

การศึกษาการย่อยได้และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารโคนม

วรรณภา อ่างทอง^{1/}

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) ของวัตถุดิบอาหารสัตว์สำหรับใช้เลี้ยงโคนมจำนวน 30 ชนิด ประกอบด้วย (1) พืชอาหารสัตว์ 10 ชนิด (2) วัตถุดิบอาหารสัตว์ 3 ชนิด (3) ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม 15 ชนิด และ (4) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 2 ชนิด และสร้างสมการสำหรับการใช้ในการทำนายค่าโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrients, TDN) และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ดำเนินการทดลองที่ศูนย์วิจัยและพัฒนามาตรฐานอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง จังหวัดขอนแก่น ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2560 ถึง พฤษภาคม 2563 โดยใช้โคนมเพศเมียที่มีระดับสายเลือดพันธุ์โฮลส์ไตน์ฟรีเซียนมากกว่า 87.5% จำนวน 8 ตัว มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 455 ± 65 กิโลกรัม มีอายุเฉลี่ย 6 ± 2 ปี วางแผนการทดลองแบบ 4×4 Latin square มี 4 ระยะ ๆ ละ 16 วัน แบ่งเป็นระยะปรับตัว 10 วัน และระยะการเก็บข้อมูล 6 วัน เก็บข้อมูลโดยใช้เทคนิคการเก็บรวบรวมทั้งหมด (Total collection) ควบคู่ไปกับการวัดปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมักในกระเพาะรูเมนโดยใช้ชุดวัดค่าการหายใจระบบเปิด (Open-circuit system with ventilated hood-type respiration calorimeters)

ผลการทดลอง พบว่า วัตถุดิบอาหารสัตว์ต่างชนิดกันมีค่า TDN และค่า ME แตกต่างกัน โดยพืชอาหารสัตว์มีค่า TDN อยู่ในช่วง 38.0-60.8% และมีค่า ME อยู่ในช่วง 1.35-2.31 Mcal/kgDM วัตถุดิบอาหารสัตว์มีค่า TDN และค่า ME อยู่ในช่วง 78.5-102.4% และ 2.91-3.80 Mcal/kgDM ตามลำดับ ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมมีค่า TDN และค่า ME อยู่ในช่วง 34.8-89.9% และ 1.53-3.68 Mcal/kgDM ตามลำดับ และวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมีค่า TDN และค่า ME อยู่ในช่วง 46.6-52.0% และ 1.62-2.03 Mcal/kgDM ตามลำดับ สมการถดถอยอย่างง่าย (Simple linear regression) สำหรับใช้ทำนายค่า ME จากค่าพลังงานที่ย่อยได้ (Digestible energy, DE) ดังนี้ $ME \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.901 (\pm 0.02) DE \text{ (Mcal/kgDM)} - 0.173 (\pm 0.05)$ และมีสมการถดถอยพหุคูณ (Multiple linear regression) สำหรับใช้ทำนายค่า TDN โดยใช้องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์จำนวน 3 สมการ

คำสำคัญ : การย่อยได้ของโภชนะ พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ วัตถุดิบอาหารสัตว์ โคนม

เลขทะเบียนวิชาการ : 66(2)-0214-025

^{1/}สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ ต.บางกะดี อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000

Digestibility and metabolizable energy of feedstuffs for dairy cattle.

Wanna Angthong^{1/}

Abstract

This study aimed to investigate nutrient digestibility and metabolizable energy of 30 feedstuffs by *in vivo* technique was carried out. The feedstuffs were categorized into 4 categories: (1) 10 forages, (2) 3 feed Ingredients, (3) 15 by-products from the factory, and (4) 2 agricultural residues. The experiment was conducted at the Ruminants Feeding Standard Research and Development Center, Khon Kean, Thailand from November 2017 to May 2020. Eight female crossbred cows (more than 87.5% of Holstein Friesian breeds with an average body weight of 455±65 kg, and an average age of 6±2 years) were used. The experimental design was a 4 X 4 Latin square for each group of feedstuffs. Each experiment (each group of feedstuffs) consisted of 4 periods and each period comprised 10 days for feed adaptation, followed by 6 days for data collection. The animals were housed individually in a cage installed with indirect calorimetry via head hoods for determining methane gas emission gas. A total collection technique was used to collect data; total amounts of feces and urine produced by each animal.

The chemical compositions, nutrient digestibility, and metabolizable energy of 30 feedstuffs were determined. The total digestible nutrient (TDN) and metabolizable energy (ME) of the forages were 38.0 to 60.8% and 1.35 to 2.31 Mcal/kgDM, respectively. The TDN and ME values of the feedstuffs were 78.5 to 102.4% and 2.91 to 3.80 Mcal/kgDM, respectively. The TDN and ME values of the by-products were 34.8 to 89.9% and 1.53 to 3.68 Mcal/kgDM, respectively. The TDN and ME values of the agricultural residues were 46.6 to 52.0 and 1.62 to 2.03 Mcal/kgDM, respectively. Moreover, a simple linear regression equation for predicting ME from digestible energy (DE) was $ME \text{ (Mcal/kgDM)} = 0.901 (\pm 0.02) DE \text{ (Mcal/kgDM)} - 0.173 (\pm 0.05)$. Additionally, there were three multiple linear regression equations to be used to predict TDN values of the feedstuffs from their chemical compositions.

Keywords: nutrient digestibility, metabolizable energy (ME), feedstuff, dairy cow

Registered No.: 66(2)-0214-025

^{1/} Bureau of Animal Nutrition Development. Bangkadi, Muang, Pathum Thanee, 12000.

คำนำ

การจัดการอาหารโคนมในประเทศไทยยังขาดข้อมูลคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ดังนั้นการประกอบสูตรอาหารโคนมยังคงใช้ข้อมูลอ้างอิงด้านคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารสัตว์จากต่างประเทศ เช่น NRC (2001) เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ผลิตในประเทศเขตอบอุ่นจึงมีคุณค่าทางโภชนาแตกต่างกันส่งผลให้การประกอบสูตรอาหารขาดความแม่นยำและไม่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย ยุทธศาสตร์โคนมของกรมปศุสัตว์มุ่งเน้นการพัฒนาอาชีพการเลี้ยงโคนมให้มีความมั่นคงและยั่งยืน กล่าวคือมีสมรรถนะการผลิตน้ำนมเพิ่มขึ้นและมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน ศูนย์วิจัยเศรษฐศาสตร์ประยุกต์ (2562) รายงานว่า การใช้ข้อมูลคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบที่มีความแม่นยำในการประกอบสูตรอาหารสัตว์จะช่วยเพิ่มปริมาณน้ำนมได้ 5% หรือเท่ากับ 0.62 กิโลกรัม/ตัว/วัน ดังนั้น หากมีแม่โครีดนมจำนวน 30,000 ตัว จะมีมูลค่าของน้ำนมที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 22,692,000 บาท นอกจากนี้ ยังสามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหารของแม่โคนมได้อีกประมาณ 7% กล่าวได้ว่า ข้อมูลคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารโคนมแม้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานแต่สามารถส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจในเชิงบวกให้กับประเทศไทยได้อย่างมาก

การศึกษาการย่อยได้และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารโคนมเป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย เรื่อง ความต้องการโภชนาของโคนมในประเทศไทย ที่ดำเนินการควบคู่ไปกับโครงการศึกษาความต้องการโภชนาของโคนมระยะต่าง ๆ เพื่อให้สัตว์ได้รับอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่ตรงต่อความต้องการของโคนมให้มากที่สุด การศึกษาครั้งนี้เลือกชนิดของพืชอาหารสัตว์ วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เป็นแหล่งโปรตีนและพลังงาน ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นชนิดที่มีการนำมาใช้เป็นอาหารโคนมกันอย่างแพร่หลาย จากนั้น นำมาศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนา และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ด้วยวิธีวัดโดยตรงจากตัวสัตว์ (*In vivo*) ผลที่ได้จะใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับเกษตรกรในการเลือกใช้วัตถุดิบอาหารโคนมในการประกอบสูตรอาหารได้อย่างถูกต้อง แม่นยำและช่วยลดการสูญเสียของสารอาหารส่วนเกินที่ขับออกมากับมูลและปัสสาวะนับเป็นการช่วยลดปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์ได้อีกทางหนึ่งและส่งผลกระทบต่อความยั่งยืนของอาชีพการเลี้ยงโคนมในประเทศไทยได้ในอนาคตได้

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการทดลองที่ ศูนย์วิจัยและพัฒนามาตรฐานอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ในช่วงระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2560 ถึง พฤษภาคม 2563

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 4×4 Latin square โดยแต่ละรอบการทดลองประกอบด้วย 4 ระยะ (Period) แต่ละระยะการทดลองใช้โค 4 ตัว และใช้เวลาในการทดลองแต่ละระยะนาน 16 วัน แบ่งออกเป็นระยะปรับสัตว์ (Preliminary period) นาน 10 วัน และระยะการเก็บข้อมูล (Collection period) นาน 6 วัน

สัตว์ทดลองและการจัดการ

ใช้โคนมเพศเมียที่มีระดับสายเลือดพันธุ์โฮลส์ไตน์ฟรီးเซียนมากกว่า 87.5% จำนวน 8 ตัว มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 455 ± 65 กิโลกรัม อายุเฉลี่ย 6 ± 2 ปี ไม่ตั้งท้อง มีการฉีดวัคซีนป้องกันโรคปากเท้าเปื่อยทุก 6 เดือน ฉีดวิตามิน AD₃E ทุก 4 เดือน และยาถ่ายพยาธิทุก 6 เดือน ในช่วงปรับสัตว์จะเลี้ยงโคทดลองในคอกขังเดี่ยวที่มีขนาด กว้าง×ยาว เท่ากับ 1.5×5 เมตร มีอ่างกินน้ำแบบอัตโนมัติและมีแร่ธาตุก้อนให้กินอย่างอิสระ จากนั้นในช่วงการเก็บข้อมูล 6 วัน จะย้ายโคไปคอกสำหรับการวัดค่าการหายใจ (Open-circuit system with ventilated hood-type respiration calorimeters) ที่มีขนาดกว้าง×ยาว เท่ากับ 1.05×3.75 เมตร สำหรับรายละเอียดของคอกรวมถึงการจัดการอื่น ๆ มีรายงานโดย Suzuki *et al.* (2007) โดยก่อนเริ่มต้นการเก็บข้อมูลมีการทวนสอบ (Validation) ความถูกต้องและแม่นยำของชุดวัดก๊าซและทวนสอบอีกครั้งหลังจากดำเนินการไปแล้ว 6 เดือน ผลการทวนสอบ พบว่า ชุดเครื่องมือสามารถวัดก๊าซโดยมีความถูกต้องและแม่นยำในระดับ 96.7 ± 0.8 % และ 99.8 ± 4.6 % ตามลำดับ

วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่นำมาประเมินคุณค่าทางโภชนาการทั้งหมด 30 รายการ ประกอบด้วย

1. พืชอาหารสัตว์ จำนวน 10 ชนิด ได้แก่

1) หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมัก (*Cenchrus purpureus* syn. *Penisetum purpureum*) เป็นหญ้าที่แตกกอขึ้นมาใหม่จากกอเดิม ปลูกในพื้นที่นอกเขตชลประทาน อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ตัดที่อายุ 80 วัน นำมาสับด้วยเครื่องสับให้มีขนาดขึ้นประมาณ 3-5 เซนติเมตร แล้วอัดใส่ถังพลาสติกขนาดบรรจุ 120 ลิตร ปิดฝาและลือคให้สนิท

2) ต้นข้าวโพดพร้อมฝักหมัก เป็นข้าวโพดพันธุ์สุวรรณภูมิผสม ปลูกในพื้นที่อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา มีอายุการตัดประมาณ 85 วัน เมล็ดอยู่ในระยะเส้นน้ำนม (Milk line) 50% บรรจุในถุง 2 ชั้น ถุงชั้นในเป็นพลาสติก ชั้นนอกเป็นกระสอบสาน ขนาดบรรจุถุงละ 25 กิโลกรัม

3) หญ้าแพงโกลาแห้ง (*Digitaria eriantha*) เป็นหญ้าที่ปลูกในพื้นที่นอกเขตชลประทาน อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ก่อนตัดประมาณ 20 วัน ตัดหญ้าที่อายุ 45 วัน ตากแห้งและอัดเป็นฟ่อนฟ่อนละ 20 กิโลกรัม ก่อนนำไปใช้เลี้ยงโคทดลอง มีการสับด้วยเครื่องให้มีขนาดขึ้นประมาณ 3-5 เซนติเมตร

4) หญ้ากินีสีม่วงหมัก (*Megathyrsus maximus* syn. *Panicum maximum* TD58) เป็นหญ้าที่ปลูกใหม่ ในพื้นที่นอกเขตชลประทาน อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ใส่ปุ๋ยยูเรีย 46-0-0 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ก่อนการตัดประมาณ 21 วัน และตัดหญ้าที่อายุ 60 วันหลังปลูก นำมาสับด้วยเครื่องให้มีขนาดขึ้นประมาณ 3-5 เซนติเมตร แล้วอัดใส่ถังพลาสติกขนาดบรรจุ 120 ลิตร ปิดฝาและลือคให้สนิท

5) หญ้ารูซีหมัก (*Urochloa ruziziensis* syn. *Brachiaria ruziziensis*) เป็นหญ้าที่ปลูกใหม่ก่อนการปลูกปรับปรุงดินด้วยมูลไก่ในอัตรา 100 กิโลกรัม/ไร่ โดยอยู่ในพื้นที่นอกเขตชลประทาน อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ให้น้ำช่วงแล้ง และใส่ปุ๋ยยูเรีย 46-0-0 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ก่อนการตัดประมาณ 15 วัน และตัดหญ้าที่อายุ

45 วัน นำมาสับด้วยเครื่องสับให้มีขนาดชิ้นประมาณ 3-5 เซนติเมตร หมักโดยอัดใส่ถังพลาสติกขนาดบรรจุ 120 ลิตร ปิดฝาและล๊อคให้สนิท

6) ถั่วท่าพระโตโลแห้ง (*Stylosanthes guianensis* CIAT184) เป็นถั่วที่ปลูกขึ้นใหม่ในพื้นที่นอกเขตชลประทาน อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก มีการใส่ปุ๋ย 15-15-15 ในอัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ ก่อนการตัดประมาณ 30 วัน และตัดถั่วหลังจากปลูกประมาณ 100 วัน นำถั่วมาตากบนลานปูน เมื่อถั่วแห้งทำการอัดเป็นฟ่อน ฟ่อนละ 20 กิโลกรัม ก่อนนำไปใช้เลี้ยงโคทดลอง สับด้วยเครื่องให้มีขนาดชิ้นประมาณ 3-5 เซนติเมตร

7) ถั่วท่าพระโตโลหมัก (*Stylosanthes guianensis* CIAT184) เป็นถั่วที่ปลูกขึ้นใหม่ในพื้นที่นอกเขตชลประทาน อาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ให้น้ำในช่วงแล้ง ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ ก่อนการตัด 30 วัน ตัดถั่วหลังจากปลูก 65 วัน สับถั่วให้มีขนาดชิ้น 3-5 เซนติเมตร อัดใส่ถังพลาสติกขนาดบรรจุ 120 ลิตร ปิดฝาและล๊อคให้สนิท

8) ถั่วลิสงเถาฟลอริเกรซแห้ง (*Arachis glabrata* cv. Florigrase) เป็นถั่วแปลงเดิมที่ปลูกในพื้นที่นอกเขตชลประทานอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก และให้น้ำในช่วงแล้ง ใส่ปุ๋ยสูตร 12-24-12 อัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ หลังการตัดทุกครั้ง ตัดถั่วที่อายุ 55 วัน หลังแห้งแล้วจึงอัดเป็นฟ่อน ฟ่อนละประมาณ 15 กิโลกรัม สามารถชั่งให้โคกินตามปริมาณที่กำหนดโดยไม่ต้องสับ

9) ถั่วคาวาลเคดแห้ง (*Centrosema pascuorum* cv. Calvalcade) เป็นถั่วที่ปลูกใหม่ในพื้นที่เขตชลประทาน และให้น้ำในช่วงแล้ง ใส่ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ ก่อนตัด 15 วัน และตัดถั่วที่อายุ 70-75 วัน นำมาตากบนลานปูน เมื่อแห้งอัดเป็นฟ่อน ฟ่อนละประมาณ 20 กิโลกรัม สับถั่วให้มีขนาดชิ้นประมาณ 3-5 เซนติเมตรก่อนนำไปใช้เลี้ยงโคทดลอง

10) กระถินสับแห้ง (*Leucaena leucocephala*) ผลิตโดยเกษตรกรที่ตัดกระถินที่ขึ้นตามพื้นที่สาธารณะ โดยตัดส่วนของกิ่งกระถินรวมใบวัดจากยอดประมาณ 150 เซนติเมตร นำมาสับด้วยเครื่องสับมีขนาดชิ้นประมาณ 0.5-1.0 เซนติเมตร ตากแห้งด้วยแสงแดด เมื่อแห้งบรรจุในกระสอบพลาสติกขนาดบรรจุ 30 กิโลกรัม/กระสอบ

2. วัตถุดิบอาหารสัตว์ จำนวน 3 ชนิด ซื้อมาจากสหกรณ์โคนม (รายการที่ 1 และ 2) และร้านจำหน่ายวัตถุดิบอาหารสัตว์ (รายการที่ 3) ในพื้นที่ จังหวัดขอนแก่น ขนาดบรรจุ 50 กิโลกรัม/กระสอบ มีรายการดังนี้

- 1) เมล็ดข้าวโพดบด (Ground corn)
- 2) ถั่วเหลืองไขมันเต็ม (Full-fat soybean)
- 3) มันเส้น (Cassava chips)

3. ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม จำนวน 15 ชนิด ได้แก่

1) กากเนื้อในปาล์มสกัดน้ำมัน (Oilpalm kernel solvent extract) ซื้อมาจากร้านจำหน่ายวัตถุดิบอาหารสัตว์ พื้นที่ จังหวัดชุมพร ขนาดบรรจุ 50 กิโลกรัม/กระสอบ

2) กากเนื้อในปาล์มอัดน้ำมัน (Oilpalm kernel expeller express) ซื้อมาจากร้านจำหน่ายวัตถุดิบอาหารสัตว์ พื้นที่ จังหวัดขอนแก่น ขนาดบรรจุ 60 กิโลกรัม/กระสอบ

3) กากผลปาล์มสกัดน้ำมัน (Oilpalm fruit solvent extract) ซื้อจากร้านจำหน่ายวัตถุดิบอาหารสัตว์ พื้นที่ จังหวัดขอนแก่น ขนาดบรรจุ 50 กิโลกรัม/กระสอบ

4) กากมะพร้าวอัดน้ำมัน (Coconut oil expeller express) ซื้อจากร้านจำหน่ายวัตถุดิบอาหารสัตว์ พื้นที่ จังหวัดสระบุรี ขนาดบรรจุ 50 กิโลกรัม/กระสอบ

5) รำละเอียด (Rice bran with germ) ซื้อจากร้านจำหน่ายวัตถุดิบอาหารสัตว์ พื้นที่ จังหวัดขอนแก่น ขนาดบรรจุ 50 กิโลกรัม/กระสอบ

6) รำป่นแก้ว หรือรำกลาง (Rice bran) ซื้อจากร้านจำหน่ายวัตถุดิบอาหารสัตว์ พื้นที่ จังหวัดขอนแก่น ขนาดบรรจุ 50 กิโลกรัม/กระสอบ

7) ปลายข้าว (Broken rice) ซื้อจากร้านจำหน่ายวัตถุดิบอาหารสัตว์ พื้นที่ จังหวัดขอนแก่น ขนาดบรรจุ 50 กิโลกรัม/กระสอบ

8) ผิวเมล็ดถั่วเขียวบด (Mung bean seed coat) ซื้อจากร้านจำหน่ายวัตถุดิบอาหารสัตว์ พื้นที่ จังหวัดสระบุรีขนาดบรรจุ 50 กิโลกรัม/กระสอบ

9) ผิวเมล็ดถั่วเหลืองอัดเม็ด (Soybean hulls) ซื้อจากสหกรณ์โคนม พื้นที่ จังหวัดขอนแก่น ขนาดบรรจุ 50 กิโลกรัม/กระสอบ

10) กากถั่วเหลือง (Soybean meal) ซื้อจากร้านจำหน่ายวัตถุดิบอาหารสัตว์ พื้นที่ จังหวัดขอนแก่น ขนาดบรรจุ 70 กิโลกรัม/กระสอบ

11) กากมันสำปะหลังสด (Cassava pulp) จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง พื้นที่ จังหวัดขอนแก่น จำหน่ายเป็นคัณรถ นำมาบรรจุในถังพลาสติกพร้อมปิดฝาและล็อคให้สนิท

12) กากเบียร์สด (Brewer's grain) จากผู้แทนจำหน่ายในพื้นที่ จังหวัดขอนแก่น จำหน่ายเป็นถุงบรรจุในถุง 2 ชั้น ชั้นในเป็นถุงพลาสติก ชั้นนอกเป็นกระสอบสาน บรรจุถุงละ 40 กิโลกรัม

13) กากซีอิ๊ว (Soy sauce residue) จากโรงงานผลิตซอสถั่วเหลืองในพื้นที่ จังหวัดฉะเชิงเทรา จำหน่ายโดยตัวแทนในพื้นที่ จังหวัดสกลนคร ขนาดบรรจุ 50 กิโลกรัม/กระสอบ

14) เปลือกฝักและซังข้าวโพดหวานหมัก (Sweet corn husk and cobs) จากโรงงานผลิตเมล็ดข้าวโพดบรรจุกระป๋อง จังหวัดกาญจนบุรี จำหน่ายเป็นคัณรถ จึงนำมาหมักใส่ถัง และบ่มปุ๋ยซีเมนต์ก่อนการนำไปทดลองเป็นเวลา 21 วัน

15) เปลือกสับปะรดหมัก (Pineapple peels) ซื้อจากผู้แทนจำหน่ายในพื้นที่ จังหวัดขอนแก่น บรรจุใส่ถุงพลาสติกสวมทับด้วยกระสอบสานบรรจุถุงละ 25 กิโลกรัม

4. วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จำนวน 2 ชนิด ได้แก่

1) ต้นข้าวโพดฝักอ่อนหมัก (Baby corn stovers) ซื้อจากผู้แทนจำหน่ายในพื้นที่ จังหวัดนครราชสีมา สับบรรจุใส่ถุงพลาสติกสวมทับด้วยกระสอบสานบรรจุถุงละ 25 กิโลกรัม

2) ฟางข้าว (Rice straw) ซื้อจากผู้แทนจำหน่ายในพื้นที่ จังหวัดขอนแก่น อัดเป็นก้อน ก้อนละประมาณ 20 กิโลกรัม

การจัดการอาหารทดลอง

การทดลองแต่ละรอบ โคทดลองจะได้รับอาหารหยาบที่สามารถให้กินเป็นอาหารเดียวได้ เรียกว่า อาหารฐาน และให้กินร่วมกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ที่ไม่สามารถให้โคทดลองกินเป็นอาหารเดียวได้ เรียกว่า อาหารทดสอบ (Test feed) แต่ละรอบของการ ทดสอบจะมีทั้งหมด 4 Period ยกเว้นบางรอบของการทดลองที่ให้โคทั้ง 4 ตัว กินอาหารชนิดเดียวกันพร้อม กันใน Period เดียวกัน และในรอบการทดลองถัดไปจะเปลี่ยนอาหารฐาน และอาหารทดสอบ เป็นชนิดอื่น ดัง ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วัตถุดิบอาหารโคนมที่ใช้ในการศึกษาในแต่ละรอบการให้โคทดลองกิน

อาหารฐาน (T1)	T1 + อาหารทดสอบ	T1 + อาหารทดสอบ	T1 + อาหารทดสอบ
หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมัก	T1 + รำละเอียด 42%	T1 + ปลาข้าว 41%	T1 + กากเนื้อในปาล์มสกัด น้ำมัน 46%
ต้นข้าวโพดพร้อมฝักหมัก	T1 + กากผลปาล์มสกัด น้ำมัน 38%	T1 + รำปิ่นแก้ว 26%	T1 + เมล็ดข้าวโพดบด 32%
หญ้าแพงโกลาแห้ง	T1+ กากเปียร์สด 24%	T1 + กากมะพร้าวอัด น้ำมัน 32%	T1 + ถั่วเหลืองไขมันเต็ม 33%
ต้นข้าวโพดฝักอ่อนหลังเก็บฝัก หมัก	T1 + ผิวเมล็ดถั่วเขียวบด 21%	T1 + กากเนื้อในปาล์มอัด น้ำมัน 32 %	T1 + ผิวเมล็ดถั่วเหลือง อัดเม็ด 31%
ต้นข้าวโพดฝักอ่อนหลังเก็บฝัก หมัก	T1 + มันเส้น 35% ^ก	-	-
เปลือกฝักและซังข้าวโพดหวาน หมัก ^ข	-	-	-
ถั่วท่าพระสไตโลแห้ง	T1 + ฟางข้าว 50%	T1 + เปลือกสับประดหมัก 25%	T1 + กากมันสำปะหลังสด 30%
หญ้ารูซี่หมัก	T1 + กระถินสับ 35%	T1 + กากถั่วเหลือง 35 %	T1 + กากซีอิ้ว 25%
ถั่วพลูรีเกรซแห้ง	ถั่วท่าพระสไตโลหมัก	หญ่ากินนีสีม่วงหมัก	ถั่วคาวาลเคดแห้ง

^ก หมายถึง มันเส้น ที่ให้กินร่วมกับต้นข้าวโพดฝักอ่อนหลังเก็บฝักหมัก ที่ทราบค่าโภชนะที่ย่อยได้และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ แล้วซึ่งเหลือจากการทดลองก่อนหน้านี้ รอบนี้จึงให้โคทั้ง 4 ตัว กินต้นข้าวโพดฝักอ่อนหลังเก็บฝักหมักร่วมกับมันเส้น พร้อมกันภายใน 1 Period

^ข หมายถึง เปลือกฝักและซังข้าวโพดหวานหมัก ทำการทดลองให้โคทั้ง 4 ตัว กินเป็นอาหารเดียวพร้อมกันภายใน 1 Period

วัตถุดิบอาหารโคนมแต่ละชนิด จะให้โคทดลองกินในสัดส่วนที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากแต่ละชนิดมี องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน แต่จะให้กินในสัดส่วนสูงสุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ทดลอง และมีค่าโปรตีน ในสูตรอาหาร ไม่น้อยกว่า 7% เพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะหมัก กำหนด ปริมาณอาหารที่ให้โคทดลองกิน เท่ากับ 1.0–1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เพื่อให้ได้โภชนะใกล้เคียงกับ ความ ต้องการระดับดำรงชีพ โดยแบ่งอาหารให้โคกิน วันละ 2 มื้อ (เวลา 09.30 น. และ 17.00 น.)

การประเมินคุณค่าทางโภชนา

ประเมินคุณค่าทางโภชนาของอาหารสัตว์โดยใช้เทคนิคการเก็บรวบรวมทั้งหมด (Total collection) ควบคู่ไปกับการวัดปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมักในกระเพาะรูเมนโดยใช้ชุดวัดค่าการหายใจระบบเปิด (Open-circuit system with ventilated hood-type respiration calorimeters) และคำนวณค่าการย่อยได้ของโภชนาต่าง ๆ ของวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยวิธีการหักลบ (Digestibility by difference) จากอาหารฐานตามวิธีการของ Schneider and Flatt (1975)

ในช่วงการเก็บข้อมูลของการทดลองในแต่ละระยะการทดลอง ดำเนินการโดยการบันทึกปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณมูลและปัสสาวะของโคเป็นรายตัว เก็บรวบรวมมูลทั้งหมดใส่ในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิด ส่วนปัสสาวะเก็บในถังพลาสติกที่เติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 20% (v/v) ปริมาณที่ใช้ขึ้นกับระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต้องไม่เกิน 3.5 ทำการสุ่มย่อย (Subsampling) เพื่อเก็บตัวอย่างมูลประมาณ 1 กิโลกรัม/ตัว/วัน และปัสสาวะประมาณ 350 มิลลิลิตร/ตัว/วัน เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อครบ 6 วัน นำตัวอย่างมูลและปัสสาวะแยกเป็นรายตัวมาชั่งน้ำหนักตามสัดส่วนที่ขับถ่ายในแต่ละวัน ((ปริมาณสิ่งขับถ่ายที่ต้องการ × ปริมาณสิ่งขับถ่ายแต่ละวัน) / ปริมาณสิ่งขับถ่ายรวม 6 วัน) จากนั้นนำตัวอย่างสิ่งขับถ่ายของโคแต่ละตัวของแต่ละวันมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วจึงสุ่มย่อยอีกครั้ง โดยมูลสุ่มตัวละ 2 กิโลกรัม แบ่งชั่งใส่ภาด 1 กิโลกรัม จำนวน 2 ภาด ส่วนปัสสาวะสุ่มตัวละประมาณ 300 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ในห้วงเวลาเดียวกัน บันทึกปริมาณก๊าซมีเทนของโคเป็นรายตัว โดยชุดอุปกรณ์สามารถบันทึกปริมาณก๊าซได้วันละ 2 ตัว จึงสลับการบันทึกวันละ 2 ตัว ตลอด 6 วัน (โคทั้ง 4 ตัว ถูกบันทึกปริมาณก๊าซมีเทนเป็นเวลา 3 วัน) บันทึกอัตราการไหลของอากาศ และความเข้มข้นของก๊าซมีเทนภายในตู้และนอกตู้ ตลอดทั้งวัน ยกเว้นช่วง 09.00 น.- 09.30 น. ของทุกวัน จะหยุดการบันทึกเพื่อเปิดตู้ทำความสะอาดรางอาหาร และให้อาหารมื่อเช้า พร้อมทั้งทำการ Calibrate เครื่องวัดก๊าซมีเทน (Gas analyzer) ด้วยก๊าซมีเทนมาตรฐานในระดับสูงสุด (Span gas) และ ระดับต่ำสุด (Zero gas) แต่การให้อาหารมื่อ 17.00 น. ไม่หยุดการบันทึก โดยจะเปิดตู้ให้อาหารในช่วงเวลาที่เครื่องบันทึกอากาศภายนอกตู้ซึ่งใช้เวลาไม่เกิน 30 วินาที โดยไม่มีผลกระทบต่อการบินบันทึกก๊าซแต่อย่างใด

การวิเคราะห์ทางเคมี

ตัวอย่างอาหารที่อยู่ในรูปของการหมัก (ได้แก่ หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมัก ต้นข้าวโพดพร้อมฝักหมัก หญ้ากีนีสีม่วงหมัก หญ้ารูชีหมัก ถั่วท่าพระสโตโลหมัก เปลือกสับปะรดหมัก เปลือกฝักและซังข้าวโพดหมัก และต้นข้าวโพดฝักอ่อนหลังเก็บฝักหมัก) ดำเนินการโดยการสุ่มเก็บตัวอย่างในรูปสดหลาย ๆ จุด จากนั้นนำมาผสมกันสุ่มตัวอย่างให้เหลือ ประมาณ 100 กรัม สำหรับนำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตามวิธีการของ (JLTA, 2000) ด้วยเครื่องวัด pH (Ohaus, รุ่น Starter 3100, USA)

สำหรับตัวอย่างอาหารที่มีความชื้นสูง (ได้แก่ หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมัก ต้นข้าวโพดพร้อมฝักหมัก หญ้ากีนีสีม่วงหมัก หญ้ารูชีหมัก ถั่วท่าพระสโตโลหมัก เปลือกสับปะรดหมัก เปลือกฝักและซังข้าวโพดหมัก

กากเบียร์สด กากมันสำปะหลังสด และต้นข้าวโพดฝักอ่อนหลังเก็บฝักหมัก) ดำเนินการโดยนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 48 ชั่วโมงหรือจนแห้ง ส่วนอาหารที่มีความชื้นต่ำไม่จำเป็นต้องอบ นำตัวอย่างอาหารไปบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าความชื้น (Moisture) ตามวิธีการของ AOAC 930.15 (2016) เพื่อคำนวณหาค่าวัตถุแห้ง (Dry matter, DM) โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) ตามวิธีการของ ISO 5983-2 (2009) ไขมัน (Ether extract, EE) ตามวิธีการของ ISO 6429 (2015) เถ้า (Ash) ตามวิธีการของ AOAC 942.05 (2016) ค่า Detergent fiber analysis ได้แก่ ผนังเซลล์ (Neutral detergent fiber, NDF) ตามวิธีการของ AOAC 2002.04 (2016) ลิกโนเซลลูโลส (Acid detergent fiber, ADF) และลิกนิน (Acid detergent lignin, ADL) ตามวิธีการของ AOAC 973.18 (2016) ค่า GE ตามวิธีการของเครื่อง Automatic isoperibol calorimeter ยี่ห้อ Parr รุ่น 6400 (USA)

ส่วนมูล และอาหารที่มีเหลือ นำไปอบแห้ง บด และวิเคราะห์หาค่าความชื้น EE เถ้า ส่วนประกอบของ NDF ADF และ GE ตามวิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

ตัวอย่างปัสสาวะนำไปวิเคราะห์ค่าไนโตรเจน ตามวิธีการของ ISO 5983-2 (2009) และส่วนหนึ่งนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สำหรับนำไปวิเคราะห์ค่า GE

การคำนวณค่าการย่อยได้ของโภชนะ ค่าพลังงานที่ย่อยได้ และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้

- ค่าโภชนะที่ย่อยได้ (Nutrient digestibility, %)

$$= (\text{ปริมาณโภชนะที่กิน} - \text{ปริมาณโภชนะที่ขับออกในมูล}) \times 100 / \text{ปริมาณโภชนะที่กิน}$$
- ค่าโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrients; TDN, %)

$$= \text{OMD} + (\text{EED} \times 1.25) \text{ (McDonald et al. 2010)}$$

โดยที่ OMD คือปริมาณการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (kg/100 kg) และ EED คือ ปริมาณการย่อยได้ของไขมัน (kg/100 kg)
- ค่าพลังงานที่ย่อยได้ (Digestible energy; DE, Mcal/kgDM)

$$= (\text{พลังงานในอาหารที่กิน} - \text{พลังงานในมูล}) / \text{ปริมาณอาหารที่กิน}$$
- ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy; ME, Mcal/kgDM)

$$= (\text{พลังงานในอาหารที่กิน} - \text{พลังงานในมูล} - \text{พลังงานในปัสสาวะ} - \text{พลังงานที่ขับออกในรูปก๊าซมีเทน}) / \text{ปริมาณอาหารที่กิน}$$
- ปริมาณผลผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน คำนวณจากส่วนต่างของปริมาณก๊าซภายในและภายนอกตู้ โดยก๊าซมีเทน 1 ลิตร มีน้ำหนัก 0.719 กรัม และมีพลังงานรวม 39.54 kJ (Brouwer, 1965)
- ค่าการย่อยได้ของโภชนะโดยวิธีการหักลบ คำนวณได้ดังนี้

$$\% \text{ ค่าโภชนะที่ย่อยได้ของอาหารทดสอบ} = \{ \text{ค่าโภชนะที่ย่อยได้ของอาหารทั้งหมด} - (\text{ค่าโภชนะที่ย่อยได้ของอาหารฐาน} \times \text{สัดส่วนของอาหารฐาน}) \times 100 \} / \text{สัดส่วนของอาหารทดสอบ}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติ นำข้อมูลค่าการย่อยได้ ได้แก่ ค่า DMD OMD CPD EED NDFD ADFD TDN DE และ ME ของวัตถุดิบอาหารโคนม 30 ชนิด มาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในการทดลองครั้งนี้ ได้ทำการทดสอบค่าโภชนะที่ย่อยได้ และค่า ME ของหญ้ากินีสีม่วงหมักโดยให้กินเป็นอาหารเดี่ยว และโดยวิธีให้กินร่วมกับถั่วพลอรินเกอร์หนึ่ง พบว่ามีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ ใกล้เคียงกับวิธีการให้กินเป็นอาหารเดี่ยวจึงไม่ได้มีการรายงานผลแต่อย่างใด แต่ได้มีการนำข้อมูลไปใช้ในการสร้างสมการทำนายค่า ME และ TDN นำข้อมูลทั้งหมดมาจัดเรียง เพื่อเลือกชุดข้อมูลสำหรับการใช้ในการสร้างสมการทำนาย (Calibration set) จำนวน 164 ชุดข้อมูล และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบสมการ (Validation set) จำนวน 40 ชุดข้อมูล โดยการสุ่มเลือกแบบ 5 ข้อมูลเลือก 1 ข้อมูล

สร้างสมการสำหรับใช้ทำนายค่า ME จากค่า DE โดยวิธีการวิเคราะห์ Simple linear regression และสร้างสมการสำหรับทำนายค่า TDN จากค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ Multiple linear regression โดยกำหนดให้การศึกษา (Experiment) เป็นปัจจัยสุ่ม (Random effect) เลือกสมการสำหรับใช้ในการทำนายจากสมการที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยใช้ค่า r-square (Coefficient of determination, R^2) และค่า AIC (Akaike's information criterion) ทวนสอบความใช้ได้ของสมการด้วยชุดข้อมูล Validation set เพื่อทำนายค่า ME หรือ TDN จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่า ค่า ME หรือ TDN ที่ได้จากการทำนายกับค่าที่ได้จากการศึกษา โดยวิเคราะห์แบบ Paired comparison t-test

ผลการทดลองและวิจารณ์

องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารโคนม

องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารโคนม จำนวน 30 ชนิด ดังในตารางที่ 2 โดยองค์ประกอบทางเคมีของพืชอาหารสัตว์ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับในรายงานของคณะกรรมการความต้องการโภชนะโคนมในประเทศไทย (2563) แต่มีบางค่าที่แตกต่างกัน เช่น ค่าโปรตีน และโครงสร้างของเยื่อใยต่าง ๆ ความแตกต่างส่วนหนึ่งเกิดจากอายุการตัดที่มีความแตกต่างกัน

พืชอาหารสัตว์หมัก ได้แก่ หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมัก ต้นข้าวโพดพร้อมฝักหมัก เปลือกฝักและซังข้าวโพดหวานหมัก เปลือกสับปะรดหมัก ต้นข้าวโพดฝักอ่อนหมัก มีค่า pH ในช่วง 3.5-4.2 เป็นช่วงปกติที่พบในพืชหมักที่มีคุณภาพดี (McDonald *et al.*, 1991) ยกเว้น หญ้ารูซี่หมัก มีค่า pH 4.44 สูงกว่า 4.24 เพียงเล็กน้อย ส่วนหญ้างินีสีม่วงหมักที่มีค่า pH 5.23 อาจเนื่องจากมีปริมาณส่วนของน้ำตาลน้อย เมื่อพิจารณาจากค่า NFC ซึ่งค่าต่ำกว่าหญ้านเนเปียร์ปากช่อง 1 (ตารางที่ 2) โดยค่า pH ของหญ้างินีสีม่วงหมัก มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ สุกัญญา และคณะ (2551) และถั่วท่าพระสไตโลหมักมีคุณภาพการหมักต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของพืชหมักทั่วไป เนื่องจากมี pH มากกว่า 4.2 โดยสาเหตุน่าจะเกิดจากการที่ถั่วท่าพระสไตโลพืชตระกูลถั่วจะมีคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (Water soluble carbohydrate, WSC) ต่ำกว่าพืชตระกูลหญ้าแต่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าจึงมีค่าด้านความเป็นกรด (Buffering capacity, BC) สูง ส่งผลต่อกระบวนการหมักทำให้

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารโคนมจำนวน 30 ชนิด

	DM %	Ash	CP	Fat	NDF % DM	NFC	ADF	Lignin	GE Mcal/kgDM	pH
พืชอาหารสัตว์										
หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมัก	17.01	8.37	6.15	2.06	70.04	13.38	52.55	7.56	4.50	3.81
ต้นข้าวโพดรวมฝักหมัก	23.52	6.02	7.69	2.06	56.75	27.48	36.78	4.93	4.93	3.51
หญ้าแพงโกลาแห้ง	84.35	5.52	6.46	1.31	65.45	21.26	44.51	6.05	4.34	Na
หญ้างูนิสมีวงหมัก	20.97	8.32	7.10	2.13	74.43	8.03	50.29	6.63	4.44	5.23
หญ้ารูซี่หมัก	20.89	11.76	12.00	2.09	63.04	11.11	35.78	6.03	4.31	4.44
ถั่วท่าพระสโตโลแห้ง	89.86	6.74	11.49	0.75	62.18	19.37	54.25	11.73	4.40	Na
ถั่วท่าพระสโตโลหมัก	22.49	13.81	18.05	1.71	50.62	15.81	41.26	9.15	4.45	5.23
ถั่วพลูรีเกรซแห้ง	88.20	10.27	16.16	1.32	44.29	27.97	41.21	8.12	4.34	Na
ถั่วควาลเคดแห้ง	88.61	9.17	14.21	1.07	58.72	16.84	48.69	11.30	4.39	Na
กระถินสับ	88.11	6.44	14.24	1.51	62.07	15.74	33.74	15.58	4.59	Na
วัตถุดิบอาหารสัตว์										
เมล็ดข้าวโพดบด	87.62	1.41	8.12	4.26	14.71	71.51	4.33	0.89	4.51	Na
ถั่วเหลืองไขมันเต็ม	92.96	6.05	39.74	19.47	19.43	15.12	10.90	1.95	5.67	Na
มันเส้น	86.73	3.70	2.29	0.40	12.42	81.19	7.44	2.21	4.22	Na
ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม										
รำละเอียด	89.00	5.25	16.75	9.77	5.63	62.60	2.40	0.96	4.75	Na
รำปิ่นแก้ว (รำกลาง)	91.00	14.02	6.27	3.36	59.30	17.06	44.01	15.18	4.22	Na
ปลายข้าว	86.20	0.98	7.41	0.72	8.18	82.71	1.92	0.88	4.28	Na
กากเนื้อในปาล์มสกัดน้ำมัน	90.82	6.78	18.08	1.52	81.48	0.00	58.66	9.00	4.39	Na
กากเนื้อในปาล์มอัดน้ำมัน	92.58	4.24	15.91	11.82	80.52	0.00	50.09	13.91	4.84	Na
กากผลปาล์มสกัดน้ำมัน	95.00	8.49	7.17	9.39	71.16	3.81	57.71	31.54	4.73	Na
กากมะพร้าวอัดน้ำมัน	89.27	4.78	21.04	18.01	62.28	0.00	43.96	12.89	5.15	Na
กากถั่วเหลือง	88.67	6.67	45.37	0.90	16.48	30.58	8.83	0.62	5.12	Na
กากซีอิ๊ว	81.09	17.87	39.16	7.44	29.42	6.11	20.30	2.68	4.57	Na
ผิวเมล็ดถั่วเขียวบด	89.89	11.95	16.84	0.87	44.35	26.00	31.42	4.85	4.01	Na
ผิวเมล็ดถั่วเหลืองอัดเม็ด	89.26	4.38	12.46	1.77	74.44	6.95	53.11	1.90	4.31	Na
กากเปียร์สด	19.25	3.11	32.59	9.54	63.45	0.00	27.00	5.34	5.57	3.73
กากมันสำปะหลังสด	21.40	1.89	1.93	0.44	37.82	57.92	18.59	3.19	4.24	3.66
เปลือกสับปะรดหมัก	8.27	8.83	8.13	1.80	58.46	22.79	31.95	3.01	4.31	4.13
เปลือกฝักและซังข้าวโพดหวานหมัก	19.60	4.85	10.45	7.09	67.23	10.38	31.30	2.97	4.75	4.24
วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร										
ต้นข้าวโพดฝักอ่อนหลังหักฝักหมัก	20.72	9.84	12.10	1.43	69.74	6.89	39.73	6.56	4.37	3.84
ฟางข้าว	95.22	12.89	3.38	0.57	74.04	9.13	52.86	6.24	3.97	Na

*คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (Non-fiber carbohydrate, NFC) = 100 - (CP + EE+ Ash + NDF) (NRC, 2001) หน่วยเป็น %DM;

Na (Not analysis)

ค่า pH ลดลงได้ยากหากไม่เติมสารช่วยหมัก (McDonald *et al.*, 1991) สอดคล้องกับรายงานของ Ozturk *et al.* (2006) ซึ่งพบว่าปัจจัยที่ทำให้ค่า pH หลังการหมักของพืชสูงขึ้นขึ้นกับชนิดของพืช ปริมาณ WSC ในพืช ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้หากมีสูงจะทำให้ถูกย่อยสลายได้ง่ายทำให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียทำให้เกิดกรดได้ยากขึ้น และเกิดจากพืชมีค่า BC สูง

วัตถุดิบอาหารสัตว์ ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ตารางที่ 2) มีค่าองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับรายงานของ ราไฟร และคณะ (2553); จีระชัย (2561); คณะกรรมการความต้องการโภชนาโคมนในประเทศไทย (2563); Sruamsiri *et al.* (2007) และ Keaokliang *et al.* (2018) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะวัตถุดิบต่าง ๆ เหล่านี้ได้มาจากอุตสาหกรรมที่มีขั้นตอน กระบวนการผลิตที่คล้ายกัน และเป็นไปตาม ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของอาหารสัตว์ควบคุมเฉพาะ ประเภทวัตถุดิบ พ.ศ. 2558 (กรมปศุสัตว์, 2566)

กากเนื้อในปาล์มสกัดน้ำมันและกากเนื้อในปาล์มอัดน้ำมันมีค่า NFC เท่ากับ -7.86 และ -12.49 %DM ตามลำดับ ในตารางที่ 2 ได้แสดงค่าเป็น 0.00 %DM ในรายงานของ Wong and Wan Zahari (2011) กากเนื้อในปาล์มสกัดน้ำมันและกากเนื้อในปาล์มอัดน้ำมันมีค่า NFC เท่ากับ 2.7 และ -17.3 %DM และในรายงานของ Ferreira *et al.* (2012) กากเนื้อในปาล์มอัดน้ำมัน มีส่วนของ NFC เท่ากับ 4.5 %DM ความแปรปรวนของค่า NFC อาจมีผลมาจากการเกิด Maillard reaction ระหว่างแมนโนสกับกลุ่มของกรดอะมิโนในกระบวนการสกัดน้ำมันที่มีการใช้ความร้อนทำให้เกิดสารประกอบสีน้ำตาล (Abdeltawab and Khattab, 2018) สอดคล้องกับรายงานของ Jahromi *et al.* (2016) ส่วนผนังเซลล์ของกากปาล์มมีส่วนประกอบของ Mannan สูงถึง 58%

ค่าโภชนาที่ย่อยได้ และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้

คุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ ค่าโภชนาที่ย่อยได้ ค่าพลังงานย่อยได้และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ ดังในตารางที่ 3 โดยขั้นตอนการดำเนินงานและการคำนวณอย่างละเอียดแสดงใน วรรณ และคณะ (2562) และ วรรณ และคณะ (2563)

หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมักมีค่า TDN เท่ากับ 50.4% จัดเป็นพืชหมักที่มีคุณภาพต่ำ (TDN ต่ำกว่า 55%) (Lemus, 2020) เนื่องจากหญ้ามียายุ 80 วัน จากการตรวจเอกสารไม่พบรายงานค่าโภชนาที่ย่อยได้ของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมัก ด้วยวิธีวัดโดยตรงจากตัวสัตว์ อย่างไรก็ตาม มีการทดสอบค่าการย่อยสลายของโภชนา (Nutrient degradability) ด้วยเทคนิคหย่อนลงในลำ (in sacco) ของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 สด อายุ 65 วัน ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนามาตรฐานอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง (ติดต่อบุคคล) โดยมีค่าการย่อยสลายของวัตถุแห้ง (Dry matter degradability, DMD) และค่าการย่อยได้ของผนังเซลล์ (Neutral detergent fiber degradability, NDFD) เท่ากับ 65.5 และ 63.4 %DM ตามลำดับ สูงกว่าการทดลองครั้งนี้

ตารางที่ 3 ค่าการย่อยได้ของโภชนะและค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารโคนม 30 ชนิด

รายการ	DMD	OMD	CPD	EED	NDFD	ADFD	TDN	DE	ME
	<----- %DM ----->							<-- Mcal/kgDM -->	
พืชอาหารสัตว์									
หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 หมัก	51.3	53.4	50.6	55.8	48.7	48.6	50.4	2.60	2.10
SD	3.9	3.8	3.9	4.9	4.5	8.0	3.6	0.17	0.18
ต้นข้าวโพดพร้อมฝักหมัก	60.8	62.6	54.5	75.5	47.6	50.2	60.8	2.72	2.31
SD	3.1	3.3	4.2	8.4	5.1	5.5	2.9	0.14	0.11
หญ้าแพงโกลาแห้ง	55.3	58.2	43.0	37.8	54.9	58.2	55.6	2.31	1.90
SD	5.4	5.4	3.7	4.5	6.9	7.0	5.2	0.24	0.24
หญ้างูนิสีม่วงหมัก	59.9	60.3	53.0	63.4	69.4	68.7	57.0	2.52	1.81
SD	2.1	2.3	1.8	14.8	5.2	5.8	2.2	0.15	0.28
หญ้ารูซี่หมัก	62.6	64.7	64.3	40.6	65.5	53.6	58.2	2.60	2.05
SD	2.6	2.4	0.9	9.8	3.9	11.0	2.4	0.12	0.15
ถั่วท่าพระสโตโลแห้ง	45.4	46.7	62.5	54.4	32.2	34.9	44.3	1.84	1.39
SD	3.3	3.7	7.1	7.8	3.1	6.5	3.6	0.18	0.16
ถั่วท่าพระสโตโลหมัก	55.9	58.0	63.5	43.2	54.9	51.0	50.9	2.44	1.94
SD	1.5	0.9	0.5	3.7	3.6	1.6	0.8	0.06	0.04
ถั่วฟลอริเกรซแห้ง	63.0	66.0	73.3	58.7	55.0	59.9	60.1	2.70	2.23
SD	6.8	6.2	5.4	7.4	7.8	5.2	5.8	0.30	0.45
ถั่วคาวาลเคดแห้ง	53.7	54.5	64.0	35.8	49.8	51.0	50.0	2.25	1.86
SD	5.3	5.5	3.6	8.5	8.3	5.2	5.1	0.26	0.39
กระถินสับ	37.6	39.7	48.1	32.8	24.8	0.0	38.0	1.57	1.35
SD	6.7	8.7	13.3	7.9	9.3	0.0	7.3	0.32	0.28
วัตถุดิบอาหารสัตว์									
เมล็ดข้าวโพดบด	72.3	75.6	55.6	93.2	49.5	45.6	78.8	3.22	2.93
SD	8.8	6.2	28.2	9.4	5.3	11.1	5.7	0.20	0.19
ถั่วเหลืองไขมันเต็ม	79.6	82.5	89.2	95.1	62.5	63.9	102.4	4.58	3.80
SD	12.1	11.8	5.6	1.7	14.9	9.8	11.1	0.52	0.45
มันเส้น	77.6	82.1	29.0	72.6	40.2	20.2	78.5	3.35	2.91
SD	2.5	3.0	1.9	28.9	7.7	3.1	2.7	0.09	0.18
ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม									
รำละเอียด	71.6	75.3	84.7	118.0	40.9	31.6	82.0	3.3	3.0
SD	16.3	15.1	17.1	10.1	1.6	2.3	14.1	0.59	0.62
รำปิ่นแก้ว	41.7	47.9	68.6	77.2	24.1	20.6	34.8	1.92	1.53
SD	12.3	13.9	10.7	19.1	22.4	11.8	11.8	0.59	0.44

DMD (Dry matter digestibility); OMD (Organic matter digestibility); CP (Crude protein digestibility); EED (Ether extraction digestibility); NDFD (Neutral detergent digestibility); ADFD (Acid detergent digestibility); TDN (Total digestible nutrients); DE (Digestible energy); ME (Metabolizable energy)

ตารางที่ 3 ค่าการย่อยได้ของโภชนะและค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารโคนม 30 ชนิด (ต่อ)

รายการ	DMD	OMD	CPD	EED	NDFD	ADFD	TDN	DE	ME
	<----- % ----->							<-Mcal/kgDM->	
ปลายข้าว	82.7	85.1	46.4	57.4	32.4	18.3	83.5	3.22	2.88
SD	7.1	5.9	11.8	19.6	18.0	11.4	5.7	0.53	0.53
กากเนื้อในปาล์มสกัดน้ำมัน	85.6	88.1	93.0	93.9	88.1	81.2	83.8	3.55	3.11
SD	14.0	13.4	13.4	19.4	17.9	19.7	12.9	0.60	0.67
กากเนื้อในปาล์มอัดน้ำมัน	64.6	67.4	70.9	80.1	62.8	45.5	78.9	3.09	2.69
SD	10.8	11.0	12.6	4.9	8.6	43.7	10.5	0.61	0.52
กากผลปาล์มสกัดน้ำมัน	43.2	45.2	56.6	94.9	30.6	22.3	52.1	2.15	1.86
SD	4.2	2.4	9.8	8.1	6.5	7.4	1.6	0.16	0.10
กากมะพร้าวอัดน้ำมัน	70.4	71.1	84.9	98.9	57.7	54.6	89.9	3.73	3.36
SD	11.8	11.3	11.4	2.9	11.5	15.4	11.3	0.61	0.64
กากถั่วเหลือง	92.2	94.0	120.7	65.5	72.5	76.8	87.7	4.74	3.68
SD	8.0	6.4	4.1	6.5	15.9	39.5	5.9	0.37	0.38
กากซีอิ๊ว	78.8	73.5	87.0	160.7	75.7	69.3	69.8	3.31	2.45
SD	11.2	10.9	14.0	43.3	22.0	53.3	10.7	0.60	0.76
ผิวเมล็ดถั่วเขียว	62.0	65.7	58.5	70.1	48.0	43.4	58.8	2.46	1.93
SD	6.7	4.7	4.1	19.0	7.9	5.2	4.6	0.61	0.65
ผิวเมล็ดถั่วเหลืองอัดเม็ด	78.5	80.2	58.9	71.5	82.3	70.9	77.1	3.20	2.71
SD	8.1	7.5	5.8	24.4	12.4	24.8	6.6	0.40	0.48
กากเปียร์สด	61.9	68.4	89.0	87.9	67.8	58.7	76.7	3.76	3.24
SD	23.2	19.0	11.0	5.6	24.2	4.2	18.3	0.96	0.88
กากมันสำปะหลังสด	76.7	79.5	19.7	58.8	41.6	17.8	77.3	3.14	2.91
SD	9.3	11.5	9.7	14.4	9.1	7.9	11.0	0.50	0.26
เปลือกสับปะรดหมัก	65.8	66.3	37.4	75.3	65.0	44.2	62.3	2.74	2.03
SD	6.5	11.0	11.1	34.2	12.6	24.9	10.7	0.46	0.51
เปลือกฝักและซังข้าวโพดหวานหมัก	58.6	59.8	62.8	92.7	53.7	48.0	65.2	2.91	2.59
SD	5.8	5.9	6.7	2.2	7.0	5.4	5.7	0.28	0.30
วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร									
ต้นข้าวโพดฝักอ่อนหลังเก็บฝักหมัก	55.3	56.6	65.8	55.6	55.7	45.7	52.0	2.39	2.03
SD	1.7	1.9	1.6	15.6	2.2	11.5	1.9	0.11	0.10
ฟางข้าว	51.3	53.1	28.7	65.4	62.9	59.3	46.6	1.95	1.62
SD	5.2	5.8	12.1	17.0	3.9	10.8	5.5	0.30	0.44

DMD (Dry matter digestibility); OMD (Organic matter digestibility); CP (Crude protein digestibility); EED (Ether extraction digestibility); NDFD (Neutral detergent digestibility); ADFD (Acid detergent digestibility); TDN (Total digestible nutrients); DE (Digestible energy); ME (Metabolizable energy)

ต้นข้าวโพดพร้อมฝักหมักมีค่า TDN เท่ากับ 60.8% จัดเป็นพืชหมักที่มีคุณภาพดีมีค่า TDN ในช่วง 60 - 64% (Lemus, 2020) นอกจากนี้มีรายงานของ นฤมล และคณะ (2544) ที่ทดสอบค่าโภชนะที่ย่อยได้ด้วยวิธี

วัดโดยตรงจากโคเพศเมีย มีค่า DMD และ OMD เท่ากับ 61.1 และ 65.2% ตามลำดับ และในรายงานเดียวกันนี้มีค่า DCP เท่ากับ 49.4% ต่ำกว่าการทดลองครั้งนี้ แต่มีค่า NDFD และ TDN สูงกว่า เท่ากับ 57.2 และ 65.2% ตามลำดับ แต่มีค่า DE และ ME ใกล้เคียงกัน คือ 2.8 และ 2.4 Mcal/kgDM ตามลำดับ นอกจากนี้มีรายงานของ วรธนา และคณะ (2564) ที่ศึกษาค่าโภชนาที่ย่อยได้และค่า ME ของข้าวโพดสุพรรณ 4452 หมักที่ระยะเส้นน้ำนม 50 และ 75% พบว่า มีค่า DMD CPD NDFD TDN และ ME ในช่วง 62.3-63.6 60.6-63.9 52.2-53.9 61.8-62.8% และ 2.36-2.61 Mcal/kgDM ตามลำดับ ค่อนข้างสูงกว่าการทดลองครั้งนี้เล็กน้อย ความแตกต่างของค่าการย่อยได้ของโภชนาและค่า ME อาจเป็นผลจากช่วงอายุการตัด และการจัดการแปลงที่มีผลต่อความสมบูรณ์ของลำต้น ดังในรายงานของ Di Marco *et al.* (2002) พบว่าข้าวโพดตัดที่ระยะเส้นน้ำนม 75% มีแนวโน้มมีค่า IVTDMD และ NDFD สูงกว่าที่ระยะเส้นน้ำนม 25% และ 50% เนื่องจากมีส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายอยู่และมีมากขึ้นตามระยะเส้นน้ำนมที่เพิ่มขึ้น

หญ้าแพนโกลาแห้งที่อายุการตัด 45 วัน มีค่าการย่อยได้ของโภชนาอยู่ในระดับปานกลาง และมีค่า TDN เท่ากับ 55.6% จัดเป็นหญ้าแห้งคุณภาพดี (Lemus, 2020) ซึ่งค่าโภชนาที่ย่อยได้ของหญ้าแพนโกลาแห้งที่ศึกษาด้วยวิธีวัดโดยตรงจากสัตว์มีรายงานของ Cheva-Isarakul *et al.* (2009) ใช้หญ้าแพนโกลา อายุ 45-50 วัน มี CP และ NDF เท่ากับ 7.3 และ 66.5 %DM ตามลำดับ มีค่า DMD CPD NDFD และ TDN เท่ากับ 61.4 41.2 68.2 และ 62.7% ตามลำดับ ใกล้เคียงกับรายงานของ วรธนา และคณะ (2549) ใช้หญ้าแพนโกลา อายุ 45 วัน มี CP NDF และ ADL เท่ากับ 10.5 66.1 และ 4.0 %DM ตามลำดับ มีค่า DMD CPD NDFD และ TDN เท่ากับ 61.0 62.0 67.9 และ 60.2% ตามลำดับ สูงกว่าการทดลองครั้งนี้ที่ใช้หญ้าแพนโกลาที่มีคุณภาพต่ำกว่า แต่มีค่าใกล้เคียงกับ แพรพรรณ และคณะ (2559) ทดสอบค่า ME ในโคเนื้อเพศผู้ด้วยวิธีวัดโดยตรงจากตัวสัตว์ พบว่า หญ้าแพนโกลา มีค่า CP NDF ADF และ ADL เท่ากับ 7.9 70.8 42.9 และ 6.4 %DM ตามลำดับ มีค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบ โปรตีน NDF ADF และ TDN เท่ากับ 64.4 54.6 69.3 66.3 และ 59.9% ตามลำดับ และมีค่า DE และ ME เท่ากับ 2.39 และ 1.90 Mcal/kgDM ตามลำดับ

หญ้างูนิสมีงหมัก จัดอยู่ในเกณฑ์คุณภาพปานกลางโดยมีค่า TDN เท่ากับ 57.0% (Lemus, 2020) จากการตรวจเอกสารมีเพียงรายงานของ วรธนา และคณะ (2551) ที่ศึกษาในหญ้างูนิสมีงแห้งและหญ้างูนิสมีงสด ที่อายุ 40 วัน ด้วยวิธีวัดโดยตรงจากตัวสัตว์โดยใช้โคบราห์มันเพศผู้ และรายงานว่าหญ้างูนิสมีงแห้งมีค่า CP เท่ากับ 8.6%DM มีค่า DMD DCP DNDF ADFD และ TDN เท่ากับ 59.8 60.7 65.1 64.1 และ 55.4% ตามลำดับ และมีค่า ME เท่ากับ 1.86 Mcal/kgDM ส่วนหญ้างูนิสมีงสด มีค่า CP 7.2%DM มีค่า DMD DCP DNDF ADFD และ TDN เท่ากับ 57.2 58.4 63.2 60.5 และ 54.3% ตามลำดับ และมีค่า ME เท่ากับ 1.8 Mcal/kgDM หญ้างูนิสในรูปแห้งและสดมีค่าการย่อยได้ของโภชนาต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน และไม่ต่างกับการทดลองนี้

หญ้ารูซี่หมักจัดอยู่ในเกณฑ์คุณภาพดีโดยมีค่า TDN เท่ากับ 58.2% (Lemus, 2020) จากรายงานของ Teagasc (2016) กำหนดให้หญ้าหมักที่มีค่า DMD ตั้งแต่ 72% จัดเป็นหญ้าหมักคุณภาพดีเหมาะสมกับการนำไปเลี้ยงโค เนื่องจากจะมีการเสริมอาหารชั้นในระดับต่ำซึ่งจะมีความคุ้มค่า ส่วนหญ้าหมักที่มีค่า DMD 66-68 % เหมาะกับการใช้เลี้ยงแม่โคพักรีด (Dry cow) จากการตรวจเอกสารไม่พบรายงานค่าโภชนาที่ย่อยได้ของ

หญ้าที่หมักที่ไม่มีการเติมสารเสริมด้วยวิธีวัดจากตัวสัตว์ อย่างไรก็ตาม พบรายงานหญ้าที่หมักที่เติมกากน้ำตาล 5% (สมสุข และคณะ, 2545) ทำการศึกษาค่าโภชนาที่น้อยได้ในโคนมพักรีด พบว่ามีค่า DMD CPD EED NDFD ADFD และ TDN เท่ากับ 59.0 43.6 54.7 59.5 57.5 และ 57.7 % ตามลำดับ และมีค่า DE เท่ากับ 2.24 Mcal/kgDM ค่อนข้างต่ำกว่าการทดลองครั้งนี้ เนื่องจากในรายงานดังกล่าวทำหมักในบ่อขนาดใหญ่ ดังนั้นอาจมีการทยอยตัดหญ้าลงบ่อทำให้หญ้ามีอายุที่แตกต่างกัน

ถั่วท่าพระสไตโลแห้ง อายุการตัด 100 วัน มีค่า TDN เท่ากับ 44.3% จัดอยู่ในเกณฑ์ถั่วแห้งคุณภาพต่ำ (Lemus, 2020) มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ วิทยา และคณะ (2547) มีค่าการย่อยได้ของ DMD CPD EED NDFD ADFD และ TDN เท่ากับ 41.9 60.5 44.7 31.4 32.7 และ 40.6% ตามลำดับ และมีค่า DE และ ME ที่วัดโดยตรงจากตัวสัตว์แต่วัดปริมาณก๊าซมีเทนด้วยวิธีใช้หน้ากาก (Face mask) เท่ากับ 1.58 และ 1.20 Mcal/kgDM ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเฉพาะส่วนของใบถั่วท่าพระสไตโล ที่รายงานโดย พิมพ์พร และคณะ (2552) ที่ศึกษาค่า ME โดยวิธีการเดียวกับการทดลองครั้งนี้ มีค่า DMD CPD EED NDFD ADFD และ TDN เท่ากับ 63.1 67.4 37.3 61.8 51.4 และ 59.9 % ตามลำดับ และมีค่า DE และ ME เท่ากับ 2.58 และ 1.99 Mcal/kgDM ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าการทดลองครั้งนี้ และสูงกว่าในรายงานของ วิทยา และคณะ (2547) เนื่องจากรายงานดังกล่าวเป็นค่าที่ได้จากส่วนของใบถั่วท่าพระสไตโล ไม่รวมส่วนของลำต้น นอกจากนี้ถั่วท่าพระสไตโลแห้งมีปริมาณลิกนินสูงถึง 11.7 %DM (ตารางที่ 3) ปริมาณลิกนินมีผลต่อค่าการย่อยได้ของโภชนาเนื่องจากลิกนินเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างที่แข็งแรง ทำให้เอนไซม์ของจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยโครงสร้างของเยื่อใยที่มีส่วนของลิกนินเกาะอยู่ได้ ส่งผลต่อการย่อยได้ของโภชนาต่าง ๆ ที่อยู่ในเซลล์เหล่านั้นด้วย (Moore and Jung, 2001)

ถั่วท่าพระสไตโลหมัก อายุการตัด 65 วัน จัดเป็นพืชหมักคุณภาพต่ำ โดยมีค่า TDN ต่ำกว่า 55% (Lemus, 2020) และพบว่า มีค่าการย่อยได้ของโภชนาต่าง ๆ รวมทั้งค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ ค่อนข้างสูงกว่าถั่วท่าพระสไตโลแห้ง อาจเนื่องจากถั่วท่าพระสไตโลหมักตัดที่อายุน้อยกว่าที่ตัดทำแห้ง (65 วัน เทียบกับ 100 วัน) และอีกปัจจัยหนึ่งอาจมีผลจากกระบวนการหมักทำให้ส่วนของลำต้นมีความอ่อนนุ่มขึ้น เมื่อโคกินเข้าไปแล้วจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ดีขึ้น (Petit *et al.*, 1985) เช่นเดียวกับรายงานของ Thomas *et al.* (1968) ที่พบว่า ถั่วอัลฟัลฟาหมัก มีค่าการย่อยได้ของ TDN และ DE สูงกว่า ถั่วอัลฟัลฟาแห้ง เท่ากับ 1.7 และ 6.2 % ตามลำดับ โดยไม่ได้มีการอธิบายเหตุผลของความแตกต่าง

ถั่วฟลอริเกรซ อายุการตัด 55 วัน มีค่า TDN เท่ากับ 60.1% จัดอยู่ในเกณฑ์ถั่วแห้งคุณภาพดี (Lemus, 2020) และมีค่าการย่อยได้ของโภชนาอื่น ๆ สูงกว่า 50% จากการตรวจเอกสารยังไม่พบรายงานค่าโภชนาที่น้อยได้และค่า ME ของถั่วฟลอริเกรซที่ศึกษาจากตัวสัตว์โดยตรง มีเพียงรายงานของ วรณา และคณะ (2552) ที่ศึกษาด้วยวิธีการวัดปริมาณก๊าซในหลอดทดลอง ในถั่วลิสกราบาด้า (*Arachis glabrata*) ที่อายุการตัด 45 วัน มีค่า OMD และ ME เท่ากับ 65.0 % และ 2.06 Mcal/kgDM ตามลำดับ

ถั่วควาลเคดแห้ง อายุการตัด 70-75 วัน มีค่า TDN เท่ากับ 50.0% ต่ำกว่า 57% จัดเป็นถั่วแห้งคุณภาพต่ำ (Lemus, 2020) เพ็ญศรี และคณะ (2554) ศึกษาด้วยวิธีเช่นเดียวกับการทดลองครั้งนี้ แต่ใช้โคบราห์มันเพศผู้ระยะโตเต็มวัย และพบว่า ถั่วควาลเคด อายุ 45 วัน มีค่า DMD CPD EED NDFD ADFD

และ TDN เท่ากับ 52.7 66.8 31.4 46.6 42.0 และ 52.8% ตามลำดับ และมีค่า DE และ ME เท่ากับ 2.34 และ 1.82 Mcal/kgDM ตามลำดับ ค่า CPD EED และ TDN สูงกว่าครั้งนี้ แต่มีค่า DE ใกล้เคียง และมีค่า ME ต่ำกว่าเล็กน้อย ข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้ มีแหล่งวัตถุดิบที่อาจมีการจัดการที่ต่างกัน และพันธุ์สัตว์ที่ใช้ทดลองก็มีความแตกต่างกัน ดังนั้นควรมีการศึกษาข้อมูลให้มากขึ้นเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกที่เป็นตัวแทนในการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมั่นใจยิ่งขึ้น

กระถินสับมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ ต่ำกว่า 50% และมีค่า TDN เท่ากับ 38.0% จัดเป็นถั่วแห้งคุณภาพต่ำ (Lemus, 2020) Devandra (1986) ศึกษาคุณค่าทางโภชนะของกระถินในแพะและแกะ และพบว่า กระถินมีค่า CPD และ TDN ในช่วง 9.1-11.4 และ 46.7-67.8% ตามลำดับ และมีค่า DE และ ME ในช่วง 2.06-3.02 และ 1.69-2.47 Mcal/kgDM ตามลำดับ โดยค่า DE และ ME ของกระถินสับมีค่าต่ำกว่าถั่วท่าพระสไตโลแห้งในการทดลองครั้งนี้ เนื่องจากกระถินสับในการทดลองครั้งนี้มีปริมาณลิกนินสูงกว่าถั่วท่าพระสไตโล (15.6 vs 11.7 %DM) (ตารางที่ 3) พืชที่มีปริมาณลิกนินสูงจะมีผลต่อการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืช (Moore and Jung, 2001; Srivastava *et al.*, 2012)

เมล็ดข้าวโพดบดมีค่า DMD OMD EED และ TDN สูงกว่า 70% มีค่า CPD 55.6% และมีค่า NDFD และ ADFD ต่ำกว่า 50% มีค่า TDN DE และ ME ต่ำกว่า NRC (2001) ซึ่งมีค่า TDN DE และ ME เท่ากับ 88.7% 3.85 และ 3.12 Mcal/kgDM ตามลำดับ และในรายงานของ จีระชัย (2561) มีค่า TDN และ ME เท่ากับ 88.5% และ 3.49 Mcal/kgDM ตามลำดับ นอกจากนี้มีรายงานของ บุญล้อม และคณะ (2544) ที่ศึกษาวิธีการวัดปริมาตรก๊าซในหลอดทดลอง (Gas production technique) พบว่า มีค่า OMD เท่ากับ 90.2% และ ME เท่ากับ 3.53 Mcal/kgDM และรายงานของ รำไพโร และคณะ (2553) ที่ศึกษาด้วยวิธีเดียวกัน พบว่า มีค่า OMD เท่ากับ 86.6% และ ME เท่ากับ 3.35 Mcal/kgDM

ถั่วเหลืองไขมันเต็มมีค่าโภชนะต่าง ๆ ที่ย่อยได้สูงกว่า 79% และมีค่า TDN 102.4% ส่วนค่า NDFD และ ADFD มีค่าเท่ากับ 62.5 และ 63.9% และมีค่า DE และ ME เท่ากับ 4.58 และ 3.80 Mcal/kgDM ตามลำดับ ใกล้เคียงกับ NRC (2001) มีค่า TDN DE และ ME เท่ากับ 98.8% 4.72 และ 4.00 Mcal/kgDM ตามลำดับ และใกล้เคียงกับรายงานของ จีระชัย (2561) มีค่า TDN และ ME เท่ากับ 108.4 % และ 4.06 Mcal/kgDM ตามลำดับ เนื่องจากถั่วเหลืองไขมันเต็ม เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเมล็ดถั่วเหลืองไขมันเต็มมาแกะเปลือกออก แล้วนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนในปริมาณที่สูงพอดี (Extruded) ดังนั้นอาจมีต่างกันบ้างในส่วนของคุณสมบัติและระยะเวลาในกระบวนการทำให้สุก แต่ไม่ส่งผลให้คุณค่าโภชนะที่ย่อยได้และค่าพลังงานไม่ต่างกันมากนัก

มันเส้นมีค่า DMD OMD EED และ TDN สูงกว่า 72% แต่มีค่า CPD NDFD และ ADFD ต่ำกว่า 50% ซึ่ง มีค่าต่ำกว่า Nitipot (2010) ที่ศึกษาในโคพื้นเมืองเพศผู้ โดยวิธีการเดียวกับการทดลองครั้งนี้ มีค่า DMD OMD CPD NDFD ADFD และ TDN เท่ากับ 83.1 89.4 63.64 33.0 30.6 และ 82.2 % ตามลำดับ ยกเว้นมีค่า DE และ ME เท่ากับ 3.48 และ 2.87 Mcal/kgDM ตามลำดับซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองในครั้งนี้ นอกจากนี้พบว่าการทดลองครั้งนี้มีค่า OMD ต่ำกว่ารายงานของ Feedipedia (2020) กรณีมันเส้นมีแป้ง 70-74 % มีค่า OMD เท่ากับ 87.9 % เนื่องจากมันเส้นในงานทดลองนี้มีค่า NFC เท่ากับ 81.2 %DM (ตารางที่ 2) ส่วนค่า

TDN มีค่าสูงกว่า NDDB (2012) มีค่าเท่ากับ 67.0 % ค่า ME ใกล้เคียงกับที่ Feedipedia (2020) รายงานไว้เท่ากับ 2.92 Mcal/kgDM

รำละเอียดมีค่า DMD OMD CPD และ TDN สูงกว่า 71% และมีค่า EED เกิน 100% เนื่องจากการทดลองครั้งนี้เป็นการหาค่าการย่อยได้ปรากฏ และใช้วิธีการคำนวณแบบหักลบกับอาหารฐาน ควรมีการศึกษา ค่า EED ในรำละเอียดเพิ่มเติม ส่วนค่า NDFD และ ADFD มีค่าต่ำกว่า 50% ใกล้เคียงกับ NRC (2001) มีค่า TDN DE และ ME เท่ากับ 84.8 % 3.85 และ 3.12 Mcal/kgDM ตามลำดับ มีค่า DMD OMD และ NDFD ต่ำกว่าในรายงานของ นันทนา และคณะ (2553) ที่ทดสอบด้วยวิธีวัดโดยตรงในโคพื้นเมืองเพศผู้ มีค่า เท่ากับ 75.96 77.49 และ 45.58% ตามลำดับ แต่มีค่า CPD และ TDN สูงกว่ารายงานดังกล่าวซึ่งเท่ากับ 81.36 และ 74.29 % ตามลำดับ และมีค่า DE และ ME ใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้ เท่ากับ 3.51 และ 2.95 Mcal/kgDM ตามลำดับ

รำป็นแก้ว หรือรำโรงสีขนาดกลางซึ่งเป็นรำที่มีส่วนของรำละเอียดและรำหยาบปนกันมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ ต่ำกว่ารำละเอียดในการทดลองครั้งนี้ จากการตรวจสอบเอกสารไม่พบรายงานค่าการย่อยได้ของ โภชนะที่วัดโดยตรงจากตัวสัตว์ มีเพียงรายงานของ รำไพร และคณะ (2553) ที่ศึกษาด้วยวิธีวัดปริมาตรก๊าซในหลอดทดลอง มีค่า OMD เท่ากับ 42.0% และ ค่า ME เท่ากับ 1.70 Mcal/kgDM

ปลายข้าวมีค่าการย่อยได้ของ DMD OMD และ TDN สูงกว่า 80% แต่มีค่า CPD NDFD และ ADFD ต่ำกว่า 50% เนื่องจากปลายข้าวมีส่วนประกอบหลักคือส่วนของแ่งจึงมีส่วนของ CP และเยื่อใยต่ำ จึงอาจมี ผลให้ค่าการย่อยได้ของโภชนะส่วนนี้ต่ำ จากการตรวจสอบเอกสารพบรายงานที่ศึกษาด้วยวิธีการวัดปริมาตรก๊าซใน หลอดทดลองของ รำไพร และคณะ (2553) มีค่า OMD เท่ากับ 94.03 % และ ME เท่ากับ 3.46 Mcal/kgDM

กากเนื้อในปาล์มสกัดน้ำมันมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ และค่า TDN สูงกว่า 80% จากการ ตรวจสอบเอกสารไม่พบรายงานที่มีการศึกษาค่าการย่อยได้ในตัวสัตว์โดยตรง มีเพียงการศึกษาด้วยวิธีการวัด ปริมาตรก๊าซในหลอดทดลองของ รำไพร และคณะ (2553) มีค่า OMD เท่ากับ 60.84 % และ ME เท่ากับ 2.45 Mcal/kgDM นอกจากนี้มีรายงานของ Alimon (2009) ไม่ได้ระบุวิธีการ ซึ่งกากเนื้อในปาล์ม (Palm kernel cake) ในประเทศมาเลเซียมีค่า ME เท่ากับ 2.51 Mcal/kgDM ต่ำกว่าในการทดลองครั้งนี้ เท่ากับ 3.11 Mcal/kgDM

กากเนื้อในปาล์มอัดน้ำมันมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ ค่า DE และ ME ต่ำกว่ากากเนื้อในปาล์ม สกัดน้ำมันในการทดลองเดียวกันนี้ อาจมีผลจากกากเนื้อในปาล์มอัดน้ำมัน มีค่า EE และ ลิกนิน เท่ากับ 11.82 และ 13.91 %DM สูงกว่ากากเนื้อในปาล์มสกัดน้ำมัน (ตารางที่ 2) ซึ่งไขมันสูงจะมีผลต่อการทำงานของ จุลินทรีย์ และลิกนินที่สูงจะมีผลทำให้การย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ ถูกย่อยได้ยากขึ้น (Ishler *et al*, 1996) จากการตรวจสอบเอกสารพบรายงานของ รำไพร และคณะ (2553) ที่ศึกษาด้วยวิธีการวัดปริมาตรก๊าซในหลอด ทดลอง มีค่า OMD เท่ากับ 60.8 % ใกล้เคียงกับรายงานในครั้งนี้ แต่รายงานดังกล่าวมีค่า ME ต่ำกว่า เท่ากับ 2.45 Mcal/kgDM นอกจากนี้มีรายงานของ จีระชัย (2561) กากเนื้อในปาล์มอัดน้ำมัน มีค่า TDN เท่ากับ 66.2 % นอกจากนี้มีรายงานของ Wong and Wan Zahari (2011) ในประเทศมาเลเซีย มีค่า TDN 75.8 % และค่า ME เท่ากับ 2.7 Mcal/kgDM ใกล้เคียงกับการทดลองในครั้งนี้

กากผลปาล์มสกัดน้ำมันมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ ค่า DE และ ME ต่ำกว่า กากเนื้อในปาล์ม สกัดน้ำมัน และกากเนื้อในปาล์มอัดน้ำมัน ในการทดลองเดียวกันนี้ ยกเว้นค่า EED ที่ไม่ต่างกันมากนักซึ่งมีค่า สูงถึง 94.93% (ตารางที่ 3) จากการตรวจเอกสารมีรายงานที่ศึกษาด้วยวิธีการวัดปริมาณก๊าซในหลอดทดลอง เช่น ร้าไพร และคณะ (2553) มีค่า OMD เท่ากับ 45.1% และ ME เท่ากับ 2.08 Mcal/kgDM และในรายงาน ของ จีระชัย (2561) มีค่า TDN เท่ากับ 54.1% ในรายงานที่กล่าวถึงมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองในครั้งนี้

กากมะพร้าวอัดน้ำมันมีค่า DMD OMD CPD EED และ TDN สูงกว่า 70% และมีค่า ME เท่ากับ 3.73 Mcal/kgDM (ตารางที่ 3) จากการตรวจเอกสารมีรายงานของ นันทนา และคณะ (2553) ที่ศึกษาโดยวิธี เดียวกับการทดลองครั้งนี้แต่ศึกษาในโคเนื้อเพศผู้ มีค่า DMD CPD NDFD และ TDN เท่ากับ 54.3 43.2 31.3 และ 52.07 % ตามลำดับ และมีค่า DE และ ME เท่ากับ 2.67 และ 2.37 Mcal/kgDM ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่า การทดลองนี้ แม้ว่ากากมะพร้าวในการทดลองดังกล่าวจะมีค่า โปรตีน และไขมัน ใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้ ก็ตาม

กากถั่วเหลืองมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ สูงกว่า 70% ยกเว้น ค่า EED เท่ากับ 65.49% และมี ค่า CPD สูงเกิน 100% เนื่องจากการทดลองครั้งนี้เป็นการหาค่าการย่อยได้ปรากฏ และใช้วิธีการคำนวณแบบ หักลบกับอาหารฐาน อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาค่า CPD ของกากถั่วเหลืองเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง ต่อไป อย่างไรก็ตามมีรายงานของ Hamid *et al.* (2007) ทำการศึกษาในแกะเพศผู้ ให้กินร่วมกับถั่วอัลฟัลฟา คำนวณค่าการย่อยได้โดยวิธีการหักลบ พบว่า มีค่า DMD OMD CPD EED NDFD และ ADFD เท่ากับ 94.0 90.1 49.2 4.2 44.9 และ 13.0% ตามลำดับ ซึ่งมีค่า DMD และ OMD ไม่ต่างกันมากนัก แต่ค่าการย่อยได้ของ โภชนะอื่น ๆ มีค่าต่ำกว่าในรายงานนี้ อาจเกิดจากความแตกต่างของพันธุ์สัตว์ เนื่องจากโคมีขนาดกระเพาะ หนักใหญ่กว่าแกะจึงทำให้มีการย่อยได้มากกว่า และอัตราการไหลผ่านของอาหารที่แตกต่างกัน

กากซีอิ๊วมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ สูงกว่า 69% และมีค่าการย่อยได้ของไขมันเกิน 100% เนื่องจากการทดลองครั้งนี้เป็นการหาค่าการย่อยได้ปรากฏ และใช้วิธีการคำนวณแบบหักลบกับอาหารฐานดังที่ ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงควรมีการทดสอบซ้ำ แม้กากซีอิ๊วจะใช้ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบในการผลิต เมื่อเทียบกับ กากถั่วเหลืองในการทดลองเดียวกันนี้ พบว่า มีค่าต่ำกว่ากากถั่วเหลือง เนื่องจากกากซีอิ๊วมีกระบวนการที่ถูก นำไปหมักทำให้สูญเสียสารอาหารไปแล้วทำให้ส่วนที่เหลืออยู่ถูกย่อยหรือใช้ประโยชน์ได้ลดลง ยกเว้น ในส่วน ของการย่อยได้ของไขมันที่สูงกว่า กากถั่วเหลือง เนื่องจากในกระบวนการหมักทำให้มีปริมาณกรดไขมันถูก สกัดออกมาส่งผลให้ไขมันรวมมีปริมาณเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับรายงานของ รัตนา และศุภชัย (2521) นอกจากนี้ Baek and Choi (2017) ศึกษาการย่อยได้ของกากซีอิ๊วด้วยวิธี *In situ* mobile bag มีค่าการย่อยได้ตลอด ทางเดินอาหารเท่ากับ 82.85% มีค่า TDN และ DE จากการคำนวณเท่ากับ 68.60% และ 3.02 Mcal/kgDM ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองในครั้งนี้

ผิวเมล็ดถั่วเขียวมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ สูงกว่า 50% ยกเว้น NDFD และ ADFD ต่ำกว่า 50% จากการตรวจเอกสารไม่พบรายงานที่มีการศึกษาการย่อยได้ในตัวสัตว์โดยตรง มีเพียงการศึกษาด้วย วิธีการวัดปริมาณก๊าซในหลอดทดลองของ ร้าไพร และคณะ (2553) ที่ศึกษาด้วยวิธีการวัดปริมาณก๊าซใน

หลอดทดลอง พบว่า มีค่า OMD เท่ากับ 64.5 % ใกล้เคียงกับรายงานในครั้งนี้นี้ แต่มีค่า ME เท่ากับ ME 2.89 Mcal/kgDM สูงกว่าการทดลองในครั้งนี้นี้

ผิวเมล็ดถั่วเหลืองอัดเม็ดมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ สูงกว่า 70% ยกเว้น CPD เท่ากับ 58.85% จากการตรวจเอกสารไม่พบรายงานค่าการย่อยได้ในประเทศไทย มีรายงานของ ทรงศักดิ์ (2551) ที่รวบรวมข้อมูลค่า TDN จากรายงานของต่างประเทศ พบว่า มีค่าในช่วง 77-78 % และในรายงานของ Lackey (2011) มีค่า TDN เท่ากับ 77.0% ส่วนค่า DE และ ME มีรายงานของ NRC (2001) มีค่าเท่ากับ 3.01 และ 2.34 Mcal/kgDM ตามลำดับ ใกล้เคียงกับการทดลองในครั้งนี้นี้

กากเปียร์สดมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ สูงกว่า 60% ยกเว้น ADFD เท่ากับ 58.68% พบเพียงในรายงานของ จีระชัย (2561) มีค่า TDN และ ME เท่ากับ 73.1 % และ 2.84 Mcal/kgDM ตามลำดับ ซึ่งมีค่า TDN ใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้นี้ แต่มีค่า ME ต่ำกว่าการทดลองครั้งนี้นี้ และ Alimon (2009) พบว่า กากเปียร์สดในประเทศมาเลเซียมีค่า TDN และ DE เท่ากับ 81.0 % และ 3.6 Mcal/kgDM ตามลำดับ และในรายงานของ Baek and Choi (2017) มีค่า TDN และ DE เท่ากับ 76.70% และ 3.38 Mcal/kgDM ตามลำดับ

กากมันสำปะหลังสดมีค่า DMD OMD และ TDN สูงกว่า 70% แต่มีค่า CPD และ ADFD ต่ำกว่า 20% พบว่ามีการศึกษาในตัวโค ดังในรายงานของ Nitipot (2010) ที่ศึกษาในโคนี้อเพศผู้ โดยวิธีเก็บรวบรวมมูล พร้อมวัดค่าการหายใจ และใช้วิธีคำนวณค่าการย่อยได้โดยวิธีหักลบ (By difference) พบว่ามีค่า DMD OMD CPD EED NDFD ADFD TDN เท่ากับ 73.6 82.1 63.8 55.0 58.0 และ 71.5 % ตามลำดับ มีค่า DE และ ME เท่ากับ 2.91 และ 2.60 Mcal/kgDM ตามลำดับ นอกจากนี้ มีรายงานของ Keakliang *et al.* (2018) ได้ทดลองด้วยวิธีเก็บรวบรวมมูลทั้งหมดและวัดค่าการหายใจ และคำนวณค่าการย่อยได้ของกากมันสำปะหลังด้วยวิธีการหักลบ พบว่า มีค่า DMD CPD EED NDFD ADFD และ TDN เท่ากับ 75.0 0.0 35.5 54.4 58.4 และ 74.4 % ตามลำดับ มีค่า DE และ ME เท่ากับ 3.08 และ 2.70 Mcal/kgDM ตามลำดับ ซึ่งมีค่า DMD NDFD TDN DE และ ME ไม่ต่างกันมากนัก และ DE ใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้นี้ ยกเว้น ค่า CPD และ ADFD ที่ต่างกัน อาจเกี่ยวข้องกับพันธุ์สัตว์ ช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต อาหารฐานที่ให้กิน และแหล่งที่มาของกากมันสำปะหลัง

เปลือกสับประดหมักมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ สูงกว่า 70% แต่มีค่า CPD และ ADFD เท่ากับ 37.35 และ 44.15% ตามลำดับ พบว่า มีรายงานของ รัตนา และ ศุภชัย (2521) เรียกว่า กากสับประดหมักได้จากโรงงานทำสับประดบรรจุกระป๋อง ประกอบด้วยส่วนของเปลือก และไส้กลาง ประมาณ 50% ของน้ำหนักสับประดทั้งหมด และมีปริมาณของวัตถุแห้ง 10 % เมื่อทดสอบค่าการย่อยได้โดยให้แกะกินเป็นอาหารเดียว พบว่า มีค่า DMD CPD EED และ TDN เท่ากับ 71.1% 40.1 0.6 และ 60.9 % ซึ่งต่างจากการทดลองครั้งนี้นี้ยกเว้น ค่า CPD มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ มีรายงานค่า TDN และ DE ที่ทดสอบในโคนม (Otaki *et al.*, 1961 อ้างโดย รัตนา และ ศุภชัย, 2521) มีค่าเท่ากับ 66.1 % และ 2.60 Mcal/kgDM ตามลำดับ ใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้นี้

เปลือกฝักและซังข้าวโพดหวานหมัก จัดเป็นพืชหมักคุณภาพดี มีค่า TDN มากกว่า 65% ตามเกณฑ์มาตรฐานที่รายงานโดย Lemus (2010) มีรายงานของ Srumsriri *et al.* (2007) ทดสอบค่าการย่อยได้ของ

โภชนะในโคพื้นเมืองเทศผู้ มีค่า DMD CPD EED NDFD ADFD TDN และ DE เท่ากับ 52.77 ± 6.12 49.27 ± 5.22 75.68 ± 2.45 59.34 ± 4.11 46.53 ± 4.28 $62.78 \pm 6.14\%$ และ 2.54 ± 0.23 Mcal/kg ตามลำดับ โดยมีค่า DMD CPD EED TDN และ DE ต่ำกว่าการทดลองครั้งนี้เล็กน้อย ส่วนค่า NDFD และ ADFD มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ในรายงานของ Jaster *et al.* (1983) ศึกษาการย่อยได้ของเศษเหลือข้าวโพดหวานหมัก ในโคนมเทศเมีย น้ำหนักตัวเฉลี่ย 372 กิโลกรัม มีค่าการย่อยได้ของโภชนะ ได้แก่ DMD CPD NDFD และ ADFD เท่ากับ 59.1 46.0 64.1 และ 56.9 % ตามลำดับ ซึ่งมีค่า DMD ใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้ แต่มีค่า CPD ต่ำกว่า และมี NDFD และ ADFD สูงกว่าการทดลองครั้งนี้ ทั้งนี้อาจเป็นผลจากความแตกต่างของพันธุ์ข้าวโพด และช่วงอายุการเก็บฝัก พันธุ์สัตว์ที่ใช้ในการทดลอง อย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังไม่เคยมีรายงานถึงความแตกต่างของสายพันธุ์โคที่มีต่อค่าโภชนะที่ย่อยได้ของอาหาร

ต้นข้าวโพดฝักอ่อนมีค่า TDN เท่ากับ 52.0% มีค่าต่ำกว่า 55% จัดเป็นพืชหมักคุณภาพต่ำ (Lemus, 2020) และมีค่าการย่อยได้ของโภชนะต่าง ๆ ต่ำกว่ารายงานของ Cheva-Isarakul *et al.* (2009) ที่ทดสอบการย่อยได้ในโคขาวลำพูนเทศผู้ พบว่า มีค่า DMD OMD EED NDFD ADFD และ TDN เท่ากับ 60.4 ± 4.3 64.0 ± 4.0 82.1 ± 5.1 63.0 ± 4.0 59.7 ± 5.3 และ 61.2 ± 2.3 % ตามลำดับ ยกเว้นค่า CPD เท่ากับ 50.7 ± 10.3 % ซึ่งต่ำกว่าการทดลองครั้งนี้ และในรายงานดังกล่าว มีค่า DE และ ME เท่ากับ 2.5 ± 0.2 และ 2.0 ± 0.1 Mcal/kgDM ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองครั้งนี้ อาจเนื่องจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น การจัดการแปลงปลูก ฤดูกาลเก็บเกี่ยว และความสมบูรณ์ของต้นข้าวโพด (Nazli *et al.*, 2019)

ฟางข้าวมีค่าโภชนะที่ย่อยได้ต่าง ๆ มากกว่า 50% ยกเว้น CPD และ TDN เท่ากับ 28.65% และ 46.64% ตามลำดับ มีรายงานของ บุญล้อม และคณะ (2542) ที่ทดสอบค่าการย่อยได้ในโคนมเทศเมีย ด้วยวิธีทำนายด้วยสมการถดถอย (Regression method) ให้กินฟางข้าวร่วมกับอาหารชั้น 3 ระดับ พบว่า ฟางข้าวมีค่าการย่อยได้ ดังนี้ DMD CPD EED NDFD ADFD และ TDN เท่ากับ 59.3 0.1 47.6 63.4 60.3 และ 49.9 % ตามลำดับ และมีค่า DE เท่ากับ 1.75 Mcal/kgDM ใกล้เคียงกับการทดลองในครั้งนี้

สมการทำนายค่า ME และ TDN

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลคุณค่าทางโภชนะของชุดข้อมูลสำหรับการสร้างสมการ (Calibration set) และชุดข้อมูลสำหรับการทวนสอบสมการ (Validation set) โดยจะเห็นได้ว่า ข้อมูลทั้งสองชุดมีค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนะใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4 ชุดข้อมูลสำหรับสร้างสมการทำนาย และชุดทดสอบสมการ

รายการ	ชุดสร้างสมการ					ชุดทดสอบสมการ				
	จำนวนข้อมูล	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	SD	จำนวนข้อมูล	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	SD
OM, %DM	164	82.13	99.02	92.76	3.41	40	82.13	96.30	91.87	3.32
CP, %DM	164	1.93	39.75	11.34	6.66	40	2.29	39.75	11.04	6.11
EE, %DM	164	0.40	20.61	3.96	4.34	40	0.40	20.61	3.42	3.77
Ash, %DM	164	0.98	45.37	8.97	7.45	40	3.70	45.37	11.54	10.16
NDF, %DM	164	5.63	81.86	54.34	19.00	40	12.42	81.48	55.32	18.95
NFC, %DM	164	0.00	82.71	21.43	20.88	40	0.00	81.19	18.72	18.13
ADF, %DM	164	1.92	58.66	35.86	14.57	40	7.44	58.66	39.19	14.80
ADL, %DM	164	0.62	31.54	6.82	4.73	40	0.62	31.54	8.32	6.37
TDN, %	164	21.82	110.74	63.29	15.26	40	37.58	96.63	61.59	12.99
DE, Mcal/kgDM	164	0.83	5.21	2.26	0.71	40	1.58	4.75	2.76	0.64
ME, Mcal/kgDM	164	0.62	4.30	2.31	0.65	40	1.15	3.87	2.31	0.61

SD, Standard deviation; OM, Organic matter; CP, Crude protein; EE, Ether extract; NDF, Neutral detergent fiber; ADF, Acid detergent fiber; ADL, Acid detergent lignin; TDN, Total digestible nutrients; DE, Digestible energy; ME, Metabolisable energy

นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองมาทดสอบความสัมพันธ์เพื่อสร้างสมการทำนายค่า TDN และ ME โดยคัดเลือกสมการจากค่า R^2 (Coefficient of determination) สูงสุด และค่า AIC (Akaike's information criterion) ต่ำสุด ได้รูปแบบของสมการในตารางที่ 5 สมการสำหรับใช้ในการทำนายค่า ME (สมการที่ 1) โดยใช้ค่า DE มีค่า R^2 สูงถึง 0.930

ตารางที่ 5 สมการทำนายค่าพลังงาน ME และ TDN

สมการลำดับที่	รูปแบบสมการ	R^2	AIC	RMSE	p - value	N
1.	ME (Mcal/kgDM) = 0.90 (± 0.02) DE (Mcal/kgDM) - 0.17 (± 0.05)	0.930	-105.3	0.17	< 0.001	164
2.	TDN (%) = 2.123 %OM + 0.565 %Ash + 1.795 %EE - 0.068 %NDF - 1.100 %ADL - 134.589	0.651	732.33	9.16	< 0.001	164
3.	TDN (%) = 2.277 %OM + 0.636 %Ash + 1.840 %EE - 1.222 %ADL - 152.594	0.647	732.36	9.18	< 0.001	164
4.	TDN (%) = 2.537 %OM - 0.772 %NDF - 0.671 %NFC - 0.722 %ADL - 110.73	0.633	738.43	9.18	< 0.001	164

ME (Metabolizable energy); DE (Digestible energy); TDN (Total digestible nutrient); OM (Organic matter); EE (Ether extraction); NDF (Neutral detergent fiber); ADL (Acid detergent lignin); NFC (Non-fiber carbohydrates); AIC (Akaike's information criterion); RMSE (Root mean square error); N (Number of data)

Galyean *et al.* (2016) ใช้ข้อมูลจากผลงานวิจัยของโคเนื้อในช่วงปี ค.ศ. 1975-2015 จำนวน 23 รายงาน ในการสร้างสมการทำนายค่า ME จากค่า DE ($ME = 0.9611 \times DE - 0.2999$, $R^2 = 0.986$, $RMSE = 0.048$, $p < 0.001$) นอกจากนี้ Ibidhi *et al.* (2021) รวบรวมข้อมูลที่ศึกษาในโคเนื้อ Korean Hanwoo จำนวน 141 การทดลองในการสร้างสมการทำนายค่า ME จากค่า DE ($ME = 0.9215 \times DE - 0.1434$; $R^2 = 0.999$, $RMSE = 0.004$, $p < 0.001$) และ NRC (2001) รายงานว่า สมการสำหรับใช้ทำนายค่า ME โดยใช้ค่า DE ดังนี้ $ME = 1.01 \times DE - 0.45$ โดยค่า ME และ DE ทุกสมการที่กล่าวถึง มีหน่วยเป็น Mcal/kgDM

สมการทำนายค่า TDN สามารถทำนายได้จากองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งการทดลองนี้สามารถสร้างเป็นสมการถดถอยพหุคูณได้ 3 สมการ โดยมีค่า R^2 ในช่วง 0.633- 0.651 (ตารางที่ 4) โดยทั้ง 3 สมการใช้อองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันสำหรับทำนายค่า TDN

นำสมการจากตารางที่ 5 มาทดสอบความใช้ได้ด้วยข้อมูลชุดทดสอบสมการ (Validation set) จำนวน 40 ข้อมูล และพบว่าค่าที่ได้จากสมการทำนายและค่าที่ได้จากการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากสมการทำนายกับค่าที่วัดได้จริง

สมการทำนาย	ค่าเฉลี่ยจากสมการทำนาย	ค่าเฉลี่ยที่วัดได้จริง	p-value
ME, Mcal/kgDM (สมการที่ 1)	2.31	2.31	0.904
TDN, % (สมการที่ 2)	61.02	61.59	0.712
TDN, % (สมการที่ 3)	60.27	61.59	0.411
TDN, % (สมการที่ 4)	61.48	61.59	0.940

ME (Metabolizable energy); DE (Digestible energy); TDN (Total digestible nutrient)

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาคุณค่าทางโภชนาของวัตถุดิบอาหารสัตว์สำหรับใช้เลี้ยงโคนมจำนวน 30 ชนิด สรุปได้ว่าคุณค่าทางโภชนาแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบ โดย 1) พืชอาหารสัตว์ 10 ชนิด มี ค่าโภชนาที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN) ในช่วง 38.0-60.8% และมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, ME) ในช่วง 1.35-2.31 Mcal/kgDM 2) วัตถุดิบอาหารสัตว์ 3 ชนิด มีค่า TDN และ ME ในช่วง 78.5-102.4% และ 2.91-3.80 Mcal/kgDM ตามลำดับ 3) ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม 15 ชนิด มีค่า TDN และ ME เท่ากับ 34.8-89.9% และ 1.53-3.68 Mcal/kgDM ตามลำดับ และ 4) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 2 ชนิด มีค่า TDN และ ME เท่ากับ 46.6-52.0 และ 1.62-2.03 Mcal/kgDM ตามลำดับ นอกจากนี้ สามารถสร้างสมการถดถอยอย่างง่ายสำหรับใช้ทำนายค่า ME จากค่าพลังงานที่ย่อยได้ (Digestible energy, DE) ดังนี้ $ME (\text{Mcal/kgDM}) = 0.901 (\pm 0.02) DE (\text{Mcal/kgDM}) - 0.173 (\pm 0.05)$ และมีสมการถดถอยพหุคูณ (Multiple linear regression) สำหรับใช้ทำนายค่า TDN โดยใช้องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารสัตว์จำนวน 3 สมการ

ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยเห็นควรให้มีการศึกษาค่าโภชนะที่น้อยได้ของวัตถุดิบบางชนิดที่มีค่าสูง หรือต่ำกว่าปกติ เพื่อเป็นการทดสอบซ้ำ และควรศึกษาวัตถุดิบที่อาจมีการนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ในอนาคตเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมี ค่าโภชนะที่น้อยได้ ค่าพลังงานที่น้อยได้ และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารโคนม ให้มีจำนวนข้อมูลมากยิ่งขึ้น สำหรับนำไปใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงสมการทำนายค่า ME และ TDN ให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น เพื่อความสะดวก และรวดเร็วต่อการนำไปใช้ในการคำนวณสูตรอาหารให้มีความแม่นยำตรงต่อความต้องการโภชนะของสัตว์ นับเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายได้ในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เครือข่ายองค์กรบริหารงานวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ในการสนับสนุนให้ทุนอุดหนุนการวิจัย ขอขอบคุณผู้อำนวยการ นักวิทยาศาสตร์ นักวิชาการ และเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้องทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งทีมงานคอกสัตว์ทดลอง ได้แก่ นายสายณัน ด่านซ้าย นายจันลา สีเกิน นายสมควร ไชยรงค์ และ นายชาญชิต ยลถวิล และขอขอบคุณคณะกรรมการวิชาการสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ ที่ได้ตรวจสอบเอกสารวิชาการฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- คณะกรรมการความต้องการโภชนะโคนมในประเทศไทย. 2563. ความต้องการโภชนะของโคนมในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 240 หน้า.
- จิระชัย กาญจนพถุณพงศ์. 2561. การจัดการฝูงโคนม. พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัท เมจิคพลับบลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ. 433 หน้า.
- นฤมล วงศ์เจริญ บุญเสริม ชีวะอิสระกุล บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และ สมคิด พรหมมา. 2544. การย่อยได้และพลังงานของข้าวโพดหมักในโคนม. น. 129-135 ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ครั้งที่ 39 สาขาสัตว์.
- นันทนา มูลมาตย์ Makoto Otsuka ศุภชัย อุดชาชน และ กฤตพล สมมาตย์. 2553. การประเมินคุณค่าทางโภชนะและค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของรำละเอียด กากเมล็ดนุ่น และกากมะพร้าวในโคเนื้อพื้นเมืองไทย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 29(4): 382-388.

- บุญล้อม ชีวะอิสระกุล เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ บุญเสริม ชีวะอิสระกุล และ สมคิด พรหมมา. 2542. การหาพลังงาน การย่อยได้และปริมาณฟางข้าวที่กินได้โดยใช้สมการถดถอยในโคนมและแกะ. น. 93-101. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37.
- บุญล้อม ชีวะอิสระกุล วรรณา อ่างทอง บุญเสริม ชีวะอิสระกุล และ สมคิด พรหมมา. 2544. พลังงานสุทธิของอาหาร 8 ชนิด ที่ประเมินโดยวิธีวัดปริมาตรแก๊ส และ pH ในรูเมน เมื่อโคได้รับอาหารต่างชนิดกัน. น. 104-112. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ครั้งที่ 39 สาขาสัตว์.
- พิมพาพร พลเสน รำไพร นามสีลี และ สรายุทธ์ ไทยเกื้อ. 2552. การประเมินคุณค่าทางโภชนะของใบถั่วท่าพระสไตโลแห้ง. น. 78-92. ใน รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ประจำปี. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- เพ็ญศรี ศรประสิทธิ์ วรรณา อ่างทอง และ สุมน โพธิ์จันทร์. 2554. พลังงานใช้ประโยชน์ได้ของถั่วคาวาลเคดในโคเนื้อ. น. 47-57. ใน รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ประจำปี. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- แพรวพรรณ เครือมังกร วรรณา อ่างทอง รำไพร นามสีลี และ สัมพันธ์ มาศโอสถ. 2559. ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของพืชอาหารสัตว์โดยวิธีวัดจากตัวสัตว์กับวิธีทางห้องปฏิบัติการ. น. 1-11. ใน รายงานผลงานวิจัยสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ ประจำปี. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ทรงศักดิ์ จำปาเวดี. 2551. เปลือกหุ้มเมล็ดถั่วเหลืองอาหารเยื่อใยทางเลือกสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง. แก่นเกษตร. 36: 165-170.
- รำไพร นามสีลี แพรวพรรณ เครือมังกร พิมพาพร พลเสน และ สัมพันธ์ มาศโอสถ. 2550. การศึกษาคุณภาพพืชหมักที่อายุการหมักต่าง ๆ กันของหญ้าธูซี่ ถั่วท่าพระสไตโล หญ้าแพงโกลา และถั่วคาวาลเคด. น. 87-102. ใน รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ ประจำปี. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- รำไพร นามสีลี วรรณา อ่างทอง และ พิมพาพร พลเสน. 2553. การสร้างสมการทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารชั้น. น. 100-114. ใน รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ประจำปี. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์..
- รัตนา บางเจริญพรพงศ์ และ ศุภชัย อังศุภากร. 2521. การศึกษาคุณค่าทางโภชนะและการย่อยได้ของกากสับประรดหมัก. ปัญหาพิเศษ. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรรณา อ่างทอง สุรนนท์ น้อยอุทัย วิวัฒน์ ไชยชะอุ่ม และ นพวรรณ ชมชัย. 2549. คุณค่าทางโภชนะของหญ้าแพงโกล่าแห้งที่การเจริญเติบโตต่างกัน. น. 315-326. ใน รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ ประจำปี. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- วรรณา อ่างทอง Takehiro Nishida รำไพร นามสีลี และ พิมพาพร พลเสน. 2551. น. 291-303. ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของหญ้างินนิสีมวงในโคบราห์มัน. ใน รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ ประจำปี. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

- วรรณ อ่างทอง วารุณี พานิชผล และ สุรนนท์ น้อยอุทัย. 2552. การสร้างสมการทำนายค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของถั่วแห้ง. น. 107-118. ใน รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ ประจำปี. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- วรรณ อ่างทอง วิทยา สุมาลย์ รำไพโร นามสีลี แพรพรรณ ชูช่วย และ พิเชษฐ์ จันเป็ง. 2562. ความต้องการโภชนะของโคนมในประเทศไทย: การศึกษาการย่อยได้และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารโคนม. รายงานวิจัยสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- วรรณ อ่างทอง รำไพโร นามสีลี สุกัญญา คำพะแย ปฎิมา บุตรชา และ ศุภกิจ สุนาโท. 2563. ความต้องการโภชนะของโคนมในประเทศไทย: การศึกษาการย่อยได้และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารโคนม ปีที่ 2. รายงานวิจัยสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- วรรณ อ่างทอง ปฎิมา บุตรชา รำไพโร นามสีลี และ ศุภกิจ สุนาโท. 2564. ค่าโภชนะที่ย่อยได้และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 หมักที่ระยะเสั่นน้ำนมต่างกัน. แหล่งที่มา: <https://expert.dld.go.th/webnew/images/เลขทะเบียนวิชาการ/เลขทะเบียนผลงานวิชาการ%20ปี%202564/เดือน%20ตุลาคม%202564/133.pdf>, 7 เมษายน 2565.
- วิทยา สุมาลย์ ทวีศักดิ์ ชื่นปรีชา รำไพโร นามสีลี และ พิมพาพร พลเสน. 2547. การศึกษาคุณค่าทางโภชนะของพืชอาหารสัตว์: หญ้ากินนีสีม่วงและถั่วตาพระสไตโล. น. 399-416. ใน รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ประจำปี. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สมสุข พวงดี บุญล้อม ชีวะอิสระกุล สมคิด พรหมมา และ บุญเสริม ชีวะอิสระกุล. 2545. การย่อยได้และค่าพลังงานของหญ้าที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล 5% ที่ศึกษาในโคนมนมแห้งและวิธีวัดปริมาตรแกส. น. 138-145. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ครั้งที่ 40 สาขาสัตว.
- สุกัญญา คำพะแย พิมพาพร พลเสน ฉายแสง ไผ่แก้ว และ สมจิตร อินทรมณี. 2551. การทดสอบเทคโนโลยีการผลิตหญ้ากินนีสีม่วงหมักในถุงพลาสติกสำหรับเกษตรกรรายย่อยในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น. น. 164-178. ใน รายงานผลงานวิจัยกองอาหารสัตว์ประจำปี. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ศูนย์วิจัยเศรษฐศาสตร์ประยุกต์. 2562. รายงานฉบับสมบูรณ์ การประเมินผลกระทบของงานวิจัยด้านสัตว์เศรษฐกิจของประเทศไทย. Neo digital co., Ltd. กรุงเทพฯ. 273 หน้า.
- Abdeltawab, A.M. and M.S.A. Khattab. 2018. Utilization of Palm Kernel Cake as a Ruminant Feed for Animal: A Review. Asian Journal of Biological Sciences. 11 (4): 157-164.
- Alimon, A.R. 2009. Alternative raw materials for animal feed. Wartazoa. Indonesian bulletin of animal and veterinary science. 19 (3): 117-124.
- AOAC. 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International, 20th Editions. AOAC International, Rockville, Maryland.
- Baek, Y.C. and H. Choi. 2017. Evaluation of non-conventional feeds for ruminants using in situ nylon bag and the mobile bag technique. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society 18(7): 73-83.

- Brouwer, E. 1965. Report of sub-committee on constants and factors. In: McLean J.A. and G. Tobin (ed.), *Animal and Human Calorimetry*. Cambridge University Press, Cambridge. pp 302-304.
- Cheva-Isarakul, B., S. Promma, K. Tagan, and B. Maliwan. 2009. Nutritive value and energy determination of some roughages for beef cattle. *JIRCAS working report No. 64*. pp. 1-5.
- Devendra, C. 1986. Leucaena forage supplementation of ruminant diets in the ASEAN region. In: *International Workshop on Rice Straw and Related Feeds in Ruminant Rations*, Kandy, Sri Lanka, 24th - 28th March 1986.
- Di Marco, O.N., M.S. Aello, M. Nomdedeu, and S. Van Houtte. 2002. Effect of maize crop maturity on silage chemical composition and digestibility (in vivo, in situ and in vitro). *Animal Feed Science and Technology*. 99: 37–43.
- Feedipedia. 2020. Animal feed resources information system. Available source: <https://www.feedipedia.org/content/feeds?category=All>, February 20, 2020.
- Ferreira, A.C., Ronaldo L.O., Adriana R.B., Gleidson G.P.C., Raimundo N.V.S., and Paulo A.O. 2012. Intake, digestibility and intake behaviour in cattle fed different levels of palm kernel cake. *REVISTA MVZ CÓRDOBA*. 17(3): 3105-3112.
- Galyean, M.L., N.A. Cole, L.O. Tedeschi and M.E. Branine. 2016. Efficiency of converting digestible energy to metabolizable energy and reevaluation of the California Net Energy System maintenance requirements and equations for predicting dietary net energy values for beef cattle. *Journal of Animal Science*. 94: 1329–1341.
- Hamid, P., T. Akbar, J. Hossein, and M.G. Ali. 2007. Nutrient digestibility and gas production of some tropical feeds used in ruminant diets estimated by the in vitro gas production techniques. In: *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*. 2 (4): 108-113.
- Ibidhi, R., R. Bharanidharan, J.G. Kim, W.H. Hong, I.S. Nam, Y.C. Baek, T.H. Kim, and K.H. Kim. 2021. Developing equations for converting digestible energy to metabolizable energy for Korean Hanwoo beef cattle. *Animals*. 11:1696. <https://doi.org/10.3390/ani11061696>.
- Ishler, V., J. Heinrichs and G. Varga. 1996. *From Feed to Milk : Understanding rumen function*. The Pennsylvania State University Extension Circular 422.
- ISO. 2015. International Standard (ISO 11085: 2015(E)). *Cereals, cereals-based products and animal feeding stuffs – Determination of crude fat and total fat content by the Randall extraction method*. International Standard Organization, Geneva.

- Jahromi, M.F., J.B. Liang, N. Abdullah, Y.M. Goh, R. Ebrahimi, and P. Shokryazdan. 2016. Extraction and characterization of oligosaccharides from palm kernel cake as prebiotic. *Bio Resources* 11(1): 674-695.
- Jaster, E.H., D.F. Bell, and G.C. McCoy. 1983. Evaluation of sweet corn residue as roughage for dairy heifers. *Journal of Dairy Science*. 66: 2349-2355.
- JLTA. 2000. Technical Manual for Feed Analysis. Japan Livestock Technology Association. National Institute of Animal Industry (NIAI). Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF).
- Keaokiang, O., T. Kawashima, W. Angthong, T. Suzuki, and R. Narmseelee. 2018. Chemical composition and nutritive values of cassava pulp for cattle. *Animal Science Journal*. 89: 1120-1128.
- Lackey, R. 2011. Distillers grains and soybean hulls - A complementary combination for cattle performance. Available source: <http://omafra.gov.on.ca/english/livestock/beef/news/vbn1111a2.htm>, March 28, 2023.
- Lemus, R. 2020. Hay testing and understanding forage quality. Mississippi State University. Available source: <http://extension.msstate.edu/publications/hay-testing-and-understanding-forage-quality>, February 20, 2023.
- McDonald, P., A.R. Handerson, and S.J.E. Heron. 1991. *The Biochemistry of Silage*. 2nd Edition. Cambrian Printers Ltd. Aberystwyth. 340 p.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan, L.A. Sinclair, and R.G. Wilkinson. 2010. *Animal Nutrition*. 7th Edition. Pearson. 712 p.
- Moore, K.J. and H.J.G. Jung. 2001. Lignin and fiber digestion. *Journal of Range Manage*. 54: 420–430.
- Nazli, M.H., R.A. Halim, A.M. Abdullah, G. Hussin and A.A. Samsudin. 2019. Potential of four corn varieties at different harvest stages for silage production in Malaysia. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 32: 224-232.
- NDDB. 2012. *Nutritive Value of Commonly Available Feeds and Fodders in India*. National Dairy Development Board. 112 p.
- Nitipot, P. 2010. Energy Utilization in Thai Native Cattle Fed Some Tropical Feed Sources. In: Doctor of philosophy Thesis in Animal Science, Graduate School, Khon Kaen University.
- NRC. 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th Revised Edition, Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture and Natural Resources, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C.

- Petit, H.V., J.R. Seoane, and P.M. Flipot. Digestibility and voluntary intake of forages fed as hay or wilted silage to beef steers. *Canada Journal of Animal Science*. 68: 879-889.
- Schneider, B.H. and W. Flatt. 1975. *The Evaluation of Feeds through Digestibility Experiments*. The University of Georgia Press, Athens. 403 p.
- Srivastava, S., V. Mudgal, and R. K. Jain. 2012. Lignin-Its role and importance in animal nutrition. *International Journal of Livestock Research*. Vol 2 (1). ISSN 2277-1964, pp. 7-24.
- Sruamsiri, S., P. Silman, and W. Srinuch. 2007. Agro-industrial by-products as roughage source for beef cattle: Chemical composition, nutrient digestibility and energy values of ensiled sweet corn cob and husk with different levels of Ipil-Ipil leaves. In: Maejo *International Journal of Science and Technology*. 01: 88-94.
- Suzuki, T., G.J. McCrabb, T. Nishida, S. Indramanee, M. Kurihara, H.P.S. Makkar, and P.E. Vercor. 2007. Construction and Operation of Ventilated Hood-Type Respiration Calorimeters for In Vivo Measurement of Methane Production and Energy Partition in Ruminants *Measuring Methane Production from Ruminants*, Springer Netherlands. pp. 125-135.
- Teagasc. 2016. *Quality Grass Silage for Dairy and Beef Production Systems*. Available source: <https://www.teagasc.ie/media/website/publications/2016/Teagasc-Quality-Grass-Silage-Guide.pdf>, February 20, 2020.
- Thomas, J. W., L. D. Brown, R. S. Emery, E. J. Benne, and J. T. Huber. 1968. Comparisons between Alfalfa silage and hay. *Journal of Dairy Science*. 52 (12): 195-204.
- Wong, H.K. and M. Wan Zahari. 2011. Utilisation of oil palm by-products as ruminant feed in Malaysia. *Journal of Oil Palm Research*. 23: 1029-1035.