

# ผลของสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในอาหารข้นต่อผลผลิตน้ำนมในโคนม

## Effect of Calcium to Phosphorus Ratios in Concentrate on Milk Production in Dairy Cows

ศศิธร เจาะจง (Sasitorn Jorjong)\* ดร. ฉลอง วชิราภากร (Dr. Chalong Wachirapakorn)\*\*  
 ดร. เมธา วรรณพัฒน์ (Dr. Metha Wanapat)\*\*\* งามนิจ นนทโส (Ngarmnit Nontaso)\*\*\*\*

### บทคัดย่อ

การศึกษาดูผลในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในอาหารข้นต่อผลผลิตน้ำนมในโคนม โดยใช้โคนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรียเซียนจำนวน 5 ตัว ตามแผนการทดลองแบบ 5x5 ลาตินสแควร์ โคนมได้รับอาหารข้นที่มีสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 5 สัดส่วนได้แก่ 1:1, 2.5:1, 4:1, 5.5:1 และ 7:1 และได้รับฟางข้าวหมักยูเรียเป็นอาหารหยาบแบบเต็มที จากผลการทดลองพบว่าโคนมที่ได้รับสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 1:1-7:1 มีปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุและโปรตีนหยาบของโคนมที่ได้รับสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 5.5:1 มีค่าต่ำกว่าโคนมที่ได้รับสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 1:1, 2.5:1, 4:1 และ 7:1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของปัสสาวะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น ( $P<0.05$ ) ปริมาณผลผลิตน้ำนม ปริมาณน้ำนมปรับระดับไขมัน (3.5% FCM) และองค์ประกอบของน้ำนมไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ยกเว้นเปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนม (3.02, 3.20, 3.14, 3.19 และ 2.97) พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ( $P<0.05$ ) จากการทดลองการเพิ่มสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในอาหารข้นจาก 1:1-7:1 ไม่มีผลต่อการให้ผลผลิตน้ำนมแต่มีผลต่อโปรตีนในน้ำนม และปริมาณการกินได้ลดลงถ้าสัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในอาหารข้นสูงกว่า 5.5:1

### ABSTRACT

This experiment was conducted to investigate the effect of calcium to phosphorus ratios on milk production in dairy cows. Five Holstein Friesian cows were arranged according to a 5x5 Latin square design. The calcium (Ca) to phosphorus (P) (Ca:P) ratio in concentrate were as follows: 1:1, 2.5:1, 4:1, 5.5:1 and 7:1. Cows were offered urea-treated rice straw as roughage source ad libitum. The results of the experiment revealed that total dry matter intake of cows fed Ca:P ratio at 1:1 -7:1 were not significantly different among treatments ( $P>0.05$ ). Digestion coefficients of dry matter, organic matter and crude protein of dairy cattle fed Ca:P ratio at 5.5 were significantly lower ( $P<0.05$ ) than those in dairy cattle fed Ca:P ratio at 1:1, 2.5:1, 4:1 and 7:1. Urine pH were significantly different ( $P<0.05$ ) and linearly increased ( $P<0.01$ ) as ratios of Ca:P was increased. Milk production, 3.5% fat corrected milk (FCM) and milk compositions were not significantly different among treatments ( $P>0.05$ ), but milk protein production (3.02, 3.20, 3.14, 3.19 and 2.97) were significantly different among treatments ( $P<0.05$ ). In conclusion, it can be concluded that increase in the ratio of Ca:P from 1:1 to 7:1 had no effect on milk yield, but milk protein production and total dry matter intake tend to be decreased if Ca:P ratio in concentrate was greater than 5.5:1.

**คำสำคัญ:** สัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส โคนม ผลผลิตน้ำนม

**Keywords:** Calcium to phosphorus ratio, Dairy cattle, Milk production

\* นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\*\* ศาสตราจารย์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\*\*\* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## บทนำ

ในอาหารโคนมนอกเหนือจากอาหารโปรตีนและอาหารพลังงานแล้ว แร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ ก็เป็นโภชนาที่จำเป็นต้องได้รับอย่างครบถ้วนเช่นเดียวกัน เพื่อให้กระบวนการเมแทบอลิซึมและกระบวนการทางชีวเคมีในร่างกายเป็นไปตามปกติและสามารถดำรงชีพ เจริญเติบโต ให้ผลผลิตและสืบพันธุ์ได้ เมื่อโคนมได้รับแร่ธาตุชนิดใดชนิดหนึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการหรือได้รับในสัดส่วนที่ไม่เหมาะสม จะทำให้แสดงอาการขาด (deficiency) หรือเกิดการเป็นพิษ (toxicity) ซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพและการผลิตน้ำนมของโคนม (เมธา และฉลอง, 2533) โดยทั่วไปอาหารที่โคนมได้รับจะมีแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ปะปนอยู่ด้วยกันในปริมาณที่มากน้อยแตกต่างกัน โดยโคนมอาจได้รับแร่ธาตุจากน้ำที่ดื่มโดยตรงหรือเศษดินที่ติดอยู่ตามเมล็ดหรือต้นพืช ปริมาณแร่ธาตุเหล่านี้จะมีอยู่เพียงพอกับความต้องการของโคนมและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดและปริมาณอาหารหยาบและอาหารข้นที่ได้รับ ความเป็นประโยชน์ของแร่ธาตุชนิดนั้น ๆ สภาพของความต้องการในการสร้างผลผลิตหรือสภาวะทางสรีรวิทยา สภาพและคุณสมบัติโดยทั่วไปของดินแต่ละท้องที่ สมดุลหรือความเป็นพิษของแร่ธาตุหรือสารอาหารอื่น ๆ ที่มีปฏิสัมพันธ์ในด้านลบ (antagonism) ดังนั้นควรที่จะหันมาให้ความสนใจถึงบทบาทความสำคัญของแร่ธาตุในอาหารโคนมกันมากยิ่งขึ้น (ฉลอง, 2540)

แคลเซียม (calcium, Ca) และ ฟอสฟอรัส (phosphorus, P) ถือเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญมากในโคนมและเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในน้ำนมดิบซึ่งมีแคลเซียม 0.12 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัส 0.09 เปอร์เซ็นต์ ในภาวะที่โคนมให้น้ำนมมากหรืออยู่ในช่วงต้นของการให้น้ำนมโคนมจะสูญเสียแคลเซียมและฟอสฟอรัสมาก และถ้าไม่ได้รับการเสริมในอาหารอย่างเพียงพอก็จะทำให้เกิดปัญหากระดูกอ่อนหรือโรคอื่น ๆ ตามมา เนื่องจากร่างกายโคนมจะดึงแคลเซียมจากร่างกายมาสังเคราะห์แคลเซียมในน้ำนมทดแทนและมีผลทำให้น้ำนมลดลง (McDowell, 1992) อย่างไรก็ตามสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 1:1

ในอาหารโครีด (Stott, 1965) หรือสัดส่วน 1:3.3 ในช่วงนมแห้ง (Boda and Cole, 1954 อ้างถึงโดย Beitz et al., 1973) สามารถป้องกันการเกิดไข่น้ำนมในช่วงให้นมต่อไปได้ จากการศึกษาของ Dowe et al. (1957); Wise et al. (1963); Ricketts et al. (1970) พบว่าเมื่อให้สัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสสูง ๆ ในอาหารทำให้ลดอัตราการเจริญเติบโตและความสามารถในการย่อยอาหารได้ แต่สัดส่วนจริงๆ ที่เกี่ยวกับการลดอัตราการเจริญเติบโตอยู่ในช่วงสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 8:1-14:1 สอดคล้องกับรายงานของ Miller (1983) อ้างถึงโดย อลงกรณ์ (2537) และ ARC (1980) พบว่าที่สัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมโดยไม่เกิดผลกระทบใดๆ เมื่อสัดส่วนอยู่ในช่วง 1:1-7:1 และ Wise et al. (1963) พบว่าอัตราการเจริญเติบโตลดลงในสัตว์ถ้าได้รับอาหารที่มีสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสน้อยกว่า 1:1 แต่ข้อมูลนี้ยังไม่มีการยืนยันผลที่ชัดเจน และอาจเป็นไปได้ว่าบางสัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในอาหารอาจไปเพิ่มความต้องการฟอสฟอรัสเพราะไปลดการดูดซึม จากรายงานของ Young et al. (1966) พบว่าที่สัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 1: 1-10: 1 ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซึมของฟอสฟอรัสในแกะ บางรายงานกล่าวว่าที่สัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสระดับสูง ๆ อาจมีผลร่วมกับการผสมไม่ติดในโคได้ (Hignett, 1959 อ้างถึงโดย Steevens et al., 1971) อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานถึงสัดส่วนที่เหมาะสมของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในอาหารสำหรับโคนมในประเทศไทย ดังนั้นในการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในอาหารที่มีผลต่อการให้ผลผลิตและการใช้ประโยชน์ของอาหารในโคนม

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 5 สัดส่วน ประกอบด้วย 5 กลุ่มการทดลอง (treatment) โดยมีสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในอาหารชั้น ดังต่อไปนี้ 1:1, 2.5:1, 4:1, 5:1 และ 7:1 ตามลำดับ โดยวางแผนการทดลองแบบ

5x5 Latin square design โคทดลองทุกตัวได้รับฟางข้าวหมักยูเรีย 5% เป็นอาหารหยาบแบบเต็มที และได้รับอาหารชั้นในสัดส่วนอาหารชั้นต่ออาหารหยาบ 65:35 และในแต่ละช่วงการทดลองมี 21 วัน

ส่วนประกอบของอาหารชั้นที่ใช้ในการทดลองมีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 14.6% และพลังงาน 2.5 Mcal ME/กิโลกรัมวัตถุแห้ง ดังแสดงใน Table 1 โดยมีระดับของฟอสฟอรัสที่ 0.4% และปรับแคลเซียมให้มีระดับ 0.4, 1.0, 1.6, 2.2 และ 2.8% โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต เพื่อให้อาหารชั้นมีสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสเท่ากับ 1:1, 2.5:1, 4:1, 5.5:1 และ 7:1 ตามลำดับ

ใช้โคนมพันธุ์ผสมโฮลสไตน์ฟรีเซียน (Holstein Friesian) ที่มีระดับสายเลือดโฮลสไตน์ฟรีเซียน ไม่ต่ำกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ เพศเมียจำนวน 5 ตัว มีน้ำหนักเฉลี่ย  $367 \pm 26$  กิโลกรัมและให้นมมาแล้ว (days in milk, DIM) เฉลี่ย  $58 \pm 34$  วัน

บันทึกปริมาณการกินได้ของอาหารชั้นและอาหารหยาบ รวมทั้งบันทึกปริมาณน้ำนมที่ได้จากโคนมแต่ละตัวทุกวันตลอดระยะเวลาทดลอง

การเก็บตัวอย่างอาหาร สุ่มเก็บฟางข้าวหมักยูเรียทุกวันเพื่อนำมาหาค่าวัตถุแห้ง ส่วนอาหารชั้นและอีกส่วนของฟางข้าวหมักยูเรียและตัวอย่างมูลสุ่มเก็บใน 5 วันสุดท้ายของแต่ละระยะการทดลอง แล้วนำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48-72 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุแห้ง (dry matter, DM) โปรตีนหยาบ (crude protein, CP) เถ้า (Ash) ตามวิธีการของ AOAC (1984) และวิเคราะห์ neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) ตามวิธีการของ Goering and Van Soest (1970) และวิเคราะห์ acid - insoluble ash (AIA) (Van Keulen and Young, 1977) เพื่อคำนวณหาสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ และวิเคราะห์หาแคลเซียมโดยใช้เครื่อง Shimadzu atomic absorption และฟอสฟอรัสโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ตามวิธีการของ AOAC (1984)

การเก็บตัวอย่างน้ำนมสุ่มเก็บทุกสัปดาห์ตลอดช่วงการทดลอง เพื่อหาองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่โปรตีน (protein), ไขมัน (fat), แลคโตส (lactose), ของแข็งทั้งหมด (total solid, TS) และของแข็งไม่รวมไขมัน (solids - not fat, SNF) ด้วยเครื่อง milko scan (Model 133 V3 7 GB)

ทำการเจาะเก็บตัวอย่างเลือดจากเส้นเลือดดำที่คอ (jugular vein) จากโคนมแต่ละตัว จำนวน 10 มิลลิลิตร ในช่วงเวลาที่ 4 หลังการให้อาหารในวันสุดท้ายในแต่ละช่วงการทดลอง แล้วนำมาปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที ใช้เวลา 10 นาที และเก็บส่วนบนที่ใส (supernatant) ไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์หาค่ายูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือด (blood urea nitrogen, BUN) โดยใช้เครื่อง Hitashi Kinetic UV test model BM 717/911 ตามวิธีการของ MacKay and MacKay (1972) และวิเคราะห์หาแคลเซียมและฟอสฟอรัส (AOAC, 1984)

สุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวจากกระเพาะรูเมนโดยใช้ stomach tube ร่วมกับ vacuum pump จากโคนมแต่ละตัวในช่วงเวลาหลังจากการเจาะเลือดในช่วงเวลาที่ 4 แล้วทำการวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทันทีด้วยเครื่องวัด pH meter แบบสนาม (Orion Research model SA 230) จากนั้นสุ่มเก็บประมาณ 20 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที ใช้เวลา 15 นาที เก็บส่วนบนที่ใสไว้ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์หาแคลเซียมและฟอสฟอรัส (AOAC, 1984)

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะโดยใช้เถ้าที่ไม่ละลายในกรด (AIA) เป็นตัวบ่งชี้ภายในตามวิธีการของ Schnieder and Flatt (1975) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวนแบบ analysis of variance โดยใช้ Proc GLM (SAS, 1985) และเปรียบเทียบสิ่งทดลองโดยใช้วิธี Duncan's new Multiple Range Test และ Orthogonal polynomial contrast ตามวิธีการของ Steel and Torries (1980)

## ผลการทดลองและวิจารณ์

ปริมาณการกินได้ทั้งหมดของอาหารชั้นและอาหารหยาบในแต่ละกลุ่มการทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P>0.05$ ) (Table 2) แต่มีแนวโน้มว่าสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสตั้งแต่ 1:1-5.5:1 มีปริมาณการกินได้ที่เพิ่มขึ้น และลดลงเมื่อถึงสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 7:1 อาจเนื่องจากว่าที่สัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 7:1 มีปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตในอาหารชั้นปริมาณที่ค่อนข้างสูงอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของ จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนได้ สอดคล้องกับรายงานของ Rogers et al. (1982) พบว่าการเสริมหินปูน (limestone) ที่ระดับ 2.4 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารพื้นฐาน (basal diet) ส่งผลให้การกินได้ลดลง เช่นเดียวกับรายงานของ Ricketts and Campbell (1970) โดยทำการทดลองในโครุ่น พบว่าที่สัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 8:1 มีผลให้การกินได้ลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการทดลองที่ได้รับสัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 1:1 และ 4:1

สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุและโปรตีนหยาบในอาหารชั้นที่มีสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 5.5:1 มีค่าต่ำสุดแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P<0.05$ ) แต่สัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสไม่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด และพลังงานทั้งหมด Rogers et al. (1982) พบว่าเมื่อมีการเสริมหินปูนในอาหารพื้นฐานทำให้การย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงในความสามารถในการย่อยได้ของแป้ง และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรดในภาวะที่กระเพาะรูเมนมีระดับความเป็นกรด-ด่างต่ำ จากการได้รับอาหารชั้นในปริมาณที่มากเกินไป อาจส่งผลให้ลดการย่อยเซลลูโลสได้ และเมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นการเพิ่มระดับความเป็นกรด-ด่าง ทำให้เพิ่มการย่อยได้ของเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกลาง และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด ส่วน Wheeler (1980) รายงานว่าเมื่อมีการเสริมหินปูนที่ระดับ 2.71

เปอร์เซ็นต์ในอาหารผสมสำเร็จ (total mixed ration, TMR) ทำให้การย่อยได้เพิ่มขึ้นแต่สัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโปรตีนหยาบมีค่าลดลง

ใน Table 3 แสดงค่าเมแทบอลิซึมในกระแสเลือดและในของเหลวจากกระเพาะรูเมนพบว่าค่าความเข้มข้นของยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือดไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P>0.05$ ) โดยพบว่าทุกสัดส่วนให้ค่าอยู่ระหว่าง 24.4-25.8 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ อยู่ในช่วงรายงานของเมธา (2533) ที่พบว่าระดับความเข้มข้นของยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือดของสัตว์เคี้ยวเอื้องปกติจะอยู่ในช่วงระหว่าง 6.3-25.5 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากร่างกายสัตว์สามารถนำยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือดกลับมาใช้ได้ใหม่ไม่ว่าจะโดยวิธีการดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนหรือผ่านทางน้ำลาย จึงทำให้ไม่สามารถระบุความเข้มข้นของยูเรียไนโตรเจนในกระแสเลือดได้ว่าระดับใดที่ทำให้สัตว์อยู่ในสภาวะที่ได้รับไนโตรเจนต่ำกว่าความต้องการ

ค่าความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะรูเมน พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ ( $P<0.05$ ) โดยพบว่าที่สัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสที่ 2.5:1 มีค่าต่ำสุดซึ่งไม่สอดคล้องกับรายงานของ Russell et al. (1980) และ Wheeler and Noller (1977) กล่าวว่าเมื่อมีการเสริมแคลเซียมคาร์บอเนตในอาหารทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะรูเมนมีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกับรายงานของ Rogers et al. (1982) และ Wheeler et al. (1981) ที่รายงานว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมนมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการเสริมหินปูนเข้าไปในอาหารซึ่ง Schaefer et al. (1982) อธิบายไว้ว่า เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตจะมีการละลายตัว และทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว เมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ระดับ 5.5 อย่างไรก็ตามความสามารถในการละลายได้และบทบาทจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างเพิ่มเป็น 6.5 แต่สำหรับรายงานของ Clark et al. (1988) และ Nicholson et al. (1963) กล่าวว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในอาหารไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของของเหลวในกระเพาะรูเมนทั้งนี้เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในกระเพาะรูเมนมีค่าสูงกว่า

5.5 จึงไม่มีผลต่อการละลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต ฉะนั้นจึงไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในกระเพาะรูเมน ค่าความเป็นกรด-ด่างของปัสสาวะ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลอง ( $P < 0.05$ ) (Table 3) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าสูงตามสัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มระดับของแคลเซียมไอออน ( $Ca^{2+}$ ) ซึ่งประจวบกับส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นตาม สอดคล้องกับรายงานของ Frederson et al. (1988) ซึ่งกล่าวว่าอาหารที่มีประจวบมากมีแนวโน้มให้โคที่ได้รับอาหารดังกล่าวอยู่ในภาวะเป็นต่างอย่างอ่อนในร่างกาย (mild metabolic alkalosis) ซึ่งตัวชี้วัดคือระดับค่าความเป็นกรด-ด่างของปัสสาวะมีค่าสูง

ใน Table 4 แสดงถึงผลของสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสต่อปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้ ปริมาณน้ำนมปรับระดับไขมัน (3.5% FCM) และองค์ประกอบของน้ำนมในส่วนไขมัน แลคโตส ของแข็งที่ไม่รวมไขมัน และของแข็งทั้งหมดพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) แต่เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมพบว่ามีค่าสูงสุดเมื่อโคนมได้รับอาหารชั้นที่มีสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 5.5:1 จากรายงานของ Rogers et al. (1982) พบว่าเมื่อมีการเสริมหินปูนในอาหารทำให้ลดการกินได้ของวัตถุดิบ แต่ผลผลิตน้ำนมไม่มีความแตกต่างทางสถิติและให้ผลเช่นเดียวกับรายงานของ Esdale and Satter (1972) และ Clark et al. (1988) พบว่าการเสริมแคลเซียมคาร์บอเนตไม่มีผลกับปริมาณน้ำนมปรับระดับไขมัน (4% FCM) และสำหรับค่าไขมันในน้ำนมจะมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากว่าแคลเซียมบางส่วนมีการรวมตัวกับไขมัน ส่งผลให้เกิดการไหลผ่าน (by pass) ไปยังส่วนของลำไส้เล็กเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณไขมันในน้ำนมเพิ่มสูง ฉลอง (2541) กล่าวว่าโดยทั่วไปแล้วไขมันในน้ำนมมาจากการสังเคราะห์กรดไขมันในต่อมน้ำนม ซึ่งมาจากสามแหล่งหลักคือ กรดอะซิติกและกรดบิวทีริกจากกระเพาะรูเมน ไขมันจากอาหาร และไขมันจากร่างกาย

ความเข้มข้นของแคลเซียมในซีรัม (2.39, 2.26, 2.25, 2.31 และ 2.31 มิลลิโมลต่อลิตร) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในซีรัม (2.62, 2.38, 2.80, 2.96 และ 3.05 มิลลิโมลต่อลิตร) พบว่ามีค่าสูงตามสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นโดยมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ( $P < 0.05$ ) โดยพบว่าแคลเซียมมีค่าอยู่ในช่วงปกติ คือ 2.2-2.5 มิลลิโมลต่อลิตร แต่ค่าฟอสฟอรัสมีค่าสูงกว่าปกติ 1.3-2.6 มิลลิโมลต่อลิตร (NRC, 2001) จากรายงานของ Dowe et al. (1957) ที่มีการทดลองในลูกโคที่ให้ปริมาณแคลเซียมที่มากเกินไปแต่ให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่คงที่พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของแคลเซียมในซีรัม สำหรับรายงานของ Ricketts and Campbell (1970) ในโครุ่นที่ให้สัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 1:1, 4:1 และ 8:1 พบว่าที่สัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 1:1 ให้ค่าแคลเซียมในซีรัมต่ำกว่าสัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส 4:1 และ 8:1 อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และจากรายงานของ Nocek et al. (1983) ที่มีการทดลองในโคนมกับระดับแคลเซียมเป็น 1.15 และ 0.77 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่ระดับ 1.15 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัมสูงกว่าระดับ 0.77 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง Steeven et al. (1971) กล่าวว่าปริมาณแคลเซียมในพลาสมาถูกควบคุมอย่างใกล้ชิดโดยกลไกควบคุมความสมดุล (homeostasis) และไม่มีผลจากปริมาณแคลเซียมที่กินเข้าไป ส่วนกลไกการควบคุมระดับฟอสฟอรัสในซีรัมนั้น อาจไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด

ความเข้มข้นของแคลเซียม (5.55, 5.94, 8.01, 13.1 และ 13.4 มิลลิโมลต่อลิตร) ฟอสฟอรัส (28.4, 30.4, 26.3, 30.9 และ 30.9 มิลลิโมลต่อลิตร) ในของเหลวจากกระเพาะรูเมนมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส และมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง โดยทั้งสองค่าอยู่ในช่วงปกติ ตามรายงานของ Duran and Kawashima (1980) โดยค่าปกติของแคลเซียม และฟอสฟอรัสอยู่ที่ระดับ 1.9-11.2 และ 1.6-42.0 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ

## สรุปผลการทดลอง

การให้โคนมได้รับสูตรอาหารชั้นที่มีสัดส่วนของ แคลเซียมและฟอสฟอรัสตั้งแต่ระดับ 1:1, 2.5:1, 4:1 5.5:1 และ 7:1 พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ของอาหารทั้งหมด การให้ผลผลิตของโคนม และองค์ประกอบของน้ำนมยกเว้นโปรตีนในน้ำนม และปริมาณการกินได้ โดยพบว่าที่สัดส่วนแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสมากกว่า 5.5:1 ทำให้มีปริมาณลดลง

## ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาโดยใช้ระดับของฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน เพื่อดูผลของฟอสฟอรัสต่อการให้ผลผลิตในโคนม
2. ควรใช้โคนมที่อยู่ในสภาวะเดียวกันเพื่อให้ได้ข้อมูลความต้องการที่แท้จริง
3. ควรมีการทดลองกับโคนมในระยะก่อนคลอด และหลังคลอด

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณศูนย์ผสมเทียมจังหวัดขอนแก่นที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำนม บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ และรวมถึงบุคคลอีกหลายฝ่าย ที่ให้ความร่วมมือและให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- ฉลอง วชิราภกร. 2540. บทบาทและความสำคัญของแร่ธาตุบางตัวในอาหารโคนมในประเทศไทย. วารสารโคนม. 25: 176.
- ฉลอง วชิราภกร. 2541. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเบื้องต้น. ขอนแก่น: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เมธา วรรณพัฒน์ และฉลอง วชิราภกร. 2533. เทคนิคการให้อาหารโคเนื้อและโคนม. กรุงเทพฯ: ฟีนีฟลัซซิ่ง

อลงกรณ์ กริอุณะ. 2537. แร่ธาตุในอาหาร น้ำ และพลาสมาของโคนมในจังหวัดลพบุรีและสระบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Agricultural Research Council. 1980. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. Slough, England: Commonwealth Agricultural Bureaux.

AOAC. 1984. *Official Methods of Analysis*. 14<sup>th</sup> ed. The Association of Official Analytical Chemistry, Washington D.C., U.S.A.

Beitz, D.C.; Burkhart, J. and Jacobson, N.L. 1973. Effects of calcium to phosphorus ratio in the diet of dairy cows on incidence of parturient paresis. *J. Dairy Sci.* 57: 49.

Carroll, D.J.; Hossain, F.R. and Keller, M.R. 1994. Effect of supplemental fish meal on lactation and reproductive performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77: 3058.

Clark, J.H.; Plegge, A.W.; Davis, C.L. and McCoy, G.C. 1988. Effects of calcium carbonate on ruminal fermentation nutrient digestibility and cow performance. *J. Dairy Sci.* 71: 493.

Dowe, T.W.; Matsushima, J. and Arthaud, V.H. 1957. The effects of adequate phosphorus in growing rations for beef calves. *J. Anim. Sci.* 16: 811.

Duran, M. and Kawashima, R. 1980. In: *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminant*. Ruckebusch, Y. and Thivend, P. (eds.), Lancaster, MTP press. 375.

Esdale, W.J. and Satter, L.D. 1972. Manipulation of rumen fermentation. IV. Effect of altering ruminal pH on volatile fatty acid production. *J. Dairy Sci.* 55: 964.

Freedon, A.H.; DePeters, E.J. and Baldwin, R.L. 1988. Characterization of acid-base disturbances and effects on calcium and phosphorus balances of dietary fixed ions in pregnant or lactating cows. *J. Anim. Sci.* 66: 159.

- Georing, H.K. and Van Soest, P.J. 1970. **Forage Fiber Analysis** (apparatus, reagent, procedures and some application). Washington, D.C.: Agric. Hand book No. 379, ARS, U.S.A.
- Lewis, J.K.; Burkitt, W. and Wilson, F.S. 1951. The effect of excessive calcium with borderline and deficient phosphorus in the rations of steer calves (Abstr) *J. Anim. Sci.* 10: 1053.
- Mackey, E.M. and Mackay, L.E. 1972. Estimation sugar and nitrogen compounds by enzymatic colorimetric test in serum and plasma. *J. Clin. Invest.* 4: 295.
- McDowell, L.R. 1992. **Minerals in Animal and Human Nutrition**. Academic press, Inc., New York.
- Miller, W.J. 1983. **Using Mineral Requirement Standards in Cattle Feeding Programs and Feed Formulations**. pp. 69-74. Georgia nutrition conference for the feed industry. Athens: University of Georgia.
- National Research Council. 2001. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. Seventh revised edition. Nation Academy press. Washington, D.C.
- Nicholson, J.W. G.; Cunningham, H.M. and Friend, D.W. 1963. The addition of buffer to ruminant rations. IV. The effect of additions of sodium bicarbonate, sodium propionate, limestone and cod liver oil on intra-rumen environment. *Can. J. Anim. Sci.* 43: 309.
- Nocek, J.E.; Braund, D.G. and English, J.E. 1983. Effect of limestone reactivity and percent on production by dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 66: 2533.
- Ricketts, R.E. and Campbell, J.R. 1970. Effect of three calcium: phosphorus ratios on performance of growing Holstein steer. *J. Dairy Sci.* 53: 898.
- Rogers, J.A.; Davis, C.L. and Clark, J.H. 1982. Alteration of rumen fermentation milk fat synthesis and nutrient utilization with mineral salts in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 65: 577.
- Russell, J.R.; Young, A.W. and Jorgensen, N.A. 1980. Effect of sodium carbonate and limestone additions to high grain diets on feedlot performance and ruminal and fecal parameters in finishing steers. *J. Anim. Sci.* 51: 996.
- SAS, **User's Guide; Statistics** Version 5. Edition. 1985. SAS. Inst Carg, NC. USA.
- Schaefer, D.M.; Wheeler, L.J.; Noller, C.H.; Keyser, R.B. and White, J.L. 1982. Neutralization of acid the rumen by magnesium oxide and magnesium carbonate. *J. Dairy Sci.* 65: 732.
- Schneider, B.H. and Flatt, W.P. 1975. **The Evaluation of feed through Digestibility Experiment**. Athens: The University of Georgia Press, Georgia, U.S.A.
- Smith, A. M.; Hollock, G.L. and Spafford, H.G. 1966. I. Calcium, phosphorus and vitamin D. *J. Dairy Sci.* 49: 239.
- Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1980. **Principles and Procedure of Statistics**. New York: McGraw Hill book Co.
- Steevens, B.J.; Bush, L.J. and Stout, J.D. 1971. Effect of varying amounts of calcium and phosphorus in rations for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 54: 655.
- Stott, G.H. 1963. Parturient paresis related to dietary phosphorus. *J. Dairy Sci.* 46: 635.
- Stott, G.H. 1965. Parturient paresis related to dietary phosphorus. *J. Dairy Sci.* 48: 1485.
- Van Keulen, J. and Young, B.A. 1977. Evaluation Of acid insoluble ash as a neutral marker in ruminant digestibility studies. *J. Anim. Sci.* 44: 282.
- Wheeler, W.E. 1980. Effect of limestone buffers on digestibility of complete diets and on performance by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 63: 1848.
- Wheeler, W.E. and Noller, C.H. 1977. Gastrointestinal tract pH and starch in feces of ruminants. *J. Anim. Sci.* 44: 131.
- Wheeler, W.E.; Noller, C.H. and White, J.L. 1981. Effect of level of calcium and rate of reactivity of calcitic limestones on utilization of high concentrate diets by beef steers. *J. Anim. Sci.* 52: 882.

Wise, M.B.; Ordoveza, A.L. and Barrick, E.R. 1963.  
Influence of variations in dietary calcium to  
phosphorus ratio on performance and blood  
constituents of calves. *J. Nutr.* 79: 79.

Young, V.R.; Luick, G.P. and Lofgreen, J.R. 1966.  
The effect of phosphorus depletion and of  
calcium and phosphorus intake on the  
endogenous excretion of these elements by  
sheep. *Br. J. Nutr.* 20: 795.

Table 1. Ingredient and chemical composition of concentrate in the experiment.

Ingredient, %DM	Ca:P ratios					
	1:1	2.5:1	4:1	5.5:1	7:1	
Cassava chip	50.0	48.5	47.0	46.0	44.5	
Broken rice	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	
Soybean meal	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	
Dried brewer grain	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	
Rice bran	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	
Urea	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
Salt	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Dicalcium	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
Premix	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	
CaCO <sub>3</sub>	-	1.50	3.00	4.00	5.50	
Total	100	100	100	100	100	
Chemical composition in concentrate						UTS
DM, %	88.4	88.8	88.3	88.4	88.3	54.0
GE, Mcal ME/kgDM	4.2	4.2	4.2	4.2	4.1	4.2
	-----%DM-----					
CP	14.4	14.3	14.7	14.6	15.1	7.20
OM	91.0	90.1	89.3	89.2	89.1	83.8
Ca	0.38	0.63	1.00	1.62	2.07	0.75
P	0.37	0.38	0.36	0.37	0.36	0.07

DM=dry matter, GE=gross energy, CP=crude protein, OM=organic matter, Ca=calcium, P=phosphorus

Table 2. Effect of dietary treatment on total feed intake and coefficient digestibility.

Item	Ca:P ratios					SEM	L	Contrasts <sup>2/</sup>		
	1:1	2.5:1	4:1	5.5:1	7:1			Q	C	Qu
TDMI,										
kg/d	11.3	11.8	11.8	11.9	10.8	0.56	ns	ns	ns	ns
%BW	3.08	3.12	3.11	3.09	2.89	0.12	ns	ns	ns	ns
g/kgW <sup>0.75</sup>	135.0	137.2	137.2	136.7	126.4	5.60	ns	ns	ns	ns
Digestible coefficient, %										
DM	65.1 <sup>a</sup>	65.0 <sup>a</sup>	64.6 <sup>a</sup>	59.4 <sup>b</sup>	64.9 <sup>a</sup>	1.00	ns	ns	0.02	ns
OM	68.8 <sup>a</sup>	69.4 <sup>a</sup>	68.9 <sup>a</sup>	64.3 <sup>b</sup>	69.8 <sup>a</sup>	0.94	ns	ns	0.02	ns
CP	61.3 <sup>ab</sup>	64.1 <sup>a</sup>	62.0 <sup>ab</sup>	58.4 <sup>b</sup>	64.1 <sup>a</sup>	1.22	ns	ns	0.02	ns
NDF	52.1	48.2	47.5	44.8	48.4	1.11	ns	ns	ns	ns
ADF	45.8	42.6	42.9	39.3	44.9	1.16	ns	ns	ns	ns
GE	61.3	60.6	59.9	56.5	60.9	1.03	ns	ns	ns	ns

<sup>ab</sup> Values on the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05)

<sup>2/</sup> L=linear, Q=quadratic, C=cubic, Qu=quartic, g/kgW<sup>0.75</sup> = gram/kilogram metabolic weight

ns=not significant (P>0.05), SEM = standard error of the means., TDMI=total dry matter intake, DM=dry matter, OM=organic matter, CP=crude protein, NDF=neutral-detergent fiber, ADF=acid-detergent fiber, GE=gross energy

Table 3. Effect of dietary treatment on calcium, phosphorus in serum and rumen fluid, ruminal pH, blood urea nitrogen (BUN) and urine pH.

Item	Ca:P ratios					SEM	L	Contrasts <sup>2/</sup>			
	1:1	2.5:1	4:1	5.5:1	7:1			Q	C	Qu	
Serum Ca, mM	2.39	2.26	2.25	2.31	2.31	0.03	ns	ns	ns	ns	
Serum Pi, mM	2.62 <sup>ab</sup>	2.38 <sup>a</sup>	2.80 <sup>ab</sup>	2.96 <sup>b</sup>	3.05 <sup>b</sup>	0.14	0.04	ns	ns	ns	
Rumen Ca, mM	5.55 <sup>a</sup>	5.94 <sup>a</sup>	8.01	13.1 <sup>c</sup>	13.4 <sup>c</sup>	0.70	0.01	0.01	0.01	ns	
Rumen Pi, mM	28.4 <sup>a</sup>	30.4 <sup>b</sup>	26.3 <sup>c</sup>	30.9 <sup>b</sup>	30.9 <sup>b</sup>	0.54	0.01	ns	ns	ns	
Rumen pH	6.74 <sup>a</sup>	6.47 <sup>b</sup>	6.65 <sup>ab</sup>	6.76 <sup>a</sup>	6.67 <sup>ab</sup>	0.04	ns	ns	0.01	ns	
BUN, mg%	25.8	24.4	24.9	24.9	24.6	1.21	ns	ns	ns	ns	
Urine pH	7.57 <sup>a</sup>	7.70 <sup>a</sup>	7.97 <sup>b</sup>	8.06 <sup>bc</sup>	8.19 <sup>c</sup>	0.05	0.01	ns	ns	ns	

<sup>abc</sup> Values on the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05)

<sup>2/</sup> L=linear, Q=quadratic, C=cubic, Qu=quartic, ns=not significant (P>0.05)

SEM = standard error of the means.

Table 4. Effect of dietary treatments on milk yield and milk compositions.

Item	Ca:P ratios					SEM	L	Contrasts <sup>2/</sup>			
	1:1	2.5:1	4:1	5.5:1	7:1			Q	C	Qu	
	-----kg/d-----										
Milk yield	13.4	13.0	13.3	13.3	13.0	0.42	ns	ns	ns	ns	
3.5%FCM	12.9	12.6	13.0	12.9	12.4	0.43	ns	ns	ns	ns	
Fat	0.44	0.44	0.45	0.45	0.42	0.02	ns	ns	ns	ns	
Protein	0.40 <sup>ab</sup>	0.41 <sup>ab</sup>	0.41 <sup>ab</sup>	0.42 <sup>a</sup>	0.38 <sup>b</sup>	0.01	ns	0.04	ns	ns	
Milk compositions, %											
Fat	3.31	3.36	3.46	3.38	3.21	0.07	ns	ns	ns	ns	
Protein	3.02 <sup>ac</sup>	3.20 <sup>b</sup>	3.14 <sup>ab</sup>	3.19 <sup>b</sup>	2.97 <sup>c</sup>	0.05	ns	0.01	ns	ns	
Lactose	4.95	4.94	4.87	4.88	4.96	0.03	ns	ns	ns	ns	
Solids-not fat	8.59	8.78	8.64	8.58	8.56	0.06	ns	ns	ns	ns	
Total solid	11.9	12.1	11.9	12.1	12.0	0.11	ns	ns	ns	ns	

<sup>abc</sup> Values on the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05)

ns=not significant (P>0.05)

<sup>2/</sup> L=linear, Q=quadratic, C=cubic, Qu=quartic, SEM = standard error of the means.

3.5% fat-corrected milk (3.5%FCM) = { (0.432)x(kg of milk) + (16.02)x(kg of fat) }