

การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาของฟางข้าวโดยใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์ ในการผลิตโคเนื้อ

Nutritive Quality Improvement of Rice Straw by Microbial Treatment in Beef Cattle Production

คำนำ

การทำปศุสัตว์ของประเทศไทยในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง จากรายงานของกรมปศุสัตว์ (2549) ที่ได้รายงานเกี่ยวกับปริมาณการผลิตโคเนื้อและโคนมในประเทศไทยที่มีแนวโน้มการผลิตที่เพิ่มขึ้น โดยในปี 2547 มีปริมาณโคเนื้อรวมทั้งหมด 6,668,332 ตัวและปี 2548 มีปริมาณโคเนื้อรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 7,796,272 ตัว แนวโน้มของการผลิตโคเนื้อที่มีมากขึ้นนี้แสดงให้เห็นว่าความต้องการอาหารหยาบมีปริมาณสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอาจทำให้เกิดภาวะการขาดแคลนอาหารหยาบที่ใช้เลี้ยงโคเนื้อโดยเฉพาะช่วงฤดูแล้งที่พืชอาหารสัตว์ขาดแคลน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการใช้แหล่งอาหารหยาบทดแทน

ฟางข้าวเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่สามารถใช้ทดแทนอาหารหยาบในช่วงที่มีการขาดแคลนอาหารหยาบได้ดี ฟางข้าวเป็นแหล่งของเยื่อใยที่สัตว์กระเพาะรวมสามารถใช้ประโยชน์ได้ แต่คุณค่าทางโภชนาของฟางข้าวมีค่อนข้างต่ำเนื่องจากฟางข้าวมีลิกนิน (lignin) ที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของลิกนินและเซลลูโลส (lignocellulose) เป็นส่วนประกอบจึงทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนไม่สามารถย่อยเยื่อใยในฟางข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ค่าการย่อยได้ของฟางข้าวมีค่าต่ำ สัตว์ที่ได้รับฟางข้าวเป็นอาหารหยาบหลักให้ผลผลิตที่ลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวโดยใช้วิธีการต่างๆ เพื่อให้สัตว์ที่ได้รับฟางข้าวเป็นอาหารหยาบหลักมีผลผลิตที่เพิ่มขึ้น เช่น วิธีการทางกายภาพ วิธีการทางเคมี วิธีการทางกายภาพ – เคมี ซึ่งทั้ง 3 วิธีนี้มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่เป็นวิธีการที่ใช้ต้นทุนค่อนข้างสูง การปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวอีกวิธีการหนึ่ง คือ วิธีการทางชีวภาพ โดยการใช้จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายเยื่อใยของฟางข้าว มาปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาของฟางข้าว ซึ่งการใช้จุลินทรีย์ในกลุ่ม white rot fungi ในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาของฟางข้าว ส่งผลให้ฟางข้าวมีโภชนาและการย่อยได้ที่สูงขึ้น ทำให้สัตว์ที่ได้รับฟางข้าวเป็นอาหารหยาบมีผลผลิตที่สูงขึ้นตามไปด้วย

การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาของฟางข้าวโดยการใช้จุลินทรีย์นี้ในประเทศไทยมีผู้นิยมน้อยมาก และยังไม่มีการนำไปใช้ในการผลิตโคเนื้อ การทดลองนี้จึงได้ทำการศึกษา และพัฒนาการนำฟางข้าวที่ผ่านการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาโดยใช้จุลินทรีย์มาใช้ทดลองในการผลิตโคเนื้อ เพื่อให้เกษตรกรที่เลี้ยงโคเนื้อในประเทศไทยสามารถนำผลการทดลองนี้ไปใช้ในการพัฒนาอาหารหยาบเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตโคเนื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาวิธีการเพิ่มคุณค่าทางโภชนา และศึกษาการย่อยได้ของฟางข้าวที่ผ่านการเพิ่มคุณค่าทางโภชนา โดยใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์
2. เพื่อศึกษาค่าการย่อยได้ สมรรถภาพการขุน เมแทบอลิซึมของเลือด และประชากรของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆในกระเพาะรูเมนของโคที่เลี้ยงด้วยฟางข้าวที่ผ่านการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาโดยใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์

การตรวจเอกสาร

ฟางข้าวเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่ได้จากการปลูกข้าวซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรโดยทั่วไปเป็นฟางข้าว โดยในปี 2547 มีจำนวนพื้นที่เพาะปลูกข้าวในปี 57.48 ล้านไร่ สามารถให้ผลผลิตได้ 18.65 ล้านตัน คิดเป็นผลผลิตต่อไร่เท่ากับ 324 กิโลกรัม และมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรัง 9.43 ล้านไร่ ให้ผลผลิตได้ 6.33 ล้านตัน คิดเป็นผลผลิตต่อไร่เท่ากับ 671 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548) ซึ่งเมื่อคิดรวมกันทั้งปีแล้วจะมีฟางข้าวประมาณ 25 ล้านตัน ฟางข้าวจำนวนนี้สามารถนำไปใช้เป็นอาหารหยาบทดแทนสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ในภาวะที่มีการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ หรือในช่วงที่อาหารหยาบประเภทอื่นมีราคาแพงได้

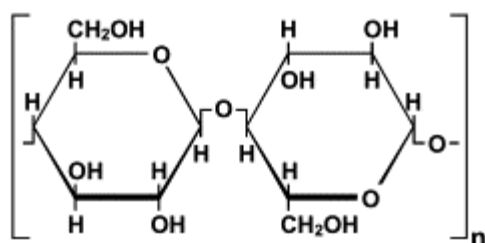
ส่วนประกอบของฟางข้าว

ฟางข้าว หมายถึง ส่วนของลำต้นที่ถูกตัดออกมาและนำเมล็ดออกแล้ว ลักษณะของฟางข้าวจะประกอบด้วยส่วนของ ใบ ลำต้น และช่อดอกที่นำเมล็ดออกแล้ว มีสีเหลืองซีด ฟางข้าวมีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อเซลล์ (cell contents) 21 เปอร์เซ็นต์ และผนังเซลล์ (cell wall) 79 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผนังเซลล์ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเซลลูโลส (cellulose) 33 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) 26 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน (lignin) 7 เปอร์เซ็นต์ และซิลิกา (silica) 13 เปอร์เซ็นต์ (Jackson, 1977) ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เซลลูโลส (cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ที่มีมากที่สุดในธรรมชาติ เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช ถูกสร้างขึ้นอย่างสม่ำเสมอโดยขบวนการสังเคราะห์แสง ในปีหนึ่งๆ พืชจะสร้างเซลลูโลสประมาณ 5 พันล้านตัน (Ryu and Mandels, 1980) โครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วย polymer molecule ของหน่วยย่อยของ D - anhydroglucopyranose มาเชื่อมต่อเป็นสายยาวด้วยพันธะ 1,4 glucosidic อย่างมีระเบียบ (Cowling and Kirk, 1976) ถ้าพิจารณาถึงรูปแบบของการจัดเรียงของหน่วยย่อยที่เชื่อมต่อกันจะอยู่ในลักษณะ chain form แต่ละโมเลกุลในสายเซลลูโลสจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (intramolecular H - bonds) ระหว่าง hydroxyl group(-OH) ที่ตำแหน่ง C-atom ที่ 3 กับ ring oxygen ของโมเลกุลถัดไปและเชื่อมต่อกันระหว่างสายเซลลูโลสที่ขนานด้วย intermolecular H-bonds ระหว่าง hydroxyl group ที่ตำแหน่ง C-atom ที่ 6 กับ O-atom

ที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลของ D-anhydrogluco pyranose ในอีกสายหนึ่ง (ภาพที่ 1) (Sasaki, 1982) จึงทำให้เซลลูโลสมีโครงสร้างซับซ้อนขึ้นและมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ยากต่อการย่อยสลาย โดยทั่วไปในธรรมชาติเซลลูโลส (native cellulose) จะอยู่ในรูปของลิกโนเซลลูโลส เซลลูโลสจะเชื่อมอยู่กับโพลีแซคคาไรด์อื่นๆ เช่น เพคติน เฮมิเซลลูโลส แป้ง และ phenolic polymer ของลิกนิน (Reese, 1976) เนื่องจากเซลลูโลสประกอบด้วยกลูโคสเป็นจำนวนมากเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะแบบ β - (1 - 4) linkages เป็นส่วนของเชื้อใยที่ทนต่อการย่อยด้วยกรดหรือด่าง จึงไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ของสัตว์กระเพาะเดี่ยว แต่จะสามารถย่อยโดยจุลินทรีย์ที่มีเอนไซม์เซลลูเลสในกระเพาะรูเมน (rumen) และในไส้ติ่ง (caecum) ของสัตว์กระเพาะรวม (บุญล้อม, 2546)

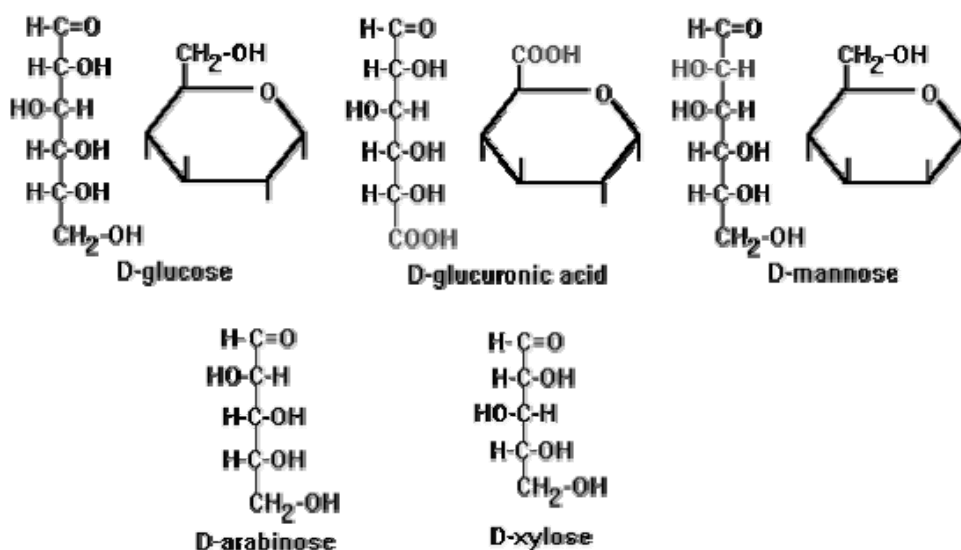


ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

ที่มา: บุญล้อม (2546)

เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชเช่นกัน โดยเฮมิเซลลูโลสจะไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากสัตว์กระเพาะเดี่ยว แต่ย่อยได้โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของสัตว์กระเพาะรวมได้เช่นเดียวกับเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นเฮเทอโรโพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลมากกว่า 2 ชนิด น้ำตาลที่พบมากคือ ไซโลส (D - xylose) และอะราบิโนส (arabinose) ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม (บุญล้อม, 2546) นอกจากนี้ยังมี กลูโคส (D - glucose) แมนโนส (D - mannose) กาแล็กโทส (D - galactose) และ กรดกลูคูโรนิก (D - glucuronic acid) เชื่อมกันด้วยพันธะแบบ β - (1 - 4) linkages และอาจมี side chain ด้วย เฮมิเซลลูโลส อาจจำแนกตามชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบได้เป็น แมนแนน (mannan) กาแล็กแทน (galactan) ไซแลน (xylan) กลูโคแมนแนน (glucomannan) อะราบิโนไซแลน (arabinoxylan) และอะราบิโนกาแล็กแทน (arabinogalactan) เป็นต้น (Bedford and Partridge, 2001) (ภาพที่ 2)

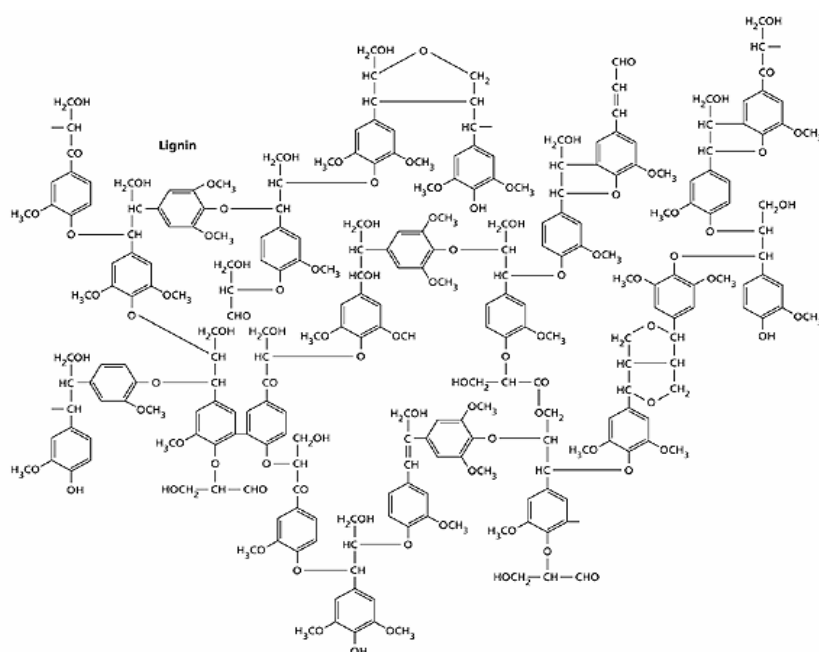


ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบย่อยของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา: Runsselaer (2005)

ลิกนิน (lignin)

ลิกนินเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10 ถึง 10,000 kDa อยู่ในรูปโพลีเมอร์ของสารประกอบอะโรมาติกของ cinnamyl alcohol 3 ชนิด คือ p-coumaryl alcohol, coniferyl alcohol และ sinapyl alcohol (Ibrahim, 1983) ลิกนินพบในกลุ่มของพืชที่มีท่อลำเลียงทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่พืช โดยพืชที่มีอายุมากจะมีลิกนินมากกว่าพืชที่มีอายุน้อย หน่วยย่อยของลิกนินจะจับตัวเป็นโครงสร้างสามมิติ โดยจะมีการสร้างพันธะ ether ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่สี่ของวงแหวนฟีนอล กับคาร์บอนที่ตำแหน่ง β ของ side chain (Cowling and Krik, 1976) ในธรรมชาติลิกนินจะจับอยู่รอบๆ โมเลกุลของเซลลูโลส และมีการเกิดพันธะโควาเลนต์บอนด์ระหว่างลิกนินกับเซลลูโลสเป็นสารประกอบลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) (ภาพที่ 3) ทำให้โมเลกุลของลิกนินมีความแข็งแรง ทนทานต่อการย่อยสลาย จึงทำให้ฟางข้าวซึ่งมีองค์ประกอบของลิกนินอยู่สูง มีค่าการย่อยได้ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของลิกนินที่พบในพืชทั่วไปในธรรมชาติ

ที่มา: Nimz (1974)

ซิลิกา (silica)

ซิลิกาพบที่ผนังเซลล์พืชเกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืชโดยตรงและจากการดูดซิลิกาจากดินเข้ามาเพื่อสร้างความแข็งแรงให้กับพืช โดยที่สัตว์จะไม่สามารถย่อยซิลิกาได้ (อังคณา และดวงสมร, 2532)

สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถใช้ส่วนประกอบต่างๆของฟางข้าวที่กล่ามาข้างต้นได้ โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถใช้แหล่งพลังงาน (ATP) ที่ได้จาก การสลายตัวของอาหารคาร์โบไฮเดรตในฟางข้าวให้เป็นประโยชน์ต่อตัวจุลินทรีย์เอง แล้วนำผลผลิตดังกล่าวมาสังเคราะห์เป็นโปรตีนจุลินทรีย์ (microbial protein) ที่สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยการใช้ประโยชน์ได้ของฟางข้าวจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆด้าน ดังจะมีรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

การใช้ประโยชน์ของฟางข้าวในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

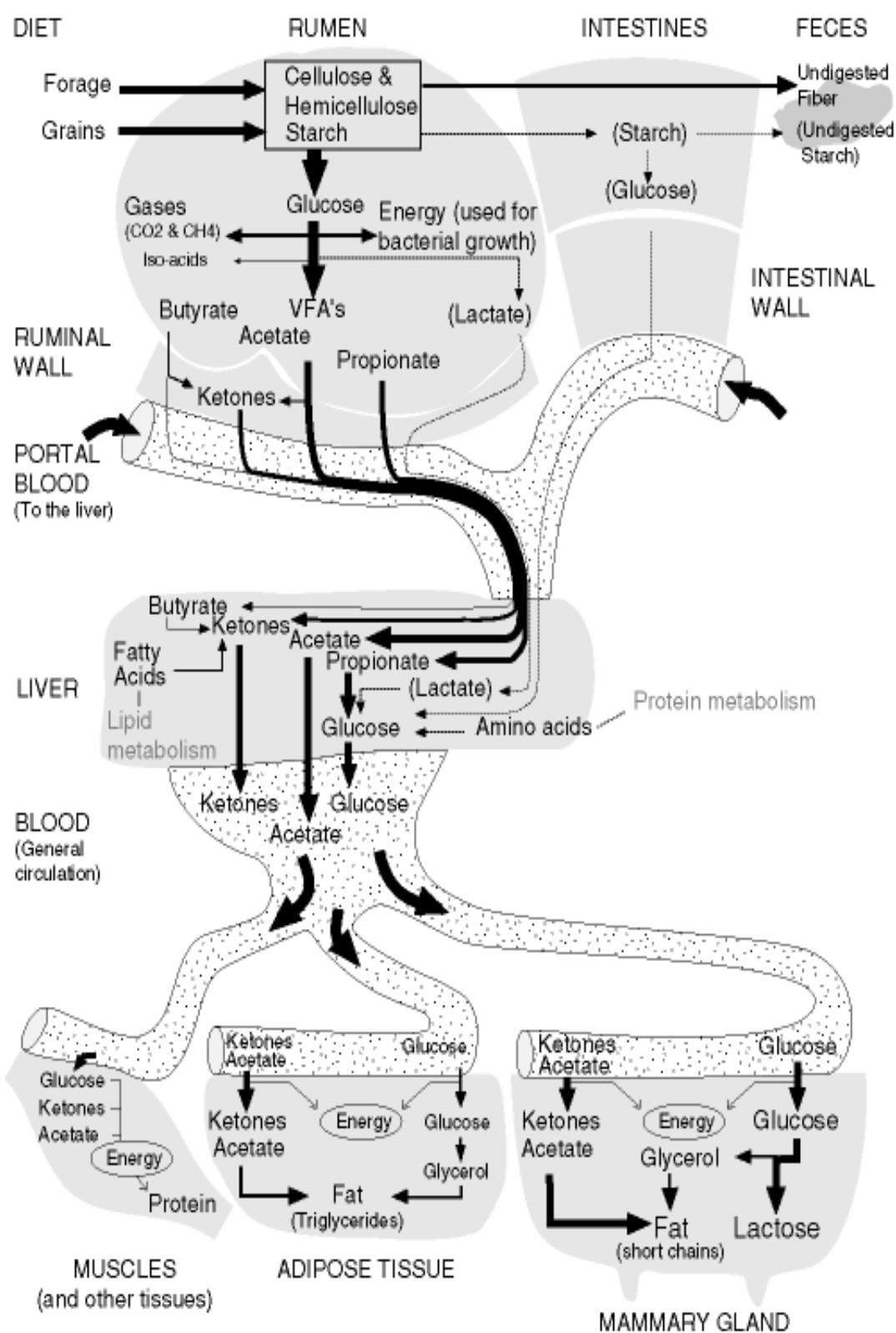
ฟางข้าวเป็นอาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำ เนื่องจากฟางข้าวมีพื้นที่ผิวต่ำทำให้มีอัตราการย่อยสลายอนุภาคของฟางให้เล็กลงต่ำ ฟางข้าวจึงมีค่าการย่อยได้ประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ (Zadrazil *et al.*, 1995) ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ต่ำ และฟางข้าวมีอัตราการไหลผ่านเข้าออกของส่วนที่ย่อยไม่ได้ช้า จึงทำให้ฟางข้าวมีเวลาอยู่ในกระเพาะรูเมนนาน (เมธา, 2529) สัตว์จึงกินฟางข้าวได้น้อยลง อีกทั้งฟางข้าวยังมีองค์ประกอบของเยื่อใยในรูปผนังเซลล์ในระดับสูงมากซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการกินได้ (Van Soest *et al.*, 1991) เนื่องจากเยื่อใยจะอัดแน่นในกระเพาะรูเมน ทำให้สัตว์กินอาหารหยาบได้ลดลง และปริมาณเยื่อใยในรูปผนังเซลล์ในระดับสูงจะก่อให้เกิดปัญหาการผลิตความร้อนที่สูงขึ้นเนื่องจากกระบวนการย่อยอาหารหยาบของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (Sudaman and Ito, 2000) ทำให้สัตว์ต้องใช้เวลาในการเคี้ยวเอื้องนานขึ้น

นอกจากนี้ฟางข้าวยังมีปริมาณโภชนะที่สัตว์ต้องการในระดับต่ำ กล่าวคือมีโปรตีนรวมประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์ และมีแร่ธาตุที่จำเป็นอยู่ในฟางข้าวน้อยมาก โดยมีฟอสฟอรัสเพียง 0.08 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณแคลเซียมสูงถึง 0.21 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่าฟางข้าวจะมีปริมาณแคลเซียมที่สูงแต่การนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่ำเนื่องจากแคลเซียมที่อยู่ในฟางข้าวจะอยู่ในรูปของเกลือออกซาลेट (oxalate) หรือเกลือซิลิเกต (silicate) (Wanapat *et al.*, 1983) ส่งผลให้สัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับฟางข้าวเป็นอาหารหยาบมักจะเกิดการขาดโภชนะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานและแหล่งไนโตรเจนที่สามารถเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียได้ง่าย (fermentation-N) หรือขาดโปรตีน มีผลทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนทำงานไม่มีประสิทธิภาพ กิจกรรมการหมักย่อยลดลง การกินได้ของสัตว์จะลดลงซึ่งจะมีผลต่อความสมบูรณ์พันธุ์ การเจริญเติบโต การผลิตน้ำนม รวมถึงน้ำหนักตัวเมื่อโตเต็มที่ของสัตว์ลดลงตามไปด้วย (Sultan and Loerch, 1992)

ความยากง่ายในการย่อยฟางข้าวยังขึ้นอยู่กับปริมาณลิกนินในฟางข้าว เนื่องจากลิกนินมีโครงสร้างเป็นโพลิเมอร์ที่ซับซ้อน (complex carbohydrate polymer) โดยลิกนินจะจับกับเซลลูโลสในผนังเซลล์พืชโดยพันธะโควาเลนต์จะทำหน้าที่ป้องกันการทำงานของเอนไซม์ไฮโดรไลติก (hydrolytic enzyme) จากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนต่อคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้าง (Akin *et al.*, 1995) จึงทำให้ค่าการย่อยได้และการนำไปใช้ประโยชน์ของฟางข้าวมีค่าต่ำ

การย่อยคาร์โบไฮเดรตในฟางข้าว

คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ในฟางข้าวเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้าง (structural carbohydrate) ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกติน ซึ่งคาร์โบไฮเดรตประเภทนี้เป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถย่อยได้โดยเอ็นไซม์จากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะผลิตเอ็นไซม์ออกมาย่อยภายนอกเซลล์ให้ได้สารประกอบน้ำตาลโมเลกุลต่ำก่อนแล้วจึงดูดซึมเข้าไปย่อยสลายในตัวเซลล์ต่อไป (Russell and Hespell, 1981) จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ซึ่งได้ผลผลิตสุดท้าย คือกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid) ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid, C_2) กรดโพรปิโอนิก (propionic acid, C_3) กรดบิวทีริก (butyric acid, C_4) (ภาพที่ 4) โดยมีสัดส่วนประมาณ 70, 20 และ 10 โมลาร์เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Preston and Leng, 1987) โดยกรดไขมันระเหยง่ายนี้ถูกดูดซึมผ่านกระเพาะรูเมนในลักษณะของการแพร่ (simple diffusion) ทั้งนี้การดูดซึมจะขึ้นอยู่กับขนาดโครงสร้างของกรด ซึ่งอัตราการดูดซึมของกรดบิวทีริกในกระเพาะรูเมนจะมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือกรดโพรปิโอนิก และกรดอะซิติก ตามลำดับ (เมธา, 2533) นอกจากนี้การดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายนี้ยังขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง เนื่องจากรูปแบบของกรดที่อยู่ในกระเพาะรูเมน คือ dissociated เช่น CH_3COO^- และ non dissociate เช่น CH_3COOH ซึ่งถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างจะทำให้มีความเข้มข้นของ H^+ สูงซึ่งกรดไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ non dissociate ที่สามารถซึมผ่านกระเพาะรูเมนได้ดี โดยกรดโพรปิโอนิก 2.5 เปอร์เซ็นต์จะเปลี่ยนเป็นกรดแลกติกที่เซลล์ของผนังกระเพาะรูเมน และส่วนที่เหลือจะถูกส่งไปที่ตับเพื่อเปลี่ยนเป็นกลูโคส ส่วนกรดบิวทีริกจะถูกเปลี่ยนเป็น ketone และ beta – hydroxybutyrate อย่างรวดเร็วที่กระเพาะรูเมน โดย beta – hydroxybutyrate จะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานของกล้ามเนื้อรวมทั้งใช้ในการสังเคราะห์ไขมันในเนื้อเยื่อต่างๆต่อไป (อรอนงค์, 2543)

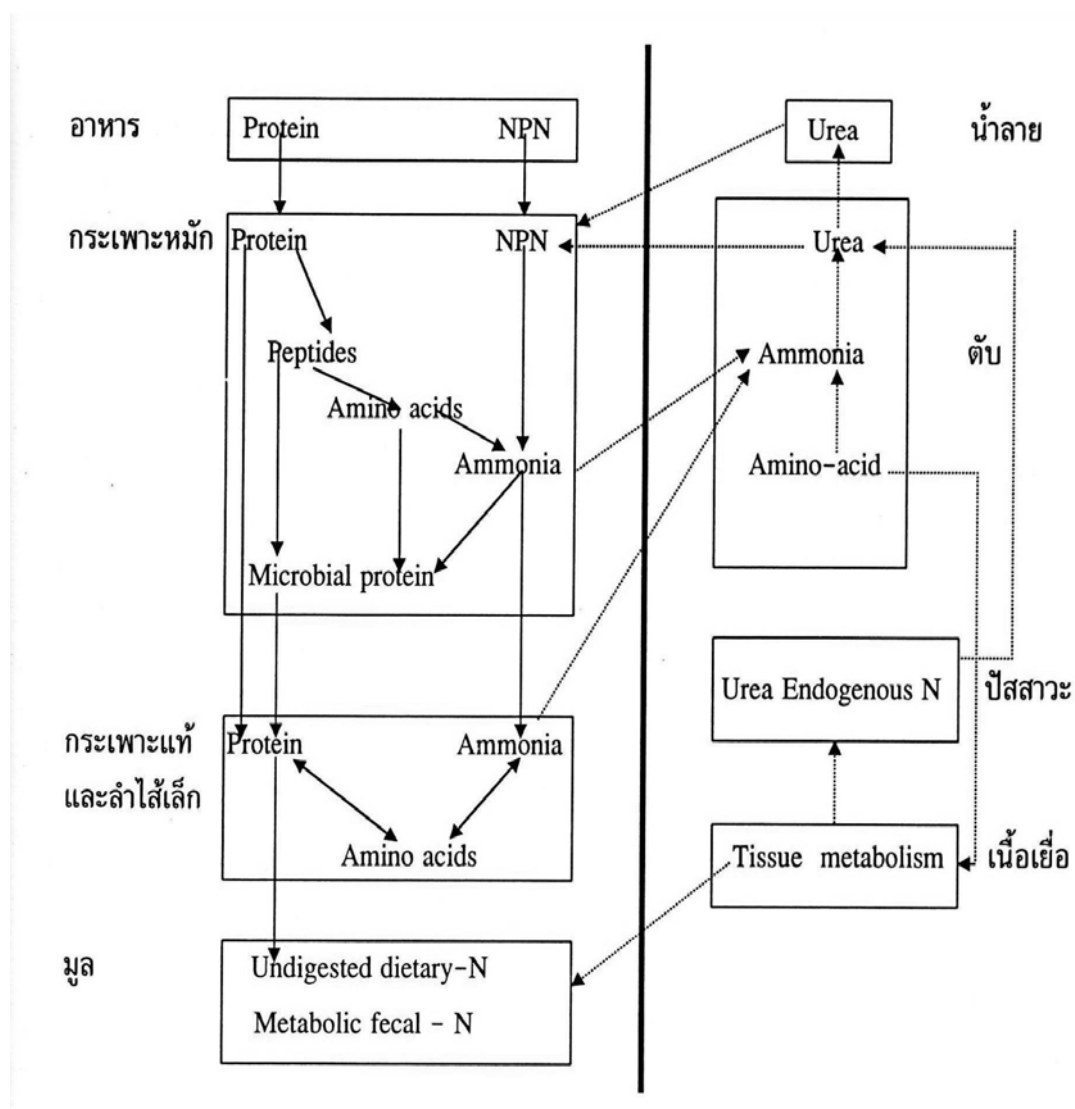


ภาพที่ 4 กลไกการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะรูเมน

ที่มา: Michel (2005)

การย่อยโปรตีนในฟางข้าว

การย่อยโปรตีนของฟางข้าวส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณกระเพาะรูเมน โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะสลายโปรตีนให้กลายเป็น peptide สายสั้นๆ หรือ กรดอะมิโน ต่อจากนั้น จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะเปลี่ยน peptide สายสั้นๆ หรือ กรดอะมิโน ไปเป็นแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โปรตีนบางส่วนที่ไม่สามารถสลายตัวได้ในกระเพาะรูเมนจะไหลผ่านกระเพาะรูเมน และไปเริ่มต้นการย่อยที่กระเพาะจริง (abomasum) ซึ่งจะมีน้ำย่อย pepsin ที่หลั่งมาจาก gastric gland มาย่อยโปรตีนให้เป็น peptide สายสั้นๆ หรือ กรดอะมิโน แต่การย่อยสลายของโปรตีนพวกนี้ส่วนใหญ่จะเกิดในบริเวณลำไส้ส่วนต้นจนกลายเป็นกรดอะมิโน และดูดซึมผ่านผนังลำไส้เข้าสู่ระบบเลือดต่อไป ส่วนโปรตีนที่อยู่ในสภาพที่มีโครงสร้างซับซ้อน หรือ โปรตีนที่มีการเกาะเกี่ยวกับโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตจะเป็นโปรตีนที่มีการย่อยได้น้อย หรือย่อยไม่ได้เลย ซึ่งโปรตีนพวกนี้จะออกไปสู่ลำไส้ใหญ่ และขับถ่ายออกทางมูล (วิโรจน์, 2546) (ภาพที่ 5) โดยถ้าระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน สูงเกินกว่าความต้องการเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีระดับพลังงานอยู่อย่างจำกัด แอมโมเนีย-ไนโตรเจนบางส่วนจะถูกดูดซึมผ่านผนังของกระเพาะรูเมนเข้าสู่เส้นเลือดเพื่อลำเลียงไปยังตับ โดยผ่านทางเส้นเลือดดำ portal vein เพื่อเมทาบอไลต์ให้เป็นยูเรียโดยวัฏจักรยูเรีย ซึ่งเกิดขึ้นที่บริเวณไมโทคอนเดรียของเซลล์ตับ โดยโครงสร้างของยูเรียประกอบด้วยกรดอะมิโน 2 หมู่ และ คาร์บอนิล 1 หมู่ โดยหมู่คาร์บอนิลเกิดจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้ายในกระบวนการเมทาบอไลซึมของร่างกาย (พจน์และคณะ, 2543)



ภาพที่ 5 เมแทบอลิซึมของโปรตีน

ที่มา : เมธา (2533)

แอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน

แอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนเกิดจากการย่อยสลายของโปรตีนในอาหาร จุลินทรีย์โปรตีน และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (Non Protein Nitrogen; NPN) โดยเมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไปแล้วเอนไซม์ protease ที่ผลิตจากแบคทีเรียและโปรโตซัวจะสลายพันธะของโปรตีนให้สั้นลง อาหารที่มีส่วนประกอบของยูเรียจะมีแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ urease มาย่อยยูเรียให้เป็นแอมโมเนีย นอกจากแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ได้จากอาหารแล้ว แอมโมเนียส่วนหนึ่งจะเข้าสู่กระเพาะหมักโดยการนำกลับของไนโตรเจนในรูปของยูเรีย โดยผ่านทางน้ำลาย และการ

แพร่ของยูเรียในกระแสเลือดผ่านทางผนังของกระเพาะหมัก (Van Soest, 1982) การนำกลับของ ยูเรีย-ไนโตรเจน เข้าสู่กระเพาะหมักช่วยในการใช้ประโยชน์จากยูเรีย-ไนโตรเจน ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะสัตว์ที่ได้รับอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำหรือระยะอดอาหาร ยูเรีย-ไนโตรเจนที่ผ่านผนังกระเพาะรูเมนทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้รับไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งในน้ำลายมียูเรียประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ ของสารประกอบไนโตรเจนทั้งหมด ยูเรีย-ไนโตรเจนที่แพร่ผ่านทางผนังกระเพาะรูเมนจะถูกจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะบริเวณผนังกระเพาะรูเมนย่อยสลายโดยเอนไซม์ urease ได้เป็นแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Oltner and Wiktorsson, 1983) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ระดับการให้อาหาร ความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนอาหาร แหล่งของคาร์โบไฮเดรต การย่อยได้ของอาหาร และความถี่ของการให้อาหาร เป็นต้น โดยปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 5-8 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (Satter and Slyter, 1974)

เมแทบอลิซึมของเลือด

ยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด (Blood Urea Nitrogen)

ปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด (Blood Urea Nitrogen) เป็นผลต่อเนื่องจากสัตว์กินอาหารที่มีโปรตีน และ NPN ในระดับสูง นอกจากนี้ระดับของยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดยังมีสหสัมพันธ์กับระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในรูเมนอีกด้วย โดยสหสัมพันธ์ระหว่างแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในรูเมน และยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดมีค่าเท่ากับ 0.88 (Fontenot, 1979) นอกจากนี้ระดับของยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดอาจจะสูงได้เนื่องจากสัตว์อยู่ในสภาวะที่ได้รับอาหารที่มีระดับไนโตรเจนต่ำ หรือได้รับอาหารที่จำกัด ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะหมักจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นแอมโมเนียส่วนเกินจะถูกส่งเข้าสู่ระบบเลือด ทำให้สัตว์มียูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดสูงขึ้น (Van Soest, 1982) ความเข้มข้นของยูเรียในเลือดของสัตว์เคี้ยวเอื้องปกติจะอยู่ระหว่าง 6.3-25.5 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ หากมีค่าต่ำกว่านี้แสดงถึงปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนที่ไม่เพียงพอ ซึ่งหมายถึงโปรตีนในอาหารไม่เพียงพอ แต่ถ้าค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงกว่านี้จะชี้ให้เห็นว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนเกินความจำเป็นที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ ทำให้ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมากขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือดสูง ผลที่ตามมาคือตับจะมีการสังเคราะห์ยูเรียเพิ่มมากขึ้น ทำให้ยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดสูงกว่ามาตรฐาน (Lewis, 1957)

กลูโคสในเลือด (Blood Glucose)

ปริมาณกลูโคสในเลือด (Blood Glucose) ในร่างกายของสัตว์เคี้ยวเอื้องมาจากการดูดซึมของลำไส้เล็ก และจากขบวนการกลูโคนีโอเจนิซิส (gluconeogenesis) ซึ่งเกิดขึ้นที่ตับ โดยการสังเคราะห์กลูโคสจากกรดไพรูวิกที่ได้ออกจากการหมักย่อยของคาร์โบไฮเดรตในกระเพาะหมัก นอกจากนี้กลูโคสยังได้มาจากการเปลี่ยนแป้งเป็นกลูโคสที่บริเวณลำไส้เล็กโดยเอนไซม์จากตัวสัตว์ (Van Soest, 1982) สัตว์เคี้ยวเอื้องทั่วไปมีปริมาณกลูโคส 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (Schultz *et al.*, 1988) โดยสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีความต้องการกลูโคสเพื่อดำรงชีพประมาณ 40-60 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ เพื่อให้เนื้อเยื่อต่างๆ เช่น เนื้อเยื่อประสาท เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ เนื้อเยื่อไขมัน เนื้อเยื่อตัวอ่อน และเนื้อเยื่อต่อมต่างๆ ทำงานได้อย่างปกติ ปริมาณของกลูโคสในเลือดจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ปริมาณการกินอาหารของสัตว์ ซึ่งถ้าสัตว์ได้รับอาหารเพิ่มขึ้นสัตว์ก็จะมีปริมาณกลูโคสในเลือดสูงขึ้นด้วย ชนิดของอาหารที่สัตว์ได้รับเป็นอีกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณกลูโคสในเลือด โดยสัตว์ที่กินอาหารที่มีสารต้นตอสำหรับการสร้างกลูโคสในระดับสูงจะทำให้ปริมาณกลูโคสในเลือดสูงตามไปด้วย (พรศรี, 2531)

ฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์ (Caloriegenic hormone)

ฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์มีหน้าที่ควบคุมอัตราการเผาผลาญของร่างกาย และเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้มีการเจริญเติบโตของร่างกาย (ประวิทย์, 2526) โดยฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์จะช่วยทำให้ metabolic rate ของเนื้อเยื่อต่างๆในร่างกายสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลทำให้อัตราการใช้อาหารเพื่อสร้างพลังงาน และการสร้างโปรตีนของร่างกายเพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกับอัตราการสลายของโปรตีนจะเพิ่มขึ้นด้วย ผลที่ตามมา คือ อัตราการเจริญเติบโตของร่างกายสัตว์จะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในสัตว์ที่อยู่ในวัยกำลังเจริญเติบโต ฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์จะเพิ่มการดูดซึมของกลูโคสภายในระบบย่อยอาหาร และเพิ่มการดูดซึมของกลูโคสเข้าสู่เซลล์ และฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์ยังมีผลต่อเมแทบอลิซึมของโปรตีน และอัตราการเจริญเติบโตของร่างกาย โดยจะไปเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์ ดังนั้น ฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเจริญเติบโตของร่างกาย (ขรรขง, ม.ป.ป.) ฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์เป็นเอมีนฮอร์โมนซึ่งสังเคราะห์มาจากการดอะมีโนไทโรซีน (thyrosine) มีอยู่ 2 ชนิด คือ ไทรอกซีน (Thyroxine; T_4) และไทรไอโอโดไทโรนิน (triiodothyronine; T_3) โดยปกติ T_3 สามารถทำปฏิกิริยาในร่างกายได้รวดเร็ว และมีฤทธิ์มากกว่า T_4 ดังนั้น T_4 จึงอยู่ในรูปเพื่อจะย่นกว่าจะถูก deiodination ให้เป็น T_3 เสียก่อนจึงสามารถทำปฏิกิริยาได้ดี โดยปริมาณ T_3 ในร่างกายของโคปกติจะอยู่ที่ประมาณ 40-170 นาโนกรัมต่อเดซิลิตร (Dunlop, 1991)

ชนิดของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

กระบวนการย่อยสลายของอาหารประเภทเยื่อใยในกระเพาะรูเมนจำเป็นต้องใช้จุลินทรีย์ชนิดต่างๆภายในกระเพาะรูเมนเพื่อช่วยในขบวนการเมแทบอลิซึม จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนส่วนใหญ่เป็นพวกที่ไม่ต้องการออกซิเจน (obligate anaerobes) นอกจากนั้นจะเป็นจุลินทรีย์พวกที่สามารถใช้ออกซิเจนได้ (facultative anaerobes) ซึ่งจะมีหน้าที่ใช้ออกซิเจนที่ติดมากับอาหารหรือออกซิเจนที่เข้ามาในขณะที่สัตว์เคี้ยวและกลืนอาหาร (Van Soest, 1982) จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แบคทีเรีย โปรโตซัว และเชื้อรา (ทวีพร, 2544)

แบคทีเรีย (Bacteria)

แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่มีมากที่สุดที่สุดในกระเพาะรูเมน ซึ่งมีมากกว่า 200 ชนิด โดยมีทั้งแบคทีเรียพวก obligate anaerobes และ facultative anaerobes (Hungate, 1966) แบคทีเรียในกระเพาะรูเมนสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆได้หลายรูปแบบ ในรูปแบบแรกเป็นการแบ่งตามส่วนของกระเพาะรูเมนที่มันอาศัยอยู่ เช่น แบคทีเรียที่เกาะกับพืชอาหารสัตว์ที่ลอยอยู่ในของเหลวในกระเพาะรูเมน แบคทีเรียที่ยึดกับผนังโปรโตซัว แบคทีเรียที่ยึดกับผนังด้านในของกระเพาะรูเมน และแบคทีเรียที่ลอยอยู่ในของเหลวในกระเพาะรูเมน การเกาะยึดของแบคทีเรียกับพืชอาหารสัตว์ในรูเมนเป็นตัวช่วยให้มีการย่อยพืชอาหารสัตว์ต่างๆเหล่านั้นอย่างดี การแบ่งจำแนกชนิดของแบคทีเรียตามชนิดของ substrate หรืออาหารที่แบคทีเรียเหล่านั้นใช้ ดังนี้

1. แบคทีเรียที่ย่อยเซลลูโลส (cellulolytic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถผลิตน้ำย่อยเซลลูโลส เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่มีมากที่สุดที่สุดในกระเพาะหมัก แบคทีเรียที่สำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่

Ruminococcus albus, *Ruminococcus flavefaciens* และ *Bacteroides succiogenes*

2. แบคทีเรียที่ย่อยเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose digesting bacteria) โดยทั่วไปแล้วแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสจะสามารถใช้ประโยชน์จากเฮมิเซลลูโลสได้ด้วย แบคทีเรียที่สำคัญได้แก่ *Butyrivibrio fibrisolvens*

3. แบคทีเรียที่ใช้อะไมโลส (amylolytic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จะเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ได้รับอาหารชั้นในระดับสูง โดยเฉพาะอาหารชั้นที่มีแป้งเป็นส่วนใหญ่ แบคทีเรียเหล่านี้จะมีผลผลิตสุดท้ายที่สำคัญได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรปิโอนิก กรดบิวทิริก

กรดแลกติก กรดซัคซินิก (succinic acid) และกรดฟอร์มิก (formic acid) โดยกรดซัคซินิก จะสามารถเปลี่ยนเป็นกรดแลกติกได้ แบคทีเรียที่สำคัญได้แก่ *Bacteroides amylophilus* (Hungate, 1966)

4. แบคทีเรียที่ใช้กรด (Bacteria utilizing acids) แบคทีเรียที่สามารถใช้ประโยชน์จากกรดที่ได้จากการย่อยสลายสารอาหาร ได้แก่ *Selenomonas lactilytica* และ *S. ruminantium* (Prins, 1971) โดยสามารถย่อยกรดแลกติกไปเป็น กรดปิโอนิก กรดอะซิดิก ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้

5. แบคทีเรียที่ใช้โปรตีน (proteolytic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้กรดอะมิโนเป็นแหล่งพลังงานพื้นฐาน ไม่มีการสร้างสปอร์ โดยจะมีความหนาแน่นของประชากรอยู่ระหว่าง 10^4 – 10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ของของเหลวในกระเพาะรูเมน (Hungate, 1966) โดยแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ย่อยโปรตีนโดยตรง คือ *Peptostreptococcus ruminicola* และนอกจากนี้แบคทีเรีย *Clostridium* sp., *Eubacterium ruminantium*, *Fusobacterium* sp., *Ruminococcus amylophilus*, *Selenomonas ruminantium* และ *Streptococcus bovis* สามารถย่อยโปรตีนได้เช่นกัน (Russell, 1985)

6. แบคทีเรียที่สังเคราะห์แก๊สมีเทน (methanogenic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นแบคทีเรียแกรมบวกโดยส่วนใหญ่ มีลักษณะรูปร่างแบบ cocci หรือ rods มีชนิดที่สำคัญ คือ *Methanobacterium formicicum* และ *M. ruminantium* โดยแบคทีเรียพวกนี้จะมีความหนาแน่นน้อย และมักเกาะอยู่กับโปรโตซัวเป็นการอาศัยแบบพึ่งพากัน (symbiotic)

7. แบคทีเรียที่ใช้ไขมัน (lipolytic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถย่อยสลายไขมันเป็นกลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระได้ โดยมีชนิดที่สำคัญได้แก่ *Veillonella alcalescens* และ *Anaerovibrio lipolytica*

8. แบคทีเรียที่ใช้น้ำตาล (fermenter of sugar) แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถย่อยโพลีแซคคาไรด์ให้เป็น โมโนแซคคาไรด์ หรือ ไดแซคคาไรด์ โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้ ได้แก่ *Lactobacillus* sp. (Hungate, 1966)

โปรโตซัว (Protozoa)

โปรโตซัวในกระเพาะรูเมนมีมากกว่า 100 ชนิด โดยจะอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน เช่นเดียวกับแบคทีเรีย มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง $10^5 - 10^6$ เซลล์/มิลลิลิตร โปรโตซัวส่วนใหญ่จะเป็นชนิดที่มีแบบซิลเลีย (ciliate protozoa) ซึ่งโปรโตซัวชนิดที่มีขนแบบซิลเลียสามารถแบ่งออกเป็น 2 sub-class (Moat and Foster, 1995) คือ

1. Holotrichia เป็นโปรโตซัวขนาดใหญ่ มีขนปกคลุมอยู่เต็ม รูปร่างเป็นรูปไข่ มีลักษณะคล้าย paramecium เคลื่อนไหวได้เร็ว โดยในกระเพาะรูเมนมักพบอยู่ 3 species ได้แก่ *Isotrichia intestinalis*, *I. prostoma* และ *Dasytrich ruminantium* โปรโตซัวพวกนี้จะเก็บสะสมอาหารไว้ในรูปของ glycogen หรือ amylopectin เพื่อใช้เป็นพลังงานในยามขาดแคลน

2. Spirotrichia มีลักษณะเป็นรูปไข่หรือแท่งยาว มีขนหรือพู่อยู่เฉพาะส่วนหน้าของลำตัว เพื่อใช้ในการกินอาหารและการเคลื่อนไหวเท่านั้น ที่พบในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะอยู่ใน order entodiniomorphs มักถูกเรียกว่า oligotricha โดย genera ที่สำคัญ ได้แก่ *Diplodinium*, *Eudiplodinium*, *Entodinium* และ *Ostracodinium* เป็นต้น

ชนิดของอาหารจะเป็นตัวกำหนดจำนวนของโปรโตซัว โดยเมื่อสัตว์ได้รับอาหารชั้นปริมาณสูง หรือภาวะมีค่าความเป็นกรด - ด่าง อยู่ในช่วง 6 โปรโตซัวจะเจริญได้ดี โปรโตซัวจะใช้แป้ง และน้ำตาลเป็นอาหารโดยจะเก็บสะสมในรูปของ poly - dextran ซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการเจริญเติบโต และการรักษาการทำงานของร่างกายโปรโตซัว โปรโตซัวทั้ง 2 sub - class สามารถหมักคาร์โบไฮเดรตได้เป็น กรดอะซิติก กรดบิวทิริก และไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ และสามารถสร้าง propionate, H_2 , CO_2 และ CH_4 ได้ด้วย โปรโตซัวส่วนใหญ่จะกินแบคทีเรียเป็นอาหาร โดยแบคทีเรียจะอยู่ในสถานะผู้ถูกล่า และโปรโตซัวจะอยู่ในสถานะผู้ล่า เมื่อแบคทีเรียถูกโปรโตซัวกินจนเหลือน้อยจะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยอาหาร และการสังเคราะห์โปรตีนจากจุลินทรีย์ลดลง (Eddie and Mann, 1970)

สำหรับประโยชน์ของโปรโตซัว คือ โปรโตซัวจะช่วยรักษากระบวนการหมัก การย่อยสลายเยื่อใย และแป้งภายในกระเพาะรูเมน ป้องกันการเกิดกรดในกระเพาะรูเมนเนื่องจากแป้งถูกแบคทีเรียหมักอย่างรวดเร็ว (Dehority, 1993) นอกจากนี้โปรโตซัวยังช่วยในการเพิ่มปริมาณกรดไขมันสายสั้นจากการสังเคราะห์กรดไขมันของโปรโตซัวอีกด้วย

เชื้อรา (fungal)

เชื้อราในกระเพาะรูเมนจะอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน เชื้อราที่มีบทบาทที่สำคัญมากในการย่อยสลายเยื่อใยในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากเชื้อราที่มีเอนไซม์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสทำให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากพืชอาหารสัตว์ได้เต็มที่ (Fonty and Joblin, 1991; Akin and Borneman, 1990) เชื้อราที่ช่วยในการย่อยอาหารในกระเพาะรูเมนมีประมาณ 20 ชนิด วงจรชีวิตของเชื้อรา มี 2 ระยะ โดยระยะแรกเรียกว่า motile flagellated zoospore เป็นระยะที่สามารถเคลื่อนไหวได้ โดยมีแฟลเจลลา (flagella) ทำหน้าที่ในการพัดโบก โดยระยะนี้เชื้อราจะสามารถใช้แหล่งพลังงาน คือ น้ำตาลกลูโคส ซูโครส และแมนนิทได้ (Orpin and Boutiff, 1978) ส่วนระยะต่อมา คือ ระยะ non – motile vegetative phase (sporangium) เป็นระยะที่หยุดการเคลื่อนไหว และเริ่มมีการเจริญเติบโตของเชื้อรา โดยมีไรซอยด์ (rhizoid) เจาะแทงเข้าไปในเนื้อเยื่อของพืชและสามารถนำเอาคาร์บอนจากพืชเหล่านั้น มาเป็นประโยชน์ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อราสามารถย่อยสลายพันธะของลิกนินที่อยู่ในรูป hemicellulose – lignin complex ได้ ดังนั้นเชื้อราจึงเป็นจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญในการย่อยสลายอาหารประเภทเยื่อใย

เชื้อราในกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถผลิตเอนไซม์ต่างๆได้ คือ เอนไซม์ย่อยเซลลูโลส (cellulase) เอนไซม์ย่อยเฮมิเซลลูโลส (xylanase) ซึ่งเอนไซม์ที่ผลิตได้จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของเชื้อรา (Lowe *et al.*, 1987) นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อรายังมีการผลิตเอนไซม์ย่อยแป้ง (amylase) เอนไซม์ย่อยโปรตีน (protease) และเอนไซม์ย่อยเพคติน (pectinase) เป็นต้น โดยเชื้อราสามารถผลิตเอนไซม์ได้ทั้งระยะที่มีการเคลื่อนไหว และระยะที่ไม่มีการเคลื่อนไหว ซึ่งทั่วไปเอนไซม์จะถูกผลิตและขับออกมานอกเซลล์ (extracellular) (Wood *et al.*, 1995) ประชากรของเชื้อราจะผันแปรตามชนิดของอาหาร โดยถ้าสัตว์ได้รับอาหารหยาบจำนวนเชื้อราในกระเพาะหมักจะมีมากขึ้น (Bauchop, 1981) เชื้อราที่สำคัญในสัตว์กระเพาะรวม ได้แก่ *Neocallismastix frontalis*, *Piromyces communis*, *Orpinmyces joyonii* และ *Sphaeromonas communis* หรือ *Caecomyces communis* (Orpin, 1975) เชื้อราสามารถผลิตเอนไซม์ที่ช่วยในการย่อยสลายอาหารโปรตีน เป็นเอนไซม์แบบเมทัลโลโปรตีเอส (metalloprotease) โดยมีสังกะสีเป็นโคเอนไซม์ซึ่งมีหน้าที่คล้ายกับเอนไซม์ทริปซิน (trypsin) แต่ว่างกันที่เอนไซม์แบบเมทัลโลโปรตีเอสมีความสามารถในการย่อยโปรตีนได้ดีกว่าเอนไซม์ทริปซิน ซึ่งส่วนใหญ่แล้วเชื้อราไม่สามารถผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายโปรตีนโดยตรง แต่เชื้อราจะช่วยเสริมความสามารถในการย่อยสลายโปรตีนจากจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ

การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาของฟางข้าว

การที่ฟางข้าวมีค่าการย่อยได้และคุณค่าทางโภชนาต่ำ ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการนำมาเป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวในปัจจุบันนักโภชนาศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้องได้พยายามปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวเพื่อให้สัตว์กินฟางข้าวได้มากขึ้นและได้รับสารอาหารสูงขึ้น โดยมีหลายวิธีการที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหาร ปริมาณการกิน และการย่อยได้ ซึ่งแบ่งออกเป็น วิธีการทางกายภาพ วิธีการทางเคมี วิธีการทางเคมีกายภาพ และวิธีทางชีวภาพ (Ibrahim, 1983)

วิธีการทางกายภาพ (Physical treatment)

เป็นการปรับปรุงคุณภาพอาหารหยาบโดยใช้เครื่องมือกลต่างๆ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ เช่น การแช่น้ำ การสับ การบด การอัดเม็ด การตี การนึ่ง การอบไอน้ำ และการฉายแสง เป็นต้น การแช่น้ำจะช่วยให้การกำจัดสารออกซาเลต (oxalate) ออกไปได้บางส่วน แต่มีข้อเสีย คือ จะทำให้โภชนาที่ละลายได้ (soluble nutrients) สูญเสียไปด้วย การสับ การบด และการอัดเม็ดเป็นวิธีการลดขนาดของฟางข้าวซึ่งจะมีผลให้สัตว์กินฟางข้าวได้มากขึ้น ส่วนการนึ่ง การใช้รังสีแกมมา การใช้ไอน้ำร้อนสามารถทำให้การย่อยได้ของอาหารสูงขึ้นเนื่องจากการสลายตัวของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสแต่จะไม่มีผลต่อการสลายพันธะของลิกนิน (ยังลักษณะ, 2543) โดยวิธีการเหล่านี้ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในระดับเกษตรกร หรือฟาร์มขนาดเล็ก เนื่องจากการจัดการค่อนข้างยากและค่าใช้จ่ายสูง (Ibrahim, 1983)

วิธีการทางเคมี (Chemical treatment)

เป็นการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวโดยใช้สารเคมี โดยสารเคมีที่ใช้ในวิธีการนี้แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กรด ต่าง และตัวออกซิไดส์ (Doyle *et al.*, 1986)

1. กรดที่ใช้ในการเพิ่มค่าการย่อยได้ของอาหารหยาบ ได้แก่ กรดซัลฟิวริก และกรดเกลือ เป็นต้น โดยกรดจะไฮโดรไลซ์เฮมิเซลลูโลสในผนังเซลล์ ทำให้ได้น้ำตาลออกมา และบางครั้งยังทำให้พันธะระหว่างลิกนินและคาร์โบไฮเดรตแยกออก ทำให้ฟางข้าวมีค่าการย่อยได้เพิ่มขึ้น (Doyle *et al.*, 1986)

2. ต่างที่ใช้ในการเพิ่มค่าการย่อยได้ของอาหารหยาบ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ยูเรีย-แอมโมเนีย เป็นต้น ต่างจะทำปฏิกิริยากับฟางข้าวโดยจะทำให้แขนของไฮโดรเจนที่จับระหว่างเซลล์โลส 2 โมเลกุลอ่อนตัวลง (Jackson, 1977) และต่างจะย่อยบางส่วนของแขนที่จับกันระหว่างกลุ่มของกรดยูโรนิกของเฮมิเซลล์โลส ให้เป็นน้ำตาลไซโลส กลูโคส และเซลโลไบโอส และย่อยกลุ่มอะซิดิลของเฮมิเซลล์โลสให้กลายเป็นน้ำตาลไซโลส (Crosthwaite *et al.*, 1984) ทำให้ส่วนประกอบของผนังเซลล์เกิดการอ่อนตัว ทำให้จุลินทรีย์สามารถเข้าไปสัมผัสและย่อยได้มากขึ้น ทำให้ฟางข้าวมีค่าการย่อยได้มากขึ้น การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในฟางข้าวจะทำให้การย่อยได้และการกินได้ของฟางข้าวเพิ่มมากขึ้น เพราะต่างจะช่วยให้ลิกนินสามารถละลายได้มากขึ้น หรือทำให้การจับตัวกันระหว่างลิกนินหรือกลุ่ม phenolic กับส่วนผนังเซลล์หลวมตัวขึ้น (Ibrahim, 1983) การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ในฟางข้าวจะเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ จึงต้องมีการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อให้ระยะเวลาในการหมักสั้นลง (Doyle, 1982) การใช้ยูเรีย-แอมโมเนีย ในฟางข้าว เมื่อสัตว์กินฟางข้าวที่มียูเรียเข้าไป ยูเรียจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ยูรีเอส (urease) จากจุลินทรีย์ได้แอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนียจะทำปฏิกิริยากับน้ำได้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นด่างเข้าไปทำลายพันธะระหว่างลิกนินที่จับกับเซลล์โลสหรือเฮมิเซลล์โลส และจุลินทรีย์ยังสามารถใช้ประโยชน์จากแอมโมเนียโดยทำปฏิกิริยากับกรดคีโต (keto acid) จากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตได้เป็นกรดอะมิโน ซึ่งจะถูกรวบรวมเป็นโปรตีนของจุลินทรีย์ซึ่งจะถูกย่อยในกระเพาะและลำไส้เล็กโดยเอนไซม์ของสัตว์เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนของสัตว์ต่อไป (Ibrahim, 1983)

3. ตัวออกซิไดส์ที่ใช้ในการเพิ่มค่าการย่อยได้ของอาหารหยาบ ได้แก่ ก๊าซคลอรีน และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น โดยตัวออกซิไดส์จะมีผลทำให้พันธะระหว่างลิกนินและคาร์โบไฮเดรตแตกตัว เพื่อเพิ่มการย่อยได้ของเซลล์โลสและเฮมิเซลล์โลสแต่ไม่มีผลต่อการลดปริมาณของลิกนิน แต่มีการพบว่าถ้าหากใช้สารเคมีที่มีความเข้มข้นสูงจะมีผลทำให้ลิกนินละลายได้สูงขึ้นโดยไปลดแรงดึงดูดระหว่างจุดเชื่อมของลิกนิน หรือ phenolic group กับส่วนประกอบของผนังเซลล์ ทำให้ลิกนินแยกตัวออกมาจากเซลล์โลส (Ibrahim, 1983)

ข้อเสียของการใช้สารเคมี คือ การลงทุนสูง การมีพิษตกค้าง การสูญเสียโภชนาที่ละลายง่าย เช่น คาร์โบไฮเดรต และเฮมิเซลล์โลส (พันธิพา, 2539) อีกทั้งอาจมีอันตรายต่อสัตว์และผู้ปฏิบัติงาน ตลอดจนมีผลตกค้างในสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดมลภาวะได้

วิธีการทางกายภาพ-เคมี (physico-chemical treatment)

เป็นการปรับปรุงคุณภาพอาหารหยาบโดยใช้ทั้งวิธีกล และวิธีทางเคมีร่วมกัน โดยทั่วไปแล้วพบว่ามีผลดีมากกว่าการใช้วิธีใดวิธีหนึ่งเพียงอย่างเดียว (วิบูลย์ศักดิ์, 2530) โดยวิธีการนี้ได้แก่ การบดฟางข้าวร่วมกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ การอัดเม็ดฟางข้าวร่วมกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และการนึ่งร่วมกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น การนึ่งและการบดจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของฟางข้าวให้เพิ่มขึ้น ทำให้สารเคมีสามารถทำปฏิกิริยาได้ทั่วถึงขึ้น ส่งผลให้ค่าการย่อยได้เพิ่มขึ้น วิธีการใช้สารเคมี เช่น ยูเรียร่วมกับการอัดเม็ดของฟางข้าวเพื่อช่วยให้การย่อยได้ดีขึ้น เพราะความร้อนในระหว่างการอัดเม็ดจะช่วยให้ยูเรียสลายตัวเป็นแอมโมเนีย ส่วนการใช้ความร้อนร่วมกับการใช้สารเคมีตัวอื่นๆจะมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเร่งปฏิกิริยาทางเคมีให้เกิดเร็วขึ้น ทำให้ค่าการย่อยได้สูงขึ้น (ถนัด, 2531)

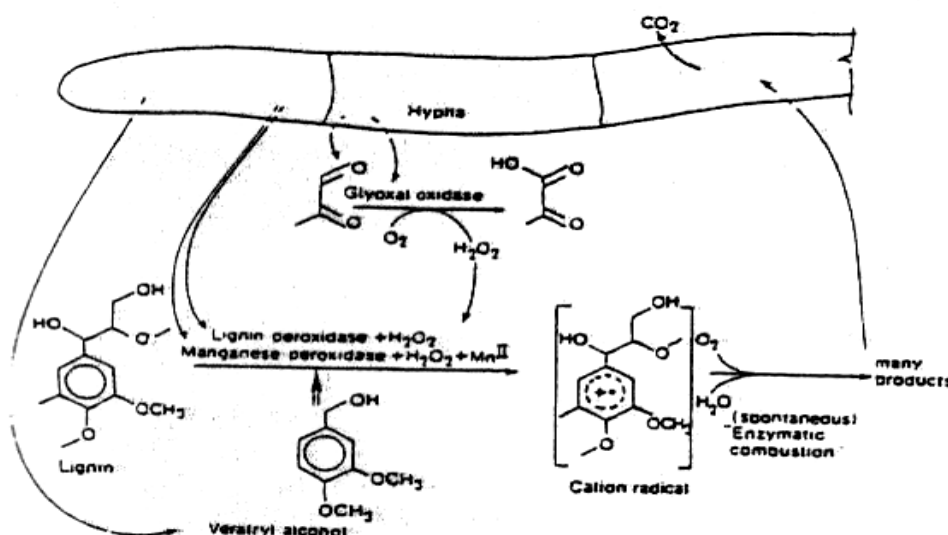
วิธีการทางชีวภาพ (biological treatment)

เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวโดยใช้จุลินทรีย์ในธรรมชาติ ประเภท แบคทีเรีย ยีสต์ รา หรือ เอนไซม์ (Ibrahim, 1983) จุลินทรีย์ในธรรมชาติที่มีความสามารถย่อยลิกนินจะเป็นกลุ่มของเชื้อรา Class Basidiomycetes มี 3 กลุ่ม คือ white rot fungi, soft rot fungi และ brown rot fungi (Cowling, 1961; Kirk and Alder, 1970; Kirk *et al.*, 1978; Gilbertson, 1980) ซึ่งใน 3 กลุ่มนี้ white rot fungi เป็นกลุ่มที่มีประสิทธิภาพในการย่อยลิกนิน (lignin) และสารประกอบอะโรมาติก (aromatic) อื่นๆสูงที่สุด (Cowling, 1961) นอกจากนี้เชื้อรา Class Basidiomycetes ยังสามารถเปลี่ยนลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) ให้กลายเป็นโปรตีนที่ใช้เป็นอาหารของสัตว์ได้อีกด้วย (Romeo, 1983)

การเพิ่มคุณค่าของอาหารหยาบโดยใช้เชื้อรากลุ่ม white rot fungi ได้มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะเห็ดสกุล *Plurotus* เป็นเห็ดที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารที่มีโมเลกุลซับซ้อนได้ดี (กิตติพงศ์ และปัญญา, 2533) เป็นพวกที่ชอบเซลลูโลส (cellulose) และลิกนิน (lignin) วัสดุที่ใช้ในการเพาะเห็ดเหล่านี้จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพก่อน นอกจากนี้ยังใช้วัสดุเพาะได้อย่างกว้างขวาง สามารถใช้วัสดุแทบทุกชนิดที่เป็นผลพลอยได้จากการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมจากต้นพืชโดยเฉพาะฟางข้าว นอกจากนี้เห็ดสกุล *Plurotus* ยังสามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ในโตรเจนในฟางข้าวให้กลายเป็นสารอินทรีย์ในโตรเจนได้ ทำให้อัตราส่วนของสารอินทรีย์ในโตรเจนสูงขึ้น ส่งผลให้ฟางข้าวมีคุณภาพที่ดีขึ้นตามไปด้วย (ปาณิสรา, 2548)

กลไกการย่อยสลายลิกนินโดย white rot fungi

กลไกในการย่อยสลายลิกนินของเห็ดราแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป แต่โดยกระบวนการหลักแล้วมีลักษณะคล้ายกัน โดยในการย่อยสลายลิกนิน white rot fungi จะผลิตเอนไซม์ 3 ชนิด คือ LiP MnP และ glyoxal oxidase (GLOX) (Kirk *et al.*, 1976) โดยเอนไซม์ทั้งสามมีการทำงานร่วมกัน (ภาพที่ 6) โดยในอันดับแรกเอนไซม์ GLOX จะทำหน้าที่ในการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สำหรับการทำงานของ peroxidase แล้วจะมี LiP เป็นเอนไซม์หลักในกระบวนการย่อยโครงสร้างที่เป็น non-phenolic ของลิกนินในส่วนที่เป็น aromatic nuclei จะถูก oxidized ไปเป็น aryl cation radical ซึ่งจะถูกตัดในขบวนการ fragmentation ในขณะที่ผลิต veratryl alcohol ซึ่งเป็น secondary metabolite ทำหน้าที่กระตุ้นการสร้าง LiP และเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายประจุ (charge-transfer mediator) เอนไซม์ MnP จะผลิต Mn^{3+} ซึ่งเมื่อถูก chelate จะทำหน้าที่ oxidize สารพวก phenolic สารระหว่างปฏิกิริยาทั้งที่เป็น aliphatic และ aromatic ก็จะถูก metabolize ต่อโดยราจนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ภิญญดา, 2546) ซึ่งผลของปฏิกิริยาจะปรากฏชัดเมื่อระดับความเป็นกรดต่ำเหมาะสม (ประธาน, 2536) โดยเชื้อเห็ดภูฐาน (*Pleurotus eous*) จะสามารถย่อยวัตถุดิบได้ดีเมื่ออยู่ในสภาพความเป็นกรดต่ำที่เป็นกลาง (pH 7.0) หรืออยู่ในช่วง pH 6.5 – 7.5 (อานนท์, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 6 ระบบการย่อยลิกนินของ white rot fungi

ที่มา: Krik and Hammol (1992)

คุณค่าของฟางข้าวเมื่อได้รับการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการโดย white rot fungi

การใช้เห็ด *pleurotus* ที่เป็นจุลินทรีย์กลุ่ม white rot fungi ในการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวจะมีผลต่อฟางข้าว ดังนี้

1. ทำให้ปริมาณของอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter) ในฟางข้าวลดลงเนื่องจาก จุลินทรีย์จะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตชนิด insoluble ให้เป็น soluble (Fazaeli *et al.*, 2004) และเห็ด *pleurotus* จะย่อยลิกนิน (Lignin) ออกจากพันธะลิกโนเซลลูโลส ทำให้ฟางข้าวมีค่าการย่อยได้ของ วัตถุแห้งสูงขึ้น (ปาณิสรา, 2548; Punj, 1967; Singh *et al.*, 1990; Jung *et al.*, 1992; Kandu, 1994; Karunanandaa *et al.*, 1995; Zadrzil *et al.*, 1995; Zandrzil, 1997; Dorado *et al.*, 1999; Fazaeli *et al.*, 2004) และเห็ด *pleurotus* ยังสามารถเพิ่มการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุในฟางได้อีก ด้วย แต่การย่อยได้ที่เพิ่มมากขึ้นของฟางนั้นจะส่งผลให้ฟางมีการสูญเสียน้ำหนักของฟางข้าวทำให้ ได้ผลผลิตที่ลดลง (Dorado *et al.*, 1999) เนื่องจากเห็ด *pleurotus* จะไปลดปริมาณปริมาณของผนัง เซลล์ และลิกโนเซลลูโลสในฟางข้าว (Jung *et al.*, 1992; Karunanandaa *et al.*, 1995) เนื่องจากใน ขั้นตอนการเจริญเติบโตของเห็ด *pleurotus* จะมีการสลายเยื่อใยในส่วน of เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส (Hadder *et al.*, 1993)

2. ทำให้ฟางข้าวมีปริมาณโปรตีนรวมสูงขึ้น (ประธาน, 2536; ปาณิสรา, 2548; Bonatti *et al.*, 2004; Fazaeli *et al.*, 2004) เนื่องจากเห็ด *pleurotus* มีความสามารถในการย่อยสลาย สารต่างๆในฟางข้าว เช่น เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีผลให้สัดส่วนของโปรตีนในฟาง ข้าวสูงขึ้น นอกจากนี้เห็ดยังสามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ในโตรเจนให้เป็นสารอินทรีย์ในโตรเจน ได้ ส่งผลให้อัตราส่วนของสารอินทรีย์ในโตรเจนในฟางข้าวสูงขึ้น ผลที่ตามมาคือฟางข้าวที่ได้จะมี ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น (ปาณิสรา, 2548)

การทดลองเกี่ยวกับการใช้เห็ด *pleurotus* ในการปรับปรุงคุณภาพของผลพลอยได้ทาง การเกษตรแล้วนำมาเลี้ยงสัตว์ในปัจจุบันมีน้อยมาก โดยยังลักษณ์ (2543) ได้ทดลองใช้เห็ดนางฟ้า (*pleurotus sajor-caju*) ในการปรับปรุงคุณภาพของหญ้าแฝกแล้วนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์การย่อย ได้ในแกะ พบว่าแฝกที่ใช้เห็ดนางฟ้าในการปรับปรุงคุณภาพมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของ อินทรีย์วัตถุ โปรตีนรวม ผนังเซลล์ และเซลลูโลส เพิ่มขึ้นจากแฝกปกติ 51.17 16.14 29.43 และ 25.21 เป็น 54.87 33.32 31.40 และ 28.68 ตามลำดับ

แต่อย่างไรก็ตามปัจจุบันนี้ในประเทศไทยยังไม่มียานทดลองใดที่ได้มีการใช้ฟางข้าวที่ผ่านการเพิ่มคุณค่าโดยวิธีการทางชีวภาพโดยการใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์มาทดลองเลี้ยงในโคเพื่อศึกษาถึงสมรรถภาพการผลิต การทดลองนี้จึงเป็นการทดลองแรกที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตฟางข้าวที่ผ่านการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยการใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์ในการผลิตโคเนื้อ โดยการศึกษาจะทำในรูปแบบของการใช้งานจริง ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากงานทดลองนี้สามารถที่จะนำไปใช้ในปรับปรุงให้เหมาะสมกับอุตสาหกรรมการเลี้ยงโคต่อไป

อุปกรณ์

การทดลองที่ 1

การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและการย่อยได้ของฟางข้าวที่ผ่านการเพิ่มโภชนาการโดยใช้ การหมักย่อยของจุลินทรีย์

สัตว์ทดลอง

การทดลองครั้งนี้ใช้โคลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียน x พื้นเมืองเพศผู้ ที่ได้ทำการเจาะ
กระเพาะรูเมนไว้แล้ว อายุประมาณ 2 ปี 6 เดือน น้ำหนักประมาณ 250 กิโลกรัม จำนวน 2 ตัว
เลี้ยงในคอกเลี้ยงเดี่ยวขนาด กว้าง 2.5 เมตร ยาว 5 เมตร สูง 1.5 เมตร หลังคากระเบื้อง และพื้น
คอนกรีต มีรางอาหารหยاب และอ่างน้ำซีเมนต์อยู่ด้านหน้าคอก มีฟางข้าวให้โคกินตลอดเวลา

อาหารที่ใช้ในการทดลอง

อาหารทดลอง แบ่งเป็น 4 สูตร คือ

สูตรที่ 1 ประกอบด้วยฟางข้าว

สูตรที่ 2 ประกอบด้วยฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดภูฐาน

สูตรที่ 3 ประกอบด้วยฟางข้าวและกากน้ำตาลที่หมักด้วยเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae*
ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก (Lactic acid bacteria)

สูตรที่ 4 ประกอบด้วยฟางข้าวที่หมักด้วยกากน้ำตาลโดยไม่ใส่เชื้อ

อุปกรณ์ในการหาปริมาณการสลายตัวของอาหารโดยใช้เทคนิคถุงไนลอน

ประกอบด้วยถุงไนลอนรูขนาด 20 – 60 ไมครอน ก้านสายยางยาว 25 – 40 เซนติเมตร และ
เส้นเอ็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร

อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์

ประกอบด้วยอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) (A.O.A.C., 1990) และการวิเคราะห์องค์ประกอบเซลล์พืชแบบ Van Soest (Goering and Van Soest, 1982)

อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา

ประกอบด้วย cork borer เบอร์ 6 ตะเกียงแอลกอฮอล์ เครื่อง autoclave จานเพาะเลี้ยง และตู้ปลอดเชื้อ

การทดลองที่ 2

การนำฟางข้าวที่ผ่านการเพิ่มโภชนาะโดยใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์มาเลี้ยงโคเพื่อ ศึกษาสมรรถภาพการผลิต เมแทบอลิต์ของเลือด และจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

สัตว์ทดลอง

การทดลองครั้งนี้ใช้โคลูกผสม บราห์มัน X พื้นเมืองเพศผู้ตอน อายุประมาณ 1 ปี 6 เดือน น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 215 กิโลกรัม จำนวน 15 ตัว

โรงเรือนทดลอง

ทำการทดลองที่ คอกทดลองของศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตกระบือและโค มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม
(Latitude 14° 01' 16.08" N, Longitude 99° 58' 53.063" E and Elevation +7.247 m)

สภาพโรงเรือนเป็นโรงเรือนโปร่ง หลังคากระเบื้อง และพื้นคอนกรีต คอกที่ใช้เลี้ยงโคเป็น คอกเดี่ยวขนาดกว้าง 2.5 เมตร ยาว 5 เมตร สูง 1.5 เมตร มีรางอาหาร และอ่างน้ำซีเมนต์ 1 อ่างต่อ 2 คอกอยู่ด้านหน้าคอก มีน้ำสะอาด และแร่ธาตุก้อนให้กินตลอดเวลา

อาหารที่ใช้ในการทดลอง

แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. อาหารทดลอง แบ่งเป็น 3 สูตร คือ

สูตรที่ 1 ประกอบด้วยฟางข้าว

สูตรที่ 2 ประกอบด้วยฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดถ่าน

สูตรที่ 3 ประกอบด้วยฟางข้าวและกากน้ำตาลที่หมักด้วยเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก (Lactic acid bacteria)

2. หนูงานตัดสด ที่อายุประมาณ 45 วัน

อุปกรณ์ในฟาร์ม

ประกอบด้วยอุปกรณ์สำหรับการจัดเตรียมฟางข้าวให้สัตว์ ได้แก่ ส้อมตักหญ้า รถเข็น พลับ เครื่องชั่งน้ำหนักอาหารขนาด 5 กิโลกรัม เครื่องชั่งน้ำหนักสัตว์ขนาด 1,000 กิโลกรัม ถังพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างมูล อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บของเหลวจากกระเพาะรูเมน ประกอบด้วย เครื่องปั๊มสุญญากาศ สายยาง หัวดูด ขวด พร้อมจุกยาง และผ้าขาวบางใช้สำหรับกรอง อุปกรณ์เก็บเลือด ได้แก่ เข็มเจาะเลือด (เบอร์ 18 ยาว 1.5 นิ้ว) กระบอกฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร และหลอดเก็บเลือดตัวอย่างพร้อมฝาปิด

อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์

อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) (A.O.A.C., 1990) และการวิเคราะห์องค์ประกอบเซลล์พืชแบบ Van Soest (Goering and Van Soest, 1982)

อุปกรณ์ในการตรวจนับจุลินทรีย์

ประกอบด้วย Haemocytometer ขนาด กว้าง 1 มม. ยาว 1 มม. และลึก 0.1 มม. สไลด์ พร้อม cover glass ปีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร น้ำกลั่นปลอดเชื้อ ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร และกล้องจุลทรรศน์ (Model Olympus BX50)

วิธีการ

การทดลองที่ 1

การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและการย่อยได้ของฟางข้าวที่ผ่านการเพิ่มโภชนาการโดยใช้ การหมักย่อยของจุลินทรีย์

แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) โดยใช้สัตว์ทดลอง 2 ตัว โดยสุ่มอาหารทดลองเป็น 4 กลุ่มๆละ 2 ตัว ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยฟางข้าว

กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดภูฐาน

กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยฟางข้าวและกากน้ำตาลที่หมักด้วยเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae*
ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก (Lactic acid bacteria)

กลุ่มที่ 4 ประกอบด้วยฟางข้าวที่หมักด้วยกากน้ำตาลโดยไม่ใส่เชื้อ

เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง 4 กลุ่มทดลอง

การเตรียมหัวเชื้ออาหารทดลอง

หัวเชื้ออาหารทดลองสูตรที่ 2 เตรียมโดยสับฟางข้าวด้วยเครื่องสับชนิดหั่นด้วยมอเตอร์ให้มีความยาวประมาณ 1.5 ถึง 4 เซนติเมตร แล้วนำฟางข้าวที่ผ่านการสับแล้ว 80 กรัมใส่ลงในถุงทนร้อนขนาด 5 X 8 ตารางนิ้ว ใส่ น้ำ 90 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดจุกด้วยสำลีเพื่อให้อากาศสามารถผ่านเข้าออกได้ (สภาพ aerobic) แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วนำเชื้อเห็ดภูฐาน (*Pleurotus eous*) ที่เลี้ยงในอาหาร PDA (Potato Dextrose Agar) นานประมาณ 1 ถึง 2 สัปดาห์ มาตัด

โดยใช้ cork borer เบอร์ 6 (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร) แล้วนำไปใส่ในถุงหัวเชื้อ ถุงละ 5 ถึง 6 ชิ้น ทิ้งไว้ประมาณ 1 ถึง 2 สัปดาห์ให้เชื้อเจริญแล้วจึงนำไปใช้เป็นหัวเชื้อในอาหารทดลอง

หัวเชื้ออาหารทดลองสูตรที่ 3 เตรียมโดยนำน้ำมะพร้าวผสมกับน้ำตาลทรายอัตราส่วน 10 : 1 นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วเติมเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ร่วมกับแบคทีเรียกลุ่ม Lactic acid bacteria ที่แยกได้จากข้าวโพดหมัก จำนวน 100 มิลลิลิตร ปิดฝาขวด (สภาพ anaerobic) ทิ้งไว้ 2 วันแล้วจึงนำไปใช้เป็นหัวเชื้อในอาหารทดลอง

การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารทดลองสูตรที่ 1 เตรียมโดยสับฟางข้าวด้วยเครื่องสับชนิดจุดด้วยมอเตอร์ให้ฟางข้าว มีความยาวประมาณ 1.5 ถึง 4 เซนติเมตร แล้วนำไปให้สัตว์กินได้ทันที

อาหารทดลองสูตรที่ 2 เตรียมโดยสับฟางข้าวด้วยเครื่องสับชนิดจุดด้วยมอเตอร์ให้มีความยาวประมาณ 1.5 ถึง 4 เซนติเมตร แล้วนำฟางข้าวที่ผ่านการสับแล้วจำนวน 800 กรัม ใส่ถุงทนร้อน ขนาด 20 X 30 ตารางนิ้ว ผูกปากถุง และนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ปลุกหัวเชื้อเห็ดโดยใช้น้ำหัวเชื้อจำนวน 2 ถุง ต่ออาหารหมัก 1 ถุง ปิดจุดด้วยสำลีเพื่อให้อากาศสามารถผ่านเข้าออกได้ (สภาพ aerobic) หมักไว้นาน 3 - 4 สัปดาห์ก่อนที่จะนำไปให้สัตว์กิน

อาหารทดลองสูตรที่ 3 เตรียมโดยสับฟางข้าวด้วยเครื่องสับชนิดจุดด้วยมอเตอร์ให้มีความยาวประมาณ 1.5 ถึง 4 เซนติเมตร แล้วนำฟางข้าวที่ผ่านการสับแล้วจำนวน 800 กรัม แขน้ำทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมงก่อนนำมาผึ่งบนตระแกรงเหล็ก 15 นาที หลังจากนั้นนำมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน กับกากน้ำตาลหนัก 160 กรัม ใส่ถุงขนาด 20 X 30 ตารางนิ้ว เติมหักหัวเชื้อจำนวน 200 มิลลิลิตร ไล่อากาศออก และปิดปากถุงให้แน่น (สภาพ anaerobic) หมักไว้นาน 2 สัปดาห์ก่อนที่จะนำไปให้สัตว์กิน

การเก็บตัวอย่างทดลอง

กลุ่มตัวอย่างอาหารทดลองทั้ง 3 ทริทเมนต์ เพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) และ Goering and Van Soest (1982) ทดสอบปริมาณการสลายตัวของอาหารทดลองโดยใช้เทคนิคถุงไนลอน (Nylon bag technique) โดยใช้ถุงไนลอนที่มีขนาดประมาณ 20-60 ไมครอนขนาดสูง 70 x 150 มิลลิเมตร บดตัวอย่างผ่านตะแกรง 2 มิลลิเมตร ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ใส่ในถุงไนลอนที่ซังน้ำหนักแล้ว นำไปย่อยในกระเพาะรูเมนของโคที่เจาะกระเพาะไว้แล้ว ให้มีระยะเวลาในการแช่อยู่นานต่างกัน คือ 4, 8, 16, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง โดยใส่ถุงในกระเพาะรูเมนที่ระยะเวลาต่างกันแล้วนำออกมาพร้อมๆกัน เมื่อครบเวลานำถุงออกมาล้างเบาๆด้วยน้ำเย็นเพื่อล้างเศษอาหารที่ติดมากับถุงออกให้หมด จากนั้นนำถุงไปอบแห้งในตู้อบแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (Ørskov *et al.*, 1983) นำถุงและตัวอย่างอาหารไปซังน้ำหนักที่เหลือ ส่วนค่า washing loss ทำโดยนำตัวอย่างไปแช่ในอ่างน้ำอุ่น (water bath) ที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจากนั้นนำถุงไปอบและซังน้ำหนักเช่นเดียวกับการคำนวณค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (dry matter degradation, DMD) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป NEWAY (Ørskov and McDonald, 1979)

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการในห้องปฏิบัติการ

วิเคราะห์ปริมาณวัตถุแห้ง (Dry Matter) โปรตีนรวม (Crude Protein) อินทรีย์วัตถุ และเถ้า (Ash) ในตัวอย่างอาหารทดลองตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) และวิเคราะห์องค์ประกอบโครงสร้างพืชในอาหารซึ่งได้แก่ ผนังเซลล์ (Neutral Detergent Fiber), ดิกโนเซลลูโลส (Acid Detergent Fiber), ลิกนิน (Lignin) ตามวิธีของ Goering and Van Soest (1982)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลทั้งหมดจะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทริทเมนต์โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SAS (1998) โดยมีโมเดลดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

โดยที่

Y_{ij} คือค่าสังเกตที่ได้จากสิ่งทดลอง

μ คือค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง

τ_i คืออิทธิพลของสิ่งทดลอง

ε_{ij} คือความคลาดเคลื่อนสุ่ม

โดย $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$

การทดลองที่ 2

การนำฟางข้าวที่ผ่านการเพิ่มโภชนาการใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์มาเลี้ยงโคเพื่อ
ศึกษาสมรรถภาพการผลิต เมแทบอลิต์ของเลือด และจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยใช้สัตว์ทดลอง 15 ตัว โดยสุ่มเป็น 3 กลุ่มๆละ 5 ตัว (5 ตัว) ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ให้สัตว์กินฟางข้าวปกติ

กลุ่มที่ 2 ให้สัตว์กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดภูฐานให้สัตว์กินเต็มที่

กลุ่มที่ 3 ให้สัตว์กินฟางข้าวและกากน้ำตาลที่หมักด้วยเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae*
ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก (Lactic acid bacteria)

เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง 3 กลุ่มทดลอง

การเตรียมสัตว์ทดลอง

สัตว์ทดลองทุกตัวถูกถ่ายพยาธิด้วย Ivomex F 1 มิลลิกรัม/ 30 กิโลกรัม และฉีดวิตามินเอดีอี (AD₃E) 1 มิลลิกรัม/ 50 กิโลกรัม ก่อนการทดลอง 1 สัปดาห์ เลี้ยงโคในคอกขังเดี่ยวเพื่อให้คุ้นเคยกับอาหารและสภาพคอกโดยสัตว์ทุกตัวจะได้รับอาหารทดลองอย่างเต็มที่ โดยได้รับหญ้าขนตัดสดในอัตราที่เท่ากัน คือ 6 กิโลกรัม/วัน

การให้อาหารสัตว์ทดลอง

การให้อาหารสัตว์ทดลองแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ

ระยะปรับอาหาร เพื่อให้สัตว์คุ้นเคยกับอาหารทดลอง โดยผสมอาหารทดลองกับฟางข้าว คลุกเคล้ากันให้ทั่ว วันแรกให้ฟางข้าวที่ได้รับปรับปรุงคุณค่าเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ แล้วค่อยๆเพิ่มอาหารทดลองขึ้นวันละ 20 เปอร์เซ็นต์จนครบ 100 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 5 ของการเปลี่ยนอาหาร

ระยะเตรียมการทดลอง เป็นระยะที่ให้อาหารทดลองกับอาหารที่ควบคุม โดยให้สัตว์กินได้อย่างเต็มที่ (*ad libitum*) เพื่อให้สัตว์ปรับตัวตามชนิดอาหาร ใช้เวลา 7 วัน บันทึกปริมาณอาหารที่กินในแต่ละวันเพื่อวัดความสามารถในการกินได้ ปริมาณอาหารต่ำสุดและสูงสุดที่สัตว์กินได้

ระยะทดลอง เมื่อผ่านระยะเตรียมการทดลองแล้ว เป็นระยะที่เก็บข้อมูลจริง โดยให้สัตว์กินได้อย่างเต็มที่ (*ad libitum*) การให้อาหารแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ 8.00 น. 12.00 น. และ 16.00 น. โดยครั้งแรกจะให้อาหารทดลอง ครั้งที่ 2 ให้หญ้าขนตัดสด 6 กิโลกรัม และครั้งที่ 3 ให้อาหารทดลองในปริมาณเท่ากับครั้งแรก

การให้น้ำและแร่ธาตุก่อน ให้สัตว์กินตามความต้องการตลอดเวลา

การเก็บตัวอย่างทดลอง

เก็บข้อมูลเกี่ยวกับกินอาหาร โดยทำการบันทึกปริมาณอาหารที่ให้ และเหลือในแต่ละวัน เพื่อนำไปหาปริมาณการกินได้ของอาหาร (Feed Intake) เมื่อคิดเป็นกิโลกรัม/วัน และเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

ชั่งน้ำหนักสัตว์เมื่อเริ่มต้นการทดลอง โดยในระหว่างการทดลองจะทำการชั่งน้ำหนักสัตว์ทุกๆ 30 วัน ในช่วงเวลา 7.00 – 8.00 น. เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของสัตว์ตลอดระยะเวลาการทดลองเพื่อหาอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Gain) และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (Feed Conversion Rate)

เก็บตัวอย่างอาหารและมูลเพื่อหาค่าการย่อยได้ โดยใช้เวลาในการทดลอง 7 วัน บันทึกปริมาณอาหารที่กินและมูลที่ถ่ายออกมาแต่ละวันเพื่อหาค่าเฉลี่ย และทำการวิเคราะห์โดยปฏิบัติตามวิธีการของ อังคณา และดวงสมร (2532) โดยการเก็บอาหารจะสุ่มอาหารที่ให้สัตว์ทดลองครั้งละ 10 เปอร์เซ็นต์ และการเก็บมูลสัตว์ทดลองจะทำการเก็บทุก 3 ชั่วโมงทำการชั่งปริมาณในการเก็บแต่ละครั้ง หลังจากนั้นสุ่มเก็บ 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณมูลแล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

ทำจนครบ 7 วันนำอาหารและมูลที่สุ่มไปหาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ (digestibility coefficient) ในรูปของวัตถุแห้งตามวิธีการของ Ensminger and Olentine (1980) โดยใช้สูตร

$$\text{สัมประสิทธิ์การย่อยได้} = \frac{(\text{อาหารที่สัตว์กิน (DM)} - \text{อาหารที่ถ่ายในมูล (DM)})}{\text{อาหารที่สัตว์กิน (DM)}} \times 100$$

เก็บตัวอย่างเลือดในวันที่ 15 45 75 และ 105 ของการทดลอง โดยเจาะบริเวณ Jugular vein ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังให้อาหารในตอนเช้าเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณยูเรียในเลือด (Blood Urea Nitrogen) ตามวิธีของ Crocker (1967) วิเคราะห์หาปริมาณกลูโคสในเลือด (Blood Glucose) โดยวิธี Glucose oxidase method ตามวิธีของ Slein (1963) และวิเคราะห์หาปริมาณฮอร์โมน Thyroxine (T_3) ในเลือดโดยวิธี Electrochemiluminescence immunoassay (ECLIA) โดยใช้เครื่องมือ Roche Elecsys 1010 / 2010 และ Modular analytics E 170 (Elecsys module) immunoassay analyzers.

การเก็บของเหลวในกระเพาะรูเมนในวันสุดท้ายของการทดลองที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังจากให้อาหารในตอนเช้า โดยทำการเก็บตัวอย่างของของเหลวในกระเพาะรูเมน ด้วยวิธี stomach tube โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) ต่อกับท่อ (stomach tube) สอดผ่านทางปากลงไปในห้องอาหารไปจนถึงกระเพาะหมักแล้วทำการดูดของเหลวในกระเพาะหมัก ประมาณ 200–300 มิลลิลิตร หลังจากนั้นกรองของเหลวผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้น แล้วแบ่งของเหลวออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 นำของเหลวไปใส่หลอดปลอดเชื้อ 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย fix solution 9 มิลลิลิตร (fix solution ประกอบด้วย 0.85% saline solution 9 ส่วน และ 10% formaldehyde 1 ส่วน) นำไปแช่ในตู้ความดันลบที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปตรวจนับจำนวน แบคทีเรีย โปรโตซัว และซูโอสปอร์ของเชื้อรา โดยวิธี Total microscopic direct count โดยการนับแบคทีเรียตามวิธีของ Galyean (1989) การนับโปรโตซัวตามวิธีของ Dehority (1984) และการนับซูโอสปอร์ของเชื้อราตามวิธีของ Dickinson *et al.* (1994)

ส่วนที่ 2 นำของเหลวไปใส่ขวดปลอดเชื้อปริมาตร 50 มิลลิลิตร และเติม 6 N HCL 0.5 มิลลิลิตร (เพื่อหยุดขบวนการหมักจุลินทรีย์และตกตะกอนโปรตีน) จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที รินเอาส่วนใส (supernatant) และเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเพื่อการวิเคราะห์หาแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ตามวิธีของ Bromner and Keeney (1965)

การวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

วิเคราะห์ปริมาณวัตถุแห้ง โปรตีนรวม และเถ้า ในตัวอย่างอาหารทดลองตามวิธีของ A.O.A.C. (1990) และวิเคราะห์องค์ประกอบโครงสร้างพืชในอาหารซึ่งได้แก่ ผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนิน ตามวิธีของ Goering and Van Soest (1982)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลทั้งหมดจะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SAS (1998) โดยมีโมเดลดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

โดยที่

Y_{ij} คือค่าสังเกตที่ได้จากสิ่งทดลอง

μ คือค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง

τ_i คืออิทธิพลของสิ่งทดลอง

ε_{ij} คือความคลาดเคลื่อนสุ่ม

โดย $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$

สถานที่ทำการทดลอง

1. ห้องปฏิบัติการทดลอง ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะศิลปศาสตร์ และวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม
2. คอกทดลองศูนย์วิจัย และพัฒนาการผลิตกระบือและโค มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม
3. คอกทดลองศูนย์วิจัย และพัฒนาการผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน จ.นครปฐม
4. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม
5. ฝ่ายชันสูตรโรคสัตว์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน จ.นครปฐม

ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มการทดลอง : มิถุนายน 2548

สิ้นสุดการทดลอง : กรกฎาคม 2549

ผลและวิจารณ์

การทดลองที่ 1

การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและการย่อยได้ของฟางข้าวที่ผ่านการเพิ่มโภชนาการโดยใช้ การหมักย่อยของจุลินทรีย์

ผลที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวสูตรต่างๆ

ฟางข้าวที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นฟางข้าวที่นำมาจาก อำเภออุทุมพร จัหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งมีปริมาณวัตถุแห้ง 90.31 เปอร์เซ็นต์ อินทรีย์วัตถุ และเถ้าเท่ากับ 90.12 และ 9.88 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ ซึ่งเป็นคุณค่าทางโภชนาการของฟางข้าวที่พบโดยทั่วไป (Cheva-Isarakul and Potikanond, 1986) สำหรับส่วนของเยื่อใย พบว่ามีปริมาณผนังเซลล์ ลิกโนเซลลูโลส และลิกนิน เท่ากับ 89.14 59.36 และ 6.64 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งตามลำดับ โดยค่าเหล่านี้มีค่าใกล้เคียงกับคุณค่าทางอาหารที่พบได้ตามสถิติของฟางข้าวโดยทั่วไป ส่วนปริมาณโปรตีนรวมในฟางข้าวนี้สูงถึง 5.73 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง ซึ่งสูงกว่ารายงานของ อนุรัตน์(2528) วิบูลย์ศักดิ์(2530) นิรันดร์ (2536) และสมเกียรติและคณะ(2544) เนื่องจากฟางข้าวในการทดลองนี้เป็นฟางข้าวนาปรังที่ได้รับอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้หว่านในข้าว (Roxas *et al.* 1985) (ตารางที่ 1) ซึ่งโดยปกติข้าวนาปรังจะมีการใช้ปุ๋ยที่มากเป็นพิเศษจึงส่งผลให้ในฟางข้าวในการทดลองนี้มีปริมาณโปรตีนรวมสูงกว่าฟางข้าวทั่วไป นอกจากนี้ฟางข้าวที่ใช้ในการทดลองนี้ยังได้เก็บไว้ในที่ร่มจึงทำให้โปรตีนรวมในฟางข้าวไม่สูญเสียไปอีกด้วย (Devendra, 1982)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบโภชนะของฟางข้าวสูตรต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้ในห้องปฏิบัติการ

โภชนะ (เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้ง)	ฟาง	ฟาง+เชื้อเห็ด	ฟาง+แบคทีเรียและยีสต์
วัตถุดิบแห้ง	90.31±0.13 ^a	19.61±0.27 ^c	23.26±0.22 ^b
อินทรีย์วัตถุ	90.12±0.13 ^a	86.71±0.01 ^c	88.56±0.10 ^b
เถ้า	9.88±0.13 ^c	13.29±0.01 ^a	11.44±0.10 ^b
โปรตีนรวม	5.73±0.02 ^c	7.27±0.17 ^b	8.66±0.18 ^a
ผนังเซลล์	89.14±2.72 ^a	70.33±0.68 ^b	84.95±1.15 ^a
ลิกโนเซลลูโลส	59.36±0.96	61.091±0.01	55.472±2.35
ลิกนิน	6.64±0.06 ^a	3.74±0.29 ^b	6.72±0.29 ^a

± : ค่า Standard error

^{a,b,c} ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ P<0.01

ฟางข้าวหลังจากที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เชื้อเห็ดฐานแล้วพบว่าฟางข้าวมีปริมาณโปรตีนรวมในฟางข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) โดยจะเพิ่มขึ้นจากฟางข้าวปกติ 5.73 เป็น 7.27 เปอร์เซ็นต์ (วัตถุดิบแห้ง) ทั้งนี้เนื่องจากการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดโดยเห็ดจะสามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศมาเป็นโปรตีนในเส้นใยเห็ดได้จึงทำให้ฟางข้าวมีโปรตีนสูงขึ้น (วีรศักดิ์, 2529) ซึ่งการใช้เชื้อเห็ดเป็นวิธี Biological Treatment เป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารหยาบโดยใช้จุลินทรีย์ตามธรรมชาติ เช่นเดียวกับการใช้เห็ดนางฟ้า (*pleurotus sajor-caju*) ในการปรับปรุงคุณภาพของหญ้าแฝก ที่พบว่าค่า โปรตีนรวมสูงขึ้นจากปกติ 3.95 เป็น 8.38 เปอร์เซ็นต์ (วัตถุดิบแห้ง) (ยิ่งลักษณ์, 2543) ส่วนค่า วัตถุดิบแห้งของฟางข้าวสูตรนี้จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) จากฟางข้าวปกติ โดยจะลดลงจาก 90.31 เป็น 19.61 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการใส่น้ำในฟางข้าวขณะที่ทำการหมัก นอกจากนี้ปริมาณ อินทรีย์วัตถุจะมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) โดยมีค่าลดลงจากฟางข้าวปกติ 90.12 เป็น 86.71 เปอร์เซ็นต์ (วัตถุดิบแห้ง) และการใช้วิธีการนี้ในการปรับปรุงคุณค่าของฟางข้าวจะทำให้ปริมาณของเถ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) โดยมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าจากฟางข้าวปกติ 9.88 เป็น 13.29 เปอร์เซ็นต์ (วัตถุดิบแห้ง) เนื่องจากในขั้นตอนการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดจะมีการย่อยสลายเยื่อใย และสารอินทรีย์ต่างๆ ในฟางข้าวทำให้มีการเพิ่มปริมาณของเถ้า (Hadder *et al.*, 1993)

นอกจากนี้ปริมาณ ผนังเซลล์ของฟางข้าวสูตรนี้ยังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) จากฟางข้าวปกติโดยมีค่าลดลงจาก 89.14 เป็น 70.33 เปอร์เซ็นต์ (วัตถุแห้ง) เนื่องจากเห็ด *Pleurotus* สามารถเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตชนิดที่ไม่ละลาย (Insoluble carbohydrate) ให้เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ (Soluble carbohydrate) (Fazaeli *et al.*, 2004) ส่วนค่า ลิกโนเซลลูโลสของฟางข้าวสูตรนี้ จะแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) จากฟางข้าวปกติ และปริมาณของลิกนินใน ฟางข้าวสูตรนี้จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยลดลงจากฟางข้าวปกติ 6.64 เป็น 3.74 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง เนื่องจากเชื้อเห็ดภูฐานสามารถสลายพันธะระหว่างลิกนินกับ เซลลูโลสที่อยู่ในรูปของลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) ในฟางข้าวได้ (Romeo, 1983) เช่นเดียวกับการใช้เห็ดนางฟ้าในการปรับปรุงคุณค่าของฟางข้าวไรน์ ที่ทำให้ปริมาณลิกนินลดลง 53.6 เปอร์เซ็นต์ (Karunanandaa and Varga, 1996) (ตารางที่ 1)

ฟางข้าวที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ร่วมกับ แบคทีเรียแลคติกที่แยกออก (isolate) มาจากข้าวโพดหมัก แล้วพบว่ามีความ วัตถุแห้งแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยจะลดลงจากฟางข้าวปกติ 90.31 เป็น 23.26 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีการใส่น้ำในฟางข้าวขณะที่ทำการหมัก ปริมาณ อินทรีย์วัตถุ และผนังเซลล์จะมีค่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยลดลงจากฟางปกติเป็น 88.56 และ 84.95 เปอร์เซ็นต์ (วัตถุแห้ง) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสบางส่วนจะถูกย่อยสลาย โดยยีสต์และแบคทีเรีย ปริมาณลิกโนเซลลูโลสจะแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติจากฟาง ข้าว ($P > 0.05$) ส่วนค่าโปรตีนรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) จากฟาง ข้าวปกติ โดยจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากฟางปกติ 5.73 เป็น 8.66 เปอร์เซ็นต์ (วัตถุแห้ง) สืบเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนยีสต์และแบคทีเรียทำให้มีปริมาณโปรตีนรวมสูงขึ้น ส่วนปริมาณลิกนินจะ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) จากฟางข้าวปกติ (ตารางที่ 1)

ค่าการย่อยสลายวัตถุแห้งของฟางข้าวสูตรต่างๆในกระเพาะรูเมน

ค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งเมื่อนำลงในลอนที่บรรจุตัวอย่างฟางข้าว ฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด ฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก และฟางข้าวที่หมักด้วยกากน้ำตาลโดยไม่ใส่เชื้อไปแช่ในกระเพาะรูเมนที่ระยะเวลาต่างๆ คือ 4 8 16 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การย่อยสลายของวัตถุแห้งของฟางข้าวสูตรต่างๆในกระเพาะรูเมน

ระยะเวลาการหย่อน (ชั่วโมง)	ฟางข้าว	ฟางข้าว + เชื้อเห็ด	ฟางข้าว + แบคทีเรียและยีสต์	ฟางข้าว + กากน้ำตาล
4	15.64±1.26	19.02±1.54	19.11±0.03	17.79±0.33
8	15.96±1.35	18.88±0.54	22.81±0.38	18.83±4.36
16	25.42±8.12	21.78±2.42	28.36±2.69	32.29±6.23
24	32.19±0.00 ¹	22.73±0.94 ²	38.76±3.44 ¹	37.16±5.40 ¹
48	48.5±2.67 ¹	29.89±10.30 ²	56.82±2.01 ¹	47.89±1.56 ¹
72	56.54±2.29 ^a	32.39±8.40 ^b	65.95±0.19 ^a	58.06±4.22 ^a
96	58.26±2.28 ^a	34.89±6.43 ^b	67.29±0.08 ^a	63.81±2.31 ^a

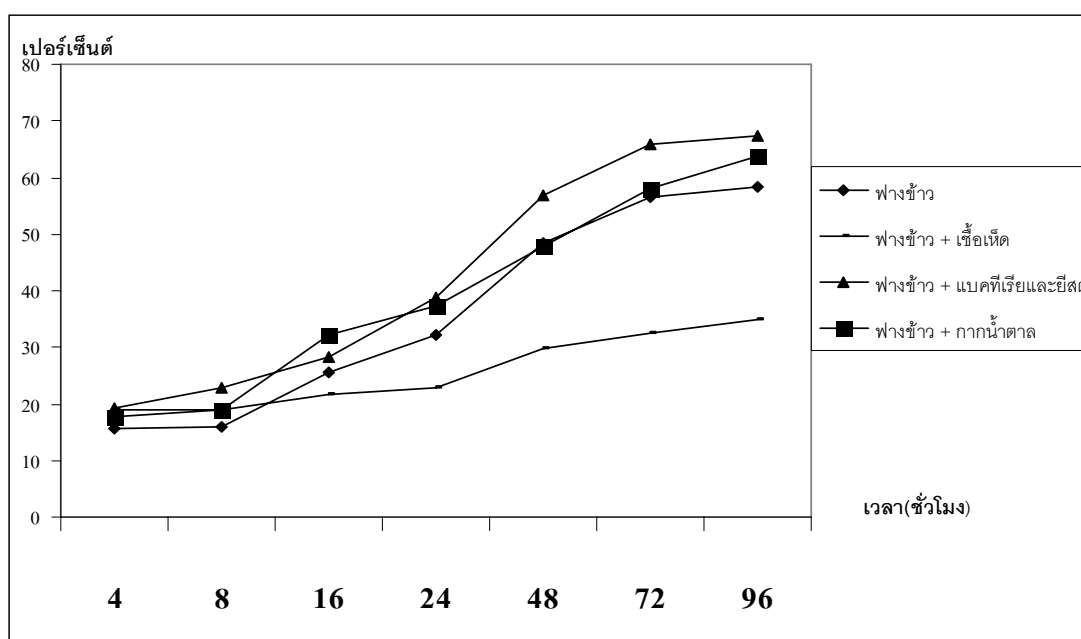
± : ค่า Standard error

^{a,b} ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ P<0.01

^{1,2} ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ P<0.05

ค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งที่ชั่วโมงต่างๆของฟางข้าวสูตรต่างๆ ในระยะแรก (ชั่วโมงที่ 4-8) จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากในฟางข้าวมีปริมาณโภชนาที่ย่อยง่ายอยู่น้อย หลังจากนั้นค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งที่ชั่วโมงต่างๆจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยเมื่อถึงชั่วโมงที่ 24 และ 48 ค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งของฟางข้าวสูตรต่างๆจะเริ่มเพิ่มขึ้น ซึ่งในช่วงนี้ค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งของฟางข้าวสูตรต่างๆจะมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยฟางข้าวปกติ ฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียกลุ่มแลคติก และฟางข้าวที่หมักด้วยกากน้ำตาลโดยไม่ใส่เชื้อมีค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมนสูงกว่าฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด

หลังจากนั้นเมื่อถึงชั่วโมงที่ 72 และ 96 ค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งของฟางข้าวสูตรต่างๆจะค่อนข้างคงที่ ซึ่งค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งของฟางข้าวสูตรต่างๆในช่วงนี้จะมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยฟางข้าวปกติ ฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียกลุ่มแลคติก และฟางข้าวที่หมักด้วยกากน้ำตาลโดยไม่ใส่เชื้อมีค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมนสูงกว่าฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด (ดังภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 การย่อยสลายของวัตถุแห้งของฟางข้าวสูตรต่างๆในกระเพาะรูเมน

การที่ฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดมีค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมนต่ำที่สุดเนื่องจากในขบวนการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดฐาน เห็ดจะมีการย่อยสลายเยื่อใยโดยเฉพาะปริมาณของผนังเซลล์จนเหลือปริมาณน้อย (จากฟางข้าว 89.14 เป็น 70.33 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้ง; $P < 0.01$) (ตารางที่ 1) เมื่อผนังเซลล์ถูกสลายไปบางส่วนจะทำให้ฟางข้าวส่วนที่เหลือมีสัดส่วนของเยื่อใยที่ลดลง ทำให้เกิดลักษณะที่ต้านทานการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (ยิ่งลักษณ์, 2549) ทำให้เมื่อนำฟางข้าวสูตรนี้มาหาค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมนแล้วจะมีค่าต่ำลง นอกจากนั้นฟางข้าวสูตรนี้ยังมีปริมาณของเถ้าที่สูงขึ้นจากฟางข้าวปกติ 9.88 เป็น 13.29 เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง ($P < 0.01$) ซึ่งส่งผลให้ฟางข้าวมีการย่อยสลายของวัตถุแห้งที่ชั่วโมงต่างๆลดลง เนื่องจากเถ้าจะไปจับตัวกับสารอินทรีย์ และคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่าย โดยการจับตัวกันเป็นโมเลกุลเชิงซ้อนระหว่างสารอินทรีย์และเถ้า (Brosh *et al.*, 1998) ทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนไม่สามารถย่อยฟางข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลที่ตามมาคือ ค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้งในกระเพาะรูเมนของฟางข้าวสูตรนี้จึงมีค่าต่ำตามไปด้วย

การทดลองเพื่อหาค่าการย่อยสลายของวัตถุแห่งในกระเพาะรูเมนนี้ สามารถใช้วัดประสิทธิภาพการย่อยได้ของฟางข้าวสูตรต่างๆในเบื้องต้นได้ โดยจากการทดลองพบว่า ฟางข้าวปกติ ฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียกลุ่มแลคติก และฟางข้าวที่หมักด้วยกากน้ำตาลโดยไม่ใส่เชื้อ มีประสิทธิภาพการย่อยได้สูงกว่าฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด แต่อย่างไรก็ตามผลดังกล่าวเป็นตัวบ่งชี้ในการวัดค่าประสิทธิภาพการย่อยได้อาหารหยาบเพียงเบื้องต้นเท่านั้น ฉะนั้นจึงต้องมีการทดสอบในการเลี้ยงสัตว์ต่อไป

การทดลองที่ 2

การนำฟางข้าวที่ผ่านการเพิ่มโภชนาโดยใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์มาเลี้ยงโคเพื่อ ศึกษาสมรรถภาพการผลิต เมแทบอลิต์ของเลือด และจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของฟางข้าวที่ผ่านการเพิ่มโภชนาโดยใช้การหมักย่อยของจุลินทรีย์ โดยการนำฟางข้าวสูตรต่างๆ ไปเลี้ยงโคเนื้อเพื่อศึกษาถึงสมรรถภาพการผลิต ซึ่งจะมีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน เมแทบอลิต์ของเลือด และจำนวนจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเป็นตัวยืนยันถึงสมรรถภาพการผลิตในการทดลองนี้

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของฟางข้าวสูตรต่างๆ

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุดิบแห้ง อินทรีย์วัตถุ โปรตีน ผนังเซลล์ และลิกโนเซลลูโลสของฟางข้าวสูตรต่างๆ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) (ตารางที่ 3) โดยค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนาในฟางข้าวสูตรต่างๆ จะมีค่าไปในแนวทางเดียวกัน คือ ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนาฟางข้าวปกติจะมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก และฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดมีค่าต่ำที่สุด (ภาพที่ 8)

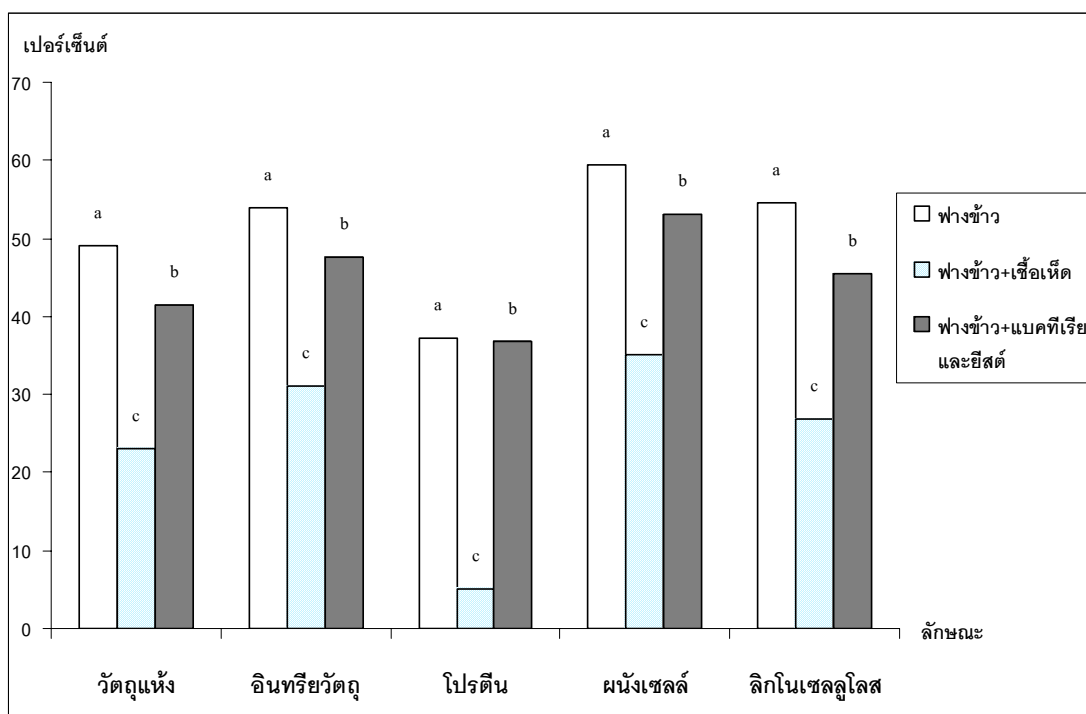
ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของฟางข้าวสูตรต่างๆ

ลักษณะที่ศึกษา	ฟางข้าว	ฟางข้าว +เชื้อเห็ด	ฟางข้าว +แบคทีเรียและยีสต์
วัตถุแห้ง	49.13±4.01 ^a	22.95±7.20 ^c	41.54±3.85 ^b
อินทรีย์วัตถุ	53.981±3.48 ^a	31.001±6.11 ^c	47.543±3.58 ^b
โปรตีน	37.251±5.05 ^a	5.124±5.32 ^c	36.738±5.60 ^b
ผนังเซลล์	59.46±3.35 ^a	35.181±5.06 ^c	53.014±3.85 ^b
ลิกโนเซลลูโลส	54.66±4.91 ^a	26.864±6.17 ^c	45.394±5.63 ^b

± : ค่า Standard error

^{abc} ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ P<0.01

การที่ฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ที่ต่ำกว่าฟางข้าวปกติเนื่องจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสบางส่วนจะถูกย่อยสลายโดยยีสต์และแบคทีเรียทำให้ฟางข้าวส่วนที่เหลือมีปริมาณโภชนาการที่น้อยลง จึงทำให้ค่าการย่อยได้ลดลง และฟางข้าวที่หมักด้วยเห็ดมีค่าการย่อยได้ต่ำสุดเนื่องจากในขั้นตอนของการเจริญเติบโตของเห็ด จะมีการย่อยสลายเชื้อใย เช่นเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน ทำให้องค์ประกอบต่างๆในฟางข้าวเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ส่วนที่เหลือมีลักษณะที่ต้านทานการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดมีค่าต่ำ (ยังลักษณะ, 2543) นอกจากนี้ฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดยังมีปริมาณของเถ้าสูงกว่าฟางข้าวกลุ่มอื่นๆ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการขัดขวางการย่อยได้ของสารอินทรีย์ต่างๆ เนื่องจากเถ้าจะไปจับตัวกับสารอินทรีย์ และคาร์โบไฮเดรตที่ง่ายขึ้น ทำให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนไม่สามารถย่อยฟางข้าวสูตรนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ลดลง (Brosh *et al.*, 1998)



ภาพที่ 8 สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของฟางข้าวสูตรต่างๆ

^{a,b,c} ตัวอักษรกำกับที่กราฟชุดเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P < 0.01$

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะในฟางข้าวสูตรต่างๆที่ได้จากการทดลองนี้จะแสดงถึงประสิทธิภาพการย่อยได้ของฟางข้าวสูตรต่างๆ ซึ่งจะวัดได้จากค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆในฟางข้าว โดยเฉพาะค่าการย่อยได้ของโปรตีนรวมที่เป็นค่าที่สำคัญที่สุดในการวัดคุณภาพของอาหารหยาบ จากผลการทดลองนี้พบว่าฟางข้าวปกติจะมีประสิทธิภาพการย่อยได้สูงที่สุด รองลงมาคือฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก และฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดมีประสิทธิภาพการย่อยได้ต่ำที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการนำฟางข้าวสูตรต่างๆไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์นอกจากจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะเป็นตัววัดประสิทธิภาพของอาหารหยาบแล้ว ยังมีอีกหลายปัจจัยส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์ เช่น ปริมาณโภชนะในอาหาร ปริมาณการกินได้ ตลอดจนค่าเมแทบอลิต์ต่างๆในเลือด ซึ่งสามารถที่จะพิจารณาได้จากการทดลองต่อไป

ปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร

ปริมาณฟางข้าวสูตรต่างๆที่โคกินได้เฉลี่ยตลอดการทดลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยปริมาณการกินได้ของฟางข้าวเมื่อคิดเป็น กิโลกรัม (วัตถุแห้ง) /วัน ของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ โคกลุ่มที่หมักด้วยเชื้อเห็ด และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีค่าเท่ากับ 3.83 0.75 และ 2.45 ตามลำดับ ปริมาณการกินได้ของฟางข้าวสูตรต่างๆเมื่อคิดเป็น เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก มีค่าเท่ากับ 1.70 0.36 และ 1.15 ตามลำดับ ซึ่งค่าปริมาณการกินได้ของฟางข้าวสูตรต่างๆเมื่อคิดเป็น กิโลกรัม (วัตถุแห้ง) / วัน และปริมาณการกินได้ของฟางข้าวสูตรต่างๆเมื่อคิดเป็น เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวสูตรต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) โดยโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติมีปริมาณการกินได้ (วัตถุแห้ง) สูงที่สุด รองลงมาคือโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก และ โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารของโคที่กินฟางข้าวสูตรต่างๆ

ลักษณะที่ศึกษา	ฟางข้าว	ฟางข้าว +เชื้อเห็ด	ฟางข้าว +แบคทีเรียและยีสต์
ปริมาณการกินได้ของฟางข้าวสูตรต่างๆ			
กิโลกรัม/วัน (น้ำหนักแห้ง)	3.83±0.38 ^a	0.75±0.05 ^c	2.45±0.17 ^b
เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว	1.70±0.20 ^a	0.36±0.07 ^c	1.15±0.17 ^b
ปริมาณการกินได้ของหญ้าขน			
กิโลกรัม/วัน (น้ำหนักแห้ง)	1.88±0.02	1.88±0.02	1.84±0.04
เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว	0.84±0.12	0.9±0.11	0.87±0.13
ปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมด			
กิโลกรัม/วัน (น้ำหนักแห้ง)	5.71±0.39 ^a	2.63±0.05 ^c	4.3±0.19 ^b
เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว	2.54±0.30 ^a	1.27±0.17 ^c	2.02±0.29 ^b
กรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว ^{0.75}	98.33±8.89 ^a	48.09±5.07 ^c	77.05±9.05 ^b
อัตราการเจริญเติบโต, กรัม/ตัว/วัน	0.058±0.02 ^b	0.046±0.04 ^b	0.142±0.05 ^a
ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหาร	141.63±49.67 ^a	35.70±17.52 ^b	44.06±13.73 ^b

± : ค่า Standard error

^{abc} ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ P<0.01

^{1,2} ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ P<0.05

หญ้าขนที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณโภชนะต่างๆดังแสดงไว้ในตารางที่ 5 ปริมาณการกินได้ของหญ้าขนเมื่อคิดเป็น กิโลกรัม (วัตถุแห้ง) /วัน ของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีค่าเท่ากับ 1.88 1.88 และ 1.84 ตามลำดับ ส่วนค่าปริมาณการกินได้ของหญ้าขนเมื่อคิดเป็น เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีค่าเท่ากับ 0.84 0.9 และ 0.87 ตามลำดับ ซึ่งค่าปริมาณการกินได้ของหญ้าขนเมื่อคิดเป็น กิโลกรัม (วัตถุแห้ง) / วัน และปริมาณการกินได้ของหญ้า

ชนเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวสูตรต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางโภชนาของหญ้าขน

โภชนา(%วัตถุดิบแห้ง)	หญ้าขน
วัตถุดิบแห้ง	32.25
อินทรีย์วัตถุ	91.44
เถ้า	8.56
โปรตีนรวม	5.48
พลังงาน	76.77
ลิกโนเซลลูโลส	46.66
ลิกนิน	5.43

ปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมดที่โคแต่ละกลุ่มกินได้เฉลี่ยตลอดการทดลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมดเมื่อคิดเป็น กิโลกรัม (วัตถุดิบแห้ง) /วัน ของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ โคกลุ่มที่หมักด้วยเชื้อเห็ด และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีค่าเท่ากับ 5.71 2.63 และ 4.30 ตามลำดับ ปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมดเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก มีค่าเท่ากับ 2.54 1.27 และ 2.02 ตามลำดับ และปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมดเมื่อคิดเป็น กรัม/ กิโลกรัม^{0.75} ของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก มีค่าเท่ากับ 98.33 48.09 และ 77.05 ตามลำดับ ซึ่งค่าปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมดเมื่อคิดเป็น กิโลกรัม (วัตถุดิบแห้ง) /วัน เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และกรัม/ กิโลกรัม^{0.75} ของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวสูตรต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติมีปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมดสูงที่สุด รองลงมาคือโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก และ โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด ตามลำดับ

โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีปริมาณการกินได้ต่ำกว่าโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติเนื่องจากฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีความชื้นสูงทำให้โคกินฟางข้าวได้น้อยกว่าฟางข้าวปกติ อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาเป็นน้ำหนักสดแล้ว โคกลุ่มนี้จะมีปริมาณการกินได้สูงที่สุด เนื่องจากยีสต์และแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนกากน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ จึงทำให้ฟางข้าวมีกลิ่นที่โคชอบ และฟางข้าวสูตรนี้ยังมีกากน้ำตาลที่มีรสชาติที่โคชอบ (Baile, 1979) เป็นส่วนผสมจึงทำให้โคกลุ่มนี้มีค่าการกินได้สูง ส่วนโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดมีปริมาณการกินได้น้อยที่สุดเนื่องจากฟางข้าวสูตรนี้กลิ่นเฉพาะของเชื้อเห็ดซึ่งเป็นกลิ่นอับที่โคไม่ชอบ ซึ่งพิจารณาได้จากการที่โคกลุ่มนี้มีปริมาณการกินได้ต่ำที่สุด

อัตราการเจริญเติบโตต่อวันของโคที่ทำการทดลองเมื่อคิดเป็นกรัม/ตัว/วันของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวสูตรต่างๆจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันสูงที่สุด รองลงมาคือโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด ตามลำดับ (0.142 0.058 และ 0.046 ตามลำดับ) (ตารางที่ 4)

โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันสูงที่สุด เนื่องจากฟางข้าวสูตรนี้มีปริมาณการกินได้และมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะสูง นอกจากนั้นฟางข้าวสูตรนี้ยังมีปริมาณโภชนะในฟางข้าวโดยเฉพาะโปรตีนรวมสูง ซึ่งโปรตีนรวมในฟางข้าวสูตรนี้เป็นโปรตีนรวมที่มีค่าการย่อยได้สูง จึงทำให้โคกลุ่มนี้มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันสูงที่สุด ส่วนโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติจะมีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันรองลงมาเนื่องจากปริมาณโภชนะในฟางข้าวปกติมีน้อยจึงส่งผลให้โคที่กินฟางข้าวปกติมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดมีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันต่ำที่สุดเนื่องจากโคกลุ่มนี้มีปริมาณการกินได้น้อยกว่าทุกกลุ่ม และฟางข้าวสูตรนี้ยังมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่ำ จึงส่งผลให้โคกลุ่มนี้มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันต่ำที่สุด

ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารของโคที่ทำการทดลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารในโคกลุ่มที่กินฟางข้าวสูตรต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารดีกว่า โคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ (35.70 44.06 และ 141.63 ตามลำดับ)

การที่โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดมีประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารดีที่สุดทั้งที่มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะต่ำ และมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ ทั้งนี้เพราะโคกลุ่มนี้มีปริมาณการกินได้น้อยมาก จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารที่คำนวณได้มีค่าที่ดี ส่วนโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารที่ลดลงมาเนื่องจาก ฟางข้าวสูตรนี้มีปริมาณโภชนะ และมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะสูง อีกทั้งโคกลุ่มนี้ยังมีอัตราการเจริญเติบโตสูง จึงทำให้โคกลุ่มนี้มีประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารดีตามไปด้วย และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติมีประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารต่ำที่สุด เนื่องจากฟางข้าวปกติมีปริมาณโภชนะต่ำจึงทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารไม่ดีตามไปด้วย

จากการทดลองหาค่าปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหารในโคที่กินฟางข้าวสูตรต่างๆ เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพของฟางข้าวสูตรต่างๆแล้วพบว่า ฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีคุณภาพสูงที่สุด รองลงมาคือฟางข้าวปกติ และฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้นี้จะสามารถยืนยันได้จากค่านิเวศวิทยาในกระเพาะรูเมน และค่าเมแทบอลิต์ต่างๆในเลือด ซึ่งจะสามารถพิจารณาได้จากการทดลองต่อไป

ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน ($\text{NH}_3\text{-N}$)

จากการทดลองตรวจวัดปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมนในชั่วโมงที่ 4 หลังจากโคกินอาหาร พบว่าโคทั้ง 3 กลุ่มมีปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมนสูงที่สุด รองลงมาคือโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดตามลำดับ (4.55 4.27 และ 3.85 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน และปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือดของโคที่กินฟางข้าวสูตรต่างๆ

ลักษณะที่ศึกษา	ฟางข้าว	ฟางข้าว +เชื้อเห็ด	ฟางข้าว +แบคทีเรียและยีสต์	Normal Range
ปริมาณแอมโมเนีย- ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน (mg%)	4.27±0.38	3.85±0.82	4.55±0.86	5-8
ปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจน ในเลือด(mg%)	9.22±1.54	8.15±1.55	10.05±1.55	11-15

± : ค่า Standard error

ปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมนของโคที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนมีค่าระหว่าง 5-8 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าต่ำสุดของความต้องการ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมนอยู่ที่ 5 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (Satter and Slyter, 1974) โดยในการทดลองครั้งนี้โคทั้ง 3 กลุ่มมีปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ต่ำกว่าความต้องการของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน จึงทำให้อัตราการเจริญเติบโตของโค 3 กลุ่มนี้ไม่ดีเท่าที่ควร แต่อย่างไรก็ตามโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมนใกล้เคียงกับปริมาณที่จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนต้องการที่สุด เนื่องจากฟางข้าวสูตรนี้มีปริมาณการกินได้สูง และฟางข้าวสูตรนี้ยังมีปริมาณโภชนะสูงโดยเฉพาะโปรตีนรวม นอกจากนี้ฟางข้าวสูตรนี้ยังมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะที่สูง จึงส่งผลให้โคกลุ่มนี้มีปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมนมีค่าสูงตามไปด้วย (Hammond, 1983; Chase *et al.*, 1993) โคกลุ่มที่มีปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมนรองลงมาคือโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ เนื่องจากฟางข้าวปกติมีปริมาณโภชนะในอาหารต่ำ ส่วนโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดซึ่งเป็นกลุ่มที่มีปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมนต่ำที่สุดเนื่องจากโคกลุ่มนี้มีปริมาณการกินได้ และมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะต่ำจึงส่งผลให้ปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมนมีค่าต่ำตามไปด้วย

ปริมาณของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมนสามารถใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของฟางข้าวสูตรต่างๆ ได้โดยถ้าฟางข้าวสูตรใดมีปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมนสูงจะแสดงว่าฟางข้าวสูตรนั้นๆ จะมีปริมาณ และการย่อยได้ของโปรตีนรวมในอาหารสูง (Hammond, 1983) ซึ่งจากผลการทดลอง

พบว่า ฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดตามลำดับ โดยปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมนนี้จะแปรผันตรงกับปริมาณของ BUN (Church, 1979) ซึ่งสามารถที่จะพิจารณาได้จากผลการทดลองต่อไป

เมแทบอลิต์ของเลือด

เมแทบอลิต์ของเลือดเป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของอาหารที่สัตว์ได้รับ โดยในการทดลองนี้ได้ทำการตรวจวัดปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด กลูโคสในเลือด และฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์เพื่อวัดประสิทธิภาพของฟางข้าวสูตรต่างๆ

ปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจนในเลือด (Blood urea nitrogen, BUN)

การทดลองนี้ได้ทำการตรวจวัดปริมาณ BUN ในชั่วโมงที่ 4 หลังจากโคกินอาหารเนื่องจากเป็นช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ BUN สูงที่สุด (ทวีพร, 2544; Church, 1979; Van soest, 1982) โดยจากการทดลองตรวจวัดปริมาณ BUN ในทุกๆเดือนของการเลี้ยงแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยปริมาณ BUN พบว่าโคทั้ง 3 กลุ่มมีปริมาณ BUN แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีปริมาณ BUN สูงที่สุด รองลงมาคือโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่ได้หมักด้วยเชื้อเห็ดตามลำดับ (10.05 9.22 และ 8.15 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (ตารางที่ 6)

ปริมาณของ BUN ในโคเนื้อที่เหมาะสมจะมีค่าระหว่าง 11-15 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (Byer and Moxon, 1980) โดยจากผลของการทดลองนี้พบว่า โคทั้ง 3 กลุ่มมีปริมาณ BUN ต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมจึงส่งผลให้โคกลุ่มต่างๆมีอัตราการเจริญเติบโตที่ไม่ดีเท่าที่ควร แต่อย่างไรก็ตามผลของการทดลองนี้พบว่า โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีปริมาณ BUN ใกล้เคียงกับระดับที่เหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากโคกลุ่มนี้มีปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมนสูง จึงทำให้โคกลุ่มนี้มีปริมาณ BUN สูงตามไปด้วยเนื่องจากปริมาณ BUN มีความสัมพันธ์ตรงกับระดับของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมน ส่วนโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดซึ่งเป็นโคกลุ่มที่มีปริมาณ BUN ต่ำที่สุด เนื่องจากโคกลุ่มนี้มีปริมาณ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมนต่ำ จึงส่งผลให้ปริมาณ BUN ต่ำตามไปด้วย (Church, 1979)

ปริมาณของ BUN สามารถใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของฟางข้าวสูตรต่างๆได้เช่นเดียวกับปริมาณของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในกระเพาะรูเมน โดยถ้าฟางข้าวสูตรใดมีปริมาณ BUN สูงจะแสดงว่าฟางข้าวสูตรนั้นๆมีความปริมาณ และการย่อยได้ของโปรตีนรวมในอาหารสูง (Hammond, 1983) ซึ่งจากผลการทดลองนี้พบว่า ฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่สุด รองลงมาคือ โกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ และ โกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดตามลำดับ

ปริมาณกลูโคสในเลือด (Blood Glucose; BG)

จากการทดลองตรวจวัดปริมาณ BG หลังโคกินอาหาร 4 ชั่วโมงซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณ BG สูงที่สุด (Mahardik *et al.*, 2000) ในทุกๆเดือนของการเลี้ยงแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยซึ่งจะแสดงในตารางที่ 7 จากการทดลองพบว่า โคทั้ง 3 กลุ่มมีปริมาณ BG แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยโกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีปริมาณ BG สูงที่สุด รองลงมาคือ โกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ และ โกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดตามลำดับ (75.22 70.71 และ 65.38 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ปริมาณกลูโคสในเลือดของโคที่กินฟางข้าวสูตรต่างๆ

ลักษณะที่ศึกษา	ฟางข้าว	ฟางข้าว +เชื้อเห็ด	ฟางข้าว +แบคทีเรียและยีสต์
กลูโคสในเลือด(mg%)	70.71±9.18	65.38±5.91	75.22±7.18

± : ค่า Standard error

ปริมาณกลูโคสในเลือดจะบ่งบอกถึงระดับพลังงานในอาหารที่สัตว์ได้รับ โดยโกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก มีปริมาณ BG สูงที่สุดเนื่องจากโคที่กินฟางข้าวสูตรนี้มีปริมาณการกินได้สูง และฟางข้าวสูตรนี้มีปริมาณโภชนะ และค่าการย่อยสลายของวัตถุดิบที่สูงที่สุด อีกทั้งฟางข้าวสูตรนี้ยังมีกากน้ำตาลเป็นส่วนประกอบถึง 20 เปอร์เซ็นต์ (วัตถุดิบ) จึงทำให้โกลุ่มนี้มีปริมาณ BG สูงที่สุด ส่วนโกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดซึ่งเป็นโกลุ่มที่มีปริมาณ BG ต่ำที่สุด เนื่องจากโกลุ่มนี้มีปริมาณการกินได้และค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของอาหารต่ำ จึงทำให้มีปริมาณ BG ต่ำตามไปด้วย (Mahardik *et al.*, 2000)

ปริมาณ BG สามารถใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของฟางข้าวสูตรต่างๆได้เช่นกัน โดยถ้าฟางข้าวสูตรใดมีปริมาณ BG สูงจะแสดงว่าฟางข้าวสูตรนั้นๆมีระดับพลังงานที่สัตว์ได้รับสูงตามไปด้วย (พรศรี, 2531) ซึ่งจากผลการทดลองนี้พบว่า ฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ โกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ และ โกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดตามลำดับ

ปริมาณฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์ (Caloriegenic hormone; T_3)

จากการทดลองตรวจวัดระดับ T_3 ในเลือดที่ชั่วโมงที่ 4 หลังจากโคกินอาหาร พบว่าโคทั้ง 3 กลุ่มมีระดับ T_3 ในเลือดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยโกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีปริมาณ T_3 ในเลือดสูงที่สุด รองลงมาคือ โกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ และ โกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเห็ดตามลำดับ (91.00 85.00 และ 81.33 นาโนกรัมเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ปริมาณฮอร์โมน T_3 ในเลือดของโคที่กินฟางข้าวสูตรต่างๆ

ลักษณะที่ศึกษา	ฟางข้าว	ฟางข้าว +เชื้อเห็ด	ฟางข้าว +แบคทีเรียและยีสต์
ฮอร์โมน T_3 ในเลือด (ng%)	85.00±15.72	81.33±2.08	91.00±20.78

± : ค่า Standard error

T_3 เป็นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับอัตราการเผาผลาญของร่างกาย ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการใช้อาหารเพื่อสร้างพลังงาน และการสร้างโปรตีนของร่างกาย (ยรรยง, ม.ป.ป.) ถ้ามีระดับของ T_3 สูงจะส่งผลให้ค่าการย่อยได้ของอาหารสูงตามไปด้วย (นทีทิพย์, 2538) จากการทดลองพบว่า โกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีปริมาณ T_3 ในเลือดสูงที่สุดจึงส่งผลให้ โกลุ่มนี้มีปริมาณการกินได้ ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ NH_3-N ในกระเพาะรูเมน BUN และ BG สูงตามไปด้วย ส่วนโคที่กินฟางข้าวปกติมีปริมาณ T_3 ในเลือดต่ำที่สุดจึงส่งผลให้โกลุ่มนี้มีปริมาณการกินได้ ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ NH_3-N ในกระเพาะรูเมน BUN และ BG ต่ำตามไปด้วย

จำนวนจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

จำนวนโปรโตซัว (protozoa)

โปรโตซัวในกระเพาะรูเมนส่วนใหญ่จะใช้น้ำตาลและแป้งเป็นอาหาร ซึ่งถ้าในกระเพาะรูเมนมีจำนวนโปรโตซัวสูงจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารและอัตราการเจริญเติบโตของสัตว์ต่ำลง (Russell and Rychlik, 2001) จากการทดลองนับจำนวนโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนโดยวิธีการส่องตรงจากกล้องจุลทรรศน์ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังจากกินอาหารพบว่าโคทั้ง 3 กลุ่มมีจำนวนโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดมีจำนวนโปรโตซัวสูงที่สุด รองลงมาคือโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก ตามลำดับ (1.9×10^4 , 1.8×10^4 และ 1.5×10^4 เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ) (ตารางที่ 9)

จากข้อมูลข้างต้นจะสามารถนำไปอธิบายเกี่ยวกับค่าการย่อยได้ของฟางข้าว และอัตราการเจริญเติบโตของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวสูตรต่างๆ ได้ คือ โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดมีจำนวนโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนมากจึงส่งผลให้โคกลุ่มนี้มีค่าการย่อยได้และอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำ ส่วนโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีจำนวนโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนน้อยจึงทำให้โคทั้ง 2 กลุ่มนี้มีค่าการย่อยได้และอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด (Russell and Rychlik, 2001)

ตารางที่ 9 จำนวนโปรโตซัว ซูโอสปอร์ของเชื้อรา และแบคทีเรีย ในกระเพาะรูเมนของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวสูตรต่างๆ

ลักษณะที่ศึกษา	ฟางข้าว	ฟางข้าว	ฟางข้าว
		+เชื้อเห็ด	+แบคทีเรียและยีสต์
จำนวนโปรโตซัว($\times 10^4$ เซลล์/มิลลิลิตร)	1.8 $\pm$ 0.62	1.9 $\pm$ 0.51	1.5 $\pm$ 0.94
จำนวนซูโอสปอร์ของเชื้อรา($\times 10^6$ เซลล์/มิลลิลิตร)	3.05 $\pm$ 1.50	1.95 $\pm$ 8.13	2.11 $\pm$ 1.18
จำนวนแบคทีเรีย($\times 10^9$ เซลล์/มิลลิลิตร)	3.42 $\pm$ 0.67	3.09 $\pm$ 0.54	3.10 $\pm$ 0.53

± : ค่า Standard error

จำนวนซูโอสปอร์ของเชื้อรา (fungal zoospores)

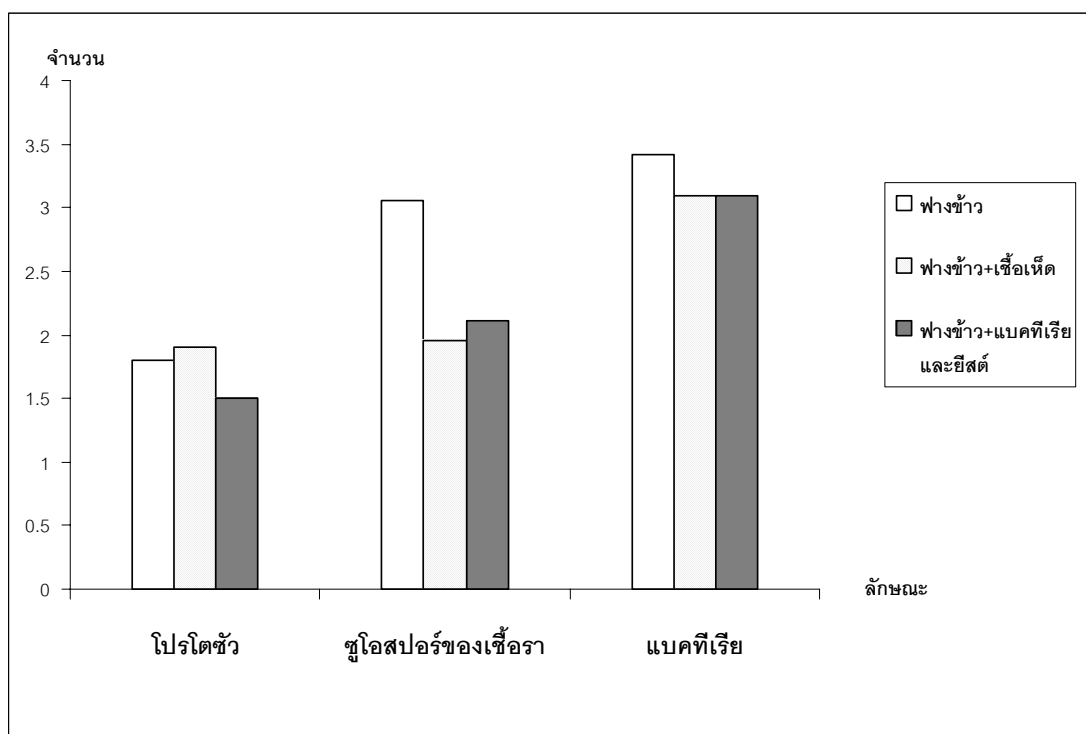
เชื้อราในกระเพาะรูเมนเป็นเชื้อราที่อยู่ในสภาพที่ไร้ออกซิเจน (anaerobic fungi) มีลักษณะเป็นต้นพืช (vegetative stage) ตัวเชื้อราจะประกอบด้วย sporangium ซึ่งงอกออกมาจากราก หรือ ไรซอยด์(rhizoid) โดยไรซอยด์จะอยู่ลึกลงไปในพื้นที่เซลล์พืช แล้ว sporangium จะเจริญเติบโตขึ้นและผลิต ซูโอสปอร์ (zoospore) โดยซูโอสปอร์ จะลอยไปในของเหลวในกระเพาะรูเมนเพื่อออกเป็นเชื้อราต้นใหม่ (Orpin, 1989) จากการทดลองนับจำนวนซูโอสปอร์ของเชื้อราในกระเพาะรูเมนโดยวิธีการส่องตรงจากกล้องจุลทรรศน์ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังจากกินอาหาร พบว่าจำนวนซูโอสปอร์ของเชื้อราในกระเพาะรูเมนของโคทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ มีจำนวนซูโอสปอร์ของเชื้อราในกระเพาะรูเมนสูงที่สุด รองลงมา คือโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด ตามลำดับ (3.05 2.11 และ 1.95 $\times 10^6$ เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ) (ตารางที่ 9) เมื่อเชื้อราเข้าไปเกาะผนังเซลล์พืชแล้ว ไรซอยด์จะยังลงไปในพื้นที่เซลล์พืชหรือผนังเซลล์พืช ทำให้เกิดรอยแตกทำให้แบคทีเรียสามารถเข้าไปย่อยสลายผนังเซลล์นั้นต่อ ถ้ากระเพาะรูเมนของสัตว์มีปริมาณซูโอสปอร์ของเชื้อราสูงจะทำให้สามารถย่อยสลายอาหารประเภทเยื่อใยได้ดี (Orpin, 1989) ซึ่งจากผลการทดลองนี้สามารถที่จะนำไปอธิบายเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของฟางข้าวสูตรต่างๆ โดยจากการทดลองพบว่า ฟางข้าวปกติจะมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้สูงที่สุด เนื่องจากโคกลุ่มนี้มีจำนวนซูโอสปอร์ของเชื้อราในกระเพาะรูเมนมากที่สุด ส่วนโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด

จะมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ต่ำที่สุด เนื่องจากโคกลุ่มนี้มีจำนวนซูโอสปอร์ของเชื้อราในกระเพาะรูเมนน้อยที่สุด

จำนวนซูโอสปอร์ของเชื้อรากับโปรโตซัวจะมีความสัมพันธ์ในทางลบ คือ โปรโตซัวจะไปแข่งขันกับเชื้อราในการจับกับอาหารชนิดเดียวกัน ทำให้เป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา (Williams and Coleman, 1992) ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่า โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดมีจำนวนซูโอสปอร์ของเชื้อราต่ำที่สุดเนื่องจากโคกลุ่มนี้มีจำนวนโปรโตซัวสูงที่สุด (ภาพที่ 9) จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหาร และอัตราการเจริญเติบโตของโคกลุ่มนี้ลดต่ำลงตามไปด้วย

จำนวนแบคทีเรีย (bacteria)

แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอาหารในกระเพาะรูเมน โดย 40 เปอร์เซ็นต์ของแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนจะมีความสามารถในการย่อยโปรตีนได้ ในสัตว์ที่มีจำนวนแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนสูงจะมีประสิทธิภาพการย่อยของอาหารที่ดีตามไปด้วย (Wallace, 1987) จากการทดลองนับจำนวนแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนโดยวิธีการส่องตรงจากกล้องจุลทรรศน์ที่เวลา 4 ชั่วโมงหลังจากกินอาหาร พบว่าจำนวนแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนของโคทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติจะมีจำนวนแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนสูงที่สุด รองลงมาคือ โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลกติก และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ด ตามลำดับ (3.42 3.10 และ 3.09×10^9 เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ) (ตารางที่ 9) จำนวนแบคทีเรียที่นับได้จะแปรผันตรงกับค่าการย่อยได้ของฟางข้าวสูตรต่างๆ โดยถ้าโคกลุ่มใดมีจำนวนแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนสูงก็จะส่งผลให้โคกลุ่มนั้นมีค่าการย่อยได้สูงตามไปด้วย (กฤษ, 2547) ซึ่งผลการทดลองนี้สามารถนำไปอธิบายเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของฟางข้าวสูตรต่างๆ ได้ ซึ่งพบว่าโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติจะมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของฟางข้าวสูงที่สุด เนื่องจากโคกลุ่มนี้มีจำนวนแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนมากที่สุด ส่วนโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของฟางข้าวต่ำที่สุด เนื่องจากโคกลุ่มนี้มีจำนวนแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนน้อยที่สุด



ภาพที่ 9 จำนวนโปรโตซัว ชูโอสปอร์ของเชื้อรา และแบคทีเรีย ในกระเพาะรูเมนของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวสูตรต่างๆ

จำนวนแบคทีเรียและโปรโตซัวในกระเพาะรูเมนจะมีความสัมพันธ์กันในทางลบ คือ โปรโตซัวจะเป็นผู้ล่าแบคทีเรีย โดยถ้าในกระเพาะรูเมนมีจำนวนโปรโตซัวสูง โปรโตซัวจะไปกินแบคทีเรียทำให้จำนวนของแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนลดลง (Hobson and Steward, 1997) ซึ่งจากการทดลองนับจำนวนแบคทีเรีย และโปรโตซัวในกระเพาะรูเมน พบว่าแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนของของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดมีจำนวนแบคทีเรียน้อย เนื่องจากมีโปรโตซัวจำนวนมาก ส่วนโคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติ และโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก มีแบคทีเรียจำนวนมากเนื่องจากมีโปรโตซัวจำนวนน้อย (ภาพที่ 9)

จำนวนของแบคทีเรียและเชื้อราในกระเพาะรูเมนจะมีความสัมพันธ์กันในทางบวก โดยเชื้อราจะเข้าไปทำลายพันธะของผนังเซลล์พืชทำให้แบคทีเรียสามารถเข้าไปย่อยสลายเซลล์พืชได้ง่ายขึ้น โดยถ้าในกระเพาะรูเมนมีจำนวนเชื้อรามากจะทำให้มีแบคทีเรียเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย (Orpin, 1989) ซึ่งจากการทดลองนับจำนวนแบคทีเรีย และชูโอสปอร์ของเชื้อราในกระเพาะรูเมนของโคกลุ่มที่กินฟางข้าวสูตรต่างๆ พบว่า โคกลุ่มที่กินฟางข้าวมีจำนวนชูโอสปอร์ของเชื้อราในกระเพาะรูเมนมากจึงส่งผลให้โคกลุ่มนี้มีจำนวนแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนมากตามไปด้วย และโค

กลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดที่มีจำนวนซูโอสปอร์ของเชื้อราในกระเพาะรูเมนน้อยทำให้มีจำนวนแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนน้อยตามไปด้วย (ภาพที่ 9)

ตารางที่ 10 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน ปริมาณเมแทบอลิต์ต่างๆของเลือด และจำนวนจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

ลักษณะที่ศึกษา	ฟางข้าว	ฟางข้าว	ฟางข้าว
		+เชื้อเห็ด	+แบคทีเรียและยีสต์
ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน			
ในกระเพาะรูเมน(mg%)	4.27±0.38	3.85±0.82	4.55±0.86
ปริมาณยูเรีย-ไนโตรเจน			
ในเลือด(mg%)	9.22±1.54	8.15±1.55	10.05±1.55
ปริมาณกลูโคสในเลือด(mg%)	70.71±9.18	65.38±5.91	75.22±7.18
ปริมาณฮอร์โมน T ₃ ในเลือด (ng%)	85.00±15.72	81.33±2.08	91.00±20.78
จำนวนโปรโตซัวในกระเพาะรูเมน			
(x104 เซลล์/มิลลิลิตร)	1.8±0.62	1.9±0.51	1.5±0.94
จำนวนซูโอสปอร์ของเชื้อรา			
ในกระเพาะรูเมน(x106 เซลล์/มิลลิลิตร)	3.05±1.50	1.95±8.13	2.11±1.18
จำนวนแบคทีเรียในกระเพาะรูเมน			
(x109 เซลล์/มิลลิลิตร)	3.42±0.67	3.09±0.54	3.10±0.53

± : ค่า Standard error

เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 10 จะสามารถสรุปได้ว่า การที่โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกมีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด เนื่องจากโคกลุ่มนี้มีปริมาณการกินได้สูง ซึ่งปริมาณการกินได้นี้สามารถยืนยันได้จากปริมาณ T₃ ในเลือดที่พบว่าโคกลุ่มนี้มีปริมาณ T₃ ในเลือดสูง และฟางข้าวสูตรนี้มีปริมาณโภชนะในระดับสูง โดยเฉพาะปริมาณโปรตีนรวมจึงทำให้โคกลุ่มนี้มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด ทั้งนี้สามารถยืนยันได้จากปริมาณของ NH₃-N ในกระเพาะรูเมน BUN และ BG ที่พบว่าโคกลุ่มนี้มีค่าดังกล่าวสูงที่สุด นอกจากนี้โคกลุ่มที่กินฟางข้าวสูตรนี้ยังมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ในระดับที่สูง ซึ่งสามารถยืนยันได้จากจำนวนของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนที่พบว่าโคกลุ่มนี้มีซูโอสปอร์ของเชื้อรา และแบคทีเรียจำนวนมาก ในขณะที่มี

โปรโตชีวจำนวนน้อยจึงทำให้โคกลุ่มนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้สูงจึงส่งผลให้โคกลุ่มนี้มีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงตามไปด้วย

โคกลุ่มที่กินฟางข้าวปกติเป็นโคกลุ่มที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงรองจากโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกทั้งที่โคกลุ่มนี้มีปริมาณการกินได้ และค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้สูงที่สุดซึ่งสามารถยืนยันได้จากปริมาณ T_3 ในเลือดที่มีค่าสูงที่สุด และจำนวนจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ที่พบว่าโคกลุ่มนี้มีซูโอสปอร์ของเชื้อรา และแบคทีเรียจำนวนมากที่สุดในขณะที่มีโปรโตชีวจำนวนน้อยที่สุด เนื่องจากฟางข้าวปกติที่โคกลุ่มนี้กินมีปริมาณของโภชนาในระดับต่ำโดยเฉพาะปริมาณของโปรตีนรวม ซึ่งจะสามารถยืนยันได้จากปริมาณของ NH_3-N ในกระเพาะรูเมน BUN และ BG ที่พบว่าโคกลุ่มนี้มีค่าดังกล่าวในระดับต่ำ จึงทำให้โคกลุ่มนี้มีอัตราการเจริญเติบโตรองจากโคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติก

โคกลุ่มที่กินฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดเป็นโคกลุ่มที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุดเนื่องจากโคกลุ่มนี้มีปริมาณการกินได้ต่ำที่สุด ซึ่งสามารถยืนยันได้จากปริมาณ T_3 ในเลือดที่มีค่าต่ำที่สุด และฟางข้าวกลุ่มนี้มีค่าค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ต่ำที่สุด ซึ่งสามารถยืนยันได้จากจำนวนจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ที่พบว่าโคกลุ่มนี้มีโปรโตชีวจำนวนมากที่สุดในขณะที่มีซูโอสปอร์ของเชื้อรา และแบคทีเรียจำนวนน้อยที่สุด จึงทำให้โคกลุ่มนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ต่ำ ซึ่งจะส่งผลให้โคกลุ่มนี้มีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำ นอกจากนี้ปริมาณของ NH_3-N ในกระเพาะรูเมน BUN และ BG ของโคกลุ่มนี้ยังมีค่าต่ำที่สุดจึงส่งผลให้โคกลุ่มนี้มีอัตราการเจริญเติบโตที่ลดลงตามไปด้วย

สรุป

การปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวโดยใช้เชื้อเห็ดทำให้ฟางข้าวมีปริมาณโปรตีนรวมสูงขึ้น และมีปริมาณลิกนินลดต่ำลงเนื่องจากเชื้อเห็ดสามารถเปลี่ยนลิกนินในฟางข้าวให้เป็นโปรตีนได้ แต่วิธีการนี้เชื้อเห็ดจะใช้สารอินทรีย์ต่างๆในฟางข้าวซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณเถ้าสูงขึ้นจึงส่งผลให้ค่าการย่อยได้ของฟางข้าวสูตรนี้มีค่าต่ำ การปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวโดยใช้ยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียแลคติกสามารถทำให้ฟางข้าวมีปริมาณโภชนะสูงขึ้น โดยเฉพาะปริมาณโปรตีนรวมเนื่องจากการเพิ่มจำนวนของยีสต์และแบคทีเรีย

เมื่อนำฟางข้าวที่ผ่านการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะโดยใช้การหมักย่อยของเชื้อจุลินทรีย์ไปเลี้ยงโคเนื้อเพื่อศึกษาสมรรถภาพการผลิต พบว่าฟางข้าวที่หมักด้วยยีสต์และแบคทีเรียแลคติกมีคุณภาพในการผลิตดีที่สุด รองลงมาคือฟางข้าวปกติ และฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวโดยใช้เชื้อเห็ดในการทดลองนี้ไม่เหมาะที่จะนำไปส่งเสริมให้แก่เกษตรกรนำไปปรับใช้ในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากวิธีการนี้มีความยากลำบากในขั้นตอนการผลิต ซึ่งต้องผลิตในตู้ปลอดเชื้อและต้องใช้ความชำนาญในการผลิตสูง นอกจากนี้วิธีการนี้ยังมีค่าใช้จ่ายสูง และในการทดลองนี้ฟางข้าวที่ได้มีคุณภาพต่ำเนื่องจากเชื้อเห็ดเจริญเติบโตไม่เต็มที่จึงทำให้เมื่อนำไปเลี้ยงสัตว์แล้วสัตว์จะมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ

การปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวโดยใช้ยีสต์ร่วมกับแบคทีเรียเป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะนำไปส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปปรับใช้ในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากวิธีการนี้สามารถทำได้ง่ายและมีค่าใช้จ่ายต่ำ อีกทั้งฟางข้าวที่ได้มีคุณภาพสูง เมื่อเกษตรกรนำไปเลี้ยงสัตว์จะทำให้สัตว์มีอัตราการเจริญเติบโตดี

การทดลองนี้ได้ใช้ฟางที่ปรับปรุงคุณภาพโดยใช้จุลินทรีย์ในการเลี้ยงสัตว์เพียงอย่างเดียว จึงส่งผลให้สมรรถภาพการเจริญเติบโตของสัตว์ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งถ้าเกษตรกรจะนำฟางข้าวปรับปรุงคุณภาพโดยใช้จุลินทรีย์นี้ไปใช้เลี้ยงสัตว์ควรจะมีการเสริมอาหารชั้นเข้าไปด้วยจึงจะทำให้สัตว์มีสมรรถภาพการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น