บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Review Literature)

การเลี้ยงสัตว์ในปัจจุบันกำลังได้รับการสนใจเป็นอย่างมาก เพราะการเลี้ยงสัตว์เป็นอาชีพที่สามารถทำรายได้ให้แก่เกษตรกรทั้งเป็นรายได้หลัก และรายได้เสริม ปัจจุบันประเทศไทยนอกจากจะเลี้ยงสัตว์เพื่อบริโภคภายในประเทศแล้ว ยังสามารถส่งเป็นสินค้าออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศทำรายได้ปีละหลายพันล้านบาท ถึงอย่างไรก็ตามการเลี้ยงสัตว์โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์เคี้ยวเอื้องอาทิ เช่นโคเนื้อ โคนม แพะ แกะ และกระบือ ให้ดีนั้นประกอบด้วยปัจจัยหลักที่สำคัญได้แก่ พันธุ์ อาหาร และการจัดการ เนื่องจากอาหารนับได้ว่าเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพการให้ผลผลิตตลอดจนผลตอบแทนความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ โดยจุดประสงค์หลักของการพัฒนาการผลิตในด้านอาหารโคพื้นเมืองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตในประเทศไทยนั้นจำเป็นต้องเน้นการใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นที่หาซื้อได้ง่ายและมีราคาถูก โดยเฉพาะเศษเหลือทางการเกษตรที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น มันสำปะหลัง เปลือกล้างมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง และเปลือกทุเรียน ซึ่งนับได้ว่าเป็นเศษเหลือทางการเกษตรที่นำไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ และยังจัดได้ว่าเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งที่ดีของพลังงาน และมีราคาถูก (Wanapat, 2000; Wanapat, 2003)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พยายามทำการศึกษาการใช้เศษเหลือทางการเกษตร เช่น มันสำปะหลัง เปลือกล้างมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง และเปลือกทุเรียน เป็นอาหารหลักในสูตรอาหารสัตว์โดยเฉพาะอย่างยิ่งได้นำใช้เพื่อเป็นแหล่งของพลังงานทดแทนวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีราคาแพง สามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้ นอกจากนี้มันสำปะหลัง เปลือกล้างมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง และเปลือกทุเรียน คือ เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีคุณสมบัติที่สามารถถูกย่อยได้เร็วในกระเพาะหมักเมื่อสัตว์ได้รับในปริมาณระดับที่สูง และส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาวะที่เหมาะสมของกระเพาะหมักโดยทำให้เกิดสภาวะความเป็นกรดในกระเพาะมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งในสภาวะที่ปกติเมื่อสัตว์ได้รับอาหาร และจุลินทรีย์ที่ย่อยอาหารอยู่ในกระเพาะหมักจะสามารถนำไปใช้ และ

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
BAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สังเคราะห์เพื่อให้ได้ผลผลิตสุดท้าย ได้แก่ กรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile Fatty Acid; VFA) จุลินทรีย์โปรตีน (Microbial Protein) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สมีเทน (CH_4) และ กรดแลคติก (Lactic Acid) ในสัดส่วนที่เหมาะสม (เมธา, 2533) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรดไขมันที่ระเหยได้ และ จุลินทรีย์โปรตีน ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับร่างกายสัตว์เพื่อจะนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างผลผลิตต่อไป แต่อย่างไรก็ตามในกระบวนการย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตก็ทำให้เกิดกรดแลคติกเกิดขึ้นเช่นกัน ซึ่งเมื่อมีปริมาณการใช้คาร์โบไฮเดรตในระดับสูงๆ ก็จะส่งผลให้เกิดปริมาณของกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อปริมาณของกรดแลคติกเมื่อมีในระดับสูง และร่างกายสัตว์ไม่สามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีหรือใช้ได้ช้า ก็อาจส่งผลให้เกิดปัญหาที่ตามมา สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาภาวะ การเกิดกรดในกระเพาะหมัก ซึ่งเกิดขึ้นได้มากเมื่อสัตว์ได้รับอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ถูกย่อยได้ง่ายเป็นองค์ประกอบในระดับสูงในอาหารสัตว์ เช่น มันสำปะหลัง โดยการเกิดกรดในกระเพาะหมักเมื่อเกิดขึ้นจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียอย่างยิ่ง และอาจทำให้สัตว์ถึงตายได้เมื่อระดับของการเกิดรุนแรง ซึ่งมันสำปะหลังถือได้ว่าเป็นแหล่งของโภชนะของคาร์โบไฮเดรตที่สามารถถูกย่อยได้ง่าย เมื่อสัตว์ได้รับอาหารข้นที่มีมันสำปะหลัง (มันเส้น) เป็นองค์ประกอบในดับสูงจะมีผลให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะหมักทำการย่อยได้ผลผลิตสุดท้ายได้แก่ VFA, CO_2 และ CH_4 โดยเฉพาะ กรดแลคติก เกิดขึ้นได้เร็ว ซึ่งเมื่อมีระดับของกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้นจะทำให้สภาพภายในกระเพาะหมักมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำ ทำให้จุลินทรีย์แกรมลบส่วนใหญ่ไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้ (Hungate, 1966) ท้ายที่สุดจะทำให้ประชากรของจุลินทรีย์ลดลงอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามพบว่าในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะพบจุลินทรีย์บางกลุ่มที่สามารถใช้กรดแลคติก เพื่อนำใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต โดยใช้กรดแลคติกเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อนำไปสู่การสังเคราะห์พลังงาน และเพื่อการสังเคราะห์ผลผลิตของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะกลุ่ม *Selenomonas ruminantium* ซึ่งสามารถที่จะเจริญเติบโตได้โดยอาศัย กรดแลคติกเพื่อใช้เป็นแหล่งของคาร์บอนในการดำรงชีพ และการสังเคราะห์ผลผลิตต่อไป (Martin *et al.*,1999) แต่เมื่อมีระดับของกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้นและจุลินทรีย์ไม่สามารถที่จะดำรงชีพอยู่ได้ก็จะส่งผลให้มีโอกาสเกิดกรดในกระเพาะหมักเกิดขึ้นได้ และในปัจจุบันได้มีการศึกษาพบว่า มีสารอินทรีย์บางชนิดสามารถที่จะนำมาใช้ร่วมในสูตรอาหารสัตว์ที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายง่ายเป็นองค์ประกอบเพื่อลดการเกิดกรดแลคติกและช่วยลดปัญหาการเกิดกรดในกระเพาะหมัก ซึ่งได้แก่ สารอินทรีย์ประเภทมาเลท ซึ่งได้มีการเสริมในอาหารสัตว์หรือที่พบเป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ และพืชอาหารสัตว์ ซึ่งมีผลช่วยสามารถทำให้การนำ

ใช้กรดแลคติก ที่เกิดขึ้นถูกนำใช้โดยจุลินทรีย์ *Selenomonas ruminantium* ได้เพิ่มมากขึ้น และส่งผลให้สภาวะ pH ในกระเพาะหมักเพิ่มสูงขึ้นจึงช่วยทำให้สามารถลดปัญหาการเกิดกรดในกระเพาะหมักได้ลดลง (Martin *et al.*, 1999) ซึ่งมาเลทเป็นสารอนุพันธ์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน 4 ตัว และกลุ่มคาร์บอกซิล 2 กลุ่ม หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า Four – Carbon Dicarboxylic Acid และซึ่งพบได้โดยทั่วๆ ไปในเนื้อเยื่อของเซลล์ของจุลินทรีย์ภายในส่วนของไมโทรคอนเดรีย และมีความสำคัญโดยเป็นสารอินเตอร์มีเดียตในวัฏจักรเครบ (The Citric Acid Cycle : TCA Cycle) (Chesworth *et al.*, 1998) และแบคทีเรียส่วนใหญ่ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมนจะอาศัยวัฏจักรเครบในกระบวนการสังเคราะห์ซัคซิเนต และโพรพิออเนต และในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ก็จะอาศัยมาเลทเพื่อเป็นสารอินเตอร์มิเดียตในกระบวนการสังเคราะห์ซัคซิเนต และโพรพิออเนตด้วย และในสภาวะที่สัตว์ได้รับอาหารพลังงานประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้างในระดับสูงจะส่งผลให้เกิดกรดแลคติกเพิ่มขึ้น และสภาวะภายในกระเพาะหมัก มี pH ต่ำ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อจุลินทรีย์แกรมลบส่วนใหญ่ซึ่งไม่สามารถดำรงชีพในสภาวะที่ภายในกระเพาะหมักมี pH ต่ำ และส่งผลให้ประชากรของจุลินทรีย์ลดลงอย่างรวดเร็ว (Hungate, 1966) ซึ่งจุลินทรีย์แกรมบวกที่ทำหน้าที่สร้างกรดแลคติกที่สำคัญ ได้แก่ *Streptococcus bovis* และ *Lactobacillus* spp. (ฉลอง, 2541) และในสภาวะที่เกิด กรดแลคติกเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ได้หมด จะส่งผลให้เกิดปัญหาการเกิดกรดในกระเพาะหมักในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Nocek and Tamminga, 1997)

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีวิวัฒนาการ และพัฒนาการที่มีความเฉพาะตัวในการที่มีระบบการหมักของพืชอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก (รูเมน) โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แบคทีเรีย โปรโตซัว และเชื้อรา ซึ่งจะผลิตผลผลิตสุดท้ายที่สำคัญให้กับสัตว์ คือ กรดไขมันที่ระเหยได้ จุลินทรีย์โปรตีน และไวตามินบีรวม (Vitamin B Complex) โดยพื้นฐานแล้วจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก จะไม่มีความต้องการใช้ประโยชน์จากเพบไทด์ สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารหยาบคุณภาพต่ำที่มีโปรตีนต่ำ ซึ่งอาหารเหล่านี้ทั้งมนุษย์และสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนั้นแล้วสัตว์เคี้ยวเอื้องยังสามารถลดพิษจากสารพิษในอาหาร (Phytotoxins) โดยอาศัยกลไกการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ ในกระเพาะหมัก

เทคโนโลยีชีวภาพในกระเพาะหมัก คือ การประยุกต์ใช้ประโยชน์ (Application) องค์ความรู้ของกระบวนการหมักในกระเพาะหมัก โดยการปรับเปลี่ยนนิเวศวิทยากระเพาะหมัก ให้เหมาะสม สามารถจำแนกชนิดของจุลินทรีย์ (แบคทีเรีย) โดยหลักการจุลชีววิทยา (Microbiology) โมเลกุลกระเพาะหมัก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักของอาหารหยาบ

ในกระเพาะหมัก และผลผลิตในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งแหล่งอาหารหยาบมีอยู่จำนวนมากในระบบการเกษตรในเขตร้อน และความสำคัญในการใช้ประโยชน์ของเทคโนโลยีชีวภาพในการผลิตสัตว์ เพื่อเพิ่มปริมาณอาหาร โดยเฉพาะอาหารโปรตีนเพื่อเลี้ยงประชากรโลกที่อาศัยอยู่ในประเทศที่กำลังพัฒนา ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีชีวภาพในกระเพาะหมัก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมัก และความสามารถในการลดสารพิษในพืชอาหารสัตว์ ในการผลิตอาหารโปรตีนจากสัตว์ทั้งในรูปเนื้อและน้ำนมที่มีคุณภาพต่อไป

นิเวศวิทยาจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (รูเมน) ประกอบไปด้วยชนิดของแบคทีเรียที่สำคัญหลักอย่างน้อย 30 ชนิด (Species) และมีความเข้มข้น 10^{10}-10^{12} เซลล์ต่อมิลลิลิตร ของของเหลวในกระเพาะหมัก มีโปรโตซัว 40 ชนิด มีความเข้มข้น 10^{5}-10^{7} เซลล์ต่อมิลลิลิตร ของของเหลวในกระเพาะหมัก และมีเชื้อรา 5 ชนิด มีความเข้มข้นน้อยกว่า 10^{5} เซลล์ต่อมิลลิลิตร ของของเหลวในกระเพาะหมัก ซึ่งแบคทีเรียนับว่ามีบทบาทและความสำคัญมากกว่าโปรโตซัว และเชื้อราต่ออัตราและขอบเขตของการย่อยสลายของอาหาร การผลิตกรด VFAs และจุลินทรีย์โปรตีน กรด VFAs จะถูกดูดซึมผ่านผนังของกระเพาะหมัก เป็นส่วนใหญ่ (ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์) เพื่อใช้เป็นแหล่งของพลังงาน ส่วนจุลินทรีย์โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรทของจุลินทรีย์ตลอดจนส่วนของโภชนะของอาหารที่เหลือจะไหลผ่านออกจากกระเพาะหมัก เข้าสู่กระเพาะอาหารส่วนล่าง โดยเฉพาะที่ลำไส้เล็กเพื่อการย่อยสลายและการดูดซึมใช้ในตัวสัตว์ต่อไป

แบคทีเรียในกระเพาะหมัก สามารถแบ่งตามลักษณะของการเป็นอยู่ในนิเวศวิทยากระเพาะหมัก ได้ 5 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มแบคทีเรียที่อาศัยอย่างอิสระในของเหลวในกระเพาะหมัก
2. กลุ่มแบคทีเรียที่เกาะติดอย่างหลวม ๆ กับอนุภาคของอาหารในกระเพาะหมัก
3. กลุ่มแบคทีเรียที่เกาะติดอย่างติดแน่น กับอนุภาคของอาหารในกระเพาะหมัก
4. กลุ่มแบคทีเรียที่เกาะติดอยู่กับผนังด้านในของกระเพาะหมัก
5. กลุ่มแบคทีเรียที่เกาะติดผนังลำตัวของโปรโตซัวและเชื้อรา (Sporangia)

ในสภาวะการให้อาหารปกติ แบคทีเรียในกลุ่มที่ 2 และ 3 จะมีมากที่สุดคือ 75 % และจะสามารถผลิตน้ำย่อยในกระเพาะหมัก ชนิด Endoglucanase (88 %), Xylanase (91 %), Amylase (70 %), Protease (75 %) ส่วนแบคทีเรียในกลุ่มที่ 1 จะมีประชากรน้อยและผลิตน้ำย่อยได้ประมาณ 20-30 % และแบคทีเรียกลุ่มที่ 4 และ 5 นั้นจะมีประชากรน้อยมากและผลิตน้ำย่อยได้ประมาณ 1 % ของประชากรทั้งหมดในกระเพาะหมัก (Wanapat, 1990)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทบาทหน้าที่ของกระเพาะหมัก และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์

กระเพาะหมักมีบทบาทและหน้าที่ที่สำคัญในการเกิดกระบวนการหมักอาหารเพื่อสังเคราะห์ผลผลิตสุดท้ายให้กับสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพื่อใช้ประโยชน์ในกระบวนการเมทธาโบลิซึมในร่างกายและการให้ผลผลิตต่างๆ ดังนั้นกระเพาะหมักจะต้องมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก (Rumen pH) และความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) จะส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ต่างๆ เช่น แบคทีเรีย โปรโตซัว และเชื้อรา โดยผลผลิตสุดท้ายที่สำคัญที่ได้จากกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะกระเพาะหมัก ได้แก่ กรดไขมันที่ระเหยได้ แอมโมเนียไนโตรเจน และจุลินทรีย์โปรตีน กรดไขมันที่ระเหยได้ที่สำคัญได้แก่ อะซิเตท (C_2) โพรพิออเนท (C_3) และบิวทีเรท (C_4) เป็นแหล่งของสารตั้งต้นที่สำคัญที่ร่างกายสัตว์จะนำไปใช้ประโยชน์เพื่อสังเคราะห์พลังงานในรูปกลูโคสโดยอาศัยกระบวนการกลูโคนีโอจีนีซีส และกระบวนการสังเคราะห์ไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้องต่อไป ในขณะที่แอมโมเนียไนโตรเจน นับได้ว่าเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ในกระบวนการสังเคราะห์ จุลินทรีย์โปรตีนเพื่อเป็นแหล่งของโปรตีนที่สำคัญสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์และกระบวนการดูดซึมสารประกอบเหล่านี้จากรูเมนเพื่อไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ ชนิดของอาหาร ตลอดจนสัดส่วนระหว่างอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่สัตว์ได้รับ พบว่า มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของประชากรจุลินทรีย์ และรูปแบบของกระบวนการหมักในรูเมน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ในเขตร้อน และเขตอบอุ่นจะมีความแตกต่างกันมากในเรื่องของคุณภาพส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก และกระบวนการหมักโภชนะต่างๆด้วย มากไปกว่านั้นระบบการจัดการในด้านการให้อาหารสัตว์ที่แตกต่างกันยังมีผลต่อการพัฒนาการของนิเวศวิทยากระเพาะหมักด้วย ในเขตอบอุ่นนั้นส่วนใหญ่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับอาหารข้นในระดับสูงซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสภาวะความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักมากยิ่งขึ้น และอาจส่งผลให้เกิดกรดในกระเพาะหมักได้ ซึ่งกรดไขมันที่ระเหยได้ก็มีส่วนในการทำให้ สภาวะความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักลดลง แต่กรดแลคติกจะมีผลต่อความเป็นกรดในกระเพาะหมักมากกว่า ซึ่งปัจจัยจากชนิดอาหารที่สัตว์ได้รับนั้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่สัตว์ได้รับอันจะส่งผลต่อปริมาณการหลั่งน้ำลาย และการเคี้ยวเอื้องของสัตว์รวมทั้งการสังเคราะห์ TVFAs และจำนวนประชากรจุลินทรีย์ด้วย นอกจากนี้ พบว่า ในแกะที่ได้รับ Timothy Hay ในระดับต่ำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มีผลทำให้สภาวะความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักลดลงจากระดับ 6.5 เป็น 5.7 และการสังเคราะห์ TVFAs, C_2, C_3, C_4 และการสังเคราะห์มีเทน (CH_4) รวมทั้งประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนก็แตกต่างกันไปด้วย สำหรับแกะที่ได้รับเฮย์เป็นอาหารเพียงอย่างเดียว พบว่า มีความเข้มข้นของ TVFAs เท่ากับ 78 mM และสัดส่วน C_2, C_3 และ C_4 มีค่าเท่ากับ 59, 13 และ 6 mM ตามลำดับ สภาวะความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักเท่ากับ 6.5 และความเข้มข้นของ NH_3-N เท่ากับ 8 μM ซึ่งสัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่เหมาะสมคือ 60: 40 สำหรับค่าสหสัมพันธ์ *(Correlation Coefficients, r^2)* ระหว่างสภาวะความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก และ TVFAs, สัดส่วนระหว่าง C_2:C_3 และ แอมโมเนียไนโตรเจน เท่ากับ 0.73, 0.82 และ 0.65 ตามลำดับ นอกจากนี้ พบว่าเมื่อสภาวะความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก ลดต่ำลงอันเนื่องมาจากการเพิ่มระดับอาหารข้นส่งผลต่อการสังเคราะห์ CH_4 ลดลง แต่ในขณะเดียวกันพบว่า ประสิทธิภาพการย่อยได้ของเยื่อใยอยู่ในระดับต่ำ จะเห็นได้ว่าสภาวะความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมักมีผลกระทบโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดของจุลินทรีย์ที่อยู่ในรูเมน การศึกษาถึงบทบาทการทำงานของจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น Pure Culture หรือ Mixed Culture เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์จากสารอาหารต่างๆ (Wanapat and Pimpa, 1999)

นอกจากนี้แล้วระดับของแอมโมเนียไนโตรเจน ก็มีความสำคัญต่อจุลินทรีย์เช่นเดียวกัน โดย Satter and Slyter (1974) ได้ทำการศึกษาโดยในระบบปิดโดย *In vitro* technique พบว่าจุลินทรีย์มีความต้องการแอมโมเนียไนโตรเจน เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตที่ระดับ 4-5 mg/dl ในขณะที่ Wallace (1979) รายงานว่า Pectinolytic Bacteria มีจำนวนเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเสริมยูเรีย โดยแบคทีเรียเหล่านี้สามารถนำแอมโมเนียเข้าสู่เซลล์เพื่อใช้ประโยชน์โดยอาศัยกระบวนการ NAD-linked Glutamate Dehydrogenase ซึ่งถือได้ว่ากระบวนการหลักสำหรับจุลินทรีย์ทุกชนิดในการนำแอมโมเนียไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ อย่างไรก็ตาม พบว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนที่เหมาะสมนั้น จะมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหารหยาบมากกว่าการย่อยสลายอาหารพวกธัญพืช โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนภายในเซลล์จุลินทรีย์ จะมีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนภายในกระเพาะหมัก และส่งผลถึงประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนที่ลดลงถ้าหากแอมโมเนียไนโตรเจนในรูเมนต่ำกว่า 5 mg/dl และคาร์โบไฮเดรทที่ย่อยสลายได้ในรูเมนลดต่ำลง และพบว่าระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนภายในเซลล์จะสูงกว่าภายนอกเซลล์อย่างน้อย 1.6 mg/dl Satter and Slyte (1974) รายงานว่า โคนมที่ได้รับอาหารหยาบหมัก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มีผลทำให้ระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนในของเหลวรูเมนเพิ่มขึ้น 15.7 mg/dl ส่งผลถึงจำนวนประชากรแบคทีเรียทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพของกระบวนการหมักด้วย นอกจากนี้ในแกะที่ได้รับ Citrus Pulp และ Italian Ryegrass Hay ที่มีระดับเยื่อใย Neutral-Detergent Fiber (NDF) ประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนในรูเมนเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลทำให้ความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ ความเข้มข้นของ VFAs และประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนเพิ่มขึ้น ส่วนโคนมที่อยู่ในช่วงการให้ผลผลิต และได้รับถั่วอัลฟ่าหมัก พบว่า ระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนอยู่ในช่วง 18.7-22.9 mg/dl และ ยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือด อยู่ในช่วง 15.0-20.4 mg/dl ส่วนปริมาณผลผลิตน้ำนมอยู่ในช่วง 31.1 - 32.7 kg (Robinson *et al.*, 1991)

นิเวศวิทยากระเพาะหมัก และกระบวนการหมักในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารหยาบเขตร้อน

สัตว์เคี้ยวเอื้องโดยทั่วไปในเขตร้อนได้รับอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำและผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟางข้าว (Wanapat *et al.*, 1999) โดย Preston and Leng, (1987) พยายามที่จะนำแหล่งวัตถุดิบเหล่านี้มาใช้ในระบบการผลิตสัตว์เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิต Leng (1999) กล่าวว่า กลยุทธ์ที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำนมขึ้นอยู่กับการนำใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ภายในท้องถิ่น และเกษตรกรรายย่อยสามารถนำมาใช้ได้ ดังนั้นกลยุทธ์ในการปรับเปลี่ยนนิเวศวิทยากระเพาะหมักจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก เช่น การใช้โปรตีนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (Non-Protein Nitrogen; NPN) และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในกระเพาะหมัก (Rumen By-pass Protein) ตลอดจนการสังเคราะห์ VFAs เพื่อเป็นการเพิ่มสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงาน (Protein/Energy; P/E) ในระดับที่เหมาะสม

ในสภาวะที่โค และกระบือ ที่ได้รับฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบอย่างเต็มที่ พบว่าปริมาณการกินได้เฉลี่ยประมาณ 1.5–2.5 %BW (Wanapat, 1999) ในฟางข้าวมีคาร์โบไฮเดรทชนิดที่เป็นโครงสร้างเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีเยื่อใย Neutral Detergent Fiber (NDF) Acid Detergent Fiber (ADF) Acid Detergent Lignin (ADL) ประมาณ 70-75, 50-55 และ 5-10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนโปรตีนหยาบจะมีอยู่ในระดับต่ำประมาณ 2-4 % และมีอัตราการย่อยสลายในกระเพาะหมักได้ต่ำทำให้ Retention Time ในกระเพาะหมักนานขึ้น (Wanapat, 1999) ส่งผลถึงปริมาณการกินได้ทั้งหมดมากไปกว่านั้นประสิทธิภาพการสังเคราะห์ C_2, C_3 และ C_4 ก็มีแนวโน้มต่ำเช่นเดียวกันมีค่าประมาณ 50, 12 และ 4 mM ตามลำดับ ในขณะที่ระดับ

ของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะหมัก มีค่าต่ำกว่า 3 mg/dl และ สภาวะความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก เท่ากับ 6.5 (Wanapat, 1990)

มันสำปะหลัง *(Manihot esculenta,* Crantz*)*

เป็นพืชหัวที่มีการปลูกอย่างกว้างขวางในพื้นที่เขตร้อนและพื้นที่กึ่งเขตร้อน และสามารถเจริญได้ดีในสภาพดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีฝนตกน้อยรวมทั้งอุณหภูมิสูง จึงมีการปลูกเพื่อเป็นแหล่งรายได้ของเกษตรกรในหลายๆ ประเทศ โดยหัวมันจะมีระดับของพลังงานสูง แต่มีระดับโปรตีนต่ำและสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการหมักในสัตว์เคี้ยวเอื้อง ส่วนของใบมันสามารถใช้เป็นแหล่งของโปรตีนโดยทำการเก็บเกี่ยวพร้อมกับการเก็บหัวมัน อย่างไรก็ตามปริมาณการกินได้ และความสามารถในการย่อยได้ อาจต่ำเนื่องจากมีระดับของคอนเด้นท์แทนนินส์ (Condensed Tannin, CT) สูง (Reed *et al.,* 1982) การเก็บมันทั้งต้นในช่วงต้นของการเจริญเติบโต (3 เดือนหลังปลูก) เพื่อผลิตมันเฮย์สามารถลด CT ลงได้ และมีระดับของโปรตีน (25 % ของวัตถุแห้ง) อันเป็นผลให้เพิ่มคุณค่าทางโภชนะได้สูงยิ่งขึ้น (Wanapat *et al.,* 1997)

องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะ

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีการสะสมอาหารในส่วนรากโดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยแป้งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรทที่ย่อยได้ง่ายสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารสัตว์ จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนะ พบว่า แป้งมัน มันเส้น มันอัดเม็ด เปลือกมัน กากมันสำปะหลัง มีระดับของโปรตีนต่ำ แต่มีส่วนของแป้งหรือพลังงานสูง (เมธาและคณะ, 2538) และนอกจากนี้ เมธาและคณะ (2538) รายงานว่า จากการนำส่วนของใบมันสำปะหลังไปตากแห้ง พบว่าสามารถใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนสำหรับการเลี้ยงสัตว์ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะการใช้ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนะต่าง ๆ ในระดับสูง โดยเฉพาะเป็นแหล่งโปรตีนเสริมมีวัตถุแห้ง (Dry Matter, DM) 90 % และมีโภชนะต่างๆ เมื่อคิดเป็นวัตถุแห้ง พบว่ามีโปรตีนที่ย่อยได้ (Digestible Protein, DP) 18.3 % โภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total Digestible Nutrient, TDN) 56 % โปรตีนหยาบ (Crude Protein, CP) 24.7 % อีเธอร์เอ็กซ์แทรกท์ (Ether Extract, EE) 5.9 % เยื่อใยหยาบ (Crude Fiber, CF) 17.3 % โภชนะที่ไม่ใช่ไนโตรเจน (Nitrogen Free Extract, NFE) 44.2 % เถ้า (Ash) 7.9 % แคลเซียม (Calcium, Ca) 1.5 % ฟอสฟอรัส (Phosphorus, P) 0.4 % เยื่อใย NDF (Neutral Detergent Fiber) 29.6 % และเยื่อใย ADF (Acid

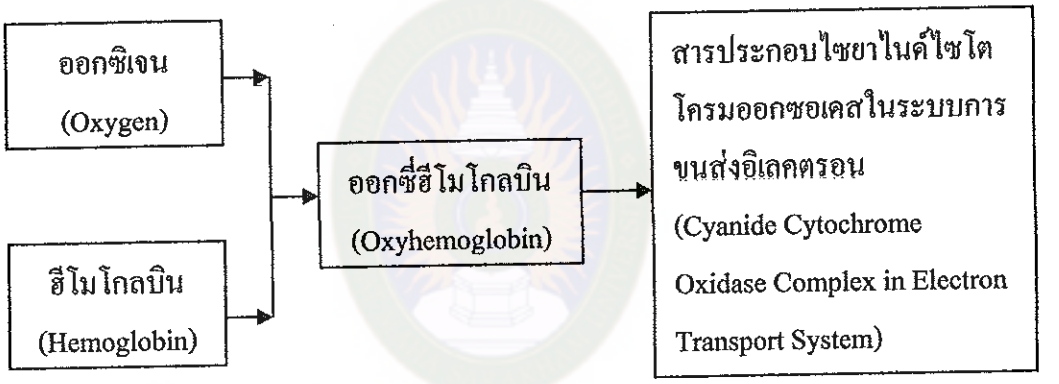
Detergent Fiber) 24.1 % และนอกจากนี้ Wanapat *et al.* (2000) ศึกษาวิจัยโดยทำการเก็บมันทั้งต้นโดยหักเหนือจากพื้น 15-30 เซ็นติเมตร ที่อายุประมาณ 3 เดือน นำมาตากแห้งเพื่อผลิตมันเฮย์ (Cassava Hay, CH) พบว่า มีคุณค่าทางโภชนะสูง และเมื่อเปรียบเทียบกับ Alfalfa Hay และกากถั่วเหลือง (Soybean Meal) พบว่า มีส่วนประกอบของกรดอะมิโนในปริมาณที่สูงกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Methionine (Met) Isoleucine (Ile) Lysine (Lys) และ Threonine (Thr) สอดคล้องกับ Reed *et al.* (1982) ได้ทำการเปรียบเทียบกรดแอมมิโน Met, Lys และ Thr ในใบมันสำปะหลังแห้งถั่วอัลฟัลฟ่าแห้งและกากถั่วเหลือง การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของใบมันเก็บเมื่ออายุ 3 เดือน มีค่า CP เท่ากับ 32 % CF เท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ NDF เท่ากับ 20 % และ ADF เท่ากับ 13 % ตามลำดับ และ พบว่า การเก็บผลผลิตใบมันตามการเก็บเกี่ยวเมื่ออายุประมาณ 10 เดือน จะได้ผลผลิต 1.3 ตัน แต่เมื่อมีการปลูกแบบวิธีใหม่ และเก็บเกี่ยวเมื่ออายุเริ่มต้นที่ 3 เดือน และทุก ๆ 2 เดือน จะได้ผลผลิต 5-8 ตัน โดยน้ำหนักสด หรือ ประมาณ 1.5-2.4 ตันต่อ 6.2 ไร่ โดยน้ำหนักแห้ง

จะเห็นได้ว่า ในใบมันสำปะหลังตากแห้ง สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนโดยมีระดับความเข้มข้นของโปรตีนหยาบในระดับสูง ปริมาณโปรตีนในใบมันสำปะหลังทั้งหมด 13 พันธุ์ พบว่า มีโปรตีนหยาบในใบเฉลี่ย 23.7 % (21.6-25.03 % DM) ถือได้ว่าเป็นใบพืชที่มีโปรตีนสูง สามารถที่จะนำมาเป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารสัตว์ทดแทนแหล่งโปรตีนที่มีราคาสูง เช่น กากถั่วเหลือง แต่การนำใช้ใบมันสำปะหลังเป็นแหล่งโปรตีนยังมีอยู่น้อยซึ่งปริมาณ ใบมันสำปะหลังที่เป็นผลพลอยได้จากการปลูกมันสำปะหลังมีอยู่ในปริมาณที่มาก (เมธาและคณะ, 2538) โดยทำการเก็บเกี่ยวใบมันสำปะหลังเมื่ออายุ 6 เดือน โดยเก็บในส่วนล่างของต้นประมาณครึ่งหนึ่งสามารถเก็บใบมันแห้งได้ถึง 50 กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อไร่ต่อการเก็บเกี่ยว 2 ครั้ง และเมื่อทำการเก็บเกี่ยวหัวมันที่อายุ 8 เดือนจะได้ปริมาณของใบมันทั้งหมดถึง 925 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นใบมันแห้งมากถึง 308 กิโลกรัมต่อไร่ หรือประมาณ 2 ตันต่อ 6.2 ไร่

กลไกการออกฤทธิ์ของกรดไฮโดรไซยานิค

เกิดจากน้ำตาลกลูโคไซด์ ลินามาริน ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลินามาเรส ความเป็นพิษของกรดไฮโดรไซยานิคคือ การเพิ่มอัตราการหายใจ การกระตุ้นการเต้นของชีพจร ตอบสนองต่อการกระตุ้นน้อย มีการกระตุกของกล้ามเนื้อ การเกิดการกระตุ้นของกรดไฮโดรไซยานิค โดยสารโลหะ เช่น ทองแดง เหล็ก และตัวไซยาไนด์ (Cyanide) รวมตัวกับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) เกิดเป็นสารประกอบไซยาโนฮีโมโกลบิน (Cyanohemoglobin) ทำให้การขนส่ง

ออกซิเจนต่ำลงในทางกลับกันกรดไซยาไนด์ (Cyanide) จับกับทองแดงของไซโตรโครมออกซิเดส (Cytochromoxidase) ทำให้เกิดการยับยั้งของน้ำย่อยที่เกี่ยวข้องกับการออกซิเดชั่น (Oxidation) การขนส่งอิเลคตรอน (Electron Transport) ซึ่งเป็นสาเหตุของการชักกระตุกของกล้ามเนื้อ การเกิดความผิดปกติทางเดมีที่เกิดขึ้นจะกดประสาทที่ Medullar Center ทำให้ระบบการหายใจบกพร่อง และทำให้ตายได้ ซึ่งทำให้ขบวนการการหายใจของเซลล์ที่ถูกขัดขวาง ทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนและปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า เซลลูลาร์ไฮพ็อกเซีย (Cellular Hypoxia) หรือ ไซโตทอกซิคแอน็อกเซีย (Cytotoxic Anoxia) ซึ่งทำให้สัตว์ไม่สามารถส่งออกซิเจนให้กับขบวนการขนส่งอิเลคตรอน เป็นผลเนื่องจากการเกิดของสารประกอบไซยาไนด์ไซโตรออกซิ-เดส ดังแสดงในแผนภาพที่ 1



แผนภาพที่ 1 แสดงขบวนการขัดขวางการหายใจของเซลล์จากสารพิษไซยาไนด์
ที่มา: ปิตุนาถ (2547)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

วิธีการลดปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิด

การแปรรูปมันสำปะหลังโดยการฝานหัวมันให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วผึ่งแดด อบ คั่ว ต้ม แช่น้ำ หรือหมัก สามารถลดปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิดลงได้ ในจำนวนวิธีการแปรรูปเหล่านี้การฝานมันให้เป็นแผ่นแล้วผึ่งแดดให้แห้ง เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุด เพราะอุณหภูมิของแสงแดด (ต่ำกว่า 70°C) จะไม่ทำลายเอ็นไซม์เหมือนกับการอบ หรือ ต้มที่อุณหภูมิสูง เอ็นไซม์จึงสามารถทำปฏิกิริยากับไกลโคไซด์ได้นานกว่า และปลดปล่อยกรดไฮโดรไซยานิดออกมาได้มากกว่าการอบหรือต้ม การตากมันสำปะหลังฝานบนลานตากให้ค่อยๆ แห้งอย่างช้าๆ จะช่วยปลดปล่อยกรดไฮโดรไซยานิดออกไปได้มากกว่า ทำให้มีกรดไฮโดรไซยานิด ในมันสำปะหลังแห้งต่ำกว่าการตากให้แห้งเร็ว (สาโรช, 2542) อย่างไรก็ตามมันสำปะหลังที่แห้งช้าจะมีสีดำคล้ำของสารประกอบ Phenols ที่เกิดจากการสลายตัวของแทนนินทำให้มันเส้นมี

รสชาติไม่ชวนกิน และอาจลดอัตราการย่อยโภชนะในมันสำปะหลังลง นอกจากนั้น การอัดเม็ดมันสำปะหลังหรือการเก็บมันสำปะหลังไว้ในโกดังหลังจากแห้งแล้วเป็นเวลา 3-4 สัปดาห์ จะช่วยลดปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคลงได้อีกกว่าเท่าตัว ระดับไฮโดรไซยาไนด์ (Bound) ในมันสำปะหลังไทย เฉลี่ย 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของมันเส้น และ 14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในมันเม็ด ขณะที่ขีดสูงสุดของกรดไฮโดรไซยานิคในมันสำปะหลังที่จะนำเข้ากลุ่มประเทศยุโรปได้อยู่ที่ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของกรดไฮโดรไซยานิคในมันสำปะหลัง นอกจากจะถูกลดโดยการแปรรูปแล้ว ร่างกายสัตว์ยังสามารถขจัดพิษได้โดยที่เอ็นไซม์โรดาเนส (Rhodanese) ในเนื้อเยื่อต่างๆโดยเฉพาะในตับ ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายกำมะถันจากไธโอซัลเฟต ($S_2O_3^-$) ไปให้กรดไฮโดรไซยานิค ออกซิเจน (Oxygen) ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ออกซีฮีโมโกลบิน (Oxyhemoglobin) สารประกอบไซยาไนด์ไซโตโครมออกซิเดสในระบบการขนส่งอิเลคตรอน (Cyanide Cytochrome Oxidase Complex in Electron Transport System) ภายใต้สภาพ Aerobic Condition เปลี่ยนไฮโดรไซยาไนด์เป็นไธโอไซยาเนท (Thiocyanate) แล้วจึงขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ ดังปฏิกิริยาแสดงในแผนภาพที่ 2

$$HCN + Na_2S_2O_3 \xrightarrow[\text{(Sulfurtransferase)}]{\text{Rhodanese}} HSCN + Na_2SO_3$$

แผนภาพที่ 2 ปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายกำมะถัน

ที่มา: ปิตุนาถ (2547)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

กรดอะมิโนเมทไธโอนีน (Methionine) ในอาหารช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาการขจัดพิษนี้ โดย ทำหน้าที่เป็นแหล่ง SH ที่ส่งให้ $S_2O_3^-$ อย่างต่อเนื่องนอกจากนั้นไวตามินบี 12 (Hydroxocobalamin) ก็สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับ CN^- เปลี่ยนไปเป็น Cyanocobalanin ซึ่งเป็นอีกรูปหนึ่งของไวตามินบี 12 ที่ใช้งาน จึงเป็นการช่วยขจัดพิษของกรดไฮโดรไซยานิค อีกทางหนึ่ง ดังนั้นอาหารสูตรมันสำปะหลังจึงควรต้องเสริมเมทไธโอนีนและ B_{12} เพิ่มเติมเพื่อช่วยให้สัตว์ขจัดพิษของไฮโดรไซยาไนด์ได้ดีขึ้น (ปิตุนาถ, 2547)

ระดับของกรดไฮโดรไซยานิคในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง จะผ่านกรรมวิธีการต้มให้เดือดที่อุณหภูมิสูงสามารถทำให้ลดปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิคที่อยู่ในมันสำปะหลังได้ถึง 90 % (Cooke and Maduagwu, 1978) นอกจากนี้การทำให้แห้งในกระบวนการขจัดน้ำออก (Dehydration) โดยใช้แสงแดด (Solar Radiation) พบว่า สามารถลดปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิคในมันสำปะหลังได้ถึง 86 % นอกจากนี้พันธะของ Cyanide ซึ่งผลิตกรดไฮโดรไซยานิคนั้นสามารถระเหยออกไปเมื่อได้รับความร้อนที่ 28 °C (Gomaz *et al.*, 1984) และจากการศึกษาของ Chinh *et al.*, (1992) พบว่าไม่สามารถตรวจพบปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิคในกากมันสำปะหลัง

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

Cassava/Product	Hydrocyanic Acid Content (ppm)
Fresh Whole Root	88.3-416.3
Fresh Pulp	34.3-301.3
Fresh Peel	364.2-814.7
Sundried Whole Root	23.1-41.3
Sundried Pulp	17.3-26.7
Sundried Peel	264.3-321.5
Oven-dried Whole Root	51.7-63.7
Oven-Dried Pulp	23.7-31.3
Oven-Dried Peel	666.8-1250.0
Dried Cassava Root Meal*	-
Leaf Silage*	14.6
Leaf Meal*	18.7

ที่มา : Tewe and Lyayi (1989), * Nhi *et al.*, (2001)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 2 ระดับความเป็นพิษโดยทั่วๆ ไปของกรดไฮโดรไซยานิด (HCN)

ppm HCN (Dry Matter Basis)	Interpretation
0-250	ความเป็นพิษอยู่ในระดับต่ำมาก
250-500	ความเป็นพิษอยู่ในระดับต่ำ
500-750	ความเป็นพิษอยู่ในระดับกลาง การแสดงอาการของสัตว์ยังไม่เป็นที่แน่ชัด
750-1000	ระดับความเป็นพิษสูง เป็นอันตรายต่อตัวสัตว์
>1000	ระดับความเป็นพิษสูงมาก เป็นอันตรายอย่างมากต่อตัวสัตว์

ที่มา : Sandage and Davis (1964)

จากตารางที่ 1 และ 2 พบว่า ปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิดที่มีอยู่ในมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่อผ่านกระบวนการที่ได้รับความร้อน นอกจากนี้จากการศึกษาปริมาณของ Nhi *et al.*, (2001) ไม่พบปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิดที่มีอยู่ในกากมันสำปะหลัง

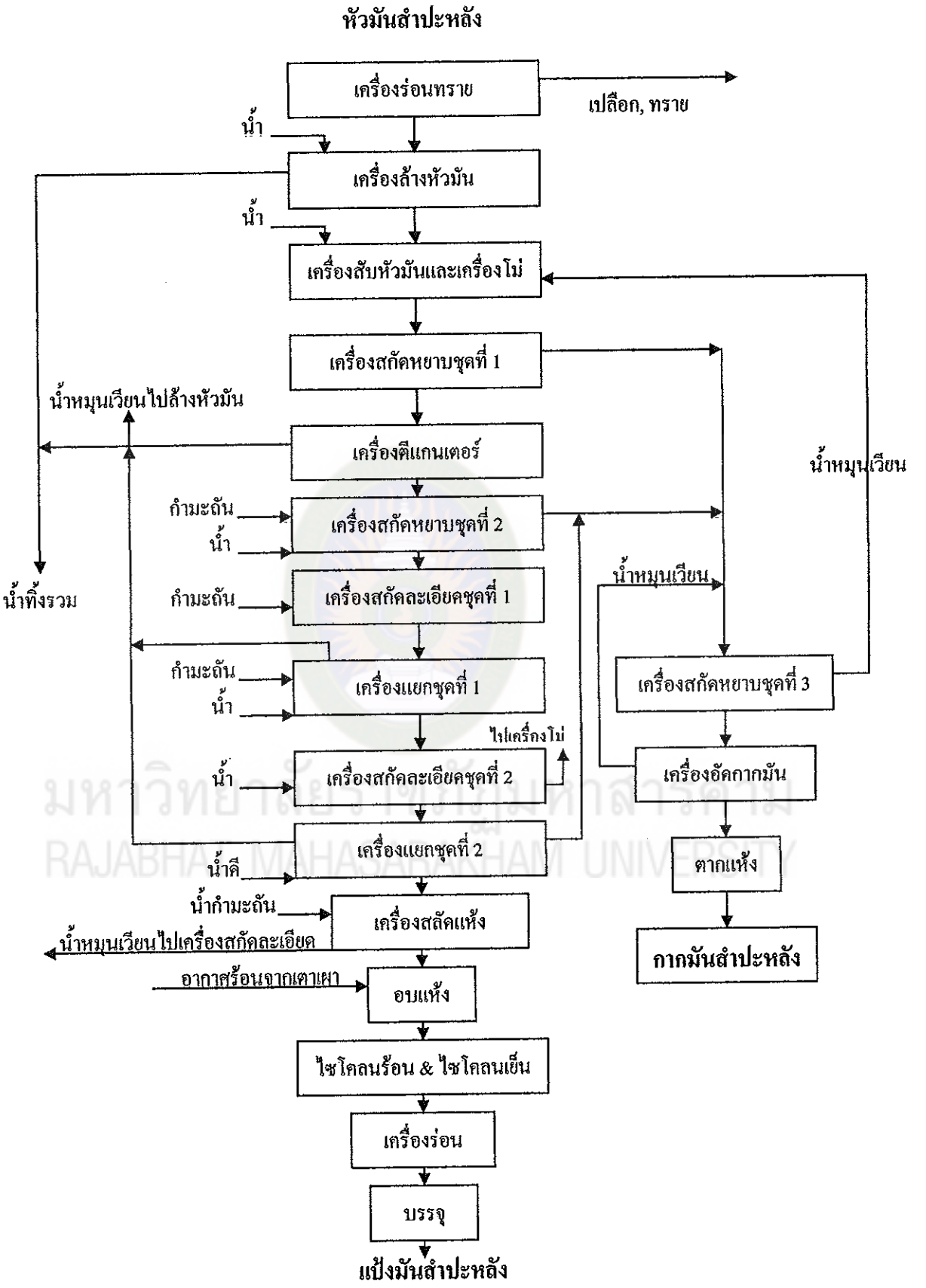
การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

เกรียงศักดิ์ (2533) รายงานว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้รวมถึงค่าการย่อยได้ตลอดทางเดินอาหารของแป้งมันในมันเส้นมีค่าสูงกว่าข้าวเปลือกบดและปลายข้าว ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นค่าพลังงานแล้วมีค่าใกล้เคียงกับข้าวโพดที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหาร (Wanapat *et al.*,1995) ทำการศึกษาเปรียบเทียบถึงอัตราการย่อยสลายของแหล่งพลังงาน 4 ชนิด คือ ข้าวโพดป่น มันสำปะหลังเส้น ปลายข้าวและเปลือกข้าวบด พบว่า อัตราการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในกระเพาะหมัก เรียงจากค่าสูงสุดคือ มันเส้น ข้าวโพดป่น ปลายข้าว และเปลือกข้าวบด ตามลำดับ แสดงให้เห็นผลดังกล่าวว่า แป้งที่เป็นองค์ประกอบหลักในมันเส้นสามารถใช้ประโยชน์ได้ดีในกระเพาะหมัก (Wanapat *et al.*, 1995) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของแหล่งพลังงาน 4 ชนิด ได้แก่ มันเส้น กากน้ำตาล ข้าวโพด และปลายข้าว พบว่าการใช้ประโยชน์ของแหล่งพลังงานทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันในด้านปริมาณการกินได้ของฟางข้าวรวมทั้งรูปแบบ ของกระบวนการหมักในกระเพาะหมักของกระบือทดลอง เมธา และคณะ (2534) ได้ทำการศึกษาการทดแทนมันเส้นในสูตรอาหาร กระบือปลักที่มีข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้น 75 % ในระดับ 0, 25, 50, 75 และ 100 % และได้รับฟางหมัก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ยูเรีย 5 % เป็นอาหารหยาบ พบว่า สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง และอินทรียวัตถุเพิ่มสูงขึ้น ตามระดับการทดแทนมันเส้นในสูตรอาหารแต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของเยื่อใยโดยเฉพาะผนังเซลล์ จะลดลงแต่ระดับของความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน และกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดในกระเพาะหมักไม่แตกต่างกันส่วนรายงานการใช้มันสำหลังในโคนม Satter and Slyter, (1974) ทำการศึกษาการใช้มันสำปะหลังในอาหารข้น 0, 25 และ 50 % ในอาหารโคนมพบว่า ระดับความเป็นกรด-ด่าง ในกระเพาะหมักผลผลิต และองค์ประกอบของน้ำนมไม่มีความแตกต่างทางสถิตินั่นคือสามารถใช้มันเส้นในสูตรอาหารโคนมได้ถึง 50 % และสามารถทดแทนได้ถึง 100 % โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ กระบวนการหมักและผลผลิตทำให้สามารถลดต้นทุนได้มาก Brigstocke *et al.* (1981) ศึกษาการใช้มันอัดเม็ด 40 % ในสูตรอาหารข้นสำเร็จสำหรับโคนมที่เลี้ยงด้วยหญ้าหมักเป็นอาหารหยาบ พบว่า ปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้นจาก 21.1 กิโลกรัมต่อวันเป็น 23.3 กิโลกรัมต่อวัน จึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ และลดต้นทุนการผลิตได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการใช้มันเส้นเป็นแหล่งอาหารพลังงานทดแทนเมล็ดธัญพืชจึงเป็นแนวทางที่จะช่วยลดต้นทุนเรื่องวัตถุดิบอาหารสัตว์สำหรับเกษตรกรได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



แผนภาพที่ 3 กระบวนการทำงานของเครื่องผลิตแป้งมันสำปะหลังในประเทศไทย

ที่มา: กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล (2546)

กากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลัง หมายถึง กากเนื้อมันสำปะหลังที่เหลือหลังสกัดแป้งออกไปแล้ว กากมันเป็นเศษเหลือที่จัดว่ามีมากสุด หากไม่ทำอะไรก็เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้มาก และกากมันสำปะหลังมีแนวโน้มที่จะมากขึ้นเพราะความต้องการพืชพลังงานมีมาก ในขณะนี้กากมันสำปะหลังน่าจะเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด เพราะมีราคาต่ำสุดในมวลแหล่งวัตถุดิบพลังงาน สารพิษในมันสำปะหลัง คือ กรดไฮโดรไซยานิค-ไซยาโนเจเนติกกลูโคไซด์ (Hydrocyanic Cyanogenetic Glucosides) ที่มีชื่อว่า ลิ-นามาริน (Linamarin) และโลเทา-สตราลิน (Lotaustalin) สารทั้งสองนี้ปกติไม่มีพิษมีมากตามหัวและใบมันสารนี้จะเป็นพิษเมื่อเนื้อเยื่อมันสำปะหลังถูกทำลาย สารทั้งสองจะรวมตัวกับน้ำโดยอาศัยเอนไซม์ลินาเรส หรือ เบตากลูโค-ซิเดส ในเนื้อเยื่อมันสำปะหลังกลายเป็นสารพิษในรูปกรดไฮโดรไซยานิค การนำมันสำปะหลังไม่ว่าอยู่ในรูปหัวมันสด ใบมันสด มาสับให้โคกินมีอันตรายถึงตายได้ทันทีหากให้กินในปริมาณมาก วิธีนำมาใช้ที่ถือว่าปลอดภัย 100 % คือการใช้ในรูปมันแห้งหรือมันหมัก ทั้งนี้เพราะการทำแห้งหรืออบแห้งจะทำให้สารกลูโคไซด์สลายตัวหมดความเป็นพิษ ส่วนการหมักนั้นจะทำให้ได้ กรดอินทรีย์ ซึ่งในระหว่างนั้นจะเกิดสารไฮโดรไลส์ สารกลูโคไซด์เป็นแก๊สไฮโดรไซยาไนด์ระเหยออกไปจากบ่อหมักก็หมดความเป็นพิษ กากมันเกิดจากกระบวนการสกัดเอาแป้งออก ซึ่งในระหว่างกระบวนการแยกแป้งจะมีการบดมันล้างมัน กรองน้ำแป้งมันบีบอัดน้ำแป้ง ซึ่งทุกขั้นตอนนี้ จะเป็นการละลายเอาสารกลูโคไซด์ซึ่งจะละลายน้ำดีมากออกไป ปริมาณสารพิษกรดไฮโดรไซยานิดจะหลงเหลือประมาณ 10–30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องตามอายุการเก็บ การใช้ในรูปกากมันสดจึงใช้ได้ ต่างกับการใช้หัวมันหรือมันสด ดังแสดงในแผนภาพที่ 3

ผลพลอยได้จากมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

1. ใบมันสำปะหลัง

ใบมันสำปะหลังเป็นพืชอาหารสัตว์ที่มีโปรตีนสูงจากการนำส่วนของใบ กิ่งใบ นำมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆแล้วนำไปตากแดดหรือหมัก กรณีนำไปหมักควรหมักให้ครบ 21 วัน ซึ่งจะทำให้มีโปรตีนสูง 15-17 % (ใบมันสำปะหลังที่ตัดจากต้นก่อนทำการเก็บหัวมัน) การนำใบมันสำปะหลังมาทำให้แห้งหรือหมัก จะช่วยลดปริมาณไฮโดรไซยานิดลงระดับต่ำเพียง 0.3 % ซึ่ง

ปลอดภัยสำหรับอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง (ระดับความเป็นพิษของไซยาไนด์ที่ทำให้โคตายมีค่าเท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวสัตว์) (อภินันท์, 2550)

จากการรายงานของ จิราภรณ์ (2554) กล่าวว่า ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยสูญเสียโปรตีนในรูปของใบมันสำปะหลังปีละ 1 แสนตัน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งประเทศไทย จึงวิจัยหาสารพิษไซยาไนด์ เพื่อจะได้นำใบมันสำปะหลังมาใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนสำหรับสัตว์ โดยมีจุดมุ่งหมายที่ง่าย และสะดวก เกษตรกรสามารถทำได้เองในระดับท้องถิ่นโดยใช้การหมักใบมันสำปะหลังเพื่อทำลายสารพิษไซยาไนด์กระทำได้ 2 วิธี คือ

1. หมักโดยใช้แบคทีเรียธรรมชาติโดยการนำเอาใบมันสำปะหลังมาทำให้ช้ำอัดให้แน่นในหลุม 3 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์ธรรมชาติที่ใช้อากาศน้อย (Facultative Bacteria) เจริญเติบโต การหมักแบบธรรมชาตินี้สามารถลดสารไซยาไนด์ได้ประมาณ 30 % และเมื่อผึ่งแดดอีก 2 วัน (วันละประมาณ 7 ชั่วโมง) จะทำให้สารไซยาไนด์ลดลง ไปได้ประมาณ 94 % โดยที่ปริมาณของโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตยังคงเดิม คือมีเท่าใบมันสด

2. หมักโดยใช้เชื้อราบริสุทธิ์ (Mold Inoculum) ใช้เวลา 7 วัน ได้คัดเลือกสายพันธุ์เชื้อราที่สามารถเจริญเติบโตโดยใช้ใบมันได้ และเป็นเชื้อราที่ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตอาหารซึ่งจะไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ การหมักโดยใช้ราบริสุทธิ์นี้สามารถลดสารไซยาไนด์ได้ประมาณ 94 % เช่นกัน โดยปริมาณโปรตีนของ ใบมันหมักเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่คาร์โบไฮเดรตจะลดลงกว่าใบมันสด ใบมันที่หมักได้ที่แล้วอาจนำไปผสมกับอาหารเลี้ยงสัตว์โดยตรงหรือจะเก็บไว้ใช้ภายหลัง จากที่ทำให้แห้งโดยการผึ่งแดด

ใบมันหมักตากแห้งที่ได้จากกรรมวิธีทั้ง 2 นี้ เมื่อนำไปเลี้ยงโคในระยะเติบโตปรากฏว่าได้ผลดีโดยใช้ใบมันแทนที่โปรตีนจากพืช เช่น ถั่วเหลือง ในสูตรอาหารได้สูงถึง 80 % และกระบือเจริญเติบโตได้ดีโดยไม่มีอาการเป็นพิษเนื่องจากไซยาไนด์ เมื่อคำนวณราคาโปรตีนที่ใช้ในอาหารจะลดต้นทุนได้จากเดิมประมาณ 2 บาท ต่อราคาโปรตีนที่ใช้ในการเพิ่มน้ำหนักกระบือ 1 กิโลกรัม

2. กากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังเป็นเศษเหลือที่จัดได้ว่ามีมากที่สุด และยังมีโภชนะที่ยังเหลืออยู่แม้จะผ่านกระบวนการบีบแป้งออกไปแล้วก็ตาม โภชนะที่หลงเหลืออยู่นั้นใกล้เคียงกับวัตถุดิบอาหารอื่นๆหากไม่ทำอะไรทิ้งไว้ก็จะเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้มาก และ กากมันมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นเพราะความต้องการพืชพลังงานมีมากในขณะนี้กากมันดูจะเป็นตัวเลือกที่ดีสุดเพราะมีราคาต่ำสุดในมวลแหล่งวัตถุดิบพลังงาน (0.05-0.20) บาทต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด 1.00-

2.5 บาทต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) หากเรานำกากมันสดมาหมักโดยใช้เวลาประมาณ 20 วันจะพบว่ากากมันหมักมีค่าความเป็นกรดด่างที่ 3.2 และเมื่อนำไปวิเคราะห์ทางเคมี จะมีค่าน้ำหนักแห้ง 19.7 % โปรตีน 2.6 % ไขมัน 0.2 % (กองอาหารสัตว์, 2550) ซึ่งยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูงที่สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถนำไปใช้ได้ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนะของกากมันสำปะหลังกับวัตถุดิบอาหารต่างๆ

ชนิดมันสำปะหลัง	องค์ประกอบ (%)								
	DM	CP	Fat	NDF	ADF	CF	Ash	NFC	pH
มันสำปะหลัง	90.0	2.21	0.45	10.72	5.74	4.45	3.66	82.96	-
กากมันสำปะหลังแห้ง	94.2	1.64	-	25.65	17.79	-	1.79	-	4.99
กากมันสำปะหลังสด	21.0	3.18	0.18	27.05	18.58	-	2.33	55.30	4.64
กากมันสำปะหลังหมัก	26.5	2.76	0.17	27.71	18.70	-	3.38	40.83	3.27
ปลายข้าว	87.9	7.74	1.11	-	-	0.55	1.42	-	-
เมล็ดข้าวโพด	89.2	11.2	3.97	79.38	8.32	3.66	2.07	3.28	-

ที่มา: Aina (1997)

นอกจากนี้ยังมีกากแป้งมันสำปะหลังที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการแปรรูปเพื่อผลิตแป้งมัน ก็สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานผสมในสูตรอาหารสัตว์ได้ ซึ่งคุณค่าทางโภชนะของผลพลอยได้จากมันสำปะหลังดังแสดงในตารางที่ 4

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของส่วนต่างๆ ของมันสำปะหลัง

คุณค่าทางโภชนะ (%)	ใบมันสำปะหลังแห้ง/ป่น	ใบและยอดมันสำปะหลังแห้ง	ใบและยอดมันสำปะหลังหมัก	กากแป้งมันสำปะหลัง
ความชื้น	9.28	8.31	70.13	11.27
โปรตีนรวม	23.10	18.45	13.91	1.83
เยื่อใย	21.11	19.87	17.61	0.43
ไขมัน	7.24	5.22	11.02	10
เถ้า	5.72	8.24	9.67	3.64
โภชนะย่อยได้รวม	58	67.12	72.41	65-70

ที่มา : ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ชัยนาท (2553)

วิโรจน์ และคณะ (2552) กล่าวว่า การนำใช้มันสำปะหลังไม่ว่าอยู่ในรูปหัวสด ใบมันสด นำมาสับให้โคกินมีอันตรายถึงตายได้ทันที หากให้กินในปริมาณมาก การใช้หัวและใบมันสำปะหลังมีวิธีนำมาใช้ถือว่าปลอดภัย 100 % คือการใช้ในรูปแห้ง หรือมันหมัก การใช้กากมันก็เช่นกันสามารถใช้ในรูปแห้งหรือหมักก็ได้ ทั้งนี้เพราะการทำให้แห้งจะทำให้สารกลูโคไซด์สลายตัวหมดความเป็นพิษ ส่วนการหมักจะทำให้กรดอินทรีย์ซึ่งในระหว่างนั้นจะเกิดการไฮโดรไลส์เป็นแก๊สไฮโดรไซยาไนด์ระเหยออกจากบ่อหมักก็หมดความเป็นพิษ

กากมันเกิดจากกระบวนการสกัดเอาแป้งออกซึ่งในระหว่างการแยกแป้งจะมีกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะไปละลายเอากลูโคไซด์ออกมาได้มากถึง 90 % ปริมาณไฮโดรไซยาไนด์จะหลงเหลือประมาณ 10-30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ Brigstocke *et al.* (1981) กล่าวว่า ในปัจจุบันเราสามารถใช้กากมันแห้งในอาหารโคนมสูตรรวม (ทีเอ็มอาร์) สูงถึง 60 % (คิดเป็นน้ำหนักแห้ง) หากใช้ในรูปกากสดหรือหมักในอาหารผสมสำเร็จ (TMR) ได้สูงถึง 40 % (คิดเป็นน้ำหนักแห้ง) โดยไม่เป็นผลเสียต่อการเจริญเติบโต การให้นม และการผสมติด ที่สำคัญกากมันสดหรือหมักแล้วสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตอาหารได้มาก เนื่องจากราคาของกากมันสดถูกเมื่อเปรียบเทียบกับมันสำปะหลัง ซึ่งสามารถใช้ทดแทนกันได้ ส่วนระดับการนำใช้ในสูตรอาหารทั้งในรูปอาหารข้น และสูตรอาหารผสมสำเร็จที่เหมาะสมในโครยะต่างๆ ดังในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงระดับเปอร์เซ็นต์สูงสุดของกากมันสำปะหลังแนะนำในสูตรอาหารโค

รายการ	กากมันแห้ง		กากมันสด/หมัก	
	อาหารข้น	อาหารผสมสำเร็จ	อาหารข้น	อาหารผสมสำเร็จ
ลูกโคนมก่อนหย่านม	15	10	-	-
ลูกโคหลังหย่านม	20	15	-	20
โครุ่นอายุ 1 ปี	40	30	-	40
โคตั้งท้อง	50	30	-	40
โครีดน้ำนม	60	40	-	50

ที่มา: Adegbola (1977)

จากการรายงานของ ผกาพรรณ (2551) กล่าวว่า เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นเศษเหลือจากการผลิตแป้งมีลักษณะเปียก มีความชื้นสูงประมาณ 75-80 % เมื่อทิ้งไว้ในสภาพให้สัมผัสกับอากาศจะมีเชื้อราเจริญเติบโตขึ้น ทำให้เกิดการบูดเน่า สีของกากมันสำปะหลังจะเปลี่ยนเป็นสีเทา - ดำ มีกลิ่นเหม็น ลักษณะไม่น่ากิน จึงได้ทำการศึกษาวิธีการเก็บรักษากากมันไว้ไม่ให้บูดเน่า พบว่า รูปแบบของการนำกากมันสำปะหลังมาใช้ในการเลี้ยงกระบือ ที่เหมาะสำหรับเกษตรกร คือ การหมักในสภาพไร้อากาศ โดยบรรจุในถุงพลาสติกหนาพอสมควร ผูกปากถุงให้แน่นมีอากาศหลงเหลืออยู่น้อยที่สุด เป็นเวลา 21 วัน สามารถนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ได้ โดยทำการทดลองใช้กระบือ 15 ตัว สุ่มเข้าทดลองแบบ 2×2 แฟคทอเรียล ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD)โดยกระบือทดลอง 3 กลุ่ม ได้รับการทดลองดังนี้ กลุ่มที่ 1 จำนวน 5 ตัว เลี้ยงในคอกเดี่ยวให้หญ้าสด (หญ้าขน) กินเต็มที่และเสริมอาหารกากแป้งมันเปียกหมักเต็มที่ และกลุ่มที่ 2 จำนวน 5 ตัว เลี้ยงในคอกเดี่ยว ให้หญ้าสดกินเต็มที่ และเสริมอาหารกากแป้งมันเปียกกับกากน้ำตาล 5 % เต็มที่กลุ่มที่ 3 จำนวน 5 ตัว เลี้ยงปล่อยแทะเล็ม และเสริมกากแป้งมันเปียกหมักเต็มที่ พบว่า

1. กระบือที่ปล่อยเลี้ยงแทะเล็มในแปลงหญ้าร่วมกับได้รับกากแป้งมันสำปะหลังได้มากกว่ากระบือที่เลี้ยงในคอกประมาณ 2 เท่า (10.6 และ 4.9 กิโลกรัม/วัน) การเจริญเติบโตสูงกว่า 1.5 เท่า (0.53 และ 0.35 กิโลกรัม) แต่ใช้กากแป้งมันสำปะหลังหมักในการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม มากกว่ากระบือที่เลี้ยงในคอก 1.7 เท่า (30.1 และ 17.8 กิโลกรัม ตามลำดับ)

2. กระบือที่กินกากแป้งมันสำปะหลังหมักอย่างเดียวมีการเจริญเติบโตดีกว่ากระบือที่กินกากแป้งมันสำปะหลังร่วมกับกากน้ำตาล 5 % (เฉลี่ย 0.56 และ 0.33 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน) ทั้งที่กินหญ้าสดและกากแป้งมันหมักในปริมาณใกล้เคียงกัน ซึ่งเท่ากับกระบือกลุ่มแรกใช้หญ้าสดและกากแป้งมันหมักในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม น้อยกว่ากลุ่มหลัง

3. กระบือกลุ่มที่ปล่อยให้แทะเล็มหญ้าและเสริมด้วยกากแป้งมันหมักอย่างเดียวมีการเพิ่มน้ำหนักตัวต่อกันสูงสุด (เฉลี่ย 0.69 กิโลกรัม) รองลงมาเป็นกระบือกลุ่มที่เลี้ยงในคอกเสริมด้วยกากแป้งมันหมัก ดังนั้น จึงสามารถใช้กากแป้งมันหมักเป็นอาหารเสริมในการเลี้ยงกระบือได้เป็นอย่างดี กระบือสามารถทดแทนการกินหญ้าที่มีไม่เพียงพอ ได้ด้วยการกินกากแป้งมันหมักเพิ่มขึ้นเพื่อการเจริญเติบโต

ซึ่งสอดคล้องกับ วรเทพ (2552) กล่าวว่า โคเนื้อที่เลี้ยงด้วยด้วยอาหารที่มีคุณภาพดีเพื่อส่งตลาดระดับสูงมีข้อจำกัดเกี่ยวกับแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีอยู่ในรอบปี และความผันแปรของราคาอาหารสัตว์ที่มีแต่ปรับตัวสูงขึ้น การขุนโคเนื้อจึงต้องลงทุนสูง ดังนั้น การดำเนิน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

กิจการจึงจำกัดอยู่ในกลุ่มเกษตรกรที่มีฐานะทางการเงินดีหรือค่อนข้างดี ดังเช่น กลุ่มผู้เลี้ยงโคเนื้อพันธุ์กำแพงแสน อย่างไรก็ตาม มีเกษตรกรรายย่อยอีกเป็นจำนวนมากที่สนใจเลี้ยงโคเนื้อพันธุ์กำแพงแสนซึ่งเป็นโคที่พัฒนาขึ้นมาในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน การใช้วัสดุอาหารสัตว์ที่มีคุณค่าต่ำแต่มีปริมาณมากในรอบปี ราคาถูก และมีอยู่ในท้องถิ่น เช่นกากแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นเศษเหลือจากโรงงานผลิตแป้งมัน น่าจะมีบทบาทช่วยลดต้นทุนการผลิตในการนำมาประกอบในอาหารเลี้ยงโค และเพื่อให้เป็นทางเลือกของเกษตรกรรายย่อยในการเลี้ยงโคกำแพงแสนอีกรูปแบบหนึ่ง จึงได้ทำการทดลองโดย ใช้โคเนื้อพันธุ์กำแพงแสนจำนวน 12 ตัว จัดเข้าการทดลองแบบจับคู่ สัตว์ทดลองสองกลุ่มมีอายุเมื่อเริ่มทดลอง 602 วัน และ 563 วัน ดังแสดงต่อไปนี้สูตรที่ 1 หญ้าสด (หญ้าขน) และกากแป้งมันหมัก (อย่างเดียว) ให้กินเต็มที่และเสริมกากปาล์ม 0.5 กิโลกรัม สูตรที่ 2 หญ้าสด และกากแป้งมันหมัก (อย่างเดียว) ให้กินเต็มที่และเสริมกากปาล์ม 1.5 กิโลกรัม โดยการจัดการดังนี้ให้อาหารแต่ละสูตรกับโคที่จับคู่กัน ทำการสุ่มโคแต่ละคู่จัดให้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกันมากที่สุด แต่ละตัวอยู่ในคอกเดี่ยว ให้หญ้า 2 เวลา เช้า และบ่าย ส่วนกากแป้งมันหมักและกากปาล์มผสมรวมกันให้หลังให้หญ้าเวลาบ่ายแล้ว แร่ธาตุและน้ำเตรียมไว้ให้อย่างพอเพียงในคอกพบว่าดังนี้

1. สมรรถภาพการเจริญเติบโต โคที่ศึกษาเปรียบเทียบสองกลุ่มนี้น้ำหนักเริ่มทดลองใกล้เคียงกันคือ 193.18 กิโลกรัม ของกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 194.03 กิโลกรัม ของกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 โดยโคทั้งสองกลุ่มมีการเพิ่มน้ำหนัก 12.53 และ 37.52 กิโลกรัม คิดเป็นอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน 0.13 และ 0.40 กิโลกรัม ซึ่งความแตกต่างของการเจริญเติบโตของทั้งสองกลุ่มมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

2. ปริมาณอาหารที่กิน ตามที่ได้ให้อาหารโปรตีน คือ กากปาล์มในระดับแตกต่างกัน 3 เท่าในสูตรอาหาร 2 สูตร คือ 0.5 และ 1.5 กิโลกรัมต่อวัน นั้น ปริมาณการกินได้จริงมีค่าเฉลี่ย 0.46 และ 1.39 กิโลกรัม/วัน สำหรับหญ้าและกากแป้งมันหมักที่ให้กินเต็มที่ ปริมาณที่โค 2 กลุ่มกินได้ต่อวันมีค่าใกล้เคียงกัน คือ กลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 กินหญ้า 12.16 กิโลกรัม กากแป้งมันหมัก 6.07 กิโลกรัม กลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 กินหญ้า 12.39 กิโลกรัม กากแป้งมัน 6.01 กิโลกรัม

3. ปริมาณอาหารที่ใช้เพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ผลการทดลองพบว่าหญ้าและกากแป้งมันหมักที่ใช้ในการเพิ่มน้ำหนักตัวโค 1 กิโลกรัม ของโคสองกลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โคกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ต้องกินหญ้าถึง 101.34 กิโลกรัม กากแป้งมันหมัก

49.03 กิโลกรัม ในขณะที่โคที่ได้รับสูตรอาหารที่ 2 กินหญ้าเพียง 31.31 กิโลกรัม และกากแป้งมันหมัก 15.56 กิโลกรัม ส่วนกากปาล์มนั้น โคทั้งสองกลุ่มใช้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันคือ 3.88 และ 3.51 กิโลกรัม สำหรับโคที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

4. ต้นทุนค่าอาหารที่ใช้ในการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมได้คำนวณค่าอาหารสัตว์ที่ใช้จากวัสดุอาหารสัตว์ คือ หญ้า กิโลกรัมละ 0.50 บาท กากแป้งมันหมัก 0.23 บาทต่อกิโลกรัม กากปาล์ม 2.58 บาทต่อกิโลกรัม พบว่าโคกลุ่มที่ใช้อาหารสูตรที่ 2 มีต้นทุนค่าอาหารเลี้ยงโคให้โต 1 กิโลกรัม น้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 ถึง 2.6 เท่า และความแตกต่างของต้นทุนค่าอาหารสัตว์ของโค 2 กลุ่มนี้ มีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามพบว่า การเลี้ยงโคขุนพันธุ์กำแพงแสนโดยให้กินหญ้าขนสดและกากแป้งมันหมักอย่างเดียวให้การเจริญเติบโตต่ำมาก นอกจากนี้ การเลี้ยงโคขุนพันธุ์กำแพงแสนโดยให้กินหญ้าขนสด และกากแป้งมันหมักเสริมด้วยกากปาล์ม 1.5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ทำให้โคสามารถเจริญเติบโตได้ดีขึ้นและต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักโคใกล้เคียงกับการทดลองที่รายงานไว้ ดังแสดงในตารางที่ 6

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 6 สมรรถภาพการเจริญเติบโตและต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักของโคพันธุ์กำแพงแสน 2 กลุ่ม ที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

ลักษณะ	อาหารสูตร 1 หญ้า +กากมันหมัก + กากปาล์ม 0.5 กิโลกรัม	อาหารสูตร 2 หญ้า + กากมันหมัก + กากปาล์ม 1.5 กิโลกรัม	นัยสำคัญทางสถิติ
อายุเมื่อเริ่มทดลอง(วัน)	602	563	ns
ระยะเวลาทดลอง(วัน)	93	93	
น้ำหนักเริ่มต้น(กิโลกรัม)	193.18	194.03	ns
น้ำหนักสุดท้าย(กิโลกรัม)	205.72	231.55	**
น้ำหนักเพิ่มตลอดการทดลอง(กิโลกรัม)	12.53	37.52	**
น้ำหนักเพิ่มต่อวัน(กิโลกรัม)	0.13	0.40	**
อาหารที่กินต่อวัน(กิโลกรัม)			
หญ้า	12.16	12.39	ns
กากแป้งมันหมัก	6.07	6.01	ns
กากปาล์ม	0.46	1.39	**
อาหารที่กินเพื่อน้ำหนักเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม (กิโลกรัม)			
หญ้า	101.34	31.31	**
กากแป้งมันหมัก	49.03	15.56	**
กากปาล์ม	3.88	3.51	ns
ต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม(บาท)	73.70	28.44	*

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P< 0.01$)

ที่มา: วรเทพ (2552)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3. เปลือกมันสำปะหลัง

การใช้เปลือกมันสำปะหลังเป็นการแสวงหาวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากการเกษตรซึ่งมีราคาถูกมาเป็นส่วนผสมในอาหาร โดยที่เปลือกมันสำปะหลังมีคุณสมบัติเป็นได้ทั้งอาหารพลังงาน และอาหารเยื่อใย สามารถใช้เป็นส่วนผสมได้ทั้งอาหารข้นและอาหารสำเร็จรูปได้เป็นอย่างดี ซึ่งนอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของเปลือกมันสำปะหลังแล้วยังสามารถช่วยลดภาระในการกำจัดได้อีกทางหนึ่ง

Ifut (2005) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เปลือกมันสำปะหลังร่วมกับอาหารหยาบที่มีใบแคฝรั่ง และหญ้ากินนีเป็นองค์ประกอบของแพะพันธุ์ West African Dwarf เพศผู้จำนวน 24 ตัว อายุ 6-9 เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 6.05 กิโลกรัม ระยะการทดลอง 90 วัน กับสูตรอาหาร 6 สูตร คือ 1) ใบแคฝรั่ง 100 %, 2) หญ้ากินนี 100 %, 3) เปลือกมันสำปะหลัง 100 %, 4) ใบแคฝรั่ง 35 % + หญ้ากินนี 35 % + เปลือกมันสำปะหลัง 30 %, 5) ใบแคฝรั่ง 70 % + เปลือกมันสำปะหลัง 30 % และ 6) หญ้ากินนี 70 % + เปลือกมันสำปะหลัง 30 % ผลการทดลองพบว่า อาหารสูตรที่ 4 ประกอบด้วย ใบแคฝรั่ง 35 % + หญ้ากินนี 35 % + เปลือกมันสำปะหลัง 30 % มีปริมาณการกินได้สูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากการใช้วัตถุดิบอาหารมากชนิดกว่าในสูตรอื่นๆ และยังมีองค์ประกอบของแป้งในอาหารจากเปลือกมันสำปะหลังสูงด้วย ทำให้จุลินทรีย์มีอาหารพลังงานใช้ได้มากกว่าประกอบกับความน่ากินของอาหารมีมากกว่า ในขณะที่ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ มีระดับสูงสุดในสูตรที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยที่อาหารสูตรที่ 1 มีการย่อยได้ย่อยได้ของวัตถุแห้งต่ำที่สุด

Akinsoyinu (2003) ได้ทดลองใช้เปลือกมันสำปะหลังแทนข้าวโพดกับแพะพันธุ์ West African Dwarf อายุ 14-16 เดือน น้ำหนัก 13-15 กิโลกรัม เป็นเวลา 90 วัน โดยมีสัดส่วนของข้าวโพดและเปลือกมันสำปะหลังที่ระดับ 100:0 50:50 และ 0:100 โดยใช้มูลไก่เป็นแหล่งโปรตีนให้กินอาหารและหญ้าอย่างเต็มที่ พบว่า ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง อัตราการเจริญเติบโต การย่อยได้ของวัตถุแห้งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

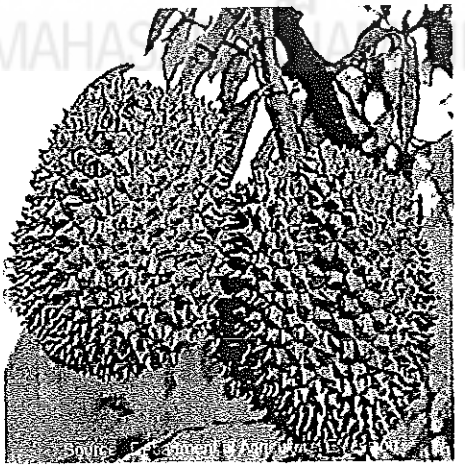
Areghore (1996) ได้ทำการทดลองใช้เปลือกถั่วลิสง, ซังข้าวโพด และเปลือกมันสำปะหลังเสริมลงในอาหารที่ใช้เลี้ยงแพะน้ำหนัก 12-14 กิโลกรัม อายุ 10 เดือน ที่ระดับ 30 % พบว่า การเจริญเติบโตต่อวันของแพะที่กินอาหารที่เสริมด้วยเปลือกถั่งลิสง ซังข้าวโพด และเปลือกมันสำปะหลัง มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (30, 40, และ 42 กรัม ตามลำดับ) นอกจากนั้น Areghore (2000) ยังได้ทดลองเปรียบเทียบการใช้เปลือกมันสำปะหลัง

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เปลือกถั่วลิสง และซังข้าวโพด ในรูปอาหารผสมสำเร็จแบบเปียกในแพะน้ำหนัก 12 กิโลกรัม และแกะน้ำหนัก 14 กิโลกรัม อายุ 16-18 เดือน พบว่า การย่อยได้โดยรวมของเปลือกมันสำปะหลังของแพะสูงกว่าเปลือกถั่วลิสงและซังข้าวโพด คือ 70.9, 63.4 และ 65.4 % ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

Baah *et al.* (1999) ได้ศึกษาถึงการใช้เปลือกมันสำปะหลังในแกะ Djallonke Wethar อายุ 6 เดือน น้ำหนัก 13-15 กิโลกรัม โดยการเสริม Ficus Leaves ในระดับ 0, 50, 100, 150, 200 และ 250 กรัมต่อวัน พบว่า การใช้เปลือกมันสำปะหลังโดยไม่มีการเสริม Ficus Leaves พบว่าแกะมีปริมาณการกินได้ต่ำ คือ 44.0 กรัม น้ำหนักลดลง 11 กรัมต่อวัน แต่เมื่อมีการเสริม Ficus Leaves ที่ระดับ 250 กรัมต่อวัน แกะมีการเจริญเติบโตที่เพิ่มสูงขึ้น 53 กรัมต่อวัน ปริมาณการกินได้เพิ่มสูงขึ้นเป็น 81.2 กรัมต่อวัน เป็นไปในทำนองเดียวกันกับ Adeloye *et al.* (1993) ที่ทดลองใช้เปลือกมันสำปะหลังเป็นอาหารแพะพันธุ์ Sokoto Red น้ำหนัก 6-7.5 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับการใช้ Pakia Hay ในสูตรอาหาร 5 สูตรคือ เปลือกมันสำปะหลัง 100, 25, 50, 75 กรัม และ Pakia Hay 100 กรัม พบว่า ปริมาณการกินได้ของเปลือกมันสำปะหลังที่ระดับ 100 ต่ำกว่าการกินได้ของ Pakia Hay 100 เท่ากับ 137 และ 153 กรัมต่อวัน และปริมารการกินได้สูงขึ้นมากกว่า 200 กรัมต่อวัน เมื่อเริ่มทดแทนด้วยเปลือกมันสำปะหลังในระดับ 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ทุเรียน (Durian)



ภาพที่ 1 ทุเรียน *Durio zibethinus*

ที่มา : อภิชัย (2552)

ทุเรียน ชื่อวิทยาศาสตร์ *Durio zibethinus* เป็นไม้ผลพื้นเมืองของเอเชียตะวันออก-เฉียงใต้ ลักษณะเป็นไม้ต้นขนาดใหญ่ มีพูพอน เนื้อไม้สีแดงเข้ม ใบเดี่ยว เรียงเวียน รูปรีถึงรูปใบหอก ด้านหลังใบเกลี้ยง เป็นมัน มีร่างแหหนาแน่น ด้านท้องใบมีขนรูปดาวสีทองหรือสีเงินปกคลุมหนาแน่น ช่อดอกออกบนกิ่งเก่า เป็นกระจุกของช่อเชิงหลั่น ประกอบด้วย 3-30 ดอก ผลแห้งแตก รูปทรงกลม รูปไข่ รูปรี ปกคลุมด้วยหนามรูปสามเหลี่ยมจำนวนมาก เมล็ดมีเยื่อหุ้มเมล็ดปกคลุมมิดชิด นุ่ม สีขาวหรือเหลือง มีรสหวาน (อภิชัย, 2552) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งของไทย โดยเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งในและต่างประเทศโดยมีมูลค่าการส่งออกในแต่ละปีไม่น้อย ส่วนตลาดในประเทศก็เป็นที่นิยมรับประมานกันมากของคนทั่วไป เนื่องจากปัจจุบันเกษตรกรสามารพัฒนาให้สามารถออกผลผลิตได้เกือบตลอดปี เปลือกทุเรียนซึ่งเป็นของเหลือทิ้ง จำนวนมากและเป็นปัญหาในการกำจัดทิ้ง มีส่วนประกอบที่เป็นเส้นใยค่อนข้างมาก โดยนอกเหนือจากส่วนที่เป็นพอลิแซคคาไรด์แล้ว ยังประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเยื่อเซลลูโลสสูงถึง 30 % ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในการเตรียมซีเอ็มซี จากการศึกษาที่ผ่านมา เกณฑ์ขั้นต่ำของคุณภาพทางเคมี สำหรับวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้เตรียมเซลลูโลสคุณภาพสูงไว้ดังนี้ มีแอลฟาเซลลูโลสไม่ต่ำกว่า 29 % มีลิกนินไม่เกิน 22 % มีเถ้าไม่เกิน 9 % และมีเพนโตแซน (Pentosans) ไม่เกิน 32 % ซึ่งจากงานวิจัยถึงส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนพบว่า เปลือกทุเรียนมีคุณภาพทางเคมีอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำมาใช้เตรียมเยื่อเซลลูโลสคุณภาพสูงได้ ประกอบกับการพิจารณาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ (กฤษณา, 2553)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน (กฤษณา, 2553)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส หรือซีเอ็มซี (Carboxy Methyl Cellulose, CMC) หรือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium Carboxymethylcellulose) เป็นสารจำพวกเซลลูโลสอีเทอร์ชนิดหนึ่งสามารถสังเคราะห์ ได้จากการทำปฏิกิริยาของแอลฟา-เซลลูโลสปริมาณสูงกับอีเธอริไฟอิง เอเจนต์ (Etherifying Agent) ในภาวะด่าง ซึ่งในบรรดาทั้งหมดของเซลลูโลสอีเทอร์ ซีเอ็มซีนับว่าเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญมากตัวหนึ่งในอุตสาหกรรมหลายชนิด โดยซีเอ็มซีเมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายหนืดใส ไม่มีกลิ่น และไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มากมาย อาทิ อุตสาหกรรมสารซักฟอก สี กาว สิ่งทอ กระดาษ เซรามิก อาหาร และยาเป็นต้น

เยื่อเซลลูโลสคุณภาพสูงจำพวกเซลลูโลสอีเทอร์ (Cellulose Ethers) ที่เป็นวัตถุดิบในการเตรียมซีเอ็มนั้น ในต่างประเทศส่วนใหญ่ผลิตจากไม้ยืนต้น จำพวกสน และยูคาลิปตัส ทั้งนี้

เนื่องจากการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จำเป็นต้องควบคุมคุณภาพเยื่อเซลลูโลสที่ได้ให้คงที่จึงจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบจำนวนมาก เนื่องจากหากใช้วัตถุดิบจำพวกพืชไร่ที่มีคุณภาพและปริมาณแตกต่างกันไปจากหลาย ๆ แหล่งจะทำให้ได้เยื่อเซลลูโลสที่มีสมบัติไม่คงที่ ประเทศไทยเรามีพืชและผลไม้หลายชนิด ที่สามารถสกัดแยกได้เยื่อเซลลูโลสคุณภาพสูง อาทิเช่น ชานอ้อย ข้าวโพด และวัชพืชหญ้าหลายชนิด ซึ่งสำคัญคือเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งหรือผลพลอยได้ทางการเกษตร มาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ การวิจัยเพื่อพัฒนาโดยการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูง จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะสามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหล่านี้ได้

การใช้ประโยชน์จากเปลือกทุเรียน

พบว่าเมื่อนำเปลือกของทุเรียนมาอบหรือตากแห้ง บดเป็นผง และทำให้อยู่ในรูปของผงแห้งแล้ว จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์คือ "เจลพอลิแซคคาไรด์" ซึ่งเป็นสารประกอบน้ำตาลเชิงซ้อนที่มีลักษณะเป็นกากใยในอัตราส่วน 10 % ของน้ำหนักเปลือกแห้ง ขณะเดียวกันเมื่อนำเปลือกที่เหลือไปย่อยด้วยด่างและกรด ตลอดจนผ่านกระบวนการล้าง ตกตะกอน และทำเป็นผงแล้วยังจะได้ "ผลึกเซลลูโลส" จำนวนอีก 30 % ของน้ำหนักเปลือกที่เหลือด้วย โดยผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถนำไปใช้ได้ทั้งทางยาและอาหารหลากหลายประเภทด้วยกัน สำหรับเจลพอลิแซคคาไรด์สามารถขึ้นรูปเป็นเจลแผ่นพอลิแซคคาไรด์บาง หรือเป็นแผ่นฟิล์มใสได้ ซึ่งผงแห้งจะพองตัวและละลายน้ำได้ดี ที่สำคัญเจลที่ได้ยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคได้ดี เสริมสร้างภูมิคุ้มกันโรคได้โดยในการทดลองกับสุกร และหนูทดลองไม่พบความเป็นพิษ และอาการแพ้ใดๆ

นอกจากนี้นักวิจัยได้ทดลองแปรรูปเจลพอลิแซคคาไรด์ให้เป็นผลิตภัณฑ์แล้วหลายชนิด เช่น นำผงแห้งไปผสมกับอาหารเลี้ยงกุ้งกุลาดำเพื่อเสริมภูมิคุ้มกันให้กุ้งไม่เป็นโรคง่ายและโตเร็วขึ้น ส่วนผลิตภัณฑ์ในรูปของเจลสามารถนำไปใช้ทำเจลสำหรับทาเต้านมวัวป้องกันโรคเต้านมอักเสบ เจลลดการอักเสบของสิว เจลสำหรับล้างมือโดยไม่ต้องใช้น้ำ และยังได้พัฒนาเจลพอลิแซคคาไรด์ให้เป็นยาสีฟันเปลือกทุเรียนด้วย ขณะที่ผลิตภัณฑ์ในรูปของฟิล์มใสยังใช้ได้อีกหลายรูปแบบ เช่น แผ่นฟิล์มรักษาแผลถลอก แผลผ่าตัด และแผลติดเชื้อที่มีสรรพคุณช่วยการสมานแผลได้ดี ลดการเกิดแผลเป็น แผ่นฟิล์มดับกลิ่นปากและลดการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในช่องปาก รวมถึงแผ่นฟิล์มผสมตัวยารักษาแผลในปากซึ่งจะค่อยๆ ปล่อยตัวยาออกมารักษาแผลได้นานถึง 3 ชั่วโมงก่อนที่แผ่นฟิล์มจะละลายไปเองตาม

ธรรมชาติ แผ่นฟิล์มที่ได้ยังสามารถนำไปใช้ในการผลิตยาโดยการเคลือบแผ่นฟิล์มบนผิวเม็ดยา เพื่อลดรสชาติขมลิ้นจากตัวยา อีกทั้งคุณสมบัติที่พองตัวได้ดีเมื่อเจอน้ำ และระบบย่อยอาหารของคนเราไม่สามารถย่อยได้ เจลชนิดนี้จึงไม่ให้พลังงานแก่ร่างกาย มันจึงใช้เป็นส่วนผสมของอาหารและเครื่องดื่มควบคุมน้ำหนักได้ดีอีกอย่างหนึ่ง ส่วนผลิตภัณฑ์ผลึกเซลลูโลส ผลวิจัยพบว่า มี คุณสมบัตินำมาใช้ประโยชน์ในการช่วยเตรียมเม็ดยาที่ได้ผลิตภัณฑ์เม็ดยาที่น่า พอใจ คือเป็นสารช่วยการกระจายตัวของยาและช่วยการตอกเม็ดยา ได้ผลิตภัณฑ์ยาเม็ดที่มีคุณสมบัติตามกำหนดในตำรับยา และยังสามารถใช้เป็นสารวัตถุดิบในการเตรียมอนุพันธ์ต่างๆ ของเซลลูโลสทดแทนการนำเข้าได้ สุนันท์ (2553)

ปัจจัยที่จำเป็นต่อการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว

การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงนั้นจะต้องจัดสภาวะต่างๆ ให้เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน แหล่งฟอสฟอรัส ความเป็นกรด ด่าง และอุณหภูมิ เป็นต้น

1. แหล่งคาร์บอนและพลังงาน จุลินทรีย์หลายชนิดใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน เชื้อยีสต์ส่วนมากจะใช้น้ำตาลที่สามารถหมักได้ เช่น D-Glucose, D-Fructose และ D-Mannose ได้ดีบางชนิดก็สามารถใช้แป้ง (Starch) ได้ เช่น *E. fibuligera* บางชนิดก็ใช้อินซูลิน (Insulin)ได้ เช่น *Fabospora fragilis* บางชนิดก็ใช้น้ำตาลเพนโตส (Pentose) ได้นอกจากนี้บางชนิดยังใช้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้

2. แหล่งไนโตรเจน ยีสต์ต้องการแหล่งไนโตรเจนเพื่อใช้ในการสร้างโปรตีนของตนเองแหล่งไนโตรเจนที่มียีสต์นำมาใช้ได้มีหลายชนิด ยีสต์ทุกชนิดใช้แอมโนเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ส่วนแอมโมเนียมฟอสเฟตโมโน และไดแอมโมเนียมฟอสเฟต แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต แอมโมเนียมคาร์บอเนต แอมโมเนียมทาร์เตรท และยูเรียนั้น ยีสต์หลายชนิดใช้ได้ดี อย่างไรก็ตามในการผลิตยีสต์เพื่อเป็นอาหารเสริมโปรตีนส่วนมากนิยมใช้สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตหรือยูเรีย (สมคิด, 2521)

3. แหล่งฟอสฟอรัส ยีสต์ต้องการแหล่งฟอสฟอรัสเพื่อใช้ในการสร้างพลังงานเซลล์ ยีสต์สามารถดูดซึมสารโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตได้ดีกว่าไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต นอกจากนี้ยังมีสารอาหารอื่นๆ ที่ยีสต์ต้องการในปริมาณต่ำ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ เพื่อเป็นโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์หลายชนิด เช่น แมกนีเซียม โคบอลท์ โมลิบดินัม ทองแดง และสังกะสี เป็นต้น นอกจานี้ยีสต์ยังต้องการ Growth Factor บางชนิด เช่น Biotin, Pentotinic

Acid, Enositone, Thiaminm, Nicotinic Acid, Pyridoxinc และ Pholic Acid เป็นต้น (Imrie and Vlitos, 1973)

4. ความเป็นกรด-ด่าง ของอาหารยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ดีในอาหารที่มีความเป็นกรดมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นปกติ ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการเจริญของยีสต์ทั่วๆไปจะอยู่ระหว่าง 4.5-5.5 อย่างไรก็ตาม ค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมในการเจริญของยีสต์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป เช่น *C. ulilis* ที่เหมาะสมในการเจริญ คือ 4.5-5.0 ส่วน *E. fibuligera* ที่เหมาะสมในการเจริญคือ 6.0 เป็นต้น

5. อุณหภูมิ ยีสต์ส่วนใหญ่เจริญได้ดีระหว่างอุณหภูมิ 20-30 °C แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญของยีสต์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ตัวอย่าง เช่น *E. fibuligera* เมื่อเลี้ยงร่วมกับ *S. Cerevisiae* แบบวิธี Symba Yeast Process โดยใช้มันเส้น 5 % น้ำหนักแห้งเป็นแหล่งวัตถุดิบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญคือ 35 °C (วิชชุพร, 2523)

การเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังด้วยจุลินทรีย์

มันสำปะหลังเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ดีแหล่งหนึ่งเช่นเดียวกับข้าวโพดและปลายข้าวแต่เนื่องจากมันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ จึงได้มีการศึกษาเพื่อพัฒนาการเพิ่มโปรตีนมันสำปะหลังด้วยจุลินทรีย์

สวัสดิ์ และคณะ (2516) ได้ศึกษาถึงการหมักมันเส้นโดยมีองค์ประกอบของอาหารที่ใช้ในการศึกษาดังนี้ คือ ใช้มันเส้นเป็นแหล่งคาร์บอนในปริมาณ 75 กิโลกรัม ทำการเติมยูเรียลงไป 8 กิโลกรัม น้ำตาลแดง 2 กิโลกรัมแล้วใช้จุลินทรีย์จากมูลกระบือสดๆ เติมลงไปอีก 4 กิโลกรัม เติมน้ำ 150 กิโลกรัม ทำการหมักเป็นเวลา 7 วัน พบว่าสามารถผลิตโปรตีนได้ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยมีแอมโมเนียโปรตีนประมาณ 10 % แต่เมื่อทำการหมักต่อเป็นเวลา 30 วัน พบว่าจะได้ปริมาณโปรตีนรวม (Crude Protein) เพิ่มขึ้นเป็น 14.20 % โดยเป็นแอมโมเนียโปรตีนประมาณ 6.16 % ต่อมาในปี 2517 ได้ทำการศึกษาต่อโดยเปลี่ยนแหล่งวัตถุดิบเป็นมันสำปะหลังบดทำการหมักโดยใช้เชื้อยีสต์จากลูกแป้งเหล็ก และมีการเติมแอมโมเนียมซัลเฟต 7.67 % เป็นแหล่งไนโตรเจน จากการศึกษาพบว่า ปริมาณโปรตีนที่ได้เพิ่มขึ้นน้อยมากคือเมื่อทำการหมักได้ 35 วัน ปริมาณโปรตีนรวมเพิ่มขึ้นจาก 2.15 % เป็น 8.04 % และเป็นโปรตีนจริง (True Protein) เพียง 3 %

เชิดชัย (2528) ได้ทำการศึกษาถึงยีสต์ชนิดต่างๆ เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในมันสำปะหลังอาหารที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยมันสำปะหลัง 10 กรัม น้ำ 150 ลิตร ยูเรีย 0.5 กรัม และโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.5 กรัม ทำการหมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลของการศึกษาพบว่าการใช้ยีสต์ 2 ชนิดผสมกัน คือ *Candida utilis* กับ *Schwanniomyces alluvius* ได้ผลดีที่สุด คือ ได้โปรตีนสูงถึง 49.69 % และได้ผลผลิตสูงถึง 41 %

วิชัย (2523) ได้อธิบายถึงการเพิ่มโปรตีนจากมันสำปะหลังด้วยจุลินทรีย์ไว้ว่า เมื่อนำมันสำปะหลังสดสับมาผสมกับยูเรีย 2 % แล้วทำการหมักด้วยเชื้อรา *Rhizopus nigrican* อย่างเดียวและหมักด้วยเชื้อรา *Rhizopus nigrican* ร่วมกับ *Saccharomyces cerevisiae* พบว่า การหมักมันสำปะหลังด้วยเชื้อราอย่างเดียวได้โปรตีน 2.48 % ส่วนมันสำปะหลังที่หมักด้วยเชื้อราร่วมกับยีสต์ได้ปริมาณโปรตีน 12.04 % ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเชื้อยีสต์ได้ใช้น้ำตาลจากการย่อยสลายมันสำปะหลังโดยเชื้อรา

Eggum (1970) ได้ทดลองเลี้ยงหนูด้วยอาหารที่สกัดจากโปรตีนของมันสำปะหลัง 3 สายพันธุ์ พบว่าค่าการย่อยได้ของโปรตีนในมันสำปะหลังในหนูมีค่าประมาณ 70-80 % และถ้านำมันสำปะหลังไปต้ม ค่าการย่อยได้ก็จะลดลงเนื่องจากความร้อน และคุณค่าทางชีวภาพของโปรตีนจะมีความแปรปรวนสูง โดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดอะมิโนเมทไธโอนีน โดยถ้าเสริมเมทไธโอนีนที่สกัดได้จากจุลินทรีย์จะทำให้คุณค่าทางชีวภาพของโปรตีนเพิ่มจาก 49 % เป็น 80 % และถ้าผสมปลาป่นลงไปในมันสำปะหลังจะทำให้คุณค่าทางชีวภาพของโปรตีนของอาหารผสมนี้สูงเป็น 73 % และได้ทำการศึกษา พบอีกว่าการเสริมเมทไธโอนีนที่สกัดได้จากจุลินทรีย์จะทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนเพิ่มเป็น 58.7 % ซึ่งจากเดิมจะมีค่าเพียง 36.4 %

Adegbola (1978) ศึกษาว่าการเสริมไลซีนที่สกัดได้จากจุลินทรีย์ลงในมันสำปะหลังที่ใช้เป็นอาหารสุกร 0.2 % จะช่วยให้สุกรมีการเจริญเติบโตดีขึ้น การเสริมไลซีนนี้ มีความสำคัญในลักษณะทางกายภาพ และความน่ากินของมันสำปะหลังที่ใช้เป็นอาหาร และพบว่าการเสริมโซเดียมซัลเฟตในระดับ 0.3 % จะทำให้ปริมาณการกินอาหารและอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าพวกที่กินอาหารที่ไม่ได้การเสริมโซเดียมซัลเฟต และยังพบว่า ถ้าเสริมทั้งไลซีนและโซเดียมซัลเฟตจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพและอาหารที่กินให้ดีขึ้น

Okafor (1987) ได้ทำการศึกษาพบว่าเชื้อ *Lactobacillus delbruckii, L. corneformis,* และ *Saccharomyces* spp.สามารถผลิตไลซีนได้ปริมาณมากจึงนิยมนำมาใช้หมักมันสำปะหลัง โดย พบว่า เชื้อเหล่านี้มีความสามารถในการสร้างไลนามาเรส อะไมเลส และไลซีน

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ในปริมาณสูงในการหมักมันสำปะหลังทั้งแบบใช้เชื้อเดี่ยว ๆ และแบบเชื้อผสมทั้งการหมักแบบ Dewater และ Underwater โดยเมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณไลซีน และไซยาไนด์ในแป้งหมักเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก พบว่าจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถลดปริมาณไซยาไนด์ลงไปได้มาก โดยเฉพาะการหมักแบบ Underwater โดยใช้เชื้อผสมที่การหมักที่ 24 ชั่วโมง ปริมาณไซยาไนด์ในกลุ่มควบคุม (ไม่ได้ใส่เชื้อ) มี 3.06 ไมโครกรัมต่อกรัมในการหมักแบบ Dewater และ 4.24 ไมโครกรัมต่อกรัม ในการหมักแบบ Underwater ส่วนในกลุ่มที่ใช้เชื้อผสมเชื้อเหล่านี้ทำให้ปริมาณไซยาไนด์ลดลงถึง 150 % ที่ 1.96 ไมโครกรัมต่อกรัม ในการหมักแบบ Dewater และ 300 % ที่ 1.43 ไมโครกรัมต่อกรัม ในการหมักแบบ Underwater และ พบว่าไลซีนปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมักไปเรื่อย ๆ ซึ่งการหมักโดยใช้เชื้อเดี่ยว ๆ พบว่า เชื้อยีสต์จะสร้างไลซีนได้ดีที่สุด

Oyewole (1990) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างยีสต์กับ Lactic Acid Bacteria ในการหมักมันสำปะหลัง โดยได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง *C. krusei* กับ *Lactobacillus plantarum* พบว่ายีสต์นั้นจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของ Lactic Acid Bacteria โดยการให้สารวิตามินที่พวก Lactic Acid Bacteria ต้องการนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และพบว่ายีสต์จะมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแป้งให้กลายเป็น Simple Sugars ซึ่ง Simple Sugars ที่ได้นี้จะถูก Lactic Acid Bacteria นำไปใช้ในการเจริญ เมื่อ Lactic Acid Bacteria เหล่านี้มีการเจริญเติบโตก็จะมีการสร้างกรดแลคติคออกมาทำให้สภาวะในการหมักมันสำปะหลังมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น

Oyewole (2001) ศึกษา พบว่า หลังทำการหมักมันสำปะหลังไปประมาณ 12 ชั่วโมงจะพบยีสต์ 6 สายพันธุ์ในมันสำปะหลังที่เราทำการหมักไว้แต่ยีสต์เหล่านี้จะไม่พบในหัวมันสำปะหลังที่เราทำการเก็บเกี่ยวมาโดยยีสต์ทั้ง 6 สายพันธุ์นี้ได้แก่ *Candida krusei, C. tropicalis, Pichia satoi, Saccharomyces cerevisiae, P. anomala,* และ *Zygosaccharomyces balii* และเมื่อเราทำการหมักมันสำปะหลังต่อไปเรื่อย ๆ จำนวนของยีสต์ก็จะเพิ่มมากขึ้น แต่ก็จะมียีสต์บางกลุ่มที่มีจำนวนลดลงเรื่อยๆ ซึ่งหลังจากการหมักผ่านไป 36 ชั่วโมง พบว่า *Pichia satoi, S. cerevisiae,* และ *P. anomala* จะหายไป คาดว่าเป็นเพราะสภาพความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้น ส่วนยีสต์ที่เราจะพบได้ตลอดระยะเวลาของกระบวนการหมักมีอยู่ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *C. krusei, C. tropicalis,* และ *Z. balii* และเมื่อทำการศึกษาถึงเอนไซม์ที่มียีสต์เหล่านี้สร้างขึ้นก็พบว่ายีสต์เหล่านี้ทุกตัวจะสามารถสร้างเอนไซม์อะไมเลสได้ทำให้ยีสต์เหล่านี้สามารถใช้มันสำปะหลังในการเจริญได้ โดยยีสต์ดังกล่าวจะมีคุณสมบัติเป็น Amyloytic Yeasts และจะมี *Z. balii* เพียง

ชนิดเดียวเท่านั้นที่สามารถสร้างเอนไซม์ Polygalacturonase ได้ และ *C. krusei* ก็จะเป็นเพียงชนิดเดียวเท่านั้นที่สามารถสร้างเอนไซม์ไลนามาเรสได้

การใช้เชื้อยีสต์เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์

เนื่องจากยีสต์อุดมไปด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และวิตามินบี จึงทำให้ผู้บริโภคได้รับสารอาหารจากยีสต์ แต่ถ้าบริโภคในลักษณะที่ยังมีชีวิตอยู่ ยีสต์จะดูดซึมวิตามินและกรดอะมิโนจากร่างกายผู้บริโภค โดย พบว่า วิตามินบีในลำไส้ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะลดลง (Bhattacharjee, 1970) นอกจากนี้ คน และสัตว์ชั้นสูงไม่มีเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารที่จะย่อยสลายผนังเซลล์ของยีสต์ได้แต่สัตว์บางชนิด เช่น ไก่ หมู วัว ควาย และปลาบางชนิด มีเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายผนังเซลล์ของยีสต์ได้ ดังนั้น การที่จะให้ได้รับคุณค่าทางอาหารจากการบริโภคยีสต์ต้องทำให้ยีสต์ตายและย่อยผนังเซลล์ออกก่อน ซึ่งมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้ความร้อนสูงในระหว่างการอบแห้ง การใช้กระบวนการออโตไลซิส (Autolysis), พลาสโมไลซิส (Plasmolysis), และไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ทั้งสามกระบวนการนี้เป็นวิธีที่ใช้เตรียมสารสกัดยีสต์ (Yeast Extract) ที่ใช้ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ไม่เหมาะที่จะใช้เตรียมยีสต์เป็นอาหารสัตว์ยีสต์นอกจากจะมีคุณค่าทางอาหารมากมาย แต่ถ้าผู้บริโภคได้รับยีสต์มากเกินไปจะก่อให้เกิดโรคไขข้ออักเสบในคนได้ เนื่องจากยีสต์มีกรดนิวคลิอิคสูง กรดนิวคลิอิคจะถูกเมตาโบไลซ์เป็นกรดยูริค ในร่างกายคนไม่มีเอนไซม์ยูริเคส (Uricase) ที่จะย่อยสลายกรดยูริคให้กลายเป็น Allantoin ดังนั้นเกลือ Urate จึงตกตะกอนตามข้อต่อ และเนื้อเยื่อภายในร่างกาย แต่สัตว์บางชนิด เช่น สุกร โค และไก่ มีเอนไซม์ยูริเคสที่สามารถย่อยสลายกรดยูริคได้ (Tannenbaum and Wang, 1975)

มหาวิทยาลัยบูรพา BURAPHA UNIVERSITY