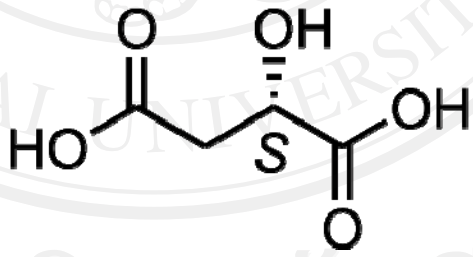
บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

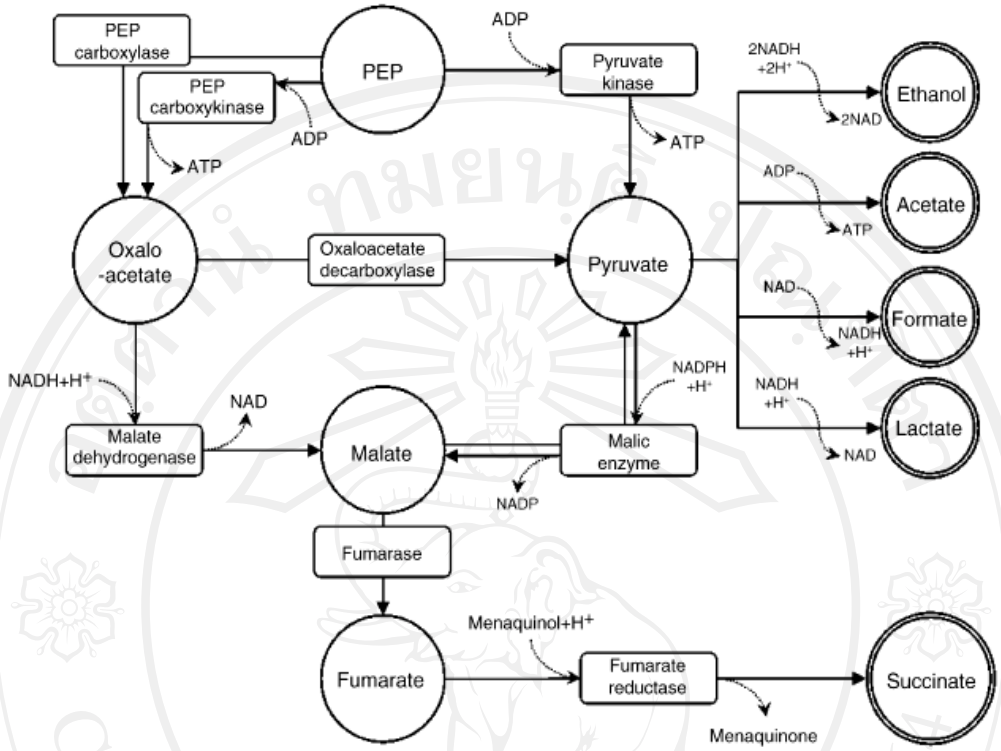
2.1 กรดมาลิก (malic acid)

กรดมาลิกมีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีขาว สูตรทางเคมี คือ $C_4H_6O_5$ (ภาพ 2.1) มีน้ำหนักโมเลกุล 134.09 g/mol ประกอบด้วย 4 –carbon dicarboxylic acid เป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อและเป็นสารตัวกลางใน tricarboxylic acid cycle (TCA cycle) และยังเป็นตัวกลางสำคัญใน succinate-propionate pathway (ภาพ 2.2) ซึ่งกรดมาลิกจะไปลดจำนวนของไฮโดรเจนที่จะนำไปใช้ในการผลิตก๊าซมีเทน (methanogenesis) และเปลี่ยนเป็นมีเทน (methane) ในกระเพาะรูเมนได้ นอกจากนี้ยังมีผลต่อแบคทีเรียในกระเพาะรูเมน คือ *Selenomonas ruminentium* ซึ่งจะสามารถกระตุ้นการผลิตโพรพิโอเนท (propionate) ได้ (Khampa and Wanapat, 2006)



ภาพ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของกรดมาลิก (ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.2 เมทาบอลิก พาทเวย์ของกรดซักซินิก (Song and Lee, 2006)

2.1.1 การใช้กรดมาลิกเป็นสารเสริมในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

Martin *et al.* (1999) ได้ทำการศึกษาผลของกรดมาลิกต่อเมตะโบลิซึมของกระเพาะรูเมนและประสิทธิภาพของโคที่ได้รับอาหารข้น แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ช่วงการทดลอง คือ การทดลองที่ 1 แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่เสริมกรดมาลิกในอาหาร 0, 40 และ 80 กรัม/วัน ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 98 วัน ผลการทดลองพบว่าอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณอาหารที่กินของกลุ่มที่เสริมกรดมาลิก 80 กรัม/วัน สูงกว่ากลุ่มที่เสริมกรดมาลิก 40 และ 0 กรัม/วัน มีค่าเท่ากับ 1.96, 1.76 และ 1.76 กิโลกรัม/วัน ($P<0.10$) และ 0.173, 0.169 และ 0.163กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ($P<0.05$) การทดลองที่ 2 แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่เสริมกรดมาลิกในอาหาร 0, 60 และ 120 กรัม/วัน ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 52 วัน ผลการทดลองพบว่าอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณอาหารที่กินของแต่ละกลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 1.90, 2.05 และ 1.98 กิโลกรัม/วัน และ 0.131, 0.139 และ 0.131 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ การทดลองที่ 3 แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เสริมกรดมาลิก 0, 27, 54 และ 80 กรัม/วัน ลงใน sodium potassium phosphate ที่ระดับ 0, 4, 8 และ 12 mM เติมลงในกระเพาะรูเมนก่อนกินอาหารเช้า 30 นาที ผลการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่เสริมกรดมาลิก เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริม (P<0.10) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมด สรุปได้ว่าการเสริมกรดมาลิกมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนลดลงหลังจากที่โคได้รับอาหาร 1-2 ชั่วโมง ซึ่งสามารถลดการเกิด acidosis และกรดมาลิกยังเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของโคได้

Carro and Ranilla (2003) ได้ทำการศึกษาการเสริมกรดมาลิกต่อการหมักเมล็ดธัญพืชในกระเพาะรูเมนโดยศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยเก็บตัวอย่างของเหลวในกระเพาะรูเมนของแกะจำนวน 300 กรัมหลังกินอาหารเช้า 2 ชั่วโมง มาเติมเมล็ดธัญพืชที่บดละเอียดได้แก่ ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี และข้าวฟ่าง อย่างละ 500 mg แล้วแบ่งใส่ขวด serum ขวดละ 125 ml จำนวน 4 ขวด นำมาเติมกรดมาลิกที่ระดับ 0, 4, 7 และ 10 mM แล้วนำบ่มที่อุณหภูมิ 39 ºC เป็นเวลา 120 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าการเสริมกรดมาลิกเพิ่มอัตราการหมักในขวด serum ของทุกกลุ่ม และลดระยะเวลาในการหมักเมื่อเพิ่มระดับของกรดมาลิก (P<0.05) ยกเว้นข้าวฟ่าง ปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น ปริมาณการผลิตโพรพิโอเนทและบิวทีเรทเพิ่มขึ้นในทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) อัตราส่วนของ acetate : propionate และความเข้มข้นของ L-lactate ลดลงเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของกรดมาลิกในทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05) การผลิตก๊าซมีเทนมีปริมาณลดลงของทุกกลุ่ม ยกเว้นกลุ่มของข้าวโพดไม่มีผลต่อการลดก๊าซมีเทน (P<0.05) สรุปได้ว่าการเสริมกรดมาลิกที่ระดับ 7 และ 10 mM สามารถเสริมลงในอาหารพวกเมล็ดธัญพืชได้ดี เนื่องจากเพิ่มปริมาณโพรพิโอเนท และลดปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนและ L-lactate ได้

Gomez *et al.* (2005) ได้ทำการเสริมไดโซเดียมมาเลทต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนและกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนโดยใช้เทคนิค Rusitec ในห้องปฏิบัติการโดยเติมไดโซเดียมมาเลท 6.55 mM ลงในแต่หลอดทดลองต่างๆ ที่มีตัวอย่างแตกต่างกัน ได้แก่ อาหารข้น หญ้าแห้ง ฟางข้าวบาร์เล่ย์ ผลการทดลองพบว่าการเสริมไดโซเดียมมาเลทในแต่ละหลอดทดลอง ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง และการผลิตยูเรียไนโตรเจน แต่มีผลในการเพิ่มการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (DM) และเยื่อใยที่ละลายได้ในด่าง (NDF) (P<0.05) ปริมาณการผลิตโพรพิโอเนทและบิวทีเรทเพิ่มขึ้น ก๊าซมีเทนลดลง และอัตราส่วนของก๊าซมีเทน:กรดไขมันที่ระเหยได้ลดลง (P<0.001) และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ดังนั้นไดโซเดียมมาเลทสามารถใช้เป็นสารเสริมทั้งในอาหารข้นและอาหารหยาบได้

Khampa and Wanapat (2006) ได้ทำการศึกษาการเสริมระดับยูเรียและมาลิกในอาหารข้นที่มีมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบสูงต่อสภาวะภายในกระเพาะรูเมนและปริมาณการผลิตน้ำนมในโครยะให้นม ใช้โคจำนวน 4 ตัว วางแผนการทดลองแบบ 4x4 latin square แบ่งเป็นกลุ่มที่เสริมยูเรีย 2% + กรดมาลิก 10 กรัม/ตัว/วัน กลุ่มที่เสริมยูเรีย 2% + กรดมาลิก 20 กรัม/ตัว/วัน กลุ่มที่เสริม

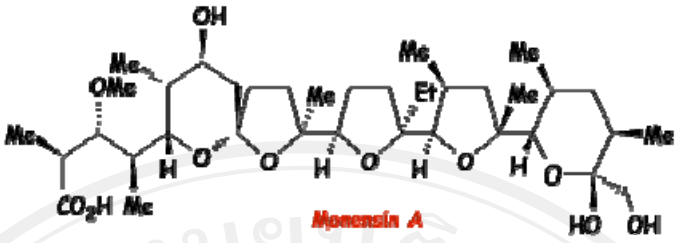
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ยูเรีย 4% + กรดมาลิก 10 กรัม/ตัว/วัน และกลุ่มที่เสริมยูเรีย 4% + กรดมาลิก 20 กรัม/ตัว/วัน โดยได้รับอาหารและน้ำเต็มที่ ผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนของแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน ปริมาณก๊าซมีเทนของกลุ่มที่เสริมยูเรีย 2% + กรดมาลิก 10 กรัม/ตัว/วัน ลดลงมากกว่ากลุ่มอื่น แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) กรดไขมันที่ระเหยได้ของกลุ่มที่เสริมยูเรีย 4% + กรดมาลิก 20 กรัม/ตัว/วัน มีค่ามากกว่ากลุ่มอื่น จำนวนแบคทีเรียในกระเพาะรูเมนของกลุ่มที่เสริมยูเรีย 4% + กรดมาลิก 20 กรัม/ตัว/วัน มีค่ามากกว่ากลุ่มอื่น ($P<0.05$) ปริมาณการผลิตน้ำนมของแต่ละกลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

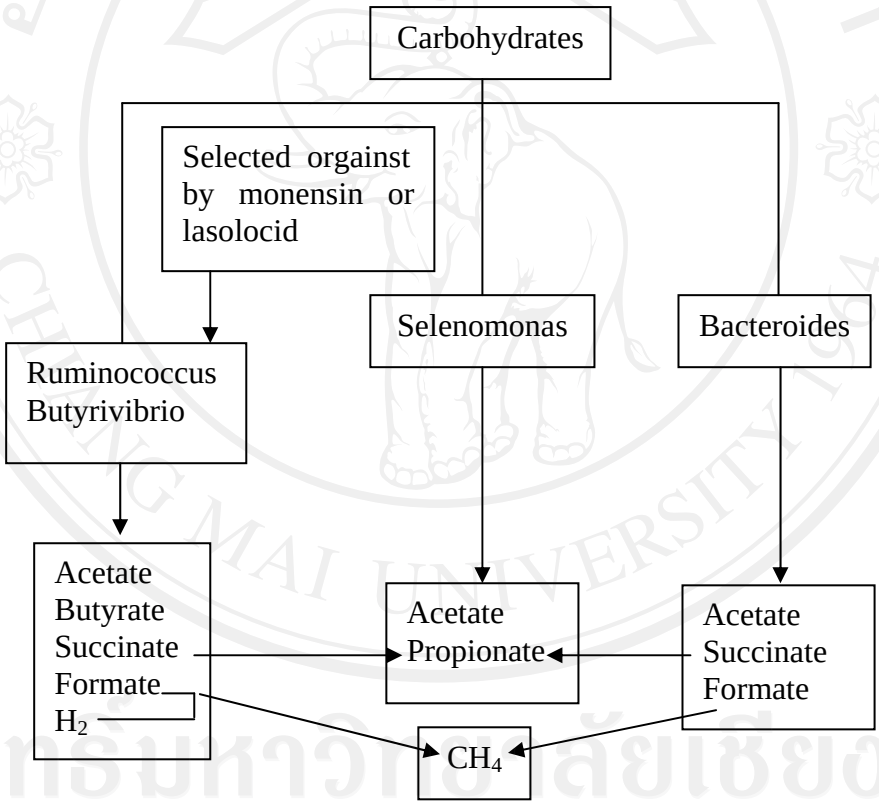
2.2 โมเนนซิน (monensin)

โมเนนซินมีชื่อทางการค้าคือ rumensin เป็น polyether ionophore antibiotics ที่ผลิตจากแบคทีเรีย *Streptomyces cinnamonensis* มีโครงสร้างแบบ pseudomacrocyclic complexes (ภาพ 2.3) ประกอบด้วย mono และ divalent cations และสามารถขนส่งไอออนผ่านผนังเซลล์ได้ โมเนนซินมีผลยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก เนื่องจากเข้าไปทำลายชั้นไขมันของแบคทีเรียแกรมบวก และโปรโตซัวที่อยู่ในกระเพาะรูเมน (Tedeschi *et al*., 2003) มีผลทำให้ Na^+ ผ่านเข้าเซลล์ได้มากกว่าการออกของ K^+ ดังนั้น K^+ จึงแลกเปลี่ยนกับการไหลเข้าของ H^+ ทำให้มี H^+ มากเกินไป เซลล์ต้องใช้ ATP เพื่อส่ง H^+ ที่มากเกินไปออกนอกเซลล์ (ภาพ 2.5) จึงเป็นสาเหตุให้แบคทีเรียถูกยับยั้งการเจริญเติบโต ส่วนแบคทีเรียแกรมลบโมเนนซินจะไปกระตุ้นการเจริญเติบโตให้เพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งจะเพิ่มการผลิตกรดโพรพิโอนิก และกรดซัคซินิกในกระเพาะรูเมน (ภาพ 2.4) (Granzin and Dryden, 2005) โมเนนซินมีผลทำให้ก๊าซมีเทนลดลงเนื่องจากโมเนนซินจะไปทำลายแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน (methanogenic bacteria) และไปขัดขวางการย่อยสลายกรดอะมิโน (deamination) ของแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ลดการย่อยโปรตีนที่กระเพาะรูเมนจึงทำให้มีโปรตีนไหลผ่าน (protein bypass) มากขึ้น (Suwanlee, 2004) ทำให้จำนวนโปรตีนเข้าในลำไส้เพิ่มขึ้นและลดการผลิตแอมโมเนียในกระเพาะรูเมน เพิ่มเปอร์เซ็นต์ไลซีน (lysine) และเมทไธโอนีน (methionine) ในการดูดซึมที่ลำไส้เล็กเพิ่มขึ้น (Lean *et al*., 1996) นอกจากนั้นยังลดจำนวนโปรโตซัวซึ่งมีผลโดยตรงต่อการลดลงของการสร้างก๊าซมีเทน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

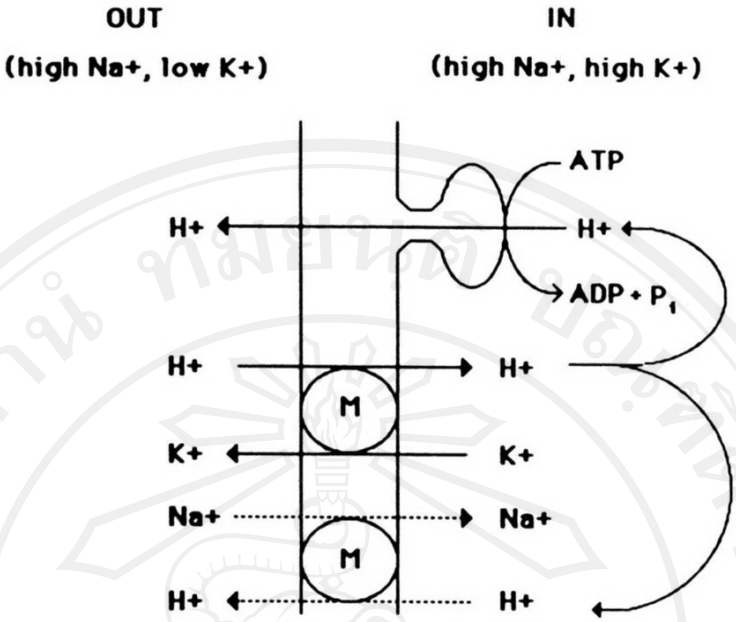


ภาพ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของโมเนนซิน (Wikipedia, 2007)



ภาพ 2.4 แสดงผลของโมเนนซินที่มีผลต่อกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน (Chen and Wolin, 1979)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.5 การทำงานของโมเนนซินที่มีผลต่อแบคทีเรียแกรมบวก (Russell, 1987)

2.2.1 การใช้โมเนนซิน เป็นสารเสริมในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

Varel and Hashimoto (1982) ทำการศึกษาการผลิตก๊าซมีเทนโดยกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนของโคที่เสริมโมเนนซิน Lasalocid, Salinomycin และ Avoparcin ในอาหาร โดยเสริม monensin 29 mg/kg, Lasalocid 20 mg/kg, Salinomycin 16.5 mg/kg, Avoparcin 5-45 mg/liter และกลุ่มควบคุมคือกลุ่มที่ไม่มีการเสริมสารลงในอาหาร พบว่ากลุ่มที่เสริมโมเนนซินมีการผลิตก๊าซมีเทนลดลงกว่ากลุ่มควบคุม 1.65 และ 1.78 liters/liter ($P>0.05$) ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนลดลงกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) 538 และ 772 mg/liter ปริมาณโพรพิโอเนทของกลุ่มที่เสริมโมเนนซินลงในอาหารพบว่ามีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ

Zinn *et al*. (1994) ได้ทำการศึกษาระดับของอาหารหยาบและการเสริมโมเนนซินในอาหารโคขุนต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการย่อยได้ ผลการทดลองพบว่าปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ของกลุ่มที่เสริมอาหารหยาบ 10% + โมเนนซิน 28 mg/kg ในอาหารมีปริมาณมากที่สุด โดยเฉพาะโพรพิโอเนท การวิเคราะห์การย่อยได้ในกระเพาะรูเมนของเยื่อใยที่ละลายได้ในกรดอินทรียวัตถุ และแป้ง พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.10$) แต่ไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง อัตราการแลกเนื้อ และพลังงานสุทธิของการให้นม เนื่องมาจากระดับของโมเนนซินที่เสริมลงในอาหารมีปริมาณน้อยเกินไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Callaway and Martin (1996) ได้ทำการศึกษาผลของกรดอินทรีย์ (organic acid) และโมเนนซินเสริมลงในกระบวนการหมักของข้าวโพดบดใน mixed ruminal microorganism ในห้องปฏิบัติการ ทำการเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมนของโคทดลองหลังกินอาหาร 1.5 ชั่วโมง แล้วมาเทลงผ้าฝ้าย 4 ชั้น บีบเอาแต่น้ำเก็บใส่ขวดโดยปราศจากออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งประกอบด้วยของเหลวจากกระเพาะรูเมน 20% (v/v) และข้าวโพดบด 4 g นำมาต้มในอ่างน้ำ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 39ºC แล้วนำมาเติมกรดอินทรีย์ ได้แก่ L-aspatate fumarate และ DL- malate เติมลงในขวด serum ให้มีความเข้มข้น 0, 4, 8 และ 12 mM จากนั้นนำแต่ละขวดมาเติมโมเนนซิน 5 ppm ผลการทดลองพบว่า กลุ่มที่เติมกรดอินทรีย์ และโมเนนซิน 5 ppm ที่ความเข้มข้น 8 และ 12 mM ในกระบวนการหมักของของข้าวโพดบดสามารถเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่าง ($P<0.05$) เพิ่มปริมาณการผลิตก๊าซและความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราส่วนของ acetate:propionate ($P<0.05$) ลดปริมาณของก๊าซมีเทนและไฮโดรเจน

Garcia *et al*. (2000) ได้ทำการศึกษาผลของยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* (Levucell) และโมเนนซินต่อการหมักในกระเพาะรูเมนและการย่อยได้ของแกะ ใช้แกะที่ได้รับการผ่าตัดใส่ท่อที่กระเพาะ จำนวน 4 ตัว แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริม Levucell (L, $20x10^9$ CFU/g) 1 กรัม/วัน กลุ่มที่เสริมโมเนนซิน 25 มิลลิกรัม/วัน และกลุ่มที่เสริม Levucell (L, $20x10^9$ CFU/g) 1 กรัม/วัน + โมเนนซิน 25 มิลลิกรัม/วัน ผลการทดลองพบว่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และเยื่อใยที่ละลายได้ในด่างของทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนปริมาณโพรพิโอเนทของกลุ่มที่เสริมโมเนนซิน 25 มิลลิกรัม/วัน และกลุ่มที่เสริม Levucell (L, $20x10^9$ CFU/g) 1g/วัน+ โมเนนซิน 25 มิลลิกรัม/วัน มีปริมาณมากกว่าทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนลดลงในกลุ่มที่เสริมโมเนนซิน 25 มิลลิกรัม/วัน

Debasis and Singh (2003) ได้ทำการศึกษาผลของการเสริมโมเนนซินที่เสริมลงใน urea molasses mineral block (UMMB) ต่อประสิทธิภาพการผลิตของลูกโคพันธุ์ผสมที่ได้รับฟางข้าวสาลีเป็นอาหาร โดยใช้ลูกโคพันธุ์ผสมจำนวน 20 ตัว แบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 ให้ฟางข้าวสาลีและอาหารข้น กลุ่มที่ 2 ให้ฟางข้าวสาลี+อาหารข้นที่เสริมโมเนนซิน 30 มิลลิกรัม/ตัว/วัน กลุ่มที่ 3 ให้ฟางข้าวสาลีร่วมกับ 70% อาหารข้น และเสริม UMMB กลุ่มที่ 4 ให้ฟางข้าวสาลีร่วมกับอาหารข้น 70% และ UMMB ที่เสริมโมเนนซิน 100 มิลลิกรัม ทั้ง 4 กลุ่มการทดลองให้กินน้ำและอาหารเต็มที่ ผลการทดลองพบว่าการกินได้ของฟางข้าวสาลีมีปริมาณเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) ในกลุ่มที่เสริม UMMB แต่การกินได้ของวัตถุแห้งทั้งหมดและโปรตีนไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มอื่น พลังงานที่ได้รับของกลุ่มที่เสริม UMMB มีค่าสูงกว่ากลุ่มอื่น ($P<0.05$) การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (DM) อินทรียวัตถุ (OM) ไขมัน (EE) และเยื่อใยที่ละลายได้ในด่าง (NDF) ไม่มีความแตกต่างกันในกลุ่มที่เสริม UMMB

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และกลุ่มที่เสริมโมเนนซิน แต่การย่อยได้ของเยื่อใยที่ละลายได้ในกรด (A D F) เพิ่มขึ้นในกลุ่มที่เสริม UMMB ($P<0.01$) ระดับของกลูโคสในเลือดเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่เสริมโมเนนซิน ($P<0.05$) แต่ระดับ Urea N ใน plasma มีค่าไม่แตกต่างกันกับกลุ่มอื่น น้ำหนักเฉลี่ย ประสิทธิภาพการใช้อาหาร การใช้ประโยชน์ของโปรตีน และการใช้ประโยชน์ของพลังงานเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่เสริมโมเนนซิน ($P<0.05$) ดังนั้นการเสริมโมเนนซินจะช่วยเพิ่มระดับกลูโคสในเลือด การใช้ประโยชน์ของโปรตีนและพลังงาน น้ำหนักตัว และประสิทธิภาพการใช้อาหาร แต่ไม่มีผลต่อการกินได้และวัตถุแห้งทั้งหมดของฟางข้าวสาลี

Fieser *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาผลของการเพิ่มระดับของโมเนนซินที่เสริมในอาหารพลังงานให้โคที่เลี้ยงในทุ่งหญ้าข้าวสาลีในฤดูหนาว ใช้โค 184 ตัว แบ่งเป็น 4 กลุ่มการทดลอง กลุ่มที่ 1 เสริมแร่ธาตุ (Ca และ P) ลงในอาหาร กลุ่มที่ 2 เสริมพลังงานลงในอาหาร กลุ่มที่ 3 เสริมอาหารพลังงาน+โมเนนซิน 100 มิลลิกรัม/ตัว/วัน และกลุ่มที่ 4 เสริมอาหารพลังงาน+โมเนนซิน 200 มิลลิกรัม/ตัว/วัน ทำการทดลอง 120 วัน ผลการทดลองพบว่ากลุ่มที่ 4 มีน้ำหนักตัวเพิ่มมากกว่ากลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 1 มีค่าเท่ากับ 867, 864, 851 และ 818 กิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณการกินได้ของกลุ่มที่ 3 มีปริมาณมากกว่ากลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 1 ไม่มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นกลุ่มที่เสริมแร่ธาตุมีค่าเท่ากับ 2.4 ปอนด์/วัน ซึ่งมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) สรุปได้ว่าการเพิ่มระดับโมเนนซินสามารถทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นและปริมาณการกินของโค แม้จะเพิ่มในปริมาณที่มากก็ตาม

Osborne *et al*. (2004) ได้ทำการศึกษาผลของการเสริมโมเนนซินต่อความเป็นกรด-ด่าง การย่อยได้ของอาหารหยาบ และการย่อยได้ของอาหารที่ได้รับในทางเดินอาหารทั้งหมดในระหว่างให้เมล็ดธัญพืชเป็นอาหารโคที่เป็น subacute ruminal acidosis (SARA) ระหว่างการให้นม โดยใช้โคที่ผ่าตัดใส่ท่อ rumen fistula ที่กระเพาะรูเมน จำนวน 6 ตัว โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม และ 2 ช่วงการทดลอง ใช้เวลา 35 วัน ในแต่ละช่วง กลุ่มที่เสริม placebo ลงในอาหารให้เป็นกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมโมเนนซิน 22 mg/kg อาหาร (DM) ผลการทดลองพบว่า กลุ่มที่เสริมโมเนนซินไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในโคที่เป็น subacute ruminal acidosis มีค่าเท่ากับ 6.07 และ 6.11 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ช่วงที่ 2 หาการย่อยได้ของอาหารหยาบโดยใช้ถุงไนล่อน ซึ่งภายในประกอบด้วยข้าวโพด และ alfalfa haylage ใส่ลงในกระเพาะรูเมนของโคที่ชั่วโมงที่ 3, 6, 12, 24, 48 และ 72 แล้วนำมาวิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายได้ในด่าง และวัตถุแห้ง ส่วนการย่อยได้ของอาหารที่ได้รับในระบบทางเดินอาหารทั้งหมด พบว่ากลุ่มที่เสริมโมเนนซินในอาหารไม่มีผลต่อการย่อยได้ของเยื่อใยในกระเพาะรูเมน แต่มีผลเพิ่มการย่อยได้ของเยื่อใยที่ละลายได้ในด่าง และเยื่อใยที่ละลายได้ในกรดในระบบทางเดินอาหารทั้งหมด และไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ได้รับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

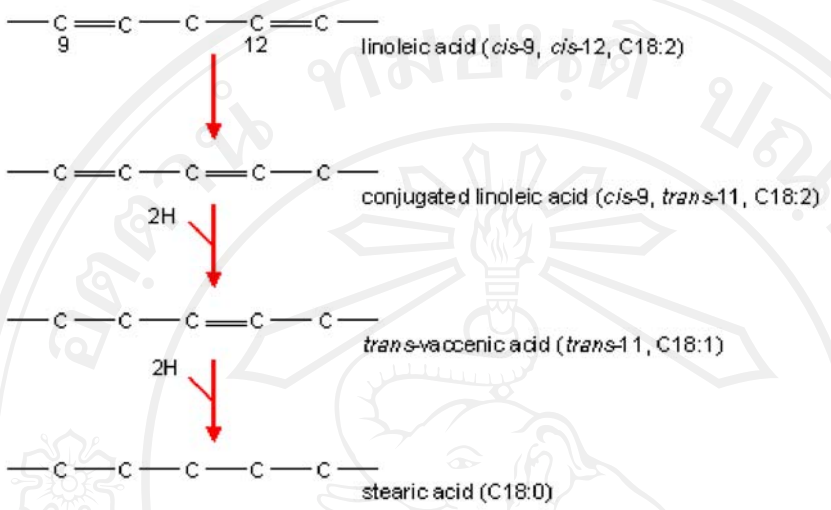
Granzin and Dryden (2005) ทำการศึกษาผลของการเสริมโมเนนซินต่อประสิทธิภาพของโคลงในอาหารโคระยะให้นม โดยเสริมร่วมกับหญ้าเขตร้อนชื้น และกากน้ำตาลหรือ เมล็ดธัญพืช โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลอง การทดลองที่ 1 ใช้โคผ่าตัดใส่ท่อที่กระเพาะรูเมนจำนวน 3 ตัว ให้อาหาร+หญ้าแห้ง และเติมกากน้ำตาลเมล็ดลงในธัญพืชที่ระดับ 0 125 และ 250 g/kg (DM) ส่วนตัวที่ 4 ให้อาหาร+กากน้ำตาล+โมเนนซิน 0.02 g/kg (DM) พบว่าการเติมกากน้ำตาลลงในเมล็ดธัญพืชที่ระดับ 0 125 และ 250 g/kg (DM) สามารถลดอัตราส่วนของ acetate+ butyrate : propionate 4.3, 3.8 และ 4 ตามลำดับ ไม่มีผลต่อการปริมาณกินได้ การย่อยได้ของอินทรียวัตถุ การผลิตน้ำนม และน้ำหนักตัว การทดลองที่ 2 ใช้โค 28 ตัว เลี้ยงในทุ่งหญ้า ให้ข้าวโพดหมักและเมล็ดธัญพืชที่เสริมกากน้ำตาล (2.6 kg (DM)/ตัว/วัน) และเมล็ดข้าวบาร์เล่ย์ (2.7 kg (DM)/ตัว/วัน) +โมเนนซิน 0 mg /ตัว/วัน และโมเนนซิน 320 มิลลิกรัม/ตัว/วัน เป็นอาหาร โดยจะแบ่งอาหารออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ไม่เสริมโมเนนซิน และกลุ่มที่เสริมโมเนนซิน 320 มิลลิกรัม/ตัว/วัน พบว่ากลุ่มที่เสริมโมเนนซิน 320 มิลลิกรัม/ตัว/วัน มีปริมาณโพรพิโอเนทมากที่สุด และมีปริมาณบิวทีเรทต่ำที่สุด ไม่มีผลต่อการผลิตน้ำนม การเปลี่ยนน้ำหนักและปริมาณอาหารที่กิน ดังนั้นการเสริมโมเนนซินลงในอาหารร่วมกับหญ้าเขตร้อนชื้น และกากน้ำตาลหรือเมล็ดธัญพืชสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการหมักในกระเพาะรูเมนทำให้มีพลังงานเพิ่มขึ้น

2.3 น้ำมันปาล์ม (palm oil)

น้ำมันปาล์ม เป็นน้ำมันที่สกัดได้จากผลของต้นปาล์มน้ำมัน ซึ่งประกอบไปด้วยกรดไขมัน (fatty acids) เอสเทอริไฟด์ (esterified) และกลีเซอรอล (glycerol) กรดไขมันที่พบในน้ำมันปาล์ม คือ palmitic (C16) 44.3% stearic (C18) 4.6% myristic (C14) 1.0% oleic (C18:1) 38.7% และ linoleic (C18:2) 10.5% ส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acids) ประมาณ 50% (Ang *et al*., 1999) เมื่อทำการเสริมลงในอาหารโคกรดไขมันชนิดอิ่มตัวก็จะถูกจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนนำไปใช้ประโยชน์ ส่วนกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) จะเกิดปฏิกิริยา biohydrogenation ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Johnson and Johnson, 1995) คือ ปฏิกิริยาที่กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวของไขมันในอาหารถูกทำปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนตรงตำแหน่งพันธะคู่ภายหลังจากการถูกทำปฏิกิริยา esterification เป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) แล้วซึ่งมีจุลินทรีย์หลายชนิดเข้ามาเกี่ยวในปฏิกิริยานี้ โดยจุลินทรีย์จะทำการย่อยไขมันและกลีเซอรอล และทันทีที่กรดไขมันถูกแยกออกมาหากเป็นชนิดไม่อิ่มตัวก็จะถูกทำเกิดปฏิกิริยา biohydrogenation ต่อจนเกิดเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเกือบทั้งหมด ซึ่งส่วนมากเป็น stearic acid (ภาพ 2.6) แล้วจึงจะไหลผ่านต่อไปยังทางเดินอาหารส่วนถัดไป ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้ไฮโดรเจนที่ไปจับกับก๊าซ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีปริมาณลดลงจึงเป็นผลทำให้เกิดก๊าซมีเทนลดลง และทำให้กรดโพรพิโอนิกเพิ่มขึ้น (Czerkawski *et al*., 1966)



ภาพ 2.6 การเกิดปฏิกิริยา Biohydrogenation ของ Linoleic acid ในกระเพาะรูเมน (John, 2008)

2.3.1 การใช้น้ำมันปาล์ม เป็นสารเสริมในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

Cieslak *et al*. (2006) ได้ทำการศึกษาผลของน้ำมันพืชต่อการผลิตก๊าซมีเทนและ biohydrogenation ในห้องปฏิบัติการ พบว่าอาหารที่เสริมน้ำมันพืช 7% และอาหารที่เสริมน้ำมันพืช 7% ร่วมกับแร่ธาตุ สามารถลดการเกิดก๊าซมีเทนได้โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.01$) ปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นในอาหารที่เสริมน้ำมันพืช 7% และอาหารที่เสริมน้ำมันพืช 7% ร่วมกับแร่ธาตุ และมากกว่ากลุ่มควบคุมแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การย่อยได้ของเยื่อใยกลุ่มอาหารที่เสริมน้ำมันพืช 7% ร่วมกับแร่ธาตุมีค่าสูงกว่ากลุ่มอาหารที่เสริมน้ำมันพืช 7% แต่มีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุม แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากการเสริมไขมันลงในอาหารมีผลทำให้จำนวนแบคทีเรียและโปรโตซัวลดลง ส่วน biohydrogenation ของกลุ่มอาหารที่เสริมน้ำมันพืช 7% ร่วมกับแร่ธาตุ มีค่าสูงกว่าอาหารที่เสริมน้ำมันพืช 7% ($P<0.01$)

โอสถ และยวงยศ (2549) ได้ทำการศึกษาผลของไขมันเคลือบต่อผลผลิตน้ำนมโครระยะ 3 สัปดาห์แรกของการให้นม ทดลองโดยใช้ Paired t-test มี 8 ซ้ำ อาหารทดลอง 2 สูตรคือ สูตรที่ 1 อาหารผสมสำเร็จอัดก้อนที่มีน้ำมันปาล์ม 4% สูตรที่ 2 อาหารผสมเสร็จที่มีไขมัน Hydrolyzed animal fat 4% ผลการทดลองพบว่าโคนมที่ได้รับอาหารที่มีน้ำมันปาล์มในช่วงสัปดาห์ที่ 1 มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำหนักตัวเปลี่ยนแปลงลดลงจาก 394.75 กิโลกรัมต่อตัว เหลือ 380.50 กิโลกรัมต่อตัว และโคนมที่ได้รับอาหารที่มีไขมัน hydrolyzed animal fat 4% ตั้งแต่ 0 ถึง 3 สัปดาห์ มีน้ำหนักตัวเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อย คือเริ่มทดลองมีน้ำหนักตัว 389.12 กิโลกรัมต่อตัว สิ้นสุดการทดลองมีน้ำหนักตัว 387.50 กิโลกรัมต่อตัว เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของโคนมที่ได้รับอาหารที่มีน้ำมันปาล์มกับโคนมได้รับอาหารที่มีไขมัน hydrolyzed animal fat 4% ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 พบว่าโคนมที่ได้รับอาหารที่มีน้ำมันปาล์มมีค่าปริมาณการกินอาหารต่ำกว่า (8.38 vs 11.50 กิโลกรัมต่อตัว, $P<0.01$) ปริมาณน้ำนมต่ำกว่า (10.10 vs 11.81กิโลกรัมต่อตัว, $P<0.01$) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำนมต่ำกว่า (0.83 vs 0.98 $P<0.05$) และต้นทุนค่าอาหารต่ำกว่า (5.13 vs 9.35 บาทต่อน้ำนม 1 กิโลกรัม, $P<0.01$) สำหรับปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณน้ำนม ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นนม และต้นทุนค่าอาหารของโคนมที่ได้รับอาหารที่มีไขมัน hydrolyzed animal fat 4% ตั้งแต่ 0 ถึง 3 สัปดาห์แรกหลังคลอด มีค่าเฉลี่ย 12.84 กิโลกรัมต่อตัว 13.44 กิโลกรัมต่อตัว 0.95 และ 9.10 บาทต่อน้ำนม 1 กิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารที่มีไขมัน hydrolyzed animal fat 4% ตั้งแต่เริ่มทดลองจนถึงสิ้นสุดการทดลองจะเพิ่มขึ้น ($P<0.01$)

2.4 การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรทภายในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องคาร์โบไฮเดรทส่วนใหญ่ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างประเภทแป้งและน้ำตาลจะถูกย่อยในกระเพาะรูเมนโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะส่วนนี้เท่านั้น เนื่องจากว่ากระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องไม่มีการผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยอาหารจากสัตว์ กระบวนการย่อยและเมตะโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรทอาจจะแบ่งได้ตามขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

การย่อย Polysaccharides ให้เป็น Monosaccharides

การเปลี่ยน Monosaccharides ให้เป็น Pyruvate

การเปลี่ยน Pyruvate ให้เป็น กรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acid)

การสังเคราะห์มีเทน (CH_4) (เทอดชัย, 2548)

ภายในกระเพาะรูเมนของตัวสัตว์เคี้ยวเอื้องไม่มีเอนไซม์ที่ผลิตจากตัวสัตว์แต่อาศัยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น ได้แก่ แบคทีเรีย (bacteria) และโปรโตซัว (protozoa) มาทำการย่อยแป้งที่เข้าไปในกระเพาะรูเมน แป้งและน้ำตาลที่สลายตัวในกระเพาะรูเมนจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ในทันที จึงทำให้ภายในกระเพาะรูเมนมีน้ำตาลอยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย ผลจากการย่อยแป้งของจุลินทรีย์จะได้กรดไขมันที่ระเหยได้ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และมีเทน (CH_4) (ภาพ 2.7) ความเข้มข้นและสัดส่วนของกรดไขมันที่ระเหยได้ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และระยะเวลาภายหลังการกินอาหาร การย่อยแป้งในกระเพาะรูเมนขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้ (เทอดชัย, 2548)

1. ชนิดของธัญพืชที่แตกต่างกัน หรือธัญพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์ มีส่วนทำให้ธรรมชาติของแป้งแตกต่างกันในรูปของส่วนประกอบของแป้ง ซึ่งจะตอบสนองต่อการเข้าย่อยของเอนไซม์ต่างกันไป

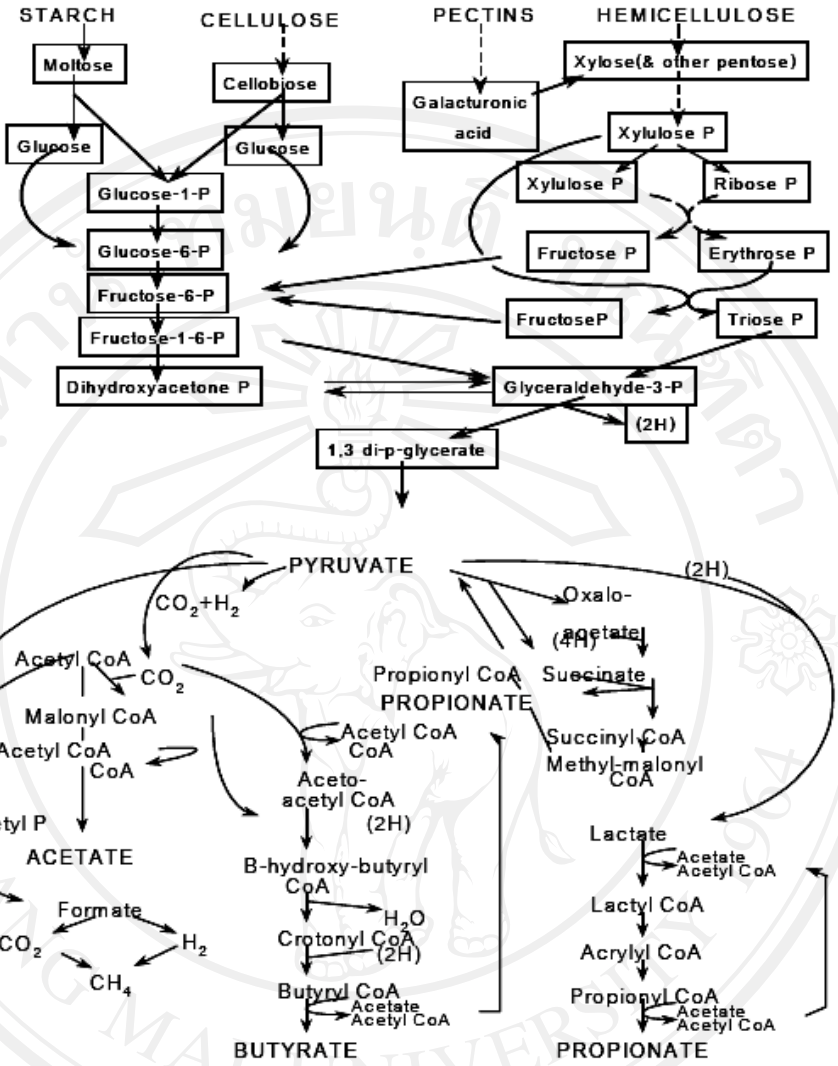
2. อายุการเก็บเกี่ยวหรือความแก่อ่อนของแป้งในธัญพืช จะมีผลต่อการสร้างหรือสะสมแป้งในเมล็ด และเกี่ยวพันถึงธรรมชาติของแป้งที่กระทบต่อการย่อยได้ของแป้งโดยตรง

3. อัตราส่วนของพืชในอาหารที่สูงขึ้นจะทำให้ปริมาณแป้งที่สัตว์ได้รับเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งที่มีความสามารถของเอนไซม์มีขีดจำกัด ทำให้เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ลดลง

4. การที่สัตว์กินอาหารในปริมาณที่มาก ทำให้ได้รับวัตถุแห้งในปริมาณสูงหรือสัตว์ที่กินอาหารหยาบเป็นจำนวนมาก มีผลทำให้การเดินทางของอาหารผ่านทางเดินอาหารเร็วขึ้น เอนไซม์จะย่อยแป้งในอัตราส่วนที่น้อยลง

5. กรรมวิธีในการแปรรูปวัตถุดิบหรือธัญพืชก่อนที่จะนำมาเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะกรรมวิธีที่ใช้ความร้อน (heat processing) เช่น ความร้อนแห้ง (dry heat) หรือความร้อนเปียก (wet heat) สามารถทำให้เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของแป้งสูงขึ้นด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



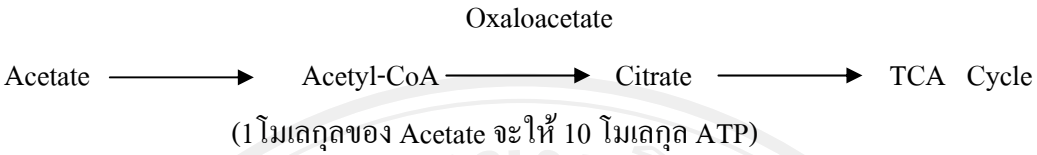
ภาพ 2.7 การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรทภายในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Preston and Leng, 1987)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 เมตะโบลิซึมของกรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acid)

การเมตะโบลิซึมของกรดไขมันที่ระเหยได้ที่ผลิตขึ้นได้เป็นจำนวนมากในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง และใช้เป็นพลังงาน โดยการนำไปสังเคราะห์ให้เป็นกลูโคสในร่างกาย การนำกรดไขมันที่ระเหยได้ไปใช้เป็นแหล่งพลังงานจะต้องผ่านกระบวนการ oxidation เข้าไปสู่วงจร tricarboxylic acid (TCA cycle) กรดไขมันที่ระเหยได้แต่ละชนิดดังต่อไปนี้ (เทอดชัย, 2548) (ภาพ 8)

Acetate

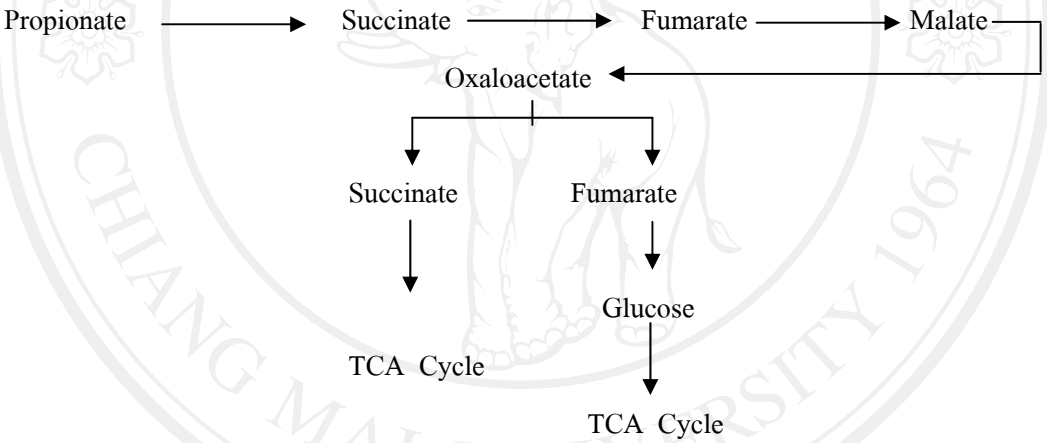


(1โมเลกุลของ Acetate จะให้ 10 โมเลกุล ATP)

Butyrate

(1โมเลกุลของ Butyrate จะให้ 27 โมเลกุล ATP)

Propionate



(1โมเลกุลของ Propionate จะให้ 18 โมเลกุล ATP)

ภาพ 2.8 เมตะโบลิซึมของกรดไขมันที่ระเหยได้ (volatile fatty acid) (เทอดชัย, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในทุกประเภทของกรดไขมันที่ระเหยได้ พบว่าอะซิเตทและบิวทีเรทจะเป็นแหล่งพลังงานสำคัญในการให้พลังงานผ่านกระบวนการ oxidation นอกเหนือจากการที่อะซิเตทเป็นวัตถุดิบสำคัญในการสังเคราะห์ไขมัน โดยกระบวนการ lipogenesis ในขณะที่โพรพิโอเนทเป็นแหล่งวัตถุดิบสำคัญในการสังเคราะห์กลูโคส โดยกระบวนการ gluconeogenesis

โพรพิโอเนท และบิวทีเรท ส่วนใหญ่จะถูกเมตะโบลิซึมต่อไปที่ตับในขณะที่อะซิเตทจะเข้าสู่ peripheral circulation ซึ่งเป็นระบบเลือดที่ไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกายเป็นจำนวนมากถึง

40% ของกรดไขมันที่ระเหยได้ทั้งหมดที่มีอยู่และถูกนำไปใช้เป็นพลังงาน โดยกระบวนการ oxidation และการสังเคราะห์ไขมัน โดยเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของร่างกาย (เทอดชัย, 2548)

อะซิเตท โพรพิโอเนท และบิวทีเรทจะเป็นพลังงาน 2 ใน 3 ของพลังงานที่ย่อยได้จากอาหารทั้งหมด ถ้าสัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับอาหารหยาบคุณภาพดีปริมาณของอะซิเตรทจะมากกว่าโพรพิโอเนท หรือ บิวทีเรทปริมาณของกรดไขมันที่ระเหยได้ดังกล่าวอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับการให้อาหาร สัดส่วนของอาหาร (ตาราง 2.1) แต่ปริมาณเยื่อใยกับขนาดความยาวของเยื่อใยและปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายจะมีอิทธิผลของอัตราส่วนกรดไขมันที่ระเหยได้มากที่สุด ถ้าให้อาหารที่มีแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายมาก และปริมาณเยื่อใยน้อยลงจะทำให้อะซิเตทผลิตน้อยลง และโพรพิโอเนทจะเพิ่มขึ้น (วิโรจน์, 2546)

ตาราง 2.1 สัดส่วนของอาหารหยาบต่ออาหารข้นที่มีผลต่อสัดส่วนของกรดไขมันที่ระเหยได้ในกระเพาะรูเมนของโคนม

	Molar rations %		
อัตราส่วนอาหารหยาบ : อาหารข้น	Acetate	Propionate	Butyrate
100 :00	71.4	16.0	7.9
72 :25	68.2	18.1	8.0
50 :50	65.3	18.4	10.4
40 :60	59.8	25.9	10.2
20 :80	53.6	30.6	10.7

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ishler *et al*., 1996

2.6 การย่อยสลายโปรตีนภายในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมนแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

1. กระบวนการ proteolysis แยกรอยต่อของโครงสร้างโปรตีนด้วยวิธี hydrolysis ตรง peptide bond ทำให้ได้ peptide และกรดอะมิโนบางส่วนออกมา

2. การสลายตัวของกรดอะมิโนโดยกระบวบการ deamination และผลิตกรดกรดอินทรีย์และแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งจะถูกนำใช้ประโยชน์ต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมนจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย และโปรโตซัวหลายชนิดที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น เรียกว่า rumen degradable protein (RDP) ผลผลิตที่เกิดขึ้นได้แก่ เปปไทด์ และกรดอะมิโน กรดอะมิโนบางชนิดจะถูกย่อยสลายต่อไปให้เป็น straight และ volatile fatty acid (VFA), higher fatty acids, แอมโมเนีย (NH_3), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ methane (CH_4) รวมทั้งความร้อนที่เกิดจากการหมัก ผลผลิตเหล่านี้จะถูกขับออกภายนอกเซลล์ของแบคทีเรีย ผลผลิตที่เกิดขึ้นนี้เช่น ∝-keto acid และแอมโมเนียจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน ส่วนโปรตีนบางส่วนที่ทนทานต่อการย่อยจากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะเคลื่อนที่ผ่านไปยังกระเพาะแท้และลำไส้เล็ก (เทอดชัย, 2548) (ภาพ 2.9)

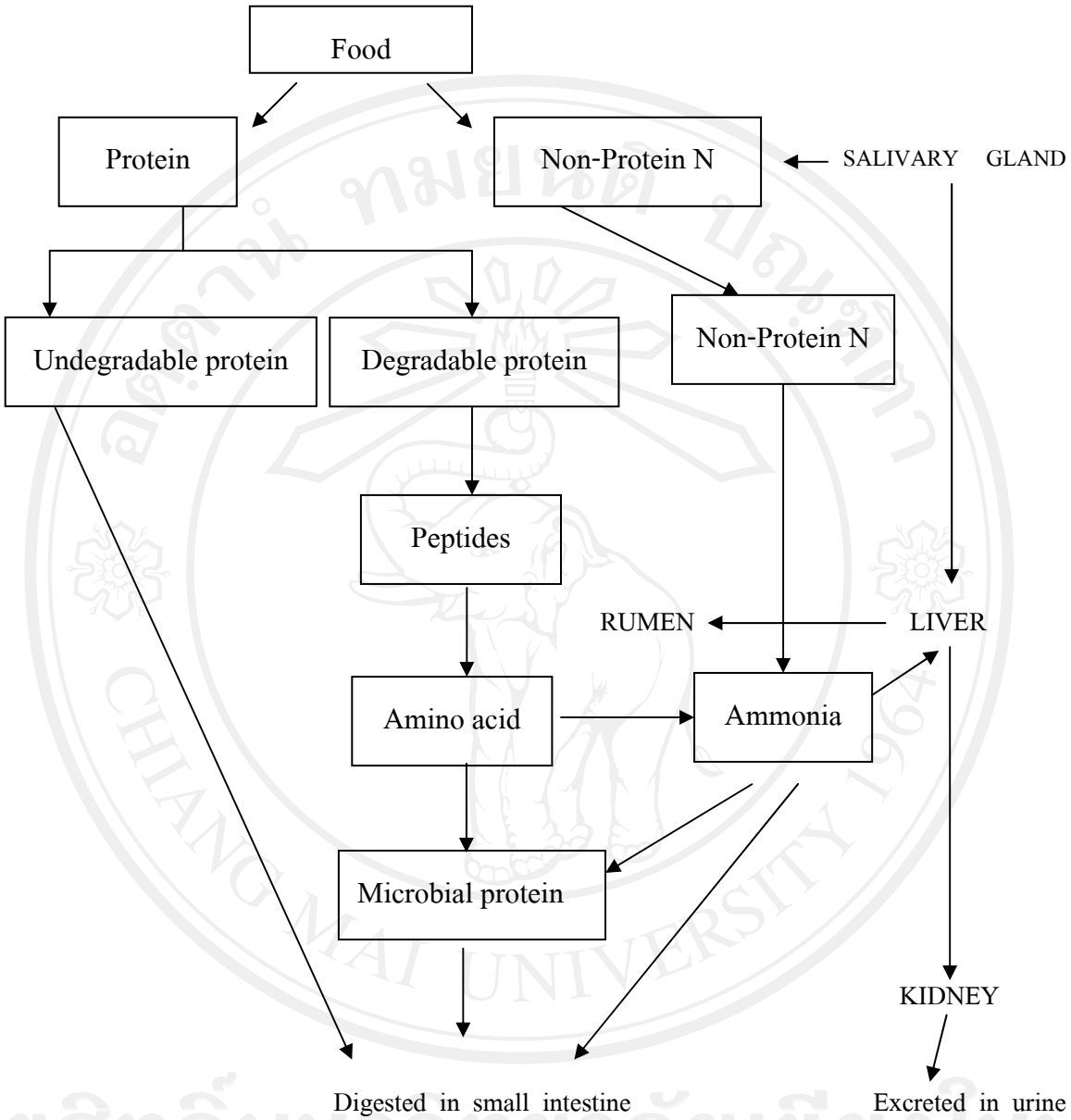
2.6.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมน

1. ความสามารถในการละลายได้ของโปรตีน (protein solubility) หรือไนโตรเจน (N-solubility) โปรตีนแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายแตกต่างกัน โดยโปรตีนที่ละลายได้มากจะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้มาก

2. วิธีการให้อาหาร ได้แก่ ระดับของอาหารที่สัตว์ได้รับ ถ้าสัตว์ได้รับอาหารปริมาณมาก ระยะเวลาที่อาหารอยู่ในกระเพาะรูเมนลดลง มีผลทำให้อาหารเคลื่อนที่ผ่านไปยังทางเดินอาหารส่วนต่อไปเร็วขึ้น โอกาสของจุลินทรีย์ที่เข้าสลายโปรตีนลดลง ทำให้โปรตีนที่รอดพ้นจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าอาหารที่มีขนาดใหญ่ จะมีระยะเวลาอยู่ในกระเพาะรูเมนนานกว่าอาหารที่มีขนาดเล็ก ซึ่งมีผลต่อการย่อยสลายโปรตีนของจุลินทรีย์ด้วย

3. ปัจจัยที่เกิดจากตัวสัตว์ สัตว์ชนิดต่างกันมีผลต่อการย่อยสลายของโปรตีนในกระเพาะรูเมนต่างกัน เช่น ในโคจะมีแนวโน้มที่ retention time (1.3-3.7วัน) มีค่าสูงกว่าแกะ (0.8-2.2 วัน) ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการกินอาหาร เช่น การเคี้ยว การเลือกกินอาหาร ซึ่งแกะจะเคี้ยวอาหารละเอียดกว่าโค ทำให้อาหารมีชิ้นเล็ก มีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น โอกาสที่จุลินทรีย์จะเข้าย่อยสลายเพิ่มขึ้นมากไปด้วย ในการเลือกกินอาหารแกะจะเลือกกินหญ้าที่มีอายุน้อย ซึ่งมี protein solubility สูง ทำให้โอกาสที่โปรตีนย่อยสลายมีมากขึ้น สาเหตุเหล่านี้ทำให้สัตว์ทั้งสองชนิดมีการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมนแตกต่างกัน (เทอดชัย, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.9 การย่อยโปรตีนในกระเพาะรูเมน

ที่มา **:** ดัดแปลงจาก McDonald *et al*. (1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.7 ความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระเพาะรูเมน มีความผันแปรตลอดเวลาขึ้นอยู่กับอาหารที่สัตว์เคี้ยวเอื้องแต่ละชนิดได้รับและเวลาที่ทำการวัด โดยทั่วไปแล้วค่าความเป็นกรด-ด่างจะอยู่ในระดับต่ำในช่วง 2-6 ชั่วโมงหลังจากการกินอาหาร การให้อาหารประเภทแป้งหรือคาร์โบไฮเดรทที่ย่อยง่ายจะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดต่ำลงกว่าอาหารที่มีเยื่อใยหรือคาร์โบไฮเดรทที่สลายตัวได้ช้า เนื่องจากแป้งถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าให้สัดส่วนของกรดโพรพิโอนิก และ/หรือกรดบิวทิริกสูงกว่าทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนต่ำลง กรดที่เกิดจากกระบวนการหมักย่อยตามทฤษฎีก็สามารถทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพราะรูเมนต่ำลงอยู่ในช่วง 2.5-3.0 ได้ แต่ในสภาพปกติค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนจะมีค่าอยู่ในช่วง 5.5-6.5 เนื่องจากน้ำลายมีคุณสมบัติที่เป็น buffering capacity โดยมี bicarbonate และ phosphate เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอาหารทำหน้าที่เป็นตัวบัพเฟอร์ (เทอดชัย, 2548)

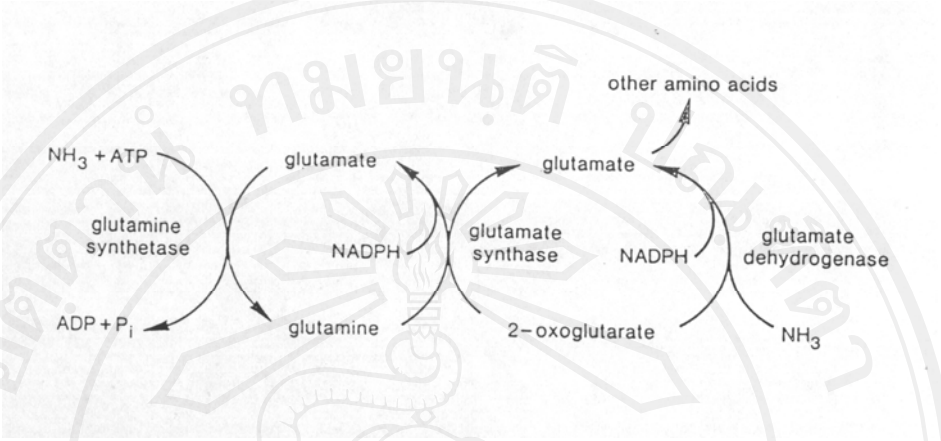
2.8 แอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน

แหล่งของแอมโมเนียไนโตรเจนส่วนใหญ่ได้มาจากการย่อยสลายของโปรตีน และกระบวนการ deamination ของกรดอะมิโน หรือจากแหล่งอื่นได้แก่ ยูเรียที่หมุนเวียนกลับเข้าสู่ทางเดินอาหารจากน้ำลายและเลือด ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เพียงพอต่อการสังเคราะห์โปรตีนควรไม่ต่ำกว่า 5 mg/100 ml หรืออยู่ระหว่าง 3-8 mg/100 ml การสังเคราะห์โปรตีนจึงจะได้ผลดี (Satter and Slyter, 1974 and Satter and Roffer, 1981) แอมโมเนียที่ไม่ได้ถูกนำไปสังเคราะห์ microbial protein (ภาพ 2.10) จะถูกดูดซึมผ่านกระเพาะรูเมนเข้าสู่ portal vein และส่งไปยังตับ ปริมาณแอมโมเนียที่เข้าไปยังตับขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแอมโมเนีย และในกระเพาะรูเมนถ้าความเข้มข้นและความเป็นกรด-ด่างสูงจะมีการดูดซึมไปยังตับมาก ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนสามารถบอกถึงการย่อยสลายโปรตีนในกระเพาะรูเมนได้ โดยถ้าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนต่ำ อาจแสดงว่าอาหารนั้นมีโปรตีนต่ำ หรือโปรตีนนั้นย่อยได้ต่ำ หรือโปรตีนในอาหารนั้นมีความทนทานต่อการย่อยได้ดี ซึ่งมีผลทำให้การสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์นั้นต่ำลง

การสังเคราะห์ยูเรียจากแอมโมเนียในตับของสัตว์เคี้ยวเอื้องจะเหมือนกับสัตว์กระเพาะเดี่ยว ยูเรียบางส่วนจะหมุนเวียนกลับเข้ามาในร่างกาย โดยผ่านเข้ามาในน้ำลายหรือแพร่ผ่านผนังกระเพาะรูเมนเข้ามาโดยตรง แต่ส่วนใหญ่ผ่านไปยังไตและถูกขับถ่ายออกมาในปัสสาวะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แต่ถ้าระดับของแอมโมเนียสูงเกินกว่าจะกำจัดออกได้ทันจะทำให้เกิดพิษกับสัตว์ (เทอดชัย, 2548)



ภาพ 2.10 กระบวนการ 2 ขั้นตอนที่แอมโมเนียถูกใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ (Leng and Nolan, 1984)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved