ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
E47280

OPTIMIZING THE AVAILABILITY OF SOLUBLE PROTEI AND CARBOHYDRATE ON RUMINAL FERMENTATION, MICROBIAL PROTEIN SYNTHESIS AND MILK PRODUCTION OF DAIRY COWS FED LOW QUALITY ROUGHAGE

MISS SIRIRAT BUAPHAN

A THESIS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
KHON KAEN UNIVERSITY
2011

OPTIMIZING THE AVAILABILITY OF SOLUBLE PROTEI AND CARBOHYDRATE ON RUMINAL FERMENTATION, MICROBIAL PROTEIN SYNTHESIS AND MILK PRODUCTION OF DAIRY COWS FED LOW QUALITY ROUGHAGE

MISS SIRIRAT BUAPHAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN ANIMAL SCIENCE

GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY

2011

THESIS APPROVAL

KHON KAEN UNIVERSITY

FOR

DOCTOR OF PHILOSOPHY

IN ANIMAL SCIENCE

Thesis Title: Optimizing the Availability of Soluble Protein and Carbohydrate on Ruminal Fermentation, Microbial Protein Synthesis and Milk Production of Dairy Cows Fed Low Quality Roughage

Author: Miss Sirirat Buaphan

Thesis Examination Committee

Asst. Prof. Dr. Suporn Katawatin	Chairperson
Asst. Prof. Dr. Lerchart Boon-Ek	Member
Assoc. Prof. Dr. Virote Pattarajinda	Member
Assoc. Prof. Dr. Monchai Duangjinda	Member
Assoc. Prof. Dr. Yanin Opatpatanakit	Member
Prof. Dr. Mark A. Froetschel	Member

Thesis Advisors:

Virote Pattarajinda .....Advisor

(Assoc. Prof. Dr. Virote Pattarajinda)

Monchai Duangjinda .....Co-Advisor

(Assoc. Prof. Dr. Monchai Duangjinda)

Yanin Opat. .....Co-Advisor

(Assoc. Prof. Dr. Yanin Opatpatanakit)

Mark A. Froetschel .....Co-Advisor

(Prof. Dr. Mark A. Froetschel)

L. Manmart .....

(Assoc. Prof. Dr. Lampang Manmart)
Dean, Graduate School

Anan Polthanee .....

(Assoc. Prof. Dr. Anan Polthanee)
Dean, Faculty of Agriculture

Copyright of Khon Kaen University

ศิริรัตน์ บัวผัน. 2554. **ระดับของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรทที่ละลายง่ายที่เหมาะสมต่อการหมักย่อยในกระเพาะรูเมน การสังเคราะห์ จุลินทรีย์โปรตีน และผลผลิตน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารหยาบคุณภาพต่ำ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: รศ. ดร. วิโรจน์ ภัทรจินดา,
รศ. ดร. มนต์ชัย ดวงจินดา,
รศ. ดร. ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ,
Prof. Dr. Mark A. Froetschel

บทคัดย่อ

E47280

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ผลของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้ง่ายต่อการการหมักย่อยในกระเพาะรูเมน การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีน และผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมของโคนมที่ได้รับอาหารหยาบคุณภาพต่ำ โดยการแบ่งเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1: เพื่อศึกษาผลของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรทที่ละลายได้ง่ายต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้งและเยื่อใยในอาหาร การผลิตแก๊ส และความสัมพันธ์ระหว่างการย่อยได้ของวัตถุ-แห้งกับ การผลผลิตแก๊สในหลอดทดลอง โดยใช้สับสเตรท 16 ชนิด (การทดลองที่ 1.1) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์และจัดทรีทเมนท์แบบ 2×2×4 แฟคตอเรียล ปัจจัยหลักที่ศึกษา ได้แก่ แหล่งของเยื่อใย (เซลลูโลส และฟางข้าวระดับ 250 มิลลิกรัม) ไนโตรเจนที่ละลายได้ง่าย (Trypticase ระดับ 0, 50 มิลลิกรัม) และ คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้าง (0, เสริมแป้ง 100 มิลลิกรัม, เสริมน้ำตาล 100 มิลลิกรัม หรือ เสริมแป้งและน้ำตาลร่วมกัน 50:50 มิลลิกรัม) พบว่าการเสริมแหล่งของไนโตรเจนหรือคาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างจะช่วยเพิ่มการย่อยได้ของวัตถุแห้งของเซลลูโลส และฟางข้าว ($P<0.01$) หลังการหมักบ่มเป็นเวลา 48 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามการเสริมไนโตรเจนร่วมกับแป้งหรือน้ำตาลจะช่วยเพิ่มการย่อยได้ของสิ่งแห้งสูงกว่า ($P<0.01$) การเสริมไนโตรเจนร่วมกับการเสริมแป้งผสมน้ำตาล (70.4 และ 70.5 เทียบกับ 65.5% ตามลำดับ) การทดลองที่ 1.2 เพื่อศึกษาระดับของไนโตรเจนที่ละลายได้ง่ายและคาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างต่อการย่อยได้ของฟางข้าว โดยใช้สับสเตรท 25 ชนิด ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์และจัดทรีทเมนท์แบบ 5×5 แฟคตอเรียล ปัจจัยหลักที่ศึกษา ได้แก่ ระดับของไนโตรเจนที่ละลายได้ง่าย (0:100, 25:75, 50:50, 75:25 และ 100:0% ของ ยูเรีย : trypticase ในโปรตีนรวม)

E47280

และ คาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้าง (0:100, 25:75, 50:50, 75:25 และ 100:0% ของน้ำตาล:แป้งในคาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างรวม) พบว่า การทดแทน Trypticase ด้วยยูเรียในระดับ 25-50% ของโปรตีนรวม ทำให้การย่อยได้ของฟางข้าวเพิ่มขึ้น ($P<0.01$) อย่างไรก็ตามการเพิ่มระดับของน้ำตาลเพื่อทดแทนแป้งนั้น การย่อยได้ของฟางข้าวไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้การเติมยูเรีย:Trypticase ในสัดส่วน 50:50 ร่วมกับการใช้แหล่งของน้ำตาลเพียงอย่างเดียว มีผลทำให้การย่อยได้ของฟางข้างสูงสุด (58.8%) เมื่อเทียบกับทรีทเมนท์อื่น ๆ จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการเติมไนโตรเจนที่ละลายได้ง่ายและคาร์โบไฮเดรทที่ไม่เป็นโครงสร้างในสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้มีโภชนะเพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์ จึงช่วยให้การย่อยได้ของฟางข้าวเพิ่มขึ้น

การทดลองที่ 1.3 เพื่อศึกษาระดับของโปรตีนที่ละลายได้ง่ายและน้ำตาลในอาหารสูตรรวม ต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้งและเยื่อใยในอาหาร และการผลิตแก๊ส โดยใช้อาหารทดลอง 9 ชนิด ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์และจัดทรีทเมนท์แบบ 3×3 แฟคตอเรียล ปัจจัยหลักที่ศึกษา ได้แก่ ระดับไนโตรเจนที่ละลายได้ง่าย (ต่ำ ปานกลาง และสูง; 5, 8, หรือ 11% ของวัตถุแห้ง ตามลำดับ โดยมีระดับของไนโตรเจนที่ละลายได้ง่ายจากยูเรียเท่ากับ 25, 50, หรือ 75% ของ โปรตีนรวม ตามลำดับ) และน้ำตาล 3 ระดับ (ต่ำ ปานกลาง และสูง; 8, 16, หรือ 24%ของวัตถุแห้ง) ผลการศึกษาพบว่า เมื่อระดับของโปรตีนที่ละลายได้ง่ายเพิ่มขึ้น ในช่วงการหมักย่อยที่ ≥ 8 ชั่วโมง มีผลในเชิงลบต่อการย่อยได้ของเยื่อใย ส่วนการเพิ่มระดับโปรตีนที่ละลายได้ง่าย ทำให้ผลผลิตแก๊สสะสมในชั่วโมงที่ 12 ของการหมักบ่ม เพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นตรง ($P<0.01$) และศักยภาพในการผลิตแก๊ส ($|a|+b$) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มระดับน้ำตาล มีผลทำให้ผลผลิตแก๊สสะสมเพิ่มขึ้นในช่วง ≤ 8 ชั่วโมงของการหมักบ่ม อย่างไรก็ตามศักยภาพของการผลิตแก๊ส และผลผลิตแก๊สที่ได้จากส่วนที่ย่อยสลาย (b) มีค่าลดลง จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าระดับของโปรตีนที่ละลายได้ง่ายและน้ำตาลในอาหารสูตรรวมที่ระดับต่ำจะช่วยเพิ่มการย่อยได้ของอาหารและผลผลิตแก๊สในส่วนที่ต้องย่อยสลาย นอกจากนี้ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งและผลผลิตแก๊สที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีความสัมพันธ์กันสูง ($r=0.82$)

การทดลองที่ 2: เพื่อศึกษาระดับของโปรตีนที่ละลายได้ง่ายและน้ำตาลในอาหารสูตรรวมต่อการหมักย่อยในกระเพาะรูเมนและการย่อยได้ของโภชนะในโคเนื้อเพศผู้ พันธ์ลูกผสมพื้นเมืองไทยที่ได้รับการเจาะกระเพาะรูเมนแบบถาวร จำนวน 4 ตัว (น้ำหนักตัวเฉลี่ย 241±26 กิโลกรัม) วางแผนการทดลองแบบ 4×4 ลาตินสแควร์ จัดหน่วยทดลองแบบ 2×2 แฟคตอเรียล โดยโคทดลองได้รับอาหารที่มีโปรตีนที่ละลายง่าย ระดับ 60% และ 80% ของโปรตีนรวม และมีน้ำตาล ระดับ 11% และ 22%ของวัตถุแห้ง ผลการศึกษาพบว่าโคที่ได้รับอาหารที่โปรตีนที่ละลายง่ายระดับสูง ทำให้การกินได้ของอาหารลดลง ($P<0.10$) เมื่อเทียบกับโคที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน

E47280

ที่ละลายง่ายระดับต่ำ ส่วนผลของระดับน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นพบว่าการกินได้ของเยื่อใยในรูปของลิกโนเซลลูโลสมีค่าลดลง ($P<0.05$) อย่างไรก็ตามค่า pH, แอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะ-รูเมน ระดับยูเรีย และกลูโคสในเลือดไม่แตกต่างกัน ระหว่างทรีทเมนท์ นอกจากนี้การเพิ่มระดับของโปรตีนที่ละลายง่าย ไม่มีผลต่อปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายรวม แต่มีแนวโน้มทำให้ระดับของอะซิเตท ลดลง ($P<0.10$; 55 %เทียบกับ 64.8%) รวมทั้งการย่อยได้ตลอดทางเดินอาหารของวัตถุแห้ง อินทรียวัตถุ และเยื่อใยในรูปลิกโนเซลลูโลสลดลง ($P<0.05$) จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าโปรตีนที่ละลายง่ายระดับ 60% ของโปรตีนรวม และน้ำตาลระดับ 11% ของวัตถุแห้งจะมีผลดีต่อการกินได้ การหมักย่อยในกระเพาะรูเมนและการย่อยของโภชนะในโคเนื้อลูกผสมพื้นเมืองไทย

การทดลองที่ 3: เพื่อศึกษาระดับของโปรตีนที่ละลายได้ง่ายและน้ำตาลในอาหารผสมครบส่วน ต่อการหมักย่อยในกระเพาะรูเมน การย่อยได้ของโภชนะ และผลผลิตน้ำนมของโค โดยใช้แม่โครีดนม จำนวน 12 ตัว (ระดับสายเลือด>93.75% โฮลสไตน์) ที่ให้น้ำนมมาแล้วเฉลี่ย 99±63 วัน วางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ และจัดแม่โคโดยใช้จำนวนวันรีดน้ำนม ระยะเวลาทดลอง 56 วัน โคได้รับอาหารที่มีระดับของโปรตีนที่ละลายง่าย 4 ระดับ (4.8 - 9.6% ของวัตถุแห้ง หรือคิดเป็น 30 - 60% ของโปรตีนรวม) และมีระดับของน้ำตาลเท่ากับ 8 - 17% ของวัตถุแห้ง ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มระดับของโปรตีนที่ละลายง่ายและน้ำตาล การกินได้ของวัตถุแห้งและอินทรีย์วัตถุของโค ค่า pH ระดับของแอมโมเนียไนโตรเจนในกระเพาะรูเมน กลูโคส และอินซูลินในพลาสมา รวมถึงการย่อยได้ของโภชนะและการขับออกของไนโตเจนในปัสสาวะไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ระดับของยูเรียในพลาสมา มีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับของโปรตีนที่ละลายง่ายและน้ำตาลเพิ่มขึ้น ในโคนมที่ได้รับอาหารที่มีระดับของโปรตีนที่ละลายง่ายและน้ำตาลในระดับสูง พบว่าความเข้มข้นของอะซิเตท และบิวทีเรทเพิ่มขึ้น 30.7% และ 43.6% ตามลำดับ ซึ่งส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายรวม ($P<0.01$) และไขมันในน้ำนม ($P<0.10$) เพิ่มสูงขึ้น 27.0% และ 13.9% ตามลำดับ ส่วนค่า PDC index และค่าประมาณการของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ระดับของโปรตีนและน้ำตาลแลคโตสในน้ำนม เนื้อนมไม่รวมไขมันนม และประสิทธิภาพการใช้อาหารมีค่าสูงสุดเมื่อโคได้รับอาหารที่มีโปรตีนที่ละลายง่ายและน้ำตาลเท่ากับ 6.4% (40% ของโปรตีนรวม) และ 11%ของวัตถุแห้งตามลำดับ

ผลสรุปจากการทดลองทั้ง 3 การทดลองชี้ให้เห็นว่าโปรตีนที่ละลายง่ายและน้ำตาลจะเพิ่มการเจริญและการทำงานของจุลินทรีย์ จึงส่งผลให้การใช้ประโยชน์ได้ของอาหารที่มีฟางข้าวเป็นอาหารหยาบหลักเพิ่มขึ้น ระดับที่เหมาะสมของโปรตีนที่ละลายง่าย: น้ำตาล เท่ากับ 1:1.7 เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของวัตถุแห้งในอาหารสูตรรวม ช่วยเพิ่มปริการกินได้ของอาหาร การหมักย่อยในกระเพาะรูเมน การสังเคราะห์จุลินทรีย์โปรตีนและผลผลิตนมและองค์ประกอบน้ำนมของโคระยะรีดนม ดังนั้นในการคำนวณสูตรอาหารสำหรับโครีดนมที่ได้รับอาหารหยาบคุณภาพต่ำควรมีปริมาณของโปรตีนที่ละลายง่ายและน้ำตาลเพียงพอ

Sirirat Buaphan. 2011. **Optimizing the Availability of Soluble Protein and Carbohydrate on Ruminal Fermentation, Microbial Protein Synthesis and Milk Production of Dairy Cows Fed Low Quality Roughage**. Doctor of Philosophy Thesis in Animal Science, Graduate School, Khon Kaen University.

Thesis Advisors: Assoc. Prof. Dr. Virote Pattarajinda,
Assoc. Prof. Dr. Monchai Duangjinda,
Assoc. Prof. Dr. Yanin Opatpatanakit,
Prof. Dr. Mark A. Froetschel

ABSTRACT

E 47280

The objectives of this investigation were to examine effects of soluble protein and carbohydrate on ruminal fermentation, microbial protein synthesis and milk production in dairy cows fed low quality roughage.

Experiment 1: The objective of this experiment was to determine the effects of soluble protein and carbohydrate *in vitro* experiments on IVDMD and fiber digestion, gas production and interrelationships between IVDMD and gas production. Sixteen substrates (Experiment 1.1) were compared in a completely randomized designed with a 2 × 2 × 4 factorial arrangement to determine the effect of soluble protein (N) and carbohydrate (non-fiber carbohydrate, NFC) on IVDMD. Cellulose and rice straw were used as the basal forage component of the substrate. The factors were fiber source as substrate (250 mg cellulose or rice straw), soluble N (0, 50 mg added trypticase) and NFC (0 NFC, 100 mg starch, 100 mg sugar, or 50 mg starch plus 50 mg sugar). Addition of either soluble N or NFC source improved IVDMD of both cellulose and rice straw ($P<0.01$) at 48 h post fermentation. However, supplementation of soluble N and either sugar or starch, higher IVDMD compared to supplementing a mixture of sugar and starch as NFC (70.5, and 70.4 vs. 65.5%, respectively; $P<0.01$). Experiment 1.2 was to examine the effect of varying levels of soluble N and NFC on IVDMD of rice straw. Twenty five substrates were used in a completely randomized design with a 5 × 5 factorial arrangement. The main effects being the level of soluble N (0:100, 25:75, 50:50, 75:25, or 100:0% of urea:trypticase

E47280

being the level of soluble N (0:100, 25:75, 50:50, 75:25, or 100:0% of urea:trypticase in the total CP) and NFC (0:100, 25:75, 50:50, 75:25, or 100:0% of sugar:starch in the total NFC). Replacing trypticase with urea at 25 - 50% of total CP improved IVDMD ($P<0.01$). However, replacing starch with sugar did not affect IVDMD ($P>0.05$). The combination of urea:trypticase at 50:50 levels and sugar (100% of NFC) had higher IVDMD (58.8%), as compared to other substrates. The results indicate that a mixture of urea, trypticase and sugar will optimize IVDMD of rice straw. Experiment 1.3 was conducted to investigate the effect of the soluble protein and sugar level on IVDMD and fiber digestibility, gas production and the relationship between IVDMD and gas production using a total mixed ration as substrate. Nine experimental diets were in completely randomized design with a 3 × 3 factorial arrangement of treatments. The main effects being the level of soluble protein (low, 5%; medium, 8%, or high, 11% of diet DM; the level of soluble N from urea was 25, 50, or 75% of total CP from soybean meal, respectively) and sugar (low, 8%; medium, 16%, or high, 24% of diet DM). After ≥ 8 h of incubation, there was negative effect on fiber digestion with high levels of SP. Cumulative gas production and potential of gas production at 12 h of fermentation ($P<0.01$) tended to linearly increase with increasing in the SP level. Before ≤ 8 h of fermentation increasing sugar level increased the cumulative gas production, but this decreased at later incubation times. Low-SP and low-sugar levels had more positive affects on diet digestibility and gas production than high levels. The correlation of IVDMD and *in vitro* gas production was high ($r=0.8$).

Experiment 2: Varying levels of soluble protein (SP) and sugar concentrations on ruminal fermentation and nutrient digestibility were studied in crossbred Thai steers. Four crossbred Thai steers, 241 ± 26 kg BW, fitted with rumen cannulae, were used in a 4 × 4 Latin square design with a 2 × 2 factorial arrangement of treatments. The steers were fed rations with either 60.0 or 80.0% soluble CP and 11.0 or 22.0% sugar (DM %). Steers fed high SP diet tended to have decreased DMI ($P<0.10$). Steers fed the higher sugar-level diet had decreased ADF intake ($P<0.05$). Rumen pH, NH_3-N, total VFA, BUN and BG levels were not affected by SP or sugar ($P>.05$). Feeding high SP diet tended to decrease the acetate concentration ($P<0.10$; 55.5 vs. 64.8%). The high SP-level diet decreased the total tract ADF ($P<0.05$), DM and OM ($P<0.10$) digestibility. It appears

E47280

that SP-level at 60% of the total CP and sugar-level at 11% of diet DM more positively affects intake, rumen fermentation and digestibility in crossbred Thai steers.

Experiment 3: The objective of this study was to investigate the soluble protein and sugar level in TMR diets fed to lactating cows on ruminal fermentation, nutrient digestibility and milk production. Twelve crossbred Holstein (>93.75%) lactating cows with 99 ± 63 days in milk (DIM), were blocked into 3 groups of 4 by DIM in a randomized complete block design, composed of 4 treatments, for 56 days period. The cows were fed treatment rations with increasing level of SP (4.8 to 9.6% of the DM, or 30 to 60% of the CP) and sugar (8 to 17% of diet DM). Increasing the SP and sugar-level did not affect DM and OM intake, ruminal pH, NH_3-N, plasma glucose and insulin, total tract digestibility of nutrients and urinary excretion of total N. However, the plasma urea N increased ($P<0.01$), with increasing in the SP and sugar-level in the diets. Molar proportions of acetate and butyrate, at 3h post-feeding, were increased 30.7 and 43.6% in cows fed the highest levels of SP and sugar, respectively. This corresponded to a 27% increase in total VFA concentration ($P<0.01$) and 13.9 % increase in percentage of milk fat ($P<0.10$). The PDC index, estimated MCP, the percentage of milk protein, lactose, solid not fat as well as feed efficiency were increased ($P<0.05$), at the intermediate levels of SP (6.4%) and sugar-level (11%) .

In conclusion, results from these experiments indicate that soluble protein and carbohydrate will improve rumen microbial growth and activity lading to improved utilization of rice-straw based diets. The optimal ratio of SP: sugar in TMR diets is 1:1.7, given as a percentage of the DM, improved feed intake, ruminal fermentation, microbial protein synthesis and milk production and composition. Therefore, the amount of soluble protein and sugar should be enough in feed formulation for lactating cow fed low quality forage based diets.

I wish to delicate this thesis to my beloved parents and respected teachers, advisors who give me the knowledge and experience also wish to dedicate to all animal used in this thesis.

ACKNOWLEGMENTS

I would like to express my sincere appreciation and gratitude to all the people who made valuable contributions throughout my PhD study. I would first like to thank my advisor, Assoc. Prof. Dr. Virote Pattarajinda for helping me with his enlightened advices, motivation and untiring support throughout my PhD study, without which I would not have been able to complete this journey. I would also like to express my thanks and deep gratitude to the committee members Assoc. Prof. Dr. Monchai Duangjinda, Assoc. Prof. Dr. Yanin Opatpatanakit, and Prof. Dr. Mark Froetschel for their advices and guidance that immensely helped me to complete this work successfully. I would especially like to thank Prof. Dr. Mark Froetschel who has given me a lot of experiences during my stay at the University of Georgia (UGA) and very special thank to Mrs. Pat Smith for the helping and providing in the lab at UGA.

I would like to give extra thanks to the Thailand Research Found (TRF) through the Royal Golden Jubilee PhD Program. (Grant No.Ph.D/0217/2549) for providing scholarship for my research until completion. I would like to thank Roi-Et Agricultural Research and Training Center for allowing me to use research facilities and also I would like to thank all the farm workers for their time and help, rendered in handling the animal and data collection. I would like to thank the staff of the Nutrition Laboratory, Animal Science Department for their contribution in my feed sample analysis. Very special thanks are also extended to all the graduate students from the Animal Science Department for their helping hands with my data collection and analysis

My special thanks to my father and all member of my family for their continued love, support, patience, understanding, and advices during my study period, that gave me extra courage to endure and face the challenges encountered in this journey.

Last but still very important, I would like to thank all the professors in the Animal Science Department, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University for their suggestion and comments that helped me complete this course in time.

Sirirat Buaphan

TABLE OF CONTENTS

	Page
ABSTRACT (In Thai)	i
ABSTRACT (In English)	iv
DEDICATION	vii
ACKNOWLEDGMENT	viii
LIST OF TABLES	xi
LIST OF FIGURES	xiii
LIST OF ABBREVIATIONS	xiv
CHAPTER I INTRODUCTION	1
1.1 Background and justifications	1
1.2 The objectives of the thesis	3
1.3 Expected outcomes	3
CHAPTER II REVIEW OF LITERATURE	5
2.1 An overview of milk production	5
2.2 Ruminant nutrition	6
2.3 General aspects of rumen microbial metabolism	7
2.4 Importance of fermentation products to ruminant	9
2.5 Importance of microbial protein to ruminants	11
2.6 Microbial requirements for substrate	14
2.7 Protein utilization in the ruminant	16
2.8 Carbohydrates utilization in the ruminant	27
2.9 Matching of protein and carbohydrate in ruminant diet	44
2.10 Techniques measuring digestibility for the nutritional evaluation of feeds	50
2.11 Microbial protein synthesis measurement methods	59

TABLE OF CONTENTS (Continued)

	Page
CHAPTER III EXPERIMENT 1: THE EFFECTS OF SOLUBLE PROTEIN AND CARBOHYDRATE ON *IN VITRO* FERMENTATION AND NUTRIENT DIGESTION	67
3.1 Experiment 1.1: The effects of soluble protein, sugar, and starch on *in vitro* digestibility of cellulose and rice straw	67
3.2 Experiment: 1.2 The effects of soluble protein and carbohydrate on *in vitro* digestibility of rice straw	76
3.3 Experiment 1.3 The effects of soluble protein and carbohydrate on *in vitro* nutrient digestion and gas production	82
CHAPTER IV EXPERIMENT 2: EFFECTS OF SOLUBLE PROTEIN AND SUGAR CONCENTRATION ON RUMINAL FERMENTATION AND NUTRIENTS DIGESTIBILITY IN CROSSBRED STEERS	101
4.1 Introduction	101
4.2 Materials and methods	102
4.3 Results and Discussion	105
4.4 Conclusions	114
CHAPTER V EXPERIMENT 3: OPTIMIZING THE RATIOS OF SOLUBLE PROTEIN AND CARBOHYDRATE ON TOTAL TRACT DIGESTIBILITY, MICROBIAL PROTEIN SYNTHESIS AND MILK PRODUCTION OF DAIRY COWS	115
5.1 Introduction	115
5.2 Materials and Methods	116
5.3 Results and Discussion	121
5.4 Conclusions	142
CHAPTER VI GENERAL DISCUSSION AND CONCLUSION	143
REFERENCES	151

TABLE OF CONTENTS (Continued)

	Page
APPENDICES	185
APPENDICES A PUBLICATIONS	187
APPENDICES B LAB PROCEDURE	191
CURRICULUM VITAE	211

LIST OF TABLES

		Page
Table 2.1	End-product formation and energetic efficiency resulting from fermentation of hexose by different pathway	9
Table 2.2	Contribution of microbial protein to total protein requirement of lactating dairy cattle[a]	12
Table 2.3	Nitrogen a fractions [b] based on solubility in bicarbonate-phosphate buffer	21
Table 2.4	Neutral detergent soluble carbohydrate of selected feedstuffs and their fermentation end products	29
Table 2.5	The corresponding values for the daily PD excretion and microbial N supply in sheep at four different ranges of the PDC index	64
Table 2.6	The corresponding values for the daily PD excretion and microbial N supply at six different ranges of the PDC index for Friesian cattle	64
Table 3.1	Ingredient used in experimental substrates	69
Table 3.2	*In vitro* digestibility of cellulose and rice straw supplement with N and NFC at 48 h of incubation	74
Table 3.3	Ingredient used in experimental substrates	79
Table 3.4	The effects of varying soluble protein (urea:trypticase) and NFC (sugar:starch) on *in vitro* DM digestibility of rice straw	81
Table 3.5	Ingredient and chemical composition of experiment diets[a]	87
Table 3.6	The effects of increasing SP and sugar on *in vitro* digestibility of TMR diets at 2, 4, 8, 24, and 48 h of incubation	90
Table 3.7	The effects of SP level in TMR diets on *in vitro* digestibility with time of incubation	91
Table 3.8	The effects of sugar level in TMR diets on *in vitro* digestibility	93
Table 3.9	The effects of increasing SP and sugar on cumulative of gas volume in TMR diets[1]	96
Table 3.10	The effects of SP level in TMR diets on *in vitro* cumulative of gas production and kinetic	97

LIST OF TABLES (Continued)

		Page
Table 3.11	The effects of sugar level in TMR diets on *in vitro* cumulative of gas production and kinetic	98
Table 4.1	Ingredients of the feed and the chemical compositions of the experimental diets[a]	103
Table 4.2	Effects of SP and sugar concentration in TMR diets[a] on the nutrient intake, total tract digestibility, and performance in crossbred steers	108
Table 4.3	Effects of SP and sugar concentration in TMR diets[a] on the ruminal pH and NH_3-N	111
Table 4.4	Effects of SP and sugar concentration in TMR diets[a] on blood metabolite Levels	112
Table 5.1	Ingredients and composition of TMR diets	122
Table 5.2	Effects of increasing SP and sugar level in TMR diets on intake and total tract digestibility of nutrient	124
Table 5.3	Effects of increasing SP and sugar level in TMR diets on ruminal fermentation characteristics	130
Table 5.4	Effects of increasing SP and sugar level in TMR diets on blood metabolites Levels	132
Table 5.5	Effects of increasing SP and sugar level in TMR diets on concentration of urinary metabolite and estimated microbial crude protein	134
Table 5.6	Effects of increasing SP and sugar level in TMR diets on weight change, milk production, and feed efficiency	139

LIST OF FIGURES

	Page
Figure 2.1 Interplay of dietary, ruminal, and extraruminal sources of N and amino acid (AA); CH_2O = carbohydrates; Export = milk, conceptus, scurf, secretions	18
Figure 3.1 *In vitro* digestibility of cellulose and rice straw supplement with nitrogen (N) and NFC source at 48 h of incubationSTA, starch; SU, sugar; STA+SU, starch plus sugar (50:50)	75
Figure 3.2 The effects of varying soluble protein (urea:trypticase) and NFC (sugar:starch) on *in vitro* DM digestibility of rice straw	81
Figure 3.3 The effects of SP level in TMR diets on IVDMD (A), IVNDFD (B), IVADFD (C) with time of incubation	92
Figure 3.4 The effects of sugar level in TMR diets on IVDMD (A), IVNDFD (B), and IVADFD (C) with time of incubation	94
Figure 3.5 The correlation between IVDMD and gas production when increasing soluble protein and sugar in TMR diets	99
Figure 4.1 Effects of SP and sugar concentration on rumen pH (a), NH_3-N (b), BUN (c), and BG (d) of crossbred steers. Line highlighted by □ designates the L-SP-L-SU treatment diet, ■ designates the L-SP-H-SU treatment diet, ▲ designates the H-SP-L-SU treatment diet, and × designates the H-SP-H-SU treatment diet	113
Figure 5.1 Effects of increasing SP and sugar level in TMR diets on DMI (a), ruminal NH_3-N (b), plasma urea nitrogen (c), and glucose (d) within time of sampling	140
Figure 5.2 Effects of increasing SP and sugar level in TMR diets on milk production and composition within time of sampling	141

LIST OF ABBREVIATIONS

a	Rapidly soluble fraction, the intercept
AA	Amino acid
ADF	Acid detergent fiber
ATP	Adenosine-5-triphosphate
b	Potentially degradable fraction, the fermentation of the insoluble fraction
BCP	Bacteria cell protein
BCVFA	Branched chin volatile fatty acid
BG	Blood glucose
BUN	Blood urea nitrogen
BW	Body weight
c	Rate of degradation of *b* fraction, rate of gas production
cm	Centimeter
CO_2	Carbon dioxide
CP	Crude protein
Cr_2O_3	Chromium oxide
d	Day
DAPA	Diamino pimelic acid
DM	Dry matter
DMI	Dry matter intake
DNA	Deoxyribonucleic acid
EE	Ether extract
FCM	Fat corrected milk
g	Gram
GE	Gross energy
h	Hour
H_2	Hydrogen
IVADFD	*In vitro* acid detergent fiber digestibility
IVDMD	*In vitro* dry matter digestibility

LIST OF ABBREVIATIONS (Continued)

IVNDFD	*In vitro* neutral detergent fiber digestibility
kg	Kilogram
HPLC	High performance liquid chromatography
l	Liter
M	Molar
Mcal	Megacalories
MCP	Microbial crude protein
ME	Metabolizable energy
mg	Milligram
min	Minute
MJ	Mega joule
ml	Milliliter
m^2	Square metre
mM	Millimolar
N	Nitrogen
NAN	Non ammonia nitrogen
NDF	Neutral detergent fiber
NE	Net energy
NFC	Nonfiber carbohydrate
NH_3-N	Ammonia nitrogen
nm	Nanometer
NPN	Non protein nitrogen
NSC	Nonstructural carbohydrate
OM	Organic matter
OMD	Organic matter digestibility
P	Probability
PD	Purine derivatives
PG	Plasma glucose
PUN	Plasma urea nitrogen

LIST OF ABBREVIATIONS (Continued)

r	Correlation coefficient
RDP	Ruminal degrade protein
RNA	Ribonucleic acid
RUP	Rumen undegradable protein
s	Seconds
SEM	Standard error of means
SBM	Soybean mea
SP	Soluble protein
SIP	Soluble intake protein
SNF	Solid not fat
t	Time
TDN	Total digestible nutrient
TMR	Total mixed ration
TVFA	Total volatile fatty acid
UDP	Undegradable dietary protein
UIP	Undegradadable intake protein
µg	Microgram
µl	Microlitre
µm	Micrometer
VFA	Volatile fatty acid
vs	Versus
wk	Week
w/v	Weight/Volume
w/w	Weight/Weight
y	gas production at time *t*