

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชนิดของอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง

อาหารมีความสำคัญต่อการเลี้ยงปศุสัตว์เนื่องจากทำให้สัตว์มีผลผลิตเพียงพอต่อความต้องการของประชากรและการส่งออก ซึ่งอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ อาหารข้น (concentrates) และอาหารหยาบ (roughages) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 อาหารหยาบ หมายถึง วัตถุดิบอาหารสัตว์หรืออาหารผสมที่มีเยื่อใยหรือกาก (Crude fiber) มากกว่า 18 เปอร์เซ็นต์หรือมีปริมาณ Neutral Detergent Fiber (NDF) มากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นอาหารที่มีการย่อยได้ต่ำ (Kearl, 1982) โดยเป็นเยื่อใยที่สัตว์กระเพาะเดี่ยวย่อยได้ยาก เช่น พืชตระกูลหญ้า หญ้าแห้ง พืชอาหารหมักชนิดต่าง ๆ และผลพลอยได้ทางการเกษตร เป็นต้น

2.1.2 อาหารข้น หมายถึง วัตถุดิบอาหารสัตว์หรืออาหารที่มีเยื่อใยหรือกากน้อยกว่า 18 เปอร์เซ็นต์หรือมีปริมาณ NDF ต่ำกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นอาหารเสริมที่เป็นแหล่งของพลังงาน โปรตีน วิตามินและแร่ธาตุเพื่อให้สัตว์ได้รับโภชนาอย่างเพียงพอตามความต้องการสำหรับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต โดยอาหารข้นเป็นการนำเอาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีพลังงานและโปรตีนมาใช้เป็นส่วนประกอบในสัดส่วนที่พอเหมาะเพื่อให้มีโภชนาตรงตามความต้องการของสัตว์ (ฉลอง, 2541)

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องมี 2 ประเภทแต่โดยส่วนใหญ่อาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์นั้นจะเป็นอาหารหยาบเนื่องจากสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นสัตว์ที่ผลิตเนื้อและนมจากอาหารจำพวกเยื่อใย (ฉลอง, 2541) เมื่อถึงในช่วงฤดูแล้งเกษตรกรมักประสบปัญหาการขาดแคลนอาหารหยาบกันเป็นจำนวนมาก ซึ่งการขาดแคลนอาหารหยาบนี้อาจส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตและผลผลิตของสัตว์ได้ ดังนั้นวิธีการลดปัญหาเหล่านี้ได้ก็คือการนำพืชอาหารสัตว์ในรูปแบบสดมาเก็บถนอมไว้ในรูปแบบพืชอาหารหมักเพื่อให้สัตว์มีอาหารหยาบที่เพียงพอตามความต้องการในการบริโภคอีกด้วย

2.2 พืชอาหารหมัก (Silage)

พืชอาหารหมักหมายถึงพืชอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่เก็บเกี่ยวในขณะที่มีความชื้นพอเหมาะสำหรับนำมาหมักในสภาพอับอากาศโดยคุณค่าทางอาหารไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งพืชอาหารสัตว์ทุกชนิดรวมทั้งวัชพืชสามารถนำมาทำเป็นพืชอาหารหมักได้ทั้งสิ้น การที่พืชอาหารสัตว์ในรูปแบบสด

เปลี่ยนสภาพเป็นพืชอาหารหมักต้องอาศัยจุลินทรีย์ (สายัณห์, 2540) โดยจุลินทรีย์เหล่านี้มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติและติดมากับพืชอาหารสัตว์ ซึ่งมีทั้งกลุ่มที่ต้องใช้ออกซิเจน (aerobic) และไม่ต้องใช้ออกซิเจน (anaerobic) โดยจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในระหว่างกระบวนการหมักจนเกิดสภาพที่เหมาะสมทำให้รักษาสภาพพืชอาหารหมักไว้ได้นานถ้ายังคงสภาพบรรยากาศ (บุญเสริม, 2539)

ลักษณะของพืชอาหารหมักคุณภาพดีประกอบด้วยกรดแลคติก 1.5-14 เปอร์เซ็นต์ กรดอะซิติก 0.5-0.8 เปอร์เซ็นต์ กรดบิวทีริกน้อยกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3.8-4.2 และปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนควรมีค่าอยู่ในช่วง 5-10 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมด (สายัณห์, 2522 วารุณีและคณะ, 2547 และ Bjorge, 1996)

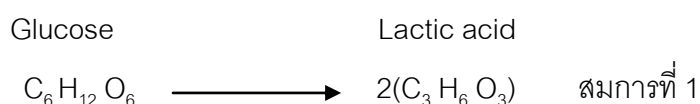
2.2.1 กระบวนการทำพืชอาหารหมัก

กระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักพบว่ามีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 2 ประการ คือ กระบวนการที่ต้องใช้ออกซิเจนและกระบวนการที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน ซึ่งกระบวนการดัดแปลงที่เกิดขึ้นมาน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ปริมาณอากาศที่ยังหลงเหลืออยู่ภายหลังจากนำพืชอาหารสัตว์เข้าหลุมหมักหรือภาชนะบรรจุและองค์ประกอบต่าง ๆ ภาย ในพืชอาหารสัตว์ที่นำมาทำเป็นพืชอาหารหมัก เช่น ปริมาณน้ำตาล ความชื้น และแร่ธาตุอาหาร (สายัณห์, 2522)

1. กระบวนการที่ต้องใช้ออกซิเจน เมื่อนำเอาพืชอาหารสัตว์ที่อยู่ในสภาพสดไปหมักในหลุมหมักไซโลหลังจากนั้นอัดพืชให้แน่นแล้วทำการปิดหลุมหมัก ซึ่งตอนนี้นี้ยังมีอากาศบางส่วนที่ยังหลงเหลืออยู่ภายในหลุมหมักในปริมาณจำกัดทำให้แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนสามารถใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจอยู่ระยะหนึ่งจนกว่าอากาศจะหมดไป ซึ่งการหายใจของเซลล์พืชจะใช้คาร์โบไฮเดรต คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน โดยเชื้อแบคทีเรียที่พบในกระบวนการหมักพืชอาหารสัตว์มีอยู่หลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดจะมีบทบาทต่างกันเพราะฉะนั้นในขณะที่มีอากาศอยู่นั้นพวกแบคทีเรียที่ใช้อากาศในการเจริญเติบโตจะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตไปเป็นกรดชนิดต่าง ๆ เช่น กรดอะซิติก กรดไพรูวิก และกรดแลคติก เป็นต้น ส่วนพวกยีสต์และเชื้อราในขณะที่มีอากาศอยู่ก็จะเพิ่มจำนวนมากขึ้นจนกระทั่งอากาศถูกใช้หมดไปพวกยีสต์และเชื้อราก็ไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้อีกและตายลงแต่เอนไซม์ต่าง ๆ ที่ถูกผลิตขึ้นยังคงทำงานตามปกติโดยจะเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์ เพราะฉะนั้นในการทำพืชอาหารหมักจึงต้องพยายามกำจัดอากาศหรือไล่อากาศออกจากหลุมหมักให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ซึ่งจะช่วยจำกัดจำนวนยีสต์และราไม่ให้มี

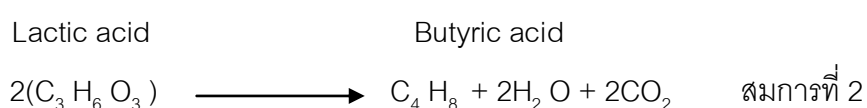
มากเกินไปหรือสามารถเพิ่มจำนวนขึ้นได้ ส่วนพวกเอทิลแอลกอฮอล์ได้จากการทำงานของยีสต์ก็จะเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติกในสภาพของไร้ออกซิเจนต่อไป (สายัณห์, 2540)

2. กระบวนการที่ไม่ต้องใช้ ออกซิเจน เมื่อออกซิเจนถูกใช้หมดไปกระบวนการหมักที่ไม่ต้องใช้ ออกซิเจนก็จะเกิดขึ้น โดยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ต้องใช้ ออกซิเจน เช่น *Lactobacillus*, *Pediococcus* และ *Streptococcus* ซึ่งการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลถ้ามีปริมาณน้ำตาลมากและอยู่ในสภาพปราศจากออกซิเจนจะทำให้เกิดกรดแลคติกเร็วขึ้น (สมการที่ 1) โดยปริมาณกรดแลคติกมีค่าอยู่ในช่วง 1-1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งและมีค่าพีเอชเท่ากับ 3.8-4.2 (สายัณห์, 2540 และวารุณี, 2547) ซึ่งกิจกรรมของจุลินทรีย์จะหยุดทั้งหมดทำให้ได้พืชอาหารหมักคุณภาพดีและสามารถเก็บไว้ได้นาน (Skerman and Riverse, 1990)



นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียอีกพวกหนึ่งได้แก่ แบคทีเรียในกลุ่มโปรติโอไลติกติก (Proteolytic bacteria) ซึ่งแบคทีเรียพวกนี้จะเปลี่ยนโปรตีนไปเป็นแอมโมเนีย กรดอะมิโน เอมีน และเอไมด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก ดังนั้นเพื่อป้องกันมิให้มีกระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นจึงต้องเพิ่มคาร์โบไฮเดรตให้มากขึ้นเพื่อยับยั้งการใช้โปรตีนเป็นแหล่งพลังงานและทำให้พืชอาหารหมักที่ได้มีโปรตีนเพียงพอที่จะเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ได้ เพราะฉะนั้นจะสังเกตได้ว่าพืชอาหารหมักที่มีคาร์โบไฮเดรตที่เพียงพอจะมีกรดแลคติกในปริมาณมาก (สายัณห์, 2540)

แม้พืชอาหารหมักจะมีพีเอชเท่ากับ 3.8-4.2 แล้วก็ตามแต่ถ้าอากาศสามารถเข้าไปในถุงหมักได้ก็อาจทำให้แบคทีเรียพวก *Clostridium* สามารถเจริญเติบโตได้ โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเปลี่ยนกรดแลคติกไปเป็นกรดบิวทิริก (สมการที่ 2) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้พืชอาหารหมักไม่สามารถเก็บไว้ได้นานและทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพต่ำ (สายัณห์, 2540)



2.2.2 จุลินทรีย์ของพืชอาหารหมัก (Silage microbiology)

แบคทีเรียในกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติกเป็นจุลินทรีย์ชนิดอิงอาศัย (Epiphytic bacteria) ซึ่งพบอยู่ทั่วไปตามชิ้นส่วนของพืชโดยในระหว่างการหมักจะมีการแข่งขันกับจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ โดยมีปริมาณมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะของพืชและองค์ประกอบของน้ำตาลที่มีอยู่ในพืช (จันทกานต์, 2545) ซึ่งแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมัก เช่น *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc* และ *Pediococcus* โดยแบคทีเรียเหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ พวกที่มีประสิทธิภาพในการผลิตกรดแลคติกและพวกที่ผลิตกรดแลคติก คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทานอล เป็นต้น (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ชนิดของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกที่พบในอาหารหมัก

Homofermentative	Heterofermentative
<i>Lactobacillus plantarum</i>	<i>Lactobacillus brevis</i>
<i>Pediococcus acidilactice</i>	<i>Lactobacillus buchneri</i>
<i>Streptococcus durans</i>	<i>Lactobacillus fermentum</i>
<i>Streptococcus faecalis</i>	<i>Lactobacillus viridescens</i>
<i>Streptococcus lactis</i>	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>

ที่มา: McDonald et al., (1981)

หลังจากที่เริ่มมีการหมักแล้วแบคทีเรียพวกโฮโมเฟออร์เมนเททีฟจะมีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็วและเกิดการหมักสลายพวกแบคทีเรียที่ละลายน้ำได้ในพืช ซึ่งทำให้ได้กรดอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ คือ กรดแลคติก ส่งผลทำให้พีเอชของพืชอาหารหมักลดลงอยู่ในระดับที่ 3.8-4.0 ซึ่งจะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์หยุดทั้งหมดส่งผลให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพดีและสามารถเก็บไว้ได้นานถ้าแต่ถ้าพีเอชไม่คงที่แบคทีเรียพวก Saccharolytic Clostridia และ Proteolytic clostridia ซึ่งติดมากับอาหารในรูปของสปอร์ตั้งแต่แรกจะทำการแบ่งตัวและใช้ประโยชน์จากกรดแลคติกและแบ่งทำให้พีเอชสูงขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลทำให้พืชอาหารหมักเกิดการเน่าเสีย คุณภาพไม่ดีและเก็บรักษาได้ไม่นาน (McDonald et al., 1987)

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในระหว่างการหมัก

ในขณะเริ่มต้นของกระบวนการหมักเซลล์และเอนไซม์ของพืชที่นำมาทำการหมักยังคงมีการหายใจจนกระทั่งออกซิเจนหมดไป ซึ่งแบคทีเรียที่อยู่ในพืชจะถูกออกซิไดซ์ทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งในช่วงนี้ความร้อนจะสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิของพืชอาหารหมักสูงถ้าอดไม่แน่น

พอจะทำให้อากาศแทรกซึมเข้าไปได้ทำให้อุณหภูมิในกองหมักสูงขึ้นเรื่อย ๆ และทำให้พืชอาหารหมักเปรี้ยวเป็นสีน้ำตาลเข้มส่งผลทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพต่ำได้ นอกจากนี้ภายใต้สภาวะปกติที่ปราศจากออกซิเจนแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกจะทำการหมักสลายแป้งให้ได้กลูโคสและฟรุคโตสทำให้ได้กรดแลคติก ในขณะที่แบคทีเรียพวกไฮโมเฟอร์เมนเทที่ฟัมบาทมากในกระบวนการหมักสลายน้ำตาลพวกเฮกโซสและกระบวนการไฮโดรไลซิสของพวกเฮมิเซลลูโลสให้น้ำตาลพวกเพนโตสซึ่งจะถูกหมักต่อไปเป็นกรดแลคติก (เมธา, 2533)

สำหรับโปรตีนในพืชที่กำลังเจริญเติบโตจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 75-90 เปอร์เซ็นต์และภายหลังจากที่เก็บเกี่ยวพืชแล้วเอนไซม์โปรติเอส (Protease enzyme) ในพืชจะเข้าย่อยสลายโปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโนภายในระยะเวลา 12-24 ชั่วโมง และไนโตรเจนอีกส่วนหนึ่งประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนให้เป็น กรดอะมิโนโดยแบคทีเรียในกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติกสามารถย่อยสลายกรดอะมิโนบางตัวได้ เช่น ย่อยเซอรินได้เป็น acetoin และย่อยอาร์จินีนได้เป็น ornithine แต่ถ้ามีแบคทีเรียพวก *Clostridium* มากจะทำให้เกิดการเมตาโบไลซ์กรดอะมิโนในอัตราที่สูงโดยอาศัยกระบวนการ 3 แบบคือ deamination, decarboxylation และออกซิเดท ชัน/รีดักชัน ซึ่งทำให้เกิดพวกเอมีน แอมโมเนีย คีโตนและกรดไขมันโดยปัจจัยเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพต่ำ (เมธา, 2533)

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของพืชอาหารหมัก

2.2.4.1 ชนิดของพืชอาหารสัตว์

พืชอาหารหมักสามารถทำได้จากพืชตระกูลหญ้า พืชตระกูลถั่วและผลพลอยได้ทางการเกษตร เป็นต้น ซึ่งลักษณะของพืชอาหารสัตว์ที่นำมาทำเป็นพืชอาหารหมักควรมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (WSC) ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่ำ (BC) สามารถอัดแน่นได้อย่างรวดเร็วในไซโลหลังการเก็บเกี่ยวและควรมีปริมาณน้ำหนักแห้งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมคืออยู่ในช่วง 30-40 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.2) (พรชัย, 2548; Jones, 1979; McDonald, 1981 และ Alberta Ag-Industries, 1986)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของพืชที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมในการทำเป็นพืชอาหารหมัก

คุณสมบัติของพืชอาหารสัตว์	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม
ปริมาณของน้ำตาล	สูง	ต่ำ
น้ำหนักแห้ง	สูง (30-40 เปอร์เซ็นต์)	ต่ำ
โปรตีนหยาบ	ปานกลาง	สูง-สูงมาก
โภชนาที่ย่อยได้	สูง	ต่ำ (พืชแก่)
เยื่อใย	ต่ำ-ปานกลาง	สูง (พืชแก่)
ฤดูกาลที่ตัดพืช	อากาศเย็น	อากาศร้อน
การปนเปื้อน	น้อย	มาก
ขนาดชิ้นที่ตัด	สับให้มีขนาดเล็ก	ไม่สับ

ที่มา: Alberta Ag-Industries (1986)

2.2.4.2 อายุการตัดพืชอาหารสัตว์

อายุการตัดพืชอาหารสัตว์ที่เหมาะสม คือ ระยะที่พืชให้ผลผลิตสูงและมีคุณค่าทางอาหารอยู่ในเกณฑ์ดีซึ่งอายุของพืชอาหารสัตว์ที่จะตัดเพื่อนำมาทำเป็นพืชอาหารหมักนั้นมีความสำคัญเพราะสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพและปริมาณของพืชอาหารหมักได้ นอกจากนี้ วิรัชและคณะ (2542) ได้ศึกษาผลของระยะตัดที่มีต่อผลผลิตน้ำหนักแห้ง ผลผลิต โปรตีนหยาบ และส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าเนเปียร์พบว่าเมื่อตัดหญ้าอายุที่ 40 วันผลผลิตน้ำหนักแห้งจะเพิ่ม ขึ้นแต่เมื่ออายุพืชมากขึ้นที่ 50 วันผลผลิตน้ำหนักแห้งจะลดลงสำหรับส่วนประกอบทางเคมีพบว่าเมื่อพืชมีอายุมากขึ้นจะทำให้มีปริมาณน้ำหนักแห้งและเยื่อใย (Neutral Detergent Fiber, NDF, Acid Detergent Fiber, ADF และ Acid Detergent Lignin, ADL) เพิ่มขึ้นแต่มีปริมาณโปรตีนหยาบลดลง อย่างไรก็ตามอายุที่เหมาะสมนี้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชและสภาพภูมิอากาศ โดยปกติพืชอาหารสัตว์ที่แก่จะมีปริมาณของน้ำหนักแห้งและพลังงานสูงแต่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนหยาบและการย่อยได้ต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาความเหมาะสมของอายุพืชอาหารสัตว์อีกด้วย (บุญล้อมและคณะ, 2543)

2.2.4.3 ขนาดของชิ้นพืชอาหารสัตว์ที่นำมาหมัก

การสับพืชอาหารสัตว์ก่อนนำมาทำการหมักมีความสำคัญต่อกระบวนการหมักเนื่องจากการสับพืชทำให้คาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายในพืชอาหารสัตว์ถูกปล่อยออกมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะช่วยให้เกิดกรดแลคติกได้เร็วขึ้นอีกทั้งการสับพืชอาหารสัตว์ก่อนนำมาหมักให้มี

ขนาดเล็กนั้นเป็นการช่วยทำให้พืชสามารถอัดได้แน่นและยังสามารถผสมคลุกเคล้ากันได้ทั่วถึงอีกด้วย อย่างไรก็ตามการสับพืชอาจมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เช่น ถ้าสับพืชให้มีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาเรื่องการสูญเสียความสามารถในการกระตุ้นกระเพาะรูเมนให้บีบตัวเพื่อให้ขยอกอาหารออกมาเคี้ยวเอื้องและทำให้มีการขับน้ำลายออกมาได้น้อย รูเมนมีสภาพเป็นกรดรุนแรง ทำให้อาหารไม่ย่อย สัตว์จะเบื่ออาหารและมีไขมันในน้ำนมลดลง แต่ถ้ามีการสับพืชให้มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้การอัดแน่นทำได้ยาก มีออกซิเจนภายในหลุมหมักมากทำให้เกิดความร้อนสูง นอกจากโปรตีนจะถูกทำลายแล้วยังทำให้จุลินทรีย์พวกที่ทนร้อน เช่น ราและแบคทีเรียบางชนิดเจริญได้ดีทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพลดลง ดังนั้นขนาดชิ้นพืชอาหารสัตว์ที่นำมาหมักควรสับให้มีขนาดเกิน 2.5 เซนติเมตรทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชอาหารสัตว์ด้วย เช่น ข้าวโพดควรสับให้มีขนาด 1-2.5 เซนติเมตรและหญ้าควรมีขนาด 0.5-1.0 เซนติเมตร (ฉันทนา, 2543)

ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาอิทธิพลของชิ้นพืชก่อนนำมาทำการหมักโดยวารุณี (2548) ได้ทำการทดลองนำหญ้าแพงโกล่าอายุ 45 วันมาทำการสับและไม่สับแล้วนำมาหมักพบว่า การสับพืชให้มีขนาดเล็กเป็นการช่วยทำให้พืชสามารถอัดได้แน่นและสามารถไล่อากาศออกได้เกือบหมดทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพดีได้ แต่ถ้าไม่มีการสับพืชจะทำให้การอัดแน่นทำได้ยาก อีกทั้งอากาศที่หลงเหลืออยู่ในภาชนะส่งผลทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักแห้ง โปรตีนหยาบและมีค่าพีเอชสูงกว่าการพืชอาหารหมักที่มีการสับตลอดจนมีปริมาณของกรดแลคติกต่ำกว่าพืชอาหารหมักที่มีการสับอีกด้วย ดังนั้นในการทำพืชอาหารหมักควรมีการสับพืชก่อนนำมาทำการหมักเพื่อให้พืชอาหารหมักนั้นมีคุณภาพดีนั่นเอง

2.2.4.4 การอัดและการปิดหลุมหมัก

การทำพืชอาหารหมักเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องการออกซิเจนเพราะถ้ามีออกซิเจนหลงเหลืออยู่เป็นจำนวนมากจะทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพต่ำ กล่าวคือจะทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ต้องการ เช่น ยีสต์ เชื้อราและแบคทีเรียมีการใช้สารอาหารที่มีอยู่ในพืชเพื่อการเจริญเติบโตและทำให้จุลินทรีย์ในกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติกไม่สามารถแย่งอาหารที่มีอยู่น้อยได้ทัน จุลินทรีย์กลุ่มอื่น ๆ ทำให้ไม่สามารถผลิตกรดแลคติกจนถึงจุดที่ยับยั้งจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ต้องการได้ ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะสามารถพัฒนาตัวเองได้อย่างรวดเร็วไปสู่การผลิตพืชอาหารหมักที่มีคุณภาพต่ำได้อีกด้วย ในขณะที่ Lancaster and Mcnaughton (1961) อ้างจากสายัณห์ (2540) ได้ศึกษาอิทธิพลของการอัดแน่นต่อคุณภาพของพืชอาหารหมักพบว่าในกลุ่มที่มีการอัดแน่นจะมีอุณหภูมิต่ำ ความหนาแน่นสูง ลดการสูญเสียของน้ำหนักแห้งได้ดีและมีการผลิตกรดแลคติกได้สูงขึ้นซึ่งค่าเหล่านี้สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของพืชอาหารหมักที่ดีได้อีกด้วย (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 อิทธิพลของการอัดแน่นของหญ้าที่มีผลต่อคุณภาพของพืชอาหารหมัก

	ลักษณะของการอัดแน่น		
	หลวม	ปานกลาง	อัดแน่น
ความหนาแน่น(กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	227	307	386
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	38	26	25
การสูญเสียน้ำหนักแห้ง (เปอร์เซ็นต์)	37.2	28.4	17.4
การย่อยได้(เปอร์เซ็นต์)	65.6	69.7	76.3
กรดแลคติก (เปอร์เซ็นต์)	1.43	5.19	10.12
Volatile fatty acid (เปอร์เซ็นต์)	8.5	6.5	3.1
ไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	3.84	3.73	3.46

ที่มา: Lancaster and Mcnaughton (1961) อ้างจากสายัณห์ (2540)

นอกจากนั้นการอัดแน่นในหลุมหมักที่ไม่ดีพอจะทำให้มีอากาศหลงเหลืออยู่มาก ซึ่งส่งผลทำให้มีการสูญเสียคาร์โบไฮเดรตโดยผ่านกระบวนการหายใจและอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพลดลงคือมีการสูญเสียน้ำหนักแห้ง ปริมาณของโปรตีนหยาบที่สัตว์สามารถย่อยได้ลดลง มีการสูญเสียแคโรทีนและทำให้พืชอาหารหมักมีกลิ่นเหม็นอีกด้วย (สายัณห์, 2540)

2.2.4.5 จุลินทรีย์เริ่มต้นของการทำพืชอาหารหมัก

Kroulik *et al.*, (1954) กล่าวว่าในสภาพที่พืชอาหารสัตว์ยังมีชีวิตอยู่จะมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่มากมาย เช่น โคลิฟอร์มแบคทีเรีย แบคทีเรียพวกใช้ออกซิเจน ไมโครคอคคัส สเตรปโตคอคคัส ยีสต์และแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก เป็นต้น แต่แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกมักจะพบอยู่น้อย นอกจากนั้นพืชอาหารสัตว์ที่นำมาหมักจะมีจุลินทรีย์ในปริมาณที่แตกต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ส่วนของพืช ฤดูกาล อายุของพืชและความยาวของชั้นพืชที่นำมาหมัก เป็นต้น (Muck, 1991)

2.2.4.6 ความชื้น

ปริมาณความชื้นในพืชอาหารสัตว์ถ้ามีในปริมาณต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพืชสดจะทำให้การอัดแน่นทำได้ยากและทำให้พืชอาหารหมักเกิดเชื้อราได้ง่ายและในขณะที่พืชมีความชื้นมากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพืชสดอาจทำให้ของเหลวที่ไหลออกมาจากพืชอาหารหมักทำให้เกิดการสูญเสียกรดแลคติกและธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่อสัตว์โดยเฉพาะ

อย่างยิ่งคาร์โบไฮเดรตในพืชที่มีโปรตีนหยาดสูงตลอดจนเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและอาจก่อให้เกิดโรคกับสัตว์ได้อีกด้วย (สายัณห์, 2522; McDonald *et al.*, 1991; Muck, 1990 และ McCullough, 1975) ดังนั้นปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการนำมาทำเป็นพืชอาหารหมักควรมีค่าอยู่ระหว่าง 65-70 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพืชสด (Watson and Nash, 1960; McDonald *et al.*, 1991; สายัณห์, 2522 และบุญล้อมและคณะ, 2543)

2.2.4.7 คาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (Water Soluble Carbohydrate, WSC)

WSC ประกอบด้วย กลูโคส ฟรุคโตส กาแลคโตส แลคโตส แมนโนส ซูโครส มอลโตส ไซโลสและอะราบินอส เป็นต้น ปริมาณน้ำตาลเหล่านี้จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดอายุการตัดของพืช ฤดูกาลตลอดจนภูมิประเทศ เป็นต้น การจะทำให้แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วนั้นจะต้องอาศัยแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ในปริมาณสูงทั้งนี้เนื่องจากในพืชมีจุลินทรีย์หลากหลายสายพันธุ์ที่แข่งขันในการนำอาหารไปใช้โดยเฉพาะกลุ่มเอนเทอโรแบคทีเรียที่มีมากจะมีความสามารถสูง ดังนั้นปริมาณ WSC เริ่มต้นจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่นอกเหนือจากปริมาณของน้ำหมักแห้งที่สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของพืชอาหารหมักได้ โดยปริมาณ WSC ที่เหมาะสมในการนำมาทำเป็นพืชอาหารหมักควรมีมากกว่า 6 เปอร์เซ็นต์เพื่อใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ (Skerman and Riveros, 1990) เพราะเป็นสิ่งจำเป็นในการป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่ม *Clostridium* ในพืชอาหารหมักได้ นอกจากนี้ McCullough (1973) กล่าวว่าในการทำพืชอาหารหมักให้ได้คุณภาพสูงนั้นจะต้องคำนึงถึงปริมาณและชนิดของ WSC เป็นสิ่งสำคัญเพราะสารนี้จะช่วยให้กระบวนการหมักมีคุณภาพดียิ่งขึ้น

2.2.4.8 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และกิจกรรมเอนไซม์ในช่วงแรกของการหายใจอยู่ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และความร้อนขึ้นในหลุมหมักถ้าความร้อนนี้เพิ่มขึ้นอีก 10 องศาเซลเซียสในขณะที่พืชมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 5-25 องศาเซลเซียสโดยพืชจะมีการหายใจเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ถ้าพืชอาหารหมักมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 25-45 องศาเซลเซียสการหายใจของพืชจะคงที่แม้ว่าจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นก็ตาม ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่าก่อนที่จะปิดหลุมหมักจะช่วยลดการสูญเสียของน้ำตาลจากกระบวนการหายใจในระหว่างการหมักได้ (Wood and Parker, 1971) นอกจากนี้ Muck (1991) กล่าวว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะไปเพิ่มความเร็วของกระบวนการหมักและทำให้ค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกสามารถ

เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25-45 องศาเซลเซียสแต่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส

2.2.4.9 ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดต่าง (Buffering Capacity, BC)

BC เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อกระบวนการทำพืชอาหารหมักกล่าวคือการที่พืชอาหารหมักมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4-6 หรือประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์นั้นเกิดจากการควบคุมของเกลืออินทรีย์ เช่น พวกเกลือออร์โทฟอสเฟต ซัลเฟต ไนเตรท และคลอไรด์ ส่วนอีก 10-20 เปอร์เซ็นต์นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในพืชอาหารสัตว์ (เมธา, 2533)

นอกจากนี้ Muck (1991) กล่าวว่าพืชตระกูลหญ้าและข้าวโพดมี BC อยู่ในช่วง 250-450 มิลลิอีควิวาเลนต์ของด่างต่อกิโลกรัมแห้ง (meq.) ในขณะที่พืชตระกูลถั่วมี BC อยู่ระหว่าง 350-600 มิลลิอีควิวาเลนต์ของด่างต่อกิโลกรัมแห้ง (meq.) ดังนั้นพืชตระกูลถั่วจึงมีคุณสมบัติที่ยากต่อการนำมาทำเป็นพืชอาหารหมักหรืออาจกล่าวได้ว่าต้องใช้น้ำตาลในปริมาณมากเพื่อลดค่าพีเอชให้อยู่ในระดับที่ต้องการ

2.2.5 การสูญเสียโภชนะในช่วงของการหมัก

2.2.5.1 การสูญเสียในช่วงเก็บเกี่ยว (field losses)

ถ้ามีการเก็บเกี่ยวและหมักในวันเดียวกันปริมาณโภชนะจะสูญเสียน้อยมาก ซึ่งการตากพืชนาน 24 ชั่วโมงจะมีการสูญเสียน้ำหนักแห้งประมาณ 1 หรือ 2 เปอร์เซ็นต์ ถ้ามีการตากนานกว่า 48 ชั่วโมงการสูญเสียน้ำหนักแห้งจะขึ้นอยู่กับลักษณะอากาศ ถ้าตากแดดเป็นเวลา 5 วันจะสูญเสียน้ำหนักแห้งไป 6 เปอร์เซ็นต์และถ้ามีการตากแดดนาน 8 วันจะสูญเสียน้ำหนักแห้งไป 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโภชนะที่สูญเสียไปมากที่สุดคือคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (McDonald *et al.*, 1995 และ เมธา, 2533)

2.2.5.2 การสูญเสียเนื่องจากการหายใจ (respiration losses)

เป็นการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของน้ำย่อยในพืชและจุลินทรีย์ในการย่อยพวกแป้งในสภาวะที่มีออกซิเจนผลที่ได้รับคือคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยปกติแล้วถ้ามีการอัดพืชให้แน่นจะมีการสูญเสียประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ การที่พืชอาหารหมักถูกออกซิเจนเป็นระยะเวลานานโดยเฉพาะด้านข้างและด้านบนของกองหมักจะทำให้พืชอาหารหมักเกิดการเน่าเสียได้ซึ่งการสูญเสียนี้อาจมีมากถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (McDonald *et al.*, 1995)

2.2.5.3 การสูญเสียเนื่องจากการหมัก (fermentation losses)

การสูญเสียของน้ำหนักรวมจะเกิดขึ้น 3-8 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากการใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ ส่วนพลังงานนั้นสูญเสียน้อยกว่าทั้งนี้เพราะมีการผลิตสารประกอบที่ให้พลังงานสูง เช่น เอทานอล ถ้ามีแบคทีเรียพวก *clostridium* จะทำให้มีการสูญเสียมากกว่าการใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์เพราะมีการผลิตก๊าซต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนและแอมโมเนีย เป็นต้น (พันทิพา, 2539)

2.2.5.4 การสูญเสียในส่วนของเหลวที่รั่วไหลออก (effluent losses)

การไหลซึมของเหลวจากภาชนะบรรจุจะทำให้เกิดการสูญเสียโภชนาที่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์ ซึ่งการสูญเสียของโภชนาในส่วนนี้ขึ้นอยู่กับความชื้นของพืชอาหารสัตว์ที่นำมาหมัก โดยโภชนาที่อยู่ในของเหลวประกอบด้วย น้ำตาล สารประกอบไนโตรเจน แร่ธาตุและกรดที่เกิดขึ้นจากการหมักกล่าวคือถ้าพืชอาหารสัตว์ที่มีความชื้นประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์มาทำการหมักจะเกิดการสูญเสียน้ำหนักแห้งประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์แต่ถ้าพืชที่มีความชื้นประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์จะมีการสูญเสียน้ำหนักแห้งน้อยมากอีกทั้งยังขึ้นอยู่กับความสูงของไซโลและความหนาแน่นในการอัดพืชอีกด้วย (พันทิพา, 2539)

2.2.6 ประโยชน์ของการทำพืชอาหารหมัก

การทำพืชอาหารหมักเป็นการเก็บรักษาพืชอาหารสัตว์ไว้ใช้ได้เป็นเวลานานโดยเฉพาะในช่วงที่ขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ตลอดจนเป็นการเพิ่มความน่ากินของพืชอาหารหมักและส่งผลให้สัตว์สามารถกินพืชอาหารหมักได้ในปริมาณมากขึ้น นอกจากนั้นยังเป็นวิธีในการลดสารพิษ (detoxifying) ที่มีอยู่ในพืชอาหารสัตว์ เช่น กรดไซยานิกในมันสำปะหลังทั้งนี้ยังเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งช่วยลดการเปลี่ยนแปลงทางโภชนาของพืชอาหารสัตว์ (เมธา, 2533) นอกจากนี้การทำพืชอาหารหมักยังมีข้อจำกัดอยู่บ้างกล่าวคือสัตว์ที่กินพืชอาหารหมักเข้าไปอาจจะทำให้มูลเหลวได้ ถ้าสภาพอากาศร้อนและถ้าสัตว์กินพืชอาหารหมักไม่หมดจะทำให้เกิดเชื้อราและเน่าเสียได้ง่ายอีกด้วย

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการผลิตและการปรับปรุงพันธุ์พืชอาหารสัตว์มาใช้เป็นพืชอาหารหยาบทดแทนพืชอาหารสัตว์ที่ขึ้นเองตามธรรมชาติมากยิ่งขึ้นก็ตามแต่พืชอาหารสัตว์เหล่านี้ยังคงมีการนำมาปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปเลี้ยงสัตว์อีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาพืชอาหารสัตว์ที่มีคุณค่าทางโภชนาสูงและมีอยู่ตามท้องถิ่นนั่นคือ กระถิน นอกจากนี้ยังเป็นการส่งเสริมให้เกษตรกรรู้จักการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่ตามท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย

2.3 กระถิน

2.3.1 ลักษณะโดยทั่วไปทางพฤกษศาสตร์

วงศ์:	<i>Leguminosae</i>
ชื่อวิทยาศาสตร์:	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lamk.) de Wit
ชื่อสามัญ:	White Popinac, Lead Tree
ถิ่นกำเนิด:	ทวีปอเมริกาเขตร้อนและหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก

1. กระถินเป็นไม้พุ่มขนาดใหญ่สูงได้ถึง 10 เมตรลักษณะใบเป็นแบบขนนกสองชั้น เรียงสลับยาว 12.5-25 เซนติเมตร แกนกลางใบประกอบยาว 10-20 เซนติเมตร มีใบย่อย 5-20 คู่ เรียงตรงข้าม ช่อดอกเป็นแบบช่อกระจุกแน่นออกตามง่ามใบ 1-3 ช่อ ก้านช่อดอกยาว 2-5 เซนติเมตร ฝักมีลักษณะแบน ปลายแหลม ในฝักจะมีเมล็ด 15-30 เมล็ด (ราชบัณฑิตยสถาน, 2538) ซึ่งณรงค์ (2523) และ Bray (1994) กล่าวว่ากระถินมี 2 สายพันธุ์หลักคือ

2. พันธุ์พื้นเมือง (Common type) เดิมเรียกว่าพันธุ์ฮาวายเอียน (Hawaiian) เป็นชนิด ที่มีต้นเล็กสูงประมาณ 5 เมตรออกดอกเร็วมีเมล็ดมากจึงสามารถแพร่พันธุ์ได้รวดเร็วจนกลายเป็น วัชพืชซึ่งเป็นกระถินพื้นเมืองที่พบได้ในประเทศไทย

3. กระถินยักษ์ (Giant type) หรือเรียกว่าสายพันธุ์ซัลวาดอร์ (Salvador) มีลำต้น ประมาณ 20 เมตรมีกิ่งก้านสาขาน้อย โตเร็ว ให้ผลผลิตทั้งใบและลำต้นสูง

กระถินจัดเป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่งที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีภายใต้สภาพอากาศแห้ง แล้งปลูกได้ดีในเขตร้อนเจริญเติบโตเร็วให้ผลผลิตสูงและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน โดยเฉพาะในการใช้เป็นอาหารสัตว์ กระถินจัดว่าเป็นพืชอาหารสัตว์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงเมื่อมีการเปรียบเทียบกับพืชอาหารสัตว์ชนิดอื่น ๆ กล่าวคือมีปริมาณของโปรตีนหยาบประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งและยังเป็นแหล่งของวิตามินโดยเฉพาะวิตามินเอและอี (เรณู, 2542) จึงทำให้เกษตรกรนิยมนำกระถินมาใช้เป็นพืชอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องนั่นเอง

2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีและการย่อยได้ของกระถิน

อำรงค์ดีและคณะ (2546) ทำการศึกษากระถิน 20 สายพันธุ์ที่มีการปลูกในประเทศไทยพบว่าปริมาณโปรตีนหยาบอยู่ในช่วง 21.3-26.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง มีปริมาณ NDF อยู่ในช่วง 32.3-47.2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง มีปริมาณ ADF อยู่ในช่วง 20.2-30.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งและมีปริมาณ ADL อยู่ในช่วง 6.35-12.05 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ กระถินยังจัดได้ว่ามีคุณค่าทางโภชนาการสูงใกล้เคียงกับถั่วอัลฟัลฟาที่เป็นพืชอาหารสัตว์ที่มีโปรตีน หยาบสูงและเจริญเติบโตได้ดีในแถบภูมิประเทศที่มีอากาศหนาว โดยพบว่าใบกระถินมีส่วนของ เบต้าแคโรทีนสูงกว่าใบถั่วอัลฟัลฟาถึง 2 เท่าส่วนพลังงานรวม (Gross energy, GE) มีค่าสูงกว่า

ถั่วอัลฟัลฟาเล็กน้อยสำหรับแกะและแรธาตุนั้นพบว่ากระถินมีน้อยกว่าถั่วอัลฟัลฟา (Shelton and Brewbaker, 1994) ดังนั้นจากองค์ประกอบทางเคมีของกระถินจึงกล่าวได้ว่ากระถินมีคุณค่าทางโภชนาการเหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นอาหารหยาบในการเลี้ยงสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

ในขณะที่ชาญชัยและคณะ (2515) ทำการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของกระถิน 10 พันธุ์คือ พันธุ์ออสเตรเลีย พันธุ์พื้นเมือง พันธุ์ไอวอรีโคสต์ พันธุ์เอลซาลวาดอร์ พันธุ์นิวกินี 70 พันธุ์นิวกินี 71 พันธุ์นิวกินี 72 พันธุ์ไต้หวัน พันธุ์ฮาวายและพันธุ์โคลัมเบีย จากการศึกษาพบว่าพันธุ์นิวกินี 70 และพันธุ์นิวกินี 71 มีปริมาณของโปรตีนหยาบสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ คือ 23.8 และ 23.3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำ หนักแห้งตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์โคลัมเบียมีปริมาณของโปรตีนหยาบต่ำที่สุดคือ 20.7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งและพันธุ์พื้นเมืองมีโปรตีนหยาบเฉลี่ย 21.9 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

จากการศึกษาการย่อยได้ของน้ำหนักแห้งในกระถินโดยใช้สัตว์เคี้ยวเอื้อง 3 ชนิดได้แก่ แพะ แกะและโค (ตารางที่ 2.4) พบว่าสัตว์แต่ละชนิดมีการย่อยได้ของน้ำหนักแห้งที่แตกต่างกันคือ แพะย่อยได้ดีกว่าแกะและโค ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระถินมีค่าการย่อยได้ของน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วง 50-69 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการย่อยได้อาจแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์ที่ใช้ในการทดลองตลอดจนยังสามารถนำกระถินมาใช้เป็นพืชอาหารหยาบในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

ตารางที่ 2.4 การย่อยได้ของใบกระถินและถั่วอัลฟัลฟาในสัตว์ชนิดต่าง ๆ

	น้ำหนัก แห้ง	โปรตีน หยาบ	เยื่อ ใย	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	ถั่ว	สัตว์ทดลอง
	เปอร์เซ็นต์การย่อยได้						
ใบกระถิน ¹	64.1	64.8	44.3	42.7	76.3	45.1	แกะ
ใบกระถิน ²	68.6	-	-	-	-	-	แพะ
ใบกระถิน ²	63.2	-	-	-	-	-	แกะ
ใบกระถิน ²	54.8	-	-	-	-	-	โค
ถั่วอัลฟัลฟา ³	68.7	-	-	-	-	-	โคนม

ที่มา: ¹Cheva-Isarakul (1982) ²Norton (1994) และ ³Merchen and Satter (1983)

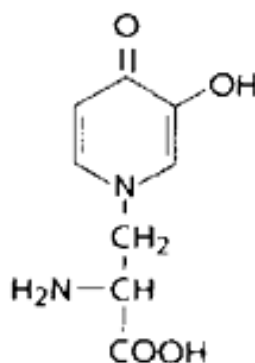
El Hassan *et al.*, (2000) ศึกษาเปรียบเทียบการย่อยได้ของน้ำหนักแห้ง (in vitro dry matter digestibility; IVDMD) ของถั่วอัลฟัลฟา (*Medicago sativa*) กระถิน (*Leucaena*

leucocephala) กระถินณรงค์ (*Acacia angustissima*) Tagasaste (*chamaecytisus palmen-sis*) และ Sesbania (*Sesbania sesban*) พบว่ากระถินมีค่าการย่อยได้เท่ากับ 86.0 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าสูงกว่ากระถินณรงค์และถั่วอัลฟัลฟาเท่ากับ 73.60 และ 77.70 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วยืนต้นชนิดอื่น ๆ พบว่ากระถินมีค่าการย่อยได้ต่ำกว่า Tagasaste และ Sesbania เท่ากับ 93.70 และ 92.50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ดังนั้นจึงสามารถนำกระถินมาใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องได้อย่างมีคุณภาพ

แม้กระถินจะมีคุณค่าทางโภชนาสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพืชอาหารสัตว์ชนิดอื่น ๆ แต่ในธรรมชาติพบว่ากระถินมีสารพิษชนิดหนึ่งที่อาจส่งผลกระทบต่อกรกินได้และการเจริญเติบโตของสัตว์ซึ่งได้แก่ มิโมซีน

2.3.3 สารพิษในกระถินมิโมซีน (Mimosine)

กระถินมีสารพิษชนิดหนึ่งที่ชื่อว่ามิโมซีนซึ่งมิโมซีนจัดเป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งโดยมีกรดอะมิโนไลซีน (lysine) เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการสังเคราะห์ (Hylin, 1964) และมีโครงสร้างคล้ายกับกรดอะมิโนไทโรซีน (tyrosine) มีชื่อทางเคมีคือ β -N-(3 hydroxy-4-pyridone)- α -amino propionic acid และมีสูตรทางเคมีคือ $C_6H_{10}O_4N_2$ (ภาพที่ 1.1)



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างทางเคมีของมิโมซีน

ที่มา: Ter Meulen et al., (1979)

สารพิษมิโมซีนสามารถพบได้ในกระถินทุกพันธุ์และพบทั่วไปในทุกส่วนประกอบของกระถินในปริมาณที่แตกต่างกัน (กฤษณาและคณะ, 2538) เช่น ในช่วงที่เมล็ดเริ่มงอกมิโมซีนคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งเท่ากับ 12.3 เปอร์เซ็นต์ ในใบมิโมซีนอยู่ในช่วง 2.6-6 เปอร์เซ็นต์และในเมล็ดอ่อนมีสารพิษมิโมซีนมากกว่าเมล็ดที่แก่ประมาณ 2 เท่า (Sethi and Kulkarni, n.d. อ้างจากวรรณ, 2545 และ Vearasilp et al., 1981) ในขณะที่ Jone (1994) กล่าวว่ามิโมซีนมีมากใน

บริเวณเนื้อเยื่อที่มีการเจริญเติบโต เช่น ปลายรากที่เริ่มงอกจากเมล็ดเท่ากับ 8-12 เปอร์เซ็นต์ ใบอ่อน 4-6 เปอร์เซ็นต์ ในฝักอ่อนที่มีเมล็ดเท่ากับ 4-5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในประเทศไทยพบว่าใบกระถินมีปริมาณมิโมซีน 3-5 เปอร์เซ็นต์แต่ในกระถินที่มีขายในท้องตลาดจังหวัดเชียงใหม่มีประมาณ 1.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกระถินพื้นเมืองในเขตอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐมที่มีค่าเท่ากับ 1.02-1.22 เปอร์เซ็นต์ (วิสุทธิ, 2530) และ Brewbaker and Hylin (1965) กล่าวว่ากระถินที่มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียจะมีปริมาณมิโมซีนสูงกว่ากระถินพันธุ์ต่างประเทศอีกด้วย

2.3.4 ความเป็นพิษของสารมิโมซีน

ความเป็นพิษของสารมิโมซีนจะมีผลทั้งสัตว์กระเพาะเดียวและสัตว์เคี้ยวเอื้องแต่สัตว์เคี้ยวเอื้องมีความต้านทานความเป็นพิษของมิโมซีนสูงกว่าสัตว์กระเพาะเดียวทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถเปลี่ยนสารพิษมิโมซีนให้เป็นสาร 3, 4 dihydroxy pyrimidine (DHP) (Hammond, 1995)

Jones and Hegarty (1984) ได้ทำการศึกษาระดับของกระถินในสูตรอาหารต่อการเจริญเติบโต ปริมาณการกินได้ การทำหน้าที่ของต่อมไทรอยด์และการขับออกของสาร DHP ในโคเนื้อจำนวน 12 ตัวที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 153 ± 15.6 กิโลกรัมโดยเสริมใบกระถินในระดับ 0, 10, 20, 40, 67 และ 100 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารพบว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมใบกระถินมีการเพิ่มของน้ำหนักตัวคงที่คือ 0.3 กิโลกรัมต่อวันตลอดการทดลอง 16 สัปดาห์ ส่วนกลุ่มที่เสริมใบกระถินในระดับ 10, 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์มีน้ำหนักตัวเพิ่มมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมใบกระถินหลังทดลอง 12 สัปดาห์แรก หลังจากนั้นกลุ่มที่เสริมใบกระถินที่ระดับ 67 และ 100 เปอร์เซ็นต์ในช่วง 8 สัปดาห์แรกไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่หลัง 8 สัปดาห์พบว่าน้ำหนักตัวลดลง สำหรับปริมาณการกินได้พบว่าเกือบทุกกลุ่มมีปริมาณการกินได้ค่อนข้างคงที่ยกเว้นกลุ่มที่เสริมใบกระถินที่ระดับ 67 และ 100 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณการกินได้ลดลงอย่างรวดเร็วและที่ 10 สัปดาห์พบว่ากลุ่มที่เสริมใบกระถิน 40 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณการกินได้ลดลงเช่นกัน

2.3.5 อาการของสัตว์ที่กินกระถิน

สัตว์ที่กินกระถินในปริมาณมากและเป็นเวลานานจะมีการหลั่งน้ำลายมากกว่าปกติเกิดอาการคอปอก ระดับไทรอกซินในซีรัมต่ำลง เบื่ออาหาร เกิดแผลในหลอดอาหารและกระเพาะรูเมน ขนร่วงและประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ลดลง ซึ่งสัตว์เคี้ยวเอื้องที่แสดงอาการเป็นพิษเหล่านี้เนื่องจากกินกระถินมีน้อยมาก (Jones, 1994) นอกจากนี้มิโมซีนยังส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยเยื่อใยของแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องลดลง โดยสัตว์ที่แสดงอาการเป็นพิษของมิโมซีนจะไม่ตายและหากงดอาหารที่มีมิโมซีนอาการเป็นพิษจะจางหายไปเอง (สาโรช, 2523)

ในขณะที่จินตนาและคณะ (2526) ทำการทดลองโดยใช้โคลูกผสมบราห์มันที่มีน้ำหนักตัวเริ่มต้นประมาณ 120 กิโลกรัมจำนวน 5 ตัว โดยให้กินใบกระถินสดคิดเป็นร้อยละ 50 ของอาหารทั้งหมดเป็นเวลา 232 วัน จากการศึกษาพบว่าโคมีอาการเป็นพิษไม่พร้อมกันคือโค 1 ตัวแสดงอาการเป็นพิษหลังจากกินกระถิน 80 วันโค 2 ตัวแสดงอาการหลังกินได้ 8 เดือนและอีก 2 ตัวไม่แสดงอาการเป็นพิษโดยอาการที่แสดงออก คือ น้ำตาไหลตลอดเวลา น้ำลายไหลและน้ำหนักตัวลด แต่อาการเหล่านี้จะหายไปเมื่อหยุดการกินกระถิน

2.3.6 การลดสารพิษมิโมซีนในกระถิน

ในประเทศไทยได้มีการศึกษาการลดสารพิษมิโมซีนด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อให้สามารถนำกระถินไปใช้เลี้ยงสัตว์ได้อย่างมีคุณภาพด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

กฤษณาและคณะ (2538) กล่าวว่าวิธีการลดสารพิษมิโมซีนสามารถทำได้โดยการตากใบกระถินเป็นเวลา 1-3 วันสามารถลดปริมาณสารมิโมซีนได้ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์การนำใบกระถินไปนึ่ง 1-3 ชั่วโมงสามารถลดปริมาณสารมิโมซีนได้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ การนำใบกระถินไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมงสามารถลดปริมาณสารมิโมซีนได้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์

ในขณะที่สุวรรณา (2527) ได้นำใบกระถินมาแยกใช้เฉพาะส่วนของใบและทำการลดปริมาณมิโมซีนโดยวิธีการนำใบกระถินแห้งมาแช่น้ำนาน 15 นาทีถึง 24 ชั่วโมงแล้วนำมาตากให้แห้งหรือใช้ใบสดแช่น้ำ 24 ชั่วโมงแล้วนำมาตากให้แห้ง ส่วนการนำใบกระถินแห้งแช่ในสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) จะให้ผลใกล้เคียงกับการนำใบกระถินสดแช่ในสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0.2 เปอร์เซ็นต์นาน 15 นาที ในขณะที่การผึ่งลมและผึ่งแดดทำให้ปริมาณมิโมซีนลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการลดมิโมซีนที่ได้ผลควรทำโดยการนำใบกระถินไปแช่ในสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตหรือแช่ในน้ำก่อนแล้วนำมาผึ่งแดด

นอกจากนั้น Hongo *et al.*, (1986) ทำการศึกษาวิธีการลดสารพิษมิโมซีนที่มีอยู่ในกระถินโดยกระบวนการแบบเยือกแข็ง (freeze dried), การตากแห้ง (air dried) และการหมัก (silage dried) เพื่อใช้เป็นอาหารเลี้ยงหนูเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ให้กินถั่วอัลฟัลฟา จากการศึกษาพบว่าน้ำหนักตัวกับปริมาณที่กินได้เพิ่มสูงขึ้นในกลุ่มที่กินถั่วอัลฟัลฟากับกลุ่มที่กินกระถินหมัก 20 เปอร์เซ็นต์ซึ่งให้ค่าสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ ส่วนอาการที่เป็นพิษเนื่องจากสารพิษมิโมซีนพบว่ากลุ่มที่กินกระถินหมักไม่แสดงอาการดังกล่าว ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสารมิโมซีนและสาร DHP ที่อยู่ในกระถินมีความแตกต่างกันกล่าวคือกระถินที่ผ่านกระบวนการทำแบบเยือกแข็ง การตากแห้งและการหมักมีปริมาณมิโมซีนเท่ากับ 1.93, 0.90, และ 0.19 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ส่วน DHP มีค่าเท่ากับ 0.13, 0.34 และ 0.22 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง จากผลดังกล่าวจึงแสดงว่าวิธีการลดสารพิษ

มิโมซินที่ดีที่สุด คือ การหมัก ส่วนการทำแบบเยือกแข็งปริมาณมิโมซินลดลงน้อยที่สุดทั้งนี้ เนื่องจากการทำแบบเยือกแข็งเป็นเพียงการหยุดการทำงานของเอนไซม์ที่เปลี่ยนสารมิโมซินไปเป็น DHP แต่ไม่ได้ทำลายเหมือนการตากแห้งหรือการหมัก

ดังนั้นจากข้อมูลข้างต้นจึงสรุปได้ว่าวิธีที่สามารถใช้ลดสารพิษมิโมซินที่อยู่ในกระถิน ได้ก็คือ การทำแบบเยือกแข็ง การแช่น้ำ การนึ่ง การใช้สารละลายเฟอรัสซัลเฟต การตากแห้ง และการหมัก ดังนั้นเกษตรกรสามารถเลือกวิธีการเหล่านี้ไปใช้ได้ตามความเหมาะสมได้อีกด้วย

2.3.7 ผลของการใช้กระถินเป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง

2.3.7.1 การใช้กระถินเป็นพืชอาหารหยาบในรูปแบบสด

กัญจนะ (2551) ทำการศึกษาการใช้กระถินและอาหารข้นเป็นอาหารเสริม สำหรับโคนมและใช้หญ้าแพงโกล่าเป็นอาหารหยาบ จากการศึกษาพบว่าการใช้อาหารข้น 2 กิโลกรัมร่วมกับกระถินสด 4 กิโลกรัมและการใช้กระถินสด 8 กิโลกรัมส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ของไขมันมากกว่าการเสริมอาหารข้นอย่างเดียว ส่วนปริมาณของโปรตีนและของแข็งทั้งหมดในน้ำนม พบว่าการใช้กระถินสด 8 กิโลกรัมส่งผลให้มีปริมาณของโปรตีนและของแข็งทั้งหมดในน้ำนมสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่าการนำกระถินมาใช้เลี้ยงสัตว์สามารถทำให้ผลผลิตของน้ำนมดีกว่าการใช้อาหารข้นเพียงอย่างเดียวหรือการเลี้ยงด้วยอาหารข้นผสมกับกระถินสด ดังนั้นการนำกระถินมาใช้เป็นอาหารสำหรับโคนมจึงเป็นทางเลือกให้กับเกษตรกรได้ใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพดีได้อีกด้วย

นอกจากนี้จินดาและคณะ (2529) ได้ทำการศึกษาใช้ใบกระถินสดเพียงอย่างเดียวขุนกระบือลูกผสมมูร่าห์เพศผู้ตอนอายุประมาณ 2 ปี 6 เดือน จำนวน 2 ตัว โดยให้กินอย่างเต็มที่นาน 768 วันกระบือสามารถกินกระถินได้ 58.53 กิโลกรัมต่อตัวต่อวันหรือเท่ากับ 5.88 กิโลกรัมแห้งต่อตัวต่อวันและมีอัตราการเจริญเติบโตตลอดการทดลองเฉลี่ย 0.27 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน โดยโคมีสุขภาพสมบูรณ์ไม่แสดงอาการอันเนื่องมาจากพิษของมิโมซินทั้งลักษณะภายนอกและทางพยาธิของอวัยวะภายใน

2.3.7.2 การใช้กระถินเป็นพืชอาหารหยาบในรูปแบบพืชอาหารหมัก

วรรณภา (2545) ได้ทำการทดลองหมักใบกระถินสดร่วมกับรำละเอียดและน้ำในอัตรา 100:20:20 พบว่ามีการย่อยได้ของน้ำหนักรวม อินทรีย์วัตถุ โปรตีนหยาบและ NDF เท่ากับ 56.49, 60.20, 52.46 และ 25.91 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ และยังสามารถเพิ่มเบต้าแคโรทีนจาก 88.5 เป็น 99.92-120.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักรวมอีกทั้งยังพบว่ามีค่า Metabolizable energy (ME) และ Net energy lactation (NE_L) เท่ากับ 2.46 และ

1.50 Mcal /kgDM ตามลำดับ เมื่อนำไปให้โคนมแท้งกินเป็นอาหารอย่างเดียวโดยให้กินอย่างเต็มที่พบว่าทั้ง ตัวสัตว์และกระเพาะรูเมนอยู่ในสภาพปกติโดยมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.7-6.9 ดังนั้นจึงสามารถใช้กระถินหมักเป็นอาหารหยาบในการเลี้ยงโคนมให้มีสุขภาพดีได้

2.3.7.3 การใช้กระถินเป็นพืชอาหารหยาบในรูปแบบแห้ง

จากองค์ประกอบทางเคมีของกระถินที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงจึงทำให้มีการนำกระถินมาใช้เป็นสารเสริมในรูปแบบแห้งดังการรายงานของ Cheva-Isarakul and Poti kanond (1986) ได้ทำการศึกษาการเสริมใบกระถินแห้งในอาหารสัตว์สำหรับโคเพศผู้น้ำหนักเฉลี่ย 90 กิโลกรัมอายุ 6-7 เดือนแบ่งเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 กินอาหารข้น 960 กรัมแห้งต่อตัวต่อวันและฟางปรงแต่งยูเรีย 6 เปอร์เซ็นต์โดยให้กินเต็มที่และกลุ่มที่ 2 กินเช่นเดียว กับกลุ่มที่ 1 แต่เสริมใบกระถินแห้ง 0.5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน จากการศึกษาพบว่าโคกลุ่มที่ 1 และ 2 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 0.42 และ 0.48 กิโลกรัมต่อวันและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเท่ากับ 6.89 และ 6.51 กิโลกรัมอาหารต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว นอกจากนั้นเมื่อวิเคราะห์ต้นทุนค่าอาหารพบว่าโคกลุ่มที่ 2 มีต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัวต่ำกว่ากลุ่มที่ 1 คือ 10.9 และ 12.4 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นการเลี้ยงโคด้วยอาหารกลุ่มที่ 1 ก็เพียงพอที่จะทำให้โคมีการเจริญเติบโตที่ดีได้โดยไม่จำเป็นต้องเสริมใบกระถินแห้งเพราะอาจเป็นการเพิ่มต้นทุนค่าอาหาร

บุญเสริมและบุญล้อม (2529) ทำการศึกษาการเสริมและไม่เสริมใบกระถินแห้งร่วมกับฟางปรงแต่งยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดโดยทดลองในโครุ่นลูกผสมขาวดำอายุประมาณ 7 เดือนน้ำหนักเฉลี่ย 105 กิโลกรัม จำนวน 2 กลุ่ม ๆ ละ 6 ตัว โดยกลุ่มที่ 1 กินฟางปรงแต่งเต็มที่ กลุ่มที่ 2 กินฟางปรงแต่งเสริมใบกระถินแห้ง 0.5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวันและทั้ง 2 กลุ่มได้รับรำละเอียด 1 กิโลกรัมต่อตัวต่อวันเป็นเวลา 98 วัน จากการศึกษาพบว่าโคกลุ่มที่ 2 กินอาหารได้มากกว่าโคกลุ่มที่ 1 คิดเป็นปริมาณน้ำหนักแห้งที่กินได้เท่ากับ 2.8 และ 2.4 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่ากลุ่มที่ 1 อีกด้วย

เพ็ญศรี (2549) ได้ทำการศึกษาการใช้ใบกระถินเทพาแห้งเลี้ยงแพะลูกผสมเพศเมียน้ำหนักเฉลี่ย 20 กิโลกรัมจำนวน 8 ตัวที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรีโดยทำการแบ่งแพะเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 4 ตัวโดยกลุ่มที่ 1 ให้กินใบกระถินเทพาแห้งอย่างเดียวและกลุ่มที่ 2 ให้กินใบกระถินเทพาแห้งร่วมกับหญ้าลูซี่แห้ง ซึ่งแพะทุกตัวได้รับอาหารข้นที่มีโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์โดยให้ในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวตลอดจนระยะเวลาการทดลอง 90 วันพบว่าแพะกินกระถินเทพาแห้งได้น้อยจึงส่งผลทำให้แพะกลุ่มที่กินใบกระถินเทพาแห้งอย่างเดียวโตช้ากว่าแพะที่กินใบกระถินเทพาแห้งร่วมกับหญ้าลูซี่แห้ง

มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 33.3 และ 105.6 กรัมต่อตัวต่อวัน ในขณะที่ปริมาณอาหารทั้งหมดที่กินเมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวพบว่าแพะกลุ่มที่กินใบกระถินเทพาแห้งร่วมกับหญ้าฐี่แห้งมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าแพะกลุ่มที่กินใบกระถินเทพาแห้งอย่างเดียว โดยมีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 914.9 กรัมต่อตัวต่อวันและ 510.6 กรัมต่อตัวต่อวันตามลำดับ

พืชอาหารสัตว์บางชนิดตลอดจนกระถินอาจมีคุณค่าทางโภชนาและลักษณะที่ยังไม่เหมาะสมในการนำมาทำเป็นพืชอาหารหมัก ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยการหมักร่วมกับสารเสริมก่อนเพื่อให้พืชอาหารหมักที่ได้มีคุณภาพดีและมีคุณค่าทางโภชนาเพียงพอต่อความต้องการของสัตว์อีกด้วย

2.4 การผลิตพืชอาหารหมักโดยใช้สารเสริม

2.4.1 ประเภทสารเสริมในพืชอาหารหมัก

การแยกประเภทของสารเสริมในพืชอาหารหมักสามารถแยกได้ตามผลที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก (ตารางที่ 2.5) แต่สารเสริมบางกลุ่มสามารถแสดงผลได้หลายประเภท เช่น พวกแป้ง เมล็ดธัญพืชและกากน้ำตาลเป็นต้น ในขณะที่ Woolford (1984) ได้ทำการแยกประเภทของสารเสริมที่ใช้ในการทำพืชอาหารหมักออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

1. สารที่ทำให้เกิดความเป็นกรดโดยตรงต่อพืชอาหารหมัก (direct acidification) ได้แก่ กรดอินทรีย์และกรดอินทรีย์มีผลทำให้พีเอชของพืชอาหารหมักลดลงและชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพืชอาหารหมักโดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติที่มีอยู่ในพืช เช่น กรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอร์มิก และ กรดอะคริลิก เป็นต้น

2. สารกลุ่มที่สามารถยับยั้งกระบวนการหมัก (fermentation inhibitor) ได้แก่ กลุ่มที่สามารถยับยั้งได้ทางอ้อม (indirect acting) และกลุ่มที่ยับยั้งโดยตรง (direct acting) มีผลยับยั้งจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและสารอื่น ๆ ที่ทำหน้าที่ได้เหมือนกับจุลินทรีย์ เช่น ฟอร์มาดีไฮด์ และ เฮกซะไมด์ เป็นต้น

3. สารกลุ่มที่กระตุ้นกระบวนการหมัก (fermentation stimulation) เป็นสารตั้งต้นทำหน้าที่สนับสนุนกระบวนการหมักโดยทำให้เกิดกระบวนการหมัก เช่น กากน้ำตาล และ เอนไซม์ซึ่งได้แก่ เอนไซม์เซลลูโลสไลติก เอนไซม์อะไมโลไลติก และ จุลินทรีย์มีชีวิต เป็นต้น

4. สารกลุ่มที่สามารถต่อต้านจุลินทรีย์โดยเฉพาะ (specific antimicrobial) พวกสารเสริมปฏิชีวนะที่ได้จากการสังเคราะห์จากจุลินทรีย์และกลุ่มที่ต่อต้านจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ในยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โดยตรง เช่น บาซิตราซิน โบรโนพอล และ โซเดียมคลอไรด์ เป็นต้น

5. สารกลุ่มที่เป็นแหล่งโภชนะ (nutrients) ได้แก่ วัตถุดิบที่ให้พลังงานไนโตรเจนและแร่ธาตุทำหน้าที่เพิ่มคุณค่าทางโภชนะของพืชอาหารหมัก เช่น เมล็ดธัญพืช และ ยูเรีย เป็นต้น

ตารางที่ 2.5 การจำแนกชนิดของสารเสริมในอาหารหมัก

Additive category	Selection of active ingredients	Intended mode of action	Examples
Direct acidifiers	Inorganic acid	To give a low pH to silage at the outside and induce qualitative changes in the microflora	Sulfuric acid
	Organic acid		Formic acid
			Acrylic acid
Fermentation inhibitor	Direct-acting sterilants	To inhibit the microflora in general,	Formaldehyde
	Indirect-acting sterilants	either immediately or by sequential release of active agent	Hexamine
Fermentation stimulants	Substrates	To encourage fermentation by Provision of fermentable material.	Molasses
	Enzymes	To increase reserves of fermentable material from otherwise non fermentable materials.	Cellulolytic Amylolytic
	Microbial cultures	To establish a dominance of efficient lactic acid bacteria.	Lactobacilli
Specific antimicrobial	Antibiotic	To discourage the growth of spoilage microorganisms directly.	Bacitracin
	Synthetic antimicrobial		Bronopol Sodium nitrite
	Other antimicrobial		
Nutrients	Energy	To improve the nutritional value of silage.	Starch
	Nitrogen, minerals		Urea

ที่มา: Woolford (1984)

2.4.2 ผลของการใช้สารเสริมในพืชอาหารหมัก

2.4.2.1 สารเสริมกลุ่มที่ทำให้เกิดความเป็นกรดโดยตรงต่อพืชอาหารหมัก (Direct acidification)

1. กรดอนินทรีย์ (inorganic acid) การเสริมกรดอนินทรีย์ลงในพืชอาหารหมักจะทำให้ระดับพีเอชของพืชอาหารหมักลดลงอยู่ระหว่าง 3.5-4.0 ซึ่งเป็นระดับพีเอชที่ทำให้ไม่เกิดการผลิตกรดบิวทีริกแต่ยังมีการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตกรดชนิดอื่น ๆ อยู่จึงสามารถทำให้เกิดกระบวนการหมักในการรักษาคุณภาพของอาหารได้ กรดอนินทรีย์ที่ใช้ในพืชอาหารหมักไม่มีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์แต่จะทำให้อาหารเกิดความเป็นกรดเท่านั้นและการนำพืชอาหารหมักที่เสริมกรดอนินทรีย์มาใช้ในการเลี้ยงสัตว์อาจทำให้เกิดปัญหาต่อระบบสรีรวิทยาของสัตว์ เช่น ท้องอืด (acidosis) และเกิดภาวะแมกนีเซียมในเลือดต่ำ (hypomagnesemia) ตลอดจนลดความนำกินลงอีกด้วย (Breirem and Ulivesli, 1960) ดังนั้นควรใช้กรดอนินทรีย์ในระดับที่ต่ำเนื่องจากความเป็นกรดสูงจะทำให้เกิดการกีดกร่อนอุปกรณ์ที่ใช้งาน เช่น กรดซัลฟูริก

1.1. กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid)

กรดซัลฟูริกเป็นกรดแก่ถ้ามีสถานะเป็นของแข็งจะเป็นอันตรายน้อยกว่าสถานะที่เป็นของเหลว จากการทดสอบกับจุลินทรีย์พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่ม *Clostridium* ได้ (Woolford, 1978) การใช้กรดซัลฟูริก 12 กิโลกรัมต่อน้ำหนักพืชจะทำให้เกิดการผลิตกรดแลคติกได้ดียิ่งขึ้นและถ้ามีการสับพืชให้มีขนาดเล็กลงจะทำให้กรดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและช่วยลดการสลายโปรตีนในพืชอาหารหมักแม้ว่ากรดจะสามารถใช้ในการถนอมรักษาคุณภาพอาหารได้แต่อาจจะสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะท้องอืดในสัตว์ได้

2. กรดอินทรีย์ (organic acid) มีคุณสมบัติคล้ายกับกรดอนินทรีย์คือสามารถยับยั้งจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ต้องการได้ เช่น กรดฟอร์มิก กรดโพรพิโอนิก และกรดอะซิติก เป็นต้น

2.1. กรดฟอร์มิก (formic acid)

การใช้กรดฟอร์มิกจะใช้ในพืชที่มีความชื้นสูงซึ่งสามารถยับยั้งการเกิดเชื้อราในกองพืชอาหารหมักได้ นอกจากนี้ช่วยเร่งการเกิดกระบวนการหมักได้เร็วขึ้น ลดปริมาณการสูญเสียโภชนาเนื่องจากการหายใจของพืชเพราะการใช้กรดในการเร่งปฏิกิริยาจะสามารถลดระยะเวลาในการหมักลงได้ (สายัณห์, 2540) นอกจากนี้ Waldo *et al.*, (1971) รายงานว่าการใช้กรดฟอร์มิกจะช่วยป้องกันการเกิดการหมักของแบคทีเรียพวก *Clostridium* และลด

การหมักของคาร์โบไฮเดรตที่เกิดขึ้นภายในไซโลและความเป็นกรดจะช่วยให้พืชอาหารหมักนั้นสามารถเก็บไว้ได้ และ *Silveira et al.*, (1980) กล่าวว่า การเสริมกรดฟอร์มิกในอัตรา 0.5 เปอร์เซ็นต์ลงในพืชอาหารหมักจะทำให้พืชอาหารหมักมีการกินได้และการย่อยสลายของน้ำหนักร้างสูงกว่ากลุ่มควบคุมอีกด้วย

1.2 กรดอะซิติก (acetic acid)

การใช้กรดอะซิติกที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 47 มิลลิโมลต่อลิตรหรือใช้ในอัตราส่วน 2.3 ลิตรต่อตันของพืชที่มีน้ำหนักร้าง 20 เปอร์เซ็นต์จะสามารถยับยั้ง endospore forming bacteria ได้และการใช้กรดอะซิติกที่อัตราส่วน 6.0-8.5 กรัมต่อลิตรจะมีคุณสมบัติสามารถยับยั้งพวกยีสต์ได้ (Woolford, 1975a) ซึ่งกรดอะซิติกเป็นกรดที่เกิดขึ้นอยู่แล้วในกระบวนการหมักดังนั้นการที่นำมาใช้เพื่อการถนอมอาหารจะเป็นการเพิ่มต้นทุนให้สูงขึ้น

1.3 กรดโพรพิโอนิก (propionic acid)

กรดโพรพิโอนิกมีคุณสมบัติยับยั้งพวกเชื้อราจึงสามารถใช้เก็บรักษาคุณภาพของพืชอาหารหมักได้ โดยการเสริมกรดโพรพิโอนิกในพืชอาหารหมักที่มีความเข้มข้น 88 มิลลิโมลต่อลิตรหรือเท่ากับ 6.8 กรัมต่อกิโลกรัมของพืชที่มีน้ำหนักร้าง 20 เปอร์เซ็นต์จะสามารถลดค่าพีเอชลงได้ถึงระดับที่ยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกได้ ในขณะที่การเสริมกรดโพรพิโอนิกในพืชที่มีพีเอชเท่ากับ 5 และ 6 จะสามารถยับยั้ง endospore forming bacteria และจำกัดกระบวนการหมักได้ นอกจากนี้กรดโพรพิโอนิกจะสนับสนุนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกและเป็นการเพิ่มการกินได้ของโคในระยะให้นมตลอดจนไม่มีผลกระทบต่อการผลิตนํานมอีกด้วย (Woolford, 1984) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ *Kung et al.*, (1998) ที่กล่าวว่าการใช้กรดโพรพิโอนิกในพืชอาหารหมักนั้นจะไม่มีผลต่อการกินได้และการให้ผลผลิตของนํานมโค

1.4 กรดแลคติก (lactic acid)

กรดแลคติกมีคุณสมบัติเหมือนกรดทั่ว ๆ ไปคือมีระดับพีเอชเท่ากับ 5 ซึ่งมีคุณสมบัติยับยั้ง endospore forming bacteria แต่ไม่มีผลต่อยีสต์และเชื้อรา การใช้กรดแลคติกที่มีความเข้มข้น 58 มิลลิโมลต่อลิตรที่มีพีเอชเท่ากับ 4 หรือเท่ากับอัตรา 45 กิโลกรัมต่อตันนําน้ำพืชที่มีน้ำหนักร้าง 20 เปอร์เซ็นต์จะสามารถยับยั้งจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ต้องการได้เป็นอย่างดีและทำให้มีการผลิตกรดแลคติกเพิ่มสูงขึ้น (Woolford, 1975b)

2.4.2.2 กลุ่มที่สามารถยับยั้งกระบวนการหมัก (fermentation inhibitor)

สารเสริมในกลุ่มนี้จะรวมถึงสารเสริมทุกชนิดที่มีผลสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ในพืชอาหารหมักได้และสามารถแบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้เป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ยับยั้งโดยตรง (direct acting) และกลุ่มที่สามารถยับยั้งได้ทางอ้อม (indirect acting)

1. กลุ่มที่ยับยั้งโดยตรง (direct acting sterilants)

1.1 ฟอรัมาลดีไฮด์ (formaldehyde)

Goering *et al*, (1991) กล่าวว่าฟอรัมาลดีไฮด์เป็นสารเสริมที่ใช้ประโยชน์เหมือนกับฟอรัมาลีนโดยการใช้ฟอรัมาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 8 มิลลิโมลต่อลิตรจะทำให้เกิดการจำกัดกระบวนการหมัก ซึ่งผลของฟอรัมาลดีไฮด์ต่อพืชอาหารหมักจะมีลักษณะคล้ายกับกรดฟอรัมิกเมื่อเทียบในอัตราเดียว นอกจากนี้ Barker *et al*, (1973) พบว่าฟอรัมาลดีไฮด์มีผลต่อการกินได้และผลผลิตของสัตว์อีกด้วย

1.2 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide)

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ใช้รักษาคุณภาพในการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม โดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถลดจำนวนแบคทีเรียในการหมักทุกชนิดแต่ไม่ได้ยับยั้งกิจกรรมของแบคทีเรีย ซึ่งซัลเฟอร์ไดออกไซด์นี้จะเป็นประโยชน์ต่อการหมักพืชอาหารสัตว์ที่มีน้ำตาลต่ำ ถ้าใช้ในอัตรา 3.2 กิโลกรัมต่อตันส่งผลให้พีเอชในพืชอาหารหมักลดลงเท่ากับ 4 ซึ่งจะใช้เวลา 1-3 วัน นอกจากนี้การใช้อัตรา 2.6 กิโลกรัมต่อตันในการหมักพบว่าช่วยลดการสูญเสียพื้นที่ผิวของพืชอาหารหมักและช่วยเพิ่มปริมาณน้ำหนักร้าง (Knodt, 1950)

2. กลุ่มที่ยับยั้งโดยทางอ้อม (indirect acting sterilants)

Woolford (1978) กล่าวว่าพืชอาหารหมักที่เสริมด้วยโซเดียมเมทต้าไบซัลไฟท์และเฮกซ่าไมด์จะมีผลดังนี้

2.1 โซเดียมเมทต้าไบซัลไฟท์ (sodium metabisulfite)

การใช้โซเดียมเมทต้าไบซัลไฟท์ที่ความเข้มข้น 12.5 มิลลิโมลต่อลิตรหรือ 2.0 กิโลกรัมต่อตันในพืชที่มีพีเอชเท่ากับ 6 จะสามารถยับยั้งแบคทีเรียทุกชนิดได้และการใช้มากกว่า 10 กรัมต่อกิโลกรัมจะไม่มีผลต่อพีเอชแต่เป็นการเพิ่มกรดแลคติกและลดกรดบิวทิริกในพืชอาหารหมักแต่โซเดียมเมทต้าไบซัลไฟท์มีผลลดความน่ากินของพืชอาหารหมักจึงไม่เป็นที่นิยมมากนัก

2.2 เฮกซะไมด์ (Hexamine)

การเปรียบเทียบการใช้เฮกซะไมด์ร่วมกับไซโตเดียมโนเตรทและฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับกรดฟอร์มิคในพืชอาหารหมักที่อัตรา 2.3, 1.1, 2.5 และ 3.0 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับพบว่าพืชอาหารหมักมีปริมาณแอมโมเนียเท่ากับ 150 และ 20 กรัมต่อกิโลกรัมของไนโตรเจนทั้งหมด ส่วนการกินได้ของน้ำหนักรักพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งการใช้เฮกซะไมด์เป็นสารเสริมในพืชอาหารหมักอาจเป็นการเพิ่มต้นทุนเมื่อเทียบกับการใช้สารเคมีตัวอื่น ๆ เช่น ฟอร์มาลดีไฮด์

2.4.2.3 กลุ่มที่สามารถกระตุ้นกระบวนการหมัก (fermentation stimulants)

เป็นสารกลุ่มที่มีผลสนับสนุนมากกว่าการยับยั้งกระบวนการหมักและมีการกระตุ้นการหมักได้ 3 ทาง คือ สารตั้งต้นการหมักซึ่งสนับสนุนการผลิตกรดแลคติกในกระบวนการหมัก เอนไซม์ช่วยย่อยสลายประกอบของพืชอาหารหมักทำให้ได้สารตั้งต้นสำหรับกระบวนการหมักและจุลินทรีย์มีชีวิต

1. สารกระตุ้นกระบวนการหมัก (fermentation substrate)

1.1 กากน้ำตาล

กากน้ำตาลเป็นสารเสริมสำหรับการเพิ่มปริมาณน้ำตาลในพืชอาหารหมัก โดยนิยมใช้กากน้ำตาลและน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารให้กับแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติกเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและทำให้สามารถผลิตกรดได้เร็วขึ้น สายัณห์ (2542) ทำการศึกษาพืชอาหารหมักจากกระถินที่เสริมกากน้ำตาลในปริมาณ 2.3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ซึ่งทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมพบว่ากลุ่มที่เสริมกากน้ำตาลในปริมาณ 2.3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณกรดแลคติกเท่ากับ 4.1 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่าเท่ากับ 2.0 เปอร์เซ็นต์และค่าพีเอชในกลุ่มที่เสริมกากน้ำตาลในปริมาณ 2.3 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์มีค่าเท่ากับ 4.3 และ 4.1 ซึ่งมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมเท่ากับ 4.7 จากลักษณะดังกล่าวจึงสามารถนำกากน้ำตาลมาใช้เป็นสารเสริมในการปรับปรุงคุณภาพของพืชอาหารหมักให้มีคุณภาพดีได้

นอกจากนั้น Tosi *et al.*, (1995) ได้ทำการศึกษาพืชอาหารหมักจากหญ้าโดยหมักร่วมกับกากน้ำตาลในปริมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพืชสดพบว่าค่าพีเอชและปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งเป็นลักษณะของพืชอาหารหมักที่มีคุณภาพดี

1.2 แป้ง (starch)

แป้งเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตโดยส่วนใหญ่แป้งที่ใช้จะอยู่ในรูปของเมล็ดธัญพืชจะทำให้เพิ่มกระบวนการหมักได้ การใช้เมล็ดธัญพืชบด เช่น ข้าวโพดบด มันสำปะหลังหรือการใช้แป้งพวกปลายข้าวหรือมอลต์ไม่มีอิทธิพลต่อการเก็บกักโภชนะและการใช้แป้งเป็นวัตถุดิบเสริมในพืชอาหารหมักจะส่งผลให้คุณค่าทางโภชนะสูงขึ้นซึ่งจะถูกใช้ประโยชน์ในกระเพาะหมักและเพิ่มการกินได้ของสัตว์ (Keady, 1998) การใช้แป้งและวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของแป้งในพืชอาหารหมักเป็นการเพิ่มโภชนะมากกว่ากระตุ้นกระบวนการหมัก นอกจากนี้การเพิ่มอาหารพวกแป้ง เช่น เมล็ดข้าวโพดหรือมันสำปะหลังบดลงในพืชอาหารสัตว์ที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ง่ายต่ำจะช่วยทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพดี

Todorov and Krusteva (1965) ใช้แป้งข้าวโพดเป็นสารเสริมในการหมักต้นถั่วโดยในอัตรา 10 กิโลกรัมต่อน้ำหนักพืชสด 100 กิโลกรัมผลปรากฏว่าพืชอาหารหมักมีคุณภาพดีกว่าพืชอาหารหมักที่ไม่มีการเสริมแป้งข้าวโพด

1.3 เศษเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปผลไม้ (fruit wastes)

เศษเหลือจากพืชผักและผลไม้จากโรงงานแปรรูปผลไม้เป็นแหล่งน้ำตาลที่ดีสำหรับอาหารหมัก เช่น เปลือกสับปะรด ซึ่งในต่างประเทศจะเป็นพวกแอปเปิ้ลและลูกแพร์ เป็นต้น โดย Miller and Dalton (1961) ทำการศึกษาใช้เศษเหลือจากโรงงานแปรรูปมะนาวเสริมลงในพืชอาหารหมักพบว่าสามารถกระตุ้นการหมักได้เป็นอย่างดี

2. เอนไซม์ (enzyme)

การเสริมเอนไซม์ลงในพืชอาหารหมักจึงเป็นการเพิ่มความสามารถในการหมักกล่าวคือเป็นการเพิ่มสารตั้งต้นการหมักและการเกิดไฮโดรไลซ์ของเซลลูโลสทำให้ปริมาณน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นตลอดจนทำปริมาณกรดแลคติก คุณค่าทางโภชนะและการย่อยได้ของพืชอาหารหมักเพิ่มสูงขึ้น (Berto and Muhlbach 1997) ซึ่ง Stokes and Chen (1994) พบว่าคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างจะมีการสลายตัวอย่างต่อเนื่องหลังจากการหมัก 28 วันโดยทำให้ปริมาณ NDF ADF เซลลูโลสและเอมิเซลลูโลสลดลงถึง 11-13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการลดลงของเยื่อใยจะทำให้สัตว์สามารถย่อยอาหารจำพวกเยื่อใยออกมาใช้ประโยชน์ได้มากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ Yang *et al.*, (1999) และ Schingoethe *et al.*, (1999) ได้ทำการศึกษาเอนไซม์ชนิดใหม่ที่สามารถใช้เป็นสารเสริมในการทำพืชอาหารหมักสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องเพื่อทำให้สัตว์สามารถย่อยอาหารและผลิตน้ำนมได้เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นการใช้เอน

ไซม์ในกระบวนการหมักจึงขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและปริมาณของน้ำหมักแห้งที่อยู่ในพืชอาหารสัตว์อีกด้วย (Muck, 1993)

3. จุลินทรีย์มีชีวิต (microbial culture)

การลดลงของระดับพีเอชมีความสำคัญมากเนื่องจากการเสริมกรดทำให้พีเอชลดลงในระดับที่ต้องการได้กล่าวคือพืชอาหารสัตว์ที่นำมาหมักนั้นอาจมีจำนวนแบคทีเรียที่เป็นต่อกระบวนการหมักน้อย ดังนั้นการใช้จุลินทรีย์ในการทำพืชอาหารหมักจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเมื่อเปรียบเทียบกับสารเสริมอื่น ๆ ที่ใช้กันในปัจจุบัน

3.1 แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria)

Frank *et al.*, (2001) พบว่าการเสริม *Lactobacillus buchneri* ในหญ้าไรย์หมักมีผลทำให้พืชอาหารหมักมีการสูญเสียน้ำหมักแห้งน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเสริม ในขณะที่ปริมาณโปรตีนหยาบมีค่าเท่ากับ 115 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหมักแห้งซึ่งมีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเสริมที่มีค่าเท่ากับ 118 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหมัก ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการเสริม *Lactobacillus buchneri* ในปริมาณที่มากจะทำให้จุลินทรีย์มีการนำโปรตีนหยาบไปใช้เป็นแหล่งพลังงานส่งผลให้โปรตีนหยาบในพืชอาหารหมักลดลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการเลือกใช้ชนิดและปริมาณของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกจึงควรคำนึงถึงชนิดและส่วนประกอบทางเคมีของพืชอาหารสัตว์อีกด้วย

Kung *et al.*, (2003) ทำการศึกษาการย่อยได้ในโคนมพันธุ์โฮลสไตน์ของพืชอาหารหมักจากถั่วอัลฟัลฟาที่มีการเสริม *Lactobacillus buchneri* และไม่เสริม โดยพบว่ากลุ่มที่กินพืชอาหารหมักจากถั่วอัลฟัลฟาที่มีการเสริม *Lactobacillus buchneri* มีการกินได้ของน้ำหมักแห้งเพิ่มสูงขึ้นและมีผลผลิตน้ำนมสูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเสริมประมาณ 1 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Meeske *et al.*, (2000) ที่พบว่าโคนมพันธุ์เจอร์ซีที่เลี้ยงด้วยพืชอาหารหมักจากข้าวโอ๊ตที่มีการเสริม *Streptococcus faecium* และ *Pediococcus acidilactici* ก็ให้ผลผลิตน้ำนมดีกว่าที่ไม่มีการเสริมเช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ Winter *et al.*, (2001) ทำการศึกษาการย่อยได้ของพืชอาหารหมักจากหญ้าไรย์ที่เสริมและไม่เสริม *Lactobacillus buchneri* ไปเลี้ยงโคนเนื้อพันธุ์ชาโรเลย์ พบว่ากลุ่มที่กินหญ้าหมักที่เสริม *Lactobacillus buchneri* มีการกินได้ของน้ำหมักแห้งและอัตราการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเสริม *Lactobacillus buchneri* อีกด้วย

Ranjit *et al.*, (2002) กล่าวว่าเมื่อนำพืชอาหารหมักจากข้าวโพดที่มีการเสริม *Lactobacillus buchneri* และไม่เสริมไปเลี้ยงแกะพบว่ากลุ่มที่กินพืชอาหารหมักจาก

ข้าวโพดหมักที่มีการเสริม *Lactobacillus buchneri* มีการกินได้ของน้ำหนักร่องและมียัตราการเจริญเติบโตสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก

จากองค์ประกอบทางเคมีและผลการทดลองการย่อยได้ในโคนมโคเนื้อและในแกะจึงแสดงให้เห็นว่าพืชอาหารหมักที่มีการเสริมแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกนั้นมีคุณภาพดีกว่าพืชอาหารหมักที่ไม่ได้เสริมแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกและยังทำให้สัตว์มีผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย

3.2 ยีสต์ (yeast)

การเสริมยีสต์มีชีวิตในการทำพืชอาหารหมักสามารถยับยั้งการแพร่กระจายของแบคทีเรียในกลุ่ม *Clostridium* และลดการสูญเสียน้ำหนักร่อง โดยยีสต์จะสนับสนุนการเจริญเติบโตทั้งแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกและกรดโพรพิโอนิคตลอดจนเป็นการเพิ่มกลิ่นหอมให้กับพืชอาหารหมัก (Woolford, 1984)

2.4.2.4 สารกลุ่มที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์โดยเฉพาะ (specific antimicrobial agents)

สารเสริมกลุ่มนี้มีคุณสมบัติยับยั้งจุลินทรีย์ซึ่งพบว่าการนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น การนำมาใช้ในการถนอมอาหารและการผลิตยาดังนั้นจึงสามารถแบ่งกลุ่มตามการทำงานและแหล่งของสารเสริมได้ดังนี้ กลุ่มแอนติไบโอติกที่ได้จากจุลินทรีย์และสารกลุ่มปฏิชีวนะที่ได้จากการสังเคราะห์

1. สารปฏิชีวนะ (antibiotic)

1.1 ยาปฏิชีวนะ (Therapeutic antibiotics)

สารปฏิชีวนะส่วนใหญ่แบ่งออกเป็นบาซิตราซิน (bacitracin), เพนนิซิลิน (penicillin), สเตรปโตไมซิน (streptomycin), เตตราไมซิน (tetracycline), นีโอไมซิน (neomycin) และอื่น ๆ บาซิตราซินมีคุณสมบัติสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกโดยเฉพาะชนิดที่สร้างสปอร์ ซึ่งการยับยั้งจะเกิดขึ้นในช่วงแรกของการหมักและไม่มีผลต่อค่าพีเอช (Langston et al., 1961)

นอกจากนี้สารปฏิชีวนะแต่ละชนิดจะให้ผลไม่เหมือนกัน เช่น การใช้ออโรไมซิน (aureomycin), เทอราไมซิน (terramycin), คลอแรมฟินิคอล (chloramphenicol) การใช้บาซิตราซินในอัตรา 150-200 กรัมต่อกิโลกรัมจะทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพดีขึ้นและการใช้เพนนิซิลิน เทอราไมซินและบาซิตราซินเสริมลงในพืชอาหารหมักพบว่าไม่มีผลหรือมีผลน้อยต่อค่าพีเอชหรือแอมโมเนีย ในขณะที่สเตรปโตไมซินและบาซิตราซินให้ผลเหมือนการ

เสริมแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกโดยจะสนับสนุนทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพสูงขึ้นอีกด้วย (Woolford, 1975)

1.2 รูเมนซิน (rumensin)

รูเมนซินมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ต้องการ (Zinn and Borques, 1993) ซึ่งในต่างประเทศมีการใช้ในการป้องกันการเกิดโรคท้องอืดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Elanco, 1991) อีกด้วย นอกจากนี้ Prigge and Owens (1976) ทำการทดลองใช้รูเมนซิน 0.22 กรัมต่อกิโลกรัมในข้าวโพดหมักพบว่ารูเมนซินมีผลต่อกระบวนการหมักโดยจะสนับสนุนทำให้พืชอาหารหมักเกิดกรดแลคติกเพิ่มสูงขึ้น

1.3 ไพมาริซิน (pimaricin)

ไพมาริซินเป็นสารยับยั้งพวกเชื้อราโดยใช้ควบคุมเชื้อราบริเวณผิวของเนยแข็ง ซึ่งการใช้ไพมาริซิน 0.15 มิลลิโมลต่อลิตรหรือ 0.18 กรัมต่อกิโลกรัมจะสามารถยับยั้งยีสต์และราในกระบวนการหมักได้ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มความเสถียรภาพของอากาศในข้าวโพดหมักและเมื่อใช้ไพมาริซินในปริมาณ 0.02 กรัมต่อกิโลกรัมเสริมลงในข้าวโพดหมักพบว่าหลังจากกระบวนการหมักจะลดการสูญเสียน้ำหนักแห้งในระหว่างที่พืชอาหารหมักถูกอากาศได้อีกด้วย (Woolford, 1984)

2. สารปฏิชีวนะที่ได้จากการสังเคราะห์

โบรโนพอล (Bronopol) เป็นสารต่อต้านแบคทีเรียที่ใช้ในการผลิตยาซึ่งสามารถใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในพืชอาหารหมักได้โดยการใช้ที่ความเข้มข้น 0.45 กรัมต่อกิโลกรัมจะสามารถยับยั้งพวกแบคทีเรียที่สร้างสปอร์มีผลต่อการกระตุ้นกระบวนการหมักและการผลิตกรดแลคติก (Woolford, 1984)

2.4.2.5 กลุ่มที่เพิ่มคุณค่าทางโภชนาในพืชอาหารหมัก (nutrients)

การใช้สารเสริมที่เป็นแหล่งของโภชนาจะสามารถเพิ่มทั้งคุณค่าทางโภชนา ทำให้กระบวนการหมักมีคุณภาพดียิ่งขึ้นและหลังจากกระบวนการหมักหยุดลงยังทำให้มีปริมาณ WSC เหลืออยู่ในพืชอาหารหมักที่สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป (Ohyama and Masaki, 1939) ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ เช่น เมล็ดธัญพืช

Wing (1967) ได้ทำการศึกษาการใช้ข้าวโพดบดเสริมในปอชวาหมักในอัตรา 68 กิโลกรัมต่อ 1 ตันของน้ำหนักรวมพบว่าการเสริมข้าวโพดบดช่วยให้การย่อยได้ของน้ำหนักรวมมากกว่าปอชวาหมักที่ไม่มีการเสริมสารช่วยหมัก ในขณะที่ Handizic *et al.*, (1973) รายงานว่าการใช้ข้าวโพดบดหยาบเป็นสารเสริมที่ระดับคือ 20, 28 และ 32 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรวม

พืชสดในการทำพืชอาหารหมักจากต้นถั่วพบว่าค่าพีเอชลดลงและมีปริมาณของกรดแลคติกเพิ่มสูงขึ้นตลอดจนประสิทธิภาพการย่อยได้ของน้ำหมักแห้งสูงกว่าพืชอาหารหมักที่ไม่มีการใช้สารเสริมอีกด้วย

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าสารเสริมแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ต่างกันออกไป ดังนั้นการศึกษาชนิดของสารเสริมที่นำมาใช้ในการทำพืชอาหารหมักจึงมีความสำคัญ เนื่องจากการใช้สารเสริมจะส่งผลทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพดีแล้วอาจต้องมีการคำนึงถึงต้นทุนการผลิตอีกด้วย โดยสารเสริมที่นิยมนำมาใช้ในการทำพืชอาหารหมักคือกากน้ำตาลเพราะกากน้ำตาลมีปริมาณของน้ำตาลสูง ซึ่งจุลินทรีย์สามารถใช้สารอาหารเหล่านี้เป็นแหล่งอาหารในการผลิตกรดแลคติกจึงส่งผลทำให้พืชอาหารหมักที่ได้มีคุณภาพดีนั่นเอง

2.5 กากน้ำตาล (Molasses)

2.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากน้ำตาล

กากน้ำตาลเป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลทรายโดยมีลักษณะเป็นของเหลว ชันเหนียวและมีสีดำ ซึ่งนิยมนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่สามารถกินกากน้ำตาลได้มากกว่าสัตว์กระเพาะเดียว นอกจากนั้นยังใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารให้กับจุลินทรีย์ในการผลิตกรดแลคติกได้เป็นอย่างดีอีกด้วย ซึ่งส่วนประกอบของกากน้ำตาลส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ (Thomas, 1978 และวารุณี, 2548) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส 25-60 เปอร์เซ็นต์ ฟรุคโตสและกลูโคสอีกประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์และน้ำตาลชนิดอื่นประมาณ 12-35 เปอร์เซ็นต์ (Woolford, 1984 และ Church, 1991) ในขณะที่ Allen (1990); Church (1991); Perston and Leng (1987); National Research Council (1988) Woolford (1984) และ McDonald *et al.*, (1995) กล่าวว่ากากน้ำตาลมีปริมาณโปรตีนหยาบอยู่ในช่วง 2-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหมักแห้ง

นอกจากนั้น National Research Council (2001) กล่าวว่ากากน้ำตาลมีปริมาณโปรตีนหยาบ ไนมัน NDF ADF และเถ้าเท่ากับ 5.8, 0.2, 0.4, 0.2 และ 13.3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหมักแห้ง จากองค์ประกอบทางเคมีจึงทำให้นิยมนำกากน้ำตาลมาใช้เป็นสารเสริมในการทำพืชอาหารหมักเพราะสามารถช่วยในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ต้องการในระหว่างการหมักได้และช่วยเพิ่มปริมาณกรดแลคติกให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพดียิ่งขึ้นอีกด้วย ในขณะที่ Rangneker (1988) กล่าวว่ากากน้ำตาลมีปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมดประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้น National Research Council (1976) และ Church (1991) รายงานว่ากากน้ำตาลมีโภชนะที่ย่อยได้สูงถึง 72-79 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหมักแห้ง ดังนั้นคุณสมบัติเฉพาะตัว

ของกากน้ำตาลที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลักจึงทำให้มีความนิยมที่ใช้นำกากน้ำตาลเป็นสารเสริมในการปรับปรุงคุณภาพของพืชอาหารสัตว์ในรูปแบบต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

2.5.2 ผลของการเสริมกากน้ำตาลในการทำพืชอาหารหมัก

เรณู (2544) ได้ทำการศึกษานำใบกระถินยักษ์สายพันธุ์ชัลวาดอร์มาทำเป็นพืชอาหารหมักโดยหมักร่วมกับสารเสริมชนิดต่าง ๆ คือ เกลือ ยูเรีย มั่นเส้นบด รำละเอียดและกากน้ำตาลพบว่ากลุ่มที่เสริมด้วยกากน้ำตาลมีการสูญเสียน้ำหนักแห้งและเกิดกรดแลคติกต่ำสุด ส่วนกลุ่มที่เสริมด้วยรำละเอียดมีปริมาณของกรดแลคติกสูงสุด ในขณะที่ค่าพีเอชพบว่ามีค่าต่ำสุดในกลุ่มที่เสริมด้วยมันเส้นบดแต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริมด้วยรำละเอียด ส่วนกลุ่มที่เสริมด้วยยูเรียพบว่ามีคุณภาพไม่เหมาะต่อการนำมาใช้เป็นสารเสริมในกระถินหมักเนื่องจากยูเรียมีพีเอชสูง ซึ่งการทำพืชอาหารหมักต้องการให้เกิดความเป็นกรดสูงและเกิดกรดแลคติกได้เร็วเพื่อช่วยรักษาคุณภาพและสภาพพืชอาหารหมักให้อยู่ได้นาน

นอกจากนี้ได้มีการนำกากน้ำตาลมาปรับปรุงคุณภาพของหญ้าหมักเขตร้อนโดยจัดการศึกษาแบบ 3 ปัจจัยคือ 3x3 factorial in Complete randomize design โดยปัจจัยที่ 1 ศึกษาพันธุ์หญ้า 3 ชนิด (Hamil, Pangola และ Setaria) ปัจจัยที่ 2 อายุของพืช 3 สัปดาห์ (4, 8 และ 12 สัปดาห์) และปัจจัยสุดท้ายคือปริมาณกากน้ำตาลที่ใช้เสริม 3 ระดับ (0, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด) โดยทำการหมักเป็นเวลา 1, 5, 30 และ 100 วันพบว่าการเสริมกากน้ำตาลในปริมาณ 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ของพืชสดสามารถปรับปรุงคุณภาพของพืชอาหารหมักในเขตร้อนร้อนได้อย่างมีคุณภาพ แต่การปรับปรุงคุณภาพของพืชอาหารหมักโดยไม่เสริมกากน้ำตาลไม่ว่าจะใช้พืชอาหารสัตว์ชนิดใดหรืออายุใด พบว่าคุณภาพของพืชอาหารหมักยังไม่ได้มาตรฐานทั้งนี้เนื่องจากมีเยื่อใยสูงโดยเฉพาะ NDF และ ADL ตลอดจนยังมีแหล่งของ WSC น้อยประกอบกับมีความชื้นสูงจึงทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดกรดแลคติกเกิดได้ช้า (Tjandraatmadja *et al.*, 1994)

สมสุข (2544) ได้ทำการเปรียบเทียบกรรมวิธีในการผลิตพืชอาหารหมักในถุงพลาสติก 2 ชั้นดูดอากาศออกบรรจุลงละ 20 กิโลกรัม โดยใช้หญ้าที่หมักร่วมกับสารช่วยหมักชนิดต่าง ๆ ได้แก่ รำละเอียด 16 เปอร์เซ็นต์ มันเส้นบด 16 เปอร์เซ็นต์และกากน้ำตาล 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดตามลำดับพบว่าหญ้าที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์มีคุณภาพดีที่สุดเนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักแห้งและมีปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ น้อยที่สุดคือ 4.67 และ 5.02 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งอีกทั้งยังมีค่าพีเอชเท่ากับ 3.99 และมีกรดแลคติกสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ อีกด้วย

นอกจากนั้นจุฑารัตน์ (2520) ทำการศึกษาคุณค่าทางโภชนาะและการย่อยได้ของหญ้าชนที่เสริมและไม่เสริมสารช่วยหมัก คือ กลุ่มที่ 1 ไม่เสริมสารช่วยหมัก กลุ่มที่ 2 เสริมกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด กลุ่มที่ 3 เสริมกากสับประรด 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดและกลุ่มที่ 4 เสริมมันเส้นบด 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดพบว่า (ตารางที่ 2.6) หญ้าชนที่เสริมกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดและหญ้าชนเสริมกากสับประรด 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดมีค่าพีเอชคือ 4.25 และ 4.15 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรดพบว่าหญ้าชนที่เสริมกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดมีเปอร์เซ็นต์กรดแลคติกสูงสุดโดยมีกรดบิวทีริกและกรดอะซิติกต่ำสุดจึงนับได้ว่าเป็นพืชอาหารหมักคุณภาพดี

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าชนที่เสริมสารช่วยหมัก

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	หญ้าชน	กากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์	กากสับประรด 2 เปอร์เซ็นต์	มันเส้นบด 10 เปอร์เซ็นต์
น้ำหนักแห้ง	19.14	20.4	19.84	25.95
โปรตีนหยาบ	6.88	9.6	9.23	6.55
ไขมัน	3.57	5.8	5.87	4.34
พีเอช	5.10	4.25	4.15	4.55
กรดแลคติก	0.12	1.00	0.80	0.40
กรดอะซิติก	0.36	0.22	0.83	0.33
กรดบิวทีริก	0.35	0.28	0.02	0.41

ที่มา: จุฑารัตน์ (2520)

Benacchio (1969) รายงานว่าข้าวฟ่างหมักที่เสริมกากน้ำตาลในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ก็เพียงพอที่จะทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพดีและมีกรดแลคติกมากกว่าข้าวฟ่างหมักที่เสริมกากน้ำตาลเพียง 1 เปอร์เซ็นต์และกลุ่มที่ไม่มีการเสริมกากน้ำตาลอีกด้วย

ในขณะที่แพรวพรรณและคณะ (2549) ทำการศึกษาการเพิ่มคุณภาพของหญ้าแพงโกล่าหมักโดยใช้กากน้ำตาลเป็นสารเสริมในระดับ 2, 4, 6 และ 8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งแพงโกล่าสดพบว่าคุณภาพของพืชอาหารหมักและคุณค่าทางโภชนาะของหญ้าแพงโกล่าหมักมีคุณภาพดีขึ้นโดยพบว่ากลุ่มที่เสริมกากน้ำตาลมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 25.26-26.83 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนหยาบมีค่าอยู่ในช่วง 6.80-7.10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งและมีปริมาณกรดแลคติก

อยู่ในช่วง 4.04-6.41 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งอีกทั้งยังพบว่ามีค่าพีเอช กรดอะซิติกและกรดบิวทิริกลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริมกากน้ำตาลอีกด้วย

การใช้กากน้ำตาลในการปรับปรุงคุณภาพอาหารหยาบนั้นสามารถช่วยปรับปรุงการกินได้ของอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำให้สูงขึ้นได้แต่ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักตัวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Minson, 1990) ซึ่งสอดคล้องกับ Church (1991) และ Rangnekar (1988) รายงานว่าการใช้กากน้ำตาลปริมาณมากในสูตรอาหารไม่ได้ช่วยให้สมรรถภาพการผลิตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้นแต่กลับมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณกากน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหารและถ้าให้กินในปริมาณที่มากเกินไปการย่อยได้ของเซลลูโลสหรือเยื่อใยลดลงทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมการย่อยเยื่อใยของจุลินทรีย์ (Cellulolytic activity) ในกระเพาะรูเมนลดลง (Schiere and Ibrahim, 1989) ดังนั้นจึงไม่ควรใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องจึงควรใช้เป็นส่วนประกอบร่วมกับอาหารชนิดอื่น ๆ จะเป็นประโยชน์มากกว่า (Givens *et al.*, 1992)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในอุตสาหกรรมการผลิตพืชอาหารหมักตลอดจนงานวิจัยนิยมใช้กากน้ำตาลเป็นสารเสริมกันเป็นจำนวนมาก เนื่องจากการใช้กากน้ำตาลเป็นสารเสริมสามารถทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพดีได้ แต่อย่างไรก็ตามในสภาวะปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมมีความต้องการนำกากน้ำตาลเข้าสู่กระบวนการผลิตเอทานอลหรือพลังงานทดแทนมากยิ่งขึ้นจึงส่งผลทำให้กากน้ำตาลมีราคาเพิ่มสูงขึ้นตามความต้องการ เมื่อกากน้ำตาลมีราคาเพิ่มสูงขึ้นจึงอาจส่งผลกระทบต่อกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์และกลุ่มที่ผลิตพืชอาหารหมักขายได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าวัตถุดิบที่มีราคาถูกและมีคุณค่าทางโภชนาการเหมาะสำหรับการนำมาใช้เป็นสารเสริมในการทำพืชอาหารหมักได้ ซึ่งวัตถุดิบที่กล่าวถึงนั้นได้แก่ วินัส (Vinasse)

2.6 วินัส (Vinasse)

2.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของวินัส

วินัสซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลโดยในกระบวนการผลิตใช้กากน้ำตาลและยีสต์เป็นวัตถุดิบจึงทำให้วินัสมีปริมาณโปรตีนหยาบสูง โดยทั่วไปวินัสมีความเข้มข้น 12-15 เปอร์เซ็นต์ Brix ซึ่งอาจเกิดการหมักต่อไปได้ตลอดจนอาจส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็นรุนแรงทำให้สร้างมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นจึงทำการต้มระเหยน้ำวินัสให้มีความเข้มข้นมากถึง 30-35 เปอร์เซ็นต์ Brix ซึ่งจะไม่เกิดการหมักได้อีกทำให้ไม่เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนโดยรอบได้อีกโดยมีการนำวินัสมาใช้เป็นสารเสริมในการผลิตอาหารสัตว์ให้มีคุณภาพดีได้อีกด้วย (ประวิทย์, 2551) นอกจากนี้วินัสยังมีปริมาณน้ำหนักแห้งเท่ากับ 36 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 64 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 20.80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง โปรตีนหยาบ 12.34 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ไนโตรเจนรวม 2

เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดและมีปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 37.20 เปอร์เซ็นต์ Brix (พงศธรวัฑฒติบ, 2552)

2.6.2 ผลของการใช้วินัสในการผลิตอาหารสัตว์

จากข้อมูลทางวารสารธุรกิจโคนม (2553) ที่ได้กล่าวว่าบริษัทเพโทรกรีนได้ร่วมกับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่นำวินัสมาผลิตอาหารสัตว์ Partial Mixed Ration (PMR) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ นอกจากนั้นยังสามารถทดแทนอาหารหยาบคุณภาพต่ำได้เป็นอย่างดีอีกด้วยตลอดจนช่วยลดการให้อาหารชั้นที่มีราคาแพงลงได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตต่ำอีกด้วย (ตารางที่ 2.7)

ตารางที่ 2.7 คุณค่าทางโภชนาของอาหาร พี เอ็ม อาร์

รายการ	อาหาร PMR	เปลือกข้าวโพดหมัก
น้ำหนักแห้ง (เปอร์เซ็นต์)	35	20
โปรตีนหยาบ (CP)	9	6
เยื่อใยรวม (CF)	23.20	25.39
Neutral Detergent Fiber (NDF)	63.25	66.55
Acid Detergent Fiber (ADF)	36.61	30.52
พลังงานรวม (kcal/kg)	4,014.70	3,509.30
การย่อยได้ของน้ำหนักแห้ง (เปอร์เซ็นต์)	75	45

ที่มา: ฝ่ายปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์, เกษตรศาสตร์ อ้างจากวารสารธุรกิจโคนม (2553)

2.6.3 ผลของการใช้วินัสในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ด้วยคุณสมบัติของวินัสจึงได้มีการนำมาใช้เป็นสารเสริมในการเลี้ยงโคขุนโดยใช้สัตว์ทดลองเป็นโคสายเลือดยุโรปจำนวน 8 ตัวแบ่งเป็น 2 กลุ่มดังนี้ กลุ่มที่ 1 กินวินัสและกลุ่มที่ 2 กินกากน้ำตาล ซึ่งอาหารที่ใช้ประกอบด้วยอาหารข้นและอาหารหยาบโดยให้อาหารแบบเต็มที่ได้แก่อาหารข้น หญ้าสดและฟางข้าว จากการศึกษาของพงศธรวัฑฒติบ (2552) แสดงดังตารางที่ 2.8 พบว่าโคที่กินวินัสมีน้ำหนักซากและเปอร์เซ็นต์ซากสูงกว่าโคที่กินกากน้ำตาลเท่ากับ 17.25 กิโลกรัมและ 2.63 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังนั้นจากการทดลองข้างต้นจึงสามารถใช้วินัสเป็นสารเสริมในการเลี้ยงโคขุนให้มีคุณภาพดีได้และเป็นการลดต้นทุนค่าอาหารได้อีกด้วย

ตารางที่ 2.8 การเปรียบเทียบผลผลิตของโคขุนที่เลี้ยงด้วยกากน้ำตาลและวินัส

รายการเปรียบเทียบ	กากน้ำตาล	วินัส
น้ำหนักก่อนขุน	512.75±34.62	467.00±54.19
น้ำหนักหลังขุน	565.25±59.78	568.50±43.85
เปอร์เซ็นต์ซาก	55.15±1.6	57.78±1.58
เกรดไขมันแทรก	3.10±0.22	3.10±0.22
ผลตอบแทนจากการขายโค	40,084.75	42,605.75

ที่มา: พงศธรวัตรฤดิบ (2552)

จากการรายงานยังไม่พบการใช้วินัสเป็นสารเสริมในการผลิตพืชอาหารหมักตลอดจนข้อมูลที่ได้จึงเป็นเพียงข้อมูลของบริษัทที่ทำการผลิตและบริษัทที่ทำการจำหน่ายเท่านั้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้งานวิจัยนี้เลือกใช้วินัสเป็นสารเสริมในการทำพืชอาหารหมักจากกระถินเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่ากากน้ำตาลและสามารถทำให้พืชอาหารหมักมีคุณภาพดีได้ตลอดจนยังอาจเป็นทางเลือกใหม่สำหรับเกษตรกรได้ใช้สารเสริมที่มีราคาถูกตลอดจนใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารสัตว์สำเร็จรูปได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตพืชอาหารหมักจากกระถินที่ใช้กากน้ำตาลและวินัสเป็นสารเสริม เนื่องจากกากน้ำตาลมีราคาแพงกว่าวินัสจึงทำให้เกิดการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตขึ้นและทำให้เห็นสภาพความเป็นจริงมากยิ่งขึ้นจึงได้มีการสำรวจกลุ่มเกษตรกรที่ทำพืชอาหารหมักจากกระถินขายเพื่อทำให้ทราบถึงต้นทุนการผลิตพืชอาหารหมักจากกระถินมากยิ่งขึ้นและสามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาให้มีประสิทธิภาพต่อไป

2.7 การศึกษาด้านต้นทุนการผลิตพืชอาหารหมักจากกระถินของเกษตรกร

การศึกษาค้นคว้าและการวิจัยการผลิตเสบียงอาหารสัตว์สู่เกษตรกรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทางปศุสัตว์สัตว์ ตลอดจนการลดต้นทุนการผลิตพืชอาหารสัตว์มีอยู่อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากปัญหาที่เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์โดยส่วนใหญ่พบจะเป็นทางด้านอาหารในการเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะปัญหาของเกษตรกรที่เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง คือ ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์มีราคาแพง พื้นที่การสร้างแปลงหญ้าสำหรับเลี้ยงสัตว์มีอยู่อย่างจำกัดและเกิดการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกิดจากเกษตรกรส่วนใหญ่ยังไม่มีเก็บสำรองอาหารสัตว์เอาไว้ในช่วงฤดูแล้ง ขาดการส่งเสริมและสารเสริมที่ใช้ในการผลิตพืชอาหารหมักมีราคาแพงนั่นเอง ทั้งนี้แนวทางที่จะช่วยลดปัญหาเหล่านี้ได้ คือ การส่งเสริมให้เกษตรกรรู้จักการนำพืชอาหารสัตว์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในรูปแบบสดมาทำเป็นพืชอาหารหมักหรือเก็บถนอมไว้เพื่อจำหน่ายให้กับ

เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ในราคาที่เหมาะสม ซึ่งการศึกษาต้นทุนการผลิตเลี้ยงอาหารสัตว์จะทำให้เกิดประโยชน์กับเกษตรกรที่ผลิตพืชอาหารหมักขายและกลุ่มเกษตรกรที่เลี้ยงสัตว์จะได้มีแหล่งอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพดีไว้ใช้เลี้ยงสัตว์ให้มีประสิทธิภาพต่อไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตพืชอาหารหมักจากกระถินที่ใช้กากน้ำตาลและวินัสเป็นสารเสริม และเพื่อให้เห็นสภาพความเป็นจริงของต้นทุนการผลิตพืชอาหารหมักมากยิ่งขึ้นจึงได้มีการสำรวจเกษตรกรที่ผลิตพืชอาหารหมักจากกระถินขาย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต้นทุนการผลิตให้มีประสิทธิภาพต่อไป