บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การผลิตสัตว์มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อเกษตรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะการผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องได้แก่ โคเนื้อ-โคนมและกระบือ อย่างไรก็ตามในการผลิตสัตว์นั้นอาหารและวัตถุดิบท้องถิ่นจะมีบทบาทที่สำคัญในการช่วยลดต้นทุนการผลิตโดยเฉพาะการนำใช้วัตถุดิบที่เป็นเศษเหลือจากทางการเกษตรที่สามารถนำมาเป็นแหล่งของอาหารหยาบที่สำคัญให้แก่สัตว์ การจัดการกระบวนการหมักตลอดจนการเสริมสารเสริมอื่นๆหรือการให้อาหารข้นเสริมแก่สัตว์จะมีผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักในกระเพาะหมักของสัตว์ โดยสามารถเพิ่มผลผลิตในกระเพาะหมักที่สำคัญได้แก่กรดไขมันที่ระเหยได้ง่ายช่วยปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนให้เหมาะสมและสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องเพิ่มขึ้น ซึ่งในสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นกระเพาะรูเมนเปรียบได้เหมือนอ่างหมักที่มีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการหมักผลผลิตสุดท้ายให้แก่สัตว์ โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงตามชนิดอาหารที่สัตว์ได้รับ

โดยทั่วไปพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่การปลูกพืชเศรษฐกิจหลักได้แก่ ปลูกข้าวและมันสำปะหลังเพื่อเป็นอาชีพหลัก-รองสำหรับด้านการผลิตปศุสัตว์สัตว์นั้นที่สำคัญได้แก่เลี้ยงโคและกระบือที่มีอยู่มากมายทั้งนี้อันเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่มีความเหมาะสมทั้งแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่พอเพียง อย่างไรก็ตามจากที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยมากมายถึงแนวทางการนำใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ท้องถิ่นเพื่อเพิ่มมูลค่าและลดต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการปลูกมากมายในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นพืชที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งหัวและใบเพื่อเป็นอาหารสัตว์ทั้งเป็นแหล่งของโปรตีนและพลังงานตลอดจนช่วยในการกำจัดพยาธิในระบบทางเดินอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง นอกจากนี้ผลผลิตของกากมันสำปะหลังที่ได้จากโรงงานผลิตแป้งมันและโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังในแต่ละปีพบว่ามีปริมาณมากจึงควรมีการศึกษาพัฒนาและแปรรูปเพื่อเป็นอาหารสัตว์เพื่อลดต้นทุนการผลิตสัตว์ อีกทั้งเพื่อสนับสนุนและส่งเสริมเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังทางอ้อม ซึ่งปัจจุบันการเลี้ยงโคนมในเมืองไทยมีการขยายเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะมีความต้องการบริโภคน้ำนมเพิ่มขึ้นทุกปี อีกทั้งนโยบายของรัฐบาลได้มีการส่งเสริมให้เกษตรกรมีการเลี้ยงโคนมเพิ่มมากขึ้น โดยได้มีการบรรจุไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจ

และสังคมแห่งชาติฉบับที่ 5, 6 และ 7 อย่างเด่นชัดเพื่อที่จะส่งเสริมธุรกิจด้านโคนมและลดการนำเข้า ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาองค์ความรู้ในด้านอาหารโคนมให้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากอาหารนับได้ว่าเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพการให้ผลผลิต ตลอดจนผลตอบแทนความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ โดยจุดประสงค์หลักของการพัฒนาการผลิตในด้านอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตในประเทศไทยนั้นจำเป็นต้องเน้นการใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นที่หาซื้อได้ง่ายและมีราคาถูก

ทฤษฎีหรือแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

- เทคโนโลยีชีวภาพกระเพาะหมักรูเมน (rumen biotechnology) มีศักยภาพสูงในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของอาหารหยาบคุณภาพต่ำและเศษเหลือทางการเกษตรและปรับเปลี่ยนระบบนิเวศวิทยาจุลินทรีย์รูเมน (rumen microbial ecosystem)
- การผลิตสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยเฉพาะการผลิตกระบือในประเทศไทยจะยังผลกำไรและ มีความถาวรภาพ (sustainability) ได้โดยการใช้วัตถุดิบอาหารท้องถิ่นที่มีอยู่มากมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต
- การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ในท้องถิ่น เทคนิคการแปรรูป เทคนิคการเพิ่มศักยภาพในการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ในท้องถิ่น โดยเฉพาะมันสำปะหลังหมักยีสต์สามารถเป็นการเพิ่มศักยภาพการใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ภายในท้องถิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพและถาวรภาพ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สัตว์เคี้ยวเอื้องมีวิวัฒนาการและพัฒนาการที่มีความเฉพาะตัว ในการที่มีระบบการหมักของพืชอาหารสัตว์ในกระเพาะหมัก(รูเมน) โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แบคทีเรีย โปรโตซัวและเชื้อรา ซึ่งจะผลิตผลผลิตสุดท้ายที่สำคัญให้กับสัตว์ คือ กรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acids, VFAs)จุลินทรีย์โปรตีน (microbial protein, MP) และไวตามินรวม (vitamin B complex) โดยพื้นฐานแล้วจุลินทรีย์ในรูเมนจะไม่มีความต้องการใช้ประโยชน์จากเพบไทด์สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารหยาบคุณภาพต่ำที่มีโปรตีนต่ำ ซึ่งอาหารเหล่านี้ทั้งมนุษย์และสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนั้นแล้ว

สัตว์เคี้ยวเอื้องยังสามารถลดพิษจากสารพิษในอาหาร(phytotoxins)โดยอาศัยกลไกการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ในรูเมน

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta, Crantz*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการปลูกเพื่อการส่งออกมานานแล้วแต่การบริโภคการใช้ประโยชน์ภายในประเทศไทยยังมีน้อย ซึ่งราคามันสำปะหลังและความต้องการในตลาดโลกมีแนวโน้มลดต่ำลงมาตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา และมีแนวโน้มที่จะลดต่ำลงอีกในอนาคต (FAOGIEWS, 1999) ดังนั้นการเพิ่มปริมาณการใช้ในประเทศให้มากยิ่งขึ้นจึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาด้านการตลาดและการส่งออกหัวมันสำปะหลัง เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมส่วนใหญ่จำเป็นต้องซื้อวัตถุดิบอาหารสัตว์ ทั้งอาหารหยาบและอาหารข้นจากแหล่งภายนอกฟาร์ม ทำให้ต้นทุนการผลผลิตสูงและผันแปรไปตามการเปลี่ยนแปลงของราคาวัตถุดิบในตลาด นอกจากนั้นแล้วข้าวโพดซึ่งเป็นแหล่งอาหารพลังงานที่ใช้กันมานาน มีปัญหาราคาแพงและมีปริมาณแปรปรวนตามฤดูกาลผลิต รวมทั้งการแข่งขันการใช้เป็นอาหารสัตว์เศรษฐกิจอื่นๆ แนวทางในการลดต้นทุนในการผลิตทางด้านอาหารโคนมทำได้โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการให้ผลผลิต หรือการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูก ผลผลิตได้เองหรือมีอยู่แล้วในท้องถิ่นอาทิ มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงสำหรับเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารโคนมและมีอยู่แล้วในพื้นที่เลี้ยงโคนมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคอีสาน (กฤตพล, 2540) จากการตรวจเอกสารพบว่ามันสำปะหลังมีโปรตีนต่ำ มีปริมาณแป้งสูง และความสามารถในการย่อยสลายในกระเพาะหมักมีอัตราสูงโดยใช้เทคนิคการบ่มหมักในถุงไนล่อน (Nylon bag technique) มันสำปะหลังมีปริมาณและอัตราการย่อยสลายได้ในกระเพาะหมักสูงกว่าข้าวโพด (กฤตพลและคณะ 2534; Nocek and Tamminga, 1991; Aroeira et al., 1996; Chanjula et al., 2002) โดยมันสำปะหลังเป็นพืชที่มีการสะสมอาหารในส่วนของราก โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยแป้ง ในแต่ละโมเลกุลของแป้งประกอบไปด้วย อะไมโลส (amylose) และ อะไมโลเพคติน (amylopectin) อะไมโลสเป็นส่วนที่มีกลูโคส 200-30 โมเลกุลต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ชนิด α - 1,4 linkage ส่วนอะไมโลเพคตินประกอบด้วยกลูโคสต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิด α - 1,4 linkage และยังมีแขนงต่อกันของพันธะไกลโคซิดิกชนิด α - 1,6 linkage เอนไซม์อะไมเลส (amylase) จากแบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยเยื่อใย จะย่อยเฉพาะพันธะ α - 1,4 linkage ในโมเลกุลของแป้งได้ผลผลิตคือ น้ำตาลมอลโตส (กลูโคส 2 โมเลกุล ต่อกันด้วยพันธะ α - 1,4 linkage) ไอโซมอลโตส (กลูโคส 2 โมเลกุลต่อกันด้วยพันธะ α - 1,6 linkage) และมอลโตไตรโอส (กลูโคส 2 โมเลกุล ต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิด α - 1,6 linkage

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

และ α - 1,4 linkage) และเดกซ์ทริน (dextrin) ประกอบด้วยกลูโคสต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ชนิด α - 1,6 linkage และ α - 1,4 linkage (พจน์และคณะ, 2540) แป้งมันสำปะหลังจึงเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรทที่ย่อยได้ง่าย สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารสัตว์ จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนะพบว่า แป้งมัน มันเส้น มันอัดเม็ด เปลือกมัน กากมันสำปะหลัง มีระดับของโปรตีนต่ำ แต่มีส่วนของแป้งหรือพลังงานสูง (เมธาและคณะ, 2538) แป้งในมันสำปะหลังมีองค์ประกอบคือ อะไมโลส 16-18 เปอร์เซ็นต์ และอะไมโลเพคติน 82-84 เปอร์เซ็นต์ (Johnson and Raymond, 1965) นอกจากนี้ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบถึงอัตราการย่อยสลายของแหล่งพลังงาน 4 ชนิดคือ ข้าวโพดป่น มันสำปะหลังเส้น ปลายข้าว และข้าวเปลือกบด พบว่า อัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในกระเพาะหมักเรียงจากค่าสูงสุดคือ มันเส้น ข้าวโพดป่น ปลายข้าว และข้าวเปลือกบดตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแป้งเป็นองค์ประกอบในมันเส้นใช้ประโยชน์ได้ดีในกระเพาะหมัก โดยขณะที่ปลายข้าวและข้าวเปลือกบดนั้น อาจถูกย่อยได้ดีขึ้นในระบบทางเดินอาหารส่วนล่างโดยเฉพาะที่ลำไส้เล็ก (Sommart et al., 1991) และจากการรายงานของ Verasilp and Mikled (2001) รายงานไว้ว่ามันเส้นมีอัตราการถูกย่อยสลายในระบบทางเดินอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ทั้งหมดโดยเฉพาะอย่างยิ่งมันสำปะหลัง(มันเส้น)มีความสามารถถูกย่อยสลายในรูเมนได้สูงถึงระดับ 56 เปอร์เซ็นต์ของแป้งทั้งหมดและจากผลการทดลองของ เกรียงศักดิ์ และคณะ (2533) ได้รายงานว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของแป้งมันสำปะหลังเส้น มีค่าสูงกว่าข้าวเปลือกบดและปลายข้าวตามลำดับ นอกจากนี้ค่าการย่อยได้ตลอดทางเดินอาหารของมันเส้นยังสูงกว่าทั้ง 2 ชนิดด้วย ถ้าคิดเป็นพลังงานแล้วมีค่าใกล้เคียงกับข้าวโพด ที่นิยมใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักในสูตรอาหารข้น Tuder and Inkerman (1987) ได้ทดลองใช้มันเส้นทดแทนข้าวฟ่างทั้งหมดในสูตรอาหารข้น (80 เปอร์เซ็นต์ ของสูตรอาหาร) สำหรับขุนโค พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของโคขุนที่ได้รับอาหารข้นสูตรมันสำปะหลังจะต่ำกว่าโคขุนที่ได้รับอาหารสูตรข้าวฟ่าง แต่เมื่อคิดจากน้ำหนักส่วนที่เพิ่มไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การใช้มันเส้นเป็นแหล่งพลังงานจะต้องมีการปรับระดับของโปรตีนและเลือกใช้แหล่งโปรตีนเหมาะสม จะทำให้การเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวไม่แตกต่างกัน โดยเฉพาะการใช้เนื้อและกระดูกป่นเป็นแหล่งโปรตีนร่วมกับแหล่งยูเรีย ทำให้มีการผลิตกรดบิวทีริกที่กระเพาะหมักเพิ่มสูงขึ้นด้วย เมธา และคณะ (2534)ได้ศึกษาการทดแทนมันเส้นในสูตรอาหารที่ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานโดยให้อาหารข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ในระดับ 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยได้ศึกษาการใช้ประโยชน์ของอาหารในกระบือปลักที่ได้รับฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เป็นอาหารหยาบหลักพบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรียวัตถุเพิ่มสูงขึ้นตามระดับการทดแทนมันเส้นในสูตรอาหาร แต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของเยื่อใย โดยเฉพาะผนังเซลล์จะลดลงแต่ระดับของค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน ในกระเพาะหมัก และกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกัน และในอาหารโคเนื้อสามารถใช้ทดแทนเมล็ดธัญพืชได้โดยไม่มีผลกระทบต่อการเพิ่มน้ำหนักและสุขภาพสัตว์ (Tudor et al., 1985; Zinn and DePeter, 1991; Wanapat et al., 1996; Holzer et al., 1997) อย่าไรก็ตามการศึกษาการใช้มันสำปะหลังทดแทนข้าวโพดยังมีอยู่จำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลของการใช้มันเส้นในระดับสูงๆในสูตรอาหารข้นต่อปริมาณการกินได้ผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการหมักในรูเมน การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนตลอดจนผลกระทบต่อปริมาณและองค์ประกอบทางเคมีน้ำนม ดังนั้นความรู้เกี่ยวกับการใช้แหล่งพลังงานในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องจากมันเส้นจะสามารถช่วยให้เพิ่มมูลค่าของมันสำปะหลังและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสัตว์ได้มากยิ่งขึ้นต่อไป

นิเวศน์วิทยาและจุลินทรีย์วิทยาในกระเพาะหมัก

สมดุลของนิเวศน์วิทยาที่เหมาะสมภายในกระเพาะหมักมีสภาวะที่มีลักษณะเฉพาะหลายอย่าง เพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญของประชากรจุลินทรีย์และมีความแตกต่างจากกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนอื่นๆ เช่นสามารถรักษาระดับอุณหภูมิได้ ซึ่งถูกควบคุมโดยกระบวนการ homeothermic metabolism โดยตัวสัตว์เอง กระบวนการหมักที่เกิดขึ้นได้ผลผลิตเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acids; VFA) และระดับความเป็น กรด - ด่าง (pH) ของกระเพาะหมักอยู่ในช่วง 6.0 – 7.0 และอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 39 – 40 องศาเซนเซียส (Van Soest, 1982) จุลินทรีย์ในกระเพาะหมักส่วนใหญ่เป็นพวก obligate anaerobes คือ อยู่ได้ในสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่บ้าง แต่การมีระดับของออกซิเจนมากเกินไป อาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์พวกนี้ได้ (เมธา, 2533) จุลินทรีย์ที่พบในกระเพาะหมักมีมากมายหลายชนิด โดยที่จุลินทรีย์เหล่านี้มีคุณสมบัติสำคัญคือ ต้องมีชีวิตอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนและมีการสร้างผลผลิตสุดท้าย (end products) ชนิดใดชนิดหนึ่ง ซึ่งพบในกระเพาะหมักเท่านั้น และต้องมี ปริมาณไม่ต่ำกว่า 1 ล้านตัว / กรัมของ rumen contents (Hungate, 1966)

โปรโตซัวในกระเพาะหมัก

เป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย โปรโตซัวที่พบในรูเมนส่วนใหญ่เป็นชนิด ciliate protozoa แต่ในช่วงที่เป็นลูกสัตว์จะมี flaggellate protozoa มากกว่า การจัดจำพวกของ

โปรโตซัวมักนิยมถือตาม ลักษณะภายในเซลล์ (cell morphology) ciliate protozoa สามารถแบ่งออกได้ 2 กลุ่ม คือ holotrichs และ endtodiniomorphs (ฉลอง, 2541) holotrich มีความสามารถในการใช้น้ำตาล (sugar) เป็นแหล่งของ พลังงานในขณะที่ entodiniomorphs มีความสามารถในการใช้แป้งเพื่อเป็นแหล่งของพลังงานที่สำคัญ โดยเฉพาะ จีนัส *Epidinium* และ *Ophryoscolex* แต่บางตัวก็สามารถใช้เซลยูโลสและเฮไมเซลยูโลส เป็นแหล่งของพลังงานได้ ขึ้นกับความสามารถในการเข้ายึดเกาะกับสารตั้งต้นนั้นๆ ซึ่งอาจเป็น คลอโรพลาสต์ (chloroplast) ส่วนของเยื่อใย (fibrous particles) (Van Soest,1982) นอกจากนี้แหล่งของโปรตีนจากพืช รวมทั้ง แบคทีเรียก็ถือเป็นแหล่งของพลังงานสำหรับโปรโตซัวในกระเพาะหมัก เช่นกัน Yang and Varga (1989) รายงานว่าจำนวน โปรตัวซัวในโคนม เมื่อทำการสุ่มตัวอย่างของเหลว จากส่วน dorsal sac ของกระเพาะ รูเมน มีปริมาณอยู่ที่ 84.4x 10^4 เซล/กรัม ซึ่งเป็นโปรโตซัวในกลุ่ม entodiniomorphs 83.3 x 10^4 เซล/กรัม และกลุ่ม holotrichs 0.56 x 10^4 เซล/กรัม เมื่อโคได้รับสัดส่วนอาหารหยาบต่ออาหารข้น 55 : 45 โดยอาหารหยาบที่ใช้เป็นข้าวโพดหมักและ สุรชัย (2542) รายงานว่าปริมาณโปรโตซัวในกระเพาะหมักของโคนม ที่ได้รับฟางหมักยูเรียเป็น อาหารหยาบอยู่ในช่วง 2.4-3.0 x 10^5 เซล/มล.

ความสัมพันธ์ระหว่างโปรโตซัวและจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก

Ushida et al. (1988) อ้างถึงใน Tsuda et al. (1991) รายงานว่า total viable count , amylolytic , peptolytic และ cellulolytic bacteria เพิ่มมากขึ้น ภายหลังจากการที่มีการกำจัดโปรโตซัว ภายในกระเพาะหมัก (defaunation) ซึ่ง Kurihara et al. (1978) พบว่า เมื่อมีการกำจัดโปรโตซัวภายใน กระเพาะหมักจะช่วยส่งเสริมและช่วยเพิ่มบทบาทของ แบคทีเรียที่ย่อยสลายแป้ง (amylolytic bacteria) เช่น *Bacteroides amylophilus , Bacteroides ruminicola* เนื่องจากโปรโตซัวมีผลกระทบด้านลบ (negative effect) ต่อamylolytic bacteriaโดยที่entodiniomorphid protozoa สามารถกลืนกินเม็ดแป้ง (starch granules) ได้เป็นจำนวนมากโดยใช้เวลาอย่างรวดเร็ว (Kurihara et al., 1978) ซึ่งทำให้บทบาท ความสามรถในการใช้ประโยชน์จากแป้งของ amylolytic bacteria นอกจากนี้การกลืนกินและการย่อยสลายแป้งของโปรตัวซัวจะกลืนกิน amylolytic bacteriaที่ยึดเกาะอยู่ที่เม็ดแป้งไปพร้อมกันด้วย (selective predation , nutrient competitive) (Tsuda et al., 1991) เมื่อทำการศึกษาโปรโตซัวกลุ่ม A – type ซึ่งกลุ่มหลักโดยส่วนใหญ่คือ *P. multivesiculatum* เป็นกลุ่มที่ชอบกลืนกิน cellulolytic bacteria (*Butyrivibrio fibrisolvens , Ruminococus flavefacients*) มากกว่าแบคทีเรียกลุ่ม amylolytic (*Selenomonas ruminantium , Streptococus bovis*) (Coleman and Sanford, 1979) และภายใต้

สภาวะ เดียวกันประชากรโปรโตซัวที่ย่อยสลายเซลยูโลส (cellulolytic protozoa) ชนิด B – type(*Epidinium ecaudatum* , *Eremoplastron bovis* , *Eudiplodinium maggii*) กลับกลืนกินแบคทีเรียกลุ่มที่ย่อย สลายเซลยูโลสได้ช้ากว่า ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า A – Type protozoaจะกลืนกินแบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยสลาย เซลยูโลสได้มากกว่า B – type protozoa

นอกจากนี้แล้วยังสามารถที่จะพบ methanogenic bacteriaได้ที่บริเวณส่วนผิวของ entodiniomor phid protozoa (Vogels et al., 1980) เมื่อประมาณอย่างหยาบ คิดเป็น 10 –20 % (Stumm et al., 1982) โดยที่ระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนในกระเพาะหมัก อาจเป็นอีกปัจจัยที่ควบคุมการเข้ายึดเกาะ ของแบคทีเรีย โดยที่แบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้ประโยชน์จากไฮโดรเจนที่ได้จากโปรโตซัวโดยตรง (direct transfer of hydrogen) เนื่องจากการสะสมของไฮโดรเจน อาจมีผลกระทบด้านลบต่อกระบวนการเมทธาบอไลต์ของ โปรตัวซัว แต่เมื่อถูกใช้ประโยชน์โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะช่วยกระตุ้นกระบวนการเมทธาบอลิซึ่มของโปรโตซัวได้ (Wolin, 1975 อ้างถึงใน Ushida et al., 1991) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า โปรโตซัวไม่สามารถลดการผลิต แก๊สเมทเธนลงได้ แต่การกำจัดโปรโตซัวจะสามารถลดจำนวนของ methano genesis ได้ 30 –45 % (Jouany and Ushida, 1999) และโปรโตซัวเดี่ยวๆ (single protozoa) มีความสามารถในการกลืนกินแบคทีเรียได้ $10^2 - 10^4$ เซล/ชั่วโมง (Coleman, 1972) ในส่วนของแบคทีเรียโปรตีน (bacteria protein) ที่ถูกใช้ประโยชน์ โดยโปรตัวซัวจะถูกย่อยสลายได้เป็นเปปไทด์สายสั้นและกรดแอมมิโนอิสระ ซึ่งจะกลับมารวมตัวเป็นโปรโตซัวโปรตีน (protozoa protein) อีกครั้งและบางส่วนจะกลับมารวมเป็นแบคทีเรียโปรตีนและปลดปล่อยสู่ของเหลวในกระเพาะหมักโดยโปรโตซัวอีกครั้งปริมาณที่ปลดปล่อยออกมาคิดเป็น 50% ของแบคทีเรียโปรตีนที่ ถูกกลืนกิน โดยโปรโตซัว (Coleman, 1972) นอกจากนี้ Orpin (1983) รายงานว่าโปรโตซัว *Entodinium spp.* มีความสามารถในการกลืนกินซูโอสปอร์ ของเชื้อรา (fungal zoospore)ได้ด้วย

เชื้อราในกระเพาะหมัก

ภายในกระเพาะหมักกลุ่มเชื้อราที่อาศัยอยู่เป็นกลุ่มที่อยู่ได้ในสภาพไร้ออกซิเจน ความสำคัญของเชื้อราเหล่านี้คือจะสามารถลดการสูญเสียพลังงาน จากอาหารที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไปโดยการเปลี่ยนเอา chitin (ปกติย่อยไม่ได้ย่อยให้เป็นผนังเซลล์ของเชื้อรา) และสามารถเป็นประโยชน์ต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ (ฉลอง, 2541) วงจรชีวิตของเชื้อรากลุ่มนี้ประกอบด้วย

1. motile stage (zoospore) เป็นระยะที่สามารถเคลื่อนไหวได้ โดยอาศัยหางทำหน้าที่ในการพัดโบก
2 vegetative stage (sporangium) เป็นระยะที่มีการยึดเกาะของไรซอยด์ (rhizoids) กับเศษชิ้นส่วนของพืช ซึ่งไรซอยด์จะแทงผ่านcell wall ของพืชเข้าไปเพื่อทำให้เกิดการหมักของคาร์โบไฮเดรต และทำให้ sporangia มีการพัฒนาจนกระทั่งเข้าสู่ระยะ maturity ก็จะมีการปลดปล่อยซูโอสปอร์ออกมาและ มีวงจรชีวิตเช่นเดิม (Orpin, 1975 , Joblin, 1981)

เชื้อราจะเข้าย่อยสลายส่วนของเยื่อใยอาหารเป็นกลุ่มแรกโดยการย่อยจากส่วนด้านในก่อน ซึ่งเชื้อราจะช่วย ลดการยึดเกาะกันแน่นของอนุภาคอาหาร (Akin et al., 1983 อ้างถึงใน เมธา, 2533) ลดความตึงของเส้นใย ทำให้เกิดการแตกของเส้นใยได้ง่ายเมื่อเกิดการเคี้ยวเอื้อง จึงช่วยทำให้แบคทีเรียเข้าย่อยสลายได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่าเชื้อราอาจจะทำลาย hemicellulose – lignin- complex ละลายส่วนของ เพคตินและลิกนิน ออกมา แต่ไม่สามารถย่อยทั้ง เพคตินและลิกนินได้ (ฉลอง, 2541, Preston and Leng, 1987) โดยเอนไซม์ที่ปลดปล่อยจากเชื้อรา ซึ่งมีบทบาทในการย่อยสลายเยื่อใย พืชที่สำคัญ เช่น polysaccharidase (endo - β - 1,4 glucanase, exoglucanase, xylanase,cellodextrinase) glycosidase (β-glucosidase, β-fructosidase, β-xylosidase) (Mountfort and Asher, 1985 ; Borneman et al., 1989 ; Gordon and phillips, 1989) ซึ่ง hydrolytic enzymes หลายชนิดทั้ง cellulase , hemicellulase pectinase และ phenolic acidesterase ต่างก็มีบทบาทสำคัญ ในการเข้าย่อยสลาย lignocellulosic ในเนื้อเยื่อพืช (Ho and Abdullah, 1999) โดย cellulase ที่ปลดปล่อยจากเชื้อราจะเป็นเอนไซม์ที่มีความสามารถในการย่อย สลายส่วนของ amorphous และ crystalline cellulose ที่มีอยู่ในส่วนเนื้อเยื่อพืช (Mounfort and Asher, 1985) นอกจากนี้แล้ว Joblin and Williams (1991) รายงานว่าแบคทีเรีย methanogens มีส่วนในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ cellulase จากเชื้อราด้วย ตรงข้ามกับกลุ่มแบคทีเรีย saccharolyticที่ส่วนใหญ่มีหน้าที่ย่อยสลายเซลยูโลสจะลดบทบาทการทำงานของ เชื้อรา Chytridiomycetes ในการย่อยสลายเยื่อใภายในกระเพาะหมัก ซึ่งผลกระทบด้านลบ (negative effect) ที่เกิดขึ้นนี้จะมีผลชัดเจนต่อกลุ่มแบคทีเรีย *Ruminococcus, Butyrivibrio* และ *Megasphaera* (Ushida, 1993 อ้างถึงใน Ushida et al., 1997) ทั้ง *Ruminococus flavefaciens* หรือ *Ruminococus albus* ต่างก็มีผลในการลด cellulolytic activity จากเชื้อรากลุ่ม *Neocallimastrix frontalis* และ *Pyromonas communis* (Joblin and Williams, 1991) อย่างไรก็ตาม ผลของกลุ่มแบคทีเรียที่ย่อยสลาย

เซลยูโลส ต่อความสามารถ ในการย่อยสลายเยื่อใยในเชื้อรา จะขึ้นอยู่กับ สปีชีส์ (species) และ สายพันธุ์ (strain) ของแบคทีเรียนั้นๆด้วย นอกจากการย่อยสลายเยื่อใย เชื้อราในกระเพาะหมักยังสามารถผลิตเอนไซม์อไมเลส โดยจะพบในเชื้อราที่มีการเจริญ บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วย cellulose , xylan หรือ soluble sugar ชนิดต่างๆและเมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของแป้งในปริมาณสูง เอนไซม์ α-amylase ที่ผลิตโดย *N. frontalis* จะลดลงพร้อมกับระดับของการสะสมกลูโคสที่เพิ่มมากขึ้น (Mountfort and Asher, 1988) ซึ่งอาจเป็นข้อสังเกตได้ว่า α-amylase ที่ผลิตขึ้นจะมีผลในการยับยั้งการเพิ่มขึ้นของ ระดับกลูโคสนอกจากนี้ เมธา (2533) พบว่าประชากรของเชื้อรา นั้นจะมีปฏิสัมพันธ์กับประชากรของ โปรตัวซัวโดยที่ประชากรเชื้อราจะสูงในกระเพาะหมักของสัตว์ที่ปราศจากโปรตัวซัวและเพิ่มการย่อยได้ของวัตถุแห้งประมาณ 18% สุรชัย (2542)รายงานว่า ปริมาณ fungal zoospores ในกระเพาะหมักของโคนมที่ได้รับฟางหมักยูเรีย (5%)เป็นอาหารหยาบ อยู่ระหว่าง 1.3-2.2 x 10^6 zoospores /มล.

แบคทีเรียในกระเพาะหมัก

เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีปริมาณมากที่สุดในกระเพาะหมัก โดยแบคทีเรียจะมีการกระจายตัวอยู่หลายรูปแบบ ภายในกระเพาะหมัก (Preston and Leng, 1987, ฉลอง, 2542) ได้แก่

1.กลุ่มแบคทีเรียที่ลอยตัวอย่างอิสระ ภายในของเหลวรูเมน ประมาณ 30% ของแบคทีเรียทั้งหมด

2.กลุ่มแบคทีเรียที่เกาะยึดติดกับอนุภาคของอาหาร เป็นกลุ่มที่มีปริมาณมากที่สุด ประมาณ 70%ของ แบคทีเรียทั้งหมด

3. แบคทีเรียที่ยึดเกาะกับผนังของกระเพาะหมัก

4. แบคทีเรียที่ยึดเกาะอยู่กับโปรโตซัว โดยเฉพาะพวก methanogens โดยแบคทีเรียในกระเพาะหมักนั้นสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มได้ ตามการใช้ประโยชน์จากสารตั้งต้น หรือ ผลผลิตที่แบคทีเรียสามารถสังเคราะห์ได้ เช่น เซลยูโลส เฮไมเซลยูโลส โปรตีน เมทเธน แอมโมเนีย ไวตามิน

แบคทีเรียกลุ่มย่อยสลายเซลยูโลส (cellulolytic bacteria)

เป็นกลุ่มของแบคทีเรียที่มีบทบาทในการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตโครงสร้าง(structural carbohydrate) โดยเฉพาะโพลิเมอร์ของเซลยูโลส(cellulose) ซึ่งคาร์โบไฮเดรตโครงสร้างนี้เมื่อถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักในอัตราที่เหมาะสมมีการกระจายตัวที่ดีจะเป็น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

แหล่งพลังงานเสริมที่สำคัญสำหรับโคนมให้ได้พลังงาน ที่เพียงพอต่อความต้องการ (Weimer, 1998) การย่อยสลายเซลยูโลสภายในกระเพาะหมักนั้น แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์กลุ่มแรกที่เข้ายึดเกาะผิวหน้าของอนุภาคเยื่อใยเมื่อเข้ามาสู่กระเพาะหมัก (Weimer, 1996) ซึ่งแบคทีเรีย 3 สปีชีส์หลักที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายเซลยูโลส ได้แก่ *Ruminococcus albus, Ruminococus flavefaciens* และ *Bacteroides succinogens* (Hungate, 1966, Orskov, 1992) การเข้ายึดเกาะที่บริเวณผิวหน้าจะช่วยให้การทำงานของ exoenzyme ที่หลั่งออกมาเพื่อไฮโดรไลซ์เซลยูโลสไปเป็นเซลยูโลเดร็กซ์ตริน (cellulodextrin) นั้นสามารถเกิดได้อย่างรวดเร็วและนอกจากนี้แล้ว การเข้ายึดเกาะที่ผิวหน้าตามธรรมชาติ (surface-bound-nature) อาจมีส่วนช่วยในการลดการสูญเสียของเอนไซม์เซลยูโลสหรือช่วยลดการจับกลืนกินเซลยูโลไลติกแบคทีเรียของโปรโตซัวได้ด้วย (Weimer, 1998) เอนไซม์ที่มีบทบาทในการไฮโดรไลซ์เซลยูโลสนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น endo cellulase ซึ่งผลิตโดย cellulolytic microorganism เช่น endo-β-1,4-glucanase, β-1,4-glucan-glucanohydrolase, carboxymethycellulase ซึ่ง acid-swollen cellulose และ carboxymethylcellulose เป็นสารตั้งต้นที่จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ endocellulase ได้เป็น cellulodextrins, cellobiose และ glucose (Mackie and White, 1990) ส่วน exocellulase จะพบที่ mycelial ของเชื้อราเป็นส่วนใหญ่ เช่น exo-β-1,4-glucanase, β-1,4-glucan-cellobiohy drolase, cellobiohydrolase โดยที่เอนไซม์เหล่านี้จะทำการย่อยสลาย crystalline cellulose ส่วน glucosidase เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่จะพบได้ในจุลินทรีย์ทั่วไป เช่น cellobiase (aryl - β-glucosidase) โดยเอนไซม์เหล่านี้จะทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์ cellobiose, salicin และ esculin ได้เป็น กลูโคลส หรือกลูโครส รวมกับ aromatic residue อื่น (Mackie and White, 1990) นอกจากนี้ยังมี cellulodextrinase จากแบคทีเรียที่ไฮโดรไลซ์กลูโครสสายยาวประมาณ 7-8 หน่วย ไปเป็น cellobiose, cellotriose หรือทั้งสอง โดยในแบคทีเรียสปีชีส์ *B. succinogens* นั้นพบว่ามากกว่า 80 % คือเอนไซม์ endoglucanase (carboxy methylcellulase), cellulase, xylanase และ aryl - β-xylosidase (Forsberg et al., 1981) และ จากรายงานของ Change and Thayer (1977) พบว่า encoglucanase จะพบที่บริเวณ extracellular ในแบคทีเรีย *Bacillus* spp. หลายชนิด ขณะที่ cytophaga จะพบเอนไซม์ endoglucanase ที่บริเวณ cytoplasmic, periplasmic หรือที่บริเวณเมมเบรนด้วย อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาแบบ *in vitro* ขอบเขตการย่อยสลายของเซลยูโลสโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนขึ้นอยู่กับระดับความเป็นกรดด่าง(pH)ของอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้ต้องการระดับความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงระดับที่เป็นกลางเพื่อการเจริญเติบโต (Weimer, 1996) เนื่องจากเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างลดลงจะส่งผลต่อการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทำให้ความสามารถในการย่อยสลายเซลยูโลสลดต่ำลง Van der Linden et al. (1984) รายงานว่า กระบวนการเมทธาบอลิซึมและการมีชีวิตของแบคทีเรียที่ย่อยสลายเซลยูโลสขึ้นอยู่กับระดับความเป็นกรดด่างภายในกระเพาะหมักโดยระดับที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตอยู่ที่ระดับ 6.5 ขณะที่แบคทีเรีย 3 สปีชีส์หลักที่มีบทบาทในการย่อยสลายเซลยูโลสจะไม่สามารถเจริญได้เมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างลดลงต่ำกว่า 6.0 (Russell and Dombrowski, 1980; Shi and Weimer, 1992) และจากรายงานของ Hilter and Dehority, (1983), Stewart (1977) พบว่าเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่าง $\geq$ 6.3 แต่แบคทีเรีย S. *bovis* และ *P. ruminicola* พบว่าสามารถเจริญได้ในระดับความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 5.0-6.0 (Weimer, 1996) นอกจากนี้ ข้อจำกัดในการย่อยสลายยังเกิดจากปัจจัยด้านปริมาณของเซลยูโลสที่สามารถใช้ประโยชน์ และแบคทีเรียสามารถเข้ายึดเกาะได้อีกด้วย (Weimer, 1998) ดังนั้นกระบวนการหมักโดยอาศัยแบคทีเรียต้องอยู่ภายใต้ระยะเวลาและสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมเพื่อให้การใช้ประโยชน์จากอาหารสัตว์มีมากที่สุดเพื่อที่จะเปลี่ยนอนุภาคอาหารที่กินเข้าไปให้เป็นกรดไขมันระเหยได้และจุลินทรีย์โปรตีนซึ่งจะถูกใช้ประโยชน์ใน การเจริญเติบโต และการสร้างน้ำนม

แบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยสลายแป้ง (Amylolytic bacteria)

ธัญญพืช เช่นข้าวโพด มันสำปะหลัง ถือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในสูตรอาหารสัตว์ โดยในโคนม เมื่อได้รับอาหารที่มีส่วนของแป้งเป็นองค์ประกอบ แป้งจะถูกหมักอย่างรวดเร็วในกระเพาะหมักและแป้งก็จะถูกย่อยสลายโยจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมักโดยเฉพาะแบคทีเรีย ซึ่งแบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อยสลายแป้ง เช่น *S. bovis* ,*Bacteriods ruminicola* เป็นต้น (Hungate, 1966; Cotta, 1988) เช่น *S. bovis* จัดว่าเป็นสปีชีส์ที่มีความสำคัญมากในกลุ่มนี้ เนื่องจาก สามารถเจริญได้อย่างรวดเร็วในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบ และมีความสามารถในการผลิต เอนไซม์ α-amylase (Cotta, 1988) โดยปกติแล้วแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายแป้งนั้น จะมีการตอบสนองต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับ ความเป็นกรด -ด่าง ในกระเพาะหมักได้ต่ำกว่า เซลยูโลไลติกแบคทีเรีย ในขณะที่อัตราการเข้ายึดเกาะและการย่อยสลายโดยแป้ง ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของแป้ง และ กรรมวิธี รวมถึงกระบวนการในการแปรรูปแป้งด้วย (Orskov, 1992)โดยแบคทีเรียจะสามารถยึดเกาะเม็ดแป้งหรือแป้งที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (amylopectin)ได้ดีกว่า จากรายงานของ Kotashi et al. (1992) ทำการจำแนก อไมโลไลติก แบคทีเรีย 15 สายพันธุ์ (strians) ในกลุ่มนี้มี 8 สายพันธุ์ที่มีความสามรถในการผลิตเอนไซม์ amylase ได้ ซึ่งสปีชีส์ของแบคทีเรียที่เข้ายึดเกาะกับเม็ดแป้ง (starch granules) นั้นจะมี ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์อไมเลสจะสูงกว่าแบคทีเรียที่

ไม่ได้ยึดเกาะกับเม็ดแป้ง (Minato and Suto, 1979 อ้างโดย McAllister et al.,1994) โดยเมื่อทำการศึกษาโดยการใช้ pure culture พบว่าแบคทีเรีย *S. bovis* , *Ruminobacter amylophillus* และ *B. fibrisolvens* มีความจำเพาะในการเกาะยึดกับเม็ดแป้งที่ต่างบริเวณกัน (McAllister, 1990) เมื่อแบคทีเรียเข้ายึดเกาะกับธัญญพืชจะเกิด colonization และผลิตเอนไซม์ ซึ่งมีทั้ง exo- และ endoenzyme ซึ่งสามารถไฮโดรไลซ์พันธะ α 1-4 และα 1-6 ของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินได้ (Huntington,1997) ผลจากการย่อยสลายแป้งเพื่อได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจะต้องอาศัยการทำงานร่วมกัน ระหว่างแบคทีเรียหลายสปีชีส์ โดย Cotta (1992) รายงานว่า ทั้ง *S. bovis, B. ruminicola* และ *Selenomonas ruminantium* ต่างก็เป็นกลุ่มที่บทบาทร่วมกันเพื่อทำให้กระบวนการย่อยสลายแป้งเกิดได้ อย่างสมบูรณ์และอัตราการเจริญของแบคทีเรียเหล่านี้ก็มีค่าสูงสุดเช่นกัน โดย *S. bovis* จะไม่จำเพาะต่อบริเวณที่เข้ายึดเกาะอาจจะเกาะทั้ง starch granules และ protein matrix ขณะที่ *R. amylophillus* จะมีความจำเพาะต่อบริเวณยึดเกาะที่บริเวณผิวหน้าของ starch granules จึงอาจกล่าวได้ว่าศักยภาพของอไมโลไลติกแบคทีเรียในการย่อยสลายแป้งจะมีความแตกต่างกันตามสปีชีส์ของแบคทีเรียนั้น

แบคทีเรียกลุ่มที่ย่อยสลายโปรตีน (proteolytic bacteria)

การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมักจะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในกระเพาะหมัก โดยเฉพาะแบคทีเรีย ทำการย่อยโปรตีนได้เปปไทด์ กรดอะมิโน โดยมากกว่า 80 %ของแบคทีเรียในกระเพาะหมักใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งของไนโตรเจนเพื่อการเจริญเติบโตและสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีน (Morrisson and Mackie, 1996) โดยความจำเพาะของแบคทีเรียในการย่อยสลายโปรตีนมีมากกว่าการทำงานของโปรโตซัว (Brock et al., 1982) เอนไซม์ protease จะถูกผลิตโดยแบคทีเรียแกรมลบส่วน eatracellular enzyme จะผลิตโดยแบคทีเรียแกรมบวก (Allisson, 1970) เอนไซม์เปปติเดส (peptidase)ที่ทำการย่อยเปปไทด์ สายยาวในกระเพาะหมักจะถูกหลั่งจากแบคทีเรียเป็นแห่งแรกและมีความจำเพาะต่อโอลิโกเปปไทด์ (oligopeptide)ที่อยู่ในของเหลวรูเมน (Wallace, 1994) กลุ่มแบคทีเรียที่มีบทบาทหลักในการย่อยสลายโปรตีนพบว่าเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่สามารถย่อยสลายอาหารพวกแป้งด้วย เช่น จีนัส *Prevotella, Butyrivibrio, Selenomonas* และ *Streptococcus* (Russell et al., 1981 Hazlewood et al., 1983, Cotta and Russell, 1997) โดยมีสปีชีส์ที่สำคัญคือ *Prevotella ruminicola, Ruminobacter amylophillus* และ *Butyrivibrio fibrisolven* ซึ่งระดับความเป็นกรด - ด่าง (pH) ภายในกระเพาะหมักก็ส่งผลต่อปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มนี้โดยที่ระดับ pH 6.0-7.0 ปริมาณ proteolytic bacteria อยู่ระหว่าง 0.5-1x 10^8 เซล/มล. แต่เมื่อระดับ pH

ลดลงเป็น 5.5 ปริมาณแบคทีเรียที่พบมีน้อยกว่า 10^4 เซล/มล. (Erfle et al., 1982) ส่วนปริมาณเอนไซม์ที่สร้างนั้น จากการศึกษาของ Brock et. al.(1982) รายงานว่ามากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ของเอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีนพบในส่วนของอนุภาคอาหาร (feed particles) โดยสัดส่วนของเอนไซม์จะผันแปรขึ้นอยู่กับจำนวนของอนุภาคอาหารที่มีอยู่ในกระเพาะในช่วงเวลานั้น นอกจากนี้แล้วประชากรแบคทีเรียที่ย่อยสลายโปรตีนจาก 12 เปอร์เซ็นต์ของแบคทีเรีย ทั้งหมดอาจเพิ่มเป็น 43 เปอร์เซ็นต์ขึ้นอยู่กับอาหารที่สัตว์ได้รับและตัวสัตว์เอง (Prins et al., 1983 อ้างโดย Cotta and Russell, 1997) ซึ่งเมื่อสัตว์ได้รับอาหารโปรตีนต่างชนิดกันชนิดของเอนไซม์ที่หลั่งโดยแบคทีเรีย ก็มีความแตกต่างกันด้วยโดยโคที่ได้รับอาหารข้นหรือหญ้าอย่างใดอย่างหนึ่งจะมีการสะสมของเอนไซม์ cystein proteaseในกลุ่มแบคทีเรียที่ย่อยโปรตีนและจากการศึกษาภายในกระเพาะหมักของโคที่ได้รับอัลฟัลฟ่าพบว่ามีปริมาณเอนไซม์ serine protease เป็นจำนวนมากแต่ไม่พบในโคที่ได้รับเฮย์ขณะที่พบเอนไซม์ metalloprotease ในโคที่ได้รับข้าวบาร์เล่ย์มากกว่ากลุ่มที่ได้รับอัลฟัลฟ่า (Prins et al.,1983 อ้างโดย McAllister et al., 1993) จะเห็นได้ว่า ชนิดของอาหารคาร์โบไฮเดรตก็มีผลต่อการย่อยสลายโปรตีนของแบคทีเรียอาจเนื่องมาจาก แบคทีเรียบางสปีชีส์สามารถย่อยสลายได้ทั้ง 2 แหล่ง อย่างไรก็ตามเมื่อศึกษาถึงการทำงานร่วมกันระหว่าง แบคทีเรีย 3 สปีชีส์ *S. ruminantium, S. bovis , P. ruminicola* พบว่าการทำงานร่วมกันระหว่าง *S. ruminantium*+ *S. bovis* และ *S. ruminantium*+ *P. ruminicola* ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายโปรตีนสูงขึ้นกว่าเมื่อทำงานเพียงชนิดเดียว ขณะที่ *S. bovis* + *P. ruminicola* เมื่อทำงานร่วมกัน ประสิทธิภาพในการ ทำงานเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (Wallace, 1985) ดังนั้นการทำงานร่วมกันระหว่างแบคทีเรียบางสปีชีส์ ก็ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้นในขณะที่บางสปีชีส์เมื่อมีการทำงานเพียงลำพังจะมีประสิทธิภาพมากกว่า

การย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรต

อาหารพวกแป้ง (starch) คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) และคาร์โบไฮเดรตโครงสร้าง (structural carbohydrate) เมื่อถูกย่อยสลาย โดยจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมัก ได้ น้ำตาลเชิงเดี่ยว คือ กลูโคลส ซึ่งอัตราการย่อยสลายจะแตกต่างกับออกไป ขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักจะย่อยสลายกลูโคลสให้ได้ กรดไพรูวิค (pyruvic acid) โดยผ่านกระบวนการของไกลโคไลซีส (glycolysis) หรือเอมเดน-มายเออนอฟ-พาร์นาส์ (Empden-Meyerhof-Parnas of glycolysis, EMP) ซึ่งระหว่างการเปลี่ยนแปลงและการสังเคราะห์สารประกอบต่างๆ ระหว่างเส้นทางการสังเคราะห์ของ EMP นั้นอาจใช้เป็นสารประกอบในการสังเคราะห์เป็น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารประกอบอื่นๆ เช่น กลีเซอรอล (glycerol) ใช้ในการสังเคราะห์ไขมันหรือการสังเคราะห์กรดแอมมิโนบางตัว เช่น ซีรีน (serine) และ ไกลซีน (glycine) แต่ความสำคัญของกระบวนการ EMP นั้นคือการสังเคราะห์กรด ไพรูวิค ซึ่งจะใช้ในการสังเคราะห์ เป็นกรดไขมันระเหยได้ (เมธา, 2533) ซึ่งประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้เกือบทั้งหมด จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid ;VFA) ภายในกระเพาะหมักที่สำคัญได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรพิออนิก (propionic acid) และกรดบิวทีริค (butyric acid) รวมทั้งกาซคาร์บอนไดออกไซด์ และ กาซเมทเธน VFA ที่ผลิตได้ประมาณ 80% จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะหมักเป็นการดูดซึมแบบ simple diffusion (Dijkstra et al., 1993) ส่วนที่เหลือจะผ่านเข้าสู่โอมาซั่ม (omasum) และ อโบมาซั่ม (abomasum) ต่อไป (France and Siddons, 1993) VFA เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดย 80 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่สัตว์ต้องการได้มาจาก VFA ความเข้มข้นของ VFA ที่ผลิตได้ในกระเพาะหมักจะมีความผันแปรระว่าง 70-150 มิลลิโมล/ลิตรหรือประมาณ 5-10 กรัม/ลิตรขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและระยะเวลาของอาหารในกระเพาะหมัก (บุญล้อม, 2541) VFA ที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ portal blood จะหมุนเวียนอยู่ในรูปของประจุลบที่เป็นกลางในสภาวะความเป็นกรด-ด่างของเลือด จากนั้นจะถูกเมทธาบอไลซ์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกาย โดยกรดอะซิติกจะถูกนำไปใช้เพื่อให้พลังงานโดยผ่านทาง acethyl - CoA เข้าสู่ citric acid cycle (TCA cycle) หรือใช้ในการสังเคราะห์ไขมัน (lipogenesis) ในเนื้อเยื่อผ่านทางกระบวนการ carboxylatIon เป็น malonyl - CoA (ฉลอง, 2541; France and Siddons, 1993) ในโคนมที่กำลังให้ผลผลิตน้ำนมต่อมน้ำนมจะใช้กรดอะซิติก เพื่อเป็นแหล่งของคาร์บอนด์ในการสังเคราะห์กรดไขมันในน้ำนมร่วมกับการใช้กรดบิวทีริกที่จะถูกเมทธาบอไลซ์เป็นสารคีโตน อะซีโตอะซีเตท (acetoacetate) และ เบตา-ไฮดรอกซีบิวทีเรท (β-hydroxybutyrate)ที่สามารถเปลี่ยนแปลง ระหว่างกัน ได้ (เมธา, 2533 ; Sutton, 1985) ส่วนกรดโพรพิออนิก 80-90 เปอร์เซ็นต์จะถูกเมทธาบอไลซ์ที่ตับ และมีบทบาทสำคัญในการใช้เป็นสารตั้งต้น ในการสังเคราะห์กลูโคลส (gluconeogenesis)

การย่อยอาหารโปรตีน

โปรตีนสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะส่วนประกอบดังนี้

1. โปรตีนทั้งหมด (total protein) เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยโปรตีนแท้และไนโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้ (NPN)
2. โปรตีนแท้ (true protein) เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนจับกันเป็นสายยาวเรียกเปปไทด์ (peptide)

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3. ไนโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้ (NPN) มีหลายชนิด เช่น ยูเรีย (urea) ไบยูเรต (biuret) กรดอะมิโน (amino acid) เปปไทด์ (peptide) เอมีน (amines) volatile amine , ammonium salt , ไนเตรท, ไนไตร์ท

อาหารโปรตีนที่สัตว์ได้รับแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กล่มโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายในของเหลวในกระเพาะหมัก หรือมีการย่อยสลายได้น้อย (insoluble protein) และกลุ่มโปรตีนที่ย่อยสลายได้ง่าย (soluble protein) เช่น serum albumin , oval albumin , chloroplast protein extract และ โปรตีนที่ย่อยสลาย จากวัตถุดิบอาหาร เช่น กากถั่วเหลือง (Preston and Leng, 1987 ; Leng and Nolan, 1984) ประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดในพืชอาหารสัตว์จะอยู่ในรูปของโปรตีนแท้ ที่เหลือจะเป็นส่วนของ ไนโตรเจนจากโปรตีนไม่แท้ที่ย่อยสลายเร็ว (soluble NPN) ซึ่งปริมาณจะแตกต่างกันออกไป (Van Soest, 1982)

การย่อยสลายอาหารโปรตีนในกระเพาะหมัก

ความสามารถในการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อยสลายได้ (solubility) สารประกอบไนโตรเจน20-60เปอร์เซ็นต์ในอาหารสามารถย่อยสลายได้ในสารละลายที่เป็นบัฟเฟอร์(Timminga, 1979) นอกจากนี้โปรตีนที่ย่อยสลายได้ง่ายแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการย่อยสลายได้แตกต่างกันซึ่ง Mahadevan et al. (1980) ให้เหตุผลว่าขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโครงสร้างโปรตีนนั้นโดยเฉพาะพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bonds) ในโปรตีนซึ่งมีอิทธิพลอย่างมากต่อการย่อยโปรตีนโดยจุลินทรีย์ในรูเมน โครงสร้าง ของโปรตีนที่เป็นโครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary structure) หรือโครงสร้างตติยภูมิ (tertiary structure) รวมถึงความหนาแน่นของ cross-linkage ภายในโมเลกุล (Wallace and Kopecny, 1983) ก็มีผลต่อความสามารถในการย่อยสลาย ของโปรตีนเช่นกัน

อาหารโปรตีนที่เข้าสู่กระเพาะหมักจะมีความสมารถในการถูกย่อยสลายและไม่ถูกย่อยสลายแตกต่างกัน การย่อยสลายโปรตีนไปเป็น เปปไทด์ และกรดแอมมิโนโดยใช้เอนไซม์ protease และ pepidase จากแบคทีเรีย (Preston and Leng, 1987) รวมทั้งการทำงานของโปรตัวซัวร่วมด้วย (Boderick, 1996) ซึ่งโพลีเปปไทด์สายยาวของโปรตีนจะถูกทำให้แตกแยกออกโดยกระบวนการไฮโดรไลซีสตรงพันธะเปปไทด์ (proteolysis) ได้เป็นเปปไทด์และกรดแอมมิโน (Timminga, 1974) ซึ่งกระบวนการย่อยสลายนั้นมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งความสา มารถในการละลาย, ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ภายในกระเพาะหมักที่เหมาะสม (Isaacs and Owen, 1972) ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเข้าย่อยสลายโปรตีนจะอยู่ระหว่าง 6.0-7.0 โปรตีนจะถูกไฮโดรไลซ์ (Wallace et al., 1987b) เป็น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม วิทยานิพนธ์ งานวิจัย

จะมีความสามารถในการผ่านเข้าสู่ภายในเซลของ *B. amylophilus* ได้เลย ส่วน exoenzyme ปริมาณเล็กน้อย บางทีอาจมีส่วนช่วยในการย่อยสลายโปรตีนเป็น oligopeptides ซึ่งจะถูกจับโดยเอนไซม์ protease จาก inner membrane แต่อาจพบเพียงเล็กน้อยจากการทำงานร่วมกันเอนไซม์ จากแบคทีเรีย หลายชนิดภายในกระเพาะหมัก (Kopecny and Wallace, 1982) นอกจากนี้การย่อย สลายโปรตีนโดยแบคทีเรีย *Prevotella ruminicola* จะเกิดบริเวณผนังเซลล์ดังนั้นการย่อยสลายที่เกิดขึ้นจะเป็นการเข้ายึดเกาะกับสารตั้งต้นโปรตีนที่ไม่สามารถละลายน้ำได้หรือการดูดซึมเอาโปรตีนที่ละลายได้เข้าเซลล์ (Griswold and Mackie, 1997) ซึ่งเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญที่หลั่งโดยแบคทีเรียได้แก่ cysteine proteinase (Kopecny and Wallace, 1982) นอกจากนี้ยังพบเอนไซม์ serine metalloprotease บ้าง (Wallace et al., 1999; Brock et al., 1982)

โปรตีนสายยาวจะถูกทำให้เล็กลงโดยกระบวนการไฮโดรไลซีสที่พันธะเปปไทด์ได้เป็นเปปไทด์และกรด แอมมิโนจากนั้นเปปไทด์จะถูกไฮโดรไลซ์ต่อได้เป็นกรดแอมมิโนและกรดแอมมิโนจะถูกนำมารวมกับแบคทีเรียโปรตีน หรือถูกย่อยสลายต่อเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid; VFA) แอมโมเนีย (NH_3) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊ซเมทเธน (CH_4) รวมถึงความร้อนจากกระบวนการหมัก (Timminga, 1979) ซึ่งบทบาทของแบคทีเรีย ในการย่อยโปรตีนภายในกระเพาะหมักนั้นพบว่ามากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของแบคทีเรีย ทั้งหมดภายในกระเพาะหมักมีความสามารถในการย่อยสลายโปรตีนได้ (Wallace and Brammall, 1985) และเอนไซม์ protease ที่หลั่งจากแบคทีเรียต่างชนิดกันจะมีความแตกต่างกัน Blackburn (1968) อ้างโดย Wallace (1996) พบว่าเอนไซม์ protease จาก *B. amylophillus* สายพันธุ์ H18 มีคุณสมบัติความจำเพาะคล้ายกับเอนไซม์ trypsin ในขณะที่ *B. ruminicola* สายพันธุ์ R8/4 จะหลั่งเอนไซม์ cystein proteinases และ aspartic proteinases (Hazlewood and Edward, 1981) นอกจากนี้ยังพบว่า ถึงแม้จะเป็นเชื้อชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์กันก็ทำให้ความสามารถในการย่อยสลายก็แตกต่างกันด้วย ซึ่ง Cotta and Hespell (1986) ทำการศึกษาการย่อยสลายโปรตีนของ *B. fibrisolvens* สายพันธุ์ SH 13 จะสามารถหลั่งเอนไซม์ serine proteinase ได้ดีกว่า ส่วน *B. fibrisolvens* JW 11 จะหลั่งเอนไซม์ cystein proteinase ได้มากกว่า จึงทำให้กระบวนการหมักและการย่อยสลายที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกัน ทำให้ค่าความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนแตกต่างกัน และ Chen et al. (1987) ได้ทำการศึกษา โดยการรวมแบคทีเรีย รูเมนหลายชนิด ให้ทำงานร่วมกัน พบว่าพันธะ hydrophilic peptide จะถูกย่อยสลายและใช้ประโยชน์ได้อย่างมี

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ประสิทธิภาพมากกว่า พันธะhydrophobic peptide นอกจากที่กล่าวมาแล้วอาหารที่สัตว์ได้รับก็มีบทบาทต่อการทำงานของเอนไซม์ protease ด้วย โดยต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ของการทำงานของเอนไซม์ในของเหลวในรูเมนในสัตว์ที่ได้รับมันเฮย์ และอาหารข้นจะเกิดขึ้นในส่วนของ strain rumen fluid (SRF) ส่วนที่เหลือจะเกิดและสัมพันธ์กับชิ้นส่วนของอาหารภายในรูเมนซึ่งจะสังเกตได้ว่าการทำงานของเอนไซม์ protease ที่เกิดจะสัมพันธ์กับอาหารเฮย์ที่สัตว์ได้รับด้วย (Brock et al., 1982) ดังนั้นจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายโปรตีนโดยเฉพาะแบคทีเรียจะถูกรักษาไว้โดยอนุภาคเล็กๆ ซึ่งอาจจะใช้อธิบายถึงปริมาณของแบคทีเรียที่ทำการยึดเกาะอยู่กับอนุภาคของอาหารที่พบได้ในแบคทีเรียที่ทำการย่อยสลายโปรตีนหลายกลุ่ม

การย่อยสลายโปรตีนโดยโปรโตซัวและบทบาทของโปรโตซัวในการย่อยสลายโปรตีน

พบว่าโปรโตซัวมีความสามารถในการกินอาหารที่มีอนุภาคขนาดเล็กรวมทั้งแบคทีเรีย (Leng and Nolan, 1984) ซึ่ง Hino and Russell (1987) พบว่าโปรโตซัวมีบทบาทสำคัยในการย่อยสลายอนุภาค และจุลินทรีย์โปรตีน นอกจากนี้ยังสามารถผลิตเอนไซม์ได้หลายชนิด ซึ่งต่างก็มีความจำเพาะแตกต่างกันออกไป โดย Morrison and Mackie (1996) รายงานว่าโปรโตซัวสามารถผลิตเอนไซม์ serine proteinases และ aspertic proteases ได้ ซึ่งความสามรถของโปรโตซัว ในการย่อยสลายอาหารโปรตีนจะเกิดโดยการดึงเอาอาหารผ่านเข้าไปภายในเซลล์ของโปรตัวซัวเอง Wallace et al. (1987) พบว่าโปรโตซัวสามารถเพิ่มปริมาณของแอมโมเนียในรูเมนได้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไม่มีกำจัดโปรโตซัว (faunated) และมีการกำจัดโปรโตซัว (defaunated) โดยพบว่าในกลุ่ม faunated การทำงานของเอนไซม์ deaminase เกิดขึ้นสูงกว่า แต่หากเปรียบเทียบระว่างแบคทีเรียและโปรโตซัว พบว่าการทำงานของเอนไซม์ deaminase ใน cell free protozoal extract จะสูงกว่าในส่วนของแบคทีเรีย แต่ปริมาณการผลิตแอมโมเนียจากโปรตีนในแบคทีเรียจะสูงกว่า protozoa (Hino and Russell, 1987) ซึ่งโปรโตซัวแต่ละกลุ่ม ก็มีความสามามารถในการย่อยสลายอาหารโปรตีนแตกต่างกันไปจากรายงานของ Jouany et al. (1992) ที่ทำการศึกษาถึง ผลของแหล่งอาหารโปรตีนที่แตกต่างกันต่อการใช้ประโยชน์และการเจริญเติบโตของโปรโตซัว โดยจากการ ศึกษาใน *in vitro* พบว่าโปรโตซัวกลุ่ม entodiniomorphid ciliated จะไม่เมทธาบอไลต์โปรตีนที่ละลายได้และไม่พบการเจริญเติบโตยกเว้นเมื่อมีการเสริมโปรตีนที่ไม่ละลายลงไปด้วยซึ่งกล่าวได้ว่า entodiniomorphid ciliated มีความสามารถสูงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ในการย่อยสลายอนุภาค โปรตีนที่ไม่ละลาย และบทบาทการทำงานจะลดลงเรื่อยๆและจากการศึกษา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ใน in vitro เมื่อใช้ ปลาป่น กากถั่วเหลือง lupin และ peanut meal เป็นแหล่งโปรตีนของโปรโตซัว ทั้งกลุ่ม A – type protozoa และ B – type protozoa พบว่า มีการผลิตแอมโมเนียได้ในปริมาณที่สูง ในกลุ่มของหลวจากกระเพาะหมักที่ได้จากแกะที่ไม่มีการกำจัดโปรโตซัว เมื่อเปรียบเทียบกับแกะที่มีการกำจัดโปรโตซัว (Machlowski ,1989 อ้างถึงใน Jouany , 1996) เนื่องจากโปรตีนที่ไม่ละลาย ซึ่งโปรตัวซัวได้รับจะถูกย่อยสลายภายในเซลล์ของ entodiniomorphid protozoa โดยการทำงานของเอนไซม์ protease ซึ่งมีระดับความเข้มข้นสูงมากและเมื่อถูกหลั่งออกสู่ของเหลวในกระเพาะ หมัก จะไม่ถูกเจือจาง (Jouany, 1996)

นอกจากนี้ โปรโตซัวในกลุ่ม holotrich ก็พบว่ามีการสร้างเอนไซม์ protease ได้ หลายรูปแบบ (Lockwood et al., 1988) โดยในกลุ่ม *Isotricha* spp. เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในของเหลวรูเมน ที่ได้จากโคที่มีการกำจัดโปรโตซัว (defaunated cattle) ที่ได้รับอาหารโปรตีนต่างกัน 3 ชนิด เพื่อทำการเปรียบเทียบกับ กลุ่มที่มีโปรโตซัวกลุ่ม B – type protozoa พบว่า *Isotricha* spp. จะลดการผลิตแอมโมเนียลง 25 , 33 และ 15 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับอาหารโปรตีน ปลาป่น กากถั่วลิสง และ เคซีน ตามลำดับ (Jouany, 1992) ซึ่งจะเห็นได้ว่าโปรโตซัวกลุ่ม holotrichs จะสามารถย่อยสลายเคซีนซึ่งเป็นโปรตีนที่ละลายได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งตรงกันข้ามกับการทำงานของ *Entodiniomorphids onodera* and Kandatsu (1970) อ้างโดย Jouany (1996) กล่าวว่าการเพิ่มของ *Isotricha* spp. ในกระเพาะหมักที่มีการกำจัดโปรโตซัวจะเป็นการลดบทบาทของเอนไซม์ จากแบคทีเรียที่ย่อยสลายกรดแอมมิโน ทำให้ปริมาณของแอมโมเนียเพิ่มมากขึ้นจากการใช้ประโยชน์ จากแหล่งโปรตีนที่ละลายได้ ส่วนโปรตัวซัวในกลุ่ม *Ophryoscolecids* เช่น *Eudiplodium* หรือการใช้ *epidinium* ร่วมกับ *endinium* ทำการเพาะเลี้ยง ในของเหลวจากกระเพาะหมักที่มีการกำจัดโปรตัวซัว แต่ไม่พบความแตกต่างในส่วนของการย่อยสลาย และกระบวน การหมักของแหล่งอาหารโปรตีนปลาป่นและกากถั่วเหลือง

แบคทีเรียโปรตีนที่ถูกกินจะย่อยสลายภายในเซลล์ของโปรโตซัวได้เป็นเปปไทด์ขนาดเล็กมากกว่ากรด แอมมิโนอิสระและจะกลับมารวมตัวกันเป็นโปรโตซัวโปรตีน (Coleman, 1972) โดยเปปไทด์ที่ได้จากการ ย่อยสลาย แบคทีเรียโปรตีนจะถูกปลดปล่อยโดยโปรโตซัว *Entodinium caudatum* ในรูปของ N – acetylated และN – formyl peptides (Wallace et al., 1993) และกระบวนการ decarboxylation และ กระบวนการ deamination ของกรดอะมิโนนั้นจะเกิดขึ้นภายในเซลล์ของโปรโตซัว

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
RAJABHAT SUAHSARAKHAM UNIVERSITY

การย่อยสลายโปรตีนโดยเชื้อรา จากรายงานของ Wallace and Joblin (1985 อ้างถึงใน Morrisson and Mackie (1997) พบว่า anaerobic fungus *Neocalemastrix frontalis* สามารถผลิตเอนไซม์ metalloprotease สำหรับย่อยสลายโปรตีนแต่กระบวนการที่เกิดขึ้นนั้นเกิดไม่สมบูรณ์ในหลายสปีชีส์ซึ่ง Hungate (1966) รายงานว่าเชื้อราที่อยู่ภายในกระเพาะหมักจะมีการผลิตเอนไซม์เย่อยสลายโปรตีนโดยการปลดปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์ซึ่งเป็นเอนไซม์ metaloprotease โดยมี สังกะสี (Zn) เป็นโค - เอนไซม์ (co – enzyme) โดยที่บทบาทการทำงานของเอนไซม์จะคล้ายคลึงกับเอนไซม์ trypsin แต่เอนไซม์ metalloprotease จะย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะหมักได้ต่ำ

การย่อยสลายเปปไทด์ในกระเพาะหมัก

เปปไทด์เป็นสารตัวกลางที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนภายในกระเพาะหมักจากการทำงานของเอนไซม์ proteinase ที่หลั่งโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Wallace et al., 1999) และการย่อยสลายเปปไทด์สายยาว (oligopeptide) ภายในกระเพาะหมักนั้น พบว่าเอนไซม์ peptidase ที่ถูกปลดปล่อย โดยแบคทีเรียจะมีบทบาทที่สำคัญเป็นหลัก ในขณะที่โปรโตซัวจะหลั่งเอนไซม์ซึ่งมีความจำเพาะต่อ (dipeptide) มากกว่า (Wallace, 1994) กลไกหลักที่สำคัญของการย่อยสลายเปปไทด์ ภายในกระเพาะหมักนั้นจะอาศัยการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมัก โดยเอนไซม์หลักที่สำคัญในการตัดแบ่งเปปไทด์สายยาวเพื่อให้ได้เปปไทด์สายสั้นคือ dipeptidyl peptidase (DPP) โดยจะทำการตัด dipeptide ที่ด้าน N – terminus ของเปปไทด์สายยาว (Wallace and McKain, 1989) ซึ่ง dipeptides รวมทั้ง tripeptides ที่ถูกปลดปล่อยออกมา จากการทำงานของเอนไซม์DPP นั้นจะถูกตัดแบ่งต่อโดยการทำงานของเอนไซม์ dipeptidase และ tripeptidase เพื่อให้ได้เป็นกรดแอมมิโนอิสระ (Wallace, 1996) dipeptidase ที่ปลดปล่อยจาก *P. ruminicola* นั้นเป็น mettalopeptidase (Wallace et al.,1995 อ้างโดย Wallace, 1996) โดย จุลินทรีย์ที่มีการปลดปล่อยเอนไซม์ DPP คือ แบคทีเรีย genus Prevotella และสปีชีส์ที่มีบทบาทสำคัญคือ *P. ruminicola* ซึ่งสามารถจะปลดปล่อย DPP- 1 และ Ala-DPP ที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง (Wallace and McKain, 1989) อย่างไรก็ตาม เอนไซม์ DPP ยังสามารถพบได้ในแบคทีเรียอีกหลายสปีชีส์ รวมทั้งโปรโตซัวในรูเมนด้วยเปปไทด์ที่ต่างชนิดกันจะทำให้ถูกย่อยสลายในอัตราที่แตกต่างกันด้วย โดยพบว่าโครงสร้างทางด้าน N – terminus เป็นจุดสำคัญที่จะบอกถึงอัตราการย่อยสลายที่รวดเร็วของเปปไทด์ซึ่งหากกรดอะมิโน glycine และ proline ปรากฏอยู่ที่ด้าน N – terminus หรืออยู่ถัดมาจาก N – terminus รวมทั้งถ้าเปปไทด์นั้นมีประจุเป็นลบ พบว่าเปปไทด์ที่มี

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

คุณสมบัติเช่นนี้ มีแนวโน้มที่จะย่อยสลายได้ช้า (Yang and Russell, 1992 ; Wallace and McKain , 1989) และเปปไทด์ที่ถูกบล๊อคที่ปลายด้าน N – terminus หรือประกอบด้วย N-formyl หรือ N-acetyl group ก็จะมีผลทำให้เปปไทด์นั้นย่อยสลายได้ช้าลงด้วย อย่างไรก็ตาม Chen et al. (1987); Wallace and McKain, (1990) พบว่า isopropanol extractจากเอนไซม์ trypticase จะประกอบด้วยส่วนของ hydrophobic amino acid residues อยู่สูงทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้ากว่าเปปไทด์ซึ่งมีคุณสมบัติ ละลายในน้ำได้ (water soluble peptide) ดังนั้นคุณสมบัติไม่ชอบน้ำหรือละลายน้ำได้ยาก (hydrophobicity) ของเปปไทด์จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะบ่งบอกถึงอัตราการย่อยสลายของของเปปไทด์ได้

การย่อยสลายกรดแอมมิโนในกระเพาะหมัก

กรดแอมมิโนส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายเป็นแอมโมเนียโดยจุลินทรีย์รวม(mixed rumen organisms) และถูกนำไปสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีนด้วย (Leng and Nolan, 1984 ; Chalupa, 1976) ซึ่งกรดอะมิโนที่ถูกย่อยสลายโดยกลุ่มของแบคทีเรียที่สำคัญในรูเมน คือ *Megasphaera elsdenii* เป็นแบคทีเรียที่มีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากกรดอะมิโนได้สูง (Cotta and rusell, 1982) ส่วนแบคทีเรีย *B. ruminicola* , *Sellomonas ruminantium* , B. fibrisolvens เป็นแบคทีเรียที่มีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากกรดอะมิโนได้น้อยแต่ก็มีบทบาทสำคัญเป็นชนิดของแบคทีเรียที่พบมากในกระเพาะหมัก (Cotta and Russell, 1982 ; Wallace and Cotta, 1988) อย่างไรก็ตามทั้งเปปไทด์ และกรดแอมิโนต่างก็ถูกใช้เป็นแหล่งของไนโตรเจนและ แหล่งของพลังงานสำหรับแบคทีเรียหลายชนิด ความสามารถในการย่อยสลายกรดอะมิโนนั้นพบว่าชนิดของกรดอะมิโนก็มีผลต่อการย่อยสลายโดยกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น ได้แก่ glutamic acid , aspartic acid , arnithine และ alanine เป็นกลุ่มกรดอะมิโนที่มีการย่อยสลายอย่างรวดเร็วมากที่สุดในสภาพปกติของกระเพาะหมัก (Chalupa, 1976) การย่อยสลายกรดแอมมิโนแล้วได้เป็นแอมโมเนียนั้นยังได้สารที่ช่วยในปฏิกริยา redox หลายชนิด รวมถึงปฏิกริยา transmination ด้วย เช่น nicotinamide adenine dinucleotide (NADH) และ nicotinamide dinucleotide (NAD) (Hino and Russell, 1985) และหากเติมสารพวก ionophore ลงไปในอาหารพบว่า ionophore จะไปจำกัดการทำงานของแบคทีเรียในกระเพาะหมัก ทำให้ความสามารถในการย่อยสลายกรดแอมิโนลดลง ซึ่งจะมีผลดีในการช่วยเพิ่มปริมาณของกรดอะมิโนไหลผ่านลงสู่ทางเดินอาหารส่วนหลัง นอกจากนี้แล้วจากการศึกษาใน *in vitro* โปรตัวซัวในกระเพาะหมักก็มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ในการสลายย่อยสลายกรดแอมมิโนได้ดีกว่าแบคทีเรีย(Hino and rusell, 1985) และในแกะเอนไซม์

deaminase ที่สังเคราะห์โดยโปรโตซัวที่มีซีเลียจะทำงานได้ดีกว่าพวกที่ไม่มีซีเลียถึง 70 เปอร์เซ็นต์ (Wallce, 1987)

การหมุนเวียนกลับของไนโตรเจนสู่กระเพาะหมัก (N-recycling in rumen)

ไนโตรเจนสามารถคืนกลับสู่กระเพาะหมักได้ 2ทาง โดยผ่านทางน้ำลายและการซึมผ่านผนังกระเพาะหมัก โดยกระบวนการแพร่ผ่าน (diffusion) ซึ่งยูเรียในน้ำลายคิดเป็นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของยูเรียในกระแสเลือด ดังนั้นในโคที่หลั่งน้ำลายประมาณ 100-190 ลิตร/วัน จะมีระดับยูเรียอยู่ระหว่าง 1.2-34.2 กรัมของไนโตรเจน/วัน เมื่อมีระดับของยูเรียในกระแสเลือด 20-300 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร (Kennedy and MIlligan, 1980) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในแกะพบว่าระดับยูเรียในกระแสเลือดที่ผ่านเข้ากระเพาะหมักมากกว่าผ่านทางน้ำลาย 16 เท่า (Houpt, 1968 อ้างโดย Church, 1979) ซึ่งการหมุนเวียนกลับของยูเรียผ่านทางกระเพาะหมัก ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ระดับของยูเรียในกระแสเลือดระดับของแอมโมเนียในกระเพาะหมักที่หากมีในระดับที่สูงเกินไปจะทำให้อัตราการหมุนเวียนกลับลดลงและยังส่งผลทำให้แบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตเอนไซม์ ยูรีเอส (urease) ที่เยื่อบุผนังของกระเพาะหมักนั้นลดการทำงานลงด้วย (Cheng and Wallace, 1979) นอกจากนี้การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุในกระเพาะหมักก็มีความสำคัญ โดยเมื่อมีการเสริมแหล่งอาหารพลังงานให้กับสัตว์ เช่น แป้งธัญญพืชต่างๆจะช่วยเพิ่ม ระดับของ endogenous urea ได้ Kenedy (1980) รายงานว่าอัตราการคืนกลับสู่กระเพาะหมักของยูเรียในโคที่ได้รับ เฮย์จาก 10.9 กรัมไนโตรเจน/วัน เพิ่มเป็น 21.8 กรัมไนโตรเจน/วันเมื่อโคได้รับเฮย์ร่วมกับซูโครสยูเรียที่คืนกลับก็จะถูกย่อยสลายเป็นแอมโมเนียซึ่งเป็นแหล่งของไนโตรเจน สำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในโคและแกะ 25 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่ใช้ประโยชน์ได้จะมาจาก endogenous urea (Kennedy, 1980) และในแกะที่ได้รับ bromegrass ในรูปอัดเม็ด พบว่า 21 เปอร์เซ็นต์ของจุลินทรีย์ที่กระเพาะจริง (abomasum) มาจาก endogenous urea (Kenedy and Millikan, 1977 อ้างถึงใน Kenedy and Millikan, 1980) แต่อย่างไรก็ตาม มีการคำนวณว่าประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์จากไนโตรเจนทั้งหมดที่สัตว์ได้รับจะถูกนำกลับสู่กระเพาะหมักได้ (เมธา, 2533) ดังนั้นในช่วงที่สัตว์ได้รับอาหารที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำอาจทำให้แหล่งของไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การหมุนเวียนกลับของไนโตรเจนสู่กระเพาะหมักเพื่อเพิ่มไนโตรเจนจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

แอมโมเนียในกระเพาะหมัก

แอมโมเนียเป็นผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีน ซึ่งแบคทีเรียในกระเพาะหมักส่วนใหญ่จะเลือกใช้ แอมโมเนีย สำหรับการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนซึ่งจะถูกนำใช้ประโยชน์ในทางเดินอาหารส่วนหลังแหล่งของแอมโมเนียในกระเพาะหมักได้จาก เปปไทด์ กรดแอมมิโน หรือ miscellanous soluble N เช่น ยูเรีย กรดยูริค การย่อยสลายของกรดนิวคลีอิกในกระเพาะหมักรวมถึงกระบวนการเมทธาบอลิซึ่มของโปรโตซัวที่ได้แอมโมเนียเป็นผลผลิตสุดท้าย (Leng and Nolan, 1984) ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะหมักที่เหมาะสมเพื่อให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตสูงสุดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับของการให้อาหาร ความถี่ในการให้อาหารความสามารถในการละลายได้ของโปรตีนในอาหาร แหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่มีและรวมถึงแหล่งแร่ธาตุด้วย (เมธา, 2533) หากระดับของแอมโมเนียมีความเหมาะสม จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการหมักในกระเพาะหมักโดยจุลินทรีย์ Satter and Slyter (1974) รายงานว่าที่ระดับแอมโมเนีย 50-80 มิลิกรัมแอมโมเนีย-ไนโตรเจน/ลิตร ทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สูงสุด Kanjanapruthipong and Leng (1998) รายงานว่า ประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน (microbial protein synthesis) ในกระเพาะหมักของแกะสูงสุดเมื่อระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมากกว่า 200 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร สำหรับในกระบือปลัก Wanapat and Pimpa (1999) รายงานถึงระดับที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 13.6-17.6 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของนิเวศน์วิทยาภายในกระเพาะหมัก (rumen ecology) และทำให้การกินได้การย่อยได้ของฟางสูงสุด นอกจากจะใช้ประโยชน์สำหรับการเจริญของจุลินทรียเป็นส่วนใหญ่แล้วแอมโมเนียก็ยังถูกดูดซึมผ่านผนังของ reticulo-rumen เพื่อเปลี่ยนกลับเป็นยูเรียภายในตับเพื่อเป็นการหมุนเวียนไนโตรเจนสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องแต่ก็ขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่าง degradable และ undegradable protein ที่สัตว์ได้รับด้วย

การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน

จุลินทรีย์โปรตีนเป็นโปรตีนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในกระเพาะหมักซึ่งหมายถึงโปรตีนที่อยู่ในตัวของแบคทีเรีย หรือโปรตัวซัว Kaufman and LuppIng (1982)อ้างถึงใน ฉลอง (2541) ประเมินว่า โปรตีนของแบคทีเรียจะถูกสร้างขึ้น 22 กรัม / 10 กรัมของอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ (digestible organic matter, DOM) การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจะสังเคราะห์จากกรดแอมมิโนและเปปไทด์ที่ได้จาก การย่อยสลายโปรตีนหรือพวกที่อยู่ในรูปอิสระ นอกจากนี้แอมโมเนียที่หมุนเวียนอยู่ภายในกระเพาะหมักก็เป็นแหล่งไนโตรเจนหลัก ในการสังเคราะห์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ประโยชน์เหมือนกัน แต่ปริมาณผลผลิตนมที่ได้จะแตกต่างกันโดยอาหารแป้งและโปรตีนที่มีความสามารถ ในการย่อยได้ดีกว่าจะส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณของผลผลิตน้ำนม แต่หากมีอาหารโปรตีนที่ย่อยสลายไดเร็วในกระเพาะหมัก แต่ไม่เพิ่มปริมาณของแป้งที่ย่อยได้เร็วก็จะไม่มีผลทำให้ผลลิตน้ำนมในโคนมสูงขึ้น Oldham (1984) ได้สรุปความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนต่อพลังงานที่มีผลต่อการดูดซึมของโภชนะเพื่อใช้ในการผลิตน้ำนมดังนี้

1 เมื่อกรดแอมมิโนมีไม่เพียงพอผลผลิตน้ำนมจะน้อยกว่าปกติ และพลังงานที่มีมากเกินพอไม่สมดุลกับกรดแอมมิโนจะสะสมในรูปไขมันและเกิดการออกซิไดส์ไปทำให้ลดประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงาน

2 หากกรดแอมมิโนมีสูงเกินไปจะถูกหลั่งไปในน้ำนม ส่วนหนึ่งนอกจากนั้นจะถูก deaminate ทำให้มีการ สูญเสียพลังงานทั้งในขั้นตอนการสังเคราะห์กรดแอมมิโนที่มากเกินพอและการสูญเสียไปในรูปของยูเรีย ในโคนมกรดแอมมิโน ไลซีน (lysine) และ เมทไธโอนีน (methionine) เป็นกรดแอมมิโนสองตัวแรก ที่มีพบว่ามีบทบาทสูงต่อการให้ผลผลิตน้ำนมแลการเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนม (Schwab, 1995) Rulquln et al. (1993)พบว่าไลซีนและเมทไธโอนีนเป็นกรดแอมมิโนที่จำเป็นสองตัวแรกในโคนม และพบว่าต้อง การไลซีน 15-16 เปอร์เซ็นต์ของกรดแอมมิโนที่จำเป็น หรือ 7.3 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนที่ถูกย่อย และดูดซึมในลำไส้เล็กและต้อง การเมทไธโอนีน 5.0-5.5 เปอร์เซ็นต์ของกรดแอมมิโนที่จำเป็นหรือ 2.5 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนที่ย่อยได้ในลำไส้เล็ก

การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะของฟางข้าว

ฟางข้าวเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตร จากการผลิตข้าว ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของไทย ประมาณกันว่าในแต่ละปี ประเทศไทยจะมีผลผลิตข้าว ไม่ต่ำกว่า 20 ล้านตัน(คิดจากอัตราส่วนข้าวเปลือก : ฟางข้าว =1: 1) แต่การใช้ฟางข้าวเป็นอาหารสัตว์มีข้อจำกัดเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนะค่อนข้างต่ำ มีโปรตีนหยาบประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้างในปริมาณที่สูง และยังมีปริมาณของฟอสฟอรัส และแร่ธาตุที่จำเป็นอยู่ต่ำมาก (Wanapat et al., 1983) นอกจากนี้ ฟางข้าวยังมีโภชนะที่ย่อยได้รวม (total digestible nutrient ,TDN) ประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ทำให้เกิดปัญหาในการกินฟาง เพราะฟางมีพื้นที่ผิวต่ำ ทำให้สัตว์กินฟางได้น้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการของโภชนะ (เมธา,2528) ส่วนประกอบของ เซลในฟางข้าว จะแตกต่างจากฟางข้าวของธัญญพืชชนิดอื่น ฟางข้าวประกอบด้วยเซลวอล 79 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีเซลยูโลส 33 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะการจับตัวของกลูโคสเป็นเซลยูโลสในเซลวอลนั้น เป็นแบบ crystalline ซึ่ง degree of crystallinity มีส่วน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สัมพันธ์ทางตรงข้ามกับการย่อยได้ของเซลยูโลส นอกจากนั้นลิกนินซิลิกายังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ทำให้การย่อยได้ของฟางลดลง (Devendra, 1982 อ้างถึงใน เมธา,2533) ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวให้มีคุณค่าทางโภชนะที่สูงขึ้นทำให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากฟางได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี และการทำฟางข้าวหมักด้วยยูเรีย เป็นวิธีทางเคมีที่นิยมใช้ในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะฟางข้าว ซึ่งเมื่อหมักด้วยยูเรียโปรตีนในฟางข้าวเพิ่มจาก 3-4 เปอร์เซ็นต์เป็น 7-9 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง เปอร์เซ็นต์การย่อยได้เพิ่มจาก 46 เปอร์เซ็นต์เป็น 50-55 เปอร์เซ็นต์และสัตว์ยังสามารถกินฟางได้เพิ่มอีกประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ เป็นการเพิ่มพลังงานสุทธิสำหรับสัตว์ที่จะนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิต (เมธา,2533) ทำให้การใช้ประโยชน์จากอาหารเยื่อใยมีสูงขึ้น

ยูเรีย (NH_2CONH_2) เมื่อละลายน้ำจะแจกตัวให้แอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอาศัยเอนไซม์ ยูรีเอส(urease) จากจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะตามพื้นผิวฟางซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ย่อยสลายยูเรีย (ureolytic bacteria) จากนั้นแอมโมเนียจะรวมตัวกับหมู่ไฮดรอกซิล (OH-group) ได้เป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์(NH_4OH) ที่มีคุณสม บัติเป็นด่างและทำให้การเกาะยึดกันของพันธะคลายตัวลง เมื่อสัตว์ได้รับฟางหมักจุลินทรีย์ที่อยู่ใน กระเพาะหมัก สามารถย่อยสลายฟางข้าวได้เพิ่มมากขึ้น Promma et al.(1984) เปรียบเทียบการใช้หญ้าสดและฟางหมักยูเรีย (6%) เลี้ยงโคนม พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติในด้านปริมาณอาหารที่สัตว์กิน เปอร์เซ็นต์ไขมันนม เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมและ 4%FCM Wanapat (1985) ทำการศึกษาการใช้ฟางหมัก ยูเรีย 3% และ 5% พบว่าปริมาณการกินได้ต่อหน่วยกิโลกรัมต่อวัน และต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวไม่แตกต่างทางสถิติทั้งในกลุ่ม 3% และ 5% แต่การกินได้ต่อน้ำหนักเมทแทบอลิก ($g/kgW^{0.75}$) ในกลุ่มที่ใช้ฟางข้าวหมักยูเรีย 5% สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การย่อยได้ของวัตถุแห้ง การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (organic matter, OM) และการย่อยได้ของผนังเซลในกลุ่มที่ได้รับฟางหมักยุเรีย 5% สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับฟางข้าวหมักยูเรีย 3% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การใช้ฟางข้าวหมักยูเรียอาจใช้เป็นอาหารหยาบหลักอย่างเดียวในฤดูแล้งหรือใช้ร่วมกับอาหารหยาบชนิดอื่น เช่น อ้อยสด ยอดอ้อย จะเป็นการเพิ่มปริมาณการกินได้และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ในที่สุดลักษณะของฟางข้าวหมักยูเรียหลังการหมักควรมีลักษณะอ่อนนุ่ม สีน้ำตาลเข้มกว่าปกติ มีกลิ่นหอมแอมโมเนีย มีความชื้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีเชื้อรา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta,*Cranctz) เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยที่มีการปลูกกันอย่าง แพร่หลายเนื่องจากสามารถเจริญได้ดีในดินร่วนปนทราย ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ และยังเป็นพืชที่ทนทาน ต่อความแห้งแล้งได้เป็นอย่างดี จากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2542) รายงานพื้นที่เก็บเกี่ยว มันสำปะหลังในช่วงปี 2541-2542 เป็น 6,550 พันไร่และคาดหมายว่าจะเพิ่มเป็น 6847 พันไร่ในปี 2543 และผลผลิตที่ได้จะเพิ่มจาก 15756 พันตัน ในปี 2542 เพิ่มเป็น 16,930 พันตันพื้นที่ที่มีการปลูกมากที่สุดคือ ภาคอีสาน 3923822 ไร่ คิดเป็น 58 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ปลูกทั้งหมด จังหวัดที่มีการปลูกมากที่สุดคือ นครราชสีมา 1512882 ไร่ รองลงมาคือจังหวัดชัยภูมิ 397831 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2540/2541) ภายหลังการเก็บเกี่ยวหัวมัน ผลพลอยได้หลังการเก็บเกี่ยวคือใบมันสำปะหลังเป็นจำนวนมากซึ่งสามารถเก็บมาตากแห้ง พบว่ามีมีระดับโปรตีนสูงสามารถนำมาใช้เป็นอาหารโปรตีนเสริมสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ (Wanapat et al., 1989,1992) โดยในใบมันสำปะหลังมีระดับโปรตีนอยู่ระหว่าง 24.9-25.5 เปอร์เซ็นต์ (เมธา, 2530; ปรัชญา, 2531)

องค์ประกอบและคุณค่าทางโภชนะ

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีการสะสมอาหารในส่วนราก โดยมีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบมากที่สุด เป็นส่วนของแป้ง 64-72 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแป้งในมันสำปะหลังมี 2 ชนิด ได้แก่ อไมโลส (amylose) 16-18 เปอร์เซ็นต์ และอไมโลเพคติน (amylopectin) 82-84 เปอร์เซ็นต์ส่วนที่เหลือเป็นน้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น ซูโครส มอลโตส ฟรุคโตส (Jhonson and Raymond, 1965) นอกจากนี้ Pond and Maner(1974) รายงานว่าในหัวมันสำปะหลังมีคาร์โบไฮเดรตที่เป็นแป้งและน้ำตาล 75-80 เปอร์เซ็นต์เยื่อใย 1.44 เปอร์เซ็นต์โปรตีนเฉลี่ย 2.3 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณของกรดแอมมิโน เมทไธโอนีนและซีสตีนต่ำซึ่ง Gomez and Valdivieso(1983) รายงานผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะของมันสำปะหลัง(มันเส้น) พบว่ามีความชื้น 10-12 เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรตย่อยง่าย 76-81 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 2.3-2.5 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม Devendra (1977) รายงานถึงองค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลังที่ลอกเปลือกออก และตากแดด มีโปรตีนหยาบ 1.7 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 3.2 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 0.091 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.012 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิดประมาณ 90 มิลลิกรัม ต่อน้ำหนักสด 1 กิโลกรัม และจาการยงานของ KKU-IDRC(1980) พบว่าตัวอย่างมันเส้นที่สุ่มจากพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีระดับโปรตีนหยาบ 1.9 เปอร์เซ็นต์ผนังเซล 16.37 เปอร์เซ็นต์ ลิกโนเซลยูโลส-ซิลิก้า (lignocellulose-silica) 7.52

เปอร์เซ็นต์และกรดไฮโดรไซยานิค 33.06 ส่วนในล้านส่วน (ppm) อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังทั้งส่วนหัวและใบจะต้องมีการลดปริมาณไซยาไนต์ก่อนโดยวิธีการที่ง่ายและไม่ยุ่งยากคือการตากแดดประมาณ 1-2 แดดหรืออาจนำไปแช่น้ำ เมธา และคณะ (2531) รายงานว่าส่วนของใบมันสำปะหลังเมื่อนำมาตากแดดประมาณ 1-2 วันจะสามารถลดปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิคจาก 2098 มิลลิกรัมเหลือเพียง314 มิลลิกรัม/กิโลกรัม วึ่งอยู่ในปริมาณที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ สำหรับปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในหัวมันสดจะมีอยู่ประมาณ 390 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเป็นระดับที่สามารถใช้ได้ทั้งใน สัตว์เคี้ยวเอื้องและสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง

การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

เกรียงศักดิ์และคณะ (2534) รายงานว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้รวมถึงค่าการย่อยได้ตลอดทางเดินอาหารของ แป้งมันในมันเส้นมีค่าสูงกว่าข้าวเปลือกบดและปลายข้าวตามลำดับ เมื่อคิดเป็นค่าพลังงานแล้วมีค่าใกล้เคียงกับข้าวโพดที่นิยมใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหาร Sommart et. al. (1991) ทำการศึกษาเปรียบเทียบถึงอัตราการย่อย สลายของ แหล่งพลังงาน 4 ชนิด คือ ข้าวโพดป่น มันสำปะหลังเส้น ปลายข้าวและเปลือกข้าวบด พบว่าอัตราการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในกระเพาะหมัก เรียงจากค่าสูงสุดคือ มันเส้น ข้าวโพดป่น ปลายข้าวและเปลือกข้าวบดซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งที่เป็นองค์ประกอบหลักในมันเส้นสามารถใช้ประโยชน์ได้ดีในกระเพาะหมัก Wanapat et al. (1995) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้แหล่งพลังงาน 4 ชนิด ได้แก่ มันเส้น กากน้ำตาล ข้าวโพด และปลายข้าว พบว่าการใช้ประโยชน์ของแหล่งพลังงานทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันในด้านปริมาณการกินได้ของฟางข้าวรวมทั้งรูปแบบของกระบวนการหมักในกระเพาะหมักของกระบือทดลอง เมธาและคณะ (2534) ได้ทำการศึกษาการทดแทนมันเส้นในสูตรอาหาร กระบือปลักที่มีข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานในอาหารข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ในระดับ 0, 25, 50,75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และได้รับฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์เป็นอาหารหยาบพบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุเพิ่มสูงขึ้นตามระดับการทดแทนมันเส้นในสูตรอาหารแต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของเยื่อใยโดยเฉพาะผนังเซล (NDF) จะลดลงแต่ระดับของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนและกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดในกระเพาะหมักไม่แตกต่างกันส่วนรายงานการใช้มันสำปะหลังในอาหารโคนมโอภาสและคณะ(2540)ทำการศึกษาการใช้มันสำปะหลังในอาหารข้น 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ในอาหารโคนมพบว่า ระดับ pH ในกระเพาะหมักผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมไม่มีความแตกต่างทางสถิตินั่นคือสามารถใช้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สลายในสภาวะความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 3.5-7 แต่สามารถสลายและปลดปล่อยโปรตีนออกได้ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง < 3.5 (Jones and Mangan, 1977) ซึ่งเป็นสภาวะที่มีความใกล้เคียง กับกระเพาะจริงของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในด้านของผลกระทบของแทนนินที่มีในพืชต่อสัตว์พบว่า HT มีศักยภาพในการเป็นพิษต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดย HT จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ tannase จะทำการไฮโดรไลซ์ galloyl esters ซึ่ง gallic acid ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะถูกเมทธาบอไลซ์โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักอีกครั้ง ได้เป็น pyrogallol และสารประกอบฟีนอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ หลังจากนั้นจะถูกดูดซึมจากกระเพาะหมักซึ่งสารประกอบฟีโนลิกเหล่านี้จะถูกขับออกกับปัสสาวะในรูป glucoronides (Murdiati et al.,1992; Norton, 1999) ส่วน pyrogallolที่ได้จากการย่อยสลาย HT จัดเป็นสารพิษประเภท hepatotoxinและnephontoxinส่วนCT ไม่เป็นพิษในสัตว์เคี้ยวเอื้องเพราะจะไม่ถูกดูดซึม แต่อาจมีผลระคายเคืองต่อรอยแผลของเยื่อบุกระเพาะ (Reed, 1995) แต่ในมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะประกอบด้วย CT (0.34 % DM) (เมธา,2540; Wanapat, 1999) อย่างไรก็ตามจากรายงานของ Barry and Manley(1984) และ Barry(1985) พบว่าที่ระดับของ CT 50-100กรัม/กิโลกรัม(DM)จะส่งผลกระทบต่อปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโตและการย่อยสลายของเยื่อใย ภายในกระเพาะหมักด้วย แต่หากระดับของ CT จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารโปรตีน โดยการเพิ่มปริมาณโปรตีนบาย-แพสสู่ทางเดินอาหารส่วนหลัง รวมถึงการเพิ่มปริมาณการดูดซึมกรดแอมมิโนที่จำเป็นที่ลำไส้เล็กโดยเฉพาะเมทไธโอนีน และ ซีสตีนที่สามารถดูดซึมได้เพิ่มขึ้นถึง62 เปอร์เซ็นต์ (Waghorn, 1987; Woodward and Reed, 1997) ระดับที่เหมาะสมของCT อยู่ที่ 20-40 กรัม/กิโลกรัม (DM) (Barry, 1985; Waghorn, 1990) และจากการศึกษาในแกะโดยเปรียบเทียบการเสริมแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันในสูตรอาหาร ได้แก่ ยูเรีย กากถั่วเหลืองและกากถั่วเหลืองทรีทด้วย 10% tara tannin พบว่าในระยะปรับสัตว์ 16 วัน การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวโดยเฉลี่ยต่อวันสูงสุดในกลุ่มที่ได้รับกากถั่วเหลืองทรีทด้วย 10 % tara tannin คือ 112, 177 และ 217 กิโลกรัม/วัน ($P<0.05$) ตามลำดับและปริมาณการเก็บกักไนโตรเจน (nitrogen retention) โดยเฉลี่ยต่อวันก็มีค่าสูงสุดเช่นกัน ($P<0.05$) นอกจากนี้การใช้กากถั่วเหลืองทรีทด้วยแทนนินในรูปการอัดเม็ด จะช่วยเพิ่มปริมาณ การเก็บกักไนโตรเจนมากกว่ารูปที่ไม่มีการอัดเม็ด (Dridger and Hatfield, 1972)

ส่วนการศึกษาถึงผลกระทบของ CT ต่อจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก โดย Jone et al. (1994) ทำการศึกษาผลของ CT จาก sainfoin (*Onobrycis vicitifolia* Scop.) ต่อแบคทีเรียที่ใช้โปรตีน พบว่าที่ระดับของแทนนิน 25 $\mu g\ ml^{-1}$CT จะสามารถจับกับ cell coat ของ *ButyrIvibrio*

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

flbrisolvens และ *Streptococcus bovis* และเซลที่กระตุ้นการสลายโปรตีน (cell associated proteolytic activity) ได้ที่ 48 เปอร์เซ็นต์และ 92 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเชื้อ แต่แทนนินที่ใช้ในระดับที่เหมาะสม จะส่งผลดีต่อการเพิ่ม ประสิทธิภาพการสังเคราะห จุลินทรีย์โปรตีน และประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้แทนนินร่วมกับ แซปโปนิน (saponin)(Makkar et al., 1995) นอกจากนี้ Chiquette et al.(1989) พบว่าเมื่อมีแทนนินในระดับที่ต่ำจะส่งผลทำให้ปริมาณของโปรตัวซัว มีจำนวนลดลงด้วย

การใช้มันเฮย์เป็นอาหารโคนม

Wanapat et al.(1999) ทำการศึกษาการผลของการใช้มันเฮย์เป็นอาหารโคนมเพศผู้ตอน (steers) พบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมด (total volatIle fatty acids, TVFA) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร (40-50.4 มิลลิโมลาร์/ลิตร) ระดับของกรดอะซิติก (acitic acid) เฉลี่ย 72 โมล/100 โมล ระดับของกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) เฉลี่ย 17 โมล/100โมล และเมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการเสริมมันเอย์ ในโครีดนมระยะปลายที่ได้รับฟางหมักยูเรีย เป็นอาหารหยาบหลักในช่วงฤดูแล้งการทดลองประกอบด้วย 5 ทรีทเมนต์ (treatments, T) T1= สัดส่วนอาหารข้นต่อน้ำนม 1 : 2, T2 = 1:2 +มันเฮย์ 0.56 กิโลกรัม(DM)/ตัว/วัน , T3= 1:3+ มันเฮย์ 1.3 กิโลกรัม (DM)/ตัว/วัน , T4= 1: 4+ มันเฮย์ 1.7 กิโลกรัม (DM)/ตัว/วัน และ T5= ได้รับมันเฮย์เต็มที่ + อาหารข้น (มันสำปะหลัง +ยูเรีย 3%) 2 กิโลกรัม/ตัว/วัน จากการทดลองพบว่าผลผลิตน้ำนมในทุกทรีทเมนต์มีปริมาณใกล้เคียงกัน (5.4-6.3 กิโลกรัม/ตัว/วัน) (P>0.05) แต่ 3.5 % FCM สูงสุดในกลุ่มที่ได้รับการเสริมมันเฮย์ 1.7 กิโลกรัม ส่วนองค์ประกอบในน้ำนมพบว่าการเสริมมันเฮย์จะเพิ่มระดับของไขมันในน้ำนมจาก 4.0 เป็น 4.6 % (P<0.05) และโปรตีนในน้ำนมเพิ่มจาก 3.8 เป็น 5.8 % (P<0.05) ในโคกลุ่มที่ไม่ได้รับมันเฮย์และโคกลุ่มที่ได้รับมันเฮย์แบบเต็มที่ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเสริมมันเฮย์ในอาหารโคนม สามารถช่วยลดปริมาณอาหารข้นได้จาก 0.1-3.1 กิโลกรัม/ตัว/วัน และผลต่อนิเวศน์วิทยาภายในกระเพาะหมักในส่วนของ ระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของแอมโมเนีย - ไนโตรเจนพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ Wanapat et al. (2000b) ทำการศึกษาผลการเสริมมันเฮย์สับ (chopped cassava hay) เพื่อลดระดับอาหารข้นในโคนมที่ได้รับฟางหมักยูเรียหรือหญ้ารูซี่เป็นอาหารหยาบหลัก ทรีทเมนต์ที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย T1 = โคได้รับอาหารข้นในสัดส่วนอาหารข้น : น้ำนม : 2, T2= 1: 3 +มันเฮย์สับ 1 กิโลกรัม/ตัว/วัน และ T3= 1: 4 + มันเฮย์สับ 1.7 กิโลกรัม/ตัว/วัน เมื่อโคได้รับฟางหมักยูเรียเป็นอาหารหยาบ พบว่าผลผลิตน้ำนมมีปริมาณใกล้เคียงกันทุกทรีทเมนต์แต่

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ปริมาณน้ำนมเมื่อปรับที่ระดับ 3.5 % FCM คือ 14.2, 15.7 และ 14.9 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีค่าสูงสุดในกลุ่มโคที่ได้รับการเสริมมันเฮย์สับ 1 กิโลกรัม/ตัว/วัน ($P<0.05$) เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม และโปรตีนในน้ำนมมีปริมาณสูงสุดในกลุ่มโคที่ได้รับการเสริม มันเฮย์สับ 1.7 กิโลกรัม/ตัว/วัน ($P<0.05$) สำหรับกลุ่มโคที่ได้รับอาหารหยาบเป็นหญ้ารูซี่พบว่าปริมาณน้ำนม และ 3.5 % FCM ไม่แตกต่างทางสถิติ ขณะที่องค์ประกอบในน้ำนมได้แก่ โปรตีน แลคโตส และของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันในน้ำนม มีเปอร์เซ็นต์สูงสุด ในกลุ่มที่ได้รับการเสริมมันเฮย์สับ 1 กิโลกรัม/ตัว/วัน ($P<0.05$) ส่วนระดับของไธโอไซยาเนต (thiocyanate) ในน้ำนมมีค่าเพิ่มจาก 5.3 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ในกลุ่มที่ไม่มีการเสริมมันเฮย์เป็น 13.3 และ 17.8 ส่วนในล้านส่วนในกลุ่มที่มีการเสริมมันเฮย์ 1 และ 1.7 กิโลกรัม Chaesson (1994)อ้างถึงใน Wanapat et al. (1999b) รายงานว่าไธโอไซยาเนตที่ระดับสูงถึง 20 ส่วนในล้านส่วนจะช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ peroxidase ในการช่วยรักษาคุณภาพของน้ำนม ห้อยู่ได้นานขึ้น โดยเฉพาะภายใต้สภาวะอากาศร้อน ดังนั้นการใช้มันเฮย์เสริมในระดับ 1 - 3 กิโลกรัม/ตัว/วัน สามารถทดแทนอาหารข้นได้ถึง 2-3 กิโลกรัม/วัน หรือมากกว่าซึ่งจะทำให้ลดต้นทุนในด้านของอาหารข้นได้เป็นอย่างดีทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเพิ่มระดับโปรตีนที่มีคุณภาพสูงให้กับโคนมโดยการจับตัวของแทนนินในมันเฮย์กับโปรตีนในรูปของแทนนิน-โปรตีนคอมเพลซที่จะสามารถบาย-แพสสู่กระเพาะจริงและลำไส้เล็ก เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตน้ำนม

มันเฮย์แหล่งของโปรตีนและสารประกอบคอนเด้นส์แทนนินส์

ในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเพื่อทำมันเฮย์ ในระยะเวลา 3 เดือน หลังการปลูก พบว่ามีโปรตีนหยาบเป็นองค์ประกอบสูงกว่า 25% และมีกรดแอมมิโนเป็นส่วนประกอบอยู่สูง จากการศึกษาความสามารถของการกินได้และการย่อยได้ในโคพบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามันเฮย์มีความน่ากินและสามารถย่อยได้ดี สารประกอบคอนเด้นส์แทนนินส์มีปริมาณที่สูงในใบมันแต่มีระดับต่ำในมันเฮย์ที่ทำการเก็บเกี่ยวเมื่ออายุน้อย Barry and Manley (1984) และ Reed (1995) รายงานว่า ถ้ามี CT เป็นองค์ประกอบในอาหารเกิน 6% ของวัตถุแห้ง ปริมาณการกินได้และการย่อยได้จะลดลง แต่ถ้าระดับของ CT อยู่ในช่วงระหว่าง 2–4% ของวัตถุแห้ง จะช่วยในการป้องกันการถูกย่อยของโปรตีนในกระเพาะรูเมน นั่นคือเป็นการเพิ่ม บาย–แพสโปรตีน (rumen by – pass protein) มันเฮย์มีสารประกอบคอนเดนส์แทนนินส์หรือโพรแอนไธไซยานิดินส์ (proanthocyanidins, PC) ซึ่งพบได้ทั่วไปในพืชเขตร้อน CT เป็นสารประกอบฟีโนลิกส์ (phenolics) ซึ่งสามารถละลายได้ง่ายในน้ำและสามารถตกตะกอน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

โปรตีนได้ โดยพบว่า CT และโปรตีนจะจับกันอยู่ในรูปของ tannin-protein complexes (TPC) ด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่สภาวะเป็นด่าง TPC จะคงสภาพที่ pH 3.5–7.0 และจะเกิดการแตกตัวเมื่อระดับ pH<3.0 และ >8.0 (Jones and Mangan, 1977) พบว่า CT ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนของไนโตรเจน (N - recycling) สู่รูเมนและเพิ่มอัตราการหลั่งของน้ำลาย (Reed, 1995) และนอกเหนือจากนั้นยังช่วยเพิ่มจำนวนของการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนในรูเมนอีกด้วย (Makkar, 1995) และจากการศึกษาของ Wanapat and Chanjula (2002, unpublished data) พบว่าการเสริมมันเฮย์ที่มี CT เป็นองค์ประกอบในระดับสูงขึ้น มีผลทำให้ประชากรโปรโตซัวในรูเมนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)และประชากรของแบคทีเรียกลุ่มย่อยสลายเซลยูโลสและโปรตีนมีแนวโน้มว่าสูงขึ้น

ผลของ HCN ที่คงค้างในมันเฮย์ในรูปของไธโอไซยาเนท ต่อการรักษาคุณภาพน้ำนม

ได้มีการรายงานไว้โดย Claesson (1994)ว่า ไธโอไซยาเนทในน้ำนม สามารถช่วยรักษาคุณภาพของน้ำนม โดยกระบวนการ lacto – peroxidase system (LPS) โดยที่ระดับที่เหมาะสมของไธโอไซยาเนทในน้ำนมไม่ควรเกิน 20 ppm ซึ่งโคนมที่ได้รับมันเฮย์เป็นอาหารเสริม พบว่ามีไธโอไซยาเนทเป็นองค์ประกอบในน้ำนม 17.8 ppm อย่างไรก็ตาม จึงมีความจำเป็นต้องมีการศึกษาให้มากยิ่งขึ้น เพื่อที่จะชี้เฉพาะถึงบทบาทของ HCN ที่คงค้างในมันเฮย์ต่อระดับของไธโอไซยาเนทในน้ำนม โดยเฉพาะบทบาทในการช่วยรักษาคุณภาพของน้ำนม นอกจากนี้การศึกษาพบว่าการใช้กำมะถันผงร่วมกับยูเรียและใบมันสำปะหลังสดเสริมในโคเนื้อมีผลช่วยลดพิษของไซยาไนด์ลดลงได้ด้วย (Wanapa et al., 2006)

Song and Kennelly (1990) รายงานว่าโคนมแห้งที่ได้รับอาหารหยาบหมักมีผลทำให้ระดับของ NH3-N ในของเหลวรูเมนเพิ่มขึ้น 15.7 mg/dl ส่งผลถึงจำนวนประชากรแบคทีเรียทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพของกระบวนการหมักด้วย นอกจากนี้ในแกะที่ได้รับ Citrus Pulp และ Italian ryegrass hay ที่มีระดับเยื่อใย neutral-detergent fiber (NDF) ประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ระดับของNH3-N ในรูเมนเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลทำให้ความสามารถในการย่อยได้ของอินทรียวัตถุ ความเข้มข้นของ VFAs และประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนเพิ่มขึ้น (Rihani et al., 1993) ส่วนโคนมที่อยู่ในช่วงการให้ผลผลิต และได้รับ ถั่วอัลฟ่าฟ่าหมัก พบว่าระดับของ NH3-N อยู่ในช่วง 18.7-22.9 mg/dl และยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือด (BUN) อยู่ในช่วง 15.0-20.4 mg/dl ส่วนปริมาณผลผลิตน้ำนมอยู่ในช่วง 31.1 - 32.7 kg/hd/d (Robinson et al., 1991)

การศึกษาวิจัยการใช้มันเฮย์เป็นอาหารสัตว์

มันเฮย์สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบโปรตีนคุณภาพสูงได้เป็นอย่างดีสำหรับโคนม (Wanapat et al., 2000a; Wanapat et al., 2000b) โดยในการเสริมมันเฮย์เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนพิเศษ ได้มีการศึกษาในหลายรูปแบบเพื่อให้มีความสะดวกและเหมาะสมต่อการนำใช้ประโยชน์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด Koakhunthod et al. (2001) ศึกษาการใช้มันเฮย์เป็นแหล่งของโปรตีนในรูปแบบของอาหารก้อนคุณภาพสูงในโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซี่ยนที่อยู่ในระยะกลางถึงระยะท้ายของการให้นม พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณการกินได้ ความสามารถในการย่อยได้ ผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมรวมทั้งมีการเพิ่มจำนวนการสังเคราะห์จุลินทรีย์สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับหรือได้รับการเสริมอาหารก้อนคุณภาพสูงที่ไม่มีมันเฮย์เป็นองค์ประกอบ Wanapat et al. (2000a) พบว่าการเพิ่มปริมาณมันเฮย์จาก 0.6 เป็น 1.7 กก/ตัว/วัน สามารถลดอาหารข้นจาก 0.1 เป็น 1.6 กก./ตัว/วัน ตามลำดับ โดยไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม นอกจากนั้นการให้สัตว์ได้รับมันเฮย์แบบกินเต็มที่ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันและยังสามารถช่วยลดอาหารข้นลงได้ด้วย ซึ่งนำไปสู่การศึกษาผลการเสริมมันเฮย์ในระดับต่างกันในโคนม โดยใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซี่ยน จำนวน 6 ตัว ทำการสุ่มเพื่อเข้าแผนการทดลองแบบ Change–over design และทำการเสริมมันเฮย์ 3 ระดับ คือ 0, 0.8 และ 1.7 กก. วัตถุแห้ง/ตัว/วัน ส่วนอาหารข้นได้รับในระดับเดียวกัน (สัดส่วนอาหารข้นต่อน้ำนมคือ 1:2) ขณะที่ฟางหมักยูเรีย 5% ให้กินแบบเต็มที่ ผลการทดลองพบว่าการเสริมมันเฮย์สามารถลดการใช้อาหารข้นลงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตน้ำนม (12.5, 12.12 และ 12.6 กก./ตัว/วัน) และช่วยเพิ่ม 3.5% FCM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (14.21, 15.70, 14.9 กก./วัน) ตามลำดับ นอกจากนั้นแล้วการเสริมมันเฮย์สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมันในน้ำนมโดยเฉพาะที่ระดับการเสริมมันเฮย์ 1.7 กก./ตัว/วัน ส่วนของอาหารข้นที่ใช้ สามารถลดลงได้ถึง 27% เมื่อใช้ระดับการเสริมมันเฮย์ 1.7 กก./ตัว/วัน

การใช้สตาเรีย (starea) เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารโคนม

สตาเรีย (starea) หรืออาหารแป้งยูเรีย (starch-urea)เป็นอาหารที่ประกอบด้วยแป้งที่ได้มาจากธัญญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ร่วมกับยูเรียซึ่งแปรรูปให้อยู่ในรูปการอัดเม็ดโดยการใช้ความร้อนร่วมกับความชื้นเพื่อให้แป้งเกิดกระบวนการ gelatinization (Bowers, 1992) แต่เมื่ออุณหภูมิลดลงภายหลังการเกิด gelatinization แล้วอไมโลสจะอยู่ในรูปเจล (gel) ภายนอกเม็ดแป้งส่วนอไมโลเพคตินที่อยู่ภายในเม็ดแป้งจะกลับมาอยู่ในรูปผลึกได้เม็ดแป้งสีน้ำตาลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ของยูเรียใน โคนม (สุรศักดิ์, 2542)

ซึ่งยูเรียในสตาเรียจะถูกไฮโดรไลซ์โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักและมีการปลดปล่อยแอมโมเนียออกช้าๆและแป้งในสตาเรียก็จะถูกย่อยสลาย โดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในกระเพาะหมักได้ผลผลิตเป็นกรดไขมันที่ระเหยง่าย (volatile fatty acid, VFA) และ กรดคีโต (keto acid) (เมธา, 2533) ซึ่งทั้งแอมโมเนียและกรดคีโตจะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีน ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญของ metabolizable protein (MP) สำหรับการใช้ประโยชน์ในทางเดินอาหารส่วนหลัง

Helmer (1969) ทำการศึกษาการใช้สตาเรีย 3 ระดับ คือ 34 , 39 และ 44%CP เปรียบเทียบกับ expanded corn plus urea (39%CP) และ corn plus urea(44%CP) ซึ่งเป็นการศึกษาการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนในหลอดทดลอง พบว่า สตาเรียทำให้เกิดการใช้ประโยชน์องไนโตรเจนมากกว่า expanded corn plus urea แต่expanded corn plus urea ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับ corn plus urea ($p>0.05$) และยังพบว่า สตาเรีย กับ expanded corn plus urea ทำให้การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีระดับของแอมโมเนียต่ำกว่า corn plus urea Barr et al.(1974) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจากแหล่งอาหาร corn starea, expanded corn grain ร่วมกับยูเรียและ corn grain ร่วมกับยูเรีย (44%CP) พบว่ามีผลต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน ($P<0.01$) วัดค่าได้เท่ากับ 57, 58 และ 10.7 mg/100ml Stiles et al.(1970) ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของ สตาเรีย (sorghum grain plus urea 5 %) และ cracked corn plus urea พบว่าสตาเรียจะมีปริมาณความเข้มข้นของแบคทีเรียไนโตรเจน และโปรตัวชัวไนโตรเจนในกระเพาะหมักสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่มีระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนต่ำกว่า cracked grain plus urea นอกจากนี้ Romance-Ponce et al. (1974) เปรียบเทียบการใช้กากถั่วเหลือง ยูเรีย และ สตาเรียเป็นแหล่งโปรตีนในสูตรอาหารโคนม พบว่าปริมาณการกินได้ทั้งหมดความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะหมัก ความเข้มข้นของแอมโมเนียและความเข้มข้นของกรดอะซิติคและกรดโพรพิออนิกในกระเพาะหมัก ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในกลุ่มที่ได้รับ กากถั่วเหลือง และสตาเรียเป็นแหล่งโปรตีนแต่มีค่าสูงกว่าและแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับโคกลุ่มที่ได้รับยูเรียเป็นแหล่งโปรตีน ซึ่งความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acid ,TVFA) และสัดส่วนของกรดอะซิติกต่อกรดโพรพิออนิก (C2/C3) ก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน สุรศักดิ์ (2542) ทำการศึกษาการใช้ อาหารแป้งมันสำปะหลังยูเรีย (แคสซาเรีย 40% CP) เป็นแหล่งโปรตีนทดแทน กากถั่วเหลืองในระดับ 30 ,70 และ 100 % ในสูตรอาหารโคนมพบว่าปริมาณการกินได้ทั้งหมดความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะหมัก

ปริมาณน้ำนม 3.5%FCM และองค์ประกอบของน้ำนมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าระดับของแอมโมเนีย -ไนโตรเจน ที่เวลา 2 ชั่วโมงหลังการให้อาหารมีค่า 8.9, 11.2 และ 18.7 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ($P < 0.05$) ซึ่งสูงขึ้นเมื่อระดับที่ทดแทนกากถั่วเหลืองด้วยแคสซาเรียเพิ่มขึ้นจาก 30, 70 และ 100 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีการศึกษาถึงแนวทางการพัฒนาการใช้การนำใช้มันสำปะหลังหมักสดทดแทนมันเส้นต่อประสิทธิภาพกระบวนการหมักเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสัตว์การลดต้นทุนในการผลิตอาหารสัตว์ในโคนมสาวและเป็นแนวทางพัฒนาประเทศต่อไปในอนาคต

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY