

การพัฒนาเครื่องปลูกต้นกล้าอ้อยในแนวตั้งสำหรับอุปกรณ์ปลูกต้นกล้าอ้อย

Development of Vertical Planting Mechanism for Sugarcane Transplanter

ภร จันทรอุดม^{1/} ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล^{1/*}

Patara Jhantaraudom^{1/} Sirisak Chertkiattipol^{1/*}

Received 17 May 2024/Revised 3 Aug. 2024/Accepted 4 Aug. 2024

ABSTRACT

An efficient sugarcane seedling transplanter is essential for transplanting seedlings grown from bud billets to reduce labor cost and planting time. The purposes of this research are to create a sugarcane transplanter that the planting mechanism moves vertically using pre-germinated buds and to assess the transplanter's performance. The device that had been developed was a seedling mechanism that used planting funnel attached to a metering disc which received thrust from the soil layer so that the transplanter worked without sending power through the sprockets and chains to the planting mechanism. It was like the planting device itself was the ground wheel, and the planting mechanism was always pressed into the ground to independently plant seedlings into the ground to the desired depth of planting without the use of a soil opener. It was attached to three-point hitches on a 56.7 kW (76 hp) tractor. In this research, the planting distance was controlled by a metering disc, which had a planting funnel mounted on it. Three different diameters: 78 cm (D1), 86 cm (D2) and 96 cm (D3) metering discs were tested in this study. The experimental works were conducted at travel speeds of 1.27, 1.89 and 2.73 km/hr. and planting depths of 10 and 15 cm. Results showed that the average planting pitch of the metering discs D1, D2 and D3 was 36.30, 50.15 and 68.35 cm respectively, and it showed that the planting success rate (PSR) at a 10 cm planting depth was higher than at a 15 cm planting pitch. The success rate of metering disc D3 (67.32%) was higher when compared to metering disc D2 (59.76%) and metering disc D1 (53.18%). These experimental results showed that the planting depth of 10 cm and the forward speed of 1.27 km/hr. were practical operating conditions.

Keywords: sugarcane; seedling; transplanter; sugarcane bud billet

^{1/} ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

^{1/} Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

* Corresponding author: fengsrcp@ku.ac.th

บทคัดย่อ

อุปกรณ์ปลูกต้นกล้าอ้อยที่มีประสิทธิภาพช่วยทุ่นแรงและประหยัดเวลาในการปลูกมีความจำเป็นในการปลูกต้นกล้าอ้อยที่เพาะจากข้อตา งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างอุปกรณ์ปลูกต้นกล้าอ้อยที่ชุดปลูกหมุนเคลื่อนที่ในแนวตั้งพร้อมทำหน้าที่ปลูกอ้อยแบบใช้ต้นกล้า และประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในการปลูก โดยอุปกรณ์ที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นกลไกปลูกต้นกล้าชนิดมีกรวยปลูกที่ติดตั้งเข้ากับงานกำหนดระยะปลูกในการรับแรงผลักดันจากชั้นดิน ให้อุปกรณ์ปลูกเคลื่อนที่ทำงานโดยไม่ต้องส่งกำลังผ่านเฟืองและโซ่ไปยังกลไกปลูก หรือเปรียบเสมือนตัวอุปกรณ์ปลูกคือล้อส่งกำลังนั่นเอง และกลไกปลูกจะถูกกดอยู่ในพื้นดินเสมอเพื่อปล่อยต้นกล้าปลูกลงสู่ดินอย่างอิสระตามความลึกที่ต้องการปลูก โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์เปิดร่อง อุปกรณ์ปลูกถูกติดตั้งกับจุดต่อพ่วงอิสระของรถแทรกเตอร์ ขนาด 56.7 กิโลวัตต์ (76hp) ระยะปลูกจะถูกควบคุมด้วยงานกำหนดระยะปลูก ซึ่งจะติดตั้งชุดกรวยปลูกต้นกล้าไว้บนงานกำหนดระยะปลูก ได้ดำเนินการทดสอบปัจจัยที่งานควบคุมระยะปลูกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ระดับ ได้แก่ 78(D1) 86(D2) และ 96(D3) ซม. ทดสอบที่ความเร็วการเดินทาง 1.27 1.89 และ 2.73 กม./ชม. และความลึกในการปลูก 10 และ 15 ซม. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ปลูกต้นกล้าอ้อย พบว่า ค่าเฉลี่ยระยะปลูกอ้อยของงานปลูก D1 D2 และ D3 มีค่า 36.30 50.15 และ 68.35 ซม. ตามลำดับ และที่ระดับการปลูกความลึก 10 ซม. อัตราการปลูกสำเร็จสูงกว่าที่ระดับความลึก 15 ซม. และยังพบว่า งานกำหนดระยะปลูก D3 มีค่าอัตราการปลูกสำเร็จสูงสุด 67.3% เมื่อเปรียบเทียบกับงานกำหนดระยะปลูก D2 และ D1 ที่มีอัตราการปลูกสำเร็จ 59.7 และ

53.2% ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ปลูกต้นกล้าอ้อยที่พัฒนาขึ้นมานี้ สามารถปลูกต้นกล้าอ้อยอย่างมีประสิทธิภาพที่ความลึกการปลูก 10 ซม. และความเร็วการเดินทาง 1.27 กม./ชม.

คำสำคัญ: อ้อย; ต้นกล้า; อุปกรณ์ปลูก; ข้อตาอ้อย

บทนำ

อ้อยเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ โดยในปี พ.ศ. 2565 ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลที่ผลิตจากอ้อยกว่า 1.08 แสนล้านบาท เป็นอันดับที่ 3 ของโลก มีพื้นที่เพาะปลูกอ้อยมากกว่า 11 ล้านไร่ ซึ่งเพิ่มขึ้น 3.4% เมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2566) การปลูกอ้อยเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ท่อนพันธุ์ที่มีตาอ้อย 2 ถึง 3 ตา/ท่อน ทำให้สูญเสียผลผลิตส่วนหนึ่งที่ต้องนำมาใช้เป็นท่อนพันธุ์ และการใช้ท่อนพันธุ์อ้อยที่มี 2 ถึง 3 ตาในการขยายพันธุ์ยังทำให้เกิดลักษณะที่เรียกว่า ยอดข่ม (apical dominance) เป็นผลให้ตาอ้อยที่มีอายุแก่กว่าในท่อนพันธุ์เดียวกัน งอกช้าลง ซึ่งการใช้ท่อนพันธุ์ที่มีเพียง 1 ตา สามารถลดอิทธิพลของยอดข่มได้ พรชัย และคณะ (2521) รายงานว่า การปลูกต้นกล้าอ้อยที่เพาะจากข้อตาแทนท่อนพันธุ์นั้นสามารถช่วยประหยัดผลผลิตอ้อยที่ต้องนำมาใช้เป็นท่อนพันธุ์ได้ถึง 80% และส่วนของลำอ้อยที่เหลือจากการตัดข้อตาก็ยังสามารถส่งหีบได้ โดยในการปลูกอ้อย 1 ไร่ ใช้ข้อตาอ้อยประมาณ 2,000 ข้อตาหรือใช้อ้อยประมาณ 140 ลำ ซึ่งเมื่อเทียบกับการปลูกอ้อยแบบใช้ท่อนพันธุ์ ต้องใช้อ้อย 0.96-1.28 ตัน/ไร่ อีกทั้งการใช้ข้อตาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแตกกอ โดยหน่ออ้อยจากข้อตาจะแตกกอเร็วกว่าหน่ออ้อยจากท่อนพันธุ์ (Jain et al., 2010)

นอกจากนี้ ในการทำแปลงผลิตพันธุ์อ้อยสะอาดตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ต้องแช่ท่อนพันธุ์อ้อยในน้ำร้อน 50 °ซ. นาน 2 ชม. เพื่อกำจัดเชื้อโรคที่ติดมากับท่อนพันธุ์ แต่เนื่องจากเครื่องแช่ท่อนพันธุ์มีขนาดใหญ่ ต้องลงทุนสูง และไม่สะดวกในการขนย้าย ซึ่งถ้าใช้ข้อตาแทนจะสามารถลดปริมาณของภาชนะที่ใช้แช่น้ำร้อนลงได้ (เฉลิมพลและคณะ, 2547) อย่างไรก็ตาม การปลูกลงกล้าอ้อยที่เพาะจากข้อตาอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ทุ่นแรง

Naik et al. (2013) ได้ศึกษาอุปกรณ์ปลูกลงกล้าอ้อยจากข้อตาอ้อยแบบสองแถว ถูกติดตั้งกับรถแทรกเตอร์ โดยมีความเร็วการทำงานที่เหมาะสมที่สุด 1.4 กม./ชม. การปลูกสำเร็จ 98% ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ 0.94 ไร่/ชม. ประหยัดค่าใช้จ่าย และแรงงานได้ 40-85% ปิยะพงษ์และคณะ (2563) ได้พัฒนาอุปกรณ์ปลูกอ้อยแบบร่องเดี่ยวที่ใช้ข้อตาเป็นวัสดุปลูก พบว่า อุปกรณ์ปลูกทำงานได้อย่างเหมาะสมที่ความเร็วระดับเกียร์ต่ำ (3L) ที่รอบเครื่องยนต์ 1,800 รอบ/นาที ระยะปลูกเฉลี่ย 28-30 ซม. ความลึกการปลูกเฉลี่ย 19-20 ซม. และมีจำนวนชิ้นตาอ้อยที่ใช้สำหรับปลูก 4,522 ชิ้นตา/ไร่ หรือ 140 กก./ไร่ เปรียบเทียบกับปริมาณอ้อยที่ใช้สำหรับอุปกรณ์ปลูกอ้อยในแนวตั้ง ต้องใช้ปริมาณลำอ้อย 1,760 กก./ไร่ ค่าความสามารถเชิงไร่ 1.25 ไร่/ชม. ประสิทธิภาพการทำงาน 66% ฐากร และศิริศักดิ์ (2565) พัฒนาอุปกรณ์ปลูกลงกล้าอ้อยที่เพาะจากข้อตา (แถวเดี่ยว) โดยมีกลไกงานปลูกแบบวงกลมและกลไกดันต้นกล้า เมื่อล้อส่งกำลังเริ่มเคลื่อนที่ทำงาน จะส่งกำลังผ่านเฟืองและโซ่ไปยังกลไกงานปลูกของอุปกรณ์ สามารถปลูกลงกล้าที่ระยะปลูก 40 50 และ 60 ซม. มีความลึกการปลูก 10 และ 15 ซม. จากการทดสอบพบว่า

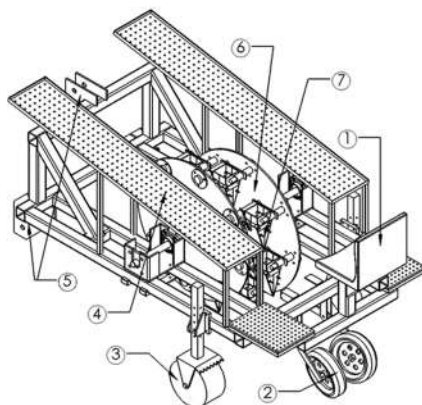
อุปกรณ์ปลูกลงกล้าอ้อยทำงานได้อย่างเหมาะสมที่ระยะปลูก 60 ซม. ความเร็วการเคลื่อนที่ 1.34 กม./ชม. ที่ความลึกการปลูก 10 ซม. และมีความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์ 0.8 ไร่/ชม.

จากการใช้งานอุปกรณ์ปลูกลงกล้าอ้อยที่พัฒนาโดย ฐากร และศิริศักดิ์ (2565) พบความผิดพลาดที่เกิดขึ้น คือ 1) เมื่อระดับพื้นที่ในแปลงมีความแตกต่างกัน ทำให้บางครั้งล้อส่งกำลังไม่สัมผัสกับผิวดิน ส่งผลให้อุปกรณ์ปลูกไม่สามารถทำงานได้ 2) อุปกรณ์ปลูกมีกลไกดันต้นกล้าอ้อยที่ตกลงมาอย่างอิสระจากกลไกงานปลูกสู่บริเวณพื้นของอุปกรณ์เปิดร่อง 3) ในการปลูกขณะกลไกดันต้นกล้าเคลื่อนที่ทำงาน พบดินบริเวณด้านข้างจากการไถพรวนไหลกลับเข้ามายังอุปกรณ์เปิดร่อง ทำให้เกิดการติดขัดในบางจังหวะของอุปกรณ์ปลูก จากปัญหาข้างต้นจึงหาแนวทางลดข้อผิดพลาดและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน โดยออกแบบและสร้างอุปกรณ์ปลูกลงกล้าอ้อยที่เพาะจากข้อตาที่เปลี่ยนมาใช้กลไกปลูกลงกล้าเป็นแบบกรวยปลูกที่ติดตั้งเข้ากับงาน กำหนดระยะปลูกที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งเป็นส่วนรับแรงผลักดันจากดินในการเคลื่อนที่แทนล้อส่งกำลัง ที่ส่งแรงผ่านเฟืองและโซ่ไปยังเครื่องปลูก ในขณะที่ตำแหน่งของปากกรวยปลูกกดอยู่ในพื้นดินเสมอ ตามความลึกที่ทำการปลูกแทนอุปกรณ์เปิดร่องดิน และมีกลไกลูกกลิ้งกับลูกเบี้ยวในการปล่อยต้นกล้าลงสู่ดินอย่างอิสระเพื่อปลูกแทนกลไกดันต้นกล้า ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ปลูกลงกล้าอ้อยเมื่องานกำหนดระยะปลูกลงกล้าหมุนเคลื่อนที่ในแนวตั้ง เพื่อปรับปรุงอุปกรณ์ปลูกลงกล้าอ้อยที่เพาะจากข้อตาให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการทำงาน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. เครื่องปลูกกล้าอ้อย

การพัฒนาอุปกรณ์ปลูกกล้าอ้อยมีจุดมุ่งหมาย



- ① : Seat
- ② : Soil compactor wheels
- ③ : Planting depth control wheels
- ④ : Seedling tray stand
- ⑤ : Three-point hitches
- ⑥ : Metering Disc
- ⑦ : Planting funnel

Figure 1 Isometric of the prototype of a sugarcane transplanting

เมื่อต่อพ่วงอุปกรณ์ปลูกกล้าอ้อยที่พัฒนา (Figure 1) กับรถแทรกเตอร์ ปรับระดับความลึกการปลูกด้วยล้อควบคุมความลึกการปลูก (หมายเลข 3) ซึ่งจะทำให้กรวยปลูกต้นกล้าอ้อย (หมายเลข 7) อยู่ต่ำกว่าระดับผิวดิน และเมื่อรถแทรกเตอร์วิ่งจุดลากอุปกรณ์ ชุดกลไกปลูกต้นกล้าอ้อย (seedling mechanism) (หมายเลข 6 และ 7) จะหมุนในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการหมุนของล้อรถแทรกเตอร์ โดยอาศัยแรงกระทำระหว่างดินกับกรวยปลูกต้นกล้าอ้อย (หมายเลข 7) เกษตรกรทำหน้าที่นำต้นกล้าอ้อยจากถาดเพาะที่วางไว้บนแท่นพักถาดต้นกล้าอ้อย (หมายเลข 4) ใส่ในชุดกลไกปลูก

2. จานกำหนดระยะปลูก (metering disc)

อุปกรณ์ปลูกต้นกล้าอ้อยถูกออกแบบให้สามารถปลูกอ้อยที่ระยะปลูก 30 45 และ 60 ซม. ระยะปลูกขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานกำหนดระยะปลูก รายละเอียดการคำนวณ

เพื่อพัฒนาอุปกรณ์จักรกลเกษตรหุ่นแรงเกษตรกรในการผลิตอ้อยพันธุ์สะอาด ส่วนประกอบของอุปกรณ์ปลูกกล้าอ้อยแสดงใน Figure 1

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานกำหนดระยะปลูก ดังสมการที่ (1) ดังนี้ คำนวณความยาวส่วนโค้งของสามเหลี่ยมฐานโค้ง (l) พิจารณาควบคู่กับ Figure 2 และเพื่อความสะดวกในการทำงานจึงเลือกใช้จานปลูกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 78 ซม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานกำหนดระยะปลูก (D) ที่ระยะปลูก 30 45 และ 60 ซม. ดังแสดงใน Table 1

$$\begin{aligned}
 l &= r \cdot \theta \\
 &= \left(\frac{D}{2} \right) \cdot \theta \\
 D &= \frac{2 \cdot l}{\theta} \quad \dots (1)
 \end{aligned}$$

โดย D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจานกำหนดระยะปลูก (ซม.)

l คือ ความยาวโค้ง หรือระยะปลูก (ซม.)

r คือ รัศมีของวงกลม หรือรัศมีจานกำหนดระยะปลูก (ซม.)

θ คือ มุมรองรับส่วนโค้ง (เรเดียน)

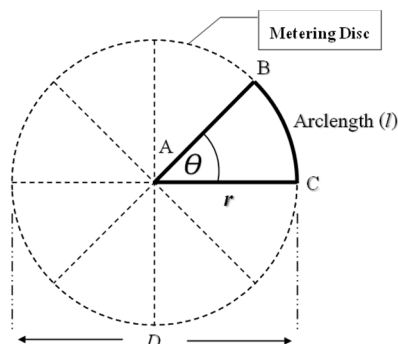


Figure 2 The diagram showed the position of the arclength on a metering disc

Table 1 The diameters of the metering disc at the planting pitches of 30, 45 and 60 cm

Planting pitch (cm)	Diameter of a metering disc (cm)	θ (°)	Number of a seedling device
30	78	45	8
45	86	60	6
60	96	72	5

3. ชุดกลไกปลูกต้นกล้าอ้อย (seedling mechanism)

รายละเอียดส่วนประกอบหลักของชุดกรวยปลูกต้นอ้อย และกลไกควบคุมการเปิดปิดของกรวยปลูกต้นกล้าอ้อยประกอบด้วย จานกำหนดระยะปลูก (Figure 3 หมายเลข 6) กรวยปลูกต้นกล้าอ้อย (หมายเลข 7) ลูกกลิ้งควบคุมการเปิดปิดกรวย (หมายเลข 8) และลูกเบี้ยวควบคุมการเปิดปิดกรวย (หมายเลข 9) การทำงานออกแบบให้กรวยปลูกต้น

กล้าอ้อยหมุนมาที่ตำแหน่งด้านหน้าผู้ปฏิบัติงาน เมื่อใส่ต้นกล้าอ้อยลงในกรวยปลูกต้นกล้าอ้อย กรวยจะหมุนเลื่อนมาที่ตำแหน่งต่ำที่สุดของจานกำหนดระยะปลูกเป็นตำแหน่งที่ปากกรวยเปิด ซึ่งจะทำให้ต้นกล้าอ้อยตกลงไปบนร่องดินอย่างอิสระ ปากกรวยปลูกต้นกล้าอ้อยเปิดปิดได้ด้วยหลักการลูกกลิ้ง (roller) และลูกเบี้ยว (cam)

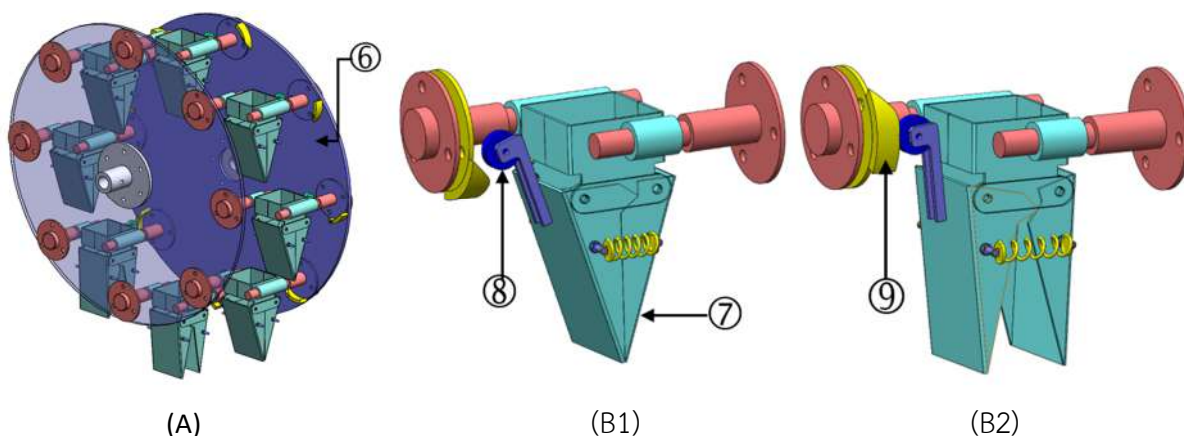


Figure 3 (A) The composition of the seedling mechanism, (B1) Close-planting funnel and (B2) Open-planting funnel

4. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องปลูกต้นกล้าอ้อยในแนวตั้ง

ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลในแผนการทดลองบล็อกสุ่มสมบูรณ์ ($3 \times 3 \times 2$ factorial in RCBD) 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 3 ปัจจัยดังนี้ ปัจจัย A (ระยะปลูก) มี 3 ระดับ ได้แก่ 30 45 และ 60 ซม. ปัจจัย B (ความเร็วการเดินทาง) มี 3 ระดับ ได้แก่ 1.27 1.89 และ 2.73 กม./ชม. และปัจจัย C (ความลึกการปลูก) มี 2 ระดับ ได้แก่ 10 และ 15 ซม. วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลโดยวิธี DMRT (Duncan's new multiple range test)

4.1 แปลงทดสอบ

ดำเนินการทดลองในแปลงของภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน ลักษณะเป็นดินร่วน ประกอบด้วยอนุภาค (sand silt และ clay) 39.39 45.97 และ 14.73% (รจกาส, 2562)

ไถเตรียมแปลงด้วยจอบหมุนพรวนดินแนวตั้ง (power harrow) 2 เที้ยว เพื่อพรวนดินให้เหมาะกับการปลูก แบ่งแปลงทดสอบย่อยกว้าง 2.5 ม. และยาว 20 ม. สำหรับแต่ละเงื่อนไขการทดสอบ ดินมีความหนาแน่นดินและความชื้นเฉลี่ย 1.12 ก./ลบ. ซม. และ 12.06% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ความต้านทานการแทงทะลุดิน (Cone Penetrometer-Daiki: DIK-5532) ที่ความลึกดิน 10-20 ซม. มีค่าเฉลี่ย 0.98 เมกะปาสคาล

4.2 การเตรียมต้นกล้าอ้อย

ในการทดลองใช้อ้อยพันธุ์ ขอนแก่น 3 อายุ 8-12 เดือน เตรียมข้อตาอ้อยโดยการตัดลำอ้อย ห่างจากข้อตาด้านบนและด้านล่าง 2.50 ซม. (Figure 4A) จากนั้นทำการเพาะต้นกล้าอ้อยในถาดเพาะที่มีหลุมเพาะขนาด $5 \times 5 \times 10$ ซม. (Figure 4B) ใช้เวลาปลูก 25-35 วัน ต้นกล้าอ้อยจะมีความสูงประมาณ 30 ซม. พร้อมนำไปทดสอบ (Figure 4C)



Figure 4 Sugar seedling preparation as shown in (A) sugarcane bud, (B) sugarcane bud in seedling tray and (C) Sugarcane seedling

4.3 การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องปลูก

การประเมินประสิทธิภาพการปลูกของอุปกรณ์ปลูกต้นกล้าอ้อยในแนวตั้ง ดำเนินการโดยต่อพ่วงอุปกรณ์ด้วยรถแทรกเตอร์ยี่ห้อ MASSEY-FERGUSON-390 ขนาด 56.7 กิโลวัตต์ (76hp) (Figure 6) ทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์

1,300 รอบ/นาที่ ตำแหน่งเกียร์ Low1 Low2 และ Low3

4.3.1 ความลึกการปลูก (planting depth error: PDE)

การวัดค่าความลึกของต้นกล้าหลังการทดลอง โดยทำการสุ่มวัดค่าความลึกต้นอ้อย เทียบ

กับค่าความลึกการปลูกที่ควรได้ทางทฤษฎี คือ 10 และ 15 ซม. เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนความลึกการปลูกคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$PDE (\%) = \frac{D_m - D_t}{D_t} \times 100 \quad \dots (2)$$

โดย D_t คือ ความลึกต้นกล้าที่ปลูกได้ทางทฤษฎี
 D_m คือ ความลึกต้นกล้าที่ได้จากการวัด

4.3.2 ความคลาดเคลื่อนของระยะปลูก (planting pitch error: PPE)

อัตราส่วนระหว่างผลต่างระหว่างระยะปลูกต้นกล้าอ้อยที่วัดจริงในแปลงทดลองเปรียบเทียบกับระยะปลูกต้นกล้าอ้อยจากการคำนวณ ดังแสดงในสมการที่ (3) ระยะห่างระหว่างต้นกล้าอ้อย 15 ต้นต่อเนื่องจะถูกบันทึกเพื่อนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยระยะปลูกจริงในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบกับระยะปลูกที่ควรได้ทางทฤษฎี

$$PPE (\%) = \frac{P_m - P_t}{P_t} \times 100 \quad \dots (3)$$

โดย P_t คือ ระยะห่างต้นกล้าทางทฤษฎี
 P_m คือ ระยะห่างต้นกล้าที่ได้จากการวัด

4.3.3 อัตราการปลูกสำเร็จ (planting success rate: PSR)

จำนวนต้นกล้าที่ปลูกได้ทั้งหมดต่อ 1 การทดลอง ในระยะทาง 20 ม. เปรียบเทียบกับจำนวนต้นกล้าที่ปลูกได้ทางทฤษฎี ซึ่งมีจำนวน 66 44 และ 33 ต้น ตามลำดับ โดยต้นกล้าที่ปลูกสำเร็จมีเงื่อนไขคือ บริเวณส่วนโคนของต้นกล้าต้องถูกดินกลบแบบสมบูรณ์ แต่ต้นกล้าอ้อยต้องไม่ล้มลงราบกับพื้น สามารถหาอัตราการปลูกสำเร็จได้จากสมการที่ (4)

$$PSR (\%) = \frac{N_m}{N_t} \times 100 \quad \dots (4)$$

โดย N_t คือ จำนวนต้นกล้าที่ปลูกได้ทางทฤษฎี
 N_m คือ จำนวนต้นกล้าที่ได้จากการวัด

4.3.4 ความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ (field capacity)

กำหนดแปลงทดสอบขนาด 35x70 ตร.ม. (Figure 5) และทำการปลูกกล้าอ้อยที่ระยะห่างระหว่างแถว 1.65 ม. จับเวลาขณะเริ่มทำงานจนครบพื้นที่ทดสอบ ซึ่งสามารถหาอัตราการทำงานเชิงพื้นที่จากสมการที่ 5

$$C_o = \frac{A}{T_t} \times 100 \quad \dots (5)$$

โดย C_o คือ อัตราการทำงานเชิงไร่ (ไร่/ชม.)
 A คือ พื้นที่การทำงาน (ตร.ม.)
 T_t คือ เวลาในการทำงานทั้งหมด (ชม.)

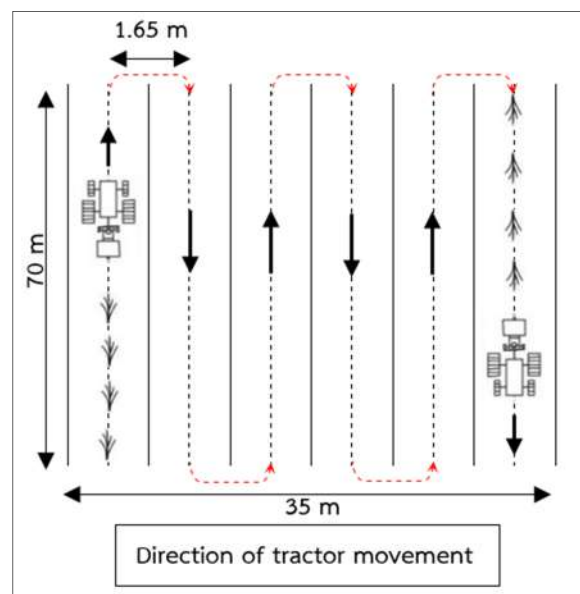


Figure 5 Experimental site for testing condition effective field capacity

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ความเร็วการเดินทาง

การประเมินประสิทธิภาพการปลูกของอุปกรณ์ปลูกต้นกล้าอ้อยในแนวตั้ง พบว่า การทดลองที่เงื่อนไขความลึกการปลูก 10 และ 15 ซม. รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ลากอุปกรณ์พ่วงด้วยความเร็วการเดินทางเฉลี่ยที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,300 รอบ/นาที ตำแหน่งเกียร์ Low1 Low2 และ Low3 มีความเร็วการเดินทาง 1.27 ± 0.14 1.89 ± 0.18 และ 2.73 ± 0.32 กม./ชม. ตามลำดับ (Table 2)

2. ความลึกการปลูกต้นกล้าอ้อย (planting depth: PD)

ความแม่นยำในการประเมินประสิทธิภาพเครื่องปลูกต้นกล้าอ้อย จำเป็นต้องควบคุมให้ระดับความลึกใกล้เคียงกันมากที่สุด งานปลูก D1 D2 และ D3 เมื่อปรับล้อควบคุมความลึก ที่ความลึกการปลูก 10 ซม. พบว่า อุปกรณ์ปลูกต้นกล้าอ้อยที่ความลึกการปลูกเฉลี่ย 10.6 9.9 และ 9.9 ซม. ตามลำดับ และเมื่อปรับล้อควบคุมความลึกที่ 15 ซม. พบว่า มีความลึกเฉลี่ย 14.9 15.0 และ 14.8 ซม. ตามลำดับ เห็นได้ว่าอุปกรณ์สามารถปลูกต้นกล้าอ้อยได้ระดับความลึกที่สม่ำเสมอ คือ ความลึกการปลูกเฉลี่ย 10.1 และ 14.9 ซม. ตามลำดับ (Table 2)

3. ระยะปลูก (planting pitch: PP)

ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของระยะปลูกของอุปกรณ์ปลูกต้นกล้าอ้อย ที่ความลึกการปลูก 10 ซม. พบว่า ระยะปลูกของงานปลูก D1 D2 และ D3 มีค่าเฉลี่ย 37.2 50.0 และ 67.8 ซม. ตามลำดับ (Table 3) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และแสดงให้เห็นว่า งานปลูก D1 ปลูกต้นกล้าอ้อยด้วยระยะปลูกที่สม่ำเสมอมากที่สุด

เนื่องด้วยปัจจัยความเร็วการเดินทางไม่ส่งผลต่อขนาดของระยะการปลูกอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาที่ความลึกการปลูก 15 ซม. (Table 4) ยังคงแสดงให้เห็นว่า ระยะปลูกของงานปลูก D1 D2 และ D3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 35.4 50.3 และ 68.9 ซม. ตามลำดับและพบว่า ความเร็วการเดินทางไม่มีผลต่อระยะปลูกอย่างมีนัยสำคัญสำหรับงานปลูก D2 และ D3 ยกเว้นงานปลูก D1

4. ความคลาดเคลื่อนระยะปลูกต้นกล้า (planting pitch error: PPE)

ผลการทดสอบไม่พบแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนระยะปลูก (PPE) กับปัจจัยความเร็วการทำงานและปัจจัยงานกำหนดระยะปลูก (Table 3 และ Table 4) แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความลึกการปลูก 10 และ 15 ซม. กรณีงานปลูก D1 มีค่า PPE อยู่ในช่วงระหว่าง 22.4-24.95 และ 14.9-23.3% ตามลำดับ ขณะที่งานปลูก D2 มีค่า PPE อยู่ในช่วง ระหว่าง 8.7-12.96 และ 10.6-12.4% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเฉพาะความคลาดเคลื่อนระยะปลูกพบว่า ที่เงื่อนไขความลึกการปลูก 10 ซม. มีค่า PPE 16.01% สูงกว่าที่ความลึกการปลูกต้นกล้าอ้อย 15 ซม. (PPE 14.78%) (Table 5)

5. อัตราการปลูกสำเร็จ (planting success rate: PSR)

ผลการทดสอบพบว่า อัตราการปลูกสำเร็จไม่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยความเร็วการทำงานของรถแทรกเตอร์ แต่ปัจจัยงานกำหนดระยะปลูก D1 D2 และ D3 มีความสัมพันธ์ต่ออัตราการปลูกสำเร็จอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีค่าเฉลี่ยอัตราการปลูกสำเร็จ (PSR) 53.18 59.76 และ 67.32% ตามลำดับ และปลูกไม่สำเร็จ (PMR) 46.82 40.24 และ 32.68% ตามลำดับ (Table 5)

Table 2 The average planting depth (APD) in each testing condition

Adjusted the depth-controlling wheel at 10 cm of planting depth			
Average operating speed of a tractor ± SD (km/hr)	Metering discs		
	D1	D2	D3
	APD (cm)		
1.27±0.14	10.5	9.73	9.9
1.89±0.18	10.5	10.0	9.8
2.73±0.32	10.8	10.1	9.9
Average	10.6±0.17	9.9±0.19	9.9±0.05
APD	10.10±0.14		
Adjusted the depth-controlling wheel at 15 cm of planting depth			
Average operating speed of a tractor±SD (km/hr)	Metering discs		
	D1	D2	D3
	APD (cm)		
1.27±0.14	14.8	15.0	14.7
1.89±0.18	14.9	15.1	14.9
2.73±0.32	14.8	14.9	14.9
Average	14.9±0.03	15.0±0.12	14.8±0.15
APD	14.9±0.10		

Remark: D1 = planting pitch 30 cm, D2 = planting pitch 45 cm, D3 = planting pitch 60 cm

Table 3 The statistical analysis of the performance indexes on planting pitch (PP), planting pitch error (PPE), planting success rate (PSR) and field capacity of the planting mechanism at a planting depth of 10 cm

Average operating speed (km/hr)	PP (cm)	PPE (%)	PSR (%)	Effective field capacity (rai/hr.)
Metering discs D1				
1.27	37.50 a	24.95 a	55.01 c	1.30 a
1.89	37.30 a	24.33 a	51.01 a	2.00 b
2.73	36.71 a	22.40 a	53.01 b	2.80 c
Average	37.20 A	23.90 C	53.00 A	
Metering discs D2				
1.27	48.90 a	8.70 a	63.00 b	1.60 a
1.89	50.83 b	12.96 b	60.01 a	2.50 b
2.73	50.33 ab	11.90 ab	55.51 a	3.40 c
Average	50.00 B	11.20 A	60.00 B	
Metering discs D3				
1.27	69.03 b	15.10 b	72.00 a	1.40 a
1.89	67.80 ab	13.00 ab	72.00 a	2.00 b
2.73	66.53 a	10.90 a	74.00 a	3.50 c
Average	67.80 C	13.00 B	72.70 C	

Remark: D1 = planting pitch 30 cm, D2 = planting pitch 45 cm, D3 = planting pitch 60 cm;
Means in the same column followed by a common type of lowercase or uppercase letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

Table 4 The statistical analysis of the performance indexes on planting pitch (PP), planting pitch error (PPE), planting success rate (PSR) and field capacity of the planting mechanism at a planting depth of 15 cm

Average operating speed (km/hr.)	PP (cm)	PPE (%)	PSR (%)	Effective field capacity (rai/hr.)
Metering discs D1				
1.27	37.00 b	23.30 b	54.01 a	1.30 a
1.89	34.60 a	15.24 a	52.01 a	2.00 b
2.73	34.50 a	14.90 a	54.01 a	2.90 c
Average	35.40 A	17.80 C	53.30 A	
Metering discs D2				
1.27	50.60 a	12.40 a	61.51 a	1.20 a
1.89	50.50 a	12.15 a	60.01 a	2.00 b
2.73	49.80 a	10.60 a	58.51 a	3.60 c
Average	50.30 B	11.70 A	60.00 B	
Metering discs D3				
1.27	69.00 a	14.94 a	66.00 a	1.40 a
1.89	68.83 a	14.72 a	58.00 a	2.00 b
2.73	68.90 a	14.80 a	62.00 a	3.60 c
Average	68.90 C	14.80 B	62.00 C	

Remark: D1 = planting pitch 30 cm, D2 = planting pitch 45 cm, D3 = planting pitch 60 cm;

Means in the same column followed by a common type of lowercase or uppercase letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

Table 5 The effects of planting pitch, operating speed and planting depth on planting pitch error (PPE), planting success rate (PSR), planting missing rate (PMR) and field capacity

Test parameters		PPE (%)	PSR (%)	PMR (%)	Field capacity (rai/hr.)
Metering disc	D1	20.84 c	53.18 a	46.82 a	1.95 a
	D2	11.43 a	59.76 b	40.24 b	2.26 c
	D3	13.90 b	67.32 c	32.68 c	2.21 b
Operating speed (km/hr.)	1.27	16.55 b	61.92 a	38.08 a	1.30 a
	1.89	15.40 ab	58.83 a	41.17 a	1.98 b
	2.73	14.23 a	59.50 a	59.50 a	3.13 c
Planting depth (cm)	10	16.01 b	61.72 b	38.28 b	2.17 b
	15	14.78 a	58.45 a	41.55 a	2.11 a

Remark: D1 = planting pitch 30 cm, D2 = planting pitch 45 cm, D3 = planting pitch 60 cm;

Means in the same column followed by a common type of letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

และพบว่า ที่ปัจจัยความลึกการปลูก 10 ซม. (PSR 61.72%) ซึ่งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับที่ปัจจัยความลึก 15 ซม. (PSR 58.45%) ดังนั้นความลึกที่เหมาะสมในการปลูกต้นกล้าอ้อยของอุปกรณ์ที่พัฒนา คือ ความลึกการปลูกต้นกล้าอ้อย 10 ซม. อุปกรณ์ปลูกต้นกล้าอ้อย และลักษณะต้นกล้าอ้อยที่ปลูกหลังจากทดสอบอุปกรณ์เสร็จ (Figure 6)



Figure 6 (A) Testing the sugarcane transplanter
(B) Sugarcane seedlings after the test

6. ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ (field capacity)

ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่พบว่า ค่าเฉลี่ยความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ ที่ปัจจัยความเร็วการเดินทาง 1.27 1.89 และ 2.73 กม./ชม. มีค่า 1.30 1.98 และ 3.13 ไร่/ชม. ตามลำดับ (Table 5) แสดงให้เห็นว่าความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์เป็นปัจจัยหลัก ที่ส่งผลต่อความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ แต่ในการทดลองที่ความเร็ว

เพิ่มสูงขึ้นทำให้ผู้ปลูกต้นกล้าอ้อย ไม่สามารถปฏิบัติงานได้ทันกลไกการปลูกที่มีความเร็วเพิ่มขึ้น ตามความเร็วการเดินทางรถแทรกเตอร์ ดังนั้น ความเร็วการเดินทางที่เหมาะสมที่สุดของอุปกรณ์ปลูกนี้ คือ 1.27 กม./ชม. เนื่องจาก มีอัตราการปลูกสำเร็จสูงสุด 61.92% ประสิทธิภาพเชิงพื้นที่ของอุปกรณ์ปลูกอ้อยในแนวตั้งที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ พบว่า มีค่าความสามารถเชิงพื้นที่ที่สูงกว่าเครื่องปลูกข้อต่ออ้อยที่สร้างโดย ธาตุกร และศิริศักดิ์ (2565) ที่มีความเร็วการเคลื่อนที่ 1.34 กม./ชม. ที่ความลึกการปลูก 10 ซม. และมีความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่เพียง 0.8 ไร่/ชม. เท่านั้น

แสดงให้เห็นว่า จานกำหนดระยะปลูก 60 ซม. มีอัตราการปลูกสำเร็จสูงสุด (PSR 67.32%) ในขณะที่จานกำหนดระยะปลูก 45 ซม. มีความคลาดเคลื่อนระยะปลูกต้นกล้าต่ำสุดเฉลี่ย (PPE 11.43%) และความสามารถการทำงานเชิงพื้นที่ที่เกิดขึ้นสูงสุดเฉลี่ย 2.26 ไร่/ชม. (Table 5) อุปกรณ์ปลูกต้นกล้าอ้อย สามารถปลูกต้นกล้าอ้อยได้เหมาะสมที่ความลึก 10 ซม. ซึ่งมีอัตราการปลูกสำเร็จ (PSR 61.72%) มีค่าความคลาดเคลื่อน (PPE 16.01%) มากกว่าที่ความลึกการปลูก 15 ซม. (PPE 14.78%) เนื่องจาก ตัวกรวยปลูกต้นกล้าอ้อย มีช่องว่างระหว่างต้นกล้าอ้อยที่ใส่ขณะปลูก ทำให้ต้นกล้าตกลงสู่พื้นมีความคลาดเคลื่อนของระยะปลูก และในส่วนของการเตรียมพื้นที่ในแปลงเพื่อทดสอบ มีระดับพื้นผิวดินไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้บางพื้นที่มีระดับต่ำเกินไป ทำให้ตัวกรวยปลูกไม่สามารถเคลื่อนที่ทำงานได้ เนื่องจากแรงผลึกของดินไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตาม ทั้งงานควบคุมระยะปลูก 45 และ 60 ซม. ที่มีค่าเฉลี่ยระยะปลูก 50.20 และ 68.40 ซม. ตามลำดับ เป็นระยะปลูกต้นกล้าอ้อยที่ห่างมากเกินไป อาจส่งผลทำให้ผลผลิตอ้อยต่อไร่ต่ำ

การพัฒนาเครื่องปลุกต้นกล้าอ้อยที่มีระยะปลุกดี จึงมีความจำเป็น การเพิ่มอัตราการปลุกสำเร็จ กรณี งานกำหนดระยะปลุก 30 ซม. จึงเป็นแนวทางการ พัฒนาประสิทธิภาพการปลุกอ้อยด้วยกลไกปลุกต้น กล้าอ้อยแบบแนวดังต่อไปนี้

สรุปผลการทดลอง

จากการพัฒนาอุปกรณ์ปลุกอ้อยแนวตั้ง เพื่อปลุกต้นกล้าอ้อยที่เพาะจากข้อตา ตามความลึก ที่ต้องการปลุก โดยไม่ต้องเปิดร่องดิน ภายใต เงื่อนไขการทดลองงานปลุกที่มีระยะปลุก 30 45 และ 60 ซม. พบว่า มีความเร็วการเดินทาง 1.27 1.89 และ 2.83 กม./ชม. ตามลำดับ และอุปกรณ์ ปลุกต้นกล้าอ้อยที่ค่าเฉลี่ยความลึกการปลุก 10.1 และ 14.9 ซม. สามารถปลุกต้นกล้าอ้อยด้วยระยะ ปลุกที่สม่ำเสมอ กรณีงานควบคุมระยะปลุก 30 45 และ 60 ซม. ได้ระยะปลุกเฉลี่ย 36.3 50.2 และ 68.4 ซม. แสดงให้เห็นว่า กลไกปลุกอ้อยที่ติดตั้ง งานกำหนดระยะปลุก 60 ซม. มีอัตราการปลุก สำเร็จสูงสุดเฉลี่ย 67.32% ขณะที่ความคลาด เคลื่อนระยะปลุกต้นกล้าต่ำสุดเฉลี่ย 11.43% ความสามารถการทำงานเชิงพื้นที่เฉลี่ย 2.21 ไร่/ชม. อุปกรณ์ปลุกต้นกล้าอ้อยที่พัฒนาขึ้นมานี้ ทำงาน อย่างมีประสิทธิภาพที่ความลึกการปลุก 10 ซม. และความเร็วการเดินทาง 1.27 กม./ชม.

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา และภาควิชา วิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้ เครื่องมือวัด และสถานที่ทดสอบ ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ที่สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง อุดม เลียบวัน ปรีชา พรหมณีย์ อรรถสิทธิ์ บุญธรรม ประพันธ์ ประเสริฐศักดิ์ วันทนีย์ อ้วนณิษฐ์ ณัฐกฤต พิทักษ์ วลลิกา สุชาติ สมศักดิ์ ทองศรี และตุลย์ อินทร์มรรย. 2547. อ้อย. เอกสารวิชาการ ลำดับที่ 9/2547. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์. 147 หน้า.
- ฐาตุร สระทองทิ้ว และศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล. 2565. การ พัฒนาเครื่องปลุกกล้าอ้อย. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 14(1): 62-77.
- ปิยะพงษ์ ศรีวงษ์ราช ศุภกิตต์ สายสุนทร สิทธิพร มณีวรรณ และนิพนธ์ ภูวเกียรติกำจร. 2563. การพัฒนาเครื่อง ปลุกอ้อยแบบใหม่สำหรับวัสดุปลูกชนิดขึ้นตาอ้อย. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 30(1): 4-15.
- พรชัย เหลืองอาภาพงศ์ สวาท รัตนวรพันธุ์ นิพนธ์ ทวีชัย โกศล เจริญสม อิสรา สุขสถาน อุดม พูลเกษ ไพโรจน์ จ้วงพานิช ถวิล ครุฑกุล อัมพร สุวรรณเมฆ และเกษม สุขสถาน. 2521. หลักการทำไร่อ้อย. พิมพ์ ครั้งที่ 2 ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 168 หน้า.
- รุจิภาส คงกล้า. 2562. การวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พรวน กลบวัสดุอ้อยแบบไถงานชนิดใช้กำลังขับเคลื่อนสำหรับ รถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท วิศวกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 147 หน้า.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2566. รายงานสถานการณ์การปลูกอ้อย ปีการผลิต 2565/66. กลุ่มเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กอง ยุทธศาสตร์และแผนงาน สำนักงานคณะกรรมการอ้อย และน้ำตาลทราย. 79 หน้า.
- Jain R., S. Solomon, A.K. Shrivastava and A. Chandra. 2010. Sugarcane bud chips: A promising seed material. Sugar Tech. 12(1): 67-69.
- Naik, R., S.J.K. Annamalai, N.V. Nair and N.R. Prasad. 2013. Studies on mechanisation of planting of sugarcane bud chip settlings raised in protrays. Sugar Tech. 15(1): 27-35.