# การศึกษาผลของการใช้ exogenous fibrolytic enzyme ต่อองค์ประกอบทางเคมี จลนพลศาสตร์การผลิตแก๊ส และการย่อยได้ของวัตถุแห้งในห้องปฏิบัติการของสิ่งเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตกรดซิตริก

# An *in vitro* study on the effect of exogenous fibrolytic enzyme on chemical composition, kinetic of gas production and in vitro dry matter digestibility of citric waste

**สุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สรรค์[*] , ไชยณรงค์ นาวานุเคราะห์ , เวชสิทธิ์ โทบุราณ และชานนท์ สุนทรา**

**Suthipong Uriyapongson[*] ,** Chainarong Navanukraw, **Wetchasit Toburan and Chanon Suntara**

**บทคัดย่อ:** การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการหมักเอนไซม์กับสิ่งเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตกรดซิตริกต่อองค์ประกอบทางเคมี จลนพลศาสตร์การผลิตแก๊ส และการย่อยได้ของวัตถุแห้งในห้องปฏิบัติการโดยใช้แผนการทดลองแบบ 3 x 2 factorial in Completely Randomize Design (CRD) โดยมีอิทธิพลของการใช้เอนไซม์ในการหมัก 3 แบบ (Effect A) ได้แก่ 1. กลุ่มควบคุมไม่ใช้เอนไซม์ 2. กลุ่มที่ใช้เอนไซม์ เอ 3. กลุ่มที่ใช้เอนไซม์ บี และอิทธิพลของอุณหภูมิในการหมัก 2 แบบ (Effect B) ได้แก่ 1. อุณหภูมิห้อง และ 2. อุณหภูมิในตู้อบร้อน (55 องศาเซลเซียส) ผลการทดลองไม่พบอิทธิพลร่วมของเอนไซม์และอุณหภูมิ (P>0.05) ที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมี (โปรตีน เถ้า เยื่อใย NDF เยื่อใย ADF) แต่พบว่าปริมาณไขมันในสิ่งเหลือทิ้งฯ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) โดยพบว่าเมื่อเสริมเอนไซม์แล้วปริมาณไขมันจะลดลงและเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นโดยปริมาณไขมันจะลดลงมากกว่าการหมักที่อุณหภูมิห้อง อิทธิพลหลักของเอนไซม์มีผลต่อการลดลงของเยื่อใย NDF โดยลดลง 5.1 และ 6.7 เปอร์เซ็นต์ ในเอนไซม์ เอ และ เอนไซม์ บี ตามลำดับ (P<0.01) การหมักโดยใช้อุณหภูมิห้องทำให้ปริมาณเยื่อใย NDF ลดลงมากกว่าการใช้อุณหภูมิสูง (P<0.05) อิทธิพลร่วมระหว่างเอนไซม์และอุณหภูมิ ไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตแก๊สที่เกิดจากองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ง่าย (ค่า a) ปริมาณผลผลิตแก๊สที่เกิดจากองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก (ค่า b) อัตราการผลิตแก๊ส (ค่า c) ผลผลิตแก๊สทั้งหมดและการย่อยได้ของวัตถุแห้งภายในห้องปฏิบัติการ (*In vitro* dry matter digestibility, IVDMD) ที่ 24 กับ 48 ชั่วโมง แต่เอนไซม์ บี มีผลทำให้ค่า b สูงกว่ากลุ่มอื่น 11.3 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม เอนไซม์ บี มีผลต่ออัตราการผลิตแก๊ส (ค่า c) ต่ำกว่ากลุ่มอื่น (P<0.05)

**คำสำคัญ:** สิ่งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตกรดซิตริก, เอนไซม์, จลนพลศาสตร์การผลิตแก๊ส

**Abstract:** The objective of this study was to study on the effect of exogenous fibrolytic enzyme on chemical composition, kinetic of gas production and in vitro dry matter digestibility (IVDMD) of citric waste (CW) using *in vitro* study. The experimental design was 3 x 2 factorial in completely randomized design (CRD) with 3 levels of factor A (control, enzyme A and enzyme B) and 2 levels of factor B (Room temperature and temperature at 55 degrees Celsius). The results showed that

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 40002

Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, 40002, Thailand

*Corresponding author E-mail: Suthipng@.kku.ac.th

chemical composition was not differed among groups (P>0.05). But, fat composition showed an interaction between enzyme and temperature (P<0.01), enzyme and temperature was decreased fat composition it's decrease more with higher temperature (55 degrees Celsius), neutral detergent fiber (NDF) was decreased 5.1 and 6.7% with enzyme A and B, respectively (P<0.01). In additional, fiber content in CW was decreased more in the room temperature than high temperature when used the enzyme. Gas production and IVDMD had no effect of the interaction between factor A and B. CW with enzyme B was increased gas production from insoluble fraction but had the lowest rate of gas production.

**Keywords:** citric waste, exogenous fibrolytic enzyme, in vitro gas technique

## บทนำ

การประยุกต์ที่ใช้เอนไซม์ในการย่อยเยื่อใยในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นวิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย จุดประสงค์เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารหยาบหรืออาหารที่มีเยื่อใยสูงโดยเอนไซม์สามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของอาหาร โดยการย่อยเยื่อใยทำให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบนั้นได้มากขึ้นแม้ใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อย ด้วยเหตุนี้จึงได้นำมาสู่การประยุกต์ใช้กับสิ่งเหลือทิ้งที่มาจากโรงงานผลิตกรดซิตริกที่มีองค์ประกอบของเยื่อใยสูง (nutral detergent fiber: NDF 86 เปอร์เซ็นต์, acid detergent fiber: ADF 68 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งพบว่าหากไม่มีการปรุงแต่งใดๆ จะสามารถใช้ในโคเนื้อได้เพียง 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารข้นเท่านั้น (ประพันธ์ศิลป์, 2551) การทดลองครั้งนี้จึงศึกษาชนิดของเอนไซม์ทางการค้าและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ โดยนำสิ่งเหลือทิ้งฯ มาหมักกับเอนไซม์ต่างชนิดกันและใช้อุณหภูมิในการหมักที่แตกต่างกันแล้วประเมินผลของเอนไซม์จากองค์ประกอบทางเคมีของสิ่งเหลือทิ้งฯ จลนพลศาสตร์การผลิตแก๊ส และการย่อยได้ของวัตถุแห้งในห้องปฏิบัติการ (In vitro dry matter digestibility: IVDMD) ภายหลังการหมักเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการหมักก่อนนำไปเลี้ยงโคเนื้อต่อไป

## วิธีการศึกษา

ใช้ exogenous fibrolytic enzyme ทางการค้า 2 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์ เอ ซึ่งประกอบด้วย xylanase 6.1 x $10^6$ U/kg, gucanase 3.5 x $10^6$ U/kg จากเชื้อ *Aspergillus spp.* และ *Trichoderma spp.* กับเอนไซม์ บี ซึ่งประกอบด้วย Xylanase 440 x $10^6$ U/kg, Glucanase 170 x $10^6$ U/kg จากเชื้อ *Bacillus lentus* และ *Trichoderma longibrachiatum* ใช้แผนการทดลองแบบ 3 x 2 factorial in Completely Randomize Design (CRD) โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ใส่เอนไซม์ ทำการหมัก 2 แบบ (อิทธิพล B) ได้แก่ อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 27 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิตู้อบลมร้อน (55 องศาเซลเซียส) การเตรียมตัวอย่างสิ่งเหลือทิ้งฯ หมักกับเอนไซม์โดยการละลายในน้ำกลั่น นำเอนไซม์ (ใช้เอนไซม์ 200 กรัมต่อตันอาหารตามคำแนะนำของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจะใช้ปริมาณ 3 กรัม) แต่ละชนิดมาละลายในน้ำกลั่นปริมาณ 13.2 กิโลกรัม ผสมกับตัวอย่างสิ่งเหลือทิ้งฯ บด 15 กิโลกรัม เพื่อให้ได้ความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นบรรจุในถังหมักที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิเปรียบเทียบกับการบรรจุในถุงพลาสติกดำไม่ให้มีการระเหยของความชื้นแล้วปรับอุณหภูมิให้ได้ 55 องศาเซลเซียส โดยใช้ตู้อบทำการหมักสิ่งเหลือทิ้งฯ นาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วนำตัวอย่างมาอบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2 วัน ก่อนนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและศึกษาการย่อยได้ในห้องปฏิบัติการโดยใช้ของเหลวจากกระเพาะรูเมน (rumen fluid) ของโคเนื้อเพศผู้โดยการบรรจุสิ่งเหลือทิ้งฯ ลงในขวดวัคซีนขนาด

50 มิลลิลิตร 0.2 กรัม พร้อมทั้งปิดจุกยาง และฝาครอบอะลูมิเนียมให้สนิท จากนั้นบรรจุสารละลายของเหลวจากกระเพาะรูเมนมาผสมภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ขวดละ 30 มิลลิลิตร นำเข้าบ่มในตู้อบร้อนแห้งที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เพื่อทำการวัดปริมาณแก๊สตามวิธีการของ Menke and Steingass (1988) บันทึกปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น จนครบ 96 ชั่วโมง นำค่าผลผลิตแก๊สที่ได้มาหาค่าคงที่ a, b และ c โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป fit curve เพื่ออธิบายจลนพลศาสตร์ของการผลิตแก๊สตามโมเดลหรือแบบจำลองสมการของ ϕrskov and McDonald (1979) หลังจากบ่มชั่วโมงที่ 24 และ 48 นำขวดที่เตรียมไว้เพื่อหา การย่อยได้ของวัตถุแห้ง (*In vitro* dry matter digestibility, IVDMD) โดยมาแช่เย็นทันทีที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าคงที่ของการผลิตแก๊ส และปริมาณผลผลิตแก๊สสะสมจะถูกวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Analysis of variance (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ที่จัดทรีทเมนต์แบบแฟคทอเรียล วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองโดย Duncan's New Multiple Range Test ตามวิธีการของ Steel and Torrie (1980)

## ผลการศึกษาและวิจารณ์

*ผลต่อองค์ประกอบทางเคมี* ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของเอนไซม์และอุณหภูมิที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมี เช่น โปรตีน เถ้า เยื่อใย NDF และเยื่อใย ADF (P>0.05) แต่พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างเอนไซม์และอุณหภูมิต่อปริมาณไขมันในสิ่งเหลือทิ้งฯ (P<0.01) โดยกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ใช้เอนไซม์ เอ มีปริมาณไขมันใกล้เคียงกัน กลุ่มควบคุมมีปริมาณไขมันค่อนข้างคงที่เมื่อหมักในอุณหภูมิสูง แตกต่างจากกลุ่มที่ใช้เอนไซม์ บี ซึ่งมีปริมาณไขมันน้อยกว่ากลุ่มควบคุม (27.7 เปอร์เซ็นต์) และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณไขมันมีค่าลดลง (35 เปอร์เซ็นต์) (P<0.01) โดยการลดลงของไขมันนี้สามารถสังเกตได้เช่นเดียวกันกับกลุ่มที่ใช้เอนไซม์ เอ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับประชานาถ (2545) ที่ใช้เอนไซม์ไฟเตสย่อยรำสกัดน้ำมันล่วงหน้าเพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ในอาหารไก่และปริมาณไขมันมีแนวโน้มลดลง 15-30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการลดลงของไขมันครั้งนี้ยังไม่ทราบเหตุผลแน่ชัด นอกจากนี้อิทธิพลจากเอนไซม์มีผลต่อการลดลงของเยื่อใย NDF โดยลดลง 5.1 และ 6.7 เปอร์เซ็นต์ จากเอนไซม์ เอ และ เอนไซม์ บี ตามลำดับ (P<0.01) คล้ายกับ วุฒิกร (2552) ที่ใช้ effective microorganism (EM) หรือ หัวเชื้อจุลินทรีย์เข้มข้นที่มีประสิทธิภาพสูงในการหมักร่วมกับสิ่งเหลือทิ้งฯ โดยพบว่าปริมาณเยื่อใย NDF มีแนวโน้มลดลง 6.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ EM 2 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมอาหาร นอกจากนี้ยังพบว่าอิทธิพลจากอุณหภูมิมีผลต่อการลดลงของเยื่อใย NDF ด้วย โดยอุณหภูมิสูงเยื่อใย NDF มีการลดลงน้อยกว่าการหมักที่อุณหภูมิปกติ (P<0.05) นั่นแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นระหว่างการหมักถึง 55 องศาเซลเซียส อาจไม่เหมาะกับการทำงานของเอนไซม์ในการย่อยเยื่อใย อิทธิพลหลักจากเอนไซม์และอุณหภูมิไม่ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณเยื่อใย ADF (P>0.05) อย่างไรก็ตามในส่วนการเสริมทั้งเอนไซม์ เอ และ บี เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณเยื่อใย ADF มีแนวโน้มลดลงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบทางเคมีของสิ่งเหลือทิ้งฯ หมักกับเอนไซม์และอุณหภูมิที่ต่างกันแสดงใน Table 1

*ผลของการหมักการผลิตแก๊สและการย่อยได้ของสิ่งแห้งในห้องปฏิบัติการ* พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างเอนไซม์และอุณหภูมิ ไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตแก๊สที่เกิดจากองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ง่าย (ค่า a) ปริมาณผลผลิตแก๊สที่เกิดจากองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก (ค่า b) อัตราการผลิตแก๊ส (ค่า c) ผลผลิตแก๊สทั้งหมดและการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (*In vitro* dry matter digestibility, IVDMD) ที่ 24 กับ 48 ชั่วโมง แต่อิทธิพลของเอนไซม์ บี มีผลทำให้ค่า b สูงกว่ากลุ่มอื่น 11.3 เปอร์เซ็นต์ (200 g /ton diet) (P<0.05) จิตราภรณ์และฉลอง (2553) รายงานว่าการ

ใช้เอนไซม์ที่ระดับ 175 g/ton diet ทำให้ค่า b เพิ่มขึ้น 4.4 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกันกับ สิรินทร์เนตร์และฉลอง (2553) พบว่าเอนไซม์ เอ (ชนิดเดียวกันกับที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้) ทำให้ค่า b เพิ่มขึ้น 3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ระดับ 500 g /ton diet ผลผลิตแก๊สที่เกิดจากการย่อยสลายขององค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ยากหรือค่า b นี้จะเป็นตัวชี้วัดการผลิตแก๊สที่เกิดจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้าง (structural carbohydrate) และเป็นตัวบ่งบอกถึงค่าคงที่ของการย่อยได้ ในส่วนที่ไม่ละลายน้ำแต่สามารถหมักย่อยได้ โดยจุลินทรีย์นั่นแสดงให้เห็นว่าเอนไซม์นอกจากจะย่อยสลายเยื่อใยแล้วยังมีส่วนในการช่วยให้จุลินทรีย์สามารถใช้ประโยชน์จากเยื่อใยได้มากขึ้นด้วย สอดคล้องกับ Colombatto et al. (2003) ศึกษาการใช้เอนไซม์ย่อยเยื่อใยระหว่าง alfalfa และ corn silage เขาพบว่าการย่อยของเอนไซม์จะมีลักษณะที่ต่างกัน วัตถุดิบพวกที่มีเยื่อใยสูงเอนไซม์จะทำงานในลักษณะช่วยให้จุลินทรีย์อยู่ย่อยโครงสร้างได้นานขึ้น (สิ่งเหลือทิ้งฯ มีเยื่อใยสูง)

อย่างไรก็ตาม อิทธิพลหลักจากเอนไซม์ บี มีผลต่ออัตราการผลิตแก๊สที่เกิดขึ้นต่อชั่วโมง หรือ ค่า c โดยมีค่าลดลง 14.7 เปอร์เซ็นต์ จากกลุ่มควบคุม อิทธิพลจากเอนไซม์ที่ทำให้ค่า c ลดลงนี้เกิดขึ้นเช่นกันกับ จิตราภรณ์และฉลอง (2553) โดยค่า c จะลดลง 4, 12.2 และ 20.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการเสริมเอนไซม์ที่ระดับ 175, 350 และ 500 g/ton diet ตามลำดับ ($P<0.05$) และกลไกที่ทำให้อัตราการผลิตแก๊สลดลงยังมีข้อมูลไม่มากนัก จลนพลศาสตร์การผลิตแก๊ส ปริมาณผลผลิตแก๊สสะสมและการย่อยได้ของสิ่งเหลือทิ้งฯ หมักเอนไซม์ภายในห้องปฏิบัติการแสดงใน Table 2

## สรุป

การหมักสิ่งเหลือทิ้งฯ ด้วยเอนไซม์ต่างชนิดกันและอุณหภูมิที่แตกต่างกันนั้นพบว่า อิทธิพลร่วมของเอนไซม์และอุณหภูมิที่หมักส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีคือ ทำให้ปริมาณไขมันในตัวอย่างวัตถุดิบลดลงเพียงอย่างเดียว โดยองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกัน อิทธิพลหลักจากเอนไซม์มีผลต่อการลดลงของปริมาณเยื่อใย NDF และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหมักคือการใช้อุณหภูมิปกติ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อปริมาณเยื่อใย NDF น้อยกว่า ไม่พบความแตกต่างกันของจลนพลศาสตร์การผลิตแก๊สและการย่อยได้ของวัตถุแห้งในห้องปฏิบัติการจากอิทธิพลของเอนไซม์และอุณหภูมิ ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามอิทธิพลหลักจากเอนไซม์ บี มีผลทำให้ปริมาณผลผลิตแก๊สที่เกิดจากองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ยากสูงขึ้นแต่อัตราการผลิตแก๊สนั้นจะลดลง

ดังนั้นจากการทดลองในครั้งนี้เอนไซม์ที่เหมาะสมคือ เอนไซม์ชนิด บี โดยใช้ที่อุณหภูมิห้องในการใช้หมักสิ่งเหลือทิ้งฯ เพราะมีผลต่อการลดลงของปริมาณเยื่อใย NDF มากกว่ากลุ่มอื่น ผลผลิตแก๊สที่เกิดจากองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ยากเพิ่มขึ้นและการใช้อุณหภูมิสูงไม่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณสภาวิจัยแห่งชาติ ผู้สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย ขอขอบคุณ บริษัท ไทยซิตริก แอสิด จังหวัดสมุทรสาคร ที่ให้ความอนุเคราะห์สิ่งเหลือทิ้งฯ ขอขอบคุณภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุและอุปกรณ์การทดลองต่างๆ

## เอกสารอ้างอิง

จิตราภรณ์ เยียนเพชร ฉลอง วชิราภากร และ เฉลิมพล เยื้องกลาง. 2553. ผลของเอนไซม์ย่อยเยื่อใยจาก 2 แหล่งในอาหารโคนมต่อ การกินได้

การย่อยได้ และผลผลิตน้ำนมของโคนม. วารสารแก่นเกษตร. 39: 68-72.

ประชานาถ ศรีธัญรัตน์. 2545. ผลของการใช้รำสกัดน้ำมันที่ย่อยล่วงหน้าด้วยเอนไซม์ไฟเตสต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในอาหารไก่เนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

ประพันธ์ศิลป์ ถาพิลา. 2551. ผลของการใช้สิ่งเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตกรดซิตริกในสูตรอาหารข้น ต่อปริมาณการกินได้ การเจริญเติบโต องค์ประกอบซาก และคุณภาพเนื้อของโคเนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สิรินทร์เนตร เลือดไทสง ฉลอง วชิราภากร และเฉลิมพล เยื้องกลาง. 2553. ผลของระดับเอนไซม์ย่อยเยื่อใยในสูตรอาหารผสมสำเร็จต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้ และผลผลิตน้ำนมในโคให้นม. วารสารแก่นเกษตร. 39: 73-77.

วุฒิกร สระแก้ว. 2552. ผลของอาหารผสมสำเร็จหมักร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพที่มีเศษเหลือจากการผลิตกรดซิตริกเป็นแหล่งของอาหารหยาบต่อปริมาณการกินได้ การย่อยได้และการให้ผลผลิตของโคให้นม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

Colombatto, D., D.P. Morgavi, A.F. Furtado and K.A. Beuchemin. 2003. Screening of exogenous enzymes for ruminant diets: Relationship between biochemical characteristics and in vitro ruminal degradation. J. Anim. Sci. 81:2617-2627.

Menke, K.H., and H. Steingass. 1988. Estimation of energetic feed value obtained from chemical analysis and gas production using rumen fluid. Anim. Res. Dev. 28: 7.

Ørskov, E.R., and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agri. Sci. Cam. 92, 499503.

Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1980. Principle and Procedures of Statistic: Mcgraw–Hill Book Company, New York. 631p.

**Table 1.** Chemical composition of citric waste treated with exogenous fibrolytic enzyme

| Chemical composition (%) | control | | enzyme A | | enzyme B | | | P-value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | E | 55 | E | 55 | E | 55 | SEM | A x B | A | B |
| Dry matter (%) | 98.87 | 98.85 | 98.81 | 98.87 | 98.75 | 98.85 | 0.038 | ns | ns | ns |
| | | | | % DM basis | | | | | | |
| Organic matter | 80.49 | 81.29 | 79.76 | 79.20 | 79.54 | 81.00 | 0.63 | ns | ns | ns |
| Crude protein | 8.35 | 8.22 | 8.38 | 8.68 | 8.26 | 8.36 | 0.13 | ns | ns | ns |
| Ether extract | 1.07 a | 1.09 a | 0.98 ab | 0.83 ab | 0.77 bc | 0.71 c | 0.21 | ** | ** | ns |
| Ash | 19.51 | 18.71 | 20.24 | 20.80 | 20.46 | 19.00 | 0.63 | ns | ns | ns |
| Neutral detergent fiber | 85.27 | 87.72 | 80.03 | 84.06 | 80.06 | 81.32 | 1.42 | ns | ** | * |
| Acid detergent fiber | 61.56 | 64.04 | 62.21 | 55.90 | 64.16 | 59.81 | 2.01 | ns | ns | ns |

ns หมายถึง P>0.05 [abc]อักษรในแถวเดียวกันที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, (*) หมายถึง P<0.05, (**) หมายถึง P<0.01, E คือ อุณหภูมิที่ทำการศึกษาช่วงเดือน พ.ย. 53-ม.ค. 54 อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยที่ 27 องศาเซลเซียส อุณหภูมิใจกลางถังหมัก 36 องศาเซลเซียส, A x B คือ อิทธิพลร่วมระหว่างเอนไซม์กับอุณหภูมิ, A คือ อิทธิพลหลักจากเอนไซม์, B คือ อิทธิพลหลักจากอุณหภูมิ

**Table 2.** Effect of treated citric waste with exogenous fibrolytic enzyme on kinetic of gas production and in vitro dry matter digestibility (IVDMD)

| Item | Control | enzyme A | enzyme B | SEM | P-value | E | 55 | SEM | P-value |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kinetic of gas production | | | | | |
| a | -4.12 | -3.32 | -4.99 | 0.703 | 0.09 | -4.64 | -3.65 | 0.86 | 0.11 |
| b | 47.8b | 47.6b | 53.2a | 1.78 | P<0.01 | 52.2 | 48.2 | 2.18 | P<0.05 |
| c, %hrs | 0.034a | 0.032a | 0.029b | 0.0014 | P<0.05 | 0.031 | 0.033 | 0.002 | 0.06 |
| | | | | Total gas ml/0.2g DM | | | | | |
| 24 hrs | 32.2 | 29.2 | 31.1 | 2.1 | 0.336 | 31.96 | 30.25 | 2.58 | 0.34 |
| 48 hrs | 44.4 | 41.0 | 45.1 | 2.65 | 0.30 | 44.88 | 42.15 | 3.25 | 0.23 |
| | | | | DM digestibility,% | | | | | |
| IVDMD 24 | 23.07 | 20.50 | 23.14 | 3.64 | 0.80 | 26.14 | 18.33 | 4.46 | 0.08 |
| IVDMD 48 | 30.25 | 28.99 | 30.88 | 2.12 | 0.77 | 30.79 | 29.29 | 2.61 | 0.51 |

E คือ อุณหภูมิที่ทำการศึกษาช่วงเดือน พ.ย. 53-ม.ค. 54 อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยที่ 27 องศาเซลเซียส อุณหภูมิใจกลางถังหมัก 36 องศาเซลเซียส, A x B คือ อิทธิพลร่วมระหว่างเอนไซม์กับอุณหภูมิ, A คือ อิทธิพลหลักจากเอนไซม์, B คือ อิทธิพลหลักจากอุณหภูมิ

ค่า a คือ ปริมาณผลผลิตแก๊สที่เกิดจากองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ง่าย

ค่า b คือ ปริมาณผลผลิตแก๊สที่เกิดจากองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก

ค่า c คือ อัตราการผลิตแก๊ส