บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ข้าวโพดหวาน (sweet corn)

ข้าวโพดหวานเป็นพืชที่มีศักยภาพสูงทั้งเพื่อการบริโภคสดและเพื่อการส่งออกทั้งรูปฝักสด ฝักแช่แข็งและแปรรูปบรรจุกระป๋อง ซึ่งมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นทุกปี ข้าวโพดหวานปลูกกันมากในแถบภาคตะวันตก ได้แก่พื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี ราชบุรี นครปฐม เพชรบุรี สมุทรสาคร และทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ มหาสารคาม อายุเมื่อเก็บเกี่ยวฝักสดอยู่ระหว่าง 65-80 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ที่ใช้ปลูก มักจะปลูกในช่วงฤดูฝน แต่สามารถปลูกได้ตลอดปีถ้ามีแหล่งน้ำและดินอุดมสมบูรณ์ดี (วลัยกานต์, 2542) จากรายงานของกรมส่งเสริมการเกษตร (2541 ก.) ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดหวานทั้งหมด 183,033 ไร่ กระจายไปตามภาคต่าง ๆ คือ ภาคตะวันตก 63,766 ไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 48,950 ไร่ ภาคเหนือ 39,113 ไร่ ภาคใต้ 15,495 ไร่ ภาคตะวันออก 9,889 ไร่ และภาคกลาง 5,820 ไร่ ผลผลิตข้าวโพดหวานรวมทั้งประเทศประมาณ 333,504 ตัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. พื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในประเทศไทยปี 2540/41

ภาค	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตเฉลี่ย (กก./ไร่)
ตะวันตก	63,766	111,648	1,751
ตะวันออกเฉียงเหนือ	48,950	102,188	2,088
เหนือ	39,113	64,805	1,657
ใต้	15,495	27,486	1,774
ตะวันออก	9,889	19,663	1,988
กลาง	5,820	7,714	1,325
รวมทั้งประเทศ	183,033	333,504	1,822

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร (2541 ก.)

ข้าวโพดหวานที่ปลูกส่วนใหญ่จะถูกส่งเข้าโรงงานแปรรูป จากรายงานกรมส่งเสริมการเกษตร พบว่าความต้องการข้าวโพดหวานของโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร ปี 2541 มีปริมาณ 185,251 ตัน และ ปี 2542 เท่ากับ 264,023 ตัน ซึ่งในปี 2542 นี้มีปริมาณความต้องการข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้นจากปีก่อนถึง 42 เปอร์เซ็นต์ และพบว่ามีจำนวนโรงงานเพิ่มขึ้น คือ มี 16 โรงงานในปี 2541 เพิ่มเป็น 20 โรงงานในปี 2542 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2. ปริมาณความต้องการข้าวโพดหวานของโรงงานตามภาคต่างๆ ในประเทศไทย

ภาค	ปี 2541		ปี 2542	
	ปริมาณ (ตัน)	จำนวนโรงงาน	ปริมาณ (ตัน)	จำนวนโรงงาน
เหนือ	74,025	7	81,640	9
ตะวันออกเฉียงเหนือ	13,600	3	15,300	3
ตะวันออก	5,126	2	85,803	4
ตะวันตก	92,500	4	81,280	4
รวมทั้งประเทศ	**185,251**	**16**	**264,023**	**20**

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร (2541 ข. และ 2542)

กระบวนการแปรรูปข้าวโพดหวานทั้งฝักที่ถูกส่งเข้าโรงงานมีส่วนเหลือทิ้ง ได้แก่ เปลือก ไหม และซังเป็นจำนวนมาก ซังข้าวโพดที่เหลือทิ้งนี้จะมีส่วนของเมล็ดหลงเหลืออยู่ ทำให้มีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีโปรตีนเพียง 1.94 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (Gohl, 1981 ; อ้างโดย จินดา และคณะ, 2541) ราเชนทร์ และ เอกภพ (2537) รายงานว่าข้าวโพดหวานที่ส่งเข้าโรงงานจะมีสัดส่วนของเนื้อเมล็ด เปลือกไหม และซัง เท่ากับ 34.2, 33.7 และ 32.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีส่วนที่เป็นเปลือกไหมรวมทั้งส่วนของซังประมาณ 65.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดที่เข้าโรงงาน เมื่อประเมินจากปริมาณความต้องการข้าวโพดหวานของโรงงาน ปี 2542 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 264,023 ตัน (ตารางที่ 2) จำนวนเศษเหลือจากกระบวนการแปรรูปข้าวโพดหวานจะมีปริมาณสูงถึง 173,727 ตันต่อปี หรือ 476 ตันต่อวัน ซึ่งเป็นภาระของโรงงานอย่างมากในการกำจัด ดังนั้นทางโรงงานจึงระบายเศษเหลือเหล่านี้ออกไป โดยให้เกษตรกร

นำไปใช้เลี้ยงโค กระบือ ดังเช่นในเขตพื้นที่อำเภอสันป่าตอง อำเภอแม่วาง และอำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเศษเหลือจากข้าวโพดหวาน

จินดา และคณะ (2541) รายงานว่า ซังข้าวโพดหวานจากโรงงานมีวัตถุแห้ง โปรตีน และเยื่อใยส่วน acid detergent fiber (ADF) เท่ากับ 27.50, 8.01 และ 28.20 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ โดยมีค่าของโปรตีนสูงกว่า และ ADF ต่ำกว่ารายงานของ ราเชนทร์ และเอกภพ (2537) ซึ่งมีโปรตีน และ ADF เท่ากับ 7.4 และ 34.6 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ ซึ่งส่วนประกอบทางเคมีของซังข้าวโพดหวานนี้ย่อมจะแตกต่างกันไป อาจขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ การจัดการ อายุการเก็บเกี่ยว และปริมาณเนื้อข้าวโพดที่ถูกเฉือนออกไปมากหรือน้อยเพียงใด ซังข้าวโพดหวานมีคุณค่าทางอาหารสูงทั้งโปรตีนและพลังงาน (ตารางที่ 3) จึงน่าจะใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ดี ส่วนเปลือกข้าวโพดหวานสดหลังแกะฝักออกแล้วมีวัตถุแห้งและโปรตีนเท่ากับ 28.0 และ 6.53 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ เปลือกข้าวโพดหวานมีโปรตีนต่ำกว่าเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนที่ จินดา และอุเทน (2534) ได้รายงานไว้ คือ 11.74 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ทั้งนี้เพราะต้นข้าวโพดหวานเก็บเกี่ยวฝักที่อายุมากกว่าข้าวโพดฝักอ่อน คือ 75-85 วัน เทียบกับ 40-45 วัน (จินดา, 2539) Jorgensen and Crowley (1972; อ้างโดย Jaster *et al.*, 1983) รายงานว่าเศษเหลือของข้าวโพดหวาน (sweet corn residue) มีวัตถุแห้ง 23% โปรตีน 8.8% เยื่อใย (CF) 27% และ พลังงาน TDN 65%

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเศษเหลือข้าวโพดหวานจากโรงงาน (% ของวัตถุแห้ง)

	DM	CP	EE	NDF	ADF	GE*	อ้างอิง
เปลือกข้าวโพด	28.00	6.53	1.01	68.19	48.13	3.86	จินดา และคณะ
ซังข้าวโพด	27.50	8.01	2.24	69.26	28.20	4.46	(2541)
เปลือกข้าวโพด	-	4.9	-	-	31.9	-	ราเชนทร์ และ
ซังข้าวโพด	-	7.4	-	-	34.6	-	เอกภพ (2537)

หมายเหตุ : * กิโลแคลอรี่/กรัมวัตถุแห้ง

2.3 การใช้เศษเหลือของข้าวโพดหวานเลี้ยงโค

การนำเศษเหลือของข้าวโพดหวานจากโรงงานแปรรูปไปเลี้ยงสัตว์ จินดา และคณะ (2541) ได้ทดลองใช้ซังข้าวโพดหวานเป็นอาหารหยาบเลี้ยงโครีดนมเปรียบเทียบกับการใช้หญ้าสดผสมเปลือกข้าวโพดหวาน (1:1) พบว่าให้ผลไม่แตกต่างกันในแง่ผลผลิตน้ำนมที่ปรับไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ (9.7 เทียบกับ 9.6 กิโลกรัม/ตัว/วัน) ปริมาณอาหารที่กินได้ทั้งหมดคิดเป็นวัตถุแห้ง (6.71 เทียบกับ 6.36 กิโลกรัม/ตัว/วัน) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารรวม (0.97 เทียบกับ 0.94) และส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนม ซึ่งสรุปได้ว่าสามารถใช้ซังข้าวโพดหวานเป็นอาหารหยาบเลี้ยงแม่โครีดนมในช่วงฤดูแล้งได้ โดยมีต้นทุนค่าอาหารในการผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัมต่ำกว่าการใช้หญ้าสดผสมเปลือกข้าวโพดหวาน วลัยกานต์ (2542) รายงานว่า ซังข้าวโพดหวานที่เหลือทิ้งจากการนำไปทำซุปข้าวโพดบรรจุกระป๋องสามารถนำมาใช้เป็นอาหารหยาบเลี้ยงโครีดนมในช่วงฤดูแล้งได้ แต่ซังข้าวโพดเหล่านี้จะมีความชื้นสูงและเกิดราได้ง่าย ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์ ดังนั้นการนำไปใช้เลี้ยงสัตว์จึงควรใช้ซังข้าวโพดหวานที่สดใหม่ Jaster *et al.* (1983) ได้นำเศษเหลือของข้าวโพดหวานมาทำเป็นพืชหมักทดลองเลี้ยงโคสาวเปรียบเทียบกับข้าวโพดหมัก (corn silage) พบว่า ข้าวโพดหมักมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงกว่า (69.7 เทียบกับ 59.1%) ทำให้โคมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่า (790 เทียบกับ 280 กรัม/วัน) และมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารดีกว่าด้วย และเมื่อให้โคได้รับเศษเหลือข้าวโพดหวานหมักกับข้าวโพดหมักอย่างละครึ่งจะทำให้ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงขึ้น (68.1%) เศษเหลือของข้าวโพดหวานหมักในการศึกษานี้ มีวัตถุแห้ง 21% ส่วนประกอบอื่นเป็นเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งมีดังนี้ โปรตีน 10.8% เถ้า 7.1% NDF 59.4% และADF 37.4% ค่า pH 3.9 โคทดลองกินอาหารดังกล่าวได้ 1.5%ของน้ำหนักตัว

ปัจจุบันเกษตรกรได้นำเศษเหลือเหล่านี้มาใช้เลี้ยงโคนมแล้ว แต่ในบางฤดูกาล เช่น ฤดูฝน ปริมาณเศษเหลือเหล่านี้มีจำนวนมากเกินกว่าที่จะนำไปใช้ได้หมด ดังนั้นหากมีการนำมาเก็บถนอมไว้ในรูปพืชหมัก (silage) น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับเกษตรกรและยังเป็นการช่วยลดปัญหาการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ในช่วงฤดูแล้งได้ อย่างไรก็ตามเปลือกและซังข้าวโพดหวานที่ได้จากโรงงานมีความชื้นสูงมาก (ประมาณ 79-82 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากมีการใช้น้ำระหว่างขั้นตอนการผลิต ไม่เหมาะที่จะทำให้เกิดการหมักที่ดีได้ ฉะนั้นการนำมาหมักจึงจำเป็นต้องหากรรมวิธีต่าง ๆ มาช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพ เช่น การปรับวัตถุแห้งให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม คือ ประมาณ 25-35 เปอร์เซ็นต์ (บุญเสริม, 2539) หรือ การใช้สารเสริม (silage additive) ปรุงแต่งพืชก่อนทำการหมักเพื่อให้ได้พืชหมักคุณภาพดี

2.4 พืชหมัก (silage)

พืชหมักเป็นรูปแบบหนึ่งของการถนอมพืชอาหารสัตว์เพื่อเก็บไว้ใช้ในยามที่ต้องการ เนื่องจากช่วงเวลาที่มีพืชอาหารสัตว์อุดมสมบูรณ์นั้นมักเป็นฤดูฝน ซึ่งสภาพดิน ฟ้า อากาศ ไม่เอื้ออำนวยต่อการเก็บรักษาพืชอาหารไว้ในสภาพแห้งเหมือนการทำพืชแห้ง (hay) ดังนั้นการทำพืชหมักจึงเป็นวิธีเก็บถนอมอาหารที่นิยมทำกันในช่วงเวลาดังกล่าว

หลักสำคัญของการทำพืชหมัก คือ การเก็บรักษาพืชในสภาพที่ไร้ออกซิเจน (anaerobic condition) จุลินทรีย์จะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายในพืชให้เป็นกรดอินทรีย์ทำให้ความเป็นกรด-ด่างมีค่าลดต่ำลง ที่ค่า pH ประมาณ 3.8 จุลินทรีย์ทุกประเภทมักจะไม่สามารถเจริญและมีชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นกิจกรรมที่เกิดกับพืชหมักจะหยุดนิ่งจึงสามารถเก็บรักษาพืชหมักไว้ได้ สภาพที่ไร้ออกซิเจนเกิดขึ้นได้จากการอัดพืชลงในหลุมหมักให้แน่นและปิดหลุมให้สนิท ความชื้นและขนาดของชิ้นส่วนพืชที่นำมาหมักมีบทบาทสำคัญในการอัดพืชให้แน่น นอกจากนี้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่ายในพืชที่นำมาหมักจะต้องมีเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการสร้างกรดอินทรีย์

2.5 กระบวนการหมัก (fermentation process)

กระบวนการหมักที่มีผลทำให้สามารถถนอมพืชอาหารสัตว์ไว้ได้ใช้เวลาประมาณ 3 สัปดาห์ กระบวนการทางเคมีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการทำพืชหมักสรุปได้ดังนี้

- **สภาวะที่มีอากาศ (aerobic condition)**

กระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขณะที่มีอากาศอยู่ เริ่มจากเซลล์พืชที่ยังมีชีวิตอยู่จะใช้อากาศที่มีอยู่ในหลุมหมักในกระบวนการหายใจและใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นสารตั้งต้น (substrate) ซึ่งจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ และมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของความร้อน ดังสมการ

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

ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นถ้าหากมีการบรรจุพืชลงในหลุมอย่างช้า ๆ (ใช้เวลาหลายวัน) หรือมีการอัดแน่นไม่ดีพอ หรือหมักพืชที่มีวัตถุแห้งสูงเกินไป ทำให้มีอากาศหลงเหลืออยู่ในหลุมหมักเป็นจำนวนมาก จะทำให้เกิดความร้อนสูง เป็นผลให้คุณค่าทางอาหารของพืชหมักลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โปรตีนเกิดปฏิกิริยา Maillard reaction ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนลดลง และ

ในขณะเดียวกันในช่วงนี้ก็จะมีการเจริญของยีสต์ (yeast) และ รา (mold) เกิดขึ้นด้วย Henderson (1993) กล่าวว่า กระบวนการหายใจของเซลล์พืชจะหยุดลงเมื่อก๊าซออกซิเจนในหลุมหมักหมดไป หรือ เอนไซม์ในพืชไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากสภาวะที่เป็นกรด หรือ สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงถึง 70 องศาเซลเซียส นอกจากเกิดกระบวนการหายใจของพืชแล้วยังมีการสลายตัวของโปรตีน (proteolysis) เกิดขึ้นด้วย Thompson *et al.* (1981) รายงานว่า โปรตีนที่มีอยู่ในพืชจะถูกย่อยสลายถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างที่มีการหมักเกิดขึ้น ซึ่ง Kemble (1956 ; อ้างโดย McDonald *et al.*, 1983) รายงานว่า การเกิด proteolysis ในพืชหมักมีสาเหตุสำคัญมาจากการทำงานของเอนไซม์ protease ของพืช ซึ่งผลที่ได้ คือ กรดอะมิโนอิสระ และก๊าซแอมโมเนีย นอกจากนี้การย่อยสลายของโปรตีนและกรดอะมิโนยังเกิดจากการเจริญของเชื้อพวก proteolytic clostridia โดยเปลี่ยนโปรตีนให้เป็นก๊าซแอมโมเนียและสารพวกเอมีน (amine) ซึ่งสารเอมีนบางอย่างอาจเป็นพิษต่อสัตว์ได้ ทำให้คุณค่าทางอาหารของพืชหมักลดลง Heron *et al.* (1989; อ้างโดย Henderson, 1993) กล่าวว่า เอนไซม์ในพืชที่ทำหน้าที่ย่อยสลายโปรตีน (plant protease) สามารถทำงานได้ดีในสภาพที่มี pH อยู่ระหว่าง 6-7 และจะหยุดการทำงานเมื่อสภาพ pH ต่ำกว่า 4 ลงไป ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ MacPherson (1952 ; อ้างโดย Kung *et al.*, 1984) ที่ว่า การทำให้ pH ของพืชหมักลดลงอย่างรวดเร็วจะเป็นการช่วยลดการสลายตัวของโปรตีนในพืชหมักได้

การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในช่วงนี้ โดยปกติแล้วถ้าหากมีการจัดการที่เหมาะสม คือ บรรจุพืชลงในหลุมได้อย่างรวดเร็ว บรรจุให้แน่น และปิดหลุมหมักอย่างมิดชิด ป้องกันไม่ให้อากาศซึมผ่านเข้าไปได้ ก็จะใช้เวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในช่วงนี้จะหยุดลงเมื่ออากาศในหลุมหมักถูกใช้จนหมดไป

- **สภาวะที่ไร้อากาศ (anaerobic condition)**

การเปลี่ยนแปลงในช่วงนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกับช่วงแรก โดยเมื่อหลุมหมักมีสภาพไร้อากาศแล้ว ก็จะมีการเจริญของจุลินทรีย์ที่เจริญได้ในสภาพไร้อากาศ (anaerobic bacteria) โดยมีทั้งพวกที่ทำหน้าที่สร้างกรดและพวกที่สามารถสลายโปรตีนได้ (proteolytic bacteria) ซึ่งในช่วงนี้ ยีสต์ และราจะหยุดการเจริญและตายเนื่องจากไม่มีอากาศ ส่วนจุลินทรีย์พวก heterofermentative bacteria จะมีการเจริญและเพิ่มจำนวนขึ้น โดยทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลที่มีอยู่ในพืชเป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ กรดอะซิติกและแลคติก จุลินทรีย์เหล่านี้จะเพิ่มจำนวนไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งสภาพ pH ของพืชหมักมีค่าประมาณ 5 ก็จะหยุดการเจริญ สภาวะเช่นนี้จะเหมาะสมต่อการเจริญและเพิ่มจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์พวก lactic acid bacteria (LAB) ซึ่งทำหน้าที่สร้างกรดแลคติก (Weiss, 1996) กรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นทำให้

สภาพความเป็นกรด-ด่างของพืชหมักลดลงอย่างรวดเร็ว กรดแลคติกเป็นกรดที่ทำให้ pH ลดลงได้รวดเร็วกว่ากรดอะซิติกหรือกรดบิวทีริก และเมื่อ pH ลดลงถึงจุดจุดหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับความชื้นหรือวัตถุแห้งและคุณสมบัติความเป็น buffer ของพืชหมัก ก็จะทำให้กิจกรรมหรือการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ หยุดลง ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างใดเกิดขึ้นอีก สามารถเก็บรักษาพืชหมักได้นานเท่านานตราบจนสภาวะที่ไร้อากาศนี้ยังคงอยู่ แต่ถ้าในสภาพหรือสภาวะการหมักไม่เหมาะสม เช่น มีอุณหภูมิ หรือความชื้นสูงเกินไป หรือ พืชมี WSC น้อย หรือ มี buffering capacity สูง หรือ มีปริมาณ LAB น้อย เป็นต้น เชื้อ clostridia ก็จะสามารถเจริญได้ ถึงแม้ว่าพืชหมักจะมีสภาพ pH ต่ำก็ตาม (McDonald *et al.*, 1991) เชื้อ clostridia สร้างสปอร์ได้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 จำพวก คือ saccharolytic clostridia ซึ่งทำหน้าที่ในการสลายน้ำตาลและกรดอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น กรดแลคติก และ proteolytic clostridia ซึ่งทำหน้าที่ในการย่อยสลายกรดอะมิโน เชื้อ clostridia เป็นเชื้อที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในพืชหมัก เนื่องจากเป็นเชื้อที่ทำลายกรดแลคติกเป็นสาเหตุทำให้ pH ของพืชหมักสูง และยังเป็นเชื้อที่ย่อยสลายโปรตีนและกรดอะมิโนทำให้คุณค่าทางอาหารของพืชหมักลดลง

2.6 การสูญเสียอันเนื่องมาจากการทำพืชหมัก

พืชที่นำมาหมักเกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารเนื่องจากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น การสูญเสียในขณะเก็บเกี่ยว การสูญเสียเนื่องจากการหายใจของพืช การสูญเสียเนื่องจากการหมัก การสูญเสียของของเหลวที่ไหลออกมา และการสูญเสียระหว่างที่มีการนำพืชหมักไปใช้เลี้ยงสัตว์ การสูญเสียจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการจัดการ เช่น วิธีการเก็บเกี่ยว การบรรจุ การอัดแน่น ชนิดของไซโล (silo) การใช้สารเสริม (silage additive) เป็นต้น นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพืช เช่น ความชื้น ปริมาณน้ำตาล buffering capacity และลักษณะทางกายภาพ เป็นต้น Weiss (1996) กล่าวว่า ภายใต้การจัดการที่เหมาะสมจะมีการสูญเสียวัตถุแห้งจากการทำพืชหมักประมาณ 10-15เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าหากมีการจัดการที่ไม่เหมาะสมแล้วอาจมีการสูญเสียวัตถุแห้งมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป

การสูญเสียเหล่านี้ บางกรณีสามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น การหมักระยะที่สอง ซึ่งเกิดขึ้นจากพืชหมักสัมผัสกับอากาศขณะนำพืชหมักไปใช้เลี้ยงสัตว์ ส่วนการสูญเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ หมายถึงการสูญเสียที่จำเป็นต้องเกิดขึ้นไม่ว่าในกรณีใดก็ตามเพียงแต่ว่าจะเกิดมากหรือน้อยแตกต่างกันไป การสูญเสียดังกล่าว ได้แก่ การสูญเสียในช่วงเก็บเกี่ยว การหายใจของพืช และการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก เป็นต้น

McDonald *et al.* (1991) ได้สรุปและจำแนกการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการทำพืชหมักจากสาเหตุต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งการสูญเสียจะมีความผันแปรมากตั้งแต่ 7% ถึง มากกว่า 40% ขึ้นไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง ซึ่งบางอย่างสามารถควบคุมได้ แต่บางอย่างก็ไม่สามารถควบคุมได้

ตารางที่ 4 พลังงานที่สูญเสีย และสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสีย

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

ดัดแปลงจาก : McDonald *et al.* (1991)

2.7 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทำพืชหมักคุณภาพดี

การทำพืชหมักให้ได้คุณภาพดีมีปัจจัยและเงื่อนไขเกี่ยวข้องหลายประการด้วยกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพืช และกรรมวิธีหรือการจัดการในการทำพืชหมัก ปัจจัยและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องเหล่านี้ได้แก่

1. ชนิดหรือประเภทของพืชที่เหมาะสมในการทำพืชหมักนั้น ต้องเป็นพืชที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม คือ ไม่แข็งจนเกินไป สามารถตัดและนำมาบรรจุในหลุมหมักได้ง่าย มีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ คือ น้ำตาลในระดับที่เพียงพอเพื่อให้จุลินทรีย์นำไปใช้ในการสร้างกรดอินทรีย์ มีค่า buffering capacity ที่ต่ำ เพื่อไม่ให้เกิดการต่อต้านสภาพความเป็นกรดของพืชหมัก และมีค่าวัตถุแห้งที่เหมาะสม ถ้าหมักพืชมีความชื้นสูงเกินไปจะทำให้เกิดของเหลวที่ไหลออกมาจากพืชหมัก (seepage) เป็นจำนวนมากซึ่งจะพาโภชนะออกไปด้วยทำให้มีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารมาก นอกจากนี้ยังมักจะทำให้เกิดการเจริญของเชื้อ clostridia ซึ่งเป็นเชื้อที่สร้างกรดบิวทีริก (McDonald *et al.*, 1991) การที่พืชหมักมีความชื้นและกรดบิวทีริกในปริมาณที่สูงจะทำให้สัตว์กินพืชหมักลดลง ในทางกลับกันถ้าพืชมีความชื้นต่ำเกินไป (มีวัตถุแห้งสูงเกินไป) จะทำให้อัดพืชให้แน่นเพื่อให้ได้สภาพไร้อากาศทำได้ลำบาก ดังนั้นจะมีอากาศหลงเหลืออยู่ในพืชหมักเป็นจำนวนมากทำให้เกิดความร้อนสูง นอกจากนี้ยังทำให้การเกิดกรดหรือการลดลงของ pH เป็นไปอย่างช้า ๆ ทำให้พืชหมักเกิดการเน่าเสียจากการเจริญของยีสต์และเชื้อราได้

2. อายุที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวสัมพันธ์กับคุณค่าทางอาหาร ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ และยังเกี่ยวข้องกับความชื้นหรือวัตถุแห้งของพืชอีกด้วย

3. การหั่นพืชให้มีขนาดชิ้นที่พอเหมาะมีความสำคัญต่อการบรรจุพืชให้แน่นและมีอากาศหลงเหลือน้อยที่สุด นอกจากนี้การหั่นยังช่วยทำให้น้ำเลี้ยง (sap) ที่มีอยู่ในพืช ซึ่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่ออกมาจากพืชที่ถูกหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ น้ำเลี้ยงจะเป็นตัวช่วยกระตุ้นให้มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างกรดเร็วขึ้น

4. การบรรจุพืชลงในหลุมหมักจะต้องทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนโดยเร็วที่สุด โดยตัดเก็บเกี่ยวให้เร็ว อัดให้เร็ว ปิดหลุมให้เร็วและมิดชิด ป้องกันไม่ให้มีอากาศและน้ำแทรกซึมเข้าไปในหลุมหมักได้

2.8 สารเสริมในพืชหมัก

เนื่องจากพืชที่นำมาทำเป็นพืชหมักนั้นบางครั้งอาจจะมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมในการทำพืชหมักให้ได้คุณภาพที่ดี ดังนั้นจึงต้องมีการหากรรมวิธีต่าง ๆ มาช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพการหมัก เช่น การปรับความชื้นหรือวัตถุแห้งให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ในกรณีที่พืช

มีความชื้นสูงเกินไปอาจแก้ไขโดยการนำพืชมาผึ่งหรือตากแดด (wilting) เพื่อลดความชื้น หรือหมักพืชร่วมกับวัสดุหรือวัตถุดิบที่สามารถดูดซับความชื้นได้ ส่วนในกรณีที่พืชมีวัตถุแห้งสูงเกินไปอาจเติมน้ำลงในพืชหมักหรือหมักพืชร่วมกับพืชที่มีความชื้นสูง ๆ นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเสริม (silage additive) เติมลงในพืชที่นำมาหมักเพื่อช่วยรักษาคุณค่าทางอาหาร ซึ่ง McDonald *et al.* (1991) ได้จำแนกประเภทของสารเสริมที่ใช้ปรุงแต่งในพืชที่นำมาหมักออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ ๆ คือ (ตารางที่ 5)

1. สารเร่งการหมัก (fermentation stimulants) เป็นสารที่เติมลงไปในพืชเพื่อให้เกิดการหมักได้ดีหรือเร็วขึ้น แบ่งเป็น 2 จำพวก คือ เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่สร้างกรด โดยส่วนใหญ่เป็นเชื้อที่สร้างกรดแลคติก (LAB) มักใช้เติมในพืชที่มีเชื้อ LAB อยู่น้อย และสารที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหารให้กับเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนใหญ่ได้แก่ พวกแป้งและน้ำตาล นอกจากนี้ยังมีการใช้เอนไซม์ย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตให้กลายเป็นน้ำตาลเพื่อเป็นอาหารของจุลินทรีย์มักใช้กับพืชที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (WSC) อยู่น้อย

2. สารยับยั้งการหมัก (fermentation inhibitors) เป็นสารที่ยับยั้งกระบวนการหมักของเชื้อจุลินทรีย์ สามารถลดการสูญเสียเนื่องจากกระบวนการหมัก และบางชนิดสามารถยับยั้งกระบวนการหายใจและการสลายโปรตีนในเซลล์พืชได้ ได้แก่ กรดอินทรีย์ กรดอนินทรีย์ และสารประเภทอื่น ๆ เช่น สารประกอบอัลดีไฮด์ เป็นต้น

3. สารยับยั้งการเน่าเสียเมื่อสัมผัสกับอากาศ (aerobic deterioration inhibitors) ในกรณีที่มีอากาศแทรกซึมเข้าไปในหลุมหมักหรือกรณีที่เปิดหลุมหมักเพื่อนำพืชหมักไปใช้เลี้ยงสัตว์นั้นจะเกิดการสูญเสียของพืชหมักเนื่องจากการสัมผัสกับอากาศได้ ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญของเชื้อราและยีสต์ ทำให้พืชหมักเกิดการเน่าเสียได้ สารในกลุ่มนี้จะทำหน้าที่ในการยับยั้งการเจริญหรือชลอการเจริญของเชื้อราและยีสต์ ทำให้พืชหมักมีอายุอยู่ในรางอาหาร (bunk life) นานขึ้น สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ กรดโปรปิโอนิก และก๊าซแอมโมเนีย เป็นต้น

4. สารเพิ่มโภชนะ (nutrients) ในกรณีที่พืชที่นำมาหมักมีโภชนะบางตัวต่ำ ตัวอย่างเช่น ข้าวโพดโดยทั่วไปมีโปรตีนประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง และมีธาตุแคลเซียม (Ca) และฟอสฟอรัส (P) ต่ำ อาจเติมสารที่เพิ่มปริมาณโปรตีนให้แก่ข้าวโพดหมักได้ ซึ่งได้แก่ รำข้าว กากถั่วเหลือง หรือ ยูเรีย หรือเติมสารที่เพิ่มแร่ธาตุ ได้แก่ หินปูน (lime stone) หรือ diammonium phosphate เป็นต้น ซึ่งสารเพิ่มโภชนะบางชนิดยังทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหารให้แก่จุลินทรีย์อีกด้วย

5. สารดูดความชื้น (absorbents) ในกรณีที่พืชมีความชื้นสูงเกินไปทำให้มีของเหลวที่ไหลออกมาเป็นจำนวนมากทำให้คุณค่าทางอาหารของพืชหมักลดลงและเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

การเติมสารดูดความชื้นจะช่วยลดการสูญเสียของของเหลวจากพืชหมักได้ และยังช่วยปรับรูปแบบของการหมักอีกด้วย สารดูดความชื้นบางชนิดอาจเป็นสารเพิ่มโภชนะด้วย

ตารางที่ 5 การจัดจำแนกสารเสริมพืชหมัก

สารเร่งการหมัก		สารยับยั้งการหมัก		สารยับยั้งการเน่าเสียเมื่อสัมผัสกับอากาศ	สารเพิ่มโภชนะ	สารดูดความชื้น
แบคทีเรีย	อาหารสำหรับจุลินทรีย์	กรด	สารอื่น			
ประเภทผลิตกรดแลคติก	น้ำตาล กากน้ำตาล ธัญพืช มันสำปะหลัง เอนไซม์ย่อยแป้งและผนังเซลล์พืช	ฟอร์มิก โปรปิโอนิก อะซิติก แลคติก กรดอื่น ๆ	ฟอร์มัลดีไฮด์ พาราฟอร์มัลดีไฮด์ แอมโมเนีย ยูเรีย คาร์บอนไดออกไซด์ โซเดียมไนไตรท์ โซเดียมไฮดรอกไซด์	กรดแลคติก กรดโปรปิโอนิก กรดคาร์โปอิก กรดซอร์บิก แอมโมเนีย	ยูเรีย แอมโมเนีย ไบยูเรท แร่ธาตุ	ฟางข้าว รำ มันเส้น กระดาษ

ที่มา : McDonald *et al.* (1991)

2.9 การใช้สารยับยั้งการหมักในการทำพืชหมัก

สารยับยั้งการหมักเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นน้อยลง สามารถลดการสูญเสียโภชนะเนื่องจากกระบวนการหมักและบางชนิดสามารถยับยั้งกระบวนการหายใจของเซลล์พืช การสลายโปรตีนในระหว่างการหมักและในกระเพาะรูเมนได้ โดยทั่วไปแล้วการใช้สารยับยั้งการหมักมักจะใช้กับพืชที่มีคุณสมบัติไม่เหมาะสมต่อสภาพการหมัก เช่น มีความชื้นสูง หรือ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้น้อย หรือ มีค่า buffering capacity สูง (McDonald *et al.*, 1991) สารยับยั้งการหมักที่นิยมนำมาใช้กันมาก ได้แก่ กรดฟอร์มิก ฟอร์มัลดีไฮด์ และกรดฟอร์มิกผสมกับฟอร์มัลดีไฮด์

- **การใช้กรดฟอร์มิก (formic acid)**

กรดฟอร์มิกมีสูตรทางเคมี คือ HCOOH เป็นกรดอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กที่สุด นำมาใช้ในการทำพืชหมักอย่างกว้างขวางในประเทศอังกฤษ การปรุงแต่งพืชที่นำมาหมักด้วยกรดฟอร์มิกทำให้ pH ของพืชหมักลดลงได้อย่างรวดเร็วและสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้

มีรายงานการใช้กรดฟอร์มิกในการทำพืชหมักมากมายซึ่งให้ผลแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อัตราการใช้ ชนิดของพืช และปริมาณวัตถุแห้งของพืช เป็นต้น

Waldo *et al.* (1969) ได้ทดลองเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต การกิน และการย่อยได้ ของโคนมสาวที่ได้รับพืชหมักที่ปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิก (90%) ในอัตรา 0.5% น้ำหนักพืชสด กับพืชแห้ง (hay) ชนิดเดียวกัน โดยให้กินเป็นอาหารเดี่ยว ปรากฏว่าโคที่กินพืชหมักที่ปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่า (692 เทียบกับ 620 กรัม/วัน) มีค่าการย่อยได้ของพลังงานสูงกว่า (67.1 เทียบกับ 59.4 %) และมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานย่อยได้เพื่อการเจริญเติบโตได้ดีกว่าโคที่ได้รับพืชแห้งและเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพืชหมักที่ไม่ได้รับการปรุงแต่งกับพืชหมักที่ปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิก พบว่าการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกทำให้โคกินพืชหมักได้เพิ่มขึ้น (1.82 เทียบกับ 1.65%BW) มีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (692 เทียบกับ 201 กรัม/วัน) และใช้พลังงานย่อยได้ในการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าเมื่อไม่ใช้กรดฟอร์มิก (9.9 เทียบกับ 18.5 Mcal/kg gain) นอกจากนี้การปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกยังทำให้พืชหมักที่ได้มี pH ปริมาณกรดบิวทีริก อะซิติก และก๊าซแอมโมเนียต่ำกว่า และมีกรดแลคติกสูงกว่าพืชหมักที่ไม่ได้ปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิก คือ pH 3.98 เทียบกับ 5.07, กรดบิวทีริก 0.23 เทียบกับ 1.39 %ของวัตถุแห้ง, กรดอะซิติก 2.18 เทียบกับ 5.82 %ของวัตถุแห้ง, ก๊าซแอมโมเนีย 7.0 เทียบกับ 20.3%ของ N และกรดแลคติก 7.09 เทียบกับ 2.73 %ของวัตถุแห้ง

Waldo *et al.* (1971) ศึกษาผลของการหมักถั่ว alfalfa และข้าวฟ่าง (sudan-sorghum) ที่ปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกต่อปริมาณการกิน การย่อยได้ และการเจริญเติบโตของโคนมสาว โดยให้โคกินพืชหมักเป็นอาหารเดี่ยว พบว่า การปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิก (90%) ในอัตรา 0.5% น้ำหนักพืชสด ทำให้โคกินพืชหมักได้เพิ่มขึ้น (2.22 เทียบกับ 2.09 %BW) มีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่า (588 เทียบกับ 354 กรัม/วัน) และมีค่าการย่อยได้ของพลังงานสูงกว่า (61.8 เทียบกับ 60.6 %) เมื่อเปรียบเทียบกับโคที่กินพืชหมักที่ไม่ได้ปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิก

Britt *et al.* (1975) ศึกษาผลของการใช้กรดอินทรีย์ต่อกระบวนการหมักและการหมักที่เกิดขึ้นอีกหลังจากที่ข้าวโพดหมักสัมผัสกับอากาศ (refermentation) คณะผู้วิจัยเปรียบเทียบการใช้กรดฟอร์มิก กรดโปรปีโอนิก และกรดโปรปีโอนิกผสมกรดฟอร์มิก หรือผสมกับกรดอะซิติก โดยผสมกับข้าวโพดก่อนหมักในอัตรา 0, 0.5, 1.0 และ 2% น้ำหนักพืชสด ปรากฏว่า การปรุงแต่งด้วยกรดอินทรีย์ในอัตรา 2% สามารถยับยั้งการสร้างกรดแลคติกได้ แต่การใช้ที่ระดับ 0.5 และ 1.0% นั้น พบว่า กรดฟอร์มิกจะมีประสิทธิภาพดีกว่ากรดโปรปีโอนิก และกรดอินทรีย์ทั้งหลายนี้สามารถลดการสร้างกรดอะซิติกได้ด้วย นอกจากนี้การใช้กรดอินทรีย์ยังสามารถช่วยลดการเกิดความร้อน การเจริญของเชื้อราที่เกิดขึ้นในช่วง refermentation และช่วยยืดอายุการเก็บได้

เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดหมักที่ไม่ได้ปรุงแต่งด้วยกรดอินทรีย์ กรดโปรปิโอนิกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิด refermentation ได้ดีกว่ากรดฟอร์มิก เนื่องจากกรดฟอร์มิกที่ใช้ส่วนหนึ่งจะมีการสูญเสียไปทำให้ออกฤทธิ์ได้ไม่เต็มที่ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การหมักข้าวโพดโดยปรุงแต่งด้วยกรดอินทรีย์สามารถยับยั้งการสร้างกรดจากกระบวนการหมักได้ และสามารถชลอการเกิด refermentation ได้ด้วย

Waldo *et al.* (1975) ได้ทดลองหมักหญ้าผสมถั่ว alfalfa โดยเปรียบเทียบการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิก (90%) ในอัตรา 2.5% น้ำหนักแห้ง หรือ paraformaldehyde ในอัตรา 0.5% น้ำหนักแห้งกับการหมักโดยไม่ใช้สารปรุงแต่งเมื่อนำพืชหมักไปเลี้ยงโคนมสาว พบว่าการปรุงแต่งด้วยกรด หรือ paraformaldehyde ทำให้โคมีอัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน คือ 812 และ 817 กรัม/วัน ตามลำดับ ส่วนโคที่ได้รับพืชหมักที่ไม่ได้ใช้สารปรุงแต่งนั้นมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด คือ 258 กรัม/วัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากการกินได้ที่ต่างกัน โดยโคที่กินพืชหมักที่ปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิก paraformaldehyde และไม่ใช้สารปรุงแต่ง คิดเป็นพลังงานย่อยได้ (DE) เท่ากับ 256, 263 และ 230 Kcal/$Kg^{0.75}$ ตามลำดับ

Hinks *et al.* (1976) ศึกษาผลของการใช้กรดฟอร์มิกและการผึ่งพืชให้เหี่ยว (wilting) ก่อนทำการหมักโดยทดลองหมักหญ้าไรน์ (Italian ryegrass) ที่มีวัตถุแห้ง 17% และที่ผึ่งจนมีวัตถุแห้ง 32% โดยไม่ใช้และใช้กรดฟอร์มิกปรุงแต่งในอัตรา 1.92 %ของวัตถุแห้ง แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม พบว่า การผึ่งและการปรุงแต่งด้วยกรด สามารถยับยั้งกระบวนการหมักได้ ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณ WSC ที่เพิ่มสูง ปริมาณไนโตรเจนระเหยได้ (volatile-N) และกรดอินทรีย์ที่ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม และเมื่อทำการผึ่งร่วมกับการใช้กรดจะทำให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกระบวนการหมักเพิ่มขึ้น เมื่อทดลองนำพืชหมักเหล่านี้ไปเลี้ยงโคขุนปรากฏว่าการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกไม่มีผลทำให้ปริมาณการกินได้และการเพิ่มน้ำหนักตัวต่อวันเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด ยิ่งไปกว่านั้นการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกมีผลเพียงเล็กน้อยต่อค่าการย่อยได้และการสะสมไนโตรเจนในตัวสัตว์ (nitrogen retention) ส่วนการผึ่ง (wilting) พืชให้มีวัตถุแห้งสูงขึ้นก่อนทำการหมักนั้น ทำให้โคกินพืชหมักได้เพิ่มขึ้นจาก 5 กิโลกรัม/ตัว/วัน เป็น 8.3 กิโลกรัม/ตัว/วัน และเจริญเติบโตได้ดีกว่า การศึกษาครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ให้ข้อสังเกตว่าการปรุงแต่งพืชที่นำมาหมักด้วยกรดฟอร์มิกจะให้ผลดี เมื่อสภาพการหมักขาดความเหมาะสม

McIlmoyle (1976) ได้ศึกษาผลของการใช้สารเสริมต่อการกินพืชหมักและการเจริญของลูกโคเพศผู้และโคขุน โดยนำหญ้าไรน์และถั่ว clover มาปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกในอัตรา 3.8 ลิตร/ตันพืชสด หรือ สารผสมระหว่างฟอร์มาลินกับกรดกำมะถันในอัตรา 3.1 ลิตร/ตันพืชสด เปรียบเทียบกับการหมักโดยไม่ใช้สารเสริม พบว่าการปรุงแต่งพืชหมักด้วยกรดฟอร์มิกและ

สารผสมระหว่างฟอร์มาลินกับกรดกำมะถันทำให้ลูกโคเพศผู้และโคขุนกินพืชหมักคิดเป็นวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุย่อยได้สูงกว่าโคที่กินพืชหมักที่ไม่ได้ปรุงแต่งด้วยสารเสริม ลูกโคที่ได้รับพืชหมักที่ปรุงแต่งด้วยสารผสมระหว่างฟอร์มาลินกับกรดกำมะถันมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าลูกโคที่ได้รับพืชหมักที่ไม่ได้ปรุงแต่งด้วยสารเสริมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) คือ 870 เทียบกับ 740 กรัม/วัน ตามลำดับ สำหรับโคขุนพบว่าการปรุงแต่งด้วยกรดและสารผสมระหว่างฟอร์มาลินกับกรดกำมะถันทำให้โคมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าโคที่ได้รับพืชหมักที่ไม่ได้ปรุงแต่งด้วยสารเสริมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) ซึ่งมีค่าดังกว่าเท่ากับ 780, 700 และ 380 กรัม/วัน ตามลำดับ

Leibensperger and Pitt (1988) ได้ศึกษาผลของการใช้กรดฟอร์มิกและกากน้ำตาล (molasses) ในการทำพืชหมัก พบว่าการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิก และกากน้ำตาลทำให้ pH ของพืชหมักลดลงอย่างรวดเร็ว สามารถลดการสูญเสียเนื่องจากการเจริญของเชื้อ clostridia ได้ กรดฟอร์มิกสามารถลดกระบวนการสลายโปรตีนในพืชหมักได้ ขณะที่การใช้กากน้ำตาลมีผลเพียงเล็กน้อยหรือแทบไม่มีผลเลย คณะผู้วิจัยให้ข้อเสนอแนะว่าอัตราการใช้กรดนั้นควรคำนึงถึงปริมาณวัตถุแห้ง ค่า buffering capacity และปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ของพืชที่จะทำการหมักด้วย

Nagel and Broderick (1992) ได้ทดลองหมักถั่ว alfalfa ที่ผึ่งให้เหี่ยวจนได้วัตถุแห้งประมาณ 35% นำมาปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกหรือฟอร์มัลดีไฮด์ในอัตรา 2.8%ของวัตถุแห้ง และ 0.31%ของวัตถุแห้ง (13 กรัม/กิโลกรัมโปรตีนรวม) ตามลำดับ แล้วนำมาเลี้ยงโคนม ผลการศึกษาสรุปได้ว่าการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกช่วยลดการย่อยสลายของไนโตรเจนทั้งในหลุมหมักและในกระเพาะรูเมน อีกทั้งช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำนม แต่การนำกรดฟอร์มิกมาใช้ค่อนข้างจะมีความยุ่งยาก เพราะกรดทำให้เกิดระคายเคืองต่อผู้ใช้และมีราคาแพง แม้ว่าการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์จะไม่ให้ผลดีเท่ากรดฟอร์มิกในการลดปริมาณการเกิด NPN ของพืชหมักและการรักษาระดับของโปรตีนในน้ำนม แต่การใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ช่วยป้องกันการสลายตัวของโปรตีนในพืชหมักและช่วยให้ได้น้ำนมเพิ่มขึ้นเช่นกัน การที่ฟอร์มัลดีไฮด์ให้ผลไม่ดีเท่ากับกรดฟอร์มิกในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยให้เหตุผลว่าอาจจะเป็นเพราะปริมาณการใช้ต่ำไป

Mayne (1993) ได้ทดลองหมักหญ้าไรน์ (ryegrass) ที่ได้จากการตัดครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สอง โดยเปรียบเทียบผลการใช้สารเสริมชนิดต่าง ๆ ในการปรุงแต่งพืชหมัก คือ กรดฟอร์มิก กรดกำมะถัน เชื้อจุลินทรีย์ (*Lactobacillus plantarum*) และการไม่ใช้สารเสริม (กลุ่มควบคุม) อัตราการใช้สารเสริมในการศึกษานี้ คือ กรดฟอร์มิก (85%) 2.53 และ 2.58 ลิตร/ตันพืชสด กรดกำมะถัน (45%) 3.09 และ 3.04 ลิตร/ตันพืชสด และเชื้อจุลินทรีย์ (*Lactobacillus plantarum*) 2.24 และ 2.14 ลิตร/ตันพืชสด ในการตัดครั้งแรกและครั้งที่สองตามลำดับ ปรากฏว่าในการตัด

ครั้งแรกการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกทำให้โคกินพืชหมักคิดเป็นวัตถุแห้งได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) ส่วนการใช้เชื้อจุลินทรีย์มีผลทำให้การกินเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และการปรุงแต่งด้วยกรดกำมะถันมีแนวโน้มทำให้ปริมาณการกินได้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนการตัดครั้งที่สองนั้นพบว่าการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกหรือเชื้อจุลินทรีย์มีผลต่อปริมาณการกินไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมและพบว่าการปรุงแต่งด้วยกรดกำมะถันให้ผลที่ต่างจากการตัดครั้งแรกคือมีแนวโน้มทำให้ปริมาณการกินได้เพิ่มขึ้น

- **การใช้ฟอร์มัลดีไฮด์และฟอร์มัลดีไฮด์ผสมกรดฟอร์มิก**

ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารประกอบอัลดีไฮด์ที่มีสูตรทางเคมี คือ HCHO เป็นก๊าซละลายได้ดีในน้ำ สารละลายที่มีฟอร์มัลดีไฮด์ เรียกว่า ฟอร์มาลิน มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และสามารถลดการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมนได้ โดยฟอร์มัลดีไฮด์จะทำปฏิกิริยากับโปรตีนกลายเป็นสารประกอบ methylol compound และเมื่อสารประกอบนี้รวมตัวกับโปรตีนอีกครั้งหนึ่งจะทำให้เกิดการจับกันแบบ methylene cross-linkages ระหว่างหรือภายในโซ่ของโปรตีน (protein chain) ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถเข้าไปย่อยโปรตีนเหล่านี้ได้ การจับกันระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับโปรตีนสามารถแยกออกจากกันได้ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดในกระเพาะแท้ (abomasum) ทำให้สัตว์สามารถย่อยโปรตีนเหล่านี้ได้ (Barry, 1976)

Brown and Valentine (1972) ศึกษาการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ในการปรุงแต่งถั่ว lucerne เพื่อนำมาหมัก โดยมีอัตราการใช้ฟอร์มาลิน (45%) เท่ากับ 22.6, 33.9 และ 45 กรัม/กิโลกรัมพืชสด หรือคิดเป็นสารฟอร์มัลดีไฮด์ เท่ากับ 16.6, 24.9 และ 33.1 %ของโปรตีนรวม ตามลำดับ เปรียบเทียบกับการหมักโดยไม่ผ่านการปรุงแต่ง (กลุ่มควบคุม) รายงานผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าฟอร์มัลดีไฮด์มีผลยับยั้งกระบวนการหมักของจุลินทรีย์และทำให้โปรตีนของถั่ว lucerne ถูกย่อยสลาย (degradation) ในรูเมนลดลง ดังจะเห็นได้จากค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนและกรดอินทรีย์ (กรดอะซิติก โปรปีโอนิก บิวทีริก และแลคติก) ที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพืชหมักกลุ่มควบคุม ทั้งนี้การปรุงแต่งด้วยฟอร์มัลดีไฮด์มีผลทำให้แกะทดลองกินพืชหมักคิดเป็นปริมาณวัตถุแห้งลดลงอย่างชัดเจน ขณะที่แกะกลุ่มที่ได้รับพืชหมักกลุ่มควบคุมกินพืชหมักได้มากถึง 52.8 $g/kg^{0.75}$ แต่กลุ่มที่ได้รับพืชหมักที่ปรุงแต่ด้วยฟอร์มัลดีไฮด์กินได้สูงสุดโดยเฉลี่ยเพียง 31.0 $g/kg^{0.75}$ อีกทั้งการปรุงแต่งด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ยังทำให้การย่อยวัตถุแห้งและไนโตรเจนของสัตว์ทดลองต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คณะผู้วิจัยให้ความเห็นว่าระดับของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้ในการปรุงแต่งพืชหมักไม่ควรเกิน 16.6 %ของโปรตีนรวม (CP) ต่อมา Valentine and Brown (1973) ได้ทดลองใช้กรดฟอร์มิก ฟอร์มาลิน และฟอร์มาลินผสมกรดฟอร์มิก ในการหมักถั่ว lucerne อัตราการใช้

กรดฟอร์มิก (85%) เท่ากับ 0.5% ของน้ำหนักพืชสด และฟอร์มาลินเท่ากับ 6.7 กรัม/กิโลกรัมพืชสด โดยเปรียบเทียบกับการไม่ใช้สารเสริมเป็นกลุ่มควบคุม ปรากฏว่าพืชหมักที่ปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินเพียงอย่างเดียวและฟอร์มาลินผสมกรดฟอร์มิกจะมีปริมาณก๊าซแอมโมเนียและกรดอินทรีย์ต่ำกว่าพืชหมักกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกให้ผลไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม การปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินผสมกรดฟอร์มิกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกระบวนการหมักได้ดีกว่าการใช้ฟอร์มาลินเพียงอย่างเดียว แม้ว่าการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกจะทำให้ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งและไนโตรเจนของพืชหมักในแกะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่ทำให้การกินได้และการเจริญของขนเส้นใย (wool growth) ของแกะเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมพบว่าการปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินทำให้การย่อยได้ของไนโตรเจนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปริมาณการกินไม่แตกต่างกันและยังทำให้แกะมีการเจริญของขนเส้นใย (wool) เพิ่มขึ้นอีกด้วย ส่วนการปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินผสมกรดฟอร์มิกทำให้ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ปริมาณการกินได้ และการเจริญของขนเส้นใยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าเมื่อลดระดับการใช้สารฟอร์มาลินแล้ว ก็ยังสามารถยับยั้งกระบวนการหมักได้และไม่มีผลทำให้การกินได้ลดลงแต่อย่างใด และเมื่อใช้สารฟอร์มาลินในระดับต่ำร่วมกับการใช้กรดฟอร์มิกยิ่งทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

Valentine and Radcliffe (1975) ได้ทดลองเปรียบเทียบปริมาณอาหารที่โคกินได้ ผลผลิตและส่วนประกอบของน้ำนมระหว่างโคที่ได้รับหญ้าผสมถั่วที่หมักโดยการปรุงแต่งด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 2 ระดับ คือ 0.6 และ 1.2% ของวัตถุแห้ง และโคที่ได้รับหญ้าผสมถั่วที่หมักโดยปราศจากการปรุงแต่งด้วยสารเสริม (กลุ่มควบคุม) ผลการทดลองพบว่า โคทดลองกินพืชหมักคิดเป็นวัตถุแห้งต่อวันเป็น $g/kg^{0.75}$ เท่ากับ 116.6, 111.2 และ 94.5 ตามลำดับ โดยโคกลุ่มที่ได้รับพืชหมักที่ปรุงแต่งด้วยฟอร์มัลดีไฮด์กินได้มากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญและให้ปริมาณนมส่วนประกอบไขมันนมและโปรตีนเป็นปริมาณสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันและของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (SNF) ไม่แตกต่างกันทั้งสามกลุ่ม ยกเว้นโปรตีนคือกลุ่มที่ได้รับพืชหมักที่ปรุงแต่งด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 1.2% จะมีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แม่โคในกลุ่มที่ได้รับพืชหมักที่ปรุงแต่งด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ 0.6% ใช้พลังงานในการสร้างน้ำนมมีประสิทธิภาพสูงสุดสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ การปรุงแต่งด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ในอัตรา 1.2% ทำให้พืชหมักที่ได้มีปริมาณก๊าซแอมโมเนีย และกรดอินทรีย์ต่ำที่สุด ขณะที่การใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ 0.6% นั้นจะให้ผลใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม แต่จะมีปริมาณกรดแลคติกสูงกว่าและกรดบิวทีริกต่ำกว่า

Hinks and Henderson (1977) ทดลองหมักหญ้าไรน์ (ryegrass) โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ 1) หมักโดยไม่ใช้สารเสริม 2) ปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิก (85%) ในอัตรา 4.6 ลิตร/ตันพืชสด

3) ปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิก 2.3 ลิตรร่วมกับฟอร์มาลิน (40%) อัตรา 1.21% ของวัตถุแห้ง และ 4) ปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิก 1.1 ลิตรร่วมกับฟอร์มาลินและกรดโปรปิโอนิก (96%) อย่างละ 0.58% ของวัตถุแห้ง โดยทำการทดลองกับโคขุน พบว่าการใช้สารเสริมทุกกลุ่มสามารถยับยั้งการหมักได้ โดยดูจากปริมาณ WSC ที่มีอยู่สูงและกรดอินทรีย์ที่มีอยู่น้อยกว่าพืชที่หมักโดยไม่ใช้สารเสริม การใช้ฟอร์มาลินสามารถป้องกันการสลายโปรตีนที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักได้ พิจารณาได้จากปริมาณก๊าซแอมโมเนียที่พบได้น้อยและปริมาณโปรตีนแท้ (true protein) ที่มีอยู่สูง เมื่อนำพืชหมักทั้ง 4 กลุ่มไปทดลองเลี้ยงโคขุน ปรากฏว่าโคที่ได้รับพืชหมักที่ปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกเพียงอย่างเดียวจะมีการกินได้คิดเป็นวัตถุแห้งเพิ่มขึ้น มีการเพิ่มน้ำหนักตัวและการสะสมไนโตรเจนในร่างกาย (N-retention) สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับโคกลุ่มที่ได้รับพืชหมักที่ไม่ได้ปรุงแต่ง การ ปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลิน (กลุ่ม 3 และ 4) ทำให้ค่าการย่อยได้ของไนโตรเจนลดลง แต่กลับทำให้การสะสมไนโตรเจนในร่างกายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและปริมาณการกินได้ของโคไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับพืชหมักที่ไม่ได้ปรุงแต่ง

Donaldson and Edwards (1977) เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของหญ้าไรน์หมัก 4 กลุ่มคือ 1) หญ้าไรน์ที่หมักโดยไม่ใช้สารเสริม 2) หมักโดยปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกอัตรา 1.39% ของวัตถุแห้ง 3) ปรุงแต่งด้วยฟอร์มิก 1.03% ร่วมกับฟอร์มัลดีไฮด์ 0.48% ของวัตถุแห้ง และ 4) ปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิก ฟอร์มัลดีไฮด์และกรดโปรปิโอนิกร่วมกันในอัตรา 0.49, 0.23 และ 0.56% ของวัตถุแห้ง โดยศึกษาในแกะเพศผู้ พบว่าการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกเพียงอย่างเดียวทำให้แกะกินพืชหมักคิดเป็นวัตถุแห้งได้สูงที่สุด ($P<0.05$) และมีค่าการย่อยได้ของไนโตรเจนสูงกว่าแกะกลุ่มที่ได้รับพืชหมักที่ปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิก ฟอร์มาลินและกรดโปรปิโอนิกร่วมกัน ($P<0.05$) แกะที่ได้รับพืชหมักทั้ง 4 กลุ่มมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยแกะกลุ่มที่ได้รับพืชหมักที่ปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินจะมีค่าการย่อยได้ของไนโตรเจนต่ำกว่าแกะที่ได้รับพืชหมักที่มีใช้สารเสริม ($P<0.05$)

Siddons *et al.* (1979) ทดลองใช้กรดฟอร์มิก (85%) ผสมฟอร์มาลิน (38%) สัดส่วน 1:1 โดยปริมาตรในอัตรา 8.6 ลิตร/พืชสด 1 ตัน (ความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ เท่ากับ 35 กรัม/กิโลกรัมโปรตีนรวม) ในหมักหญ้าไรน์เปรียบเทียบกับการหมักโดยไม่ใช้สารเสริม พบว่าการปรุงแต่งด้วยสารเสริมสามารถลดกระบวนการหมักและการสลายตัวของโปรตีนในพืชหมักได้ แต่ไม่มีผลต่อค่า pH, การสร้างกรดไขมันระเหยได้ สัดส่วนของกรดอะซิติก โปรปิโอนิก และบิวทีริกในกระเพาะรูเมน ทำให้ปริมาณก๊าซแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนและค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ, พลังงานรวม (GE) และเซลลูโลส (cellulose) ของแกะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณของกรดอะมิโนที่ได้จากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (microbial amino acid) ที่เดินทางไปถึงลำไส้เล็กและการย่อยได้ของ

กรดอะมิโนในลำไส้เล็กไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลอง การใช้สารเสริมในการหมักช่วยทำให้กรดอะมิโนที่มีอยู่ในอาหาร (food amino acid) เดินทางไปถึงลำไส้เล็กได้มากกว่า เป็นผลให้มีการดูดซึมกรดอะมิโนที่ลำไส้เล็กสูงกว่า

Thompson *et al.* (1981) ศึกษาการย่อยได้ของลูกโคที่ได้รับหญ้าไรน์หมัก 3 กลุ่ม คือ 1) ได้รับหญ้าหมักที่ปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิก (85%) ผสมกับน้ำ สัดส่วน 1:3 ; น้ำหนักต่อปริมาตรในอัตรา 7.1 ลิตร/ตันพืชสด 2) ได้รับหญ้าหมักที่ปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกผสมฟอร์มาลิน (35%) สัดส่วน 1:1 ; น้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตรา 8.8 ลิตร/ตันพืชสด และ 3) ได้รับหญ้าหมักที่ปรุงแต่งเช่นเดียวกับกลุ่มที่ 2 และมีการให้ยูเรียในอัตรา 20 กรัม/กิโลกรัมวัตถุแห้งของพืชหมักในขณะที่ทดลองให้สัตว์กิน ปรากฏว่าการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกผสมฟอร์มาลินทำให้พืชหมักที่ได้มีปริมาณกรดที่เกิดจากการหมักและก๊าซแอมโมเนียต่ำกว่า มีปริมารณ WSC และกรดอะมิโนสูงกว่าการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกเพียงตัวเดียวและทำให้เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ พลังงานและไนโตรเจนในลูกโคลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีผลต่อการย่อยได้ของเซลลูโลส (cellulose) และ NDF ส่วนการศึกษาการย่อยได้ในกระเพาะรูเมน พบว่าโคที่ได้รับหญ้าหมักทั้ง 3 กลุ่ม มีการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ cellulose NDF และการสังเคราะห์โปรตีนโดยจุลินทรีย์ (microbial protein synthesis) ในกระเพาะรูเมนไม่แตกต่างกัน การปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกผสมฟอร์มาลินทำให้ปริมาณกรดอะมิโนที่เดินทางไปถึงลำไส้เล็กเพิ่มขึ้นถึง 33% (เทียบกับกรดฟอร์มิกเพียงอย่างเดียว) สาเหตุมาจากการปรุงแต่งด้วยกรดฟอร์มิกผสมฟอร์มาลินทำให้การสลายตัวของโปรตีนในขณะที่เกิดการหมักและเกิดการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนลดลง

Siddons *et al.* (1984) ศึกษาผลของการใช้สารเสริมในการหมักถั่ว lucerne ต่อกระบวนการหมักและการย่อยไนโตรเจนในแกะ ทำการหมักโดยปรุงแต่งด้วยสารเสริมแบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ 1) กรดฟอร์มิก (85%)ในอัตรา 4.1 ลิตร/ตันพืชสด 2) กรดฟอร์มิก 4.4 ลิตรผสมฟอร์มาลิน (35%) 3.64 ลิตร/ตันพืชสด 3) กรดฟอร์มิก 3.9 ลิตร ผสมกลูตาดีไฮด์ (50%) 3.65 ลิตร/ตันพืชสด และ 4) กรดฟอร์มิก ฟอร์มาลิน และกลูตาดีไฮด์ 4.2, 1.95 และ2.28 ลิตร/ตันพืชสด ตามลำดับ ปรากฏว่าการใช้สารเสริมทุกกลุ่มสามารถลดการสลายตัวของโปรตีนและกระบวนการหมักได้ และเมื่อใช้ฟอร์มาลินหรือกลูตาดีไฮด์ผสมร่วมกับกรดฟอร์มิกทำให้มีประสิทธิภาพยับยั้งกระบวนการหมักได้ดีกว่าการใช้กรดฟอร์มิกเพียงอย่างเดียว การใช้ฟอร์มาลินมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหมักย่อยของคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate fermentation) ได้ดีกว่ากลูตาดีไฮด์ การใช้ฟอร์มาลินหรือกลูตาดีไฮด์สามารถลดการสลายตัวของไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนได้และเมื่อทดลองนำพืชหมักทั้ง 4 กลุ่มไปศึกษาการย่อยได้ในแกะ พบว่าการใช้สารประกอบอัลดีไฮด์ทั้ง 2 ชนิดทำให้ค่าการย่อยได้ของอินทรียวัตถุและไนโตรเจนลดลง โดยกลูตาดีไฮด์มีผลทำให้การย่อยได้ของ

อินทรียวัตถุลดลงมากกว่าการใช้ฟอร์มาลิน สรุปว่าการใช้ฟอร์มาลินหรือกลูตาดีไฮด์หมักร่วมกับกรดฟอร์มิกทำให้การสลายตัวของไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนลดลง ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนที่ไม่ใช่ก๊าซแอมโมเนีย (non-ammonia-N, NAN) เดินทางไปถึงลำไส้เล็กเพิ่มขึ้นเป็นผลให้มีการดูดซึม NAN ที่ลำไส้เล็กเพิ่มขึ้น

Glenn and Waldo (1986) ศึกษาการกิน การย่อยได้ และสมดุลไนโตรเจนของโคนมสาวที่ได้รับถั่ว alfalfa และหญ้า orchardgrass ที่หมักโดยไม่ใช้สารเสริม หมักโดยปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลิน (37%) ผสมกรดฟอร์มิก (90%) สัดส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก ในอัตรา 0.5% น้ำหนักพืชสด และหมักโดยปรุงแต่งด้วย anhydrous NH_3 ในอัตรา 0.16% น้ำหนักพืชสด ปรากฏว่าการปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินผสมกรดฟอร์มิกและ anhydrous NH_3ทำให้โคกินพืชหมักได้เพิ่มขึ้นแต่ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งและเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการหมักโดยไม่ใช้สารเสริม การปรุงแต่งหญ้า orchardgrass ด้วย anhydrous NH_3 ทำให้ค่าการย่อยได้ของโภชนะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบการปรุงแต่งด้วยฟอร์มาลินผสมกรดฟอร์มิก แต่ให้ผลในทางกลับกันเมื่อทำการหมักกับถั่ว alfalfa นอกจากนี้การหมักถั่ว alfalfa ด้วย anhydrous NH_3 ทำให้มีการสะสมไนโตรเจน (N-retention) ในโคเพิ่มขึ้น

- **การใช้ยูเรีย (urea)**

ยูเรียจัดเป็นสารเสริมในกลุ่มสารเพิ่มโภชนะ มักใช้กับพืชที่มีโปรตีนต่ำ เช่น ข้าวโพด นอกจากนี้ยูเรียยังช่วยยับยั้งการหมักได้อีกด้วย เพราะสามารถแตกตัวเป็นก๊าซแอมโมเนียได้ ซึ่งจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ สามารถลดการสลายโปรตีนระหว่างการหมัก และช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาพืชหมักได้ (McDonald *et al.*, 1991)

Schmutz *et al.* (1969) ศึกษาคุณค่าทางอาหารของข้าวโพดที่ปรุงแต่งด้วยยูเรีย หินปูน (lime stone) diammonium phosphate หินปูนร่วมกับยูเรีย และหินปูนร่วมกับ diammonium phosphate ในโคให้นม ปรากฏว่า การปรุงแต่งด้วยสารเสริมชนิดต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้ pH และปริมาณกรดอินทรีย์ของพืชหมักเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพืชหมักที่ไม่ใช้สารเสริม สาเหตุเนื่องมาจากแคลเซียมอิออนและแอมโมเนียมอิออนที่เกิดจากการแตกตัวของสารเสริมทำให้ pH ของพืชหมักลดลงอย่างช้า ๆ และมีค่าสูง เป็นผลให้มีการสร้างกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้นและเมื่อทดลองนำข้าวโพดหมักเหล่านี้ไปเลี้ยงโคให้นม พบว่าโคสามารถกินพืชหมักได้ถึง 1.7-1.9 %ของน้ำหนักตัว โดยพบว่าการปรุงแต่งด้วย diammonium phosphate หรือ ยูเรีย 0.75 %ของน้ำหนักสด (เพียงอย่างเดียว) หรือ ยูเรียร่วมกับหินปูน ทำให้โคกินพืชหมักได้ลดลง (1.3, 1.5 และ 1.5 %ของน้ำหนักตัว ตามลำดับ)

Shirley *et al.* (1972) ศึกษาผลของการหมักข้าวโพดด้วยยูเรียที่ระดับต่าง ๆ กัน คือ 0, 0.5 และ 0.75% น้ำหนักพืชสดต่อกระบวนการหมักและคุณค่าทางอาหารของข้าวโพดหมักในโคให้นม โดยแบ่งเป็น 2 การทดลอง การทดลองแรก (ปี 1968) พบว่าการหมักข้าวโพดร่วมกับยูเรียทำให้ pH เริ่มต้นและความเป็น buffer ของข้าวโพดสูงขึ้น เป็นผลให้การลดลงของ pH ในพืชหมักเป็นไปอย่างช้า ๆ โดยพบว่าการใช้ยูเรีย 0.75% ทำให้ pH ลดลงช้าที่สุด รองลงมาเป็นการใช้ยูเรีย 0.5% และไม่ใช้ยูเรีย ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่า buffering capacity ของพืชหมักจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ยูเรียในระดับที่สูงขึ้น และพบว่าปริมาณกรดโปรปีโอนิก บิวทีริก และแลคติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของยูเรียเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับการหมักโดยไม่ใช้ยูเรีย พบว่าการใช้ยูเรีย 0.5% ทำให้มีการสร้างกรดอะซิติกลดลงเล็กน้อย แต่การสร้างกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อหมักข้าวโพดด้วยยูเรีย 0.75% ($P<0.05$) การหมักข้าวโพดด้วยยูเรียนั้นประมาณ 65-73% ของไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของยูเรียจะมีการเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอื่น เมื่อทดลองนำไปเลี้ยงโคให้นมโดยปรับข้าวโพดหมักทั้ง 3 กลุ่ม ให้มีปริมาณไนโตรเจนและพลังงานเท่าเทียมกันด้วยการเสริมกากถั่วเหลืองและข้าวโพดบด ปรากฏว่า โคสามารถกินข้าวโพดหมักที่ไม่เสริมและเสริมยูเรีย 0.5% คิดเป็นวัตถุแห้งได้มากกว่ากลุ่มที่กินข้าวโพดหมักด้วยยูเรีย 0.75% ($P<0.01$) โคที่กินข้าวโพดหมักทั้ง 3 กลุ่มให้ปริมาณน้ำนม (4% FCM) ไม่แตกต่างกัน โคที่กินข้าวโพดหมักที่ไม่เสริมยูเรียมีการเพิ่มน้ำหนักตัวสูงกว่ากลุ่มที่เสริมยูเรีย 0.75% อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่สูงกว่ากลุ่มที่เสริมยูเรีย 0.5% เพียงเล็กน้อย (ไม่แตกต่างทางสถิติ) การทดลองที่ 2 (ปี 1969) พบว่า การหมักข้าวโพดด้วยยูเรียระดับ 0.5% ทำให้โคกินข้าวโพดหมักคิดเป็นวัตถุแห้งได้มากที่สุด ($P<0.01$) ให้ปริมาณนม (4% FCM) สูงสุด ($P<0.05$) ส่วน 2 กลุ่มที่เหลือไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของโคทั้ง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่างทางสถิติ การทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า การใช้ยูเรียในการหมักข้าวโพดสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนและใช้เลี้ยงโครีดนมได้เทียบเท่ากับการให้แหล่งโปรตีนจากธรรมชาติ