

ผลของการปรับปรุงฟางข้าวโดยการนึ่งไอน้ำร่วมกับสารละลายแคลเซียมออกไซด์ต่อจลนศาสตร์การผลิตแก๊สและการย่อยสลายของโภชนะ

Effect of improving rice straw with the steam method and calcium oxide on gas production kinetics and nutrient degradability

ปชาบดี คงเพชรศักดิ์*, อติชาต ทองนํ้า¹, วุฒิกร สระแก้ว¹ และ ชลอง วชิราภากร¹

Pachabordee Khongphetsak^{1*}, Athichat Thongnum¹, Wuttikorn Sarkaew¹

and Chalong Wachirapakorn¹

บทคัดย่อ: การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการปรับปรุงฟางข้าวด้วยวิธีการนึ่งไอน้ำร่วมกับสารละลายแคลเซียมออกไซด์ ต่อจลนศาสตร์การผลิตแก๊ส ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ค่าการย่อยสลายของวัตถุดิบและอินทรีย์วัตถุ โดยใช้เทคนิคผลผลิตแก๊ส วางแผนการทดลองแบบ 3 x 2 แฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (3x2 factorial experiments in CRD) มีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยแรกเป็นการปรับปรุงโดยใช้กระบวนการนึ่งไอน้ำ (ไม่นึ่งไอน้ำ, นึ่งไอน้ำ 30 นาที, นึ่งไอน้ำ 45 นาที) และปัจจัยที่สองเป็นการปรับปรุงด้วยสารละลายแคลเซียมออกไซด์ (ไม่ปรับปรุง, ปรับปรุงด้วยแคลเซียมออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) พบว่า การปรับปรุงฟางข้าวด้วยสารละลายแคลเซียมออกไซด์ร่วมกับการนึ่งไอน้ำมีผลทำให้ปริมาณวัตถุดิบแห้ง เยื่อใย NDF และ ADF มีค่าลดลง ($p < 0.01$) แต่มีปริมาณของเถ้าเพิ่มขึ้น ($p < 0.01$) การนึ่งไอน้ำมีผลทำให้ผลผลิตแก๊สจากส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (b) อัตราการผลิตแก๊ส (d) และปริมาณแก๊สสะสมในช่วงเวลาที่ 96 มีค่าเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) โดยการปรับปรุงฟางข้าวด้วยแคลเซียมออกไซด์ที่ 3 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบแห้ง ร่วมกับการนึ่งไอน้ำที่ระยะเวลา 30 นาที มีผลทำให้ผลผลิตแก๊สมีค่าสูงที่สุด ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อการย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ดังนั้นการปรับปรุงฟางข้าวด้วยแคลเซียมออกไซด์ร่วมกับการนึ่งไอน้ำสามารถลดปริมาณเยื่อใย NDF และ ADF เพิ่มผลผลิตแก๊ส และมีแนวโน้มการย่อยได้ดีขึ้น

คำสำคัญ: ฟางข้าว, แคลเซียมออกไซด์, การนึ่งไอน้ำ, การย่อยได้

ABSTRACT: The purpose of this experiment was to study the effect of rice straw treated by either calcium oxide or steam method on gas production kinetics and degradability by using in vitro gas production technique. The experimental design was 3x2 factorial experiment according to Completely Randomized Design (CRD). The first factor was steam process (not steam, steamed for 30 and 45 minutes). The second factor was calcium oxide treatment (0 and 3% of dry matter). The result showed that rice straw treated by calcium oxide together with steaming process contained lower dry matter, NDF and ADF ($p < 0.01$) contents but higher ash content ($p < 0.01$) as compared to others. The steam method gave the highest gas production from insoluble (b), gas production rate (d) and gas accumulated at 96 hours ($p < 0.05$) but did not affect the digestibility of dry matter and organic matter and ammonia-nitrogen concentration. Therefore, calcium oxide and steam method together can reduce NDF and ADF contents and increase gas production of rice straw.

Keywords: rice straw, calcium oxide, steam treatment, digestibility

¹ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

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

* Corresponding author: pachabordee.k@kku.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันเกษตรกรนิยมนำผลพลอยได้ทางการเกษตรมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์ อาทิเช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด เปลือกมันสำปะหลัง ฯลฯ เนื่องจากมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายในท้องถิ่น (พิชญ์สินี, 2556) แต่อาหารหยาบเหล่านี้ มีการย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ต่ำ ทำให้สัตว์ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างของลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) ที่ขัดขวางการย่อยและการดูดซึมโภชนาอื่น ๆ (รัชพล, 2558) ดังนั้น จึงควรมานำมาปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์ ได้แก่ การปรับปรุงทางกายภาพ (physical method) เช่น การสับ บด อัดเม็ด การแช่น้ำ การต้ม การนึ่งภายใต้แรงดัน เป็นต้น ปรับปรุงทางเคมี (chemical method) เช่น สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด (acid treatment) หรือด่าง (alkali treatment) การปรับปรุงทางชีวภาพ (biological method) เช่น การหมัก การเสริมเชื้อจุลินทรีย์ และการเสริมเอนไซม์ อย่างไรก็ตามแต่ละวิธีนั้นมีขั้นตอนการทำ การใช้แรงงานรวมถึงมีระยะเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแตกต่างกันไป จากการศึกษาวิธีการนึ่งไอน้ำภายใต้ความดัน (steam explosion) พบว่า วิธีการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ โดยเริ่มจากการนำวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิสูงร่วมกับการใช้ความดันสูงในระบบปิด พบว่า มีผลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างลิกโนเซลลูโลส (linocellulose) ปริมาณของเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) ในพืชซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยได้ในกระเพาะรูเมน (Chang et al., 2011) และเชื่อมโยงถึงประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์คุณภาพต่ำที่เพิ่มขึ้น แต่ในปัจจุบันยังมีรายงานเกี่ยวกับการนำวิธีการนึ่งไอน้ำภายใต้แรงดันมาปรับปรุงคุณภาพอาหารหยาบในอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นมีค่อนข้างจำกัด โดยมีรายงานการนำกระบวนการนึ่งไอน้ำภายใต้ความดันร่วมกับไฮโดรออกไซด์ฟางข้าวและชานอ้อยในแพะ แกะ และกระบือนม พบว่า กลไกที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้น

ตอนการนึ่งไอน้ำมีผลต่อการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ในสัตว์ แต่ไฮโดรออกไซด์มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนสูงซึ่งสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ นอกจากนี้ยังมีบางรายงาน พบว่าการปรับปรุงอาหารหยาบคุณภาพต่ำด้วยแคลเซียมออกไซด์ส่งผลต่อการสลายพันธะในโครงสร้างพืชได้เช่นกัน ซึ่งแคลเซียมออกไซด์มีราคาถูก และมีปลอดภัยมากกว่าการใช้ไฮโดรออกไซด์ (Sirohi and Rai, 1998; Lopes et al., 2007; Ribeiro et al., 2007)

ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาค้นคว้าของการปรับปรุงฟางข้าวโดยการนึ่งไอน้ำร่วมกับสารละลายแคลเซียมออกไซด์ต่อจุลินทรีย์การหมักและการย่อยสลายของโภชนา เพื่อเป็นอีกวิธีหนึ่งในการปรับปรุงอาหารหยาบคุณภาพต่ำให้มีประสิทธิภาพการย่อยได้สูงขึ้น

วิธีการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 3 x 2 แฟกทอเรียล ในแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (3x2 factorial experiments in CRD) มีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ การปรับปรุงโดยใช้กระบวนการนึ่งไอน้ำ (ไม่นึ่งไอน้ำ, นึ่งไอน้ำ 30 นาที, นึ่งไอน้ำ 45 นาที) และการปรับปรุงด้วยสารละลายแคลเซียมออกไซด์ (ไม่ปรับปรุง, ปรับปรุงด้วยแคลเซียมออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) โดยในการทดลองนี้ ทดสอบกับฟางข้าว ประกอบด้วย 6 ทรีทเมนต์ ดังนี้

ทรีทเมนต์ที่ 1 กลุ่มควบคุม (ฟางข้าว)
ทรีทเมนต์ที่ 2 ฟางข้าวไม่นึ่งไอน้ำร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง
ทรีทเมนต์ที่ 3 ฟางข้าวหนึ่งไอน้ำ 30 นาที
ทรีทเมนต์ที่ 4 ฟางข้าวหนึ่งไอน้ำ 30 นาทีร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

ทรีทเมนต์ที่ 5 ฟางข้าวหนึ่งไอน้ำ 45 นาที
ทรีทเมนต์ที่ 6 ฟางข้าวหนึ่งไอน้ำ 45 นาทีร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

สำหรับฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยสารละลายแคลเซียมออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง โดยใช้สัดส่วนน้ำต่อฟางข้าว เท่ากับ 2 ต่อ 1 (Chaudhry,

2000) จากนั้นละลายแคลเซียมออกไซด์ และนำฟางข้าวมาแช่ทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมง ตามวิธีการของ Beckman (Pantaleo, 2016) ส่วนการนึ่งไอน้ำ (steam treatment) ใช้อุณหภูมิที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และ 45 นาที ตามทรีทเมนต์ที่กำหนด

สัตว์ที่ใช้ในการทดลองเป็นโคนมลูกผสมไฮลส์ไคร์-ฟรีเซียนเจาะกระเพาะรูเมน (fistulated cow) น้ำหนักเฉลี่ย 380 ± 10 กิโลกรัม จำนวน 2 ตัว โดยเก็บของเหลวจากกระเพาะรูเมนผ่านทางช่องเปิดของกระเพาะก่อนได้รับอาหารในช่วงเช้า เมื่อได้ของเหลวจากกระเพาะรูเมนตามปริมาณที่ต้องการแล้ว นำมาผสมกับสารละลายน้ำลายเทียมตามวิธีการของ Tilley and Terry (1963) จากนั้นนำสารละลายของเหลวจากกระเพาะรูเมนผสมบรรจุลงในขวดที่มีอาหารทดลอง 0.2 กรัม โดยขวดที่ใช้บรรจุมีขนาด 60 มิลลิลิตร และนำเข้าบ่มในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส จดบันทึกปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น และนำค่าผลผลิตแก๊สที่ได้มาคำนวณค่าคงที่ a, b และ c โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป curve fit เพื่ออธิบายจลนพลศาสตร์ของการ

แก๊ส ตามแบบจำลองสมการของ Orskov and McDonald (1979) ดังนี้

$$y = a + b [1 - \exp(-ct)]$$

เมื่อ y = ผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้น ณ เวลา t

a = ปริมาณแก๊สที่ผลิตได้จากส่วนที่ละลายน้ำได้ง่าย (มิลลิลิตร)

b = ปริมาณผลผลิตแก๊สที่ผลิตได้จากส่วนที่ละลายน้ำได้ยาก (มิลลิลิตร)

c = ค่าอัตราการผลิตแก๊ส (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)

หลังการบ่มชั่วโมงที่ 24 และ 48 สุ่มขวดทดลองออกมาทรีทเมนต์ละ 2 ขวด เพื่อนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของวัตถุดิบในหลอดทดลอง (in vitro dry matter digestibility, IVDMD) และค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุในหลอดทดลอง (in vitro organic matter digestibility, IVOMD) ดังสมการ

$$IVDMD (\%) = \frac{\text{น้ำหนักวัตถุแห้งเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักวัตถุแห้งหลังการบ่ม}}{\text{น้ำหนักวัตถุแห้งเริ่มต้น}} \times 100$$

$$IVOMD (\%) = \frac{\text{น้ำหนักอินทรีย์วัตถุเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักอินทรีย์วัตถุหลังการบ่ม}}{\text{น้ำหนักอินทรีย์วัตถุเริ่มต้น}} \times 100$$

นำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Analysis of variance (ANOVA) ตาม 3×2 แฟกทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (3×2 factorial experiments in CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของปัจจัยการทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ตามวิธีการของ Steel and Torrie (1980)

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

องค์ประกอบเคมีของสูตรอาหารทดลอง

จากการศึกษาในครั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของทรีทเมนต์ต่างๆ พบว่า ฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยแคลเซียมออกไซด์ร่วมกับการนึ่งไอน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของฟางข้าว โดยมีผลทำให้ปริมาณวัตถุดิบ เยื่อใย NDF และ ADF มี

ค่าลดลง ($p < 0.01$) แต่มีปริมาณของเถ้าเพิ่มขึ้น ($p < 0.01$) (Table 1) สอดคล้องกับ Kim et al. (2005) และ Zahedifar et al. (2014) รายงานว่าระดับความดันที่เพิ่มขึ้นในระยะเวลาการนึ่งไอน้ำ มีผลให้มีของเปอร์เซ็นต์ NDF ลดลง แต่มีเปอร์เซ็นต์ของ ADF เพิ่มขึ้น ในขณะที่ Wen et al. (2015) รายงานว่า วัตถุดิบอาหารต่างชนิดกันนำมาปรับปรุงด้วยนึ่งไอน้ำภายใต้สภาวะอุณหภูมิ ระดับความดัน และระยะเวลาของการนึ่งไอน้ำเดียวกัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเปอร์เซ็นต์ NDF และ ADF ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงแตกต่างกัน เนื่องจากระหว่างกระบวนการนึ่งไอน้ำภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดัน ทำให้เพิ่มการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีส่งผลให้องค์ประกอบของกลุ่มคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ฟีนอลิก และสารประกอบอื่นๆ เกิดการละลายน้ำ จึงมีผลต่อค่า NDF และ ADF

Table 1 Chemical composition of rice straw, steamed rice straw, calcium oxide treated rice straw and calcium oxide and steamed treated rice straw

Item	RS	SRS (min)		CRS	CSRS (min)		SEM	Comparison		
		30	45		30	45		Steam	CaO	Interaction
Chemical composition -----% of DM-----										
Dry matter	92.01 ^a	25.71 ^{cd}	28.39 ^c	30.77 ^b	26.86 ^d	26.64 ^{cd}	2.09	<0.01	<0.01	<0.01
Ash	13.91 ^c	14.48 ^b	14.88 ^b	16.71 ^a	16.93 ^a	16.59 ^a	0.11	0.02	<0.01	<0.01
Crude protein	2.56	2.34	2.25	2.37	2.25	2.4	0.02	0.77	0.89	0.73
NDF	80.1 ^a	76.24 ^b	75.44 ^b	73.48 ^c	71.44 ^d	71.5 ^d	0.26	<0.01	<0.01	0.01
ADF	55.6 ^a	49.55 ^b	49.48 ^b	48.55 ^c	45.73 ^d	47.56 ^e	0.27	<0.01	<0.01	<0.01

RS = rice straw, SRS = steamed rice straw, CRS = calcium oxide treated rice straw, CSRS = and calcium oxide and steamed treated rice straw,

^{a,b} Means with different superscripts in row are significantly different ($P < 0.05$), SEM = standard error of the mean

ผลของการปรับปรุงฟางข้าวด้วยสารละลายแคลเซียมออกไซด์ร่วมกับการนึ่งไอน้ำต่อจุลนาสตรการผลิตแก๊ส

จากการศึกษาการปรับปรุงฟางข้าวด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การนึ่งไอน้ำ และการปรับปรุงด้วยสารละลายแคลเซียมออกไซด์ พบว่า ผลผลิตแก๊สที่เกิดขึ้นในแต่ละที่พื้เมนต์มีความแตกต่างกัน โดยที่พื้เมนต์ที่มีค่าสูงสุด คือ ฟางข้าวปรับปรุงด้วยแคลเซียมออกไซด์ร่วมกับการนึ่งไอน้ำที่ 30 นาที (Figure 1) (ตารางที่ 2) สำหรับค่าจุลนาสตรการผลิตแก๊สที่ประเมินจากสมการของ Orskov and McDonald (1979) พบว่า การนึ่งไอน้ำมีผลต่อผลผลิตแก๊สจากส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (b) อัตราการผลิตแก๊ส (d) และปริมาณแก๊สสะสมในชั่วโมงที่ 96 มีค่าเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) แต่ทำให้องค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ง่าย (a) มีค่าลดลง ($p < 0.05$)

สอดคล้องกับ Naeem et al. (2014) และ Wen et al. (2015) ที่รายงานว่า ในระหว่างการนึ่งไอน้ำสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ซึ่งก่อให้เกิดการสลายตัวของผนังเซลล์พืช นอกจากนี้ Kim et al. (2005) รายงานว่า ไอน้ำและความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นซึ่งมีผลทำให้เอมิเซลลูโลสซึ่งเป็นเยื่อใยที่ง่ายต่อการละลายโดยขั้นตอนนี้อาศัยน้ำเป็นตัวเข้าสลายพันธะไกลโคไซด์ และอาจส่งผลต่อการสูญเสียองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ง่ายจำพวกแป้งและน้ำตาล Casperson et al. (2018) รายงานว่า แคลเซียมออกไซด์สามารถเร่งให้เกิดปฏิกิริยาดีโพลีเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) เป็นกระบวนการสลายพันธะในโครงสร้างของพืช ซึ่งอาจส่งผลโดยตรงต่อการย่อยสลายเยื่อใยและปริมาณแก๊สสะสมได้

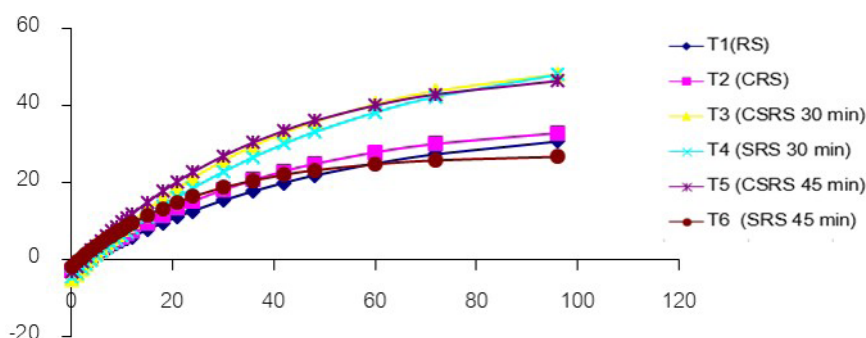


Figure 1 In vitro gas production of rice straw, steamed rice straw, rice straw with calcium oxide and steamed rice straw with calcium oxide

Table 2 Gas production kinetic of rice straw, steamed rice straw, calcium oxide treated rice straw and calcium oxide and steamed treated rice straw

Item	RS	SRS (min)		CRS		CSRS (min)		SEM	Comparison		
		30	45	30	45	30	45		Steam	CaO	Interaction
Gas kinetics											
a	-2.72 ^{ab}	-4.62 ^{bc}	-1.71 ^a	-2.42 ^{ab}	-5.31 ^c	-3.36 ^{abc}	0.37	<0.01	0.24	0.38	
b	40.70 ^{bc}	62.44 ^a	29.22 ^c	34.88 ^c	61.20 ^a	54.94 ^{ab}	3.5	<0.01	0.21	0.03	
c	0.02 ^b	0.02 ^b	0.04 ^a	0.03 ^{ab}	0.02 ^b	0.02 ^b	<0.01	0.04	0.89	0.04	
d	30.96 ^c	66.51 ^a	58.30 ^{ab}	37.30 ^c	67.06 ^a	43.42 ^{bc}	3.82	<0.01	0.28	0.39	
Cumulative gas production after 96 h.											
	27.53 ^b	42.60 ^a	25.80 ^b	26.75 ^b	44.33 ^a	43.33 ^a	2.28	<0.01	0.06	0.05	

Table 3 In vitro dry matter digestibility and In vitro organic matter digestibility rice straw, steamed rice straw, calcium oxide treated rice straw and calcium oxide and steamed treated rice straw

Item	RS	SRS (min)		CRS		CSRS (min)		SEM		Comparison	
		30	45	30	45	30	45	30	45	Steam	CaO
IVDMD, %	24 h.	24.94	37.24	40.31	27.86	31.80	31.09	2.08	0.16	0.33	0.44
	48 h.	50.90 ^b	52.66 ^b	54.83 ^{ab}	55.43 ^{ab}	55.67 ^{ab}	58.96 ^a	0.90	0.12	0.02	0.88
	Mean	37.92	41.64	44.95	43.74	47.57	45.03	3.62	0.85	0.99	0.96
IVOMD, %	24 h.	42.82	53.63	57.16	47.58	51.47	49.86	1.79	0.14	0.64	0.35
	48 h.	64.03 ^c	66.44 ^c	69.93 ^b	70.37 ^{ab}	69.91 ^b	72.91 ^a	0.89	<0.01	<0.01	0.15
	Mean	53.42	58.98	60.03	60.72	63.55	61.39	3.02	0.81	0.87	0.92
NH ₃ -N, mg%	24 h.	5.60	4.20	4.20	4.20	4.20	7.01	0.61	0.73	0.75	0.51
	48 h.	7.01	7.01	7.01	7.01	5.60	5.60	0.63	0.92	0.59	0.92
	Mean	6.30	5.60	5.60	5.60	4.90	6.31	0.36	0.78	0.81	0.77

^{a,b} Means with different superscripts in row are significantly different (P<0.05), SEM = standard error of the mean, IVDMD = In vitro dry matter digestibility, IVOMD = In vitro organic matter digestibility, NH₃-N = Ammonia- nitrogen

ผลของการปรับปรุงฟางข้าวด้วยสารละลายแคลเซียมออกไซด์ร่วมกับการนึ่งไอน้ำต่อการย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรียวตฤ และ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

จากการศึกษาค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบและอินทรียวตฤที่ 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่า ฟางที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบและอินทรียวตฤเพิ่มขึ้น ($p>0.05$) (ตารางที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับ Kim et al. (2005) และ Wen et al. (2015) รายงานว่า เมื่อนำฟางข้าวมาปรับปรุงด้วยวิธีการนึ่งไอน้ำส่งผลทำให้มีการย่อยได้ของวัตถุดิบเพิ่มขึ้นประมาณ 7-11 เปอร์เซ็นต์ และมีการย่อยได้ของอินทรียวตฤเพิ่มขึ้นประมาณ 7-10 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับของ Chang et al. (2011) และ Wen et al. (2015) รายงานว่า กระบวนการนึ่งไอน้ำสามารถทำลายโครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสได้โดยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพืชเกิดการแยกตัวของลิกนินออกจากโพลีแซคคาไรด์ ทำให้จุลินทรีย์สามารถเข้าย่อยเยื่อจำพวกเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ Sirohi and Rai (1998) รายงานว่า การปรับปรุงฟางข้าวด้วยสารละลายแคลเซียมออกไซด์ที่ระดับ 0, 2, 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบแห่งต่อการย่อยได้ของวัตถุดิบในหลอดทดลองมีค่าเท่ากับ 45.2, 46.2, 52.5, 57.6 และ 59.7 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่ 24 และ 48 ชั่วโมงของฟางข้าวปรับปรุงด้วยแคลเซียมออกไซด์ที่ 0 และ 3 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับการนึ่งไอน้ำที่ 30 และ 45 นาที พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ฟางข้าวที่ปรับปรุงด้วยแคลเซียมออกไซด์ร่วมกับการนึ่งไอน้ำที่ระยะเวลา 30 นาที มีผลให้ปริมาณเยื่อใย NDF และ ADF มีค่าต่ำที่สุด และการปรับปรุงฟางข้าวด้วยแคลเซียมออกไซด์ร่วมกับการนึ่งไอน้ำระยะ

เวลา 30 นาที มีผลให้ผลผลิตแก๊สมีค่าสูงที่สุด แต่พบว่าไม่มีผลต่อการย่อยได้ของวัตถุดิบอินทรียวตฤ และปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ดังนั้นการปรับปรุงฟางข้าวด้วยแคลเซียมออกไซด์ที่ 3 เปอร์เซ็นต์วัตถุดิบ ร่วมกับการนึ่งไอน้ำที่ระยะเวลา 30 นาทีสามารถลดปริมาณเยื่อใย NDF และ ADF เพิ่มผลผลิตแก๊สจากส่วนที่ไม่ละลายน้ำ อัตราการผลิตแก๊สได้ และมีแนวโน้มการย่อยได้ที่เพิ่มขึ้นด้วย

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และองค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและสถานที่ทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- พิชญ์สินี วีระไวทยะ, กนก รัตนะกนกชัย, รัตติยา แวนภูกุล, จักรกฤตชนม์ เตชะอภัยคุณ, อาภาธิโกะ โคซูกิ และ ภัทรา ผาสอน. 2556. การปรับสภาพฟางข้าวด้วยด่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายด้วยเอนไซม์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 44(2): 169-172.
- รัชพล พะวงศรีรัตน์. 2558. กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส. Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University 2(1): 143-157.
- Casperson, B. A., A. E. Wertz-Lutz, J. L. Dunn, and S. S. Donkin. 2018. Inclusion of calcium hydroxide-treated corn stover as a partial forage replacement in diets for lactating dairy cows. Journal Dairy

- Science 101: 2027-2036.
- Chang J., Q. Q. Yin, T. B. Ren, A. D. Song, R. Y. Zuo, and H. W. Guo. 2011. Effect of Steam Explosion Pretreatment and Microbial Fermentation on Degradation of Corn Straw. *Advanced Materials Research*: 809-814.
- Chaudhry A. S. 2000. Rumen degradation in sacco in sheep of wheat straw treated with calcium oxide, sodium hydroxide and sodium hydroxide plus hydrogen peroxide. *Animal Feed Science and Technology* 83: 313-323.
- Kim, W., M.S. Yahaya, and M. Goto. 2005. Effects of steam explosion on the chemical composition and rumen degradability of rice (*Oryza sativa* L.) straw. *Grassland Science* 51: 139-144.
- Lopes, W. B., A. J. V. Pires and R. M. P. Sales. 2007. Capim-elefante tratado com óxido de cálcio e, ou hidróxido de sódio. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44. Jaboticabal. Anais. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Zootecnia.
- Naeem, M., N. Rajput, Z. Lili, Z. Su, Y. Rui, and W. Tian. 2014. Utilization of steam treated agricultural by-product as ruminant feed. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 51(1). 229-234.
- Orskov, 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.* 92: 499-503.
- Pantaleo, V. M. 2016. Assessment of improvement of chemically and Biologically Treated Maize stover and Subsequent utilization of treated materials for Beef Production. *Science in tropical animal production of Sokoine university of agriculture*. Morogoro, Tanzania.
- Ribeiro, L. S. O., A. J. V. Pires and B. D. Pinho. 2007. Teor de matéria seca e constituintes da parede celular da cana-de-açúcar hidrolisada com aditivos alcalinos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA (44). Jaboticabal. Anais. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Zootecnia.
- Sirohi, S. K., and S. N. Rai. 1998. Optimisation of treatment conditions of wheat straw treated with lime: Effect of concentration, moisture content and treatment time on chemical composition and in vitro digestibility. *Animal Feed Science and Technology* 74: 57-62.
- Steel, R. G. D., and J. H. Torrie. 1980. *Principles and Procedure of Statistics*. New York: McGraw Hill Book Co., U.S.A.
- Tilley, J. M. A., and R. A. Terry. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society*. 18:104-11.
- Wen, H. L., Q. Xiang Meng, Li. D. Yong, F. Wang, and L. Ping Ren. 2015. Effect of steam explosion on in vitro gas production kinetics and rumen fermentation profiles of three common straws. *Ital J Anim Sci*: 14.

Zahedifar, M., N. Karimi, H. Fazaeli, and S. A. Mirhadi. (2014). Optimization of steam treatment conditions for improving the nutritive value of date leaves. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(4), 811–825.