

การศึกษาความแม่นยำในการหยอดของเครื่องย้ายเมล็ดลงถาดเพาะกล้า

The study of precision seed drill in the plug tray seeder prototype

จรัสชัย เย็นพยัพ^{1*}

Charatchai Yenphayab^{1*}

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาความแม่นยำในการหยอดของเครื่องย้ายเมล็ดพันธุ์ลงในถาดเพาะกล้าต้นแบบ โดยทำการศึกษากลไกการทำงานหลักคือกลไกของหัวดูดเมล็ดพันธุ์ เครื่องย้ายเมล็ดพันธุ์ต้นแบบถูกออกแบบให้ทำการหยอดเมล็ดได้ครั้งละ 200 หลุมหรือหกรอบการทำงานจะสามารถหยอดเมล็ดได้ 1 ถาดหลังจากสร้างเครื่องต้นแบบแล้วเสร็จจึงได้ทำการศึกษาความแม่นยำในการหยอดเมล็ดของชุดหัวดูดกับเมล็ดพันธุ์ทั้ง 3 ชนิดคือ ผักสลัดแบบเคลือบ ผักสลัดแบบไม่เคลือบ และผักกวางตุ้ง โดยมีชุดหัวดูด 4 แบบคือ ชุดหัวดูดแบบหัวเข็มเล็ก ชุดหัวดูดแบบหัวเข็มนกลาง ชุดหัวดูดแบบหัวเข็มใหญ่ และชุดหัวดูดแบบไม่มีหัวเข็ม หลังจากนั้นจึงเปรียบเทียบความแม่นยำและระยะเวลาในการหยอดเมล็ดระหว่างเกษตรกร 5 คนกับเครื่องย้ายเมล็ดพันธุ์ต้นแบบ จากการทดลองพบว่าการทำงานของเครื่องต้นแบบใช้เวลาหยอดเมล็ดต่อถาดประมาณ 38 วินาที ขณะที่แรงงานคนใช้เวลา 241-461 วินาที ความแม่นยำในการหยอดพิจารณาจากค่าดัชนีการหยอดที่ละเมล็ดพบว่าเครื่องต้นแบบให้ค่าความแม่นยำในการหยอดสูงสุดร้อยละ 84 เมื่อหยอดเมล็ดกวางตุ้งด้วยชุดหัวดูดแบบไม่มีหัวเข็ม ขณะที่แรงงานคนให้ค่าความแม่นยำในการหยอดร้อยละ 74.5-99.6 ขึ้นอยู่กับลักษณะของเมล็ดพันธุ์และความชำนาญของเกษตรกร

คำสำคัญ: เครื่องหยอดเมล็ด, เครื่องปลูก, ปลูกแบบแม่นยำ, เมล็ดพันธุ์, ถาดเพาะกล้า

ABSTRACT: This research aims to investigate the drilling precision of the plug tray seeder machine. The primary mechanism of this prototype is the suction head that designed to convey the 200 vegetable seeds from seeds tray to the plug tray in one time. Once, the prototype has fabricated the experiments were set up to determine the precision of seed drilling by varying the 3 vegetable seed such as salad coating seeds, salad seeds, and Chinese mustard green seeds. The tests compared the precision of seed drilling when implementing the four suction heads which include the small needle suction head, medium needle suction head, large needle suction head, and no tube suction head. Subsequently, the five farmers were introduced to drill the 3 type of seeds and compare the precision of seed drilling with the plug tray seeder prototype. The results showed that the total operation time for one tray of the prototype was about 38 sec while the farmers were about 241-461 sec. Besides, the precision of seed drilling is defined by the quality of feed index (A). The prototype presented the highest value of A about 84% when sowing the Chinese mustard green seeds with the no tube suction head. While the farmers sowing presented the value of A about 74.5% - 99.6%, the variation is up to the characteristic of vegetable seed and the farmer skill.

Keywords: seed drilling machine, planter, precision planter, seeds, plug tray

¹ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร 86160
Department of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus,
Chumphon Province, 86160

* Corresponding author: charatchai.ye@kmitl.ac.th

บทนำ

จากข้อมูลของกรมส่งเสริมการเกษตรกล่าวว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกฝักรวม 3.2 ล้านไร่ ผลผลิตประมาณ 5.2 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 13,000 ล้านบาท การเพาะเมล็ดฝักลงในถาดเพาะกล้าซึ่งเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของระบบการผลิตฝักเป็นที่นิยมมากขึ้น ปัจจุบันเกษตรกรทำการหยอดเมล็ดพันธุ์ลงถาดเพาะกล้าด้วยแรงงานคน แต่ปัญหาที่พบในระบบเกษตรปัจจุบันคือการขาดแคลนแรงงาน วิธีการหยอดเมล็ดลงบนถาดเพาะกล้าทำการหยอดเมล็ดด้วยมือโดยการใช้กิ่งไม้จิ้มให้เป็นหลุมและจากนั้นจึงจะค่อยๆหยอดเมล็ด เกิดปัญหาระหว่างการทำงาน เช่น ใช้ระยะเวลามาก ความลึกของหลุมไม่เท่ากัน ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าในถาดเพาะกล้าไม่สม่ำเสมอ เป็นงานที่มีความเมื่อยล้าสูง และเกิดความผิดพลาดได้ง่ายเนื่องจากเมล็ดพันธุ์มีขนาดเล็กมาก(จิราภรณ์ และคณะ, 2558) ความสามารถในการทำงานประมาณ 50 ถาดต่อคนต่อวัน(สัญลักษณ์ และจรัสชัย, 2560) หากใช้คนหยอดที่ขาดความชำนาญจะเกิดปัญหาการหยอดเมล็ดลงหลุมมากเกินไป ทำให้ดินเปลือกเมล็ดพันธุ์ส่งผลให้ต้นทุนสูงขึ้น อุปกรณ์หยอดเมล็ดลงถาดเพาะที่นำเข้าจากต่างประเทศมีราคาแพงเกินกว่าที่ธุรกิจขนาดเล็กในประเทศไทยจะซื้อได้ จากปัญหาดังกล่าวจึงเริ่มมีการออกแบบสร้างเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชลงบนถาดเพาะกล้าในประเทศไทย เริ่มมีการศึกษาวิจัยเครื่องหยอดเมล็ดพืชลงบนถาดเพาะกล้าแบบอัตโนมัติตั้งแต่ปี 2549 -2551 (วีรยศ และกริเพชร, 2549) ได้พัฒนาต้นแบบเครื่องหยอดให้ทำการหยอดเมล็ดฝักเขียวกวางดั่ง (อภิรักษ์ และอรรถพล, 2550) ได้ศึกษาและพัฒนาต่อโดยการพัฒนาระบบนิวเมติกส์และทำการศึกษาเกี่ยวกับการหยอดเมล็ดพืชลงบนถาดเพาะกล้าแบบอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพสูง (เฉลิมภัทร์ และชิงชัย, 2551) ได้พัฒนาต้นแบบต่อมา จากการตรวจเอกสารพบว่าเครื่องต้นแบบดังกล่าวมีราคาสูงและมีการทำงานที่ซับซ้อน ดังนั้นทีมวิจัยจึงได้สนใจพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชลงบนถาดเพาะกล้าขึ้นมาใหม่ ที่มีกลไกการทำงานที่ไม่ซับซ้อนและสามารถประยุกต์ใช้ระบบสุญญากาศที่มีราคาไม่แพงมาประยุกต์ใช้งาน สำหรับ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องย้ายเมล็ดพันธุ์ลงถาดเพาะกล้าที่มีความสามารถในการหยอดเมล็ดสูงกว่าการใช้แรงงานคน สามารถทำงานได้รวดเร็วกว่าแรงงานคน ทำการศึกษาความแม่นยำในการหยอดเมล็ดของเครื่องต้นแบบด้วยดัชนีความแม่นยำในการหยอดสามแบบคือ 1) ดัชนีแสดงการหยอดที่ละเมล็ด (Quality of feed index, A) 2) ดัชนีแสดงการหยอดหลายเมล็ด (Multiple index, D) 3) ดัชนีแสดงการเว้น (Miss index, M) และวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกับความแม่นยำในการหยอดเมล็ดลงถาดเพาะกล้าของเครื่องต้นแบบอีกด้วย

วิธีการศึกษา

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

2.1.1 เครื่องย้ายเมล็ดพันธุ์ลงถาดเพาะกล้าต้นแบบ

เครื่องย้ายเมล็ดพันธุ์ลงถาดเพาะกล้ารูปที่ 1 มีส่วนประกอบและการทำงานดังนี้ หัวดูด(suction head)จะเคลื่อนที่ในแนวราบระหว่างตำแหน่งของถาดเพาะกล้าแบบ 200 หลุม และตำแหน่งของถาดใส่เมล็ดพันธุ์โดยใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนหัวดูด มีการติดตั้งลิimitswitch ที่ตำแหน่งทั้งสองเพื่อใช้กำหนดตำแหน่งดูดและปล่อยเมล็ด เมื่อเปิดสวิตซ์ทำงานชุดหัวดูดจะเคลื่อนที่จากตำแหน่งถาดเพาะกล้าไปยังตำแหน่งถาดใส่เมล็ดพันธุ์ เมื่อเคลื่อนที่ถึงปลายทางหัวดูดจะชนlimitswitch หัวดูดก็จะหยุดเคลื่อนที่เพื่อทำการดูดเมล็ดจากถาดใส่เมล็ดให้มีเมล็ดติดที่ปลายหัวเข็มหัวละ 1 เมล็ด จากนั้นชุดหัวดูดจะเคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งของถาดเพาะกล้าเมื่อถึงปลายทางหัวดูดจะชนlimitswitch แล้วจะหยุดเคลื่อนที่ระบบตัดลมดูดจากเครื่องดูดอากาศและบ่อนลมเป่าจากโบวเวอร์ ทำให้เมล็ดพันธุ์หล่นจากปลายเข็มลงในหลุมปลูกอย่างแม่นยำ เมื่อครบเวลาหัวดูดก็จะเริ่มเคลื่อนที่เพื่อทำงานในรอบใหม่อีกครั้ง เครื่องดูดอากาศ(vacuum regulator) ใช้เครื่องดูดฝุ่นขนาด 1,200วัตต์ ให้แรงดันลม 1.961×10^{-1} บาร์ อัตราการไหลอากาศ 191.0 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง เครื่องเป่าอากาศเป็นโบลเวอร์ขนาด 1/8 แรงม้า ให้แรงดันลม 7.845×10^{-4} ถึง 4.903×10^{-3} บาร์ อัตราการไหลอากาศ 0.5-4.0 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง

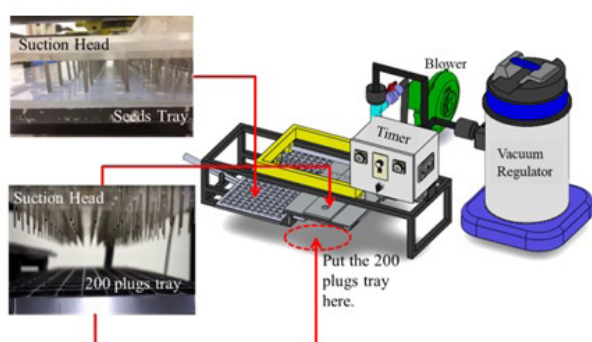


Figure 1 Plug tray seeder prototype

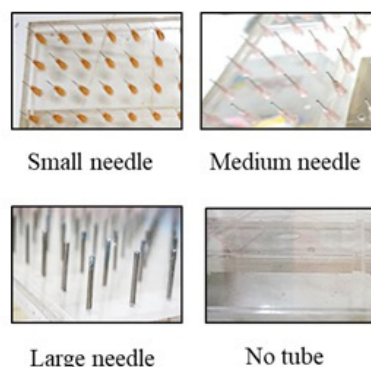


Figure 2 four suction head

2.1.2 หัวดูด(Suction head) 4 แบบ ในการศึกษา นี้มีการใช้หัวดูดแบบต่างๆ 4 ชนิดคือหัวเข็มเล็ก หัว เข็มกลาง หัวเข็มใหญ่ และไม่มีหัวเข็ม หัวเข็มจำนวน 200 หัวจะถูกติดตั้งเข้ากับชุดหัวดูดซึ่งออกแบบมาให้เป็นกล่องใสขนาด กว้าง*ยาว*สูง เท่ากับ 270*520*17.5 มม. ดังรูปที่ 2 รายละเอียดหัวดูด 4 แบบดังตารางที่ 1

2.1.3 เมล็ดพันธุ์ 3 ชนิด ในการศึกษา นี้จะทำการทดสอบเปรียบเทียบความแม่นยำในการหยอดของเมล็ดพันธุ์ 3 ชนิดคือ เมล็ดผักสลัดแบบ ไม่เคลือบ เมล็ดผักสลัดแบบเคลือบ และเมล็ด กวางตุ้ง ที่มีรูปร่าง น้ำหนัก และขนาดที่แตกต่างกัน ดังรายละเอียดในตารางที่ 2

2.2 การประเมินความแม่นยำในการหยอดเมล็ด

เครื่องย้ายเมล็ดลงถาดเพาะกล้าสามารถ พิจารณาความแม่นยำในการหยอดเมล็ดได้ตาม มาตรฐาน ISO 7256/1-1984 (Singh, R.C.et al, 2005) โดยคำนวณค่าดัชนีความแม่นยำ 3 แบบคือ 1) ดัชนีแสดงการหยอดที่ละเมล็ด (Quality of feed index, A), $A = (n_2/N) \times 100$ เมื่อ A มากแสดงว่า คุณภาพการหยอดสูง 2) ดัชนีแสดงการหยอดหลาย เมล็ด (Multiple index, D), $D = (n_1/N) \times 100$ เมื่อ D น้อยแสดงว่าคุณภาพการหยอดสูง 3) ดัชนี แสดงการเว้น (Miss index, M), $M = (n_3/N) \times 100$ เมื่อ M น้อยแสดงว่าคุณภาพของการหยอดมีสูง เมื่อ

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของหัวดูดเมล็ดพืช 4 แบบ

หัวดูดเมล็ดพืช	เส้นผ่านศูนย์กลางหัวดูด (มม.)	เส้นรอบวงของหัวดูด (มม.)	พื้นที่หน้าตัดของหัวดูด (มม. ²)
หัวเข็มเล็ก	0.508	1.596	0.203
หัวเข็มกลาง	1.247	3.918	1.221
หัวเข็มใหญ่	2.733	8.586	5.866
ไม่มีหัวเข็ม	1.250	3.927	1.227

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของเมล็ดพันธุ์ผักทั้ง 3 ชนิด

เมล็ดพันธุ์ผัก	เส้นผ่านศูนย์กลาง เมล็ดพันธุ์(มม.)	ความหนาเมล็ดพันธุ์ (มม.)	ขนาดพื้นที่ภาพฉาย เมล็ดพันธุ์ (มม. ²)	น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม)
ผักสลัดแบบเคลือบ	3.462	3.462	9.413	2.430
ผักสลัด	0.717	0.212	0.119	0.122
กวางตุ้ง	1.565	1.565	1.924	0.250

$N = 200$, n_2 = จำนวนหลุมที่เมล็ดตกลง 1 เมล็ดต่อ 1 หลุม, n_1 = จำนวนหลุมที่เมล็ดตกลงมากกว่า 1 เมล็ดต่อ 1 หลุม, และ n_3 = จำนวนหลุมที่ไม่มีเมล็ดตกลง

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำของหัวดูด 4 แบบกับเมล็ดพันธุ์ 3 ชนิด ทำการทดลองการหยอดเมื่อติดตั้งหัวดูดแต่ละชนิดเข้ากับเครื่องย้ายเมล็ดต้นแบบ แล้วทำการหยอดเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดลงในถาดเพาะกล้าโดยทำการหยอดต่อเนื่องกันจำนวน 5 ถาด ก่อนจะเปลี่ยนเป็นเมล็ดพันธุ์ชนิดอื่นทำการทดลองกับเมล็ดพันธุ์ 3 ชนิดแล้วจึงเปลี่ยนหัวดูดแบบต่อไป ทำการทดลองต่อไปกับหัวดูดทั้ง 4 แบบ หลังจากนั้นจึงบันทึกผลการทดลอง โดยการเก็บข้อมูลของจำนวนเมล็ดที่หล่นลงในถาดเพาะกล้าแต่ละ

หลุมและระยะเวลาที่ใช้ในการทำการหยอดต่อถาด แล้วจึงคำนวณค่าดัชนีความแม่นยำในการหยอด

2.3.2 การศึกษาความแม่นยำของการหยอดเมล็ดโดยใช้แรงงานคน ในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบเวลาและความแม่นยำในการหยอดเมล็ดพันธุ์ 3 ชนิด ลงในถาดเพาะกล้าโดยแรงงานคน โดยจะใช้เกษตรกร 5 คนคือ A, B, C, D, และ E ทำการหยอดเมล็ดผักทั้ง 3 ชนิด ทำซ้ำ 5 ถาดต่อเนื่องโดยไม่หยุดพัก หลังจากนั้นจึงบันทึกผลการทดลอง โดยการเก็บข้อมูลของจำนวนเมล็ดที่หล่นลงในถาดเพาะกล้าแต่ละหลุมและระยะเวลาที่ใช้ในการทำการหยอดต่อถาด แล้วจึงคำนวณค่าดัชนีความแม่นยำในการหยอด

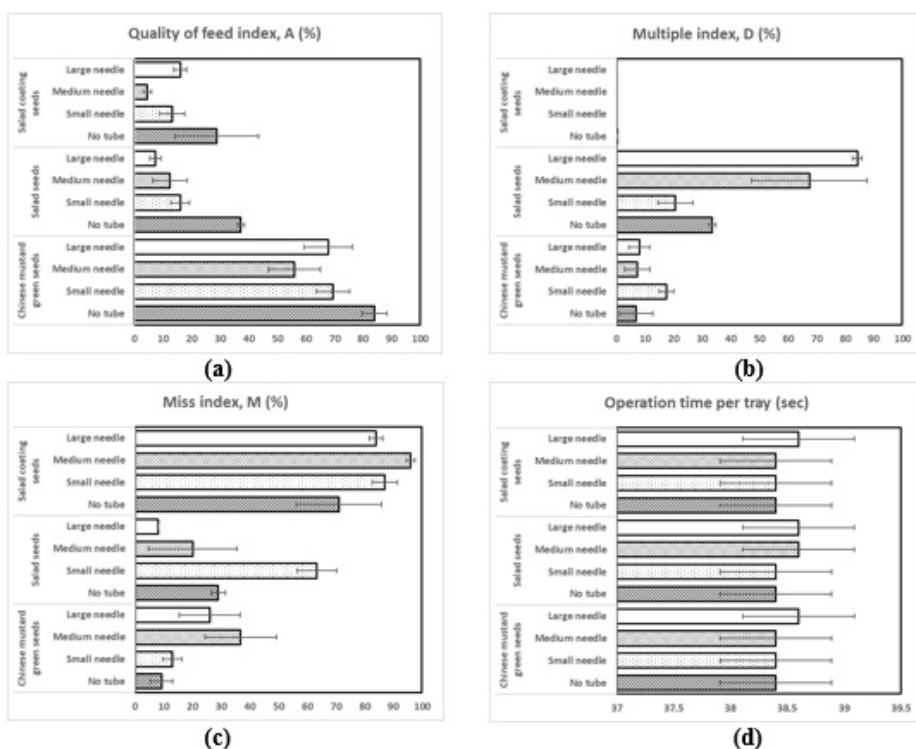


Figure 3 The precision seed drill of the plug tray seeder when varying the suction heads and seed types: (a) Quality of feed index, A; (b) Multiple index, D; (c) Miss index, M; (d) Operation time per tray

ผลการศึกษา

เมื่อพิจารณาความแม่นยำในการหยอดโดยเครื่องต้นแบบพบว่า การหยอดเมล็ดผักกวางตุ้งมีค่าดัชนีการหยอดที่ละเมล็ด (A) มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 56.05 - 84.00 สำหรับเมล็ดผักสลัดแบบไม่เคลือบพบว่าค่า A อยู่ในลำดับถัดมาคือค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 7.30 - 37.20 และเมล็ดผักสลัดแบบเคลือบมีค่า A น้อยที่สุด อยู่ในช่วงร้อยละ 4.50-28.80 เมื่อพิจารณาหัวดูดที่ให้ค่าความแม่นยำในการหยอดสูงสุดพบว่า ชุดหัวดูดแบบไม่มีหัวเข็ม มีค่าดัชนีการหยอดที่ละเมล็ดมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับหัวดูดทั้ง 4 แบบ โดยที่เมล็ดผักสลัดแบบไม่เคลือบมีค่าดัชนีการหยอดหลายเมล็ดมากที่สุด และเมล็ดผักสลัดแบบเคลือบจะมีค่าดัชนีการเว้นสูงที่สุด จากผล

การทดลองพบว่าในหนึ่งถาด (200 หลุม) จะใช้เวลาในการทำงานประมาณ 38 วินาที พบว่าเมล็ดผักสลัดแบบเคลือบมีความแม่นยำในการหยอดต่ำที่สุดเนื่องจากน้ำหนักของแต่ละเมล็ดมีมากและขนาดเมล็ดใหญ่เกินกว่าความสามารถในการดูดของเครื่อง เมื่อพิจารณาเมล็ดผักสลัดแบบไม่เคลือบพบว่า มีดัชนีการลงหลายเมล็ดค่อนข้างสูงเนื่องจากรูปร่างเป็นวงรี ขนาดเล็ก และมีน้ำหนักน้อยจึงทำให้หัวดูดมักจะดูดติดมาครวละหลายเมล็ด ขณะที่เมล็ดผักกวางตุ้งที่มีรูปร่างเป็นทรงกลม มีขนาดและน้ำหนักเมล็ดที่พอเหมาะจึงทำให้เครื่องต้นแบบทำการหยอดเมล็ดลงถาดเพาะกล้าได้อย่างแม่นยำที่สุด จากผลการทดลองพบว่าหัวดูดแบบไม่มีหัวเข็มให้คุณภาพการหยอดที่ละเมล็ดมากที่สุดเมื่อใช้หยอดเมล็ดพันธุ์ทั้ง 3 ชนิด

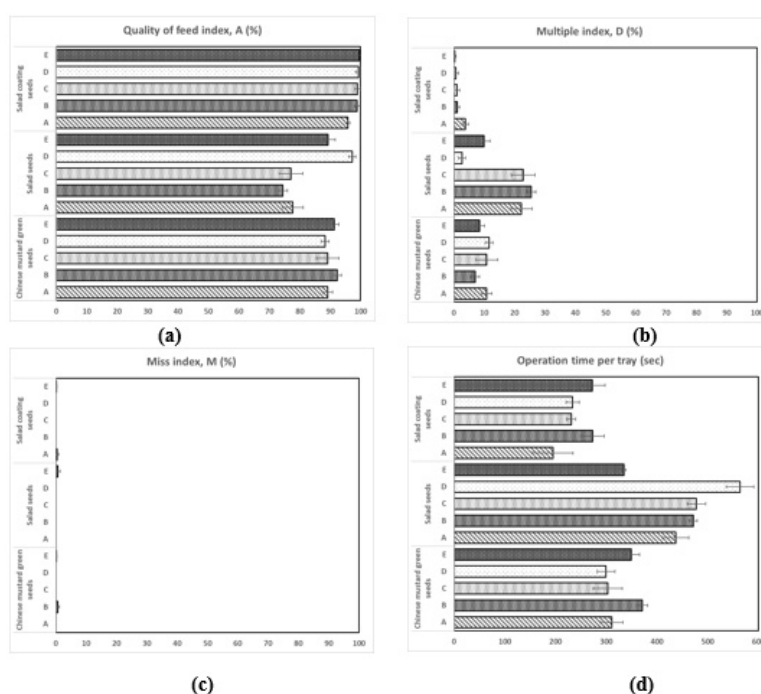


Figure 4 The precision seed drill of the farmers when varying seed types: (a) Quality of feed index, A; (b) Multiple index, D; (c) Miss index, M; (d) Operation time per tray

เมื่อพิจารณาความแม่นยำในการหยอดด้วยแรงงานคนพบว่าดัชนีการหยอดที่ละเมล็ด(A)เรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ การหยอดเมล็ดผักสลัดแบบเคลือบ เมล็ดผักกวางตุ้ง และเมล็ดผักสลัดแบบไม่เคลือบ ในขณะที่ดัชนีการหยอดหลายเมล็ด(D) เรียงลำดับจากน้อยไปมากคือการหยอดเมล็ดผักสลัดแบบเคลือบ เมล็ดผักกวางตุ้ง และเมล็ดผักสลัดแบบไม่เคลือบ เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการหยอดเมล็ดต่อหนึ่งถาดพบว่าระยะเวลาในการทำงานเรียงลำดับจากน้อยไปมากคือการหยอดเมล็ดผักสลัดแบบเคลือบ เมล็ดผักกวางตุ้ง และเมล็ดผักสลัดแบบไม่เคลือบ มีระยะเวลาเฉลี่ยเป็น 241.24, 326.88, และ 461.0 วินาทีตามลำดับ ความแม่นยำในการหยอดเมล็ดโดยแรงงานคนเกี่ยวข้องโดยตรงกับคุณลักษณะของเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ขนาด น้ำหนัก และรูปร่างเมล็ด ดังนั้นเมล็ดผักสลัดแบบเคลือบจึงมีความแม่นยำในการหยอดสูงที่สุด ใช้ระยะเวลาในการหยอดต่อถาดน้อยที่สุด และมีค่าดัชนีการลงหลายเมล็ดต่ำที่สุด ในขณะที่เมล็ดผักสลัดแบบไม่เคลือบซึ่งมีขนาดเล็ก รูปร่างเป็นวงรี และมีน้ำหนักเบาจะให้คุณภาพในการหยอดต่ำที่สุดคือ ความแม่นยำน้อยที่สุด ดัชนีการลงหลายเมล็ดมากที่สุด และใช้เวลาในการหยอดเมล็ดต่อหนึ่งถาดนานที่สุด

สรุป

เครื่องย้ายเมล็ดพันธุ์ลงถาดเพาะกล้าต้นแบบสามารถลดระยะเวลาในการทำงานได้มากกว่า 6-12 เท่าโดยสามารถทำการหยอดเมล็ด 92 ถาดต่อชั่วโมง คิดเป็น 736 ถาดต่อวัน เทียบเท่ากับความสามารถในการหยอดของเกษตรกร 8 คน พิจารณาค้นทำงานได้ 50 ถาดต่อวัน (สัญญาบัตร, 2560) เมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการหยอดเมล็ดพบว่า การใช้แรงงานคนยังคงให้ความแม่นยำในการหยอดเมล็ดมากกว่า จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่า รูปร่างของเมล็ด ขนาดเมล็ด และน้ำหนักของเมล็ดเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการหยอดเมล็ด (Gaikwad and Sirohi, 2008) ของเครื่องต้นแบบ เมื่อเปรียบเทียบหัวดูดทั้งสี่แบบพบว่าหัวดูดแบบไม่มีหัวเข็มมีความสามารถใช้งานได้ดีที่สุดเมื่อพิจารณาความแม่นยำในการหยอดเมล็ดพันธุ์สามชนิด แต่ในการศึกษานี้เครื่องต้นแบบใช้แรงดันลมในการดูดคงที่เท่ากับ 1.961×10^{-1} บาร์ ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจะดำเนินการศึกษาผลกระทบของการใช้แรงดันลมดูดที่เปลี่ยนแปลงไปว่ามีผลต่อความแม่นยำในการหยอดเมล็ดพืช (Karayel et al, 2004) แต่ละชนิดอย่างไร

เอกสารอ้างอิง

- กรีเพชร พงศ์พานิช, วีรยศ พ่วงจินดา. 2549. เครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์ลงถาดเพาะกล้า. ปรินิพนธ์นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- อภิรัตน์ อ่อนคล้าย, อรรถพล พงษ์พันธุ์. 2550. Design and development of automatic sow seed machine. ปรินิพนธ์นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- ชิงชัย อัครลัคณานิช, เฉลิมภัทร คงแก้วด้วง. 2551. การออกแบบและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์ลงถาดเพาะกล้าอัตโนมัติ. ปรินิพนธ์นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- จิราภรณ์ เบญจประภากรรัตน์, สัญลักษณ์ กิ่งทอง, และวัชร เพิ่มชาติ. 2558. การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ย้ายเมล็ดลงถาดเพาะกล้า. น. 204-210. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมครั้งที่ 1. 19 ตุลาคม 2558. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.
- สัญญาบัตร กิ่งทอง, จรัสชัย เย็นพยับ. 2560. การศึกษาขนาดของหัวดูดเมล็ดที่เหมาะสมสำหรับเครื่องย้ายเมล็ดลงถาดเพาะกล้า. น. 1642-1650. ใน: การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ครั้งที่ 11. 16 ธันวาคม 2560 ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, อุดรธานี.
- Karayel, D., Barut, Z.B. and Özmerzi, A., 2004. Mathematical modelling of vacuum pressure on a precision seeder. Biosystems Engineering, 87(4), pp.437-444.
- Singh, R.C., Singh, G. and Saraswat, D.C., 2005. Optimisation of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds. Biosystems engineering, 92(4), pp.429-438.
- Gaikwad, B.B. and Sirohi, N.P.S., 2008. Design of a low-cost pneumatic seeder for nursery plug trays. Biosystems Engineering, 99(3), pp.322-329.