

พลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดต้นกล้วย ด้วยใบมีดตัดแบบติดตั้งเป็นแถบ

เสรี วงษ์พิเชษฐ

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อนุสรณ์ เวชสิทธิ์

กองเกษตรวิศวกรรม

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน เกษตรกรมีแนวโน้มสนใจใช้งานเครื่องเก็บเกี่ยวกล้วยเพิ่มขึ้น ในการใช้งานเครื่องเก็บเกี่ยวกล้วยโดยเลขาธิการเก็บเกี่ยวกล้วยฤดูฝน พบว่า ต้นกล้วยถูกหักเกี่ยวจนเห็นการตัด ทำให้มีต้นตอรากเป็นจำนวนมากและสร้างปัญหาในขั้นตอนการนวดเมล็ด ดังนั้น การศึกษาเพื่อหาค่าปริมาณพลังงานที่ต้องการใช้สำหรับการตัดต้นกล้วยด้วยใบมีดตัดแบบติดตั้งเป็นแถบ (cutting bar) จะเป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบและพัฒนาหัวเกี่ยวของเครื่องเกี่ยวกล้วยให้เหมาะสมสภาพแวดล้อมของไทย และลดปัญหาดังกล่าวข้างต้น

ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้กล้วยฤดูฝน(สภาพไร่) พันธุ์จักรพันธ์ 1 เชียงใหม่ 60 สจ.5 และ มช.35 ที่อายุเก็บเกี่ยว (R3) เป็นตัวอย่างในการศึกษา ต้นกล้วยถูกสุ่มมาจากแปลงปลูกสองรูปแบบ คือ 1) แบบปลูกเป็นแถว ซึ่งพบในการปลูกด้วยคนโดยใช้จอบขุดหลุมเป็นแถว และ 2) แบบปลูกเรียงต้น ซึ่งพบในการปลูกด้วยเครื่องปลูกแบบโรยเป็นแถว โดยใช้พื้นที่สุ่มตัวอย่างแต่ละซ้ำ ขนาด 5 แถว $\times$ 2 ม.

ผลการศึกษานี้ได้เห็นว่า ปริมาณพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดต้นกล้วยแต่ละครั้งด้วยใบมีดแบบแถบ (Cutting bar) สามารถประมาณได้จากสมการต่อไปนี้.

$$1) \text{ สำหรับรูปแบบการปลูกเป็นแถว, } E_w = [3.014 \ln(W) + 3.914] E_s \text{ วัตต์}$$

$$2) \text{ สำหรับรูปแบบการปลูกเรียงต้น, } E_w = [1.763 \ln(W) + 0.922] E_s \text{ วัตต์}$$

ซึ่ง W เป็นน้ำหนักแห้งของท่อนตัด (1-5 แฉก) และ E_s เป็นปริมาณพลังงานที่ตัดการ/สิ้นพันธุ์จักรพันธ์ และ มช.35 = 2.686 วัตต์, เชียงใหม่ 60 = 3.444 วัตต์, และ สจ.5 = 3.305 วัตต์)

The Required Energy for Soybean Cutting with Cutter Bar

Seree Wongpichet

Assistant Professor

Department of Agricultural Engineering

Faculty of Engineering Khon Kaen University

Anusorn Vetchasit

Agricultural Engineering Division

Department of Agriculture Ministry of Agriculture and Cooperatives

Abstract

The trend to use the soybean harvester is increasing nowadays. During several harvesting times with harvester, especially in rainy season, many soybeans were pull by cutter bar instead of cutting. Thus, the stick soils at soybean root were increased and caused more impurity and damaged grain during threshing stage. Therefore, the study of the required energy for soybean cutting with cutter bar will be useful for design and develop the more suitable soybean harvester to reduced this problem.

In this study, four upland soybean, Jackrapan 1, Chiangmai 60, SJ 5 and KKU 35, at harvesting age (R8) were used. Soybean stems were random from two planting patterns: 1) hill dropping pattern that cause from manual planting, and 2) drill dropping pattern that cause from machine planting. The random area was about 5 rows $\times$ 2 m..

It was found that, the required energy for soybean cutting with cutter bar can be estimated from:

$$1) \text{ Hill dropping pattern: } E_w = [3.014 \ln(W) + 3.914] E_s \text{ watt}$$

$$2) \text{ Drill dropping pattern: } E_w = [1.763 \ln(W) + 0.922] E_s \text{ watt}$$

For W = cutting width (1-5 rows), and E_s = the required energy per tree (Jackrapan 1 and KKU 35 = 2.686 watt, Chiangmai 60 = 3.444 watt, and SJ 5 3.305 watt)

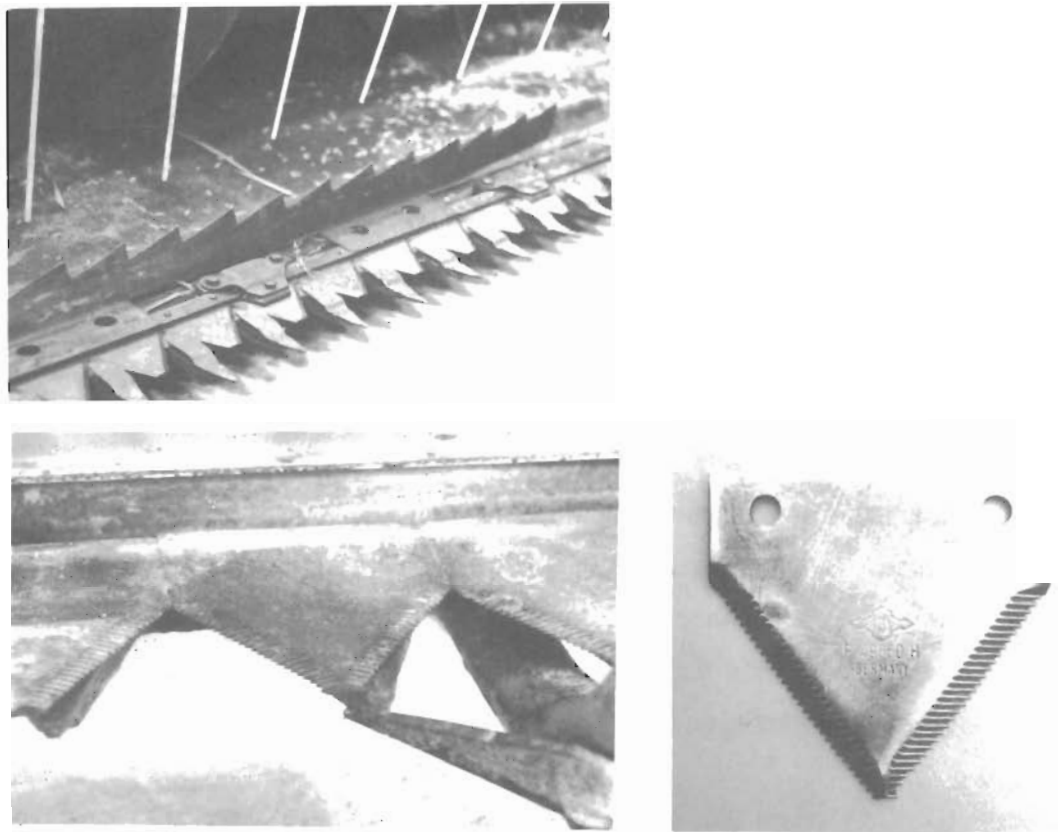
บทนำ

ปัจจุบัน เกษตรกรมีแนวโน้มสนใจใช้งานเครื่องจักรกลเกษตรเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเครื่องเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองเป็นเครื่องจักรกลเกษตรอีกประเภทหนึ่งที่เกษตรกรให้ความสนใจ เพราะการเก็บเกี่ยวด้วยคนโดยใช้เคียวมีอัตราการทำงานเพียง 0.3-0.5 ไร่/คน-วัน จึงต้องการแรงงานคนเป็นจำนวนมาก[1] ซึ่งการเก็บเกี่ยวล่าช้าจะทำให้ฝักแห้งกรอบและแตกได้ง่าย เป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียจากการที่ไม่ลีดร่วงหล่นจำนวนมาก

เครื่องเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองที่เกษตรกรไทยนำมาใช้งานกันในปัจจุบันมีสองประเภทใหญ่ๆ คือ เครื่องเกี่ยววางราย ซึ่งมีทั้งแบบที่พัฒนาโดยกองเกษตรวิศวกรรม (รูปที่ 1) และแบบที่นำเข้ามาจากญี่ปุ่น และเครื่องเกี่ยวนวด ซึ่งมีทั้งแบบที่ดัดแปลงมาจากเครื่องเกี่ยวนวดข้าวของไทยและแบบที่นำเข้ามาจากญี่ปุ่นเช่นกัน อย่างไรก็ตาม หัวเกี่ยวของเครื่องเก็บเกี่ยวทั้งสองประเภทมีหลักการทำงานเหมือนกันคือ ใช้ใบมีดตัดแบบติดตั้งเป็นแถบ (รูปที่ 2)



รูปที่ 1 เครื่องเกี่ยวถั่วเหลืองวางรายซึ่งพัฒนาโดยกองเกษตรวิศวกรรม



รูปที่ 2 ใบมีดตัดแบบติดตั้งเป็นแถบ (cutter bar) ซึ่งติดตั้งบนเครื่องเกี่ยวหวด (บนซ้าย), ติดตั้งบนเกี่ยววางราย (ล่างซ้าย) และรายละเอียดใบมีดแต่ละใบ (ขวา)

ในช่วงที่ผ่านมาการศึกษาและพัฒนาเครื่องเกี่ยวเกี่ยวหัวเหลืองของไทยจะมุ่งเน้นการเร่งรัดพัฒนาหลักการทำงานเพื่อให้เกิดมีเครื่องเกี่ยวเกี่ยวหัวเหลืองขึ้นมาสนองต่อความต้องการใช้งานของเกษตรกร แต่การศึกษาพัฒนาในส่วนรายละเอียดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้สูงขึ้นและเหมาะสมกับสภาพการเพาะปลูกของไทยมากยิ่งขึ้นยังมีค่อนข้างน้อยเช่น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องเกี่ยวเกี่ยว เป็นต้น ในปัจจุบัน ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณพลังงานที่เหมาะสมสำหรับการตัดต้นหัวเหลืองของไทย ถ้าพลังงานที่ให้แกใบมีดตัดมากเกินไปอาจเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายที่ไม่เหมาะสม แต่ถ้าให้พลังงานแกใบมีดตัดน้อยเกินไปต้นหัวจะถูกเกี่ยวเกี่ยวโดยการถอนแทนการตัดซึ่งสภาพดังกล่าวสามารถพบเห็นได้บ่อยครั้ง โดยเฉพาะการเกี่ยวเกี่ยวหัวเหลืองฤดูฝนด้วยเครื่องเกี่ยวเกี่ยว ต้นหัวที่ถูกถอนขึ้นมามีดินติดรากเป็นจำนวนมาก และสร้างปัญหาในขั้นตอนการนวดเมล็ด เพราะการคัดแยกเมล็ดดินและทรายทั้งหมดออกจากเมล็ดหัวเหลืองภายหลังการนวดเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยาก นอกจากนี้ เม็ดดินและทรายอาจมีส่วนเพิ่มความบอบซ้ำเสียหายให้แก่เมล็ดหัวเหลืองขณะทำการนวด โดยเฉพาะการนวดเมล็ดพันธุ์ที่เข้มงวดเรื่องความบอบซ้ำเสียหายของเมล็ด ดังนั้น การทราบ

ค่าปริมาณพลังงานที่ต้องการใช้สำหรับการตัดต้นถั่วเหลือง จะเป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบและพัฒนาหัวเกี่ยวของเครื่องเก็บเกี่ยวถั่วเหลืองของไทยให้มีประสิทธิภาพการทำงานมากขึ้น

วิธีการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ถั่วเหลืองฤดูฝน(สภาพไร่) พันธุ์จักรพันธ์ 1, เชียงใหม่ 60, สจ.5, และ มข.35 ที่อายุเก็บเกี่ยว (R8) เป็นตัวอย่างในการศึกษา โดยสุ่มต้นถั่วเหลืองมาจากแปลงปลูกสองรูปแบบ คือ 1) แบบปลูกเป็นกอ ซึ่งพบในวิธีการปลูกด้วยคนโดยใช้จอบขุดหลุมเป็นแถว หลุมละ 3-5 เมล็ดและมีระยะห่างระหว่างหลุม 250 มม., และ 2) แบบปลูกเรียงต้น ซึ่งพบในวิธีการปลูกด้วยเครื่องปลูกแบบโรยเป็นแถว 8-12 เมล็ด/ม. ซึ่งวิธีการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

1. การประมาณค่าจำนวนต้นที่ถูกตัดในแต่ละครั้ง สำหรับหน้ากว้างของการตัดระดับต่างๆ
 - 1.1 สุ่มตัวอย่างแปลงถั่วเหลืองขนาด 5 แถว $\times$ 2 ม. จำนวน 4 ซ้ำต่อรูปแบบการปลูก
 - 1.2 ในแต่ละซ้ำ วัดระยะห่างระหว่างกอ และนับจำนวนต้นในแต่ละกอ
 - 1.3 สร้างแผนผังแสดงพื้นที่และตำแหน่งของถั่วแต่ละต้นสำหรับแต่ละซ้ำ และนับจำนวนต้นที่ถูกตัดในแต่ละครั้งสำหรับหน้ากว้างของการตัดระดับต่างๆ เมื่อใช้ใบมีดตัดซึ่งมีฟันลึก (effective depth) 45 มม.
 - 1.4 วิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบการปลูกและรูปแบบการแจกแจงความถี่ของจำนวนต้นที่ถูกตัดในแต่ละครั้ง
2. การประมาณค่าจำนวนกิ่งและขนาดของกิ่งถั่วเหลืองแต่ละต้น ซึ่งตัดที่ความสูงระดับต่างๆ
 - 2.1 สุ่มตัวอย่างต้นถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์จากพื้นที่ขนาดประมาณ 5 แถว $\times$ 2 ม. ให้ได้ต้นถั่วเหลืองจำนวนอย่างน้อย 100 ต้นหรือซ้ำต่อพันธุ์
 - 2.2 นับจำนวนกิ่ง (โดยนับลำต้นรวมเข้าด้วยกันโดยเทียบเท่าหนึ่งกิ่ง) และวัดขนาดกว้างสุดของลำต้นของถั่วเหลืองแต่ละต้น ที่ความสูง 60 90 และ 120 มม.จากโคนต้น
 - 2.3 วิเคราะห์อิทธิพลของพันธุ์และความสูง และประมาณค่าจำนวนกิ่งและขนาดของกิ่งถั่วเหลืองแต่ละต้น
3. การประมาณค่าพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดถั่วเหลืองแต่ละกิ่ง
 - 3.1 สุ่มตัวอย่างต้นถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์จากพื้นที่ขนาดประมาณ 5 แถว $\times$ 2 ม.
 - 3.2 แบ่งถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์เป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มคัดเลือกต้นที่มีขนาดลำต้นต่างกันให้ครอบคลุมขนาดทั้งหมดจำนวน 3 ซ้ำต่อขนาด สำหรับทดสอบการตัดที่ความชื้น 3 ระดับ

3.3 ทดสอบการตัดลำต้นถั่วเหลืองที่ความสูงในช่วง 60-120 มม.จากโคนต้น โดยวัดค่าแรงตัดเฉือนพร้อมทั้งความเร็วใบมีด ขนาดของลำต้นที่ตำแหน่งตัด และความชื้นต้น

3.4 วิเคราะห์อิทธิพลของพันธุ์และความชื้น และประมาณค่าพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดถั่วเหลืองแต่ละกิ่ง

4. ประมาณค่าพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดต้นถั่วเหลือง โดยใช้ผลการศึกษาข้างต้น



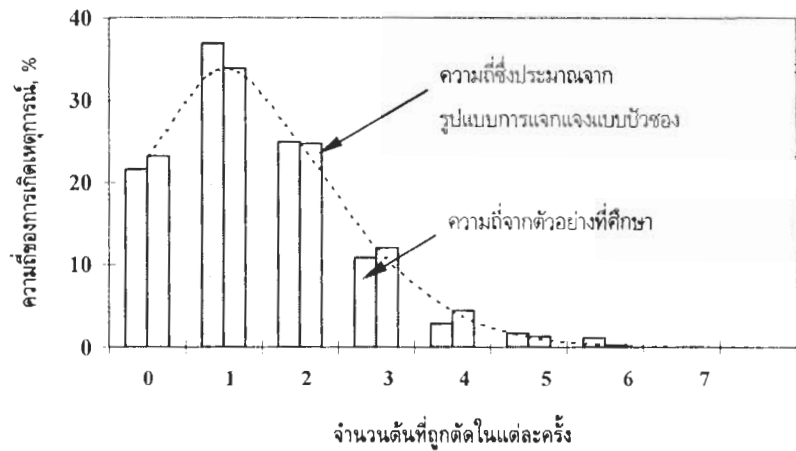
รูปที่ 3 แปลงปลูกด้วยคน (บน) และแปลงปลูกด้วยเครื่องปลูก (ล่าง)

ผลการศึกษา

ค่าจำนวนต้นที่ถูกตัดในแต่ละครั้ง สำหรับนักวิจัยการตัดระดับต่างๆ

จากการศึกษาจำนวนต้นถั่วเหลืองที่ถูกใบมีดตัดในแต่ละครั้งพบว่า รูปแบบการปลูกเป็นกอซึ่งพบในวิธีการปลูกด้วยคน (รูปที่ 3 โดยเฉลี่ยมีระยะห่างระหว่างกอ 383.7 มม. กอละ 3.1 ต้น) มีต้นถั่วเหลืองถูกตัดครั้งละ 0-13 ต้น แต่รูปแบบการปลูกเรียงต้นซึ่งพบในวิธีการปลูกด้วยเครื่องปลูก (รูปที่ 3 โดยเฉลี่ยมีจำนวน 6.7 ต้น/ม. หรือในช่วง 4-12 ต้น/ม.) มีต้นถั่วเหลืองถูกตัดครั้งละ 0-8 ต้น ทั้งนี้ขึ้นกับความกว้างของการตัดแต่ละครั้ง ซึ่งความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ (รูปที่ 4) มีรูปแบบการแจกแจง

ความถี่แบบปัวซอง (Poisson distribution) สำหรับกรณีที่ใช้เครื่องปลูกแบบโรยเป็นแถว แต่กรณีที่ปลูกด้วยคน มีรูปแบบการแจกแจงความถี่ที่ไม่คุ้นเคย ซึ่งรายละเอียดผลการศึกษานี้จะแสดงในตารางที่ 1-2



รูปที่ 4 ตัวอย่างรูปแบบการแจกแจงความถี่ของจำนวนต้นที่ถูกตัดในแต่ละครั้ง
เมื่อมีหน้ากว้างการตัด 5 แถว สำหรับรูปแบบการปลูกแบบเรียงต้น
(เครื่องปลูกแบบโรยเป็นแถว)

จากตัวอย่างในรูปที่ 4 จำนวนต้นที่ถูกตัดครั้งละ 4 ต้น มีค่าอยู่ที่ตำแหน่ง 98.32 เปอร์เซนต์ไทม์ ดังนั้น โอกาสที่จะพบกับเหตุการณ์ที่ต้องตัดครั้งละมากกว่า 4 ต้น มีเพียง 1.68 เปอร์เซนต์ ซึ่งถ้าออกแบบให้ใบมีดมีพลังงานเท่ากับพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดครั้งละ 4 ต้น ใบมีดดังกล่าวจะตัดต้นขาดทุกครั้งได้ถึง 98% หรือ 98 ครั้ง จากการตัดเทียบเท่า 100 ครั้ง ดังนั้น เพื่อให้ได้ปริมาณพลังงานสำหรับการตัดต้นแต่ละครั้งซึ่งพอเพียงสำหรับสภาพการณ์ของการตัดส่วนใหญ่ จึงเลือกใช้ค่าจำนวนต้นที่ตำแหน่ง 95 เปอร์เซนต์ไทม์ (N) เป็นเกณฑ์สำหรับการออกแบบ และสามารถประมาณค่าจำนวนต้นดังกล่าว สำหรับหน้ากว้างการตัดขนาด 1-5 แถว ของแต่ละรูปแบบการปลูก (รูปที่ 5) ได้ดังนี้

$$\text{สำหรับรูปแบบการปลูกเป็นกอ(คนปลูก), } N = [3.014 \ln(W) + 3.914] \text{ ต้น} \quad (1)$$

$$\text{สำหรับรูปแบบการปลูกเรียงต้น(เครื่องปลูก), } N = [1.763 \ln(W) + 0.922] \text{ ต้น} \quad (2)$$

ซึ่ง W หมายถึง หน้ากว้างของการตัด (1-5 แถว)

นอกจากนี้ยังพบว่า รูปแบบการปลูกเป็นกอซึ่งพบในวิธีการปลูกด้วยคน ต้องการพลังงานเพื่อการตัดมากกว่ารูปแบบการปลูกเรียงต้นซึ่งพบในวิธีการปลูกด้วยเครื่องปลูก เนื่องจากมีจำนวนต้นที่ต้องตัดในแต่ละครั้งมากกว่า

ตารางที่ 1
ความถี่สะสมหรือค่าความน่าจะเป็นสะสม (cumulative density function) ของจำนวนต้นที่ถูกตัดในแต่ละครั้ง สำหรับรูปแบบการปลูกซึ่งใช้คนปลูกโดยใช้จอบขุดหลุมเป็นแถว¹

จำนวนต้น	ความถี่สะสมหรือค่าความน่าจะเป็นสะสม ² (CDF) เมื่อมีหน้ากว้างการตัด				
	5 แถว	4 แถว	3 แถว	2 แถว	1 แถว
13	1.0000				
11	0.9940	0.9940	1.0000		
10	0.9820	0.9880		1.0000	
9	0.9650				
8	0.9310	0.9600	0.9770	0.9940	
7	0.8910	0.9200	0.9540	0.9800	
6	0.8510	0.8740	0.9250	0.9650	0.9950
5	0.8280	0.8450	0.9080	0.9450	0.9820
4	0.7880	0.8170	0.8740	0.9080	0.9520
3	0.7310	0.7710	0.8170	0.8680	0.9240
2	0.6510	0.7020	0.7480	0.8110	0.8890
1	0.6220	0.6850	0.7370	0.7970	0.8740
ค่าเฉลี่ยของจำนวนต้นที่ถูกตัดแต่ละครั้ง	1.824	1.506	1.114	0.753	0.388
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนต้นที่ถูกตัดแต่ละครั้ง	2.918	2.643	2.198	1.7285	1.126
Poisson significant ³	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
รูปแบบการแจกแจงความถี่	ปกติผกผัน	ปกติผกผัน	ปกติผกผัน	ปกติผกผัน	ปกติผกผัน
จำนวนข้อมูล (N)	176	176	176	352	900

หมายเหตุ: 1. รูปแบบการปลูกเป็นกอ โดยใช้คนปลูก โดยใช้เครื่องมือระยะห่างระหว่างแถว 352.5 มม. ระยะห่างระหว่างหลุม 368.7 มม. และมีต้น 3 ต้น/หลุม
2. ประเมินค่าความถี่สะสมจากค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ (Percentile) ซึ่งคำนวณจากข้อมูลที่ศึกษา
3. ทดสอบรูปแบบการแจกแจงความถี่แบบปัวซอง (Goodness of fit test for Poisson distribution) โดยมี Kolmogorov-Smirnov

ตารางที่ 2

ความถี่สะสมหรือค่าความน่าจะเป็นสะสม (cumulative density function) ของจำนวนต้นที่ถูกตัดในแต่ละครั้ง สำหรับรูปแบบการปลูกโดยใช้เครื่องปลูกแบบโดยเป็นแถว¹

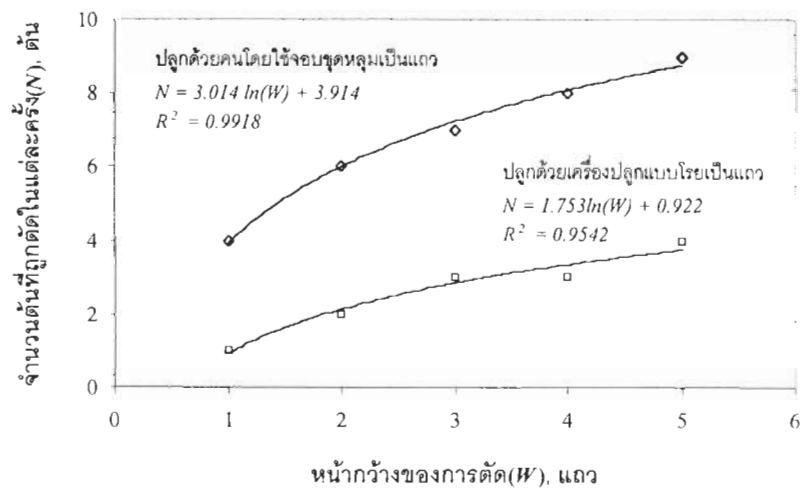
จำนวนต้น (x)	ความถี่สะสมหรือค่าความน่าจะเป็นสะสม ² (CDF) เมื่อมีหน้ากว้างการตัด				
	5 แถว	4 แถว	3 แถว	2 แถว	1 แถว
8	1.0000				
7	0.9999	1.0000	1.0000		
6	0.9992	0.9998	0.9999		
5	0.9961	0.9987	0.9996	1.0000	
4	0.9832	0.9931	0.9974	0.9997	1.0000
3	0.9393	0.9692	0.9852	0.9970	0.9998
2	0.8188	0.8870	0.9328	0.9786	0.9966
1	0.5712	0.6754	0.7629	0.8839	0.9645
0	0.2322	0.3120	0.3961	0.5586	0.7458
ค่าเฉลี่ยของจำนวนต้นที่ถูกตัดแต่ละครั้ง (λ)	1.460	1.165	0.926	0.582	0.293
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนต้นที่ถูกตัดแต่ละครั้ง	1.228	1.127	1.003	0.798	0.515
Poisson significant ³	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
รูปแบบการแจกแจงความถี่	Poisson	Poisson	Poisson	Poisson	Poisson
จำนวนข้อมูล (N)	176	176	176	352	900

หมายเหตุ: 1. รูปแบบการปลูกเรียงต้น โดยใช้เครื่องปลูกแบบโรยเป็นแถว โดยเฉลี่ยมีระยะห่างระหว่างแถว 381.6 มม. และ 6.7 ต้น/ม. (หรือ 4-12 ต้น/ม.)

2. คำนวณค่าความถี่สะสมจากการแจกแจงความถี่แบบปัวซอง (Poisson distribution), $P(x;\lambda) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}$
3. ทดสอบรูปแบบการแจกแจงความถี่แบบปัวซอง (Goodness of fit test for Poisson distribution) โดยวิธี Kolmogorov-Smirnov

จำนวนกิ่งและขนาดของกิ่งถั่วเหลืองแต่ละต้น ซึ่งตัดที่ความสูงระดับต่างๆ

ขณะที่เครื่องเกี่ยวถั่วเหลืองทำงาน ใบมีดตัดจะถูกควบคุมให้อยู่ใกล้ผิวดินให้มากที่สุดเพื่อตัดต้นถั่วเหลืองให้ชิดโคนต้นเพื่อลดการสูญเสียของฝักติดตอซัง (shatter loss) เนื่องจากฝักถั่วเหลืองบางส่วนเกิดที่ตำแหน่งใกล้โคนต้นมาก อย่างไรก็ตาม ผู้ควบคุมเครื่องเกี่ยวก็น้องระมัดระวังไม่ให้ใบมีดถูกกดต่ำเกินไป เนื่องจากใบมีดอาจจะเสียหายจากการตัดก้อนดินและเศษหิน โดยทั่วไปความสูงของการตัดมีค่าในช่วง 60-120 มม.จากโคนต้น



รูปที่ 5 จำนวนต้นที่ถูกตัดในแต่ละครั้ง ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 95 เปอร์เซนต์ไทล์

ในการศึกษาจำนวนกิ่งของถั่วเหลืองแต่ละต้นครั้งนี้ ศึกษาโดยการนับลำต้นรวมเข้าด้วยกัน เทียบเท่ากับหนึ่งกิ่ง (รูปที่ 6) ซึ่งผลการศึกษาถั่วเหลืองทั้งสี่พันธุ์ พบว่า จำนวนกิ่งที่ระดับความสูงจากโคนต้น 60-120 มม. และจำนวนกิ่งของแต่ละพันธุ์ มีจำนวนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3-6) โดยเฉพาะเมื่อมีระดับความสูงมากขึ้น ดังนั้น การยกใบมีดสูงจากผิวดินมากขึ้นจะทำให้มีจำนวนกิ่งที่ต้องตัดมากขึ้นเช่น พันธุ์ สจ.5 จำนวนกิ่งโดยเฉลี่ยจะเพิ่มจาก 1.3 กิ่ง/ต้น เป็น 2.8 กิ่ง/ต้น เมื่อเพิ่มความสูงของการตัดจาก 60 เป็น 120 มม. เป็นต้น ซึ่งสภาพดังกล่าวหมายถึงการใช้พลังงานสำหรับการตัดเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน เพราะจากการศึกษาขนาดของลำต้นพบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับความสูงจากโคนต้น 60-120 มม. ของถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์ มีขนาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 7-9)

อย่างไรก็ตาม การปรับระดับใบมีดขึ้นลงในช่วง 60-120 มม. ระหว่างการทำงานเป็นเรื่องปกติ เนื่องจากสภาพพื้นที่เพาะปลูกโดยทั่วไปมีระดับไม่สม่ำเสมอโดยเฉพาะสภาพไร่ และสภาพที่เกษตรกรพูนโคนถั่วเหลืองขณะกำจัดวัชพืช[2] ดังนั้น เพื่อให้การออกแบบครอบคลุมสภาพการทำงานส่วนใหญ่ จึงควรเลือกใช้จำนวนกิ่งต่อต้นที่ระดับความสูงจากโคนต้น 120 มม. เป็นเกณฑ์สำหรับการออกแบบ



รูปที่ 6 ตัวอย่างรูปร่างของต้นถั่วเหลืองที่อายุเก็บเกี่ยว (R8)

ตารางที่ 3

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนกิ่งต่อต้น¹ ที่ระดับความสูงจากโคนต้น 60, 90 และ 120 มม. สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ

Source of Variation	df	SS	MS	F	P-value
พันธุ์ถั่วเหลือง	3	34.82	11.61	10.787	0.0000
ความสูงจากโคนต้น	2	108.79	54.39	50.555	0.0000
Interaction	6	4.99	0.83	0.773	0.5914
Within	1,188	1,278.18	1.08		

หมายเหตุ * C V = 54.74%

ตารางที่ 4

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนกิ่งต่อต้น สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ

พันธุ์	ที่ระดับความสูงจากโคนต้น			
	60 มม.	90 มม.	120 มม.	เฉลี่ย
จักรพันธ์1	1.550	2.020	2.480	2.017 a
เชียงใหม่60	1.650	2.070	2.460	2.060 a
สจ.5	1.270	1.620	1.980	1.623 b
มข.35	1.630	1.880	2.130	1.880 a

หมายเหตุ: 1. $LSD_{0.05} = 0.288$ กิ่ง/ต้น

ตารางที่ 5

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนกิ่งต่อต้น ที่ระดับความสูงจากโคนต้น 60, 90 และ 120 มม.

ความสูง จากโคนต้น	พันธุ์ถั่วเหลือง				
	จักรพันธ์1	เชียงใหม่60	สจ.5	มข.35	เฉลี่ย
60 มม.	1.550	1.650	1.270	1.630	1.525 a
90 มม.	2.020	2.070	1.620	1.880	1.898 b
120 มม.	2.480	2.460	1.980	2.130	2.263 c

หมายเหตุ: 1. $LSD_{0.05} = 0.288$ กิ่ง/ต้น

ตารางที่ 6

รูปแบบการแจกแจงความถี่ของจำนวนกิ่งต่อต้น¹ ที่ระดับความสูงจากโคนต้น 60, 90 และ 120 มม.² สำหรับถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ

รายละเอียด	พันธุ์จักรพันธ์1 และพันธุ์ มข.35 ที่ ความสูง			พันธุ์เชียงใหม่60 ที่ความสูง			พันธุ์ สจ.5 ที่ความสูง		
	60 มม.	90 มม.	120 มม.	60 มม.	90 มม.	120 มม.	60 มม.	90 มม.	120 มม.
Poisson significant ³	0.0000	0.0510	0.0570	0.0010	0.0830	0.4590	0.0000	0.0510	0.1550
รูปแบบการแจกแจง	Unknown	Poisson	Poisson	Unknown	Poisson	Poisson	Unknown	Poisson	Poisson
จำนวนข้อมูล (N)	200	200	200	100	100	100	100	100	100
ค่าเฉลี่ย	1.590	1.950	2.305	1.650	2.070	2.460	1.270	2.020	2.180
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.822	1.060	1.261	0.969	1.103	1.337	0.584	1.025	1.104

หมายเหตุ: 1. จำนวนกิ่งต่อต้น ในที่นี้นับลำต้นรวมเข้าด้วยกันโดยเทียบเท่าหนึ่งกิ่ง
2. โดยทั่วไปต้นถั่วเหลืองจะถูกตัดที่ระดับความสูงในช่วง 60-120 มม. จากโคนต้น
3. ทดสอบรูปแบบการแจกแจงความถี่แบบปัวซอง (Goodness of fit test for Poisson distribution) โดยวิธี Kolmogrov-Smirnov

ตารางที่ 7

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ ที่ระดับความสูงจากโคนต้น 60, 90 และ 120 มม.¹

Source of Variation	df	SS	MS	F	P-value
พันธุ์ถั่วเหลือง	3	136.36	45.45	16.704	0.0000
ความสูงจากโคนต้น	2	6.67	3.34	1.226	0.2938
Interaction	6	9.15	1.53	0.561	0.7620
Within	1,188	3,232.61	2.72		

หมายเหตุ: 1. โดยทั่วไปต้นถั่วเหลืองจะถูกตัดที่ระดับความสูงในช่วง 60-120 มม. จากโคนต้น

* C.V. = 31.28%

ตารางที่ 8

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ

พันธุ์	ที่ระดับความสูงจากโคนต้น			
	60 มม.	90 มม.	120 มม.	เฉลี่ย
จักรพันธ์1	4.906	5.068	4.760	4.911 a
เชียงใหม่60	5.382	5.630	5.394	5.469 b
สจ.5	5.529	5.760	5.887	5.725 c
มข.35	4.983	5.045	4.938	4.989 a

หมายเหตุ: 1. $LSD_{0.05} = 0.457$ มม./กิ่ง

ตารางที่ 9

รูปแบบการแจกแจงความถี่ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ ที่ระดับความสูงจากโคนต้น 60-120 มม.¹

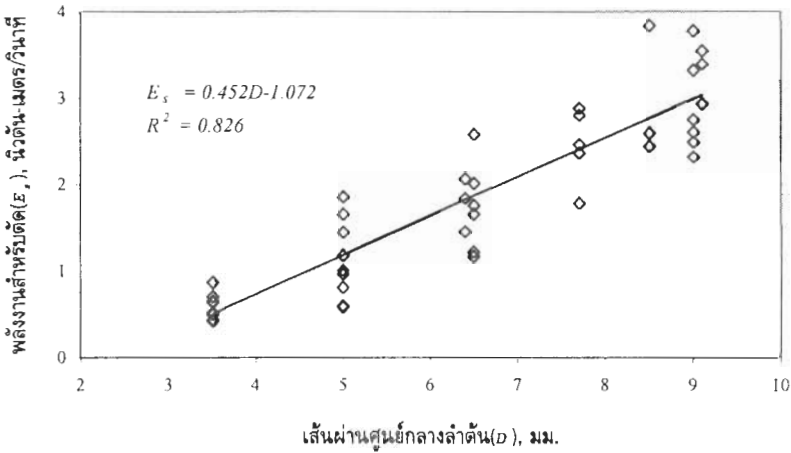
รายละเอียด	พันธุ์จักรพันธ์1 และพันธุ์ มข.35	พันธุ์เชียงใหม่60	พันธุ์ สจ.5
Normal significant ²	0.051	0.346	0.067
รูปแบบการแจกแจงความถี่	Normal	Normal	Normal
จำนวนข้อมูล (N)	600	300	300
ค่าเฉลี่ย	4.950	5.469	5.725
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.564	1.7270	1.728

หมายเหตุ: 1. โดยทั่วไปต้นถั่วเหลืองจะถูกตัดที่ระดับความสูงในช่วง 60-120 มม. จากโคนต้น

2. ทดสอบรูปแบบการแจกแจงความถี่ข้อมูลแบบปกติ (Goodness of fit test for Normal distribution) โดยวิธี Kolmogorov-Smirnov

พลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดกิ่งถั่วเหลืองแต่ละกิ่ง

ผลการศึกษปริมาณพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดกิ่งถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ (ตารางที่ 10) ชี้ให้เห็นว่า ถั่วเหลืองทั้งสี่พันธุ์และความชื้นต้นในช่วงตั้งแต่ R8 ถึงแห้งจัด ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น ปริมาณพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดกิ่งถั่วเหลืองแต่ละกิ่ง จะแปรตามขนาดของกิ่งเป็นสำคัญ (ตารางที่ 11) และสามารถประมาณค่าเป็นสมการเส้นตรงได้ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ปริมาณพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดกิ่งถั่วเหลืองแต่ละกิ่ง

ตารางที่ 10

ผลการศึกษาพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดกิ่งถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความชื้นระดับต่างๆ

ลำดับ	พันธุ์ถั่วพันธุ์ 1			พันธุ์ถั่วพันธุ์ 60			พันธุ์ถั่ว 5			พันธุ์ถั่ว 35		
	ขนาด, มม.	ความชื้น, (%wb)	พลังงาน, วัตต์	ขนาด, มม.	ความชื้น, (%wb)	พลังงาน, วัตต์	ขนาด, มม.	ความชื้น, (%wb)	พลังงาน, วัตต์	ขนาด, มม.	ความชื้น, (%wb)	พลังงาน, วัตต์
1	3.5	24.2	0.71	3.5	16.3	0.53	3.5	18.9	0.48	3.5	28.6	0.66
2	3.5	5.5	0.43	3.5	3.4	0.38	3.5	3.7	0.39	3.5	14.2	0.60
3	3.5	0.0	0.56	3.5	0.0	0.41	3.5	0.0	0.29	3.5	0.0	0.44
4	3.5	17.3	0.59	3.5	11.9	0.81	3.6	11.0	0.31	3.5	23.3	0.87
5	3.5	1.9	0.53	3.5	2.2	0.63	3.6	2.7	0.23	3.5	7.1	0.52

ตารางที่ 10 (ต่อเนื่อง)

ผลการศึกษาพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดกิ่งกล้วยเหลือองพันธุ์ต่างๆ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความชื้นระดับต่างๆ

ลำดับ	พันธุ์กล้วยพันธุ์ 1			พันธุ์กล้วยพันธุ์ 80			พันธุ์กล้วย 5			พันธุ์กล้วย 35		
	ขนาด, มม	ความชื้น, (%wb)	พลังงาน, วัตต์	ขนาด, มม	ความชื้น, (%wb)	พลังงาน, วัตต์	ขนาด, มม	ความชื้น, (%wb)	พลังงาน, วัตต์	ขนาด, มม	ความชื้น, (%wb)	พลังงาน, วัตต์
6	3.5	0.0	0.32	3.5	0.0	0.51	3.6	0.0	0.25	3.5	0.0	0.64
7	3.5	27.2	0.59	3.5	9.8	0.37	3.5	11.0	0.22	3.5	22.2	0.64
8	3.5	4.5	0.43	3.5	1.9	0.47	3.5	2.7	0.35	3.5	11.0	0.71
9	3.5	0.0	0.31	3.5	0.0	0.39	3.5	0.0	0.51	3.5	0.0	0.43
10	4.9	38.2	1.19	5.0	21.6	1.38	5.0	12.2	1.46	5.0	35.6	1.01
11	4.9	14.7	0.75	5.0	5.2	1.20	5.0	2.3	0.86	5.0	7.5	1.65
12	4.9	0.0	0.82	5.0	0.0	1.17	5.0	0.0	1.29	5.0	0.0	0.81
13	5.0	12.2	1.00	5.0	30.4	1.31	5.0	12.2	0.87	5.0	25.1	1.85
14	5.0	2.3	1.13	5.0	12.2	0.92	5.0	2.3	0.87	5.0	5.5	1.18
15	5.0	0.0	0.80	5.0	0.0	0.90	5.0	0.0	1.03	5.0	0.0	1.45
16	5.1	12.9	1.39	5.0	19.4	1.45	5.0	24.3	1.38	5.0	12.9	0.97
17	5.1	2.9	1.07	5.0	0.9	1.21	5.0	4.9	1.23	5.0	1.8	0.60
18	5.1	0.0	1.44	5.0	0.0	1.26	5.0	0.0	0.80	5.0	0.0	0.59
19	6.3	12.7	1.54	6.4	33.3	1.71	6.5	12.5	1.75	6.4	37.6	2.05
20	6.3	3.0	1.55	6.4	16.6	1.89	6.5	1.9	1.31	6.4	12.5	1.83
21	6.3	0.0	1.14	6.4	0.0	1.16	6.5	0.0	1.60	6.4	0.0	1.45
22	6.5	13.0	1.69	6.4	20.0	2.06	6.5	34.6	1.62	6.5	18.1	1.65
23	6.5	2.9	1.29	6.4	5.8	1.93	6.5	9.2	1.88	6.5	4.5	1.17
24	6.5	0.0	0.95	6.4	0.0	1.55	6.5	0.0	1.25	6.5	0.0	1.75
25	6.6	13.4	1.83	6.4	32.8	2.39	6.5	12.5	1.21	6.5	16.6	2.58
26	6.6	3.1	1.02	6.4	22.2	1.77	6.5	1.9	1.51	6.5	3.0	2.01
27	6.6	0.0	1.50	6.4	0.0	1.48	6.5	0.0	1.14	6.5	0.0	1.21
28	7.8	13.3	1.55	8.1	38.4	2.32	7.8	15.2	1.93	7.7	33.2	1.78
29	7.8	2.9	2.03	8.1	15.7	1.66	7.8	5.4	1.82	7.7	15.3	2.81
30	7.8	0.0	1.70	8.1	0.0	2.09	7.8	0.0	1.38	7.7	0.0	2.89
31	7.9	13.2	1.86	8.1	20.9	2.61	8.1	15.2	1.79	7.7	28.0	2.37
32	7.9	2.9	1.87	8.1	5.3	2.56	8.1	5.4	2.41	7.7	5.1	2.37
33	7.9	0.0	1.58	8.1	0.0	1.85	8.1	0.0	1.86	7.7	0.0	2.46
34	8.0	13.8	2.10	8.2	11.2	1.88	8.3	30.5	2.52	8.5	32.4	2.45
35	8.0	4.1	1.59	8.2	2.9	2.01	8.3	18.5	1.53	8.5	24.0	2.60
36	8.0	0.0	1.66	8.2	0.0	1.74	8.3	0.0	2.68	8.5	0.0	3.84
37	8.8	12.8	2.63	9.1	34.1	1.50	9.0	32.1	2.73	9.0	30.6	2.49
38	8.8	2.8	2.14	9.1	27.7	2.25	9.0	25.2	2.24	9.0	6.1	2.75
39	8.8	0.0	1.69	9.1	0.0	2.08	9.0	0.0	2.39	9.0	0.0	3.76
40	9.0	19.8	3.27	9.5	29.0	2.55	9.6	32.1	2.93	9.0	21.0	2.32
41	9.0	11.0	2.29	9.5	11.1	1.90	9.6	25.2	1.72	9.0	4.0	3.32

พลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดต้นถั่วเหลือง

จากผลการศึกษาจำนวนกิ่งของถั่วเหลืองแต่ละต้นดังกล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถประมาณค่าพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดต้นถั่วเหลืองแต่ละต้นได้ตามสมการที่ (4) และรายละเอียดในตารางที่ 12

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดต้นถั่วเหลืองแต่ละต้น, } E_s = \\ (\text{จำนวนกิ่งโดยเฉลี่ย/ต้นที่ความสูง 120 มม.}) \times (\text{ปริมาณพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดกิ่งหนึ่งกิ่ง}) \\ (\text{จำนวนกิ่งโดยเฉลี่ย/ต้นที่ความสูง 120 มม.}) \times 0.452 D - 1.072 \end{aligned} \quad (4)$$

ตารางที่ 12

ปริมาณพลังงานที่ต้องการสำหรับตัดต้นถั่วเหลือง ที่ความสูงในช่วง 60-120 มม.

รายละเอียด	พันธุ์จักรพันธ์1 และพันธุ์ มข.35	พันธุ์เชียงใหม่ 60	พันธุ์ สจ.5
จำนวนกิ่งโดยเฉลี่ย/ต้น	2.305	2.460	2.180
ขนาดกิ่งโดยเฉลี่ย (D, มม.)	4.950	5.469	5.725
พลังงาน/ต้น (E_s , วัตต์)	2.686	3.444	3.305

และเมื่อพิจารณาผลการศึกษาจำนวนต้นที่ถูกใบมีดตัดในแต่ละครั้ง ทำให้สามารถประมาณค่าพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดต้น ซึ่งครอบคลุมหรือพอเพียงสำหรับสภาพการณ์ส่วนใหญ่ในการตัดถั่วเหลือง (95%) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดต้นถั่วเหลืองแต่ละครั้ง, } E_w = \\ (\text{จำนวนต้นที่ 95 เปอร์เซนต์ไทม์, } N) \times (\text{ปริมาณพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดต้นแต่ละต้น, } E_s) \end{aligned}$$

เมื่อแทนค่า N ด้วยสมการที่ (1) และ (2) จะได้ค่าปริมาณพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดต้นแต่ละครั้ง ดังนี้

$$\text{สำหรับรูปแบบการปลูกเป็นกอ(คนปลูก), } E_w = [3.014 \ln(W) + 3.914] E_s \quad (5)$$

$$\text{สำหรับรูปแบบการปลูกเรียงต้น(เครื่องปลูก), } E_w = [1.753 \ln(W) + 0.922] E_s \quad (6)$$

เมื่อ

E_w = ปริมาณพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดต้นแต่ละครั้ง ซึ่งครอบคลุมหรือพอเพียงสำหรับสภาพการณ์ของการตัดส่วนใหญ่ (95%), วัตต์,

W = หน้ากว้างของการตัด, แถว (1-5 แถว)

E_s = ปริมาณพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดต้นถั่วเหลืองแต่ละต้น, วัตต์ (พันธุ์จักรพันธ์1 และ มข.35 = 2.686 วัตต์, เชียงใหม่ 60 = 3.444 วัตต์, และ สจ.5 = 3.305 วัตต์)

แม้ว่าค่าพลังงานจากสมการที่ (5) และ (6) มีค่ามากพอที่จะครอบคลุมหรือพอเพียงสำหรับสภาพการณ์ของการตัดส่วนใหญ่ (95%) แต่การนำค่าดังกล่าวไปใช้งานโดยเฉพาะการออกแบบ ควรมีความเข้าใจสภาพการใช้งานเครื่องเก็บเกี่ยวในทางปฏิบัติด้วยเช่นกัน เครื่องเก็บเกี่ยวอาจถูกนำไปใช้งานในสภาพที่หลากหลาย ซึ่งแต่ละแปลงอาจปลูกถั่วเหลืองพันธุ์ต่างๆ กัน แต่ละพันธุ์และแต่ละรูปแบบการปลูกต้องการพลังงานในการตัดไม่เท่ากัน ค่าพลังงานที่ใช้ออกแบบจึงควรครอบคลุมหรือพอเพียงสำหรับสภาพที่จะพบเป็นส่วนใหญ่ในพื้นที่เป้าหมายดังกล่าว เป็นต้น

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษา สามารถสรุปได้ว่า

- 1) ความถี่ของจำนวนต้นที่ถูกใบมีดตัดในแต่ละครั้ง สำหรับรูปแบบการปลูกด้วยเครื่องปลูกแบบโรยเป็นแถว มีรูปแบบการแจกแจงความถี่แบบปัวซอง (Poisson distribution) แต่กรณีที่ใช้ปลูกด้วยคนโดยใช้จอบขุดหลุมเป็นแถว มีรูปแบบการแจกแจงความถี่ที่ไม่คุ้นเคย ซึ่งความถี่ที่ตำแหน่ง 95 เปอร์เซนต์ไคล์ (N) ของรูปแบบการปลูกทั้งสองดังกล่าวสามารถประมาณได้จาก
 สำหรับรูปแบบการปลูกเป็นกอ(คนปลูก), $N = [3.014 \ln(W) + 3.914]$ ต้น
 สำหรับรูปแบบการปลูกเรียงต้น(เครื่องปลูก), $N = [1.753 \ln(W) + 0.922]$ ต้น
 เมื่อ W เป็นหน้ากว้างของการตัด (1-5 แถว)
- 2) ถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์มีจำนวนกิ่ง (รวมลำต้น) เพิ่มขึ้นตามความสูงของต้น โดยมีค่าเฉลี่ยในช่วง 1.59-2.46 กิ่งต่อต้น ที่ระดับความสูงของต้นในช่วง 60-120 มม. แต่ขนาดของลำต้นถั่วเหลืองในช่วงความสูงดังกล่าวมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
- 3) พลังงานที่ต้องการใช้สำหรับการตัดกิ่งถั่วเหลืองแปรตามขนาดของลำต้นเป็นสำคัญ ส่วนความชื้น (ในช่วงตั้งแต่ R8 ถึงแห้งจัด) และชนิดของพันธุ์ ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณพลังงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าพลังงานที่ต้องการใช้สำหรับการตัดกิ่งถั่วเหลือง (E) สามารถประมาณได้จาก $E = 0.452D - 1.072$ วัตต์ เมื่อ D เป็นขนาดของกิ่ง (มม.)

- 4) ปริมาณพลังงานที่ต้องการสำหรับการตัดต้นถั่วเหลืองแต่ละครั้ง (E_w) ด้วยใบมีดตัดแบบติดตั้งเป็นแถบ สามารถประมาณได้จากสมการต่อไปนี้

สำหรับรูปแบบการปลูกเป็นกอ (คนปลูก), $E_w = [3.014 \ln(W) + 3.914]E_s$ วัตต์

สำหรับรูปแบบการปลูกเรียงต้น (เครื่องปลูก) , $E_w = [1.763 \ln(W) + 0.922]E_s$ วัตต์

เมื่อ W เป็นหน้ากว้างของการตัด (1-5 แถว) และ E_s เป็นปริมาณพลังงานที่ต้องการต่อต้น (พันธุ์จักรพันธ์ 1 และ มข.35 = 2.686 วัตต์, เชียงใหม่ 60 = 3.444 วัตต์, และ สจ.5 = 3.305 วัตต์)

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรเวทย์ กฤษณะเศรษฐี. 2540. "เครื่องจักรกลเกษตรสำหรับถั่วเหลือง". กองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [2] ชามูชัย สาโรจน์โรช, อนุสรณ์ เวชสิทธิ์, สอนอ อมฤกษ์, สุนัน บุญตา, และ สมส่วน ทองดินอก. 2541. "การศึกษาวิจัยการใช้เครื่องจักรกลเกษตรครบวงจรเพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง มข.35 ในเขตน้ำฝน ปีที่ 2". รายงานวิจัยโครงการขยายพันธุ์ถั่วเหลือง มข.35 เสนอต่อกองทุนเพื่อพัฒนาการผลิตถั่วเหลือง สมาคมโรงงานผู้ผลิตน้ำมันถั่วเหลือง และรำข้าว.