บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ข้าวโพด

ข้าวโพด (corn) เป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้า มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า ***Zea mays* L.** อยู่ในตระกูล (Family) Gramineae (Poaceae) มีระบบรากเป็นแบบรากฝอย (fibrous root system) ลำต้นของข้าวโพดสูงตั้งแต่ 30 เซนติเมตร จนถึง 7.5 เมตร รูปร่างของลำต้นตรง ค่อนข้างกลม แต่เรียวเล็กขึ้นไปหายอด ประกอบด้วยข้อและปล้อง ตาที่อยู่เหนือดินจะเจริญเป็นฝัก ส่วนตาที่อยู่ใต้ดินจะเจริญเป็นหน่อ ใบประกอบด้วยกาบใบ หูใบ แผ่นใบ และเยื่อกันน้ำฝน ดอกข้าวโพดเป็นพวกที่มีช่อดอกตัวผู้ (tassel) และช่อดอกตัวเมีย (spike) อยู่บนต้นเดียวกันแต่อยู่คนละแห่ง ช่อดอกตัวผู้จะเกิดที่ส่วนยอดของลำต้น ส่วนช่อดอกตัวเมียเกิดจากตาที่อยู่มุมใบล่าง ๆ ข้าวโพดมีแกนกลางหรือซังขนาดใหญ่เกิดบนแกนกลางเป็นคู่แถวยาว ทำให้ฝักข้าวโพดมีจำนวนแถวของเมล็ดเป็นเลขคู่ เมล็ดที่อยู่ส่วนปลายและส่วนโคนจะมีลักษณะค่อนข้างกลม ส่วนเมล็ดที่อยู่ตรงกลางมักจะแบนและมีเหลี่ยมที่มุม ที่ฐานของ pedicel จะพบเนื้อเยื่อสีดำเรียกว่า black layer (ทรงศักดิ์, 2539)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ หมายถึง ข้าวโพดที่ปลูกและทำการเก็บเกี่ยวเมื่อฝักแก่เต็มที่ เพื่อนำเมล็ดมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2541) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย เพราะเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารสัตว์ เมล็ดข้าวโพดมีคาร์โบไฮเดรตประมาณ 71 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 9.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปุ่มงอกของเมล็ด (germ) มีโปรตีนถึงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนพวกไลซีน (lysine) และทริปโตเฟน (tryptophan) ต่ำ ดังนั้นการใช้ข้าวโพดเป็นอาหารจึงควรเสริมโปรตีนจากแหล่งอื่น เช่น พืชตระกูลถั่ว หรือปลาป่นที่มีกรดอะมิโนดังกล่าวสูง ข้าวโพดสามารถนำมาเลี้ยงสัตว์ได้หลายรูปแบบ ทั้งเป็นอาหารข้นและอาหารหยาบ การให้ในรูปอาหารข้น คือ ใช้เมล็ดเป็นแหล่งพลังงาน ส่วนในรูปอาหารหยาบนั้น คือ ใช้ทั้งต้นและใบและอาจรวมทั้งฝักและซังด้วย ในสภาพสดหรือแห้ง นอกจากนี้ยังอาจนำมาหมักซึ่งจะช่วยให้สามารถเก็บข้าวโพดไว้ใช้ในฤดูที่อาหารสัตว์ขาดแคลนได้

พันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร (2541) ได้แบ่งพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. พันธุ์ราชการ หมายถึง พันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ทางราชการรับรองและส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก ได้แก่ พันธุ์ลูกผสมเปิด เช่น สุวรรณ 1, 2, 3, 5 นครสวรรค์ 1, 2 และพันธุ์ลูกผสมปิด เช่น ม.ก. 2301, 2602, 3101
2. พันธุ์ลูกผสมของเอกชน หมายถึง พันธุ์ข้าวโพดลูกผสมปิดที่บริษัทเอกชนผลิตจำหน่ายและแนะนำให้เกษตรกรปลูก เช่น 888, 999, 222 ของ CP หรือพันธุ์ข้าวโพดของบริษัท Cargill, Pioneer, Pacific และCIBA GEIGY เป็นต้น
3. พันธุ์พื้นเมือง หมายถึง พันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อื่น ๆ นอกเหนือจากพันธุ์ราชการและพันธุ์ลูกผสมต่าง ๆ

จากผลการสำรวจข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของสำนักงานสถิติการเกษตรปี 2539/40 พบว่า เกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้ใช้พันธุ์ข้าวโพดหลากหลายด้วยกัน แต่ที่เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมมากที่สุด คือ พันธุ์ลูกผสมปิดของเอกชน (เช่น พันธุ์ 888, 999) โดยปลูกถึงประมาณ 7.03 ล้านไร่ (ร้อยละ 81.11) และที่นิยมรองลงมา คือ พันธุ์ลูกผสมเปิดของราชการ (เช่น พันธุ์สุวรรณ 1, 2, 3, 5) โดยปลูกประมาณ 1.17 ล้านไร่ (ร้อยละ 13.45) และใช้พันธุ์ลูกผสมปิดของราชการ (เช่น ม.ก. 2301, 2602, 3101) โดยปลูกประมาณ 0.41 ล้านไร่ (ร้อยละ 4.17) และพันธุ์นครสวรรค์ 1, 2 โดยปลูกประมาณ 0.04 ล้านไร่ (ร้อยละ 0.42) พันธุ์ที่ใช้ปลูกน้อยที่สุด คือ พันธุ์พื้นเมือง โดยปลูกประมาณ 0.03 ล้านไร่ (ร้อยละ 0.31)

ผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร (2542) ได้รายงาน ผลการสำรวจเนื้อที่เพาะปลูก ผลผลิตและผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปีเพาะปลูก 2540/41 พบว่า ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีเนื้อที่เพาะปลูกรวมทั้งประเทศประมาณ 8.73 ล้านไร่ ผลผลิตทั้งประเทศประมาณ 3.83 ล้านตัน และผลผลิตต่อไร่เฉลี่ย 512 กิโลกรัม ภาคเหนือมีการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากที่สุด รองมาคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

วิธีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร (2541) ได้พบว่า เกษตรกรปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 2 วิธี คือ

1. **วิธีการปลูกแบบหยอดโรยเป็นแถว** ซึ่งเป็นวิธีการที่เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมมากที่สุด โดยปลูกประมาณ 8.62 ล้านไร่ (ร้อยละ 99.46) ให้ผลผลิตต่อไร่ 524 กิโลกรัมต่อไร่
2. **วิธีการปลูกแบบหว่าน** เป็นวิธีการที่เกษตรกรไม่ค่อยนิยมโดยปลูกประมาณ 0.05 ล้านไร่ (ร้อยละ 0.54) ให้ผลผลิตต่อไร่ 282 กิโลกรัมต่อไร่

ตารางที่ 1 เนื้อที่เพาะปลูก ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแต่ละภาค (ปี 2539/40)

ภาค/ประเทศ	เนื้อที่เพาะปลูก (ล้านไร่)	ผลผลิต (ล้านตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กก.)
เหนือ	4.07	1.84	516
ตะวันออกเฉียงเหนือ	2.48	1.05	469
กลาง	2.17	0.94	559
ใต้	0.01	0.004	416
รวมทั้งประเทศ	**8.73**	**3.83**	**512**

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร (2542)

ฤดูการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

โดยทั่วไปข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะมีการเพาะปลูกอยู่ 2 รุ่น คือ

รุ่นที่ 1 หรือข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต้นฝน หมายถึง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกอยู่ระหว่างวันที่ 1 มีนาคม ถึง 31 กรกฎาคม โดยปลูกมากที่สุดในเดือนพฤษภาคม และปลูกน้อยที่สุดในเดือนมีนาคม

รุ่นที่ 2 หรือข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ปลายฝน หมายถึงข้าวโพดที่ปลูกอยู่ระหว่าง 1 สิงหาคม ถึง สิ้นเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป โดยจะปลูกมากที่สุดในเดือนสิงหาคม และปลูกน้อยที่สุดในเดือนมกราคม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์รายเดือน (ร้อยละ) รุ่น 1 รุ่น 2 และรวมรุ่น โดยรวมทั้งประเทศ

	ร้อยละของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปีเพาะปลูก 2539/40										
	มี.ค.39	เม.ย	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.40
รวมทั้งประเทศ	0.44	9.31	**37.89**	**28.73**	10.41	11.12	1.37	0.27	0.28	0.13	0.05
รุ่น 1	0.51	10.72	43.66	33.11	12.00	-	-	-	-	0.98	-
รุ่น 2	-	-	-	-	-	84.13	10.35	20.7	2.09	-	0.38

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร (2541)

ช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

นิยมเก็บเกี่ยวเมื่อข้าวโพดแก่แล้ว โดยสังเกตจากอายุของแต่ละพันธุ์ หรือเปลือกของฝักเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งมีการเก็บเกี่ยวมากที่สุดในเดือนกันยายน รองลงมาได้แก่ เดือนตุลาคม (สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร, 2541)

จะเห็นได้ว่าในประเทศไทยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง เพราะเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารสัตว์ ซึ่งข้าวโพดสามารถนำมาเลี้ยงสัตว์ได้หลายรูปแบบ ทั้งเป็นอาหารข้นและอาหารหยาบ นอกจากนี้การนำข้าวโพดมาหมักเป็นอีกวิธีการหนึ่งซึ่งจะช่วยให้สามารถเก็บข้าวโพดไว้ใช้ในฤดูกาลที่ขาดแคลนและใช้เป็นอาหารสำรองสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งการที่จะทำข้าวโพดหมักให้ได้คุณภาพดีนั้น ควรจะศึกษาในเรื่องกระบวนการหมักและปัจจัยต่าง ๆ ในการทำข้าวโพดหมัก เพื่อให้การหมักประสบความสำเร็จได้ข้าวโพดหมักคุณภาพดี

พืชหมัก

พืชหมัก (silage) เป็นรูปแบบการเก็บรักษาพืชอาหารสัตว์ โดยอาศัยความเป็นกรดถนอมพืชไว้ไม่ให้เน่าเสีย เพื่อนำไปใช้ในช่วงขาดแคลนอาหาร โดยนำพืชสดมาหมักไว้ในสภาพอับอากาศหรือไร้ออกซิเจน (anaerobic condition) ซึ่งกระบวนการทำพืชหมัก เรียกว่า เอนไซเลจ (ensilage) ส่วนหลุมที่ใช้บรรจุพืชหมัก เรียกว่า ไซโล (silo) พืชหมักสามารถทำได้ทุกช่วงฤดู และสามารถรักษาคุณค่าทางโภชนะได้ดี พืชหมักใช้ได้ดีในสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยสามารถใช้ได้ทั้งเป็นอาหารหยาบหลักเพียงอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับอาหารหยาบชนิดอื่น ๆ

หลักสำคัญของการทำพืชหมัก

หลักสำคัญในการทำพืชหมัก คือ การส่งเสริมให้เกิดการหมักตามธรรมชาติ ภายใต้สภาพอับอากาศ (anaerobic condition) ทางปฏิบัติสภาพอับอากาศในหลุมหมักทำให้เกิดขึ้นได้โดยการหั่นชิ้นส่วนของพืชที่จะนำมาหมักให้มีขนาดเล็กลง ขณะบรรจุพืชลงในหลุมหมักต้องอัดให้แน่น เมื่อบรรจุพืชลงในหลุมหมักเรียบร้อยแล้ว ปิดหลุมให้สนิท อย่าให้มีอากาศเข้าได้ ออกซิเจนที่เหลืออยู่ในหลุมจะหมดไปในไม่ช้า โดยการหายใจของเซลล์พืช หากมีอากาศผ่านเข้าไปในหลุมจะก่อให้เกิดผลเสียต่อพืชหมัก คือ ทำให้พืชหมักเกิดการเน่าเสีย และอาจสร้างสารที่เป็นพิษต่อสัตว์ได้ ในสภาพอับอากาศจะเอื้ออำนวยต่อการขยายจำนวนของแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติก (lactic acid bacteria) เป็นอย่างดี เป็นผลทำให้เกิดกรดแลคติกเพิ่มขึ้น ทำให้ pH ของพืชหมักลดลงถึงระดับหนึ่ง (pH 3.5-4.5) ซึ่งเป็นผลทำให้สามารถหยุดยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของพืชหมักอีกต่อไป สภาพเช่นนี้ทำให้พืชหมักสามารถเก็บรักษาได้นาน ถ้ายังคงสภาพอับอากาศ (บุญเสริม, 2539)

จุลินทรีย์วิทยาของพืชหมัก

กระบวนการหมักเกิดขึ้นได้โดยการทำงานของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์จะติดมากับพืชในส่วนของใบมากกว่าลำต้น และมักติดอยู่ที่ผิวของพืชมากกว่าภายใน จุลินทรีย์ที่ติดมานี้ส่วนใหญ่เป็นประเภทที่ต้องใช้ออกซิเจน (aerobes) แต่จุลินทรีย์ประเภทนี้ไม่มีบทบาทต่อกระบวนการหมัก และมักจะมีกิจกรรมอยู่ได้ไม่นานในหลุมหมัก คือจะหยุดการเจริญเติบโตเมื่อออกซิเจนถูกใช้หมดไป

จุลินทรีย์ที่มีบทบาทต่อการหมักเป็นจุลินทรีย์ประเภทที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobes) มีอยู่หลายชนิด ทั้งชนิดที่เป็นประโยชน์ซึ่งต้องการให้มีในปริมาณมากในพืชหมัก คือ แบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตกรดแลคติก เพราะจะทำให้ได้พืชหมักที่มีคุณภาพดี มีกลิ่นหอม และได้กรดแลคติกซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานในสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ดี

แบคทีเรียพวกผลิตกรดแลคติกเป็นพวก facultative คือ สามารถอยู่ได้ทั้งที่มีและไม่มีออกซิเจนโดยแบคทีเรียจะติดอยู่กับผิวนอกของพืชสดในปริมาณมาก แบคทีเรียพวกนี้แบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ คือ

- พวก homofermentative เป็นพวกที่มีประสิทธิภาพในการผลิตกรดแลคติก
- พวก heterofermentative เป็นพวกที่ผลิตกรดแลคติก และมีกรดอื่นปนมาด้วย

หลังจากเริ่มมีการหมักแล้วแบคทีเรียกลุ่มนี้จะมีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็ว และจะย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (water soluble carbohydrate) ได้แก่ กลูโคสและฟรุคโตสให้เป็นกรดอินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่ คือ กรดแลคติก ซึ่งเป็นกรดที่ต้องการ ทำให้สภาพความเป็นกรด – ด่าง (pH) ในพืชหมักลดลง

นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์ที่มีบทบาทต่อกระบวนการหมัก แต่ไม่ต้องการให้มีมากในพืชหมัก ควรกำจัดให้หมดไปโดยเร็ว ได้แก่

1. เอนเทอโรแบคทีเรีย (enterobacteria) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลเป็นกรดอะซิติกและสารอื่น และยังทำหน้าที่สลายกรดอะมิโนด้วย
2. คลอสตริเดีย (Clostridia) เป็นพวกที่เจริญได้ในสภาพไร้ออกซิเจนเท่านั้น ทำหน้าที่สร้างกรดบิวทีริกและสลายกรดอะมิโน
3. ราและยีสต์ (mold and yeast) มักติดมากับพืชโดยเฉพาะถ้ามีการปนเปื้อนกับดิน รา ส่วนใหญ่เจริญในสภาพที่มีออกซิเจน มักใช้เส้นใย (filament) ชอนไชเข้าไปในผนังเซลล์พืชเพื่อหาอาหาร ส่วนยีสต์นั้นมีบทบาททำให้พืชหมักเกิดการเน่าเสีย

ดังนั้นพืชหมักควรจะมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายอย่างเพียงพอ เพื่อช่วยในการส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการผลิตกรดแลคติก pH ของพืชหมักจะลดลงทันที กิจกรรมของจุลินทรีย์จะหยุด

ทั้งหมด ถ้า pH ไม่คงที่ แบคทีเรียพวก saccharolytic clostridia ซึ่งติดมากับพืชในรูปสปอร์ตั้งแต่แรกจะทำการแบ่งตัว แล้วใช้ประโยชน์จากกรดแลคติกและแป้ง ทำให้ pH สูงขึ้น พวกคลอสตริเดียนี้จะมีสมรรถภาพสูงในสภาวะที่มีความชื้น ถ้านำพืชที่มีความชื้นสูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์มาหมักจนได้พืชหมักที่มี pH ต่ำกว่า 4 แล้วก็ตาม อาจไม่สามารถระงับกิจกรรมของจุลินทรีย์เหล่านี้ได้ (McDonald *et al.*, 1987)

กระบวนการในพืชหมัก

กระบวนการหมักในพืชหมัก คือ การเปลี่ยนแปลงของพืชที่มีความชื้นเหมาะสมในสภาพไร้ออกซิเจน โดยปกติจะใช้เวลาประมาณ 2 – 3 สัปดาห์ (Ensminger and Olentine, 1978) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในหลุมหมัก แบ่งออกได้เป็น 5 ระยะ คือ ระยะที่ 1, 2 และ 3 เกิดขึ้นภายใน 3-5 วันแรกของการทำพืชหมัก การเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 ระยะนี้ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเกือบพร้อมกัน และมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพของพืชหมัก บุญเสริม (2539) ได้สรุประยะต่าง ๆ ไว้ดังนี้ :-

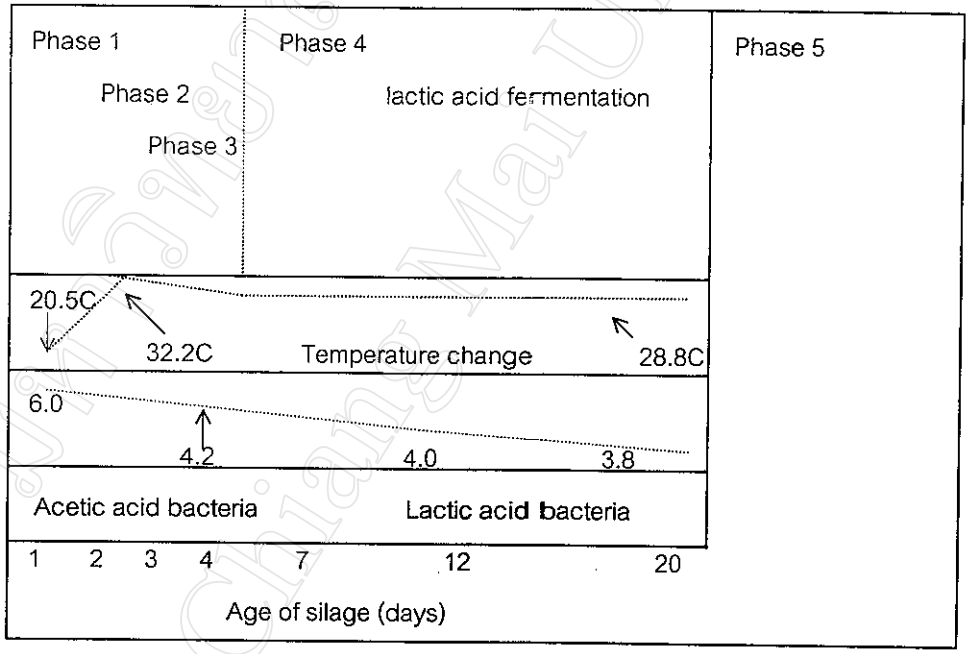


Figure 1 A Schematic representation of the five phase in silage fermentation (อ้างโดยบุญเสริม, 2539)

<u>ระยะที่ 1</u> เป็นระยะที่พืชเพิ่งจะนำมาบรรจุลงหลุม เซลล์ของพืชยังคงมีการหายใจอยู่ ออกซิเจนที่อยู่ในหลุมจะถูกเซลล์พืชและจุลินทรีย์ประเภทที่ใช้ออกซิเจนนำไปใช้เพื่อเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำตาลให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน ดังสมการ

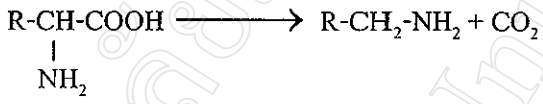
$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 674\ Kcal$$

ความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้อุณหภูมิการหมักสูงขึ้น ถ้าในการเตรียมกองหมักไม่แน่นดีจะทำให้อากาศซึมเข้าไปได้ ซึ่งมีผลทำให้พืชหมักกลายเป็นสีน้ำตาลเข้มหรือดำ (overheated silage) เป็นพืชหมักคุณภาพเลว ถ้าอุณหภูมิในการหมักสูงเกิน 55 องศาเซลเซียส อาจมีผลทำให้โปรตีนของพืชเปลี่ยนแปลงเป็นในรูปที่ถูกย่อยได้ยาก

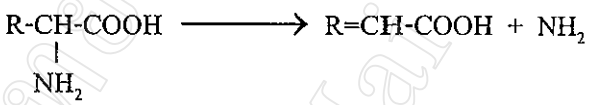
คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจของเซลล์พืช มีส่วนในการส่งเสริมให้เกิดสภาพอับอากาศ ซึ่งเป็นผลดีต่อการหมัก

โปรตีนในพืชเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เช่นกันในระยะนี้ ประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนจะถูกย่อยสลายให้เป็นกรดอะมิโน ซึ่งสามารถแตกตัวต่อได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

1) Decarboxylation



2) Deamination



ในการเกิด Decarboxylation ของกรดอะมิโน tryptophan, phenylalanine และ histidine จะได้ amine ต่าง ๆ คือ tryptamine, phenyletylamine และ histamine ตามลำดับ ซึ่ง amine เหล่านี้อาจเกิดเป็นพิษต่อสัตว์ได้เมื่อซึมเข้าเลือดในระดับหนึ่ง

<u>ระยะที่ 2</u> การหายใจของเซลล์พืชยังคงมีอยู่บ้าง แต่จะหยุดในเวลาต่อมา จุลินทรีย์ที่ติดมากับพืชจะเป็นตัวทำให้เกิดการหมักขึ้น ได้เป็นกรดอะซิติก

<u>ระยะที่ 3</u> ออกซิเจนที่หลงเหลืออยู่จะถูกเซลล์พืชใช้ในการหายใจจนหมด หลุมหมักจึงมีสภาพอับอากาศยิ่งขึ้น ทำให้แบคทีเรียประเภทที่ไม่ใช้ออกซิเจนเพิ่มปริมาณมากขึ้น และทำการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นกรดแลคติก กรดอะซิติก เอธานอล และคาร์บอนไดออกไซด์ กรดที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดแลคติกจะทำให้สภาพความเป็นกรด – ด่าง (pH) ลดลง

<u>ระยะที่ 4</u> หลังจากหมักไป 3-5 วัน กรดแลคติกจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ การหมักจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ใช้เวลาประมาณ 15-20 วัน หากสภาพการหมักเป็นไปอย่างเหมาะสม ระยะนี้จะเป็นช่วงที่บอกได้ว่าการทำการหมักประสบความสำเร็จหรือไม่ กรดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ควรเป็นกรดแลคติก ปริมาณกรดที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะลด pH ให้ต่ำลง (pH ประมาณ 3.8-4.2) จนจุลินทรีย์ทั้งหมดหยุดกิจกรรมและไม่สามารถมีชีวิตอยู่ต่อไปได้

ระยะที่ 5 เมื่อจุลินทรีย์หยุดกิจกรรม พืชหมักจะคงสภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลง สามารถเก็บไว้ได้นานหลายปีในสภาพอับอากาศ แต่ถ้าสภาพการหมักไม่เหมาะสม กิจกรรมของจุลินทรีย์เกิดขึ้นเรื่อย ๆ พืชหมักจะถูกทำให้สลายตัวต่อไป ทำให้คุณค่าทางอาหารลดลง และเน่าเสียได้

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก

หลังจากที่บรรจุพืชสดในหลุมหมัก และปิดสนิทแล้วจะเกิดกระบวนการหมักซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ (Reaves and Henderson, 1954)

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

การหมักของแบคทีเรียจะทำให้เกิดความร้อน ทำให้อุณหภูมิของพืชหมักสูงขึ้น ในกรณีที่บรรจุพืชหมักอย่างดีไม่มีอากาศเข้าไปในหลุมหมักได้ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นที่บริเวณผิวหน้าหรือบริเวณที่สัมผัสอากาศเท่านั้น ทำให้อุณหภูมิของพืชหมักไม่สูงนัก ประมาณ 26.7 – 29.4 องศาเซลเซียส ส่วนบริเวณด้านบนและด้านใต้ของหลุมหมักจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่น คือ 37.8 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอากาศเข้าไปในหลุมหมักได้อุณหภูมิอาจสูงขึ้นถึง 54.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในหลุมหมักจะเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 15 ของการหมัก หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลง

2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์

ในพืชสดจะมีแบคทีเรียที่ต้องการเพื่อการหมักอยู่จำนวนมาก โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก ซึ่งจะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว เอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมาจาก 2 แหล่ง คือ มาจากตัวแบคทีเรียเองและมาจากพืช

ในกระบวนการหมัก เอนไซม์จะเข้าย่อยสลายน้ำตาลหรือโภชนะอื่นได้เป็นกรดอินทรีย์ โดยเฉพาะกรดแลคติก บางส่วนจะเป็นกรดอะซิติก และมีปริมาณเล็กน้อยที่เปลี่ยนแปลงเป็นกรดชนิดอื่น ๆ หรือแอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะเป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรียต่อไป นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังย่อยสลายโปรตีนในพืช เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของตัวมันเองด้วย

3. การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เมื่อความเป็นกรดเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ จะทำให้เอนไซม์ไม่ทำงาน มีผลทำให้ปริมาณกรดไม่เพิ่มขึ้น พืชหมักจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ อีก และจะไม่เน่าเสีย ถ้าไม่มีอากาศมาสัมผัสกับพืชนั้น ทำให้สามารถเก็บรักษาพืชหมักไว้ได้นาน

ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาหมัก โดยเฉพาะปริมาณน้ำตาลในพืชแต่ละชนิด ถ้าพืชมีปริมาณน้ำตาลไม่เพียงพอ เช่น พืชตระกูลถั่ว จะทำให้มีปริมาณกรดไม่เพียงพอใน

การรักษาพืชหมักนั้นได้ ดังนั้นจึงไม่นิยมนำมาทำพืชหมัก

ปัจจัยสำคัญของการทำพืชหมัก

1. อายุการตัดที่เหมาะสม

อายุการตัดที่เหมาะสม คือ ระยะที่พืชให้ผลผลิตสูง และมีคุณค่าทางอาหารอยู่ในเกณฑ์ดี อายุของพืชที่จะตัดเพื่อนำมาหมักนี้สำคัญมาก เพราะสามารถบ่งถึงคุณภาพและปริมาณของพืชหมักได้ วิรัชและคณะ (2542) ได้ศึกษาผลของระยะตัดที่มีต่อผลผลิตน้ำหนักแห้ง ผลผลิตโปรตีนและส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าเนเปียร์ (ตารางที่ 3) พบว่าเมื่อตัดหญ้าที่อายุมากขึ้น (40 วัน) ผลผลิตน้ำหนักแห้งจะเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง แต่เมื่ออายุมากขึ้นกว่านั้น (50 วัน) ผลผลิตน้ำหนักแห้งจะลดลง สำหรับส่วนประกอบทางเคมี พบว่าเมื่อหญ้ามีอายุมากขึ้นจะมีวัตถุแห้งและเยื่อใย (NDF, ADL และ lignin) สูงขึ้น แต่มีโปรตีนลดลง เป็นผลให้ผลผลิตโปรตีนต่อไร่ลดลงด้วย อย่างไรก็ดีอายุที่เหมาะสมนี้จะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของพืชและสภาพภูมิอากาศ โดยปกติเมื่อพืชแก่ขึ้นจะมีปริมาวัตถุแห้งและพลังงานสูงขึ้น แต่จะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและและการย่อยได้ลดลง ดังนั้นจึงต้องหาความสมดุลของสิ่งเหล่านี้ (บุญล้อมและคณะ, 2543

ตารางที่ 3 ผลผลิตน้ำหนักแห้ง ผลผลิตโปรตีนและส่วนประกอบทางเคมีของหญ้าเนเปียร์ที่ระยะเวลาตัดต่าง ๆ กัน

ระยะเวลาตัด (วัน)	ผลผลิตน้ำหนักแห้ง (กิโลกรัม/ไร่)	ผลผลิตโปรตีน (กิโลกรัม/ไร่)	ส่วนประกอบทางเคมี (%วัตถุแห้ง)				
			%DM	CP	ADF	NDF	lignin
30	1674.6^{b}	201.6^{a}	21.4	12.0^{a}	36.5^{c}	64.0^{b}	2.65^{b}
40	1747.8^{a}	195.0^{a}	22.3	11.2^{b}	37.4^{b}	64.4^{b}	2.80^{b}
50	1628.0^{b}	153.1^{b}	23.5	9.4^{c}	38.4^{a}	65.9^{a}	2.97^{a}

^{abc} อักษรต่างกันกำกับอยู่ในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่ากันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ที่มา: วิรัชและคณะ (2542)

2. ความชื้นที่เหมาะสม

ระดับความชื้นที่เหมาะสม (คือประมาณ 60 – 70 เปอร์เซ็นต์) เป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งในการทำพืชหมักให้ได้คุณภาพดี การหมักพืชที่มีความชื้นสูงกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เกิดการสูญเสียโภชนะไปกับน้ำที่ไหลออกจากพืชหมัก (seepage loss) และจะทำให้จุลินทรีย์ประเภทคลอสตริเดีย

ขยายจำนวนเพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตกรดบิวทีริกเพิ่มขึ้น เกิดกลิ่นที่ไม่ต้องการ และพืชหมักเกิดการเน่าเสียได้ง่าย นอกจากนี้ยังทำให้สัตว์กินได้ปริมาณน้อยลง แต่ถ้าหมักพืชที่มีความชื้นต่ำเกินไป มักเป็นอุปสรรคต่อการหมักเพราะลำต้นของพืชจะแข็ง ถึงแม้จะถูกหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ก็ทำให้อัดแน่นได้ยาก ทำให้อากาศแทรกเข้าไป มีการหายใจของเซลล์พืชเกิดขึ้นมาก ทำให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหลุมหมักสูง ซึ่งถ้าเกิน 40 องศาเซลเซียส จะทำให้โปรตีนเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในสภาพที่สัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังจะสังเกตเห็นได้จากพืชหมักกลายเป็นสีน้ำตาลจนถึงดำ มีกลิ่นคล้ายน้ำตาลไหม้ และพืชที่มีความชื้นต่ำยังทำให้การลด pH ของพืชหมักเป็นไปได้ยาก พืชหมักจะมีสภาพไม่ค่อยอยู่ตัว คือ ยังสามารถเปลี่ยนแปลงต่อไปได้ ทำให้เก็บรักษาได้ยาก นอกจากนี้พืชที่มีความชื้นต่ำยังทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ออกซิเจนเจริญได้ดี ซึ่งบางชนิดอาจสร้างสารพิษเป็นอันตรายต่อสัตว์ด้วย และเกิดการเจริญของเชื้อราในหลุมหมัก เป็นเหตุให้พืชหมักมีคุณภาพต่ำลง (บุญเสริม, 2539)

3. หั่นขนาดพอเหมาะ

ขนาดชิ้นของพืชมีความสำคัญต่อการอัดแน่นและการเกิดสภาพไร้ออกซิเจน การหั่นพืชให้มีชิ้นเล็กเพื่อว่าคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่ายในพืชจะได้สามารถใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้มีการสร้างกรดแลคติกมาก ถ้าหั่นชิ้นเล็กเกินไปจะทำให้มีปัญหาเรื่องการสูญเสียความสามารถในการกระตุ้นกระเพาะรูเมนให้บีบตัวขยอกอาหารออกมาเคี้ยวเอื้องเป็นเหตุให้มีการขับน้ำลายน้อย รูเมนมีสภาพเป็นกรดอย่างรุนแรง ทำให้อาหารไม่ย่อย สัตว์จะเบื่ออาหาร และมีไขมันในน้ำนมลดลง แต่ถ้าหั่นชิ้นขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้อัดแน่นได้ยาก มีออกซิเจนในหลุมหมักมากทำให้เกิดความร้อนสูง นอกจากโปรตีนจะถูกทำลายแล้วยังทำให้จุลินทรีย์พวกที่ทนร้อน เช่น รา และแบคทีเรียบางชนิดเจริญได้ดี ทำให้พืชหมักมีคุณภาพลดลง โดยปกติแล้วพืชที่นำมาหมักควรหั่นให้มีขนาดไม่เกิน 2.5 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชด้วย เช่น ข้าวโพด ควรหั่นให้มีขนาด 1 – 2.5 เซนติเมตร หญ้า ควรมีขนาด 0.5 – 1.0 เซนติเมตร

4. การอัด และการปิดหลุม

เมื่อหั่นพืชเรียบร้อยแล้วควรบรรจุให้เต็มหลุมหมักโดยเร็วภายในระยะเวลา 2 - 7 วัน แล้วแต่ขนาดของหลุมหมัก เพราะถ้าช้าจะทำให้มีการสูญเสียโภชนะเนื่องจากการหายใจของพืชมาก นอกจากนี้ควรอัดให้แน่น โดยทั่วไปนิยมใช้รถแทรกเตอร์ย่ำทันทีทุกชั้นที่ใส่พืชลงไป โดยเฉพาะบริเวณด้านข้างและมุมของหลุมเพราะเป็นส่วนที่อัดแน่นได้ยาก หลังจากนั้นปิดให้สนิทกันอากาศเข้า เพื่อให้ได้พืชหมักคุณภาพดี ซึ่งมีแนวทางการพิจารณาวิธีการปิดหลุมหมัก ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แนวทางพิจารณาการปิดหลุมหมักของไซโลแนวนอน

ความถูกต้องในการปิดหลุม	ความลึกของพืชหมักที่จากเน่าเสียด้านบนลงไป (เซนติเมตร)	ตัวอย่างวิธีการปิดหลุม
ดีมาก	0-5	พลาสติกคลุมมีถุงทรายหรือวัสดุอื่นที่คล้ายคลึงทับด้านบนหนาเกินกว่า 10 เซนติเมตร
ดี	5-10	พลาสติกคลุมมีถุงทรายหรือยางรถยนต์เก่าทับด้านบนและด้านข้างหนา 0 – 5 เซนติเมตร
ปานกลาง	10-15	พลาสติกคลุมมีถุงทรายหรือวัสดุอื่นทับเฉพาะด้านข้างหนา 0 – 5 เซนติเมตร
พอใช้	20-30	พลาสติกคลุมไม่มีอะไรทับด้านบน หรือไม่มีพลาสติกคลุมใช้ทรายหรือวัสดุอื่นทับ
เลว	30-50	ไม่ได้ปิดด้านบน

ที่มา : บุญเสริม (2539)

5. อุณหภูมิที่พอเหมาะของการหมัก

อุณหภูมิที่พอเหมาะของการหมักอยู่ระหว่าง 27-38 องศาเซลเซียส โดยดูจากลักษณะของพืชที่หมักได้ การหมักในสภาพอุณหภูมิที่ต่ำมาก ๆ พืชหมักจะมีสีเขียวคล้ำ มีกลิ่นฉุน มีลักษณะเป็นเมือกและไม่มีรสชาติ ค่า pH จะสูงกว่า 5 ส่วนพืชที่หมักภายใต้อุณหภูมิที่พอเหมาะจะมีสีเขียวอ่อนค่อนไปทางเหลือง มีกลิ่นหอมของน้ำส้มสายชู เนื้อเยื่อของพืชหมักแน่นไม่เละ มีรสเป็นกรดออกเปรี้ยว ค่า pH ต่ำกว่า 4.5 สำหรับพืชที่หมักภายใต้อุณหภูมิสูง จะมีสีน้ำตาลแก่จนถึงดำ กลิ่นคล้ายน้ำตาลไหม้ pH และรสชาติไม่แน่นอนแล้วแต่ว่ามีการหมักเกิดขึ้นในระดับไหน อุณหภูมิของการหมักเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนที่ได้จากการหายใจของพืชเป็นสำคัญ สภาพการหมักที่มีอากาศแทรกอยู่มาก การหายใจของเซลล์พืชเกิดขึ้นมากทำให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในหลุมหมักสูง

พืชที่เหมาะแก่การหมัก

พืชหมักสามารถทำได้จากพืชหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง หญ้า และพืชตระกูลถั่ว

เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจนำเอาวัสดุเศษเหลือจากไร่นาและโรงงานอุตสาหกรรมมาทำเป็นพืชหมักได้ เช่นต้นข้าวโพดฝักอ่อน ต้นข้าวโพดหวานหลังเก็บฝักแล้ว เปลือกและซังข้าวโพดหวาน ยอดอ้อยและเถามันเทศ เป็นต้น อย่างไรก็ตามควรพิจารณาถึงคุณสมบัติของพืชนั้น ๆ ด้วย *พืชที่สามารถนำมาหมักได้ดีควรมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำตาลอยู่สูง* เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถขยายจำนวนได้เร็ว *ควรมีวัตถุแห้งอยู่ในเกณฑ์ที่พอเหมาะ คือ ประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ (ความชื้น 60 – 70 เปอร์เซ็นต์)* นอกจากนี้ควรมีโปรตีนรวมปานกลาง ประมาณ 7 – 12 เปอร์เซ็นต์และมีเยื่อใยต่ำถึงปานกลาง

ในต่างประเทศนิยมทำพืชหมักจากข้าวโพดทั้งต้นและฝักมากที่สุด นอกจากนี้มีข้าวฟ่างและหญ้า ตามลำดับ ในบางแห่งอาจทำจากข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ เถาถั่ว (pea vines) ส่วนต้นและใบของหัวบีท (beet tops) และเศษเหลือจากโรงงาน เช่น กากหัวบีท (beet pulp) และกากส้ม (citrus pulp) เป็นต้น

สำหรับพืชตระกูลถั่ว ความจริงแล้วไม่เหมาะแก่การหมักเท่าใดนัก เพราะพืชตระกูลถั่วมักมีโปรตีนสูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียในกระบวนการหมัก ซึ่งแอมโมเนียเมื่อละลายน้ำจะมีฤทธิ์เป็นด่าง นอกจากนี้พืชตระกูลถั่วยังมีคุณสมบัติในการเป็นบัฟเฟอร์ (buffer) คือ ต้านความเป็นกรด-ด่าง ทำให้ pH ของพืชหมักลดลงยาก ต้องใช้กรดจำนวนมากในการทำให้ pH ลดลงอยู่ในระดับที่เหมาะสม อย่างไรก็ดีในสหรัฐอเมริกามีการทำอัลฟัลฟ่าหมักมากเป็นที่สอง รองจากข้าวโพดหมัก และในประเทศไทยปัจจุบันมีงานทดลองผลิตกระถินยักษ์หมักวิ่งมีแนวโน้มว่าได้ผลดี (สมคิดและคณะ, ข้อมูลยังไม่ได้ตีพิมพ์)

คุณสมบัติที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมในการนำมาหมัก แสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของพืชที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมในการหมัก

คุณสมบัติของพืช	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม
ปริมาณน้ำตาล	สูง	ต่ำ
วัตถุแห้ง	สูง (30-40%)	ต่ำ
โปรตีนรวม	ปานกลาง	สูง – สูงมาก
โภชนะย่อยได้	สูง	ต่ำ (พืชแก่)
เยื่อใย	ต่ำ – ปานกลาง	สูง (พืชแก่)
ฤดูกาลที่ตัดพืช	อากาศเย็น	อากาศร้อน
การปนเปื้อน	น้อย	มาก
ขนาดชิ้นที่ตัด	หั่นให้มีขนาดเล็ก	ไม่หั่น

ที่มา: Alberta Ag-Industies (1986)

ข้าวโพดหมัก

ข้าวโพดทั้งต้นและฝักเป็นพืชที่เหมาะสมในการนำมาหมักมากที่สุด เพราะ

1. มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายอย่างเพียงพอ ทำให้เกิดกรดได้ง่าย
2. มีแบคทีเรียที่ติดมากับพืชมาก ช่วยให้เกิดการหมักได้เร็ว
3. มีสารต้านความเป็นกรด (บัฟเฟอร์) ต่ำ ทำให้ pH ลดลงได้เร็ว
4. ให้ผลผลิตต่อไร่สูง

อายุการตัดของข้าวโพดที่เหมาะสม ข้าวโพดที่จะนำมาหมักควรอยู่ในระยะที่เหมาะสม กล่าวคือ ให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่สูงและมีคุณค่าทางอาหารดี ระยะการตัดที่เหมาะสมในแต่ละท้องถิ่นอาจแตกต่างกัน เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน

การตัดข้าวโพดเพื่อนำมาหมักในประเทศไทยอาจตัดที่อายุ 110 วัน โดยประมาณเอาตอนที่เมล็ดเริ่มเป็นแป้ง และใบข้าวโพดเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แต่ในบางครั้งพบปัญหาว่า ถ้าฝนทิ้งช่วงการตัดที่ระยะ 110 วัน อาจไม่เหมาะสม เพราะข้าวโพดอาจแก่เกินไป มีลักษณะค่อนข้างแห้ง ทำให้อัดแน่นได้ยาก

ระยะการตัดข้าวโพดที่เหมาะสม สำหรับทำข้าวโพดหมัก นิยมพิจารณาจากรอยต่อของส่วนที่เป็นน้ำและส่วนที่เป็นแป้งของเมล็ด (milk line) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเจริญของเมล็ด (kernel) โดยระยะที่ดีที่สุด คือ มี milk line 1/2-2/3 ของเมล็ด เพราะจะทำให้มี TDN ต่อพื้นที่การปลูกสูงสุด และได้เมล็ดคิดเป็นสัดส่วนต่อต้นทั้งหมด 20-50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของข้าวโพด (Pioneer, 1990)

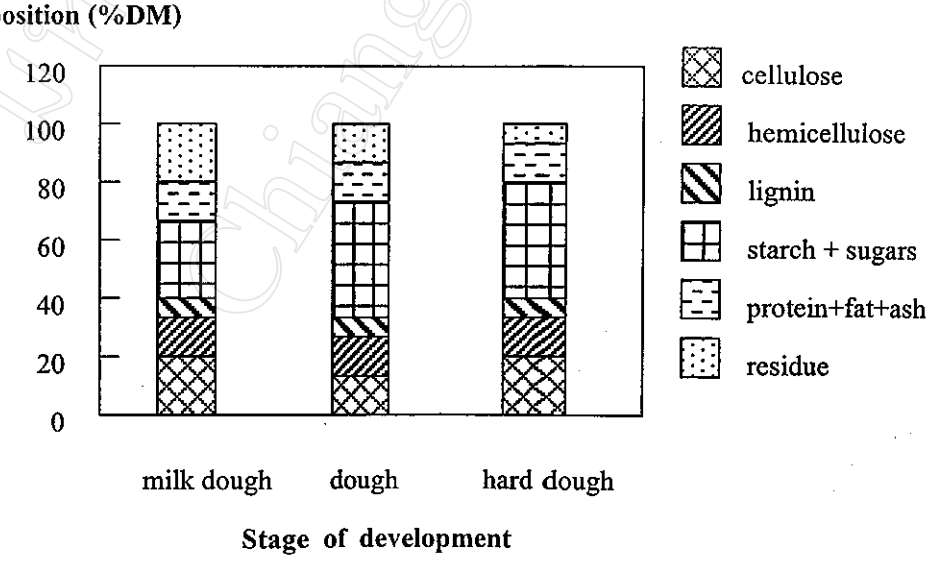


Figure 2 The effect of maturity stage on composition of maize silage chopped to 8 mm.

ที่มา: De Boever *et al* (1993)

De Boever *et al.* (1993) เมื่อข้าวโพดมีอายุเพิ่มขึ้น จากระยะที่เมล็ดเริ่มเปลี่ยนเป็นแป้ง (milk dough) จนระยะที่เป็นแป้งแข็ง (hard dough dent stage) จะมีปริมาณแป้งและน้ำตาลเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณเซลยูโลสลดลง ในขณะที่ส่วนประกอบอื่นไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (ภาพที่ 2)

Bal *et al.* (1997) ศึกษาระยะการเก็บเกี่ยวข้าว โพดที่เหมาะสมสำหรับนำมาหมัก โดยทำการเก็บเกี่ยว 4 ระยะ คือ ระยะที่เมล็ดเริ่มแข็ง (early dent), ระยะก่อนเป็นแป้ง (milk line 1/4 ของเมล็ด), ระยะเป็นแป้ง (milk line 2/3 ของเมล็ด) และระยะก่อนเก็บฝักแก่ (black layer stage) แต่ละระยะทำการหั่นข้าวโพดให้มีขนาด 0.64 เซนติเมตร แล้วนำมาหมักในถุง เป็นเวลาประมาณ 1 เดือน จากนั้นนำตัวอย่างข้าวโพดหมักมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น อินทรีย์วัตถุ และโปรตีน NDF ผลปรากฏว่า เมื่ออายุการตัดเพิ่มขึ้นจากระยะที่เมล็ดเริ่มแข็งจนถึงระยะก่อนเก็บฝักแก่ NDF และ ADF จะลดลง จาก 52.0% เป็น 41.3% และ ADF ลดลงจาก 32.0 เป็น 24.2% ตามลำดับ ซึ่งจะลดลงตามสัดส่วนของเมล็ดที่เพิ่มขึ้น ลิกนินจะมีปริมาณสูงที่สุดในระยะที่เมล็ดเริ่มแข็ง หลังจากนั้นจะลดลง ส่วนแป้งจะเพิ่มขึ้นตามอายุการตัด ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณของเมล็ดที่เพิ่มขึ้นดังได้กล่าวมาแล้ว (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหมักที่อายุการตัดต่าง ๆ กัน

	ระยะการตัด[1]			
	ED	**1/4ML**	**2/3ML**	**BL**
	(% ของวัตถุแห้ง)			
ความชื้น	69.9	67.6	64.9	58.0
CP	7.5	7.3	7.1	7.0
NDF	52.0	44.4	40.5	41.3
ADF	32.0	27.1	23.9	24.2
Lignin	3.3	2.8	2.9	2.7
Starch	18.2	28.7	37.2	37.4

[1] ED = ระยะที่เมล็ดเริ่มแข็ง, 1/4ML = ระยะก่อนเป็นแป้ง, 2/3ML = ระยะเป็นแป้ง และ BL = ระยะก่อนเก็บฝักแก่.

ที่มา: Bal *et al.* (1997)

ในการทดลองนี้ได้นำตัวอย่างข้าวโพดหมักแต่ละระยะมาวิเคราะห์กรดแลคติก, กรดไขมัน

ที่ระเหยง่าย (Volatile fatty acid; VFA) และเอทานอล โดยใช้ HPLC และทำการวิเคราะห์ค่า pH โดยใช้ Glass electrode pH meter พบว่า pH ของข้าวโพดหมักในระยะที่เมล็ดเริ่มแข็ง จะต่ำกว่าในระยะเมล็ดเป็นแป้ง หรือระยะก่อนเก็บฝักแก่ นั่นคือ pH จะต่ำในระยะที่มีความชื้นสูง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Huber *et al.*(1965) เพราะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายในน้ำ (water soluble carbohydrate) สูงและมีกระบวนการหมักที่ดี ปริมาณของกรดแลคติกจะลดลงเมื่อข้าวโพดมีความชื้นลดลง การที่พืชหมักมี pH ต่ำ และมีกรดแลคติกสูงจะได้ข้าวโพดหมักคุณภาพดีและเก็บไว้ได้เป็นเวลานาน จากการทดลองนี้พบว่า ระยะการเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่เหมาะสมสำหรับการหมัก คือ ระยะเมล็ดเป็นแป้ง (2/3 milk line) หรืออาจจะอยู่ในช่วง 1/4-2/3 milk line

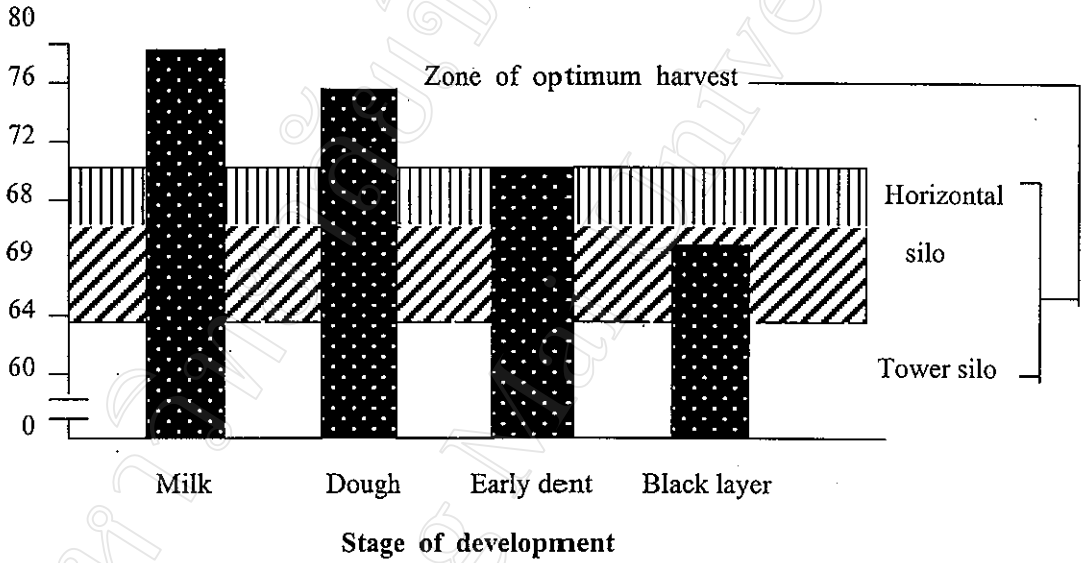


Figure 3 The moisture concentration of whole plant corn relative to kernel development and suitability for ensiling.

ที่มา: Muller and Green (1987)

ความชื้นที่เหมาะสม ความชื้นของต้นข้าวโพดจะแปรผกผันกับอายุการตัด คือ ยิ่งต้นข้าวโพดมีอายุมากความชื้นจะยิ่งต่ำ ความชื้นของข้าวโพดที่เหมาะสมในการนำมาหมัก คือ 65-70 เปอร์เซ็นต์ (Muller and Green, 1987)

ความชื้นที่พอเหมาะของพืชหมักจะแปรผันตามประเภทของหลุมหมัก (silo) กล่าวคือ พืชที่จะหมักในไซโลแนวนอน (horizontal silo) ควรมีความชื้นประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพืชที่จะหมักในไซโลแนวตั้ง (tower silo) ควรมีความชื้นเพียง 60-66 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 3) ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสูญเสียโภชนะไปกับน้ำที่ไหลออกจากพืชหมัก ซึ่งจะเกิดขึ้นโดยเฉพาะเมื่อพืชมีความชื้นสูงเกิน 70 เปอร์เซ็นต์ (Muller and Green, 1987)

ขนาดชิ้นที่เหมาะสม ข้าวโพดที่จะนำมาหมักควรมีขนาดที่เหมาะสม เนื่องจากขนาดของพืชที่ตัดนั้น มีผลต่อกระบวนการหมักของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก การหั่นข้าวโพดให้มีขนาดสั้น นอกจากจะเป็นผลดีในการช่วยอัดไล่อากาศแล้วการหั่นให้มีขนาดสั้นกว่า 25 มิลลิเมตร ยังทำให้น้ำในพืช (plant sap) ซึมออกมาได้เร็ว สามารถกระตุ้นให้แบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติกขยายจำนวนเร็วขึ้น แต่การตัดข้าวโพดเป็นชิ้นละเอียดเกินไปมีผลทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้งและปริมาณไขมันนมลดลง ขนาดการตัดของข้าวโพดที่จะนำมาหมักควรมีขนาดประมาณ 3/8-1/2 นิ้ว

Sudweeks *et al.* (1979) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของขนาดชิ้นที่ตัดของข้าวโพดที่จะนำมาหมัก โดยใช้ข้าวโพดในระยะที่เมล็ดเริ่มเป็นแป้งนำมาตัดให้มีขนาด 0.62, 1.27 และ 1.91 เซนติเมตร แล้วหมักข้าวโพดแต่ละขนาดแยกกันในไซโลที่มีความจุ 10 ตัน ใช้เวลาหมักประมาณ 1 เดือน จากนั้นสุ่มตัวอย่างของข้าวโพดหมักใส่ในถุงพลาสติก ปิดผนึกไว้ในสภาพอับอากาศ แช่ตู้เย็นเพื่อเก็บไว้วิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมี แล้วนำมาทดลองหาการย่อยได้โดยใช้แกะ 4 ตัวและใช้โคนม 2 ตัวที่เจาะกระเพาะไว้แล้ว ให้ได้รับข้าวโพดหมักคิดเป็นน้ำหนักวัตถุแห้ง 2% ของน้ำหนักตัว วันละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 14 วัน นอกจากนี้ได้เก็บตัวอย่างจากกระเพาะรูเมนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน (0, 2, 3, 7, 17และ 24 ชั่วโมง) เพื่อศึกษาผลของการหมักในกระเพาะรูเมน โดยนำมาวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่าย จากการทดลองพบว่า การย่อยได้ของโปรตีน ไขมัน เยื่อใย NDF และ ADF ในข้าวโพดหมักทุกกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่เมื่อตัดข้าวโพดให้มีขนาด 1.91 เซนติเมตร การย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (DNFE) ลดลง สำหรับปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย พบว่ามีค่าสูงที่สุด เมื่อตัดข้าวโพดให้มีขนาด 1.27 เซนติเมตร รองมา คือ 0.62 และ 1.91 เซนติเมตร

อย่างไรก็ตามขนาดที่ตัดของพืช ต้องขึ้นอยู่กับความชื้นของพืชด้วย ถ้าข้าวโพดที่จะนำมาหมักมีความชื้นต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ควรตัดให้เล็กลงประมาณ 1/4 นิ้ว (Muller *et al.*, 1987)

การใช้สารเสริมในพืชหมัก

สารเสริมที่เติมลงไปในพืชหมักมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้พืชหมักที่มีคุณภาพดีขึ้น การเติมสารเสริมเข้าไปในพืชหมัก จะช่วยเร่งให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพืชหมักมีความชื้นสูงหรือมีสภาพไม่เหมาะสมแก่การหมัก

Muck and Bolsen (1991) อ้างโดย Weiss (1996) ได้จำแนกสารเสริมในพืชหมักตามวัตถุประสงค์ของการเสริมได้เป็น 3 พวก คือ สารเร่งการหมัก (fermentation stimulant), สารยับยั้งการหมัก (fermentation inhibitor) และสารเสริมโภชนะ (stimulants modifiers)

สารเร่งการหมัก จะเพิ่มอัตราการหมักและส่งเสริมการหมักซึ่งสารดังกล่าวมีอยู่ 2 ประเภท คือ ประเภทที่เพิ่มจำนวนแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก เช่น *Lactobacillus plantarum* และ *Streptococcus faecalis* และประเภทที่เพิ่มคาร์โบไฮเดรตลงไปในพืชหมัก เช่น กากน้ำตาล เป็นต้น

การเพิ่มจำนวนแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกเข้าไปช่วยในการหมักข้าวโพดนั้นอาจได้ผลดีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพราะข้าวโพดเป็นพืชที่เหมาะสมในการหมักอยู่แล้ว เนื่องจากมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายเพียงพอและเป็นประโยชน์สำหรับจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก ทำให้จุลินทรีย์ขยายจำนวนได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นการจะตัดสินใจว่าควรเสริมแบคทีเรียหรือไม่จึงควรคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น ราคา และแรงงาน เป็นต้น

สารยับยั้งการหมัก ช่วยลดการหมัก และป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์พวกที่ใช้ออกซิเจนหรือลดการทำงานของเอนไซม์ในพืช ข้อดีของการใช้สารเสริมประเภทนี้ คือ ลดการสูญเสียในการหมักและลดการสลายของโปรตีนในพืชหมัก สารดังกล่าวได้แก่ กรดโปรปิโอนิก, กรดฟอร์มิก, กรดอะซิติก และฟอร์มัลดีไฮด์

Waldo *et al.* (1971) รายงานว่า การใช้กรดฟอร์มิกนั้นจะช่วยป้องกันการเกิดการหมักของจุลินทรีย์พวก clostridium และลดการเกิดการหมักของคาร์โบไฮเดรตที่เกิดขึ้นภายในไซโล และความเป็นกรดจะช่วยให้พืชสามารถเก็บไว้ได้นานอีกด้วย

สำหรับฟอร์มัลดีไฮด์นั้นช่วยในการลดกระบวนการหมักและสามารถป้องกันโปรตีนในอาหารให้ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน ช่วยให้โปรตีนไหลผ่านไปยังลำไส้เล็กได้มากขึ้น (Wilkins *et al.*,1974; Wilson *et al.*, 1974; Ferguson *et al.*, 1967; Siddons *et al.*, 1979)

Waldo (1978) รายงานว่าการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ร่วมกับกรดฟอร์มิกเสริมในหญ้า และพืชตระกูลถั่วจะทำให้พืชหมักมี insoluble N เพิ่มขึ้น และพบว่าทำให้ปริมาณวัตถุแห้งที่กินได้ของโคกำลังให้นมสูงขึ้นและมีผลผลิตนมเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Glenn and Waldo (1986)

Siddons *et al.* (1979) ศึกษาการใช้ฟอร์มิกผสมฟอร์มาลิน ในสัดส่วน 2:1 ในหญ้าหมัก ในอัตรา 8.6 ลิตร/ตัน (น้ำหนักสด) พบว่าสามารถยับยั้งกระบวนการหมัก คือ ช่วยลดการหมักของคาร์โบไฮเดรต และการย่อยสลายของโปรตีนได้ นอกจากนี้ Glenn *et al.* (1986) ได้รายงานว่า การใช้ฟอร์มิกผสมฟอร์มาลินในอัตรา 0.85 และ 0.47 เปอร์เซ็นต์ (CP basis) ตามลำดับ ยังช่วยทำให้วัตถุแห้งที่กินได้และผลผลิตนมสูงขึ้นอีกด้วย

Valentine and Brown (1973) ได้ศึกษาการใช้สารเสริมประเภทยับยั้งการหมัก ได้แก่ กรดฟอร์มิก ฟอร์มัลดีไฮด์ และกรดฟอร์มิกร่วมกับฟอร์มัลดีไฮด์ (1:2) เสริมลงในพืชหมักและนำมาทดลองในแกะ พบว่า การใช้กรดฟอร์มิกร่วมกับฟอร์มัลดีไฮด์ ช่วยลดกระบวนการหมักได้ดีที่สุด และทำให้ปริมาณการกินได้สูงขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Thomson *et al.* (1981)

สารเพิ่มโภชนะ ได้แก่ สารประกอบไนโตรเจน เช่น ยูเรีย จะทำให้พืชหมักมีโปรตีนเพิ่มขึ้น เอนไซม์ที่ย่อยเยื่อใยจะทำให้ปริมาณ NDF และ ADF ต่ำลง จุลินทรีย์สามารถย่อยโภชนะที่อยู่ในเซลล์พืช เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการหมักได้เพิ่มขึ้น กากน้ำตาลหรือแหล่งน้ำตาล นอกจากจุลินทรีย์จะใช้เพื่อการเจริญเติบโตของตัวเองและใช้สร้างกรดให้แก่พืชหมักแล้ว ยังช่วยเพิ่มพลังงานให้แก่พืชหมักด้วย สำหรับแร่ธาตุ เช่น หินปูน จะเพิ่ม Ca และ Mg ให้พืชหมัก เป็นต้น

การเสริมสารประกอบไนโตรเจน เพื่อเสริมโปรตีนให้แก่ข้าวโพดหมัก เนื่องจากข้าวโพดมีโปรตีนต่ำ อัตราการใช้ คือ แอมโมเนีย 3-4 กก. ต่อ ข้าวโพดหมัก (35 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง) 100 กก. ช่วยลดการสูญเสียทางผิวหน้าของข้าวโพดหมัก เพราะสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ อย่างไรก็ดี ข้าวโพดหมักที่มีความชื้นสูง (น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง) ไม่ควรใช้สารประกอบไนโตรเจนเป็นสารเสริม เพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียโภชนะในระหว่างการหมักเพิ่มขึ้น (Weiss, 1997, Schmutz *et al.*, 1967) นอกจากนี้ยูเรียยังทำให้ insoluble N เพิ่มขึ้น ลดการย่อยสลายของโปรตีนในพืช และจุลินทรีย์สามารถสังเคราะห์โปรตีนได้สูงขึ้น (Glenn *et al.*, 1986) และทำให้ปริมาณกรดโปรปิโอนิก กรดบิวทีริก และกรดแลคติกเพิ่มขึ้น (Schmutz *et al.*, 1967; Shirley *et al.*, 1967)

อย่างไรก็ตาม การใช้สารเสริมต่าง ๆ ในข้าวโพดหมัก ควรคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการหมัก คือ ถ้าต้องการให้ข้าวโพดหมักมีโภชนะเพิ่มขึ้น ควรใช้สารประกอบไนโตรเจน ถ้าจะลดการสูญเสียจากกระบวนการหมักควรจะใช้สารเร่งการหมักประเภทที่เพิ่มจำนวนแบคทีเรียเข้าไป และถ้าต้องการเก็บถนอมข้าวโพดหมักไว้ใช้เป็นเวลานาน ควรใช้สารประเภทยับยั้งการหมัก เช่น กรดฟอร์มิก และ/หรือ ฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นต้น

การประเมินคุณภาพของพืชหมัก

ลักษณะของพืชหมักคุณภาพดี

หลักสำคัญในการประเมินคุณภาพของพืชหมัก คือจะต้องทราบและต้องคุ้นเคยกับลักษณะของพืชหมักคุณภาพดี ที่มีคุณค่าทางโภชนะและมีความน่ากินสูง ซึ่งหลักเกณฑ์ในการพิจารณาคุณภาพพืชหมัก คือ

1. กลิ่น-มีกลิ่นหอมของกรดไม่มีกลิ่นเน่าเหม็น
2. มีรสชาติดี ไม่ขมหรือรสจัดเกินไป
3. ไม่มีเชื้อรา หรือเน่าเปื่อยเป็นเมือก
4. มีความสม่ำเสมอทั้งด้านความชื้นและสี โดยทั่วไปพืชหมักที่ดีจะมีสีเขียวหรือสีน้ำตาลอ่อน

ถ้ามีสีน้ำตาลเข้มหรือสีไหม้เกรียม แสดงว่ามีความร้อนมากเกินไป

ถ้ามีสีดำ แสดงว่าพืชหมักเน่า ไม่ควรนำมาใช้เลี้ยงสัตว์

5. pH อยู่ระหว่าง 3.8-4.1
6. การยอมรับจากสัตว์ สัตว์จะชอบกินและมีการเจริญเติบโตดี
7. ความชื้นอยู่ในช่วง 60-67 เปอร์เซ็นต์

คุณภาพของพืชหมัก

กรดอินทรีย์ที่สำคัญซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการทำพืชหมัก เช่น กรดแลคติก กรดอะซิติก และกรดบิวทีริค เป็นตัวการสำคัญที่สะท้อนให้เห็นถึงคุณภาพของพืชหมัก ปริมาณของกรดแต่ละชนิดดังกล่าวจะช่วยชี้ว่ากระบวนการหมักพืชเป็นไปตามวัตถุประสงค์เพียงใด มีการสูญเสียโภชนะที่นำมาหมักอย่างไร เมื่อการหมักพืชมีการสูญเสียมันจะสะท้อนออกมาในรูปของกลิ่นและรสชาติของพืชหมัก

Ely (1988) รายงานว่าข้าวโพดหมักที่มีคุณภาพดีควรมี pH น้อยกว่า 4.2 มีระดับกรดแลคติก 1.5 – 2.5 เปอร์เซ็นต์, กรดอะซิติก 0.5 – 0.8 เปอร์เซ็นต์ และกรดบิวทีริกน้อยกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์

คุณภาพของพืชหมักสามารถตัดสินได้ด้วยกระบวนการทางเคมีและการตรวจสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่ง บุญเสริม (2539) ได้รวบรวมไว้ คือ:-

1. การใช้ประสาทสัมผัสในการพิจารณาคุณภาพของพืชหมัก มีขั้นตอนแนะนำให้ปฏิบัติดังนี้

1.1 พิจารณาถึงคุณภาพของพืชที่จะนำมาหมักเสียก่อน

สอบถามหรือหาข้อมูลเกี่ยวกับ อายุ ระยะการตัด ฤดูกาล ตลอดจนการให้ปุ๋ยของพืชที่จะนำมาหมัก ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพของพืชหมักตั้งแต่เริ่มหมัก ความแก่อ่อน การออกดอก ติดเมล็ดมีผลต่อปริมาณเยื่อใย และค่าการย่อยได้

1.2 ให้คะแนนตัดสินโดยใช้ประสาทสัมผัส

1.2.1 กลิ่น (ถ้าเป็นไปได้ให้ตรวจที่อุณหภูมิห้อง)	**คะแนน**
- ปราศจากกลิ่นเน่าเสีย มีกลิ่นหอม	14
- มีกลิ่นเน่าเจือปนบาง ๆ หรือกลิ่นกรดจัด หรือมีกลิ่นน้ำตาลไหม้หอมจาง ๆ	10
- กลิ่นเน่าแรงขึ้น หรือมีกลิ่นน้ำตาลไหม้ชัด	4
- กลิ่นเน่าแรง หรือมีกลิ่นแอมโมเนีย มีกลิ่นกรดจางมาก	2
- กลิ่นเน่าเสีย ขึ้นรา	0

ถ้าพืชที่นำมาหมักผ่านการตากแดดลดความชื้นก่อน กลิ่นหมักจะไม่แรง ไม่ค่อยมีความแตกต่างกัน กลิ่นเน่าของพืชหมักพิสูจน์ได้โดยการใช้มือหยิบขึ้นดม

- หยิบตัวอย่างพืชหมักประมาณ 1 กำมือ กำให้แน่นจนน้ำในพืชซึมออกมา ปล่อยให้น้ำที่ติดฝ่ามือแห้ง ดมดู อาจจะพบร่องรอยกลิ่นเน่า
- กลิ่นไหม้ของ wilt silage (ซึ่งมักพบว่ามีความร้อน) สามารถกลบกลิ่น เน่าได้
- กลิ่นรา เกิดขึ้นจากเชื้อรา แม้ว่าการสังเกตอาจไม่พบตำแหน่งมีราขึ้น

1.2.2 สี **คะแนน**

- มีสีของพืชหมัก ถ้าพืชหมักเป็นพืชที่มีความชื้นไม่มากสีค่อนทางน้ำตาลอ่อน	2
- สีเปลี่ยนไม่มาก เหลืองค่อนไปทางน้ำตาล	1
- สีผิดปกติมาก เขียวคล้ำออกดำ เหลืองซีดหรือมีรา	0

สีของพืชที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ผิดปกติ แสดงว่ามีการเสื่อมถอยของคุณภาพ ถ้าเป็นพืชตระกูลถั่วการเกิดสีคล้ำอาจจะไม่หมายถึงการเสื่อมถอยของคุณภาพ

1.2.3 โครงสร้าง **คะแนน**

- มีใบและก้านครบ	4
- ใบ	2
- มีเมือกลื่น มีสิ่งเจือปน	1
- ใบและก้านยุ่ย เปื่อย หรือปนเปื้อนมาก	0

จากคะแนนที่ให้รวมกันทั้ง 3 ข้อ อ่านผลตามเกณฑ์ ข้างล่างนี้

คะแนน	ลำดับชั้นของพืชหมัก		การสูญเสียโภชนะของพืช
20-16	1	ดีมาก - ดี	น้อย
15-10	2	เกือบดี	ปานกลาง
9-5	3	ปานกลาง	สูง
4-0	4	เน่าเสีย	สูงมาก

2. การประเมินคุณภาพของพืชหมักในห้องปฏิบัติการ

2.1 *การวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ (กรดอะซิติก บิวทีริกและแลคติก)*

ปริมาณกรดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักนั้น เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ต่าง ๆ โดยจุลินทรีย์จะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตในพืชให้เป็นกรดอินทรีย์และกรดไขมันที่ระเหยง่าย คือ กรดแลคติก

(ซึ่งต้องการให้เกิดมาก) กรดอะซิติก, กรดบิวทีริก, กรดโปรปีโอนิก และฟอร์มิก นอกจากนี้จะมีแอลกอฮอล์เกิดขึ้นด้วย เมื่อเกิดกรดสูงขึ้น (pH ต่ำกว่า 4) จุลินทรีย์จะหยุดเจริญและตายไป ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี คุณภาพของพืชหมักจะคงที่ตลอดไป โดยทั่วไปพืชที่จะนำมาทำพืชหมักควรมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายอย่างน้อย 6-8 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้ง (บุญเสริม, 2539)

การวิเคราะห์กรดไขมันที่ระเหยง่าย และกรดแลคติก สามารถวิเคราะห์โดยการกลั่น และวัดโดยใช้ Gas chromatography

Shaver *et al.*(1984) ได้แนะนำวิธีวัดปริมาณกรดอินทรีย์โดยการนำพืชหมัก 15 กรัม มาแช่ใน 6N HCl 45 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นกรองตัวอย่างดังกล่าวผ่านผ้าฝ้ายบาง 2 ชั้น แล้วนำมาใส่เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuged) จากนั้นดูดสารละลายมา 4 มิลลิลิตร เติม 25% Metaphosphoric acid 1 มิลลิลิตร แล้วแช่ในขวด polyethylene เพื่อทำการวิเคราะห์โดยใช้ Gas chromatography ต่อไป

สำหรับการวัดปริมาณกรดอินทรีย์โดยวิธีการกลั่นนั้น บุญล้อม และ บุญเสริม (2525) ได้อ้างอิงวิธีการของ Zimmer (1966) คือ นำข้าวโพดหมัก 30 กรัม เติมน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร ปั่นด้วย โถผสม (blender jar) แล้วกรอง นำน้ำที่ได้ 200 มิลลิลิตรมาสกัดน้ำตาลออก โดยเติมน้ำปูน 20 มิลลิลิตร และสารละลาย $CuSO_4$ 10 มิลลิลิตร นำมาคนให้เข้ากันโดยใช้ Magnetic stirrer เป็นเวลาประมาณ 2 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง จากนั้นนำน้ำที่ได้มา 200 มิลลิลิตร เติม H_2SO_4 แล้ววัดปริมาณกรดอะซิติกและบิวทีริก โดยการกลั่นลำดับส่วน โดยสารละลายที่ออกมา 100 มิลลิลิตรแรก เป็นค่า A แล้วกลั่นต่อไปอีก 50 มิลลิลิตรเป็นค่า B จากนั้นนำสารละลายที่เหลืออยู่ในขวดกลั่นมาเติม chromic oxide solution ทำการ reflux เป็นเวลา 5 นาที หยุดปฏิกิริยาโดยการเติมน้ำเย็น 100 มิลลิลิตร นำไปกลั่นต่อให้ได้สารละลาย 50 มิลลิลิตร (C) จากนั้นนำค่า A B และ C มาไตเตรทกับ NaOH 0.05 N โดยมี phenolphthalein เป็น indicator แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณกรดอินทรีย์ต่อไป

เมื่อได้ปริมาณกรดแลคติก, อะซิติก และบิวทีริก สามารถนำมาคำนวณเป็นร้อยละของกรดทั้งหมด จำนวนร้อยละของกรดแต่ละชนิดดังกล่าวถูกนำมาให้คะแนนโดยถือตารางคะแนนของ FLIEG เป็นเกณฑ์ดังตารางที่ 7

2.2 *การใช้ pH เป็นตัวบอกคุณภาพ* วิธีการนี้เหมาะกับการนำไปใช้ในทางปฏิบัติโดยพิจารณาควบคู่กับการสัมผัสและดมกลิ่นของพืชหมัก ซึ่งได้กล่าวถึงมาข้างต้น เงื่อนไขที่สำคัญของการใช้ pH เป็นตัวบอกคุณภาพ คือ จะต้องทราบปริมาณวัตถุแห้งของพืชหมัก

ในการหาค่า pH ของพืชหมัก อาจจะทำได้ง่าย ๆ โดยการนำตัวอย่างของพืชหมักกดทับลงบนกระดาษอินดิเคเตอร์ (indicator) น้ำจากพืชหมักที่ซึมออกมาจะเปลี่ยนสีกระดาษ ซึ่งสามารถ

เทียบเป็นค่า pH ได้ จากตารางที่ 8 ถ้าต้องการข้อมูลที่ละเอียดกว่านั้น อาจทำตามวิธีการของ Bal *et al.* (1997) โดยการนำตัวอย่างข้าวโพดหมักประมาณ 50 กรัม มาละลายในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ปั่นด้วยโถผสม 30 วินาที กรองผ่านผ้าฝ้ายบาง 2 ชั้น และทำการวัดค่า pH โดยใช้ glass electrode pH meter

ตารางที่ 7 การตัดสินให้คะแนนของพืชหมักตามเกณฑ์ของ FLIEG

กรดแลคติก[1/]	คะแนน	กรดอะซิติก[1/]	คะแนน	กรดบิวทีริก[1/]	คะแนน
0-25	0	0-15	20	0-1.5	50
25.1-30	2	15.1-20	18	1.6-3.0	30
30.1-34	4	20.1-24	16	3.1-4.0	20
34.1-38	6	24.1-28	13	4.1-6.0	15
38.1-42	8	28.1-32	10	6.1-8.0	10
42.1-46	10	32.1-36	7	8.1-10	9
46.1-50	12	36.1-40	4	10.1-12.0	8
50.1-54	14	40.1-45	2	12.1-14.0	7
54.1-58	16	45.1-50	0	14.1-16.0	6
58.1-62	18			16.1-18.0	4
62.1-66	20			18.1-20.0	2
66.1-70	24			20.1-30.0	0
70.1-75	28			30.1-40.0	-5
> 75	30			> 40	-10

คะแนนรวม	ระดับคุณภาพ
0-20	5 เลว
21-40	4 พอใช้
41-60	3 เกือบดี
61-80	2 ดี
81-100	1 ดีมาก

[1/]ค่าความเป็นกรด คิดเป็นร้อยละของกรดทั้งหมด

ที่มา: บุญเสริม (2539)

ตารางที่ 8 การทำนายคุณภาพของพืชหมักโดยพิจารณา pH ร่วมกับวัตถุแห้งของพืชหมัก

ระดับคุณภาพ	คะแนน FLIEG	วัตถุแห้ง (%)					
		15	20	25	30	35	40
		← ค่า pH →					
1- ดีมาก	100-81	3.6	3.9	4.1	4.4	4.6	4.9
2- ดี	80-61	4.1	4.4	4.6	4.9	5.1	5.4
3- เกือบดี	60-41	4.6	4.9	5.1	5.4	5.6	5.9
4- พอใช้	40-21	5.1	5.4	5.6	5.9	6.1	6.4
5- เลว	20-0	5.6	5.9	6.1	6.4	6.6	6.9

ที่มา: บุญเสริม (2539)

3. การหาการย่อยได้จากตัวสัตว์โดยตรง (*in vivo*)

การหาการย่อยได้กับตัวสัตว์โดยตรงแบบ conventional method ทำโดยนำเอาอาหารชนิดนั้นไปให้สัตว์กินโดยตรง ทำการทดลอง 2 ช่วง คือ

1. Preliminary period เป็นช่วงที่ให้สัตว์และจุลินทรีย์คุ้นเคยกับอาหาร และเพื่อขับอาหารเดิมออกจากทางเดินอาหาร สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องถ้าเป็นอาหารปรกติใช้เวลา 7 – 10 วัน แต่ถ้าเป็นอาหารที่สัตว์ไม่คุ้นเคยอาจจะต้องใช้เวลา 14 – 21 วัน

2. Collection period เป็นช่วงที่วัดปริมาณอาหารที่สัตว์กินได้จริง และมูลที่สัตว์ขับออกมาทั้งหมด ถ้าให้อาหารระดับคงที่จะใช้เวลาประมาณ 7 วันแต่ถ้าให้อาหารแบบเต็มที่ เพื่อต้องการวัดปริมาณอาหารที่สัตว์กินได้ ต้องใช้เวลานานกว่า คือ 7 – 10 วัน ทำการสุ่มตัวอย่างอาหารและมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ทางเคมี แล้วนำค่าต่าง ๆ มาคำนวณหาการย่อยได้จากสูตร

$$\text{การย่อยได้ของโภชนะ (\%)} = \frac{\text{ปริมาณโภชนะที่กิน} - \text{ปริมาณโภชนะที่ขับออกในมูล}}{\text{ปริมาณโภชนะที่กิน}} \times 100$$

ในกรณีที่อาหารนั้นไม่สามารถให้สัตว์กินเป็นอาหารเดี่ยวได้ ควรหาค่าการย่อยได้โดยวิธีหาความแตกต่าง (difference method) แต่อาหารบางอย่างเมื่อให้ร่วมกับอาหารอื่นอาจมีผลให้ค่าการย่อยได้เปลี่ยนไป (เกิด associative effect) จึงควรหาค่าการย่อยได้โดยวิธีใช้สมการถดถอย

(regression method) โดยให้อาหารทั้งสองชนิดในสัดส่วนต่างๆ กันหลายระดับแล้วใช้สมการทำนายค่าการย่อยได้ของโภชนะในวัตถุดิบแต่ละชนิด จะทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องยิ่งขึ้น (บุญล้อม, 2541)

เนื่องจากการศึกษาการย่อยได้ในตัวสัตว์โดยตรง (*in vivo*) เป็นวิธีที่ใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง นอกจากนี้ยังใช้พืชอาหารสัตว์เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าทำการทดลองกับสัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดใหญ่ เช่น โค และกระบือ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการใช้สัตว์นำร่อง (pilot animal) ในการประเมินคุณภาพอาหารหยาบ เพื่อลดค่าใช้จ่ายและช่วยให้ทำงานได้สะดวกยิ่งขึ้น สัตว์นำร่องที่นำมาใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับสัตว์เคี้ยวเอื้อง คือ แกะ เนื่องจากมีจำนวนมากและกระจายอยู่ทั่วโลก นอกจากนี้ทั้งโคและแกะกินอาหารที่คล้ายคลึงกัน จึงน่าจะนำข้อมูลที่ได้จากแกะมาใช้กับโคได้

โดยทั่วไปโคสามารถย่อยอาหารได้ดีกว่าแกะ แต่สำหรับอาหารหยาบคุณภาพดีจะมีความแตกต่างกันน้อยมาก (1–3%) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแต่ในอาหารหยาบคุณภาพต่ำค่าการย่อยได้ของโคและแกะจะต่างกันมาก โดยโคสามารถย่อยอาหารหยาบคุณภาพต่ำได้ดีกว่าแกะ แสดงว่าความแตกต่างทางด้านการย่อยได้ของโคและแกะจะมีเพิ่มขึ้นถ้าอาหารมีการย่อยได้ลดลง (Heaney, 1980)

Johnson and McClure (1968) ทำการทดลองหาการย่อยได้ของข้าวโพดหมักที่อายุต่าง ๆ กัน พบว่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งจะสูงสุดในระยะที่เมล็ดเริ่มเป็นแป้งจนถึงระยะเริ่มแข็งเป็นไต คือ 72.3, 73.2 % ตามลำดับ ข้าวโพดในระยะแก่จัด การย่อยได้จะลดลงแต่ก็ยังจัดว่าสูง คือมีการย่อยได้ 68 % การย่อยได้ของอินทรียวัตถุนับว่าอยู่ในระดับสูงเช่นเดียวกันคือ 69 – 73 % แต่การย่อยได้ของเซลลูโลสพบว่าลดลง เมื่อข้าวโพดมีอายุมากขึ้นคือลดจาก 71 % เมื่ออายุ 94 วัน เหลือ 41 – 45 % เมื่อข้าวโพดอายุ 140 วัน การย่อยได้ของโปรตีนจะลดลง เมื่อข้าวโพดอายุมากขึ้นโดยลดลงจากระยะเมล็ดเริ่มเป็นแป้ง เป็นต้นไป คือลดจาก 76.6 % ในระยะดังกล่าวเหลือเพียง 56.5 %

McClure (1968) ทดลองให้แกะกินข้าวโพดหมักเต็มที่เพียงอย่างเดียวหรือเสริมด้วยเมล็ดข้าวโพดหรืออัลฟัลฟา พบวาการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นต่อตัวเท่ากับ 0.12, 0.14 และ 0.18 กิโลกรัม ตามลำดับ ซากแกะที่เสริมด้วยอัลฟัลฟ่าจะมีเปอร์เซ็นต์ซากสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าสามารถเลี้ยงแกะให้มีต้นทุนที่ต่ำได้ โดยให้ข้าวโพดหมักเสริมเมล็ดธัญพืช

Oljen and Bolsen (1980) ทดลองเปรียบเทียบการใช้พืชหมัก 3 ชนิดคือ ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวบาเล่ย์ โดยนำมาเลี้ยงโคเนื้อร่วมกับอาหารข้นที่มีกากถั่วเหลืองและข้าวฟ่างหรือข้าวฟ่างและยูเรียเป็นหลัก โดยให้โคได้รับพืชหมัก 86 % และอาหารข้น 14 % ผลปรากฏว่าโคเนื้อที่ได้รับข้าวโพดหมักมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่า และกินอาหารคิดเป็นวัตถุแห้งได้มากกว่าพวกที่ได้รับข้าวสาลีและข้าวบาเล่ย์ตามลำดับ

การวัดค่าพลังงานจากค่าการย่อยได้

ปริมาณพลังงานย่อยได้ (digestible energy, DE) สามารถวัดได้โดยตรง โดยนำค่าพลังงานในมูล (fecal energy, FE) มาหักออกจากพลังงานทั้งหมดในอาหาร

นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณค่าโภชนะย่อยได้รวม (total digestible nutrient, TDN) พลังงานย่อยได้ (DE) และพลังงานเมแทบอไลซ์ (ME) จากค่าการย่อยได้ของโภชนะแต่ละชนิด ดังเช่นที่ อิทธิพล (2528) ได้ประเมินค่าพลังงานของวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว ต้นข้าวโพดหวาน ต้นข้าวโพดอ่อน และถั่วลิสงแห้ง โดยคำนวณค่า TDN, DE และ ME จากสูตรที่บุญล้อม (2532) ได้รวบรวมไว้ คือ

TDN = dig. CP + dig. NFE + (2.25 x dig. EE)

DE = 5.79 x dig. CP + 8.15 x dig. EE + 4.42 x dig. CF + 4.06 x dig. NFE

ME = 4.32 x dig. CP + 7.73 x dig. EE + 3.59 x dig. CF + 3.63 x dig. NFE

Cheva-Isarakul and Cheva-Isarakul (1984) ได้ศึกษาค่าการย่อยได้ของต้นข้าวโพดและฟางข้าวโดยวิธีใช้ acid insoluble ash (AIA) เป็นตัวบ่งชี้และคำนวณค่าย่อยได้ (DE) และพลังงานเมแทบอไลซ์ (ME) จากค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ พบว่า ค่า DE และ ME ของฟางข้าวและต้นข้าวโพดในโคเท่ากับ 2.1, 1.8 และ 2.6, 2.2 Mcal/kg ตามลำดับ

การแปลงค่า TDN ให้เป็นค่าพลังงานต่าง ๆ

หลังจากที่ได้ค่า TDN แล้วสมการนำไปคำนวณหาค่า DE หรือ NEL ได้ ส่วนค่า ME สามารถคำนวณได้จากค่า DE ดังสมการที่ National Research Council (NRC, 1988) ได้เสนอไว้ดังนี้ คือ

DE (Mcal/kg) = 0.04409 x TDN (%)

ME (Mcal/kg) = -0.45 + 1.01 DE

NEL (Mcal/kg) = 0.0245 x TDN (%) – 0.12