บทที่ 2
การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สูตรอาหารผสมสำเร็จ (total mixed ration, TMR)

สูตรอาหารผสมสำเร็จ คือ สูตรอาหารที่รวมทั้งอาหารหยาบ อาหารข้น และอาหารเสริมแร่ธาตุ (mineral) และวิตามิน (vitamin) เข้าด้วยกันในสัดส่วนเหมาะสม โดยมีโภชนะต่างๆ ครบตามความต้องการของสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งพบว่าการให้อาหารผสมสำเร็จมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะรูเมนน้อยมาก (Ørskov, 1994) สอดคล้องกับ จินดา (2541) ที่พบว่าทำให้ pH ในกระเพาะรูเมนมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ เช่น กระบวนการหมัก การดูดซึมอาหารไปใช้ประโยชน์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งดีกว่าการให้อาหารแบบแยกให้ (separate feeding) เนื่องจากมีผลทำให้ pH ในกระเพาะรูเมนไม่คงที่ โดยระดับของ pH จะต่ำในช่วงที่โคได้รับอาหารข้นสูง และ pH จะสูงขึ้นเมื่อได้รับอาหารหยาบ ซึ่งการที่ระดับ pH ในกระเพาะรูเมนมีการเปลี่ยนแปลงไปมาเช่นนี้ จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน (สมชาย, 2536) จากงานทดลองของ Agnewt et al. (1996) เปรียบเทียบการให้อาหารแบบแยกให้อาหารข้น และอาหารหยาบ กับสูตรอาหารผสมสำเร็จ พบว่ากลุ่มที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จมีปริมาณการกินได้สูงกว่า ($p<0.05$) กลุ่มที่ได้รับอาหารแบบแยกให้อาหารข้น และอาหารหยาบ นอกจากนี้ Bargo et al. (2002) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการให้สูตรอาหารผสมสำเร็จ สูตรอาหารผสมสำเร็จร่วมกับหญ้าพืชอาหารสัตว์ และอาหารหยาบเสริมอาหารข้นในโครีดนม พบว่าโคที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จให้ผลผลิตน้ำนมสูงสุด รองลงมา คือโคที่ได้รับสูตรอาหารที่ผสมสำเร็จร่วมกับหญ้าพืชอาหารสัตว์ และได้รับพืชอาหารสัตว์เพียงอย่างเดียวโดยมีปริมาณน้ำนม เท่ากับ 38.1, 32.0 และ 28.5 กิโลกรัมตามลำดับ และการปรับไขมันนมที่ 3.5 เปอร์เซ็นต์ (3.5% FCM) ในโคที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จมีค่าสูงกว่าโคที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จร่วมกับหญ้าพืชอาหารสัตว์ และโคที่ได้รับหญ้าเสริมอาหารข้นตามลำดับ ขณะที่ยูเรียในน้ำนม (milk urea nitrogen, MUN) ในโคที่ได้รับสูตรอาหารผสมสำเร็จมีค่าต่ำกว่าโคที่ได้รับอาหารผสมสำเร็จร่วมกับพืชอาหารสัตว์ และการให้อาหารแบบแยกให้ระหว่างอาหารข้น และ พืชอาหารโดยมีค่าประมาณ 10.6, 12.0 และ 14.9 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ

ในการจัดทำสูตรอาหารผสมสำเร็จนั้น ส่วนหนึ่งจะต้องคำนึงถึงสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้น ตลอดจนระดับเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent fiber, NDF) และระดับเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (acid-detergent fiber, ADF) ในสูตรอาหารผสมสำเร็จด้วย โดย Weiss and Shockey (1991) ได้ศึกษาสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นในสูตรอาหารผสมสำเร็จ พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของอาหารหยาบในสูตรอาหารผสมสำเร็จทำให้ความเข้มข้นของกรดอะซิติก (acetic acid) และสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิโอนิค (propionic acid) ในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้น แต่กรดบิวทิริค (butyric acid) มีความเข้มข้นลดลง และได้รายงานว่าสูตรอาหารผสมสำเร็จควรมีสัดส่วนอาหารหยาบไม่เกิน 60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนขนาดของเยื่อใย Owen (1984) ได้แนะนำว่า อาหารหยาบแห้ง เช่น หญ้าแห้ง ฟาง ข้าว ควรบดให้มีขนาดประมาณ 1-2 เซนติเมตร เช่นเดียวกับ ปรารถนา (2537) แนะนำว่าขนาดของเยื่อใยที่เหมาะสมในสูตรอาหารผสมสำเร็จควรมีขนาด 1-2 เซนติเมตร

การผลิตกรดซิตริคหรือกรดมะนาว

กรดซิตริคหรือกรดมะนาว (citric acid) เป็นกรดอินทรีย์ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม เนื่องจากกรดมะนาวมีความสามารถในการละลายสูง มีรสเปรี้ยวเป็นที่ยอมรับและมีความเป็นพิษต่ำ ในการผลิตกรดมะนาวจะใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูกทำการหมักด้วยเชื้อรา ซึ่งเชื้อราที่เหมาะสมคือ *Aspergillus niger* เพราะเหตุนี้การผลิตกรดมะนาวจึงถูกพัฒนาอย่างรวดเร็ว อีกทั้งในปัจจุบันยังได้มีการเพิ่มศักยภาพในการหมักของการผลิตกกรดมะนาวอย่างต่อเนื่อง (สมศักดิ์, 2542) โดยวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกรดซิตริคส่วนใหญ่ได้แก่ กากน้ำตาลจากหัวบีท กากน้ำตาลจากอ้อยและแป้ง นอกจากนี้ยังมีการนำเอาเศษเหลือจากการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น กากมันฝรั่งชนิดหวาน ซังข้าวโพด กากมันสำปะหลัง ซึ่งมีราคาถูกและมีน้ำตาลปริมาณที่เพียงพอสำหรับต่อการเจริญของเชื้อรา เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย

จากข้อมูลพบว่าในประเทศไทยมีโรงงานผลิตกรดซิตริค 2 แหล่ง ได้แก่ จังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ที่ผลิตโดยวิธี solid state fermentation (SSF) ส่วนแหล่งที่สองตั้งอยู่ที่จังหวัดสมุทรสาคร ใช้มันเส้นเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตกรดซิตริค ด้วยวิธี submerged fermentation

ในการผลิตกรดซิตริคในประเทศไทยมีด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธี solid-state fermentation (SSF) ที่ใช้กากมันสำปะหลัง (cassava pulp) เป็นวัตถุดิบหลัก และวิธี submerged fermentation (SMF) ที่ใช้มันเส้น (cassava chip) เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต แต่การผลิตกรดซิตริคที่นิยมใช้ คือ การผลิตกรดซิตริคโดยวิธี SSF เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าวิธีอื่นๆ มีการปลดปล่อยน้ำเสียจากการผลิตในปริมาณที่ต่ำกว่าการใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบหลัก (Pandey and Soccol, 1998) ในการผลิตกรดซิตริคจะใช้เชื้อรา *Aspergillus niger* (อุทัย และคณะ, 2539) ในการผลิตกรดซิตริคโดยวิธี SSF เป็นการผลิตที่อาศัยหลักของการหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ (microbial fermentation) มีแหล่งอาหารตั้งต้น (substrate) คือกากมันสำปะหลังผสมกับรำข้าว (รำหยาบและรำละเอียด) จากนั้นไปเติมเชื้อ *Aspergillus niger* ที่อยู่ในรูปของ spore suspension ในอัตราส่วน 10^7 spore/g of substrate และความชื้นเริ่มต้นพอเหมาะ (60 เปอร์เซ็นต์) ในถังหมักแนวนอน (horizontal bioreaction) เป็นเวลา 144 ชั่วโมง โดยมีการควบคุมอุณหภูมิและความร้อนภายในถังหมักจนกระทั่งถึงเวลาที่กำหนด ซึ่งจะได้กรดซิตริคในปริมาณ 26-27 g/100 of substrate (Grewal and Kala, 1995) สอดคล้องกับ Prado et al. (2005) ที่ทำการศึกษาการผลิตกรดซิตริคโดยวิธี SSF ซึ่งใช้กากมันสำปะหลังเป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตในถังแนวนอนเป็นเวลา 144 ชั่วโมง โดยมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในถังหมัก พบว่าได้กรดซิตริคในปริมาณ 26.9 g/100 of substrate

สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตกรดซิตริค

สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค (cassava citric acid waste, CCW) ซึ่งเป็นสิ่งเหลือทิ้งที่มีการใช้มันสำปะหลังในการใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตกรดซิตริค จากสถิติปริมาณผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่ส่งออกในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา ของผลิตภัณฑ์ส่งออกหลัก 3 ประเภท ได้แก่ แป้ง มันเส้น และมันเม็ดแข็ง และจากการคาดการณ์ปริมาณการใช้แป้งมันสำปะหลังในประเทศ (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2540) ทั้งที่ใช้ในภาคการบริโภค และอุตสาหกรรมอาหาร หรืออุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหารมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ตารางที่ 2.1) จึงเห็นได้ว่าปริมาณการผลิตแป้งมันสำปะหลังในอนาคตจะเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก

ตารางที่ 2.1 การคาดคะเนปริมาณการใช้แป้งมันสำปะหลังในประเทศ ปี พ.ศ. 2533-2553

ปี	ปริมาณทั้งหมด (ตัน)
2533	453,740
2537	656,078
2538	704,169
2539	757,947
2540	773,068
2541	858,171
2542	915,670
2543	977,554
2544	1,044,486
2548	1,364,249
2553	1,906,324

ที่มา: มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย (2540)

ในสภาวะปัจจุบัน ปริมาณของกากมันสำปะหลังมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค จึงได้มีการศึกษาการนำใช้ในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะมีการนำมาทดแทนการใช้มันเส้นในสูตรอาหารข้น จากผลการทดลองของ สมิต และคณะ (2550) โดยใช้กากมันสำปะหลังแห้งทดแทนมันเส้นในสูตรอาหารผสมเสร็จ (50 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร) เลี้ยงโคพื้นเมืองลูกผสมบราห์มันพบว่า อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก และเปอร์เซ็นต์ซาก ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มการทดลอง นอกจากนี้ เวียงสกุล (2547) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์แหล่งอาหารพลังงานในโคเนื้อ โดยใช้มันสำปะหลังเส้น ข้าวโพดบด เปลือกมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลังที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารข้น โดยใช้ฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่า อัตราการเจริญเติบโต กรดไขมันที่ระเหยง่ายทั้งหมด (total volatile fatty acid, VFA) รูปแบบกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ค่าชีวเคมีในกระแสเลือด และอัตราการไหลผ่านของอาหาร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

จากรายงานของ Uriyapongson (2006) พบว่าภายหลังจากการผลิตกรดซิตริคแล้วจะมีเศษเหลือเกิดขึ้นจากการผลิตประมาณ 69 เปอร์เซ็นต์ และผลผลิตกรดซิตริค 11.5 เปอร์เซ็นต์ ของส่วนผสมทั้งหมด ซึ่งจะเห็นได้ว่าในการผลิตกรดซิตริค จะมีสิ่งเหลือทิ้งในปริมาณมาก สิ่งเหลือทิ้งเหล่านี้มีสภาพเป็นกรด (pH ประมาณ 4) และยังประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate) ในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบของเยื่อใย NDF, ADF และ ADL ประมาณ 86.13, 68.17 และ 19.74 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ มีความชื้น 77.63 เปอร์เซ็นต์ เป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม ทั้งทางน้ำ ทางดิน และทางอากาศ หากนำสิ่งเหลือทิ้งเหล่านี้ไปกำจัดหรือทิ้งบริเวณพื้นดินจะทำให้สภาพดินนั้นเสื่อม หากทิ้งลงแม่น้ำลำคลองจะทำให้เกิดการตื้นเขินและเน่าเหม็นเป็นอันตรายต่อสุขภาพ (ปราณี, 2538) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ทางโรงงานต้องหาทางกำจัดสิ่งเหลือทิ้งเหล่านี้ออกจากโรงงาน เนื่องจากอาจก่อให้เกิดมลภาวะ สิ่งเหลือทิ้งเหล่านี้ทางโรงงานมักจะกำจัดทิ้งโดยการฝังหรือเผาซึ่งเป็นการกำจัดที่ไม่ถูกวิธีส่งผลให้เกิดเป็นของเสียที่มีลักษณะเป็นของแข็ง (solid waste) อีกทั้งสิ่งเหลือเหล่านี้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆเนื่องจากโรงงานมีการขยายการผลิต ก่อให้เกิดมลภาวะต่อ

สิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก และมีหลายหน่วยงานออกมาหาวิธีเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว บวกกับในปัจจุบันที่ราคาของวัตถุดิบอาหารสัตว์มีราคาสูงและค่อนข้างขาดแคลนทำให้มีแนวคิดในการนำสิ่งเหลือทิ้งเหล่านี้มาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ทดแทน โดย Srisoth et al. (2001) ได้กล่าวว่า การนำสิ่งเหลือทิ้งเหล่านี้ไปตากแห้งก่อนที่จะนำมาเป็นแหล่งวัตถุดิบในอาหารสำหรับสัตว์สามารถที่จะปรับสภาวะความเป็นกรดให้ลดลงได้ รวมถึงสิ่งเหลือทิ้งเหล่านี้มีสภาพความเป็นลิกนินสูง (lignin) อันเนื่องมาจากการหมักร่วมกับรำ ซึ่งอาจส่งผลต่อการย่อยได้ของสัตว์ โดยหากสิ่งเหลือทิ้งเหล่านี้ได้รับการปรับเปลี่ยนสภาพหรือนำมาผสมกับวัตถุดิบที่มีคุณค่าสูงก่อนที่จะนำมาผสมในอาหารสัตว์ อาจจะทำให้สิ่งเหลือทิ้งเหล่านี้มีคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังอาจส่งผลให้สัตว์มีการใช้ประโยชน์จากสิ่งเหลือทิ้งเหล่านี้ได้มากยิ่งขึ้น

ส่วนการใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคหรือกากมันจากการผลิตกรดซิตริคในอาหารเป็ดเทศนั้น เทอดศักดิ์ และคณะ (2550) รายงานว่าเป็ดเทศสามารถใช้กากมันจากการผลิตกรดซิตริคในสูตรอาหารได้ไม่เกิน 5-10 เปอร์เซ็นต์ โดยทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารดีขึ้น และลดต้นทุนค่าอาหารลดลง ส่วนการใช้กากมันจากการผลิตกรดซิตริคเป็นอาหารสุกรนั้น สรณัฐ (2540) ได้รายงานถึงการใช้กากมันจากการผลิตกรดซิตริคกึ่งปรับรส และปรับรสด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต โดยในระยะสุกรรุ่นควรใช้ที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์หากใช้ที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสุกรมีอัตราการเจริญลดลง ส่วนในระยะสุกรขุนสามารถใช้กากมันจากการผลิตกรดซิตริคกึ่งปรับรสได้ที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ หากใช้ที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์พบว่าสุกรมีอัตราการเจริญลดลง

สำหรับการใช้ในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ประพันธ์ศิลป์ (2551) ได้รายงานผลการใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคหรือกากมันจากการผลิตกรดซิตริคในสูตรอาหารข้นในการเลี้ยงโคเนื้อ ที่ระดับ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของกากมันจากการผลิตกรดซิตริคในสูตรอาหารข้นจะส่งผลทำให้การย่อยได้ของอาหารลดลงและส่งผลให้การกินได้ของอาหารในโคมีค่าลดลง และพบว่าโคกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีกากมันจากการผลิตกรดซิตริคทดแทนข้าวโพดที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารข้น มีอัตราการเจริญเติบโต และปริมาณการกินได้ของอาหารข้นสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ แสดงว่าการใช้กากมันจากการผลิตกรดซิตริคทดแทนข้าวโพดที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารข้นให้ผลตอบแทนจากการเลี้ยงสูงกว่าการเสริมระดับอื่นๆ (ตารางที่ 2.2)

นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาการใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคหรือกากมันจากการผลิตกรดซิตริคเป็นแหล่งอาหารหยาบในสูตรอาหารผสมสำเร็จสำหรับโคนม (ตารางที่ 2.3) พบว่าสามารถใช้กากมันจากการผลิตกรดซิตริคเป็นแหล่งอาหารหยาบร่วมกับฟางข้าวได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารผสมสำเร็จ และยังส่งผลดีต่อปริมาณการกินได้ และปริมาณน้ำนมที่สูงขึ้น เมื่อใช้กากมันจากการผลิตกรดซิตริคเพิ่มสูงขึ้นในสูตรอาหารอีกด้วย (พีระพร และคณะ, 2550) สอดคล้องกับ วุฒิกร (2552) ที่ใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคหรือกากมันจากการผลิตกรดซิตริคเป็นแหล่งอาหารหยาบในสูตรอาหารสำหรับโคนม

นอกจากนี้ ฉลอง และคณะ (2552) ได้ทำการใช้สารปรับความเป็นกรด-ด่าง คือ โซเดียมไบคาร์บอเนท ในการเพิ่มความเป็นกรด-ด่างของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริค เพื่อใช้ทดแทนมันเส้นในสูตรอาหารโคนม พบว่า ระดับสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคเพื่อทดแทนมันเส้นสามารถใช้ได้ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารผสมสำเร็จ แต่การใช้โซเดียมไบคาร์บอเนทในการปรับความเป็นกรด-ด่างไม่มีผลต่อการเพิ่มระดับการใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมกรดซิตริคในสูตรอาหารผสมสำเร็จสำหรับโคนม (ตารางที่ 2.4)

ารางที่ 2.2 ผลของการใช้กากมันจากการผลิตกรดซิตริคต่อปริมาณการกินได้ของอาหารในโคเนื้อ

ลักษณะที่ศึกษา	กลุ่มที่ทำการศึกษา*				SEM	Contrast		
	T1	T2	T3	T4		L	Q	C
น้ำหนักเริ่มต้น (กก.)	156.9	162.4	170.5	159.3				
น้ำหนักเพิ่ม (กก.)	91.4^{ab}	107.9^{a}	70.0^{bc}	48.9^{c}	10.52	<0.01	0.10	0.16
อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (กก.)	0.8^{ab}	0.9^{a}	0.6^{bc}	0.4^{c}	0.09	<0.01	0.10	0.16
อัตราการเปลี่ยนอาหาร	6.7^{b}	6.5^{b}	8.5^{ab}	10.3^{a}	1.34	<0.01	0.16	0.47
ปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบ								
กก./ตัว/วัน	3.2	3.6	3.4	3.1	0.31	0.59	0.06	0.47
% ของน้ำหนักตัว	0.9	1.0	1.0	1.0	0.05	0.20	0.27	0.41
กรัมต่อกก.นน.ตัว$^{0.75}$	62.7	67.5	65.5	64.3	3.327	0.72	0.09	0.33
ปริมาณการกินได้ของอาหารข้น								
กก./ตัว/วัน	3.3^{ab}	3.9^{a}	3.1^{ab}	2.5^{b}	0.636	0.04	0.10	0.30
% ของน้ำหนักตัว	1.7^{ab}	1.9^{a}	1.6^{ab}	1.4^{b}	0.244	0.04	0.11	0.17
กรัมต่อกก.นน.ตัว$^{0.75}$	64.6^{ab}	72.8^{a}	58.9^{ab}	50.3^{b}	10.275	0.03	0.13	0.25
ปริมาณการกินได้อาหารรวม								
กก./ตัว/วัน	6.5^{ab}	7.4^{a}	6.4^{ab}	5.7^{b}	0.917	0.10	0.75	0.33
% ของน้ำหนักตัว	2.6^{ab}	2.9^{a}	2.6^{ab}	2.4^{b}	0.274	0.09	0.11	0.17
กรัมต่อกก.นน.ตัว$^{0.75}$	127.3^{ab}	140.4^{a}	124.4^{ab}	114.5^{b}	12.934	0.09	0.10	0.25

^{abc} อักษรที่กำกับบนค่าเฉลี่ยในแถวแนวนอนเดียวกันแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

* T1, T2, T3, T4 หมายถึง อาหารที่มีระดับกากมันจากการผลิตกรดซิตริคทดแทนข้าวโพดที่ 0, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์

ที่มา : ประพันธ์ศิลป์ (2551)

ตารางที่ 2.3 ผลของระดับกากมันจากการผลิตกรดซิตริค และฟางข้าวในสูตรอาหารผสมสำเร็จต่อผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนม

รายการ	TMR				SEM	contrast		
	CCW0	CCW10	CCW20	CCW30		L	Q	C
ผลผลิตน้ำนม, กิโลกรัม/วัน								
	10.9[a]	11.1[ab]	11.6[bc]	12.0[c]	0.185	<0.01	0.67	0.65
ผลผลิตน้ำนมปรับไขมันนม 4%, กิโลกรัม/วัน								
	11.5[a]	11.8[a]	12.3[ab]	12.7[b]	0.255	<0.01	0.57	0.68
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร								
กก.นม/กก.อาหาร	0.74	0.73	0.76	0.79	0.017	0.06	0.33	0.71
องค์ประกอบน้ำนม, %								
ไขมัน	4.52[c]	4.44[c]	4.31[b]	4.20[a]	0.015	<0.01	0.63	0.64
โปรตีน	3.38[d]	3.27[c]	3.17[b]	3.10[a]	0.004	<0.01	0.08	0.69
น้ำตาลแลคโตส	5.18[a]	5.15[a]	5.11[a]	5.36[b]	0.043	<0.05	<0.05	0.17
ของแข็งไม่รวมไขมัน	9.01[a]	8.68[d]	9.57[c]	9.12[b]	0.018	<0.01	0.07	<0.01
ของแข็งทั้งหมด	13.5[c]	13.1[a]	13.9[d]	13.3[b]	0.043	<0.01	<0.01	<0.01
ไขมัน:โปรตีน	1.34	1.36	1.36	1.35	0.002	0.31	0.16	0.90

[abcd] ค่าเฉลี่ยในแนวเดียวกันกับมีกำกับอักษร แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

CCW0 = กากมันจากการผลิตกรดซิตริคในสูตรอาหารผสมสำเร็จ 0 เปอร์เซ็นต์, CCW10 = กากมันจากการผลิตกรดซิตริคในสูตรอาหารผสมสำเร็จ 10 เปอร์เซ็นต์, CCW20 = กากมันจากการผลิตกรดซิตริคในสูตรอาหารผสมสำเร็จ 20 เปอร์เซ็นต์, CCW30 = กากมันจากการผลิตกรดซิตริคในสูตรอาหารผสมสำเร็จ 30 เปอร์เซ็นต์,

ที่มา : พีระพร และคณะ (2550)

ตารางที่ 2.4 ผลของระดับโซเดียมไบคาร์บอเนทและกากมันจากการผลิตกรดซิตริคต่อปริมาณการกินได้ของโภชนะของโคนม

Factor	CCW					$NaHCO_3$			
Level	0	10	20	SEM	P<	1.5	3.0	SEM	P<
DMI									
kg/d	14.37	15.61	15.12	0.982	0.315	15.01	15.06	0.947	0.954
%BW	2.77	3.10	2.98	0.149	0.125	2.90	3.00	0.142	0.489
$g/kgW^{0.75}$	132.2	146.5	141.4	7.03	0.167	138.5	141.5	6.66	0.638
Nutrient intake									
OM	12.21	13.28	12.88	0.834	0.298	12.88	12.70	0.804	0.771
CP	2.02	2.19	2.12	0.137	0.323	2.10	2.11	0.132	0.926
NDF	4.73	6.34	7.22	0.366	0.001	6.17	6.02	0.356	0.538
ADF	2.52	3.68	4.18	0.207	0.001	3.44	3.49	0.202	0.709
ME	32.38	32.48	29.71	2.355	0.396	31.64	31.41	2.239	0.912
Milk production									
Milk yield, kg/d	14.8	15.1	14.4	1.21	0.454	14.9	14.6	1.19	0.625
FE	1.05	0.97	0.92	0.33	0.096	1.04	0.92	0.028	0.032
DMD	65.66	58.64	53.90	3.072	0.071	59.22	59.58	2.722	0.919
OMD	69.39	64.51	61.21	2.137	0.071	64.01	65.16	1.894	0.919
Rumen pH									
0 h post-feeding	6.53	6.79	6.74	0.144	0.331	6.69	6.69	0.131	0.997
2 h post-feeding	6.67	6.81	7.07	0.122	0.003	6.82	6.88	0.121	0.544
4 h post-feeding	6.72	6.56	6.82	0.131	0.123	6.55	6.85	0.125	0.032

ที่มา : วิศวะ และคณะ (2554)

การใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยในสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

เนื่องจากแหล่งอาหารที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตกรดซิตริคนั้น ส่งผลให้มีการกินได้และการย่อยได้ต่ำ แต่เกษตรกรยังคงมีความจำเป็นต้องนำแหล่งของวัตถุดิบอาหารนี้มาใช้ทดแทนแหล่งของวัตถุดิบอาหารที่มีราคาแพงและมีอยู่จำกัด จึงได้มีการศึกษาการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตกรดซิตริคโดยการใช้เอนไซม์ ซึ่งเอนไซม์ที่มีการนำมาใช้ส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์ที่มีความสามารถในการย่อยเยื่อใย (fibrolytic enzyme) ได้แก่ เอนไซม์ในกลุ่มเซลลูโลไลติก (เอนไซม์เซลลูเลส) และ เอนไซม์ในกลุ่มไซลาโนไลติก (เอนไซม์ไซเลนเนส) ซึ่งในแต่ละกลุ่มมีความสามารถในการย่อยเยื่อใยแตกต่างกัน

ซึ่งการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใย เป็นอีกวิธีการหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพอาหารหยาบ โดย Pinos-Rodriguez et al. (2002) ได้ทดลองเสริมไฟโบไลติคเอนไซม์ ในอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยพบว่า ไฟโบไลติคเอนไซม์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ของสัตว์ เช่นเดียวกันกับ Beauchemin et al. (1995) เสริมเอนไซม์ในอาหารของโคนม โดยการฉีดพ่นในอาหารหยาบก่อนนำไปผสมกับอาหารข้น ที่ระดับ 0, 1 และ 2.5 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมของสูตรอาหารผสมสำเร็จ พบว่า การตอบสนองของโคนมในด้านการให้น้ำนมมีการตอบสนองเพิ่มขึ้นตามระดับเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้นจากการทดลองของ Yang et al. (2000) เสริมเอนไซม์ในอาหารโคนมที่อยู่ในช่วงการให้นม โดย เสริมเอนไซม์ในสูตรอาหารผสมสำเร็จและในอาหารข้น พบว่า ไม่มีผลต่อการกินได้ แต่พบว่าการเสริมเอนไซม์ในอาหารข้นสามารถเพิ่ม

ผลผลิตน้ำนมได้ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ และการเสริมเอนไซม์มีผลต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้งมากกว่าในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมเอนไซม์ ซึ่งในปัจจุบันมีการเลือกใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยที่ผลิตจากจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน จากงานทดลองของ Feng et al. (1996) มีการทดลองเสริมเอนไซม์ย่อยเยื่อใยจาก 3 แหล่งในอาหารของโคเนื้อ พบว่า เอนไซม์ชนิดที่ 3 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ของวัตถุแห้งมากกว่าการเสริมเอนไซม์จากแหล่งอื่นและมากกว่าที่ไม่มีการเสริมเอนไซม์ แต่เอนไซม์ไม่มีผลต่อการกินได้ของวัตถุแห้ง นอกจากนั้นมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์ของเอนไซม์ในสัตว์หลายชนิด Krause et al. (1998) รายงานว่าในการเสริมเอนไซม์ในโคเนื้อสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ของ ADF ถึง 28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้กับอาหารข้น ซึ่งจะคล้ายกับรายงานของ Iwaasa et al. (1997) พบว่าการเสริมเอนไซม์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ของสัตว์ McAllister et al. (1999) ทำการเสริมเอนไซม์เข้าไปในอาหารหยาบและธัญพืชที่ 3.5 ลิตรต่อตันอาหารวัตถุแห้ง ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของสัตว์เพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหารสัตว์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารหยาบ รวมถึงสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของสัตว์ได้ เพราะฉะนั้นจึงน่าจะมีความเป็นไปได้ของการใช้เอนไซม์ร่วมกับการใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตกรดซิตริคในสูตรอาหาร เนื่องจากมีความเป็นเยื่อใยสูงเช่นเดียวกับอาหารหยาบ แต่อย่างไรก็ตามการเสริมเอนไซม์ในอาหารสัตว์นั้น อาจมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์ให้ลดลงได้ ไม่ว่าจะเป็น การกินได้ การย่อยได้ เนื่องจากการใช้เอนไซม์ในระดับที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาเพื่อหาแนวทางการใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตกรดซิตริคร่วมกับการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยในอาหาร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้มากขึ้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตของสัตว์

การอัดพอง (extrusion)

การอัดพอง (extrusion) หมายถึง การปฏิบัติการที่ทำให้พลาสติกหรือโด (dough) หรือ แป้งเหนียวหยุ่น เป็นรูปร่างขึ้นมาด้วยการบังคับให้พลาสติกหรือโดนี้ผ่านพื้นที่อันจำกัดหรือที่เรียกว่า หน้าแปลน (die) โดย Rossen and Miller (1973) ได้ให้คำจำกัดความของ คำว่า food extrusion ว่าเป็นกระบวนการที่วัตถุอาหารถูกบังคับให้ไหลหรือเคลื่อนที่ภายใต้สภาวการณ์หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งอย่าง อันได้แก่ การผสมคลุกเคล้า ความร้อน และแรงเฉือน การอัดผ่านรูเปิดของหน้าแปลน ที่ออกแบบไว้ให้เป็นรูปร่างและเป็นผลิตภัณฑ์ที่สุกพองแห้ง อีกทั้ง Harper (1981) กล่าวว่า คำ การอัดพอง (extrude) คือ การให้ความร้อนแก่วัตถุก่อน แล้วค่อยอัด ดัน ผ่านรูเปิดพิเศษที่เป็นรูปร่างตามต่างๆตามที่ต้องการ และ ประชา (2539) ได้กล่าวว่า กระบวนการหุงต้มแบบอัดพอง (Cooking extrusion) หมายถึง การที่ทำให้วัตถุอาหารนั้นชื้นก่อน แล้วทำให้สุก และอัดผ่านรูเปิดที่ออกแบบพิเศษให้เป็นรูปร่างออกมา หรือเป็นการทำให้วัตถุอาหารเป็นแป้งและโปรตีนโดยให้ชื้น ร้อนแล้วสุก ลักษณะ หนืด หยุ่น เหนียว คล้ายพลาสติก จึงอัดผ่านรูเปิดพิเศษเป็นรูปร่างออกมา ภายใต้หลายปัจจัยร่วมกัน คือ ความชื้น ความดัน อุณหภูมิและแรงเฉือน

ประโยชน์ของการอัดพอง (พอใจ, 2532)

1. สามารถใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารได้หลายชนิด โดยใช้ส่วนผสมและสภาวะการผลิตที่แตกต่างกันไป เช่นการผลิตอาหารคบเคี้ยว เนื้อเทียม อาหารเช้าจากธัญพืช (breakfast cereal) เป็นต้น
2. กำลังการผลิตสูง เนื่องจากเป็นกระบวนการผลิตที่ต่อเนื่อง จึงทำให้มีความสามารถในการผลิตสูงกว่าการผลิตโดยใช้เครื่องมืออื่นๆ

3. ต้นทุนการผลิตต่ำ เนื่องจากการใช้แรงงาน และพื้นที่ในการติดตั้งเครื่องมือเพียงเล็กน้อย จึงทำให้สามารถใช้งบประมาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะตามต้องการโดยการออกแบบช่องเปิด ทำให้ได้เปรียบกว่าเครื่องมืออื่นๆ
5. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูง เนื่องจากเป็นการบวนการแบบ HTST (High temperature short-time) จึงมีการสูญเสียวิตามินและคุณค่าทางโภชนาการเพียงเล็กน้อย
6. สามารถทำลายสารพิษบางตัวที่มีอยู่ในอาหาร เช่น trypsin inhibitor, hemagglutinins และ gossypol แล้วยังทำลายเอนไซม์บางตัวที่ไม่ต้องการ เช่น lipase และ lipoxidase อีกด้วย
7. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์น้อยมาก
8. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่ำ จึงทำให้การนำไปทำแห้งต่อไปใช้พลังงานเพียงเล็กน้อยทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ๆได้มากมาย

อมรเทพ (2552) ได้ทำการศึกษาผลของการอัดพองต่อการใช้ประโยชน์เพื่อเป็นอาหารสัตว์ของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตกรดซิตริค ซึ่งได้มีการศึกษาสองส่วนด้วยกัน โดยในส่วนแรกได้ศึกษาถึงสัดส่วนที่ใช้ในการอัดพอง ซึ่งมีสัดส่วนของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตกรดซิตริคและปลายข้าวที่ใช้ในการอัดพองเท่ากับ 10: 90, 20: 80, และ 30: 70 พบว่าสัดส่วนของสิ่งเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตกรดซิตริกที่ผ่านกระบวนการอัดพองนั้นมีผลต่อความหนาแน่น (density) และคุณค่าทางโภชนะที่แตกต่างกัน ($P<0.05$) การใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตกรดซิตริคที่ผ่านกระบวนการอัดพองในระดับ 30 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นที่ 16 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาแน่น และคุณค่าทางโภชนะสูงสุด ส่วนในการศึกษาที่สอง ได้ทำการศึกษาระดับของสิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตกรดซิตริคที่ผ่านกระบวนการอัดพองแล้วเพื่อนำมาทดแทนข้าวโพดและรำละเอียดในสูตรอาหารข้น โดยทำการศึกษาที่ระดับ 0, 33.33, 66.66 และ 99.99 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารข้น พบว่าการใช้สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตกรดซิตริคที่ผ่านกระบวนการอัดพองที่ระดับ 99.99 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทดแทนข้าวโพด และรำละเอียดมีค่าการย่อยได้ของสิ่งแห้ง และอินทรียวัตถุ ผลผลิตแก๊สรวมสูงที่สุดแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.01$)