ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และ/หรือ โปรตีนไหลผ่าน ต่อปริมาณการกินได้อย่างอิสระ, ความสามารถในการย่อยได้ และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนในโคนมที่ได้รับฟางข้าวและฟางหมักยูเรียเป็นแหล่งอาหารหยาบ

EFFECTS OF DIETARY CARBOHYDRATE AND/OR BY-PASS PROTEIN ON VOLUNTARY FEED INTAKE, DIGESTIBILITY AND RUMINAL FERMENTATION IN DAIRY CATTLE FED RICE STRAW AND UREA-TREATED RICE STRAW AS ROUGHAGES.

นายปราโมทย์ แพงคำ

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2541
ISBN 974-676-015-7

l.2

ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และ/หรือ โปรตีนไหลผ่าน ต่อปริมาณการกินได้อย่างอิสระ, ความสามารถในการย่อยได้ และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนในโคนมที่ได้รับฟางข้าวและฟางหมักยูเรียเป็นแหล่งอาหารหยาบ

นายปราโมทย์ แพงคำ

O ....
B 11676875
I 13339734

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2541

ISBN 974-676-015-7

EFFECTS OF DIETARY CARBOHYDRATE AND/OR BY-PASS PROTEIN ON VOLUNTARY FEED INTAKE, DIGESTIBILITY AND RUMINAL FERMENTATION IN DAIRY CATTLE FED RICE STRAW AND UREA-TREATED RICE STRAW AS ROUGHAGES.

MR. PRAMOTE PAENGKOUM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE MASTER OF SCIENCE
IN ANIMAL SCIENCE
GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY
1998

ISBN 974-676-015-7

วิทยานิพนธ์
เรื่อง

ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และ/หรือ โปรตีนไหลผ่าน ต่อปริมาณการกินได้อย่างอิสระ, ความสามารถในการย่อยได้ และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนในโคนมที่ได้รับฟางข้าวและฟางหมักยูเรียเป็นแหล่งอาหารหยาบ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ วันที่ 25 เดือน กันยายน พ.ศ. 2541

ปราโมทย์ แพงคำ
(นายปราโมทย์ แพงคำ)
ผู้เสนอวิทยานิพนธ์

(ศาสตราจารย์ ดร.เมธา วรรณพัฒน์)
ประธานกรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉลอง วชิราภากร)
กรรมการที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมหมาย ปรีเปรม)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

(รองศาสตราจารย์ ดร. เอนก โตภาคงาม)
คณบดีคณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสัตวศาสตร์

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และ/หรือ โปรตีนไหลผ่าน ต่อปริมาณการกินได้อย่างอิสระ, ความสามารถในการย่อยได้ และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนในโคนมที่ได้รับฟางข้าวและฟางหมักยูเรียเป็นแหล่งอาหารหยาบ

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์ นายปราโมทย์ แพงคำ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. เมธา วรรณพัฒน์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉลอง วชิราภากร)

....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ประสิทธิ์ ประคองศรี)

....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. สุภร กตเวทิน)

คณะกรรมการประจำบัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

เมื่อวันที่ 23 พ.ย. 2541

....

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมหมาย ปรีเปรม)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และ/หรือ โปรตีนไหลผ่าน ต่อปริมาณการกินได้อย่างอิสระ, ความสามารถในการย่อยได้ และกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนในโคนมที่ได้รับฟางข้าวและฟางหมักยูเรียเป็นแหล่งอาหารหยาบ

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์ นายปราโมทย์ แพงคำ

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. เมธา วรรณพัฒน์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉลอง วชิราภากร)

บทคัดย่อ

การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และ/หรือ โปรตีนไหลผ่าน ต่อปริมาณการกินได้, ความสามารถในการย่อยได้, กระบวนการหมัก, การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน โดยใช้มันเส้น (cassava chip, CC) เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรท และใช้กากเมล็ดฝ้าย (cottonseed meal, CS) เป็นแหล่งโปรตีนไหลผ่าน การทดลองใช้โคนมเพศผู้ตอนอายุประมาณ 3 ปีน้ำหนักเฉลี่ย 350 ± 10.5 กิโลกรัม ตามแผนการทดลองแบบ 4x4 ลาตินสแควร์ โดยมี 4 กลุ่มทดลองคือ กลุ่มทดลองที่ 1 ใช้ฟางข้าว (rice straw, RS) เป็นแหล่งอาหารหยาบเสริมมันเส้นผสมยูเรีย (urea, U) 2 กิโลกรัมต่อวัน (RS+CC+U), กลุ่มทดลองที่ 2 ใช้ฟางหมักยูเรีย (urea-treated rice straw, URS) เสริมมันเส้น 2 กิโลกรัมต่อวัน (URS+CC), กลุ่มทดลองที่ 3 ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย 0.5 กิโลกรัมต่อวัน (URS+CS) และกลุ่มทดลองที่ 4 ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น 2 กิโลกรัม และกากเมล็ดฝ้าย 0.5 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ (URS+CC+CS) การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ช่วงการทดลอง แต่ละช่วงใช้เวลา 27 วัน โดย 17 วันแรก เป็นระยะปรับสัตว์ และ 10 วันหลังเป็นระยะเก็บตัวอย่างโดยวิธีเก็บตัวอย่างแบบทั้งหมด (total collection method) สุ่มเก็บของเหลวจากกระเพาะรูเมน (rumen fluid) และเลือดในวันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลอง จากการทดลองพบว่า ปริมาณการกินได้อย่างอิสระของอาหารหยาบ ของกลุ่มทดลอง URS+CS (8.8 กก/ตัว/วัน) และกลุ่มทดลอง URS+CC+CS (7.8 กก/ตัว/วัน) ไม่มีความแตกต่าง

กันทางสถิติ แต่สูงกว่ากลุ่มทดลอง RS+CC+U (5.7 กก./ตัว/วัน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และกลุ่มทดลอง URS+CS (7.8 กก./ตัว/วัน) สูงกว่ากลุ่มทดลอง URS+CC (6.3 กก./ตัว/วัน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การย่อยได้ของวัตถุแห้ง, อินทรีย์วัตถุ, NDF และ ADF ในแต่ละกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางกันทางสถิติ แต่การย่อยได้ของโปรตีนหยาบของกลุ่มทดลอง URS+CC+CS สูงกว่ากลุ่มทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สมดุลไนโตรเจนของกลุ่มทดลอง URS+CS (71.1 กรัม/วัน) และ URS+CC+CS (69.9 กรัม/วัน) สูงกว่ากลุ่มทดลอง RS+CC+U (35.0 กรัม/วัน) และ URS+CC (34.1 กรัม/วัน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และกลุ่มทดลอง URS+CC สูงกว่ากลุ่ม RS+CC+U อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในกระเพาะรูเมนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน จากของเหลวในกระเพาะรูเมน พบว่ากลุ่มทดลอง URS+CS (11.2 mg%) และ URS+CC+CS (11.6 mg%) สูงกว่า กลุ่มทดลอง URS+CC (9.4 mg%) และ RS+CC+U (9.0 mg%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจน ในเลือด ของแต่ละกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acid, TVFA) กลุ่มทดลอง URS+CC+CS (82.9 m mol/l) สูงกว่ากลุ่มทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และกลุ่มทดลอง URS+CC (65.2 m mol/l) และ URS-CS (65.5 m mol/l) สูงกว่ากลุ่มทดลอง RS+CC+U (59.6 m mol/l) แต่กรดโพรพิออนิค (propionic acid) ของแต่ละกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนประเมินโดยการคำนวณจากอนุพันธ์ของพิวรีน (purine derivatives) ของกลุ่มทดลอง URS+CC+CS (136.7 gN/day) สูงกว่ากลุ่มทดลอง RS+CC+U (67.5 gN/day) และกลุ่มทดลอง URS+CC (89.5 gN/day) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มทดลอง URS+CS (104.4 gN/day) ประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน ของกลุ่มทดลอง URS+CC+CS (37.8 g N/kgOMDR) สูงกว่ากลุ่มทดลอง RS+CC+U (24.9 g N/kgOMDR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับ กลุ่มทดลอง URS+CC (28.8 g N/kgOMDR) และกลุ่มทดลอง URS+CS (34.1 g N/kgOMDR) อัตราส่วนระหว่างโปรตีน ต่อพลังงาน (P/E ratio) ของกลุ่มทดลอง URS+CC+CS (14.8 g microbial protein/ MJ of VFA) สูงกว่ากลุ่มทดลอง RS+CC+U (10.3 g microbial protein/ MJ of VFA) และกลุ่มทดลอง URS+CC (12.9 g microbial protein/ MJ of VFA) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มทดลอง URS+CS (14.0 g microbial protein/ MJ of VFA)

THESIS TITLE : EFFECTS OF DIETARY CARBOHYDRATE AND/OR BY-PASS PROTEIN
ON VOLUNTARY FEED INTAKE, DIGESTIBILITY AND RUMINAL
FERMENTATION IN DAIRY CATTLE FED RICE STRAW AND UREA-
TREATED RICE STRAW AS ROUGHAGES.

AUTHOR : MR. PRAMOTE PAENGKOUM

THESIS ADVISORY COMMITTEE:

....Chairman
(Professor Dr. Metha Wanapat)

Chalong W.
....Member
(Assistant Professor Dr. Chalong Wachirapakorn)

ABSRTACT

This experiment was to study the effects of supplementation of either dietary carbohydrate or by-pass protein on voluntary feed intake, digestibility, ruminal fermentation and microbial protein synthesis in dairy cattle. Four ruminal fistulated steers, about 3 years of age, with average liveweight of 350 ± 10.5 kg were randomly allotted into a 4x4 Latin square design. Cassava chip (CC) was used as a carbohydrate source while cottonseed meal (CS) was used as a by-pass protein source. The dietary treatments were as followed: treatment A rice straw (RS) and supplemented with cassava chip mixed with urea (urea, U) (2 kg/d) (RS+CC+U), treatment B urea-treated rice straw (URS) and supplemented with cassava chip (2 kg/d) (URS+CC), treatment C URS supplemented with CS (0.5 kg/d) (URS+CS) and treatment D URS and supplemented with both cassava chip (2 kg/d) and cottonseed meal (0.5 kg/d) (URS+CC+CS). Four experimental periods were employed and each period lasted for 27 days. In each period, the animals were adjusted for 17 days before total collection

was made during the last 10 days. During the experiment, the animals were housed in metabolism crates and fed the diets twice daily at 7.30 am. and 15.30 pm. as two equal meals and fresh water was freely available at all times. Rumen fluid and jugular blood were collected on the last day of each period. Ruminal pH was meansured immidiately after ruminal fluid was sampled. Voluntary roughage intakes of URS+CS (8.8 kgDM/d) and URS+CC+CS (7.8 kgDM/d) treatments were higher ($p<0.05$) than those of RS+CC+U (5.7 kgDM/d) and URS+CC (6.3 kgDM/d) treatments. Dry matter, organic matter, NDF and ADF digestibilities were not significantly different among dietary treatments. Digestion coefficient of crude protein of URS+CC+CS (61.5 %) was higher than other diets. The nitrogen balance in URS+CC+CS (69.9 g/d) and URS+CS (71.0 g/d) were higher ($p<0.01$) than those of RS+CC+U (35.0 g/d) and URS+CC (34.1 g/d). Ruminal pH value and blood urea-nitrogen concentration were not different among dietary treatments. The ruminal ammonia-nitrogen concentration in URS+CC+CS (11.6 mg%) and URS+CS (11.2 mg%) treatments were higher ($p<0.05$) than those of RS+CC+U (9.0 mg%) and URS+CS (9.4 mg%) treatments. Total volatile fatty acid (TVFA) in URS+CC+CS (82.9 m mol/l) treatments was higher ($p<0.05$) than that of URS+CS (65.5 m mol/l), RS+CC+U (59.6 m mol/l) and URS+CS (65.2 m mol/l) treatments. The estimation of microbial nitrogen from purine derivatives excretion in urine of URS+CC+CS (136.7 gN/d) treatment was higher ($p<0.05$) than that of RS + CC + U (67.5 gN/d) treatment, but were not significantly different as compared with those of URS + CS (104.4 gN/d) and URS + CC (89.5 gN/d) treatments. Microbial protein to energy ratio (P/E ratio) of URS+CC+CS (14.8 g microbial protein/ MJ of VFA) treatment was higher ($p<0.05$) than that of RS+CC+U (10.3 g microbial protein/ MJ of VFA) treatment, but were not different as compared with URS+CS (14.8 g microbial protein/ MJ of VFA) and URS + CC (12.9 g microbial protein/ MJ of VFA) treatments.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่งต่อ ศาสตราจารย์ ดร.เมธา วรรณพัฒน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือสนับสนุน ให้คำแนะนำปรึกษาและดูแลเอาใจใส่อย่างใกล้ชิดด้วยความเป็นกันเองตลอดระยะเวลาการศึกษา และการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการจัดหาทุนการศึกษา, ทุนในการทำงานทดลอง และกรุณาให้ได้มีโอกาสเข้าร่วมทำงานในโครงการวิจัยอาหารโคนม ตำแหน่งนักศึกษาผู้ช่วยวิจัย ซึ่งถือเป็นพระคุณอย่างสูงยิ่ง ขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉลอง วชิราภากร กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับการทดลองจนทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และใคร่ขอขอบพระคุณต่อ ดร. สุภร กตเวทิน และรองศาสตราจารย์ ดร. ประสิทธ์ ประคองศรี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาชี้แนะและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่อง จนวิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณอาจารย์ เวชสิทธิ์ โทบุราณ ที่ให้การช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ อำนวยความสะดวกในด้านสัตว์ทดลอง อุปกรณ์ต่าง ๆ และคอมพิวเตอร์ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาสัตวศาสตร์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ และวิทยาการต่างๆ ในช่วงเวลาที่ศึกษา

ผลสำเร็จของงานวิจัยครั้งนี้เกิดจากความร่วมมือสนับสนุนจากหลาย ๆ ฝ่ายจึงใคร่ขอขอบคุณต่อ ดร. กฤตพล สมมาตย์, คุณธงชัย ขันธบูรณ์, คุณวุฒิชัย สีเผือก, คุณเทอดศักดิ์ ปุระมงคล, คุณทรงศักดิ์ จำปาวะดี, คุณสุรศักดิ์ จิตตโคตร, คุณเฉลิมพล เยื้องกลาง, คุณวลัยลักษณ์ แก้ววงษา, คุณอรอนงค์ พวงชมภู, คุณสุรชัย โค้วสุวรรณ, คุณสรรเพชร คงงาม, คุณนันทพร เนตรพนา และคุณศิวพร วรอนุ รวมทั้งนักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาสัตวศาสตร์ทุกท่าน, เจ้าหน้าที่โครงการวิจัยอาหารโคนม ตลอดจนผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ที่ได้ช่วยเหลือให้งานทดลองเสร็จลงด้วยดี ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และ The Food and Agriculture Organization of The United Nations (FAO) ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนด้านการศึกษาและการทำวิจัย ขอขอบคุณต่อมหาวิทยาลัยนิวแคสเซิล ประเทศสหราชอาณาจักร ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง, โครงการวิจัยอาหารโคนม และหมวดโคเนื้อ ภาควิชาสัตวศาสตร์ ที่ได้อำนวยความสะดวกในด้านการวิเคราะห์ต่าง ๆ และได้ช่วยเหลือให้งานทดลองสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อหนูเพียร แพงคำ, คุณแม่ผึ้ง แพงคำ, ตลอดจนญาติ ๆ พี่น้องทุกคนที่คอยช่วยเหลือสนับสนุน เป็นกำลังใจ ตลอดระยะเวลาในการศึกษา

ปราโมทย์ แพงคำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
กิตติกรรมประกาศ จ
สารบัญตาราง ฌ
สารบัญภาพ ฏ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.4 ขอบเขตในการวิจัย 4

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร

2.1 การเลี้ยงโคนมในประเทศไทย 5
2.2 อาหารคาร์โบไฮเดรท 5
2.3 อาหารโปรตีน 14
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและพลังงานในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง 25
2.5 อาหารคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่านในอาหารโคนม 26
2.6 ความสมดุลระหว่างการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนต่อพลังงานจากกรดไขมันระเหยได้ 29
2.7 การใช้ฟางข้าวเป็นอาหารโคนม 30
2.8 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของฟางข้าวโดยการหมักด้วยยูเรีย 31
2.9 การใช้มันสำปะหลังในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง 33
2.10 การใช้กากเมล็ดฝ้ายในอาหารโคนม 35

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลองและกลุ่มทดลอง 37
3.2 สัตว์ทดลอง 37
3.3 อาหารและการเตรียมอาหารทดลอง 38
3.4 วิธีการทดลอง 38
3.5 การเก็บข้อมูลและการเก็บตัวอย่าง 39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 42
3.7 ระยะเวลาทำการทดลอง 42
3.8 สถานที่ทำการวิจัย 42

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ส่วนประกอบของโภชนะในอาหาร 43
4.2 ปริมาณการกินได้ 44
4.3 ความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะ 46
4.4 ปริมาณการกินโภชนะที่ย่อยได้ 47
4.5 ความสมดุลของไนโตรเจน 48
4.6 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ภายในกระเพาะรูเมน 49
4.7 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในของเหลวจากกระเพาะรูเมน 50
4.8 ความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด (blood urea-nitrogen, BUN) 52
4.9 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ ของของเหลวจากกระเพาะรูเมน 54
4.10 การประเมินการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจากอนุพันธ์ของพิวรีนที่ขับออกมากับปัสสาวะ (The estimated of microbial protein derivatives (PD) excretion) 65
4.11 อัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์โปรตีน ต่อพลังงานจากกรดไขมันระเหยได้ (P/E ratio) 67

บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ส่วนประกอบของโภชนะในอาหาร 69
5.2 ปริมาณการกินได้ 69
5.3 การย่อยได้ของโภชนะและปริมาณการกินโภชนะที่ย่อยได้ 70
5.4 ความสมดุลไนโตรเจน 72
5.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ภายในกระเพาะรูเมน 73
5.6 ความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด 74
5.7 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในของเหลวจากกระเพาะรูเมน 75
5.8 กรดไขมันระเหยได้ ของของเหลวจากกระเพาะรูเมน 78

สารบัญ (ต่อ)

หน้า
5.9 การประเมินการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจากอนุพันธ์ของพิวรีนที่ขับออกมากับปัสสาวะ 79
5.10 อัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์โปรตีนต่อพลังงานจากกรดไขมันระเหยได้ 80

บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป 82
6.2 ข้อเสนอแนะ 84
เอกสารอ้างอิง 85
ภาคผนวก 100
ประวัติผู้เขียน 122

สารบัญตาราง

หน้า

Table 1 Effects of non-structural carbohydrate (NSC) on milk yield and milk composition. 9

Table 2 Type of bacteria utilizing carbohydrate and fermentation end-products. 11

Table 3 Effects of non-structural carbohydrate and rumen degradable protein revel on feed intake, rumen fermentation, milk yield and milk composition. 28

Table 4 Effect of different efficiencies of microbial growth on the production of end-products in the rumen of the steer consuming 4 kg organic matter which is totally fermentable. 30

Table 5 Effects of urea-treated rice straw and untreated rice straw on feed intake,digestibility and rumen fermentation. 34

Table 6 Chemical composition of feedstuffs. 43

Table 7 Effects of carbohydrate and undegradable protein on feed intake and body weight change. 45

Table 8 Effects of carbohydrate and undegradable protein on apparent digestibility (%). 47

Table 9 Effects of carbohydrate and undegradable protein on digestible nutrient intake (kg/day). 48

Table 10 Effects of carbohydrate and undegradable protein on nitrogen balance. 49

Table 11 Effects of carbohydrate and undegradable protein on ruminal pH. 50

Table 12 Effects of carbohydrate and undegradable protein on ruminal ammonia-nitrogen concentration. 52

Table 13 Effects of carbohydrate and undegradable protein on blood urea nitrogen concentration. 53

Table 14 Effects of carbohydrate and undegradable protein on ruminal total volatile fatty acid (TVFA) concentration. 56

Table 15 Effects of carbohydrate and undegradable protein on ruminal acetic acid and propionic acid concentrations. 58

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

Table 16 Effects of carbohydrate and undegradable protein on ruminal butyric acid and valeric acid concentrations. 59

Table 17 Effects of carbohydrate and undegradable protein on ruminal iso-butyric acid and iso-valeric acid concentrations. 60

Table 18 Effects of carbohydrate and undegradable protein on ratio of ruminal acetic acid and propionic acid. 61

Table 19 The estimation of microbial protein from purine derivatives (PD) excretion by steers given basal diet of rice straw and urea-treated rice straw supplemented with carbohydrate and by-pass protein. 66

Table 20 Effects of carbohydrate and undegradable protein on microbial protein and energy ratio (P/E ratio). 68

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 กระบวนการหมักของอาหารคาร์โบไฮเดรท ในกระเพาะรูเมน 13
ภาพที่ 2 การย่อยสลายอาหารโปรตีนและคาร์โบไฮเดรทโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน 16
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ต่อปริมาณการกินได้ และความสามารถในการย่อยได้ 19
ภาพที่ 4 วิถีของอนุพันธ์ของพิวรีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง 21
ภาพที่ 5 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเป็นกรด-ด่างภายในกระเพาะรูเมน 51
ภาพที่ 6 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจน ของของเหลวในกระเพาะรูเมน 51
ภาพที่ 7 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจน ในกระแสเลือด 54
ภาพที่ 8 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (TVFA) 62
ภาพที่ 9 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติค (acetic acid, C_2) 62
ภาพที่ 10 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของกรดโพรพิออนิค (propionicacid, C_3) 63
ภาพที่ 11 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของกรดบิวทีริค (butyric acid, C_4) 63
ภาพที่ 12 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของกรดวาเลอริค (valeric acid, C_5) 64
ภาพที่ 13 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของกรดไอโซบิวทีริค (iso-butyric acid, iso-C_4) 64
ภาพที่ 14 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของกรดไอโซวาเลอริค (iso-valeric acid, iso-C_5) 65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อาหารเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในกระบวนการผลิตโคนม ซึ่งโคนมจำเป็นจะต้องได้รับอาหารอย่างถูกต้องทั้งปริมาณ คุณภาพ และสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตรวมทั้งปริมาณและคุณภาพของผลผลิตที่จะได้รับ อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงโคนมก็พบปัญหาอยู่เสมอ โดยเฉพาะปัญหาในเรื่อง การขาดแคลนอาหารคุณภาพดีทำให้มีผลกระทบต่อการผลิต โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งจะขาดแคลนอาหารหยาบและมีคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีปริมาณเยื่อใยสูงขึ้น ทำให้สัตว์ได้รับโภชนะไม่เพียงพอกับความต้องการ ทำให้ผู้เลี้ยงต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้ออาหารเสริมราคาแพงเข้ามาใช้เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำฟางข้าวซึ่งถือได้ว่าเป็นแหล่งอาหารหยาบที่หาได้ง่ายและเป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรที่สำคัญและมีปริมาณมาก ซึ่งได้มีการเพิ่มคุณภาพโดยการหมักด้วยยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นการนำใช้อาหารหยาบคุณภาพต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (เมธา, 2540) และได้มีการเสริมแหล่งโปรตีนและพลังงานที่มีคุณภาพและราคาถูก ซึ่งเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวให้มีความเหมาะสม ในฤดูแล้งจะมีฟางข้าวจำนวนมากแต่ฟางข้าวมีคุณค่าทางโภชนะต่ำ ซึ่งมีโปรตีนหยาบไม่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์ มีเยื่อใยที่ย่อยยากสูง โดยเฉพาะมีส่วนที่จับตัวระหว่างลิกนินกับเซลยูโลส (lignin-cellulosis fraction) สูง ทำให้การเข้าย่อยของเอ็นไซม์ (enzyme) ยากขึ้น มีผลต่อการใช้ประโยชน์ของฟางข้าวได้ต่ำลง (เมธา, 2528) แต่อย่างไรก็ตาม ฟางข้าวสามารถนำมาปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้โดยการนำมาหมักร่วมกับแหล่งของสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (non-protein nitrogen) Wanapat et al. (1983) รายงานว่าการทำฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก นำมาใช้ในการเลี้ยงโคทำให้การย่อยได้ in vitro dry matter digestibility (IVDMD) เพิ่มขึ้น 9 หน่วยเปอร์เซ็นต์ โปรตีนหยาบเพิ่มจาก 3-4 เป็น 7-8 เปอร์เซ็นต์ การย่อยได้ของวัตถุแห้งเพิ่มจาก 46 เป็น 50-55 เปอร์เซ็นต์ และทำให้สัตว์กินได้เพิ่มขึ้นอีก 30-40 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับรายงานของ Badurdeen et al. (1994) พบว่าฟางข้าวหลังจากนำมาหมักด้วยยูเรียมีโปรตีนหยาบเพิ่มจาก 5.2 เป็น 7.7 เปอร์เซ็นต์ และยังทำให้การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (organic matter digestibility, OMD) เพิ่มขึ้นอีกด้วย Hart and Wanapat (1992) พบว่าการหมัก

ฟางด้วยยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้การกินได้ การย่อยได้ของวัตถุแห้ง การย่อยได้ของผนังเซลล์ (neutral detergent fiber digestibility) และการย่อยได้ของ acid detergent fiber เพิ่มขึ้น และยังทำให้การสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้เพิ่มขึ้นอีกด้วย Wanapat and Uriyapongson (1985) ใช้ฟางข้าวและฟางหมักยูเรียในการเลี้ยงโคนมเพศผู้ตอน พบว่ามีการกินได้ของอาหารหยาบเพิ่มจาก 3.3 เป็น 4.8 กิโลกรัมของวัตถุแห้ง การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นจาก 68.6 เป็น 71.9 เปอร์เซ็นต์ การย่อยได้ของผนังเซลล์เพิ่มขึ้นจาก 50.3 เป็น 59.1 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มจาก 454 เป็น 580 กรัมต่อวัน จากรายงานของ Promma et al. (1985) พบว่าการใช้ฟางข้าวและฟางหมักยูเรีย 6 เปอร์เซ็นต์ ในการเลี้ยงโคนมทำให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มจาก 8.5 เป็น 8.8 กิโลกรัมต่อวัน โปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้นจาก 3.4 เป็น 3.5 เปอร์เซ็นต์ ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้นจาก 3.4 เป็น 3.7 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นจาก 71.8 เป็น 96.4 กรัมต่อวัน ดังนั้นการทำฟางหมักยูเรียจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยแก้ปัญหาในเรื่องการขาดแคลนอาหารหยาบ โดยเฉพาะในฤดูแล้งได้เป็นอย่างดี

การให้อาหารที่มีความสมดุลของโภชนะจะสามารถลดต้นทุนค่าอาหาร ลดการสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ และยังเป็นการช่วยให้สัตว์สามารถเพิ่มผลผลิตได้ โดยเฉพาะความสมดุลระหว่างอาหารโปรตีน และพลังงานซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่นำมาพิจารณาในการประกอบสูตรอาหารโคนม เพื่อให้โคสามารถนำโภชนะต่าง ๆ ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีการสูญเสียน้อยที่สุด เนื่องจากการใช้ประโยชน์ของโปรตีนที่ย่อยได้มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับปริมาณพลังงานที่สัตว์ได้รับ เพราะว่าอาหารที่มีโปรตีนหรือไนโตรเจนต่ำจะเป็นตัวจำกัดปริมาณการกินได้เพราะว่ามีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (Hoover and Stokes, 1991) ทำให้กิจกรรมการทำงานของจุลินทรีย์ลดลงมีผลต่อการย่อยสลายของอาหารเพื่อให้ได้ผลผลิตสุดท้าย (end-products) ที่เป็นประโยชน์ต่อตัวสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามหากสัตว์ได้รับอาหารที่มีโปรตีนเกินระดับที่เหมาะสมจะทำให้ความสมดุลย์ของพลังงานลดลง ดังนั้นในการประกอบสูตรอาหารโคนมจึงจำเป็นที่จะต้องทราบความสมดุลย์ระหว่างโปรตีนและพลังงาน นอกจากโปรตีนจะถูกใช้ในการสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์ที่กระเพาะรูเมนแล้ว โปรตีนส่วนหนึ่งจะถูกไหลผ่าน (by-pass) ไปยังกระเพาะส่วนสุดท้ายและลำไส้เล็ก ซึ่งสัตว์สามารถย่อยและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ การประกอบสูตรอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องต้องพิจารณาก่อนเสมอว่าจะให้อาหารชนิดใด และสัดส่วนเท่าใด โดยถ้าเป็นไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ เช่น ยูเรีย ซึ่งมีราคาไม่แพงโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งของแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ให้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนเพื่อนำไปสร้างเป็นจุลินทรีย์โปรตีน ซึ่งเมื่อจุลินทรีย์ผ่านมาถึงกระเพาะจริงและลำไส้เล็กจะถูกย่อยและดูดซึมไปใช้เป็นประโยชน์ต่อตัวสัตว์ต่อไป ส่วนโปรตีนคุณภาพดี เช่น กากถั่วเหลือง, กาก

ทานตะวัน, กากถั่วลิสง และกากเมล็ดฝ้ายเป็นต้น โดยเฉพาะกากเมล็ดฝ้าย นอกจากจะมีโปรตีนหยาบสูงแล้วยังมีโปรตีนไหลผ่าน (escape protein) ไปยังลำไส้เล็กได้สูงถึง 43 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 1988) ซึ่งจะเป็นโปรตีนที่สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดการสูญเสียคุณค่าเนื่องจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ อาหารพลังงานโดยปกติจะมีราคาถูกกว่าโปรตีน อาหารพลังงานที่ควรจะมีการนำมาใช้เลี้ยงสัตว์คือ มันสำปะหลังหรือมันเส้น (cassava chip) เป็นแหล่งพลังงานราคาถูกและหาได้ง่ายในท้องถิ่น ที่ควรจะมีการนำมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ให้มากกว่านี้เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้ โดยเฉลี่ยแล้วมันเส้นจะมีโปรตีนหยาบประมาณ 1.9 เปอร์เซ็นต์, ผนังเซลล์ 16.4 เปอร์เซ็นต์ มีส่วนที่เป็นแป้ง 64-72 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นน้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น ซูโครส, กลูโคส และฟรุคโตส (KKU-IDRC, 1980) สารประกอบคาร์โบไฮเดรทจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้กลูโคสและเพนโตส และถูกสังเคราะห์ผ่านวิถี (pathway) ต่างๆ ไปเป็นกรดไพรูวิค (pyruvic acid) ซึ่งเป็นตัวกลางในการสังเคราะห์ให้ได้กรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA) ที่สำคัญ ได้แก่ กรดอะซิติค (acetic acid), กรดโพรพิออนิค (propionic acid), กรดบิวทีริค (butyric acid) เป็นต้น กรดไขมันระเหยได้เหล่านี้จะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมน เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน และการสังเคราะห์ไขมันที่สำคัญในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการเสริมแหล่งของคาร์โบไฮเดรท และ/หรือโปรตีนไหลผ่าน ต่อปริมาณการกินได้ และการย่อยได้ ในโคนม

1.2.2 เพื่อศึกษาผลต่อกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน ในการเสริมคาร์โบไฮเดรท และ/หรือโปรตีนไหลผ่านในอาหารหยาบคุณภาพต่ำ

1.2.3 เพื่อศึกษาผลต่อความสมดุลไนโตรเจน จากการเสริมคาร์โบไฮเดรท และ/หรือโปรตีนไหลผ่านในโคนมที่ได้รับอาหารหยาบคุณภาพต่ำ

1.2.4 เพื่อศึกษาถึงผลการเสริมคาร์โบไฮเดรท และ/หรือโปรตีนไหลผ่าน ต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน ในกระเพาะรูเมน ซึ่งประเมินโดยการใช้อนุพันธ์ของพิวรีน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ข้อมูลเบื้องต้นของสัดส่วนการเสริมอาหารคาร์โบไฮเดรท และ/หรือโปรตีนไหลผ่านในการประกอบสูตรอาหารสำหรับโคนม

1.3.2 ได้ข้อมูลการตอบสนองของการเสริมอาหารคาร์โบไฮเดรท และ/หรือโปรตีนไหลผ่านต่อกระบวนการหมักและการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน

1.3.3 ได้ข้อมูลใหม่ ได้แก่การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน เพื่อนำไปสู่การศึกษาในรายละเอียดต่อการตอบสนองของโคนมต่อไป

1.3.4 ได้ข้อมูลในการปรับปรุงประสิทธิภาพอาหารหยาบคุณภาพต่ำ ได้แก่ฟางข้าวโดยการนำมาหมักด้วยยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในโค

1.4 ขอบเขตในการวิจัย

1.4.1 ศึกษาการตอบสนองของโคนมพันธุ์โฮลสไตล์ฟรีเชียนที่ได้รับมันเส้นเป็นแหล่งอาหารคาร์โบไฮเดรท และ/หรือกากเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งของอาหารโปรตีนไหลผ่าน ที่มีผลต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ของโภชนะและสมดุลไนโตรเจนโดยวิธีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด (total collection method)

1.4.2 ศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองของโคนมพันธุ์โฮลสไตล์ฟรีเชียนที่ได้รับอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่านที่มีผลต่อ ค่าความเป็นกรด-ด่าง, กรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ของของเหลวจากกระเพาะรูเมน, ยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 การเลี้ยงโคนมในประเทศไทย

โคนมเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่กำลังได้รับความนิยมในการเลี้ยงเพิ่มมากขึ้นทั้งนี้เนื่องมาจากการส่งเสริมของหน่วยงานของทั้งภาครัฐบาลและเอกชน ดังจะเห็นได้จากปริมาณของโคนมที่เพิ่มขึ้นในรอบ 10 ปี คือในปี 2530 มีโครีดนมเพียง 42,100 ตัว และเพิ่มเป็น 224,600 ตัว ในปี 2540 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2539) จะเห็นได้ว่าปริมาณการเลี้ยงโคนมมีการขยายตัวมากขึ้นเรื่อย ๆ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้ ยังไม่เพียงพอกับความต้องการภายในประเทศ ทำให้ต้องสั่งนมผงเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่ามีปริมาณการขาดแคลนน้ำนมดิบเพิ่มขึ้นจาก 844 ตัน เป็น 1991 ตัน ในปี 2540 และปี 2544 ตามลำดับ หรือมีอัตราการขาดแคลนน้ำนมดิบ คิดเป็นประมาณ 23.4 เปอร์เซ็นต์ ต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2539) ดังนั้นการเลี้ยงโคนมจึงมีโอกาสในการขยายตัวได้สูง แต่อย่างไรก็ตามการเลี้ยงโคนมในประเทศไทย ยังประสบปัญหาหลายอย่าง เช่น ปัญหาในเรื่องพันธุ์, ปัญหาในเรื่องการจัดการ และปัญหาในเรื่องอาหาร อาหารและการให้อาหาร นับว่าเป็นปัญหาที่มีความสำคัญยิ่ง เนื่องจากเกษตรกรยังขาดความรู้ และประสบการณ์ โดยทั่วไปแล้วปัญหาในเรื่องอาหารที่มักจะพบเสมอ ๆ คือปัญหาในด้านปริมาณและคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ประกอบสูตรอาหาร ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของนักวิจัย, นักวิชาการ และนักส่งเสริม ที่จะนำความรู้ทางด้านวิชาการ ไปส่งเสริมและเผยแพร่ โดยการสนับสนุนจากหน่วยงานของทั้งภาครัฐบาล และเอกชน ต่อไป

2.2 อาหารคาร์โบไฮเดรท

คาร์โบไฮเดรทเป็นสารชีวโมเลกุลที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งเป็นแหล่งอาหารพลังงานหลักที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต เป็นแหล่งพลังงานที่มีราคาถูก คาร์โบไฮเดรทที่พบในใบพืชส่วนใหญ่ คือพวกสารประกอบน้ำตาล ได้แก่ เซลยูโลส (cellulose), เฮมไมเซลยูโลส (hemicellulose), ลิกนิน (lignin) และเพกติน (pectin) น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่พบในเนื้อเซลล์ ได้แก่ กลูโคส (glucose), และฟรุคโตส (fructose) เป็นต้น โดยทั่วไปคาร์โบไฮเดรทในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม (เมธา, 2533) ได้แก่ กลุ่มที่ย่อยสลายได้ง่าย (soluble carbohydrate) เป็นคาร์โบไฮเดรทที่ประกอบไปด้วยน้ำตาลชนิดต่าง ๆ มีรูปแบบโครงสร้างที่อาจประกอบไปด้วย คาร์บอน 5 ตัว (furanose) หรือ 6 ตัว (pyranose) พบทั่วไปในพืชอาหารสัตว์ เช่น กลูโคส, กาแลคโตส

(galactose), ฟรุคโตส, อะราบิโนส (arabinose), ไรโบส (ribose), และไซโลส (xylose) และกลุ่มที่เป็นโครงสร้าง (structural-carbohydrate) ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย เซลยูโลส, เฮมไมเซลยูโลส, ลิกนิน และเพคติน

2.2.1 คาร์โบไฮเดรทในอาหารโคนม คาร์โบไฮเดรทเป็นโภชนะที่มีความสำคัญต่อโคนม มีความสำคัญต่อกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน เนื่องจากโคนมสามารถนำเอาคาร์โบไฮเดรท ทั้งประเภทที่ละลายง่าย และประเภทที่เป็นโครงสร้าง ซึ่งมีบทบาทต่อกระบวนการหมัก, ประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน และผลผลิตสุดท้าย (end-products) ที่ได้จากกระบวนการหมัก, ผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนม ดังนั้นในอาหารโคนมจึงควรจะมีระดับคาร์โบไฮเดรททั้งสองกลุ่มในระดับที่เหมาะสม

1) คาร์โบไฮเดรทประเภทที่เป็นโครงสร้าง (structural carbohydrate, SC) ในอาหารโคนมคาร์โบไฮเดรทประเภทที่มีโครงสร้าง พบในผนังเซลล์พืช ประกอบไปด้วย เฮมไมเซลยูโลส, เซลยูโลส และลิกนินเป็นส่วนใหญ่ สามารถวิเคราะห์ได้โดยวิธีของ Goering and Van Soest (1970) นำไปละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (neutral detergent solution) ส่วนที่ไม่ละลายก็คือผนังเซลล์ หรือ neutral detergent fiber (NDF) เยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (acid detergent solution) ส่วนที่ไม่ละลายคือ acid detergent fiber (ADF) ซึ่งระดับของผนังเซลล์ในอาหารโคนมจะมีความสัมพันธ์กับ ปริมาณการกินได้, การย่อยได้, ผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนม เช่น ถ้าหากมีระดับผนังเซลล์ที่สูงเกินไป จะทำให้ปริมาณการกินได้ลดลง (Beauchemin and Buchanan-Smith, 1989)

ก. เซลยูโลส เป็นโมเลกุลเชิงเดี่ยวซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส ต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ β - 1, 4 linked glucopyranosyl เซลยูโลสหนึ่งโมเลกุลประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสประมาณ 10,000 โมเลกุล ในธรรมชาติ เซลยูโลสจะอยู่ในรูปผลึกเป็นส่วนใหญ่และอัดแน่นล้อมรอบโดยผนังเซลล์ส่วนอื่น เซลลูโลสในกระเพาะรูเมนจะถูกย่อยด้วย เอ็นไซม์เซลยูเลส (cellulase) ซึ่งผลิตโดยเซลยูโลไลติคแบคทีเรีย (cellulolytic bacteria) ย่อยเป็น glucose-1-phosphate การจับตัวเป็นผลึกทำให้เซลยูโลสไม่ละลายในกรด (Theander and Aman, 1984) ระดับการตกผลึก (degree of crystalline) จะมีส่วนสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับการย่อยได้ของเซลยูโลส (เมธา, 2529)

ข. เฮมไมเซลยูโลส มีสูตรโครงสร้างแกนกลาง (back bone) เป็น β-1, 4 linked xylopyranosyl units โดยจับตัวกันเป็นเส้นตรง ซึ่งมีน้ำตาลไซโลส (xylose) จับกันเป็นแกนกลาง และมีน้ำตาล L-arabinose จับกับแขน 1, 3 และ D-glucoronic มีความหลากหลายใน

โครงสร้าง เฮมไมเซลยูโลสจะถูกย่อยได้เป็น ไซโลไบโอส (xylobiose) และ ไซโลส (xylose) ตามลำดับ ไซโลส ถูกเปลี่ยนโดยเอนไซม์ ทรานสคีโตเลส (transketolase) และ ทรานสอัลโดเลส (transaldolase) ในวิถีเพนโตสฟอสเฟต (pentose phosphate pathway) จนได้เป็น fructose-6-phosphate และ triose phosphate สารตั้งต้นทั้งสองตัวนี้จะเข้าสู่วิถีไกลโคไลซีส (glycolysis pathway)

ค. เพคติน เป็นสารเชื่อมระหว่างผนังเซลล์ของพืช ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยกรดกาแลกทูโรนิค (galacturonic acid) และต่อด้วยแขนงเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลแรมโนส (rhamnose), อะราไบโนส หรือไซโลส สารพวกนี้ละลายน้ำได้ เพคตินจะถูกย่อยด้วยเอ็นไซม์ pectinesterase ได้เป็น methanal และ กรดเพคติก (pectic acid) ซึ่งกรดเพคติกจะถูกย่อยด้วย polygacturonidase ซึ่งสร้างโดยโปรโตซัว (protozoa) ได้เป็นกรดกาแลกทูโรนิกแล้วเปลี่ยนเป็นไซโลส เข้าสู่วิถีเพนโตส ฟอสเฟตได้เป็น fructose phosphate และ triose phosphate สารตั้งต้นทั้งสองตัวนี้จะเข้าสู่วิถีไกลโคไลซีสต่อไป

ง. ลิกนิน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในอาหารหยาบ โดยเฉพาะในฟางของธัญพืช ประกอบไปด้วย phenylprogane units ลิกนินที่อยู่ในพืชอาหารสัตว์จะเป็นตัวจำกัดการย่อยของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน มีผลทำให้การย่อยได้ของสารเยื่อใยอื่นๆ ลดลงโดยเฉพาะเซลยูโลส และเฮมไมเซล ยูโลสและมีผลทำให้สัตว์กินอาหารได้ลดลงเนื่องจากกระเพาะรูเมนเต็มเร็วขึ้น (เมธา, 2533)

Beauchemin et al. (1994) ศึกษาการใช้ NDF 3 ระดับ คือ 32, 36 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ในโคนมที่ได้รับ alfalfa hay เป็นอาหารหยาบ พบว่า ปริมาณการกินได้, ผลผลิตน้ำนม, โปรตีน และแลคโตสในน้ำนม มีแนวโน้มที่จะลดลง เมื่อใช้ NDF ในระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ แต่ทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ NDF ในระดับที่สูงขึ้น อาหารที่มี NDF และ ADF เท่ากับ 27 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ทำให้องค์ประกอบน้ำนมมีไขมันในน้ำนม และ 4 % FCM ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Woodford et al., 1986) การใช้ NDF ที่สูงเกินไปจะทำให้ปริมาณการกินได้ลดลง และทำให้ผลผลิตลดลง (Beauchemin and Buchanan-Smith, 1989) NRC (1989) ไม่ได้แนะนำว่าระดับ NDF ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ระดับใด แต่ในอาหารโคนมไม่ควรมีระดับ NDF ต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ และ 75 เปอร์เซ็นต์ ของ NDF ควรจะเป็นอาหารหยาบ และควรมี ADF อยู่ระหว่าง 19-21 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมต่อกระบวนการหมัก, ปริมาณการกินได้, ผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนม

2) คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้าง (non-structural carbohydrate, NSC) คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างเป็นคาร์โบไฮเดรทที่ละลายง่ายใช้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ ในอาหารโคนม โดยเฉพาะเป็นแหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครง

สร้างพบในพืช ซึ่งประกอบไปด้วย แป้ง, เพคติน และน้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น พบใน มันสำปะหลัง, ถั่วต่างๆ, ข้าวโอ๊ต และข้าวบาเลย์ เป็นต้น ส่วนหญ้าในเขตร้อน ประกอบด้วย แป้ง 1-5 เปอร์เซ็นต์, เพคติน 1-2 เปอร์เซ็นต์ และน้ำตาลประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในเมล็ดธัญพืชพบว่ามีแป้งถึง 80 เปอร์เซ็นต์ (Van Soest, 1982) ในอาหารโคนมจึงควรจะมีระดับของคาร์โบไฮเดรทที่เป็นโครงสร้างและคาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างในสัดส่วนที่เหมาะสม ทั้งนี้เพราะว่าคาร์โบไฮเดรทที่เป็นโครงสร้างจะมีความสำคัญต่อกระบวนการเคี้ยวเอื้อง และนิเวศน์วิทยาในกระเพาะรูเมนให้เป็นไปอย่างปกติ ในขณะที่คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างจะเกิดการหมักได้อย่างรวดเร็ว แต่ไม่ควรให้มีระดับที่สูงเกินไป เพราะจะทำให้ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดลงจนเป็นอันตรายต่อสัตว์ได้ เช่น เกิดภาวะแอซิโดซิส (acidosis) ได้ (Coomer et al., 1993) Batajoo and Shaver (1994) ศึกษาการใช้คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้าง 4 ระดับ คือ 24, 30, 36 และ 42 เปอร์เซ็นต์ ในโคนมระยะให้ผลผลิตน้ำนม พบว่า ปริมาณการกินได้, ผลผลิตน้ำนม, เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม และกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด เพิ่มขึ้นตามระดับคาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน และเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม ลดลงเมื่อเพิ่มระดับคาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้าง แต่อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง, อินทรีย์วัตถุ, โปรตีนหยาบ, NDF และ ADF มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้คาร์โบไฮเดรทที่ไม่ใช่โครงสร้างในระดับ 30 และ 36 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อใช้ถึงระดับ 42 เปอร์เซ็นต์ ทำให้การย่อยได้ลดลง Stokes et al. (1991) ศึกษาการใช้คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้าง 3 ระดับ คือ 25, 27 และ 54 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการย่อยได้ NDF และโปรตีน เพิ่มขึ้นตามระดับคาร์โบไฮเดรทที่เพิ่มขึ้น ส่วนการสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด และประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์ และเปอร์เซ็นต์ ไขมันในน้ำนมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างในระดับ 37 เปอร์เซ็นต์ และลดลง เมื่อใช้ในระดับ 54 เปอร์เซ็นต์

การเพิ่มระดับคาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างจะทำให้ผลผลิตน้ำนม และเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Table 1 แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากใช้คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างในระดับที่สูงเกินไปจะทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงได้ซึ่ง Sarwar et al. (1992) ศึกษาการใช้คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้าง 3 ระดับ คือ 25, 35 และ 47 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่ระดับ 25 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระดับการใช้เป็น 47 เปอร์เซ็นต์ทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงการเพิ่มระดับคาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างยังทำให้ 4 % FCM และเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมลดลง (MacGregor et al., 1983 ; Coomer et al., 1993 และ Batajoo and Shaver, 1994) แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากเพิ่มคาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างในระดับที่ไม่สูงเกินไป ก็สามารถทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้นโดย Feng et al. (1993) ใช้คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็น

Table 1 Effects of non-structural carbohydrate (NSC) on milk yield and milk composition.

milk yield (kg/d)		milk protein (%)		milk fat (%)		4 % FCM		Reference
low	high	low	high	low	high	low	high	
32.2	34.0	31.0	34.0	4.1	3.5	32.5	31.2	MacGregor et al. (1983)[a]
20.7	22.8	3.7	3.7	3.2	3.7	25.7	24.0	Feng et al. (1993)[b]
38.5	40.4	2.9	2.9	3.5	3.1	38.2	37.0	Coomer et al. (1993)[c]
39.5	40.2	3.0	3.1	3.4	3.2	35.6	35.5	Batajoo and Shaver (1994)[d]

a = low 24.9 %NSC and high 32.1 %NSC, b = low 29 %NSC and high 39 %NSC, c = low 28.2%NSC and high 36.7 %NSC and d = low 24 %NSC and high 42 %NSC

โครงสร้าง 2 ระดับ คือ 29 และ 39 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้นจาก 3.2 เป็น 3.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 1) ในการให้อาหารโคนมจึงต้องพิจารณาระดับคาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างให้เหมาะสม ไม่ใช้ในระดับที่ต่ำเกินไปเพราะจะทำให้ประสิทธิภาพการหมักในกระเพาะรูเมนต่ำ ทำให้ได้ผลผลิตจากกระบวนการหมักต่ำ มีผลถึงการให้ผลผลิตน้ำนมลดลง แต่ถ้าใช้คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างในระดับที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของสัตว์ได้ เช่น เกิดแอซิโดซีส (acidosis) ทำให้เกิดท้องอืด (bloat) (Coomer et al., 1993) และได้แนะนำว่าไม่ควรใช้คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างเกิน 42 เปอร์เซ็นต์ Sarwar et al. (1992) รายงานว่าการใช้คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างถึงระดับ 47 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน และผลผลิตน้ำนมลดลง ดังนั้นการใช้คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างควรจะอยู่ระหว่าง 25-26 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร

2.2.2 ผลของคาร์โบไฮเดรทต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน อาหารคาร์โบไฮเดรทมีบทบาทต่อกระบวนการหมัก เนื่องจากจะเป็นตัวกำหนดชนิด และปริมาณจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน มีผลต่อการสร้างเป็นผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมัก อัตราการหมักย่อยคาร์โบไฮเดรทมีผลต่อความสามารถในการให้พลังงานได้ต่ำหรือสูง และความรวดเร็วในการเจริญเติบ

โตของ จุลินทรีย์ ซึ่งความสามารถในการเจริญของจุลินทรีย์ จะมีความสัมพันธ์กับการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรท ดังสมการ (Nocek and Russell, 1988)

$$1/Y = M / K + 1 / Yg$$

เมื่อ

Y = ผลผลิตของแบคทีเรีย (wt/wt of CH fermented)

M = กรัมของคาร์โบไฮเดรทต่อกรัมของแบคทีเรียต่อ ชั่วโมง

K = อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ต่อ ชั่วโมง

Yg = ผลผลิตสูงสุด (40 g of bacteria/ 100 g of organic matter fermentation)

ซึ่งค่าที่ได้จะบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของอาหารคาร์โบไฮเดรทที่ถูกย่อย และอัตราการย่อย เพื่อสร้างเป็นแบคทีเรีย ถ้าหากมีอัตราการหมักคาร์โบไฮเดรทที่สูง และอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียต่อชั่วโมงสูง ในขณะที่คาร์โบไฮเดรทถูกนำใช้อย่างมีประสิทธิภาพ จะทำให้ได้ผลผลิตของแบคทีเรียที่สูง ทำให้สัตว์ได้รับพลังงานจากกระบวนการหมัก ขณะเดียวกันก็ได้จุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ซึ่งสัตว์จะใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีนต่อไป

ก. ผลของคาร์โบไฮเดรทต่อแบคทีเรีย จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนมีหลายสปีชีส์ (species) แบคทีเรีย เป็นจุลินทรีย์ที่นับว่ามีความสำคัญหลักของประชากรทั้งหมดของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน แบคทีเรียเหล่านี้อาจจะติดมากับอาหารหรือสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เนื่องจากสภาพภายในกระเพาะรูเมนเป็นระบบไร้ออกซิเจน และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูง จึงทำให้แบคทีเรียที่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีอาหาร หรือ substrate มีความเป็นกรด-ด่าง และสภาพนิเวศน์ที่เหมาะสมเท่านั้น จึงจะสามารถเจริญเติบโตได้ (เมธา, 2533) ดังนั้นสภาพนิเวศน์วิทยาในกระเพาะรูเมน และอาหารจึงเป็นปัจจัยหลัก ที่จะเป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงชนิดและจำนวนแบคทีเรีย เช่น ถ้าหากมีคาร์โบไฮเดรทชนิด เซลยูโลส ก็จะมีแบคทีเรียกลุ่ม Cellulolytic bacteria สูง ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้จะผลิตน้ำย่อย เซลยูเลส (cellulase) เป็นแบคทีเรียที่มีมากที่สุดในกระเพาะรูเมนของสัตว์ที่ได้รับอาหารหยาบเป็นหลัก ได้แก่ *Cillobacterium cellulosovens, Bacteroides succinoginase, Ruminococcus flavefaciens* และ *R. albus* เป็นต้น แบคทีเรียที่ใช้เฮมไมเซลยูโลส (Hemicellulose digesting bacteria) ได้แก่ *Butyrivibrio fibrisovens, Lachnosperia multipariens* และ *Bacteroides ruminocola* เป็นต้น ถ้าหากสัตว์ได้รับอาหารคาร์โบไฮเดรทที่มีพลังงานสูง ที่มีอะไมโลส เป็นองค์ประกอบ ก็จะมีแบคทีเรียกลุ่ม Amylolytic digesting bacteria มาก ได้แก่ *Bacteroides amylophilus, Succinomonas amylophillus* และ *Selenomonas ruminantium* เป็นต้น

Table 2 Type of bacteria utilizing carbohydrate and fermentation end-product.

Type of bacteria	Type of carbohydrate ^{a}	Fermentation end-product ^{b}
Bacteroides succinogenes	C, A	F, A S, -C
Ruminococcus albus	C, X	F, A, E, H, C
Ruminococcus flavefaciens	C, X	F, A, E, H, -C
Butyrivibrio fibrisolvens	C, X, PR	F, A, B, L, E, H, C
Clostridium lockbeadii	C, PR	F, A, B, E, H, C
Streptococcus bovis	A, S, SS, PR	L, A
Bacteroides amylophillus	A, P, PR	F, A, S, -C
Bacteroides ruminicola	A, X, P, PR	F, A, P, S, -C
Succinomonas amylolytica	A, D	A, S, -C
Selemonas ruminantium	A, SS, PR	A, L, P, H, C
Lacbnospira multiparus	P, PR, A	F, A, E, L, H, C
Succinivibrio dextrinosolvens	P, D	F, A, L, S, -C
Spirochete species	P, SS	F, A, L, S
Megasphaera elsdenii	SS, LU	A, P, B, V, CP, H, C
Eubacterium ruminantium	SS	F, A, B, C

^{a}C = cellulolytic, X= xylanolytic, A= amylolytic, D= dextrinolytic, P= pectinolytic, PR= proteolytic SS= major soluble sugar fermentor. ^{b}F = formate, A = acetate, E =ethanol, P = propionate, L = lactate, B = butyrate, S = succinate, V = valerate, CP = capoate, H = hydogen and C = carbon dioxide.

Source : Russell and Hespell (1981)

นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียที่ใช้คาร์โบไฮเดรทชนิดอื่นๆ น้ำตาลชนิด ไซโลส จะมีแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างน้ำย่อยไซลาโนไลติก (xylanolytic) ได้แก่ *Ruminococcus albus, R. flavefaciens* และ *Butyrivibrio fibrisolvens* เป็นต้น และยังมีกลุ่มอื่นๆ อีก ดังได้แสดงใน Table 2 ซึ่งแบคทีเรีย

แต่ละกลุ่มจะใช้หรือต้องการอาหารที่แตกต่างกัน และให้ผลผลิตจากกระบวนการหมักที่แตกต่างกัน

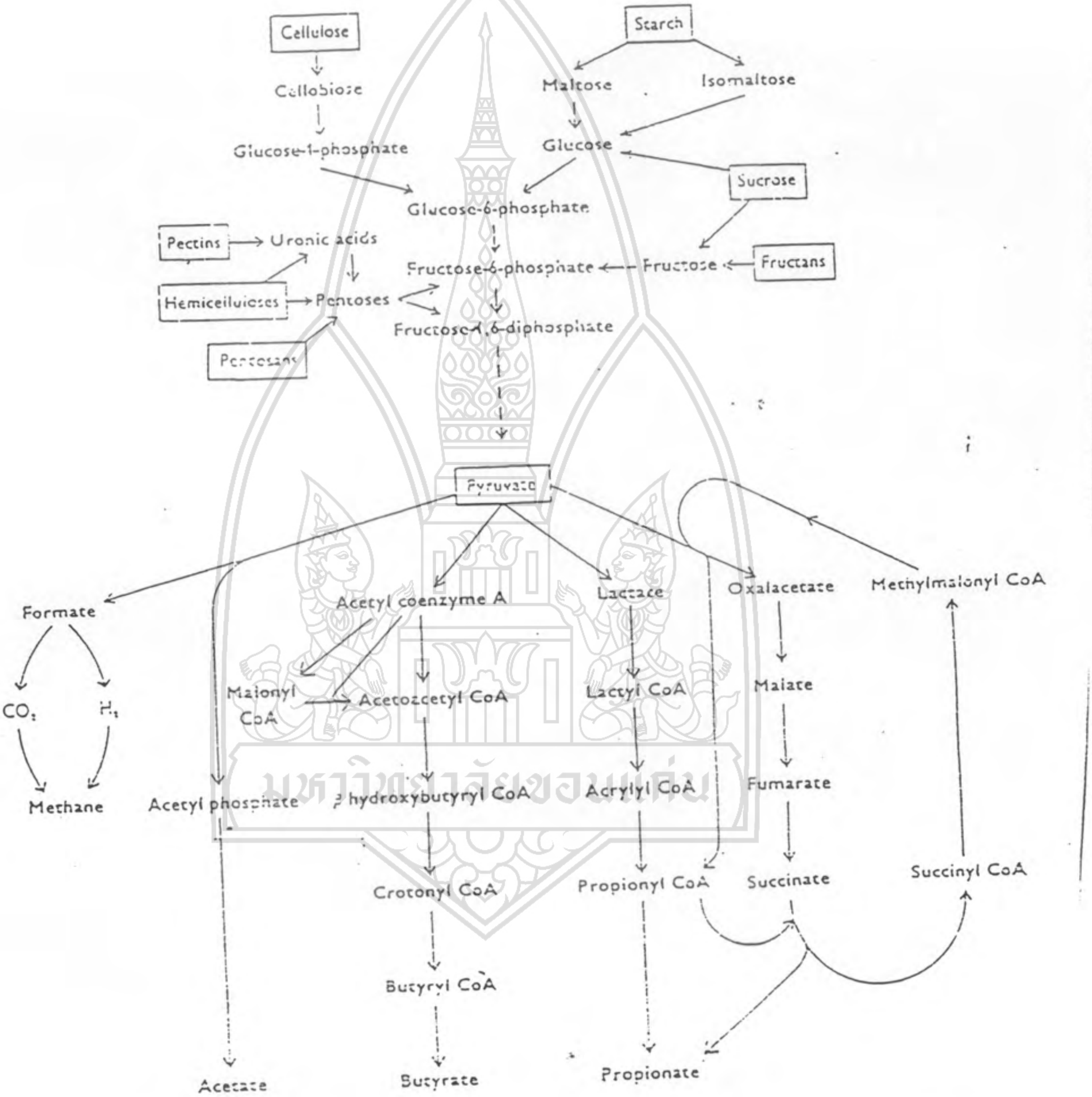
ข. ผลของคาร์โบไฮเดรทต่อโปรโตซัว (protozoa) โปรโตซัวเป็นจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนที่มีขนาดใหญ่ สามารถมองเห็นด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดธรรมดา ส่วนใหญ่ที่พบในกระเพาะรูเมนเป็นชนิดมีขน (ciliated protozoa) (Hungate, 1966) โปรโตซัวสามารถย่อยหมักคาร์โบไฮเดรท ให้ได้ อะซิเตท, บิวทีเรท, โพรพิออเนท และ แลคเตท โปรโตซัวที่ใช้แป้งเป็นอาหาร ได้แก่ *Isotricha intestinalis, Entodinio species* และ *Ophryoscolex sp.* เป็นต้น ถ้ามีอาหารคาร์โบไฮเดรทชนิดเฮมไมเซลยูโลส จะพบโปรโตซัวชนิด *Epidinium sp.* และกลุ่มที่ใช้น้ำตาล เช่น *Isotricha* และ *Dasytricha* เป็นต้น (Church and Fontenot, 1979)

ค. ผลของคาร์โบไฮเดรทต่อเชื้อรา (fungi) เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทเกี่ยวกับการหมักย่อยอาหารในกระเพาะรูเมน โดยเชื้อราจะฝังตัวอยู่ในเยื่อใยของอนุภาคอาหาร อาหารหยาบที่มีขนาดใหญ่เชื้อราจะมีส่วนในการเข้าย่อยสลายเป็นกลุ่มแรก โดยย่อยจากส่วนด้านในก่อน เชื้อราจะช่วยลดการจับยึดแน่นของอนุภาคอาหาร (Alkin et al., 1983 อ้างถึงโดย เมธา, 2533) เชื้อราที่พบในกระเพาะรูเมน ได้แก่ *Neocallimastix frontalis, Prinamonas communis* โดยเชื้อราเหล่านี้จะเป็นตัวช่วยย่อยคาร์โบไฮเดรท เช่น ย่อยแขนของ เฮมไมเซลยูโลส และลิกนิน ทำให้การย่อยสลายได้เร็วขึ้น

2.2.3 บทบาทของคาร์โบไฮเดรทในการสังเคราะห์เป็นกรดไขมันระเหยได้ อาหารคาร์โบไฮเดรทที่สัตว์กินเข้าไปจะถูกน้ำย่อยของจุลินทรีย์จากกระเพาะรูเมนเข้าย่อยสลายได้เป็นกลูโคส หรือ เพนโตส โดยผ่านวิถีต่าง ๆ จากนั้น กลูโคสและเพนโตส จะถูกสังเคราะห์ไปเป็น กรดไพรูวิค (pyruvic acid) หรือไพรูเวท (pyruvate) ซึ่งเป็นตัวกลางที่สำคัญในการสังเคราะห์ไปเป็นกรดไขมันระเหยได้ ดังแสดงในภาพที่ 1 คาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้จะถูกหมักในกระเพาะรูเมนอย่างรวดเร็ว ในที่สุดจะได้ผลผลิตสุดท้ายเป็น กรดไขมันระเหยได้ เช่น กรดติค, กรดโพรพิออนิค และกรดบิวทีริค เป็นต้น ซึ่งสัตว์จะดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมน ไปใช้ประโยชน์ ต่อไป

2.2.4 การใช้ประโยชน์ของกรดไขมันระเหยได้ ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของคาร์โบไฮเดรทที่ย่อยได้ทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดไขมันระเหยได้ ในกระเพาะรูเมน พลังงานที่อยู่ในรูปต่างๆ จะได้มาจากกรดไขมันระเหยได้ 3-42 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่ย่อยได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่ใช้ในการดำรงชีพ และ 70-80 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานรวม (Leng, 1969 อ้างถึงโดย

เมธา, 2533) กรดไขมันระเหยได้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ย่อยได้ และอีกประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของเซลล์จุลินทรีย์ประกอบด้วยกรดไขมันระเหยได้ ผลผลิตจากจุลินทรีย์


Cellulose
Cellobiose
Glucose-1-phosphate
Starch
Maltose
Isomaltose
Glucose
Sucrose
Glucose-6-phosphate
Pectins
Uronic acids
Fructose-6-phosphate
Fructose
Fructans
Hemicelluloses
Pentoses
Fructose-1,6-diphosphate
Pentosans
Pyruvate
Formate
Acetyl coenzyme A
Lactate
Oxalacetate
Methylmalonyl CoA
CO₂
H₂
Malonyl CoA
Acetoacetyl CoA
Lactyl CoA
Malate
Methane
Acetyl phosphate
β hydroxybutyryl CoA
Acrylyl CoA
Fumarate
Crotonyl CoA
Propionyl CoA
Succinate
Succinyl CoA
Butyryl CoA
Acetate
Butyrate
Propionate

ภาพที่ 1 กระบวนการหมัก ของอาหารคาร์โบไฮเดรทในกระเพาะรูเมน (Leng, 1969 อ้างถึงโดย เมธา, 2533)

อาจจะใช้ประโยชน์จากอาหารในสัดส่วนต่าง ๆ คือกรดไขมันระเหยได้ 60-70 เปอร์เซ็นต์, กรดแอมมิโน 20 เปอร์เซ็นต์, คาร์โบไฮเดรท 4 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 8 เปอร์เซ็นต์ ความผันแปรของปริมาณอาหารโปรตีนและแป้งขึ้นอยู่กับที่สัตว์ที่สัตว์ได้รับ (Preston and Leng, 1987) ร่างกายสัตว์จะดูดซึมกรดไขมันระเหยได้โดยเซลล์ผนังของกระเพาะ (rumen wall) เป็นส่วนใหญ่ ผลผลิตส่วนใหญ่จะเป็น กรดอะซิติค, กรดโพรพิออนิค และกรดบิวทีริค Barcroft et al. (1944) อ้างถึงโดย เมธา (2533) แสดงให้เห็นว่ากรดไขมันเหล่านี้จะถูกดูดซึมผ่านอย่างรวดเร็วและถูกนำไปใช้ประโยชน์ในที่สุด กระบวนการที่สำคัญเป็นกระบวนการออกซิไดซ์ของกรดไขมันระเหยได้

2.3 อาหารโปรตีน

โปรตีนเป็นโภชนะที่สำคัญในการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ทั้งนี้เพราะว่าโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักของร่างกาย มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย, เป็นส่วนประกอบของฮอร์โมน และเอ็นไซม์, การสร้างภูมิคุ้มกันเพื่อให้เกิดความต้านทานโรค และการให้ผลผลิต เช่น เนื้อ, น้ำนม, ขน และหนัง เป็นต้น สารประกอบไนโตรเจนที่มีอยู่ในอาหารสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือโปรตีนแท้ (true protein) และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (non-protein nitrogen, NPN) สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ ได้แก่ กรดแอมมิโน (amino acid), เปปไทด์ (peptide), เอไมด์ (amide), เอมีน (amine), เกลือแอมโมเนียม (ammonium salt), ไนเตรท (nitrate), ไนไตร์ท (nitrite), ยูเรีย (urea) และไบยูเรท (byurate) เป็นต้น อาหารโปรตีนส่วนใหญ่ที่สัตว์กินเข้าไปจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ จุลินทรีย์เหล่านี้จะมีอิทธิพลต่อการย่อยสลายอาหารโดยตรง (Hungate, 1966)

โดยทั่วไปแล้วโปรตีนในอาหารโคนม แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได่แก่ กลุ่มที่ละลาย (soluble protein) และกลุ่มที่ละลายได้น้อยหรือไม่ละลาย (insoluble protein) โปรตีนที่ละลายได้เร็ว เช่น โปรตีนที่ได้มาจาก สารประกอบโปรตีนที่ไม่ใช่ไนโตรเจน เช่น ยูเรีย เป็นต้น แต่ก็มีโปรตีนแท้หลายชนิดที่ละลายได้ง่าย เช่น โปรตีนในกากถั่วเหลือง (Tamminga, 1979) ซึ่งค่าการละลายได้ของโปรตีน จะมีการเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับ กรรมวิธีในการเก็บรักษา หรือชนิดของโปรตีน Satter and Roffler (1974) รายงานว่า ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนแท้ และเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ของสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้จะถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน แหล่งอาหารสัตว์จะมีความแตกต่างกันในด้านความสามารถในการย่อยสลาย ซึ่งมีความสำคัญต่ออัตราการไหลออก (outflow rate) ซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อขอบเขตการย่อยสลายของโปรตีน (เมธา, 2533) นอกจากนี้ขนาดอนุภาคของอาหารจะมีผลทำให้อัตราการไหลออกของอาหารจากกระเพาะรูเมนได้เร็วกว่าขนาดใหญ่ การเพิ่มระดับความเข้มข้นของอาหารโปรตีน จะช่วยเพิ่มระดับความเข้มข้นของ

แอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน เพิ่มระดับยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือดและลำไส้เล็ก Ha and Kennelly (1984) เพิ่มระดับโปรตีนจาก 13 เป็น 17 เปอร์เซ็นต์ในอาหารโคนม พบว่าทำให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นจาก 26.2 เป็น 28.1 กิโลกรัมต่อวัน ปริมาณการกินได้เพิ่มขึ้นจาก 17.9 เป็น 19.0 กิโลกรัมต่อวัน และการย่อยได้ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 66.1 เป็น 70.0 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามหากใช้โปรตีนในระดับที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงเป็น 27.5 และ 27.3 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อเพิ่มระดับโปรตีนเป็น 17 และ 19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระดับโปรตีนที่สูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้ผลผลิตลดลง ซึ่งในระบบการให้อาหารโปรตีนแก่โคนมนั้นจะต้องพยายามให้ในปริมาณที่เหมาะสมและเพียงพอทั้งปริมาณและคุณภาพ สำหรับการนำไปสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีน และไนโตรเจนที่ผ่านไปสู่ลำไส้เล็ก Satter (1986) ได้ให้ข้อเสนอเกี่ยวกับวิธีการจัดสัดส่วนโปรตีนในอาหารโคนมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของโปรตีน และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำนม คือ ทดแทนแหล่งโปรตีนในอาหารด้วยโปรตีนไหลผ่านทั้งหมด, ทดแทนแหล่งโปรตีนในอาหารด้วยโปรตีนไหลผ่านบางส่วน และทดแทนแหล่งโปรตีนในอาหารด้วยสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ พร้อมกับการเสริมแหล่งพลังงานและโปรตีนแท้ซึ่งสลายได้น้อยที่กระเพาะรูเมน ,

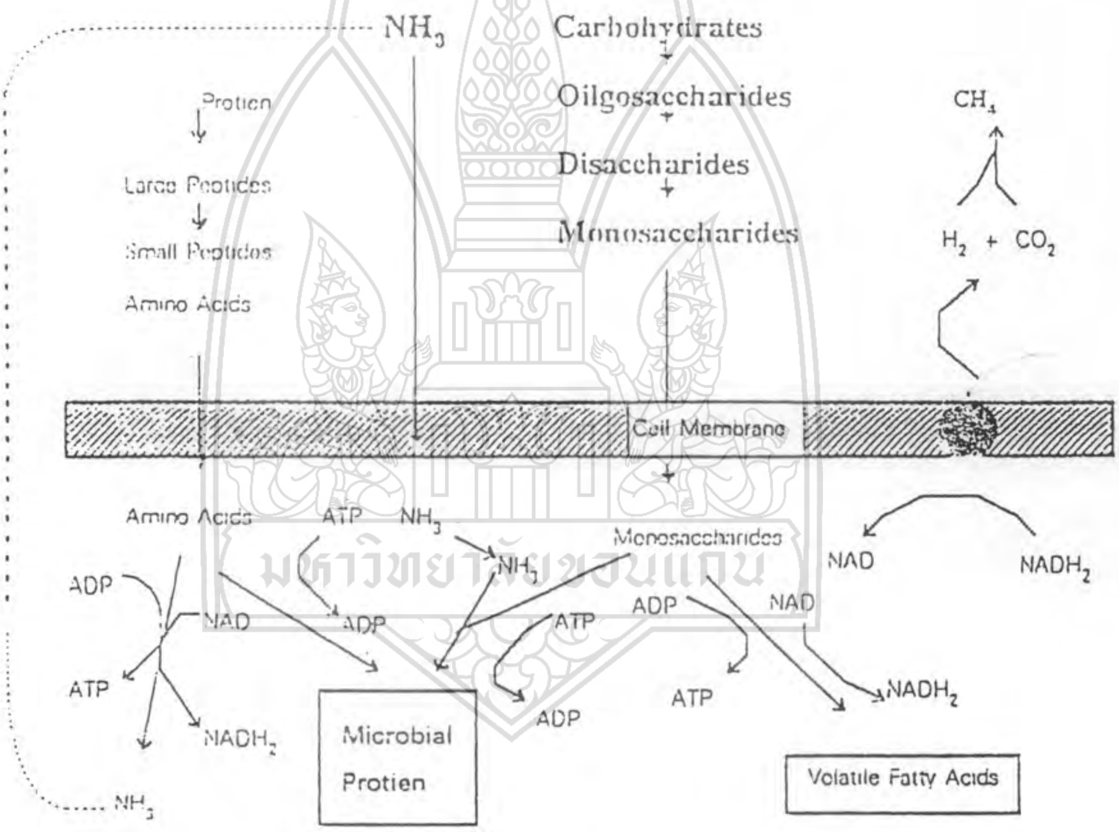
ข้อสรุปเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ของอาหารโปรตีน ยังไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนลงไป ทั้งนี้เนื่องจากแหล่งอาหารที่แตกต่างกันจะมีปริมาณและคุณภาพแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับ ลักษณะของโคนม เช่น พันธุ์, น้ำหนัก, อายุ, เพศ และช่วงของการให้ผลผลิตน้ำนม ทำให้สัตว์ต้องการปริมาณโปรตีนแตกต่างกันไป แต่โดยทั่วไปแล้วการให้อาหารโคนม ควรจะมีโปรตีนหยาบอยู่ในช่วง 15-17 เปอร์เซ็นต์ และเป็นโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ที่กระเพาะรูเมน ประมาณ 45-75 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนหยาบ (Nocek and Russell, 1988)

2.3.1 โปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (rumen degradable protein, RDP)

อาหารโปรตีนแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการย่อยสลายได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติขององค์ประกอบที่เป็นโครงสร้างของโปรตีนเหล่านั้น (Mahadevan et al., 1982) โดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide-bond) ในโปรตีนจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการย่อยสลายของอาหารโปรตีน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการย่อยได้ เช่น พันธะและตำแหน่งของพันธะ, ความเข้มข้นของเอ็นไซม์ และความเป็นกรด-ด่างภายในกระเพาะรูเมน (Preston and Leng, 1987) เป็นต้น สัดส่วนของโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนจะมีผลต่อระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในกระเพาะรูเมน จุลินทรีย์จะใช้แอมโมเนีย เพื่อสังเคราะห์ไปเป็นส่วน

ประกอบของจุลินทรีย์โปรตีน ดังนั้นโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนจึงเป็นโปรตีนที่มีบทบาทสำคัญต่อการรักษาความสมดุลย์ของไนโตรเจนในร่างกาย

1) การย่อยสลายของโปรตีนโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน อาหารโปรตีนที่ผ่านเข้าสู่กระเพาะรูเมน จะถูกจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนย่อยสลายได้เป็น เปปไทด์ และกรดแอมมิโน อาศัยเอ็นไซม์ โปรทีเอส (protease) และเปปติเดส (peptidase) จากจุลินทรีย์ (Church, 1974) โดยโพลี่เปปไทด์ (polypeptide) สายยาวของโปรตีนจะถูกย่อยสลายออกมาโดยการไฮโดรไลซีส (hydrolysis) ตรงตำแหน่งพันธะเปปไทด์ ได้เป็น เปปไทด์ และกรดแอมมิโน (Tamminga, 1979) ประมาณ 20-50 เปอร์เซ็นต์ ของกรดแอมมิโนและเปปไทด์ จะถูกใช้โดยแบคทีเรีย (Leng and Nolan, 1984) นอกจากแบคทีเรียแล้ว ยังมีโปรโตซัว และเชื้อรา ที่มีบทบาทในการย่อยอาหารโปรตีน ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป


NH$_3$
Carbohydrates
Oilgosaccharides
Disaccharides
Monosaccharides
CH$_4$
H$_2$ + CO$_2$
Protien
Large Peptides
Small Peptides
Amino Acids
Cell Membrane
Amino Acids
ATP
NH$_3$
Monosaccharides
NAD
NADH$_2$
ADP
NH$_3$
NAD
ADP
ATP
ADP
NAD
ATP
NADH$_2$
ADP
ATP
NADH$_2$
Microbial Protien
Volatile Fatty Acids
NH$_3$

ภาพที่ 2 การย่อยสลายอาหารโปรตีนและคาร์โบไฮเดรท โดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน (Nocek and Russell, 1988)

ก. การย่อยสลายอาหารโปรตีนโดยแบคทีเรีย สัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีความต้องการกรดแอมมิโน สำหรับสังเคราะห์ไปเป็นส่วนประกอบของจุลินทรีย์โปรตีนในกระเพาะรูเมน สัตว์จะได้กรดแอมมิโน กลับมาในรูปของจุลินทรีย์โปรตีนที่ไหลลงไปและถูกย่อยด้วยน้ำย่อยจากตัวสัตว์ที่ลำไส้เล็ก (Mackie and White, 1990) เอ็นไซม์โปรตีเอส และเปปติเดส จากแบคทีเรีย จะไฮโดรไลซีส พันธะเปปไทด์ ของโพลี่เปปไทด์ ได้ เปปไทด์ และกรดแอมมิโน และถูกนำไปสร้างเป็นส่วนประกอบของจุลินทรีย์โปรตีน และกรดไขมันระเหยได้ บางส่วนเป็น แอมโมเนีย, แกสคาร์บอนไดออกไซด์, ไฮโดรเจน, เมทเธน และความร้อน เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 2 ได้แสดงให้เห็นถึงการใช้ประโยชน์ของอาหารโปรตีน และคาร์โบไฮเดรท โดยแบคทีเรียในกระเพาะรูเมน

แบคทีเรียกลุ่มที่ทำหน้าที่ในการย่อยอาหารโปรตีน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ตามการย้อมติดสี (Mackie and White, 1990) คือ แบคทีเรียแกรมลบ ได้แก่ *Butyrivibrio fibrisolvens, Streptococcus bovis, Lachnospira species, Eubacterium sp.* และ *Clostridium sp.* และแบคทีเรียแกรมบวก ได้แก่ *Bacteroides ruminicola, Bacteroides amylophilus, Megasphaera elsdenii, Selenomonas ruminantium* และ *Succinivibrio sp.* เป็นต้น

ข. การย่อยสลายอาหารโปรตีนโดยโปรโตซัว โปรโตซัวในกระเพาะรูเมนจะแปรปรวนไปตามชนิดของอาหารเป็นหลัก โดยเฉพาะอาหารที่มีความเข้มข้นของโภชนะสูง (high grain) ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในกระเพาะรูเมนลดต่ำลง ทำให้โปรโตซัวเจริญเติบโตได้ดี (Leng and Nolan, 1984) เมื่อโปรโตซัวถูกย่อยที่ลำไส้เล็กจะได้ส่วนที่เป็นไนโตรเจน เช่นเดียวกับแบคทีเรีย แต่อย่างไรก็ตามโปรโตซัวจะมีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย สามารถกลืนกิน (engulf) เป็นอาหารซึ่ง Coleman and Sandford (1979) ศึกษาพบว่า โปรโตซัวจะกลืนแบคทีเรียเป็นอาหาร 10^8 cell bacteria/day ที่ความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 6 ทำให้แบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดโปรโตซัว (defaunation)

ค. การย่อยสลายอาหารโปรตีนโดยเชื้อรา เชื้อราเป็นจุลินทรีย์กลุ่มแรกที่เข้าย่อยสลายอาหาร จะย่อยสลายจากข้างในก่อน จะช่วยลดความแข็งแรงการจับกันของอนุภาคอาหาร (Akin et al., 1983 อ้างถึงโดย เมธา, 2533) และการเข้าย่อยสลายพันธะ (break-down) ส่วนที่ไม่ละลาย ทำให้การย่อยได้ของอาหารโปรตีนและส่วนอื่นๆ ดียิ่งขึ้น ได้แก่ กลุ่ม *Neocallimasti frontaris, Piramonas communis* และ *Sphaeromonas communis* (Orpin, 1977 อ้างถึงโดย เมธา, 2533)

2) การนำใช้แอมโมเนียในกระเพาะรูเมน การย่อยอาหารโปรตีนทั้งจากโปรตีนแท้ และไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้สิ่งที่ได้ก็คือ แอมโมเนีย แอมโมเนียที่ได้จะถูกนำไปรวมกับหมู่ของกรดคีโต ซึ่งได้จากกระบวนการย่อยคาร์โบไฮเดรท เพื่อสังเคราะห์ไปเป็นกรดแอมมิโน และกรดแอมมิโนจะถูกจุลินทรีย์นำไปสังเคราะห์จนได้กรดแอมมิโนอิสระที่สัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้ ดังแสดงในสมการ

1. $\text{carbohydrate} \xrightarrow[\text{enzymes}]{\text{microbial}} \text{volatile fatty acid + keto acid}$

2. $NH_3 + \text{keto acid} \xrightarrow[\text{enzymes}]{\text{microbial}} \text{amino acid}$

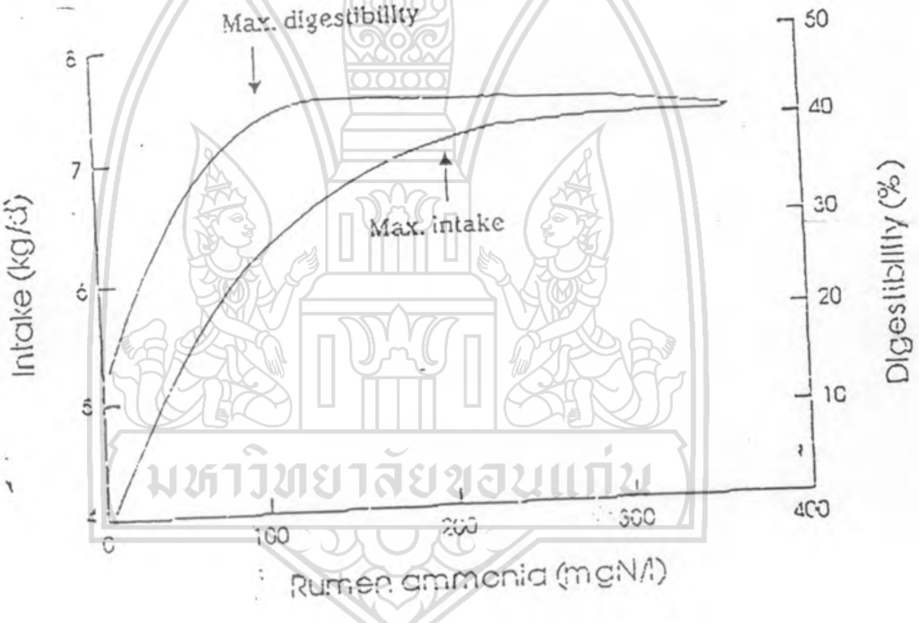
3. $\text{amino acids} \xrightarrow[\text{enzymes}]{\text{microbial}} \text{microbial protein}$

4. $\text{microbial protein} \xrightarrow[\text{abomasum and small intestine}]{\text{animal enzyme in the}} \text{free amino acid}$

5. $\text{free amino acids} \longrightarrow \text{absorbed for utilization in animal body tissue}$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่าแอมโมเนียเป็นตัวทำหน้าที่ในปฏิกิริยาของการใช้ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ ในระบบของสัตว์เคี้ยวเอื้อง อย่างไรก็ตามการที่จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายสารตั้งต้นได้ ปฏิกิริยาก็จะหยุด ทำให้ไม่ได้ผลผลิตที่สัตว์ต้องการ ในการใช้ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ ร่วมกับอาหารหยาบคุณภาพต่ำซึ่งประกอบด้วย สารประกอบลิกโนเซลยูโลส (lignocellulose complex) ทำให้กระบวนการย่อยสลายยูเรีย เกิดเร็วกว่ากระบวนการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรท หากเกิดเช่นนี้จะเป็นการจำกัดการผลิตกรดคีโต เป็นผลทำให้มีการสูญเสียแอมโมเนียผ่านกระเพาะรูเมน ทำให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนในอาหารเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้าอัตราของการได้รับยูเรียของสัตว์เหมาะสมกับอัตราการย่อยสลายของเซลยูโลส จะทำให้การใช้ประโยชน์ของไนโตรเจนดีขึ้น จึงเป็นเรื่องที่น่าจะมีการศึกษาอย่างละเอียดยิ่งขึ้น

ระดับของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมนเพื่อทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับของการให้อาหาร ความสามารถในการละลายได้ของโปรตีนในอาหาร แหล่งของคาร์โบไฮเดรท แหล่งของแร่ธาตุ และความถี่ในการให้อาหารเป็นต้น Satter and Slyter (1974) รายงานว่าระดับของแอมโมเนียที่เหมาะสมควรจะอยู่ระหว่าง 50-80 มิลลิกรัมต่อลิตร ของของเหลวรูเมน ซึ่งทำให้การเจริญของจุลินทรีย์สูงสุด ระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในกระเพาะรูเมนที่เหมาะสม ที่ทำให้ปริมาณการกินได้สูงสุด ประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่ทำให้การย่อยได้สูงสุด ประมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (Perdock et al., 1988) ดังแสดงใน ภาพที่ 3

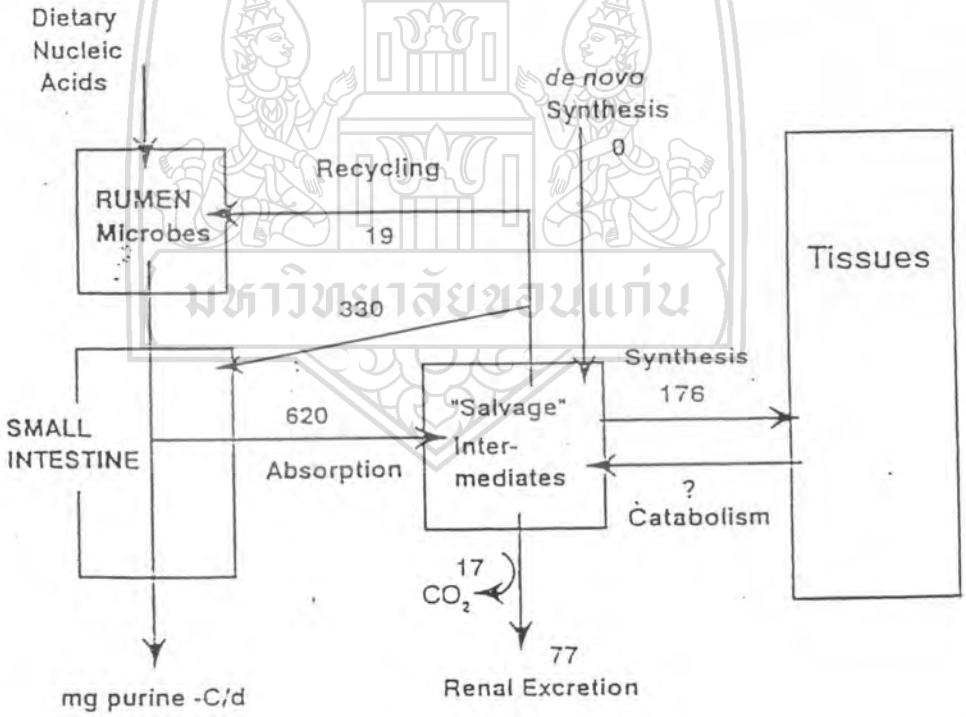


ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ต่อปริมาณการกินได้และความสามารถในการย่อยได้ (Perdock et al., 1988)

3) การหมุนเวียนกลับของไนโตรเจนเข้าสู่กระเพาะรูเมน (nitrogen-recycling) ไนโตรเจนสามารถกลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนในรูปของยูเรียโดยผ่านทางน้ำลายและผ่านผนังกระเพาะรูเมนโดยกระบวนการแพร่ (diffusion) เป็นการช่วยให้สัตว์สามารถใช้ไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำ หรืออยู่ในระยะที่อดอาหาร ได้มีการคำนวณว่าประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่สัตว์ได้รับจะถูกนำกลับสู่กระเพาะรูเมนได้ (เมธา, 2533) ในแกะผ่านทางเลือดเข้าสู่กระเพาะรูเมนมากกว่าผ่านทางน้ำลายถึง 16 เท่า (Houpt, 1968 อ้างถึงโดย Church, 1974) และพบว่ายูเรียส่วนใหญ่ที่ผ่านรูเมนเข้าไปจะอยู่ในรูปแอมโมเนีย เนื่องจากมีน้ำย่อย ยูรีเอส (urease) จากจุลินทรีย์ในรูเมนเข้าไปใน อีพิทีเลี่ยม (epithelium) และแอมโมเนียมีการแพร่เร็วกว่ายูเรีย Van Soest (1982) พบว่าการนำกลับของไนโตรเจนขึ้นอยู่กับปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์กินเข้าไป แต่การเพิ่มไนโตรเจนในอาหารบางครั้งไม่จำเป็นจะต้องมีการเพิ่มการนำกลับไนโตรเจนเข้าสู่กระเพาะรูเมนเสมอไป เพราะว่าแหล่งรวมยูเรีย (urea pool) ในร่างกายอยู่ภายใต้การควบคุมให้คงที่โดยทางสรีระของสัตว์ และไนโตรเจนที่กลับเข้าสู่กระเพาะรูเมนนี้ มีจำนวนไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ จำเป็นต้องได้เพิ่มจากอาหาร

4) ระดับของโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน ในอาหารโคนม สัดส่วนของโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน ในอาหารโคนมยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่าระดับที่เหมาะสมมีค่าเท่าใด ซึ่ง NRC (1988) รายงานว่าโคในระยะแรกของการให้ผลผลิตน้ำนม ควรจะมีโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนไม่ควรต่ำกว่า 9.7 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้ง อย่างไรก็ตาม ระดับของโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน จะต้องคำนึงถึงความสมดุลระหว่างแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและโปรตีนแท้ด้วย (Russell and Sniffen, 1984) Hoover and Stokes (1991) พบว่า การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะถูกจำกัด ถ้าหากมีโปรตีนที่ถูกย่อยในกระเพาะรูเมนต่ำกว่า 10-11 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้ง และการเจริญของจุลินทรีย์สูงสุด เมื่อได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน 14-15 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้ง Nocek and Russell (1988) แนะนำว่าปริมาณการกินได้ของโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (rumen available protein intake) ในโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมเฉลี่ย 33.7 กิโลกรัมต่อวัน ควรจะอยู่ระหว่าง 1.3-3.0 กิโลกรัมต่อวัน

5) การประเมินการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจากอนุพันธ์ของพิวรีนที่ขับออกมากับปัสสาวะ (The estimation of microbial protein synthesis from purine derivatives excretion) จุลินทรีย์โปรตีนที่สร้างในกระเพาะรูเมน จะไหลผ่านไปยังลำไส้เล็ก ซึ่งถูกย่อยได้เป็นกรดแอมมิโนที่สัตว์เคี้ยวเอื้องต้องการ โดยองค์ประกอบของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ (organic matter) ประมาณ 77 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้ง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นไนโตรเจน, พิวรีน และกรดไดแอมมิโนไพเมริก (diaminopimelic acid, DAPA) (Clark et al., 1992) การวัดอนุพันธ์ของพิวรีน (purine derivatives) จากปัสสาวะเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถบ่งบอกถึงผลผลิตของจุลินทรีย์โปรตีน ทั้งนี้เพราะว่าอนุพันธ์ของพิวรีนเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของกรดนิวคลีอิกที่ขับออกมาพร้อมกับปัสสาวะ อัตราการไหลของจุลินทรีย์จากกระเพาะรูเมนมีความสัมพันธ์กับระดับการขับของอนุพันธ์ของพิวรีนที่ขับออกมากับปัสสาวะ (Kahn and Nolan, 1992) และอาหารที่สัตว์กินมีผลต่อ ระดับการขับของอนุพันธ์ของพิวรีนที่ขับออกมากับปัสสาวะ และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน (Chen and Gomest, 1992) จุลินทรีย์จากกระเพาะรูเมนที่ไหลผ่านไปยังลำไส้เล็กตอนต้น (duodenum) จะถูกกรดนิวคลีอิก ย่อยโดยอาศัยการทำงานของเอ็นไซม์โปรทีโอไลติก ได้เป็นนิวคลีโอโปรตีน (nucleoprotein) หลังจากนั้นถูกย่อยต่อด้วยเอ็นไซม์นิวคลีเอส (nuclease) ที่หลั่งจากตับอ่อนย่อยได้เป็นโอลิโกนิวคลีโอไทด์ (oliginucleotides) และโมโนนิวคลีโอไทด์


Dietary
Nucleic
Acids
de novo
Synthesis
0
Recycling
RUMEN
Microbes
19
Tissues
330
Synthesis
176
620
"Salvage"
Inter-
mediates
SMALL
INTESTINE
Absorption
?
Catabolism
17
CO₂
77
mg purine -C/d
Renal Excretion

ภาพที่ 4 วิถีของอนุพันธ์ของพิวรีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (mg purine /day) (Khan and Nolan, 1992) (mononucleotides) โมโนนิวคลีโอไทด์จะถูกย่อยสลายต่อในลำไส้เล็กโดย เอ็นไซม์นิวคลีโอติเดส (nucleotidase) ได้เป็นนิวคลีโอไซด์ (nucleoside) และหมู่ของฟอสเฟต (phosphate) นิวคลีโอไซด์ที่ได้ถูกดูดซึมผ่านผนังของลำไส้เล็ก และถูกย่อยสลายต่อไปในตับ และเนื้อเยื่ออื่น ๆ เช่น ม้าม, ไต และไขกระดูก ด้วยเอ็นไซม์ฟอสฟอริเลส (phosphorylase) ได้เป็นเบสอิสระ คือพิวรีนและไพริมิดีน (pyrimidine) (อาภัสรา, 2537) ส่วนหมู่ฟอสเฟตที่ได้จะถูกเติมเข้าไปในน้ำตาลเพนโตส ได้เป็นเพนโตส-1 ฟอสเฟต(pentose-1 phosphate) และถูกดูดซึมไปใช้ในกระบวนการเมทธาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรท ต่อไป ส่วนพิวรีน และไพริมิดีน สามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก ได้โดยวิถีซาลเวจ (salvage pathway) แต่ส่วนใหญ่จะถูกสลายต่อและถูกขับออกนอกร่างกาย (Chen and Gomest, 1992 และ Khan and Nolan, 1992) ดังแสดงในภาพที่ 4

2.3.2 โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน หรือ โปรตีนไหลผ่าน (rumen undegradable protein, RUP)

ก) ความสำคัญของโปรตีนไหลผ่าน เป้าหมายของการจัดอาหารโปรตีนในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพื่อให้เกิดความเหมาะสม และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ในการใช้อาหารไนโตรเจน เพื่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตน้ำนมต่อหน่วยไนโตรเจนที่บริโภคสูงสุด มี 2 แนวทางหลักในเรื่องการจัดการอาหารโปรตีน (Schwab, 1995) ทางแรก คือ ชนิดและจำนวนอาหารโปรตีนที่ถูกย่อยที่กระเพาะรูเมน จะต้องเพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์ และมีความสัมพันธ์กับชนิดและจำนวนคาร์โบไฮเดรท ทางที่สอง คือต้องมีโปรตีนไหลผ่าน เพื่อให้เกิดความสมดุลของกรดแอมมิโน การเพิ่มโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนแต่สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ลำไส้เล็ก จะช่วยให้ผลผลิตน้ำนมและโปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้น (Chalupa, 1976a) และยังทำให้ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (Schwab, 1995) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโคระยะแรกของการให้ผลผลิตน้ำนม และในโคนมที่ให้ผลผลิตสูง ถ้าการย่อยได้ของอาหารโปรตีนในกระเพาะรูเมนได้ต่ำ จะทำให้สัตว์ขาดโปรตีนได้ ดังนั้นการเพิ่มระดับโปรตีนไหลผ่านจะทำให้สัตว์ได้รับโปรตีนเพียงพอ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนได้ดีขึ้น (Wohlt et al., 1991) และยังทำให้สัตว์ได้รับโภชนะอื่น และกรดแอมมิโนที่จำเป็นเพิ่มขึ้นอีกด้วย (Kung and Huber, 1983)

ข) ความต้องการกรดแอมมิโนในโคนม กรดแอมมิโนมีความจำเป็นในสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีความจำเพาะต่อกระบวนการเมทธาโบลิซึม เพื่อการดำรงชีพ การสร้างเป็นผลผลิต กรดแอมมิโนยังเป็นสารตั้งต้น (precursors) สำหรับการสังเคราะห์โปรตีน, สะสมไว้ในรูปสารประกอบไนโตรเจนอื่น และใช้เป็นแหล่งพลังงานสะสมในร่างกาย (Schwab, 1995) ในโคนมกรดแอมมิโนไลซีน (lysine) และ เมทไธโอนีน (methionine) เป็นกรดแอมมิโน 2 ตัวแรกที่พบว่ามีบทบาทสูง

ต่อการให้ผลผลิตน้ำนมและการเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนม ซึ่งศึกษาโดยการฉีดกรดแอมมิโน หรือการป้องกันการย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (Schwab, 1995) Rulquin et al. (1993) สรุปว่า ไลซีนและเมทไธโอนีน เป็นกรดแอมมิโนที่จำเป็นสองตัวแรกในโคนม และพบว่าโคนมต้องการไลซีน 15-16 เปอร์เซ็นต์ ของกรดแอมมิโนที่จำเป็น หรือ 7.3 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนที่ถูกย่อยที่ลำไส้เล็ก และต้องการเมทไธโอนีน 5.0-5.5 ของกรดแอมมิโนที่จำเป็น หรือ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนที่ย่อยได้ที่ลำไส้เล็ก กรดแอมมิโนที่ย่อยได้จริงที่ลำไส้เล็ก โดยการคำนวณ ได้ 85 เปอร์เซ็นต์ ในแกะสามารถย่อยได้ถึง 87 เปอร์เซ็นต์ และกรดแอมมิโนแต่ละตัวจะถูกย่อยได้แตกต่างกัน เช่น โพรลีน (proline) ย่อยได้ 76 เปอร์เซ็นต์, ซีสทีอีน (cysteine) ย่อยได้ 73 เปอร์เซ็นต์, ฮีสติดีน (histidine) ย่อยได้ 68 เปอร์เซ็นต์ และ ไดแอมมิโนไพมิลิค ย่อยได้ 37 เปอร์เซ็นต์ (Tasetal, 1981 อ้างถึงโดย Schwab, 1995)

ค) การป้องกันการย่อยสลายอาหารในกระเพาะรูเมน ในวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดจะมีปริมาณของโปรตีนไหลผ่านแตกต่างกันไป นอกจากนี้การป้องกันการย่อยอาหารโปรตีนในกระเพาะรูเมนยังขึ้นกับกรรมวิธีในการต่างๆ เช่นใช้ฟอร์มาลดีไฮด์และกรดฟอร์มิคในพืชอาหารสัตว์หมัก พบว่าประสิทธิภาพการผลิตสัตว์ดีขึ้น (Chalupa, 1974) การทรีทต์ด้วยความร้อน ก็สามารถทำให้การย่อยได้ที่กระเพาะรูเมนลดลงและไหลผ่านเพิ่มขึ้น (Chalmer et al., 1954) สอดคล้องกับรายงานของ ฉลอง และคณะ (2534) ซึ่งพบว่าเมื่อให้ความร้อนแก่ กากเมล็ดฝ้าย และกากถั่วเหลือง ทำให้การย่อยของโปรตีนในกระเพาะรูเมนลดลง การป้องกันการย่อยกรดแอมมิโนในกระเพาะรูเมนก็เป็นวิธีที่นิยม โดยเฉพาะกรดแอมมิโนที่จำเป็น เช่น เมทไธโอนีน และไลซีน พบว่าทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น และคุณภาพของน้ำนมดีขึ้น (Schwab et al., 1976)

ง) ระดับของโปรตีนไหลผ่านในอาหารโคนม พิทยา (2536) ศึกษาระดับโปรตีนไหลผ่านในอาหารโคนม โดยใช้โปรตีนไหลผ่าน 3 ระดับ คือ 34, 38 และ 42 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณการกินได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่การย่อยได้วัตถุแห้ง, อินทรีย์วัตถุและผนังเซลล์ ที่ระดับ 42 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าที่ระดับ 34 และ 38 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนผลผลิตน้ำนมไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ที่ระดับ 38 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มว่าจะให้ผลผลิตดีกว่า สอดคล้องกับรายงานของ Sklan and Tinsky (1993) ที่รายงานว่า ในโคนมที่ได้รับโปรตีนไหลผ่านที่ระดับ 38 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มผลผลิตน้ำนม, ไขมัน และโปรตีนในน้ำนม และยังทำให้ประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับโคนมที่ได้รับโปรตีนไหลผ่านที่ระดับ 34 เปอร์เซ็นต์ Donaldson et al. (1991) ศึกษาการเสริมโปรตีนไหลผ่านในโคนมเพศผู้เจาะกระเพาะ พบว่าปริมาณการกินได้, การย่อยได้ของ NDF และ ADF และกลุ่มที่เสริมโปรตีนไหลผ่านระดับสูง มีการย่อยได้ของโปรตีนสูงกว่าในกลุ่มที่เสริมในระดับต่ำ สอดคล้องกับรายงานของ Bunting et al.

(1989) ที่พบว่ากลุ่มที่เสริมโปรตีนไหลผ่าน มีปริมาณการกินได้ของอินทรีย์วัตถุ, ไนโตรเจนที่ดูดซึม และไนโตรเจนที่เก็บกักในร่างกาย สูงกว่าในกลุ่มที่ไม่เสริม Karges et al. (1992) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารภายในกระเพาะรูเมน พบว่าในโคนมเพศผู้ตอนที่ได้รับการเสริมโปรตีนไหลผ่าน มีความสามารถในการย่อยได้ของโปรตีนสูงกว่าในกลุ่มที่ไม่เสริม และ Gibb et al. (1992) พบว่าระดับของกรดแอมมิโนในพลาสมาจะเพิ่มขึ้นตามระดับโปรตีนไหลผ่านที่เพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นตรง ส่วน Zinn and Owen (1993) ศึกษาการเสริมโปรตีนไหลผ่านในโคนมเพศผู้ตอน โดยเสริมโปรตีนไหลผ่านในระดับ 0, 2, 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง, อินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจน จะสูงขึ้นตามระดับโปรตีนไหลผ่านที่เพิ่มขึ้น

2.3.3 สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ (non-protein nitrogen, NPN)

สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ ส่วนใหญ่จะประเมินว่าเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนที่ถูกย่อยสลาย และถูกนำไปสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีน (เมธา, 2533) ซึ่ง NRC (1989) สรุปว่าการใช้ยูเรียเป็นแหล่งของสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ เปรียบเสมือนการใช้เพื่อเป็นแหล่งของโปรตีนที่ย่อยสลายได้ (digestible intake protein, DIP) แต่อย่างไรก็ตามการนำยูเรียมาใช้ในการประกอบสูตรอาหารโคนม ยังมีปัญหาและข้อจำกัด เช่น อาจจะเป็นพิษหากใช้ในปริมาณที่สูง การใช้ประโยชน์ของยูเรียให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จะมีความสัมพันธ์กับพลังงานซึ่ง Burroughs et al. (1971) อ้างถึงโดย เมธา (2533) ได้เสนอการนำยูเรียมาใช้ร่วมกับสูตรอาหารชนิดอื่น โดยใช้ระดับ urea fermentation potential (UFP) โดยอาศัยระดับของพลังงานที่ย่อยได้และปริมาณของโปรตีนที่ถูกย่อยสลายที่กระเพาะรูเมนได้ สามารถใช้สูตรในการคำนวณค่า urea fermentation potential ของอาหารแต่ละชนิด ดังนี้

$$UFP = \frac{(1.044\ TDN-B)}{2.8}$$

โดย

UFP = urea fermentation potential

B = ปริมาณของโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (กรัม ใน 1 กิโลกรัมของอาหารที่สัตว์กิน

2.8 = ค่าเปลี่ยนโปรตีนให้เป็นค่าไนโตรเจนของยูเรีย

TDN = total digestible nutrient

QW
SF
ป452

ห้องสมุดกลาง มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เมื่อคำนวณได้ค่า urea fermentation potential ถ้าหากมีค่าสูงก็แสดงว่าการใช้ยูเรียร่วมกับอาหารชนิดนั้น ๆ จะให้ผลดี ซึ่งสามารถนำหลักการนี้ไปใช้ในการประกอบสูตรอาหาร เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการนำยูเรียมาใช้

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและพลังงานในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

สมดุลโภชนะระหว่างโปรตีนและพลังงานในสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นปัจจัยที่มีความจำเป็นเนื่องจากโปรตีนและพลังงานต่างก็มีผลต่อการเจริญเติบโต ปริมาณการกินได้ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ตลอดจนการดูดซึมและนำไปสร้างเป็นผลผลิต ซึ่งความต้องการพลังงานและโปรตีนนั้นแยกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนแรกเป็นความต้องการสำหรับจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน และอีกส่วนหนึ่งเป็นความต้องการสำหรับตัวสัตว์เอง (McCarthy et al., 1989) ในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนต่อหน่วยของคาร์โบไฮเดรทที่ถูกหมักจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน (Mansfield et al., 1994) การใช้ประโยชน์ของโปรตีนที่ย่อยได้มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับปริมาณ metabolizable energy (ME) ที่ได้รับ อาหารที่ขาดความสมดุลของพลังงานและโปรตีนมีผลทำให้การผลิตน้ำนม การย่อยได้ของไนโตรเจน และไนโตรเจนในน้ำนมลดลง (Gordon and Forbes, 1970 อ้างถึงโดย เมธา, 2533) โปรตีนเป็นแหล่งที่จุลินทรีย์ จะนำเอาไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยพลังงานเข้ามาเกี่ยวข้องในกรณีที่สัตว์ได้รับพลังงานไม่เพียงพอ โปรตีนจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน (Henning et al., 1993) Moe and Tyrrel (1972) อ้างถึงโดย เมธา (2533) รายงานว่า การเพิ่มระดับของโปรตีนในอาหารที่ใช้ระดับพลังงานเท่ากัน (isocaloric) ช่วยปรับปรุงการย่อยได้ของโปรตีนและประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีน และพลังงาน จะมีผลกระทบต่อปัจจัยหลักที่สำคัญ เช่น ความสามารถในการย่อยได้, ปริมาณการกินได้ รวมทั้งการสังเคราะห์จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนด้วย (Oldham, 1984) ความแปรปรวนของแหล่งคาร์โบไฮเดรทและความสามารถในการย่อยได้ของอาหารมีผลอย่างมากต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์ และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของสารอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Casper et al., 1990) ในอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำจะเป็นตัวจำกัดปริมาณการกินได้ เพราะมีไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ กิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจึงลดลง มีผลทำให้อัตราการย่อยสลายของอาหารลดลง แต่ถ้าโปรตีนเกินระดับที่เหมาะสมจะทำให้ความสมดุลของพลังงานลดลงนั่นคือทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของ metabolization energy ลดลง แต่ในสภาพที่มีโปรตีนเพียงพอ ตัวที่จำกัดการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนคือพลังงาน ดังนั้นจึงต้องมีโภชนะทั้งสองอย่างเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์และต่อตัวสัตว์เอง Van Horn et al. (1969) พบว่าสัดส่วนระหว่างพลังงานต่อโปรตีน โดยพิจารณาใน

รูปของ total digestible nutrient : crude protein (TDN : CP) จะมีความน่าเชื่อถือในการนำมาพิจารณาเพื่อการประกอบสูตรอาหารตามความต้องการของสัตว์ มากกว่าการพิจารณาเพียงโปรตีน อย่างเดียว เมื่อสัตว์กินอาหารโปรตีนและพลังงานเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนเพิ่มขึ้น อัตราการย่อยอาหารเพิ่มขึ้น อัตราการไหลผ่านเร็วขึ้น ทำให้ปริมาณการกินได้เพิ่มขึ้น Van Soest (1982) พบว่าในอาหารที่มีโปรตีนต่ำคืออยู่ในช่วง 6-8 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ปริมาณการกินได้ต่ำ และประสิทธิภาพการย่อยอาหารในกระเพาะรูเมนลดลงเนื่องจากขาดแหล่งไนโตรเจนสำหรับจุลินทรีย์ การสูญเสียไนโตรเจนทางมูล และความสมดุลไนโตรเจนเป็นลบ (negative nitrogen balance) จะเพิ่มมากขึ้นถ้ามีการเพิ่มอาหารคาร์โบไฮเดรทที่มีการย่อยได้สูง ในอาหารที่มีไนโตรเจนต่ำ แหล่งของคาร์โบไฮเดรทที่มีการย่อยสลายง่าย ในโคนมระยะให้ผลผลิตอาจทำให้การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนสูงสุด และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของโปรตีนไหลผ่านสมดุล เมื่อมีการเพิ่มของการใช้แอมโมเนียในกระเพาะรูเมนโดยจุลินทรีย์โปรตีน โดยปัจจัยที่มาจำกัดการใช้ สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ คือ แหล่งของพลังงานนั่นเอง (Huber and Kung, 1981 อ้างถึงโดย Casper et al., 1990) สอดคล้องกับรายงานของ Aldrich et al. (1993) กล่าวว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียต่ำลงเมื่ออาหารมีพลังงานสูง ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า มีการเพิ่มการใช้ประโยชน์ของ คาร์โบไฮเดรทที่ละลายง่าย ซึ่งจะทำให้กรดคีโต เพื่อใช้ร่วมกับแอมโมเนียในการสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีน

2.5 อาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ในอาหารโคนม

ในโคนมที่ให้ผลผลิตสูงมีความจำเป็นต้องได้รับโปรตีนในระดับที่สูงขึ้นกว่าปกติ นอกจากสัตว์ได้รับโปรตีนจากจุลินทรีย์โปรตีน และจากการสลายของเยื่อบุภายในแล้ว จำเป็นจะต้องได้รับโปรตีนจากอาหารที่ผ่านไปยังกระเพาะรูเมนเพื่อให้ได้รับโปรตีนที่เพียงพอกับความต้องการของสัตว์ (Leng and Nolan, 1984) ซึ่งการสังเคราะห์ไปเป็นจุลินทรีย์โปรตีนจำเป็นต้องมีระดับของคาร์โบไฮเดรท อย่างเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์เพื่อใช้ในกระบวนการหมัก ซึ่งจะให้ผลผลิตที่เป็นประโยชน์ต่อตัวสัตว์ แต่อย่างไรก็ตามระดับโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน ไม่ควรจะสูงเกินไป เพราะจะทำให้สัดส่วนโปรตีนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนลดลง มีผลต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์ อาจจะมีผลต่อการดูดซึมกรดแอมมิโนที่จำเป็นที่ลำไส้เล็ก ซึ่งจะมีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมด้วย (Voss et al., 1988) Aldrich et al. (1993) ศึกษาการใช้คาร์โบไฮเดรทที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนต่ำและสูง ร่วมกับโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนต่ำและสูง พบว่าปริมาณการกินได้ และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในของเหลวจากกระเพาะรูเมน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในปัจจัยการทดลองที่ใช้คาร์โบไฮเดรทที่ย่อยสลายต่ำและโปรตีนที่ย่อยสลายใน

กระเพาะรูเมนสูง (มีโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนสูง) มีแนวโน้มจะสูงขึ้น ส่วนการสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้รวม, การย่อยได้อินทรีย์วัตถุ, การย่อยได้คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้าง, ผลผลิตน้ำนม และเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม ลดลงในอาหารที่มีโปรตีนที่ย่อยสลายในกระเพาะรูเมนต่ำ แสดงให้เห็นว่าระดับการใช้อาหารที่มีโปรตีนที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนต่ำและสูง มีผลต่อการใช้คาร์โบไฮเดรทที่ย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนมากกว่า ดังแสดงใน Table 3

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะใช้คาร์โบไฮเดรทที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนใช้เป็นแหล่งพลังงานในรูป adenosine triphosphate (ATP) สำหรับใช้เมทธาโบลิซึมภายในเซลล์ (Nocek and Russell, 1988) เพื่อให้มีอัตราการเจริญเติบโตอย่างเหมาะสม ซึ่งอัตราการผลิต ATP จะมีความสัมพันธ์กับการใช้และการสังเคราะห์เป็นส่วนประกอบของจุลินทรีย์โปรตีน หรือสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีนสูงสุด (Aldrich et al., 1993)

Herrera-Saldana et al. (1990) แสดงให้เห็นว่า การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนสูงสุดเมื่อได้รับอาหารที่มีทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน โดยใช้ข้าวบาเลย์เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรท และใช้กากเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งโปรตีนไหลผ่าน และยังสัมพันธ์กับอัตราการย่อยสลายด้วย โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน จะเป็นตัวจำกัดคาร์โบไฮเดรทที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน (Hoover and Stokes, 1991)

Table 3 Effects of non-structural carbohydrate and rumen degradable protein level on feed intake, rumen fermentation, milk yield and milk composition.

Items	H RNSC		L RNSC	
	L RUP	H RUP	L RUP	H RUP
RUP	6.0	8.2	6.1	8.7
NSC	35.8	37.7	35.0	34.6
feed intake, kg/d	25.0	24.9	26.7	25.3
digestibility, %				
OM	62.7	62.5	61.3	56.9
NSC	80.4	78.3	71.9	65.3
NDF	48.8	55.8	52.4	54.0
NH_3-N, mg/dl	12.4	8.9	14.8	10.4
TVFA, m mol/ml	147.9	135.6	143.7	138.7
milk yield, kg/d	39.3	38.8	39.5	39.6
milk fat, %	3.26	3.40	3.46	3.38
milk protein, %	3.08	3.05	3.04	2.98
4 % FCM, kg/d	34.7	35.2	36.2	35.9

H RNSC = high rumen non-structural carbohydrate, L RNSC = low rumen non-structural carbohydrate , H RAP = high rumen available protein, L RAP = low rumen available protein, RUP = rumen undegradable protein, NSC = non-structural protein, NDF = neutral detergent fiber, NH_3-N = ammonia nitrogen and TVFA = total volatile fatty acid.

Source : Aldrich et al. (1993)

อาหารคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน ต่างก็มีบทบาทต่อการให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม โดยผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการหมักที่กระเพาะรูเมนคือ กรดไขมันระเหยได้ มีผลต่อการให้ผลผลิต เช่น กรดอะซิติค และกรดบิวทีริค จะมีผลต่อไขมันในน้ำนม ส่วนกรดโพรพิออนิค มีผลต่อโปรตีนในน้ำนม แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการให้ผลผลิตจะดีขึ้นหากมีการเพิ่มการไหลผ่านของกรดแอมมิโน ไปยังทางเดินอาหารส่วนล่าง เพิ่มขึ้น (Chalupa, 1974b) ซึ่งที่ลำไส้เล็กสัตว์จะมีการดูดซึมเอาโภชนะต่าง ๆ ไปใช้ในการเจริญเติบโต การสร้างเป็นผลผลิตน้ำนม และเป็นส่วนประกอบของน้ำนม เป็นต้น ดังนั้นทั้งอาหารพลังงาน อาหารโปรตีนที่ถูกย่อยที่กระเพาะรูเมน และอาหารโปรตีนไหลผ่าน ต่างก็มีบทบาทต่อการสร้างเป็นผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบของน้ำนม

2.6 ความสมดุลระหว่างการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนต่อพลังงานจากกรดไขมันระเหยได้

ในกระเพาะรูเมนจะมีกระบวนการหมักเป็นแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งจะให้พลังงานในรูปของ adenosine triphosphate (ATP) เพียง 4 โมลต่อโมลของกลูโคส ที่ถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดไขมันระเหยได้ ซึ่งจุลินทรีย์จะนำพลังงานเหล่านี้ไปใช้ในการเจริญเติบโต, เพื่อการดำรงชีพ และสังเคราะห์เป็นองค์ประกอบของตัวจุลินทรีย์เอง ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจะขึ้นอยู่กับ ปริมาณของสารตั้งต้น เช่น กลูโคส, แอมโมเนีย, เปปไทด์ และแอมโมเนีย เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังขึ้นอยู่กับ ความต้องการพลังงานในการดำรงชีพของจุลินทรีย์, การหมุนเวียนของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน และปริมาณของจุลินทรีย์ที่ถูกกินโดยโปรโตซัว เป็นต้น (ฉลอง, 2541)

ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจะแสดงโดยค่า Y_{ATP} ซึ่งเป็นค่าของน้ำหนักแห้ง (กรัม) ของเซลล์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจาก 1 โมล ของ ATP ซึ่งค่า Y_{ATP} ในกระเพาะรูเมนมีค่าอยู่ในช่วง 8 – 25 กรัมต่อโมลของ ATP (Preston and Leng, 1987) ประสิทธิภาพของการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจะมีผลต่ออัตราส่วนของโปรตีนและพลังงาน (P/E ratio) (Table 4) ซึ่งค่า P/E ratio จะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงโปรตีนที่ถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ต่อพลังงานที่ได้จากการดูดซึมกรดไขมันระเหยได้ ถ้าหากมีการสังเคราะห์จุลินทรีย์มาก จะมีผลในการลดความต้องการ ในการเพิ่มโปรตีนไหลผ่านในอาหารสัตว์ เพื่อที่จะทำให้ P/E ratio สูงสุด เพราะโดยทั่วไปแล้วอาหารโปรตีนไหลผ่านจะมีราคาแพงกว่า อาหารหยาบที่มีคุณภาพต่ำ ทำให้สัตว์มีปริมาณการกินได้ของอาหารต่ำ และยังมีความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะในสภาพที่มีอากาศร้อน จะมีผลต่อการผลิตความร้อนภายในร่างกายของสัตว์ ซึ่งจะส่งผลทำให้สภาพนิเวศน์วิทยาภายในกระเพาะรูเมน ขาดประสิทธิภาพไป (Leng, 1997) จาก Table 4 จะเห็นว่าค่า Y_{ATP} ที่ต่ำมีผลต่อการสร้างความร้อน และแกสเมทเธน สูงขึ้น ในขณะที่ ค่า P/E ratio ต่ำลง แต่อย่างไรก็ตาม ค่า P/E ratio ที่สูงเกินไป อาจจะมีผลทำให้การสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ต่ำลงเกินไป อาจจะทำให้สัตว์ขาดพลังงานได้ เพราะในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะใช้กรดไขมันระเหยได้เป็นแหล่งพลังงานหลัก ค่า Y_{ATP} และค่า P/E ratio จึงควรจะอยู่ในระดับที่เหมาะสม คือไม่ต่ำหรือสูงจนเกินไป

Table 4 Effect of different efficiencies of microbial growth on the production of end products in the rumen of the steer consuming 4 kg of organic matter which is totally fermentable

Items	Y_{ATP}			
	8	14	19	25
Microbial protein synthesized(g/d)	500	800	1010	1212
VFA produced (MJ/d)	41	34	30	26
Methane produced (MJ/d)	9.4	8.5	8.0	7.6
Heat (MJ/d)	6.4	5.1	4.3	3.1
P/E ratio (g protein/MJ)	12	25	34	47

Source : Preston and Leng (1987)

2.7 การใช้ฟางข้าวเป็นอาหารโคนม

ฟางข้าวเป็นผลพลอยได้จากการผลิตข้าวในทุกภูมิภาคของประเทศไทย ทั้งนี้เพราะข้าว (*Oryza sativa*) เป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทยที่เกษตรกรทำเป็นอาชีพมาเป็นเวลานาน หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวจะเหลือตอซังและฟางข้าว เกษตรกรจำนวนมากจะเผาตอฟางและฟางข้าวทิ้ง นอกจากจะเป็นการสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์แล้วยังเป็นการทำให้ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์โดยเฉพาะธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอีกด้วย ดังนั้นหากเรานำเอาฟางข้าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยนำมาเป็นอาหารสัตว์นอกจากสามารถแก้ปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วยังสามารถสร้างกลับไปเป็นผลผลิตที่เป็นประโยชน์ต่อตัวสัตว์และผู้เลี้ยง อย่างไรก็ตามการนำฟางข้าวมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ยังมีข้อจำกัดหลายประการดังนั้นก่อนการนำมาใช้จึงต้องมีวิธีปรับปรุงก่อน ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

ฟางข้าวเป็นอาหารหยาบที่มีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างต่ำคือมีโปรตีนหยาบประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์ และยังประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรทประเภทโครงสร้าง ในปริมาณที่สูง และยังมีปริมาณฟอสฟอรัสและแร่ธาตุที่จำเป็นอยู่ต่ำมาก (Wanapat et al., 1983) นอกจากนี้ฟางข้าวยังประกอบด้วยซิลิก้าสูงกว่าฟางจากพืชชนิดอื่น มีเถ้า ค่อนข้างสูงซึ่งเป็นผลมาจากมีซิลิก้าสูง และยังมีแร่ธาตุที่จำเป็นเช่น แคลเซี่ยม (calcium), ฟอสฟอรัส (phosphorus) อยู่ในปริมาณต่ำ (Jackson, 1977 และ Wanapat et al., 1983) ส่วนแร่ธาตุตัวอื่น ๆ เช่น ทองแดง, กำมะถัน, โคบอลท์ และไอโอดีน ก็พบว่ามีอยู่ในฟางข้าวในปริมาณต่ำเช่นกัน (Verma and Jackson, 1984

อ้างถึงโดย เมธา, 2528) ฟางมีพื้นที่ผิวต่ำหรือมีความฟ่ามสูง ทำให้สัตว์กินได้น้อย จนทำให้ได้รับโภชนะไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายของสัตว์ เพราะปัจจัยความจุกระเพาะ (gut fill) เข้ามามีผลต่อการกินได้ Jackson (1977) กล่าวว่าการกินได้อย่างอิสระ (voluntary feed intake) จากผลพลอยได้ของธัญพืชของสัตว์เคี้ยวเอื้องส่วนใหญ่จะต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกคือ การย่อยได้และอัตราการย่อยได้ต่ำ อัตราการย่อยสลายต่ำ อัตราการไหลออกของส่วนที่ย่อยไม่ได้ช้า จึงทำให้ฟางข้าวมีเวลาอยู่ในกระเพาะหมักนาน (long rumen retention time) และยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการกินได้อย่างอิสระ เช่น ปัจจัยอันเนื่องมาจากตัวสัตว์เอง, ความสมบูรณ์ของระบบการย่อย, เมทธาโบลิซึมของสัตว์เอง, ปริมาณโภชนะอื่น ๆ ที่สัตว์ได้รับ, ปัจจัยทางการจัดการ, ความถี่ของการให้อาหาร, กระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และการใช้ประโยชน์ของโภชนะ เป็นต้น ผลผลิตและคุณภาพของฟางข้าวจะขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ข้าว, ส่วนประกอบต่าง ๆ ของฟางข้าว, ปริมาณน้ำฝน, อุณหภูมิ, ความอุดมสมบูรณ์ของดิน, ชนิดและอัตราการใส่ปุ๋ย, ช่วงของการเจริญเติบโต, ความสูงหรือความยาวของการเก็บเกี่ยว, สัดส่วนของใบกับลำต้น วิธีในการเก็บเกี่ยว, ลักษณะและวิธีในการรักษาฟางหลังการเก็บเกี่ยว และการปลอมปนของวัตถุอื่น เป็นต้น (Devendra, 1982 อ้างถึงโดย Wanapat, 1987)

2.8 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของฟางข้าวโดยการหมักด้วยยูเรีย

กรรมวิธีในการปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งนี้ก็เพื่อแก้ไขจุดด้อยของฟางข้าวเพื่อให้สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวิธีที่ปฏิบัติ ได้แก่ (เมธา และฉลอง, 2533)

ก. วิธีกล (physical/mechanical treatment) เป็นกรรมวิธีที่ทำให้ลักษณะรูปร่างของอาหารเปลี่ยนแปลงไป อาจเป็นการทำให้เล็กลงเพื่อเป็นการลดพื้นที่ผิว ทำให้สัตว์กินได้เพิ่ม อาจทำได้โดยการสับ การแช่น้ำ การบด และการอัดเม็ด Castillo et al. (1982) รายงานว่าการสับและการแช่ฟางข้าวในน้ำ สามารถทำให้กระบือกินฟางข้าวได้มากขึ้น

ข. วิธีการใช้สารเคมี (chemical treatment) เป็นกรรมวิธีในการใช้สารเคมีที่มีผลทำให้อาหารเปลี่ยนแปลงไปทั้งลักษณะทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี เพื่อเพิ่มความสามารถในการกินได้ , การย่อยได้ของอาหารหยาบ และการนำเอาอาหารไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ สารเคมีที่นิยมนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ), แคลเซียมไฮดรอกไซด์, แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์, แอมโมเนียมเหลว หรือแห้ง และยูเรีย เป็นต้น

ค. วิธีกลร่วมกับการใช้สารเคมี (physio-chemical treatment) เป็นกรรมวิธีที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างของอาหารและใช้สารเคมีร่วม เช่น การสับ หรือการบด ร่วมการใช้สารเคมีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ง. วิธีชีวภาพ (biological treatment) เป็นกรรมวิธีในการใช้จุลินทรีย์ในการเข้าย่อยสลายอาหารก่อนนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ หรืออาจจะใช้น้ำย่อยสังเคราะห์ก็ได้ เช่น เซลยูเลส (cellulase) และเฮมไมเซลยูเลส หรืออาจจะใช้เชื้อรา (fungi) เข้าย่อยสลายลิกนิน ทำให้ลิกนินลดลง สัตว์สามารถนำโภชนะอื่น ๆ ไปใช้ได้ดีการผลิตโคนม การลดต้นทุนการผลิต, การผลิตน้ำนมทั้งปริมาณและคุณภาพ, การตลาด, ระบบการผลิต และการป้องกันโรค เป็นต้น

อย่างไรก็ตามในการนำไปใช้ประโยชน์หากยุ่งยากเกินไป จะทำให้ไม่สะดวกต่อการปฏิบัติ ดังนั้นวิธีที่ส่งเสริมควรจะง่ายต่อการปฏิบัติและให้ผลดี โดยเฉพาะในฤดูแล้งจะมีการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์โดยเฉพาะอาหารสดแต่สิ่งที่มีอยู่มากก็คือฟางข้าวซึ่งมีคุณค่าทางโภชนะที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนะจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรปฏิบัติ ซึ่งสามารถทำได้ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่าย วิธีที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงค่าทางโภชนะของฟางข้าวก็คือ การทำฟางหมักยูเรีย ซึ่งมีข้อดีทั้งทางกายภาพ และทางเคมี ทำให้การย่อยได้ของฟางเพิ่มขึ้น ช่วยเพิ่มอัตราการย่อยได้ ทำให้สัตว์กินฟางได้เพิ่มขึ้น ทำให้สัตว์ได้รับพลังงานสุทธิเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อร่างกายสัตว์ได้เพิ่มขึ้น เพิ่มเปอร์เซ็นต์โปรตีนหยาบเนื่องจากการใช้แหล่งของไนโตรเจนในการปรับปรุง และใช้กับการเลี้ยงสัตว์ที่ให้ผลผลิตสูง เช่น โคนมที่ให้ผลผลิตสูง และยังเป็นการช่วยลดภาวะแอซิโดซีส ได้ด้วย (Wanapat et al., 1995) เพราะการกินฟางจะทำให้ระยะเวลาในการเคี้ยวและการเคี้ยวเอื้องเพิ่มขึ้น ทำให้มีการหลั่งน้ำลายเพิ่มขึ้นทำให้สภาพภายในกระเพาะรูเมนเป็นกลางมากขึ้น ทำให้การใช้ประโยชน์ของเยื่อใยในกระเพาะรูเมนดีขึ้น

ยูเรีย (NH_2CONH_2) สามารถละลายได้ดีในน้ำ และจะสลายตัวให้แอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาพที่มีน้ำย่อยยูเรียเอส (urease) ซึ่งเป็นน้ำย่อยจากจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่ตามผิวฟางที่สามารถย่อยสลายยูเรียได้ ได้แก่ แบคทีเรียกลุ่ม ยูรีโอไลติก (ureolytic bacteria) ดังแสดงในสมการ

$$H_2N\text{-}CO\text{-}NH_2 \xrightarrow[\text{urease}]{H_2O} 2NH_3 + CO_2$$

หลังจากนั้นแอมโมเนียจะรวมตัวกับหมู่ -OH กลายเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่าง โดยด่างจะทำหน้าที่ทำลายการเกาะกันของพันธะให้คลายตัว

ลงทำให้สัตว์ย่อยอาหารได้ง่ายขึ้น Wanapat et al. (1983) พบว่าการหมักฟางด้วยยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในฤดูแล้งใช้เวลา 2 สัปดาห์ ทำให้การย่อยได้ in vitro dry matter digestibility เพิ่มขึ้น 9 หน่วยเปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับรายงานของ Kiangi (1981) รายงานว่า ปริมาณโปรตีนรวมและการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุของฟางข้าวเพิ่มขึ้นประมาณ 10-15 หน่วยเปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) หลังจากการหมักด้วยแอมโมเนียและยูเรีย 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สมคิด และคณะ (2525) หมักฟางโดยใช้ยูเรีย 6 เปอร์เซ็นต์ต่อฟางข้าว 100 กิโลกรัม และผสมกากน้ำตาล 5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเพิ่มความน่ากินโดยใช้ระยะเวลาในการหมักอย่างน้อย 3 สัปดาห์ จะได้ฟางปรุงแต่งที่มีโปรตีน 4.99 เปอร์เซ็นต์ การย่อยได้ของสารอินทรีย์ 53 เปอร์เซ็นต์ เมธา และคณะ (2525) ทดลองโดยใช้ฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ และเกลือ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ใช้ระยะเวลาในการหมักเพียง 10 วัน พบว่า ปริมาณของโปรตีนรวมในฟางเพิ่มขึ้นจาก 3.5 เป็น 7.3 เปอร์เซ็นต์

Wanapat et al. (1982) ทดลองโดยใช้ฟางหมักยูเรีย 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการกินได้ต่อหน่วยกิโลกรัมต่อวัน และต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว ไม่แตกต่างกันทางสถิติในกลุ่ม 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ แต่การกินได้ต่อเมทธาโบไลซ์ของร่างกาย ($g/kgW^{0.75}$) ในกลุ่มที่ใช้ฟางหมัก 5 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) และการย่อยได้ของวัตถุแห้ง การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (organic matter, OM) และการย่อยได้ของผนังเซลล์ ในกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ากลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรีย 3 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) และรูปแบบในการให้ คือให้กินโดยไม่ตากแห้ง พบว่า การกินได้ และการย่อยได้ มากกว่าในกลุ่มที่ตากแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน ส่วนในการเสริมเกลือและไม่เสริมเกลือ พบว่าการกินได้โดยอิสระและการย่อยได้ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

2.9 การใช้มันสำปะหลังในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

มันสำปะหลังมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta Crantz* หรือ *Manihot utillissima Pohl* มีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้ แถบประเทศบราซิล และยังเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของไทย เป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดี มันสำปะหลังเป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารพลังงานที่ดี และมีราคาถูก จึงมีบทบาทในการนำมาใช้ในการประกอบสูตรอาหารเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตโดยทั่วไปแล้วมันเส้นมีโปรตีนหยาบเฉลี่ย ประมาณ 1.9 เปอร์เซ็นต์, ผนังเซลล์ 16.37, แป้ง 64-72 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นน้ำตาลชนิดต่าง ๆ เช่น กลูโคส, ฟรุคโตส และซูโครส เป็นต้น (KKU-IDRC, 1980) มันสำปะหลังมีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายในกระเพาะรูเมน ตั้งแต่ 79.9-93.2 เปอร์เซ็นต์ สามารถใช้มันสำปะหลังเสริมได้ 20-80 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารข้น

(Devendra, 1977) มันเส้นประกอบไปด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรทที่ย่อยสลายได้ง่ายในกระเพาะรูเมน จากการทดลองของ เกรียงศักดิ์ และคณะ (2533) รายงานว่า สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของมันเส้นมีค่าสูงกว่าค่าการย่อยได้ของข้าวเปลือกบดและปลายข้าว Tudor and Inkerman (1982) ใช้มันเส้นทดแทนข้าวฟ่างทั้งหมดในอาหารข้น หรือ 80 เปอร์เซ็นต์ ของสูตรอาหาร ในโคขุนพบว่า อัตราการเจริญเติบโต เมื่อคิดต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมธา และคณะ (2534) ได้ศึกษา การใช้มันเส้นทดแทนข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงานในระดับ 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ในกระบือปลัก ที่ได้รับฟางหมักยูเรียเป็นอาหารหยาบ พบว่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุ เพิ่มสูงขึ้นตามระดับการทดแทนของมันเส้นที่เพิ่มขึ้นในสูตรอาหาร แต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของผนังเซลล์ จะลดลง ส่วนระดับความเป็นกรด-ด่าง, ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ Bezkorowajnyj et al. (1986) ทดลองโดยเสริมมันเส้น 600 กรัม และใช้มันเส้นร่วมกับใบมันแห้ง 300 และ 600 กรัม พบว่า ในสูตรที่เสริมใบมันแห้งร่วมกับมันเส้น จะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต และปริมาณการกินได้ โดยเฉพาะเมื่อใช้มันเส้น 600 กรัม ร่วมกับ ใบมันแห้ง 600 กรัม ทำให้อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณการกินได้ สูงกว่าสูตรอื่นๆ Wanapat et al.

Table 5 Effects of urea-treated rice straw and untreated rice straw on feed intake, digestibility and rumen fermentation.

Items	Untreated rice straw (RS)	RS + Cassava chip	Urea-treated rice straw + Cassava chip
Initial weight, kg	253.5	262.0	251.7
Average daily gain, kg/d	-0.134^{ab}	-0.312^{b}	0.075^{a}
Roughage intake, /d			
Kg	4.97^{a}	2.69^{b}	4.82^{a}
%BW	1.74^{a}	1.36^{c}	2.10^{b}
G/kg $W^{.75}$	65.4^{a}	46.1^{b}	75.7^{a}
Total feed intake, kg/d	4.97^{a}	4.03^{c}	6.59^{b}

Source : Wanapat et al. (1983)

(1983) ได้ศึกษาการใช้มันสำปะหลังเส้น เสริมในอาหารหยาบฟางข้าว และฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า การเสริมมันเส้นในฟางข้าว ทำให้ปริมาณการกินได้และน้ำหนักตัวลดลง แต่เมื่อเสริมมันเส้นในอาหารฟางหมักยูเรีย ทำให้ปริมาณการกินได้เพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Table 5

โอภาส และคณะ (2540) รายงานว่า การใช้มันสำปะหลังในอาหารข้น 0, 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ในโคนม พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน, ผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ นั่นคือในโคนมสามารถใช้มันสำปะหลังได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และสามารถใช้ทดแทนข้าวโพดได้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการกินได้, กระบวนการหมัก และผลผลิต สามารถลดต้นทุนการผลิตได้มาก Brigstocke et al. (1992) ทดลองโดยใช้มันอัดเม็ด 40 เปอร์เซ็นต์ ในรูปของอาหารข้นสำเร็จ ในโคนมที่เลี้ยงด้วยหญ้าหมักเป็นอาหารหยาบ ทำให้ผลผลิตน้ำนมเพิ่มจาก 21.1 เป็น 22.3 กิโลกรัมต่อวัน ในสูตรที่ไม่เสริม และเสริมมันเส้น ตามลำดับ ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุนการผลิตได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เพราะว่ามันสำปะหลังมีความเหมาะสมในด้านความสามารถในการย่อยได้ในกระเพาะรูเมน และผลผลิตสุดท้ายที่สัตว์ได้รับ Rajcevic (1990) เสริมมันสำปะหลังในอาหารโคนมตั้งแต่ 1-1.6 กิโลกรัมต่อวัน พบว่าไม่ทำให้ผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมลดลงแต่อย่างใด แต่ระดับที่ทำให้ผลผลิตน้ำนมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือเสริมที่ระดับ 1 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อเสริมถึง 1.6 กิโลกรัมต่อวัน จะทำให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้น

2.10 การใช้กากเมล็ดฝ้ายในอาหารโคนม

กากเมล็ดฝ้าย เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นิยมนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีน กากเมล็ดฝ้ายมีโปรตีนหยาบประมาณ 44-48 เปอร์เซ็นต์, โภชนะที่ย่อยได้รวม หรือ total digestible nutrient (TDN) 71-78 เปอร์เซ็นต์, พลังงานที่ย่อยได้ (digestible energy, DE) 3.13-3.44 Mcal, metabozable energy 2.71-3.02 Mcal, NDF 16-28 เปอร์เซ็นต์, ADF 19-21 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนที่ไม่ย่อยสลายที่กระเพาะรูเมน 43 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 1988) Erasmus et al. (1992) รายงานว่า ในกากเมล็ดฝ้ายมีโปรตีนหยาบ 42.2 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนที่ย่อยได้ที่กระเพาะรูเมน 42.5 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะรูเมน โดยโปรตีนส่วนที่ผ่านเข้าไปยังลำไส้เล็กจะย่อยได้ถึง 95.6 เปอร์เซ็นต์ กากเมล็ดฝ้ายสามารถเพิ่มส่วนที่ไม่ถูกย่อยในรูเมน ด้วยการนำไปบ่ม ในเครื่องบ่ม (autoclaved) Broderick and Craig (1980) ทดลองโดยนำกากเมล็ดฝ้ายบ่มที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ด้วยเวลาที่แตกต่างกัน คือ 0, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที พบว่ามีโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยในกระเพาะรูเมน เพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการบ่ม เท่ากับ 21.2, 26.1, 41.6,

69.0, 73.2, และ 74.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการย่อยได้เมื่อผ่านไปยังลำไส้เล็กมีค่าการย่อยได้สูงสุดเมื่อบ่มโดยใช้เวลา 60 นาที เมื่อเพิ่มเวลาบ่มมากกว่านี้จะทำให้การย่อยได้ลดลง Grings et al. (1994) ได้ศึกษาการเสริมกากเมล็ดฝ้ายในอาหารโคนม เสริมกากเมล็ดฝ้ายที่ระดับ 0, 8.6, 16.6 และ 24.2 เปอร์เซ็นต์ในอาหารข้น มีโปรตีนหยาบในสูตรอาหาร เป็น 13.8, 17.50, 20.40 และ 23.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่าปริมาณการกินได้เพิ่มขึ้นตามระดับกากเมล็ดฝ้ายที่เพิ่มขึ้น ผลผลิตน้ำนมในสูตรที่เสริมสูงกว่าสูตรที่ไม่เสริม มีค่าเป็น 36.6, 38.0, 37.9 และ 38.6 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับเปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมันในน้ำนม ส่วนยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือด, กรดแอมมิโนในพลาสมา และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ในน้ำนม เพิ่มขึ้นตามระดับโปรตีนที่เพิ่มขึ้น

Rogers et al. (1984) ศึกษาการเสริมกากเมล็ดฝ้ายในสูตรอาหาร พบว่าในสูตรที่ไม่เสริมและเสริมกากเมล็ดฝ้ายมีผลผลิตน้ำนมเพิ่มจาก 30.6 เป็น 31.1 กิโลกรัมต่อวัน เปอร์เซ็นต์โปรตีนและไขมันในน้ำนม, ปริมาณการกินได้ และความสามารถในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง ในสูตรที่เสริมมีค่าสูงกว่าในสูตรที่ไม่เสริม แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ Brown (1993) ศึกษาการเสริมกากเมล็ดฝ้ายและกากน้ำตาล โดยใช้หญ้าหมักแอมโมเนียเป็นแหล่งอาหารหยาบ พบว่าสูตรที่เสริมกากเมล็ดฝ้าย ทำให้การย่อยได้ NDF และเฮมไมเซลยูโลส สูงกว่าในสูตรที่เสริมเพียงกากน้ำตาล และสูตรที่เสริมทั้งกากน้ำตาลและกากเมล็ดฝ้าย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลองและกลุ่มทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบ 4x4 ลาตินสแควร์ (Latin square design) โดยมีกลุ่มอาหารทดลอง (dietary treatments) 4 กลุ่มคือ

กลุ่มที่ 1 (RS+CC+U) = ฟางข้าว (rice straw, RS) ให้กินเต็มที่ และเสริมมันเส้น (cassava chip, CC) ผสมยูเรีย (urea, U) (4.5 %) 2 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน

กลุ่มที่ 2 (URS+CC) = ฟางหมักยูเรีย (urea-treated rice straw, URS) 5 เปอร์เซ็นต์ ให้กินเต็มที่ และเสริมมันเส้น 2 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน

กลุ่มที่ 3 (URS+CS) = ฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ ให้กินเต็มที่ และเสริมกากเมล็ดฝ้าย (cottonseed meal, CS) 0.5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน

กลุ่มที่ 4 (URS+CC+CS) = ฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ ให้กินเต็มที่ เสริม มันเส้น 2 กิโลกรัม และกากเมล็ดฝ้าย 0.5 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน

โดยแบ่งระยะเวลาการทดลองออกเป็น 4 ช่วงการทดลอง (period) โดยแต่ละช่วงการทดลอง ใช้เวลา 27 วัน โดยโคทุกตัวจะได้รับปัจจัยการทดลองจนครบทุกกลุ่มทดลอง ดังแสดงในแผนผังงานทดลอง

3.2 สัตว์ทดลอง

ใช้โคนมพันธุ์โฮลสไตล์ฟรีเชียนเพศผู้ตอน (steers) เจาะกระเพาะรูเมนแบบถาวร (rumen fistulated) อายุประมาณ 3-4 ปี จำนวน 4 ตัว น้ำหนักตัวเฉลี่ย 350 ± 10.5 กิโลกรัม ช่วงปรับสัตว์ก่อนเข้างานทดลองฉีดยาถ่ายพยาธิ์ตัวกลมด้วยยาพามิโซล-แอล (pamizole-L) อัตราการใช้ยา 8 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักสัตว์ 100 กิโลกรัม และยาถ่ายพยาธิ์ใบไม้ในตับด้วยยาโทรแดกซ์ (trodax) อัตราการใช้ยา 1.5 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักสัตว์ 50 กิโลกรัม และฉีดไวตามิน เอ ดี อี (AD_3E) ในอัตรา 3-5 มิลลิลิตรต่อตัว ทุกตัว

แผนผังงานทดลอง

ช่วงเวลา	สัตว์ทดลอง			
	1	2	3	4
1	A	B	C	D
2	C	D	A	B
3	B	C	D	A
4	D	A	B	C

3.3 อาหารและการเตรียมอาหารทดลอง

อาหารหยาบ ใช้ฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบในกลุ่ม RS+CC+U เป็นฟางข้าวนาปีนวดด้วยเครื่องนวดข้าว กลุ่ม URS+CC, URS+CS และ URS+CC+CS ใช้ฟางข้าวเหมือนกลุ่มแรกแต่หมักด้วยยูเรียในสัดส่วน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก คือใช้สัดส่วนฟางข้าว 100 กิโลกรัม ละลายยูเรีย 5 กิโลกรัมในน้ำ 100 ลิตร แล้วราดฟางข้าวเป็นชั้น ๆ ปิดด้วยพลาสติกอย่างมิดชิด ใช้ระยะเวลาในการหมักนาน 10 วัน สามารถเปิดใช้ได้โดยทำเป็นกอง ๆ โดยกองแรกใช้ในช่วงการทดลองที่ 1 และ 2 กองที่ 2 ใช้ในช่วงการทดลองที่ 3 และ 4

มันเส้น และกากเมล็ดฝ้ายให้ตามกลุ่มทดลองคือ กลุ่ม RS+CC+U ให้มันเส้นผสม ยูเรีย 4.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 2 กิโลกรัม (วัตถุแห้ง) กลุ่ม URS+CC ให้มันเส้นอย่างเดียว 2 กิโลกรัม (วัตถุแห้ง), กลุ่ม URS+CS ให้กากเมล็ดฝ้ายอย่างเดียว 0.5 กิโลกรัม (วัตถุแห้ง) และกลุ่ม URS+CC+CS ให้มันเส้น 2 กิโลกรัม (วัตถุแห้ง) ร่วมกับกากเมล็ดฝ้าย 0.5 กิโลกรัม (วัตถุแห้ง) โดยคำนวณให้โคได้รับพลังงานและโปรตีน ใกล้เคียงกับความต้องการเพื่อการดำรงชีพ (Kearl, 1982) โดยโคทดลองน้ำหนักตัวอยู่ระหว่าง 350-400 กิโลกรัม ต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพระหว่าง 432-478 กรัมต่อวัน และพลังงาน 9.50-10.60 Mcal ME ต่อวัน

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 ระยะปรับสัตว์ (adjusting period) ในแต่ละช่วงการทดลองจะใช้ระยะเวลาในการปรับสัตว์ 17 วัน สัตว์ได้รับอาหารที่เสริมตามกลุ่มทดลอง ส่วนอาหารหยาบกลุ่ม RS+CC+U ใช้

ฟางข้าว และกลุ่ม URS+CC, URS+CS และ URS+CC+CS ใช้ฟางข้าวหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ โดยให้กินอาหารหยาบแบบเต็มที่ (ad libitum) เพื่อวัดปริมาณการกินได้อย่างอิสระ (voluntary feed intake) การให้อาหารจะแบ่งให้กินวันละ 2 เวลา คือช่วงเช้าเวลา 7.00 น. และช่วงบ่ายเวลา 16.00 น. ปริมาณที่ให้ในแต่ละในช่วงจะสังเกตอาหารที่เหลือในรางอาหารเป็นหลัก อาหารหยาบควรจะเหลือในรางประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ ก่อนการให้อาหารในครั้งต่อไป ชั่งอาหารที่ให้ในแต่ละครั้งคือช่วงเช้าและช่วงบ่าย และชั่งอาหารออกก่อนให้อาหารวันถัดไป เพื่อนำไปหาปริมาณการกินได้ในแต่ละวัน ส่วนมันเส้นและกากเมล็ดฝ้ายที่เสริม จะให้ตามกลุ่มทดลอง

3.4.3 ระยะเก็บตัวอย่าง (collection period) ในช่วงนี้สัตว์อยู่บนกรงเมทธาโบลิซึม (metabolism crate) ปรับสัตว์ให้มีความคุ้นเคยกับสภาพของกรงก่อน 2 วัน และใน 8 วันหลังจึงเริ่มมีการเก็บตัวอย่าง เช่น อาหาร, มูล, ปัสสาวะ, ของเหลวจากกระเพาะรูเมน และเลือด การให้อาหารจะให้ตามกลุ่มการทดลองในแต่ละช่วงการทดลองเหมือนกับช่วงปรับสัตว์ รวมระยะเวลาในช่วงการเก็บตัวอย่างนี้ 10 วัน

3.5 **การเก็บข้อมูลและการเก็บตัวอย่าง**

3.5.1 การเก็บตัวอย่างอาหาร ตัวอย่างอาหาร ได้แก่ อาหารหยาบ และอาหารที่เสริม จะสุ่มตัวอย่างอาหารทุกสัปดาห์ และนำมารวมกันของแต่ละช่วงการทดลอง แบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง อาหารส่วนที่สอง จะสุ่มจากแต่ละช่วงการทดลอง นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 48 ชั่วโมง นำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี เช่น วัตถุแห้ง เถ้า โปรตีนหยาบ ตามวิธีของ AOAC (1985) วิเคราะห์หา neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) และ acid detergent lignin (ADL) ตามวิธีของ Goering and Van Soest (1970)

3.5.2 การชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลอง การชั่งน้ำหนักสัตว์ทดลองได้ทำการชั่ง 3 ครั้งในแต่ละช่วงการทดลอง ครั้งแรกชั่งก่อนเข้างานทดลองคือก่อนระยะปรับสัตว์ช่วงที่ 1 ชั่งอีกหลังจากปรับสัตว์แล้วก่อนขึ้นกรง และชั่งอีกหลังจากทดลองเสร็จในแต่ละช่วงการทดลอง บันทึกตลอดจนการทดลองเสร็จสิ้นทุกช่วงการทดลอง

3.5.3 การสุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมน (rumen fluid) เก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมนจะเก็บในระยะขึ้นกรงหรือระยะเก็บตัวอย่าง โดยเก็บใน 2 วันสุดท้ายของระยะขึ้นกรง การเก็บจะเก็บหลังจากการให้อาหารแล้ว 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0 และ 6.0 ชั่วโมง โดยใช้ stomach tube ต่อสายยาง สอดผ่านช่องเปิดของกระเพาะรูเมน ใช้กระบอกฉีดยาดูด

เก็บของเหลวรูเมนประมาณ 60-80 มิลลิลิตร และวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทันทีด้วยเครื่อง pH meter (Orion Research Model SA230)

สุ่มของเหลวจากกระเพาะรูเมนไว้ประมาณ 40 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริค (HCl) ความเข้มข้น 6 N ประมาณ 4 มิลลิลิตร เพื่อหยุดกิจกรรมการทำงานของจุลินทรีย์ นำไปเหวี่ยงใส (centifuge) ที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที ใช้เวลา 10 นาที เก็บเอาเฉพาะของเหลวใส (supernatant) เก็บไว้ประมาณ 20-30 มิลลิลิตร นำไปเก็บในตู้แช่แข็งอุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้ายจากขบวนการหมัก ได้แก่ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen, NH_3-N) โดยวิธีการกลั่น (Bromner and Keeney, 1965) โดยใช้เครื่อง KJELTEC AUTO 1030 Analyzer และกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (TVFA), กรดอะซิติค (acetic acid), กรดโพรพิออนิค (propionic, acid), กรดไอโซ-บิวทีริค (iso-butyrแน acid),.กรดบิวทีริค (butyric acid), กรดไอโซ-วาลีเรท (iso-valeric acid) และกรดวาลีริค (valeric acid) โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography (GC)

3.5.4 การเก็บตัวอย่างเลือด สุ่มเจาะเลือดจากเส้นเลือดดำที่ลำคอ (jugular vein) หลังจากสุ่มเก็บของเหลวจากกระเพาะ รูเมน ใน 2 วันสุดท้ายของระยะขึ้นกรง ของแต่ละช่วงการทดลองโดยสุ่มเจาะหลังจากการให้อาหาร แล้ว 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0 และ 6.0 ชั่วโมง เก็บประมาณ 15 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดที่มีเฮพพารีน (heparine) เพื่อป้องกันไม่ให้เลือดแข็งตัวนำไปเหวี่ยงใสที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที สุ่มเก็บเฉพาะของเหลวใส (plasma) เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์หายูเรียในกระแสเลือด (blood urea nitrogent, BUN) โดยวิธีของ Crocker (1967)

3.5.5 การสุ่มเก็บตัวอย่างปัสสาวะ การสุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวปัสสาวะ จะทำในระยะขึ้นกรง การวัดและเก็บตัวอย่าง จะเก็บในวันที่ 3 ของการขึ้นกรงโดยใช้ถาดรูปกรวยรองเอาปัสสาวะลงในที่มีกรดซัลฟุริคเข้มข้น (H_2SO_4) ประมาณ 80-100 มิลลิลิตร เมื่อรวมกับน้ำปัสสาวะแล้วให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 2 เพื่อรักษาสภาพของไนโตรเจนในปัสสาวะและเพื่อหยุดการทำงานของจุลินทรีย์ ชั่งน้ำหนักทั้งหมดที่ได้ในแต่ละวัน สุ่มเก็บไว้ในแต่ละวันประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของปัสสาวะทั้งหมดเพื่อนำไปรวมกับวันที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 แล้วจึงสุ่มเก็บไว้วิเคราะห์หาอนุพันธ์ของพิวรีน (purine derivatives) ได้แก่ allantoin โดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) (Waters 600E Multisolvent Delivery System; separation was achieved on a Novapak C_{18} column, the mobile phase was potassium phosphate buffer (10 mM, pH 2.5), a flow-rate of 0.5 ml/min, UV detection at 218 nm and a column temperature of 25 °C) ตามวิธีของ Resines et al. (1992) การ

ประเมินค่าการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน (microbial protein) โดยใช้สมการของ Verbic et al. (1990) และ Chen et al. (1992a) ดังสมการ ดังนี้

$$Y = 0.85X + (0.385\,W^{0.75})$$

$$\text{Microbial N (gN/d)} = \frac{X\ (\text{m mol/d}) \times 70}{0.116 \times 0.83 \times 1000}$$

เมื่อ

X = purine absorption (m mol/d) (assume of exogenous purines are absorbed from the gut and enter the liver)

$W^{0.75}$ = metabolic body weight (kg)

Y = purine derivative excretion (m mol/d)

3.5.6 การสุ่มเก็บตัวอย่างมูล เริ่มสุ่มเก็บในวันที่ 3 ของการขึ้นกรงเช่นเดียวกันกับการสุ่มเก็บปัสสาวะซึ่งถาดเก็บปัสสาวะจะอยู่ด้านหน้าส่วนถาดรองมูลอยู่ด้านหลัง รองมูลสดทั้งหมด ชั่งน้ำหนัก คลุกทุกส่วนให้เข้ากัน ส่วนที่หนึ่งสุ่มเก็บประมาณ 1 กิโลกรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ เพื่อหาวัตถุแห้ง มูลส่วนที่สองเก็บไว้ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของแต่ละวัน นำมาคลุกเคล้ากัน และสุ่มเก็บไว้ นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง นำไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1 เซ็นติเมตร เก็บไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี เช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี เช่นเดียวกับอาหาร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าการย่อยได้ตามวิธีของ Schnieder and Flatt (1975) มี สูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของวัตถุแห้ง} = 100 - 100 \times \frac{\text{(น้ำหนักของมูลปรับแห้ง)}}{\text{น้ำหนักของอาหารที่ปรับแห้ง}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโภชนะ} = 100 - 100 \times \left(\frac{\text{\% โภชนะในมูล}}{\text{\%โภชนะในอาหาร}} \times \frac{\text{น้ำหนักมูลปรับแห้ง}}{\text{น้ำหนักอาหารที่กินปรับแห้ง}} \right)$$

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลทั้งหมดจากการทดลองมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน ตามแผนการทดลองแบบ 4x4 Latin Square Design โดยใช้ procedure GLM (SAS, 1985) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Steel and Torries, 1980) มีสมการในการวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + C_j + \tau_k + \varepsilon_{ijk}$$

เมื่อ

Y_{ijk} = ข้อมูลที่ได้จากแถวที่ i , คอลัมน์ที่ j และกลุ่มทดลองที่ k

μ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง

R_i = อิทธิพลของแถวที่ i

C_j = อิทธิพลของคอลัมน์ที่ j

τ_k = อิทธิพลของกลุ่มทดลองที่ k

และ ε_{ijk} = ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

3.7 ระยะเวลาทำการทดลอง

ใช้ระยะเวลาในการทดลองตั้งแต่ วันที่ 20 มกราคม 2540 ถึง 8 พฤษภาคม 2540 แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ช่วงการทดลองโดยแต่ละช่วงเวลาแบ่งเป็น

- ระยะปรับสัตว์ ใช้เวลาช่วงละ 17 วัน รวม 68 วัน
- ระยะเก็บตัวอย่าง ใช้เวลาช่วงละ 10 วัน รวม 40 วัน

รวมระยะเวลาในการทดลอง 108 วัน

3.8 สถานที่ทำการวิจัย

3.8.1 หมวดโคเนื้อ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

3.8.2 ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ส่วนประกอบของโภชนะในอาหาร

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโภชนะในอาหารที่ใช้ในการทดลอง พบว่าฟางข้าวมีค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง 92.6 เปอร์เซ็นต์, โปรตีนหยาบ 3.6 เปอร์เซ็นต์, อินทรีย์วัตถุ 81.2 เปอร์เซ็นต์, NDF 69.4 เปอร์เซ็นต์, ADF 49.7 เปอร์เซ็นต์ และ ADL 5.4 เปอร์เซ็นต์ ฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยของโปรตีนหยาบ คือ 7.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการหมักฟางข้าวด้วยยูเรีย ทำให้ฟางข้าวมีโปรตีนเพิ่มขึ้น 45 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประกอบอื่น ๆ ของฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าใกล้เคียงกับฟางข้าว (Table 6) กากเมล็ดฝ้ายที่ใช้ในการทดลองมีค่าเฉลี่ยของ วัตถุแห้ง, โปรตีนหยาบ, อินทรีย์วัตถุ, NDF, ADF และ ADL เท่ากับ 90.4, 45.2, 89.6, 38.3, 24.8 และ 2.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Table 6 Chemical composition of feedstuffs.

Nutrients	Feedstuffs				
	Rice straw	Urea-treated rice straw 5%	Cottonseed meal	Cassava chip	Cassava chip+urea
DM	92.6	55.4	91.4	90.4	90.7
	(% of dry matter)				
CP	3.6	7.8	45.2	3.3	10.7
OM	81.2	80.6	89.6	96.8	96.8
NDF	69.4	69.7	38.3	19.1	18.7
ADF	49.7	57.9	24.8	6.3	5.8
ADL	5.4	4.5	2.3	2.3	2.3

DM = dry matter, CP = crude protein, OM = organic matter, NDF = neutral detergent fiber, ADF = acid detergent fiber and ADL = acid detergent lignin.

มันเส้นที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็นมันเส้นอย่างเดียว และมันเส้นผสมยูเรีย พบว่า มีค่าเฉลี่ยของวัตถุแห้ง, อินทรีย์วัตถุ , NDF, ADF และ ADL ใกล้เคียงกัน แตกต่างกันก็คือ โปรตีนหยาบ โดยมันเส้นมีโปรตีนหยาบ 3.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนมันเส้นผสมยูเรีย มีโปรตีนหยาบ 10.7 เปอร์เซ็นต์

4.2 ปริมาณการกินได้ (feed intake)

4.2.1 ปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบ (roughage intake) จากการทดลองพบว่า ปริมาณการกินได้อย่างอิสระของอาหารหยาบ ของโคนมเพศผู้ตอนที่ได้รับฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ เสริมกากเมล็ดฝ้าย (URS + CS) มีค่าเฉลี่ยการกินได้ของอาหารหยาบสูงสุดคือ 8.8 กิโลกรัม ของวัตถุแห้งต่อวัน รองลงมาคือ กลุ่มที่ได้รับฟางหมักยูเรีย เสริมมันเส้นและกากเมล็ดฝ้าย (URS + CC + CS) คือ 7.8 กิโลกรัม ของวัตถุแห้งต่อวัน ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่จะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) กับกลุ่มที่ได้รับฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย ซึ่งมีการกินได้ของอาหารหยาบเป็น 5.7 กิโลกรัม ของวัตถุแห้ง และกลุ่มทดลองที่ ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น มีการกินได้ของอาหารหยาบเป็น 6.3 กิโลกรัม ของวัตถุแห้งต่อวัน พบว่ากลุ่มทดลองที่ได้รับฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรีย เสริมมันเส้น เมื่อนำการกินได้ของวัตถุแห้งต่อเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวพบว่า มีปริมาณการกินได้เป็น 1.5, 1.7, 2.3 และ 2.0 %BW ของกลุ่มทดลองที่ได้รับ ฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย, ฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น, ฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย และฟางหมักยูเรีย เสริมมันเส้นและกากเมล็ดฝ้าย ตามลำดับ การกินได้ต่อเปอร์เซ็นต์ของ น้ำหนักตัว กลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย และฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้ายและมันเส้น มากกว่ากลุ่มทดลองที่ ได้รับฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย และฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่กลุ่มที่ได้รับฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย กับกลุ่มที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น และกลุ่มที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย กับกลุ่มที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้นและกากเมล็ดฝ้าย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อคิดเป็น % BW และเป็น g/kg $W^{0.75}$ พบว่า กลุ่มที่เสริมโปรตีนไหลผ่านมีปริมาณการกินได้สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ไม่เสริมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วน กลุ่มที่ได้รับฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย กับกลุ่มที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น และกลุ่มที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย กับกลุ่มที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้นและกากเมล็ดฝ้าย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

Table 7 Effects of carbohydrate and undegradable protein on feed intake and body weight change.

Items	Treatments				
	RS+CC+U	URS+CC	URS+CS	URS+CC+CS	SEM
Roughage dry matter intake /day					
kg	5.7^{a}	6.3^{a}	8.8^{b}	7.8^{ab}	0.44
%BW	1.5^{a}	1.7^{a}	2.3^{b}	2.0^{b}	0.64
g/kg $W^{0.75}$	65.9^{a}	72.0^{a}	97.8^{b}	90.2^{bc}	4.82
Total dry matter intake /day					
kg	7.7^{a}	8.3^{ab}	9.3^{ab}	10.3^{b}	0.42
%BW	2.0^{a}	2.2^{ab}	2.4^{b}	2.7^{c}	0.09
g/kg $W^{0.75}$	89.4^{a}	96.6^{ab}	107.2^{bc}	119.3^{c}	4.11
BW change, kg/d	0.12^{a}	0.19^{b}	0.21^{bc}	0.23^{c}	0.01

Values on the same row under each main effect with different superscripts differ ($p<0.05$), RS+CC+U=rice straw+cassava+urea, URS+CC=urea-treated rice straw +cassava chip, URS+CS=urea-treated rice straw+cottonseed meal and URS+CC+CS=urea-treated rice straw+cassava chip+cottonseed meal.

เสริมมันเส้นผสมยูเรีย กับกลุ่มที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น และกลุ่มที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย กับกลุ่มที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้นและกากเมล็ดฝ้าย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4.2.2 ปริมาณการกินได้ทั้งหมด (total feed intake) กลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน (URS+CC+ CS) มีการกินได้ทั้งหมดสูงสุดคือ 10.3 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับกลุ่มทดลองที่ได้รับฟางข้าวเป็นอาหารหยาบเสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรีย (RS+CC+ U) คือ 7.7 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน กลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น (URS+CC) ปริมาณการกินได้เป็น 8.3 กิโลกรัม ต่อตัวต่อวัน ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย (URS+CS) ที่มีการกินได้เป็น 9.3 กิโลกรัม ต่อตัวต่อวัน กลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเป็นอาหารหยาบ ทำให้การกินได้ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อนำมาคิดเป็นการกินได้รวมเป็น % BW พบว่ากลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้นและกากเมล็ดฝ้าย มีปริมาณการกินได้รวมสูงสุดเป็น 2.7 % BW แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับกลุ่มทดลองที่ได้รับฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย และฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย และเมื่อนำการกินได้มาคิดเป็น g/kg $W^{0.75}$ พบว่ากลุ่มทดลองที่ ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย มีปริมาณการกินได้รวมสูงสุด รองลงมาคือกลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น, ฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย และ ฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย คือ 119.3, 107.6, 96.6 และ 89.4 g/kg $W^{0.75}$ ตามลำดับ พบว่ากลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้นและกากเมล็ดฝ้าย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับกลุ่มทดลองที่ได้รับฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย และฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มทดลองที่ ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย ส่วนกลุ่มทดลองที่ ได้รับฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย และฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4.3 **ความสามารถในการย่อยได้ของโภชนะ**

จากการทดลองหาค่าความสามารถในการย่อยได้ โดยวิธีเก็บตัวอย่างทั้งหมด (total collection method) ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

จากข้อมูลใน Table 8 พบว่ามีการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (dry matter digestibility, DMD), การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (organic matter digestibility, OMD), การย่อยได้ของ NDF (NDF digestibility) และการย่อยได้ของ ADL (ADL digestibility) ของแต่ละกลุ่มทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่กลุ่มทดลองที่ใช้ฟางหมักยูเรีย (URS + CC, URS + CS และ URS + CC +CS) เป็นแหล่งอาหารหยาบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และกลุ่มทดลองที่เสริมทั้งโปรตีนไหลผ่านและคาร์โบไฮเดรท มีแนวโน้มจะสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองอื่น

Table 8 Effects of carbohydrate and undegradable protein on apparent digestibility (%)

Items	Treatments				SEM
	RS+CC + U	URS +CC	URS +CS	URS + CC + CS	
DM	58.8	62.7	63.0	62.8	1.78
OM	61.3	67.0	66.6	68.6	1.74
CP	41.1^{a}	42.5^{a}	52.4^{a}	61.5^{b}	3.13
NDF	51.6	58.3	60.2	60.9	2.22
ADF	48.9	57.5	58.8	58.9	2.34

Values on the same row under each main effect with different superscripts differ ($p<0.05$), DM = dry matter, CP = crude protein, OM = organic matter, NDF = neutral detergent fiber, ADF = acid detergent fiber, ADL = acid detergent lignin ,RS+CC+U= rice straw+cassava+urea, URS+CC=urea-treated rice straw+cassava chip, URS+CS= urea-treated rice straw+cottonseed meal and URS+CC+CS=urea-treated rice straw +cassava chip+cottonseed meal.

4.4 **ปริมาณการกินโภชนะที่ย่อยได้** (digestible nutrient intake)

ปริมาณการกินโภชนะที่ย่อยได้ คิดเป็นกิโลกรัมต่อวัน ดังแสดงใน Table 9 ปริมาณการกินอินทรีย์วัตถุ , NDF และ ADF ที่ย่อยได้ของสัตว์ที่ได้รับอาหารตามกลุ่ม ที่เสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน (URS + CC + CS) สูงกว่า กลุ่มทดลองที่ ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรท และยูเรีย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับ กลุ่มที่เสริมเฉพาะโปรตีนไหลผ่าน (URS + CS) หรือเสริมเฉพาะ คาร์โบไฮเดรท

ปริมาณการกินโปรตีนหยาบที่ย่อย พบว่า กลุ่มที่เสริมโปรตีนไหลผ่าน (URS + CS และ URS + CC + CS) สูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริม (RS + CC + U และ URS + CC) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และกลุ่มทดลอง URS + CC สูงกว่ากลุ่ม RS + CC + U อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Table 9 Effects of carbohydrate and undegradable protein on digestible nutrient intake (kg/day).

Items	Treatments				SEM
	RS+CC+U	URS +CC	URS +CS	URS + CC + CS	
CP, kg/d	0.17^{a}	0.24^{a}	0.48^{b}	0.56^{b}	0.04
NDF, kg/d	2.33^{a}	2.78^{ab}	3.77^{b}	3.69^{b}	0.22
ADF, kg/d	1.51^{a}	2.15^{ab}	3.04^{b}	2.84^{bc}	0.19
OM, kg/d	4.11^{a}	4.73^{ab}	4.95^{ab}	5.91^{b}	0.26
ME, /d					
Mcal	15.64^{a}	18.01^{a}	19.77^{ab}	22.46^{b}	0.79
Mcal/kg	2.02	2.17	2.21	2.17	0.03

Values on the same row under each main effect with different superscripts differ($p<0.05$), CP = crude protein, OM = organic matter, NDF = neutral detergent fiber, ADF = acid detergent fiber, ADL = acid detergent lignin, ME = metabolizable energy (Kearl, 1982), RS+CC+U=rice straw+cassava+urea, URS+CC = urea-treated rice straw+cassava chip, URS+CS=urea-treated rice straw+cottonseed meal and URS+CC+CS=urea-treated rice straw+cassava chip+cottonseed meal.

พลังงานที่สัตว์ได้พลังงานที่สัตว์ได้รับอาหารตามกลุ่มทดลอง ที่เสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน (URS + CC + CS) สูงกว่า กลุ่มทดลองที่ไม่เสริมโปรตีนไหลผ่าน (RS + CC + U และ URS + CC) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับ กลุ่มที่เสริมเฉพาะโปรตีนไหลผ่าน (URS + CS)

4.5 **ความสมดุลไนโตรเจน** (nitrogen balance)

ปริมาณโปรตีนที่สัตว์ได้รับ (CP intake) ดังแสดงใน Table 10 ซึ่งพบว่าไนโตรเจนที่สัตว์ได้รับในแต่ละกลุ่มทดลอง มีความแตกต่างกันค่อนข้างสูง กลุ่มที่เสริมโปรตีนไหลผ่าน (URS + CC +CS และ URS + CS) สูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และกลุ่ม URS + CC สูงกว่ากลุ่ม RS + CC + U อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ไนโตรเจนที่ขับออกมาทางมูลและปัสสาวะ กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรีย สูงกว่าใช้ฟางข้าวไม่หมักด้วยยูเรีย อย่างมีนัย

สำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนไนโตรเจนที่ดูดซึม และเก็บกักในร่างกาย กลุ่มที่เสริมโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่ากลุ่ม ที่ไม่เสริม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และกลุ่ม URS +CC สูงกว่ากลุ่ม RS + CC + U อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Table 10 Effects of carbohydrate and undegradable protein on nitrogen balance.

Items	Treatments				SEM
	RS+CC+U	URS +CC	URS+CS	URS+CC+CS	
Nitrogen intake, g/d	67.35^{a}	89.67^{a}	146.00^{b}	144.71^{b}	9.54
Feaces nitrogen, g/d	30.62^{a}	53.35^{b}	72.51^{b}	72.12^{b}	4.97
Urine nitrogen, g/d	1.72^{a}	2.19^{ab}	2.52^{ab}	2.69^{b}	0.10
Nitrogen absorption,g/d	36.73^{a}	36.33^{b}	73.49^{c}	72.60^{c}	5.17
Nitrogen absorption, %	54.38^{a}	39.69^{ab}	50.85^{ab}	50.16^{b}	1.81
Nitrogen retention, g/d	35.00^{a}	34.13^{b}	70.97^{c}	69.91^{c}	5.09

Values on the same row under each main effect with different superscripts differ ($p<0.05$), RS+CC+U=rice straw+cassava+urea, URS+CC=urea-treated rice straw+ cassava chip, URS+CS=urea-treated rice straw+cottonseed meal and URS+CC+CS= urea-treated rice straw+cassava chip+cottonseed meal.

4.6 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ภายในกระเพาะรูเมน

จากการทดลองหาค่าความเป็นกรด-ด่างของ ของเหลวที่ได้จากกระเพาะรูเมน โดยวัดที่ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0 และ 6.0 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ในแต่ละชั่วโมง ในแต่ละกลุ่มทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง ในทุกกลุ่มทดลองจะค่อยๆ ลดลง หลังจากสัตว์ได้รับอาหารแล้ว 1.5 - 4.0 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร หลังจากนั้นความเป็นกรด-ด่างจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และคงที่ (ภาพที่ 5) กลุ่มทดลองที่ได้รับฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย มีค่า ความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 6.12 - 6.79, กลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 6.52 - 6.63, กลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมัก

ยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 6.36 - 6.50 และ กลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้นและกากเมล็ดฝ้าย มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 6.48 - 6.62 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับปกติ

Table 11 Effects of carbohydrate and undegradable protein on ruminal pH.

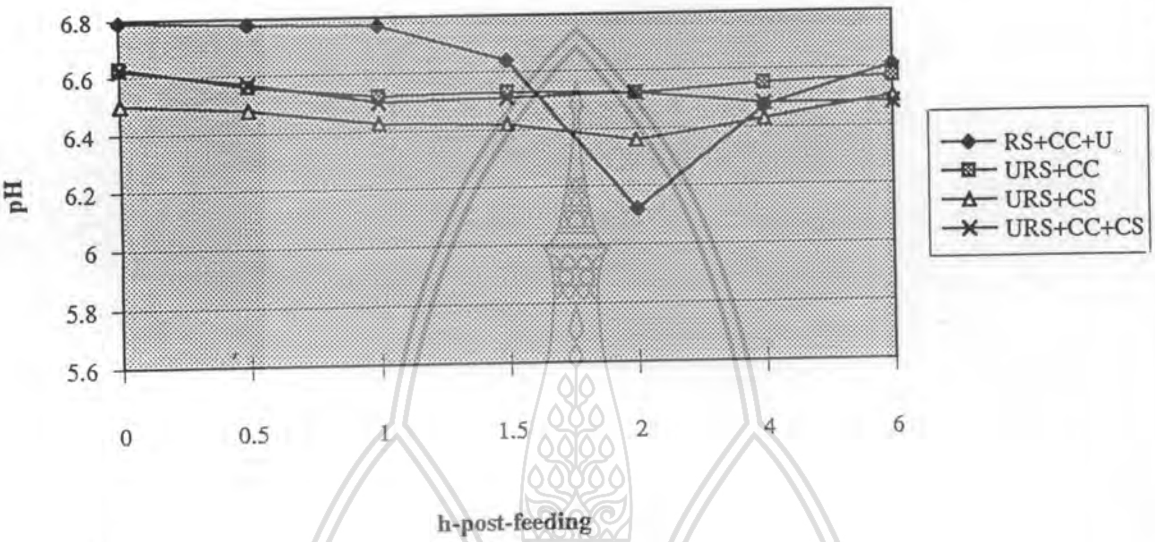
pH	Treatments				SEM
	RS + CC + U	URS +CC	URS +CS	URS+CC+CS	
h-post-feeding					
0	6.79	6.63	6.50	6.62	0.060
0.5	6.78	6.56	6.48	6.57	0.071
1.0	6.77	6.52	6.43	6.50	0.068
1.5	6.64	6.53	6.42	6.51	0.062
2.0	6.12	6.52	6.36	6.52	0.067
4.0	6.47	6.55	6.43	6.48	0.047
6.0	6.61	6.57	6.50	6.48	0.053
Mean	6.60^{a}	6.55^{ab}	6.45^{b}	6.53^{ab}	0.025

Values on the same row under each main effect with different superscripts differ ($p<0.05$), RS+CC+U=rice straw+cassava+urea, URS+CC=urea-treated rice straw+cassava chip, URS+CS=urea-treated rice straw+cottonseed meal and URS+CC+CS=urea-treated rice straw+cassava chip+cottonseed meal.

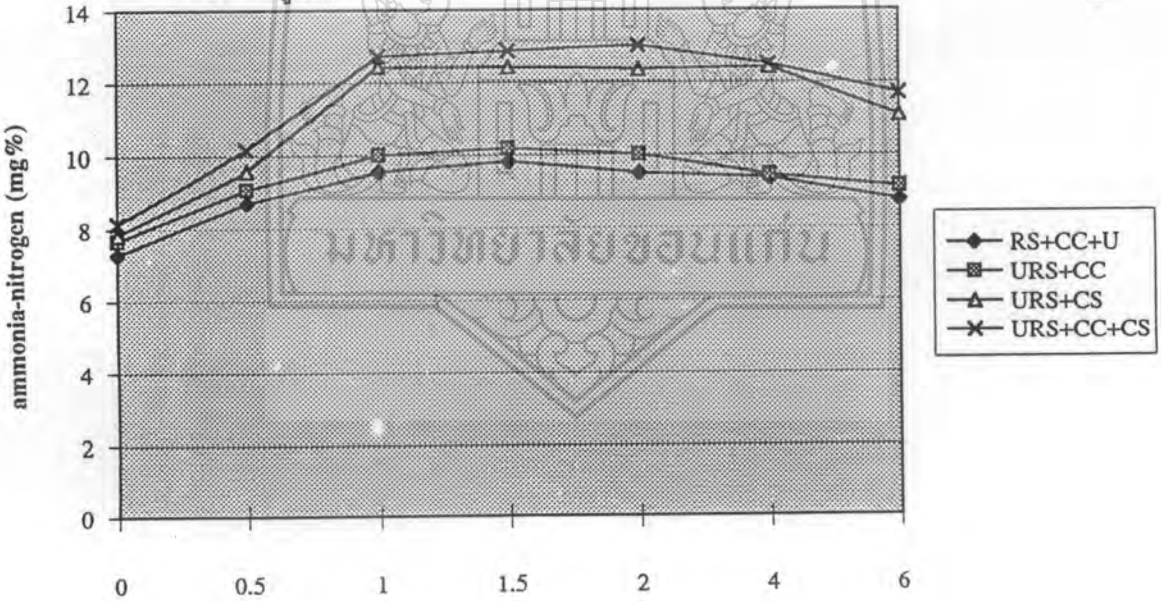
4.7 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในของเหลวจากกระเพาะรูเมน

การวัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในของเหลวจากกระเพาะรูเมน ที่เก็บในชั่วโมงที่ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0 และ 6.0 หลังการให้อาหาร ก่อนให้อาหาร พบว่ามีค่าแอมโมเนีย - ไนโตรเจนเป็น 7.30, 7.68, 7.85 และ 8.16 mg% ของกลุ่มทดลองที่ได้รับ ฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย, ฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น, ฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย และฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้นและกากเมล็ดฝ้าย ตามลำดับ พบว่ากลุ่มทดลองที่เสริมทั้งมันเส้นและกากเมล็ดฝ้าย สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ใช้ฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนกลุ่มการ

ทดลองที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น และฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ หลังจากให้อาหารแล้ว 0.5 ชั่วโมง มีค่าเป็น 8.72, 9.09, 9.58 และ 10.16 mg% ตามลำดับ พบว่ากลุ่ม ทดลองที่เสริมทั้งมันเส้นและกากเมล็ดฝ้าย สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ใช้ฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย และฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) หลังจากชั่ว



ภาพที่ 5 ผลของคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน



ภาพที่ 6 ผลของคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของ ของเหลวในกระเพาะรูเมน

Table 12 Effects of carbohydrate and undegradable protein on ruminal ammonia-nitrogen concentration.

Ammonia-nitrogen	Treatments				SEM
(mg%)	RS+CC+U	URS +CC	URS +CS	URS+CC+CS	
h-post-feeding					
0	7.30^{a}	7.68^{ab}	7.85^{ab}	8.15^{b}	0.144
0.5	8.72^{a}	9.09^{a}	9.58^{ab}	10.16^{b}	0.238
1.0	9.57^{a}	9.99^{a}	12.45^{b}	12.73^{b}	0.379
1.5	9.81^{a}	10.18^{a}	12.42^{b}	12.87^{b}	0.366
2.0	9.50^{a}	10.00^{a}	12.36^{b}	13.02^{b}	0.405
4.0	9.39^{a}	9.45^{a}	12.43^{ab}	12.49^{b}	0.418
6.0	8.78^{a}	9.14^{a}	11.09^{b}	11.70^{b}	0.346
Mean	9.01^{a}	9.36^{a}	11.17^{b}	11.59	0.331

Values on the same row under each main effect with different superscripts differ ($p<0.05$), RS+CC+U=rice straw+cassava+urea, URS+CC=urea-treated rice straw+cassava chip, URS+CS=urea-treated rice straw+cottonseed meal and URS+CC+CS=urea-treated rice straw+cassava chip+cottonseed meal.

4.8 ความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจน ในกระแสเลือด (blood urea nitrogen, BUN)

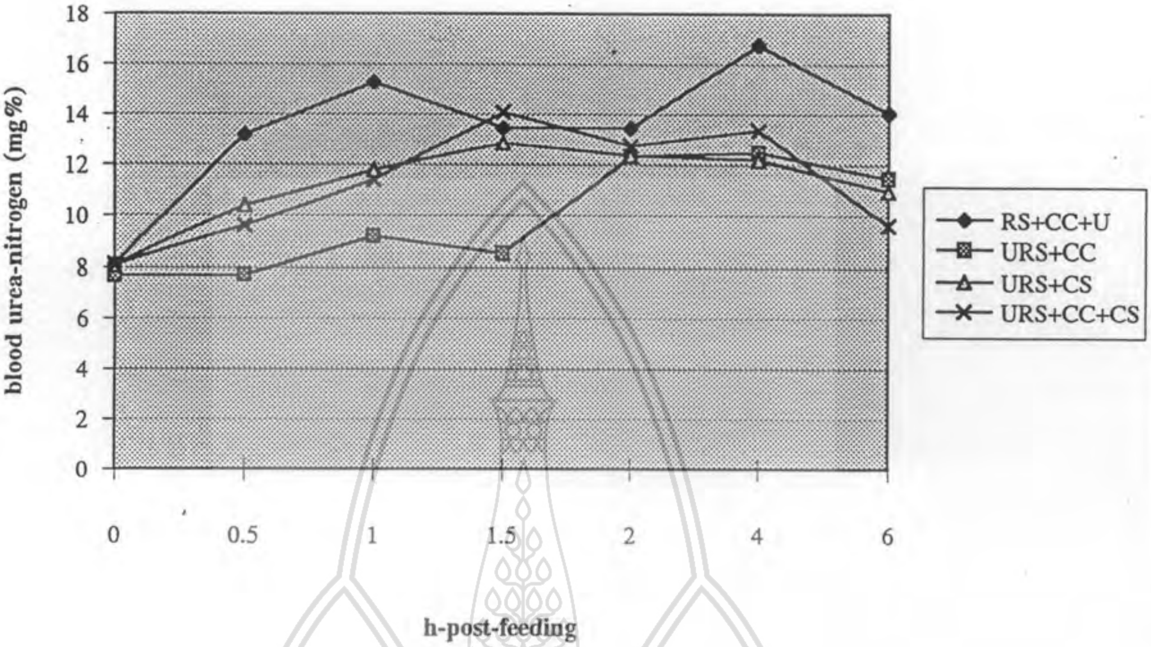
ค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจน ในกระแสเลือดวัดที่ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 4.0 และ 6.0 ชั่วโมง หลังการให้อาหาร พบว่าก่อนการให้อาหารมีค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจน เป็น 8.09, 7.67, 8.07 และ 8.06 mg% ของกลุ่มทดลองที่ได้รับ ฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย, ฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น, ฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย และฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้นและกากเมล็ดฝ้าย ตามลำดับ ในกลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้นมีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในชั่วโมงที่ 0.5 หลังการกินอาหารมีค่าเป็น 13.19, 7.69, 10.40 และ 9.58 mg% ตามลำดับ พบว่ากลุ่มที่ได้รับฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรียมีค่าสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่น

Table 13 Effects of carbohydrate and undegradable protein on blood urea-nitrogen concentration.

BUN (mg%)	Treatments				SEM
	RS + CC + U	URS +CC	URS +CS	URS+CC+CS	
h. post-feeding					
0	8.09^{a}	7.67^{b}	8.07^{a}	8.06^{a}	0.047
0.5	13.19^{a}	7.69^{c}	10.40^{b}	9.58^{bc}	0.810
1.0	15.27^{a}	9.17^{b}	11.80^{b}	11.43^{b}	0.954
1.5	13.45	8.52	12.84	14.06	0.944
2.0	13.44	12.31	12.33	12.73	0.742
4.0	16.76	12.48	12.19	13.36	0.839
6.0	14.04	11.48	10.99	9.62	0.927
Mean	13.46^{a}	9.90^{b}	11.23^{b}	11.26^{b}	0.463

Values on the same row under each main effect with different superscripts differ ($p<0.05$), RS+CC+U=rice straw+cassava+urea, URS+CC=urea-treated rice straw+ cassava chip, URS+CS=urea-treated rice straw+cottonseed meal and URS+CC+CS= urea-treated rice straw+cassava chip+cottonseed meal.

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กลุ่มที่มีค่าต่ำสุดยังเป็นกลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักผสมยูเรีย ส่วนกลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย และฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้นและกากเมล็ดฝ้าย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในชั่วโมงที่ 1 หลังการให้อาหาร มีค่าเป็น 15.27, 9.17, 11.80 และ 11.43 mg% ตามลำดับ พบว่ากลุ่มทดลองที่ได้รับฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรียมีค่าสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1.5 หลังการให้อาหาร พบว่าค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยในชั่วโมงที่ 1.5 หลังการให้อาหารมีค่าเป็น 13.45, 8.52, 12.84 และ 14.06 mg%, ในชั่วโมงที่ 2.0 หลังการให้อาหารมีค่าเป็น 13.44, 12.31, 12.33 และ 12.73 mg%, ในชั่วโมงที่ 4.0 หลังการให้อาหารมีค่าเป็น 16.76, 12.48, 12.19 และ 13.36 mg% และในชั่วโมงที่ 6.0 หลังการให้อาหารมีค่าเป็น 14.04, 11.48, 10.99 และ 9.62 mg% ตามลำดับ



ภาพที่ 7 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจน ในกระแสเลือด

4.9 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ ของของเหลวจากกระเพาะรูเมน

กรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (total volatile fatty acid, TVFA) (Table 14) ก่อนการให้อาหารพบว่า กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่า กลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรีย และกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน ในชั่วโมงที่ 0.5 หลังการให้อาหาร พบว่า กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่า ($p<0.05$) กลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรีย แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท และ กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน ในชั่วโมงที่ 1.0 หลังการให้อาหาร พบว่า กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่า ($p<0.05$)กลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรีย แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท ในชั่วโมงที่ 1.5

หลังการให้อาหาร พบว่า กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่ากลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรีย และกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน ในชั่วโมงที่ 2.0 หลังการให้อาหาร พบว่า กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรีย (URS+CC, URS+CS และ URS+CC+CS) สูงกว่า ($p<0.05$) กลุ่มที่ใช้ฟางข้าวธรรมดาในชั่วโมงที่ 4.0 และ 6.0 หลังการให้อาหาร พบว่า กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่า ($p<0.05$) กลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรีย แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท และกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน ค่าเฉลี่ยของกรดไขมันระเหยได้รวมเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 82.93, 69.50, 65.19 และ 59.62 m mol/l ของ กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน, กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน, กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท และ กลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรีย ตามลำดับ พบว่า กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่า ($p<0.05$) กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน, กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท และกลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรีย กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่า ($p<0.05$) กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท และ กลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรีย และ กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท สูงกว่า ($p<0.05$) กลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรีย

ค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติค (acetic acid, C_2) ในของเหลวจากกระเพาะรูเมน (Table 15) ก่อนการให้อาหารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ หลังจากการให้อาหารแล้ว 0.5 ชั่วโมง พบว่า กลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรีย , กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท และกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่า ($p<0.05$) กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน และในชั่วโมงที่ 1.0 หลังการให้อาหาร กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท และ กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่า ($p<0.05$) กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน และกลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทและ

Table 14 Effects of carbohydrate and undegradable protein on ruminal total volatile fatty acid (TVFA) concentration.

Items	Treatments				SEM
	RS+CC+U	URS+CC	URS+CS	URS+CC+CS	
h-post-feeding					
TVFA (m mol/l)					
0	43.29^{a}	51.15^{a}	56.30^{ab}	68.65^{b}	3.29
0.5	49.27^{a}	59.15^{ab}	61.19^{ab}	76.67^{b}	3.32
1.0	55.78^{a}	62.25^{bc}	66.64^{b}	90.16^{c}	4.09
1.5	67.69^{a}	66.64^{a}	74.82^{ab}	86.47^{b}	2.72
2.0	66.38^{a}	71.19^{b}	73.34^{b}	83.01^{c}	1.88
4.0	71.83^{a}	78.65^{ab}	82.05^{ab}	91.65^{b}	2.78
6.0	63.08^{a}	67.28^{ab}	72.13^{ab}	83.88^{b}	2.74
Mean	59.62^{a}	65.19^{b}	65.50^{c}	82.93^{d}	2.313

Values on the same row under each main effect with different superscripts differ ($p<0.05$), TVFA = total volatile fatty acid, RS+CC+U=rice straw+cassava+urea, URS+CC=urea-treated rice straw+cassava chip, URS+CS=urea-treated rice straw+cottonseed meal and URS+CC+CS=urea-treated rice straw+cassava chip+cottonseed meal.

ยูเรีย หลังจากการให้อาหารแล้ว 1.5-6.0 ชั่วโมง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2.0-4.0 หลังการให้อาหาร ดังแสดงในภาพที่ 8 ค่าเฉลี่ยของกรดอะซิติค เท่ากับ 66.34, 65.52, 67.05 และ 64.81 mol/100 mol ของกลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรีย, กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท, กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน และกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ตามลำดับ พบว่าแต่ละกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มข้นของกรดโพรพิออนิค (propionic acid, C_3) ในของเหลวจากกระเพาะรูเมนตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0-6.0 หลังการให้อาหารพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ย พบว่า กลุ่มที่เสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน และกลุ่มที่ใช้ฟางข้าว

เสริมคาร์โบไฮเดรทผสมยูเรีย สูงกว่า กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท ดังแสดงใน Table 15 และภาพที่ 10

ค่าความเข้มข้นของกรดบิวทีริค (butyric acid, C_4) ในของเหลวจากกระเพาะรูเมน (Table 15) ในชั่วโมงที่ 0, 1.0, และ 2.0 หลังการให้อาหาร พบว่าในแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในชั่วโมงที่ 0.5 หลังการให้อาหาร พบว่า กลุ่มที่เสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่า ($p<0.05$) กลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทผสมยูเรีย แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท และกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน และในชั่วโมงที่ 4.0 หลังการให้อาหาร พบว่า กลุ่ม ที่เสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียสูงกว่า ($p<0.05$) กลุ่มที่ใช้ฟางข้าว ดังแสดงในภาพที่ 10 ส่วนค่าเฉลี่ยของกรดบิวทีริค ของทุกชั่วโมงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ความเข้มข้นของกรดไขมันวาเลอริค (valeric acid) (Table 15) ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2.0 ถึง 6.0 หลังการให้อาหาร พบว่ากลุ่มที่เสริมโปรตีนไหลผ่าน (URS+CS และ URS+CC+CS) สูงกว่า ($p<0.05$)กลุ่มที่ไม่เสริม ส่วนค่าเฉลี่ยทั้งหมดพบว่า กลุ่มที่เสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่านสูงกว่ากลุ่มอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 12)

ความเข้มข้นของกรดไอโซบิวทีริค (iso-butyric acid) และ ไอโซวาเลอริค (iso-valeric acid) (Table 17) ในชั่วโมงที่ 4.0 หลังการให้อาหาร กลุ่มที่เสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่า ($p<0.05$) กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรีย เสริมคาร์โบไฮเดรท แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับ กลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรท ผสมยูเรีย และกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน (ภาพที่ 13 และ 14) ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของไอโซบิวทีริค กลุ่มที่เสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่า ($p<0.05$) กลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทผสมยูเรีย และกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรีย เสริมคาร์โบไฮเดรท แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ กับกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน ส่วนค่าเฉลี่ยทั้งหมดของ ไอโซวาเลอริค ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

สัดส่วนของ $C_2 : C_3$ ในชั่วโมงที่ 4.0 หลังการให้อาหาร กลุ่มที่เสริมทั้งคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ค่าเฉลี่ยทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 18)

Table 15 Effects of carbohydrate and undegradable protein on ruminal acetic acid and propionic acid concentrations.

	Treatments				SEM
Items	RS+CC+U	URS+CC	URS+CS	URS+CC+CS	
h-post-feeding					
Acetic acid, C_2 (mol/100 mol)					
0	64.55	58.16	61.88	65.69	1.59
0.5	67.95^{a}	64.69^{a}	65.72^{a}	60.95^{b}	0.88
1.0	62.06^{a}	65.94^{b}	67.88^{b}	62.09^{a}	0.86
1.5	65.79	64.63	68.06	67.31	0.85
2.0	63.88	66.52	69.02	68.64	1.16
4.0	69.89	70.55	70.15	61.74	1.42
6.0	70.27	68.16	66.64	67.24	0.98
Mean	66.34	65.52	67.05	64.81	0.598
Propionic acid (mol/100mol)					
0	21.24	20.93	20.08	18.95	0.46
0.5	19.43	20.30	19.16	21.47	0.49
1.0	22.44	18.52	17.46	21.46	0.77
1.5	20.96	20.02	16.910	22.91	1.13
2.0	17.60	19.15	17.30	19.31	0.63
4.0	19.53	17.62	17.83	19.75	0.44
6.0	20.55	18.61	20.11	19.47	0.82
Mean	20.25^{a}	19.31^{ab}	18.41^{b}	20.47^{a}	0.295

Values on the same row under each main effect with different superscripts differ ($p<0.05$), RS+CC+U=rice straw+cassava+urea, URS+CC=urea-treated rice straw+ cassava chip, URS+CS=urea-treated rice straw+cottonseed meal and URS+CC+CS= urea-treated rice straw+cassava chip+cottonseed meal.

Table 16 Effects of carbohydrate and undegradable protein on ruminal butyric acid and valeric acid concentrations.

Items	Treatments				SEM
	RS+CC+U	URS+CC	URS+CS	URS+CC+CS	
h-post-feeding					
Butyric acid (mol/100mol)					
0	11.84	17.81	15.32	14.70	1.31
0.5	10.58^{a}	13.18^{ab}	12.98^{ab}	14.29^{b}	0.58
1.0	13.89	13.18	12.61	14.73	0.37
1.5	11.54^{ab}	11.98^{ab}	13.16^{a}	9.90^{b}	0.56
2.0	15.86	12.52	11.94	13.62	0.70
4.0	8.45^{a}	10.64^{b}	9.79^{b}	13.13^{c}	0.99
6.0	7.89^{a}	11.45^{b}	11.21^{b}	10.62^{ab}	0.67
Mean	11.44	12.97	12.43	13.0	0.419
Valeric acid, C5 (mol/100 mol)					
0	0.70	0.84	0.62	1.03	0.08
0.5	0.57^{ab}	0.35^{a}	0.47^{a}	0.90^{b}	0.08
1.0	0.43	0.49	0.57	0.56	0.04
1.5	0.49^{a}	0.70^{c}	0.51^{ab}	0.57^{b}	0.04
2.0	0.48^{a}	0.51^{a}	0.71^{b}	0.70^{b}	0.05
4.0	0.71^{ab}	0.30^{a}	0.84^{b}	0.80^{b}	0.07
6.0	0.17^{a}	0.25^{b}	0.35^{bc}	0.46^{c}	0.04
Mean	0.51^{a}	0.49^{a}	0.58^{ab}	0.72^{b}	0.038

Values on the same row under each main effect with different superscripts differ ($p<0.05$), RS+CC+U=rice straw+cassava+urea, URS+CC=urea-treated rice straw+cassava chip, URS+CS=urea-treated rice straw+cottonseed meal and URS+CC+CS=urea-treated rice straw+cassava chip+cottonseed meal.

Table 17 Effects of carbohydrate and undegradable protein on ruminal iso-butyric acid and iso-valeric acid concentrations.

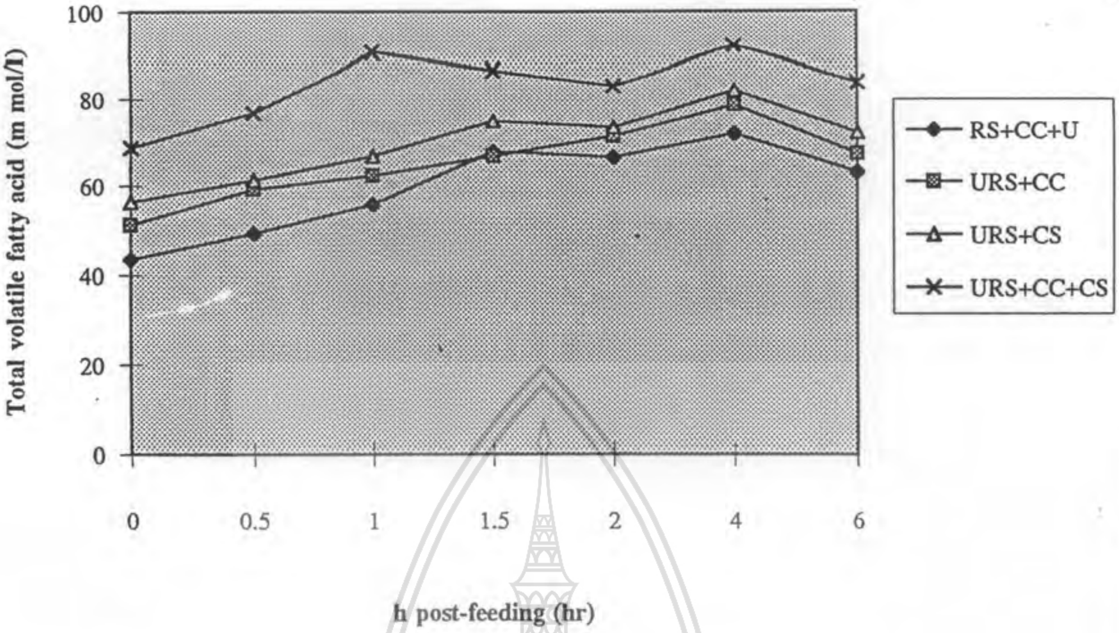
Items	Treatments				SEM
	RS+CC+U	URS+CC	URS+CS	URS+CC+CS	
h-post-feeding					
Iso-butyric acid, Iso-C_4 (mol/100 mol)					
0	1.50	1.55	2.07	1.65	0.15
0.5	1.31	1.25	1.35	2.32	0.16
1.0	1.03	1.31	1.24	1.18	0.08
1.5	0.93	1.10	1.36	1.24	0.07
2.0	0.93	1.10	1.36	1.24	0.19
4.0	1.11^{ab}	0.85^{a}	1.21^{ab}	1.64^{b}	0.14
6.0	0.95	0.74	1.39	2.19	0.24
Mean	1.11^{a}	1.13^{a}	1.43^{ab}	1.64^{b}	0.072
Iso-valeric acid, Iso-C_5 (mol/100 mol)					
0	0.75	0.60	0.72	0.96	0.92
0.5	0.72	0.83	0.53	0.96	0.11
1.0	0.59^{a}	0.91^{b}	0.82^{ab}	0.54^{a}	0.09
1.5	0.78	0.12	0.51	0.65	0.04
2.0	0.79	0.80	0.76	0.67	0.06
4.0	1.01^{ab}	0.34^{a}	1.02^{ab}	1.55^{b}	0.16
6.0	0.33^{a}	0.51^{ab}	0.65^{b}	1.15^{c}	0.10
Mean	0.71	0.59	0.57	0.93	0.057

Values on the same row under each main effect with different superscripts differ (<0.05), RS+CC+U=rice straw+cassava+urea, URS+CC=urea-treated rice straw+ cassava chip, URS+CS=urea-treated rice straw+cottonseed meal and URS+CC+CS= urea-treated rice straw+cassava chip+cottonseed meal

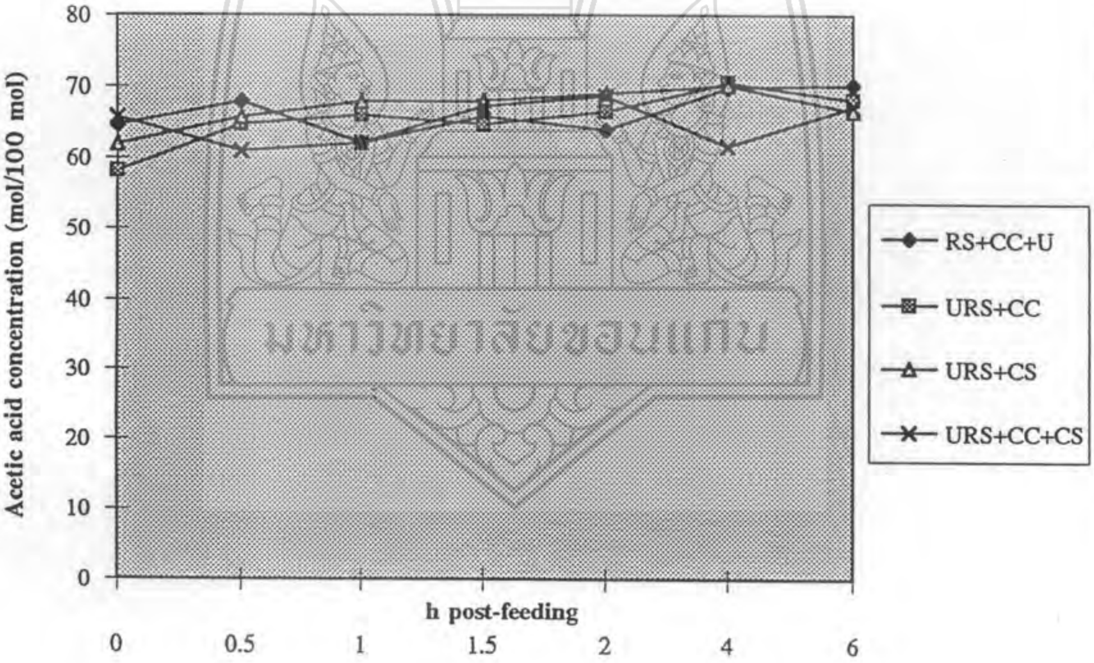
Table 18 Effects of carbohydrate and undegradable protein on ratio of ruminal acetic acid and propionic acid.

	Treatments				SEM
Items	RS+CC+U	URS+CC	URS+CS	URS+CC+CS	
h-post-feeding					
C2 : C3					
0	3.04^{a}	2.79^{a}	3.09^{ab}	3.88^{b}	0.146
0.5	3.55^{a}	3.20^{ab}	3.44^{a}	2.85^{b}	0.117
1.0	2.78	3.56	3.99	2.90	0.191
1.5	3.14	3.31	4.11	3.26	0.190
2.0	3.63	3.55	4.04	3.63	0.163
4.0	3.58^{a}	4.01^{a}	3.98^{a}	3.15^{b}	0.141
6.0	3.62	3.70	3.36	3.46	0.183
Mean	3.33	3.45	3.72	3.30	0.747

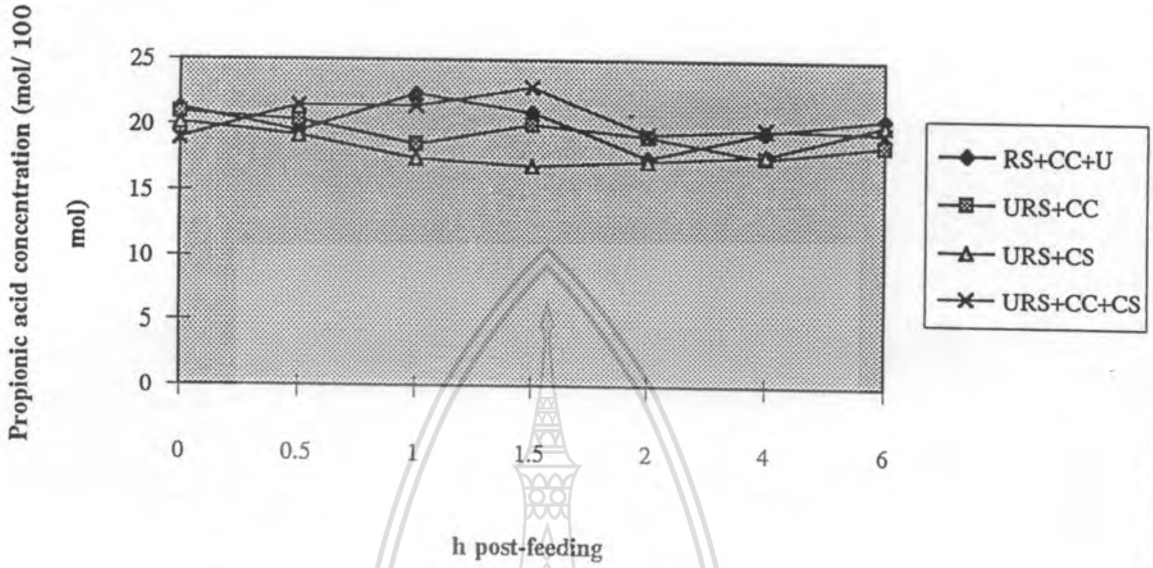
Values on the same row under each main effect with different superscripts differ($p<0.05$), RS+CC+U=rice straw+cassava+urea, URS+CC=urea-treated rice straw+ cassava chip, URS+CS=urea-treated rice straw+cottonseed meal and URS+CC+CS= urea-treated rice straw+cassava chip+cottonseed meal.



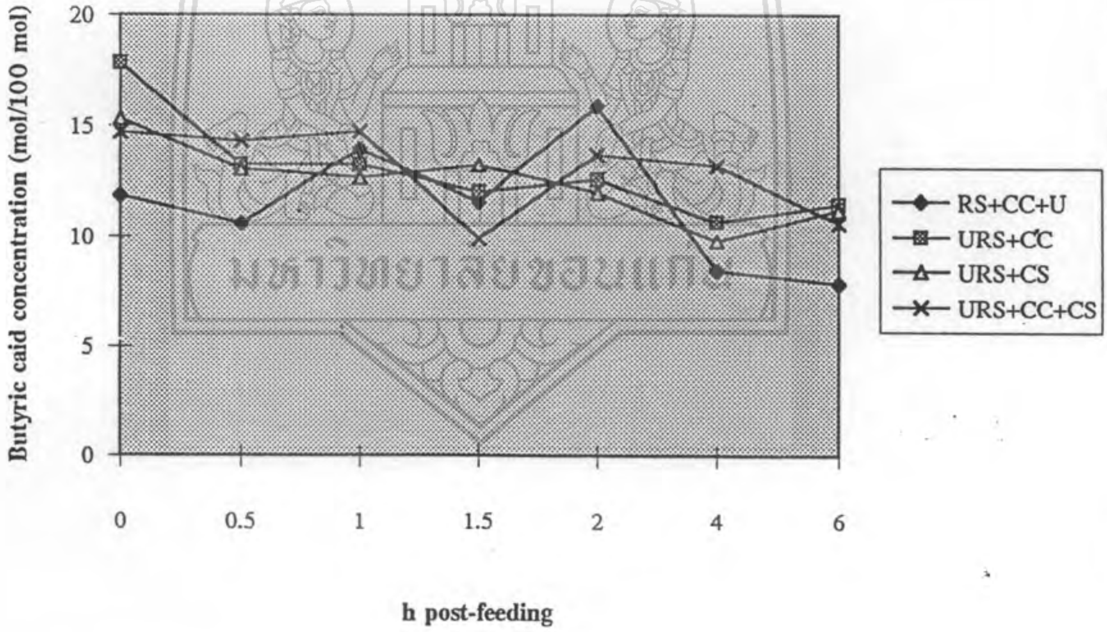
ภาพที่ 8 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด (TVFA)



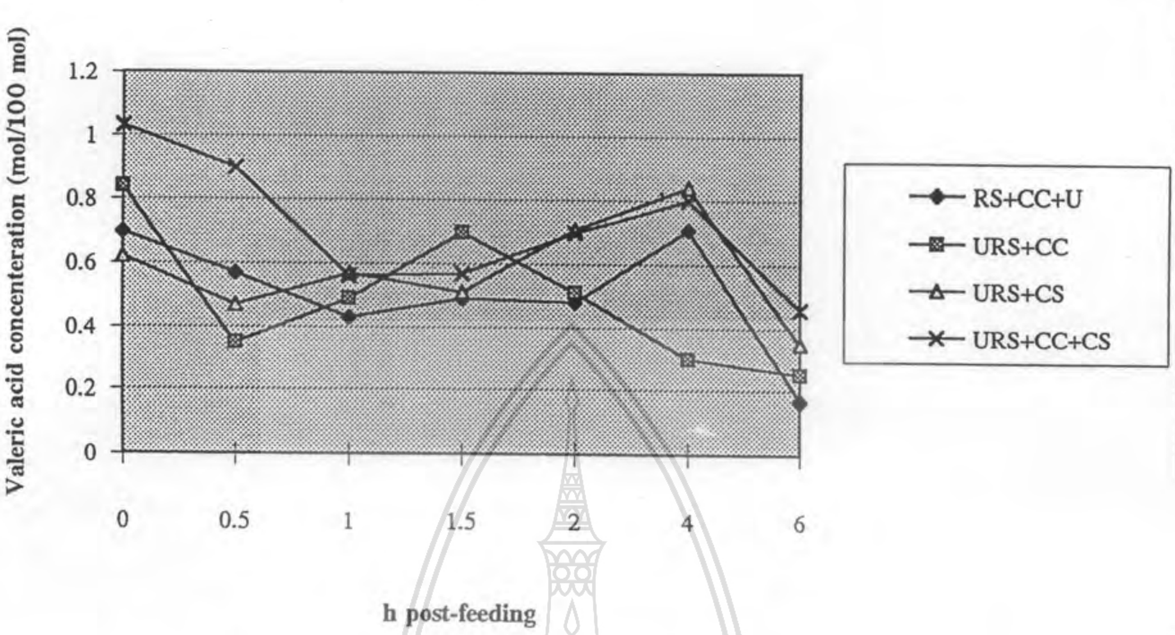
ภาพที่ 9 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติค (acetic acid, C_2)



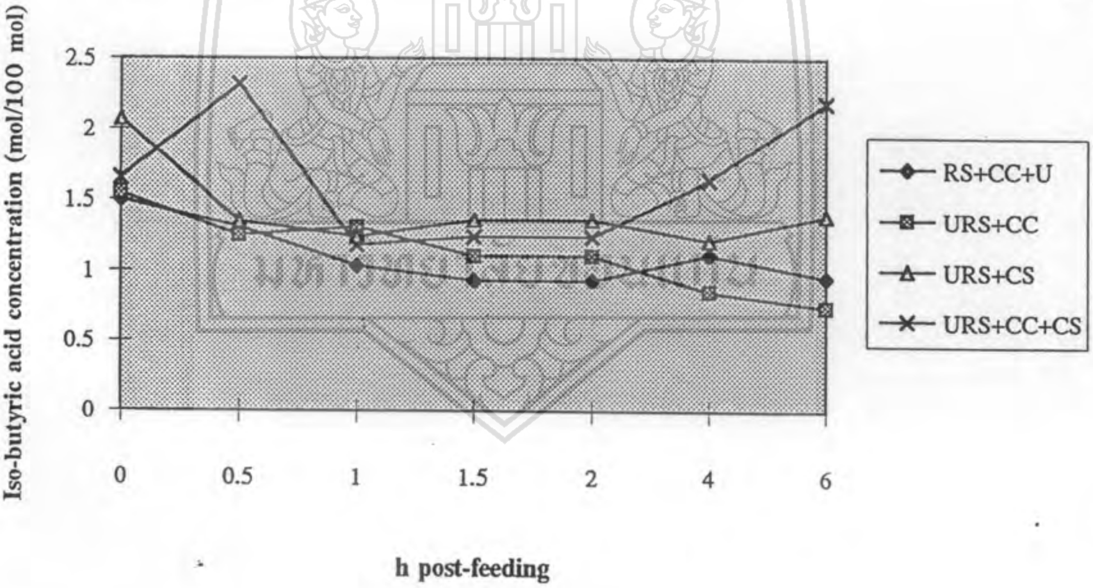
ภาพที่ 10 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของกรดโพรพิออนิค (propionic acid, C_3)



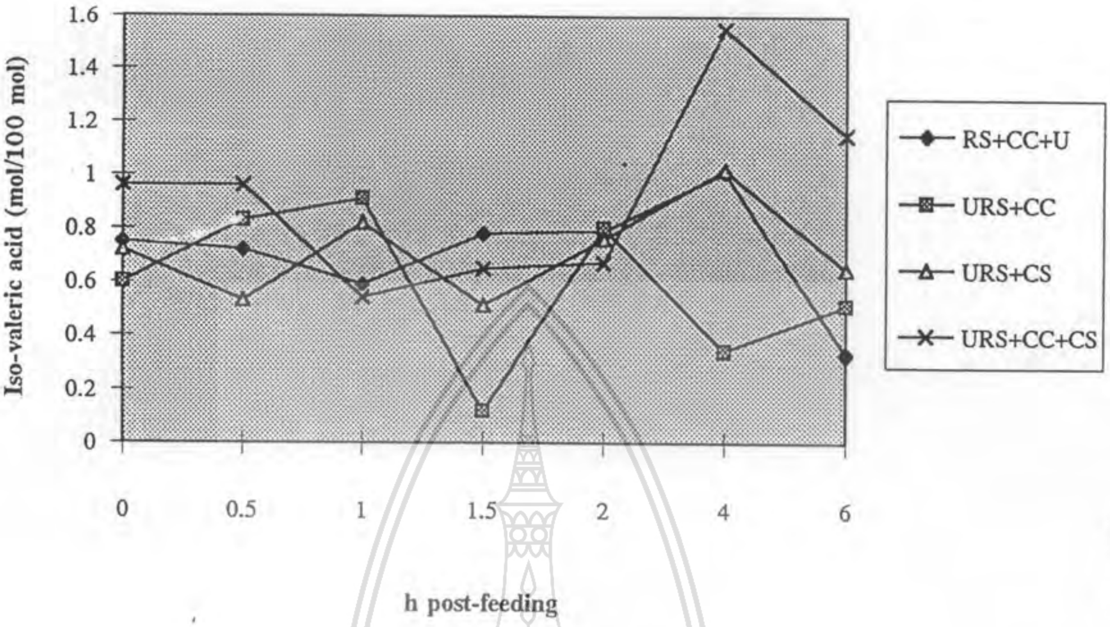
ภาพที่ 11 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของ กรดบิวทีริค (butyric acid, C_4)



ภาพที่ 12 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของ กรดวาเลอริค (valeric acid, C_5)



ภาพที่ 13 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของ กรดไอโซบิวทีริค (iso-butyric acid, iso-C_4)



ภาพที่ 14 ผลของอาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน ต่อค่าความเข้มข้นของ กรดไอโซวาเลอริค (iso-valeric acid ,iso-C_5)

4.10 การประเมินการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจากอนุพันธ์ของพิวรีนที่ขับออกมากับปัสสาวะ (The estimated of microbial protein from purine derivatives (PD) excretion.)

จากการทดลองพบว่า ค่าอนุพันธ์ของพิวรีนที่วัด คือ อัลแลนโตอีน (allantoin) ที่ขับออกมากับปัสสาวะ วัดเป็นมิลลิโมลต่อลิตร (m mol/l) พบว่าในทุกกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อคิดเป็นมิลลิโมลต่อวัน (m mol/d) พบว่ากลุ่มที่เสริมทั้งโปรตีนไหลผ่าน และคาร์โบไฮเดรท (URS+CC+CS) สูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมโปรตีนไหลผ่าน (RS+CC+U และ URS+CC) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่เสริมเฉพาะโปรตีนไหลผ่าน เมื่อนำอัลแลนโตอีนมาคำนวณเป็นพิวรีนทั้งหมด (total purine, TPD) จากอนุพันธ์ของพิวรีนทั้งหมดที่ขับออกมาทางปัสสาวะ ประกอบด้วยอัลแลนโตอีน 80-85 เปอร์เซ็นต์ พบว่ากลุ่มที่เสริมทั้งโปรตีนไหลผ่าน และคาร์โบไฮเดรท (URS+CC+CS) สูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมโปรตีนไหลผ่าน (RS+CC+U และ URS+CC) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่เสริมเฉพาะโปรตีนไหลผ่าน เมื่อคิดเป็นมิลลิโมลต่อเมทธาโบลิคของน้ำหนักตัว (m mol/kg $W^{0.75}$) พบว่า

Table 19 The estimation of microbial protein from purine derivatives (PD) excretion by steers given a basal diet of rice straw and urea-treated rice straw supplemented with carbohydrate and by-pass protein.

Items	Treatments				SEM
	RS+CC+U	URS+CC	URS+CS	URS+CC+CS	
Allantoin					
m mol/l	4.21	5.29	6.03	6.52	0.724
m mol/d	92.87^{a}	112.44^{a}	128.67^{ab}	159.25^{b}	13.035
Total PD[1/]					
m mol/d	112.57^{a}	136.29^{a}	155.96^{ab}	193.03^{b}	15.799
m mol/kgW$^{0.75}$	1.29^{a}	1.66^{ab}	1.77^{ab}	1.99^{b}	0.156
PD absorption, m mol/d[2/]	92.89^{a}	123.07^{a}	143.57^{ab}	188.06^{b}	18.540
Calculated microbial N[3/]					
gN/day	67.53^{a}	89.47^{a}	104.38^{ab}	136.72^{b}	13.479
gN/kgOMDT[4/]	16.18^{a}	18.69^{ab}	22.17^{ab}	24.55^{b}	2.633
gN/kgOMDR[5/]	24.89^{a}	28.76^{ab}	34.10^{ab}	37.76^{b}	4.054

Values on the same row under each main effect with different superscripts differ ($p<0.05$), PD = purine derivatives, [1/] allantoin in urine cattle was 80-85 % of total purine (IAEA, 1997), [2/] calculated PD absorption (Verbic et al., 1990), [3/] calculated microbial N (Chen et al., 1992), OMDT = organic matter digestible in total tract, OMDR = organic matter digestible in the rumen was 65 % of OMDT (ARC, 1984), RS+CC+U=rice straw+ cassava+urea, URS+CC=urea-treated rice straw+cassava chip, URS+CS=urea-treated rice straw+cottonseed meal and URS+CC+CS=urea-treated rice straw+cassava chip+ cottonseed meal

กลุ่มที่เสริมทั้งโปรตีนไหลผ่าน และคาร์โบไฮเดรท (URS+CC+CS) สูงกว่ากลุ่มที่ใช้ฟางข้าว เสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่เสริมเฉพาะคาร์โบไฮเดรท และ กลุ่มที่เสริมเฉพาะโปรตีนไหลผ่าน ค่าอนุพันธ์ของพิวรีนที่ดูดซึม

เป็นมิลลิโมลต่อวัน และจุลินทรีย์โปรตีน หรือจุลินทรีย์ไนโตรเจนจากการคำนวณเป็นกรัมไนโตรเจนต่อวัน (gN/day) พบว่ากลุ่มที่เสริมทั้งโปรตีนไหลผ่าน และคาร์โบไฮเดรท (URS+CC+CS) สูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมโปรตีนไหลผ่าน (RS+CC+U และ URS+CC) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่เสริมเฉพาะโปรตีนไหลผ่าน เมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพในการสังเคราะห์จุลินทรีย์ (efficiency of microbial nitrogen supply, EMNS) คิดเป็นกรัมไนโตรเจนของจุลินทรีย์ ต่อกิโลกรัมของการกินได้อินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ทั้งหมด (gN/kgOMDT) และ คิดเป็นกรัมไนโตรเจนของจุลินทรีย์ ต่อกิโลกรัมของการกินได้อินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้ในกระเพาะรูเมน (gN/ kgOMDR) พบว่ากลุ่มที่เสริมทั้งโปรตีนไหลผ่าน และคาร์โบไฮเดรท (URS+CC+CS) สูงกว่ากลุ่มที่ใช้ฟางข้าว เสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่เสริมเฉพาะคาร์โบไฮเดรท และกลุ่มที่เสริมเฉพาะโปรตีนไหลผ่าน

4.11 **อัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์โปรตีน ต่อพลังงานจากกรดไขมันระเหยได้** (P/E ratio)

จากการทดลอง พบว่าจุลินทรีย์โปรตีนที่วัดได้ โดยการคำนวณจากอนุพันธ์ของพิวรีน วัดเป็น g microbial protein/d กลุ่มที่เสริมทั้งคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่ากลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมมันเส้นและยูเรีย และกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน ส่วนกรดไขมันระเหยได้ คิดเป็น MJ/d คำนวณโดยประมาณจากการย่อยได้ของวัตถุแห้ง คือ ในการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (dry matter digested) 1 กิโลกรัม ให้ผลผลิตกรดไขมันระเหยได้ 7.5 โมล สำหรับในการย่อยอาหารหยาบ เมื่อคำนวณเป็นอัตราส่วนของ จุลินทรีย์โปรตีน ต่อพลังงานจากกรดไขมันระเหยได้ คิดเป็น g microbial protein / MJ VFA พบว่ากลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน และ กลุ่มที่เสริมโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่ากลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมมันเส้นและยูเรีย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท

Table 20 Effects of carbohydrate and undegradable protein on microbialprotein and energy ratio (P/E ratio).

Items	Treatments				
	RS+CC+U	URS+CC	URS+CS	URS+CC+CS	SEM
Microbial protein (g/d)	422.10^{a}	559.20^{a}	652.40^{ab}	854.50^{b}	84.243
VFA produced, (MJ/d)$^{1/}$	41.38^{a}	44.44^{a}	48.25^{ab}	56.70^{b}	3.370
P/E ratio (g/MJ)	10.27^{a}	12.91^{ab}	14.01^{ab}	14.84^{b}	1.371

Values on the same row under each main effect with different superscripts differ ($p<0.05$), $^{1/}$ volatile fatty acid produced =7.5 mol VFA/ 1 kg dry matter digested (Czerkawski, 1986), RS+CC+U=rice straw+ cassava+urea, URS+CC=urea-treated rice straw+cassava chip, URS+CS=urea-treated rice straw+cottonseed meal and URS+CC+CS=urea-treated rice straw+cassava chip+ cottonseed meal.

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ส่วนประกอบของโภชนะในอาหาร

ฟางข้าวที่นำมาใช้ในการทดลองประกอบด้วยโปรตีนเฉลี่ย 3.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าที่ ไพบูลย์ (2532) ซึ่งรายงานไว้คือ 3.0 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามก็อยู่ในช่วงที่ เมธา (2528) รายงานไว้คือ ฟางข้าวมีโปรตีนเฉลี่ย 2.6-4.0 เปอร์เซ็นต์ และ Jackson (1977) รายงานไว้คือ ฟางข้าวมีโปรตีนหยาบ 3-5 เปอร์เซ็นต์ ฟางข้าวที่นำมาใช้ในการทดลองมีโปรตีนที่ค่อนข้างสูงทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากเป็นฟางข้าวที่ได้หลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วไม่นาน ฟางหมักยูเรียที่ใช้ในการทดลองเป็นฟางหมักยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีนหยาบ 7.8 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับที่ Hart and Wanapat (1992) ซึ่งรายงานไว้ว่าฟางหมักยูเรียมีโปรตีนหยาบ 7.4 เปอร์เซ็นต์, Badurdeen et al. (1994) พบว่าฟางหมักยูเรียมีโปรตีนหยาบ 7.7 เปอร์เซ็นต์ และ Wanapat et al. (1983) รายงานไว้ คือ 6.9 เปอร์เซ็นต์ ฟางข้าวและฟางหมักยูเรียที่ใช้ในการทดลอง มี ADF หรือส่วนที่เป็นเซลยูโลส และลิกนิน เป็น 49.7 และ 57.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งฟางหมักมีเปอร์เซ็นต์ ADF เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เช่นเดียวกับรายงานของ Hart and Wanapat (1992) คือ เพิ่มขึ้นจาก 51 เป็น 53 เปอร์เซ็นต์ ของฟางและฟางหมักยูเรีย ตามลำดับ และ ไพบูลย์ (2532) รายงานไว้คือ 48.5 และ 55.4 เปอร์เซ็นต์ ของฟางและฟางหมักยูเรีย ตามลำดับ ส่วนประกอบอื่น เช่น เถ้า, NDF และ ADL ของฟางและฟางหมักยูเรียที่ใช้ในการทดลองมีระดับที่ใกล้เคียงกันอาหารข้นที่ใช้ในการทดลองคือ มันเส้น ประกอบด้วยโปรตีนหยาบเฉลี่ย 3.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าที่ เมธา และฉลอง (2533) รายงานไว้คือ 2.6 เปอร์เซ็นต์ และ KKU-IDRC (1980) รายงานไว้ คือ 1.90 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การที่มันเส้นมีระดับโปรตีนสูงกว่าอาจจะเนื่องมาจากแหล่งที่ปลูก พันธุ์ และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ส่วนประกอบอื่นคือ NDF, ADF, ADL และ เถ้าของอาหารที่ใช้ในการทดลองเป็น 19.1, 6.3, 2.3 และ 3.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5.2 ปริมาณการกินได้

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบ ของโคที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่านมีปริมาณการกินได้สูงกว่ากลุ่มทดลองที่เสริมคาร์โบไฮเดรท และไม่เสริมโปรตีนไหลผ่าน แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มทดลองเสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหล

ผ่าน ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจาก ในกลุ่มทดลองที่ได้รับการเสริมเพียงโปรตีนไหลผ่านได้รับพลังงานจากฟางหมักยูเรีย ซึ่งมีทั้งคาร์โบไฮเดรทและสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ เพียงพอ เมื่อเสริมเพียงโปรตีนไหลผ่านจึงทำให้สัตว์ได้รับโภชนะหรือโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน แต่ถูกย่อยและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ที่ลำไส้เล็กได้อย่างเหมาะสม ถึงแม้จะเสริมคาร์โบไฮเดรทเพิ่มก็ไม่ทำให้ปริมาณการกินได้ของอาหารหยาบเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อคิดเป็นปริมาณการกินได้ทั้งหมด คิดเป็น % BW พบว่า การเสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน สูงกว่ากลุ่มทดลองอื่นๆ ดังนั้นการเสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน ทำให้เกิดกระบวนการหมักอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่กระเพาะรูเมนจะเกิดกระบวนการหมักคาร์โบไฮเดรท มีทั้งคาร์โบไฮเดรทที่เป็นโครงสร้างจากฟางหมักยูเรีย และคาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างจากมันเส้น โดยจุลินทรีย์ได้ผลผลิตสุดท้ายที่เป็นประโยชน์ต่อตัวสัตว์ และส่วนของคาร์บอนโครงสร้าง (carbon skeletal) จะมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์ (Clark et al., 1992) และได้รับโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยที่กระเพาะรูเมนจากกากเมล็ดฝ้าย นอกเหนือจากจุลินทรีย์จะได้แอมโมเนียจากสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้แล้ว จุลินทรีย์ยังได้รับ กรดแอมมิโนและเปปไทด์จากการย่อยสลายกากเมล็ดฝ้ายถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน ทำให้เกิดกระบวนการหมักอย่างมีประสิทธิภาพ (Russell and Sniffen, 1984) เมื่อเกิดกระบวนการหมักอย่างเหมาะสม การดูดซึมโภชนะไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สัตว์มีปริมาณการกินได้เพิ่มขึ้น (Colucci et al., 1982) โคที่มีปริมาณการกินได้ต่ำสุดคือกลุ่มทดลองที่ได้รับฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย ถึงแม้สัตว์จะได้รับสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้จากการเสริมยูเรียโดยตรง แต่ไม่ได้รับโปรตีนแท้และส่วนที่เป็นโปรตีนไหลผ่านอย่างเพียงพอ ทำให้กระบวนการหมักไม่เหมาะสม มีผลทำให้ปริมาณการกินได้ลดลง ส่วนกลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเป็นแหล่งอาหารหยาบ มีปริมาณการกินได้สูงกว่าที่ได้รับฟางข้าว ทั้งนี้เพราะว่าการหมักฟางข้าวด้วยยูเรีย ทำให้การย่อยได้เพิ่มขึ้น ซึ่ง Wanapat et al. (1983) รายงานว่าทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้งเพิ่มขึ้น 9 เปอร์เซ็นต์ และทำให้ปริมาณการกินได้เพิ่มขึ้นด้วย

5.3 การย่อยได้ของโภชนะและปริมาณการกินได้โภชนะที่ย่อยได้

จากการทดลองครั้งนี้พบว่า โคที่ได้รับฟางหมักยูเรียเป็นอาหารหยาบเสริมโปรตีนไหลผ่านอย่างเดียว และเสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน มีการย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงกว่าโคที่ไม่ได้รับการเสริมโปรตีนไหลผ่าน ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองดังกล่าว สัตว์มีปริมาณการกินได้ของโภชนะมากกว่า ได้รับปริมาณโปรตีนและพลังงาน ที่เพียงพอ ทำให้เกิดกระบวนการหมักใน

กระเพาะรูเมนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การย่อยได้ของวัตถุแห้งสูงกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบ ถึงแม้จะเสริมคาร์โบไฮเดรทผสมยูเรียแต่การย่อยได้ยังต่ำทั้งนี้เนื่องจากฟางข้าวเองมีลักษณะที่ไม่เหมาะสมหลายประการ เช่น มีโปรตีนหยาบต่ำ และมีส่วนที่จับตัวกันระหว่างลิกนินกับเซลยูโลสสูง ทำให้เอ็นไซม์เข้าย่อยสลายได้ยาก มีผลต่อการใช้ประโยชน์ของฟางข้าวได้ต่ำลง (เมธา, 2528) นอกจากนี้การย่อยได้ของวัตถุแห้งยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น ชนิดของอาหาร ส่วนประกอบทางกายภาพและทางเคมี ซึ่ง Van Soest (1967) ได้รายงานไว้ว่าอาหารที่มีผนังเซลล์เท่ากับหรือมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปจะทำให้ปริมาณการกินได้ลดลง

การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ จากการทดลองครั้งนี้ พบว่ากลุ่มทดลองที่ได้รับการเสริมคาร์โบไฮเดรท มีแนวโน้มของการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุสูงกว่าโคที่ได้รับการเสริมเพียงโปรตีนไหลผ่านอย่างเดียว ทั้งนี้เพราะว่าในมันเส้นประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรทที่ย่อยสลายได้ง่าย หรือมีอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้เร็ว ทำให้เกิดกระบวนการหมักอย่างรวดเร็ว และยังพบว่าการเสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่านมีแนวโน้มของการย่อยได้อินทรีย์วัตถุสูงกว่าปัจจัยการทดลองที่เสริมเพียงคาร์โบไฮเดรทเพียงอย่างเดียว กลุ่มที่มีปริมาณการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุต่ำสุดคือ กลุ่มทดลองที่เสริมโปรตีนไหลผ่านเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่ามีการไหลผ่านโดยไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนจริง และในกากเมล็ดฝ้ายจะมีส่วนที่เรียกว่า เนื้อของเซลล์ (neutral detergent soluble) ซึ่งเป็นส่วนที่ละลายง่าย อยู่น้อยทำให้การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุต่ำด้วย ตรงกันข้ามกากเมล็ดฝ้ายยังประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นผนังเซลล์สูงกว่ามันเส้น คือ 38.3 และ 19.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Van Soest (1982) ที่รายงานว่า ยิ่งระดับผนังเซลล์ยิ่งสูงขึ้นการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุยิ่งลดลง

การย่อยได้ของโปรตีนหยาบ ของโคในกลุ่มที่ได้รับการเสริมโปรตีนไหลผ่าน มีการย่อยได้ของโปรตีนสูงกว่า ในกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม โดยทั่วไปแล้วการย่อยได้ของโปรตีน จะเพิ่มขึ้นตามระดับโปรตีนในอาหาร (Schnieder and Flatt, 1975) อย่างไรก็ตาม ในกลุ่มที่ได้รับฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย ถึงแม้จะปรับระดับโปรตีนให้ใกล้เคียงกัน แต่เป็นโปรตีนที่ถูกย่อยสลายเป็นแอมโมเนียอย่างรวดเร็ว ถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือดและถูกขับออก ทำให้กระบวนการหมักไม่มีประสิทธิภาพ ในขณะที่กลุ่มที่ได้รับการเสริมกากเมล็ดฝ้ายได้รับทั้ง สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ กับส่วนที่เป็นโปรตีนแท้ซึ่งถูกใช้ในกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนอย่างเหมาะสม และยังได้รับโปรตีนแท้ที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน สัตว์ได้รับโภชนะหรือกรดแอมมิโนอย่างสมดุลย์ ทำให้กระบวนการหมักเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

การย่อยได้ของ NDF และ ADF พบว่า กลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเป็นแหล่งอาหารหยาบ ทำให้การย่อยได้ของทั้ง NDF และ ADF สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ได้รับฟางข้าวเป็นแหล่งอาหารหยาบ ทั้งนี้เนื่องมาจากมีลิกนินที่สูงกว่าฟางหมักยูเรีย คือ 5.43 และ 4.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Minson (1971) และ Crowder and Cheda (1982) รายงานว่า การเพิ่มขึ้นของลิกนิน 1 หน่วย ทำให้การย่อยได้ลดลง 3-4 หน่วย เนื่องจากลิกนินจะไปขัดขวางการทำงานของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน

5.4 **ความสมดุลไนโตรเจน**

จากการทดลองครั้งนี้ พบว่ากลุ่มทดลองที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่านจากกากเมล็ดฝ้าย และปัจจัยการทดลองที่เสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน โคได้รับปริมาณโปรตีนต่อวัน สูงกว่าในกลุ่มที่ไม่เสริมโปรตีนไหลผ่าน เพราะว่าสัตว์ได้รับไนโตรเจนจากสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้จากฟางหมักยูเรีย ได้รับโปรตีนแท้และโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนจากกากเมล็ดฝ้าย กลุ่มการทดลองที่เสริมเพียงโปรตีนไหลผ่าน โคได้รับปริมาณโปรตีนสูงกว่า กลุ่มที่เสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน เพราะว่ามีปริมาณการกินได้สูงกว่า แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนโคที่ได้รับฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย ถึงแม้จะได้รับสารประกอบไนโตรเจนจากยูเรียที่เสริม แต่ปริมาณการกินได้ต่ำจึงทำให้ได้รับโปรตีนต่ำด้วย ไนโตรเจนที่สูญเสียทางมูลและปัสสาวะ เพิ่มตามปริมาณโปรตีนที่โคได้รับ และมีแนวโน้มเป็นสัดส่วนกับปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งและขนาดของร่างกาย (Van Soest, 1991) จากการทดลองครั้งนี้พบว่า ในมูลและปัสสาวะมีโปรตีน ระหว่าง 191.40-453.15 และ 64.50-170.59 กรัมต่อวัน ตามลำดับ Devendra (1984) รายงานว่า ความผันแปรของ metabolize energy มีผลต่อไนโตรเจนที่เก็บกักในร่างกาย และกรณีที่สัตว์ได้รับไนโตรเจนในอาหารต่ำ ไตจะลดการขับยูเรียออกทางปัสสาวะ ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนหมุนเวียนเข้าสู่กระเพาะรูเมนได้อีก เพื่อเพิ่มการผลิตจุลินทรีย์ (Fontenot, 1979) จากการทดลองพบว่า ไนโตรเจนที่ดูดซึมและเก็บกักในร่างกายมีค่าเป็นบวก (+) และเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์ได้รับจากอาหาร Schnieder and Flatt (1975) อธิบายว่า ถ้าในอาหารมีโปรตีนต่ำกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้การย่อยได้ของโปรตีนและความสมดุลไนโตรเจน อาจจะมีค่าเป็นลบ (-) แต่จากการทดลองครั้งนี้คำนวณให้สัตว์ได้รับโปรตีน 12 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ซึ่งเป็นระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จึงไม่พบว่าความสมดุลของไนโตรเจนในร่างกายมีค่าเป็นลบ

Devendra (1984) ได้ศึกษาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนในปัสสาวะ และไนโตรเจนจากอาหาร โดยใช้โปรตีนที่ระดับต่างๆ คือ 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 และ 22 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำข้อมูลมาหาค่าความสัมพันธ์โดยวิธีรีเกรสชั่น ได้ดังสมการ

$$Y = 25.291 + 0.161\,X \quad (R^2 = 0.81)$$

เมื่อ Y = ปริมาณไนโตรเจนในปัสสาวะ (กรัม/วัน)
X = ปริมาณไนโตรเจนที่สัตว์ได้รับ

จากการทดลอง ค่าไนโตรเจนที่สัตว์ได้รับ ของกลุ่มทดลองที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทผสมยูเรีย, ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท, ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน และฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน ค่าที่วัดได้จริงต่ำกว่าที่ได้จากการคำนวณเล็กน้อย โดยเฉพาะในกลุ่มทดลองที่ได้รับฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทผสมยูเรีย และฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรทค่าที่วัดได้จริงต่ำกว่าที่ได้จากการคำนวณ ทั้งนี้เพราะว่า ไตขับไนโตรเจนออกมาน้อย เพื่อนำเอาไนโตรเจนกลับไปใช้ในกระเพาะรูเมนให้เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ ส่วนในกลุ่มการทดลองที่เสริมโปรตีนไหลผ่านสัตว์ได้รับโปรตีนสูงกว่า ทำให้ขับไนโตรเจนออกมาตามปกติ ทำให้ค่าที่วัดได้และค่าที่ประเมินได้มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนความสมดุลไนโตรเจนหาได้จาก สมการ

$$\textbf{ความสมดุลไนโตรเจน} = -43.176 + 0.82\,\text{ADNI} \quad (R^2 = 0.90)$$

เมื่อ

ADNI = apparent digestible nitrogen intake

ความสมดุลไนโตรเจน เท่ากับศูนย์ (extrapolaliting) ได้ค่าความต้องการโปรตีนเพื่อการดำรงชีพเท่ากับ 56.65 mg/kg BW/d หรือเท่ากับ 1.5 g DCP/BW$^{.75}$ kg/d (Devendra, 1984) จากผลการทดลองเมื่อแทนค่าในสมการ พบว่าค่าความสมดุลของไนโตรเจนมีค่าเป็นบวก และเพิ่มขึ้นตามระดับไนโตรเจนที่ได้รับเพิ่มขึ้น

5.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ภายในกระเพาะรูเมน

จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าของเหลวจากกระเพาะรูเมน ในช่วงเวลาเดียวกัน ในแต่ละกลุ่มทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ในช่วง 6.36-6.79 เป็นช่วงที่กว้างกว่าระดับปกติเล็กน้อย ซึ่งระดับปกติของความเป็นกรด-ด่าง ในกระเพาะรูเมน คือ 6.5-7.0 (เมธา, 2533)

เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก และการสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์ แต่อาจจะมีบางช่วงเวลาที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย แต่ก็ไม่ได้ทำให้กระบวนการหมักผิดปกติ โดยเฉพาะในปัจจัยการทดลองที่ ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.36-6.50 สอดคล้องกับรายงานของ Bunting et al. (1989) รายงานว่า สูตรอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงขึ้น จะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลง จากผลการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลง หลังจากการให้อาหารแล้ว 0.5 ถึง 4.0 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร หลังจากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่าง จะเพิ่มขึ้น กลุ่มทดลองที่ได้รับฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทผสมยูเรีย มีระดับความเป็นกรด-ด่าง ในกระเพาะรูเมนสูงกว่ากลุ่มอื่น เพราะว่าการผสมยูเรียซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่างเข้าไป และในฟางข้าวยังประกอบด้วยส่วนที่เป็นผนังเซลล์อยู่สูง ทำให้การย่อยโดยจุลินทรีย์เป็นไปอย่างช้า ๆ อัตราการผลิตกรดไขมันระเหยได้ ออกมาน้อย การหลั่งน้ำลายออกมามาก ใช้เวลาในการเคี้ยวเอื้องนานทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น (Kaufman et al., 1980) จากการทดลองครั้งนี้ถึงแม้กลุ่มทดลองที่ได้รับฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทผสมยูเรีย จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่ากลุ่มการทดลองอื่น แต่ยังถือว่า ต่ำอยู่ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการเสริมคาร์โบไฮเดรทที่ย่อยได้ง่ายจะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในกระเพาะรูเมนลดลง ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้แป้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่กลุ่มที่ย่อยสลายเยื่อใยลดลง อาจจะทำให้ปริมาณการกินได้ลดลงด้วย (Williams et al., 1985 และ Russell and Dombrowski, 1979) จากการทดลองพบว่าในชั่วโมงที่ 2-4 หลังการให้อาหาร ค่าความเป็นกรด-ด่าง จะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่เกิดกระบวนการหมัก กังวาน (2531) รายงานว่า อาหารที่มีพลังงานต่ำ จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า กลุ่มที่ได้รับพลังงานสูง โดยเฉพาะในชั่วโมงที่ 2-6 หลังการให้อาหาร

5.6 ความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจน ในกระแสเลือด

จากการทดลองครั้งนี้ พบว่ากลุ่มทดลองที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรทจากมันเส้น มีค่ายูเรีย-ไนโตรเจน ในกระแสเลือดต่ำกว่ากลุ่มทดลองอื่น ก่อนการให้อาหาร แต่เมื่อเวลา 0.5-1.0 ชั่วโมง หลังการให้อาหารกลับพบว่ากลุ่มทดลองที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทผสมยูเรีย มีค่ายูเรีย-ไนโตรเจน ในกระแสเลือดสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่นอย่างเห็นได้ชัด เพราะว่ากลุ่มทดลองนี้เสริมยูเรียในอาหารโดยตรง ซึ่งยูเรียจะสามารถย่อยสลายได้เป็นแอมโมเนีย อย่างรวดเร็วในกระเพาะรูเมน แอมโมเนียส่วนใหญ่ (80 เปอร์เซ็นต์) จะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้เพื่อสร้างเป็นจุลินทรีย์โปรตีน (Church, 1979) แอมโมเนียที่เหลือจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนสู่กระแสเลือด เข้าไปที่ตับผ่านวัฏจักรยูเรีย ดังนั้นเมื่อมีระดับแอมโมเนียสูงค่ายูเรียที่วัดได้ในกระแสเลือดจึงสูงด้วย (Kung and Huber, 1983; Higginbotham et al., 1989) ซึ่งโดยทั่วไปในชั่วโมงที่ 4 หลังการให้

อาหาร ค่าความเข้มข้นของยูเรีย-ไนโตรเจน ในกระแสเลือดจะมีค่าสูงสุด เพราะเป็นช่วงเวลาที่มีการย่อยอาหาร โปรตีนมาก หลังจากนั้นยูเรีย ในกระแสเลือดจะค่อยๆ ลดลง จนถึงระดับที่ค่อนข้างคงที่ โดยไตจะทำหน้าที่กำจัดออกทางปัสสาวะ ถ้าหากมีมาก บางส่วนถูกดูดกลับไปที่ต่อมน้ำลาย และบางส่วนถูกดูดกลับคืนไปใช้ที่กระเพาะรูเมน Church (1979) รายงานว่าปริมาณไนโตรเจนที่กินมีความสัมพันธ์กับไนโตรเจนที่ขับออกมาทางน้ำลาย (r=0.99) และยูเรียในกระแสเลือดสัมพันธ์กับยูเรียในน้ำลาย (r=0.96) Fontenot (1979) รายงานว่าประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนทั้งหมดที่สัตว์ได้รับจะถูกนำกลับสู่กระเพาะรูเมน ในภาวะที่สัตว์ได้รับอาหารตามปกติ 40 เปอร์เซ็นต์ ของยูเรียที่ถูกกรองในหน่วยไต เหลือเพียง 1-2 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้มียูเรียเก็บกักไว้ใช้ในกระแสเลือดเพียงพอที่จะนำกลับไปสู่กระเพาะรูเมน เพื่อเพิ่มการผลิตจุลินทรีย์ โดยปกติแล้วระดับยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือดของโคนมมีค่าอยู่ระหว่าง 6-30 mg/100 ml ของของเหลวจากกระเพาะรูเมน (Kearl, 1982) จากการทดลองพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 7.69-16.76 mg/100 ml ของของเหลวจากกระเพาะรูเมน ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงปกติ ทั้งนี้ระดับยูเรีย-ไนโตรเจนในกระแสเลือด จะขึ้นอยู่กับระดับไนโตรเจนในอาหารเป็นหลัก (Kennelldy and Milligan, 1980) อย่างไรก็ตาม การเพิ่มไนโตรเจนในอาหารบางครั้งไม่จำเป็นต้องเพิ่มการนำกลับไนโตรเจนสู่กระเพาะรูเมนเสมอไป ทั้งนี้เพราะว่าแหล่งรวมยูเรีย (urea pool) ในร่างกาย อยู่ภายใต้การควบคุมทางสรีรวิทยาของสัตว์ เพื่อให้มีระดับที่คงที่ (Roseler et al. (1993) ถ้าไนโตรเจนที่เข้าสู่กระเพาะรูเมนไม่เพียงพอ ส่วนที่เหลือจำเป็นจะต้องได้รับจากอาหาร ด้วยเหตุที่ไนโตรเจนจากอาหาร และไนโตรเจนจากการนำกลับสู่กระเพาะรูเมน มีการแข่งขันกัน จึงทำให้ประสิทธิภาพการนำเอายูเรียกลับมาใช้ใหม่ลดลง เมื่อสัตว์ได้รับไนโตรเจน จากอาหารเพิ่มขึ้น (Van Soest, 1982) ดังนั้นการวัดหาระดับยูเรีย-ไนโตรเจน ในกระแสเลือดจะสามารถบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนในอาหาร และในน้ำลาย (Houpt, 1976 อ้างถึงโดย Church, 1979) ว่าอยู่ในระดับที่สูงหรือต่ำกว่าระดับปกติหรือไม่ แต่ไม่สามารถว่าที่ระดับที่เหมาะสมที่สุดว่าอยู่ในระดับใดได้

5.7 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในของเหลวจากกระเพาะรูเมน

จากผลการทดลอง พบว่าก่อนการให้อาหารโคที่ได้รับฟางหมักยูเรียเสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน มีระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน สูงกว่า ($p<0.05$) กลุ่มทดลองที่ได้รับฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทผสมยูเรีย แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ กับกลุ่มทดลองที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่าน และฟางหมักยูเรียเสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน มีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียอยู่ระหว่าง 7.30-13.02 mg% ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงปกติ สอดคล้องกับรายงานของ

Veen (1986) รายงานว่าค่าเฉลี่ยของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในโคนมที่เลี้ยงด้วยอาหาร โปรตีนที่ย่อยสลายได้เร็ว มีค่าอยู่ระหว่าง 8-12 mg% จากผลการทดลองพบว่า ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1.0-6.0 หลังการให้อาหาร พบว่ากลุ่มทดลองที่เสริมโปรตีนไหลผ่านจะมีค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงกว่า ($p < 0.05$) กลุ่มทดลองที่ไม่มีการเสริม แต่ในกลุ่มที่เสริมโปรตีนไหลผ่าน (URS+CS และ URS+CC+CS) และในกลุ่มที่ไม่เสริมโปรตีนไหลผ่าน (RS+CC+U และ URS+CC) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าตั้งแต่เริ่มให้อาหารถึง 0.5 ชั่วโมง ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ยังไม่แตกต่างกันมากนัก (ยกเว้นกลุ่มทดลองที่ได้รับการเสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน) เพราะว่าทุกกลุ่มทดลองต่างก็ได้รับสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้เหมือนกัน แต่หลังจากการให้อาหารแล้ว 1.0-6.0 ชั่วโมงหลังการให้อาหาร จะมีการย่อยสลายอาหารโปรตีน โดยเฉพาะโปรตีนแท้ที่ได้จากกากเมล็ดฝ้าย ทำให้กลุ่มทดลองที่มีการเสริมอาหารโปรตีนไหลผ่าน (URS + CS และ URS+CC+CS) มีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในกระเพาะรูเมนสูงขึ้น โดยโปรตีนจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ได้เป็นเปปไทด์ และกรดแอมมิโนโดยอาศัยเอ็นไซม์โปรตีเอส และเปปติเดส จากจุลินทรีย์ (Church, 1979) และถูกดึงหมู่กรดแอมมิโนออก ได้แอมโมเนีย ส่วนโปรตีนจากสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ จะถูกย่อยได้เป็น แอมโมเนีย แอมโมเนียจะถูกนำไปสังเคราะห์เป็นกรดแอมมิโน ร่วมกับกรดคีโต เป็นส่วนประกอบของจุลินทรีย์ ในที่สุด การวัดระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน จากของเหลวในกระเพาะรูเมน จึงสามารถเปรียบเทียบได้ว่าสัตว์ได้รับอาหารโปรตีนได้มาก-น้อย แตกต่างกัน โดยเฉพาะในชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร ที่มีการย่อยสลายได้มาก แต่หลังจากนั้นค่าแอมโมเนียจะลดลง เนื่องจากแอมโมเนียจะถูกจุลินทรีย์จะนำไปใช้ Church (1979) รายงานว่าค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ที่เหมาะสมกับการสังเคราะห์จุลินทรีย์ ในกระเพาะรูเมนยังไม่ทราบแน่ชัด ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น ชนิดของอาหาร, ระดับอาหารที่สัตว์ได้รับ, ความถี่ในการให้อาหาร, การละลายได้ของโปรตีน และคาร์โบไฮเดรท เป็นต้น Satter and Slyter (1974) รายงานว่า ระดับแอมโมเนียที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ควรอยู่ระหว่าง 5-8 mg% Wallace (1979) ศึกษาการย่อยได้ของข้าวบาร์เลย์ พบว่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งและโปรตีนจะเพิ่มขึ้น เมื่อในกระเพาะรูเมนมีความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน อยู่ระหว่าง 9.7-21.4 mg/l ของของเหลวในกระเพาะรูเมน Hume (1970) รายงานว่า การสังเคราะห์จุลินทรีย์สูงสุด เมื่อมีระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เท่ากับ 8.8-13.3 mg% และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นระหว่าง 6.3-13.3 mg% ทำให้โปรตีนไหลผ่านไปยังกระเพาะจริงเพิ่มจาก 33 เป็น 50 กรัมต่อวัน Grummer et al. (1984) รายงานว่าในโคนมที่ได้รับข้าวโพดและข้าวโพดหมัก เป็นอาหาร พบว่าค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในกระเพาะรูเมนอยู่ระหว่าง 4.8-17.3

mg/dl Boniface et al. (1986) ; Leng (1991) ; Song and Kennelly (1990) และ Mehrez et al. (1977) รายงานว่าระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เหมาะสม ควรอยู่ระหว่าง 15-20 mg/dl

ระดับของยูเรียหรือสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ในอาหาร มีผลต่อระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในอาหาร Suwanlee and Wanapat (1994) ทดลองโดยฉีดสารละลายยูเรีย คือ 0, 40 และ 60 กรัมต่อวัน เมื่อวัดระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมนพบว่า เพิ่มขึ้นจาก 1.7 เป็น 5.1 และ 5.6 mg/dl ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Erdman et al. (1986) รายงานว่า การเติมสารละลายยูเรียเข้าไปในกระเพาะรูเมนของโคนม 0, 33, 67 และ 100 กรัมต่อวัน ทำให้ระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในกระเพาะรูเมนเพิ่มขึ้นจาก 4.3 ถึง 25 mg% อย่างเป็นเส้นตรงโดยไม่มีผลทำให้ความเป็นกรด-ด่างผิดปกติไป ระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในกระเพาะรูเมนสามารถเพิ่มได้ถึง 20-28 mg% โดยไม่เป็นอันตรายต่อตัวสัตว์ (Mehrez et al., 1977 และ Leidholz and, Kellaway, 1980) จากการทดลองพบว่าหลังจากชั่วโมงที่ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหารเป็นต้นไป ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนคงที่ เนื่องจากแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะถูกนำไปสังเคราะห์เป็นกรดแอมมิโนร่วมกับกรดคีโต ที่ได้จากการย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรท ในระดับที่เหมาะสม (Church, 1979)

Satter and Roffler (1974) สรุปว่าค่าความเข้มข้นของ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน จากของเหลวในกระเพาะรูเมนมีค่าระหว่าง 0.8-51.1 mg/100 ml ของของเหลวจากกระเพาะรูเมน พบว่าจะมีค่าเพิ่มตามระดับโปรตีนหยาบในอาหาร โดยพบว่าค่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียในกระเพาะรูเมน กับเปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหาร ดังสมการ

$$NH_3\text{-N (mg/100 ml)} = 10.57 - 2.5\ \%CP + 0.159\ \%CP^2 \quad ;r = 0.88$$

เมื่อ

NH_3-N = แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในของเหลวจากกระเพาะรูเมน

CP = โปรตีนหยาบในอาหาร

จากสมการถ้าอาหารมีโปรตีนหยาบ 13 เปอร์เซ็นต์ ของวัตถุแห้ง พบว่าทำให้ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในของเหลวจากกระเพาะรูเมน 5 mg NH_3-N /100 ml และจะเพิ่มขึ้นตามระดับโปรตีนในอาหารที่เพิ่มขึ้น

5.8 กรดไขมันระเหยได้ ของของเหลวจากกระเพาะรูเมน

จากการทดลองพบว่ากรดไขมันระเหยได้เฉลี่ยทั้งหมด ของกลุ่มที่เสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่านสูงกว่ากลุ่มอื่น ทั้งนี้เพราะว่าภายในกระเพาะรูเมนมีการหมักอย่างเหมาะสม คือได้รับพลังงานจากการย่อยคาร์โบไฮเดรท สัตว์ก็ได้รับพลังงานจากกรดไขมันระเหยได้จากการย่อยคาร์โบไฮเดรท จุลินทรีย์ได้รับแอมโมเนียจากการย่อยฟางหมักยูเรีย ได้รับโปรตีนแท้จากกากเมล็ดฝ้าย จากผลการทดลองพบว่าระดับของกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด เพิ่มขึ้นตามระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในของเหลวจากกระเพาะรูเมน แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์มีการนำแอมโมเนียไปใช้ในกระบวนการหมักร่วมกับกรดคีโต ที่ได้จากการย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรท (Nocek and Russell, 1988) ทำให้ได้ กรดไขมันระเหยได้สูงขึ้น ขณะเดียวกันจุลินทรีย์ที่ไหลผ่านไปยังลำไส้เล็กก็มากขึ้น และสัตว์เองยังได้รับโปรตีนที่ไหลผ่านไปยังลำไส้เล็กโดยตรง ทำให้เกิดกระบวนการหมักเกิดอย่างเหมาะสม อัตราการไหลผ่านของอาหารเป็นไปอย่างเหมาะสม ทำให้มีปริมาณการกินได้เพิ่มขึ้น จากการทดลองครั้งนี้พบว่าในกลุ่มที่เสริมโปรตีนไหลผ่าน มีความสัมพันธ์กับกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด โดยกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่เสริมโปรตีนไหลผ่าน สอดคล้องกับรายงานของ Mansfield et al. (1994) ที่รายงานว่า อาหารคาร์โบไฮเดรท และโปรตีน ต่างก็มีผลต่อการสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ แต่อาหารโปรตีนจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับกรดไขมันระเหยได้ทั้งหมด มากกว่า และพบว่าอาหารคาร์โบไฮเดรท มีผลต่อการสังเคราะห์ กรดอะซิติค และกรดบิวทีริค มากกว่าอาหารโปรตีน จากผลการทดลองครั้งนี้ พบวากรดโพรพิออนิค ในแต่ละกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับสูง โดยเฉพาะในกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมคาร์โบไฮเดรท และโปรตีนไหลผ่าน การสังเคราะห์กรดโพรพิออนิคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการนำกรดไขมันระเหยได้ไปใช้ประโยชน์ ทั้งนี้เพราะว่า กรดโพรพิออนิคมีประสิทธิภาพในการให้พลังงานได้ดีที่สุด ในขณะที่กรดอะซิติค มีประสิทธิภาพต่ำกว่า (บุญล้อม; 2541) และยังสามารถนำไปสังเคราะห์เป็นกลูโคส เพื่อให้สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ต่อไปโดยเฉพาะในอวัยวะที่สำคัญ เช่น สมอง และต่อมสร้างน้ำนม เป็นต้น (Russell et al., 1992) จากผลการทดลอง กรดบิวทีริค, กรดไอโซบิวทีริค และกรดไอโซ-วาเลอริค ในชั่วโมงที่ 4 หลังการให้อาหาร กลุ่มที่เสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่านสูงกว่ากลุ่มอื่น สอดคล้องกับรายงานของ Nocek and Russell (1988) และ Aldrich et al. (1993) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์จุลินทรีย์ โดยกลุ่มที่เสริมโปรตีนไหลผ่าน ทำให้กรดไขมันระเหยได้สูงขึ้น และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนสูงขึ้นด้วย สอดคล้องกับรายงานของ Sinclair et al. (1995) นอกจากนี้การสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ยังขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง ภายในกระเพาะรูเมนด้วย (Pitt et al., 1996) เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่าง จะมีผลต่อชนิด

ของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมน และการปรับสภาพภายในกระเพาะรูเมน และมีผลต่อผลผลิตสุดท้าย เช่น กรดไขมันระเหยได้ และจุลินทรีย์โปรตีนที่ไหลผ่านไปยังลำไส้เล็ก ในที่สุด แต่จากการทดลอง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นการสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ จะมีผลมาจากปัจจัยอื่นมากกว่า โดยพบว่าระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, การเก็บกักไนโตรเจนในร่างกาย, ผลผิตจุลินทรีย์โปรตีน และประสิทธิภาพในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนในกลุ่มที่เสริมโปรตีนไหลผ่านจะเพิ่มขึ้น ทำให้มีการสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้เพิ่มขึ้นด้วย

5.9 การประเมินการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนจากอนุพันธ์ของพิวรีนที่ขับออกมากับปัสสาวะ

จากการทดลองในครั้งนี้พบว่า ระดับของอนุพันธ์ของพิวรีนที่วัดคืออัลแลนโตอีน เมื่อคิดเป็นมิลลิโมลต่อวัน กลุ่มที่ได้รับการเสริมโปรตีนไหลผ่านจากกากเมล็ดฝ้าย สูงกว่ากลุ่มอื่นแสดงให้เห็นว่าชนิดของอาหารมีผลต่อการสร้างจุลินทรีย์ ในกลุ่มที่ได้รับฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรีย ถึงแม้จะได้รับแอมโมเนีย จากยูเรีย แต่จุลินทรีย์เองก็ต้องการกรดแอมมิโนจากโปรตีนแท้ กระบวนการหมักจึงจะเกิดขึ้นอย่างเหมาะสม ในขณะที่กลุ่มที่เสริมโปรตีนไหลผ่าน จุลินทรีย์ได้รับทั้งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรท ได้รับแอมโมเนียจากฟางหมักยูเรีย ได้รับกรดแอมมิโนบางตัวจากโปรตีนไหลผ่าน ทำให้การสังเคราะห์จุลินทรีย์เกิดขึ้นอย่างเหมาะสม พบว่ามีความสัมพันธ์กับระดับไนโตรเจนที่สัตว์ได้รับ สอดคล้องกับรายงานของ Balcells et al. (1991) และ Chen et al. (1992a) ที่รายงานว่าระดับของอนุพันธ์ของพิวรีนทั้งหมดที่ขับออกมากับปัสสาวะ และผลผลิตของลินทรีย์ จะเพิ่มตามระดับไนโตรเจนในอาหาร จากการทดลองครั้งนี้มีระดับการขับของพิวรีนอยู่ระหว่าง 1.29 - 1.99 m mol/kg $W^{0.75}$ สูงกว่ารายงานของ Chen et al. (1992b) ที่รายงานว่า ในปัสสาวะของแกะ และโค มีอนุพันธ์ของพิวรีน เท่ากับ 0.15 และ 0.514 m mol/kg $W^{0.75}$ ตามลำดับ และรายงานของ Fujihara et al. (1987) พบว่าในโคเพศผู้ตอนมีการขับอนุพันธ์พิวรีนออกมาทางปัสสาวะเท่ากับ 0.456 m mol/kg $W^{0.75}$ การที่ในโคมีการขับของพิวรีนออกมามากกว่าในแกะทั้งนี้เป็นเพราะว่าในโคมีการทำงานของเอ็นไซม์แซนทีนออกซิเดส (xanthine oxidase) เพื่อเปลี่ยนเป็นแซนทีน และเป็นไฮโปแซนทีน มีประสิทธิภาพกว่าในแกะ (Verbic et al., 1990) ทำให้วัดค่าของอนุพันธ์พิวรีนในโคสูงกว่าในแกะ จากการทดลองยังพบว่าอัลแลนโตอีนที่ขับออกมาทางปัสสาวะยังมีความสัมพันธ์กับระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน โดยระดับอัลแลนโตอีนที่ขับออกมากับปัสสาวะจะเพิ่มขึ้นตามระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่วัดในกระเพาะรูเมน สอดคล้องกับรายงานของ Balcells et al. (1993) ทั้งนี้เพราะว่าระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีผลต่อการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน โดยจะถูกนำไปใช้ร่วมกับกรดคีโต ที่ได้จากการย่อยอาหารคาร์โบไฮ

เดรท (Nocek and Russell, 1988) และยังสอดคล้องกับรายงานของ Hume (1970) ที่รายงานว่าระดับ NH_3-N ที่สูงขึ้น (114 mg/l) ทำให้มีการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนเพิ่มขึ้นทำให้จุลินทรีย์ไหลผ่านไปยังลำไส้เล็กได้สูงขึ้นด้วย ประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์คิดเป็น gN/kg OMDR ในกระเพาะรูเมน กลุ่มที่เสริมทั้งโปรตีนไหลผ่านและคาร์โบไฮเดรท สูงกว่ากลุ่มอื่น และกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเป็นแหล่งอาหารหยาบ สูงกว่ากลุ่มที่ใช้ฟางข้าว แสดงให้เห็นว่าทั้งอินทรีย์วัตถุที่ย่อยได้และอาหารโปรตีน ต่างก็มีบทบาทในการสังเคราะห์จุลินทรีย์ โดยเฉพาะการกินได้ของอินทรีย์วัตถุมีผลต่อผลผลิตจุลินทรีย์ที่ได้ (Ørskov, 1992) จากผลการทดลองกลุ่มที่ได้รับฟางหมักยูเรีย มีค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์ อยู่ในช่วง 28.76 - 37.76 gN/kg OMDR ซึ่งสูงกว่ารายงานของ Chen et al. (1992b) คืออยู่ในช่วง 12 - 28.3 gN/kg OMDR อย่างไรก็ตามทุกกลุ่มทดลองถือว่าอยู่ใกล้ระดับที่เหมาะสม โดย ARC (1984) รายงานไว้คือ อยู่ระหว่าง 14-49 gN/kg OMDR และระดับที่เหมาะสมควรอยู่ที่ 30 gN/kg OMDR (ARC, 1984 และ Preston and Leng, 1987) Czerkawski (1986) รายงานว่าระดับที่เหมาะสมคือ 25 gN/kg OMDR และ Sinclair et al., 1991 รายงานว่าระดับที่เหมาะสมคือ 32 gN/kg OMDR ถึงแม้ค่าจากการทดลองที่ได้จะสูงแต่ยังถือว่าอยู่ในช่วงปกติที่

5.10 อัตราส่วนระหว่างจุลินทรีย์โปรตีน ต่อพลังงานจากกรดไขมันระเหยได้

จากการทดลองครั้งนี้ พบว่า จุลินทรีย์โปรตีนอยู่ระหว่าง 422-855 กรัมต่อวัน โดยกลุ่มทดลองที่ใช้ฟางข้าวธรรมดามีค่าจุลินทรีย์โปรตีนเท่ากับ 422 กรัมต่อวัน ถือว่ามีค่าอยู่ในระดับที่ต่ำ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าภายในกระเพาะรูเมนเกิดกระบวนการหมักอย่างไม่เหมาะสม ถึงแม้ว่าจะได้รับโปรตีนจากไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ แต่มีการย่อยได้ของอาหารหยาบต่ำ และเกิดการใช้ของไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแม้อย่างไม่เหมาะสมทำให้การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนเกิดได้ต่ำ ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ Preston and Leng (1987) อ้างไว้คือ 500 กรัมต่อวัน ซึ่งในระดับนี้จะมีค่า Y_{ATP} เท่ากับ 8 ซึ่งเป็นค่าที่มีระดับต่ำบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์ได้ต่ำ ในขณะที่สัตว์ได้รับพลังงานจากกรดไขมันระเหยได้มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มอื่น ทำให้สัดส่วนของ P/E ratio ต่ำกว่าในกลุ่มอื่นอาจจะมีผลทำให้การดูดซึมโภชนะไปใช้ประโยชน์ได้ต่ำ มีการสังเคราะห์แกสเมทเธนสูง และอาจจะทำให้มีการผลิตความร้อนได้สูงขึ้น และมีผลต่อระบบนิเวศน์วิทยาภายในกระเพาะรูเมนได้ (Leng, 1997) กลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมเฉพาะคาร์โบไฮเดรท พบว่าการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนเท่ากับ 559.2 กรัมต่อวัน มีค่า P/E ratio เท่ากับ 11.57 g microbial protein/MJ ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Preston and Leng (1987) จะใช้ค่า Y_{ATP} ประมาณ 8 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ทำให้การดูดซึมโภชนะไปใช้ประโยชน์ยัง

มีประสิทธิภาพต่ำอยู่ กลุ่มทดลองที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมโปรตีนไหลผ่านและกลุ่มที่เสริมทั้งคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่านมีค่าการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนเท่ากับ 652.4 และ 854.5 กรัมต่อวัน ซึ่งมีค่า Y_{ATP} อยู่ประมาณ 14 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนเริ่มดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่าพลังงานที่ได้จากกรดไขมันที่ระเหยได้ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ Preston and Leng (1987) รายงานไว้ ทำให้ค่า P/E ratio สูงกว่ากลุ่มที่ใช้ฟางข้าวเสริมคาร์โบไฮเดรทและยูเรีย และกลุ่มที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมเฉพาะคาร์โบไฮเดรท แต่ก็ยังถือว่าอยู่ในระดับที่ต่ำอยู่ แสดงให้เห็นว่าการเสริมโปรตีนไหลผ่านทำให้ค่า P/E ratio สูงขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Leng (1997) ที่ศึกษาถึงการเสริมโปรตีนไหลผ่านภายใต้สภาพที่มีการเสริมและไม่เสริม molasses/urea block พบว่า กลุ่มที่เสริมโปรตีนไหลผ่าน (400 กรัมต่อวัน) มีค่า P/E ratio เพิ่มจาก 12 เป็น 22 g microbial protein/MJ ในกลุ่มที่ไม่เสริม molasses/urea block และเพิ่มจาก 33 เป็น 47 g microbial protein/MJ ในกลุ่มที่เสริม molasses/urea block ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ถ้าหากค่า P/E ratio ต่ำ อาจจะต้องมีการเสริมโปรตีนไหลผ่านเพิ่มขึ้น เพื่อปรับค่า P/E ratio ให้สูงขึ้น แต่ถ้าหากค่า P/E ratio สูงการเสริมโปรตีนไหลผ่านอาจจะไม่มีความจำเป็น ดังนั้นอัตราส่วนของ P/E ratio จึงเป็นข้อมูลที่ควรนำมาพิจารณาเพื่อประกอบการตัดสินใจในการคำนวณสูตรอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ทั้งนี้เพราะว่าค่า P/E ratio สูงหรือต่ำเกินไปย่อมไม่เป็นผลดี เช่น ค่า P/E ratio ต่ำอาจจะหมายถึงการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน หรือจะหมายถึงการผลิตกรดไขมันระเหยได้สูงขึ้น อาจจะทำให้เกิดความร้อนสูงขึ้นซึ่งจะไปมีผลต่อระบบนิเวศน์วิทยาภายในกระเพาะรูเมนได้ และมีผลกระทบต่อการให้ผลผลิตน้ำนมโดยเฉพาะสัตว์ในเขตร้อน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการเพิ่มค่า P/E ratio ให้สูงขึ้น (Leng, 1991) จากการทดลองครั้งนี้พบว่า ค่า P/E ratio เพิ่มขึ้นตามระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในกระเพาะรูเมนทั้งนี้ก็เพราะว่า ค่า P/E ratio มีความสัมพันธ์ต่อระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนเพื่อใช้สังเคราะห์โปรตีน ดังนั้นในกระเพาะรูเมนจึงต้องมีระดับแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เหมาะสมด้วย (Leng and Preston, 1986)

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

การศึกษาถึงการเสริมคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนไหลผ่าน โดยใช้มันเส้นเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรท และใช้กากเมล็ดฝ้ายเป็นแหล่งโปรตีน มี 4 กลุ่มทดลองคือ กลุ่มทดลองที่ 1 ใช้ฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย (RS+CC+U), กลุ่มทดลองที่ 2 ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น (URS+CC), กลุ่มทดลองที่ 3 ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย (URS+CS) และกลุ่มทดลองที่ 4 ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมทั้งมันเส้นและกากเล็ดฝ้าย (URS+CC+CS) จากผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1.ปริมาณการกินได้ และการย่อยได้ กลุ่มทดลองที่มีการเสริมโปรตีนไหลผ่าน (URS+CS และ URS+CS+CC) สูงกว่ากลุ่มทดลองที่ไม่ได้เสริมทั้งนี้เพราะว่า สัตว์ได้รับอาหารโปรตีน คือ ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้จากฟางหมักยูเรีย, โปรตีนที่ถูกย่อยสลายและไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนจากกากเมล็ดฝ้าย และได้รับพลังงานจากฟางหมักยูเรีย กากเมล็ดฝ้ายหรือ จากมันเส้น ทำให้จุลินทรีย์ภายในกระเพาะรูเมนทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ สามารถย่อยอาหารที่สัตว์กินเข้าไปได้ดีกว่า ทำให้ได้รับโภชนะสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่น

2. ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการหมัก คือ กรดไขมันระเหยได้ และการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน กลุ่มทดลอง URS+CC+CS ดีกว่ากลุ่มทดลองอื่น ๆ เพราะว่าในกลุ่มนี้สัตว์ได้รับไนโตรเจนทั้งจากสารประกอบไนโตเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้จากฟางหมักยูเรีย, โปรตีนที่ถูกย่อยและไม่ถูกย่อยในกระเพาะรูเมนจากกากเมล็ดฝ้าย ได้รับพลังงานจากฟางหมักยูเรีย, กากเมล็ดฝ้ายและมันเส้น ทำให้เกิดกระบวนการหมักอย่างเหมาะสม ทำให้ได้ผลผลิตสุดท้าย คือ กรดไขมันระเหยได้สูงกว่ากลุ่มอื่น อันเนื่องมาจากจุลินทรีย์โปรตีนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับระดับของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในกระเพาะรูเมนด้วย

3. สมดุลไนโตรเจนกลุ่มทดลอง URS+CS และ URS+CC+CS สูงกว่ากลุ่มทดลอง RS+CC+U และ URS+CC ทั้งนี้เนื่องจากว่ากลุ่มทดลองดังกล่าวสัตว์ได้รับไนโตรเจนสูงกว่า แสดงให้เห็นถึงการนำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ในร่างกายได้โดยมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักสัตว์ที่เพิ่มขึ้น และยังมีความสัมพันธ์กับระดับของพลังงานที่สัตว์ได้รับ

4. การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน คิดเป็น กรัมไนโตเจนต่อวัน กลุ่มทดลอง URS+CC+CS สูงกว่า กลุ่มทดลอง URS+CS, URS+CC และ RS+CC+U ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการสังเคราะห์

โปรตีนมีความสัมพันธ์กับ ปริมาณการกินได้, การย่อยได้, ปริมาณการกินโภชนะที่ย่อยได้, สมดุลไนโตรเจน, แอมโมเนีย-ไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน, และการสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ ที่เพิ่มขึ้น

5.สัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงาน (P/E ratio) การหมักฟางด้วยยูเรียทำให้สัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานสูงขึ้น เนื่องจากเกิดกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมนเหมาะสมกว่าการใช้ฟางข้าวธรรมดา โดยในฟางหมักยูเรียมีสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนซึ่งจะถูกนำไปสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีนร่วมกับการย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรทที่ได้จากการย่อยฟางหมักยูเรีย และมันเส้น หรือจากกากเมล็ดฝ้าย ทำให้มีการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนเพิ่มขึ้น ในกลุ่มที่มีการเสริมอาหารโปรตีนไหลผ่าน (URS+CS และ URS+CC+CS) ทำให้มีสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าในกากเมล็ดฝ้ายประกอบไปด้วย โปรตีนที่ถูกย่อยและไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน , โปรตีนส่วนที่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนและสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้จากฟางหมักยูเรีย จะถูกนำมาสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีน ซึ่งจุลินทรีย์โปรตีนและโปรตีนไหลผ่านถูกย่อยที่ลำไส้เล็กและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ ส่วนพลังงานที่ได้จากการสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ก็ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน เมื่อคำนวณเป็นสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานกลุ่มที่เสริมอาหารที่มีโปรตีนไหลผ่านสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม

ผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการประกอบสูตรอาหารโคนม โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งที่เกษตรกรมักจะประสบปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของอาหารหยาบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้ฟางข้าวเป็นอาหารหยาบ และมีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการหมักด้วยยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการนำใช้ประโยชน์ได้ดี ซึ่งจากการทดลองพบว่า กลุ่มทดลองที่มีการใช้ฟางหมักยูเรียเสริมด้วยมันเส้นและกากเมล็ดฝ้ายให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือ กลุ่มทดลองที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย, กลุ่มทดลองที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมมันเส้น และกลุ่มทดลองที่ใช้ฟางข้าวเสริมมันเส้นผสมยูเรีย ตามลำดับ สรุปได้ว่าการหมักฟางด้วยยูเรียดีกว่าการใช้ฟางข้าวธรรมดา เนื่องจากในกลุ่มทดลองที่ใช้ฟางหมักยูเรียทำให้มีปริมาณการกินได้, การย่อยได้, การสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้ และการสังเคราะห์จุลินทรีย์ เพิ่มขึ้น และในกลุ่มทดลองที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมทั้งมันเส้นและกากเมล็ดฝ้ายให้ผลดีที่สุดทั้งนี้เพราะว่า สัตว์ได้รับคาร์โบไฮเดรทที่ย่อยได้ในอัตราที่สูงกว่าจากมันเส้น, สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้จากฟางหมักยูเรียเพื่อนำมาสังเคราะห์เป็นจุลินทรีย์โปรตีนและผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมัก คือ กรดไขมันระเหยได้ นอกจากนี้ยังได้รับโปรตีนที่ถูกย่อยสลายและไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมนจากกากเมล็ดฝ้าย ส่วนกลุ่มทดลองที่ให้ผลดีรองลงมา คือกลุ่มทดลองที่ใช้ฟางหมักยูเรียเสริมกากเมล็ดฝ้าย ถึงแม้จะไม่ได้เสริมมันเส้นแต่สัตว์ยังได้รับพลังงาน

จากฟางหมักยูเรียและกากเมล็ดฝ้าย และกลุ่มทดลองที่มีการเสริมอาหารที่มีโปรตีนไหลผ่านให้ผลดีกว่ากลุ่มทดลองที่ไม่ได้เสริม

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้ฟางข้าวหมักด้วยยูเรีย เสริมด้วยอาหารที่มีโปรตีนไหลผ่านและคารโบไฮเดรทในอาหารโคนม ให้ผลดีต่อการให้ผลผลิตเพราะทำให้สัตว์ได้รับโปรตีนจากการสังเคราะห์จุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ได้รับผลผลิตสุดท้าย คือกรดไขมันระเหยได้เพิ่มขึ้น ซึ่งสัตว์จะสามารถดูดซึมไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน เพื่อเปลี่ยนเป็นผลผลิต เป็นการใช้ผลพลอยได้ทางการเกษตร และวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีอยู่ในท้องถิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ในการใช้ฟางข้าวเป็นอาหารหยาบสำหรับโคนม ควรหมักฟางด้วยยูเรีย 5 เปอร์เซ็นต์ เพราะจะทำให้การย่อยได้ของโภชนะ, ปริมาณการกินได้, การสังเคราะห์กรดไขมันระเหยได้, การสังเคราะห์จุลินทรีย์และประสิทธิภาพการสังเคราะห์จุลินทรีย์ และสัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงานเพิ่มขึ้น มีผลทำให้การให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น และสามารถแก้ปัญหาในเรื่องการขาดแคลนอาหารหยาบโดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งซึ่งมีคุณภาพต่ำอยู่แล้วมาเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม นอกจากในการเสริมด้วยมันเส้น และกากเมล็ดฝ้าย ทำให้ประสิทธิภาพการนำใช้ฟางหมักยูเรีย ดีขึ้นแล้ว ยังสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการใช้อาหารข้นที่มีราคาแพง ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้

3. เพื่อให้การนำไปประยุกต์ให้ได้ผลที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ควรทำการทดลองถึงผลการตอบสนองในด้านการให้ผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม หรือทดลองแบบ feeding trial เพื่อเป็นการยืนยันถึงการให้ผลผลิตน้ำนม, องค์ประกอบของน้ำนมและประสิทธิภาพการใช้อาหารของโคนม

เอกสารอ้างอิง

กังวาน ธรรมแสง. 2531. ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและโปรตีนในกระบือรุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เกรียงศักดิ์ สถาปนศิริ, เทอดชัย เวียรศิลป์ และชาญวิทย์ วัชรพุกก์. 2533. การย่อยได้ของแป้งมันสำปะหลังเส้น, ข้าวเปลือกบด และปลายข้าวเจ้า ในแต่ละส่วนของทางเดินอาหารของวัวนม. ว.วิทย. กษ. 6:265.

ฉลอง วชิราภากร, เมธา วรรณพัฒน์ และรักพงษ์ เพชรคำ. 2534. อิทธิพลของความร้อนต่อการหลบเลี่ยงการย่อยสลายในรูเมนของโปรตีนของกากเมล็ดฝ้ายและถั่วเหลือง. รายงานการวิจัยในการประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 24 สาขาสัตวศาสตร์. กรุงเทพฯ.

________. 2541. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พิทยา ปาละนิตย์. 2536. ผลของอาหารโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะหมักต่อกระบวนการหมัก, ผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมในโคนม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เมธา วรรณพัฒน์, สมโภช ประเสริฐสุข, ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย และ อภิชัย ศิวประภากร. 2525. การปรับปรุงการใช้ประโยชน์ของฟางข้าวเพื่อเลี้ยงโคโดยหมักด้วยยูเรีย. แก่นเกษตร. 10:11.

________. 2528. ฟางข้าว:อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

________. 2529. อาหารเยื่อใยที่น่าสนใจ. สาส์นเยื่อใย, โครงการวิจัยใช้ผลพลอยได้เยื่อใยเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2:1.

________. 2533. โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง. ฟันนี่พลับบลิชชิ่ง จำกัด : กรุงเทพฯ. 471 น.

________และฉลอง วชิราภากร. 2533. เทคนิคการให้อาหารโคเนื้อและโคนม. ฟันนี่พลับบลิชชิ่ง จำกัด: กรุงเทพฯ.

________, ฉลอง วชิราภากร, สมโภช ประเสริฐสุข และนิพนธ์ จันทร์โพธิ์. 2534. ผลของระดับการทดแทนข้าวโพดโดยมันเส้นในสูตรอาหารสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ที่มีผลต่อผลผลิตการหมัก และความสามารถในการย่อยได้. รายงานผลการวิจัย สาขาสัตวศาสตร์ การประชุมวิชาการครั้งที่ 29 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เมธา วรรณพัฒน์. 2540. โคนมกับวิกฤตการณ์อาหารโคนม : ปัญหาและแนวทางแก้ไข. ว. โคนม. 16 (2) : 6-8.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. ชีวเคมีทางสัตวศาสตร์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพบูลย์ ใจเด็ด . 2532. ผลของการใช้ฟางหมักยูเรีย และ/หรือ อาหารเสริมที่มีผลต่อปริมาณการกินได้, การย่อยได้ และสมรรถภาพการทำงานของกระบือใช้งาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สมคิด พรหมมา, อภิชาติ รัตนวณิช, สมเพชร ตุ้นคำภีร์, นิพนธ์ วิทยากร และ อรวรรณ สุภาพ. 2525. การทดลองใช้ฟางข้าวซึ่งได้รับการปรุงแต่งคุณภาพแล้ว เป็นอาหารหยาบหลักสำหรับโคนมรุ่น. รายงานผลการวิจัย สาขาสัตวศาสตร์ การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 20 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2539. แนวทางการพัฒนาโคนมช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 8. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

_____. 2540. เป้าหมายการผลิตสินค้าเกษตรกรรมที่สำคัญ ปี 2539/2540. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อาภัสรา ชมิดท์. 2537. ชีวเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2. เค. ยู. เพลส์. กรุงเทพฯ.

โอภาส พิมพา, กฤตพล สมมาตย์ และ เมธา วรรณพัฒน์. 2540. การนำใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Aldrich, J. M., L. D. Muller and G. A. Varga. 1993. Nonstructural carbohydrate and protein effects on rumen fermentation, nutrient flow, and performance of dairy cows. J. Dairy Sci. 76:1091.

A.O.A.C. 1985. Official Methods of Analysis. Association of official Analytical Chemists, Washington, D.C.

ARC. 1984. The Nutrition Requirement of Ruminant Livestock. Agricultural Research Council. Commonwealt Agriculture Bureaux, UK.

Badurdeen, A.L., M.N.M. Ibrahim and J.B. Schiere. 1994. Methods to improve utilization of rice straw. II. Effects of different levels of feeding on intake and digestibility of untreated and urea ammonia treated rice straw. AJAS. 7:165.

Balcells, J., J.A. Guada, C. Castrillo and J. Gasa. 1991. Urinary excretion of allantoin and allantoin precursors by sheep after defferent ratos of purine infusion into the duodenum. J. Agri. Sci. Camb. 116:309.

________, J.A. Guada, C. Custrillo and J.Gasa. 1993. Rumen digestion and urinary excretion of purine derivatives in response to urea supplementation of sodium-treated straw fed to sheep. Brit. J. Nutr. 69:721.

Batajoo, K.K. and R.D. Shaver. 1994. Impact of nonfiber carbohydrate on intake, digestion and milk production by dairy cows. J. Dairy Sci. 77:1580.

Beauchemin, K.A.and J.G. Buchanan-Smith. 1989. Effects of neutral detergent fiber concentration and supplementary long hay on chewing activities and milk production of dairy cows. J. Dairy Sci. 72:2288.

________ , B.I. Farr, L.M. Rode and G. G. Schaalje. 1994. Optimal of neutral detergent fiber concentration of barley-based diets for lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 77:1013.

Bezkorowajnyi. P., M. Wanapat and S. Pongpairote. 1986. Supplementation of cassava leaf and cassava chip to rice straw base-diets for growing cattle. In : Rice Straw and Related Feeds in Ruminant Rations. University of Peredaniya, Kandy, Sri Lanka.

Boniface, A.,N., R.M. Murry and P.J. Hogan. 1986. Optimum level of ammonia in the rumen liquor of cattle fed tropical pasture hay. Proc. Aust. Soc. Anim. Prod. 16:151.

Brigstocke, T.D.A., N.H. Murphy and J.H. Clark. 1992. Supplementation of dairy cow diets with calcium salts of long-chain fatty acid and nicotinic acid in early lactation. J. Dairy Sci. 75:1078.

Broderick, G.A., W.M. Graig. 1980. Effect of heat treatment on ruminal degradation and escape and intestinal digestibility of cottonseed meal protein. J. Nutr. 110:2381.

________, W.M. Graig and D.B. Ricker. 1993. Urea versus true protein as supplement for lactating dairy cows fed grain plus mixture of alfalfa and corn silage. J. Dairy Sci. 76:2266.

Bromner, J.M. and D.R. Keeney. 1965. Steam distillation methods of determination of ammonium, nitrate and nitrite. Anal. Chem. Acta. 32:485.

Brown, W.F. 1993. Cane molasses and cottonseed meal supplementation of ammoniated tropical grass hay for yearling cattle. J. Anim. Sci. 71:3451.

Bunting, L.D., J.A. Boling, C.T. Mackown and G.M. Devenport. 1989. Effect of dietary protein level on nitrogen metabolism in the growing bovine: II Diffusio into and utilization of endogenous urea nitrogen in the rumen. J. Anim. Sci. 67:820.

Casper, D.P., D.J. Schingoethe and W.A. Ersenbeise. 1990. Response of early lactation cows fed diets varying in source of nonstructural carbohydrate and crude protein. J. Dairy Sci. 73:1039.

Castilo, L.S., D.B. Roxas, M.A. Chavez, V.G. Momongan and S.K. Ranjhan. 1982. The effect of concentrate supplement and chopping and socking rice straw on it voluntary intake by carbons. In : The Utilization of Fibrous Agricultural Residues as Animal Feed. P. T. Doyle, Eds. Univ. of Molbourne, Australia.

Chalupa, W. 1976a. Rumen bypass and protection of protein and amino acids. J. Dairy Sci. 58: 1198.

_______. 1976b. Degradation of amino acids by the mixed rumen microbial population. J. Anim. Sci. 43:828.

_______. 1984. Discussion of protein symposium. J. Dairy. Sci. 67:1134.

Chen, X.B. and M.J. Gomest. 1992. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives an overview of the technical detail. International Feed Resources Unit.

_______, S.A. Abdulrazakt, W.J. Shand and E.R. Ørskov. 1992a. The effect of supplementing straw with barley or unmolassed sugar beet pulp on microbial protein supply in sheep estimated from urinary purine derivative excretion. Anim. Prod. 55:413.

_______, Y.K. Chen, M.F. Franklin, E.R. Ørskov and W.J. Shand. 1992b. The effect of feed intake and body weight on purine derivative excretion and microbial protein supply in sheep. J. Anim. Sci. 70:1534.

Church, D.C. 1974. Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants. Vol.I O and B Book, Corvallis, Oregon.

_______. 1979. Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants. Vol I. O & B Books, Inc., Corvallis, Oregon, U.S.A.

_______ and J.P. Fontenot. 1979. Nitrogen metabolism and requirements. In : Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants. Volume 2. Nutrition Second Edition. O & Book, Inc. U. S. A.

Clark, J.H., T.H. Klusmeyer and M.R. Cameron. 1992. Symposium : Nitrogen metabolism and amino acid nutrition in dairy cattle. J. Dairy Sci. 75:2304.

Coleman, G.S. and D.C. Sanford. 1979. Engulfment and digestion of mixed rumen bacteria and individual bacterial species by single and mixed species of rumen ciliate protozoa grown in vivo. J. Agric. Sci., Camb. 92:729.

Collucci, P.E., L.E. Chase and P.J. Van Soest. 1982. Feed intake, apparent diet digestibility and rate of particulate passage in dairy cattle. J. Dairy Sci. 65:1445.

Coomer, J.C., H.E. Amos, C.C. Wiliums and J. E. Wheeler. 1993. Response of early lactation cows to fat supplementation in diets with different nonstructural carbohydrate concentrations. J. Dairy Sci. 76:3747.

Crocker, C.L. 1967. Rapid determination of urea nitrogen in serum or plasma without deproteinzation. American J. Medical Technology. 33:361.

Crowder, L.V. and H.R. Cheda. 1982. Tropical Grassland Husbandry. Longman Inc., New York, U.S.A.

Czerkawski, J.W. 1986. An Introduction to Rumen Studies. Pergamon Press, New York. 236 p.

Devendra, C. 1977. Studies in the utilization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in sheep. Maridi Research Bullitin. 5:127.

_______. 1979. Goat and sheep production potential in the asean region. World Anim. Rev. 32:33.

Devendra, C. 1984. Nitrogen utilization and requirements for maintenance of Malaysian swamp buffaloes. Malaysian Animal Research and Development Institute (MARDI) Research Bulletin. 12:248.

Donaldson, R.S., M.A. McCann, H.E. Amos and C.S. Hoveland. 1991. Protein and fiber digestion by steers grazing winter annuals and supplemented with ruminal escape protein. J. Anim. Sci. 69:3067.

Erasmus, L.J., P.M. Botha and A. Kistner. 1992. Effect of yeast culture supplement on production, rumen fermentation and duodenal nitrogen flow in dairy cows. J. Dairy Sci. 75:3056.

Erdmann, R., A. Proctor and J.H. Vandersall. 1986. Effect of rumen ammonia concentration on in situ rate and extent of digestion of feedstuffs. J. Dairy Sci. 69:3212.

________, J. H. Van Dersall, E. Russek-Cohen and G. Switalski. 1987. Simultaneasures of rate of ruminal digestion and passage of feds for prediction of ruminal nitrogen end dry matter digestion in lactation dairy cows. J. Anim. Sci. 64:565.

Feng, P., W.H. Hoover, T. K. Muller and R. Blauwiekel. 1993. Interactions of fiber and nonstructural carbohydrates on lactation and ruminal function. 76:1324.

Fontenot, J.P. 1979. Protein and nitrogen metabolism. In : Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants. Vol.II, (Ed : D. C. Church,) O & B Book, Inc., Corvallis Oregon, U. S. A.

Fujihara, T., E.R. Ørskov, P.J. Reeds and D.J. Kyle. 1987. The effect of protein infusion on urinary excretion of purine derivatives in ruminants nourished by intragastric nutrition. J. Agric. Sci. Camb. 109:7.

Gibb, D.J., T.J. Klopfenstein, R.A. Britton and A.J. Lewis. 1992. Plasma amino acid response to graded levels of escape protein. J. Anim. Sci. 70:885.

Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and some Application). Agric. Handbook No. 379, ARS, USDA Washington, D. C.

Grings, E.E., R.E. Roffler and D.P. Deitelhoff. 1994. Response of dairy cows in early lactation to additions of cottonseed meal in alfalfa based diets. J. Dairy Sci. 74:2580.

Grummer, R.R., J.H. Clark, C.L. Davis and M.R. Murphy. 1984. Effect of ruminal ammonia-nitrogen concentration on protein degradation in situ. J. Dairy Sci. 67:2294.

Ha, J.K. and J.J. Kennelly. 1984. Effect of protein on nutrient digestion and milk production by Holstein cows. J. Dairy. Sci. 67:2302.

Hart, F.J. and M. Wanapat. 1992. Physiology of digestion of Urea- treated rice straw in swamp buffalo. AJAS. 5:617.

Henning, P. H.,, D. G. Steyn and H. H. Meissner. 1993. Effect of synchronization of energy and nitrogen supply on ruminal characteristics and microbial growth. J. Dairy Sci. 71:2516.

Herrera-Saldana, R.R. Gomez-Alarcon, M. Torabi and J.T. Huber. 1990. Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial synthesis. J. Dairy Sci. 73: 142.

Higginbotham, G.E., J.J. Huber, M.V. Wallentine, N.P. Johnston and D. Andri. 1989. Influence of protein percentage and degradability on performance of lactating cows during moderate temperature. J. Dairy Sci. 72:1818.

Hoover, W.H. and S.R. Stokes. 1991. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. J. Dairy Sci. 74:3630.

Hume, I.D. 1970. Synthesis of microbial protein in the rumen. I: A response to higher volatile fatty acids. Aust. J. Agric. Res. 21:297.

Hungate, R.E. 1966. The Rumen and Its Microbes. New York: Academic Press.

IAEA. 1997. Determination of purine derivatives in urine. In: Estimation of Rumen Microbial Protein Production from Purine Derivatives in Urine. Vienna, Austria. 49 p.

Jackson, M.G. 1977. Review article: the alkaline treatment of straws. Anim. Feed Sci. Tech. 2:105.

Kahn, L.P. and J.V. Nolan. 1992. Prediction of microbial yield from the rumen using urinary excretion of purine derivative and studies of the kinetics of labelled purines. IN: Feeding Strategies for Improving Ruminant Productivity in Areas of Fluctuating Nutrient Supply. IAEA Publication, Vienna. 109-122.

Karges, K.K., T.J. Klopfenstein, V.A. Wilkerson and D.C. Clanton. 1992. Effects of ruminally degradable and escape protein supplements on steers grazing summer native range. J. Anim. Sci. 70:1957.

Kaufman, W., H. Hagemeister and Dirksen. 1980. Adaptation to changes dietary composition, level and frequency of feeding. In : Digestive Physiology and Metabolism in Ruminant. Y. Ruckebusch and P. Thivend. AVI. Westport, U. S. A.

Kearl, L.C. 1982. Nutrient Requirements of Ruminants in Developing Countries. International Feedstuffs Institute, Utah State Univ., Utath, U.S.A.

Kennelly, P.M. and L.P. Milligan. 1980. The degradation and utilization of endogenous urea in the gastrointestinal tract of ruminants: A Review. Can. J. Anim. Sci. 60:205.

Kiangi, E.M.I. 1981. Ammonia treatment of low quality roughages to improve their nutritive value. In: Utilization of Low-Quality Roughages in Africa. J. A. Kategile, A. N. Said and F. Sundstol, Eds. Lamport Gilbert Printers. Ltd., Reading. U. K.

KKU-IDRC. 1980. Annual Report KKU-IDRC Cassava Nutrient Project Thailand. Khon Kaen, Thailand. 296.

Kung, L., Jr. and J.T.Huber. 1983. Performance of high producing cows in dairy lactation fed protein and varying amounts, source and digestibility. J. Dairy Sci. 66:227.

Leidholz, J. and R.C. Kellaway. 1980. The nitrogen requirement of steers feed alkali-treated straw ad libitum. Proc. Aust. Sci. Anim. Prod. 13:418 (Abstr.).

Leng, R. A. and J. V. Nolan. 1984. Symposium : Protein nutrition of the lactating. Nitrogen metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 67:1072.

Leng, R.A. and T.P. Preston. 1986. Constraints to the efficient utilization of sugar-cane and its by-products as diets for production of large ruminants In: Ruminant Feeding Systems Utilizing Fibrous Agricultural Residues-1985, Eds By R.M. Dixon. Canbera, Australia. 27-48.

________. 1991. Feeding strategies for improving milk production of dairy animals managed by small farmers in the tropics. In: Feeding Dairy Cows in the Tropics. A. Speedy and R, Sansoucy. FAO, Rome, 82-104.

________. 1997. Tree Foliage in Ruminant Nutrition. FAO, Rome. 100 p.

MacGregor, C.A., M.R. Stokes, W.H. Hoover, H.A. Leonard, L.L. Junkins, Jr., C.J. Sniffen and R.W. Mailman. 1983. Effect of dietary concentration of total nonstructural carbohydrate on energy and nitrogen metabolism and milk production of dairy cows. J. Dairy Sci. 66:39.

MacCarthy, R.D., Jr., T.H. Klusmeyer, J.L. Vicus and J.H. Clark. 1989. Effects of source of protein and carbohydrate on ruminal fermentation and passage of nutrients to the small intestine of lactating cows. J. Dairy Sci. 72:2002.

Mackie, R.I. and B.A. White. 1990. Recent advances in rumen microbial ecology and metabolism, potential impact on nutrient output. J. Dairy Sci. 73:2971.

Mahadevan, S., F.D. Saver, J.D. Erfle, R.M. Teather and P.M. Morse. 1982. Changes in ammonia concentration, bacterial counts, pH and volatile fatty acid concentration in rumen of cows fed alfalfa hay or concentrate : urea-corn silage. Can. Anim. Sci. 62: 249.

Mansfield, H.R., M.I. Endres and M.D. Stern. 1994. Influence of non-fibrous carbohydrate and digestible intake protein on fermentation by ruminal microorganisms in continuous culture. J. Anim. Sci. 72:2464.

Mehrez, A.Z., E.R. Ørskov and I. McDonald. 1977. Rate of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. Br. J. Nutr. 38:447.

Minson, D.J. 1971. The Nutritive Value of Tropical pastures. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 22:225.

Nocek, J.E. and J.B. Russell. 1988. Relationship of protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. J. Dairy Sci. 71:2070.

National Research Council. 1988. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academy of Science. U. S. A.

_______. 1989. Nutrient Requirement of Dairy Cattle. National Academy Press. U. S. A.

Oldham, J.D. 1984. Protein - energy interelationships in dairy cows. J. Dairy Sci. 67:1090.

Ørskov, E.R. 1992. Protein Nutrition in Ruminants. Academic Press, Inc. 175 p.

Parker, D. 1995. The use of urinary purine excretion as a maker for microbial protein flow in buffalo. Paper presented at the international workshop on draft animal power to increase flaming efficiency and systainability. Khon Kaen University. Thailand.

Perdock, H.B.,, L.A. Leng, S.H. Bind, G. Habid and M. Van Houtert. 1988. Increasing Small Ruminant Productivity in Semi-arid Area. E. F. Thomson and F. S. Thomsm, Eds. Pubished by ICARDA, Syria.

Pitt, R.E., J.S. Van Kessel, D.G. Fox, A.N. Pell, M.C. Bary and P.J. Van Soest. 1996. Prediction of ruminal volatile acids and pH with in the net carbohydrate and protein system. J. Anim. Sci. 74:226.

Preston, R.R. and R.A. Leng. 1987. Matching Ruminant Production System With Available Resources in the Tropics and Sub -Tropics. Penambul Books, Armidale, Australia.

Promma, S., S. Tuikampee, V. Himarat and N. Vidhyakorn. 1985. Production responses of lactating cow fed urea - treated rice straw compared to untreated rice straw supplemented with leucaena leaves. In : Relevance of Crop Residues as Animal Feed in Developing Counties. M. Wanapat and C. Devendra, Eds. Bangkok : Funny Press.

Rajcevic, M. 1990. Use of tapioca during summer feeding of high producing milking cows. Zb. Biotehinske fek. Univerze V. Ljubljani, Kmetijstv. 56:81.

Resines, J.A., M.J. Arin and M.T. Diez. 1992. Determination of creatinine and purine derivatives in ruminant s ' urine by reversed-phase high-performance liquid chromatography. J. Chromatography. 607:199.

Rogers, J.A., J.H. Clark and T.R. Drendel. 1984. Milk production and nitrogen utilization by dairy cows infused postruminally with sodium caseinate, soybean meal or cottonseed meal. J. Dairy Sci. 67:1928.

Roseler, D.K., J.D. Ferguson, C.J. Sniffen and J. Herrema. 1993. Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk non-protein nitrogen in Holstein cows. J. Dairy Sci. 76:525.

Rulquin, H., P.M. Pisulewski, R. Verite and J. Guinard. 1993. Milk production and composition as a function of postruminal lysine and methionine supply, a nutrient response approach. Live.. Prod. Sci. 37:69.

Russell, J.B. and D.B. Dombrowski. 1979. Effect of pH on the efficiency of growth by pure cultures of rumen bacteria in continuous culture. Applied and Environmental Microbiology. 9:604.

_______and R.B. Hespell. 1981. Microbial rumen fermentation. J. Dairy Sci. 64:1250.

_______and C.J. Sniffen. 1984. Effect of carbon-4 and carbon-5 volatile fatty acids on growth of mixed rumen bacteria in vitro. J. Dairy Sci. 67:987.

SAS. User' s Guide : Statistics, Versions5. Edition. 1985. SAS. Inst. Cary, NC.

Samaraweera, L., E.R. Ørskov and X.B. Chen. 1994. Preliminary studies on purine derivative excretion in buffaloes. Proc. 1st. Asian Buffalo Association Congress (ABA). Khon Kaen, Thailand. V1.:244.

Satter, L.D. and R.E, Roffler. 1974. Nitrogen requirement and utilization in dairy cattle. J. Dairy Sci. 58:1219.

_______and L.L.Slyter. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. Brit. J. Nutr. 32:199.

_______. 1986. Protein supply from undegraded dietary protein. J. Dairy Sci. 69:2734.

Sarwar, M., J.L. Firkins and M.L. Eastridge. 1992. Effects of varying forage and concentrate carbohydrates on nutrient digestibilities and and milk production by dairy cows, J. Dairy Sci. 75:1533.

Schnieder, B.H. and W.P. Flatt. 1975. The evaluation of feed through digestibility experiment athens: The Univ. of Georgia Press. Georgia, U. S. A.

Schwab, C.G., L.D. Satter and A.B. Clay. 1976. Response of lactating dairy cows to abomasal infusion of amino acids. J. Dairy Sci. 59:1254.

________. 1995. Protected proteins and amino acids for ruminants. In: Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding. Wallace, R.J. and A. Chesson, Eds. New York.

Sinclair, L.A., P.C., Garnsworthy, P. Beeardsworth, P. Freeman and P.J. Buttery. 1991. The use of cytosine as a marker to estimate microbial protein synthesis in the rumen. Anim. Production. 52:592.

Sinclair, L.A., P.C. Garnsworthy, J.R. Newbold and P.J. Battery. 1995. Effects of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release in diets with a similar carbohydrate composition on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. J. Agri. Sci. Camb. 124:463.

Song, M.K. and J.J. Kennelly. 1990. Ruminal fermentation pattern, bacterial population and ruminal degradation of feed ingredients as influenced by ruminal ammonia concentration. J. Anim. Sci. 68:1110.

Steel, R.G.D. and J.H. Torries. 1980. Principles and procedures of statistics a biometereal approach.(2nd ed.). McGrow-Hill. New York: U. S. A.

Stokes, S.R., W.H. Hoover, T.K. Miller and R. Blauweikel. 1991. Ruminal digestion and microbial utilization of diets varying in type of carbohydrate and protein. J. Dairy Sci. 74:871.

Suwanlee, S. and M. Wanapat. 1994. Effect of ruminal urea on volatile fatty acid, bacteria population and digestibility in swamp buffaloes. In : Proc. 1st Asian Buffalo (ABA). Khon Kaen, Thailand. V.1: 281.

Tamminga, S. 1979. Protein degradation in the fore-stomachs of ruminants. J. Anim. Sci. 49: 1615.

Theander, O. and P. Aman. 1984. Anatomical and chemical characteristics. In : Straw and Other Fibrous By-Products as Feed. F. Sundstol and E. Owen, Eds. Amsterdam : Elsevier.

Turder, G.D. and P.A. Inkerman. 1982. The potential intake and growth of young cattle fed a predominanly cassava based diet. Proc. of The Australian Society Animal Production. 14:600.

Van Horn, H.H., D.R. Jacobson and A.P. Graden. 1969. Infuence of level and source of nitrogen on milk production and blood components. J. Dairy Sci. 52:1395.

Van Soest, P.J. 1967. Development of comprehensive system of feed analyses and ils application to forage. J. Anim. Sci. 26:119.

________. 1982. Nutritional Ecology of The Ruminant. O & B Books, Inc, Corvallis, Oregon, U. S. A.

________. 1987. Nutritional Ecology of The Ruminant. Cornell University Press, Ithaca, NY.

________ , J.B. Robertson and B.A. Lewts. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74:3583.

Veen, W.A.G. 1986. The influence of slowly and rapidy degradable concentrate protein on a number of rumen parameters in dairy cattle. Netherlands. J. of Agric. Sci. 34: 199.

Verbic, J., X.B. Chen, N.A. Macleod and E.R. Ørskov. 1990. Excretion of purine derivatives by ruminants:Effect of microbial nucleic acid infusion on purine derivative excretion by steers. J. Agric. Sci. Camb. 114:243.

Voss, V.L., D. Stehr, L.D. Satter and G.A. Broderick. 1988. Feeding lactating dairy cows proteins resistants to ruminal degradation. J. Dairy Sci. 71:2428.

Wallace, R.J. 1979. Effect of ammonia concentration on the composition, hydrolytic activity and nitrogen metabolism of the microbial flora of the rumen. J. Appl. Microbiol. 47:443.

Wanapat, M., D.O. Erickson and W.D. Slanger. 1982. Nitrogen metabolism in sheep fed protein source of various with low quality roughage. J. Anim. Sci. 54:625.

Wanapat, M., P. Sriwattasombat and S. Chanthai. 1983. The utilization of diet containing different proportion of urea-ammonia treated rice straw and water hyacinth. Paper presented at 3rd Annual Meeting of The Australian. Asian Fibrous Agricultural Residue Research Network, Held at The Univ. of Peradeniya, Sri Lanka, April ,17.

________, S. Praserdsuk, S. Chanthai and A. Sivapragon. 1983. Improvement of rice straw utilization by ensile with urea for cattle during the dry season. J. Agric. Sci. 16:267.

________. 1984. Alkali treats of crop residures in Norway. In : The Utilization of Fibrous Agricultural Residue as Animal Feed. University of Melbourne Printing Services, Parkville, Australia.

________and S. Uriyaponson. 1985. A comparison of liveweight performance and carcasses of crossbred dairy cattle fed untreated or urea-treated rice straw with concentration supplement. In: Technical Report The Utilization of Fibrous Agricultural Residues as Ruminant Feeds Project. Khon Kaen, Thailand..

________ . 1986. Advances in nutrition and and feeding of swamp buffloes in Thailand, paper presented PCARRD. Los Banos,Philippines.

________. 1987. Rice straw as feed for livestock in rural farming system. In : Technical Report The Utilization of Fibrous Agricultural Residues as Ruminant Feeds Project. Khon Kaen, Thailand. 36p.

________, O. Pimpa, K. Sommart, S. Uriyapongson, W. Toburan, D. Peter and P. Rowlinson. 1995. Effects of the energy sources on rumen fermentation, degradability and rice straw intake in swamp buffaloes. In : Proc. The International Workshop on Draft Animal Power, Khon Kaen University, Khon Kaen, Feb. 13.

Williams, P.E.N., G.M. Innes, A Bremer and J.P. Magadi. 1985. The effects on growth, food intake and rumen volume including untreated or ammonia treated barley straw in a complete diet for weaning calves. Anim. Prod. 41:63.

Wohlt,. D., S.L. Chmiel, P.K. Zajac, L. Backer, D.B. Blethen and J.L. Erans. 1991. Dry matter intake, milk yield and composition of nitrogen use in Holstein cows fed soybeans, fish or corn gluten meals. J. Dairy Sci. 74:1609.

Woodford, J.A., N.A. Jorgensen and G.P. Barrington. 1986. Impact of dietary fiber and physical form on performance of lactating dairy cows. J Dairy Sci. 69:1035.

Zinn, R.A. and F.N. Owen. 1993. Ruminal escape protein for lightweight feedlot calves. J. Anim. Sci. 71:167.

ภาคผนวก

อธิบายคำศัพท์

Abomasum	กระเพาะจริง อยู่ติดด้านขวาของกระเพาะรูเมน มีลักษณะคล้ายกับกระเพาะอาหารในสัตว์กระเพาะเดี่ยว มีต่อมที่ทำหน้าที่ผลิตน้ำย่อยส่วนปลายจะเปิดเข้าสู่ลำไส้เล็ก
Acid detergent fiber (ADF)	คือ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (acid detergent solution) ประกอบด้วย เซลยูโลสและลิกนิน
Acid detergent lignin (ADL)	คือ ลิกนินที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด
Blood urea nitrogen	คือ ยูเรียในกระแสเลือด
By-pass protein, undegradeble protein or escape protein,	โปรตีนไหลผ่าน คือ โปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลายในกระเพาะรูเมน แต่ไหลผ่านไปยังลำไส้เล็ก และถูกน้ำย่อยจากตัวสัตว์ออกมาย่อยและดูดซึมไปใช้ประโยชน์ต่อไป
Crude protein	โปรตีนหยาบ คือ โปรตีนที่ได้จากการคำนวณจากไนโตรเจน x 6.25
Digestion	การย่อยอาหาร คือ กระบวนการเปลี่ยนลักษณะของอาหารที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อนในอยู่ในรูปลักษณะเชิงเดี่ยว เพื่อง่ายต่อการดูดซึมและนำไปใช้ประโยชน์
Efficiency of microbial nitrogen supply (EMNS)	คือ ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์จุลินทรีย์ไนโตรเจน คิดเป็น g microbial nitrogen/ kg OMDR
Metabolizable energy (ME)	คือ คือพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งคำนวณได้จากพลังงานที่ย่อยได้ (DE) – พลังงานในมูล (FE) – พลังงานที่สูญเสียในรูปแก๊ส (GP)
Microbial protein	จุลินทรีย์โปรตีน คือ จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในรูเมน ส่วนใหญ่จะเป็นพวก oblingate anaerobaes ได้แก่ แบคทีเรีย, โปรโตซัว และเชื้อราเป็นต้น ทำหน้าที่ในการย่อยหมักอาหารที่สัตว์กินเข้าไป เพื่อให้ได้ผลผลิตที่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง
Neutral detergent fiber (NDF)	คือ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง (neutral detergent Solution) ประกอบไปด้วย เซลยูโลส, เฮไมเซลยูโลส, ลิกนิน และเพกตินเป็นต้น

Nitrogen absorbsion	คือ ไนโตรเจนที่ดูดซึมในร่างกาย
Nitrogen retention	คือ ไนโตรเจนที่เก็บกักในร่างกาย
Non-protein nitrogen (NPN)	สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนแท้ เช่น เอไมด์ (amide), เอมีน (amine) เป็นต้น ซึ่งสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์ไปเป็นจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้
Omasum	กระเพาะสามสิบกลีบ มีความจะประมาณ 7-8 เปอร์เซ็นต์ของกระเพาะทั้งหมด กระเพาะส่วนนี้เป็น cul-de-sac ซึ่งเป็นทางผ่านของอาหารไปยังกระเพาะจริง
P/E ratio	คือ สัดส่วนของโปรตีนต่อพลังงาน คิดเป็น g microbial protein/MJ of VFA
Purine derivetives	อนุพันธ์ของพิวรีน ได้แก่ xanthine, hypoxanthine, uric acid และ allantoin
Rumen	กระเพาะหมัก, ผ้าขี้ริ้ว หรือกระเพาะรูเมน เป็นส่วนหนึ่งของกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องมีความจุประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของกระเพาะทั้งหมด
Ruminant	สัตว์เคี้ยวเอื้อง คือ สัตว์ที่จัดอยู่ใน order Antiodactyla อยู่ใน suborder ruminantia มาจากภาษาลาติน ruminae แปลว่า การนำอาหารออกมาเคี้ยวใหม่ (chew over again)
Reticulum	กระเพาะรังผึ้ง มีความจะประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของกระเพาะทั้งหมด อยู่ติดกับส่วนหน้าของกระเพาะรูเมน
True protein	โปรตีนแท้ คือ โปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนเรียงต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ เป็นสายยาว
Volatile fatty acid (VFA)	กรดไขมันระเหยได้ คือ ผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ได้แก่ กรดอะซีติค, กรดโพรพิออนิค และกรดบิวทีริค เป็นต้น ซึ่งสัตว์เคี้ยวเอื้องจะใช้เป็นแหล่งพลังงาน

Appendix Table 1. Dependent Variable : Roughage intake (kg).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	7.84	2.61	1.62	0.281
Cows	3	5.71	1.90	1.18	0.392
Treatments	3	23.63	7.88	4.89	0.047
Error	6	7.66	1.61		
Total	15	46.84			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.794	17.73	1.269	7.156

Appendix Table 2. Dependent Variable : Roughage intake (% BW).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	0.61	0.20	6.16	0.029
Cows	3	0.20	0.07	2.0	0.215
Treatments	3	1.60	0.53	16.04	0.003
Error	6	0.20	0.03		
Total	15	2.61			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.924	9.72	0.182	1.873

Appendix Table 3. Dependent Variable : Roughage intake (g/kg $W^{0.75}$).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	1,469.41	489.80	3.70	0.081
Cows	3	614.09	204.70	1.55	0.297
Treatments	3	2,697.57	899.19	6.79	0.024
Error	6	744.70	132.45		
Total	15	5,575.77			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.857	14.12	11.509	81.486

Appendix Table 4. Dependent Variable : Total dry matter intake (kg).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	7.86	2.62	1.63	0.279
Cows	3	5.72	1.91	1.19	0.391
Treatments	3	16.05	5.35	3.33	0.098
Error	6	9.63	9.63		
Total	15	39.26			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.754	14.23	1.267	8.906

Appendix Table 5. Dependent Variable : Total dry matter intake (% BW).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	9.87	3.29	1.60	0.015
Cows	3	4.25	1.42	0.69	0.212
Treatments	3	15.48	5.16	2.50	0.005
Error	6	12.37	2.06		
Total	15	41.98			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.923	6.81	0.159	2.336

Appendix Table 6. Dependent Variable : Total dry matter intake (g/kg $W^{0.75}$).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	1,193.69	397.90	5.71	0.034
Cows	3	402...53	134.18	1.93	0.227
Treatments	3	2,038.76	679.59	9.75	0.010
Error	6	418.19			
Total	15	4,035.18			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.897	8.09	8.349	103.158

Appendix Table 7. Dependent Variable : Apparent dry matter digestibility (%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	153.715	51.238	1.41	0.328
Cows	3	337.755	112.585	3.11	0.110
Treatments	3	49.461	16.487	0.45	0.724
Error	6	217.466	36.244		
Total	15	758.398			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.713	9.74	6.020	61.809

Appendix Table 8. Dependent Variable : Apparent organic matter digestibility (%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	160.537	53.512	1.74	0.258
Cows	3	260.140	86.713	2.82	0.129
Treatments	3	119.024	39.675	1.29	0.360
Error	6	184.258	30.709		
Total	15	723.959			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.745	8.42	5.542	65.849

Appendix Table 9. Dependent Variable : Apparent neutral detergent fiber digestibility (%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	185.996	61.999	1.31	0.356
Cows	3	492.493	164.164	3.46	0.092
Treatments	3	217.032	72.344	1.52	0.302
Error	6	284.892	47.482		
Total	15	1,180.413			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.759	11.93	6.891	57.753

Appendix Table 10. Dependent Variable : Apparent acid detergent fiber digestibility (%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	122.903	40.968	0.98	0.463
Cows	3	667.541	222.514	5.32	0.040
Treatments	3	278.031	92.677	2.22	0.187
Error	6	250.960	41.827		
Total	15	1,319.434			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.809	11.55	6.467	56.004

Appendix Table 11. Dependent Variable : Apparent crude protein digestibility (%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	258.356	86.125	1.51	0.304
Cows	3	221.444	73.815	1.30	0.359
Treatments	3	1,524.813	508.271	8.93	0.013
Error	6	341.565	56.928		
Total	15	2,364.17			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.854	14.98	7.545	50.365

Appendix Table 12. Dependent Variable : Digestible organic matter intake (kg/d).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	2.309	0.770	1.22	0.381
Cows	3	3.359	1.120	1.78	0.251
Treatments	3	6.654	2.218	3.52	0.089
Error	6	3.784	0.631		
Total	15	16.107			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.765	16.11	0.794	4.929

Appendix Table 13. Dependent Variable : Digestible crude protein intake (kg/d).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	0.042	0.014	1.55	0.297
Cows	3	0.021	0.007	0.78	0.546
Treatments	3	1.023	0.341	38.12	0.0003
Error	6	0.0537	0.009		
Total	15	1.140			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.953	14.09	0.095	0.672

Appendix Table 14. Dependent Variable : Digestible NDF intake (kg/d).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	1.099	0.366	0.88	0.501
Cows	3	2.611	0.870	2.10	0.202
Treatments	3	5.932	1.977	4.77	0.050
Error	6	2.490	0.415		
Total	15	12.131			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.795	20.49	0.644	3.143

Appendix Table 15. Dependent Variable : Digestible ADF intake (kg/d).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	0.538	0.179	0.87	0.506
Cows	3	1.708	0.569	2.77	0.133
Treatments	3	5.800	1.933	9.40	0.011
Error	6	1.234	0.206		
Total	15	9.281			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.867	19.017	0.454	2.385

Appendix Table 16. Dependent Variable : Metabolyzable energy intake (ME).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	32.832	10.944	3.02	0.116
Cows	3	29.803	9.934	2.74	0.136
Treatments	3	67.186	22.395	6.17	0.029
Error	6	21.778	3.630		
Total	15	151.599			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.856	11.06	1.905	17.224

Appendix Table 17. Dependent Variable : gN/kg DOM.

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	45.653	15.218	1.83	0.242
Cows	3	93.227	31.076	3.74	0.080
Treatments	3	962.368	320.789	38.60	0.0003
Error	6	49.860	8.310		
Total	15	1,151.108			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.957	10.17	2.883	28.338

Appendix Table 18. Dependent Variable : pH value at 0 h. post-feeding.

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	0.052	0.017	0.32	0.813
Cows	3	0.308	0.103	1.87	0.236
Treatments	3	0.176	0.059	1.07	0.429
Error	6	0.329	0.055		
Total	15	0.865			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.620	3.53	0.234	6.633

Appendix Table 19. Dependent Variable : pH value at 0.5 h. post-feeding.

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	0.090	0.030	0.38	0.774
Cows	3	0.415	0.139	1.74	0.259
Treatments	3	0.210	0.070	0.88	0.504
Error	6	0.479	0.080		
Total	15	1.195			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.599	4.28	0.283	6.598

Appendix Table 20. Dependent Variable : pH value at 1.0 h. post-feeding.

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	0.089	0.030	0.64	0.617
Cows	3	0.451	0.150	3.25	0.102
Treatments	3	0.277	0.092	1.99	0.217
Error	6	0.278	0.046		
Total	15	1.095			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.746	3.29	0.215	6.550

Appendix Table 21. Dependent Variable : pH value at 1.5 h. post-feeding.

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	0.063	0.021	0.35	0.793
Cows	3	0.402	0.134	2.22	0.186
Treatments	3	0.100	0.033	0.55	0.664
Error	6	0.362	0.060		
Total	15	0.93			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.610	3.76	0.245	6.525

Appendix Table 22. Dependent Variable : pH value at 2.0 h. post-feeding.

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	0.106	0.035	0.89	0.499
Cows	3	0.616	0.205	5.18	0.042
Treatments	3	0.130	0.043	1.09	0.423
Error	6	0.238	0.040		
Total	15	1.090			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.782	3.06	0.199	6.505

Appendix Table 23. Dependent Variable : pH value at 4.0 h. post-feeding.

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	0.183	0.061	2.22	0.186
Cows	3	0.153	0.051	1.86	0.236
Treatments	3	0.032	0.011	0.39	0.768
Error	6	0.164	0.027		
Total	15	0.053			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.691	2.55	0.166	6.481

Appendix Table 24. Dependent Variable : pH value at 6.0 h. post-feeding.

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	0.080	0.027	0.68	0.598
Cows	3	0.321	0.107	2.72	0.137
Treatments	3	0.041	0.014	0.34	0.795
Error	6	0.236	0.039		
Total	15	0.678			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.625	3.03	0.198	6.540

Appendix Table 25. Dependent Variable : Ruminal NH_3-N concentration at 0 h. post-feeding (mg%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	1.474	0.491	3.15	0.108
Cows	3	1.073	0.358	2.30	0.178
Treatments	3	1.529	0.510	3.27	0.101
Error	6	0.935	0.156		
Total	15	5.011			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.813	5.09	0.395	7.748

Appendix Table 26. Dependent Variable : Ruminal NH_3-N concentration at 0.5 h. post-feeding (mg%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	6.614	2.205	7.39	0.019
Cows	3	0.503	0.167	0.56	0.660
Treatments	3	4.682	1.561	5.23	0.041
Error	6	1.789	0.298		
Total	15	13.588			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.868	5.82	0.546	9.388

Appendix Table 27. Dependent Variable : Ruminal NH_3-N concentration at 1.0 h. post-feeding (mg%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	1.716	0.572	4.83	0.048
Cows	3	0.085	0.028	0.24	0.866
Treatments	3	32.042	10.681	90.23	0.0001
Error	6	0.710	0.118		
Total	15	34.553			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.979	3.08	0.344	11.191

Appendix Table 28. Dependent Variable : Ruminal NH_3-N concentration at 1.5 h. post-feeding (mg%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	2.045	0.682	4.15	0.066
Cows	3	0.316	0.105	0.64	0.616
Treatments	3	28.786	9.595	58.35	0.0001
Error	6	0.987	0.164		
Total	15	32.134			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.969	3.58	0.406	11.322

Appendix Table 29. Dependent Variable : Ruminal NH_3-N concentration at 2.0 h. post-feeding (mg%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	1.042	0.347	1.06	0.432
Cows	3	0.589	0.196	0.60	0.638
Treatments	3	35.861	11.954	36.57	0.0003
Error	6	1.961	0.327		
Total	15	39.454			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.950	5.10	0.572	11.221

Appendix Table 30. Dependent Variable : Ruminal NH_3-N concentration at 4.0 h. post-feeding (mg%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	2.990	0.997	5.02	0.045
Cows	3	0.837	0.276	1.39	0.334
Treatments	3	36.927	12.309	62.01	0.0001
Error	6	1.191	0.199		
Total	15	41.935			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.972	4.07	0.446	10.938

Appendix Table 31. Dependent Variable : Ruminal NH_3-N concentration at 6.0 h. post-feeding (mg%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	1.096	0.365	0.67	0.599
Cows	3	0.595	0.198	0.37	0.781
Treatments	3	23.782	7.927	14.61	0.004
Error	6	3.256	0.543		
Total	15	28.730			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.887	7.25	0.737	10.157

Appendix Table 32. Dependent Variable : Blood urea nitrogen concentration at 0 h. post-feeding (mg%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	57.159	19.053	11.36	0.007
Cows	3	39.112	13.037	7.77	0.017
Treatments	3	77.056	25.685	15.32	0.003
Error	6	10.063	1.667		
Total	15	183.389			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.945	12.88	1.295	10.054

Appendix Table 33. Dependent Variable : Blood urea nitrogen concentration at 0.5 h. post-feeding (mg%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	104.829	34.943	3.35	0.097
Cows	3	90.922	30.307	2.91	0.123
Treatments	3	42.229	14.076	1.35	0.344
Error	6	62.553	10.426		
Total	15	300.533			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.792	26.92	3.229	11.995

Appendix Table 34. Dependent Variable : Blood urea nitrogen concentration at 1.0 h. post-feeding (mg%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	55.688	18.563	5.56	0.036
Cows	3	66.384	22.127	6.63	0.025
Treatments	3	76.175	25.392	7.61	0.018
Error	6	20.031	3.338		
Total	15	218.277			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.908	15.33	1.827	11.920

Appendix Table 35. Dependent Variable : Blood urea nitrogen concentration at 1.5 h. post-feeding (mg%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	58.699	19.566	1.62	0.281
Cows	3	6.926	2.309	0.19	0.899
Treatments	3	75.915	25.972	2.15	0.195
Error	6	72.389	12.065		
Total	15	215.928			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.995	28.31	3.437	12.271

Appendix Table 36. Dependent Variable : Blood urea nitrogen concentration at 2.0 h. post-feeding (mg%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	56.963	18.988	1.92	0.227
Cows	3	22.624	7.541	0.76	0.555
Treatments	3	27.142	9.047	0.92	0.487
Error	6	59.273	9.879		
Total	15	166.001			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.643	26.83	3.143	11.713

Appendix Table 37. Dependent Variable : Blood urea nitrogen concentration at 4.0 h. post-feeding (mg%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	40.929	13.643	1.18	0.394
Cows	3	5.662	1.887	0.16	0.918
Treatments	3	52.888	17.629	1.52	0.303
Error	6	69.581	11.597		
Total	15	169.060			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.588	24.87	3.405	13.696

Appendix Table 38. Dependent Variable : Blood urea nitrogen concentration at 6.0 h. post-feeding (mg%).

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Periods	3	77.257	25.725	2.34	0.172
Cows	3	22.113	7.371	0.67	0.600
Treatments	3	40.898	13.633	1.24	0.375
Error	6	65.907	10.984		
Total	15	206.175			

R-Square	C.V	Root MSE	Mean
0.680	28.74	3.314	11.532

ประวัติผู้เขียน

นายปราโมทย์ แพงคำ เกิดวันที่ 29 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2515 ที่อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น บิดาชื่อ นายหนูเพียร แพงคำ มารดาชื่อ นางผึ้ง แพงคำ สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา จาก โรงเรียนบ้านโคกสหกรณ์ ต. หนองกุงธนสาร อ. ภูเวียง จ. ขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น และปลาย จากโรงเรียนภูเวียงวิทยาคม อ. ภูเวียง จ. ขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ต่อจากนั้นในปี พ.ศ. 2538 ได้มาศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างการศึกษาได้รับทุนนักศึกษาผู้ช่วยวิจัย (research assistantship) จากสำนักงานสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้โครงการวิจัยอาหารโคนม ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ของสงวนลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น