

ค่าโภชนะที่ย่อยได้และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 หมักที่ระยะเส้นน้ำนมต่างกัน  
วรรณ อ่างทอง<sup>1/</sup> ปฏิมา บุตรชา<sup>2/</sup> ราไพร นามสีลี<sup>2/</sup> ศุภกิจ สุนาโท<sup>2/</sup>

บทคัดย่อ

การทดลองนี้ได้ศึกษาค่าโภชนะที่ย่อยได้และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 ซึ่งเป็นข้าวโพดพันธุ์ลูกผสมเดี่ยว หมักที่ระยะเส้นน้ำนมต่างกัน ดำเนินการทดลองที่ศูนย์วิจัยและพัฒนามาตรฐานอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง จังหวัดขอนแก่น ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง ธันวาคม 2563 โดยแบ่งเป็น 2 การทดลองย่อย ดังนี้ การทดลองย่อยที่ 1 ศึกษาคุณภาพการหมักของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 วางแผนการทดลองแบบ 3x2 Factorial in complete randomized design ปัจจัยแรกคือระยะเส้นน้ำนม 25 50 และ 75% ปัจจัยที่สองคืออายุการหมัก 21 และ 60 วัน พบว่า ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 มีการออกไหม 50% หลังปลูก 60 วัน และเมล็ดเข้าสู่ระยะเส้นน้ำนม 25 50 และ 75% เมื่ออายุ 77 80 และ 83 วันหลังปลูก ตามลำดับ ข้าวโพดหมักที่ระยะเส้นน้ำนม 25% มีปริมาณวัตถุแห้ง เท่ากับ 20.82% ต่ำกว่าที่ระยะเส้นน้ำนม 50% และ 75% มีค่าเท่ากับ 22.16 และ 24.56% ตามลำดับ ในขณะที่ค่าโปรตีนหยาบที่ระยะเส้นน้ำนม 25% มีค่าสูงสุด เท่ากับ 8.58 %DM และสูงกว่าที่ระยะเส้นน้ำนม 50% และ 75% มีค่าเท่ากับ 8.20 และ 7.78 %DM ตามลำดับ แต่ผนังเซลล์ของข้าวโพดหมักทั้ง 3 ระยะไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 56.28–57.02 %DM ส่วนคุณภาพการหมักทั้ง 3 ระยะเส้นน้ำนม ที่อายุการหมัก 21 และ 60 วัน อยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย pH เท่ากับ 3.66–3.73 ค่า Fleig score เท่ากับ 97.50–107.65 และมีปริมาณกรดแลคติก 6.35–7.14 %DM นอกจากนี้ ค่าเฉลี่ยของการย่อยได้วัตถุแห้ง และผนังเซลล์ ที่วัดโดยวิธีทางห้องปฏิบัติการ เท่ากับ 66.82–67.43 %DM และ 41.05–42.21 %NDF ตามลำดับ

การทดลองย่อยที่ 2 ศึกษาค่าการย่อยได้และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยวิธีวัดโดยตรงจากตัวสัตว์ วางแผนการทดลอง แบบ 3 x 4 imbalanced Latin square design มีสิ่งทดลองคือ ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 หมักที่ 21 วัน ซึ่งมีระยะเส้นน้ำนมต่างกัน คือ 25 50 และ 75% และใช้โคนมเพศเมียระยะโตเต็มวัย จำนวน 4 ตัว ทำการศึกษาจำนวน 3 รอบ แต่ละรอบมีระยะเวลา 16 วัน เป็นช่วงปรับสัตว์ 10 วัน และเก็บข้อมูลการย่อยได้ 6 วัน ผลการทดลองพบว่า ระยะเส้นน้ำนม 3 ระยะไม่มีผลต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้ง การย่อยได้ของโปรตีน การย่อยได้ของผนังเซลล์ ค่าโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 62.34–65.03% 60.56–65.11% 52.21–57.17% 61.78–63.43% และ 2.36–2.61 เมกกะแคลอรี/กิโลกรัมวัตถุแห้ง ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยพลังงานที่สูญเสียในรูปของก๊าซมีเทนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) เท่ากับ 12.02 กิโลแคลอรี/น้ำหนักเมตาบอลิก/วัน หรือเท่ากับ 116.44 ลิตร/วัน และพบว่าโคนมกินข้าวโพดพันธุ์สุวรรณลูกผสม 4452 หมัก ทั้ง 3 ระยะเส้นน้ำนม มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน 109.48–123.49 ลิตร/วัน มีค่าพลังงานที่กักเก็บได้เป็นบวก เฉลี่ย 21.13–43.30 เมกกะแคลอรี/น้ำหนักเมตาบอลิก/วัน และมีค่าไนโตรเจนที่กักเก็บได้เป็นบวก อยู่ในช่วง 0.05–0.18 กรัม/น้ำหนักเมตาบอลิก/วัน

**คำสำคัญ:** ค่าโภชนะที่ย่อยได้ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 เส้นน้ำนม

เลขทะเบียนวิชาการ : 64(2)-0214-133

<sup>1/</sup> กลุ่มวิจัยและพัฒนาการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ต.บางกะดี อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000

<sup>2/</sup> ศูนย์วิจัยและพัฒนามาตรฐานอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ต.ท่าพระ อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40260

## Nutrients digestibility and metabolizable energy of Suwan 4452 corn silage at different milk line stage.

Wanna Angthong<sup>1/</sup> Patima Butcha<sup>2/</sup> Ramphrai Narmseelee<sup>2/</sup> Supakit Sunato<sup>2/</sup>

### Abstract

This study was to evaluate nutrients digestibility and metabolizable energy of Suwan 4452 corn silage which is the single hybrid maize at different milk line stages. The experiment was conducted at the Ruminants Feeding Standard Research and Development Center, between May to December 2020. The study was divided into 2 sub-trials.

The first sub-trial was to study the quality of Suwan 4452 corn silage. The experiment was arranged into a 3x2 factorial in complete randomized design to examine the effect of milk line stage (ML; 25, 50, or 75%) and ensiling period (21 or 60 days). Suwan 4452 was 50% silking after planting for 60 days. Corn kernels entering to 25% ML, 50% ML, and 75% ML at age 77, 80, and 83 days after planting, respectively. The dry matter of Suwan 4452 at 25% ML was 20.82% lower than those of 50% ML, and 75% ML, which were, 22.16, and 24.56%, respectively. The CP content of 25% ML was 8.58 %DM the highest and decreased by increasing of milk line stage 50% and 75%, that were 8.20, and 7.78 %DM, respectively. However, the cell wall of corn silage was not different between groups ( $p>0.05$ ); (56.28–57.02 %DM). Silage quality of Suwan 4452 at 21 and 60 days of ensiled period was good quality. The average of pH was 3.66–3.73, Fleig score was 97.50–107.65, and lactic acid content was 6.35–7.14 %DM. Moreover, *in vitro* digestibility of dry matter (IVTDM) and NDF (NDFD) were 66.82–67.43 %DM and 41.05–42.21 %NDF, respectively.

The second sub-trial was to study digestibility and metabolizable energy of Suwan 4452 after ensiling 16 days by *in vivo* method. Four mature Holstein cows were assigned to a 3x4 imbalanced Latin square design with three periods. In each period the first 10 days were used for feed adaptation and the last 6 days (the measurement period) were used for digestibility and energy content measurements. Treatments were three stages of milk line (25, 50 and 75%). The result indicated that the milk line stages did not affect ( $p>0.05$ ) nutrients digestibility (dry matter, crude protein, total digestible nutrients), metabolizable energy, and methane emission. The average digestibility of dry matter, crude protein, and neutral detergent fiber, and total digestible nutrients were 62.34–65.03% 60.56–65.11% 52.21–57.17% 61.78–63.43% and 2.36–2.61 Mcal/kgDM, respectively. Methane emission was 109.48–123.49 L/day. The retention of energy was positive in range 21.13–43.30 Mcal/kgBW<sup>0.75</sup>/d and nitrogen retained was positive in range 0.05–0.18 g/kgBW<sup>0.75</sup>/d.

**Keywords:** nutrients digestibility, metabolizable energy, Suwan 4452, milk line

---

**Registered No.:** 64(2)-0214-133

<sup>1/</sup> Feeds Analysis Research and Development Section. Bangkadee, Muang, Pathumthanee, 12000.

<sup>2/</sup> Ruminants Feeding Standard Research and Development Center. Thapra, Muang, Khon Kaen, 40260.

## คำนำ

เกณฑ์มาตรฐานการรับซื้อน้ำมันโค พ.ศ. 2559 ที่กำหนดราคาการรับซื้อน้ำมันดิบ ถ้ามีค่าไขมันร้อยละ 3.60-3.79 และร้อยละมากกว่าหรือเท่ากับ 4.0 จะได้ราคาน้ำมันดิบบวกเพิ่มเท่ากับ 0.30 และ 0.40 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ และถ้าน้ำมันดิบมีปริมาณเนื้อนมไม่รวมไขมัน (Solid not fat, SNF) เท่ากับร้อยละ 8.50-8.69 และมากกว่าหรือเท่ากับ 8.70 จะได้ราคาบวกเพิ่ม 0.30 และ 0.60 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ แต่กรณีที่น้ำมันมีค่าร้อยละไขมัน และ SNF ต่ำกว่า 3.40 และ ต่ำกว่า 8.35 ราคาลดลงตามเกณฑ์ที่กำหนด (สำนักพัฒนาอาหารสัตว์, 2562ก) และหากมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มากและต่อเนื่องโดยไม่มีการปรับแก้ไขให้น้ำมันมีคุณภาพดีขึ้น ก็อาจถูกปฏิเสธการรับซื้อได้ ปัญหาคุณภาพน้ำมันต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานนั้น นอกจากด้านพันธุกรรมแล้ว ปัจจัยหลักคือการจัดการด้านอาหารที่ไม่เป็นไปตามหลักโภชนาการ นักอาหารสัตว์จำเป็นต้องช่วยแก้ไขปัญหาระบบการปรับปรุงสูตรอาหาร โดยเลือกใช้วัตถุดิบอาหารที่ทราบข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการมาใช้ในการจัดสัดส่วนอาหารให้เหมาะสมต่อแม่โค ในปัจจุบัน สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ ได้มีการส่งเสริมให้มีการใช้ต้นข้าวโพดพร้อมฝักเป็นแหล่งอาหารหยาบในการเลี้ยงโคนม เนื่องจากข้าวโพดพร้อมฝักจะมีทั้งแหล่งโปรตีน และพลังงาน ทำให้การปรับปรุงสูตรอาหารโคนมกระทำได้ง่ายขึ้นและมีต้นทุนไม่สูงมากนัก และพบว่าคุณภาพน้ำมันดิบของเกษตรกรมีคุณภาพดีขึ้น (สำนักพัฒนาอาหารสัตว์, 2562ข) นอกจากนี้ สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ ได้จัดทำสูตรอาหารอาหารผสมครบส่วน (Total mixed ration, TMR) ที่ใช้ข้าวโพดหมักเป็นแหล่งอาหารหยาบเผยแพร่ให้เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมได้นำไปประกอบสูตรอาหารใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ข้าวโพดหมักที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีความหลากหลายในเรื่องของสายพันธุ์ และอายุการเก็บเกี่ยว และในปัจจุบันนี้ ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ ได้มีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดสำหรับใช้เลี้ยงสัตว์และทำหมัก เช่น สุวรรณ 4452 ซึ่งเป็นข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวที่ได้จากการนำสายพันธุ์แพเกษตรศาสตร์ 47 (Ki 47 หรือ KS 6(S)C3-S8-554-2-1-2-1) ผสมกับสายพันธุ์แท้ Kei 0102 (3013-S8-57-1) ที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติเผยแพร่ให้เกษตรกรใช้ปลูกทำข้าวโพดหมัก เนื่องจากมีผลผลิตสูงและปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมต่างๆ (โชคชัย และคณะ, 2562) แต่ข้าวโพดสุวรรณ 4452 ยังขาดข้อมูลอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมในสภาพพื้นที่ต่างๆ ค่าโภชนาการที่น้อยได้ และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ สำหรับนำไปใช้ในการคำนวณสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงโคนมได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาคุณภาพการหมัก ข้อมูลค่าโภชนาการที่น้อยได้ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน โดยวิธีวัดโดยตรงจากตัวสัตว์ ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมัก ที่เมล็ดมีระยะเส้นน้ำมัน 25 50 และ 75%

## อุปกรณ์ และวิธีการ

ดำเนินการทดลองที่ศูนย์วิจัยและพัฒนามาตรฐานอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2563 ถึง ธันวาคม 2563 โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 การทดลองย่อย ดังนี้

### การทดลองย่อยที่ 1 ศึกษาคุณภาพการหมักของข้าวโพดสุวรรณ 4452

วางแผนการทดลองแบบ 3x2 Factorial in complete randomized design ปัจจัยแรก คือ ระยะเส้นน้ำมัน 25 50 และ 75% ปัจจัยที่สอง คือ อายุการหมัก 21 วัน ซึ่งเป็นระยะการหมักที่สมบูรณ์ และหลังการหมักที่ 60 วัน (ระยะการเก็บรักษา)

## การเตรียมแปลงและการปลูก

ทำการเตรียมแปลงสำหรับปลูกข้าวโพดสุวรรณ 4452 ในพื้นที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีขนาดพื้นที่ 2.3 ไร่ โดยมีการไถแปลงเพื่อกำจัดวัชพืชโดยไถกลบและหมักทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน ก่อนไถปรับพื้นที่แปลงและไถพรวน และทำการปลูกข้าวโพดในวันที่ 1 พฤษภาคม 2563 ด้วยเครื่องหยอดเมล็ดแบบเดินตาม มีระยะห่างระหว่างต้นแถว เท่ากับ 20x75 เซนติเมตร

## การให้น้ำ และการใส่ปุ๋ย

เนื่องจากปลูกข้าวโพดในช่วงต้นฤดูฝน จึงอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก และมีการให้น้ำแบบระบบหยดที่โคนต้นในกรณีที่ฝนทิ้งช่วง โดยปริมาณน้ำที่สูบจากใต้ดินในแต่ละครั้งไม่เพียงพอสำหรับพื้นที่ขนาด 2.5 ไร่ จำเป็นต้องสลับการให้น้ำครั้งแปลงต่อวัน มีการใส่ปุ๋ยคอก (มูลโคแห้ง) ในอัตรา 2 ตัน/ไร่ พร้อมกับการไถพรวนดินรอบสุดท้าย และให้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ผสมกับปุ๋ยสูตร 46-0-0 สัดส่วน 50:50 ในอัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ แบ่งการใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 หลังการปลูก 7 วัน ครั้งที่ 2 หลังการปลูกที่ 30 วัน พร้อมไถดินกลบโคนต้น และครั้งที่ 3 หลังการปลูกประมาณ 60 วัน

## การกำจัดวัชพืช และการกำจัดหนอน

หลังการปลูกข้าวโพด 1 วัน พ่นสารเคมีควบคุมวัชพืช Atrazine ใช้ในปริมาณตามเอกสารกำกับ และมีการกำจัดวัชพืชบริเวณโคนต้นอีกครั้งพร้อมกับการใส่ปุ๋ยเมื่อข้าวโพดอายุได้ 30 วัน

ขณะที่ต้นข้าวโพดอายุประมาณ 30 วัน พบมีหนอนกระทู้เริ่มเข้าทำลายส่วนยอดของต้นข้าวโพด จึงได้มีการใช้ยากำจัดหนอนชื่อสามัญ Chlorantraniliprole (ชื่อการค้า ฟิวราธอน) ใช้ในปริมาณตามเอกสารกำกับ พ่นบริเวณที่พบการทำลาย แต่ยังคงพบการทำลายของหนอนอยู่ จึงทำการพ่นซ้ำโดยใช้ยาชื่อสามัญ Chlorpyrifos + Cypermethrin (50% W + 5% V, ชื่อการค้า อิโซติน-เอ็ม 505) ใช้ในปริมาณตามเอกสารกำกับ หลังพ่นยาซ้ำการระบาดของหนอนกระทู้ลดลง อาจมีพบบ้างแต่กำจัดโดยวิธีกล

## การบันทึกข้อมูลข้าวโพด

วันที่ฝักข้าวโพดเริ่มออกไหมและวันที่เกสรดอกตัวผู้เริ่มปล่อนละอองเกสร โดยประเมินจากสายตา เมื่อฝักข้าวโพดมีการออกไหม และปล่อนละอองเกสรมากกว่า 50% ของแปลง จึงกำหนดวันตัดทำหมักเมื่อเมล็ดมีสีนํ้านมที่ระยะ 25 50 และ 75% ตามลำดับ และก่อนการตัด 1 วันทำการนับจำนวนแถวที่ปลูก สุ่มนับจำนวนต้น/แถว โดยเว้นทุกๆ 4 แถว และสุ่มชั่งน้ำหนักต้น ณ วันที่ตัดทำหมัก

## การทำข้าวโพดหมัก

ตัดต้นข้าวโพดพร้อมฝักตามระยะสีนํ้านมที่กำหนด โดยตัดและสับด้วยเครื่อง Crop chopper ให้มีขนาดชิ้น 1-2 เซนติเมตร บรรจุลงในถังพลาสติกขนาดบรรจุ 75 กิโลกรัม อัดให้แน่นและไล่อากาศโดยการย่ำ จากนั้นจึงปิดและล๊อคฝาถังเพื่อป้องกันอากาศเข้า เนื่องจากข้าวโพดที่และระยะสีนํ้านมมีความชื้นที่ต่างกัน จึงทำให้การบรรจุอัดลงในถังได้น้ำหนักต่างกัน ที่ระยะสีนํ้านม 25% อัดแน่นได้เฉลี่ย 74 กิโลกรัม/ถัง ที่ระยะสีนํ้านม 50% อัดแน่นได้เฉลี่ย 70 กิโลกรัม/ถัง และที่ระยะสีนํ้านม 75% อัดแน่นได้เฉลี่ย 68 กิโลกรัม/ถัง

## การประเมินคุณภาพการหมัก และส่วนประกอบทางเคมี

เมื่อข้าวโพดสุวรรณ 4452 ที่ระยะสีนํ้านม 25 50 และ 75% หมักครบ 21 วัน และที่ระยะเวลาเก็บรักษา 60 วัน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่าง 1 ถึงต่อ 1 ซ้ำ จำนวน 3 ซ้ำ/ระยะสีนํ้านม เพื่อศึกษาคุณภาพการหมัก โดย แบ่งสุ่มเก็บตัวอย่างซ้ำละประมาณ 1 กิโลกรัม สุ่มเก็บจากแต่ละตำแหน่งของถังหมัก นำมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นสุ่ม

เก็บตัวอย่างส่วนที่ 1 ประมาณ 100 กรัม สำหรับนำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่องวัด pH (Ohaus, รุ่น Starter 3100, USA) และนำไปวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดแลคติก (Lactic acid) กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) และกรดบิวทีริก (Butyric acid) ตามวิธีการของเครื่อง Gas chromatography (J-Science Lab, รุ่น GC 7100F series, Japan)

ส่วนตัวอย่างสดที่เหลือ นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 48 ชั่วโมง ทำการบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร สำหรับนำไปวิเคราะห์หาค่าความชื้นตามวิธีการของ AOAC 930.15 (2016) เพื่อใช้คำนวณหาตัววัตถุแห้ง (Dry matter, DM) CP ตามวิธีการของ ISO 5983-2 (2009) ไขมัน (Ether extract, EE) ตามวิธีการของ ISO 6429 (2015) เถ้า (Ash) ตามวิธีการของ AOAC 942.05 (2016) 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) คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เยื่อใย (Non-fiber carbohydrate, NFC) คำนวณได้ดังนี้  $NFC = 100 - (CP + EE + Ash + NDF)$  (NRC, 2001)

ค่าการย่อยได้จริงของวัตถุแห้ง (*In vitro* true dry matter digestibility, IVTDMD) ตามวิธีการของเครื่อง DAISY<sup>II</sup> Incubator (ANKOM Technology, 2017) ปริมาณการย่อยได้ของผนังเซลล์ (Digestible neutral detergent fiber, dNDF) และค่าการย่อยได้ของผนังเซลล์ (Neutral detergent fiber digestibility, NDFD) ตามวิธีการของ Muttoni *et al.* (2013)

ประเมินคุณภาพการหมักด้วยค่า Flieg Score (FS) (Kilic, 2006) เป็นการประเมินคุณภาพเบื้องต้นด้วยค่า pH และค่าของวัตถุแห้ง ด้วยสมการ  $FS = 220 + (2 \times \% \text{ Dry Matter} - 15) - (40 \times \text{pH})$

โดยถ้าคะแนน 81-100 point "very good", 61-80 points "good", 41-60 points "satisfactory", 21-40 points "medium" และ 00-20 points "bad"

### การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดอินทรีย์ และค่าการย่อยได้ทางห้องปฏิบัติการของข้าวโพดหลังการหมักที่ 21 และ 60 วัน นำไปวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Analysis of variance ตามแผนการทดลอง 3x2 Factorial in CRD และวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ด้วยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป โดยมีแบบจำลอง ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk} \text{ โดยที่}$$

$$Y_{ijk} = \text{ค่าสังเกตที่ได้จากปัจจัยที่ } ij \text{ ซ้ำที่ } k$$

$$\mu = \text{ค่าเฉลี่ยรวม (Overall mean)}$$

$$\alpha_i = \text{อิทธิพลเนื่องจากปัจจัยที่ } i \text{ เมื่อ } i = 1, 2, 3, \dots, n \text{ (ข้าวโพดหมัก 3 ระยะเสั่นน้ำมัน)}$$

$$\beta_j = \text{อิทธิพลเนื่องจากปัจจัยที่ } j \text{ เมื่อ } j = 1, 2, 3, \dots, n \text{ (อายุการหมักที่ 21 และ 60 วัน)}$$

$$\alpha\beta_{ij} = \text{อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ } i \text{ และปัจจัยที่ } j \text{ เมื่อ } ij = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$\varepsilon_{ijk} = \text{ความคลาดเคลื่อนของงานทดลอง}$$

## การทดลองย่อยที่ 2 ศึกษาการย่อยได้และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยวิธีวัดโดยตรงจากตัวสัตว์

วางแผนการทดลอง แบบ 3x4 imbalanced Latin square design มีสิ่งทดลองคือ ข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักที่ 21 วัน ซึ่งมีระยะเส้นน้ำมันต่างกัน คือ 25 50 และ 75% และโคจำนวน 4 ตัว ทำการศึกษาจำนวน 3 รอบ ให้โคแต่ละตัวได้กินอาหารครบทั้ง 3 ชนิด ดังนั้นในแต่ละรอบจะมีโค 2 ตัวกินอาหารเหมือนกัน

### สัตว์ทดลอง

ใช้โคนมเพศเมียลูกผสมโฮสโตนฟรีเซียนสายเลือดไม่ต่ำกว่า 87.5% อายุเฉลี่ย 4 ปี ไม่อ้วนท้วม มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย  $412.2 \pm 15.7$  กิโลกรัม ก่อนการทดลองโคทุกตัวมีการฉีดวิตามิน  $AD_3E$  และยาถ่ายพยาธิ (ใช้ในปริมาณตามเอกสารกำกับยา) โคถูกแยกเลี้ยงในคอกขังเดี่ยว มีน้ำและแร่ธาตุก่อน ให้กินอย่างอิสระ กำหนดให้โคกินอาหารในระดับ 1 % ของน้ำหนักตัว แบ่งอาหารให้กินวันละ 2 เวลา (9.30 และ 17.00 น.)

### ศึกษาการย่อยได้และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้

แต่ละรอบของการทดลองปรับอาหารให้โคกินเป็นเวลา 10 วัน จากนั้นนำขึ้นกรงเมตาโบลิซึมเพื่อเก็บข้อมูลเป็นเวลา 6 วัน วัดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่โคใช้ในการหายใจ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนที่โคผลิตออกมาทางลมหายใจ ด้วยชุดอุปกรณ์วัดที่เป็นระบบเปิด (Open-circuit system with ventilated hood-type respiration calorimeters) ตามวิธีการของ Suzuki *et al.* (2007) และก่อนการทดลองมีการตรวจสอบค่า % Recovery ของชุดอุปกรณ์การวัดก๊าซ ควรอยู่ในช่วง  $100 \pm 5$  % ในการทดลองนี้ มีค่าเท่ากับ  $97.9 \pm 1.5$  % ซึ่งการวัดปริมาณก๊าซจะดำเนินการควบคู่ไปกับการเก็บรวบรวมปริมาณมูล และปัสสาวะที่ขับถ่ายออกมา โดยวิธี Total collection ตามวิธีการของ Schneider and Flatt (1975)

เก็บรวบรวมมูล และปัสสาวะของโคแต่ละตัวตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งในถังเก็บปัสสาวะเติมกรดซัลฟริกเข้มข้น 20% (v/v) ปริมาณที่ใช้ขึ้นกับระดับความเป็นกรดต้องไม่เกิน 3.5 และที่เวลา 9.30 น.ของแต่ละวันนำมูล และปัสสาวะ ของโคแต่ละตัวที่เก็บรวบรวมไว้ ชั่งน้ำหนักบันทึกปริมาณการขับถ่ายทั้งหมด จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างมูลประมาณ 1 กิโลกรัม/วัน และปัสสาวะประมาณ 350 มิลลิลิตร/วัน เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อครบ 6 วัน นำตัวอย่างมูล และปัสสาวะ แยกเป็นรายตัว นำมาชั่งน้ำหนักตามสัดส่วนที่ขับถ่ายในแต่ละวัน จากนั้นจึงผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วจึงทำการสุ่มเพื่อนำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี และค่าพลังงานรวม ต่อไป

วิธีการบันทึกปริมาณก๊าซจากการหายใจของโคจะบันทึกเป็นรายตัว เครื่องสามารถบันทึกได้วันละ 2 ตัว โดยสลับการบันทึกวันละ 2 ตัว จนครบ 6 วัน ดังนั้น โคทั้ง 4 ตัว จะถูกบันทึกค่าการหายใจเป็นเวลา 3 วัน มีการบันทึกอัตราการไหลของอากาศ และความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ ภายในตู้และนอกตู้ ตลอดทั้งวัน ยกเว้นช่วง 9.00 น.- 9.30 น. ของทุกวัน จะหยุดการบันทึกค่าก๊าซต่างๆ เพื่อเปิดตู้ทำความสะอาดรางอาหาร และให้อาหารมือเช้า พร้อมทั้งทำการ Calibrate เครื่องวัดก๊าซ (Gas analyzer) ด้วยก๊าซมาตรฐาน (Span gas และ Zero gas) แต่ละชนิดได้แก่ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน และให้อาหารมือ 17.00 น. โดยไม่หยุดการบันทึก แต่จะเปิดตู้ให้อาหารโดยใช้เวลาช่วงที่เครื่องบันทึกอากาศภายนอกตู้ จะใช้เวลาให้อาหารไม่เกิน 1 นาที ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อการบินก๊าซแต่อย่างใด

## การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี

ตัวอย่างอาหารที่ให้กิน มูล และปัสสาวะ นำไปวิเคราะห์หาค่า ความชื้น ไขมัน เถ้า ส่วนประกอบของ NDF ADF และ ลิกนิน ตามวิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ค่า GE ตามวิธีการของเครื่อง Automatic isoperibol calorimeter ยี่ห้อ Parr รุ่น 6400 (USA)

ปัสสาวะ วิเคราะห์ค่าไนโตรเจน ตามวิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น 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/100kg) และ EED คือ ปริมาณการย่อยได้ของไขมัน (kg/100kg)
- ค่าพลังงานที่ย่อยได้ (Digestible energy; DE, Mcal/kgDM)  
$$= (\text{พลังงานในอาหารที่กิน} - \text{พลังงานในมูล}) / \text{ปริมาณอาหารที่กิน}$$
- ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy; ME, Mcal/kgDM)  
$$= (\text{พลังงานในอาหารที่กิน} - \text{พลังงานในมูล} - \text{พลังงานในปัสสาวะ} - \text{พลังงานที่ขับออกในรูปก๊าซมีเทน}) / \text{ปริมาณอาหารที่กิน}$$
- อัตราการไหลของอากาศ โดยคำนวณเป็น ลิตร/ตัว/วัน
- ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ไค้ใช้ในการหายใจ คำนวณได้จากส่วนต่างของปริมาณก๊าซออกซิเจนภายนอกตู้กับก๊าซออกซิเจนภายในตู้
- ปริมาณการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหายใจ คำนวณได้จากส่วนต่างของปริมาณก๊าซภายในตู้ กับก๊าซภายนอกตู้
- การผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหายใจ คำนวณได้จากส่วนต่างของปริมาณก๊าซมีเทนภายในตู้ กับก๊าซมีเทนภายนอกตู้ โดยที่ ก๊าซมีเทน 1 ลิตร มีน้ำหนัก เท่ากับ 0.719 กรัม และมีพลังงานรวม เท่ากับ 39.54 kJ (Brouwer, 1965)
- ค่าการกักเก็บพลังงาน (Mcal/kgDM/day)  
$$= \text{ปริมาณพลังงานในอาหารที่กิน} - \text{พลังงานในมูล} - \text{พลังงานในปัสสาวะ} - \text{พลังงานก๊าซมีเทน}$$
- ค่าการกักเก็บไนโตรเจน (g/day)  
$$= \text{ปริมาณไนโตรเจนในอาหารที่กิน} - \text{ไนโตรเจนในมูล} - \text{ไนโตรเจนในปัสสาวะ}$$
- ค่าความร้อนที่ผลิตขึ้น (Heat production; HP, kcal) (Brouwer, 1965)  
$$= 3.866 V_{O_2} + 1.200 V_{CO_2} - 1.431 N - 0.518 CH_4$$
 โดยที่  
 $V_{O_2}$  คือ ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ (ลิตร/วัน)  
 $V_{CO_2}$  คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้น (ลิตร/วัน)  
 $N$  คือ ปริมาณไนโตรเจนในปัสสาวะ (กรัม/วัน)  
 $CH_4$  คือ ปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตขึ้น (ลิตร/วัน)

## การวิเคราะห์ข้อมูล

ส่วนค่าการย่อยได้ของโภชนะ และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ นำมาหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Analysis of variance ตามแผนการทดลอง 3x4 in Latin square และวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ด้วยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป โดยมีแบบจำลอง ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_j + \beta_k + \varepsilon_{ijk} \text{ โดยที่}$$

$Y_{ijk}$  = ค่าสังเกตที่ได้จากทรีทเมนต์ที่  $i$  เมื่อ  $i = 1, 2, 3$  แถวที่  $j$  เมื่อ  $j = 1, 2, 3$  คอลัมน์ที่  $k$  เมื่อ  $k = 1, 2, \dots, 4$

$\mu$  = ค่าเฉลี่ยรวม (Overall mean)

$\tau_i$  = อิทธิพลเนื่องจากทรีทเมนต์ที่  $i$  เมื่อ  $i = 1, 2, 3$  (ข้าวโพดหมัก 3 ระยะสั้นนาน)

$\alpha_j$  = อิทธิพลเนื่องจากแถวที่  $j$  เมื่อ  $j = 1, 2, 3$  (ระยะการทดลอง 3 ระยะ)

$\beta_k$  = อิทธิพลเนื่องจากคอลัมน์ที่  $k$  เมื่อ  $k = 1, 2, \dots, 4$  (จำนวนโค 4 ตัว)

$\varepsilon_{ijk}$  = ความคลาดเคลื่อนของงานทดลอง

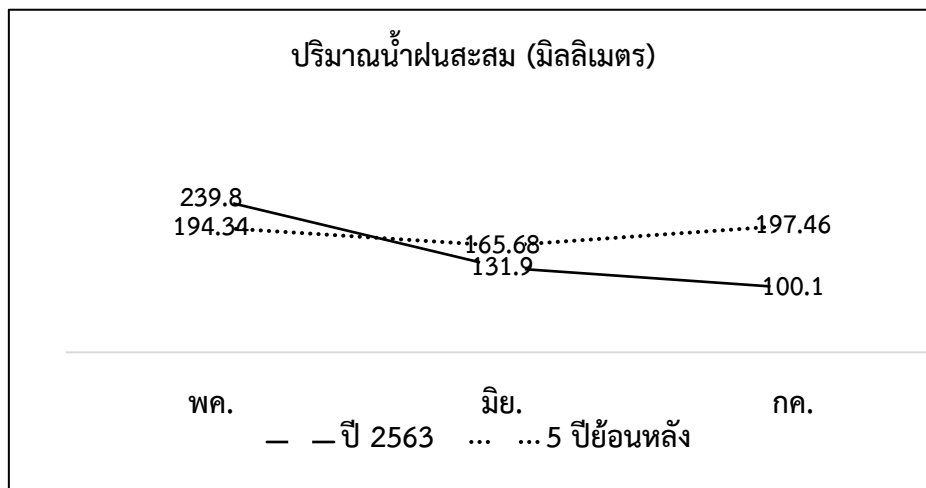
## ผลการทดลอง และวิจารณ์

ผลการดำเนินงานของการทดลองย่อยทั้ง 2 การทดลอง มีดังนี้

### การทดลองย่อยที่ 1 ศึกษาคุณภาพการหมักของข้าวโพดสุวรรณ 4452

#### ข้อมูลสภาพอากาศ

จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสมเฉลี่ยในช่วงเดือน พฤษภาคม–กรกฎาคม ย้อนหลัง 5 ปี (2558 ถึง 2562) และ ปี 2563 (ข้อมูลจาก สถานีอุตุนิยมวิทยาขอนแก่น ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงเดือน พฤษภาคม 2563–กรกฎาคม 2563 และที่ย้อนหลัง 5 ปี

จากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำฝนสะสม ของเดือน พฤษภาคม 2563 มีค่าสูงกว่า 5 ปีย้อนหลัง ส่วนในเดือน มิถุนายน และ กรกฎาคม มีปริมาณน้ำฝนสะสมต่ำกว่า 5 ปีย้อนหลัง ในการทดลองครั้งนี้ปลูกข้าวโพดสุวรรณ 4452 ในวันที่ 1 พฤษภาคม 2563 ปกติเป็นเดือนที่กรมอุตุนิยมวิทยาจะประกาศเป็นวันที่เข้าสู่ฤดูฝน เพื่อให้ต้นข้าวโพดได้รับน้ำอย่างเต็มที่ แต่พบว่าฝนตกบ้างเป็นครั้งคราว จึงมีการให้น้ำแบบระบบหยดโคนต้นในช่วงที่ฝนทิ้งช่วง ตามที่ได้กล่าวมาในส่วนของวิธีการ จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสมตลอดอายุการปลูกข้าวโพดในการทดลอง

ครั้งนี้เท่ากับ 471.8 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำที่อยู่ในช่วงปกติของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีความต้องการน้ำตลอดฤดูกาล 450–600 มิลลิเมตร (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

### ผลผลิตต้นข้าวโพดสุวรรณ 4452 พร้อมฝัก

จากการสุ่มนับจำนวนต้น/แถว สามารถประเมินจำนวนต้นข้าวโพดในพื้นที่ขนาด 2.5 ไร่ ได้ทั้งหมด เท่ากับ 10,923 ต้น มีน้ำหนักต้นรวมฝักเฉลี่ย 0.86 กิโลกรัม/น้ำหนักสด/ต้น เมื่อคำนวณเป็นผลผลิตน้ำหนักสดได้เท่ากับ 4,084 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำกว่าที่ โชคชัย และคณะ (2562) ได้รายงานไว้ ว่าข้าวโพดสุวรรณ 4452 มีผลผลิตน้ำหนักสด เท่ากับ 10–16 ต้น/ไร่ และในรายงานนี้ได้แนะนำการปลูกข้าวโพดเพื่อตัดทำหมัก ในต้นฤดูฝน ควรปลูก จำนวน 12,549-14,222 ต้น/ไร่ หรือระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระหว่างต้น 15-17 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ผลผลิตสูง แต่การทดลองครั้งนี้ ปลูกระหว่างแถว และระหว่างต้น เท่ากับ 75x20 เซนติเมตร อย่างไรก็ตามผลผลิตในการทดลองครั้งนี้ พบว่า ไม่ต่างจากรายงานของ จันทกานต์ และคณะ (2564) ได้สำรวจพันธุ์ข้าวโพดต่างๆ ที่ตัดพร้อมฝักสำหรับทำหมักจำหน่ายในท้องตลาด พบว่า พันธุ์สุวรรณ 4452 ในพื้นที่ อำเภอกู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ได้ผลผลิตน้ำหนักสดประมาณ 3 ต้น/ไร่ และในพื้นที่ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ได้ผลผลิตน้ำหนักสดประมาณ 7 ต้น/ไร่ ความแตกต่างของผลผลิตนี้น่าจะมีปัจจัยมาจากระยะห่างการปลูก ช่วงฤดูที่ปลูก ความสมบูรณ์ของดิน ปริมาณการให้น้ำ เป็นต้น (Opsit *et al.*, 2012)

### ข้อมูลวันปลูก วันออกไหม และระยะเส้นน้ำนม

จากการบันทึกข้อมูลวันที่ต้นข้าวโพดเริ่มออกไหม และระยะเส้นน้ำนม ได้ข้อมูล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลวันออกไหม และข้อมูลที่เมล็ดเข้าสู่ระยะเส้นน้ำนมของข้าวโพดสุวรรณ 4452

| ข้อมูลการออกไหม                      | ระยะเส้นน้ำนม         |
|--------------------------------------|-----------------------|
| 60 วัน หลังปลูก เป็นวันที่ออกไหม 50% | เริ่มมีเมล็ด          |
| 9 วัน หลังวันออกไหม                  | เมล็ดมีสีขาวเป็นน้ำนม |
| 17 วัน หลังวันออกไหม                 | 25%                   |
| 20 วัน หลังวันออกไหม                 | 50%                   |
| 23 วัน หลังวันออกไหม                 | 75%                   |

วันที่ต้นข้าวโพดสุวรรณ 4452 ออกไหมทั่วทั้งแปลง 50% ซึ่งประเมินด้วยสายตาที่มีอายุหลังการปลูก 60 วัน และวันการออกไหม 50% ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 วัน ซึ่งช้ากว่าที่ โชคชัย และคณะ (2562) ได้รายงานไว้ คือ มีอายุ 54 วัน ซึ่งต่างออกไปเพียง 6 วัน เท่านั้น จากรายงานของ Struik *et al.* (1986) ที่พบว่า สายพันธุ์อุณภูมิ ช่วงเวลาการรับแสง ปริมาณน้ำที่ได้รับ มีผลกระทบต่อระยะเวลาการสร้างละอองเกสรตัวผู้ เกสรดอกตัวเมีย การปล่อยละอองเกสร การออกไหมฝักข้าวโพด เป็นต้น

หลังจากฝักข้าวโพดมีการผสมระหว่างเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียแล้ว หลังจากออกไหม 50% ประมาณ 9 วัน ไหมเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและเริ่มยุบลง ทำการสุ่มจากหลายๆ ต้น เพื่อติดตามดูการติดเมล็ดโดยวิธีการแกะเปลือกฝักโดยไม่หักฝัก พบว่า เมล็ดเริ่มเต็มและมีสีขาว เมื่อบีบเมล็ดให้แตกออกจะมีของเหลวสีขาว ซึ่งเป็นระยะที่

เมล็ดเริ่มเป็นนํ้านม นับวันเพื่อรอให้เมล็ดมีสีเหลืองทั้งฝักทำการสุ่มหักฝักเพื่อดูเส้นนํ้านม พบว่า เมล็ดเริ่มเข้าสู่ระยะเส้นนํ้านม 25 50 และ 75% หลังวันที่ออกไหม 50% เท่ากับ 17 20 และ 23 วัน ตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการเข้าสู่ระยะเส้นนํ้านมหลังการออกไหมจะต่างไปจากรายงานของ Bell (2017) ที่พบว่า ด้านนอกของเมล็ดข้าวโพดเริ่มมีสีเหลือง ภายในยังเป็นส่วนนํ้านม เข้าสู่ระยะ Dough (R4) เกิดหลังการออกไหม 24-28 วัน ภายในเมล็ดมีลักษณะเป็นแป้งเหนียวขึ้น ระยะ Dent (R5) เกิดขึ้นหลังการออกไหม (R1) 35-42 วัน ระยะ Mid-dent (R5.5) ระยะนี้จะเห็นเส้นนํ้านม (Milk line) 1/2 ของเมล็ด ความแตกต่างกันนี้น่าจะเกิดจากปัจจัยต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

### องค์ประกอบทางเคมี และค่าการย่อยได้ทางห้องปฏิบัติการของข้าวโพดก่อนการหมัก

ข้าวโพดสุพรรณ 4452 ที่ระยะเส้นนํ้านม 25 50 และ 75% ก่อนการหมักมีองค์ประกอบทางเคมี และค่าการย่อยได้ทางห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมี และค่าการย่อยได้ทางห้องปฏิบัติการของข้าวโพดสุพรรณ 4452 ก่อนการหมัก

| ระยะเส้น<br>นํ้านม | DM    | CP                | Ash  | EE   | NDF   | NFC   | ADF   | ADL  | IVTDMD | dNDF  | NDFD  |
|--------------------|-------|-------------------|------|------|-------|-------|-------|------|--------|-------|-------|
|                    | %     | <----- %DM -----> |      |      |       |       |       |      |        |       | % NDF |
| 25%                | 21.08 | 12.49             | 9.70 | 2.07 | 58.40 | 17.34 | 31.70 | 3.46 | 64.02  | 22.73 | 38.93 |
| 50%                | 26.58 | 9.42              | 5.73 | 1.34 | 57.54 | 25.97 | 29.67 | 2.45 | 66.76  | 23.72 | 41.23 |
| 75%                | 27.50 | 8.01              | 5.93 | 0.83 | 56.99 | 28.24 | 29.73 | 2.55 | 74.48  | 32.18 | 56.47 |

DM (Dry matter); CP (Crude protein); EE (Ether extract); NDF (Neutral detergent fiber); NFC (Non-fiber carbohydrate); ADL (Acid detergent lignin); IVTDMD (In vitro true dry matter digestibility); dNDF (Digestible neutral detergent fiber NDFD (Neutral detergent fiber digestibility)

ข้อมูลในตารางที่ 2 มีแนวโน้มว่าข้าวโพดสุพรรณ 4452 ที่ระยะเส้นนํ้านม 25% มี DM ต่ำกว่าที่ระยะเส้นนํ้านม 50 และ 75% เนื่องจากที่ระยะเส้นนํ้านม 25% มีอายุการปลูก 77 วัน ส่วนระยะเส้นนํ้านม 50 และ 75% ตัดที่อายุ 81 และ 83 วันหลังการปลูก ซึ่งต้นข้าวโพดที่อายุน้อยกว่า มีส่วนของใบ ลำต้น และฝักยังคงมีความชื้นสูงกว่าต้นข้าวโพดที่อายุมากกว่า และมีแนวโน้มว่าค่า CP ที่อายุน้อยกว่ามีค่าสูงกว่าเมื่อตัดที่อายุเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกับรายงานที่พบทั่วไป เช่น ฉันทนา และคณะ (2543) พบว่า ข้าวโพดระยะที่เมล็ดเป็นแป้ง 25 50 และ 75% มีค่า DM เท่ากับ 26.8 31.2 และ 35.9% ตามลำดับ Bal *et al.* (1997) พบว่า ข้าวโพดระยะเส้นนํ้านม 50% 75% และเมล็ดมีแถบสีดำ มีค่า DM เท่ากับ 32.8 33.1 และ 42% ตามลำดับ มีค่า CP เท่ากับ 7.3 7.1 และ 7.0 ตามลำดับ มีรายงานของ Di Marco *et al.* (2002) ต้นข้าวโพดระยะออกไหม เมล็ดระยะนํ้านม และเมล็ดระยะนํ้านม 50% มีค่า DM เท่ากับ 20 26 และ 32% ตามลำดับ

ในส่วนของ NDF ของข้าวโพดสุพรรณ 4452 มีแนวโน้มลดลงเมื่อเมล็ดมีการสะสมแป้งเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับค่า NFC ที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเส้นนํ้านมที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับรายงานของ Johnson *et al.* (1999) ที่พบว่า ค่าเยื่อใยหยาบ (Crude fiber, CF) ลดลง แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่รวมไนโตรเจน (Nitrogen-free extract, NFE) เพิ่มขึ้น ดังนั้น เมื่อตัดข้าวโพดทั้งต้นซึ่งมีส่วนของแป้งในเมล็ดรวมอยู่ด้วย ส่งผลให้สัดส่วนของ NDF ADF และ ADL ลดต่ำลง (Argillier *et al.*, 1995) ดังเช่นในรายงานของ Di Marco *et al.* (2002) พบว่าต้นข้าวโพดที่ระยะออกไหม (Silking) เมล็ดเป็นนํ้านม (Milk grain) และที่ระยะเส้นนํ้านม 50% มีค่า NDF เท่ากับ 60 55 และ

41%DM ตามลำดับ และมีค่า ADF เท่ากับ 36.31 และ 26%DM ตามลำดับ และในรายงานของ Bal *et al.* (1997) ที่พบว่าต้นข้าวโพดระยะเริ่มมีเมล็ด ระยะเสี้ยนน้ำนม 1/4 2/3 และระยะเมล็ดมีแถบสีดำ มีค่า NDF เท่ากับ 52.0 44.4 40.5 และ 41.3%DM ตามลำดับ และมีค่า ADF เท่ากับ 32.0 27.1 23.9 และ 24.2%DM ตามลำดับ ในส่วนของปริมาณ NFC พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อตัดที่ระยะเสี้ยนน้ำนมเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมล็ดข้าวโพดที่มีการสะสมปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น ดังในรายงานของ Di Marco *et al.* (2002) พบว่า ข้าวโพดมีการสะสมแป้งเพิ่มขึ้นตั้งแต่ระยะออกไหม ไปจนถึงระยะเสี้ยนน้ำนม 50% มีแป้งเพิ่มขึ้น จาก 2% เป็น 28%

ค่า IVTDMD เป็นค่าที่ช่วยในการประเมินเมื่อสัตว์เคี้ยวเอื้องกินข้าวโพดพร้อมฝักทั้งหมดเข้าไปมีแนวโน้มว่าสามารถย่อยได้เท่าไร หรือในทางกลับกันส่วนที่ไม่ถูกย่อยจะถูกขับออกมาในรูปของมูล ส่วน dNDF เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณของ NDF ในข้าวโพดพร้อมฝักหมักที่ถูกย่อยได้ ส่วน NDFD เป็นร้อยละของค่า NDF ที่ย่อยได้ ซึ่งพบว่า IVTDMD dNDF และ NDFD ของข้าวโพดพร้อมฝักที่ระยะเสี้ยนน้ำนม 75% มีค่าสูงกว่าที่ระยะเสี้ยนน้ำนม 25% และ 50% เนื่องจากมีส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายอยู่และมีมากขึ้นตามระยะเสี้ยนน้ำนมที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่า IVTDMD dNDF และ NDFD เพิ่มขึ้น (Di Marco *et al.*, 2002)

### องค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพการหมักของข้าวโพด

ข้าวโพดสุวรรณ 4452 ที่ตัดที่ระยะเสี้ยนน้ำนม 25 50 และ 75% อายุการหมัก 21 วัน ซึ่งเป็นระยะที่กระบวนการหมักของพืชเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ (McDonald *et al.*, 1991) และหลังจากหมัก 60 วัน เป็นช่วงที่เก็บรักษา พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพการหมัก ดังแสดงในตารางที่ 3

ข้อมูลในตารางที่ 3 พบว่า ระยะเสี้ยนน้ำนมมีผลต่อค่า DM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยข้าวโพดหมักที่ระยะเสี้ยนน้ำนม 25% มีค่า DM ต่ำสุด เท่ากับ 20.82% และมีค่าสูงสุดเมื่อตัดที่ระยะเสี้ยนน้ำนม 75% เท่ากับ 24.56% ทั้งนี้เนื่องจากอายุการตัดที่ต่างกัน โดยข้าวโพดระยะเสี้ยนน้ำนม 25% มีอายุการตัดที่ 77 วัน ส่วนข้าวโพดที่ตัดระยะเสี้ยนน้ำนม 50 และ 70% มีอายุการตัดที่ 81 และ 83 วัน ตามลำดับ ดังนั้น อายุการตัดที่น้อยกว่าส่งผลให้ความชื้นมากกว่า และพบว่าอายุการหมักไม่มีผลต่อค่า DM ( $p > 0.05$ ) ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกับรายงานที่พบทั่วไป เช่น ฉันทนา และคณะ (2543); Bal *et al.* (1997); Di Marco *et al.* (2002) ที่พบว่าปริมาณ DM เพิ่มขึ้นเมื่ออายุมากขึ้น อย่างไรก็ตามค่า DM ของต้นข้าวโพดสุวรรณ 4452 ที่ตัดที่ระยะเสี้ยนน้ำนมทั้ง 3 ระยะ มีค่าใกล้เคียงกับของ วรรณ และคณะ (2562) ที่ซื้อข้าวโพดหมักลูกผสมสุวรรณจากเกษตรกรผู้ผลิตจำหน่ายซึ่งตัดที่อายุประมาณ 80 วัน พบว่า มีค่า DM เท่ากับ 23.52% และอยู่ในช่วงเดียวกับรายงานของ คณะกรรมการความต้องการโภชนาโคณมในประเทศไทย (2563) เท่ากับ  $26.09 \pm 6.43\%$

ส่วนค่า CP มีค่าลดลงตามระยะเสี้ยนน้ำนมที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากอายุการตัดต้นข้าวโพดสุวรรณ 4452 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับต้นข้าวโพดพร้อมฝักหมักพันธุ์ต่างๆ ที่รายงานโดย จันทกานต์ และคณะ (2564) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $9.10 \pm 1.84\%$  DM

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมี ค่าการย่อยได้โดยวิธีห้องปฏิบัติการ และคุณภาพการหมักของข้าวโพดสุวรรณ 4452 ที่ระยะเสั่นน้ำนม และอายุการหมักที่แตกต่างกัน

| รายการ                | องค์ประกอบทางเคมี และค่าการย่อยได้ |                   |                   |                   |                    |       |                   |       |       |       | คุณภาพการหมัก     |                     |       |                   |       |                   |
|-----------------------|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------|---------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|
|                       | DM                                 | CP                | Ash               | EE                | NDF                | ADF   | ADL               | IVDMD | dNDF  | NDFD  | pH                | FS                  | LA    | AA                | PA    | BA                |
|                       | %                                  | <----- %DM -----> |                   |                   |                    |       |                   |       |       |       | <----- %DM -----> |                     |       |                   |       |                   |
|                       |                                    |                   |                   |                   |                    |       |                   |       |       |       |                   |                     |       |                   |       |                   |
| ระยะน้ำนม 25%         | 20.82 <sup>c</sup>                 | 8.58 <sup>a</sup> | 6.67 <sup>a</sup> | 1.30 <sup>c</sup> | 57.02              | 32.22 | 2.85 <sup>b</sup> | 67.43 | 23.32 | 42.21 | 3.73              | 97.50 <sup>c</sup>  | 7.14  | 4.56 <sup>a</sup> | 0.05  | 0.68              |
| ระยะน้ำนม 50%         | 22.16 <sup>b</sup>                 | 8.20 <sup>b</sup> | 5.67 <sup>b</sup> | 1.65 <sup>a</sup> | 56.29              | 32.67 | 3.54 <sup>a</sup> | 66.82 | 23.10 | 41.05 | 3.69              | 101.78 <sup>b</sup> | 6.43  | 3.32 <sup>b</sup> | 0.05  | 0.56              |
| ระยะน้ำนม 75%         | 24.56 <sup>a</sup>                 | 7.78 <sup>c</sup> | 5.41 <sup>b</sup> | 1.51 <sup>b</sup> | 56.28              | 32.75 | 3.67 <sup>a</sup> | 67.13 | 23.41 | 41.55 | 3.66              | 107.65 <sup>a</sup> | 6.35  | 3.14 <sup>b</sup> | 0.08  | 0.48              |
| p-value               | <0.001                             | <0.001            | <0.001            | <0.001            | 0.572              | 0.727 | <0.001            | 0.805 | 0.801 | 0.833 | 0.119             | <0.001              | 0.730 | <0.001            | 0.585 | 0.108             |
| อายุการหมัก 21 วัน    | 22.65                              | 8.11              | 5.84              | 1.25 <sup>b</sup> | 57.24 <sup>a</sup> | 32.86 | 3.36              | 66.73 | 23.97 | 41.87 | 3.63 <sup>b</sup> | 104.98 <sup>a</sup> | 7.18  | 3.24 <sup>b</sup> | 0.07  | 0.33 <sup>b</sup> |
| อายุการหมัก 60 วัน    | 22.36                              | 8.26              | 5.99              | 1.72 <sup>a</sup> | 55.81 <sup>b</sup> | 32.23 | 3.50              | 67.52 | 22.49 | 41.34 | 3.75 <sup>a</sup> | 99.64 <sup>b</sup>  | 6.10  | 4.11 <sup>a</sup> | 0.04  | 0.82 <sup>a</sup> |
| p-value               | 0.183                              | 0.131             | 0.355             | <0.001            | 0.046              | 0.294 | 0.936             | 0.313 | 0.139 | 0.736 | <0.001            | <0.001              | 0.245 | 0.001             | 0.223 | <0.001            |
| p-value               |                                    |                   |                   |                   |                    |       |                   |       |       |       |                   |                     |       |                   |       |                   |
| ระยะน้ำนมxอายุการหมัก |                                    |                   |                   |                   |                    |       |                   |       |       |       |                   |                     |       |                   |       |                   |
| หมัก                  | 0.180                              | 0.823             | 0.054             | 0.089             | 0.609              | 0.583 | 0.250             | 0.155 | 0.209 | 0.183 | 0.071             | 0.055               | 0.211 | 0.005             | 0.441 | 0.002             |
| SEM                   | 0.39                               | 0.09              | 0.16              | 0.07              | 0.34               | 0.27  | 0.10              | 0.38  | 0.52  | 0.76  | 0.02              | 1.32                | 0.45  | 0.23              | 0.01  | 0.08              |

FS (Fleg score); LA (Lactic acid); AA (Acetic acid); PA (Propionic acid); BA (Butyric acid)

อักษร a, b, c ที่กำกับในแนวดิ่งแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95%; SEM (Standard error of mean)

ปริมาณ Ash พบว่า ข้าวโพดที่ตัดที่ระยะเส้นน้ำนม 25% มีค่าเท่ากับ 6.67 %DM มีค่าสูงสุด ( $p < 0.05$ ) สูงกว่าที่ระยะเส้นน้ำนมที่ 50 และ 75% เท่ากับ 5.67 และ 5.41 %DM ตามลำดับ Ash คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ และส่วนมากคือปริมาณของแร่ธาตุ โดยปกติพืชมีการสะสมอยู่ในส่วนของลำต้น ดังนั้น ข้าวโพดที่ระยะเส้นน้ำนม 50 และ 75% มีการสะสมส่วนของแป้งในเมล็ดเพิ่มขึ้น เมื่อตัดข้าวโพดรวมทั้งฝักทำให้มีสัดส่วนของลำต้นลดลง จึงทำให้ สัดส่วนของ Ash มีสัดส่วนที่ลดลง (Argillier *et al.*, 1995; Di Marco *et al.*, 2002) และอายุการหมักไม่มีผลต่อ Ash แต่อย่างใด อย่างไรก็ตาม Ash ของข้าวโพดหมักทั้ง 3 ระยะเส้นน้ำนม อยู่ในช่วงเดียวกับในรายงานของ คณะกรรมการความต้องการโภชนาโคมนในประเทศไทย (2563) มีค่าเท่ากับ  $6.47 \pm 1.90$  %DM

ค่า EE ในข้าวโพดหมักที่ระยะเส้นน้ำนม 25% มีค่าเท่ากับ 1.30 %DM ต่ำกว่าที่ระยะเส้นน้ำนม 75% มีค่าเท่ากับ 1.51 %DM และมีปริมาณสูงสุด ที่ระยะเส้นน้ำนม 50% เท่ากับ 1.65 %DM ( $p < 0.05$ ) อาจเป็นผลมาจาก ปริมาณไขมันในส่วนเมล็ดที่มีการพัฒนาเพิ่มขึ้น ในเมล็ดข้าวโพดมีปริมาณไขมัน เท่ากับ 1.2–5.0 % โดยขึ้นอยู่กับ พันธุ์กรรมของข้าวโพด (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

ในการทดลองครั้งนี้ พบว่า อายุการหมักมีผลต่อปริมาณไขมัน โดยที่อายุการหมัก 60 วัน มีไขมัน เท่ากับ 1.72 %DM สูงกว่าที่อายุการหมัก 21 วัน เท่ากับ 1.25 %DM ( $p < 0.05$ ) ปัจจัยหนึ่งอาจมาจากปริมาณกรดไขมันที่ จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการหมัก และอีกปัจจัยอาจมาจากหลังกระบวนการหมักกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นไป ทำลายผนังเซลล์ทำให้ไขมันที่อยู่ภายในเซลล์ถูกสกัดออกมาจึงส่งผลให้มีปริมาณไขมันสูงขึ้นหลังการหมัก (McDonald *et al.*, 1991) อย่างไรก็ตามค่าไขมันมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับรายงานของ คณะกรรมการความต้องการ โภชนาโคมนในประเทศไทย (2563) มีค่าเท่ากับ  $1.76 \pm 0.68$  %DM

ส่วนของ NDF และ ADF ในข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักที่ระยะเส้นน้ำนม 25 50 และ 75% มีค่าไม่ แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และใกล้เคียงกับค่าสูงสุดที่พบในข้าวโพดพร้อมฝักหมักที่รายงานโดย จันทกานต์ และคณะ (2564) มีค่า NDF และ ADF สูงสุด เท่ากับ 55.8 และ 34.9 %DM ตามลำดับ ยกเว้นในส่วนลิกนิน ที่ พบว่าต้นข้าวโพดตัดที่ระยะเส้นน้ำนม 25% (2.85 %DM) มีปริมาณต่ำกว่า ที่ระยะเส้นน้ำนม 50 และ 75% (3.54 และ 3.67 %DM) ( $p < 0.05$ ) เป็นผลมาจากความอ่อนแก่ของลำต้นที่ตัดที่อายุต่างกัน ดังได้กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้ว ส่วนอายุการหมักพบว่า ไม่มีผลต่อค่า ADF และ ลิกนิน เช่นเดียวกับรายงาน Der Bredosian *et al.* (2012) ที่ พบว่า ระยะเวลาการหมักไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ NDF ADF และลิกนิน แต่ในการทดลองครั้งนี้พบว่าอายุ การหมักมีผลต่อค่า NDF ที่อายุการหมัก 21 วัน มีค่า NDF สูงกว่าที่ 60 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เท่ากับ 57.24 และ 55.81 %DM ตามลำดับ คาดว่าอาจเป็นผลมาจากส่วนของ Hemicellulose ลดลง (Hemicellulose เท่ากับ ค่า NDF ลบด้วย ค่า ADF) จึงเป็นไปได้ว่า ค่าดังกล่าวอาจมีการละลายหายไปจากกรด ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก ดังในรายงานของ Morrison (1979) ที่พบว่า Hemicellulose สามารถถูก ย่อยสลายด้วยกรดที่เกิดจากกระบวนการหมัก ได้ 10–20% อย่างไรก็ตามปริมาณ NDF ADF และ ลิกนิน มีค่าอยู่ ในช่วงเดียวกับรายงานของ คณะกรรมการความต้องการโภชนาโคมนในประเทศไทย (2563) เท่ากับ  $61.83 \pm 8.60$   $34.31 \pm 6.81$  และ  $4.86 \pm 2.89$  %DM ตามลำดับ

ค่า IVTDMD dNDF และ NDFD ที่วัดโดยวิธีทางห้องปฏิบัติการ ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักที่ ระยะเส้นน้ำนม 25 50 และ 75% และที่อายุการหมัก 21 และ 60 วัน พบว่า ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) สาเหตุที่อายุการหมักไม่มีผลต่อค่าการย่อยได้นั้น เนื่องจากกระบวนการหมักของพืชจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ที่เวลา

21 วัน (McDonald *et al.*, 1991) ในกระบวนการหมักนั้นส่วนของแป้งและน้ำตาลจุลินทรีย์ได้ย่อยสลายไปแล้ว ส่วนที่เหลืออยู่จึงเป็นส่วนของโครงสร้างเซลล์พืชกับสารอินทรีย์ ดังนั้น หลังหมัก 21 และ 60 วัน ค่าการย่อยได้จึงไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับในรายงานของ Di Marco *et al.* (2005) พบว่า ค่า IVDMD ของข้าวโพดพร้อมฝักหมักที่ระยะเมล็ดเป็นน้ำนมกับระยะเส้นน้ำนม 50% มีค่าเท่ากับ 60.1% และ 63.1% ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) และในการทดลองครั้งนี้ พบว่าอายุการหมักไม่มีผลต่อค่า IVTDMD dNDF และ NDFD แต่อย่างใด ( $p>0.05$ ) เช่นเดียวกับ Der Bedrosian *et al.* (2012) ที่พบว่า ค่า NDFD ของข้าวโพดที่อายุการหมักที่ 45 วัน จนถึง 360 วัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ )

ค่า pH ของข้าวโพดสุพรรณ 4452 หมักที่ระยะเส้นน้ำนม 25 50 และ 75% พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่อายุการหมักมีผลทำให้ค่า pH สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) แม้ค่า pH จะเพิ่มขึ้นแต่ก็ยังอยู่ในช่วงปกติของพืชหมักคุณภาพดี มีค่า pH อยู่ในช่วง 3.7–4.2 (McDonald *et al.*, 1991; Kung *et al.*, 2018) และค่า pH ข้าวโพดหมักในการทดลองครั้งนี้ อยู่ในช่วง 3.5–4.2 ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่มีคะแนนสูงสุด (กองอาหารสัตว์, 2547)

ค่า Fleig score (FS) เป็นค่าคะแนนในการประเมินคุณภาพพืชหมัก โดยนำค่าวัตถุแห้ง และค่า pH มาใช้ในการคำนวณร่วมกัน พบว่าคะแนนคุณภาพการหมักของข้าวโพดสุพรรณ 4452 ที่ระยะเส้นน้ำนม 75% มีค่าสูงสุด และที่อายุการหมัก 21 วันมีค่าสูงกว่าที่การหมัก 60 วัน ( $p<0.05$ ) อย่างไรก็ตาม ข้าวโพดหมักทั้ง 3 ระยะเส้นน้ำนม และที่อายุการหมัก 21 วัน และ 60 วัน มีค่า FS ในช่วง 81–100 คะแนน จัดเป็นพืชหมักคุณภาพดีมาก (Kilic, 2006)

ปริมาณกรดแลกติก ในข้าวโพดหมักทั้ง 3 ระยะเส้นน้ำนม และที่อายุการหมัก 21 วัน และ 60 วัน พบว่าปริมาณกรดแลกติกไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) และจัดว่ามีปริมาณสูง ใกล้เคียงกับของ จันทกานต์ และคณะ (2564) พบค่าสูงสุด  $6.84\pm 2.86$  % ซึ่งปกติในข้าวโพดหมักจะพบในช่วง 3–6 %DM แต่ในกรณีนี้หมักที่มี DM 25–35% จะมีปริมาณกรดแลกติก 6–10 %DM แต่จะมีค่า pH 4.3–4.7 (McDonald *et al.*, 1991; Kung *et al.*, 2018) ซึ่งในการทดลองนี้ ข้าวโพดที่ตัดทำหมักในการทดลองครั้งนี้ มี DM ในช่วง 21.08–27.50% และมีค่า pH 3.55–3.79 ซึ่งแตกต่างจากรายงานที่กล่าวมาข้างต้น แม้ในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (Water soluble carbohydrate, WSC) แต่คาดว่าในข้าวโพดสุพรรณ 4452 ที่ช่วงอายุ 77–83 วัน เป็นระยะที่เมล็ดเป็นน้ำนมอยู่จึงยังคงมีส่วนของ WSC มากพอที่จะทำให้เกิดกระบวนการหมักได้รวดเร็วและมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดแลกติก จึงทำให้มีปริมาณกรดแลกติกสูง และมีค่า pH ไม่เกิน 4.0 เช่นเดียวกับในรายงานของ Di Marco *et al.* (2002) พบว่าข้าวโพดหมักที่ตัดระยะกำลังออกใหม่จนถึงระยะเส้นน้ำนม 50% มีค่า pH ในช่วง 3.4–3.7 ซึ่งจัดเป็นพืชหมักคุณภาพดี

ปริมาณกรดอะซิติก (Acetic acid) พบในช่วง 3.14–4.56 %DM เป็นปริมาณปกติที่พบในพืชหมักทั่วไป ที่จะพบในช่วง 1–4 %DM ใกล้เคียงกับของ จันทกานต์ และคณะ (2564) มีค่าสูงสุด  $3.97\pm 2.15$  %โดยปริมาณกรดอะซิติกมีมากเป็นอันดับสองรองจากกรดแลกติก โดยกรดอะซิติกมีประโยชน์ในการช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ และเชื้อรา เมื่อพืชหมักสัมผัสอากาศ และเมื่อโคกินพืชหมัก กรดอะซิติกจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะ

รูเมนเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนกรดอะซิติกไปเป็นพลังงาน หรือเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์ไขมันในน้ำมัน หรือไขมันในร่างกายต่อไป (McDonald *et al.*, 1991; Kung *et al.*, 2018)

ระยะเส้นน้ำมันและอายุการหมักมีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณกรดอะซิติก ( $p < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า ข้าวโพดหมักที่ระยะเส้นน้ำมัน 25% มีปริมาณกรดอะซิติกสูงทั้งที่ 21 วัน และ 60 วัน และที่ระยะเส้นน้ำมัน 50% และ 75% มีปริมาณกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นหลังการหมัก 60 วัน แต่ยังคงอยู่ในช่วงปกติที่พบในพืชหมักทั่วไป (1-4 %DM) ซึ่งปริมาณกรดอะซิติกจะพบสูงในกรณีที่พืชที่นำมาหมักมีความชื้นสูงมากกว่า 70% (Kung *et al.*, 2018) นอกจากนี้ในรายงานของ Der Bedrosian *et al.* (2012) พบว่า ข้าวโพดที่อายุการหมักนานขึ้น มีปริมาณกรดอะซิติกสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยพบว่าเมื่อเวลาการหมักนานขึ้นภายใต้สภาวะไร้อากาศ และมีน้ำตาลกลูโคสอยู่อย่างจำกัด จุลินทรีย์ *Lactobacillus buchneri* สามารถใช้ประโยชน์จากกรดแลกติกในการเจริญเติบโตทำให้กรดอะซิติกเพิ่มขึ้นได้ แม้ในการทดลองครั้งนี้ปริมาณกรดแลกติกที่ 60 วัน จะไม่ต่ำกว่าที่ 21 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ก็ตาม

**ตารางที่ 4** อิทธิพลร่วมของระยะเส้นน้ำมัน และอายุการหมักที่มีต่อปริมาณกรดอะซิติกของข้าวโพดสุวรรณ 4452

|                    | ระยะเส้นน้ำมัน    |                   |                   | เฉลี่ย |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|
|                    | 25%               | 50%               | 75%               |        |
| อายุการหมัก 21 วัน | 4.69 <sup>a</sup> | 2.42 <sup>b</sup> | 2.60 <sup>b</sup> | 3.24   |
| อายุการหมัก 60 วัน | 4.44 <sup>a</sup> | 4.21 <sup>a</sup> | 3.69 <sup>a</sup> | 4.11   |
| เฉลี่ย             | 4.56              | 3.32              | 3.14              | 3.67   |

อักษร a, b, c ที่กำกับในแนวนอนและแนวตั้งแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ปริมาณกรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) ในข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมัก ที่ระยะเส้นน้ำมัน 3 ระยะ และที่อายุการหมัก 21 วัน และ 60 วัน (ตารางที่ 3) พบว่า ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และมีค่าอยู่ในช่วง 0.05–0.08 %DM ซึ่งเป็นปริมาณที่อยู่ในเกณฑ์ของพืชหมักคุณภาพดี ซึ่งควรมีปริมาณกรดโพรพิโอนิก ต่ำกว่า 0.1 %DM หากพบในปริมาณที่มากกว่า 0.3–0.5 %DM เป็นการบ่งชี้ว่ากระบวนการหมักของพืชนั้นเกิดจากจุลินทรีย์กลุ่ม Clostridia (Kung *et al.*, 2018)

ปริมาณกรดบิวทีริก (Butyric acid) ในข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมัก ในการทดลองนี้ พบว่า มีปริมาณในช่วง 0.20–0.96 %DM ใกล้เคียงกับของ จันทกานต์ และคณะ (2564) มีค่าในช่วง 0.63–1.63 % ซึ่งพืชหมักที่ดีไม่ควรพบกรดบิวทีริก (McDonald *et al.*, 1991; Kung *et al.*, 2018) สาเหตุที่พบ อาจเป็นไปได้ว่าในกระบวนการตัดต้นข้าวโพดอาจมีส่วนของเศษดินและฝุ่นละอองจากแปลงปลูกปนเปื้อนมากับต้นข้าวโพด ทั้งนี้ ในรายงานของ (McDonald *et al.*, 1991) จุลินทรีย์กลุ่มหลักที่ผลิตกรดบิวทีริก คือ Clostridia ซึ่งขยายพันธุ์โดยการสร้างสปอร์ ดังนั้น สปอร์สามารถกระจายติดไปได้ทั้งที่ต้นข้าวโพดและในดิน ที่อาจปนเปื้อนไปกับต้นข้าวโพด (Argillier *et al.*, 1995)

ระยะเส้นน้ำมัน และอายุการหมักมีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณกรดบิวทีริก ( $p < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งมีผลไปในแนวทางเดียวกับอิทธิพลร่วมที่มีต่อปริมาณกรดอะซิติก อาจเนื่องจากปัจจัยของความชื้นที่มีมากกว่า 70% และอายุการหมักที่เพิ่มขึ้นอาจมีผลทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดอะซิติก และผลิตกรดบิวทีริกยังสามารถ

เจริญเติบโตได้อยู่ แม้ว่าข้าวโพดหมักในการทดลองครั้งนี้มีค่า pH ต่ำกว่า 4 ซึ่งโดยปกติจุลินทรีย์ Clostridia จะถูกทำลายเมื่อพีชหมักมีค่า pH ต่ำกว่า 4.0 และจะเจริญได้ดีเมื่อค่า pH ประมาณ 5 (McDonald *et al.*, 1991)

**ตารางที่ 5** อิทธิพลร่วมของระยะเสั่นน้ำนม และอายุการหมักที่มีต่อปริมาณกรดบิวทิริกของข้าวโพดสุวรรณ 4452

|                    | ระยะเสั่นน้ำนม    |                   |                   | เฉลี่ย |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|
|                    | 25%               | 50%               | 75%               |        |
| อายุการหมัก 21 วัน | 0.67 <sup>a</sup> | 0.16 <sup>b</sup> | 0.16 <sup>b</sup> | 0.33   |
| อายุการหมัก 60 วัน | 0.69 <sup>a</sup> | 0.96 <sup>a</sup> | 0.80 <sup>a</sup> | 0.82   |
| เฉลี่ย             | 0.68              | 0.56              | 0.48              | 0.57   |

อักษร a, b, c ที่กำกับในแนวนอนและแนวตั้งแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95%;

#### การทดลองย่อยที่ 2 ศึกษาค่าการย่อยได้และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้โดยวิธีวัดโดยตรงจากตัวสัตว์

ข้าวโพดสุวรรณ 4452 ที่ระยะเสั่นน้ำนม 25 50 และ 75% ที่อายุการหมักครบ 21 วัน มีค่าการย่อยได้ของ โภชนะ และค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้โดยวิธีวัดโดยตรงจากตัวสัตว์ ดังแสดงในตารางที่ 6

**ตารางที่ 6** องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมัก สำหรับใช้ในการศึกษาค่าการย่อยได้ และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้

|                    | DM    | CP                | Ash  | EE   | NDF               | ADF   | ADL  | NFC   | GE        | pH   |
|--------------------|-------|-------------------|------|------|-------------------|-------|------|-------|-----------|------|
|                    | %     | <----- %DM -----> |      |      | <----- %DM -----> |       |      |       | Mcal/kgDM |      |
| ระยะเสั่นน้ำนม 25% | 22.13 | 8.90              | 6.43 | 1.28 | 57.08             | 33.19 | 3.62 | 26.31 | 4.62      | 3.72 |
| ระยะเสั่นน้ำนม 50% | 23.29 | 8.52              | 5.83 | 1.61 | 55.47             | 32.19 | 3.61 | 28.56 | 4.64      | 3.70 |
| ระยะเสั่นน้ำนม 75% | 24.84 | 7.80              | 5.76 | 1.61 | 56.72             | 33.24 | 3.62 | 28.11 | 4.62      | 3.72 |

DM (Dry matter); CP (Crude protein); EE (Ether extract); NDF (Neutral detergent fiber); ADF (Acid detergent fiber); ADL (Acid detergent lignin); NFC (Non-fiber carbohydrate); GE (Gross energy)

ข้อมูลส่วนประกอบทางเคมีของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมัก ทั้ง 3 ระยะเสั่นน้ำนม มีค่าของ DM CP NDF และ ADF เป็นไปในแนวทางเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้ว (ข้อมูลในตารางที่ 3) ข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมัก ทั้ง 3 ระยะเสั่นน้ำนม มีค่า GE และ pH ใกล้เคียงกัน

ข้อมูลน้ำหนักโคที่ใช้ในการทดลอง และค่าการย่อยได้ของโภชนะต่างๆ เมื่อโคกินข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักทั้ง 3 ระยะน้ำนม มีค่าดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 น้ำหนักโค ปริมาณการกิน และค่าโภชนะที่ย่อยได้ ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักที่ระยะเส้นน้ำนมต่างกัน

|                                              | ระยะเส้นน้ำนม |       |       | SEM  | p Value |
|----------------------------------------------|---------------|-------|-------|------|---------|
|                                              | 25%           | 50%   | 75%   |      |         |
| น้ำหนักโค, kg                                | 412.7         | 409.0 | 414.9 | 4.50 | 0.273   |
| ปริมาณอาหารที่กิน, kgDM                      | 5.40          | 4.87  | 4.81  | 0.13 | 0.084   |
| ปริมาณโภชนะที่ย่อยได้ (%)                    |               |       |       |      |         |
| Dry matter digestibility (DMD)               | 65.03         | 63.56 | 62.34 | 1.11 | 0.126   |
| Organic matter digestibility (OMD)           | 66.55         | 65.13 | 64.08 | 1.09 | 0.191   |
| Crude protein digestibility (CPD)            | 65.11         | 63.85 | 60.56 | 1.45 | 0.777   |
| Ether extract (EED)                          | 73.44         | 72.84 | 69.57 | 2.53 | 0.887   |
| Neutral detergent fiber digestibility (NDFD) | 57.17         | 52.21 | 53.90 | 1.27 | 0.158   |
| Acid detergent fiber digestibility (ADFD)    | 58.88         | 53.16 | 55.42 | 1.32 | 0.138   |
| Non-fiber carbohydrate digestibility (NDCD)  | 86.81         | 90.49 | 86.44 | 1.07 | 0.058   |
| Total digestible nutrient (TDN, %)           | 63.43         | 62.80 | 61.78 | 0.69 | 0.295   |

SEM (Standard error of mean)

โดยค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบแห้ง (Dry matter digestibility, DMD) ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 ที่ตัดทำหมักที่ระยะเส้นน้ำนม 25 50 และ 75% ของเส้นน้ำนม พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 62.34–65.03% และสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับข้าวโพดลูกผสมสุวรรณ ที่รายงานโดย วรณา และคณะ (2562) มีค่าเท่ากับ  $60.8\pm 3.1\%$  และสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับรายงานของ นฤมล และคณะ (2544) ที่ศึกษาค่าการย่อยได้โดยใช้โคนมเพศเมียที่อยู่ในระยะนมแห้งไม่อู้มท้อง ในข้าวโพดสุวรรณ 5 หมัก ที่ตัดระยะเส้นน้ำนม 50% พบว่า มีค่า DMD เท่ากับ 61.14% แต่มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Nazli *et al.* (2019) ที่ศึกษาค่าการย่อยได้ของข้าวโพดพันธุ์ Suwan ระยะ Dent (R5) เป็นระยะที่เริ่มมีเส้นน้ำนม มีค่า DMD เท่ากับ 64.5% นอกจากนี้ พบว่า ค่า DMD ในการทดลองครั้งนี้ มีค่าสูงกว่าในรายงานของ Ward *et al.* (2001) ซึ่งศึกษาในข้าวโพดเขตร้อน (Tropical corn) มีค่าเท่ากับ 58.13%

ค่าการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ (Organic matter digestibility, OMD) ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักทั้ง 3 ระยะเส้นน้ำนม พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อยู่ในช่วง 64.08–66.55% แต่มีแนวโน้มลดลงในเชิงเส้นตรงเมื่อตัดที่ระยะเส้นน้ำนมเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงกว่าในรายงานของ วรณา และคณะ (2562) มีค่าเท่ากับ  $62.6\pm 3.3\%$  และสูงกว่าในรายงานของ Ohita *et al.* (2007) ที่ศึกษาในข้าวโพดลูกผสมที่ระยะเริ่มแก่ (Early mature) มีค่าเท่ากับ 61.1%

ค่าการย่อยได้ของโปรตีน (Crude protein digestibility, CPD) ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักทั้ง 3 ระยะเส้นน้ำนม พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 60.56–65.11% แต่มีแนวโน้มลดลงในเชิงเส้นตรงเมื่อตัดที่ระยะเส้นน้ำนมมากขึ้น เป็นในแนวทางเดียวกับรายงานของ Bal *et al.* (1997) มีค่า CPD ของ

ข้าวโพดหมักที่ตัดระยะ 1/4 และ 2/3 ของเส้นน้ำนม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ซึ่งเท่ากับ 63.8% และ 62.5% ตามลำดับ และค่า CPD ในการทดลองครั้งนี้พบว่าสูงกว่าในรายงานของ วรณา และคณะ (2562) มีค่าเท่ากับ  $54.5\pm 4.2\%$  สูงกว่าในรายงานของ นฤมล และคณะ (2544) เท่ากับ 49.41% และสูงกว่า Oshita *et al.* (2007) เท่ากับ 45.4%

ค่าการย่อยได้ของไขมัน (Ether extract digestibility, EED) ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักทั้ง 3 ระยะ เส้นน้ำนม พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) มีค่าในช่วง 69.57–73.44% ต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับรายงานของ วรณา และคณะ (2562) มีค่าในช่วง  $75.5\pm 8.4\%$

ค่าการย่อยได้ของ NDF (Neutral detergent fiber digestibility, NDFD) ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักทั้ง 3 ระยะ เส้นน้ำนม พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อยู่ในช่วง 52.21–57.17% ใกล้เคียงกับรายงานของ นฤมล และคณะ (2544) เท่ากับ 57.17% แต่สูงกว่าในรายงานของ วรณา และคณะ (2562) มีค่าเท่ากับ  $47.6\pm 5.1\%$  และสูงกว่า Oshita *et al.* (2007) เท่ากับ 37.7%

ค่าการย่อยได้ของลิกโนเซลลูโลส (Acid detergent fiber digestibility, ADFD) ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักทั้ง 3 ระยะ เส้นน้ำนม พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อยู่ในช่วง 53.16–58.88% ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ นฤมล และคณะ (2544) เท่ากับ 54.05% แต่สูงกว่ารายงานของ วรณา และคณะ (2562) มีค่าเท่ากับ  $50.2\pm 5.5\%$  สูงกว่า Oshita *et al.* (2007) เท่ากับ 39.7% และสูงกว่า Bal *et al.* (1997) มีค่า ADFD ของข้าวโพดหมักที่ตัดระยะ 1/4 และ 2/3 ของเส้นน้ำนม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ซึ่งเท่ากับ 38.3% และ 33.6% ตามลำดับ

ค่าโภชนาที่ย่อยได้ทั้งหมด (Total digestible nutrient, TDN) ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักทั้ง 3 ระยะ เส้นน้ำนม พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อยู่ในช่วง 61.78–63.43% ใกล้เคียงกับรายงานของ วรณา และคณะ (2562) มีค่าเท่ากับ  $60.8\pm 2.9\%$  และใกล้เคียงกับรายงานของ Oshita *et al.* (2007) เท่ากับ 61.9% แต่ค่อนข้างต่ำกว่ารายงานของ นฤมล และคณะ (2544) เท่ากับ 65.22%

ทั้งนี้ค่าการย่อยได้ของโภชนาต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมัก ที่มีค่าแปรปรวนไปในแต่ละการทดลองนั้น มีปัจจัยมาจากระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่นำมาหมัก การจัดการแปลงปลูก ระยะการปลูก และพันธุกรรมของสายพันธุ์ข้าวโพด (Bal *et al.*, 1997; Brewbraker, 2003; Nazli *et al.*, 2019)

ข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมัก ที่ระยะเส้นน้ำนม 25 50 และ 75% มีค่า DE ME และ GE ที่โคได้รับจากอาหารที่กิน และที่สูญเสียออกมาในส่วนต่างๆ รวมทั้งค่าพลังงานที่กักเก็บได้ การสูญเสียไนโตรเจน และปริมาณไนโตรเจนที่กักเก็บได้นั้น ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 8

**ตารางที่ 8** ค่าพลังงานย่อยได้ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ ค่าพลังงานที่สูญเสียในส่วนต่างๆ ค่าพลังงานที่กักเก็บได้ การสูญเสียไนโตรเจนในส่วนต่างๆ และปริมาณไนโตรเจนที่กักเก็บได้ ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมัก ที่ระยะเสั่นน้ำนั้มต่างกัน

|                                                       | ข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักที่ระยะเสั่นน้ำนั้ม |                    |                     | SEM  | p Value |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------|---------------------|------|---------|
|                                                       | 25%                                        | 50%                | 75%                 |      |         |
| พลังงานที่ย่อยได้ (Mcal/kgDM)                         | 2.80                                       | 2.98               | 2.78                | 0.08 | 0.331   |
| พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Mcal/kgDM)                  | 2.46                                       | 2.61               | 2.36                | 0.08 | 0.259   |
| ปริมาณพลังงานรวมที่กิน (kcal/BW <sup>0.75</sup> /d)   | 272.72                                     | 248.21             | 241.23              | 5.75 | 0.068   |
| พลังงานที่สูญเสีย (kcal/BW <sup>0.75</sup> /d)        |                                            |                    |                     |      |         |
| - พลังงานในมูล                                        | 107.42                                     | 88.75              | 96.54               | 5.90 | 0.118   |
| - พลังงานในปัสสาวะ                                    | 8.48                                       | 8.16               | 9.06                | 0.25 | 0.221   |
| - พลังงานในรูปของก๊าซมีเทน                            | 11.99                                      | 11.38              | 12.71               | 0.43 | 0.131   |
| - ค่าความร้อนที่ผลิต                                  | 104.62 <sup>a</sup>                        | 96.63 <sup>c</sup> | 101.79 <sup>b</sup> | 2.19 | 0.003   |
| ค่าพลังงานที่กักเก็บได้ (kcal/BW <sup>0.75</sup> /d)  | 40.21                                      | 43.30              | 21.13               | 4.52 | 0.237   |
| ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (ลิตร/วัน)                 | 116.37                                     | 109.48             | 123.49              | 4.40 | 0.116   |
| ปริมาณไนโตรเจนที่กิน (g/BW <sup>0.75</sup> /d)        | 0.84 <sup>a</sup>                          | 0.73 <sup>b</sup>  | 0.65 <sup>c</sup>   | 0.03 | 0.006   |
| ปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสีย (g/BW <sup>0.75</sup> /d)    |                                            |                    |                     |      |         |
| - ไนโตรเจนในมูล                                       | 0.35                                       | 0.37               | 0.32                | 0.02 | 0.260   |
| - ไนโตรเจนในปัสสาวะ                                   | 0.32                                       | 0.27               | 0.30                | 0.02 | 0.425   |
| ปริมาณไนโตรเจนที่กักเก็บได้ (g/BW <sup>0.75</sup> /d) | 0.17                                       | 0.09               | 0.04                | 0.03 | 0.150   |

อักษร a, b, c ที่กำกับในแนวนอนแสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95%; SEM (Standard error of mean)

ข้อมูลในตารางที่ 8 ค่า DE เมื่อโคกินข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมัก ทั้ง 3 ระยะน้ำนั้ม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อยู่ในช่วง 2.78–2.98 Mcal/kgDM ใกล้เคียงกับรายงานของ วรรณา และคณะ (2562) มีค่าเท่ากับ  $2.7\pm0.1$  Mcal/kgDM และใกล้เคียงกับรายงานของ นฤมล และคณะ (2544) เท่ากับ 2.80 Mcal/kgDM และใกล้เคียงกับรายงานของ Nazli *et al.* (2019) ที่คำนวณโดยใช้ค่า TDN เท่ากับ 2.82 Mcal/kgDM

ค่า ME ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักทั้ง 3 ระยะเสั่นน้ำนั้ม พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อยู่ในช่วง 2.36–2.61 Mcal/kgDM ใกล้เคียงกับรายงานของ วรรณา และคณะ (2562) มีค่าเท่ากับ  $2.3\pm0.1$  Mcal/kgDM นอกจากนี้พบว่า ค่า ME ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักที่ตัดระยะเสั่นน้ำนั้ม 75% มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Nazli *et al.* (2019) คำนวณโดยใช้ค่า DE เท่ากับ 2.32 Mcal/kgDM และค่า ME ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักที่ระยะเสั่นน้ำนั้ม 25 และ 50% มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับรายงานของ Kleinmans *et al.*, (2016) ที่ได้รวบรวมค่า ME ของข้าวโพดหมักในประเทศนิวซีแลนด์ ช่วงปี ค.ศ. 2010–2015 ที่วัดโดยตรงจากตัวสัตว์ จำนวน 426 การทดลอง พบว่า มีค่า ME ในช่วง 2.48–2.64 Mcal/kgDM

ค่าพลังงานที่โคได้รับจากการกินข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักทั้ง 3 ระยะเสั่นน้ำนม พบว่า ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ค่าพลังงานที่สูญเสียออกมากับมูล ปัสสาวะ และก๊าซมีเทน เมื่อโคกินข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักทั้ง 3 ระยะเสั่นน้ำนม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ยกเว้นค่า HP ที่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p<0.05$ ) พบว่า มีค่าสูงสุดเมื่อโคกินข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักที่ระยะเสั่นน้ำนม 25% รองมาคือที่ 75% และมีค่าสูงสุดที่ 50% โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่า HP นั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการ Metabolism ภายในร่างกาย (McDonald, *et al.*, 2010) ข้าวโพดหมักทั้ง 3 ระยะเสั่นน้ำนมมีความต่างกันที่อายุการตัด และระยะเวลาในการสะสมแป้ง จึงทำให้ค่า HP แตกต่างกัน ข้อมูลการสูญเสียพลังงานในรูปแบบต่างๆ เมื่อโคกินข้าวโพดหมัก ยังมีรายงานอยู่น้อยมาก โดยมีรายงานของวรรณภา และคณะ (2562) พบว่าโคกินข้าวโพดรวมฝักหมักพันธุ์ลูกผสมสุวรรณ มีค่าการสูญเสียพลังงานในมูล ปัสสาวะ ก๊าซมีเทน และค่า HP เท่ากับ 101.4 6.9 16.5 และ 111.9 kcal/BW<sup>0.75</sup>/d ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าพลังงานที่กักเก็บได้ พบว่า ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) และมีผลเป็นบวก ในขณะเดียวกัน พบว่า ปริมาณไนโตรเจนที่กักเก็บได้ ของข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมักที่ระยะเสั่นน้ำนม 25 50 และ 75% ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) และมีค่าเป็นบวก เป็นข้อมูลที่แสดงให้เห็นว่า การตัดข้าวโพดสุวรรณ 4452 ที่ระยะเสั่นน้ำนม 25 50 และ 75% เมื่อนำไปหมักสามารถนำไปใช้เลี้ยงโคนมที่ยังไม่ให้ผลผลิตน้ำนมได้โดยไม่ต้องเสริมแหล่งพลังงาน และแหล่งโปรตีน โดยที่โคสามารถเจริญเติบโตได้โดยไม่สูญเสียน้ำหนักตัว

### สรุปผลการทดลอง

คุณภาพการหมักของข้าวโพดสุวรรณ 4452 ที่ระยะเสั่นน้ำนม 25% มีปริมาณวัตถุแห้งต่ำกว่าระยะเสั่นน้ำนม 50% และ 75% มีค่าโปรตีนหยาบลดลงตามระยะเสั่นน้ำนมที่เพิ่มขึ้น แต่ผนังเซลล์ของข้าวโพดหมักทั้งสามระยะไม่แตกต่างกัน ส่วนคุณภาพการหมักของข้าวโพดสุวรรณ 4452 ทั้ง 3 ระยะเสั่นน้ำนม ที่อายุการหมัก 21 และ 60 วัน จัดเป็นพืชหมักคุณภาพดี มีค่า pH Fleig score และปริมาณกรดแลกติก อยู่ในเกณฑ์ของพืชหมักคุณภาพดี

ค่าการย่อยได้ของโภชนะและค่า ME โดยวิธีวัดโดยตรงจากตัวสัตว์ สรุปว่า ข้าวโพดสุวรรณ 4452 หมัก ที่ระยะเสั่นน้ำนม 25 50 และ 75% มีค่า DMD CPD NDFD TDN และ ME ไม่แตกต่างกัน พลังงานที่สูญเสียในรูปแบบของก๊าซมีเทนไม่แตกต่างกัน และมีค่าพลังงาน และไนโตรเจนที่กักเก็บได้เป็นบวก

### ข้อเสนอแนะ

ปัจจุบันข้าวโพดพร้อมฝักหมัก ที่เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ใช้กันอยู่ ผลิตมาจากข้าวโพดหลากหลายสายพันธุ์ตามความเหมาะสมของพื้นที่ และสายพันธุ์ของเมล็ดที่มีจำหน่ายในพื้นที่ จากผลการทดลองและเอกสารรายงานที่ใช้ในการอ้างอิง พบว่า ข้าวโพดหมักแต่ละสายพันธุ์มีคุณภาพการหมักใกล้เคียงกัน และมีส่วนประกอบที่จำเป็นต่อการนำไปใช้ในการคำนวณสูตรอาหารสัตว์ เช่น องค์ประกอบทางเคมี ค่าโภชนะที่ย่อยได้ และค่า ME ใกล้เคียงกัน ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากรายงานนี้สามารถนำไปปรับใช้กับข้าวโพดหมักสายพันธุ์อื่นๆ ได้

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณอัมรารวรรณ ทิพย์วัฒน์ นักวิชาการเกษตรชำนาญการ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ที่ได้ให้คำปรึกษาในการจัดการแปลงปลูกข้าวโพดเป็นอย่างดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนามาตรฐานอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ที่ช่วยร่วมแรงร่วมใจในการจัดทำแปลงปลูกข้าวโพดตลอดจนถึงกระบวนการหมัก ขอขอบคุณ

ทีมงานคอกสัตว์ทดลองที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบค่าการย่อยได้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณ คุณอรวิมล แก้วเกลี้ยง นักวิชาการชำนาญการพิเศษ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์นครราชสีมา ที่กรุณาช่วยตรวจสอบความถูกต้องของบทความย่อภาษาอังกฤษ และขอขอบคุณ ผู้เชี่ยวชาญจันทกานต์ อรณันท์ ที่ปรึกษาโครงการ และ คณะกรรมการวิชาการสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ ที่ให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ผลงานวิชาการฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2551. ข้าวโพด. คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ. 52 หน้า.
- กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์. 2547. มาตรฐานพืชอาหารสัตว์หมักคุณภาพดี. โรงพิมพ์ ชุมนุสสรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตร และสหกรณ์. กรุงเทพฯ
- คณะกรรมการความต้องการโภชนาโคมนในประเทศไทย 2563. ความต้องการโภชนาโคมนในประเทศไทย. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น. 240 หน้า.
- โชคชัย เอกทัศนาวรรณ ชไมพร เอกทัศนาวรรณ สมเกียรติ ประสานพานิช สดใส ขางสลัก อุทุมพร ไชยวงษ์ และ ประเสริฐ ถาหลา. 2562. คู่มือเทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดหมักเพื่อให้ได้ผลผลิตและคุณภาพสูงสำหรับการเลี้ยงโคนม. ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จันทกานต์ อรณันท์ อุดร ศรีแสง ณุทนาก โคตรพรหม จริยา บุญจรัสชะ สุวรรณ เกศกมลასน์ สุรนนท์ น้อยอุทัย ธนมน บุณณวงศ์ปฏีมา บุตรชา เฉลา พัทธสินสุข เจษฎา ศักดิ์ไพพรรณ ชูช่วย และรัตติกาล ปวงแก้ว. 2564. การศึกษาข้อมูลคุณภาพการหมักและคุณค่าทางโภชนาของข้าวโพดพร้อมฝักหมักสำหรับเป็นอาหารสัตว์เพื่อใช้ในการกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอ สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 91 หน้า
- ฉันทนา น่วมนวล สมคิด พรหมมา บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และบุญเสริม ชีวะอิสระกุล. 2543. การหาอายุการตัดที่เหมาะสมและผลของการเสริมยูเรียเพื่อผลิตข้าวโพดหมักคุณภาพดี. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์. ครั้งที่ 38 สาขาสัตว. หน้า 141-147.
- นฤมล วงศเจริญ บุญเสริม ชีวะอิสระกุล บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และ สมคิด พรหมมา. 2544. การย่อยได้และพลังงานของข้าวโพดหมักในโคนม. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ครั้งที่ 39 สาขาสัตว. หน้า 129-135.
- วรรณ อ่างทอง วิทยา สุมาลย์ รำไพโร นามสีลี แพรวพรรณ ชูช่วย และ พิเชษฐ์ จันทรเป็ง. 2562. การศึกษาการย่อยได้และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุดิบอาหารโคนม. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- สำนักพัฒนาอาหารสัตว์. 2562ก. ประกาศคณะกรรมการโคนมและผลิตภัณฑ์นม เรื่องมาตรฐานการรับซื้อน้ำนมโค พ.ศ. 2558. Available source: <http://nutrition.dld.go.th/nutrition/index.php/2015-09-17-02-44-42/130-2015-08-06-07-45-07/444-2558>. December 9, 2019.

- สำนักพัฒนาอาหารสัตว์. 2562ข. หน่วยบริการเคลื่อนที่ด้านอาหารสัตว์ (Feed Management Mobile Unit). Available source: <http://nutrition.dld.go.th/nutrition/index.php/2015-08-06-09-02-11>. December 9, 2019.
- ANKOM Technology. 2017. In vitro True Digestibility using the DAISY II Incubator. Available source: [https://www.ankom.com/sites/default/files/documentfiles/Method\\_3\\_Invitro\\_D200\\_D200I.pdf](https://www.ankom.com/sites/default/files/documentfiles/Method_3_Invitro_D200_D200I.pdf). May 10 2019.
- AOAC. 2016. Official Methods of Analysis. Association of Official Analysis Chemist, Inc. Washington, D.C., USA.
- Argillier, O., Y. Hebert and Y. Barriere. 1995. Relationships between biomass yield, grain production, lodging susceptibility and feeding value in silage maize. *Maydica*. 40: 125 – 136.
- Bal, M.A., J.G. Coors and R.D. Shaver. 1997. Impact of the maturity of corn for Use as silage in the diets of dairy cows on intake, digestion, and milk production. *J. Dairy Sci*. 80: 2497–2503.
- Bell, J. 2017. Corn growth stages and development. Texas A&M Agrilife Extension and Research Agronomist, Amarillo.
- Brouwer, E. 1965. Report of sub-committee on constants and factors. *In* Energy metabolism, EAAP publication no. 11. ed. Blaxter, K. L., Academic Press, London, UK.
- Brewbraker, J.L. 2003. Corn Production in the Tropics: the Hawaii Experience. College of Tropical Agriculture and Human Resources University of Hawaii at Manoa. 76 pages.
- Der Bedrosian, M. C., K.E. Nestor Jr. and L. Kung Jr. 2012. The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. *J. Dairy Sci*. 95 :5115–5126.
- 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). *Anim. Feed Sci. Technol*. 99: 37–43.
- Di Marco, O.N., M.S. Aello and S. Arias. 2005. Digestibility and ruminal digestion kinetics of corn silage. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec*. 57 vol.2: 223-228.
- ISO. 2009. International Standard (ISO 5983-2: 2009). 2<sup>nd</sup> Edition. Animal feeding stuffs- Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content-Part 2: Block digestion and steam distillation method. International Standard Organization, Geneva.
- 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 Organization for Standardization. All rights reserved. Geneva.
- Johnson, L., J. H. Harrison, C. Hunt, K. Shinnors, C. G. Doggett and D. Sapienza. 1999. Nutritive Value of Corn Silage as Affected by Maturity and Mechanical Processing: A Contemporary Review.

- J Dairy Sci.* 82: 2813–2825.
- Kilic, A. 2006. Determined of Quality in Roughage. Hasat Publication, İstanbul.
- Kleinmans, J.J., R.J. Densley, T. Hurley, I.D. Williamsa and F. Calvert. 2016. BRIEF COMMUNICATION: Feed value of maize silage in New Zealand - a review. Available source: <https://www.nzsap.org/system/files/proceedings/%231%20Kleinmans.pdf>. July 9, 2021.
- Kung, L.Jr., R.D. Shaver, R.J. Grant and R.J. Schmidt. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *J. Dairy Sci.* 101:4020–4033.
- McDonald, P., A.R. Handerson and S.J.E. Heron. 1991. The Biochemistry of Silage. 2<sup>nd</sup> 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. Wikinson. 2010. Animal Nutrition. 7th Edition. Pearson. 712 p.
- Morrison, I. M. 1979. Changes in the cell wall components of laboratory silages and the effect of various additives on these changes. *J. Agric. Sci.* 93:581–586.
- Muttoni, G., N. Palacios-Rojas, L. Galicia, A. Rosales, K.V. Pixley, N. de Leon. 2013. Cell wall composition and biomass digestibility diversity in Mexican maize (*Zea mays* L) landraces and CIMMYT inbred lines. Available source: <https://journals-crea.4science.it/index.php/maydica/article/view/893>. May 3, 2019.
- 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-Aust. J. Anim. Sci.* 32: 224-232.
- Opsi, F., R. Fortina, G. Borreani, E. Tabacco and S. Lopez. 2012. Influence of cultivar, sowing date and maturity at harvest on yield, digestibility, rumen fermentation kinetics and estimated feeding value of maize silage. *J. Agri. Sci.* 151: 740–753.
- Oshita, T., H. Takayama, H. Otsuka, H. Igarashi, K. Nonaka and S. Kume. 2007. Effects of maturing stage of corn hybrids on silage yield, feeding value for dairy cows and milk production in a cold region of Japan. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 20 (4): 511 – 516.
- Schneider, B.H. and W.P. Flatt. 1975. The Evaluation of Feeds through Digestibility Experiments. The University of Georgia Press, Athens.
- Struik, P.C., M. Doorgeest and J.G. Boonman. 1986. Environmental effects on flowering characteristics and kernel set of maize (*Zea mays* L.). *Netherlands J. Agri. Sci.* 34: 469-484.
- Suzuki, T., G.J. McCrabb, T. Nishida, S. Indramanee, M. Kurihara, H.P.S. Makkar and P.E. Vercoe. 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.

Ward, J.D., D.D. Redfearn, M.E. McCormick and G.J. Cuomo. 2001. Chemical composition, ensiling characteristics, and apparent digestibility of summer annual forages in a subtropical double-cropping system with annual Ryegrass. *J. Dairy Sci.* 84: 177 – 182.