FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

# การศึกษาสมบัติเชิงกลของต้นข้าวโพดเพื่อออกแบบเครื่องสับต้นข้าวโพด

# A Study on the Mechanical Properties of Maize plant for Design Cutting Machine of Maize plant

ชัยณรงค์ หล่มช่างคำ[1)*] ชัยยันต์ จันทร์ศิริ[2)] ประยูร จอมหล้าพีรติกุล[1)]
อาภาภรณ์ จอมหล้าพีรติกุล[1)] เดชาวัต มั่นกลาง[1)] และ ประสิทธิ์ โสภา[1)]
Chainarong Lomchangkum[1)*] Chaiyan Junsiri[2)] Prayoon Jomlaperatikul[1)]
Arpapon Jomlaperatikul[1)] Dechawut Manklang[1)] and Prasit Sopa[1)]
[1)] สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
[1)] Department of Food and Biological Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus
[2)] สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
[2)] Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Received: 27 May 2022
Revised: 15 September 2022
Accepted: 22 September 2022
Available online: 23 December 2022

## บทคัดย่อ

การศึกษาสมบัติเชิงกลของต้นข้าวโพดมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการรับแรงสับเฉือนของลำต้นข้าวโพด เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานและแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องสับต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารสัตว์ ซึ่งปัจจัยในการทดสอบประกอบด้วย แรงสับเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานสับจำเพาะสูงสุด ที่มีมุมคมของใบมีดสับ จำนวน 5 ใบมีด มีมุมคมแต่ละใบ คือ 30° 40° 50° 60° และ 70° โดยกำหนดอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดสับ 5 ระดับ คือ 10 20 40 60 และ 100 mm/min ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า แรงสับเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานสับจำเพาะสูงสุด ในการสับลำต้นข้าวโพดพันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้มมีค่าสูงกว่าพันธุ์ข้าวเหนียว และแรงสับเฉือนสูงสุดของใบมีดสับที่ทำมุม 30° ในทุกอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดสับจะใช้แรงสับเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานสับจำเพาะสูงสุด น้อยกว่าทุกมุมคมของใบมีดสับ และยังพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดสับในทุกมุมใบมีดสับที่ทำการทดสอบจะมีแนวโน้ม

ของแรงสับเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานสับจำเพาะสูงสุดลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 507.28±10.15 N 30.18±10.76 MPa และ 57.05±8.82 mJ/mm$^2$
**คำสำคัญ**: ต้นข้าวโพด แรงสับเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด พลังงานสับจำเพาะ

Abstract

This study of maize mechanical properties was to study the behavior of the shearing and chopping force of maize stalks to use as basic information and guidelines for designing and building maize choppers for animal feed. The test factors consisted of maximum shearing and chopping force, maximum shear stress, and maximum specific chopping energy with five blades with the angles of 30°, 40°, 50°, 60° and 70° on each blade. In addition, the movement rate of the chopping blade was set at five levels, 10, 20, 40, 60, and 100 mm/min, respectively. The results of this test revealed that maximum shearing and chopping force, maximum shear stress and maximum specific chopping energy in chopping corn stalks in chopping Purple Sweet Waxy Corn Hybrid stalks were higher than Waxy Corn and the maximum shear. In addition, the chopping blade at a 30° angle at all movement rates used less energy of maximum shearing and chopping force, maximum shear stress and maximum specific chopping energy than every sharp angle of the chopping blades. It was also found that when the blade movement rate was increased at every angle, the chopper blades utilized in the test would decrease a tendency of maximum shearing and chopping force, maximum shear stress and maximum specific chopping energy. The mean was 507.28±10.15 N 30.18±10.76 MPa and 57.05±8.82 mJ/mm$^2$
**Keywords:** Maize plant: Maximum cutting shear force: Maximum cutting shear stress: Specific cutting energy

---

*ติดต่อ: E-mail: Lomchangkum.C@hotmail.com, 087-9451522

## 1. บทนำ

ข้าวโพด (Maize) เป็นพืชล้มลุกจำพวกหญ้า ปลูกง่าย อายุสั้น สามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกภาคของประเทศไทย เป็นธัญพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับสามของโลก รองมาจากข้าวสาลี และข้าว สามารถปลูกได้ทั่วไปในเขตภูมิอากาศอบอุ่น เขตกึ่งร้อนชื้นและพื้นที่ราบเขตร้อน โดยแหล่งปลูกมักกระจายอยู่ตามภูมิภาคต่าง ๆ ของโลก ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา บราซิล เม็กซิโก จีน รวมทั้งในทวีปแอฟริกาใต้ สำหรับประเทศไทยข้าวโพดถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เนื่องจากมีพื้นที่เพาะปลูกทั้งประเทศ 234,402 rai ส่วนมากอยู่ทางภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ

เนื้อที่เก็บเกี่ยว 232,423 rai ผลผลิต 2,146 kg/rai ส่งออกและนำเข้าปริมาณ 54,700 ton/ year ทำให้สามารถสร้างรายได้เป็นจำนวนมากให้กับประเทศ ข้าวโพดที่ปลูกในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ข้าวโพดฝักสด และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยข้าวโพดฝักสดปลูกเพื่อใช้สำหรับบริโภคเป็นอาหารและการส่งออก เนื่องจากผู้บริโภคนิยมรับประทานและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ส่วนลำต้นนำไปใช้สำหรับเป็นอาหารสัตว์ [1]

ปัจจุบันกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงโคหันมาลดต้นทุนการผลิตด้วยการหาพืชมาใช้เลี้ยงโคเพื่อลดต้นทุนของอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงโค การขาดแคลนอาหารที่จะนำมาเลี้ยงโค ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของโคได้ช้าลงทำให้เกษตรกรมีรายได้น้อยลงประกอบกับเกษตรกรส่วนมากไม่มีพื้นที่เพียงพอสำหรับทำทุ่งไว้เลี้ยงสัตว์ เกษตรจะใช้เครื่องสับย่อยหญ้าเนเปียร์มาทำการสับย่อยเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งหลังจากการสับย่อย พบว่าขนาดของต้นข้าวโพดยังมีขนาดที่ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ จากการศึกษาเบื้องต้นในปัจจุบันมีนักวิจัยหลายกลุ่มได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ในการสับเพื่อผลิตอาหารสัตว์เป็นจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ [2] รุ่งเรือง และคณะ, 2562 ได้ศึกษาถึงการพัฒนาเครื่องย่อยและอัดหญ้าหญ้าเนเปียร์สำหรับผลิตอาหารสัตว์ [3] มงคล และคณะ, 2554 ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องหั่นย่อยต้นถั่วลิสง และ [4] ชัยณรงค์ และคณะ, 2564 ได้ศึกษาปัจจัยของใบมีดสับที่เหมาะสมสำหรับสับหญ้าเนเปียร์เพื่อผลิตอาหารสัตว์ และ [5] รังสรรค์ และวินัย [6] Chattopadhyay and Pandey ได้ศึกษาพฤติกรรมการสับลำต้นมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องสับ เป็นต้น ซึ่งนักวิจัยกลุ่มนี้ใช้อุปกรณ์และหลักการสับที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ดีการออกแบบเครื่องสับต้นข้าวโพดที่นำเอาใบมีดสับแบบไฮสปีดมาทำการสับต้นข้าวโพด ในการออกแบบเครื่องสับย่อยนั้นจะต้องรู้ค่าพื้นฐานต่าง ๆ เช่น แรงเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานตัดจำเพาะตลอดจนการเลือกชนิดของใบมีดของเครื่องสับย่อย ซึ่งจะสัมพันธ์กับชนิดของวัสดุ ขนาด อายุ ความชื้น รวมถึงโครงสร้างของเซลล์ ภายในวัสดุ [5] ด้วยหลักการพื้นฐานในการสับต้นพืชเมื่อใบมีดเคลื่อนที่ลงอย่างต่อเนื่องเมื่อไปสัมผัสกับเนื้อวัสดุจะทำให้เกิดค่าความเค้นภายในเนื้อวัสดุเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งเกิดจุดแตกหัก ซึ่งวัสดุบางชนิดจะเกิดการแตกหักเพียงครั้งเดียวในขณะที่วัสดุชนิดอื่น ๆ อาจจะเกิดจุดแตกหักขึ้นหนึ่งจุดก่อนและก็จะมีความเค้นภายในค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเกิดจุดแตกหักอีกครั้งเมื่อใบมีดตัดผ่านเนื้อวัสดุ ทั้งนี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่าพฤติกรรมในการตัดจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ในการตัดย่อยด้วย [6]

ดังนั้น งานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของต้นข้าวโพด จากพฤติกรรมที่เกิดขึ้นขณะสับเฉือนและหาค่าตัวแปร ซึ่งประกอบด้วยแรงสับเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานสับจำเพาะ ซึ่งเกิดจากการทดลองตัดส่วนโคนของลำต้นข้าวโพด ด้วยใบมีดสับและอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดสับที่แตกต่างกัน โดยใช้เครื่องวัดแรงกระทำต่อวัสดุแบบอเนกประสงค์ ซึ่งจะทำให้ทราบค่าตัวแปรข้างต้นที่จำเป็นต่อการออกแบบและสร้างเครื่องสับต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารสัตว์ ซึ่งจะส่งผลดีต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครื่องสับต้นข้าวโพดที่จะดำเนินการสร้างต่อไป

## 2. วิธีการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของต้นข้าวโพด จากพฤติกรรมที่เกิดขึ้นขณะสับเฉือน ซึ่งประกอบด้วยแรงสับเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานสับจำเพาะสูงสุด จากมุมคมของใบมีดสับ และอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดสับ ขณะทำการสับเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานและเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องสับต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารสัตว์ ในการทดสอบในครั้งนี้ โดยใช้ต้นข้าวโพดข้าวเหนียว ที่ปลูกในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบและวิธีดำเนินการดังต่อไปนี้

### 2.1 วัสดุและอุปกรณ์

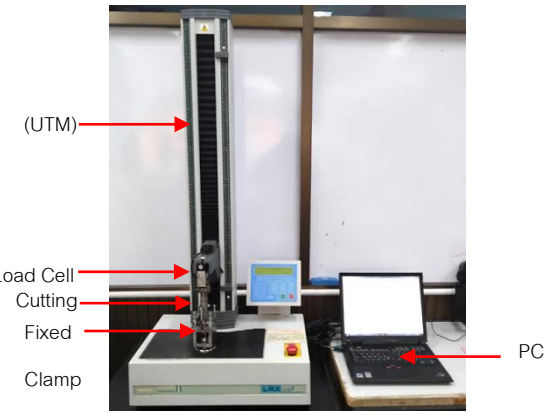
1. เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลแบบเอนกประสงค์ UTM (Universal Testing Machine) ยี่ห้อ LRX Plus รุ่น RS232 ขนาดแรงสูงสุด 5 kN ดังรูปที่ 1 และเครื่องชั่งน้ำหนัก Digital

2. จำนวน 5 ใบมีด มีมุมคมแต่ละใบ คือ มุม 30° 40° 50° 60° และ 70° ตามลำดับ

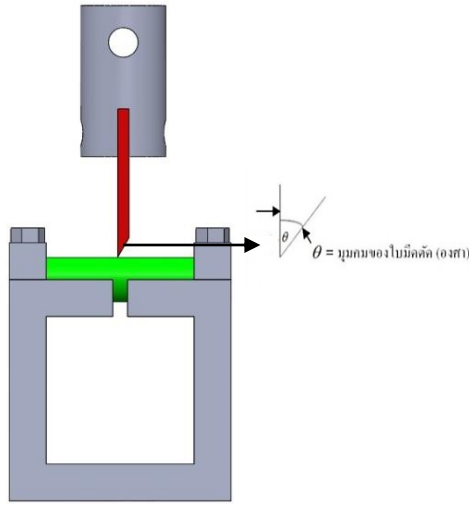
3. ต้นข้าวโพดข้าวเหนียวที่ใช้ทำการทดสอบ 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้มและพันธุ์ข้าวเหนียว อายุ 70 วัน โดยกำหนดเอาตรงโคนของลำต้นมีขนาดท่อนละ 10 cm

**ตารางที่ 1** สมบัติทางกายภาพของต้นข้าวในการทดสอบ

| สมบัติทางกายภาพของลำต้นข้าวโพด | พันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้ม | พันธุ์ข้าวเหนียว |
|---|---|---|
| ความสูงของลำต้น (cm) | 168.5±4.0 | 180.7±5.6 |
| เส้นผ่านศูนย์กลางโคนของลำต้น (cm) | 1.7±1.5 | 1.7±1.6 |
| น้ำหนักของลำต้น (g) | 156.1±2.4 | 218.4±2.3 |
| ความหนาแน่นของลำต้น (g/cm$^3$) | 0.24±10.4 | 0.40±6.4 |
| ความชื้นของลำต้น (% w.b.) | 70.1±2.3 | 68.7±1.8 |




**รูปที่ 1** เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์ขนาดแรงสูงสุด 5 kN และส่วนประกอบ ต่าง ๆ ของเครื่อง [6]




**รูปที่ 2** ลักษณะการติดตั้งการวัดแรงเฉือนลำต้นข้าวโพดทางเทคนิควิศวกรรม [6]

### 2.2 ปัจจัยที่ศึกษา

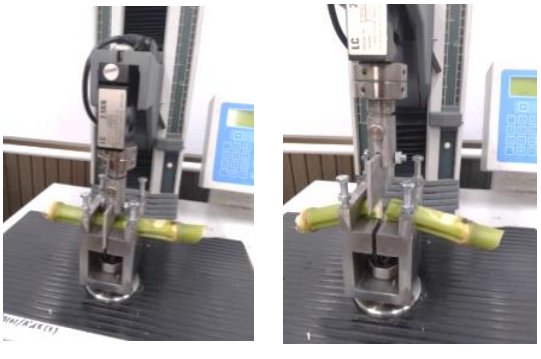
1. มุมคมของใบมีดสับจำนวน 5 ใบ มีมุมคมแต่ละใบ คือ 30° 40° 50° 60° และ 70°

2. อัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดสับ 5 ระดับ คือ 10 20 40 60 และ 100 mm/min

**2.3 วิธีดำเนินการ**

1. เตรียมตัวอย่างและทำการปรับตั้งชุดอุปกรณ์ให้เครื่องทำงานจนเข้าสู่สภาวะคงที่ พร้อมทดสอบและจัดเตรียมต้นข้าวโพดสำหรับทดสอบ โดยใช้ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ ณ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

2. หลังจากที่ทำการติดตั้งใบมีดสับและยึดลำต้นเข้ากับแท่นจับชิ้นงานของเครื่องวัด แรงกดวัสดุแบบเอนกประสงค์ ดำเนินการทดสอบสับลำต้นข้าวโพดด้วยใบมีดที่มีมุมคมของการสับแต่ละใบ คือ มุม $30^{o}$ $40^{o}$ $50^{o}$ $60^{o}$ และ $70^{o}$ กดลงในแนวตั้งฉากทำมุม $90^{o}$ กับต้นข้าวโพด ซึ่ง ในแต่ละชนิดของมุมคมในการสับของใบมีดจะใช้อัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดที่ในแต่ละระดับ คือ 10 20 40 60 และ 100 mm/min ตามลำดับ จำนวนตัวอย่างละ 30 ซ้ำ จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลและ นำค่าที่ได้ไปคำนวณและประมวลผล ตามลำดับแล้วเปลี่ยนค่าตัวแปรและดำเนินการตามข้อ 1 และ 2 แผนการทดสอบแบบ 5X5 Factorial โดยใช้วิธีการทดสอบของ [5] รังสรรค์ และวินัย, 2558 [6] Chattopadhyay and Pandey, 1998



(a) (b)

**รูปที่ 3** (a) พฤติกรรมการสับต้นข้าวโพด (b) ต้นข้าวโพดหลังการสับ

<u>สมการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของต้นข้าวโพด</u>

เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลของค่าแรงสับเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด พลังงานสับจำเพาะสูงสุด สามารถคำนวณได้ดังนี้

1. การหาค่าความเค้นเฉือนสูงสุด [7], [8] โดยการนำค่าแรงเฉือนสูงสุดในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและระยะที่กดผ่านต้นข้าวโพดหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของลำต้นข้าวโพด สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (1)

$$\sigma_s = \frac{F}{A} \quad (1)$$

เมื่อ $\sigma_s$ = ความเค้นเฉือน (MPa)

$F$ = แรงเฉือน (N)

$A$ = พื้นที่หน้าตัดของต้นข้าวโพด ($m^2$)

2. การหาค่าพลังงานสับจำเพาะ ตามหลักการคำนวณของ [7],[9] หาค่าได้จากพื้นที่ใต้กราฟของแรงเฉือนกับระยะที่ใบมีดกดผ่านลำต้นข้าวโพด สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (2)

$$E_{ss} = \frac{1}{A}\int F.dx = n \times \frac{f}{A} \quad (2)$$

เมื่อ $E_{ss}$ = พลังงานสับจำเพาะ ($mJ/mm^2$

$A$ = พื้นที่หน้าตัดของลำต้นข้าวโพด ($m^2$)

$F$ = แรงเฉือน (N

$x$ = ระยะการเคลื่อนที่ผ่านลำต้นข้าวโพด (mm)

$n$ = จำนวนหน่วยพื้นที่ใต้กราฟของแรงเฉือนกับระยะที่ใบมีดเคลื่อนที่ผ่านลำต้นข้าวโพดขณะทำการทดสอบ

$f$ = ค่าของตัวคูณหน่วยพื้นที่

3. การหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของการสับ ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ (Multiple Linear Regression)

สามารถเขียนความสัมพันธ์ของสมการได้ดังสมการที่ (3) [7]

$$Y = \alpha + \beta_i X_i + \varepsilon \quad (3)$$

เมื่อ $Y$ = ตัวแปลตาม ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่ม

$X$ = ตัวแปรอิสระ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สามารถวัดและสังเกตได้

$\alpha$ = จุดตัดบนแกน $Y$ (หรือค่าของ $Y$ เมื่อ $X$ มีค่าเป็น 0

$\beta$ = ค่าความชันของเส้นตรง เป็นค่าแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ $Y$ เมื่อ $X$ เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วย

$\varepsilon$ = ความคลาดเคลื่อนหรือค่าความแตกต่างของค่า $Y$ และค่า $Y$ บนเส้นถดถอย

$i$ = ตัวแปรอิสระตัวที่ 1,2…,n

### 2.4 ค่าชี้ผลการศึกษา

1. แรงสับเฉือนสูงสุด (N)
2. ความเค้นเฉือนสูงสุด (MPa)
3. พลังงานสับจำเพาะสูงสุด (mJ/mm$^2$)

### 2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้หลักการทางสถิติวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA ส่วนการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยใช้วิธีของ Duncan เป็นตัวเปรียบเทียบ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## 3. ผลการวิจัยและอภิปราย

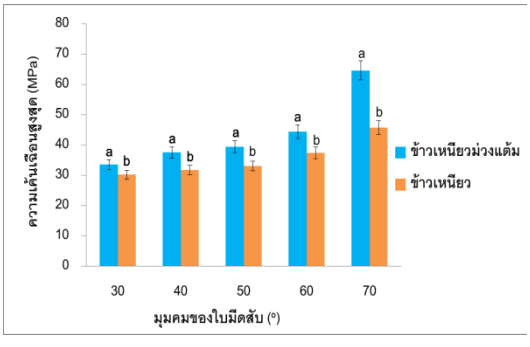
### 3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงสับเฉือนสูงสุด

มุมคมของใบมีดสับ

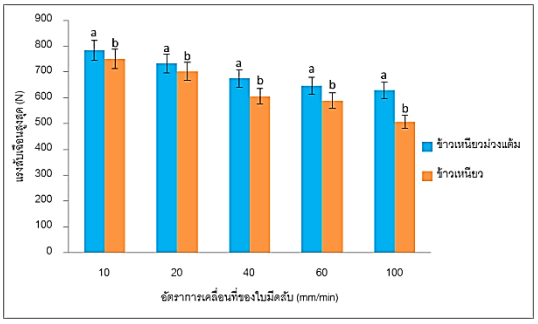
จากการทดสอบหาแรงสับเฉือนสูงสุดโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการสับลำต้นข้าวโพดพันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้มและพันธุ์ข้าวเหนียว พบว่าค่าแรงสับเฉือนสุงสุดในการสับลำต้นข้าวโพดพันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้มที่มุม 30° 40° 50° 60° และ 70° ความเร็วในการสับเท่ากันที่ 100 mm/min มีค่าสูงกว่าพันธุ์ข้าวเหนียว ในทุก ๆ มุมคมของใบมีดสับ สามารถระบุได้ว่าโครงสร้างภายในของลำต้นข้าวโพดพันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้มมีความแข็งแรงกว่าพันธุ์ข้าวเหนียว และยังพบว่าแรงสับเฉือนสูงสุดจะแปรผันตรงกับขนาดของมุมคมของใบมีดสับและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแบบ Exponential ดังรูปที่ 4 นอกจากนี้การสับลำต้นข้าวโพด โดยใช้มุมคมของใบมีดสับที่ มุม 30° แรงสับเฉือนสูงสุดในการสับมีค่าน้อยที่สุดทั้ง 2 สายพันธุ์ มีค่าน้อยกว่ามุมคมของใบมีดอื่นประมาณ 1-2 เท่า โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 507.28±10.15 N มีความสอดกับงานวิจัยของ [5]

อัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดสับ

จากการทดสอบหาแรงสับเฉือนสูงสุดของความเร็วในการสับ พบว่าแรงสับเฉือนสูงสุดจะแปรผกผันกับความเร็วในการสับ เมื่อเพิ่มความเร็วในการสับจาก 10-100 mm/min ที่มุมคมของใบมีดสับเท่ากัน 30° ค่าแรงสับเฉือนสูงสุดจะมีค่าลดลงแบบ Exponential และแรงสับเฉือนสูงสุดในการสับลำต้นข้าวโพดทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ความเร็ว 100 mm/min มีค่าน้อยที่สุดและมีแนวโน้มลดลงอีกหากความเร็วในการเคลื่อนที่ในการสับเพิ่มขึ้น มีความสอดกับงานวิจัยของ [6] ดังรูปที่ 5




**รูปที่ 4** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมคมของใบมีดสับและแรงสับเฉือนสูงสุดที่เปลี่ยนแปลงของต้นข้าวโพด ([ab]ตัวอักษรที่เหมือนกันแต่ละชุดหมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)




**รูปที่** 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดสับและแรงสับเฉือนสูงสุดที่เปลี่ยนแปลงของต้นข้าวโพด ([ab]ตัวอักษรที่เหมือนกันแต่ละชุด หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

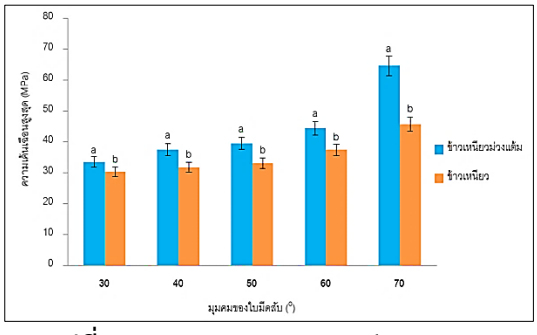
### 3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเค้นเฉือนสูงสุด

มุมคมของใบมีดสับ

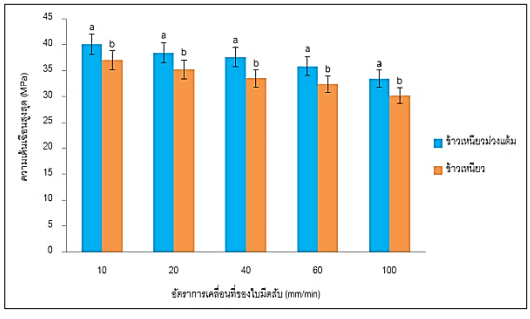
จากการทดสอบหาค่าความเค้นเฉือนสูงสุดโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการสับลำต้นข้าวโพดพันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้มและพันธุ์ข้าวเหนียว ทั้ง 2 สายพันธุ์ โดยใช้สมการที่ 1 พบว่าค่าความเค้นเฉือนสุงสุดที่ใช้ในการสับลำต้นข้าวโพดพันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้มที่มุม 30° 40° 50° 60° และ 70° ความเร็วในการสับเท่ากันที่ 100 mm/min มีค่าสูงกว่าพันธุ์ข้าวเหนียว ในทุก ๆ มุมคมของใบมีดสับ ความเค้นเฉือนสูงสุดจะแปรผันตรงกับมุมคมของใบมีดสับที่เพิ่มขึ้น โดยการสับที่ใช้มุมคมของใบมีดที่น้อยกว่าจะทำให้ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดน้อยลงตามไปด้วย ดังรูปที่ 6 โดยการเพิ่มขึ้นของความเค้นเฉือนสูงสุดเป็นการเพิ่มขึ้นแบบ Exponential และเป็นการเพิ่มขึ้นที่ตรงตามพฤติกรรมของแรงที่ใช้ในการสับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.18±10.76 Mpa ความสอดกับงานวิจัยของ [6]

อัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดสับ

ในทำนองเดียวกันจากการทดสอบหาค่าความเค้นเฉือนสูงสุดของความเร็วในการสับลำต้นข้าวโพดทั้ง 2 สายพันธุ์ จะแปรผกผันกับความเร็วในการสับ พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการสับจาก 10-100 mm/min ที่มุมคมของใบมีดสับเท่ากัน 30° ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดจะมีค่าลดลงประมาณ 1-2 เท่า ความสอดกับงานวิจัยของ [5] ดังรูปที่ 7




**รูปที่** 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมคมของใบมีดสับและความเค้นเฉือนสูงสุดที่เปลี่ยนแปลงของต้นข้าวโพด ([ab]ตัวอักษรที่เหมือนกันแต่ละชุด หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

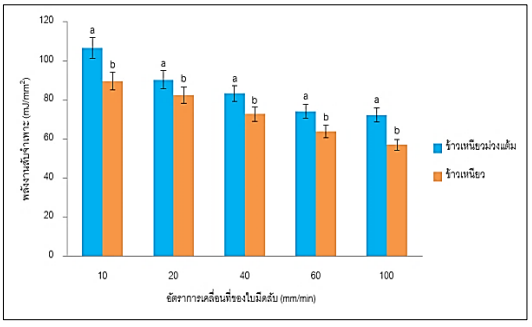



**รูปที่** 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดสับและความเค้นเฉือนสูงสุดที่เปลี่ยนแปลงของต้นข้าวโพด ([ab]ตัวอักษรที่เหมือนกันแต่ละชุด หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

### 3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานสับจำเพาะ

มุมคมของใบมีดสับ

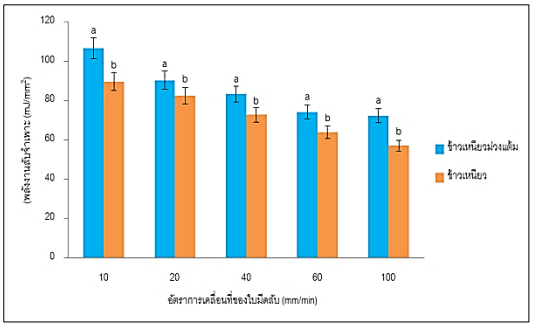
เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาพิจารณาพลังงานสับจำเพาะสูงสุด โดยคำนวณจากสมการที่ในการสับลำต้นข้าวโพดพันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้มและพันธุ์ข้าวเหนียว ทั้ง 2 สายพันธุ์ พบว่าพลังงานสับจำเพาะที่ใช้ในการสับลำต้นข้าวโพด พันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้ม ที่มุม 30° 40° 50° 60° และ 70° ความเร็วในการสับเท่ากันที่ 100 mm/min มีค่าสูงกว่าพันธุ์ข้าวเหนียว ในทุก ๆ มุมคมของใบมีดสับ และค่าพลังงานสับจำเพาะสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมุมคมของใบมีดสับเพิ่มขึ้น กล่าวคือ การสับด้วยมุมคมใบมีดสับที่ 30° จะใช้พลังงานสับจำเพาะน้อยที่สุด ดังรูปที่ 8 ซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงสับเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการสับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.05±8.82 mJ/mm$^2$ ดังนั้นจึงเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการออกแบบมากที่สุด




**รูปที่** 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมคมของใบมีดสับและพลังงานสับจำเพาะสูงสุดที่เปลี่ยนแปลงของต้นข้าวโพด ([ab]ตัวอักษรที่เหมือนกันแต่ละชุด หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

อัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดสับ

ในทำนองเดียวกันจากการทดสอบหาค่าพลังงานสับจำเพาะสูงสุดของความเร็วในการสับลำต้นข้าวโพดทั้ง 2 สายพันธุ์ พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการสับเพิ่มขึ้น ค่าพลังงานสับจำเพาะสูงสุดจะมีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 9 ความสอดกับงานวิจัยของ [6]




**รูปที่** 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดสับและพลังงานสับจำเพาะสูงสุดที่เปลี่ยนแปลงของต้นข้าวโพด ([ab]ตัวอักษรที่เหมือนกันแต่ละชุด หมายถึง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

### 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของการสับ

เมื่อนำลำต้นข้าวโพดพันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้มและพันธุ์ข้าวเหนียว ทั้ง 2 สายพันธุ์ มาวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของการสับ สามารถทำนายได้จากสมการที่ 3 โดยกำหนดให้ค่าสมบัติทางกายภาพ คือ มุมคมของใบมีดสับ และความเร็วในการสับ ส่วนสมบัติเชิงกล คือ แรงสับเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานสับจำเพาะสูงสุด จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของการสับ สามารถที่จะทำนายได้ ซึ่งดูจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($R^2$) ที่มีค่าสูง สมการทำนายค่าแรงสับเฉือนสูงสุดและค่าความเค้นเฉือนสูงสุด มีค่าเท่ากัน พันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้มและพันธุ์ข้าวเหนียวที่ $R^2$ = 0.969 และ 0.967 รองลงมาคือ ค่าพลังงานสับจำเพาะที่ $R^2$ = 0.936 และ 0.942 นอกจากสมการทั้ง 3 ทำให้ทราบค่ามุมคมของใบมีดสับเป็นตัวแปรที่สำคัญส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลในการสับ รองลงมาคือค่าของความเร็วในการสับ ดังตารางที่ 2

**ตารางที่** 2 สมการสำหรับทำนาย และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ค่าสมบัติเชิงกลของการสับลำต้นข้าวโพด

| ลำต้นข้าวโพด | สมบัติเชิงกล | ค่าทำนาย | สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($R^2$) |
|---|---|---|---|
| พันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้ม | แรงสับเฉือนสูงสุด (N) | 1.2499+0.00665K-0.0017S | 0.969 |
| | ความเค้นเฉือนสูงสุด (MPa) | 4.2374+0.03082K-0.0040S | 0.969 |
| | พลังงานสับจำเพาะ ($mJ/mm^2$) | 45.3525+0.63752K-0.216S | 0.936 |
| พันธุ์ข้าวเหนียว | แรงสับเฉือนสูงสุด (N) | 0.6923+0.00215K-0.0065S | 0.967 |
| | ความเค้นเฉือนสูงสุด (MPa) | 2.8156+0.01049K-0.00226S | 0.967 |
| | พลังงานสับจำเพาะ ($mJ/mm^2$) | 23.1061+0.52135K-0.0437S | 0.942 |

เมื่อ K = มุมคมของใบมีดสับ ($^o$) และ S = ความเร็วของใบมีดสับ (mm/min)

## 4. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของต้นข้าวโพด ในการสับลำต้นข้าวโพดพันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้มและพันธุ์ข้าวเหนียว พบว่า ค่าของแรงสับเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานสับจำเพาะสูงสุด ในการสับลำต้นข้าวโพดพันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้ม ที่มุมคมของใบมีดสับ $30^o$ $40^o$ $50^o$ $60^o$ และ $70^o$ ความเร็วในการสับเท่ากันที่ 100 mm/min มีค่าที่สูงกว่าพันธุ์ข้าวเหนียว ในทุกมุมคมของใบมีดสับ เนื่องโครงสร้างภายในของลำต้นข้าวโพดพันธุ์ข้าวเหนียวม่วงแต้มมีความแข็งแรงกว่าพันธุ์ข้าวเหนียว และยังพบว่าแรงสับเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานสับจำเพาะสูงสุดจะแปรผันตรงกับขนาดมุมคมของใบมีดสับและเมื่อเพิ่มความเร็วในการสับจาก 10-100 mm/min ที่มุมของใบมีดสับ $30^o$ ที่ความเร็วในการสับ 100 mm/min แต่ถ้าหากว่ามุมคมน้อยกว่า $30^o$ แรงที่ใช้ในการสับอาจส่งผลให้สับไม่ขาดเพราะพื้นที่หน้าตัดสัมผัสกับลำต้นข้าวโพดน้อยและสอดคล้องกับความเร็วที่มากกว่า100 mm/min ก็ยิ่งดีอาจจะต้องไม่สูงมากนักแต่ขึ้นอยู่กะปัจจัยและวัสดุที่นำมาทดสอบ ส่วนการตัดขาดสามารถตัดขาดได้ทุกต้นทุกความเร็วรอบและทุกมุมใบมีดแต่ความเร็วใบมีดต่ำ ๆ หรือมุมใบมีดที่ค่อนข้างมากจะขาดแบบไม่เฉือนแต่ขาดแบบฉีกขาด ดังนั้น จากการศึกษาครั้งนี้ใบมีดสับที่ทำมุม $30^o$ จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นข้อมูลในการออกและสร้างเครื่องสับต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารสัตว์ด้วยเทคนิคการสับเฉือน และในการออกแบบจริงตามหลักทางวิศวกรรมจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลด้านอื่น ๆ มาประกอบในการออกแบบและสร้างเครื่องสับต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารสัตว์

## 5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สัญญาเลขที่ ENG13/65 สำหรับสนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

**6. เอกสารอ้างอิง**

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2563/64. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.(สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 พฤษภาคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: http://www.oae.go.th

[2] รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์, ณพล เหลืองพิพัฒน์สร และ จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. การออกแบบและสร้างเครื่องย่อยและอัดหญ้าอาหารสัตว์สำหรับเกษตรกรรายย่อย. วารสารวิจัย มทร. ธัญบุรี. 2562; 18(1): 40-51.

[3] มงคล ตุ่นเฮ้า, กลวัชร ทิมินกุล และ รังสิทธิ์ ศิริมาลา. ออกแบบและพัฒนาเครื่องหั่นย่อยต้นถั่วลิสง. วารสารแก่นเกษตร. 2554; 39(3): 60-5.

[4] ชัยณรงค์ หล่มช่างคำ, ประสิทธิ์ โสภา, ประยูร จอมหล้าพีรติกุล, อาภาภรณ์ จอมหล้าพีรติกุล และ เดชาวัต มั่นกลาง. ทดสอบและประเมินผลปัจจัยของใบมีดสับที่เหมาะสมสำหรับสับหญ้าเนเปียร์เพื่อผลิตอาหารสัตว์. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 8, 29 พฤษภาคม 2564, จังหวัดขอนแก่น; 2564.

[5] Womac AR, Igathinathane C and Hayes D. Shearing charac-teristics of biomassfor size reduction. paper presented in An ASAE meeting presentation; 2005.

[6] Persson S. Mechanics of Cutting Plant Material. American Society of Agricultural Engineers: USA; 1987.

[7] รังสรรค์ กุฎสำโรง และ วินัย กล้าจริง. การศึกษาสมบัติเชิงกลของต้นมันสำปะหลัง. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16 และระดับนานาชาติครั้งที่ 8, 17-19 พฤษภาคม 2558. กรุงเทพฯ; 2558.

[8] Chattopadhyay PS, Pandey KP. Mechanical properties of sorghum stalk in relation to quasi static deformation. Journal of Agricultural Engineering Research 1999; 73: 199-206.

[9] Lomchangkum C, Junsiri C, Sudajan S, and Laloon K. A Study on the Mechanical Characteristics of Cassava Tuber Cutter. International Journal of Agricultural Technology 2020; 16(1): 63-76.