่างๆ ได้แก่ ยูเรีย, กากน้ำตาล, ใบกระถิน และใบมันสำปะหลัง	36
ภาพที่ 5.	ยอดอ้อยที่หั่นด้วยเครื่องสับยอดอ้อยแบบ 2 ใบมีด และยอดอ้อยที่ผ่านการสับมีขนาดที่มากกว่า 2 นิ้ว โดยเฉพาะส่วนใบ	37
ภาพที่ 6.	ขั้นตอนการอัดแน่นยอดอ้อยในถังหมักรีไซเคิล โดยการเหยียบย่ำในแน่นแล้วปิดฝาให้สนิท	38
ภาพที่ 7.	ลักษณะของยอดอ้อยหมักหลังจากเปิดถังหมักที่หมักไว้ 1 เดือน ส่วนมากไม่มีเชื้อราขาวเจริญบริเวณด้านบนของถังหมัก	39
ภาพที่ 8.	ลักษณะของยอดอ้อยหมักหลังจากเปิดถังหมักที่หมักไว้ 2 เดือน ส่วนมากไม่มีเชื้อราขาวเจริญบริเวณด้านบนของถังหมัก	40
ภาพที่ 9.	ลักษณะของยอดอ้อยหมักหลังจากเปิดถังหมักที่หมักไว้ 3 เดือน ส่วนมากไม่มีเชื้อราขาวเจริญบริเวณด้านบนของถังหมัก	41
ภาพที่ 10.	ลักษณะของยอดอ้อยหมักหลังจากนำออกจากถังหมักรีไซเคิลของทรีทเมนต์ none, U, M+U, L, CH และ L+CH	42
ภาพที่ 11.	ลักษณะของยอดอ้อยหมักในแต่ละทรีทเมนต์มีสีของยอดอ้อยหมักที่แตกต่างกัน	43
ภาพที่ 12.	หลังจากนำยอดอ้อยหมักออกจากถังหมักรีไซเคิลแล้ว นำมาให้โคนมกินเพื่อประเมินความน่ากินของยอดอ้อยหมัก	44

การศึกษาการแปรรูปยอดอ้อยในการเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนม

Study on processing methods of sugarcane top as roughage source for dairy cattle.

คำนำ

อ้อย (*Saccharum officinarum*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการปลูกกันทั่วไปในหลายพื้นที่ของประเทศ และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ในการปลูกอ้อยทุกๆ ปี ในขณะที่การปลูกพืชชนิดอื่น เช่น ข้าว มันสำปะหลัง ข้าวโพด รวมทั้งพื้นที่สาธารณะที่มีพืชอาหารสัตว์ตามธรรมชาติ มีแนวโน้มลดลง ทำให้การจัดเตรียมอาหารหยาบของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมเริ่มมีปัญหา โดยเฉพาะมีการลดลงของพื้นที่การปลูกข้าว ประกอบกับจำนวนเกษตรกรที่เลี้ยงโคนมและจำนวนโคนมที่เพิ่มขึ้น ทำให้อาหารหยาบเหล่านั้นมีราคาแพงและเริ่มขาดแคลนในหลายพื้นที่ ดังนั้น ความจำเป็นในการที่จะต้องแสวงหาแหล่งอาหารหยาบใหม่ๆ เพื่อเป็นทางเลือกให้แก่เกษตรกรที่เลี้ยงโคนม ที่มีคุณค่าทางโภชนะที่ดีและราคาถูกที่เหมาะสำหรับการใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนม

ยอดอ้อย (sugarcane top) เป็นเศษเหลือจากการปลูกอ้อย ซึ่งในแต่ละปีมีเหลืออยู่เป็นจำนวนมากตามการปลูกอ้อย ยอดอ้อย มีส่วนของใบสีเขียวและส่วนลำต้นจากยอดลงมาประมาณ 2 ข้อ เป็นส่วนที่ถูกตัดทิ้งเพื่อให้ได้ลำอ้อยที่เหมาะสำหรับส่งเข้าโรงงานในการผลิตน้ำตาลที่มีคุณภาพ โดยในส่วนนี้ จะมีอยู่ประมาณ 15-20% ของผลผลิตอ้อยทั้งหมด (Devendra, 1981) ในปีเพาะปลูก พ.ศ. 2542/43 มีการปลูกอ้อย 5,906,000 ไร่ มีผลผลิตประมาณ 53,494,000 ตัน และในปีเพาะปลูก พ.ศ. 2543/44 มีการปลูกอ้อย 5,421,000 ไร่ มีผลผลิตประมาณ 49,070,00 ตัน (ศูนย์สถิติการเกษตร, 2544) ดังนั้น มีส่วนยอดอ้อยเหลือทิ้งปริมาณ 7-8 ล้านตันต่อปี สามารถเลี้ยงโคนมได้มากกว่า 6 แสนตัวต่อปี ซึ่งสามารถใช้เลี้ยงโคนมที่มีอยู่ในปัจจุบันได้ทั้งปี อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่ายอดอ้อยจะมีปริมาณมาก แต่ยอดอ้อยจะมีมากเฉพาะในช่วงเดือนพฤศจิกายน จนถึง เดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงที่ขาดแคลนปริมาณอาหารหยาบคุณภาพดี (หญ้าสด) ประกอบกับยอดอ้อยสด มีคุณค่าทางโภชนะที่ต่ำเมื่อนำมาใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับโคนม มีองค์ประกอบของโปรตีนหยาบ 4.1-6 % เยื่อใยสูง 65-70% มีการย่อยสลายได้ของวัตถุแห้งต่ำ (45%) (ไมตรี, 2533; สุรเดช, 2537) การนำยอดอ้อยมาใช้จึงมีความจำเป็นต้องแสวงหาแนวทางในการแปรรูปยอดอ้อยให้มีคุณค่าทางโภชนะเหมาะที่จะเห็นแหล่งอาหารหยาบคุณภาพดีสำหรับโคนม (ควรมีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 8% และการย่อยได้ของวัตถุแห้งไม่ต่ำกว่า 55%) ถึงแม้ว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมจะมีการใช้ฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้ง แต่เนื่องจากความต้องการในแต่ละปีเพิ่มขึ้น ทำให้ฟางข้าวมีราคาสูงขึ้น ซึ่งราคาของฟางข้าวที่เพิ่มขึ้นไม่สอดคล้องกับคุณภาพ (คุณค่าทางโภชนะ) ที่เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมควรได้รับ ดังนั้น ยอดอ้อย จึงเป็นแหล่งอาหารหยาบอีกทางหนึ่งที่เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมควรให้ความสนใจนำใช้มากยิ่งขึ้น

การนำยอดอ้อยมาใช้เป็นอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องในประเทศไทย มีการศึกษากันมาบ้างแต่ไม่มากนัก เช่น Snitwong et al. (1983); สายชิม และคณะ (2529); ไมตรี (2533); สุรเดช (2537) จะเห็นได้ว่าการวิจัยในการใช้ใบและยอดอ้อยมาเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องมีน้อยมากในประเทศไทย และผลงานวิจัยที่ได้ยังไม่สามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างจริงจัง ถึงแม้ว่าจะมีเศษเหลือยอดอ้อยในปริมาณที่มากก็ตาม เนื่องจากการใช้ยอดอ้อยจะใช้ได้ดีเฉพาะในสภาพที่เป็นยอดอ้อยสดเท่านั้น ซึ่งเป็นการยากในวิธีทางด้านการจัดการ ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จึงเป็นการศึกษาวิจัยถึงรูปแบบการแปรรูปยอดอ้อยในแบบต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการด้านการเก็บถนอมยอดอ้อยเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนมในเชิงพาณิชย์ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษารูปแบบการแปรรูปยอดอ้อยโดยการหมักเพื่อเป็นอาหารหยาบสำหรับโคนม
2. ศึกษาคุณค่าทางโภชนะของยอดอ้อยจากการแปรรูปโดยการหมักกับแหล่งโปรตีนในรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับโคนม
3. ศึกษาการแปรรูปยอดอ้อยเพื่อเป็นอาหารหยาบสำหรับโคนมในเชิงพาณิชย์

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้รูปแบบการแปรรูปยอดอ้อยโดยการหมักเพื่อเป็นอาหารหยาบสำหรับโคนม
2. ได้คุณค่าทางโภชนะของยอดอ้อยจากการแปรรูปโดยการหมักกับแหล่งโปรตีนในรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับโคนม
3. ได้แนวทางการใช้ยอดอ้อยเพื่อเป็นอาหารหยาบสำหรับโคนมในเชิงพาณิชย์

การตรวจเอกสาร

อ้อย (sugarcane) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharum officinarum* L. เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการปลูกกันทั่วไปในหลายพื้นที่ของประเทศในเขตร้อนชื้นหรือเขตมรสุม เพื่อนำไปแปรรูปเป็นน้ำตาล อ้อยจัดอยู่ในวงศ์พืชตระกูลหญ้า เป็นพืชที่มีอายุข้ามปี ลำต้นกว้าง 5-6 เซนติเมตร สูงได้ถึง 3 เมตร ใบยาว 0.5-1 เมตร สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุประมาณ 8 เดือน และเมื่อเก็บเกี่ยวแล้วครั้งหนึ่งสามารถเก็บเกี่ยวได้อีกครั้งในปีถัดไป

ในประเทศไทย มีการปลูกอ้อยในหลายพื้นที่ทั่วประเทศ มีการปลูกมากในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และ ภาคกลาง คิดเป็น 40.0, 21.4 และ 38.6 เปอร์เซ็นต์ของทั้งประเทศ ตามลำดับ ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงเนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ ราคา และมูลค่าของผลผลิตตามราคาที่เกษตรกรขายได้ปีการเพาะปลูก 2536/37-2545/46 จากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2547) ซึ่งมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของพื้นที่การปลูกอ้อยโรงงานมากยิ่งขึ้น จะทำให้มีผลผลิตมากถึง 74.263 ล้านตัน แต่ราคาที่เกษตรกรขายได้ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักอยู่ระหว่าง 386-507 บาท/ตัน

ตารางที่ 1. อ้อยโรงงาน: เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ ราคา และมูลค่าของผลผลิตตามราคาที่เกษตรกรขายได้ปีการเพาะปลูก 2536/37-2545/46

ปีเพาะปลูก	เนื้อที่เพาะปลูก (1,000 ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (1,000 ไร่)	ผลผลิต (1,000 ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กก.)	ราคาที่เกษตรกรขายได้ (บาท/ตัน)	มูลค่าของผลผลิตตามราคาที่เกษตรกรขายได้ (ล้านบาท)
2536/37	5,355	4,997	37,823	7,569	468	17,701
2537/38	5,837	5,767	50,597	8,774	435	22,010
2538/39	6,279	6,156	57,974	9,417	386	22,378
2539/40	6,314	6,127	56,394	9,204	410	23,122
2540/41	5,987	-	46,873	7,949*	507	23,765
2541/42	5,735	-	50,332	8,776*	470	23,656
2542/43	5,862	-	52,813	9,010*	446	23,555
2543/44	5,481	-	49,563	9,042	491	24,335
2544/45	6,320	-	60,013	9,496	435	26,106
2545/46	7,121	-	74,263	10,429	480	35,464

* ผลผลิตต่อเนื้อที่เพาะปลูก ปีเพาะปลูก 2542/43 สำรวจโดยสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล และสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2547)

ปริมาณของยอดอ้อย

ยอดอ้อยเป็นส่วนที่ตัดทิ้งในระหว่างการตัดอ้อย ยอดอ้อย ประกอบด้วยสามส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นใบ กาบใบ และลำต้นที่ยังเจริญไม่เต็มที่ จากข้อมูลของ Naseeven (1988) รายงานว่าผลผลิตของอ้อยที่แบ่งเป็น ลำต้น (stalk) ยอดอ้อย (top) และส่วนกาบใบแห้ง (trash) คิดเป็นสัดส่วน (โดยน้ำหนักแห้ง) ของผลผลิตเท่ากับ 56.2-62.4%, 12.6-18.1% และ 24.3-25.6% ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ส่วน Kawashima et al. (2000) รายงานการสำรวจอ้อยในเขตจังหวัดขอนแก่นมีสัดส่วนของลำต้น ยอดอ้อยและกาบใบแห้ง เป็น 69.5, 8.2 และ

22.2% ตามลำดับ ส่วน Devendra (1981) รายงานว่ายอดอ้อยมีประมาณ 15-20% ของผลผลิตอ้อยทั้งหมด สำหรับยอดอ้อยจะมีมากในฤดูกาลเก็บเกี่ยวอ้อยส่งเข้าโรงงานคือช่วงฤดูหนาวถึงฤดูร้อน (เดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนพฤษภาคม) โดยประมาณว่ามียอดอ้อยที่ถูกตัดทิ้ง 9.0-12.0 ล้านตันต่อปีของฤดูการเพาะปลูก 2544/45 สามารถใช้เลี้ยงโคนมได้ 8.87-11.83 แสนตัว[1] ต่อปี มากกว่าโคนมที่มีอยู่ในประเทศไทย ส่วนที่เหลือยังสามารถนำยอดอ้อยที่เหลือไปใช้เลี้ยงโคเนื้อและกระบือได้อีก

ตารางที่ 2. สัดส่วนของยอดอ้อยและส่วนอื่นๆ ของอ้อย (% วัตถุแห้ง)

	Natal	Hawaii	Mauritius
Millage cane (stalk)	62.4	56.2	59.3
Sugacane tops	12.6	18.1	16.3
Trash	24.9	25.6	24.3
Tops/cane ratio (DM basis)	20.2	32.2	27.5

ที่มา : Naseeven (1988)

องค์ประกอบทางเคมีของยอดอ้อย

Naseeven (1988) ได้รายงานถึงองค์ประกอบทางเคมีของยอดอ้อย ดังแสดงในตารางที่ 3 ส่วนองค์ประกอบทางเคมีที่ได้รายงานไว้ในประเทศไทย โดย ไมตรี (2533); วารุณี และ วลัยกานต์ (2541) และ Kawashima et al. (2000) พบว่า ยอดอ้อยมีโปรตีนหยาบ (crude protein, CP) สูงกว่าส่วนอื่นๆ ของอ้อย มีโปรตีนหยาบอยู่ระหว่าง 4.4-7.9% มีเยื่อใยทั้งหมด (neutral detergent fiber, NDF) 67.2-74.7% และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent fiber, ADF) เท่ากับ 37.5-38.9% ส่วนไขมัน (ether extract, EE) มีค่า 1.2-1.3% (ตารางที่ 4) จากองค์ประกอบทางเคมีของยอดอ้อยดังกล่าว ยอดอ้อยมีคุณค่าทางโภชนะสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องอยู่ในระดับปานกลางถึงต่ำ มีคุณค่าทางโภชนะดีกว่าฟางข้าว กล่าวคือ มีโปรตีนหยาบสูงกว่าและเยื่อใยต่ำกว่าฟางข้าว

ตารางที่ 3. องค์ประกอบทางเคมีและสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของยอดอ้อย

	Chemical composition, %	Digestion coefficients, %	
	Means (SD)	sheep	Cattle
Dry matter	29.0 (2.3)	54.3	53.9
Organic matter	91.5 (-)	56.2	55.1
Ash	8.5 (2.1)	-	-
Crude protein	5.9 (0.7)	37.7	41.1
Crude fiber	33.5 (2.1)	56.5	54.1
Ether extract	1.7 (0.3)	-	56.2
Nitrogen-free-extract	50.3 (3.9)	56.6	57.8
Sources	Calculated from various sources	Kevelenge et al. (1983b)	Sanchez Nunes et al. (1974)

Naseeven (1988)

[1] เมื่อคำนวณจากโคนมที่มีน้ำหนัก 500 กก. กินยอดอ้อยได้ 1.5% ของน้ำหนักตัว

ตารางที่ 4. องค์ประกอบทางเคมีของยอดอ้อยและส่วนอื่นๆ ของอ้อย

Item	DM	CP	Ash	NDF	ADF	EE
	%	---------- % DM ----------				
Sugarcane stalk[1]	29.5	1.9	1.9	37.8	23.2	0.5
Sugarcane trash[1]	91.0	2.1	6.5	79.3	43.4	1.7
Sugarcane top[1]	36.7	4.4	6.2	74.7	38.9	1.3
Sugarcane top[2]	30.1	5.9	4.9	67.2	37.5	-
Sugarcane top[3]	25.7	7.9	10.3	71.3	44.5	1.2

[1] Kawashima et al. (2000)

[2] ไมตรี (2533)

[3] วารุณี และ วลัยกานต์ (2541)

ถึงแม้ว่า ยอดอ้อยมีคุณค่าทางโภชนะที่สามารถนำมาใช้ในการเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ทั้งโคเนื้อ โคนม และกระบือได้ ซึ่งยอดอ้อยมีปริมาณมากและสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น อย่างไรก็ตาม ปัญหาของการนำใช้ยอดอ้อย คือ สามารถใช้ได้ดีในสภาพสดเท่านั้น ส่วนในสภาพแห้ง สัตว์เคี้ยวเอื้องไม่ชอบกิน ยอดอ้อยเมื่อตัดมาแล้วจะแห้งภายใน 2-3 วัน ทำให้มีปัญหาต่อการนำใช้ยอดอ้อยในสภาพสด ดังนั้น จึงต้องหาแนวทางในการเก็บรวบรวมยอดอ้อยและรักษาคุณค่าทางโภชนะของยอดอ้อยเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องต่อไป

เนื่องจากยอดอ้อยมีปริมาณมาก มีคุณค่าทางโภชนะที่ดีพอที่จะใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง แต่การใช้ยอดอ้อยในสภาพสดเท่านั้น ที่มีความน่ากินสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง แต่ในสภาพที่แห้ง ความน่ากินสำหรับสัตว์ลดลงมาก ดังนั้น แนวทางในการนำยอดอ้อยมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง น่าจะเป็นวิธีการเก็บถนอมในสภาพพืชหมัก

กระบวนการหมักที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำพืชหมัก

ในการถนอมพืชอาหารสัตว์ในรูปแบบการหมัก (ensiling หรือ silage) เป็นการถนอมพืชอาหารสัตว์โดยอาศัยพื้นฐานของการเกิดการหมักได้กรดแลคติค (lactic acid) ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic condition) กลุ่มแบคทีเรียที่สำคัญคือ epiphytic lactic acid bacteria (LAB) จะทำการหมักคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (water soluble carbohydrate, WSC) ที่มีในพืชอาหารสัตว์ให้ได้กรดแลคติคและอาจจะมีกรดอะซิติค (acetic acid) เล็กน้อย จากกรดที่ถูกผลผลิตขึ้นจากกระบวนการหมักทำให้ pH ในพืชหมักลดลงที่สามารถยับยั้งการเจริญพัฒนาของจุลินทรีย์อื่นๆ ได้

สำหรับกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นในรูปแบบการหมัก แบ่งออกเป็น 4 ระยะ ดังนี้ (Elferink et al., 1999)

ระยะที่ 1 : aerobic phase ระยะนี้จะเกิดขึ้นภายในไม่กี่ชั่วโมงหลังจากมีการปิดถังหมัก ออกซิเจนที่มีอยู่จะลดลงอย่างรวดเร็วจากกระบวนการหายใจของพืชและการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน (aerobic micro-organisms) และ จุลินทรีย์ที่ใช้และไม่ใช้ออกซิเจน (facultative aerobic microorganisms) ได้แก่ ยีสต์ (yeast) และ enterobacteria นอกจากนี้ เอนไซม์ที่มีในพืช เช่น protease และ carbohydrases ยังทำหน้าที่ได้ดี ทำให้ pH ในพืชหมักในช่วงนี้ยังมีค่าที่สูงอยู่ (pH 6.0-6.5)

ระยะที่ 2 : fermentation phase ระยะนี้จะเริ่มหลังจากสภาวะในถังหมักไม่มีออกซิเจนหรืออยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic condition) กระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องอาจใช้เวลาหลายวันหรือหลายสัปดาห์ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาหมักและสภาวะของการหมัก หลังจากกระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ แบคทีเรีย LAB จะเจริญ

พัฒนาและมีเป็นจำนวนมาก ทำให้ผลของกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นได้กรดแลคติดและกรดอื่นๆ ทำให้ pH ของพืชหมักลดลงอยู่ระหว่าง 3.8-5.0

ระยะที่ 3 : stable phase ระยะนี้เป็นสภาวะที่คงที่ที่ต่อเนื่องจากระยะที่ 2 ถ้าไม่มีอากาศเข้ามาในถังหมักกิจกรรมของแบคทีเรียมีน้อยมาก จุลินทรีย์ที่อยู่ในระยะที่ 2 จะเริ่มลดจำนวนลง ยกเว้นจุลินทรีย์บางกลุ่มที่ทนต่อสภาพความเป็นกรดซึ่งอยู่ในรูปสปอร์ ได้แก่ Clostridia และ Bacilli แต่ไม่มีกิจกรรม แต่อาจมีกิจกรรมของจุลินทรีย์บางชนิดเท่านั้นที่สำคัญ ได้แก่ *Lactobacillus buchneri*

ระยะที่ 4 : feed-out phase or aerobic spoilage phase ระยะนี้เกิดขึ้นเมื่อพืชหมักมีการสัมผัสกับอากาศ เมื่อมีการนำพืชหมักไปใช้ประโยชน์ หรือในบางกรณีที่ถุงหมักหรือถังหมักเกิดความเสียหายทำให้มีอากาศเข้าไปในถังหมักได้ ซึ่งจะเกิดขึ้นแบ่งเป็น 2 ระยะ ระยะแรก จะมีการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ในพืชหมักโดยยีสต์และ acetic acid bacteria ทำให้ pH ในพืชหมักเพิ่มขึ้น นำไปสูการเกิดระยะที่ 2 ระยะนี้อุณหภูมิภายในถังหมักก็จะเพิ่มขึ้น กลุ่มแบคทีเรียที่มีกิจกรรมได้ดีในช่วงนี้คือ Bacilli รวมทั้งจุลินทรีย์กลุ่ม moulds และ enterobacteria ซึ่งจะทำให้ส่วนที่สัมผัสกับอากาศใช้ไม่ได้ เน่าเสีย การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสอากาศประมาณ 1.4-1.5% ต่อวัน

ปัจจัยทางด้านชีววิทยาที่มีผลต่อกระบวนการหมักและคุณภาพของพืชหมัก

ในการทำพืชหมักนั้น Muck (1988) กล่าวว่ามีปัจจัยที่ควรระวังที่อาจมีผลกระทบต่อคุณภาพของพืชหมักได้ โดยเฉพาะในด้านกระบวนการทางชีววิทยา ได้แก่ จากการหายใจของพืช (plant respiration) จากกิจกรรมเอนไซม์ของพืช (plant enzyme activity) จากกิจกรรมของคลอสทิเดีย (clostridial activity) และ จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน (aerobic microbial actibity) ซึ่ง Muck (1988) ได้อธิบายอย่างสั้นๆ ดังนี้

- การหายใจของพืช : การหายใจของพืชยังเกิดขึ้นในระยะแรกของการหมัก มีการใช้ออกซิเจน น้ำตาล ทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน ในกระบวนการนี้ เป็นการกำจัดออกซิเจน ทำให้สภาพในถังหมักเป็นแบบไร้ออกซิเจนสำหรับก่อให้เกิดกระบวนการหมักในระยะต่อไป ดังนั้น การนำพืชมาหมักโดยไม่มีการอัดให้แน่น อาจทำให้มีออกซิเจนมากเกินไป กระบวนการหายของพืชเกิดขึ้นเป็นเวลานาน ก่อให้เกิดการใช้น้ำตาลมาก ทำให้เกิดการสูญเสีย 1) วัตถุแห้ง 2) พลังงาน 3) ความเป็นกรด-ด่างลดลงช้า และ 4) มีความร้อนเกิดขึ้นสูง นำไปสู่การเกิดปฏิกิริยา maillard reaction รวมทั้งเพิ่ม acid-detergent insoluble nitrogen (ADIN) ของพืชหมัก
- กิจกรรมเอนไซม์ของพืช : กิจกรรมของเอนไซม์ที่มีในพืชทำให้มีการสลายแป้งและเฮไมเซลลูโลสไปเป็นโมโนแซคคาไรด์ ที่นำไปหมักได้กรดแลคติค การสลายของเฮไมเซลลูโลสทำให้มีเยื่อใย NDF ลดลง แต่เยื่อใยส่วนที่ยังคงย่อยสลายไม่ได้ (indigestible fiber) ยังคงอยู่ ในขณะเดียวกัน กิจกรรมของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน (proteolytic enzymes) ทำให้เกิดการย่อยสลายโปรตีนแท้ (protein N) ให้เป็น เปปไทด์ และ กรดอะมิโน (amino acids) สุดท้ายจะถูกเปลี่ยนให้เป็นไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen, NPN) ได้แก่ แอมโมเนีย (ammonia, NH_3-N) และ เอไมน์ (amines) โดยจุลินทรีย์ในถังหมัก
- กิจกรรมของคลอสทริเดีย : คลอสทริเดีย เป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนที่มีผลทำให้คุณภาพของพืชหมักมีคุณภาพลดลง คลอสทริเดียที่มีในถังหมักมีอยู่ 2 กลุ่ม คือ saccharolytic และ proteolytic คลอสทริเดียพวก saccharolytic จะย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตและกรดอินทรีย์เปลี่ยนเป็นกรดบิวทิริค (butyric acid, C_4), CO_2 และน้ำ ส่วนคลอสทริเดียพวก proteolytic จะย่อยสลายกรดอะมิโนให้เป็นกรดอินทรีย์, CO_2, NH_3-N และ amines ผลที่เกิดขึ้นจึงเป็นการสูญเสียวัตถุแห้งและพลังงานของพืชหมัก แต่ที่น่าเป็นห่วงคือการเพิ่มปริมาณกรดบิวทิริค แอมโมเนีย และ เอไมน์ ซึ่งจะไปลดการกินได้ของพืชหมักในสัตว์เคี้ยวเอื้อง
- กิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน : การปิดถังหมักไม่ดีหรือถังหมักเกิดความเสียทำให้มีอากาศซึมผ่านเข้าไปได้จะก่อให้เกิดการสูญเสีย เกิดการเน่าของพืชหมักได้ เชื้อรา โดยเฉพาะพวกยีสต์ และ

แบคทีเรียกลุ่ม bacillus โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตและกรดอินทรีย์ ทำให้เกิดการสูญเสียวัตถุแห้งและมีความร้อนเกิดขึ้นสูง ถ้าความร้อนในถังหมักเกิดขึ้นสูงทำให้อุณหภูมิสูงถึง 60^{o}C จุลินทรีย์อาจทำให้มี maillard reaction เกิดขึ้น รวมทั้งเกิดการสลายโปรตีนให้เป็นแอมโมเนีย และในบางกรณีอาจเกิดเจริญของเชื้อราบางชนิดได้แก่ *Fusarium* และ *Aspergillus* ที่สามารถผลิต mycotoxin ที่เป็นอันตรายสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องได้

กระบวนการทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เป็นปัจจัยที่ต้องพึงระวังในการจัดทำพืชหมัก ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของพืชหมัก โดยเฉพาะสองกระบวนการแรกที่จะต้องให้ความสำคัญ และจัดการอย่างเหมาะสมจะช่วยลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนะของพืชหมักได้

ปัจจัยทางด้านพืชที่มีผลต่อคุณภาพพืชหมัก

คุณภาพของพืชหมักนอกจากขึ้นอยู่กับกระบวนการทางชีววิทยาในการหมักที่เกิดขึ้นแล้ว พืชอาหารสัตว์ที่จะนำมาทำพืชหมักเป็นอีกปัจจัยที่มีส่วนสำคัญยิ่งต่อการที่จะได้พืชหมักคุณภาพดี เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ปัจจัยทางด้านพืชที่ควรพิจารณาในการนำมาทำเป็นพืชหมัก (McAllister and Hristov, 2003) มีดังนี้

ชนิดของพืช (type of forage) : โดยทั่วไป ธัญพืชทั่วไป จะมีความเหมาะสมในการทำเป็นพืชหมักดีกว่าถั่วและหญ้าอาหารสัตว์ เนื่องจากธัญพืชมีค่า buffering capacity ต่ำ และมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (water-soluble carbohydrate, WSC) มากกว่า การที่ธัญพืชมี WSC มากทำให้ง่ายต่อจุลินทรีย์ในการใช้ประโยชน์เกิดการหมักได้กรดแลคติค ทำให้ค่า pH ในพืชหมักลดลงเร็วกว่าและมีค่าต่ำกว่าในถั่วและหญ้าอาหารสัตว์ นอกจากนั้น WSC ที่มีมากในธัญพืชที่เหลือจากกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นในถังหมักจึงเป็นประโยชน์ต่อสัตว์และจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนด้วย และในทางตรงกันข้ามก็อาจมีผลทำให้พืชหมักนั้นเน่าเสียได้เร็วกว่าด้วย

อายุของพืช (forage maturity) : การเจริญเติบโตของพืชจากระยะเจริญเติบโต (vegetative stage) เปลี่ยนเป็นระยะสืบพันธุ์ (reproductive stage) (คือ ช่วงออกดอกของถั่วอัลฟัลฟ่า หรือ ช่วงติดฝักของข้าวโพด) ทำให้ลำต้นและใบมีปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น การย่อยได้ของพืชลดลง ปริมาณ WSC มีปริมาณลดลงในขณะเดียวกันคาร์โบไฮเดรตส่วนที่เป็นเยื่อใย (เซลลูโลส, เฮไมเซลลูโลส) รวมทั้งแป้ง เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเจริญพัฒนาจนถึงการเจริญอย่างเต็มที่ของพืชแต่ละชนิดมีอัตราที่แตกต่างกัน โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น พันธุ์ ระดับความชื้น อุณหภูมิ ความเครียด และระยะเวลาของฤดูกาล ดังนั้น การเก็บเกี่ยวพืชเพื่อทำพืชหมักจึงต้องพิจารณาจากคุณลักษณะทางกายภาพของพืชในขณะนั้นๆ มากกว่าที่จะขึ้นอยู่กับการกำหนดเวลาหรืออายุหลังจากการปลูก ในการเก็บเกี่ยวพืชเพื่อทำพืชหมักนั้น จะต้องคำนึงถึง ผลผลิตวัตถุแห้ง (DM yield) ผลผลิตของโภชนะ (nutrients yield) และ persistence of stand สำหรับพืชที่มีอายุหลายปี

วัตถุแห้งของพืช (forage dry matter content) : โดยทั่วไปพืชที่นำมาทำเป็นพืชหมักควรมีวัตถุแห้งที่เหมาะสม พืชหมักที่มีความชื้นสูง (20-27%DM) กระตุ้นการเกิดกระบวนการหมักได้ดี แต่ก็มีการสูญเสียน้ำบ้างส่วนพืชหมักที่มีความชื้นต่ำเกินไปก็มีผลทำให้มีผลลดปริมาณการกินได้ของสัตว์เมื่อเทียบกับพืชหมักที่มีความชื้นที่เหมาะสม (27-38%DM) พืชที่มีความชื้นสูง จึงควรมีการผึ่งลม (wilt) เพื่อลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมก่อนนำไปทำพืชหมัก แต่การผึ่งนานเกินไปก็มีผลต่อคุณภาพของพืชหมักได้เช่นเดียวกัน การผึ่งลมจะทำให้มีการสูญเสียวัตถุแห้งประมาณ 4% ต่อวัน (McDonald et al., 1991) และมีผลต่อการลดลงของ WSC ด้วย เนื่องจากเกิดการหายใจของพืช ดังนั้น พืชหมักที่ผ่านการผึ่งลมจึงมีค่า pH ที่สูงกว่าของพืชหมักที่ไม่ได้ผึ่งลม

สายพันธุ์ของพืช (forage variety) : พืชชนิดเดียวกันแต่คนละสายพันธุ์ก็อาจมีผลต่อคุณภาพของพืชหมักเช่นเดียวกัน บางครั้งพืชคนละสายพันธุ์มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันที่อาจมีผลกระทบต่อคุณภาพของพืชหมัก แต่ไม่ง่ายนักที่จะวัดความแตกต่างของพืชหมักต่างสายพันธุ์ แต่สิ่งที่สำคัญกว่าคือ ระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวของพืชที่จะนำมาทำพืชหมักมากกว่า

การแบ่งคุณภาพของพืชหมัก

การแบ่งคุณภาพพืชหมักอาจจะแบ่งออกได้หลายระดับขึ้นอยู่กับการใช้ดัชนีตัวใดในการวัดคุณภาพของพืชหมัก อย่างไรก็ตาม Hutton (2002) ได้จัดชั้นของคุณภาพของพืชหมักไว้ 3 ระดับ โดยมีการพิจารณาทั้งจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของผลผลิตของกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นในพืชหมัก ดังนี้

ตารางที่ 5. คุณลักษณะทางกายภาพของพืชหมักคุณภาพระดับต่างๆ

ลักษณะ	คุณภาพดี	คุณภาพปานกลาง	คุณภาพต่ำ	
			กระบวนการหมักไม่ดี	ความร้อนสูง
สี	สีเขียวอมเหลือง หรือเขียวอมน้ำตาล ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาหมัก	สีเหลืองอมเขียวหรือน้ำตาลอมเขียว	สีเขียวเข้ม สีเขียวอม สีเทาหรือสีน้ำตาลน้ำเงิน	สีน้ำตาลจนถึงดำ
กลิ่น	กลิ่นกรดแลคติค และไม่มีกลิ่นกรดบิวทิริค	มีกลิ่นกรดบิวทิริคเล็กน้อยและมีกลิ่นแอมโมเนีย	กลิ่นกรดบิวทิริคค่อนข้างแรง มีกลิ่นแอมโมเนียและกลิ่นหืน	กลิ่นเหมือนน้ำตาลหรือกลิ่นบุหรี่
โครงสร้าง	อัดแน่นดี สภาพอ่อนนุ่ม บีบแล้วไม่คลายตัว	สภาพอ่อนนุ่ม บีบแล้วมีการคลายตัวบ้าง	สภาพเป็นเมือก แยกตัวง่าย	สภาพแห้ง เมื่อบีบไม่จับกันเป็นก้อน
ความชื้น	60-70% ในหลุมแนวนอน, 60-65% ในไซโลคอนกรีตแนวตั้ง	มากกว่า 65%	ปกติมากกว่า 72%	ปกติน้อยกว่า 55%
pH	ต่ำกว่า 4.2 สำหรับพืชที่มีความชื้นสูง ต่ำกว่า 4.8 พืชที่มีการผึ่งลมก่อน	4.6-5.2	มากกว่า 5.2	ไม่สามารถใช้ค่า pH บ่งบอกได้
สาเหตุ		มีความชื้นสูง และมีน้ำตาลไม่พอเพียง	มีความชื้นสูงเกินไป และมีน้ำตาลไม่พอเพียงต่อกระบวนการหมัก	ความชื้นต่ำ มีการอัดไม่แน่น หลุมหมักปิดไม่สนิท ขนาดของพืชยาวเกินไป และขั้นตอนการทำพืชหมักช้า
การแก้ไข		ใช้สารเสริมหรือไซโลที่ปิดสนิท	ผึ่งลมก่อนหรือใช้สารเสริมที่เป็นสารเคมีหรือเติมจุลินทรีย์ และปิดหลุมหมักให้เร็ว	อัดให้แน่นเพื่อไล่อากาศออก สับให้มีขนาดเล็กลง หมักในขณะที่มีความชื้นสูง ปิดหลุมหมักให้เร็ว

ดัดแปลงจาก : Hutton (2002)

ตารางที่ 6. คุณลักษณะของผลผลิตจากกระบวนการหมักของพืชหมักคุณภาพระดับต่างๆ

ลักษณะ	คุณภาพดี	คุณภาพปานกลาง	คุณภาพต่ำ
pH ของพืชหมักที่มีความชื้นต่ำกว่า 65%	ต่ำกว่า 4.8	ต่ำกว่า 5.2	มากกว่า 5.2
pH ของพืชหมักที่มีความชื้นสูงกว่า 65%	ต่ำกว่า 4.2	ต่ำกว่า 4.5	มากกว่า 4.8
กรดแลคติค (%)	3-14	ไม่แน่นอน	ไม่แน่นอน
กรดบิวทิริค (%)	ต่ำกว่า 0.2	0.2-0.5	มากกว่า 0.5
แอมโมเนีย (% of total N)	ต่ำกว่า 10	10-15	มากกว่า 15
ADIN (% of total N)	ต่ำกว่า 15	15-30	มากกว่า 30

ดัดแปลงจาก : Hutton (2002)

กาใช้สารเสริมในพืชหมัก

สารเสริมในพืชหมัก สามารถแบ่งได้ออกเป็นแบบ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์หรือเหตุผลในการใช้และพืชที่จะนำมาใช้หมัก เพื่อให้ได้พืชหมักที่คุณภาพดี สำหรับใช้เป็นอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง Weiss and Underwood (2004) ได้กล่าวถึงสารเสริมที่นิยมใช้ในพืชหมักได้แก่

ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen, NPN) ยูเรีย และ anhydrous ammonia สามารถเติมใส่ในพืชหมักเพื่อเพิ่มระดับโปรตีน ยูเรียมีโปรตีนหยาบ 280% และ anhydrous ammonia มี 512% โปรตีนหยาบ ในทางทฤษฎี การเติมยูเรียเพียงเล็กน้อยก็สามารถเพิ่มระดับโปรตีนให้สูงขึ้นได้ สำหรับอัตราการใช้ขึ้นอยู่กับแหล่งของ NPN เช่น anhydrous ammonia ใช้ในอัตรา 3-4 กก.ต่อตันของพืชหมักที่มีวัตถุแห้งประมาณ 35% ส่วนยูเรียใช้ในอัตรา 4.5-6.25 กก./ตัน ของพืชหมัก

การเสริม NPN สามารถเพิ่มระดับโปรตีนหยาบประมาณ 2-6% ในพืชหมัก ในข้าวโพดหมักการใช้แอมโมเนียหรือยูเรียสามารถโปรตีนได้เพิ่มขึ้นเป็น 12-13% (DM basis) ซึ่งระดับนี้พอเพียงต่อความต้องการของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ทำให้ลดการใช้แหล่งโปรตีนในการให้อาหารแก่สัตว์ลง ข้อดีอีกอย่างของการใช้ NPN คือ ช่วยลดการย่อยสลายโปรตีนของพืชหมักในระหว่างเกิดกระบวนการหมัก ทำให้เพิ่มโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (rumen degradable protein, RUP) หรือโปรตีนไหลผ่าน (by-pass protein) ในพืชหมัก

แหล่งพลังงานที่ย่อยได้ง่าย (fermentable substrates) ได้แก่ ข้าวโพด รำ มัน และกากน้ำตาล เป็นต้นที่เติมเข้าไปในช่วงของการหมัก การใช้ธัญพืชในข้าวโพดหมักไม่เหมาะสม แต่การเสริมในพืชหมักอื่นๆ ที่มีแหล่งของพลังงานที่ย่อยได้ง่ายต่ำ การเติมแหล่งพลังงานที่ย่อยสลายได้ง่ายนี้ มีประโยชน์ 2 อย่าง คือ 1) เพิ่มพลังงานในพืชหมัก และ 2) การเติมเมล็ดธัญพืชยังเป็นการเพิ่มวัตถุแห้งให้พืชหมักอีกด้วย สำหรับอัตราการใช้เมล็ดธัญพืชเสริมควรใช้ในอัตรา 45-90 กก./ตัน พืชหมัก การเสริมในอัตรานี้ สามารถเพิ่มวัตถุแห้งได้ประมาณ 5% เมล็ดธัญพืชที่ใช้ควรทำให้แตกเสียก่อนเพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ได้สูงสุดแต่การเสริมเมล็ธัญพืชบางครั้งไม่ได้ปรับปรุงกระบวนการหมักในถังหมัก

กากน้ำตาล ที่นิยมใช้มานานในการเสริมในพืชหมัก กากน้ำตาล มีความแตกต่างจากเมล็ดธัญพืช เนื่องจากกากน้ำตาลย่อยสลายได้เร็วกว่า ทำให้ช่วยกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นในถังหมัก อัตราการใช้กากน้ำตาล 90-198 กก./ตันของพืชหมัก (วัตถุแห้งประมาณ 45%) แต่ไม่ควรเสริม กากน้ำตาลในพืชหมักที่มีความชื้นสูง (<35% วัตถุแห้ง) เพราะว่าทำให้เกิดการสูญเสียของเหลว (seepage) ออกมาเพิ่มขึ้น และไม่ก่อให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพของพืชหมักได้

กรด (acids) การเติมกรดในพืชหมักจะทำให้ pH ลดลงอย่างรวดเร็ว กรดที่นิยมใช้ คือ กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดซัลฟุริค และกรดคลอริค (sulfuric and hydrochloric) อัตราที่ใช้ คือ 4.5-13.5 กก./ตัน พืชหมัก การที่ pH ลดลงอย่างรวดเร็วจะจำกัดการสูญเสียโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต แต่กรดเหล่านี้ก่อให้เกิดอันตรายจึงไม่ค่อยนิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ในยุโรปมีการใช้อยู่บ้าง

กรดโพรพิโอนิค (propionic acid) เป็นกรดที่อ่อนกว่าทั้งกรดฟอร์มิก กรดซัลฟุริค และกรดคลอริค แต่ให้ผลที่คล้ายกัน อัตราที่นิยมใช้คือ 13.5-18 กก./ตัน พืชหมัก พืชหมักที่มีความชื้นสูงต้องการกรดโพรพิโอนิคมากกว่าพืชหมักที่มีความชื้นต่ำ สำหรับกรดในรูปอื่นๆ ที่ใช้ในการถนอมพืชหมัก ได้แก่ sodium diacetate ซึ่งเป็นส่วนผสมของกรดอะซิติคกับเกลือ อัตราการใช้ 0.5-1 กก./ตันพืชหมัก

จุลินทรีย์ (microbial innoculants) จุลินทรีย์ที่ใช้มีวัตถุประสงค์เพื่อกระตุ้นกระบวนการหมัก (stimulants of fermentation) สำหรับจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเป็นสารเสริม คือ homolactic acid bacteria (^{ho}LAB) ได้แก่ *Lactobacillus plantarum, L. acidophilus, Pediococcus acidilactici, P. pentacaceus*, และ *Enterococcus faecium* สารเสริมจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นจุลินทรีย์ผสมที่มีการคัดสรรเพื่อให้สามารถกระตุ้นกระบวนการหมักที่ต้องการ อย่างไรก็ตามในการใช้จุลินทรีย์ จำนวนของจุลินทรีย์เป็นสิ่งที่สำคัญที่จะต้องมีอย่างพอเพียงที่จะทำให้กระบวนการหมักได้ผลผลิตสุดท้ายและคุณภาพของพืชหมักที่ต้องการ สารเสริมจุลินทรีย์ทางการค้าที่ใช้ในพืชหมัก ในอัตราที่แนะนำ คือ 100,000 LAB/g หรือคิดเป็น 5 ถึง15% อย่างไรก็ตาม การใช้จุลินทรีย์เสริมต้องคำนึงถึง จุลินทรีย์ที่มีอยู่เดิมในพืช ซึ่งแตกต่างกันตามชนิดของพืช, อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และ ระยะเวลาในการผึ่งลม

การวิจัยการนำใช้ประโยชน์ของยอดอ้อยในการเป็นอาหารหยาบสำหรับโคนมในประเทศไทย

ไมตรี (2533) ได้ศึกษาการถนอมยอดอ้อยเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยการตากแห้ง หมักร่วมกับยูเรีย และหมักร่วมกับเกลือ พบว่า การตากแห้งทำให้ความผันแปรของโปรตีนหยาบน้อย แต่เซลลูโลสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนการหมักด้วยยูเรียและการหมักด้วยเกลือที่ระดับต่างๆ พบว่า การหมักด้วยยูเรียทำให้มีโปรตีนหยาบในยอดอ้อยเพิ่มขึ้นเป็น 8% เมื่อหมักกับยูเรีย 1% โดยน้ำหนักแห้ง และมีค่าสูงสุด (10.2%) เมื่อหมักด้วยยูเรีย 5% โดยน้ำหนักแห้ง เยื่อใยไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ส่วนการหมักด้วยเกลือไม่ทำให้โปรตีนหยาบเพิ่มขึ้น แต่พบว่าทำให้เยื่อใยทั้งหมดลดลง และจากการทดสอบยอดอ้อยด้วยวิธี in sacco technique พบว่ายอดอ้อยหมักด้วยยูเรีย 5% โดยน้ำหนักแห้ง มีค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุและโปรตีนหยาบที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับยอดอ้อยสด หรือ ยอดอ้อยหมักด้วยเกลือ

สุรเดช (2537) ทำการหมักยอดอ้อยด้วยยูเรียที่ระดับ 0, 0.3, 0.6 และ 0.6% โดยน้ำหนักสด ทำให้ pH ในยอดอ้อยหมักเพิ่มขึ้นตามระดับยูเรียที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับระดับโปรตีนหยาบในยอดอ้อยหมักที่เพิ่มขึ้นจาก 7.08% เป็น 8.25, 9.15 และ 10.57% ตามระดับยูเรียที่เพิ่มขึ้น 0, 0.3, 0.6 และ 0.6% โดยน้ำหนักสด

ไพบูลย์ และคณะ (2546, เอกสารยังไม่ตีพิมพ์) ได้ศึกษาการหมักแหล่งอาหารหยาบต่างๆ ในถังหมักรีไซเคิล พบว่า ยอดอ้อยหมักมี pH ต่ำ (3.8) และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 แสดงให้เห็นว่าการถนอมยอดอ้อยในรูปแบบพืชหมักสามารถทำได้และน่าจะเป็นรูปแบบการถนอมยอดอ้อยเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสัตว์เคี้ยวเอื้อง ถึงแม้ว่ายอดอ้อยหมักจะมีโปรตีนหยาบที่ต่ำกว่าอาหารหยาบชนิดอื่นๆ ก็ตาม

จากรายงานการศึกษาการใช้ยอดอ้อยเป็นอาหารหยาบสำหรับโคนมยังมีน้อย และงานวิจัยยังเป็นการวิจัยพื้นฐานในการหาแนวทางในการปรับปรุงและการถนอมยอดอ้อยเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ทำให้ยังไม่ทราบถึงศักยภาพในการใช้ยอดอ้อยหมักเป็นอาหารหยาบสำหรับโคนม

ตารางที่ 7. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของพืชหมักชนิดต่างๆ ในถังหมักรีไซเคิล

แหล่งอาหารหยาบ	pH
หญ้าคา อายุ 1 ปี	4.57
หญ้าคา อายุ 1 ปี + ใบมันสำปะหลัง 10%	4.21
หญ้าคา อายุ 1 ปี + ใบมันสำปะหลัง 10% + ใบกระถิน 5%	4.80
หญ้ารูซี่ อายุ 50 วัน	4.14
ต้นข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 5 พร้อมฝัก (อายุตัด 70 วัน)	4.01
ต้นข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 5 พร้อมฝัก (อายุตัด 60 วัน)	4.15
ยอดอ้อย	3.80
จุกสับปะรด	3.91

ไพบูลย์ และคณะ (2546, เอกสารยังไม่ตีพิมพ์)

ตารางที่ 8. องค์ประกอบทางเคมีของพืชหมักชนิดต่างๆ ในถังหมักรีไซเคิล

แหล่งอาหารหยาบ	DM, %	GE	CP	EE	CF	Ash	NDF	ADF
		Mcal/kg	---------- % DM ----------					
หญ้าคา อายุ 1 ปี	52.35	3.90	4.06	1.51	33.83	3.15	77.27	48.09
หญ้าคา อายุ 1 ปี + ใบมันสำปะหลัง 10%	38.02	3.83	8.22	2.14	24.63	4.79	57.31	36.86
หญ้าคา อายุ 1 ปี + ใบมันสำปะหลัง 10% + ใบกระถิน 5%	47.51	4.19	10.41	1.90	25.48	5.82	61.15	34.48
หญ้ารูซี่ อายุ 50 วัน	21.28	3.69	7.31	1.84	28.15	10.85	55.70	33.11
ต้นข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 5 พร้อมฝัก (อายุตัด 70 วัน)	26.79	3.94	5.67	1.66	27.48	8.73	62.20	40.27
ต้นข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 5 พร้อมฝัก (อายุตัด 60 วัน)	24.82	3.52	5.81	1.16	21.33	9.52	47.93	35.12
ยอดอ้อย	20.54	3.67	3.24	1.13	23.01	7.72	52.29	34.72
จุกสับปะรด	22.54	3.72	4.02	1.97	26.72	8.48	57.72	37.87

ไพบูลย์ และคณะ (2546, เอกสารยังไม่ตีพิมพ์)

ข้อจำกัดการนำใช้ยอดอ้อยเป็นอาหารหยาบสำหรับโคนม

ฤดูกาลที่มียอดอ้อย : ดังที่กล่าวมาแล้วว่า ยอดอ้อย มีมากในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวอ้อยเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาล ในประเทศไทยอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนพฤษภาคม ซึ่งในแต่ละปี มีปริมาณยอดอ้อยมากกว่าปีละ 6 ล้านตัน ซึ่งถือว่ามีปริมาณมากทำให้การเก็บเกี่ยวยอดอ้อยจะต้องทำให้เร็ว ทำให้เป็นปัญหาว่าไม่สามารถใช้ยอดอ้อยได้ตลอดทั้งปี

คุณค่าทางโภชนะของยอดอ้อย : การนำใช้ยอดอ้อยเป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้น ยอดอ้อยสดมีโปรตีนหยาบระหว่าง 4.4-7.9% เยื่อใย NDF 67.2-74.7 % และ ADF 37.5-44.5 % (Kawashima et al., 2000; ไมตรี, 2533; วารุณี และ วลัยกานต์, 2541) และมีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) เท่ากับ 1.49 Mcal/kg (Kevelenge et al., 1983) คุณค่าทางโภชนะของยอดอ้อยมีความแปรปรวนค่อนข้างมากอาจเป็นปัญหาต่อการนำใช้ประโยชน์โดยเฉพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ให้ผลผลิตสูง

แรงงานในการเก็บเกี่ยวและรวบรวม : ในการเก็บเกี่ยวอ้อยในประเทศไทย ยังมีการใช้แรงงานคนในการตัด ยอดอ้อยถือว่าเป็นส่วนเหลือทิ้ง ทำให้เจ้าของไร่อ้อยไม่สนใจในการเก็บรวบรวม และอาจทำให้การใช้แรงในการเก็บรวบรวมอ้อยลดประสิทธิภาพการทำงานของแรงงาน

การเข้าถึงพื้นที่ในการปลูกอ้อย : พื้นที่ในการปลูกอ้อยจะมีอยู่ทั่วไปก็ตาม แต่ส่วนใหญ่ของพื้นที่การปลูกอ้อยอยู่ในส่วนที่ไม่มีการเลี้ยงสัตว์โดยเฉพาะโคนม ทำให้การเก็บรวบรวมเพื่อนำมาใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับโคนม โดยเกษตรกรที่เลี้ยงโคนมเป็นไปได้ยาก

การขนส่ง : ดังที่กล่าวมาแล้วว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ของการปลูกอ้อยอยู่ห่างจากบริเวณที่มีการเลี้ยงโคนม ดังนั้นการขนส่งยอดอ้อยมาถึงแหล่งของการเลี้ยงโคนมทำให้เสียเวลา และเนื่องจากส่วนยอดอ้อยมีความฟ่ามมากกว่าส่วนของลำต้นอาจทำให้ต้นทุนในการขนส่งเป็นค่าใช้จ่ายที่สูงมาก

การเผาอ้อยก่อนการเก็บเกี่ยว : ในบางพื้นที่การเก็บเกี่ยวอ้อยมักมีการเผาไร่อ้อยก่อนที่จะเก็บเกี่ยว เนื่องจากมีความสะดวก ถึงแม้ว่าอาจมีผลต่อคุณภาพของอ้อยที่จะส่งเข้าโรงงานก็ตาม และในส่วนของยอดอ้อยอาจมีการส่วนเสียวัตถุแห้งและโภชนะอื่นๆ ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการเผา

การจัดทำไซโลสำหรับทำยอดอ้อยหมัก : ในต่างประเทศได้มีการศึกษาการใช้ยอดอ้อย โดยการวิธีการหมัก พบว่า มีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Naseeven, 1988) ในประเทศมอริเซียส มีการทำไซโลคอนกรีตหลายขนาดเช่น ขนาดเล็ก (1-4 ตัน) ขนาดกลาง (2-6 ตัน) และขนาดใหญ่ (100-400 ตัน) ซึ่งประสบความสำเร็จพอควร โดยเฉพาะไซโลขนาดเล็กถึงกลาง แต่การลงทุนจัดทำไซโลเป็นต้นทุนค่อนข้างสูง ไม่เหมาะกับเกษตรรายย่อย อย่างไรก็ตาม การหมักยอดอ้อยในถุงพลาสติกหรือถังหมักก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่งในการทำยอดอ้อยหมัก

จากข้อจำกัดของการใช้ยอดอ้อยดังกล่าว จะต้องพิจารณาถึงข้อดีและข้อจำกัดควบคู่กันเพื่อจะสามารถนำไปสู่การนำใช้ประโยชน์ของยอดอ้อยเป็นอาหารหยาบสำหรับโคนมได้อย่างมีศักยภาพ การหมักยอดอ้อยจำเป็นที่จะต้องวางแผนในการจัดเก็บยอดอ้อย วิธีการหมัก และการนำไปใช้ประโยชน์ของเกษตรกรที่เลี้ยงโคนมอย่างมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

ยอดอ้อย

ทำการรวบรวม ยอดอ้อยที่ได้จากอ้อยที่ปลูกในเขตจังหวัดขอนแก่น ที่มีอายุในการตัดปีที่สอง มีอายุตั้งแต่ 7 เดือนขึ้นไป แล้วทำการตัดยอดอ้อยออกจากลำต้น โดยตัดส่วนยอดอ้อยบริเวณจุดหักตามธรรมชาติ (ประมาณ 2 ข้อครึ่ง) จากส่วนยอดของอ้อย (ภาพที่ 1, 2, 3 และ 4 ในภาคผนวก)

การหมักยอดอ้อย

ยอดอ้อยที่ตัดแล้วนำมาทำการสับผ่านเครื่องสับแบบ 2 ใบมีด (ภาพที่ 5 ในภาคผนวก) ที่มีขนาดยาวตั้งแต่ 2-3 นิ้วขึ้นไป แล้วทำการอัดใส่ในถังหมักแบบรีไซเคิล ตามทรีทเมนต์ ดังต่อไปนี้

- หมักโดยไม่ใส่สารเสริม (none)
- หมักด้วยยูเรีย (1.5% โดยน้ำหนักสด) (U)
- หมักร่วมกับกากน้ำตาล (8% โดยน้ำหนักสด) + ยูเรีย (1.5% โดยน้ำหนักสด) (M+U)
- หมักร่วมกับใบกระถิน (10% โดยน้ำหนักสด) (L)
- หมักร่วมกับใบมัน (10% โดยน้ำหนักสด) (CH)
- หมักร่วมกับใบกระถิน (5% โดยน้ำหนักสด) และใบมัน (5% โดยน้ำหนักสด) (L+CH)

ขั้นตอนในการอัดยอดอ้อยในถังหมักแบบรีไซเคิลโดยการนำยอดอ้อยสับใส่ในถังหมักทีละน้อยแล้วเหยียบย่ำโดยใช้แรงงานคนจนแน่นแล้วทำการปิดผาให้สนิท โดยน้ำหนักยอดอ้อยที่ใช้ในการหมักในแต่ละถังหมักแบบรีไซเคิลขนาด 150 ลิตร ประมาณ 65-70 กก. น้ำหนักสด (ภาพที่ 6 ในภาคผนวก)

ในการเสริมยูเรียในยอดอ้อย โดยการโรยยูเรียเป็นชั้นในขณะที่มีการเติมยอดอ้อยแล้วเหยียบย่ำอัดให้แน่นอย่างทั่วถึงทั้งถังหมักรีไซเคิล ในการเสริมกากน้ำตาลกับยูเรีย โดยการผสมกากน้ำตาลกับน้ำ 4:1 แล้วเติมยูเรียคนให้ละลายให้เข้ากันแล้วทำการเทเป็นชั้นๆ ในแต่ละครั้งของการเติมยอดอ้อยใส่ในถังหมักในขณะที่มีการเหยียบย่ำจนทั่วทั้งถังหมักรีไซเคิล ส่วนการเสริมใบกระถิน, ใบมันสำปะหลัง และใบกระถินกับใบมันสำปะหลัง นั้นทำการเข้าเครื่องสับพร้อมกับยอดอ้อยในสัดส่วนที่กำหนดไว้ หลังจากนั้น นำไปใส่ในถังหมักรีไซเคิลอัดให้แน่นโดยการเหยียบย่ำจนเต็มถัง แล้วปิดฝาให้สนิท

การสุ่มเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ทางเคมี

หลังจากทำการหมักยอดอ้อยในถังหมักรีไซเคิล เป็นเวลา 1, 2 และ 3 เดือน ตามลำดับ แล้ว ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างจากถังหมักจำนวน 3 ถัง ในแต่ละทรีทเมนต์ ในแต่ละเดือน ทำการบันทึกลักษณะทางกายภาพ สี กลิ่น ความชื้น โดยเก็บตัวอย่างจากส่วนบน กลาง และล่างของถังหมักแล้วนำมารวมกัน ส่วนหนึ่งนำไปหาความชื้น และอีกส่วนนำไปอบให้แห้งเพื่อรอการวิเคราะห์ทางเคมีต่อไป

ตัวอย่างยอดอ้อยประมาณ 100 กรัม นำมาเติมน้ำกลั่นในสัดส่วน 1:1 w/v ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในตู้เย็น แล้วทำการวัดค่า pH ของยอดอ้อยหมัก โดยใช้ pH meter และแอมโมเนีย (ammonia, NH_3) ของเหลวจากยอดอ้อยหมัก โดยวิธีการกลั่น (stream distillation method) (Bremney and Keenny, 1965) และวิเคราะห์กรดอะซิติค (acetic acid) และ กรดบิวทิริค (butyric acid) โดยใช้ HPLC ตามวิธีการของ Samuel et al. (1997)

ตัวอย่างยอดอ้อยหมัก นำไปวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ ได้แก่ วัตถุแห้ง (dry matter, DM) ตัวอย่างอีกส่วนของยอดอ้อยหมักทำให้แห้งโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60^{o}C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ เถ้า (ash) ที่อุณหภูมิ 550^{o}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง โปรตีน

หยาบ (crude protein, CP) โดยวิธีการ Kjeldahl method และไขมัน (ether extract) โดยใช้ petroleum ether (AOAC, 1984) และองค์ประกอบเยื่อใย NDF (neutral detergent fiber) และ ADF (acid detergent lignin) (Goering and Van Soest, 1970)

ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ PDIFF (SAS, 1988)

ผลการศึกษา

ยอดอ้อยที่นำมาหมักใช้ยอดอ้อยจากแปลงของเกษตรกรที่ปลูกอ้อยที่มีอายุประมาณ 7 เดือน ตัดยอดให้มีความยาวห่างจากยอด (หางปลา) ประมาณ 2 ข้อครึ่ง คือ ระหว่างใบอ้อยที่ 2 และ 3 ห่างจากยอด นำมาสับด้วยเครื่องสับแบบ 2 ใบมีด แล้วใส่ในถังหมักรีไซเคิลอัดให้แน่นโดยการเหยียบย่ำ ซึ่งถังหมักรีไซเคิลขนาดประมาณ 150 ลิตร สามารถอัดยอดอ้อยได้ 65-70 กก. หลังจากหมักได้ประมาณ 1, 2 และ 3 เดือน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่าง ได้ผลการศึกษา ดังนี้

- **ลักษณะทางกายภาพ**

ยอดอ้อยที่ได้จากการหมักในถังหมักรีไซเคิลที่มีอายุการหมักที่แตกต่างกันมีคุณลักษณะทางกาย ดังแสดงในตารางที่ 9, 10 และ 11 ตามลำดับ (ภาพที่ 7, 8, 9, 10 และ 11 ในภาคผนวก) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของยอดอ้อยหมักในเดือนที่ 2 และ 3 หลังจากหมักไม่แตกต่างจากเดือนที่ 1 มากนัก ยกเว้นกลิ่นเปรี้ยวของกรดแลคติคในยอดอ้อยหมักโดยไม่มีการใส่สารเสริม

ยอดอ้อยที่หมักโดยไม่มีการใส่สารเสริม (none) มีสีเขียวอ่อนอมเหลือง มีกลิ่นหมักเปรี้ยวของกรดแลคติคมากกว่าการหมักยอดอ้อยในทรีทเมนต์อื่นๆ โดยเฉพาะการใส่สารเสริมยูเรียอย่างเดียว (U) ทำให้ยอดอ้อยหมักที่ได้มีสีเหลืองทอง มีกลิ่นหมักเปรี้ยวน้อยและมีกลิ่นฉุนของแอมโมเนีย ส่วนการหมักร่วมกับกากน้ำตาลกับยูเรีย (M+U) พบว่า สีของยอดอ้อยหมักมีสีคล้ำของกากน้ำตาล มีกลิ่นหมักเปรี้ยวบ้าง และมีกลิ่นฉุนของแอมโมเนียบ้างเล็กน้อย ซึ่งสังเกตพบว่าการดูดซับน้ำจากสารละลายของกากน้ำตาลกับยูเรียของยอดอ้อยหมักเกิดไม่สมบูรณ์ สำหรับการหมักยอดอ้อยแล้วเสริมใบกระถิน (L), ใบมันสำปะหลัง (CH) และใบกระถินร่วมกับใบมันสำปะหลัง (L+CH) พบว่า ยอดอ้อยหมักมีสีเหลืองอมเขียวเช่นเดียวกับยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่สารเสริม มีกลิ่นหมักเปรี้ยวของกรดแลคติคที่ดีกว่าการหมักร่วมกับยูเรียและกากน้ำตาลกับยูเรีย แต่ไม่ดีเท่ายอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่สารเสริม

จากการทดสอบความชอบกินของยอดอ้อยหมักหลังจากเปิดถังหมักในเบื้องต้น (ภาพที่ 5 ในภาคผนวก) พบว่า โคนมมีความชอบกินยอดอ้อยหมักที่แตกต่างกัน โดยสังเกตจากระยะเวลาในการกิน เรียงตามลำดับดังนี้ 1) ยอดอ้อยหมักไม่ใส่สารเสริม, 2) ยอดอ้อยหมักร่วมกับใบพืช เช่น ใบกระถิน, ใบมันสำปะหลัง และใบกระถินกับใบมันสำปะหลัง 3) ยอดอ้อยหมักใส่ยูเรีย และ 4) ยอดอ้อยหมักใส่กากน้ำตาลกับยูเรีย

ยอดอ้อยที่มีระยะเวลาในการหมักนานขึ้น (3 เดือน) โดยเฉพาะยอดอ้อยที่หมักโดยไม่มีการใส่สารเสริมมีกลิ่นเปรี้ยวกรดอ่อนๆ หอมกว่าการหมักที่ 1 และ 2 เดือน ส่วนการหมักโดยใส่สารเสริมทุกทรีทเมนส์การหมักที่ 1, 2 และ 3 เดือน มีผลที่ไม่แตกต่างกันมากนักในด้านกายภาพ

ตารางที่ 9. ลักษณะของยอดอ้อยหมักในถังหมักแบบรีไซเคิลหลังจากหมักได้ 1 เดือน

วิธีการหมัก	วัตถุแห้ง (%)	ความเป็นกรด-ด่าง	สี	กลิ่น	ทดสอบความชอบกินของโคนม
หมักยอดอ้อยอย่างเดียว (None)	24.47	4.57	สีเขียวอ่อนอมเหลือง	กลิ่นเปรี้ยวของกรดแลคติค	+++++
หมักยอดอ้อยกับยูเรีย (U)	26.13	7.63	สีเหลืองอมเขียวจนถึงน้ำตาล	กลิ่นแอมโมเนีย/มีกลิ่นเปรี้ยวเล็กน้อย	++
หมักยอดอ้อยกับกากน้ำตาลและยูเรีย (M+U)	27.22	5.82	สีเหลืองอมเขียวจนถึงน้ำตาลเข้ม	กลิ่นมีกลิ่นเปรี้ยวซองกรดแลคติคเล็กน้อย	+
หมักยอดอ้อยกับใบกระถิน (L)	26.33	5.23	สีเหลืองอมเขียว/ใบกระถินยังมีสีเขียวคล้ำ	กลิ่นเปรี้ยวของกรดแลคติค	++++
หมักยอดอ้อยกับใบมันสำปะหลัง (CH)	26.29	4.95	สีเหลืองอมเขียว/ใบมันสำปะหลังยังมีสีเขียวคล้ำ	กลิ่นเปรี้ยวของกรดแลคติค	++++
หมักยอดอ้อยกับใบกระถินและใบมันสำปะหลัง (L+CH)	33.56	4.61	สีเหลืองอมเขียว/ใบกระถินและใบมันสำปะหลังยังมีสีเขียวคล้ำ	กลิ่นเปรี้ยวของกรดแลคติค	++++

+++++ ชอบมากที่สุด, + ชอบน้อยที่สุด

ตารางที่ 10. ลักษณะของยอดอ้อยหมักในถังหมักแบบรีไซเคิลหลังจากหมักได้ 2 เดือน

วิธีการหมัก	วัตถุแห้ง (%)	ความเป็นกรด-ด่าง	สี	กลิ่น	ทดสอบความชอบกินของโคนม
หมักยอดอ้อยอย่างเดียว (None)	23.82	4.85	สีเขียวอ่อนอมเหลือง	กลิ่นเปรี้ยวของกรดแลคติคมาก	+++++
หมักยอดอ้อยกับยูเรีย (U)	28.52	7.35	สีเหลืองอมเขียวจนถึงน้ำตาล	กลิ่นแอมโมเนีย/มีกลิ่นเปรี้ยวเล็กน้อย	++
หมักยอดอ้อยกับกากน้ำตาล และยูเรีย (M+U)	23.59	6.72	สีเหลืองอมเขียวจนถึงน้ำตาลเข้ม	กลิ่นมีกลิ่นเปรี้ยวซองกรดแลคติคเล็กน้อย มีกลิ่นแอมโมเนีย	+
หมักยอดอ้อยกับใบกระถิน (L	24.50	5.44	สีเหลืองอมเขียว/ใบกระถินยังมีสีน้ำเงินเทา	กลิ่นเปรี้ยวของกรดแลคติค	++++
หมักยอดอ้อยกับใบมันสำปะหลัง (CH)	30.68	4.81	สีเหลืองอมเขียว/ใบมันสำปะหลังยังมีสีน้ำเงินเทา	กลิ่นเปรี้ยวของกรดแลคติค	++++
หมักยอดอ้อยกับใบกระถินและใบมันสำปะหลัง (L+CH)	30.53	4.77	สีเหลืองอมเขียว/ใบกระถินและใบมันสำปะหลังยังมีสีน้ำเงินเทา	กลิ่นเปรี้ยวของกรดแลคติค	++++

+++++ ชอบมากที่สุด, + ชอบน้อยที่สุด

ตารางที่ 11. ลักษณะของยอดอ้อยหมักในถังหมักแบบรีไซเคิลหลังจากหมักได้ 3 เดือน

วิธีการหมัก	วัตถุแห้ง (%)	ความเป็นกรด-ด่าง	สี	กลิ่น	ทดสอบความชอบกินของโคนม
หมักยอดอ้อยอย่างเดียว (None)	22.65	4.87	สีเขียวอ่อนอมเหลือง	กลิ่นเปรี้ยวของกรดแลคติคมากขึ้น	+++++
หมักยอดอ้อยกับยูเรีย (U)	27.61	8.02	สีเหลืองอมเขียวจนถึงน้ำตาล	กลิ่นแอมโมเนียเพิ่มมากขึ้น/มีกลิ่นเปรี้ยวเล็กน้อย	++
หมักยอดอ้อยกับกากน้ำตาลและยูเรีย (M+U)	23.86	7.02	สีเหลืองอมเขียวจนถึงน้ำตาลเข้ม	กลิ่นมีกลิ่นเปรี้ยวซองกรดแลคติคเล็กน้อย มีกลิ่นแอมโมเนียมากขึ้น	+
หมักยอดอ้อยกับใบกระถิน (L)	31.67	5.50	สีเหลืองอมเขียว/ใบกระถินยังมีสีน้ำเงินเทา	กลิ่นเปรี้ยวของกรดแลคติค	++++
หมักยอดอ้อยกับใบมันสำปะหลัง (CH)	30.37	5.65	สีเหลืองอมเขียว/ใบมันสำปะหลังยังมีสีน้ำเงินเทา	กลิ่นเปรี้ยวของกรดแลคติค	++++
หมักยอดอ้อยกับใบกระถินและใบมันสำปะหลัง (L+CH)	32.84	5.35	สีเหลืองอมเขียว/ใบกระถินและใบมันสำปะหลังยังมีสีน้ำเงินเทา	กลิ่นเปรี้ยวของกรดแลคติค	++++

+++++ ชอบมากที่สุด, + ชอบน้อยที่สุด

➢ **ส่วนประกอบทางเคมี**

การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของยอดอ้อยมีดังนี้

การเปลี่ยนแปลงของ pH ตามระยะเวลาในการหมัก

ตารางที่ 12 แสดงค่า pH ของยอดอ้อยหมักในถังหมักแบบรีไซเคิลมีค่าแตกต่างกัน ดังนี้ ยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่สารเสริม มี pH ต่ำกว่ายอดอ้อยหมักในทรีทเมนต์อื่นๆ โดยเฉพาะยอดอ้อยหมักกับยูเรีย (1.5% ของน้ำหนักสด) มีค่า pH สูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยในช่วงการหมัก 3 เดือน คือ 7.67 และยอดอ้อยที่หมักกากน้ำตาลร่วมกับยูเรีย, ใบกระถิน, ใบมันสำปะหลัง และใบกระถินร่วมกับใบมันสำปะหลัง มีค่าเฉลี่ยของ pH เท่ากับ 6.50, 5.39, 5.14 และ 4.91 ตามลำดับ ซึ่งค่า pH ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่สารเสริมสอดคล้องกับปริมาณของไนโตรเจนที่เสริม และถ้าใช้แหล่งไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (non-protein nitrogen, NPN) ทำให้ค่า pH ค่อนข้างสูง และการเสริมแหล่งโปรตีน NPN ทำให้พืชหมักมีค่า pH สูงกว่าการเสริมแหล่งโปรตีนโดยใช้ใบพืช ถึงแม้ว่า pH ของยอดอ้อยหมักจะสูงก็ตาม แต่ยอดอ้อยหมักที่ได้ไม่มีการเน่าเสียแต่อย่างใดในทุกทรีทเมนต์

ตารางที่ 12. pH ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน

	ยอดอ้อยหมักกับสารเสริมต่างๆ					
เดือนที่หมัก	None	U	M+U	L	CH	L+CH
1	4.57d	7.63a	5.82b	5.23c	4.95cd	4.6d
2	4.85b	7.35a	6.72a	5.44b	4.81b	4.77b
3	4.87d	8.02a	7.02b	5.50cd	5.65c	5.35cd
ค่าเฉลี่ย	4.763c	7.667a	6.520b	5.390c	5.137c	4.907c

a, b, c, d means within treatment of same row with different superscript letters differ ($p<0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียตามระยะเวลาในการหมัก

ยอดอ้อยหมักในแต่ละทรีทเมนต์และในแต่ละเดือนของการหมักมีปริมาณแอมโมเนียแตกต่างกันในแต่ละทรีทเมนต์ และในแต่ละเดือนของการหมัก (ตารางที่ 13) โดยเฉพาะยอดอ้อยหมักใส่สารเสริมยูเรีย และกากน้ำตาลร่วมกับยูเรีย มีปริมาณแอมโมเนียสูงกว่ายอดอ้อยหมักในทรีทเมนต์อื่นๆ เนื่องจากยูเรียมีปริมาณไนโตรเจนที่สูงและมีการแตกตัวให้ได้แอมโมเนียอย่างรวดเร็วทำให้แอมโมเนียของยอดอ้อยหมักใส่สารเสริมยูเรีย และกากน้ำตาลกับยูเรียสูงกว่าทรีทเมนต์อื่นๆ ระยะเวลาในการหมัก 1 และ 2 เดือน มีค่าแอมโมเนียไม่แตกต่างกันแต่การหมักในเดือนที่ 3 มีค่าสูงกว่า สำหรับปริมาณแอมโมเนียมีค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์ เท่ากับ 6.68, 53.65, 64.25, 3.44, 3.94 และ 3.81 % of total N ตามลำดับ

ตารางที่ 13. แอมโมเนีย (NH_3-N, % of total N) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน

	ยอดอ้อยหมักกับสารเสริมต่างๆ					
เดือนที่หมัก	None	U	M+U	L	CH	L+CH
1	5.44b	48.01a	45.17a	3.75b	3.01b	3.71b
2	4.68cd	38.78b	49.44a	3.50de	1.53e	4.51c
3	9.91c	74.16b	98.15a	3.08d	7.28c	3.21d
ค่าเฉลี่ย	6.678a	53.654b	64.253b	3.442a	3.941a	3.808a

a, b, c, d means within treatment of same row with different superscript letters differ ($p<0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของกรดอะซิติคตามระยะเวลาในการหมัก

ยอดอ้อยหมักในแต่ละทรีทเมนต์และในแต่ละเดือนของการหมักมีปริมาณกรดอะซิติคแตกต่างกันในแต่ละทรีทเมนต์ และในแต่ละเดือนของการหมัก (ตารางที่ 14) โดยเฉพาะยอดอ้อยหมักใส่สารเสริมยูเรีย และกากน้ำตาลร่วมกับยูเรีย มีปริมาณกรดอะซิติคสูงกว่ายอดอ้อยหมักในทรีทเมนต์อื่นๆ กรดอะซิติคของยอดอ้อยหมักใส่สารเสริมยูเรีย และกากน้ำตาลกับยูเรียสูงกว่าทรีทเมนต์อื่นๆ และระยะเวลาในการหมักที่ 1 และ 2 เดือน มีค่ากรดอะซิติคไม่แตกต่างกัน แต่การหมักในเดือนที่ 3 มีค่าสูงกว่า สำหรับปริมาณกรดอะซิติคมีค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์เท่ากับ 0.44, 2.14, 1.26, 0.65, 0.55 และ 0.37 %DM ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ยอดอ้อยหมักทุกทรีทเมนต์มีกรดอะซิติคต่ำกว่า 2-3%DM ของมาตรฐานหญ้าหมักคุณภาพดี

ตารางที่ 14. กรดอะซิติค (acetic acid, % DM) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน

	ยอดอ้อยหมักกับสารเสริมต่างๆ					
เดือนที่หมัก	None	U	M+U	L	CH	L+CH
1	0.00	0.78	1.98	1.11	0.38	0.69
2	0.00	1.72	1.01	0.19	0.38	0.00
3	1.33	3.91	0.79	0.66	0.88	0.43
ค่าเฉลี่ย	0.44a	2.14b	1.26b	0.65a	0.55a	0.37a

a, b, c, d means within treatment of same row with different superscript letters differ ($p<0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของกรดบิวทิริคตามระยะเวลาในการหมัก

ยอดอ้อยหมักในแต่ละทรีทเมนต์และในแต่ละเดือนของการหมักมีปริมาณกรดบิวทิริคไม่แตกต่างกันในแต่ละทรีทเมนต์ และในแต่ละเดือนของการหมัก (ตารางที่ 15) สำหรับปริมาณกรดบิวทิริคมีค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์ เท่ากับ 0.43, 0.25, 0.19, 0.15, 0.26 และ 0.30%DM ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ยอดอ้อยหมักทุกทรีทเมนต์มีกรดบิวทิริคยังต่ำกว่า 0.5%DM ของมาตรฐานหญ้าหมักคุณภาพดี

ตารางที่ 15. กรดบิวทิริค (butyric acid, %DM) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน

	ยอดอ้อยหมักกับสารเสริมต่างๆ					
เดือนที่หมัก	None	U	M+U	L	CH	L+CH
1	0.32	0.11	0.26	0.29	0.38	0.15
2	0.00	0.10	0.06	0.07	0.18	0.63
3	0.99	0.54	0.27	0.08	0.22	0.13
ค่าเฉลี่ย	0.43	0.25	0.18	0.15	0.26	0.30

a, b, c, d means within treatment of same row with different superscript letters differ ($p<0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของวัตถุแห้งตามระยะเวลาในการหมัก

ยอดอ้อยหมักในถังหมักรีไซเคิลมีปริมาณวัตถุแห้ง ความแตกต่างกันในระหว่างทรีทเมนต์ แต่ในระยะเวลาของการหมักไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 16) ยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่สารเสริม มีวัตถุแห้งต่ำกว่ายอดอ้อยหมักในทรีทเมนต์อื่นๆ ส่วนวัตถุแห้งของยอดอ้อยหมักร่วมกับสารเสริมอื่นๆ มีค่าสูงกว่า โดยเฉพาะยอดอ้อยหมักกับใบ

กระถินร่วมกับใบมันสำปะหลัง อาจเป็นผลเนื่องจากยอดอ้อยมีการผึ่งลมทำให้มีความชื้นลดลงทำให้มีวัตถุแห้งสูงกว่าในยอดอ้อยหมักทรีทเมนต์อื่นๆ สำหรับค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้งของยอดอ้อยหมักในแต่ละทรีทเมนต์ เท่ากับ 23.65, 27.42, 24.89, 27.50, 29.11 และ 32.31% ตามลำดับ

ตารางที่ 16. วัตถุแห้ง (DM, %) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน

	ยอดอ้อยหมักกับสารเสริมต่างๆ					
เดือนที่หมัก	None	U	M+U	L	CH	L+CH
1	24.47c	26.13b	27.22b	26.33b	26.29b	33.56a
2	23.82b	28.52a	23.59b	24.5b	30.68a	30.53a
3	22.65b	27.61ab	23.86b	31.67a	30.37ab	32.84a
ค่าเฉลี่ย	23.65c	27.42ab	24.89c	27.50cb	29.11ab	32.31a

a, b, c, d means within treatment of same row with different superscript letters differ ($p<0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของเถ้าตามระยะเวลาในการหมัก

ยอดอ้อยหมักในแต่ละทรีทเมนต์และในแต่ละเดือนของการหมักมีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันในแต่ละทรีทเมนต์ และในแต่ละเดือนของการหมัก ยกเว้น ยอดอ้อยหมักใส่กากน้ำตาลกับยูเรียที่มีค่าสูงกว่าทรีทเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 17) เนื่องจากกากน้ำตาลมีปริมาณแร่ธาตุในปริมาณที่สูงทำให้เถ้าของยอดอ้อยหมักด้วยกากน้ำตาลกับยูเรียสูงกว่าทรีทเมนต์อื่นๆ สำหรับปริมาณเถ้า มีค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์เท่ากับ 6.25, 5.85, 8.54, 6.59, 7.54 และ 5.50% ตามลำดับ

ตารางที่ 17. เถ้า (Ash, %DM) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน

	ยอดอ้อยหมักกับสารเสริมต่างๆ					
เดือนที่หมัก	None	U	M+U	L	CH	L+CH
1	5.68c	6.72b	7.04ab	6.38bc	7.68a	5.81c
2	6.68c	5.45d	9.29a	7.55b	7.74b	5.78d
3	6.4ab	5.37b	9.3a	5.85b	7.2b	4.90b
ค่าเฉลี่ย	6.253cb	5.847c	8.543a	6.593bc	7.540ab	5.497c

a, b, c, d means within treatment of same row with different superscript letters differ ($p<0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนหยาบตามระยะเวลาในการหมัก

ยอดอ้อยหมักในแต่ละทรีทเมนต์และในแต่ละเดือนของการหมักมีปริมาณโปรตีนหยาบแตกต่างกันในแต่ละทรีทเมนต์ และในแต่ละเดือนของการหมัก โดยยอดอ้อยที่หมักอย่างเดียวมีระดับโปรตีนต่ำสุด (ตารางที่ 18) ส่วนในการใช้สารเสริมแหล่งโปรตีนทำให้ยอดอ้อยหมักที่ได้มีโปรตีนหยาบเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันและสูงกว่าในยอดอ้อยหมักไม่ใส่สารเสริมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การเสริมแหล่งโปรตีนทั้งจาก NPN หรือใบพืชทำให้ยอดอ้อยหมักมีโปรตีนหยาบเพิ่มขึ้นอีก 2-3% สำหรับปริมาณโปรตีนหยาบของแต่ละทรีทเมนต์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.68, 7.65, 7.47, 6.82, 7.53 และ 6.89% ตามลำดับ

ตารางที่ 18. โปรตีนหยาบ (CP, %) pH ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน

	ยอดอ้อยหมักกับสารเสริมต่างๆ					
เดือนที่หมัก	None	U	M+U	L	CH	L+CH
1	4.35b	6.89ab	8.90a	5.95ab	6.54ab	5.58ab
2	5.38a	8.14a	6.69a	6.78a	8.16a	7.26a
3	4.32b	8.01a	6.76a	7.26ab	7.11a	7.55ab
ค่าเฉลี่ย	4.683b	7.678a	7.452a	6.664a	7.269a	6.798a

a, b, c, d means within treatment of same row with different superscript letters differ ($p<0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของเยื่อใย NDF ตามระยะเวลาในการหมัก

ปริมาณเยื่อใย NDF ของยอดอ้อยหมักในแต่ละทรีทเมนต์และในแต่ละเดือนของการหมัก พบว่า ไม่แตกต่างกันในแต่ละทรีทเมนต์ และในแต่ละเดือนของการหมัก (ตารางที่ 19) การหมักยอดอ้อยด้วยกากน้ำตาลกับยูเรียมีแนวโน้มทำให้เยื่อใยของยอดอ้อยหมักลดลง ในขณะที่การเสริมใบพืชไม่มีผลต่อระดับเยื่อใย NDF ในยอดอ้อยหมักปริมาณเยื่อใย NDF มีค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์ เท่ากับ 80.75, 79.25, 76.88, 80.61, 80.33 และ 79.64% ตามลำดับ

ตารางที่ 19. เยื่อใย NDF (%DM) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน

	ยอดอ้อยหมักกับสารเสริมต่างๆ					
เดือนที่หมัก	None	U	M+U	L	CH	L+CH
1	78.72a	79.59a	78.39a	80.15a	81.48a	79.22a
2	82.91a	79.65ab	76.65a	79.89ab	81.27a	81.48a
3	80.61ab	78.52ab	75.60b	81.79a	78.23ab	78.22ab
ค่าเฉลี่ย	80.747	79.253	76.880	80.610	80.327	79.640

a, b, c, d means within treatment of same row with different superscript letters differ ($p<0.01$)

การเปลี่ยนแปลงของเยื่อใย ADF ตามระยะเวลาในการหมัก

ยอดอ้อยหมักในแต่ละทรีทเมนต์และในแต่ละเดือนของการหมักมีปริมาณเยื่อใย ADF ไม่แตกต่างกันในแต่ละทรีทเมนต์ และในแต่ละเดือนของการหมัก (ตารางที่ 20) ปริมาณเยื่อใย ADF มีค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์เท่ากับ 44.78, 44.64, 44.78, 44.06, 44.48 และ 43.92% ตามลำดับ

ตารางที่ 20. เยื่อใย ADF (%DM) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน

	ยอดอ้อยหมักกับสารเสริมต่างๆ					
เดือนที่หมัก	None	U	M+U	L	CH	L+CH
1	42.51a	42.30a	42.83a	42.31a	44.67a	43.14a
2	46.86a	48.12a	46.85a	44.24bc	43.41c	46.45ab
3	44.98a	43.49a	44.65a	45.63a	45.36a	42.18a
ค่าเฉลี่ย	44.780	44.637	44.777	44.060	44.480	43.923

a, b, c, d means within treatment of same row with different superscript letters differ ($p<0.01$)

การเปลี่ยนแปลงของไขมันตามระยะเวลาในการหมัก

ยอดอ้อยหมักในแต่ละทรีทเมนต์และในแต่ละเดือนของการหมักมีปริมาณไขมันที่แตกต่างกันในแต่ละทรีทเมนต์ ส่วนในแต่ละเดือนของการหมักไม่ผลต่อปริมาณไขมันในยอดอ้อยหมัก (ตารางที่ 21) การเสริมใบพืชทำให้ไขมันในยอดอ้อยหมักมีไขมันสูงขึ้น ในขณะที่การเสริมยูเรียไม่ทำให้ไขมันเปลี่ยนแปลง ปริมาณไขมันมีค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์ เท่ากับ 2.14, 2.01, 1.93, 2.52, 2.95 และ 2.35% ตามลำดับ

ตารางที่ 21. ไขมัน (%DM) ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่และใส่สารเสริมต่างๆ ตามระยะเวลาในการหมัก 1, 2, และ 3 เดือน

	ยอดอ้อยหมักกับสารเสริมต่างๆ					
เดือนที่หมัก	None	U	M+U	L	CH	L+CH
1	2.16a	1.78a	1.95a	3.03a	3.01a	2.72a
2	1.94a	2.33a	2.56a	2.59b	2.92b	2.1a
3	2.33ab	1.93bc	1.28c	1.93bc	2.91a	2.24ab
ค่าเฉลี่ย	2.143a	2.013a	1.930a	2.517ab	2.947b	2.353b

a, b, c, d means within treatment of same row with different superscript letters differ ($p<0.05$)

คุณภาพของยอดอ้อยหมัก

จากลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของยอดอ้อยที่ศึกษาในครั้งนี้ ยอดอ้อยหมักในทุกทรีทเมนต์ จัดอยู่ในคุณภาพชั้นดี และ ชั้นปานกลาง เมื่อใช้ข้อมูลในตารางที่ 5 และ 6 เปรียบเทียบ ดังนี้

คุณภาพดี	ยอดอ้อยหมักไม่ใส่สารเสริม (None)
	ยอดอ้อยหมักร่วมกับใบกระถิน (L)
	ยอดอ้อยหมักร่วมกับใบมันสำปะหลัง (CH)
	ยอดอ้อยหมักร่วมกับใบกระถินร่วมกับใบมันสำปะหลัง (L+CH)
คุณภาพปานกลาง	ยอดอ้อยหมักร่วมกับยูเรีย (U)
	ยอดอ้อยหมักร่วมกับกากน้ำตาลและยูเรีย (M+U)

เนื่องจากยอดอ้อยหมักในทุกทรีทเมนต์ที่ได้มีกรดบิวทิริคเกิดขึ้นน้อยมากและระดับแอมโมเนียในยอดอ้อยหมักก็ไม่สูงเกินกว่ามาตรฐานของพืชหมักคุณภาพดีที่กำหนดไว้ (NH_3 <10 % of total N) ยกเว้นในยอดอ้อยหมักที่หมักร่วมกับยูเรียและยอดอ้อยหมักร่วมกับกากน้ำตาลร่วมกับยูเรียที่มีระดับแอมโมเนียค่อนข้างสูง ซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องจากระดับยูเรียที่ใส่เสริมอยู่ในระดับที่สูง (1.5% โดยน้ำหนักสด) แต่ยอดอ้อยหมักของทั้ง 2 ทรีทเมนต์ ไม่มีส่วนที่เน่าในถังหมักรีไซเคิล

ต้นทุนการจัดทำยอดอ้อยหมัก

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้คำนวณต้นทุนการผลิตยอดอ้อยในถังหมักรีไซเคิลความจุประมาณ 70 กก. น้ำหนักสด รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 22 จากข้อมูลดังกล่าวต้นทุนการผลิตยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่สารเสริมเท่ากับ 1.28 บาท/กก. เมื่อมีการใส่สารเสริมต้นทุนการผลิตยอดอ้อยหมักเพิ่มขึ้นตามตามชนิดและปริมาณสารเสริม โดยยอดอ้อยหมักที่ใส่กากน้ำตาลร่วมกับยูเรียมีราคาสูงสุด (1.64 บาท/กก.) ส่วนการใส่ยูเรียหรือใบกระถินหรือใบมันสำปะหลังมีต้นทุนใกล้เคียงกัน (1.34-1.40 บาท/กก.) การจัดทำยอดอ้อยหมักในถังหมักรีไซเคิลมีต้นทุนที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากแรงงานที่ใช้ในการอัดและเหยียบย่ำยอดอ้อยให้แน่นในถังหมักต้องใช้แรงงานมากและใช้เวลาประมาณ 20-30 นาทีต่อถัง

ตารางที่ 22. ต้นทุนการผลิตยอดอ้อยหมักโดยคำนวณสำหรับยอดอ้อยหมัก 70 กก. น้ำหนักสด

	ยอดอ้อยหมักกับสารเสริมต่างๆ					
รายการ	None	U	M+U	L	CH	L+CH
ยอดอ้อย (500 บาท/ตัน)	35	35	35	35	35	35
ยูเรีย (8 บาท/กก.)		8.4	8.4			
กากน้ำตาล (3 บาท/กก.)			16.8			
ใบกระถิน (1 บาท/กก.)				7		3.5
ใบมันสำปะหลัง (1 บาท/กก.)					7	3.5
ถังหมักรีไซเคิล (340 บาท/ถัง)	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
ค่าแรง[1] (450 บาท/วัน)	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20	32.20
ค่าขนส่ง	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
ค่าสับยอดอ้อย	5	5	5	5	5	5
รวม	89.5	97.9	114.7	96.5	96.5	96.5
ต้นทุนต่อ กก. น้ำหนักสด (บาท)	1.28	1.40	1.64	1.34	1.34	1.34
ต้นทุนต่อ กก.น้ำหนักแห้ง (บาท)	5.20	5.11	6.59	4.87	4.60	4.15

[1] แรงงานจำนวน 3 คน อัดยอดอ้อยได้จำนวน 8 ถังต่อวัน

วิจารณ์ผลการศึกษา

จากการเปลี่ยนแปลง pH ของยอดอ้อยหมักในระยะเวลาของการหมัก 1, 2 และ 3 เดือน พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกทรีทเมนต์ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ อาจจะกล่าวได้ว่ากระบวนการหมักเกิดอย่างสมบูรณ์หลังจากหมักยอดอ้อยได้นาน 30 วัน ค่า pH ของยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่สารเสริมมีค่าต่ำกว่ายอดอ้อยหมักทรีทเมนต์อื่นๆ ส่วนการใส่สารเสริมยูเรียมีค่า pH ของยอดอ้อยหมักสูงสุด เช่นเดียวกับที่ สุรเดช (2537) รายงานไว้ และสอดคล้องกับที่ Yunus et al. (2000) ได้ทดลองหมักหญ้าเนเปียร์ใส่สารเสริมยูเรียและกากน้ำตาล พบว่า การใส่ยูเรียทำให้ pH ของหญ้าเนเปียร์หมักมีค่าสูงสุด (7.55) แต่เมื่อใช้ร่วมกับกากน้ำตาล หญ้าเนเปียร์หมักจะมีค่า pH ที่ลดลง เช่นเดียวกับ Boodoo et al. (1977) ที่หมักยอดอ้อยร่วมกับยูเรียและกากน้ำตาล (pH 6.1) ทำให้ pH ของยอดอ้อยหมักมีค่าสูงกว่ายอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่สารเสริม (pH 4.2) ส่วน ไพบูลย์ และคณะ (2546, เอกสารยังไม่ตีพิมพ์) รายงานว่ายอดอ้อยหมักมีค่า pH เท่ากับ 3.80 ต่ำกว่าการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งอาจจะเป็นเพราะว่าความชื้นของยอดอ้อยหมักที่นำมาหมัก (Muck, 1988) รวมทั้งอายุของยอดอ้อยด้วย อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ pH ของยอดอ้อยหมักจะมีค่าที่สูง แต่พบว่าการเน่าเสียและเชื้อราเกิดขึ้นน้อยมากจนเกือบไม่มีเลย นอกจากนี้ เปอร์เซ็นต์โปรตีนหยาบในยอดอ้อยหมักที่สูงมีผลต่อค่า pH ของยอดอ้อยหมักด้วย

ตารางที่ 23. สรุปองค์ประกอบทางเคมีของยอดอ้อยหมักไม่ใส่สารเสริมและใส่สารเสริมในแบบต่างๆ

ยอดอ้อยหมักกับสารเสริมต่างๆ	pH	DM	Ash	CP	EE	NDF	ADF
		%	---------- % DM ----------				
None	4.76	23.65	6.25	4.68	2.14	80.75	44.78
U	7.67	27.42	5.85	7.68	2.01	79.25	44.64
M+U	6.52	24.89	8.54	7.45	1.93	76.88	44.78
L	5.39	27.50	6.59	6.66	2.52	80.61	44.06
CH	5.14	29.11	7.54	7.27	2.95	80.33	44.48
L+CH	4.91	32.31	5.50	6.80	2.35	79.64	43.92

สำหรับวัตถุแห้งยอดอ้อยหมักมีค่าระหว่าง 23.65-32.31% อยู่ในช่วงเดียวกับที่ Naseeven (1988) รายงานไว้ อย่างไรก็ตาม ความแปรปรวนที่เกิดขึ้น เนื่องจากการจัดทำยอดอ้อยหมักต้องใช้เวลาในการทำ 2-3 วัน อาจทำให้ความชื้นของยอดอ้อยหมักสูญเสียไปบ้างในยอดอ้อยหมักร่วมกับใบพืช

ส่วนเถ้าของยอดอ้อยหมักใกล้เคียงกัน ยกเว้นยอดอ้อยหมักร่วมกับกากน้ำตาลกับยูเรีย เถ้าที่เพิ่มขึ้นน่าจะมาจากกากน้ำตาลที่มีแร่ธาตุอยู่ค่อนข้างสูง ยอดอ้อยหมักมีเถ้าต่ำกว่า Naseeven (1988) และ สุรเดช (2537) ที่รายงานไว้ แต่ใกล้เคียงกับยอดอ้อยสดและยอดอ้อยหมัก ที่รายงานไว้โดย Kawashima et al. (2000) และ ไพบูลย์ และคณะ (2546, เอกสารยังไม่ตีพิมพ์) ตามลำดับ

โปรตีนหยาบในยอดอ้อยหมักไม่ใส่สารเสริมมีค่าใกล้เคียงกับยอดอ้อยสดที่รายไว้โดย Kawashima et al. (2000) ที่ 4.4% และไมตรี (2533) (5.9%) แต่ต่ำกว่ายอดอ้อยหมักที่รายงานไว้โดย สุรเดช (2537) (7.08%) ส่วนไมตรี (2533) พบเช่นเดียวกันว่า การหมักยอดอ้อยด้วยยูเรีย (1-5% ของน้ำหนักแห้ง) ทำให้ยอดอ้อยมีโปรตีนหยาบเพิ่มขึ้น 35.6-72.9% ในขณะที่ สุรเดช (2537) หมักยอดอ้อยด้วยยูเรียในสัดส่วน 0.6% โดยน้ำหนักสด ทำให้ยอดอ้อยมีโปรตีนเพิ่มขึ้น 49.3% ส่วนการใส่สารเสริมที่เป็นแหล่งโปรตีนจากไนโตรเจนไม่ใช่โปรตีนแท้ (ยูเรีย) หรือ จากใบพืช พบว่า เพิ่มระดับโปรตีนหยาบในยอดอ้อยหมักขึ้นอีก 54% ต่ำกว่าที่ ไพบูลย์ และคณะ (2546, เอกสารยังไม่ตีพิมพ์) ใช้แหล่งโปรตีนจากใบมันสำปะหลังเสริม 10% w/w ในการหมักหญ้าคา สามารถเพิ่มระดับโปรตีนสูงขึ้นถึง 102.5%

ไขมันของยอดอ้อยหมักทุกทรีทเมนต์อยู่ในช่วง 1.95-2.95% ซึ่งสูงกว่าค่ายอดอ้อยสดที่รายงานไว้โดย Kawashima et al. (2000) วารุณี และ วลัยกานต์ (2541) และสูงกว่าในยอดอ้อยหมักที่รายงานไว้โดย ไพบูลย์ และคณะ (2546, เอกสารยังไม่ตีพิมพ์)

การหมักยอดอ้อยในทุกทรีทเมนต์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเยื่อใย NDF และ ADF ค่าเยื่อใยที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับยอดอ้อยสดที่รายงานไว้โดย Kawashima et al. (2000) แต่สูงกว่าในยอดอ้อยหมักที่รายงานไว้โดย ไพบูลย์ และคณะ (2546, เอกสารยังไม่ตีพิมพ์) เยื่อใยที่สูงในยอดอ้อยหมักอาจมีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ของโคนม (ฉลอง, 2541) กระบวนการหมักของยอดอ้อยในถังหมักไม่มีการย่อยสลายของเยื่อใยที่เกิดขึ้น แต่การหมักยอดอ้อยอาจช่วยให้การย่อยสลายของเยื่อใยในตัวสัตว์ ซึ่ง Chin et al. (2001) ทำการหมักใบอ้อยด้วยกากน้ำตาลหรือยูเรีย พบว่า การหมักใบอ้อยด้วยกากน้ำตาลหรือยูเรียเพิ่มการย่อยสลายเยื่อใยในกระเพาะรูเมนของโค เช่นเดียวกันกับที่ ไมตรี (2533) ได้ศึกษาการหมักยอดอ้อยด้วยยูเรีย ทำให้ยอดอ้อยหมักมีการย่อยสลายของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุและโปรตีน เช่นเดียวกับที่ สุรเดช (2537) รายงานไว้ นอกจากนี้ Chin et al. (2001) ได้ทดลองในโคนมพบว่า การหมักใบอ้อยด้วยกากน้ำตาลหรือยูเรียสามารถเพิ่มปริมาณการกินได้ และ การย่อยได้ของวัตถุแห้ง เยื่อใยและอินทรียวัตถุ เมื่อเทียบกับใบอ้อยตากแห้ง

แอมโมเนียในพืชหมักเป็นค่าวิเคราะห์ทางเคมีค่าหนึ่งที่สามารถใช้บ่งบอกถึงคุณภาพของพืชหมักได้เช่นเดียวกัน Hutton (2002) ได้แบ่งคุณภาพพืชหมักที่มีแอมโมเนียต่ำกว่า 10% ของไนโตรเจนทั้งหมด จัดว่าเป็นพืชหมักคุณภาพดี ถ้าแอมโมเนียอยู่ระหว่าง 10-15% ของไนโตรเจนทั้งหมด จัดว่าเป็นพืชหมักคุณภาพปานกลาง และถ้าแอมโมเนียสูงว่า 15% ของไนโตรเจนทั้งหมด จัดว่าเป็นพืชหมักคุณภาพไม่ดี ยอดอ้อยหมักในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ยอดอ้อยหมักไม่ใส่สารเสริมและยอดอ้อยหมักที่ใส่ใบกระถิน, ใบมันสำปะหลังและใบกระถินร่วมกับใบมันสำปะหลัง มีแอมโมเนียต่ำกว่า 10% ของไนโตรเจนทั้งหมด จึงจัดได้ว่ายอดอ้อยหมักดังกล่าวมีคุณภาพดี แต่ยอดอ้อยหมักใส่ยูเรียและกากน้ำตาลกับยูเรีย มีแอมโมเนียสูงมาก ซึ่งเป็นผลจากการใส่ยูเรียในปริมาณที่สูง (1.5% w/w) ทำให้ยูเรียถูกเปลี่ยนให้เป็นแอมโมเนียอย่างรวดเร็ว แต่ทำให้โปรตีนหยาบในยอดอ้อยหมักเพิ่มขึ้นไม่มากนักจาก 4.68 เป็น 7.67% Yunus et al. (2000) พบว่า ระดับการใส่สารเสริมกากน้ำตาลที่ 5% และยูเรียที่ 0.6% เป็นระดับที่เหมาะสมในการทำหญ้าเนเปียร์หมัก ซึ่งไม่ทำให้แอมโมเนียในหญ้าเนเปียร์สูงเกินกว่า 10% ของไนโตรเจนทั้งหมด และทำให้หญ้าเนเปียร์หมักมีโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 7.8 เป็น 14.5%

ผลผลิตของกรดจากกระบวนการหมักของยอดอ้อยหมักในการศึกษานี้ พบว่า ทั้งกรดอะซิติคและกรดบิวทิริค มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของหญ้าหมักคุณภาพดี (1-3%DM และ 0.5-1.0%DM) (Kung and Shaver, 2001) อย่างไรก็ตาม การหมักยอดอ้อยแล้วเสริมยูเรีย พบว่า กรดอะซิติคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับของแอมโมเนียในยอดอ้อยหมัก สอดคล้องกับการทดลองของ Yunus et al. (2000) ที่ทดลองในหญ้าเนเปียร์หมัก แต่เมื่อเติมกากน้ำตาลจะช่วยลดการผลิตกรดอะซิติคในหญ้าหมัก Kung and Shaver (2001) กล่าวว่าแอมโมเนียในพืชหมักที่เพิ่มจากการใส่สารเสริม ทำให้กรดอะซิติคเพิ่ขึ้น เนื่องจากทำให้ pH ของพืชหมักมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนกรดบิวทิริค ซึ่งแสดงถึงผลผลิตของการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม คลอสทริเดียม มีปริมาณต่ำในยอดอ้อยหมักในการศึกษาครั้งนี้ แสดงว่า การหมักยอดอ้อยในถังหมักรีไซเคิล ทำให้ยอดอ้อยที่ได้มีคุณภาพดี

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การหมักยอดอ้อยเป็นแนวทางหนึ่งในการเก็บถนอมยอดอ้อยเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับโคนมได้ มีคุณค่าทางโภชนะที่ดีพอควร ยอดอ้อยหมักมีความน่ากินสำหรับโคนม ถึงแม้ว่าระดับโปรตีนหยาบในยอดอ้อยจะมีค่าต่ำเพียง 4.68% ก็ตาม แต่สามารถเพิ่มระดับโปรตีนในยอดอ้อยหมักได้โดยใช้แหล่งโปรตีนอื่นๆ เสริมในระหว่างการหมัก เช่น ใบพืชที่มีโปรตีนสูง เป็นต้น ทำให้โปรตีนหยาบของยอดอ้อยเพิ่มขึ้นอีก 2-3% หรือเสริมแหล่งโปรตีนในระหว่างการให้อาหารสำหรับโคนม

การนำไปใช้ประโยชน์

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ ศึกษาเฉพาะในส่วนของการหมักและองค์ประกอบทางเคมีของยอดอ้อย ไม่ได้ทดสอบถึงการใช้ประโยชน์ได้ในโคนม ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ จึงยังไม่สามารถสรุปถึงศักยภาพที่แท้จริงในการ

ใช้ยอดอ้อยหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนม อย่างไรก็ตาม จากข้อมูลการศึกษาในครั้งนี้สามารถที่จะกล่าวถึงแนวทางการใช้ประโยชน์ของยอดอ้อยหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบโคนม

จากองค์ประกอบทางเคมีของยอดอ้อยหมัก สามารถนำมาประเมินถึงปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของวัตถุแห้งและคุณค่าทางโภชนะสัมพันธ์ (relative feed value, RFV) (Grant et al., 1997) ดังแสดงในตารางที่ 24, 25 และ 26

ยอดอ้อยหมักจากการประเมินโดยใช้ค่าเยื่อใย NDF พบว่า ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (dry matter intake, DMI) ของยอดอ้อยหมักประมาณ 1.49-1.56%BW ส่วนความสามารถการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (digestible dry matter, DDM) ของยอดอ้อยหมักที่ประเมินโดยใช้ ADF เฉลี่ยเท่ากับ 54% (54.01-54.68%) ซึ่งใกล้เคียงกับที่ Kevelenge et al. (1983) ได้ทดลองการย่อยได้ของยอดอ้อยในแกะ

ส่วนคุณค่าทางโภชนะสัมพันธ์ มีค่าประมาณ 62.28-65.35% ถือว่าค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับถั่วอัลฟัลฟ่าแห้งในช่วงออกดอกเต็มที่ที่มีค่า RFV เท่ากับ 100% แต่เมื่อเทียบกับ RFV ของแหล่งอาหารหยาบอื่นๆ ในเขตร้อนมีค่าที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 27) ดังนั้น ยอดอ้อยหมัก น่าจะมีศักยภาพที่จะใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบหลักสำหรับโคนมในประเทศไทย

ตารางที่ 24. ค่าประเมินปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง (dry matter intake, %BW) ของยอดอ้อยหมักโดยใช้ค่า NDF

	ยอดอ้อยหมักกับสารเสริมต่างๆ					
เดือนที่หมัก	non	U	M+U	L	CH	L+CH
1	1.52	1.51	1.53	1.50	1.47	1.51
2	1.45	1.51	1.57	1.50	1.48	1.47
3	1.49	1.53	1.59	1.47	1.53	1.53
ค่าเฉลี่ย	1.49	1.51	1.56	1.49	1.49	1.51

DMI (%BW) = 120/NDF (Grant et al., 1997)

ตารางที่ 25. ค่าประเมินความสามารถการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (digestible dry matter, %) ของยอดอ้อยหมักโดยใช้ค่า ADF

	ยอดอ้อยหมักกับสารเสริมต่างๆ					
เดือนที่หมัก	non	U	M+U	L	CH	L+CH
1	55.79	55.95	55.54	55.94	54.10	55.29
2	52.40	51.41	52.40	54.44	55.08	52.71
3	53.86	55.02	54.12	53.35	53.56	56.04
ค่าเฉลี่ย	54.02	54.13	54.01	54.58	54.25	54.68

DDM (%) = 88.9 – (0.779*%ADF) (Grant et al., 1997)

ตารางที่ 26. ค่าประเมินคุณค่าทางโภชนะสัมพันธ์ (relative feed value, %) ของยอดอ้อยหมักโดยใช้ค่าประเมินปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของวัตถุแห้ง

เดือนที่หมัก	ยอดอ้อยหมักกับสารเสริมต่างๆ					
	non	U	M+U	L	CH	L+CH
1	65.91	65.37	65.89	64.91	61.75	64.91
2	58.77	60.03	63.58	63.37	63.03	60.17
3	62.14	65.17	66.57	60.67	63.68	66.63
ค่าเฉลี่ย	62.28	63.53	65.35	62.98	62.82	63.90

RFV = DMI * DDM/1.29 (Grant et al., 1997)

ตารางที่ 27. เปรียบค่าโภชนะสัมพันธ์ของแหล่งอาหารหยาบในเขตร้อนจากองค์ประกอบเยื่อใย

ชนิดอาหารหยาบ[1]	ADF[1]	NDF[1]	DDM[2]	DMI[3]	RFV[4]
	--------- %DM -------			%BW	
ฟางข้าว	51.1	73.0	1.64	49.1	62.4
เปลือกและไหมข้าวโพดฝักอ่อน	34.8	75.2	1.60	61.8	76.7
ต้นข้าวโพดฝักอ่อน	37.4	61.7	1.94	59.8	89.9
ต้นข้าวโพดหวาน	48.1	68.2	1.76	51.4	70.1
ซังข้าวโพด	33.6	71.8	1.67	62.7	81.2
เปลือกสับปะรด	23.4	43.9	2.73	70.7	149.6
ยอดอ้อยสด	44.5	71.3	1.68	54.2	70.6
หญ้ารูซี่	34.1	61.8	1.94	62.3	93.7
หญ้าขน	41.9	64.6	1.86	56.3	81.2
หญ้าเนเปียร์	41.1	65.7	1.83	56.9	80.7
หญ้ากินนีสีม่วง	44.5	70.3	1.71	54.3	72.0

[1] วารุณี และ วลัยกานต์ (2541)

[2] DDM (%) = 88.9-(0.779*ADF,%) (Grant et al., 1997)

[3] DMI (%BW) = 120/NDF (Grant et al., 1997)

[4] RFV = DMI * DDM/1.29 (Grant et al., 1997)

Grant et al. (1997) ได้กล่าวถึงการประเมินคุณภาพของอาหารหยาบในการใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ได้แสดงความสัมพันธ์ของค่า RFV, DDM, DMI, NDF และ ADF ที่ควรใช้สัตว์เคี้ยวเอื้องในแต่ละระยะการให้ผลผลิต (ตารางที่ 28) จากข้อมูลดังกล่าว ยอดอ้อยหมัก จัดว่าเป็นอาหารหยาบคุณภาพต่ำในการนำใช้เพื่อเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนม จำเป็นที่จะต้องมีการใช้อาหารเสริมแหล่งพลังงานและโปรตีน เพื่อให้โคนมได้รับโภชนะที่เพียงพอกับความต้องการของโคนมในแต่ระยะของการให้ผลผลิตของโคนม ถึงแม้ว่ายอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่สารเสริม มีโปรตีนหยาบต่ำกว่า 7% ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อปริมารการกินได้ของยอดอ้อยหมัก เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ส่วนยอดอ้อยหมักที่มีการใช้สารเสริมทุกทรีทเมนต์มีโปรตีนหยาบ (~7%) ใกล้เคียงกับความต้องการของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (ฉลอง, 2541)

ตารางที่ 28. ความสัมพันธ์ของ RFV, DDM, DMI, NDF และ ADF สำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

	ADF	NDF	DDM	DMI	RFV
	---------- %DM -------			%BW	
ดีมากกสำหรับโคนม, โคนมที่ให้ผลผลิตสูง	<31	<40	>65	>3.0	>151
ดีสำหรับโคนม, โคสาวทดแทน, โคเนื้อหลังหย่านม	31-35	40-46	62-65	2.6-3.0	125-151
ดีสำหรับโคเนื้อ, โคสาว, โคนม	36-40	47-53	58-61	2.3-3.5	103-124
สำหรับการดำรงชีพของโคเนื้อและโคนมแห้งนม	41-42	54-60	56-57	2.0-2.2	87-102
คุณภาพต่ำ*	43-45	61-65	53-55	1.8-1.9	75-86

* จำเป็นต้องมีการเสริมแหล่งพลังงานรวมทั้งโภชนะอื่นๆ ด้วย

ที่มา: Grant et al. (1997)

การนำยอดอ้อยหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนม นอกจากจะคำนึงถึงคุณค่าทางโภชนะของยอดอ้อยหมักแล้ว จะต้องคำนึงถึงการลงทุนและผลตอบแทนทั้งด้านการให้ผลผลิตของตัวโคนมและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจทั้งผู้ผลิตและเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมด้วย

อาหารหยาบที่ใช้เลี้ยงโคนมในปัจจุบัน นอกเหนือจากหญ้าสดที่เกษตรกรใช้อยู่แล้ว เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมยังมีการใช้ฟางข้าว เปลือกและไหมข้าวโพดฝักอ่อน ต้นข้าวโพดฝักอ่อน และต้นข้าวโพดหมัก ซึ่งมีต้นทุนที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 29 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าอาหารหยาบชนิดต่างๆ พบว่า เปลือกสับปะรด มีต้นทุนของอาหารหยาบต่ำสุด (1.3 บาท/กก.น้ำหนักแห้ง) และข้าวโพดหมักเชิงพาณิชย์สูงสุด (6 บาท/กก.น้ำหนักแห้ง) ถึงแม้ว่าเปลือกสับปะรดมีราคาถูกแต่ปัญหาในการใช้เปลือกสับปะรด ทำให้โคนมที่ปริมาณการกินได้ลดลง เนื่องจากมีพลังงานสูงและเยื่อใยต่ำ โคนมมีปัญหาด้านสุขภาพและองค์ประกอบน้ำนมมีของแข็งไม่รวมไขมัน (solids-not fat, SNF) ต่ำ สำหรับต้นทุนของยอดอ้อยหมักในการศึกษาครั้งนี้อยู่ระหว่าง 5.20-6.59 บาท/กก.น้ำหนักแห้ง แต่เมื่อคำนึงถึงการจัดทำยอดอ้อยในเชิงพาณิชย์อาจจะสามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้ ถ้าต้นทุนการผลิตของยอดอ้อยหมักไม่เกิน 1.2 บาท/กก.น้ำหนักสด ที่ 30 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง

ตารางที่ 29. ต้นทุนแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนมที่คิดเป็นต้นทุนต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง

รายการ	ฟางข้าว	เปลือกและไหมข้าวโพดฝักอ่อน	ต้นข้าวโพดฝักอ่อน	ต้นข้าวโพดหมัก[2]	เปลือกสับปะรด[1]	หญ้าสด
วัตถุแห้ง (%)	92.9	17.2	26.7	30	10	21.0
ราคา ต่อ กก.น้ำหนักสด	1.86	1	1	1.8	0.13	0.3
ราคา ต่อ กก.วัตถุแห้ง	2.02	5.81	3.74	6.0	1.3	1.43

[1] เปลือกสับปะรด 2000 บาท/15 ตัน

[2] ต้นข้าวโพดหมักขายในเชิงพาณิชย์ 1.8-2.0 บาท/กก.น้ำหนักสด

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษารูปแบบการหมักยอดอ้อยด้วยทรีทเมนต์ต่างๆ เพื่อเพิ่มระดับโปรตีนหยาบและความเป็นไปได้ในการถนอมยอดอ้อยไว้ใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับโคนม สามารถสรุปได้ดังนี้

- การหมักยอดอ้อยในถังหมักรีไซเคิลสามารถหมักยอดอ้อยให้มีคุณภาพทางกายภาพที่ดี มีการเน่าเสียน้อยมากหรือไม่มีเลยขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการอัดแน่นของยอดอ้อยสับในถังหมักและการปิดฝาถังให้สนิท
- ระยะเวลาในการหมักมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีน้อย แต่ระยะเวลาในการหมักที่นานขึ้น (3 เดือน) ทำให้ยอดอ้อยหมักมีลักษณะทางกายภาพที่ดีกว่าระยะเวลาในการหมักน้อย (1 เดือน)
- ยอดอ้อยหมัก โดยไม่ใส่สารเสริม มีลักษณะทางกายภาพที่ดีกว่าการใช้ยูเรีย หรือ กากน้ำตาลร่วมกับยูเรียเสริมในการหมัก แต่ไม่แตกต่างจากการใช้ใบพืชเสริมในการหมัก
- ยอดอ้อยหมัก โดยไม่ใส่สารเสริม มีวัตถุแห้ง 23.65% ส่วนการเสริมแหล่งโปรตีนจาก ยูเรียหรือจากใบพืชมีระดับวัตถุแห้งเป็น 27.42-32.31% ถือว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมในการใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนม แต่การใช้กากน้ำตาลกับยูเรียเสริมไม่ทำให้วัตถุแห้งของยอดอ้อยหมักลดลง (24.89%)
- แอมโมเนียในยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่สารเสริม ใส่สารเสริมใบพืชมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 10% of total N ต่ำกว่ายอดอ้อยหมักที่ใส่ยูเรีย และกากน้ำตาลกับยูเรีย ที่มีค่าสูงถึง 53.64 และ 64.15 % of total N
- กรดอะซิติคและกรดบิวทิริคของยอดอ้อยหมักของทุกทรีทเมนต์มีค่า 0.37-2.16 และ 0.18-0.45%DM ต่ำกว่าค่ามาตรฐานของหญ้าหมักคุณภาพดี (2-3 และ 0.5%DM)
- ยอดอ้อยหมัก โดยไม่ใส่สารเสริม มีโปรตีนหยาบ 4.68% ส่วนการเสริมแหล่งโปรตีนจาก ยูเรียหรือจากใบพืช สามารถเพิ่มระดับโปรตีนหยาบ เป็น 6.66-7.68% ถือว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมในการใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนม
- ยอดอ้อยหมักทั้งการไม่ใส่สารเสริมหรือใส่สารเสริม มีเยื่อใย NDF และ ADF ไม่แตกต่างกัน อยู่ระหว่าง 76.88-80.75% และ 43.92-44.78% ตามลำดับ
- ยอดอ้อยหมักร่วมกับกากน้ำตาลกับยูเรีย ทำให้มีเถ้าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่ายอดอ้อยหมักไม่ใส่สารเสริมหรือใส่สารเสริมอื่นๆ
- ปริมาณไขมันในยอดอ้อยหมักมีค่าอยู่ระหว่าง 1.93-2.95%
- ต้นทุนการผลิตยอดอ้อยหมัก ในการศึกษาครั้งนี้อยู่ระหว่าง 1.28-1.64 บาทต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ยอดอ้อยหมักไม่ใส่สารเสริมมีต้นทุนการผลิตต่ำสุด (1.28 บาท/กก.) และยอดอ้อยหมักใส่กากน้ำตาลร่วมกับยูเรียมีต้นทุนการผลิตสูงสุด (1.64 บาท/กก.)

ยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่สารเสริม ถึงแม้ว่าจะมีโปรตีนหยาบต่ำ (4.68%) และมีเยื่อใย NDF และ ADF สูง (80.75 และ 44.78%) และการใช้สารเสริมจะช่วยเพิ่มระดับโปรตีนหยาบก็ตาม ยอดอ้อยหมักที่ไม่ใส่สารเสริมมีคุณสมบัติทางกายภาพ มีความน่ากินดีกว่ายอดอ้อยหมักที่ใส่สารเสริม ประกอบกับความยุ่งยากในการจัดเตรียมและกระบวนการทำยอดอ้อยหมัก เช่น การผสมสารเสริมกับยอดอ้อยสับ การจัดเก็บใบกระถิน และใบมันสำปะหลัง โดยเฉพาะในระดับการผลิตยอดอ้อยเพื่อการพาณิชย์

ยอดอ้อยหมักน่าจะมีศักยภาพที่จะใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโคนมได้ดี แต่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนการใช้ประโยชน์จากตัวสัตว์ เพื่อให้ได้ข้อมูลการตอบสนองที่แท้จริงจากการใช้ยอดอ้อยหมักเป็นอาหารหยาบสำหรับโคนม อย่างไรก็ตาม จากข้อจำกัดของการใช้ยอดอ้อยดังกล่าว จะต้องพิจารณาถึงข้อดีและข้อจำกัด

ควบคู่กันเพื่อจะสามารถนำไปสู่การนำใช้ประโยชน์ของยอดอ้อยเป็นอาหารหยาบสำหรับโคนมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการผลิตยอดอ้อยหมักในเชิงพาณิชย์ สิ่งที่ควรจะต้องพิจารณา มีดังนี้

- กระบวนการทำยอดอ้อยหมัก
  - ควรใช้ยอดอ้อยที่มีความชื้นระหว่าง 65-70% ยอดอ้อยที่มีความชื้นสูง อาจต้องนำยอดอ้อยมาผึ่งลมก่อน 1-2 วัน หรือทำการหมักหลังจากเก็บรวบรวม 1-2 วัน
  - ควรสับยอดอ้อยให้มีขนาดเล็กต่ำกว่า 2 นิ้ว จะทำให้ยอดอ้อยสามารถอัดได้แน่นขึ้น อาจช่วยให้กระบวนการหมักและคุณภาพของยอดอ้อยหมักดีขึ้น
  - อาจใช้สารเสริมแหล่งโปรตีน (ถ้าสามารถทำได้ เช่น ใบพืช เป็นต้น) หรือ จุลินทรีย์กลุ่ม LAB เสริมในหมักยอดอ้อย

- ต้นทุนการผลิตยอดอ้อยหมัก

ต้นทุนยอดอ้อยหมักไม่ควรเกิน 1-1.2 บาทต่อกก.น้ำหนักสด ที่ 30%DM (3.3-4 บาท/กก.น้ำหนักแห้ง) เพื่อที่จะสามารถแข่งขันกับแหล่งอาหารหยาบอื่นๆ ได้ ดังนั้น การจัดทำยอดอ้อยหมัก จะต้องพิจารณาถึง

  - รูปแบบการหมักยอดอ้อยให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น เช่นทำไซโลคอนกรีตขนาด 1-5 ตัน เมื่อหมักยอดอ้อยได้คุณภาพที่ต้องการสามารถแบ่งบรรจุในถุงพลาสติกเพื่อสะดวกต่อจำหน่ายและการขนย้ายสู่เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมต่อไป
  - ต้นทุนของยอดอ้อยที่นำมาทำยอดอ้อยหมักไม่ควรเกินกว่า 500 บาทต่อตัน
  - ลดต้นทุนด้านแรงงาน โดยเพิ่มขนาดของการผลิตให้เหมาะสม
  - ลดต้นทุนค่าขนส่ง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเคลื่อนย้ายยอดอ้อยถึงแหล่งผลิต ซึ่งไม่ควรห่างกันมากนัก

- การวิจัยในอนาคต
  - ควรมีการศึกษาการใช้สารเสริมที่เหมาะสมต่อการผลิตยอดอ้อยหมักที่มีคุณภาพดีสำหรับโคนม
  - ควรมีการศึกษาการตอบสนองในตัวโคนม เพื่อจัดสัดส่วนการให้อาหารสำหรับโคนมที่ได้รับยอดอ้อยหมักเป็นอาหารหยาบหลัก
  - สร้างเครือข่าย เกษตรกรชาวไร่อ้อย โรงงานน้ำตาล และเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม ในการวางระบบการผลิตยอดอ้อยหมักในเชิงพาณิชย์อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

ฉลอง วชิราภากร. 2541. โภชนศาสตร์และการให้อาหารเคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ไมตรี ศรีตระกูลเพชร. 2533. องค์ประกอบทางเคมีและความสามารถในการย่อยสลายของยอดอ้อยในกระเพาะหมักของโคและกระบือ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สายชิม แสงโชติ, สมศักดิ์ สืบสุข, เลิศ ศรีเอียง, และชาญชีย มณีดุลย์. 2529. โครงการศึกษาอ้อยสำหรับโคนม: การศึกษาคุณภาพและปริมาณน้ำนมเมื่อใช้อ้อยเป็นอาหารหยาบในฤดูแล้ง. หน้า 293-303. ใน:รายงานประจำปี 2530 กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์.

ศูนย์สถิติการเกษตร. 2544. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2543/2544. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร.

สุรเดช พลเสน. 2537. อิทธิพลของปุ๋ยยูเรียต่อคุณภาพยอดอ้อยหมัก. แก่นเกษตร 22:43-47.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2547. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2543/2545. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร.

AOAC. 1975. Official Methods of Analysis. 12th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.

Bremner. J.M., and D.R. Keeney. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium nitrate and nitrite. Anal Chim Acta. 32:485.

Boodoo, A.A., J.C. Delaitre and T.R. Preston. 1977. Ensiling sugar cane tops with different additives. Trop. Anim. Prod. 2:185-188.

Chin, B.V., L.V. Ly, N.H. Tao, N.V. Hai and T.B. Ngoc. 2001.Effect of drying, ensiling or urea-treatment on the use of sugarcane leaves as ruminant feed. In: Proceedings –Workshop on Improved Utilization of by-products for Animal Feeding in Vietnam. National Institute of Animal Husbandry, Hanoi.

Devendra, C. 1981. Non-conventional feed resources in the S.E. Asian region. Wld. Rev. Prod. 17:65.

Elferink, S.J.W.H., F. Driehuis, J.C. Gottschal and S.F. Spoelstra. 2000. Silage fermentation processes and their manipulation. In: Silage Making in the Tropics with particular Emphasis on smallholders. (L. t'Mannetje, Ed.). FAO Plant Production and Protection Paper 161. FAO, Rome.

Grant, R., B. Anderson, R. rasby and T. mader. 1997. Testing livestock feeds for beef cattle, dairy cattle, sheep and horses. Nebguide G89-915-A. http://ianrpubs.unl.edu/range/g915.htm

Goering, H.H. and P.J. Va Soest. 1970. Forage Fiber Analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). Agri. Handbook No. 379, USDA.

Hutton, G. 2002. Evaluating silage quality. http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/for4909.htm

Kawashima, T., W. Sumamal, P. Pholsen, R. Chaithiang and W. Boonpakdee. 2000. Characterization of sugarcane for feeding cattle in Northeast Thailand. In: Improvement of Cattle Production with locally available feed resources in Northeast Thailand. (T. Kawashima, Ed.). Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Japan.

Kevelenge, J.E.E. A.N. Said and B. Kiflewahid. 1983. The nutritive value of four arable farm byproducts commonly fed to dairy cattle by small scale farmers in Kenya. II. The utilization of nutrients by wether sheep. Trop. Anim. Prod. 8:171-179.

Kung, L. and R. Shaver. 2001. Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. Focus on Forage. Vol. 3, No. 13. University of Wisconsin Board of Regents. University of Wisconsin – Madison, USA.

McAllister, T.A. and A.N. Hristov. 2000. The fundamentals of making good quality silage. http://www.afns.ualberta.ca/Hosted/WCDS/Proceedings/2000/Chapter32.htm

McDonald, P., N. Henderson and S. Heron. 1991. The Biochemistry of Silage. Chalcombe Publications, Marlow, UK.

Muck, R.E. 1988. Factors influencing silage quality and their implications for management. J. Dairy Sci. 71:2992.

Naseeven, R. 1988. Sugarcane top as animal feed. In: Sugarcane as feed (R. Sancoucy, G. Aarts and T.R. Preston, Eds.). FAO animal Production and Health Paper 72. FAO Rome, Italy.

Samuel, M.S., S. Sagathewan, J. Thomas and G. Mathen. 1997. An HPLC method for estimation of volatile fatty acids of ruminal fluid. Indian J. Anim. Sci. 67:805.

SAS Institute. 1988. SAS/STAT User's Guide, Version 6, 4th ed., Vol. 2. Cary NC.

Snitwong, C., S. Mangmichai, K. Klingason, T. Intharasomchai and C. Manidul. 1983. The performance of buffaloes fed on dehydrated sugar cane top with and without fresh leaf as a protein supplement. In: Annual Report of Division of Animal Nutrition, Department of Livestock Development, Bangkok, Thailand.

Weiss, B. and J. underwood. 2004. Silage Additives. http://ohioline.osu.edu/agf-fact/0018.htm.

Yunus, M., N. Ohba, M. Shimojo, M. Furuse and Y. Masuda. 2000. Effects of adding urea and molasses on Napiergrass silage quality. Asian-Aus. J. Anim. Sci. 13:1542-1547.

ภาคผนวก

ภาพที่ 1. ยอดอ้อยที่รวบรวมจากแปลงปลูกอ้อยแล้วทำการตัดยอดอ้อยออกจากส่วนลำต้น

ภาพที่ 2. จุดที่ตัดส่วนยอดออกจากส่วนลำต้นบริเวณห่างจากส่วนยอด (หางปลา) ประมาณ 2 ข้อครึ่ง

ภาพที่ 3. จุดที่ตัดยอดอ้อยออกจากลำต้นที่ประมาณ 2-3 ข้อจากส่วนยอด ซึ่งเป็นช่วงต่อของส่วนที่ยังไม่พัฒนาเป็นน้ำตาลกับส่วนที่เป็นน้ำตาล

ภาพที่ 4. สารเสริม (additives) ที่ใช้ในการทำยอดอ้อยหมักในทรีทเมนต์ต่างๆ ได้แก่ ยูเรีย, กากน้ำตาล, ใบกระถิน และใบมันสำปะหลัง

ภาพที่ 5. ยอดอ้อยที่หั้นด้วยเครื่องสับยอดอ้อยแบบ 2 ใบมีด และยอดอ้อยที่ผ่านการสับมีขนาดที่มากกว่า 2 นิ้ว โดยเฉพาะส่วนใบ

ภาพที่ 6. ขั้นตอนการอัดแน่นยอดอ้อยในถังหมักรีไซเคิล โดยการเหยียบย่ำให้แน่นแล้วปิดฝาให้สนิท