รายงานแผนงานวิจัยย่อย

การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่
Research and Development of Agricultural Machinery for Field Crop Seed Production

ชื่อหัวหน้าแผนงานวิจัยย่อย

เวียง อากรชี
Weang Arekornchee

ปี พ.ศ. 2564

กรมวิชาการเกษตร

รายงานแผนงานวิจัยย่อย

การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่

Research and Development of Agricultural Machinery for Field Crop Seed Production

ชื่อหัวหน้าแผนงานวิจัยย่อย

เวียง อากรชี

Weang Arekornchee

กรมวิชาการเกษตร

ปี พ.ศ. 2564

คำปรารภ (Foreword หรือ Preface)

เมล็ดพันธุ์พืชเป็นหัวใจสำคัญในการประกอบอาชีพของเกษตรกร คุณภาพเมล็ดพันธุ์จึงมีความสำคัญมาก ฉะนั้นในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชให้มีคุณภาพจึงมีความสำคัญมากเช่นกัน และส่วนหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชคือการใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพ แม่นยำ ในทุกขั้นตอนการผลิต ตั้งแต่การปลูก การดูแลรักษาระหว่างปลูก การเก็บเกี่ยวผลผลิต และการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้มีคุณภาพ เพื่อเป็นเมล็ดพันธุ์ที่ดีมีคุณภาพต่อไป งานวิจัยด้านเครื่องจักรกลการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทำเกษตรแบบแม่นยำในยุคการเกษตร 4.0 มีความสำคัญต่อการพัฒนาและการแข่งขันเพื่อพัฒนาศักยภาพทางด้านการเกษตรของประเทศไทย เพื่อเพิ่มขีดความสามารถแข่งขันให้กับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชและผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์พืช (Seed Hub) ของอาเซียนและเอเชียในอนาคต ซึ่งแผนงานวิจัยย่อย“การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่”ประกอบด้วย 4 โครงการวิจัย ได้แก่ โครงการวิจัยวิจัยและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่ โครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงที่ควบคุมการสั่นของขาขุดด้วยระบบอัตโนมัติแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ โครงการวิจัยและพัฒนาระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง และโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง เป็นงานวิจัยตามแผนแม่บทยุทธศาสตร์ศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567 ในการพัฒนาเครื่องมือในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสนับสนุนการผลิตเมล็ดพันธุ์ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2559) ที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายภารกิจจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

คณะผู้วิจัยจึงได้จัดทำผลงานวิจัยเรื่องเต็มของแผนงานวิจัยย่อยดังกล่าวนี้ เพื่อหวังว่าองค์ความรู้และเทคโนโลยีที่ได้จากผลงานวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกร นักวิชาการในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชน รวมถึงผู้ที่สนใจ

กรมวิชาการเกษตร

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.. 1

ผู้วิจัย 2

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ 3

บทนำ.. 5

บทคัดย่อ... 7

1. โครงการวิจัยที่ 1 วิจัยและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ สำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่.. 11

2. โครงการวิจัยที่ 2 วิจัยและพัฒนาเครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงที่ควบคุมการสั่นของขาขุดด้วยระบบอัตโนมัติแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์.. 33

3. โครงการวิจัยที่ 3 วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน สำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง....................................... 57

4. โครงการวิจัยที่ 4 วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ สำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง... 84

บทสรุปและข้อเสนอแนะ.. 112

บรรณานุกรม... 113

ภาคผนวก 119

กรมวิชาการเกษตร

กิตติกรรมประกาศ

แผนงานวิจัยย่อยการวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่ สำเร็จได้เพราะได้รับความร่วมมือจากบุคคลหลายฝ่าย และหน่วยงานหลายองค์กรด้วยกัน จึงต้องขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ ได้แก่ หัวหน้าโครงการวิจัยทั้ง 4 โครงการ พร้อมคณะผู้วิจัยทุกท่าน ขอขอบคุณหน่วยงานที่ให้การสนับสนุนในแต่ละโครงการวิจัย อาทิ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชเชียงใหม่ กองวิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น รวมถึงหน่วยงานภาคเอกชนบางแห่ง อาทิ บริษัท พรเจริญ (ช่างคิด) จำกัด ช่วยสนับสนุนอุปกรณ์สำหรับการวิจัยเครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ บริษัท เทอร์โมคูล ซัพพลายแอนด์เซอร์วิส จำกัด ช่วยสนับสนุนอุปกรณ์ระบบเครื่องทำความเย็นสำหรับวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง เป็นต้น และจะขาดเสียมิได้คือ เกษตรกรเจ้าของแปลง เจ้าหน้าที่ภาครัฐและพนักงานจ้างเหมาทุกท่านที่มิได้เอ่ยนาม ที่ช่วยเหลือร่วมมือในการสร้าง และการทดสอบต้นแบบในภาคสนาม ที่สนับสนุนการปฏิบัติงานให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและบรรลุตามวัตถุประสงค์ ทางคณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณทั้งบุคคล และหน่วยงานต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วเป็นอย่างสูง

กรมวิชาการเกษตร

ผู้วิจัย

(คณะผู้วิจัย)

ชื่อหัวหน้าแผนงานวิจัยย่อย	**นายเวียง อากรชี**	**สังกัด**	**ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น**
หัวหน้าโครงการวิจัยที่ 1	นายอานนท์ สายคำฟู	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
หัวหน้าโครงการวิจัยที่ 2	นายศักดิ์ชัย อาษาวัง	สังกัด	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
หัวหน้าโครงการวิจัยที่ 3	นายพินิจ จิรัคคกุล	สังกัด	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
หัวหน้าโครงการวิจัยที่ 4	นายเวียง อากรชี	สังกัด	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
ผู้ร่วมโครงการวิจัย			
	นายวิชัย โอภานุกุล	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	นางสาวระพีพรรณ ชั่งใจ	สังกัด	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรลพบุรี
	นางสาวภภัสสร วัฒนกุลภาคิน	สังกัด	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิษณุโลก
	นายสิทธิพงษ์ ศรีสว่างวงศ์	สังกัด	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรขอนแก่น
	นายสราวุฒิ ปานทน	สังกัด	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมสุราษฎร์ธานี
	นายธนพงศ์ แสนจุ้ม	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	นายเอกภาพ ป้านภูมิ	สังกัด	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
	นายวุฒิพล จันทร์สระคู	สังกัด	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมสุราษฎร์ธานี
	นายตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	นางสาวสุนทรีพร ศรีสมบุญ	สังกัด	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรพิษณุโลก
	นายนิรุติ บุญญา	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	นางนิภาภรณ์ พรรณรา	สังกัด	ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชเชียงใหม่
	นายกลวัชร ทิมินกุล	สังกัด	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
	นายวัชรพงษ์ ตามไธสงค์	สังกัด	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
	นายอนุชา เชาว์โชติ	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	นายอุทัย ธานี	สังกัด	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

กรมวิชาการเกษตร

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

โครงการวิจัยที่ 1

A	คือ	จุดคุ้มทุนของการใช้งาน (ไร่/ปี)
f_t	คือ	ฟังก์ชั่นสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ด
q_t	คือ	ฟังก์ชั่นสมการควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ย
R	คือ	ระยะระหว่างแถวปลูก (เมตร)
$RPMf$	คือ	ความเร็วรอบของจานมอเตอร์ปุ๋ย (รอบ/นาที)
$RPMs$	คือ	ความเร็วรอบของจานหยอดเมล็ดพืช (รอบ/นาที)
S_t	คือ	ระยะปลูก (ซม.)
v	คือ	ความเร็วของรถแทรกเตอร์ (เมตร/วินาที)

โครงการวิจัยที่ 2

A	คือ	น้ำหนักฝักถั่วทั้งหมดในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
B	คือ	น้ำหนักฝักถั่วที่ไม่ถูกขุด และฝังอยู่ใต้ดินในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
C	คือ	น้ำหนักฝักถั่วที่ถูกขุด และร่วงบนดินในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
D	คือ	น้ำหนักฝักถั่วที่ปลิดได้ในพื้นที่ทดสอบ และอยู่ในกระบะเก็บฝัก (กิโลกรัม)
E	คือ	น้ำหนักฝักถั่วที่ไม่ถูกปลิด ติดต้นถั่วในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
F	คือ	น้ำหนักฝักถั่วสภาพสมบูรณ์คัดจากกระบะ ในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
G	คือ	น้ำหนักฝักถั่วที่แตกหักคัดจากกระบะ ในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
H	คือ	น้ำหนักฝักถั่วสภาพสมบูรณ์ที่มีขั้วติดฝักคัดจากกระบะในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
I	คือ	น้ำหนักขั้วจากฝักที่มีขั้วติดฝักจากกระบะในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
J	คือ	น้ำหนักต้นถั่วในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
I	คือ	น้ำหนักขั้วจากฝักที่มีขั้วติดฝักจากกระบะในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
L1	คือ	เกียร์ Low 1 ของแทรกเตอร์
L2	คือ	เกียร์ Low 2 ของแทรกเตอร์
L3	คือ	เกียร์ Low 3 ของแทรกเตอร์
H1	คือ	เกียร์ High 1 ของแทรกเตอร์

กรมวิชาการเกษตร

โครงการวิจัยที่ 3

m_a	คือ	มวลของอากาศที่ใช้ในการลดความชื้น (kg_{air}/hr)
M_f	คือ	ความชื้นเมล็ดพันธุ์ที่ต้องการ (%wb.)
M_i	คือ	ความชื้นเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น (%wb.)
m_w	คือ	ปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออก (kg_{water})
$\dot{m}_w$	คือ	อัตราการระเหยของปริมาณน้ำ (kg_{water}/hr)
Q_a	คือ	ปริมาณลมที่ต้องใช้ในการลดความชื้น (m^3/hr)
t	คือ	ระยะเวลาที่ใช้ในการลดความชื้น (hr)
W_f	คือ	น้ำหนักเมล็ดพันธุ์หลังการลดความชื้น (kg)
W_i	คือ	น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ก่อนการลดความชื้น (kg)
w_f	คือ	อัตตราส่วนความชื้นของอากาศหลังการลดความชื้น (kg_{water}/kg_{dryair})
w_i	คือ	อัตตราส่วนความชื้นของอากาศก่อนการลดความชื้น (kg_{water}/kg_{dryair})
ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

โครงการวิจัยที่ 4

M_{wb}	คือ	ความชื้นมาตรฐานเปียก % (w.b.)
M_{db}	คือ	ความชื้นมาตรฐานแห้ง % (d.b.)
m_w	คือ	มวลเปียกของวัตถุ (kg)
m_d	คือ	มวลแห้งของวัตถุ (kg)
L	คือ	ความร้อนแฝงของวัตถุชื้น (J/kg)
L'	คือ	ความร้อนแฝงของน้ำ (J/kg)
M_{db}	คือ	ความชื้นของวัตถุมาตรฐานแห้ง % (d.b.)
a, b	คือ	ค่าคงที่ ขึ้นกับชนิดของวัตถุ
P1, P2	คือ	ความดันของของไหล
r	คือ	ความหนาแน่นของของไหล (ความหนาแน่นของน้ำ = 1,000 kg/m^3)
v1 , v2	คือ	ความเร็วของของไหล
h1 , h2	คือ	ระดับความสูง
G	คือ	ค่าแรงโน้มถ่วง (9.81 m/s^2)
A1 , A2	คือ	พื้นที่หน้าตัดของท่อ

กรมวิชาการเกษตร

บทนำ

พืชเศรษฐกิจของประเทศไทยที่ใช้พื้นที่หลังฤดูกาลทำนา คือ พืชตระกูลถั่วและข้าวโพด ซึ่งมีความต้องการใช้บริโภค ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกเมล็ดพันธุ์รายใหญ่ในภูมิภาคเอเชีย และเป็น 1 ใน 10 ของประเทศที่ส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชไร่รายใหญ่ กรมวิชาการเกษตรเป็นหน่วยงานหลักในการผลิตเมล็ดพันธุ์เพื่อขยายไปสู่หน่วยงานวิจัยทั่วไปประเทศ และเมล็ดพันธุ์ขยายเพื่อจำหน่ายเกษตรกร ทำให้กรมวิชาการเกษตรได้จัดตั้งกองเมล็ดพันธุ์ในปี 2558 ซึ่งเป็นหน่วยงานเพื่อสนับสนุนการขับเคลื่อนยุทธศาสตร์ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ (Seed Hub) ในระดับสากล รองรับเกษตรกรทั่วประเทศและประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน โดยพันธกิจของหน่วยงานคือศึกษา วิจัย และพัฒนาเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ การผลิตและกระจายเมล็ดพันธุ์พันธุ์ขยายตรวจสอบรับรองการผลิตเมล็ดพันธุ์คุณภาพสู่เกษตรกรและเอกชน แต่ในกระบวนการผลิตต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นเพื่อให้ทันเวลาและตอบสนองยุทธศาสตร์ประเทศ การเป็นศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ (Seed Hub) ในระดับสากล คณะผู้วิจัยจะมุ่งเน้นแผนการพัฒนาเครื่องจักรในแผนที่ 1 และ 2 เพื่อก้าวสู่ระบบการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสามารถนำไปขยายผลต่อได้ ลดการสูญเสียจากเครื่องจักร ลดแรงงานในกระบวนการผลิต นำเทคโนโลยีการผลิตพืชมาใช้ให้ถูกต้องและแม่นยำเพื่อให้เกิดการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชเชิงพาณิชย์และยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของแผนงานย่อย

1. เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรในขั้นตอนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่ โดยเริ่มตั้งแต่เครื่องจักรกลเกษตรในขั้นตอนการปลูก การขุดเก็บ และการลดความชื้นเพื่อการเก็บรักษา เพื่อให้ได้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพ

2. เพื่อวิจัยต้นแบบเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่ตรงความต้องการของศูนย์วิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช ภาคเกษตรกร(หมู่บ้านเมล็ดพันธุ์) และภาคเอกชนที่ต้องการนำไปผลิตเมล็ดพันธุ์เชิงพาณิชย์ได้ใน

3. เพื่อวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านเครื่องจักรกลเกษตรในการเป็นศูนย์กลางผลิตเมล็ดพันธุ์ (Seed Hub) ในระดับสากล

ขอบเขตของแผนงานย่อย โครงการวิจัยภายใต้ชุดโครงการนี้ จะเน้นวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรในขั้นตอนการผลิตเมล็ดพันธุ์โดยเริ่มตั้งแต่การปลูก การขุดเก็บ และการลดความชื้นเพื่อการเก็บรักษาให้ได้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพ สามารถนำไปใช้ในงานศูนย์วิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช หมู่บ้านเมล็ดพันธุ์ และสามารถต่อยอดนำไปใช้ได้ในเชิงพาณิชย์ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นเทคโนโลยีต้นแบบการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรในระบบการผลิตเมล็ดพันธุ์ เพื่อลดต้นทุนในการใช้แรงงานในการดำเนินการ อีกทั้งการพัฒนาเทคโนโลยีในรูปแบบใหม่ที่ใช้เครื่องจักรในการผลิตทั้งหมดเพื่อรองรับการแข่งในอนาคตที่ก้าวสู่การศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์พืช (Seed Hub) ในระดับสากล

กรมวิชาการเกษตร

กรอบแนวคิดของแผนงานวิจัย กระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชมีความละเอียดอ่อนมากเนื่องจากเป็นสิ่งมีชีวิต ทำให้ทุกขั้นตอนการผลิต ตั้งแต่การเตรียมเมล็ดพันธุ์ การปลูก การป้องกันและกำจัดวัชพืช การป้องกันและกำจัดศัตรูพืช การเก็บเกี่ยว การปลิดฝักหรือนวดเมล็ดพันธุ์หรือกะเทาะเมล็ดพันธุ์ การลดความชื้น การเก็บรักษา จะส่งต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืช ซึ่งในปัจจุบันทุกขั้นตอนส่วนใหญ่จะใช้แรงงานคนเป็นหลักเพื่อให้ได้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดีและถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนด แต่จะกระบวนการดังกล่าวจะส่งผลให้ต้นทุนสูง การควบคุมคุณภาพทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพทำได้ยาก โดยต้นทุนสูงสุดของการผลิตเมล็ดพันธุ์ในปัจจุบันจะอยู่ที่แรงงานในการดำเนินการ หากสามารถลดต้นทุนด้านการใช้แรงงานโดยการนำเครื่องจักรกลเกษตรเข้ามาทดแทนในขณะที่ยังคงไว้ซึ่งเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและส่งผลดีให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มมากขึ้น และสามารถเพิ่มพื้นที่ผลิตเมล็ดพันธุ์หรือต่อยอดศักยภาพด้านเศรษฐกิจได้เพิ่มขึ้น ลดการนำเข้าวัตถุดิบทั้งด้านเมล็ดพันธุ์และในภาคอุตสาหกรรมเกษตรต่างๆ ได้มากขึ้น

กรมวิชาการเกษตร

บทคัดย่อ

แผนงานวิจัยย่อยเรื่องการวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่ มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่ให้มีคุณภาพและประหยัดแรงงาน ประกอบด้วยโครงการย่อยอีก 4 โครงการวิจัย ได้แก่ 1) โครงการวิจัยวิจัยและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่ 2) โครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงที่ควบคุมการสั่นของขาขุดด้วยระบบอัตโนมัติแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กเพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ 3) โครงการวิจัยและพัฒนาระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง และ 4) โครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ซึ่งได้ผลการวิจัยแต่ละโครงการ ดังนี้

เครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ โดยพัฒนาระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino mega 2560) ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ ขนาด 500 วัตต์ ขับเพลาหยอดเมล็ดและเพลาหยอดปุ๋ย โดยสั่งผ่านสัญญาณแบบ PWM (Pulse Width Modulation) และใช้เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) วัดความเร็วการเคลื่อนที่จากล้อขับ (Driving wheel) ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า ระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดมีความแม่นยำเฉลี่ย 92.93 % และพบว่าระบบควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ย 90.38 % จากผลการทดสอบดังกล่าว เครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสามารถกำหนดอัตราการหยอดได้ตรงตามคำแนะคำเทคโนโลยีการปลูกพืชของกรมวิชาการเกษตร

เครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงที่ควบคุมการสั่นของขาขุดด้วยระบบอัตโนมัติแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กเพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ ใช้รถแทรกเตอร์ขนาด 21 แรงม้าเป็นต้นกำลัง โซ่หนีบต้นถั่วติดตั้งในแนวขนานกับตัวแทรกเตอร์และมีชุดลูกปลิดอยู่ใต้โซ่หนีบ ส่วนกระบะจัดเก็บฝักถั่วลิสงติดตั้งอยู่ด้านหลัง เครื่องต้นแบบที่ไม่สั่นชุดขามีการสูญเสียรวมต่ำกว่าแบบสั่น โดยควรเลือกใช้งานที่เกียร์ L2 รอบเครื่องยนต์ 1,000 หรือ 1,200 รอบต่อนาที การสูญเสียจากฝักที่ไม่ถูกขุด ฝักร่วงบนดิน และการแตกหักมีน้อย และมีการสูญเสียรวมในช่วง 9 %- 11.8 % อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 2.31 ลิตร / ไร่ ประสิทธิภาพเชิงพื้นที่ 83.33 % มีจุดคุ้มทุน (Break-even Point, BEP) เท่ากับ 45.29 ไร่ / ปี หากมีการรับจ้าง 200 ไร่ / ปี ที่ราคารับจ้างประมาณ 800 บาท / ไร่ จำนวนวันขั้นต่ำที่ต้องปฏิบัติงานเท่ากับ 17 วันต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 1.55 ปี

เครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กเพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ ใช้รถแทรกเตอร์ ขนาด 21 แรงม้า เป็นต้นกำลัง โซ่หนีบต้นถั่วที่มีชุดลูกปลิดอยู่ใต้โซ่หนีบติดตั้งในแนวขนานกับตัวแทรกเตอร์ และกระบะเก็บฝักอยู่ด้านหลัง เครื่องต้นแบบที่ไม่สั่นชุดขาขุดทำงานได้ดีกว่า มีการสูญเสียรวมต่ำ โดยควรเลือกใช้งานที่เกียร์ L2 รอบเครื่อง 1,000 หรือ 1,200 รอบต่อนาที ซึ่งมีการสูญเสียรวมในช่วง 9 %- 11.8 % แต่การสูญเสียจากฝักไม่ถูกขุด ฝักร่วงบนดิน และการแตกหักมีน้อย สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 2.31 ลิตร / ไร่ ประสิทธิภาพเชิงพื้นที่ 83.33 %

การวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องอบสำหรับลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง โดยออกแบบให้เครื่องอบมีขนาด 1.8x2.5x2.3 m (กว้าง x ยาว x สูง) และออกแบบระบบปั๊มความร้อน ในการทดสอบระบบปั๊มความร้อนได้กำหนดค่าแรงดันสารทำความเย็นด้านสูง 3 ระดับ คือ 200,

กรมวิชาการเกษตร

250 และ 300 psi โดยพบว่าช่วงแรงดันด้านสูงเท่ากับ 250 psi เป็นค่าแรงดันที่เหมาะสมในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าวิธีการลดความชื้นแบบ HP ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งภายหลังการลดความชื้นและในระหว่างการเก็บรักษาน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ ดังนั้นวิธีการลดความชื้นด้วย HP ที่อุณหภูมิระหว่าง 37.4-41.9°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จึงเป็นวิธีและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองให้อยู่ในระดับปลอดภัย และสามารถแนะนำเพื่อทดแทนการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ได้

เครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ 1. ห้องอบแห้งสุญญากาศ 2. แหล่งกำเนิดความร้อน 3. ปั๊มสุญญากาศ เบื้องต้นออกแบบ ห้องอบแห้งเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เมตร ยาว 1.2 เมตร หนา 6 มิลลิเมตร มีชั้นวางเป็นตะแกรงสแตนเลสขนาด กว้าง x ยาว 0.50 x 1.00 เมตร จำนวน 4 ถาด แหล่งกำเนิดความร้อนเป็นแท่งฮีตเตอร์ขนาด 1,000 วัตต์ จำนวน 4 แท่ง และใช้ปั๊มสุญญากาศ แบบ water jet ผลการทดสอบอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงที่มีความชื้นเริ่มต้น 34.15% โดยใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดันติดลบ 650 มิลลิเมตรปรอท และเมื่อทดสอบการงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงหลังการอบลดความชื้นทั้ง 3 กรณี พบว่าค่าอัตราการงอกใกล้เคียงและสูงกว่าค่าตัวอย่างเปรียบเทียบ การทดสอบอบเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีความชื้นจากแปลงเกษตรกร จำนวน 3 ราย จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ได้หลังการอบลดความชื้นไปเก็บไว้ในตู้เย็นเป็นเวลา 9 เดือน จึงนำมาทดสอบวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ โดยพิจารณา เปอร์เซ็นต์การงอก ความแข็งแรง และความเสียหายของเมล็ดพันธุ์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้ค่าต่าง ๆ ยังไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน ทั้งนี้อาจเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของเมล็ดพันธุ์ที่ได้มา หรืออาจเกิดจากความผิดพลาดของการเก็บรักษา จึงควรมีการทดสอบใหม่ให้มีข้อมูลที่ชัดเจนมากขึ้น

กรมวิชาการเกษตร

Abstract

Research plan on research and development of agricultural machinery for the production of field crops. The main objective is to research and develop agricultural machinery for the production of seeds of field crops to be of quality and labor saving. It consists of four other sub-projects, namely 1) R&D project of automatic seed and fertilizer sowing machines for field seed production; 2) R&D project on diggers to collect and remove peanut pods that control the vibration of the digging legs. with a rear-mounted automation of small tractors for seed production 3) Research and development project of heat pump system for dehumidifying soybean seed; and 4) Research and development project of air pressure dryer for dehumidifying soybean seed. The results of each research project are as follows:

Automatic Variable Rate use on Seed Drills with Fertilizer Applicators The micro controller (Arduino mega 2560) controlled speed of DC motor (24 V, 500 W) that driven seeds and fertilizers sowing shaft. This machine commanded via PWM (Pulse Width Modulation) signal and used an encoder to measure the speed of ground wheel. The result showed that the average accuracy of automated control system for seed sowing rate was 92.93%. The result showed that the average accuracy of automated control system for fertilizers rate was 90.38 %. This research demonstrated that an Automatic Variable Rate use on Seed Drills with Fertilizer Applicators could set seed and fertilizer rates according to recommendation rates and plant production technologies.

Peanut Combine Harvester with Automatic Control of Digger Leg Vibration Attached to a Small Tractor for Seed Production using a 21 hp tractor. The nut chain is mounted parallel to the tractor and has a set of knives under the chain. The peanut pod storage pickup is located at the back. Prototype that doesn't shake the legs. have lower total loss than oscillating type It is preferable to use the L2 gear at 1,000 or 1,200 rpm, which has a total loss in the range of 9% - 11.8%, but losses from unearthed pods, pod fall on the ground and breakage are minimal. Fuel consumption 2.31 liters / rai, spatial efficiency 83.33%, break-even point (BEP) equal to 45.29 rai / year, if there is a contract of 200 rai / year at the contract price of about 800 baht / rai, the minimum number of days The required work time is 17 days per year, payback period 1.55 years.

The Research and development of the heat pump drying system aimed to reduce moisture in soybeans. This study was designed to scale the prototype of the drying chamber to 2.8 x 2.5 x 2.3 m (width x length x height). The heat pump system testing for the soybean seeds drying was determined high pressure of refrigerant have 3 levels of 200 psi, 250 psi and 300 psi.

กรมวิชาการเกษตร

The high pressure of the 250psi refrigerant was the optimal high pressure for temperature and relative humidity control in the drying chamber for drying soybeans. The research could be concluded that the HP method slightly affects to seed quality changes both after drying and during storage compared to other methods. Therefore, the HP at temperature between 37.4-41.9°C for 5 hours is suitable method and condition for soybean seed drying to desirable level and could introduce instead of sun drying.

Air pressure reducing dryer for soybean seed moisture dehumidification has 3 main components: 1. Vacuum drying chamber 2. Heat source 3. Vacuum pump. Preliminary design The drying chamber is cylindrical, diameter 0.75 m, length 1.2 m, thickness 6 mm. There are shelves made of stainless steel, size width x length 0.50 x 1.00 meters, 4 trays. The heat source is 4 round bars of 1000 watt heater and use a water jet vacuum pump. The results of the dehumidification drying test of peanut seeds with an initial moisture content of 34.15% using a temperature of 40 °C and a negative pressure of 650 mmHg. The testing the germination of peanut seeds after dehumidification treatment in all 3 cases, it was found that the germination rate was close to and higher than the comparative sample value. The results of soybean seed drying test with moisture content from 3 farmers' fields was dried by reducing air pressure dryer at 38 °C at air pressure negative 650 mm Hg, after dehumidification were stored in the refrigerator for 9 months, and then tested for quality analysis by considering percentage of germination, vigor and seed damage. The results of the analysis that obtained various values have not yet passed the assessment criteria. This may be due to the imperfections of the obtained seeds or it may be caused by storage errors. Therefore, there should be a new test to have more clear information.

กรมวิชาการเกษตร

โครงการวิจัยที่ 1

วิจัยและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่
Research and Development of an Automatic Variable Rate use on Seed Drills with Fertilizer Applicators for Field Crop on Seed Production

อานนท์ สายคำฟู, วิชัย โอภานุกุล, ระพีพรรณ ชั่งใจ, ภภัสสร วัฒนกุลภาคิน, พินิจ จิรัคคกุล, สิทธิพงษ์ ศรีสว่างวงศ์, สราวุฒิ ปานทน, ธนพงศ์ แสนจุ้ม, เอกภาพ ป้านภูมิ และ อนุชา เชาวโชติ

Arnon Saicomfu, Wichai Opanukul, Rapeepan Changjai, Paphatsorn Wattanakulpakin, Pinit Jirakkakul, Sitthipong Srisawangwong, Sarawuth Parnthon, Tanapong Sanchum, Akkaparp Panpoom and Anucha Chaochot

คำสำคัญ (Key words)

เครื่องหยอดเมล็ดพร้อมใส่ปุ๋ย, การควบคุมแบบวงปิด, การเกษตรแบบแม่นยำ
Seed drills with fertilizer applicators, Closed-loop controller, Precision farming

กรมวิชาการเกษตร

บทคัดย่อ

การปลูกพืชให้เหมาะสมกับความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการปลูกตามความต้องการของพืชที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ เช่น อัตราการหยอดเมล็ดพันธุ์ อัตราการหยอดปุ๋ย การใช้สารกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยและพัฒนา “เครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ” โดยพัฒนาระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino mega 2560) ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ ขนาด 500 วัตต์ ขับเพลาหยอดเมล็ดและเพลาหยอดปุ๋ย โดยสั่งผ่านสัญญาณแบบ PWM (Pulse Width Modulation) และใช้เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) วัดความเร็วการเคลื่อนที่จากล้อขับ (Driving wheel) ซึ่งระบบการควบคุมจะทำการประมวลผลอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยให้สัมพันธ์กับความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ จากการทดสอบเครื่องหยอดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์คูโบต้า รุ่น MU5000 ขนาด 50 แรงม้า เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.25 เมตร/วินาที (เกียร์ H1 รอบเครื่องยนต์ 1500 รอบ/นาที) พบว่าอัตราการหยอดเมล็ดพืช สำหรับการปลูกข้าวโพดที่ระยะปลูก 20x75 และ 25x75 ซม. มีอัตราการหยอดเมล็ดเท่ากับ 2.71 และ 2.02 กก./ไร่ ตามลำดับ การปลูกถั่วเหลืองที่ระยะปลูก 10x50 และ 15x50 ซม. มีอัตราการหยอดเมล็ดเท่ากับ 13.15 และ 11.35 กก./ไร่ ตามลำดับ การปลูกถั่วเขียวที่ระยะปลูก 10x50 และ 15x50 ซม. มีอัตราการหยอดเมล็ดเท่ากับ 7.15 และ 6.02 กก./ไร่ ตามลำดับ และการ

ปลูกถั่วลิสงที่ระยะปลูก 20x50 และ 25x50 ซม. มีอัตราการหยอดเมล็ดเท่ากับ 19.6 และ 15.5 กก./ไร่ ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า ระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดมีความแม่นยำเฉลี่ย 92.93 % ในขณะที่อัตราการหยอดปุ๋ยสำหรับ ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง ที่อัตรา 50, 25, 25 และ 25 กก./ไร่ มีผลอัตราการหยอดเฉลี่ยเท่ากับ 45.98, 27.75, 27.47 และ 30.15 กก./ไร่ ตามลำดับ และพบว่าระบบควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ย 90.38 % จากผลการทดสอบดังกล่าว เครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสามารถกำหนดอัตราการหยอดได้ตรงตามคำแนะคำเทคโนโลยีการปลูกพืชของกรมวิชาการเกษตร

Abstract

Plant production technology according to soil fertility is applying of technology as plant requirements and depending on each location such as seed sowing rate, fertilizers sowing rate and pesticide control rate. The objective of this study was to research and develop “an Automatic Variable Rate use on Seed Drills with Fertilizer Applicators”. The micro controller (Arduino mega 2560) controlled speed of DC motor (24 V, 500 W) that driven seeds and fertilizers sowing shaft. This machine commanded via PWM (Pulse Width Modulation) signal and used an encoder to measure the speed of ground wheel. The results of seed drills with tractor 50 hp model MU5000 used speed 1.25 $m.s^{-1}$ (Gear H1 and 1500 rpm) showed that corn crops at distances 20x75 and 25x75 cm, seeds sowing rates were 2.71 and 2.02 $kg.rai^{-1}$ respectively. Soybean crops at distances 15x50 and 20x50 cm, seeds sowing rates were 13.15 and 11.35 $kg.rai^{-1}$ respectively. Mung bean crops at distances 15x50 and 20x50 cm, seeds sowing rates were 7.15 and 6.02 $kg.rai^{-1}$ respectively. And peanuts crops at distances 20x50 and 25x50 cm, seeds sowing rates were 19.6 and 15.5 $kg.rai^{-1}$. The result showed that the average accuracy of automated control system for seed sowing rate was 92.93%. While fertilizers sowing rates were set for corn, soybean, mung beans and peanuts at 50, 25, 25 and 25 $kg.rai^{-1}$. Fertilizers sowing rates average were 45.98, 27.75, 27.47 and 30.15 $kg.rai^{-1}$ respectively. And the result showed that the average accuracy of automated control system for fertilizers rate was 90.38 %. This research demonstrated that an Automatic Variable Rate use on Seed Drills with Fertilizer Applicators could set seed and fertilizer rates according to recommendation rates and plant production technologies.

กรมวิชาการเกษตร

บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่มีศักยภาพของภูมิภาคเอเชีย โดยมีการส่งออกเมล็ดพันธุ์ไปยังประเทศในกลุ่มอาเซียนมากเป็นอันดับ 1 และเป็นอันดับ 3 ในภูมิภาคเอเชีย รองจากประเทศจีนและญี่ปุ่น อีกทั้งเป็นอันดับ 12 ของโลก เนื่องด้วยประเทศไทยมีข้อได้เปรียบทางด้านสภาพสิ่งแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการเพาะปลูก รวมทั้งเกษตรกรมีความสามารถในการเพาะปลูกพืชเพื่อผลิตเป็นเมล็ดพันธุ์และมีมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อการส่งออกที่มีคุณภาพ ซึ่งการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของประเทศไทย มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ หน่วยงานภาครัฐจะเป็นผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่เป็นความมั่นคงทางด้านอาหารของประเทศ เช่น ข้าว พืชตระกูลถั่วต่างๆ ส่วนภาคเอกชนจะเป็นผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมเปิดเพื่อการค้า ประกอบด้วย ข้าวโพด ทานตะวัน พืชผักต่างๆ และในแต่ละปีมีการส่งออกค่อนข้างสูงโดยส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชมากกว่า 30 ชนิด ปริมาณรวมมากกว่า 25,000 ตัน โดยสร้างรายได้เข้าประเทศตั้งแต่ปี 2557 ถึง 2559 มีมูลค่าไม่น้อยกว่า 5,000 ล้านบาทต่อปี โดยเฉพาะเมล็ดพันธุ์ผักและพืชไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560)

ในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชขั้นตอนการปลูกโดยการหยอดหรือหว่านเมล็ดถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากเป็นขั้นตอนแรกๆ ของกระบวนการเพาะปลูก ถ้าหากในขั้นตอนการปลูกไม่มีประสิทธิภาพจะส่งผลต่อความงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของพืชโดยตรงซึ่งจะทำให้ผลผลิตลดลงตามไปด้วย ในปัจจุบันในขั้นตอนการปลูกสามารถแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) การใช้แรงงานคน และ 2) การใช้เครื่องหยอด ซึ่งการใช้แรงงานคนในการปลูกนั้นยังมีประสิทธิภาพที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากต้องใช้เมล็ดพันธุ์ปริมาณมากกว่าการใช้เครื่องหยอด อีกทั้งการหว่านด้วยแรงงานคนยังขาดความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของเมล็ดพืช และในปัจจุบันยังมีปัญหาเรื่องการขาดแคลนแรงงานในภาคการเกษตร ในส่วนของการใช้เครื่องหยอดนั้นสามารถแยกออกเป็น 2 แบบ คือ เครื่องหยอดแบบพ่วงท้ายรถไถเดินตาม (สนอง, 2556) และเครื่องหยอดแบบพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ (ยุทธนา, 2556ก) ซึ่งเครื่องหยอดที่ให้กันอยู่ในปัจจุบันสามารถหยอดได้พืชเฉพาะอย่างเท่านั้น เนื่องจากเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันคือ มีขนาดเมล็ดที่ไม่เท่ากัน อีกทั้งในการเพาะปลูกพืชแต่ละชนิดก็มีอัตราการหยอดที่ไม่เท่ากันอีกด้วย คือ จำนวนเมล็ดต่อหลุม ระยะห่างระหว่างหลุม ระยะห่างระหว่างแถว เป็นต้น กรมวิชาการเกษตรจึงได้มีคำแนะนำการปลูกพืช (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2547) เช่น ข้าวโพด ระยะปลูก 20x75 ซม. ใช้อัตราการหยอด 3 กก./ไร่ ระยะปลูก 25x75 ซม. ใช้อัตราการหยอด 2.3 กก./ไร่, ถั่วเหลือง ระยะปลูก 15x50 ซม. ใช้อัตราการหยอด 15 กก./ไร่ ระยะปลูก 20x50 ซม. ใช้อัตราการหยอด 12 3 กก./ไร่, ถั่วเขียว ระยะปลูก 15x50 ซม. ใช้อัตราการหยอด 6 กก./ไร่, ระยะปลูก 20x50 ซม. ใช้อัตราการหยอด 5 กก./ไร่ เป็นต้น นอกจากอัตราการหยอดที่ต้องปรับเปลี่ยนตามชนิดของพืชแล้ว ลักษณะของดินในแต่ละพื้นที่ก็มีความอุดมสมบูรณ์และปริมาณแร่ธาตุที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง กรมวิชาการเกษตรจึงได้แนะนำอัตราการใส่ปุ๋ยตามลักษณะของเนื้อดิน เช่น ดินร่วน ดินทราย ดินร่วนทราย ดินเหนียว เป็นต้น ทำให้การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในแต่ละลักษณะของเนื้อดินสำหรับ ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วลิสง มีอัตราตั้งแต่ 25-50 กก./ไร่ ซึ่งหากเกษตรกรสามารถใส่สูตรปุ๋ยให้ปริมาณตรงตามลักษณะของดินและปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในดินตามคำแนะนำการปลูกพืช ก็จะช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดีและทำให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น และหากนำเครื่องหยอดเมล็ดพร้อมใส่ปุ๋ย

กรมวิชาการเกษตร

รองพื้นที่ใช้งานอยู่ ในปัจจุบันมาประยุกต์ให้สามารถหยอดเมล็ดและปุ๋ยให้ได้อัตราที่หลากหลายจำเป็นต้องดัดแปลงเครื่องหยอดจึงทำให้เกิดความยุ่งยาก เช่น เปลี่ยนอัตราทดเฟืองโซ่ที่ขับชุดเพลาจานหยอดเมล็ดและเพลาหยอดปุ๋ย เปลี่ยนขนาดรูของจานหยอด เปลี่ยนระยะห่างและจำนวนรูของจานหยอด เปลี่ยนจานหยอด เป็นต้น เพื่อให้ได้อัตราหยอดตามคำแนะนำการปลูกของพืชแต่ละชนิด

จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืชและหยอดปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ เพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการหยอดเมล็ดพันธุ์และปุ๋ยให้ได้ตรงตามคำแนะนำเทคโนโลยีการปลูกพืช (ข้าวโพด ถั่วเหลือง และถั่วเขียว) โดยการควบคุมอัตราการหยอดแบบอัตโนมัตินี้จะควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro controller) เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจำนวน 2 ชุด คือ 1) ควบคุมชุดขับเพลาหยอดเมล็ดเพื่อควบคุมอัตรการหยอดเมล็ดพืช และ 2) ควบคุมชุดเพลาหยอดปุ๋ยเพื่อควบควบอัตราการหยอดปุ๋ย โดยอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยจะสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ที่วัดความเร็วจากเอ็นโค้ดเดอร์ที่ติดตั้งกับล้อขับ (Driving wheel) ซึ่งเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยนี้จะช่วยลดต้นทุนในขั้นตอนการเพาะปลูก อีกยังเป็นการทำเกษตรแบบแม่นยำในยุคการเกษตร 4.0 เพื่อเพิ่มขีดความสามารถแข่งขันให้กับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของไทยและผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางพันธุ์พืช (Seed Hub) เมล็ดของอาเซียนและเอเชียในอนาคต ตามแผนแม่บทยุทธศาสตร์ศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567 ในการพัฒนาเครื่องมือในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสนับสนุนการผลิตเมล็ดพันธุ์ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2559) ที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายภารกิจจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

การทบทวนวรรณกรรม

1. การศึกษาอุปกรณ์กำหนดเมล็ดของเครื่องหยอดเมล็ดพืช

1.1 อุปกรณ์กำหนดเมล็ดแบบจานปล่อย (Seed plate type)

ร้านพรเจริญ (ช่างคิด) ได้ผลิตและจำหน่ายเครื่องหยอดเมล็ดข้าวสำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดกลาง ดังแสดงในภาพที่ 1.1 เครื่องหยอดเมล็ดข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วลิสง พร้อมใส่ปุ๋ยและยกร่อง สำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดกลาง (35-50 แรงม้า) ดังแสดงในภาพที่ 1.2 โดยเครื่องดังกล่าวมีชุดหยอดเมล็ดพืชเป็นแบบจานปล่อยและมีหลักการทำงานของชุดขับอัตราการหยอดเมล็ดและหยอดปุ๋ยที่เหมือนกันคือ ใช้ล้อขับ (Driving Wheel) ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองโซ่ไปยังเพลาขับจานหยอดเมล็ดและชุดลูกหยอดปุ๋ย สำหรับการหยอดเมล็ดหากต้องการเปลี่ยนชนิดของพืชที่จะหยอดจำเป็นต้องทำการเปลี่ยนจานหยอดเพื่อให้มีรูหยอดตามปริมาณการหยอดเมล็ดของพืชชนิดนั้นๆ และหากต้องการปรับเปลี่ยนอัตราการหยอดจำเป็นต้องเป็นอัตราทดของชุดขับเพลาจานหยอดโดยทำการเปลี่ยนชุดเฟืองโซ่ขนาดต่างๆ และในส่วนของระบบหยอดปุ๋ยมีหลักการทำงานคือ ใช้กำลังจากชุดล้อขับชุดเดียวกับชุดขับเพลาจานหยอดซึ่งจะส่งกำลังผ่านชุดเฟืองโซ่ไปยังชุดเพลาลูกหยอดปุ๋ย และหากจะเปลี่ยนอัตราการหยอดปุ๋ยให้มีปริมาณตามลักษณะของชนิดดินจำเป็นจะได้เปลี่ยนชุดเฟืองโซ่ใหม่ เพื่อให้มีอัตรา

กรมวิชาการเกษตร

ทดไปขับชุดเพลาลูกหยอดปุ๋ยเพื่อให้ได้ตามปริมาณปุ๋ยตามที่ต้องการ ซึ่งสูตรปุ๋ยแต่ละชนิดมีขนาดเมล็ดและมีความแน่นที่ไม่เท่ากัน การเปลี่ยนสูตรปุ๋ยแต่ละครั้งนั้นเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยากและไม่สะดวกในการใช้งาน จะเห็นได้ว่าเครื่องดังกล่าวนี้หากต้องการเปลี่ยนอัตราการหยอดเมล็ดและหยอดปุ๋ยจำเป็นต้องเปลี่ยนอัตราทดเฟือง โซ่ที่จะไปขับชุดเพลาทั้งหยอดเมล็ดและหยอดปุ๋ย

ภาพที่ 1.1 เครื่องหยอดเมล็ดข้าว พร้อมใส่ปุ๋ย
ที่มา: พรเจริญ (2561ก)

ภาพที่ 1.2 เครื่องหยอดเมล็ด ถั่วลิสง พร้อมใส่ปุ๋ย แบบยกร่อง
ที่มา: พรเจริญ (2561ข)

1.2 อุปกรณ์กำหนดเมล็ดแบบล้อร่อง (Fluted wheel type)

เครื่องหยอดเมล็ดพืชพร้อมหยอดปุ๋ยของประเทศญี่ปุ่นสำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก (24 แรงม้า) ดังแสดงในภาพที่ 1.3 ซึ่งเครื่องดังกล่าวชุดหยอดเมล็ดพืชเป็นแบบลูกล้อร่องสามารถปรับขนาดของรูหยอดเมล็ด

และรูหยอดปุ๋ยได้ เพื่อให้ใช้หยอดเมล็ดพืชได้หลายชนิดและปรับเปลี่ยนปริมาณการหยอดปุ๋ยได้ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยมีหลักการทำงานคือ ใช้ล้อขับ (Driving Wheel) ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองโซ่ไปยังเพลาขับลูกหยอดเมล็ดและชุดลูกหยอดปุ๋ย แต่ลูกหยอดเมล็ดและลูกหยอดปุ๋ยสามารถปรับเปลี่ยนขนาดรูของลูกหยอดได้โดยการหมุนสกรูให้รูมีขนาดตามความต้องการ ซึ่งการหมุนปรับเปลี่ยนสกรูนี้จะทำให้รูหยอดเมล็ดมีขนาดตามเมล็ดพืชและมีอัตราการหยอดตามที่ต้องการ ส่วนรูหยอดปุ๋ยก็จะมีขนาดตามปริมาณปุ๋ยที่ต้องการใส่เช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 1.4

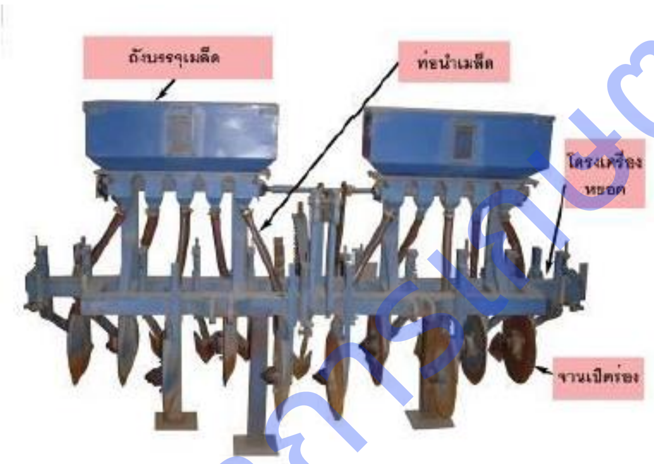
ภาพที่ 1.3 เครื่องหยอดเมล็ดพร้อมหยอดปุ๋ยพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กของประเทศญี่ปุ่น

ภาพที่ 1.4 สกรูปรับขนาดล้อร่องของรูหยอดเมล็ด (ซ้าย)
และสกรูปรับขนาดล้อร่องของรูหยอดปุ๋ย (ขวา)

กรมวิชาการเกษตร

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สันธาร (2549) ได้พัฒนาเครื่องหยอดข้าวติดรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ (ขนาดตั้งแต่ 60 แรงม้าขึ้นไป) สำหรับใช้งานในการหยอดข้าวแห้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยเครื่องหยอดสามารถลดภาระและค่าใช้จ่ายในการจัดหาแรงงานคนในช่วงระยะเวลาของฤดูปลูก และสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วกว่าการใช้แรงงานคน แต่พบปัญหาคือ เครื่องมือมีน้ำหนักมากทำให้ดินได้รับแรงกดทับมีความหนาแน่นของดินเพิ่มขึ้น ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการงอกของเมล็ดโดยเครื่องดังกล่าวมีหลักการทำงานที่สามารถนำมาประยุกต์ได้คือใช้ตัวเปิดร่องแบบจานเดี่ยว ซึ่งมีข้อดีคือ ดินหลังจากการเก็บเกี่ยวยังมีความชื้น การใช้ตัวเปิดร่องแบบจานจะหมุนไปช่วยลดการติดของดินที่ตัวเปิดร่อง ตัวถังบรรจุเมล็ด เป็นแบบถังเดี่ยว มีท่อนำเมล็ดแยกลงไปตามตัวเปิดร่อง



ภาพที่ 1.5 เครื่องหยอดข้าวติดรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่
ที่มา: สันธารและคณะ (2549)

กรมวิชาการเกษตร

ยุทธนาและคณะ, 2556ข ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องหยอดพืชหลังนาติดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ แบบจำนวนปลูก 5 แถว ซึ่งเครื่องหยอดมีอุปกรณ์ที่สำคัญคือ ถังบรรจุเมล็ด ตัวเปิดร่องดิน อุปกรณ์กลบร่องดิน ล้อขับพร้อมเฟืองโซ่ขับชุดเพลาจานหยอด จานหยอดขนาดต่างๆ สำหรับหยอด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และข้าวโพดฝักอ่อน โดยเครื่องหยอดนี้มีหลักการทำงานคือ ใช้ล้อขับส่งกำลังผ่านชุดเฟืองโซ่ไปขับชุดเพลาจานหยอด จานหยอดขนาดต่างๆ จะเป็นตัวกำหนดอัตราการหยอดเมล็ดลงไปในท่อลำเลียงเพื่อลงไปปลูกในแปลง โดยมีตัวเปิดร่องเพื่อให้เมล็ดลึกลงไป 5-7 ซม. แล้วมีอุปกรณ์กลบดินเพื่อฝังเมล็ดลงไปในดิน ซึ่งเครื่องที่พัฒนานี้จะต้องเปลี่ยนจานหยอดขนาดต่างๆ ไปตามชนิดของการปลูกพืชแต่ละชนิด เนื่องจากเมล็ดพืชแต่ละชนิดมีขนาดไม่เท่ากัน

ภาพที่ 1.6 เครื่องหยอดพืชหลังนาติดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์
ที่มา: ยุทธนาและคณะ (2556ข)

สายรุ้งและวสุ (2558) ได้พัฒนาระบบหยอดสารเคมีในปริมาณน้อยควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อการกำจัดศัตรูพืช ดังแสดงในภาพที่ 1.7 มีอัตราการหยอดสารเคมีที่ประมาณ 1-2 กก./ไร่ โดยระบบควบคุมใช้เอ็นโค้ดเดอร์ที่ติดตั้งบนล้อความคุมในการหาความเร็วในการเคลื่อนที่ เพื่อคำนวณค่าความเร็วรอบที่เหมาะสมของชุดหัวหยอด และส่งสัญญาณไปยังหัวหยอด ผลการทดสอบเชิงพื้นที่พบว่ามีความผิดพลาดเฉลี่ยของอัตราการหยอดเท่ากับ 2.7 %

ภาพที่ 1.7 ระบบหยอดสารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืชควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
ที่มา: สายรุ้งและวสุ (2558)

M. Jafari *et al.* (2010) ได้พัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงของเครื่องหยอดเมล็ดพืชสำหรับการทำเกษตรแบบแม่นยำสูง ดังแสดงในภาพที่ 1.8 โดยเป็นการออกแบบการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ สำหรับการเปลี่ยนแปลงอัตราการหยอดของเมล็ดพันธุ์พืช และ

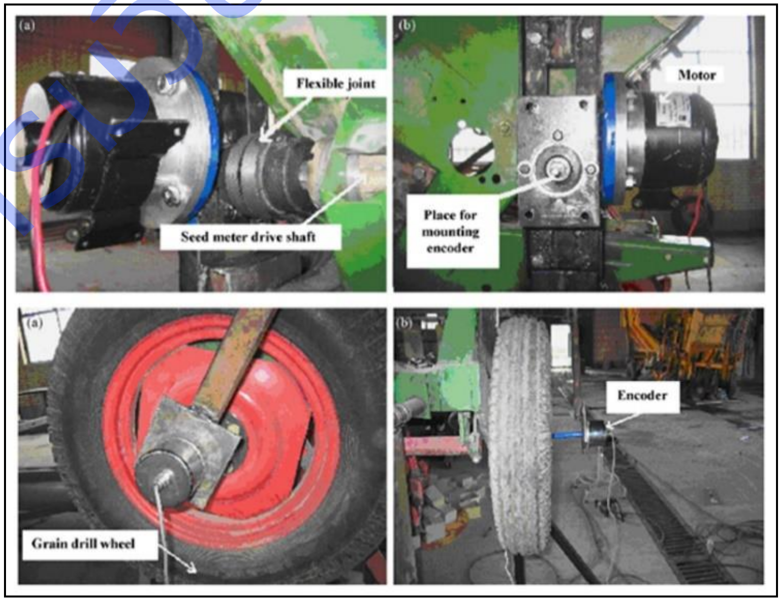
กรมวิชาการเกษตร

หาการตอบสนองเชิงเวลาของระบบ วงจรคบคุมความเร็วรอบใช้เอ็นโค้ดเดอร์ 2 ตัว สำหรับวัดความเร็วล้อขับของเครื่องหยอดเมล็ดและความเร็วรอบของเพลาลูกหยอดดังแสดงในภาพที่ 1.9 ซึ่งมีหลักการทำงานโดยใช้เอ็นโค้ดเดอร์ตัวแรกที่ติดตั้งอยู่กับล้อขับของเครื่องหยอด เพื่อวัดความเร็วในการเคลื่อนที่แล้วนำมาคำนวณหาอัตราการหยอด และใช้เอ็นโค้ดเดอร์ตัวที่สองวัดความเร็วรอบของเพลาลูกหยอดส่งสัญญาณป้อนกลับไปยังชุดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ตัวควบคุมประมวลผลและแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้การควบคุมอัตราการหยอดมีความแม่นยำมากขึ้น ในการควบคุมอัตราการหยอดนี้ได้ใช้การควบคุมประเภทพีไอดี (PID) ผลการทดสอบพบว่าสามารถปรับอัตราการหยอดได้ต่ำสุดเท่ากับ 87.5 กก./เฮกตาร์ และสูงสุดเท่ากับ 262.5 กก./เฮกตาร์ และผลการตอบสนองของการเปลี่ยนแปลงอัตราการหยอดต่ำสุดไปสูงสุดและอัตราสูงสุดไปต่ำสุดเท่ากับ 7.4 และ 5.2 วินาที ตามลำดับ

ภาพที่ 1.8 เครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์พืชที่ปรับอัตราการหยอดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

ที่มา: M. Jafari *et al.* (2010)

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 1.9 ตำแหน่งการติดตั้งเอ็นโค้ดเดอร์และมอเตอร์พร้อมชุดเกียร์ทด

ที่มา: M. Jafari *et al.* (2010)

ระเบียบวิธีการวิจัย

อุปกรณ์

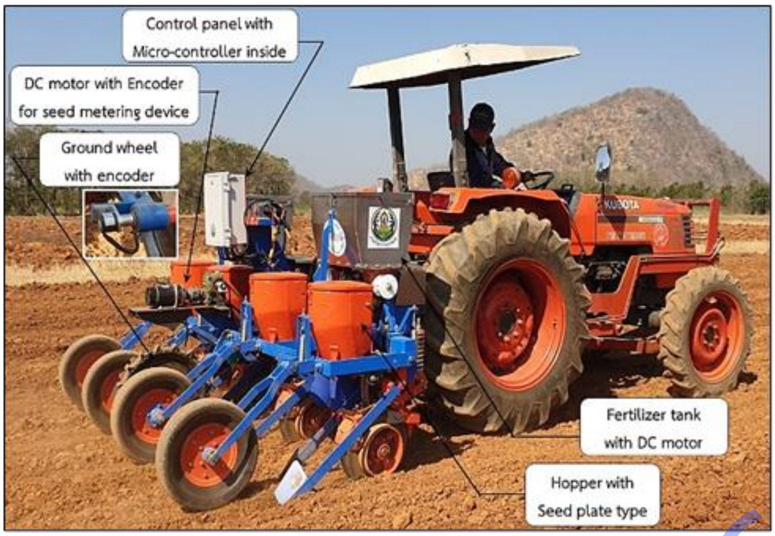
1. เครื่องหยอดเมล็ดพืชพร้อมใส่ปุ๋ยแบบ 4 แถว พ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดกลาง
2. ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega2560
3. มอเตอร์กระแสตรงขนาด 500 วัตต์ 24 โวลต์ พร้อม DC motor drive
4. เอ็นโค้ดเดอร์ (Rotary Encoder)
5. คอมพิวเตอร์เขียนโปรแกรม Arduino IDE
6. รถแทรกเตอร์คูโบต้า รุ่น MU5000 ขนาด 50 แรงม้า
7. บีกเกอร์สำหรับวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง
8. เมล็ดข้าวโพด พันธุ์นครสวรรค์3
9. เมล็ดข้าวถั่วเหลือง พันธุ์ลพบุรี 84-1
10. เมล็ดข้าวถั่วเขียว พันธุ์ชัยนาท 74-1
11. เมล็ดถั่วลิสง พันธุ์ไทนาน9
12. ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ตรากระต่าย

วิธีการ

1. ออกแบบระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ย

การควบคุมอัตราการหยอดแบบอัตโนมัตินี้จะควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ยี่ห้อ Arduino รุ่น Mega2560 เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 V ขนาด 500 W ผ่าน DC Motor Drive จำนวน 2 ชุด คือ 1) ควบคุมชุดขับเพลาจานหยอดเมล็ด และ 2) ควบคุมชุดเพลาหยอดปุ๋ย และใช้โปรแกรม Arduino IDE สำหรับการเขียนภาษา C++ เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) โดยใช้หลักการปรับค่า Duty cycle ซึ่งในโครงการวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องหยอดเมล็ดพร้อมใส่ปุ๋ยของบริษัทพรเจริญ (ช่างคิด) จำกัด แบบ 4 แถว ใช้อุปกรณ์กำหนดจำนวนเมล็ดแบบจานเอียง (Seed plate) เครื่องหยอดสามารถปรับระยะห่างระหว่างแถวได้ตั้งแต่ 50-75 ซม. เพื่อสำหรับปลูกพืชตระกูลถั่วและข้าวโพด โดยได้ติดตั้งอุปกรณ์ของระบบควบคุมอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 1.10

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 1.10 เครื่องหยอดเมล็ดพืชพร้อมใส่ปุ๋ยที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบบควบคุมอัตโนมัติ

2. ออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืช

การออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชด้วยการควบคุมความเร็วรอบของจานหยอด เพื่อให้ได้ระยะแต่ละหลุมหรือจำนวนต้นในระยะ 1 เมตร ตามคำแนะนำ เช่น 4, 5, 6 เมล็ด/เมตร เป็นต้น โดยมีแนวคิดและหลักการออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชแบบฟังก์ชั่นเชิงเวลา โดยผู้ใช้สามารถกำหนดระยะปลูกตามที่ต้องการในโปรแกรมควบคุมได้

3. ออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ยในห้องปฏิบัติการ

การออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ย โดยเริ่มจากการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเพลาหยอดปุ๋ย (รอบ/นาที) กับอัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่) ซึ่งในการทดสอบได้นี้ได้ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 แล้วกำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์เพลาหยอดปุ๋ย ตั้งแต่ 25, 50, 75 ไปจนถึง 300 รอบ/นาที จับเวลา 1 นาที แล้วนำค่าน้ำหนักปุ๋ยที่ได้ (กก./นาที) ไปคำนวณให้ออกมาเป็นค่าอัตราการหยอดปุ๋ยในหน่วยของ (กก./ไร่) เพื่อนำไปใช้สำหรับออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดปุ๋ยแบบฟังก์ชั่นเชิงเวลา โดยผู้ใช้สามารถกำหนดอัตราการหยอดปุ๋ยและระยะของแถวปลูกตามที่ต้องการในโปรแกรมควบคุมได้

4. การทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืช

กำหนดให้แปลงทดสอบแต่ละแปลงมีขนาดกว้าง 6 เมตร และยาว 80 เมตร แล้วให้เครื่องหยอดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ยี่ห้อคูโบต้ารุ่น M5000SU ใช้เกียร์ High1 รอบเครื่องยนต์ 1,500 รอบ/นาที ความเร็วประมาณ 1.25 เมตร/วินาที และกำหนดการทดสอบหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยดังนี้

4.1. ข้าวโพด ทดสอบอัตราการหยอด 2 อัตรา คือ 2.3 และ 3 กก./ไร่ แล้วใส่ปุ๋ยในอัตรา 50 กก./ไร่

4.2. ถั่วเหลือง ทดสอบอัตรการหยอด 2 อัตรา คือ 12 และ 15 กก./ไร่ แล้วใส่ปุ๋ยในอัตรา 25 กก./ไร่

4.3. ถั่วเขียว ทดสอบอัตราการหยอด 2 อัตรา คือ 5 และ 7 กก./ไร่ แล้วใส่ปุ๋ยในอัตรา 25 กก./ไร่

กรมวิชาการเกษตร

4.4. ถั่วลิสง ทดสอบอัตราการหยอด 2 อัตรา คือ 15 และ 18 กก./ไร่ แล้วใส่ปุ๋ยในอัตรา 25 กก./ไร่

5. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

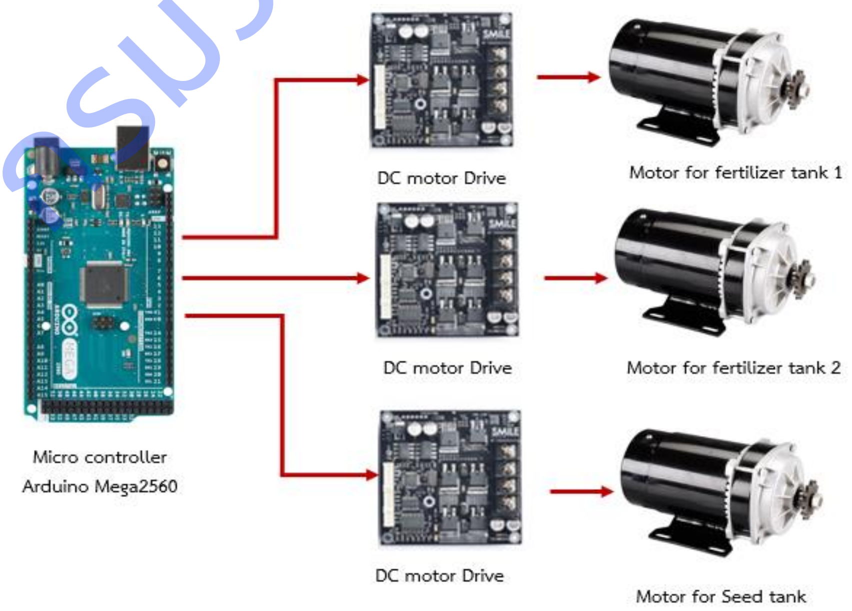
เวลาและสถานที่

ระยะเวลา	เริ่มต้นเดือนตุลาคม 2563 สิ้นสุดเดือนกันยายน 2564
สถานที่ดำเนินการ	อาคารปฏิบัติการ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร แปลงทดสอบ ศูนย์วิจัยพัฒนาและเมล็ดพันธุ์พืชลพบุรี แปลงทดสอบ ศูนย์วิจัยพัฒนาและเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

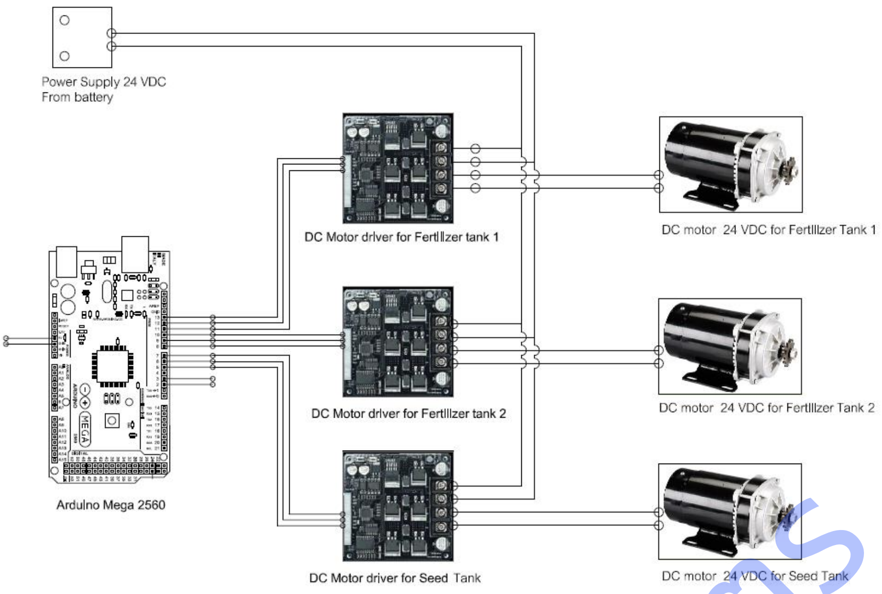
1. ผลการออกแบบระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ย

การควบคุมอัตราการหยอดแบบอัตโนมัตินี้ได้ออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ยี่ห้อ Arduino รุ่น Mega2560 สั่งสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ผ่านชุดขับมอเตอร์ (DC) motor drive) เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ ขนาด 500 วัตต์ จำนวน 2 ชุด คือ 1) ควบคุมความเร็วรอบของชุดขับเพลาหยอดเมล็ด และ 2) ควบคุมความเร็วรอบของเพลาหยอดปุ๋ย ดังแสดงแผนภาพในภาพที่ 1.11 และ 1.12 ซึ่งในการทดลองนี้ใช้การควบคุมมอเตอร์โดยสั่งสัญญาณแบบ PWM (Pulse Width Modulation) ซึ่งเป็นวงจรแบบ Switching Amplifier คือ การควบคุมแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ โดยอาศัยหลักการปรับค่า Duty Cycle เพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ซึ่งเกิดการสูญเสียกำลังงานที่น้อยมากและการควบคุมแบบนี้จะใช้งานได้ดีที่ความถี่คงที่หรือความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (เอกชัย, 2552)



ภาพที่ 1.11 แผนผังระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 1.12 วงจรไฟฟ้าระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรง

2. ผลการออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืช

การออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชโดยใช้การควบคุมความเร็วรอบของจานหยอดเมล็ดพืช ซึ่งแนวคิดและหลักการทำงานออกแบบให้เป็นระบบควบคุมแบบฟังก์ชั่นเชิงเวลา (t) ซึ่งจะทำให้สามารถออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบของจานหยอดเมล็ดพืชตามอัตราที่กำหนดได้ และสามารถนำมาเขียนเป็นสมการควบคุมความเร็วรอบจานหยอดเมล็ดให้สัมพันธ์กับความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ดังสมการที่ 1

$$RPMs = f_t(S_t, v) \qquad (1)$$

เมื่อ $RPMs$ คือ ความเร็วรอบของจานหยอดเมล็ดพืช (รอบ/นาที)

f_t คือ ฟังก์ชั่นสมการควบคุมอัตราการหยอดเมล็ด

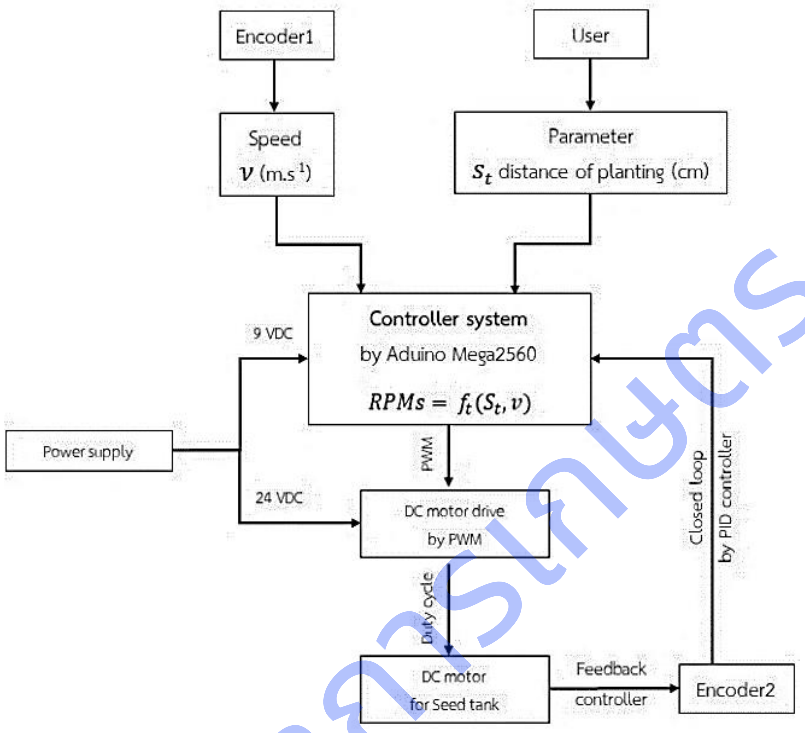
S_t คือ ระยะปลูก (ซม.)

v คือ ความเร็วของรถแทรกเตอร์ (เมตร/วินาที)

จากสมการควบคุมดังกล่าวผู้ใช้งานสามารถกำหนดระยะปลูกพืชได้ และในส่วนของความเร็วของรถแทรกเตอร์ระบบควบคุมสามารถวัดได้จากเอ็นโค้ดเดอร์ที่ติดตั้งกับล้อขับ (Driving wheel) ซึ่งระบบควบคุมจะทำการประมวลผลอัตรการหยอดเมล็ดพืชให้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ ทั้งนี้ได้ติดตั้งเอ็นโค้ดเดอร์อีก

กรมวิชาการเกษตร

หนึ่งตัวที่เพลาขับจานหยอดเพื่อปรับแก้ค่าความผิดพลาด (Error) ของระบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งจะทำให้การควบคุมอัตราการหยอดมีความแม่นยำมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 1.13



ภาพที่ 1.13 แผนผังแสดงการออกแบบระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืช

3. ผลการออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ย

สำหรับการออกแบบสมการควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ย เริ่มจากการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเพลาหยอดปุ๋ย (รอบ/นาที) กับอัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่) โดยกำหนดความเร็วรอบของเพลาหยอดปุ๋ยไว้ในระดับต่างๆ จับเวลา 1 นาที แล้วนำค่าน้ำหนักปุ๋ยที่ได้ (กก./นาที) ไปคำนวณให้เป็นค่าอัตราการหยอดปุ๋ยในหน่วยของ (กก./ไร่) ซึ่งในการคำนวณได้กำหนดเงื่อนไขให้ความเร็วของรถแทรกเตอร์เท่ากับ 1 และ 1.5 เมตร/วินาที และมีระยะแถวปลูกเท่ากับ 0.5 และ 0.75 เมตร ตามลำดับ โดยผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1.1

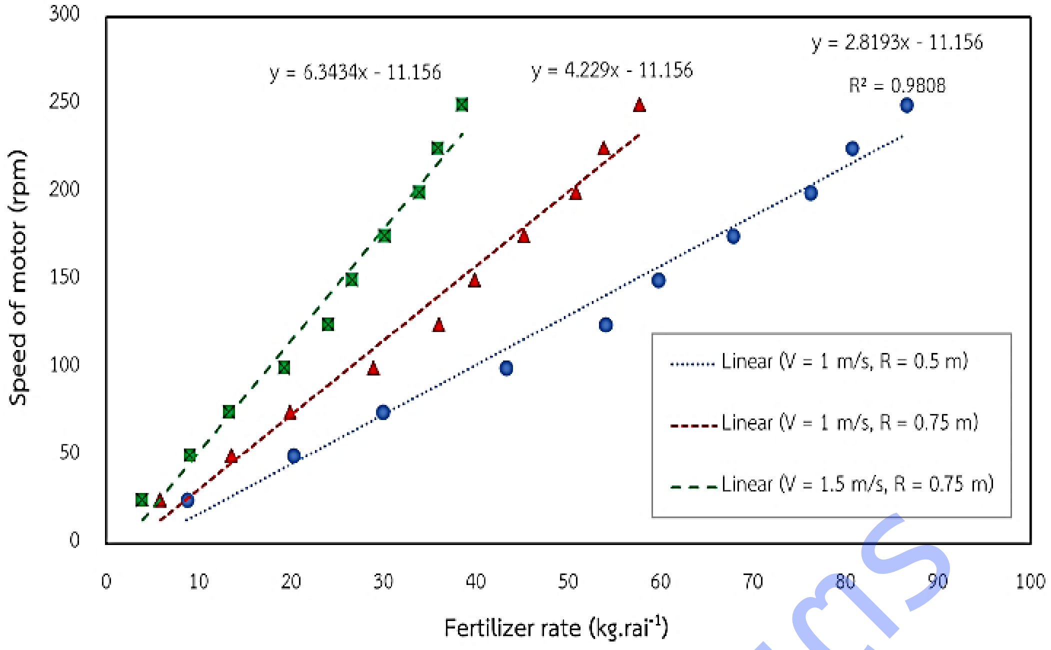
กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 1.1 ผลการทดสอบอัตราการหยอดปุ๋ยในห้องปฏิบัติการ

ความเร็วรอบมอเตอร์ (รอบ/นาที)	อัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่)			
	ความเร็วรถแทรกเตอร์ที่กำหนดไว้ 1 เมตร/วินาที		ความเร็วรถแทรกเตอร์ที่กำหนดไว้ 1.5 เมตร/วินาที	
	ระยะแถวปลูก 0.5 เมตร	ระยะแถวปลูก 0.75 เมตร	ระยะแถวปลูก 0.5 เมตร	ระยะแถวปลูก 0.75 เมตร
25	8.70	5.80	5.80	3.87
50	20.29	13.53	13.53	9.02
75	29.88	19.92	19.92	13.28
100	43.28	28.85	28.85	19.23
125	54.04	36.03	36.03	24.02
150	59.76	39.84	39.84	26.56
175	67.80	45.20	45.20	30.14
200	76.20	50.80	50.80	33.86
225	80.74	53.83	53.83	35.89
250	86.59	57.73	57.73	38.48
275	93.73	62.49	62.49	41.66
300	94.68	63.12	63.12	42.08

จากผลการทดสอบพบว่า ที่ความเร็วของรถแทรกเตอร์เท่ากับ 1 เมตร/วินาที ระยะแถวปลูก 0.5 เมตร และ 0.75 เมตร มีอัตราการหยอดปุ๋ยตั้งแต่ 8.7- 94.68 กก./ไร่ และ 5.8-63.12 กก./ไร่ ตามลำดับ และที่ความเร็วของรถแทรกเตอร์เท่ากับ 1.5 เมตร/วินาที ระยะแถวปลูก 0.5 เมตร และ 0.75 เมตร มีอัตราการหยอดปุ๋ยตั้งแต่ 5.8-63.12 กก./ไร่ และ 3.87-42.08 กก./ไร่ ตามลำดับ ซึ่งผลของอัตราการหยอดปุ๋ยดังกล่าวเพียงพอสำหรับการหยอดในอัตรา 20-50 กก./ไร่ แต่ที่ความเร็ว 1.5 เมตร/วินาที กับที่ระยะแถวปลูก 0.75 เมตร มีอัตราการหยอดปุ๋ยสูงสุดเพียง 42.กก./ไร่ ดังนั้นหากต้องการอัตราการหยอดปุ๋ยที่ 50 กก./ไร่ ที่ระยะปลูก 0.75 เมตร จากการคำนวณแบบการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ต้องใช้ความเร็วรถแทรกเตอร์ไม่เกิน 1.25 เมตร/วินาที และจากผลการทดสอบดังกล่าวสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยอดปุ๋ยกับความเร็วรอบของมอเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 1.14

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 1.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่) กับ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (รอบ/นาที)

จากกราฟดังกล่าวสามารถนำเขียนสมการควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ยให้สัมพันธ์กับความเร็วรถแทรกเตอร์และระยะของแถวปลูกได้ โดยใช้แนวคิดและหลักการออกแบบให้เป็นระบบควบคุมแบบฟังก์ชั่นเชิงเวลา (t) ดังสมการที่ 2

$$RPMf = q_t(Q_t, v, R) \qquad (2)$$

เมื่อ $RPMf$ คือ ความเร็วรอบของจานมอเตอร์ปุ๋ย (รอบ/นาที)

q_t คือ ฟังก์ชั่นสมการควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ย

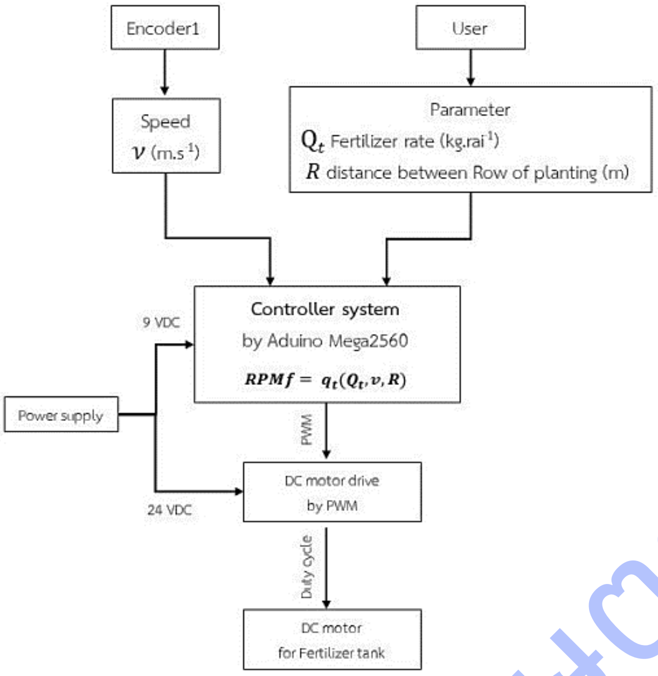
Q_t คือ อัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่)

v คือ ความเร็วของรถแทรกเตอร์ (เมตร/วินาที)

R คือ ระยะระหว่างแถวปลูก (เมตร)

จากสมการควบคุมดังกล่าวผู้ใช้งานสามารถกำหนดอัตราการหยอดปุ๋ยและระยะของระหว่างแถวปลูกพืชได้ และในส่วนของความเร็วของรถแทรกเตอร์ระบบควบคุมสามารถวัดได้จากเอ็นโค้ดเดอร์ที่ติดตั้งกับล้อจักร ซึ่งระบบควบคุมจะทำการประมวลผลอัตราการหยอดปุ๋ยให้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์และระยะระหว่างแถวปลูก ดังแสดงแผนผังในภาพที่ 1.15

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 1.15 แผนผังแสดงการออกแบบระบบควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ย

4. ผลการทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ

เมื่อทดสอบระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยในการทดสอบก่อนหน้านี้เรียบร้อยแล้ว จึงได้ทำการทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ สำหรับการปลูก ข้าวโพด พันธุ์นครสวรรค์ 3 ถั่วเหลือง พันธุ์ลพบุรี 84-1 ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 74-1 และถั่วลิสง อย่างละ 2 อัตรา และอัตราการหยอดปุ๋ยสำหรับข้าวโพด 50 กก./ไร่ อัตราการหยอดปุ๋ยสำหรับถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง 25 กก./ไร่ โดยแปลงทดสอบมีขนาดกว้าง 6 เมตร และยาว 80 เมตร ดังแสดงการทดสอบในภาพที่ 1.16 และผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1.2

ภาพที่ 1.16 การทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติในแปลงทดสอบ

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 1.2 ผลการทดสอบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ

ชนิดพืช	ระยะปลูก	อัตราการหยอดเมล็ด (กก./ไร่)	อัตราการหยอดปุ๋ย (กก./ไร่)	อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย (ลิตร/ไร่)	ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย (ไร่/ชม.)	ประสิทธิภาพเชิงพื้นที่ (%)
ข้าวโพด (ปุ๋ย 50 กก./ไร่)	20x75 ซม. (3 กก./ไร่)	2.71 (90.3%)	45.47 (90.9%)	0.82	6.01	75.10
	25x75 ซม. (2.3 กก./ไร่)	2.02 (87.4%)	46.38 (92.8%)			
ถั่วเหลือง (ปุ๋ย 25 กก./ไร่)	10x50 ซม. (15 กก./ไร่)	13.15 (87.7%)	27.93 (88.3%)	1.05	3.76	69.60
	15x50 ซม. (12 กก./ไร่)	11.35 (94.6%)	27.57 (89.7%)			
ถั่วเขียว (ปุ๋ย 25 กก./ไร่)	10x50 ซม. (7 กก./ไร่)	7.15 (97.9%)	27.54 (89.8%)	0.99	3.81	70.50
	15x50 ซม. (6 กก./ไร่)	6.02 (99.7%)	27.41 (90.4%)			
ถั่วลิสง (ปุ๋ย 25 กก/ไร่)	20x50 ซม. (18 กก./ไร่)	19.6 (91.2%)	30.5 (80%)	0.95	4.2	73.1
	25x50 ซม. (15 กก./ไร่)	15.5 (96%)	29.8 (80.8%)			

กรมวิชาการเกษตร

จากผลการทดสอบ พบว่า การปลูกข้าวโพดระยะปลูก 20x75 ซม. และ 25x75 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 2.71 และ 2.02 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอดปุ๋ยเท่ากับ 45.47 และ 46.38 กก./ไร่ ตามลำดับ การปลูกถั่วเหลืองระยะปลูก 15x50 ซม. และ 20x50 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 13.15 และ 11.35 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอดปุ๋ยเท่ากับ 27.93 และ 27.57 กก./ไร่ ตามลำดับ การปลูกถั่วเขียวระยะปลูก 15x50 ซม. และ 20x50 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 7.15 และ 6.02 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอด

ปุ๋ยเท่ากับ 27.54 และ 27.41 กก./ไร่ ตามลำดับ และการปลูกลิสงระยะปลูก 20x50 ซม. และ 25x50 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 19.6 และ 15.5 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอดปุ๋ยเท่ากับ 30.5 และ 29.8 กก./ไร่ ตามลำดับซึ่งจะเห็นได้ว่าการออกแบบให้ควบคุมด้วยระบบอัตราการหยอดแบบอัตโนมัตินี้สามารถควบคุมอัตราการหยอดได้ตามคำแนะนำการปลูกพืช โดยระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดมีความแม่นยำเฉลี่ย 92.93% ส่วนอัตราการใส่ปุ๋ยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยลดลงเหลือเพียง 90.38% เนื่องจากในการทดสอบครั้งนี้ได้เปลี่ยนยี่ห้อของปุ๋ย 15-15-15 เป็นอีกยี่ห้อหนึ่ง ซึ่งปุ๋ยทั้ง 2 ยี่ห้อนี้อาจมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกัน เช่น ขนาดเม็ดปุ๋ย ความหนาแน่นของปุ๋ย ผิวสัมผัสของปุ๋ย เป็นต้น จึงทำให้สมการที่ใช้ควบคุมอัตราการหยอดปุ๋ยเกิดความคาดเคลื่อนขึ้นส่งผลให้อัตราการหยอดปุ๋ยมีความแม่นยำลดลงนั้นเอง สำหรับการใช้งานเครื่องหยอด ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง มีความสามารถในการทำงานเท่ากับ 6.01, 3.76, 3.81 และ 4.2 ไร่/ชม. ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพเชิงพื้นที่เท่ากับ 75.1, 69.60, 70.50 และ73.1 % ตามลำดับ

5. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากสร้างและทดสอบเครื่องหยอดจึงได้ดำเนินการประเมินค่าใช้จ่ายในการสร้างต้นแบบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับพืชไร่ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3หลังจากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยทำการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน (Break-even Point, BEP) ของการใช้งานเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับพืชไร่ ซึ่งจะมีผลต่อการตัดสินใจเพื่อประกอบการลงทุนในการนำเครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัตินี้ไปใช้งานรับจ้างหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ย โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

ตารางที่ 1.3 ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการสร้างต้นแบบเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
วัสดุทำเครื่องต้นแบบ	
1. เครื่องหยอดเมล็ดพร้อมใส่ปุ๋ยแบบ 4 แถว	85,000
2. มอเตอร์กระแสตรง จำนวน 3 ตัว	15,000
3. ชุดควบคุมมอเตอร์ จำนวน 3 ชุด	6,000
4. ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	2,000
5. เอ็นโค้ดเดอร์	4,000
6. ชุดอุปกรณ์ไฟฟ้า สายไฟ	5,000
7. แบตเตอรี่ 24 โวลต์ พร้อมชุดอุปกรณ์ชาร์ทแบตเตอรี่	10,000
8. วัสดุอื่นๆ	2,000
รวมค่าวัสดุ	129,000
ค่าแรงในการสร้างประกอบ	20,000

กรมวิชาการเกษตร

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่องต้นแบบ	149,000

รายละเอียดการประเมินต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน

1. ราคาต้นทุนเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ (P)	149,000	บาท
2. อายุการใช้งานเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ	8	ปี
3. มูลค่าเครื่องหยอดปุ๋ยแบบอัตโนมัติหลังหมดอายุการใช้งาน (10%P)	14,900	บาท
4. อัตราดอกเบี้ยร้อยละ	10	ต่อปี
5. จำนวนชั่วโมงการทำงาน	8	ชั่วโมง/วัน
6. อัตราการทำงานเฉลี่ย	5	ไร่/ชั่วโมง
7. ค่าบำรุงรักษา (ร้อยละของราคาเครื่องต่อการใช้งาน 100 ชั่วโมง)	5	
8. ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (30 ก.ย. 64)	29.89	บาท/ลิตร
9. อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย	1	ลิตร/ไร่
10. สมมติให้เครื่องเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติใช้งานจำนวนปีละ	A	ไร่

ต้นทุนคงที่

1. ค่าเสื่อมราคา (149,000-14,900 / 8)	16,762.5/ A	บาท/ไร่
2. ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน ((149,000+14,900) / 2) x 0.1	8,195/ A	บาท/ไร่
รวมค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่	24,957.5/ A	บาท/ไร่

ต้นทุนผันแปร

1. ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	29.89	บาท/ไร่
2. ค่าจ้างคนขับพร้อมรถแทรกเตอร์	200	บาท/ไร่
3. ค่าบำรุงรักษาเครื่องหยอด	14.9	บาท/ไร่
รวมค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่	244.79	บาท/ไร่

ความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัติต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (A) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องหยอด, บาท/ไร่ = *ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปร* (6)

= (24,957.5/ A) + 244.79

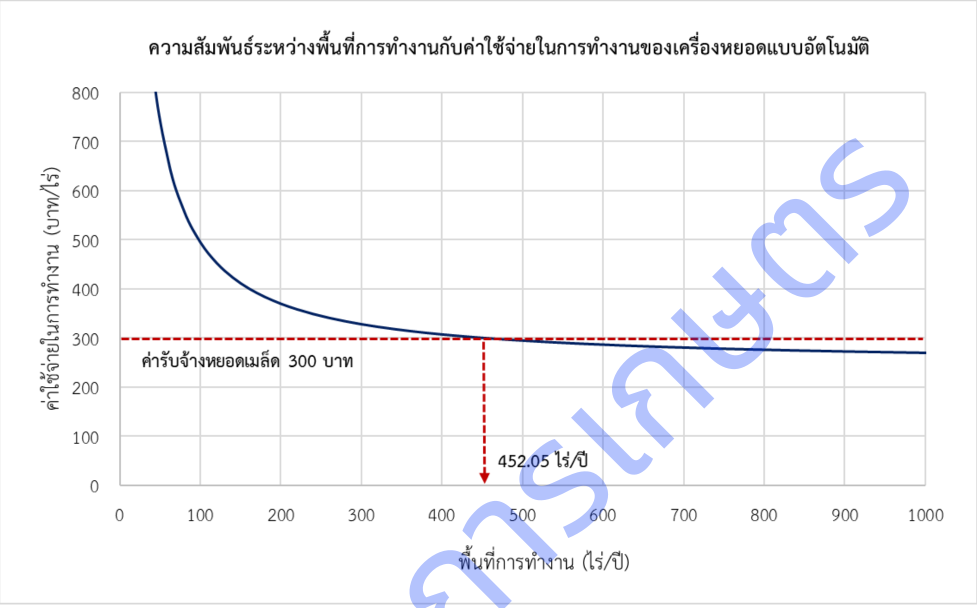
จุดคุ้มทุนของการใช้งานเครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ สามารถคำนวณได้เมื่อต้นทุนต่อปีในการใช้งานเครื่องหยอดจากสมการที่ 6 ซึ่งเท่ากับค่ารับจ้างหยอดเมล็ดในราคา 300 บาท/ไร่

$$300 = (24{,}957.5/ A) + 244.79$$

กรมวิชาการเกษตร

A = 452.05 ไร่/ปี

ดังนั้นการใช้งานเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับพืชไร่มีจุดคุ้มทุน (Break-even Point, BEP) เท่ากับ 452.05 ไร่/ปี กล่าวคือ เกษตรกรที่จะซื้อเครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัติไปใช้งานหรือนำไปรับจ้างควรมีพื้นที่การใช้งานไม่น้อยกว่า 452.05 ไร่/ปี และใช้งานอย่างน้อยเป็นระยะเวลา 8 ปี จึงจะคุ้มในการใช้งานหรือรับจ้างหยอด ดังแสดงในภาพที่ 1.17



ภาพที่ 1.17 แสดงจุดคุ้มทุน (Break-even Point, BEP) ของเครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัติ

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบระบบควบคุมอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยอัตโนมัติสามารถกำหนดอัตราการหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยได้ตามคำแนะนำเทคโนโลยีการปลูกพืช โดยผลการทดสอบ พบว่า การปลูกข้าวโพดที่ระยะปลูก 20x75 และ 25x75 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 2.71 และ 2.02 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอดปุ๋ยเฉลี่ย 45.98 กก./ไร่ สำหรับการปลูกถั่วเหลืองระยะปลูก 15x50 และ 20x50 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 13.15 และ 11.35 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอดปุ๋ยเฉลี่ย 27.75 กก./ไร่ สำหรับการปลูกถั่วเขียวระยะปลูก 15x50 และ 20x50 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 7.15 และ 6.02 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอดปุ๋ยเฉลี่ย 27.47 กก./ไร่ และสำหรับการปลูกถั่วลิสงระยะปลูก 20x50 และ 25x50 ซม. มีอัตราการหยอดเท่ากับ 19.6 และ 15.5 กก./ไร่ ตามลำดับ และมีอัตราการหยอดปุ๋ยเฉลี่ย 30.15 กก./ไร่ โดยการหยอดเมล็ดพืชมีค่าความแม่นยำเฉลี่ย 92.93% และการหยอดปุ๋ยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ย 90.38 % แต่อย่างไรก็ตามเครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติยังมีข้อจำกัดของการใช้งานในเรื่องของความเร็วของรถแทรกเตอร์ที่ต้องใช้ความเร็วไม่เกิน 1.25 เมตร/วินาที สำหรับการหยอดข้าวโพด และใช้ความเร็วไม่เกิน 1.5 เมตร/วินาที สำหรับการหยอด

กรมวิชาการเกษตร

ถั่วเหลือง ถั่วเขียวและลิสง จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัติมีจุดคุ้มทุน (Break-even Point, BEP) เท่ากับ 452.05 ไร่/ปี โดยเกษตรกรที่จะซื้อเครื่องหยอดเมล็ดและปุ๋ยแบบอัตโนมัติไปใช้งานหรือนำไปรับจ้างควรมีพื้นที่การใช้งานไม่น้อยกว่า 452.05 ไร่/ปี และใช้งานอย่างน้อยเป็นระยะเวลา 8 ปี จึงจะคุ้มในการใช้งานหรือรับจ้างหยอด ซึ่งเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นการก้าวไปสู่การทำเกษตรแบบแม่นยำที่ช่วยให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืช โดยการใช้ปริมาณเมล็ดพันธุ์และปุ๋ยได้ตามลักษณะความอุดมสมบูรณ์ของดินที่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

กรมวิชาการเกษตร

โครงการวิจัยที่ 2

วิจัยและพัฒนาเครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงที่ควบคุมการสั่นของขาขุดด้วยระบบอัตโนมัติแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กเพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์
Research and Development of Peanut Combine Harvester with Automatic Control of Digger Leg Vibration Attached to a Small Tractor for Seed Production

ศักดิ์ชัย อาษาวัง, เวียง อากรชี, วุฒิพล จันทร์สระคู, เอกภาพ ป้านภูมิ,
ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์, สิทธิพงษ์ ศรีสว่างวงศ์,
Sakchai Asawang, Weang Arekornchee, Wuttipol Jansrakool Akkaparp Panpoom
Thinnasit Kraisinsak, Sittipong Srisawangwong

กรมวิชาการเกษตร

คำสำคัญ (Key words)

ถั่วลิสง เครื่องขุด เครื่องเก็บเกี่ยว ระบบควบคุมอัตโนมัติ
Peanut Digger harvester machine Automatic Control

บทคัดย่อ

เครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงที่ควบคุมการสั่นของขาขุดด้วยระบบอัตโนมัติแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กเพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ ใช้รถแทรกเตอร์ขนาด 21 แรงม้าเป็นต้นกำลัง โซ่หนีบต้นถั่วติดตั้งในแนวขนานกับตัวแทรกเตอร์และมีชุดลูกปลิดอยู่ใต้โซ่หนีบ ส่วนกระบะจัดเก็บฝักถั่วลิสงติดตั้งอยู่ด้านหลัง เครื่องต้นแบบที่ไม่สั่นชุดขามีการสูญเสียรวมต่ำกว่าแบบสั่น โดยควรเลือกใช้งานที่เกียร์ L2 รอบเครื่องยนต์ 1,000 หรือ 1,200 รอบต่อนาที การสูญเสียจากฝักที่ไม่ถูกขุด ฝักร่วงบนดิน และการแตกหักมีน้อย และมีการสูญเสียรวมในช่วง 9 %- 11.8 % อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 2.31 ลิตร / ไร่ ประสิทธิภาพเชิงพื้นที่ 83.33 % มีจุดคุ้มทุน (Break-even Point, BEP) เท่ากับ 45.29 ไร่ / ปี หากมีการรับจ้าง 200 ไร่ / ปี ที่ราคารับจ้างประมาณ 800 บาท / ไร่ จำนวนวันขั้นต่ำที่ต้องปฏิบัติงานเท่ากับ 17 วันต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 1.55 ปี

Abstract

Peanut Combine Harvester with Automatic Control of Digger Leg Vibration Attached to a Small Tractor for Seed Production using a 21 hp tractor. The nut chain is mounted parallel to the tractor and has a set of knives under the chain. The peanut pod storage pickup is located at the back. Prototype that doesn't shake the legs. have lower total loss than oscillating type It is preferable to use the L2 gear at 1,000 or 1,200 rpm, which has a total loss in the range of 9% - 11.8%, but losses from unearthed pods, pod fall on the ground and breakage are minimal. Fuel consumption 2.31 liters / rai, spatial efficiency 83.33%, break-even point (BEP) equal to 45.29
rai / year, if there is a contract of 200 rai / year at the contract price of about 800 baht / rai, the minimum number of days The required work time is 17 days per year, payback period 1.55 years.

บทนำ (Introduction)

เนื่องจากรัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมการปลูกพืชที่ใช้น้ำน้อยทดแทนการปลูกข้าวนาปรัง ซึ่งถั่วลิสงเป็นพืชหนึ่งที่มีศักยภาพและมีความเหมาะสม เพราะเป็นพืชที่ใช้น้ำตลอดฤดูปลูกน้อยกว่าข้าว และตลาดมีความต้องการมาก จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรปี พ.ศ. 2558 พบว่าประเทศไทยมีความต้องการเมล็ดถั่วลิสงปริมาณมากถึง 164,595 ตัน แต่ผลิตได้เพียง 36,337 ตัน ส่งผลให้มีการนำเข้าถั่วลิสงจากต่างประเทศมากถึง 79,784 ตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 1,100 ล้านบาท สาเหตุที่ทำให้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการเนื่องจากเนื้อที่เพาะปลูกลดลง และผลผลิตต่อไร่ของประเทศอยู่ในระดับต่ำ โดยพืชกลุ่มถั่วเศรษฐกิจมีพื้นที่ปลูกไม่มากนัก โดยถั่วเหลืองมีไม่ถึง 2 แสนไร่ ถั่วเขียวมีประมาณ 8.5 แสนไร่ และถั่วลิสงมีประมาณ 1.5 แสนไร่ ส่วนความต้องการเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลิสง มีประมาณ 7,300 4,200 และ 3,000 ตัน ตามลำดับ แต่หน่วยงานต่าง ๆ ผลิตได้เพียง 812 617 และ 267 ตัน เท่านั้น หรือคิดเป็นร้อยละ 11 15 และ 9 ตามลำดับ ทำให้เมล็ดพันธุ์มีราคาแพงขึ้น และส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตถั่วลิสงสูงขึ้น

การแก้ปัญหาขาดแคลนเมล็ดพันธุ์คุณภาพดี กรมวิชาการเกษตรได้ผลิตเมล็ดพันธุ์หลักที่รัฐบาลแนะนำและส่งเสริมไปให้สหกรณ์การเกษตร กลุ่มเกษตรกร และผู้ประกอบการรายย่อยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากทำการขยายพันธุ์ ภายใต้การดูแลและแนะนำของเจ้าหน้าที่ที่มีความชำนาญด้านการขยายพันธุ์พืชที่มีอยู่ตามศูนย์วิจัยต่างๆ นอกจากนี้ยังส่งเสริมเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวที่ลดการสูญเสีย และประหยัดแรงงาน เนื่องจากเครื่องขุดถั่วลิสงสามารถทำงานได้มากกว่าการใช้แรงงานคนราว 133 เท่า แต่เครื่องเก็บเกี่ยวถั่วลิสงขนาดใหญ่ที่มีระบบขับเคลื่อนตัวเองในตัวแบบตีนตะขาบนั้นเหมาะกับการเก็บเกี่ยวในแปลงปลูกขนาดใหญ่เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการแปรรูปในโรงงานขนาดใหญ่ จึงยังไม่เหมาะกับการใช้งานในแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ซึ่งเหมาะกับการใช้แทรกเตอร์

กรมวิชาการเกษตร

ขนาดเล็กเป็นต้นกำลังลากพ่วงมากกว่า อีกทั้งการใช้เครื่องขนาดเล็กยังสามารถจัดการทางด้านคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ได้ง่ายกว่า ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสง ที่ควบคุมการสั่นของขาขุดด้วยระบบอัตโนมัติ แบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กและมีระบบการปลิดฝักจะเป็นการลดทั้งเวลาและขั้นตอนในการเก็บเกี่ยวได้มากขึ้น จึงเป็นการจูงใจและช่วยสนับสนุนการเพิ่มพื้นที่ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงของกลุ่มเกษตรกรเครือข่ายที่ร่วมโครงการผลิตเมล็ดพันธุ์ ซึ่งส่วนมากแล้วมีพื้นที่ปลูกรายละประมาณ 5 ไร่ ให้สามารถเพิ่มพื้นที่การปลูกได้ไม่ต่ำกว่ารายละ 20 ไร่ จึงเป็นการช่วยลดปัญหาการขาดแคลนเมล็ดพันธุ์ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพได้

การทบทวนวรรณกรรม

กรอบแนวคิดในการวิจัยและพัฒนาเครื่องขุดถั่วลิสง เริ่มจากการศึกษาวิธีการเก็บเกี่ยวถั่วลิสง และการศึกษาเครื่องขุดถั่วลิสง และเครื่องจักรอื่นที่มีการทำงานคล้ายกัน ทั้งจากต่างประเทศและในประเทศไทย แล้วนำข้อดีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ ซึ่งคาดหวังว่า เครื่องต้นแบบที่ได้จะเพิ่มความศักยภาพในการผลิตเมล็ดพันธุ์ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ ช่วยลดต้นทุนแรงงานลงได้อย่างเหมาะสม ซึ่งพบว่าวิธีการเก็บเกี่ยวถั่วลิสงโดยทั่วไปประกอบด้วย 1) การถอนหรือดึงด้วยแรงงานคน นิยมใช้กับแปลงที่มีดินร่วนซุย ไม่แน่นทึบ แต่วิธีนี้ยังมีประสิทธิภาพการทำงานต่ำ ฝักมักขาดติดดิน ทำให้ไม่สามารถขยายพื้นที่เพาะปลูกได้ 2) การขุดด้วยจอบ วิธีนี้พบโดยทั่วไปในประเทศไทย ใช้กับแปลงที่ดินแน่นทึบ แข็งหรือแห้งเกินไป ซึ่งหากถอนด้วยมืออย่างเดียวฝักจะขาดติดดินมาก จึงใช้จอบขุดและเขย่าดินออกปรกติทำงานได้ช้ากว่าการถอนด้วยมือ และหากพื้นที่ขนาดใหญ่จะมีความเหนื่อยล้าสะสม จึงเป็นการสิ้นเปลืองเวลาและแรงงานมาก 3) การใช้เครื่องขุดถั่วลิสงทั้งต้น เครื่องจะขุดยกดินและต้นถั่วให้ลอยพ้นหัวขุดแล้วทิ้งกลับลงไปในแปลง เพื่อให้ดินรอบต้นถั่วแตกตัวหรือหลวมฟูขึ้น ทำให้ใช้แรงงานถอนดึงได้ง่ายและสะดวกขึ้น มีข้อดีคือ อัตราการทำงานสูง ใช้ได้กับดินที่แน่นทึบหรือร่วนปนทรายก็ได้ แต่ยังสิ้นเปลืองแรงงานคนมาก และต้นถั่วที่ทิ้งลงมีการกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ และมีบางส่วนถูกดินทับไว้ 4) เครื่องขุดและแยกดินแบบไม่มีการเขย่า เครื่องแบบนี้จะต่างกับแบบขุดทั้งต้น โดยจะแยกดินออกจากต้นถั่วได้มากขึ้นด้วยกลไกที่ไม่ซับซ้อน โดยเครื่องจะขุดถั่วทั้งต้นขึ้นมาพร้อมกับดิน และส่งเข้ากลไกสำหรับแยกดิน มีการวางต้นถั่วได้ดีขึ้น โดยปล่อยต้นถั่วลงบนมูลดินที่ถูกแยกออกมาก่อนแล้ว ทำให้โอกาสถูกดินทับน้อยลงแต่ความสามารถในการทำงานน้อย และใช้ได้กับแปลงที่ปลูกแบบยกร่องเท่านั้น 5) การใช้เครื่องขุด พร้อมเขย่าแยกดินที่ชุดลำเลียงและโรยตากต้นถั่ว (Groundnut digger – shaker windrower) มีชุดหัวขุดทำหน้าที่ตัดรากถั่วลิสงที่ระดับต่ำกว่าฝักแล้วยกถั่วลิสงทั้งต้นขึ้นมาพร้อมกับดิน ขณะเดียวกันดินรอบต้นถั่วจะแตกตัวก่อนถูกส่งขึ้นสายพานลำเลียง การสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากการทำงานของชุดเครื่องมือจะช่วยให้ดินเกิดการแยกตัวได้ดียิ่งขึ้น ส่วนต้นถั่วที่แยกดินออกไปแล้วจะถูกโรยทิ้งลงบนมูลดินที่ด้านหลังของสายพานลำเลียงเพื่อตากให้แห้ง 6) การใช้เครื่องขุดพร้อมเขย่าที่ชุดลำเลียงและโรยตากต้นถั่วแบบพลิกกลับ (Inverters) มีอุปกรณ์เพิ่มเข้ามาที่ส่วนท้ายของสะพานลำเลียง เพื่อทำหน้าที่พลิกกลับต้นถั่วให้ฝักหงายขึ้นด้านบน ซึ่งทำให้ฝักตากแห้งได้เร็วขึ้น 7) การใช้เครื่องเก็บเกี่ยวและนวดถั่วลิสง ซึ่งเป็นเครื่องที่ทำงานในขั้นตอนต่อจากเครื่องขุดต้นถั่วลิสงซึ่งต้นถั่วถูกขุดและโรยตากไว้เป็นแนวยาวในแปลงจนแห้งดีแล้ว เครื่องถูกลากจูงด้วยแทรกเตอร์ กลไกการทำงานต่าง ๆ ทำงานโดยการถ่ายทอดกำลังขับจากเพลาอำนวยกำลัง กลไกการทำงานค่อนข้างซับซ้อน มีส่วนประกอบหลัก เช่น หัวเก็บต้นถั่วเกลียวป้อน ชุดลูกโม่ปลิดฝัก พัดลมทำความสะอาด ตะแกรงทำความสะอาดแยกเศษต้นถั่วและสิ่งเจือปน และมีถังบรรจุฝักถั่วลิสง เป็นต้น เครื่องแบบนี้ถูกพัฒนาขึ้นใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกา เหมาะกับการใช้งานในพื้นที่

กรมวิชาการเกษตร

เพาะปลูกขนาดใหญ่เพื่อป้อนโรงงานอุตสาหกรรม แต่ยังมีข้อจำกัดเนื่องจาก ชนิดของดิน อากาศ ลักษณะ และปริมาณน้ำฝน อาจกล่าวได้ว่าเครื่องแบบนี้เหมาะกับการใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาเท่านั้น นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงเครื่องเก็บเกี่ยวอื่น ๆ ที่มีการทำงานคล้ายกัน เช่นเครื่องขุดมันฝรั่ง โดยทั่วไปจะมีชุดขุด และชุดลำเลียงที่เป็นสายพานแบบตะแกรงร่อนดิน และครื่องขุดขนาดเล็กแบบขาขุดไม่สั่นแต่มีการสั่นที่ซี่ร่อนดินควบคุมด้วยกลไก แต่การใช้กลไกยังไม่สามารถปรับค่าการสั่นที่เหมาะสมกับความเร็วการเคลื่อนที่ของรถทำให้การร่อยแยกดินยังไม่ดีพอ แต่สามารถนำหลักการสั่นของซี่ร่อนดินมาประยุกต์ใช้ได้

จากการศึกษาอาจสรุปได้ว่า เครื่องจากต่างประเทศมักมีขนาดใหญ่เช่น เครื่องขุดถั่วลิสงทั้งต้นเครื่องขุดแบบเขย่าที่ชุดลำเลียงและโรยตากแบบพลิกกลับ (Inverters) ซึ่งใช้ร่วมกับเครื่องเก็บเกี่ยวและนวดถั่วลิสงแต่เหมาะกับการใช้งานในพื้นที่ปลูกขนาดใหญ่เท่านั้น และเนื่องจากปัญหาฐานล้อที่กว้างและมีการเหยียบต้นถั่ว จึงไม่เหมาะกับการผลิตเมล็ดพันธุ์ในประเทศไทย ซึ่งส่วนมากแปลงปลูกมีขนาดเล็ก

เครื่องขุดถั่วลิสงขนาดเล็กของประเทศญี่ปุ่นโดยทั่วไปมีการขุดโดยไม่มีการสั่นของขาขุด แล้วเก็บรวบรวมด้วยแรงงานคนนำไปตากให้แห้ง ก่อนนำไปปลิดฝักด้วยเครื่องปลิด และยังมีเครื่องขุดอีกแบบหนึ่งที่ใช้กลไกควบคุมการสั่นที่ขาขุด แต่การใช้กลไกยังไม่สามารถปรับค่าการสั่นที่เหมาะสมกับความเร็วการเคลื่อนที่ของรถเช่นกัน ทำให้มีดินอัดที่หน้าขาขุดได้นอกจากนี้ยังไม่พบว่ามีการสั่นของชุดซี่ร่อนเศษดินแต่สามารถนำหลักการสั่นของขาขุดมาประยุกต์ใช้ได้

เครื่องขุดถั่วลิสงจากประเทศจากไทยขนาดเล็กที่เคยมีการวิจัยและใช้งานเป็นเครื่องขุดและแยกดินแบบไม่มีการเขย่า แต่ยังมีปัญหาเรื่องมีเศษดินติดกับต้นถั่ว นอกจากนี้การควบคุมยังไม่สะดวก เพราะต้นถั่วหล่นลงมาขวางทางเดินของผู้ควบคุมเครื่อง รวมถึงการมีเถาวัลย์และวัชพืชเกาะติดที่ขาขุดมากหากแปลงปลูกมีวัชพืชส่วนเครื่องขนาดใหญ่ที่มีใช้งานในแปลงปลูกขนาดใหญ่ ซึ่งมีระบบลำเลียงต้นถั่วด้วยตะแกรงสายพานแต่ก็เหมาะกับการการใช้งานในแปลงขนาดใหญ่ที่ปลูกเพื่อส่งผลผลิตเข้าสู่โรงงานแปรรูป จึงยังไม่เหมาะกับการเก็บเกี่ยวเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ในแปลงขนาดเล็ก สำหรับเครื่องปลิดฝักถั่วลิสงที่มีรายงานการใช้งานในประเทศไทยเป็นแบบทำงานอยู่กับที่ ลูกปลิดมีลักษณะเป็นทรงกระบอกคู่ที่มีซี่เหล็กเส้นวางรอบแกนทรงกระบอกและหมุนเข้าหากันเพื่อปลิดฝักและแบบลูกกลิ้งที่มีขดลวดเชื่อมติดผิวด้านนอกในการหมุนปลิดฝัก นอกจากนี้ยังพบว่ามีเครื่องปลิดแบบแถบยางมีริมเป็นรอยหยักฟันเลื่อย และแบบท่อนเหล็กหุ้มด้วยสายยางท่อน้ำ โดยติดตั้งเครื่องปลิดฝักที่ด้านหน้ารถไถเดินตาม แต่จากความต้องการที่ให้มีการปลิดอย่างต่อเนื่องตลอดการขุด จึงเห็นว่าชุดปลิดฝักแบบทรงกระบอกเหมาะสมกับการปลิดฝักแบบต่อเนื่องได้

กรอบการวิจัยและพัฒนาเครื่องขุดเก็บ และปลิดฝักถั่วลิสงที่ควบคุมการสั่นของขาและผาลขุดด้วยระบบอัตโนมัติ แบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์เพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ จึงไม่น่าเลือกรูปแบบเครื่องจักรกลขนาดใหญ่ เพราะ ฐานล้อที่กว้างอาจมีการเหยียบต้นถั่วได้ รวมถึงปัญหาการอัดตัวของดินจากน้ำหนักรถขนาดใหญ่ จึงควรเลือกรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก โดยชุดขุดควรมีการสั่นของขาขุด และมีการสั่นของซี่ร่อนเศษดิน ควรมีระบบสายพานหนีบลำเลียงต้นถั่วเข้าสู่ส่วนการปลิดฝักแบบทรงกระบอกคู่ที่มีซี่ปลิดรอบแกนพร้อมกับการจัดเก็บฝักที่ปลิดแล้วในกระบะบรรทุกโดยนำรูปแบบเครื่องจักรต่างๆ มาประยุกต์ใช้ ดังภาพที่ 2.1

กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 2.1 กรอบแนวคิดการนำหลักการของเครื่องจักรต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อการวิจัยและพัฒนาเครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงที่ควบคุมการสั่นของขาและผาลขุดด้วยระบบอัตโนมัติ แบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์เล็ก

วิธีการเก็บเกี่ยวถั่วลิสง

การถอนดึงด้วยแรงงานคน

เป็นวิธีหลักที่ทำมานานและยังถือปฏิบัติอยู่ โดยเกษตรกรจะใช้มือรวบต้นถั่วลิสงในกอเดียวกันเข้าด้วยกัน แล้วถอนดึงขึ้นตรง ๆ พร้อมกันทั้งกอ หากกอใดมีต้นล้มอยู่จะเสียเวลารวมกอมาก เมื่อถอนขึ้นมาแล้วจะเขย่าให้ดินแยกออก และปลิดฝักออกทันทีในกรณีต้องการขายฝักสด หากต้องการขายฝักแห้งจะวางตากทั้งต้นไว้ในแปลงประมาณ 2 วัน และนำขึ้นตากบนลานอีก 7 – 10 วัน รอให้แห้งสนิทก่อน หากต้องการเก็บเป็นเมล็ดพันธุ์จะตากต่อให้แห้งสนิทจริง ๆ เพื่อไม่ให้เชื้อราและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย เพราะจะทำให้มีอัตราการงอกต่ำ การเก็บเกี่ยวด้วยวิธีนี้นิยมใช้กับแปลงที่มีดินร่วนซุย ไม่แน่นทึบ และขณะถอนดึงดินต้องมีความชื้นพอสมควรจึงจะถอนได้ง่ายและฝักขาดติดดินน้อย วิธีนี้ยังมีประสิทธิภาพการทำงานต่ำ ฝักขาดติดดินเสมอ ทำให้ไม่สามารถขยายพื้นที่เพาะปลูกได้

การขุดด้วยจอบ

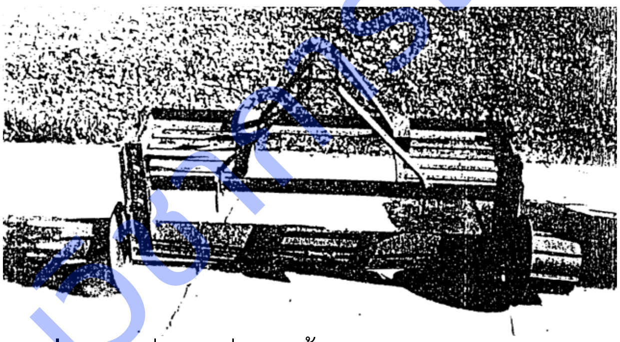
วิธีนี้พบโดยทั่วไปในประเทศไทย ใช้กับแปลงที่ดินแน่นทึบ แข็งหรือแห้งเกินไป ซึ่งหากถอนด้วยมืออย่างเดียวฝักจะขาดติดดินมาก จึงใช้จอบขุดและเขย่าดินออก (อารีย์, 2527) ปรกติทำงานได้ช้ากว่าการถอนด้วยมือเพราะมีหลายขั้นตอนและฝักถั่วมักเสียหายจากการถูกสับและกระทบจากจอบ และเกิดความเหนื่อยล้าแก่

กรมวิชาการเกษตร

ผู้ปฏิบัติงานมากกว่า และหากพื้นที่ขนาดใหญ่จะมีความเหนื่อยล้าสะสม จึงเป็นการสิ้นเปลืองเวลาและแรงงานมาก

เครื่องขุดถั่วลิสงทั้งต้น

เป็นเครื่องที่คล้ายการขุดด้วยจอบ แต่ใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลังแทนแรงงานคน สามารถขุดได้ทั้งแถวเดียวและหลายแถวพร้อมกัน เครื่องจะขุดยกดินและต้นถั่วให้ลอยพ้นหัวขุดแล้วทิ้งกลับลงไปในแปลงอย่างเดิม เพื่อให้ดินรอบต้นหรือกอถั่วแตกตัวหรือหลวมฟูขึ้น ทำให้ใช้แรงงานถอนดึงได้ง่ายและสะดวกขึ้น จึงมีข้อดี อัตราการทำงานสูง ใช้ได้กับดินที่แน่นทึบหรือร่วนปนทรายก็ได้ แต่ยังสิ้นเปลืองแรงงานคนมาก และต้นถั่วที่ทิ้งลงมีการกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ บางส่วนถูกดินทับไว้ ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ ตัวอย่างเครื่องแบบนี้คือ groundnut digger ซึ่งเป็นเครื่องขุดถั่วลิสงที่พัฒนาขึ้นในประเทศปากีสถาน (RNAM, 1991).ใช้กับแทรกเตอร์ขนาด 60 - 80 แรงม้า ใช้การต่อพ่วงแบบสามจุด หัวขุดเป็นเหล็กแผ่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า วางขวางทิศทางการทำงานหรือแถวปลูก มีความสามารถในการทำงาน 0.25 – 0.30 เฮกแตร์ต่อชั่วโมง (1.5 -1.8 ไร่ต่อชั่วโมง) ความเร็วในการทำงาน 2 – 2.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ฝักเสียหาย 30 % ทั้งนี้เหมาะกับดินสภาพค่อนข้างแห้ง แต่ยังต้องใช้แรงงานจำนวนมากเข้าร่วมทำงาน ต้นถั่วที่ทิ้งลงมีการกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ บางส่วนถูกดินทับไว้ ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 เครื่องขุดถั่วลิสงทั้งต้นแบบgroundnut digger

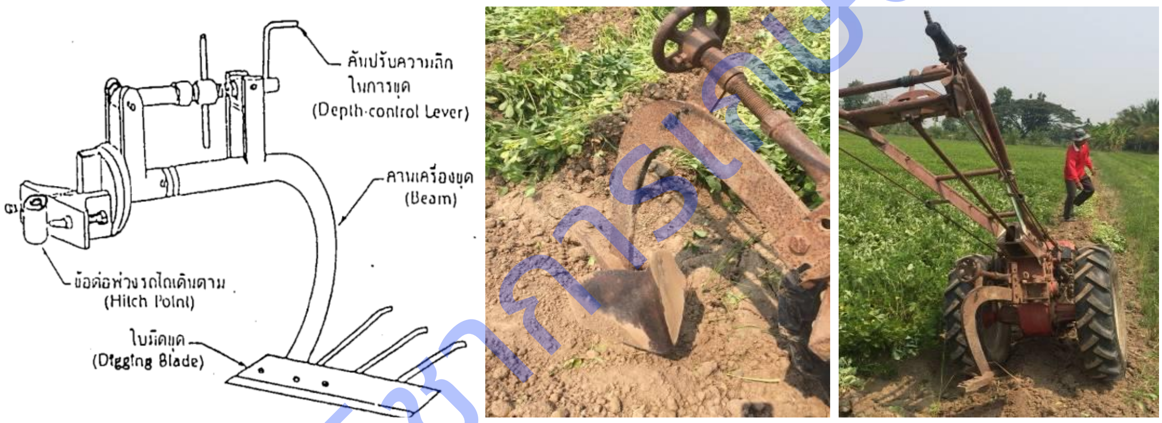
ที่มา: RNAM, 1991

กรมวิชาการเกษตร

เครื่องขุดและแยกดิน

เครื่องแบบนี้จะต่างกับแบบขุดทั้งต้น โดยจะแยกดินออกจากต้นถั่วได้มากขึ้นด้วยกลไกที่ไม่ซับซ้อน โดยเครื่องจะขุดถั่วทั้งต้นขึ้นมาพร้อมกับดิน และส่งเข้ากลไกสำหรับแยกดิน และมีการวางต้นถั่วได้ดีขึ้น โดยปล่อยต้นถั่วลงบนมูลดินที่ถูกแยกออกมาก่อนแล้ว ทำให้โอกาสถูกดินทับน้อยลง ตัวอย่างของเครื่องแบบนี้คือ เครื่องขุดถั่วลิสงพ่วงรถไถเดินตาม ซึ่งออกแบบและสร้างขึ้นโดย สุรเวทย์ (2528) แสดงดังภาพที่ 2.3 ตัวใบมีดขุดมีคานเชื่อมต่อเข้ากับจุดต่อพ่วงของรถไถเดินตาม ใบมีดเป็นแผ่นเหล็กคล้ายไถหัวหมูซึ่งวางทำมุมในแนวราบกับการเคลื่อนที่และมีมุมขุดเล็กน้อย หางใบมีดมีเหล็กเส้นต่อยาวออกไปด้านหลัง และทำมุมให้โค้งลงด้านหลังเพื่อทำหน้าที่แยกดินออกและวางต้นถั่วลิสง ในขณะทำงานใบมีดจะยกดินและถั่วทั้งต้นขึ้นมาทีละแถว เละเลื่อนผ่านใบมีดและซี่เหล็กไปหล่นลงด้านหลังใบมีดในลักษณะคล้ายไถหัวหมูแต่ไม่พลิกดิน ดินรอบ ๆ ต้นถั่วจะแตกออก

และหล่นลอดซี่เหล็กลงพื้นก่อน จึงเสมือนต้นถั่วถูกถอนด้วยมือคนแล้ววางรายลงเหนือดินที่บริเวณเดิม แล้วใช้แรงงานคนตามเก็บภายหลัง ทำให้สะดวกพอสมควร เพราะไม่ต้องออกแรงถอนต้นถั่วมากนัก เครื่องนี้ถูกออกแบบให้ใช้งานในแปลงปลูกแบบยกร่อง และสภาพดินค่อนข้างแห้ง ใช้แรงงานเพียงคนเดียวในการควบคุมการทำงาน สามารถทำงานได้ 0.35 – 0.5 ไร่/คน/วัน ใช้ความเร็วในการทำงาน 1.2 – 2.0 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีฝักเสียหาย 5 – 7 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเครื่องขุดนี้จึงมีข้อดี คือใช้งานได้ในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะดินร่วนปนทราย เครื่องมีขนาดเล็ก น้ำหนักน้อย ใช้กับต้นกำลังขนาดเล็กได้ ทดแทนแรงงานคนได้ดีพอสมควร แต่ยังมีข้อด้อยคือ ความสามารถในการทำงานน้อย และใช้ได้กับแปลงที่ปลูกแบบยกร่องเท่านั้น และหากพื้นที่ไม่ราบเรียบใบมีดจะเอียง ทำให้ประสิทธิภาพการขุดเปลี่ยนไป รวมถึงยังแยกดินออกจากต้นและฝักถั่วได้ไม่ดีนัก เพราะยังต้องใช้แรงงานตามเก็บและเขย่าดินออกจากต้นถั่ว นอกจากนี้การควบคุมยังไม่สะดวก เพราะต้นถั่วหล่นลงมาขวางทางเดินของผู้ควบคุมเครื่อง รวมถึงการมีเถาวัลย์และวัชพืชเกาะติดที่ขาขุดมากหากแปลงปลูกมีวัชพืชซึ่งต้นแบบมีการพัฒนาและใช้งานในเขตจังหวัดอุดรธานีและจังหวัดใกล้เคียง



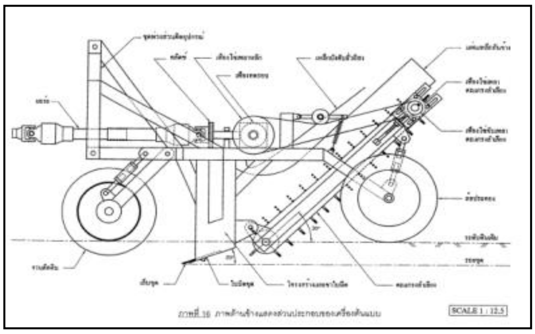
ภาพที่ 2.3 เครื่องขุดและแยกดิน: เครื่องขุดถั่วลิสงแบบติดท้ายรถไถเดินตาม

ที่มา: สุรเวทย์ (2528)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไชยยงค์ (2543) วิจัยและสร้างเครื่องเก็บเกี่ยวถั่วลิสงพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ แบบใบมีดขุด แยกดิน และโรยตาก แสดงดังภาพที่ 2.4 เครื่องมีขนาด 2.09 x 2.35 x 1.51 เมตร หนัก 651.3 กิโลกรัม หน้ากว้างการทำงาน 1.40 เมตร มีส่วนประกอบสำคัญคือ จานตัดดิน ใบมีดขุด ตะแกรงลำเลียงและแยกดิน และล้อประคอง ผลการทดสอบในแปลงถั่วลิสงตัวอย่างซึ่งดินเป็นดินร่วนปนทราย cone index 6.57 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความชื้น 8.66 % ฐานแห้ง พบว่า ความเร็วที่เหมาะสมต่อการใช้งานคือ 2.92 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีความสามารถในการทำงานจริง 2.41 ไร่ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพเชิงเวลา 92.99 % มีอัตราการสูญเสียถั่วลิสงฝักสดโดยน้ำหนัก 11.96 % ใช้แรงฉุดลากเฉลี่ย 0.37 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร และต้องการกำลังเพื่อใช้ในการทำงาน 4.04 กิโลวัตต์ แต่เครื่องนี้ยังไม่มีการสั่นของขาขุด อาจทำให้ดินแตกตัวได้ไม่ดีนัก แต่สามารถนำข้อมูลเรื่องมุมผาลขุดและการจัดวางอุปกรณ์ โดยการนำชุดหนีบจับและชุดปลิดฝักมาประยุกต์ใช้แทนตะแกรงลำเลียงและแยกดินได้

กรมวิชาการเกษตร



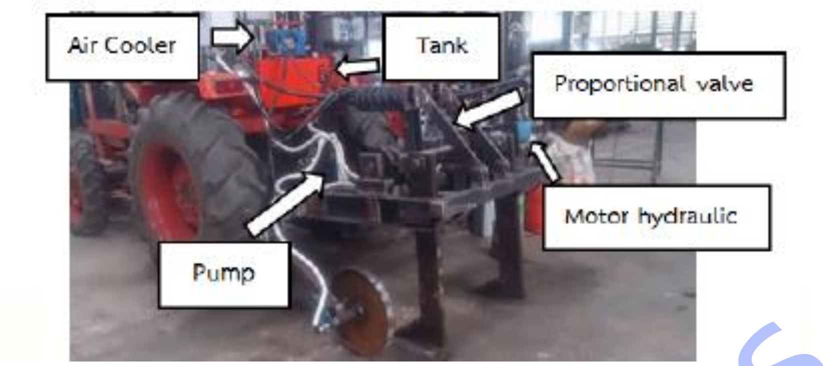
ภาพที่ 2.4 เครื่องเก็บเกี่ยวถั่วลิสงพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ แบบใบมีดขุด แยกดินและโรยตาก
ที่มา: ไชยยงค์ (2543)

Nyamapa และ Salokhe (2000) ศึกษาถึงพื้นที่การแตกตัวของดินและกำลังของอุปกรณ์แบบสั่นสะเทือนในพื้นที่ดินร่วนปนทราย พบว่าการแตกตัวของดินมีการแตกตัว การฟู และการยกตัวตามลักษณะของการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ และความหนาแน่นโดยรวมของดินหลังผ่านการไถด้วยอุปกรณ์การไถแบบสั่นสะเทือนมีค่าลดลงมากกว่าการไถแบบไม่สั่นสะเทือน 70 – 270 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถนำข้อดีของการสั่น ที่ทำให้ดินแตกตัวได้ดี มาประยุกต์ใช้กับการสั่นของขาขุดถั่วลิสงได้

ตฤณสิษฐ์ (2560) ได้วิจัยไถระเบิดดินดานชนิดสั่นที่ขา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น ดังภาพที่ 2.5 ช่วยให้การสั่นของไถดินดานคงที่ตลอดการไถ ส่งผลให้ไถดินดานมีสมรรถนะการทำงานสูงสุด และเปลี่ยนระบบถ่ายทอดกำลังทางกลเป็นระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต เพื่อลดการสั่นสะเทือนที่ส่งผลต่อคนขับ ชุดถ่ายทอดกำลัง และความคงทนของอุปกรณ์ในรถแทรกเตอร์ การควบคุมความถี่ในการสั่นใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี มีลักษณะการทำงานโดยการป้อนความถี่ที่ต้องการควบคุมผ่านตัวควบคุมแบบฟัซซี ตัวควบคุมแบบฟัซซีจะไปเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลให้น้ำมันไฮดรอลิกไปขับมอเตอร์ไฮดรอลิกซึ่งต่ออยู่กับชุดสั่นสะเทือนของไถระเบิดดินดานทำให้เกิดการสั่นขึ้น โดยใช้สัญญาณป้อนกลับเป็นอุปกรณ์วัด และประมวลผลเป็นความถี่ที่ติดตั้งไว้ ทำการทดสอบในพื้นที่ดินร่วนเหนียวปนทราย ความชื้นดินเฉลี่ย 20.60 % db ความหนาแน่นดินสภาวะแห้งเฉลี่ย 1.66 g cm-3 และค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินเฉลี่ย 2.58 MPa ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 2 ระดับ คือ 1.39 และ 2.09 km h-1 ความถี่ในการสั่น 4 ระดับ คือ 0 7 9 และ 11 Hz และความลึกในการไถ 2 ระดับ คือ 30 และ 40 cm โดยมีความกว้างในการสั่นที่ปลายขาไถคงที่ 36.5 mm และประเมิลผลโดยพิจารณาเลือกปัจจัยทดสอบที่เหมาะสมในการไถระเบิดดินดานจากแบบสอบถามระดับความสำคัญของผลการทดสอบ และระดับความพึงพอใจของผลการทดสอบโดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก พบว่า ปัจจัยทดสอบที่เหมาะสมในการไถระเบิดดินดานคือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ 2.09 km h-1 ความลึกในการไถ 30 cm และความถี่ในการสั่น 9 Hz ให้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนักมากที่สุด 3.170 นอกจากนี้สามารถลดการสั่นสะเทือนต่อคนขับลงได้ 31.74 % -33.95 % ที่ความถี่ในการสั่น ความลึกในการไถ และความเร็วในการเคลื่อนที่เดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับไถระเบิดดินดานชนิดสั่นที่ขา 2 ขาแบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังทางกล ส่วนผลการควบคุมพบว่า การสั่นของขาไถเริ่มสั่นจาก 0 Hz จนถึง 9 Hz ใช้ช่วงเวลา Response Time เท่ากับ 14 ms ช่วงเวลา Delay Time เท่ากับ 6 ms ช่วงเวลา Rise Time เท่ากับ 11 ms และช่วงเวลา Setting Time เท่ากับ 13 ms ไม่เกิดค่าพุ่งเกิน ความถี่ในการสั่น 9 -

กรมวิชาการเกษตร

9.05 Hz ตลอดการไถ จากงานวิจัยนี้ได้นำหลักการควบคุมความถี่ให้คงที่ และเหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของแทรกเตอร์มาประยุกต์ใช้ และจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นส่วนทำงาน ที่ผ่านการประมวลผลด้วยสมองกลเพื่อควบคุมความเร็วรอบของชุดลูกเบี้ยวควบคุมการสั่นของขาขุดได้



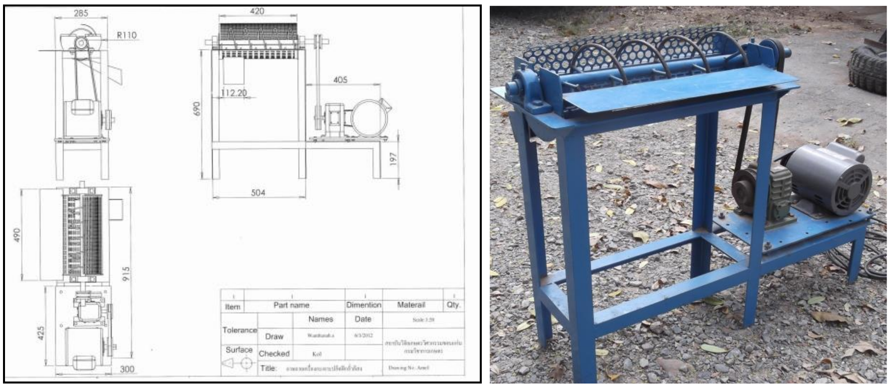
ภาพที่ 2.5 ไถระเบิดดินดานชนิดสั่นที่ขา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น

ที่มา: ตฤณสิษฐ์ (2560)

ประสาทและคณะ (2556) ได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนาเครื่องขุดเก็บมันสำปะหลัง แบบพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ขึ้น เพื่อเป็นการสนับสนุนการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และลดต้นทุนการผลิตมันสำปะหลัง ตลอดจนการแก้ปัญหาขาดแคลนแรงงานในระบบการเก็บเกี่ยว ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ 4 ส่วน ได้แก่1. ส่วนที่เป็นผาลขุด ทำหน้าที่ขุดมันสำปะหลังขึ้นมาจากร่องปลูก 2. ส่วนที่เป็นระบบลำเลียง ทำหน้าที่ลำเลียงมันสำปะหลังที่ขุดขึ้นมาแล้วออกจากแนวร่องดิน 3. ส่วนเป็นกระบะรถบรรทุกชนิดพ่วง เมื่อเหง้ามันสำปะหลังถูกขุดด้วยส่วนผาลขุดแล้ว ส่วนที่เป็นระบบลำเลียง ก็จะหนีบจับตอของเหง้า แล้วลำเลียงส่งมายังรถกระบะบรรทุก เพื่อเก็บรวบรวมและนำมาลงเป็นกองไว้ เพื่อง่ายในการตัดหัวมันสำปะหลังและลำเลียงขึ้นรถบรรทุก 4. เป็นส่วนที่เป็นโครงสร้างหลักรองรับส่วนต่างๆหลักการทำงานของเครื่องขุดมันสำปะหลัง เมื่อนำเครื่องขุดมาพ่วงต่อกับรถแทรกเตอร์ และเมื่อส่วนผาลขุดได้ขุดมันสำปะหลังขึ้นมา เหง้ามันสำปะหลังจะถูกหนีบลำเลียงขึ้นมารวบรวมไว้บนกระบะรถบรรทุก แล้วนำไปกองรวมไว้ที่หัวแปลง เพื่อง่ายในการตัดหัวมันและลำเลียงขึ้นรถบรรทุกต่อไป ซึ่งสามารถนำหลักการของการใช้สายพานหนีบจับมาประยุกต์ใช้หนีบจับต้นถั่วป้อนเข้าสู่ส่วนการปลิดฝักอย่างต่อเนื่องได้

กลวัชร และคณะ (2556) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องปลิดฝักถั่วลิสง ดังภาพที่ 2.6 โดยเครื่องมีความสามารถในการทำงานได้วันละไม่เกิน 200 กิโลกรัมต่อวัน มีเปอร์เซ็นต์ขั้วติดประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และฝักแตกหักไม่เกิน 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสายพันธุ์ถั่วลิสงแต่ละชนิดมีขนาดฝักที่แตกต่างกัน ขั้วติดฝักมีความเหนียวแตกต่างกันมีผลต่อความสามารถในการปลิดฝักของเครื่องปลิด

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 2.6 เครื่องปลิดฝักถั่วลิสง

ที่มา: กลวัชร และคณะ (2556)

เครื่องปลิดฝักถั่วลิสงแบบแถบยางมีริมเป็นรอยหยักฟันเลื่อย ดังภาพที่ 2.7 ได้สร้างและทดสอบเครื่องปลิดฝักและทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงที่จังหวัดอุบลราชธานี โดยสร้างเครื่องปลิดฝักสองแบบคือ แบบแถบยางมีริมเป็นรอยหยักฟันเลื่อย และแบบท่อนเหล็กหุ้มด้วยสายยางท่อน้ำ ติดตั้งเครื่องปลิดฝักที่ด้านหน้ารถไถเดินตามโดยอาศัยเครื่องยนต์ของรถไถเป็นต้นกำลัง ทดสอบเครื่องปลิดฝักกับถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 และสข. 38 อายุ 110 วันหลังปลูก โดยเปรียบเทียบกับการปลิดฝักด้วยมือที่เป็นมาตรฐาน หลังจากนั้นนำฝักที่ปลิดได้ไปเก็บรักษาในสภาพเปิดระยะเวลาต่าง ๆ แล้วทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์โดยการทดสอบความงอก การติดสีเตตระโซเลียม และการนำไฟฟ้าของน้ำแช่เมล็ดพันธุ์ ผลการทดสอบพบว่า เครื่องปลิดทั้งทั้งสองแบบสามารถปลิดเฉลี่ยได้ฝักดีไม่มีขั้วประมาณร้อยละ 80 ฝักดีแต่มีขั้วประมาณร้อยละ 9 ฝักแตกร้าวประมาณร้อยละ 4 และส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 7 เป็นฝักอ่อน คุณภาพภายนอกของฝักที่ปลิดได้ยังไม่สูงพอสำหรับมาตรฐานเมล็ดพันธุเนื่องจากยังมีขั้วติดอยู่ (วารสารวิชาการเกษตร, 2555)

ภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะการทำงานของการนวดถั่วลิสงเมล็ดโต

ที่มา: วารสารวิชาการเกษตร, 2555

เครื่องปลิดฝักถั่วลิสง Groundnut picker BL-2T ดังภาพที่ 2.8 ใช้ต้นกำลังไฟ 3 กิโลวัตต์ หรือเครื่องยนต์ดีเซล 6 แรงม้า ความสามารถของเครื่องผลผลิต 150 - 200 กก. / ชม. ถั่วลิสงไม่แตกและหัก (น้อยกว่า 4 % และ < 0.5% ตามลำดับ) สามารถแทนที่คนงานได้ 10 ถึง 15 คน ซึ่งหลักการของชุดปลิดจากงานวิจัยนี้จะนำไปประยุกต์ใช้ในชุดปลิดฝักแบบต่อเนื่อง โดยมีชุดสายพานหนีบจับและป้อนแบบต่อเนื่องได้

กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 2.8 เครื่อง Groundnut picker BL-2T

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงมีกรอบการวิจัยเรื่อง การวิจัยและพัฒนาเครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงที่ควบคุมการสั่นของขาและผาลขุด ด้วยระบบอัตโนมัติ แบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ ที่เหมาะกับพื้นที่การปลูกของเกษตรกรรายย่อยที่ปลูกถั่วลิสงเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ ควรประกอบด้วย 1) ส่วนชุดขาขุด ซึ่งจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการสั่นของขาและผาลขุด ที่สามารถปรับค่าการสั่นโดยอัตโนมัติที่เหมาะสมกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถ ซึ่งจะทำให้ดินแตกตัวได้ดีไม่ติดฝัก 2) ส่วนซี่ร่อนเศษดินจะมีการควบคุมการสั่นที่เหมาะสมกับการสั่นของขาขุด ซึ่งจะทำให้แยกดินออกได้ดี 3) ชุดหนีบลำเลียงต้นถั่วด้วยสายพานและชุดปลิดฝักแบบทรงกระบอกคู่ที่มีซี่เหล็กกลมติดตั้งไว้โดยรอบ ฝักถั่วลิสงที่ปลิดแล้วจะถูกเก็บไว้ในส่วนกระบะบรรทุกที่อยู่ในชุดเดียวกันกับชุดปลิดฝัก ต้นถั่วที่ถูกปลิดฝักออกแล้วจะถูกทิ้งลงแปลงทางด้านท้ายเครื่องในลำดับต่อไป

ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

กิจกรรมที่ 1 การออกแบบและสร้างเครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงที่ควบคุมการสั่นของขาขุดด้วยระบบอัตโนมัติ แบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ (ดำเนินการปีงบประมาณ 2563)

กิจกรรมที่ 2 การทดสอบเครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงที่ควบคุมการสั่นของขาขุดด้วยระบบอัตโนมัติ แบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ (ดำเนินการปีงบประมาณ 2564)

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์
2. เครื่องมือวัดขนาด ต่าง ๆ เทปวัดระยะ ตลับเมตร นาฬิกาจับเวลา หลักโพลปักระยะ
3. เหล็กและชิ้นส่วนสำหรับสร้างต้นแบบ เครื่องมือและอุปกรณ์งานช่างโรงงาน
4. รถแทรกเตอร์คูโบต้า รุ่น B2140 ขนาด 21 แรงม้า
5. บีกเกอร์สำหรับวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ตาชั่งพิกัด 60 กิโลกรัม และตาชั่งพิกัด 6 กิโลกรัม ทศนิยมอย่างน้อย 2 ตำแหน่ง ค่าความละเอียด 1 กรัม
6. แปลงปลูกถั่วลิสงเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ ซึ่งปลูกถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 พันธุ์ขอนแก่น 6 และพันธุ์ขอนแก่น 5 หรือ พันธุ์ 84-7 หรือ 84-8

กรมวิชาการเกษตร

วิธีการ

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของถั่วลิสงที่ปลูกเพื่อทำเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ รูปแบบการปลูก สัณฐานต่างๆ

2. ศึกษาขนาดความสูง ความกว้าง ของจุดยึดแบบ 3 จุด ของแทรกเตอร์ ขนาด 21 – 24 แรงม้า เพื่อใช้ออกแบบระยะหูยึด ความสูง ความกว้างของชุดโครงเครื่องขุด รวมถึงระยะห่างด้านในและด้านนอกของล้อหน้าและล้อหลัง เพื่อเลี่ยงปัญหาการเหยียบต้นถั่วขณะเครื่องทำงาน ออกแบบความกว้าง ความยาว มุมขุด และรูปทรงใบผาลขุดเพื่อให้เหมาะกับระยะการปลูก และความต้านทานของดินแต่ละชนิด

3. ออกแบบชุดขาขุดแบบไม่สั่น และแบบสั่น เลือกชุดลูกเบี้ยวที่มีระยะเยื้องที่เหมาะสม และเลือกเกียร์ทดที่ต่อพ่วงกับเพลาอำนวยกำลัง ออกแบบชุดโซ่หนีบลำเลียงต้นถั่ว ให้มีความเร็วของชุดลำเลียง ที่เหมาะสมกับปริมาณต้นถั่วที่ลำเลียงในแต่ละความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ ออกแบบชุดปลิดฝัก และกระบะเก็บฝักหลังการปลิด ประกอบติดตั้งกลไก และชุดอุปกรณ์ต่อพ่วง ทดสอบการทำงานในห้องปฏิบัติการ ของแต่ละส่วนและการทำงานในลักษณะการต่อพ่วงทั้งชุดที และทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบในพื้นที่ที่ยังไม่ปลูกถั่วลิสงปรับปรุงแก้ไข

4. เวียนทดสอบในแปลงปลูกถั่วลิสงที่มีอายุเก็บเกี่ยวตามข้อแนะนำของกรมวิชาการเกษตร เก็บข้อมูลผลการขุดเก็บและปลิดฝัก ได้แก่ ความสูญเสียต่าง ๆ ความเสียหายต่อเมล็ด โดยสุ่มเช็คในพื้นที่ 4 x 0.6 ตารางเมตร จำนวน 3 ซ้ำ ในการทดสอบแต่ละแบบการทดสอบ มีรายละเอียดดังนี้

เมือกำหนดให้

A	คือ	น้ำหนักฝักถั่วทั้งหมดในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
B	คือ	น้ำหนักฝักถั่วที่ไม่ถูกขุด และฝังอยู่ใต้ดินในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
C	คือ	น้ำหนักฝักถั่วที่ถูกขุด และร่วงบนดินในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
D	คือ	น้ำหนักฝักถั่วที่ปลิดได้ในพื้นที่ทดสอบ และอยู่ในกระบะเก็บฝัก (กิโลกรัม)
E	คือ	น้ำหนักฝักถั่วที่ไม่ถูกปลิด ติดไปกับต้นถั่ว ในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
F	คือ	น้ำหนักฝักถั่วสภาพสมบูรณ์คัดจากกระบะ ในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
G	คือ	น้ำหนักฝักถั่วที่แตกหักคัดจากกระบะ ในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
H	คือ	น้ำหนักฝักถั่วสภาพสมบูรณ์ที่มีขั้วติดฝักคัดจากกระบะในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
I	คือ	น้ำหนักขั้วจากฝักที่มีขั้วติดฝักจากกระบะในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
J	คือ	น้ำหนักต้นถั่วในพื้นที่ทดสอบ (กิโลกรัม)
K	คือ	น้ำหนักฝักถั่วที่ปลิดได้พื้นที่ทดสอบ และถูกจัดเก็บในกระบะ (กิโลกรัม)
L_B	คือ	ความสูญเสียฝักถั่วลิสงจากการไม่ถูกขุดและฝังอยู่ใต้ดิน (%)
L_C	คือ	ความสูญเสียฝักถั่วลิสงจากการถูกขุดและร่วงอยู่บนดิน (%)
L_E	คือ	ความสูญเสียฝักถั่วลิสงจากการไม่ถูกปลิดและติดไปกับต้นถั่ว (%)
L_G	คือ	ความสูญเสียฝักถั่วลิสงจากการแตกหัก (%)

กรมวิชาการเกษตร

K_e คือ ประสิทธิภาพในการปลิดฝักถั่วลิสง (%)

H_e คือ ประสิทธิภาพในการปลิดขั้วจากฝักถั่วลิสง (%)

I_e คือ การคัดแยกขั้วออกจากฝักถั่วลิสง (%)

$$A = B + C + D + E \quad (1)$$

$$K = F + G \quad (2)$$

$$L_B = B*100 / A \quad (3)$$

$$L_C = C*100 / A \quad (4)$$

$$L_E = E*100 / A \quad (5)$$

$$L_G = G*100 / K \quad (6)$$

$$K_e = K*100 / (K + E) \quad (7)$$

$$H_e = H*100 / F \quad (8)$$

$$I_e = I*100 / F \quad (9)$$

เวลาและสถานที่

ระยะเวลา เริ่มต้นเดือนตุลาคม 2562 สิ้นสุดเดือนกันยายน 2564

สถานที่ดำเนินการ ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น และแปลงเกษตรกรในพื้นที่

ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion)

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของถั่วลิสงและสภาพการปลูก พบว่ามีการปลูกทั้งแบบไม่ยกร่อง ดังภาพที่ 2.9 และแบบยกร่อง ดังภาพที่ 2.10 ลักษณะดินเป็นดินร่วนปนทราย โดยแบบยกร่อง มีความกว้างของสันร่อง 80-100 ซม. สูง 20-25 ซม. ปลูก 2-3 แถว / สันร่อง โดยมีระยะห่างระหว่างต้น 25-30 ซม. การวัดความสูงต้นสำหรับพันธุ์ไทนาน 9 ขอนแก่น 6 มีความสูงต้น ความสูงพุ่ม ตั้งแต่ 25-30 ซม. เมื่อขุดขึ้นมาแล้วดึงยืดออกสูงสุด 80-100 ซม. ระยะแผ่ของฝักถั่ว 40-50 ซม. ส่วน ดังภาพที่ 2.11

ภาพที่ 2.9 การปลูกถั่วลิสงแบบไม่ยกร่อง

กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 2.10 การปลูกถั่วลิสงแบบยกร่อง

ภาพที่ 2.11 การวัดขนาดต่าง ๆ และต้นถั่วลิสงที่ขุดขึ้นมาจากแปลง

ผลการสำรวจการใช้เครื่องเก็บเกี่ยวถั่วลิสงในแปลงของเกษตรกร โดยการประสานงานกับเจ้าหน้าที่ของสำนักงานเทศบาล ต.นาเลียง อ.นาแก จ.นครพนม ดังภาพที่ 2.12 พบว่าเกษตรกรปลูกถั่วลิสงหลังฤดูทำนามาแล้ว 15 ปี ในพื้นที่ปลูกปัจจุบันจำนวน 150 ไร่ โดยใช้เมล็ดพันธุ์ ขอนแก่น 5 ตามความต้องการของตลาด เป็นที่รู้จักของผู้ซื้อจำนวนมาก เกิดโอกาสในการซื้อขายคล่องตัว มีพ่อค้ามารอรับซื้อถั่วลิสงแบบฝักสดที่หน้าแปลง และยังขายให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปถั่วลิสงในพื้นที่ (ทำถั่วคั่วทราย) จำนวน 2 แห่ง คือวิสาหกิจแปรรูปถั่วลิสง บ้านสองคอน ต.พระซอง อ.นาแก และวิสาหกิจชุมชนแปรรูปถั่วลิสงบ้านต้นผึ้ง ต.นาแก อ.นาแก โดยผลผลิตถั่วลิสงของเกษตรกรสามารถทำกำไรได้ถึง 7,000 – 20,000 บาทต่อไร่ จากผลผลิตถั่วลิสงฝักสด 1,000 – 2,000 กิโลกรัมต่อไร่

กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 2.12 เจ้าหน้าที่ของสำนักงานเทศบาลตำบลนาเลียง อ.นาแก จ.นครพนม ที่ประสานงานในพื้นที่

ผลการสำรวจการใช้เครื่องขุดเก็บถั่วลิสงในพื้นที่ที่ พบว่ามีเกษตรกรใช้ผาลขุดถั่วลิสงที่ซื้อจากอู่ในท้องถิ่น นำมาพ่วงกับรถไถเดินตาม จำนวน 3 ราย แสดงดังภาพที่ 2.13 แต่ยังพบปัญหาการขุดเก็บไม่หมดเมื่อดินปลูกแข็งและแห้ง จึงยังมีการใช้จอบและเสียมช่วยขุดและใช้มือดึงต้นถั่วขึ้นจากดิน แสดงดังภาพที่ 2.14 ส่วนการปลิดฝักถั่วลิสงนั้น ยังใช้แรงงานปลิดด้วยมือ ดังภาพที่ 2.15 ซึ่งต้องใช้แรงงาน และใช้เวลาในการปลิดจำนวนมาก เกษตรกรจึงอยากให้มีเครื่องขุดเก็บที่ปลิดฝักในตัวที่ทำงานในสภาพดินที่แข็งและแห้ง โดยไม่ต้องฉีดน้ำในแปลงก่อนการเก็บเกี่ยว หรือต้องการเครื่องปลิดฝักที่แยกต่างหาก แต่มีขนาดกะทัดรัด ราคาไม่แพงมาก ซึ่งจะช่วยให้มีการผลิตถั่วลิสงในพื้นที่เพิ่มขึ้นได้

ภาพที่ 2.13 เครื่องขุดเก็บถั่วลิสงของเกษตรกรในพื้นที่ ต.นาเลียง อ.นาแก จ.นครพนม

ภาพที่ 2.14 การใช้จอบ และเสียมช่วยขุดเก็บถั่วลิสงและการดึงด้วยมือ กรณีดินแข็ง

ภาพที่ 2.15 การปลิดถั่วลิสงด้วยมือ

กรมวิชาการเกษตร

ผลการศึกษาการทำงานเครื่องขุดและปลิดฝักถั่วลิสงของเอกชนที่ผลิตถั่วลิสงอบกรอบโก๋แก่ พบว่านำเข้ามาจากไต้หวัน ดังภาพที่ 2.16 และเครื่องขุดและตากต้นถั่วไว้ในแปลงแต่ไม่มีการปลิดฝักของโรงงานท้องถิ่น ดังภาพที่ 2.17 และภาพที่ 2.18

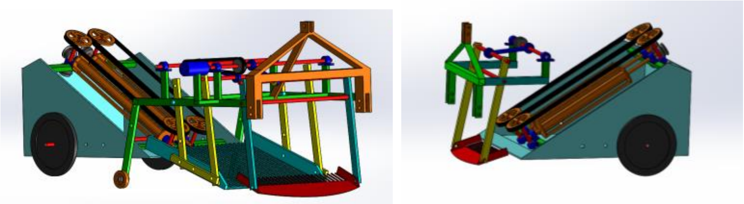
ภาพที่ 2.16 ใบขุด และโซ่หนีบต้นถั่ว และชุดปลิดฝัก ของเครื่องขุดถั่วลิสงจากไต้หวัน

ภาพที่ 2.17 เครื่องขุดถั่วลิสงแบบมีโซ่หนีบต้นถั่วของโรงงานท้องถิ่น

ภาพที่ 2.18 เครื่องขุดถั่วลิสงแบบมีชุดลำเลียงต้นถั่วแล้วตากไว้ในแปลง ของโรงงานท้องถิ่น

กรมวิชาการเกษตร

ศึกษาขนาดความสูง ความกว้าง ของจุดยึดแบบ 3 จุด ของแทรกเตอร์ ขนาด 21 แรงม้า เพื่อใช้ออกแบบระยะหูยึด ความสูง ความกว้างของชุดโครงเครื่องขุด ผลการออกแบบความกว้าง ความยาว มุมขุด และรูปทรงใบผาลขุด ในเบื้องต้นออกแบบตามผาลขุดของเครื่องขุดถั่วลิสงแบบมีโซ่หนีบต้นถั่วของโรงงานท้องถิ่นที่มีใช้อยู่ใน จ.สกลนคร มีลักษณะคล้ายใบมีด ยาว 40 ซม กว้าง 15 ซม. ซึ่งผาลขุดนี้ทำหน้าที่ยกดินใต้รากถั่วให้สูงขึ้นให้พอดีกับโซ่หนีบต้นถั่วขึ้นไปปลิดฝักต่อไป และจากการพิจารณาพบว่าการใช้ตะแกรงร่อนเศษดิน ดังภาพที่ 2.19 (ก) ทำให้ต้นถั่วล้ม และไม่ถูกโซ่หนีบเข้าไปสู่ส่วนปลิดฝัก จึงได้ตัดส่วนตะแกรงร่อนเศษดินออกไป ดังภาพที่ 2.19 (ข)



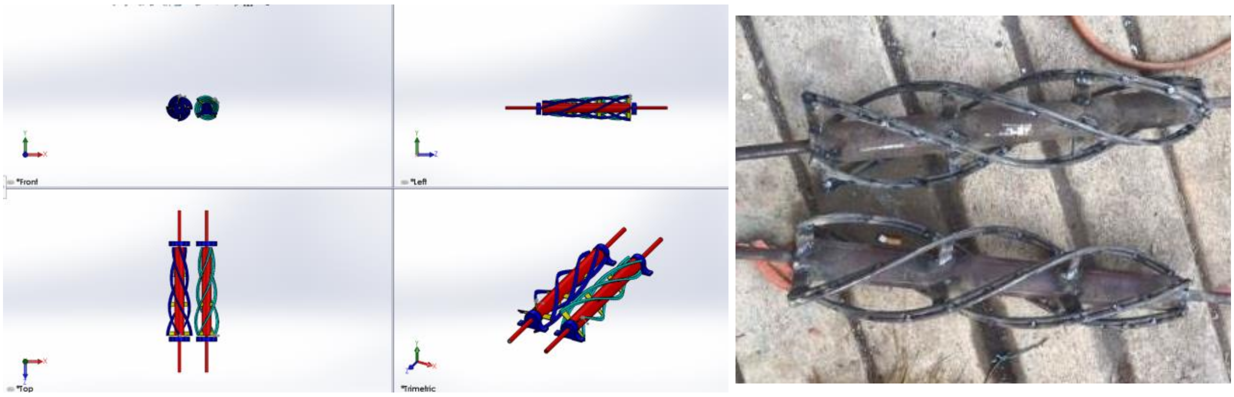
ภาพที่ 2.19 แบบเครื่องขุดและปลิดฝักถั่วลิสง (ก)มีตะแกรงร่อนเศษดิน และ (ข) ไม่มีตะแกรงร่อนเศษดิน

ออกแบบชุดขาขุดแบบสั่นและเลือกชุดลูกเบี้ยวที่มีระยะเยื้องที่เหมาะสม กับการสั่นของขาขุดออกแบบและเลือกเกียร์ทด ที่ต่อพ่วงกับเพลาอำนวยกำลัง เพื่อใช้ในการส่งกำลังและกำหนดความเร็วการหมุนของเพลาชุดลูกเบี้ยวควบคุมการสั่นขาขุด ดังภาพที่ 2.20 ออกแบบชุดโซ่หนีบลำเลียงต้นถั่ว ซึ่งโซ่หนีบต้นถั่วเป็นโซ่ที่มีลักษณะเฉพาะ มีลักษณะเป็นฟัน ซึ่งจะพบได้ในรถเกี่ยวนวดข้าวญี่ปุ่นมือสองในส่วนของชุดหนีบคอรวง แต่ละข้อยาว 33 มม. เมื่อนำมาต่อกันจะมีลักษณะเป็นโซ่ยาว ดังภาพที่ 2.21 ออกแบบชุดปลิดฝัก ดังภาพที่ 2.22 เป็นแกนทรงกระบอก 2 แกน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 0.6 เมตร ติดตั้งอยู่ด้านล่างของโซ่หนีบ แต่ละแกนมีเหล็กเส้นกลมล้อมรอบแบบเป็นเกลียววน และแกนทำมุมกับแนวโซ่หนีบต้นถั่ว เพื่อปลิดต้นถั่วได้สูงขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่ทางเข้าและปลิดถึงโคนต้นที่ทางออก และมีกระบะเก็บฝักอยู่ใต้ชุดปลิดฝัก

ภาพที่ 2.20 ลูกเบี้ยวและเกียร์ทด

ภาพที่ 2.21 ชุดโซ่หนีบต้นถั่ว

กรมวิชาการเกษตร



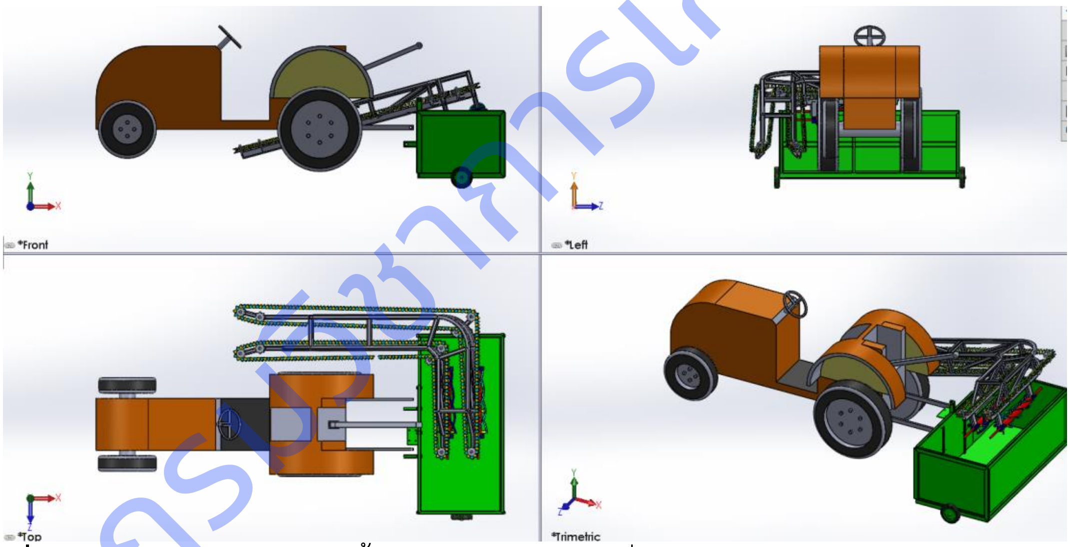
ภาพที่ 2.22 แบบชุดปลิดฝัก และชุดปลิดฝักที่สร้างขึ้น

ผลการสร้างเครื่องต้นแบบแรก แสดงดังภาพที่ 2.23 ใช้รถแทรกเตอร์ ขนาด 21 แรงม้า เป็นต้นกำลังสำหรับลากชุดขุดและปลิดฝักถั่วลิสงที่ประกอบด้วย ชุดขาขุด ชุดโซ่หนีบลำเลียงต้นถั่วและชุดปลิดฝัก ฝักถั่วลิสงที่ถูกปลิดแล้วเก็บไว้ในส่วนกระบะบรรทุกที่อยู่ในชุดเดียวกันกับชุดปลิดฝัก ส่วนต้นถั่วที่ถูกปลิดฝักออกแล้วจะถูกทิ้งลงแปลงทางด้านท้ายเครื่อง

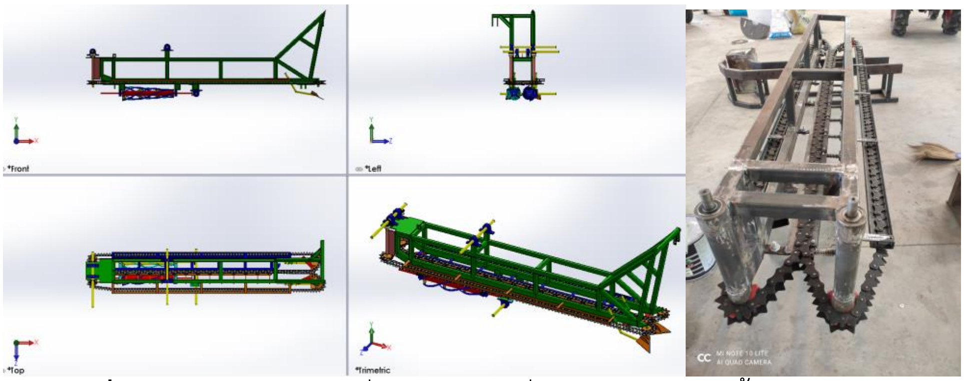
กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 2.23 ต้นแบบแรก เครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสง ที่ควบคุมการสั่นของขาขุดด้วยระบบอัตโนมัติ แบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์

ผลการทดสอบต้นแบบเบื้องต้นพบว่า การติดตั้งชุดขุดเก็บและปลิดฝักไว้ท้ายแทรกเตอร์ ทำให้มีปัญหาในการยกของแขนยก และการเลี้ยวหัวแปลง เนื่องจากความยาวและน้ำหนักของชุดเครื่องจักร จึงได้แก้ไขการออกแบบโดยให้มีการติดตั้งไว้ด้านข้างแทรกเตอร์แทน และมีชุดโซ่หนีบที่โค้งมาด้านหลังแทรกเตอร์ และติดตั้งลูกปลิดไว้ด้านหลังใต้ชุดโซ่หนีบต้นถั่ว ดังภาพที่ 2.24 เมื่อทำการสร้างต้นแบบพบว่าการหนีบจับต้นถั่วของชุดโซ่หนีบมีความยุ่งยากในการสร้าง และมีช่องว่างระหว่างโซ่หนีบในบริเวณที่เป็นส่วนโค้ง ทำให้หนีบจับต้นถั่วได้ไม่ดี จึงได้แก้ไขการออกแบบอีกครั้ง โดยติดตั้งชุดขุดเก็บและปลิดฝักไว้ด้านข้างเช่นเดิม แต่ให้โครงของชุดโซ่หนีบต้นถั่วเป็นแบบตรง และชุดลูกปลิดฝักติดตั้งใต้โซ่หนีบในแนวขนานกับตัวแทรกเตอร์ ส่วนกระบะเก็บฝักอยู่ด้านหลัง ดังภาพที่ 2.25 โครงโซ่หนีบต้นถั่วและปลิดฝักแบบตรงที่สร้างขึ้น แสดงดังภาพที่ 2.26 โดยต้นแบบที่สร้างขึ้นแสดงดังภาพที่ 2.27 ซึ่งชุดขาขุดมีทั้งแบบอยู่กับที่ และแบบสั่น และจากการทดสอบการขุดดินเบื้องต้น พบว่า ผาลขุดแบบใบมีดขุดดินและคายดินได้ไม่ดี มีดินดันหนุนหน้าใบขุดและโซ่หนีบต้นถั่วติดขัดได้ง่าย จึงเปลี่ยนใช้ใบผาลคัดท้ายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 นิ้ว นำมาผ่าครึ่งวงกลม พบว่าขุดดินได้ดี แต่ยังมีดินสะสมหน้าผาลขุด จึงเจาะช่องบริเวณตรงกลางใบผาล ทำให้คายดินได้ดี แต่ชุดโซ่หนีบยังหนีบจับต้นถั่วได้ดี จึงเลือกใช้ผาลขุดนี้กับเครื่องต้นแบบ ดังภาพที่ 2.28

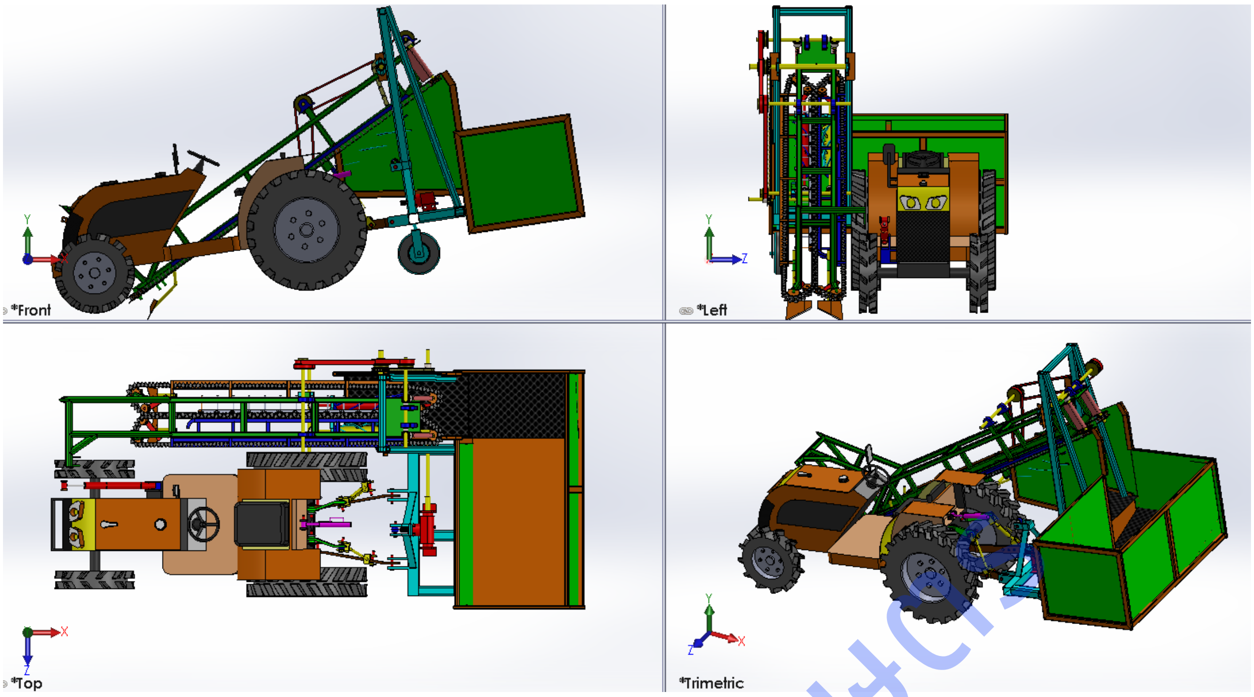


ภาพที่ 2.24 แบบชุดขุดเก็บแบบติดตั้งไว้ด้านข้างแทรกเตอร์ที่มีชุดโซ่หนีบแบบโค้ง ไปด้านหลังแทรกเตอร์



ภาพที่ 2.25 โครงโซ่หนีบต้นถั่วและปลิดฝักถั่วลิสง แบบตรงติดตั้งข้างแทรกเตอร์

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 2.26 แบบชุดขุดเก็บและปลิดฝักแบบติดตั้งไว้ด้านข้างแทรกเตอร์ ที่มีชุดโซ่หนีบแบบตรง และติดตั้งลูกปลิดใต้โซ่หนีบต้นถั่วในแนวขนานด้านข้างแทรกเตอร์

ภาพที่ 2.27 เครื่องต้นแบบที่มีขาขุดแบบไม่สั้น และแบบมีขาขุดแบบสั้น

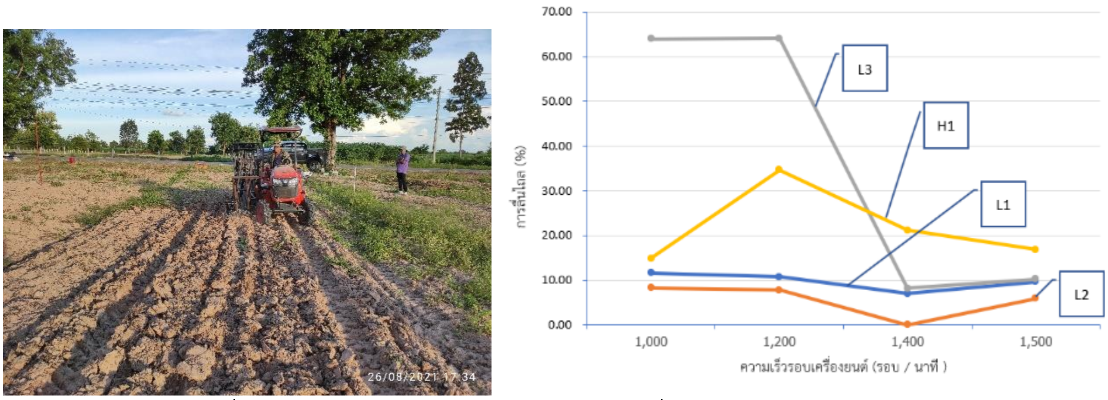
ภาพที่ 2.28 ผาลขุดแบบใบมีด แบบผาลคัดท้ายแทรกเตอร์ผ่าครึ่งวงกลม ไม่เจาะและเจาะช่องคายดินกลางผาล

ผลการทดสอบการปลิดฝักของชุดปลิดในห้องปฏิบัติการ เมื่อความเร็วโซ่หนีบต้นถั่ว 1.053 ม. / วินาที ความเร็วเชิงเส้นชุดปลิดฝัก 4.20ม. / วินาที (534.2 รอบ / นาที) ดังภาพที่ 2.29 พบว่ามีประสิทธิภาพในการปลิดฝักเฉลี่ย 94.71 %. ฝักแตกหัก 0.98 % ดังตารางที่ 1 จากนั้นนำเครื่องต้นแบบไปทดสอบภาคสนาม ดังภาพที่ 2.30 พบว่าเกียร์ L1 และ L2 ซึ่งมีความเร็วในการเคลื่อนที่ ตั้งแต่ 0.11 – 0.18 เมตร / วินาที มีอัตราการลื่นไถลต่ำกว่าเกียร์ L3 และเกียร์ H1 เนื่องจากมีความเร็ว แรงบิด และกำลังจากเครื่องยนต์ที่เหมาะสมกว่า จึงเลือกที่เกียร์นี้ไปทดสอบในแปลงปลูกถั่วลิสงสภาพดินร่วนปนทราย ดังภาพที่ 2.31 ซึ่งเป็นถั่วลิสงพันธุ์ขอนแก่น 5 อายุ 95 วัน ปลูกแบบยกร่อง 2 แถวต่อร่อง ระยะห่างต้นในแนวขวางร่อง 18 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างต้นในแนวขนานร่อง 20 เซนติเมตร ผลการทดสอบแบบไม่สั้นขาขุด แสดงดังตารางที่ 2.2

ภาพที่ 2.29 การทดสอบการปลิดฝักของชุดปลิดในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 2.1 ผลทดสอบปลิดฝักของชุดปลิดในห้องปฏิบัติการที่ความเร็วโซ่หนีบต้นถั่ว 1.053 ม. / วินาที

ซ้ำที่	อัตราส่วนฝักต่อต้นถั่ว	ความสามารถการทำงานเชิงวัสดุที่ป้อน (กก./ชม.)	ความสามารถในการปลิดฝัก (กก./ชม.)	ประสิทธิภาพการปลิดฝัก (%)	ฝักแตกหัก (%)	ขั้วติดฝัก (%)
1	1: 6.3	756.30	97.18	93.45	1.21	0.001
2	1: 5.0	712.87	112.28	94.03	0.64	0.001
3	1: 4.2	671.64	125.93	96.65	1.09	0.001
เฉลี่ย	**1: 5.1**	**713.61**	**111.80**	**94.71**	**0.98**	**0.001**



ภาพที่ 2.30 การทดสอบและผลทดสอบการลื่นไถลของแทรกเตอร์

กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 2.31 การขนย้ายเครื่องต้นแบบ สภาพแปลงทดสอบ และการทดสอบเครื่องต้นแบบในแปลงปลูกถั่วลิสง

ตารางที่ 2.2 ผลการทดสอบการขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงในแปลงปลูกของเครื่องต้นแบบ แบบไม่สั่นขาขุด

เกียร์ / ความเร็วรอบ	อัตราส่วน ฝักต่อต้นถั่ว	ความสูญเสีย (%) จากการขุด		ความสูญเสีย (%) การปลิด	ความสูญเสีย (%) รวม	คุณภาพการปลิดฝัก (%)		ความสะอาดของการปลิดขั้วของฝักที่สมบูรณ์ (%)	
	ฝักถั่ว ต้นถั่ว	ฝักไม่ถูกขุด	ฝักร่วงบนดิน	ฝักติดต้น		ฝักสมบูรณ์	ฝักแตก	ฝักมีขั้วติด	ขั้วติดฝัก
L1/1000	1: 1.93	4.7	3.5	15.9	24.1	99.36	0.64	14.49	0.92
L1/1200	1: 1.78	3.1	3.8	17.1	23.9	99.17	0.83	8.94	0.35
L1/1400	1: 2.43	3.5	1.3	29.5	34.2	95.59	4.41	8.91	0.52
L2/1000	1: 1.67	2.1	2.4	7.3	11.8	99.80	0.20	10.45	0.51
L2/1200	1: 2.83	3.3	2.7	3.0	9.0	99.20	0.80	9.20	0.26
L2/1400	1: 1.72	4.8	2.7	16.4	23.8	99.21	0.79	10.97	0.45

ผลการทดสอบการขุดเก็บและปลิดฝักแบบไม่สั่นขาขุด จากตารางที่ 2.1 พบว่า เกียร์ L2 ได้ผลการขุดเก็บและปลิดฝักที่ดี จึงเลือกใช้ความเร็วนี้สำหรับการทดสอบแบบการสั่นขาขุด โดยรอบการสั่นของชุดขาขุดแปรผันตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพูลเลย์ที่ขับชุดขาขุดซึ่งมีค่า 4 นิ้ว 5 นิ้ว และ 6 นิ้ว ตามลำดับ และใช้ความเร็วเครื่องยนต์ที่ 1,000 1,200 และ 1,400 รอบต่อนาที ผลการทดสอบการขุดโดยการการสั่นชุดขาขุดแสดงดังตารางที่ 2.3

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 2.3 ผลการทดสอบการขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงในแปลงปลูกของเครื่องต้นแบบ แบบมีการสั่นชุดขาขุด

เกียร์ / ความเร็วรอบ / พูลเล่ย์ขับขาขุด	ความสูญเสีย (%) จากการขุด		จากการปลิด	รวม	คุณภาพการปลิดฝัก (%)		ความสะอาดของการปลิดขั้ว ของฝักที่สมบูรณ์ (%)	
	ฝักไม่ถูกขุด	ฝักร่วงบนดิน	ฝักติดต้น		ฝักสมบูรณ์	ฝักแตก	ฝักมีขั้วติด	ขั้วติดฝัก
L2/1000/4"	3.7	4.6	11.8	20.1	99.83	0.17	8.87	0.52
L2/1200/4"	2.2	2.9	38.9	44.0	99.66	0.34	10.34	0.72
L2/1400/4"	3.6	3.2	20.0	26.8	97.50	2.50	9.65	0.67
L2/1000/5"	1.5	2.5	22.0	25.9	99.56	0.44	5.68	0.58
L2/1200/5"	5.1	2.3	15.9	23.3	96.30	3.70	7.62	0.62
L2/1400/5"	3.9	4.8	16.7	25.4	99.62	0.38	4.44	0.31
L2/1000/6"	3.6	2.7	28.8	35.0	99.06	0.94	7.29	0.54
L2/1200/6"	3.5	2.3	26.3	32.1	98.28	1.72	7.45	0.47
L2/1400/6"	4.1	1.9	24.7	30.8	96.92	3.08	30.94	0.62

ผลทดสอบการขุดเก็บและปลิดฝักแบบสั่นชุดขาขุด จากตารางที่ 2.3 พบว่า เมื่อใช้เกียร์ L2 ที่ทุกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพุลเลย์ที่ขับชุดขาขุดซึ่งมีค่า 4 นิ้ว 5 นิ้ว และ 6 นิ้ว ตามลำดับ และทุกความเร็วเครื่องยนต์ที่ 1,000 1,200 และ 1,400 รอบต่อนาที มีความสูญเสียจากฝักไม่ถูกขุด ฝักร่วงบนดิน และฝักแตกน้อย แต่ยังมีฝักไม่ถูกปลิดและสูญเสียจากฝักติดต้นทิ้งไปมาก เนื่องจากการสั่นของขาขุดทำให้ชุดโครงโซ่หนีบต้นถั่วสั่นแรงมาก จึงหนีบจับต้นถั่วที่ระยะความสูงไม่สม่ำเสมอ ชุดลูกปลิดจึงทำงานไม่มีประสิทธิภาพ เพราะมีระยะห่างจากโซ่หนีบต้นถั่วคงที่ ทำให้มีการสูญเสียจากการปลิดฝักสูง ตั้งแต่ 15.9 % - 38.9 % และความสูญเสียรวมสูงตั้งแต่ 20.1 % - 44 % จึงเห็นว่าเครื่องต้นแบบที่ไม่สั่นชุดขาขุดทำงานได้ดีกว่า เพราะการสั่นของชุดโซ่หนีบต้นถั่วมีน้อยมาก จึงมีการสูญเสียจากฝักไม่ถูกขุด ฝักร่วงบนดิน ฝักไม่ถูกปลิด และความสูญเสียรวมต่ำ โดยควรเลือกใช้งานที่เกียร์ L2 รอบเครื่องยนต์1,000 หรือ 1,200 รอบต่อนาที ซึ่งมีการสูญเสียรวมในช่วง 9 %- 11.8 % ดังตารางที่ 1 ส่วนผลการทดสอบการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่ามีผลการสิ้นเปลืองที่ 2.31 ลิตร / ไร่ มีประสิทธิภาพเชิงพื้นที่ 83.33 % ความสามารถในการทำงาน 0.33 ไร่ / ชม. ดังนั้นจึงเห็นว่าไม่ต้องสร้างระบบควบคุมการสั่นของขาขุด เพราะเครื่องต้นแบบที่ไม่มีการสั่นชุดขาขุดทำงานได้ดีกว่าต้นแบบที่มีการสั่นของชุดขาขุด

9. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ประเมินค่าใช้จ่ายในการสร้างต้นแบบ โดยต้นทุนเครื่องต้นแบบมีราคาประมาณ 100,000 บาท แทรกเตอร์ขนาด 21 แรงม้า ราคาประมาณ 235,00 บาท (แต่ประมาณการมาใช้ในกิจกรรมขุดถั่วลิสง 20 %) จึงรวมเป็น 147,000 บาท และนำค่าใช้จ่ายต่าง ๆ มาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่ามีจุดคุ้มทุน (Break-even Point, BEP) เท่ากับ 45.29 ไร่ / ปี กล่าวคือ เกษตรกรที่จะซื้อเครื่องไปใช้งานหรือนำไปรับจ้าง

กรมวิชาการเกษตร

ควรมีพื้นที่การใช้งานไม่น้อยกว่า 45.29 ไร่ และใช้งานอย่างน้อยเป็นระยะเวลา 8 ปี จึงจะคุ้ม และหากมีเกษตรกรในกลุ่ม จำนวน 20 ราย แต่ละรายมีพื้นที่ปลูกรายละ 10 ไร่ ดังนั้นหากมีการรับจ้าง 200 ไร่ / ปี ที่ราคารับจ้างประมาณ 800 บาท / ไร่ จะมีจำนวนวันขั้นต่ำที่ต้องปฏิบัติงาน 17 วันต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 1.55 ปี โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

เครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์ ใช้รถแทรกเตอร์ ขนาด 21 แรงม้า เป็นต้นกำลัง โซ่หนีบต้นถั่วที่มีชุดลูกปลิดอยู่ใต้โซ่หนีบติดตั้งในแนวขนานกับตัวแทรกเตอร์ และกระบะเก็บฝักอยู่ด้านหลัง เครื่องต้นแบบที่ไม่สั่นชุดขา มีการสูญเสียรวมต่ำกว่าแบบสั่น โดยควรเลือกใช้งานที่เกียร์ L2 รอบเครื่อง 1,000 หรือ 1,200 รอบต่อนาที ซึ่งมีการสูญเสียรวมในช่วง 9 %- 11.8 % แต่การสูญเสียจากฝักไม่ถูกขุด ฝักร่วงบนดิน และการแตกหักมีน้อย สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 2.31 ลิตร / ไร่ ประสิทธิภาพเชิงพื้นที่ 83.33 % มีจุดคุ้มทุน (Break-even Point, BEP) เท่ากับ 45.29 ไร่ / ปี หากมีการรับจ้าง 200 ไร่ / ปี ที่ราคารับจ้างประมาณ 800 บาท / ไร่ จะมีจำนวนวันขั้นต่ำที่ต้องปฏิบัติงาน 17 วันต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 1.55 ปี เนื่องจากสถานการณ์โรคระบาดโควิด 19 ทำให้เครื่องต้นแบบเสร็จช้ากว่ากำหนดจึงไม่สามารถเดินทางออกทดสอบในแปลงปลูกถั่วลิสงหลายพันธุ์ หากสถานการณ์การระบาดคลี่คลายควรมีการทดสอบการทำงานเพิ่มเติม

กรมวิชาการเกษตร

โครงการวิจัยที่ 3

วิจัยและพัฒนาระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง
Design and Development of Heat Pump Dryer System for Soybean Seeds Drying

พินิจ จิรัคคกุล, อานนท์ สายคำฟู, ภภัสสร วัฒนกุลภาคิน, สุนทรีพร ศรีสมบุญ,วิชัย โอภานุกุล,
สิทธิพงษ์ ศรีสว่างวงศ์, ธนพงค์ แสนจุ้ม, เอกภาพ ป้านภูมิ และนิรุติ บุญญา

Pinit Jirakkakul, Arnon Saicomfu, Paphatsorn Wattanakulpakin, Suntreeporn Srisombun, Wichai Opanukul, Sitthipong Srisawangwong, Tanapong Sanchum, Akkaparp Panpoom and Nirut Bunya

กรมวิชาการเกษตร

คำสำคัญ (Key words)

เมล็ดพันธุ์, ถั่วเหลือง, การลดความชื้น, ระบบปั๊มความร้อน, วิธีการลดความชื้น,
การแตกร้าวของเมล็ดพันธุ์, คุณภาพเมล็ดพันธุ์
Seed, Soybean, Drying, Heat pump system, Drying methods,
Seed cracking, Seed quality

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องอบสำหรับลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง โดยออกแบบให้เครื่องอบมีขนาด 1.8x2.5x2.3 m (กว้าง x ยาว x สูง) และออกแบบระบบปั๊มความร้อน ในการทดสอบระบบปั๊มความร้อนได้กำหนดค่าแรงดันสารทำความเย็นด้านสูง 3 ระดับ คือ 200, 250 และ 300 psi จากผลการทดสอบพบว่า มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 30-34°C; 38-40 %RH, 36-40°C; 35-38 %RH และ 40-46°C; 32-36 %RH ตามลำดับ โดยพบว่าช่วงแรงดันด้านสูงเท่ากับ 250 psi เป็นค่าแรงดันที่เหมาะสมในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน เปรียบเทียบกับตู้อบลมร้อนและแสงอาทิตย์ (ชุดควบคุม) ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองความชื้นเริ่มต้นระหว่าง 16.93-19.58% มาลดความชื้นด้วยกรรมวิธีดังกล่าวข้างต้นให้อยู่ในช่วง 10.90-10.96% (w.b.) ผลการทดลองพบว่าการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน (Heat Pump Dryer : HP) และแสงอาทิตย์

(Sun drying) ใช้ระยะเวลา 5 ชั่วโมง โดยวิธี HP และแสงอาทิตย์ มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 37.4-41.9°C และ 40.5-44.3°C ตามลำดับ ในขณะที่การลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven : HA) ต้องใช้ระยะเวลานานถึง 10 ชั่วโมง การลดความชื้นด้วยวิธี HP ให้ค่าความงอกมาตรฐานสูงที่สุดเท่ากับ 56.0% รองลงมาคือวิธีแสงอาทิตย์ และ HA เท่ากับ 51.0% และ 50.0% ตามลำดับ ส่วนความแข็งแรงซึ่งวิเคราะห์โดยความงอกภายหลังการเร่งอายุไม่แตกต่างกันทั้งสามกรรมวิธี จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผ่านการอบทั้งสามกรรมวิธีมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 เดือน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพของเมล็ดพันธุ์พบว่า ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ค่อนข้างคงที่ทั้งสามกรรมวิธีตลอดระยะเวลาการเก็บรักษามีค่าระหว่าง 9.12-10.79% อย่างไรก็ตามภายหลังการเก็บรักษา 4 เดือน พบว่าความงอกและความงอกภายหลังการเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ลดความชื้นด้วยวิธี HP มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือการลดความชื้นด้วย HA และแสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 42.8% และ 22.5%, 31.3% และ 16.5%, และ 31.0% และ 10.8% ตามลำดับ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าวิธีการลดความชื้นแบบ HP ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งภายหลังการลดความชื้นและในระหว่างการเก็บรักษาน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ ดังนั้นวิธีการลดความชื้นด้วย HP ที่อุณหภูมิระหว่าง 37.4-41.9°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จึงเป็นวิธีและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองให้อยู่ในระดับปลอดภัย และสามารถแนะนำเพื่อทดแทนการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ได้ และจากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจลงทุนซื้อเครื่องจักรมาใช้งานพบว่า ที่กำลังการผลิต 20, 30, 40 และ 50 ตัน/ปี มีต้นทุนการใช้งานตู้อบแบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเฉลี่ยเท่ากับ 3.65, 2.73, 2.28 และ 2 บาท/กก.แห้ง ตามลำดับ

Abstract

The Research and development of the heat pump drying system aimed to reduce moisture in soybeans. This study was designed to scale the prototype of the drying chamber to 2.8 x 2.5 x 2.3 m (width x length x height). The heat pump system testing for the soybean seeds drying was determined high pressure of refrigerant have 3 levels of 200 psi, 250 psi and 300 psi. The result showed that the temperature and relative humidity in the drying chamber ranged from 30 to 34°C; 38 to 40 %RH, 36 to 40°C; 35 to 38 %RH and 40 to 46°C; 32 to 36 %RH respectively. The high pressure of the 250psi refrigerant was the optimal high pressure for temperature and relative humidity control in the drying chamber for drying soybeans. The suitable conditions of heat pump dryer compared to hot air oven and sun drying (control) on qualities of soybean seed cv. Chiangmai 60 were studied. The drying soybean seeds from initial moisture between 16.93 – 19.58% to final moisture of 10.90 – 10.96% (w.b.) was conducted by three drying methods. The drying time of heat pump dryer (HP) and sun drying were 5 hours, and drying temperature in a range of 37.4-41.9 °C for HP and 40.5-44.3° C for sun drying.

กรมวิชาการเกษตร

However, the longer drying time for 10 h was found in hot air oven (HA) due to the lower drying temperature between 37.0-40.1 °C. The highest standard germination by 56.0% found in HP method, followed by sundry and HA methods that were 51.0% and 50.0% respectively. Dried soybean seeds, thereafter, were stored at room temperature for 4 months in order to investigate the changes of their qualities during storage. All drying methods did not affect to moisture content of dried seeds that mostly unchanged and showed between 9.12–10.79% during storage. After 4 months of storage, the highest standard germination and germination after accelerated aging of dried seeds were revealed in HP followed by HA and sundry methods that was 42.8% and 22.5%, 31.3% and 16.5%, and 31.0% and 10.8%, respectively. The research could be concluded that the HP method slightly affects to seed quality changes both after drying and during storage compared to other methods. Therefore, the HP at temperature between 37.4-41.9°C for 5 hours is suitable method and condition for soybean seed drying to desirable level and could introduce instead of sun drying. Moreover, an economic valuation assessment for investing the heat pump system for the soybean seeds drying showed that the cost of seeds drying production capacity at 20, 30, 40 and 50 tons/year was 3.65, 2.73, 2.28 and 2.0 baht/kg dry respectively.

บทนำ

เมล็ดพันธุ์ถือว่าเป็นปัจจัยการผลิตที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการเพาะปลูก ดังนั้นคุณภาพเมล็ดพันธุ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์จึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่างๆ ซึ่งการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถือว่าเป็นหนึ่งในขั้นตอนการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยภายหลังการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ต้องนำมาลดความชื้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการความชื้นมีผลโดยตรงต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ หากเมล็ดพันธุ์มีความชื้นสูงอาจจะส่งผลให้อัตราการหายใจของเมล็ดพันธุ์สูงขึ้นตาม เกิดความร้อนภายในกองเมล็ดพันธุ์ทำให้เชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์มีการเจริญเติบโต เมล็ดพันธุ์จึงเกิดการเสื่อมสภาพในที่สุด (จวงจันทร์, 2534; วันชัย, 2532) ดังนั้นการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการที่เหมาะสมและรวดเร็วจะช่วยให้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพที่ดีและสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

การลดความชื้นหรือการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่จะหลีกเหลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชโดยเริ่มจาก การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว จนมาถึงขั้นตอนการลดความชื้นหรือการอบแห้ง แล้วนำไปคัดแยกและทำความสะอาด และสุดท้ายคือการเก็บรักษาเพื่อรอจำหน่ายหรือนำไปเพาะปลูกในฤดูถัดไปได้ ซึ่งวิธีการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี เช่น การลดความชื้นด้วยวิธีตากแดด การใช้เครื่องลดความชื้นด้วยลมร้อนที่ใช้แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนจาก ฮีตเตอร์ไฟฟ้า น้ำมัน แก๊ส น้ำมันเตา เป็นต้น เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวมาจากแปลงเพาะปลูกจะมีความชื้นสูงถึง 20-

กรมวิชาการเกษตร

40 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งค่าความชื้นนี้จะขึ้นอยู่กับเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดและขึ้นอยู่กับช่วงเวลาฤดูกาลที่เก็บเกี่ยว โดยในปัจจุบันการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่ว ใช้วิธีการลดความชื้นด้วยแสงแดด (sun drying) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำ และประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นซึ่งมีแสงแดดเพียงพอต่อการลดความชื้น ซึ่งวิธีการนี้จึงยังเป็นที่นิยมอยู่จนถึงปัจจุบัน และโดยทั่วไปวิธีดังกล่าวจะใช้เวลาในการลดการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ประมาณ1-2 วัน ขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพันธุ์และปริมาณแสงแดดในช่วงเวลาที่ลดความชื้น เช่น การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่มีความชื้น 16-18% ใช้เวลา 1 วัน สำหรับในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% ถั่วเหลืองความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน สำหรับในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% และถั่วลิสงความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน สำหรับในการลดความชื้นให้เหลือ 9-11% นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องใช้แรงงานในการนำเมล็ดพันธุ์พืชตากแดด กลับกองและเก็บเมล็ดพันธุ์ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อเสียในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีแสงแดดน้อย มีฝนตก ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง จึงทำให้ไม่สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (12-14%) ได้ภายใน 1-2 วัน ส่งผลให้ขบวนการเมทาบอลิซึมของเมล็ดพันธุ์สูง เชื้อราเจริญเติบโต ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพ ความแข็งแรงต่ำ และอายุการเก็บรักษาสั้น (จวงจันทร์, 2534; วันชัย, 2532) ดังนั้นการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลดความชื้น อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เพื่อช่วยให้เมล็ดพันธุ์ยังคงมีคุณภาพที่ดีและมีความแข็งแรงสูง ในช่วงฤดูฝนหรือในช่วงที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ อีกทั้งสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (climate changes) ในปัจจุบันที่ค่อนข้างแปรปรวนไม่เป็นไปตามฤดูกาล การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยเครื่องอบลดความชื้นจึงน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วและส่งผลให้การจัดการเมล็ดพันธุ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

โดยเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ใช้ระบบการให้ความร้อนกับอากาศโดยไม่ได้มีการกำจัดความชื้นหรือมวลของน้ำที่มีอยู่ในอากาศออกก่อน แล้วนำอากาศที่มีความร้อนเป่าผ่านเมล็ดพันธุ์เพื่อให้เมล็ดพันธุ์ร้อนขึ้นและทำให้น้ำระเหยออกจากเมล็ดพันธุ์ อากาศร้อนนี้จะทำให้เมล็ดพันธุ์มีอัตราการหายใจสูงในระหว่างกระบวนการลดความชื้น ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เมล็ดพันธุ์บางส่วนสูญเสียคุณภาพในด้านของความงอกและความแข็งแรง ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ระบบปั๊มความร้อน (Heat Pump) หรือแบบลมแห้ง โดยปรับสภาพอากาศให้อุณหภูมิที่เหมาะสมและความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำมากๆ เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งอากาศที่ใช้ในการลดความชื้นจากระบบนี้จะเป็นแบบลมแห้ง โดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 35-43°C และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบ 20-35%RH ซึ่งจะทำให้ได้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพที่ดี และเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถแข่งขันให้กับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของไทยและผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางพันธุ์พืช (Seed Hub) เมล็ดของอาเซียนและเอเชียในอนาคต ตามแผนแม่บทยุทธศาสตร์ศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567 ในการพัฒนาเครื่องมือในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสนับสนุนการผลิตเมล็ดพันธุ์ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2559) ที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายภารกิจจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

กรมวิชาการเกษตร

การทบทวนวรรณกรรม

1. การลดความชื้นถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำมันค่อนข้างสูง อุณหภูมิที่ใช้ลดความชื้นเมล็ดไม่ควรเกิน 43 °C และความชื้นสัมพัทธ์ต้องต่ำกว่า 40 %RH เนื่องจากถ้าอุณภูมิสูงกว่านี้จะสร้างความเสียหายให้แก่เมล็ดพันธุ์โดยจะทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์โดยตรง และนอกจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมที่ใช้ลดความชื้นแล้ว อัตราการไหลของอากาศก็มีส่วนสำคัญต่อประสิทธิภาพในการลดความชื้นเช่นกัน โดยเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองแนะนำให้ออกแบบอัตราการไหลของอากาศ 0.21 m^3/s ต่อปริมาณถั่วเหลือง 1 m^3 ดังแสดงในตารางที่ 3.1 (ASHRAE, 1999)

ตารางที่ 3.1 อัตราการไหลของอากาศสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพืช

Crop	Density, kg/m^3	Recommended Dryeration Air-flow Rate, m^3/s per cubic metre per hour dryer capacity
Barley	768	0.17
Corn	896	0.20
Durum	960	0.21
Edible beans	960	0.21
Flaxseeds	896	0.20
Millet	800	0.18
Oats	512	0.11
Rye	896	0.20
Sorghum	896	0.20
Soybeans	960	0.21
Nonoil sunflower seeds	384	0.09
Oil sunflower seeds	512	0.11
Hard red spring wheat	960	0.21

Note: Basic air volume is 0.80 m^3/kg

ที่มา : ASHRAE (1999)

การลดความชื้นเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญเนื่องจากมีผลโดยตรงต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ความชื้นที่ระดับเหมาะสมต่อการเก็บรักษาคือ 8-13% แต่อย่างไรก็ตามอาจมีความแตกต่างและเฉพาะเจาะจงไปตามชนิดพืช ตารางที่ 2 แสดงขบวนการหรือลักษณะที่เกิดขึ้นในเมล็ดพันธุ์ที่ระดับความชื้นต่างๆ

ตารางที่ 3.2 ขบวนการ/ลักษณะที่เกิดขึ้นในเมล็ดพันธุ์ที่ระดับความชื้นต่างๆ (จวงจันทร์, 2521)

ระดับความชื้น (%)	ขบวนการ/ลักษณะที่เกิดขึ้นในเมล็ดพันธุ์
35-80	ช่วงกำลังสุกแก่และพัฒนา ยังไม่เก็บเกี่ยว
18-40	สุกแก่ทางสรีรวิทยา มีอัตราการหายใจสูง การเสื่อมในไร่นาเกิดขึ้นได้ง่าย หากเก็บเมล็ดสุมกองไว้และมีการระบายอากาศไม่พอเพียงจะทำให้เกิดความร้อนสะสมในกอง เชื้อราและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย อ่อนแอต่อการกระทบกระแทกและเครื่องจักรกล

กรมวิชาการเกษตร

13-18	ที่ระดับความชื้นสูงกว่า 13% ยังมีอัตราการหายใจสูง ทำให้เกิดความร้อน เชื้อราและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย แต่ทนทานต่อการกระทบกระแทกได้ค่อนข้างดี
8-13	เก็บรักษาไว้ ในโรงเก็บแบบเปิดได้นาน 6-18 เดือน มีแมลงเข้าทำลายบ้าง อ่อนแอต่อการกระทบกระแทกเพราะค่อนข้างแข็ง
4-8	เก็บรักษาในภาชนะปิดสนิทได้อย่างปลอดภัย
0-4	เมล็ดพันธุ์บางชนิดอาจเสียหาย และในเมล็ดพืชบางชนิดอาจพบเมล็ดแข็ง เช่น ในพืชวงศ์ถั่ว
33-60	เมล็ดจะเริ่มมีขบวนการงอกเกิดขึ้น

วิธีการลดความชื้นด้วยแสงแดด (sun drying) ดังแสดงในภาพที่ 3.1 เป็นวิธีที่นิยมตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน เนื่องจาก เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ต้นทุนต่ำ แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้แรงงานจำนวนมาก และไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิในการลดความชื้น และระยะเวลาได้แน่นอน ซึ่งมักเป็นปัญหาในฤดูฝน โดยทั่วไปการลดความชื้นด้วยวิธีดังกล่าวใช้เวลา 1-2 วัน ขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพันธุ์และปริมาณแสงแดดในช่วงเวลาที่ลดความชื้น เช่น การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่มีความชื้น 16-18% ใช้เวลา 1 วัน ในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% ถั่วเหลืองความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน ในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% และถั่วลิสงความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน ในการลดความชื้นให้เหลือ 9-11% ซึ่งวิธีการนี้มีข้อเสียในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีแสงแดดน้อย มีฝนตก ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง จึงทำให้ไม่สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (12-14%) ได้ภายใน 1-2 วัน ส่งผลให้ขบวนการเมทาบอลิซึมของเมล็ดพันธุ์สูง เชื้อราเจริญเติบโต ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพ ความแข็งแรงต่ำ และอายุการเก็บรักษาสั้น (จวงจันทร์, 2534; วันชัย, 2532) และ**ปัญหาที่สำคัญการลดความชื้นด้วยวิธีตากแดดคือ** ในช่วงฤดูฝนหรือในช่วงที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ อีกทั้งในปัจจุบันสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (climate changes) ที่ค่อนข้างแปรปรวนไม่เป็นไปตามฤดูกาล ส่งผลโดยตรงต่อการจัดการและทำให้การผลิตเมล็ดพันธุ์พืชมีประสิทธิภาพลงลดส่งผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ทำให้การควบคุมคุณภาพเมล็ดพันธุ์เป็นไปได้ยาก

กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 3.1 การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยวิธีการตากแดด

ต่อมาจึงได้มีการคิดค้นและพัฒนาเครื่องอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยในปี 1974 ได้มีการรายงานการลดความชื้นด้วยเครื่องอบที่อุณหภูมิ 54°C ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 40% แต่อย่างไรก็ตาม ส่งผลให้ความงอกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองลดลงและแตกร้าวมากขึ้น (Boyd, 1974) ในปี 2000 Soponronnarit และคณะ ได้ศึกษาการลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน (Heat pump drying) ในเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้อุณหภูมิ 43°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 12% ภายหลังการลดความชื้นนำเมล็ดพันธุ์ข้าวเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าเมล็ดพันธุ์มีความงอกและความแข็งแรงเท่ากับ 96% และ 92% ในขณะที่การลดความชื้นด้วยแสงแดดมีค่า 99% และ 97% ตามลำดับ ซึ่งลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม ในขณะที่การอบลดความชื้นในข้าวเปลือกพันธุ์ กข 6 จากความชื้นเริ่มต้น 23% ให้เหลือ 10% ที่อุณหภูมิ 45 50 และ 55°C ใช้เวลา 200 – 400 นาที พบว่าเมล็ดพันธุ์มีความงอกลดลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นเท่ากับ 92 87 และ 78% ตามลำดับ (กิตติคุณ และคณะ, 2556) สำหรับในเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน การอบแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 40°C, 53.1% 45°C, 44.8% และ 50°C, 44.5% ใช้เวลา 32 24 และ 20 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 8% (wb.) และพบว่าเมล็ดยังคงมีความงอกมากกว่า 95% เท่ากับ 98.45 96.53 และ 95.33% ตามลำดับ (จุฑาศินี และ ศิวลักษณ์, 2555)

การลดความชื้นด้วยลมแห้งในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่อุณหภูมิเฉลี่ย 28.33°C และความชื้นสัมพัทธ์ 24% สามารถลดความชื้นจาก 22.6% เหลือ 11.9% ในเวลา 16 ชั่วโมง 32 นาที โดยสภาวะดังกล่าวไม่มีผลต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (Krzyzanowski et al, 2006) สำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 มีการรายงานการใช้เครื่องอบแห้งชนิดลมร้อนเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยแสงแดดและผึ่งในที่ร่ม พบว่าการลดความชื้นจาก 27% เป็น 5.6% ด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 35-38°C ใช้เวลา 36 ชั่วโมง ในขณะที่การใช้แสงแดดและผึ่งในที่ร่มใช้เวลา 60 และ 90 ชั่วโมง ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน เมล็ดพันธุ์ที่ลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อน แสงแดด และผึ่งในที่ร่ม มีความงอกเท่ากับ 75 71 และ 69% และพบว่าการผึ่งในที่ร่มมีการปนเปื้อนของเชื้อรามากที่สุด (บุญมี และคณะ, 2546) นอกจากนี้มีการรายงานการลดความชื้นแบบถังอบสามารถลดความชื้นเมล็ดถั่วลิสงจาก 25-27% ให้เหลือประมาณ 6-7% โดยใช้เวลา 24 และ 36 ชั่วโมง เมื่อบรรจุเมล็ดในถังอบหนา 60 และ 80 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การตากแดดต้องใช้เวลาในการลดความชื้น 48 ชั่วโมง ส่วนการผึ่งในร่มใช้เวลา 78 ชั่วโมง และพบว่าการใช้เครื่องลดความชื้น การตากแดดและการผึ่งในร่มทำให้เมล็ดมีความงอก 73, 70 และ 66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 4 เดือน (เบญจมาภรณ์, 2543)

2. ส่วนประกอบของระบบปั๊มความร้อน

ปั๊มความร้อน คือระบบที่ทำงานในการปั๊มความร้อนจากตำแหน่งหนึ่งไปใช้งานในอีกตำแหน่งหนึ่ง โดยใช้หลักการทำงานตามวัฏจักรการทำงานทางเทอร์โมไดนามิกส์หรือที่เรียกกันว่า Carnot Cycle ทำให้สามารถดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนแล้วนำไปถ่ายเทในบริเวณที่ต้องการความร้อนได้ วัฏจักรการทำงานของปั๊มความ

กรมวิชาการเกษตร

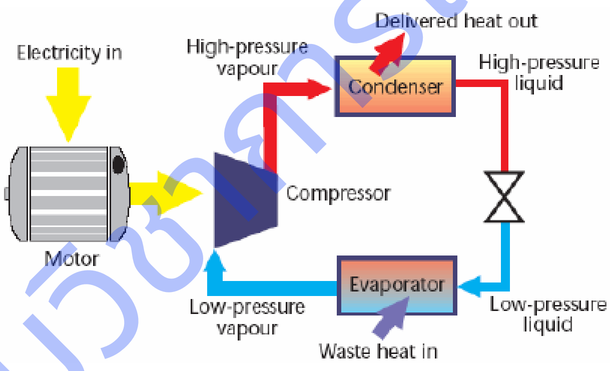
ร้อนมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Mechanical Vapour Compression System) ที่มีการประยุกต์ใช้งานโดยทั่วไปในเครื่องปรับอากาศ ต่างกันเพียงแต่ปั๊มความร้อนจะเลือกใช้ประโยชน์จากด้านความร้อนเป็นหลักและควบคุมอุณหภูมิด้านความร้อนแทนด้านความเย็น ส่วนประกอบการทำงานหลักของปั๊มความร้อน ประกอบด้วยดังนี้ ดังแสดงในภาพที่ 3.2

• **อีวาพอเรเตอร์หรือคอล์ยเย็น (Evaporator)** ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากภายนอกเข้าสู่วงจรปั๊มความร้อน. โดยสารทำความเย็นที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกจะดึงความร้อนจากภายนอกและเปลี่ยนสถานะเป็นไอ

• **คอมเพรสเซอร์ (Coompressor)** ทำหน้าที่เพิ่มความดันให้สารทำความเย็นในสถานะไอที่อุณหภูมิต่ำให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าภายนอกและส่งต่อไปที่คอนเดนเซอร์

• **คอนเดนเซอร์ (Condenser)** ทำหน้าที่ระบายความร้อนจากสารทำความเย็นที่ความดันและอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่ความดันสูงไหลต่อไปยังเอ๊กซ์แพนชั่นวาล์ว

• **เอ็กซ์แพนชั่นวาล์ว (Expansion valve)** ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นเพื่อป้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์



ภาพที่ 3.2 วัฏจักรการทำงานของระบบปั๊มความร้อน

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2552)

กรมวิชาการเกษตร

3. หลักการทำงานของปั๊มความร้อน

การทำงานของปั๊มความร้อนสามารถใช้ประโยชน์จากความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น ความร้อนในอากาศ หรือแหล่งความร้อนที่สูญเสียซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนตามปกติมาทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนสามารถนำกลับมาใช้ได้ ในระบบปั๊มความร้อนทั่วไปซึ่งมีค่า COP (Heating) มากกว่าหรือเท่ากับ 3 ซึ่งเห็นได้จากพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปที่คอมเพรสเซอร์เพียง 1 ส่วน สามารถสร้างความร้อนได้ถึง 3 ส่วน โดยพลังงานความร้อนอีก 2 ส่วนจะดึงมาจากอากาศหรือสิ่งแวดล้อมภายนอก ดังนั้นปั๊มความร้อนจึงเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงสำหรับการทำความร้อน และสามารถนำมา

ประยุกต์ใช้ในการกระบวนการทำงานต่างๆ ได้แก่ การผลิตน้ำร้อนสำหรับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในอาคาร รวมทั้งการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น พืชผลทางการเกษตร อาหาร ผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่มีอุณหภูมิการอบไม่สูงนักประมาณไม่เกิน 60 °C ซึ่งเมื่อพิจารณาในแง่ประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การทำงาน (COP) แล้วปั๊มความร้อนโดยทั่วไปซึ่งมีค่า COP มากกว่า 3 จึงมีประสิทธิภาพมากกว่าการผลิตความร้อนโดยใช้ก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมันซึ่งมีค่า COP เพียง 0.75 – 0.95 จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของการใช้ปั๊มความร้อนในการผลิตความร้อนเปรียบเทียบกับการใช้หม้อต้มน้ำด้วยน้ำมันเตา LPG และไฟฟ้า ปั๊มความร้อนมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานได้มากกว่า 60% โดยสามารถประเมินเปรียบเทียบในกรณีการผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °C จากน้ำดิบอุณหภูมิ 27 °C ปริมาณ 16,000 ลิตรต่อวัน (เทียบเท่าปริมาณการใช้น้ำร้อนสำหรับโรงแรมขนาด 100 ห้อง) ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และ 3.4 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [พพ.], 2552)

ตารางที่ 3.3 พลังงานความร้อนที่ต้องใช้ในการผลิตน้ำร้อน 448,000 กิโลแคลอรี่

ประเภทหม้อน้ำ	ประสิทธิภาพการให้ความร้อน	ปริมาณการใช้พลังงาน (kcal)	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง
ด้วยน้ำมันเตา	60%	746,666	79 ลิตร/วัน
ด้วยก๊าซธรรมชาติ	70%	640,000	53 กก./วัน
ด้วยขดลวดไฟฟ้า	100%	448,000	520 kWh
ด้วยปั๊มความร้อน	300%	149,333	173 kWh

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [พพ.], 2552

ตารางที่ 3.4 แสดงศักยภาพการประหยัดพลังงานของระบบปั๊มความร้อน

กรณี	การเพิ่มประสิทธิภาพการให้ความร้อน	ปริมาณพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้
เปลี่ยนจากน้ำมันเตาเป็นปั๊มความร้อน	จาก 60% เป็น 300%	80%
เปลี่ยนจาก LPG เป็นปั๊มความร้อน	จาก 70% เป็น 300%	76%
เปลี่ยนจากขดลวดไฟฟ้าเป็นปั๊มความร้อน	จาก 100% เป็น 300%	66%

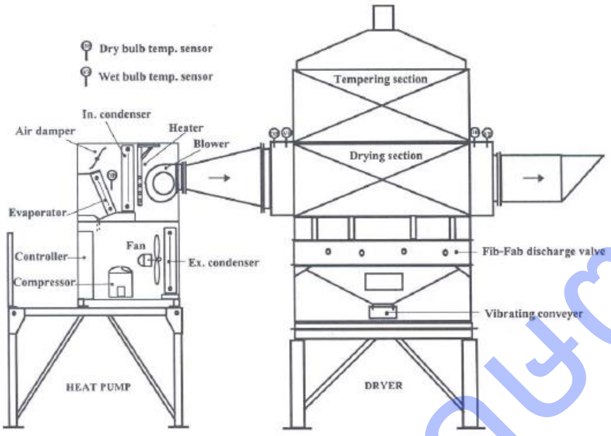
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [พพ.], 2552

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

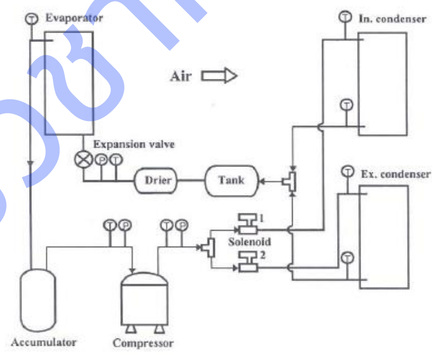
Somchart, et al, 2000 ได้วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน (Heat pump Dryer) สำหรับอบเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ใช้ร่วมกับตู้อบแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า (Lousiana State University, LSU type) ดังแสดงในภาพที่ 3.3 โดยส่วนประกอบของระบบปั๊มความร้อน Heat Pump ดังแสดงในภาพที่ 3.4 ซึ่งประกอบไปด้วย

กรมวิชาการเกษตร

อุปกรณ์ที่สำคัญดังนี้ 1. คอมเพรสเซอร์ (Compressor) 2. คอล์ยเย็น (Evaporator) 3. คอนเดนเซอร์ภายและภายนอก (Internal and external Condenser) 4. เอ็กแปนชั่นวาวล์ว (Expansion valve) 5. พัดลมดูดอากาศ (Blower) ซึ่งเครื่องอบลดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกนี้ออกแบบให้มีอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งไม่เกิน 43 °C สามารถลดความชื้นเมล็ดจาก 22.22% w.b. ลดลงเหลือ 12% w.b. โดยใช้อัตราการไหลของอากาศ 9 m^3/min-m^3paddy ซึ่งหลังการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวมีความงอกเฉลี่ย 97% และความแข็งแรงเมล็ด 96%



ภาพที่ 3.3 ตู้อบแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า (LSU) ร่วมกับระบบปั๊มความร้อน (Heat pump)
ที่มา: Somchart et al (2000)



ภาพที่ 3.4 วงจรระบบปั๊มความร้อน (Piping diagram of Heat pump)
ที่มา: Somchart et al (2000)

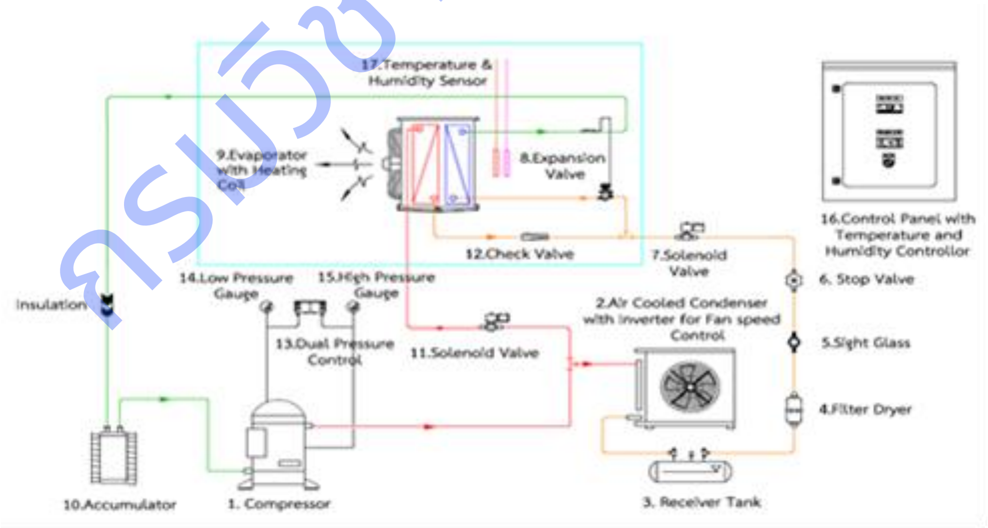
อานนท์และคณะ (2560) ได้ออกแบบและพัฒนาระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็นสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องเก็บรักษาโดยไม่ต้องใช้เครื่องลดความชื้น โดยมีอุณหภูมิ 15 °C และความชื้น 40-50 %RH มีขนาดห้อง 2.2x2.2 x4.0 เมตร (กว้างxยาวxสูง) สามารถจุเมล็ดพันธุ์ได้ 8-10 ตัน อุปกรณ์ส่วนประกอบที่สำคัญของ

กรมวิชาการเกษตร

ระบบเครื่องทำความเย็นคือ 1) คอมเพรสเซอร์ 2) คอนเดนเซอร์ 3) เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว และ 4) ชุดคอล์ยเย็นซึ่งติดตั้งแผงคอล์ยร้อนเสริมเข้าไปเพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ จุดเด่นของระบบนี้คือใช้หลักการของระบบปั๊มความร้อน (Heat Pump) มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุณภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง โดยได้นำความร้อนที่ระบายความร้อนทิ้งที่ชุดคอนเดนเซอร์ดึงกลับมาใช้กับแผงคอล์ยร้อยที่ติดตั้งอยู่ในชุดคอล์ยเย็นเพื่อใช้ความชื้นภายในห้อง จากผลการทดสอบสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) เท่ากับ 4.02 และเมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ใช้ร่วมกับเครื่องลดความชื้นสามารถประหยัดค่าพลังงานได้มากถึง 40 % และสามารถเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชให้มีคุณภาพที่ดีได้ตามต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 3.5 และ 3.6

ภาพที่ 3.5 ห้องเย็นสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช

ที่มา: อานนท์และคณะ (2560)



ภาพที่ 3.6 ระบบทำความเย็นที่ประยุกต์จากหลักการของระบบปั๊มความร้อน

ที่มา: อานนท์และคณะ (2560)

กรมวิชาการเกษตร

ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

กิจกรรมที่ 1ออกแบบและพัฒนาระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

อุปกรณ์

10. คอมเพรสเซอร์ขนาด 5 แรงม้า พร้อมอุปกรณ์ระบบเครื่องทำความเย็น
11. คอล์เย็นและคอล์ยร้อนสำหรับระบบปั๊มความร้อน
12. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของระบบปั๊มความร้อน
13. ผนังฉนวนกันความร้อนชนิด PU Foam หนา 2 นิ้ว
14. อุปกรณ์วัดระบบไฟฟ้า
15. เครื่องมือบันทึกข้อมูล อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

วิธีการ

1. ออกแบบระบบเครื่องลดความชื้นด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบปั๊มความร้อน

2. ออกแบบระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง โดยมีเงื่อนไขสำหรับการลดความชื้นคือ เมล็ดพันธุ์มีความชื้นเริ่มต้น 18-20 %w.b. แล้วทำการลดความชื้นให้เหลือ 11 %w.b. และสามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ได้ 250 กิโลกรัมต่อ 1 รอบ โดยใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นประมาณ 10 ชั่วโมง อุณหภูมิห้องอบอยู่ในระหว่าง 35-43°C และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบ 25-35 %RH โดยมีอุปกรณ์ในการทำงานหลักๆ คือ คอมเพรสเซอร์ (Compressor) เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว (Expansion Valve) คอล์ยเย็น (Cooler Unit) คอล์ยร้อน (Condenser) และแผงความร้อนสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ โดยสามารถคำนวณการออกแบบระบบปั๊มความร้อนได้ดังสมการที่ 1 ถึง 5

สมการคำนวณหาน้ำหนักสุดท้ายของเมล็ดพันธุ์ตามความชื้นที่ต้องการ

$$W_f = W_i\left(\frac{100-M_i}{100-M_f}\right) \quad (1)$$

เมื่อ W_f คือ น้ำหนักเมล็ดพันธุ์หลังการลดความชื้น (kg)

W_i คือ น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ก่อนการลดความชื้น (kg)

M_f คือ ความชื้นเมล็ดพันธุ์ที่ต้องการ (%w.b.)

M_i คือ ความชื้นเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น (%w.b.)

สมการคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออกจากเมล็ดพันธุ์

$$m_w = W_f - W_i \quad (2)$$

สมการคำนวณอัตราการระเหยปริมาณน้ำที่ออกจากเมล็ดพันธุ์

กรมวิชาการเกษตร

$$\dot{m}_w = \frac{(m_w)}{t} \quad (3)$$

เมื่อ m_w คือ ปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออก (kg_{water})

$\dot{m}_w$ คือ อัตราการระเหยของปริมาณน้ำ (kg_{water}/hr)

t คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการลดความชื้น (hr)

สมการคำนวณปริมาณลมที่ใช้ในการลดความชื้น

$$m_a = \frac{(\dot{m}_w)}{(w_f - w_i)} \quad (4)$$

$$Q_a = \frac{m_a}{\rho} \quad (5)$$

เมื่อ m_a คือ มวลของอากาศที่ใช้ในการลดความชื้น (kg_{air}/hr)

$\dot{m}_w$ คือ อัตราปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออก (kg_{water}/hr)

w_f คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศหลังการลดความชื้น (kg_{water}/kg_{dryair})

w_i คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศก่อนการลดความชื้น (kg_{water}/kg_{dryair})

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

Q_a คือ ปริมาณลมที่ต้องใช้ในการลดความชื้น (m^3/hr)

แล้วนำปริมาณลมที่ต้องใช้ในการลดความชื้นที่ได้จากการคำนวณไปใช้หากำลัง Compressor ของระบบปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม Psychometrics Chart

3. สร้างต้นแบบตู้อบและระบบปั๊มความร้อนในห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

4. ทดสอบหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของระบบปั๊มความร้อน โดยในการทดสอบนี้ได้กำหนดตั้งค่าแรงดันด้านสูง (Hight Pressure) ของระบบทำความเย็นไว้ 3 ระดับ คือ 200 psi 250 psi และ 300 psi แล้วบันทึกผลการทดลองดังนี้ ค่าแรงดันด้านต่ำ (Low pressure) และ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบ

5. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

กิจกรรมที่ 2 การศึกษาและทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจากการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน

การทดลองที่ 2.1 การศึกษาและทดสอบเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนต่อการลดความชื้นพันธุ์ถั่วเหลือง

สิ่งที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน
2. เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 (ความชื้นระหว่าง 15-20%)
3. อุปกรณ์สำหรับทดสอบความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์

แบบและวิธีการทดลอง

กรมวิชาการเกษตร

วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ประกอบด้วย

กรรมวิธีที่ 1 ลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส

กรรมวิธีที่ 2 ลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส

กรรมวิธีที่ 3 ลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ (ชุดควบคุม)

วิธีปฏิบัติการทดลอง

1. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ความชื้น 15-20% วางลงในถาดของเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนและแบบเครื่องอบลมร้อน โดยแต่ละชั้นวางเมล็ดพันธุ์หนาประมาณ 5 เซนติเมตร จากนั้นลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ที่อุณหภูมิ 35-38 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเมล็ดพันธุ์มีความชื้นอยู่ระหว่าง 10-11%

2. บันทึกอุณหภูมิและตรวจสอบความชื้นเมล็ดพันธุ์ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของแต่ละชั้น ชั้นละ 3 จุด และบันทึกระยะเวลาที่ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เหลือ 10-11% w.b.

3. ตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ภายหลังการลดความชื้น ดังนี้ ความแตกร้าว ความชื้น ความงอกมาตรฐาน และความงอกภายหลังการเร่งอายุ

4. ทดสอบหาค่าความชื้น (moisture test) โดยนำเมล็ดพันธุ์มาบดหยาบด้วยเครื่องบด ชั่งน้ำหนัก 4.5±0.5 กรัมต่อซ้ำ อบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 17 ชั่วโมง นำไปไว้ในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที คำนวณน้ำหนักที่หายไป รายงานผลเป็นร้อยละ (ISTA, 2018)

5. ทดสอบหาความงอกมาตรฐาน (standard germination) ทำการเพาะเมล็ดในทรายทดสอบ จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 100 เมล็ด เก็บไว้ในห้องเพาะความงอกอุณหภูมิสลับ 20-30 องศาเซลเซียส ประเมินความงอกที่อายุ 8 วัน (ISTA, 2018)

6. การเร่งอายุ (accelerated aging test) โดยนำเมล็ดไปเร่งอายุที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98±2 เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (Hampton and Tekrony, 1995) จำนวน 100 เมล็ดต่อซ้ำ เมื่อครบกำหนด นำเมล็ดไปเพาะความงอกตามวิธีการทดสอบความงอกมาตรฐาน

7. ทดสอบความแตกร้าว ทดสอบด้วยวิธีอินดอกซิล อะซิเตท (Indoxyl acetate test) โดยการสุ่มเมล็ดพันธุ์จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 100 เมล็ด แช่ในสารละลายอินดอกซิล อะซีเตท ความเข้มข้น 0.1% (ชั่งอินดอกซิล อะซิเตท 1 กรัม ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) 10%; เอทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร) เป็นเวลา 5-10 วินาที เทสารละลายออก ผึ่งให้แห้งด้วยกระดาษเพาะหรือกระดาษซับ 4-5 นาที ที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเมล็ดที่ผึ่งแล้วใส่ขวดแก้ว (ขวดแก้วหรือภาชนะที่เป็นแก้วพร้อมฝาปิด) นำสำลีชุบแอมโมนียให้ชุ่ม ใส่ลงในขวดแก้ว โดยไม่ให้สำลีสัมผัสกับเมล็ดพันธุ์โดยตรง ปิดฝาให้สนิท แอมโมเนียจะทำปฏิกิริยากับอินดอกซิลอะซีเตท ที่เข้าไปสู่รอยแตกร้าวของเมล็ดพันธุ์ รอยแตกร้าวจะปรากฏสีน้ำเงินเขียว หรือน้ำเงินม่วง บันทึกจำนวนเมล็ดที่ติดสี

8. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncun's Multiple Range Test

การบันทึกข้อมูล

1. ความชื้น (moisture test)

กรมวิชาการเกษตร

2. ความงอกมาตรฐาน (standard germination)

3. การเร่งอายุ (accelerated aging test)

4. ความแตกร้าว

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาผลของเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนและแบบเครื่องอบลมร้อนต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในระหว่างการเก็บรักษา

แบบและวิธีการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ประกอบด้วย

กรรมวิธีที่ 1 สภาวะการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน

กรรมวิธีที่ 2 สภาวะการลดความชื้นเครื่องอบแบบลมร้อน

กรรมวิธีที่ 3 ลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ (ชุดควบคุม)

วิธีปฏิบัติการทดลอง

1. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ความชื้น 15-20% นำลดความชื้นตามสภาวะที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 1 จนกระทั่งเมล็ดพันธุ์มีความชื้นอยู่ระหว่าง 10-11%

2. บันทึกอุณหภูมิและตรวจสอบความชื้นเมล็ดพันธุ์ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของแต่ละชั้น ชั้นละ 3 จุด และบันทึกระยะเวลาที่ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เหลือ 10-11%

3. จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ภายหลังการลดความชื้นมาบรรจุใส่ถุงโพลีเอทิลีน จำนวน 1 กิโลกรัมต่อถุง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน

4. ตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ก่อนและระหว่างการเก็บรักษาทุกๆ 1 เดือน เป็นเวลา 4-6 เดือน ดังนี้ ความแตกร้าว (ทดสอบภายหลังการลดความชื้น) ความชื้น ความงอกมาตรฐาน และความงอกภายหลังการเร่งอายุ

5. ทดสอบหาความงอกมาตรฐาน (standard germination) ทำการเพาะเมล็ดในทรายทดสอบ จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 100 เมล็ด เก็บไว้ในห้องเพาะความงอกอุณหภูมิสลับ 20-30 องศาเซลเซียส ประเมินความงอกที่อายุ 8 วัน (ISTA, 2018)

6. การเร่งอายุ (accelerated aging test) โดยนำเมล็ดไปเร่งอายุที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98±2 เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (Hampton and Tekrony, 1995) จำนวน 100 เมล็ดต่อซ้ำ เมื่อครบกำหนด นำเมล็ดไปเพาะความงอกตามวิธีการทดสอบความงอกมาตรฐาน

7. ทดสอบความแตกร้าว ทดสอบด้วยวิธีอินดอกซิล อะซิเตท (Indoxyl acetate test) โดยการสุ่มเมล็ดพันธุ์จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 100 เมล็ด แช่ในสารละลายอินดอกซิล อะซีเตท ความเข้มข้น 0.1% (ชั่งอินดอกซิล อะซิเตท 1 กรัม ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) 10%; เอทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร) เป็นเวลา 5-10 วินาที เทสารละลายออก ผึ่งให้แห้งด้วยกระดาษเพาะหรือกระดาษซับ 4-5 นาที ที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเมล็ดที่ผึ่งแล้วใส่ขวดแก้ว (ขวดแก้วหรือภาชนะที่เป็นแก้วพร้อมฝาปิด) นำสำลีชุบแอมโมเนียให้ชุ่ม ใส่ลงในขวดแก้ว โดยไม่ให้สำลีสัมผัสกับเมล็ดพันธุ์โดยตรง ปิดฝาให้สนิท แอมโมเนียจะทำ

กรมวิชาการเกษตร

ปฏิกิริยากับอินดอกซิลอะซีเตท ที่เข้าไปสู่รอยแตกร้าวของเมล็ดพันธุ์ รอยแตกร้าวจะปรากฏสีน้ำเงินเขียว หรือน้ำเงินม่วง บันทึกจำนวนเมล็ดที่ติดสี

8. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncun's Multiple Range Test

การบันทึกข้อมูล

1. อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของตู้ลดความชื้น
2. การใช้ไฟฟ้าเพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานงานของระบบปั๊มความร้อน
3. อัตราการดึงความชื้น (Moisture Condensation Rate, MCR)
4. อัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (Specific Moisture Condensation Rate, SMCR)
5. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)
6. ค่าประสิทธิภาพของเครื่องลดความชื้น (Dehumidification Efficiency)

ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินงาน

ระยะเวลาดำเนินงาน 1 ตุลาคม 2562 ถึง 31 ธันวาคม 2564

สถานที่ดำเนินงาน สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม, ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก
ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

กิจกรรมที่ 1ออกแบบและพัฒนาระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

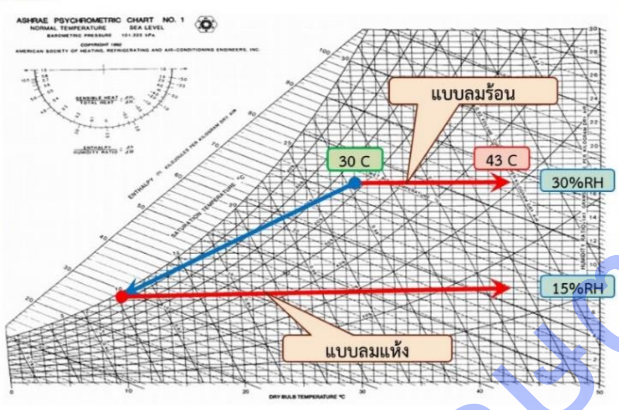
1. ผลการออกแบบระบบเครื่องลดความชื้นด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบปั๊มความร้อน

ในการออกแบบปั๊มความร้อนนี้ (Heat Pump) จะออกแบบเพื่อให้ได้อากาศที่แห้งก่อนนำไปอบเมล็ดพันธุ์มีหลักการทำงานคือ ให้อากาศไหลผ่านคอล์ยเย็น (Evaporator) เพื่อให้มวลของไอน้ำเกิดการควบแน่นแล้วกลั่นตัวออกมาเป็นหยดน้ำแล้วทำให้ความชื้นในอากาศลดลง และหลังจากนั้นให้อากาศไหลผ่านคอล์ยร้อน (Condenser) เพื่อเพิ่มความร้อนให้กับอากาศ ทำให้ได้อากาศที่แห้งไปลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืช หลักการของระบบนี้สามารถควบคุมอากาศที่อุณหภูมิ 35-42 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 10-20%RH ซึ่งเป็นลมที่เหมาะสมกับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองอย่างยิ่ง

การออกแบบของระบบลดความชื้นสัมพัทธ์นี้เพื่อให้ได้สภาวะอากาศตามที่ต้องการนั้นจะต้องอาศัยหลักการจากแผนภูมิคุณสมบัติของอากาศ โดยที่ระบบลดความชื้นนั้นจะอาศัยการควบแน่นของไอน้ำในอากาศ โดยมีลักษณะการทำงานคือ เมื่ออากาศสัมผัสกับความเย็นที่มีอุณหภูมิเท่ากับหรือต่ำกว่าอุณหภูมิ ณ จุดน้ำค้าง (Dew point temperature) ของอากาศ ไอน้ำบางส่วนก็จะกลั่นตัวออกมาเป็นของเหลวทำให้ความชื้นสัมพัทธ์

กรมวิชาการเกษตร

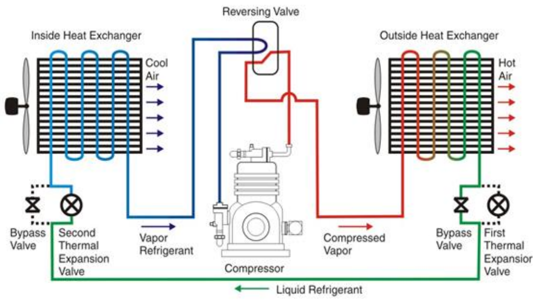
ของอากาศลดลง ความแตกต่างระหว่างลมแห้งที่ได้จากระบบปั๊มความร้อน (Heat Pump) กับลมร้อนที่ได้จากแหล่งกำเนิดความร้อนจาก แก็ส น้ำมันเตา ฮีตเตอร์ไฟฟ้า คือ การสร้างความร้อนอุณหภูมิที่เท่ากัน ลมร้อน จะมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงกว่า ลมแห้ง เท่าตัว ดังแสดงในภาพที่ 3.7 ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศนี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพของการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์และจะสัมพันธ์กับความชื้นสมดุลของเมล็ด ซึ่งจะสามารถทำให้เวลาการลดความชื้นลดลงได้



ภาพที่ 3.7 แผนภูมิไซโครเมตริกซ์ (Psychrometric chart) แสดงความแตกต่างระหว่าง ลมแห้งกับลมร้อน

ที่มา: ASHRAE (1998)

ในส่วนของการออกแบบระบบปั๊มความร้อนมีส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว และคอล์ยเย็น มีหลักการทำงานดังแสดงในภาพที่ 3.8 กล่าวคือ ใช้พัดลมดูดให้อากาศไหลผ่านคอล์ยเย็นก่อนและหลังจากให้อากาศจะมาผ่านคอล์ยร้อนซึ่งอากาศจะมีการขยายตัวทำให้ความหนาแน่นของอากาศลดลง จึงส่งผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ลดลง จึงได้สภาวะอากาศเป็นแบบลมแห้ง โดยระบบปั๊มความร้อนนี้จะควบคุมการทำงานแบบระบบอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องลดได้ตามต้องการและมีความแม่นยำที่สูง ซึ่งการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วด้วยเครื่องดังกล่าวจะสามารถช่วยประหยัดเวลาได้เมื่อเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยแสงแดด อำนวยความสะดวกในช่วงที่ไม่มีแสงแดดอีกทั้งไม่ส่งผลต่อความงอก ความแข็งแรงและอายุการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่ว



ภาพที่ 3.8 ระบบปั๊มความร้อน

ที่มา: trueHVAC (2556)

กรมวิชาการเกษตร

2. ผลการออกแบบระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

จากเงื่อนไขสำหรับการลดความชื้นคือ เมล็ดพันธุ์มีความชื้นเริ่มต้น 18-20 %w.b. แล้วทำการลดความชื้นให้เหลือ 11 %w.b. และสามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ได้ 250 กิโลกรัมต่อ 1 รอบ โดยใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นประมาณ 12 ชั่วโมง อุณหภูมิห้องอบอยู่ในระหว่าง 35-43°C และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบ 25-35 %RH และจากการคำนวณโดยการใช้คุณสมบัติของอากาศตามแผนภูมิ Psychometrics Chart ทำให้ได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งปริมาณลมที่ต้องการใช้สำหรับการลดความชื้นเท่ากับ 707.98 m^3/hr

ตารางที่ 3.5 ผลการคำนวณหาปริมาณลมที่ให้สำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธีถั่วเหลือง

ลำดับที่	รายละเอียด	ผลการคำนวณ	หน่วย
1	น้ำหนักเริ่มต้น	250	kg
2	น้ำหนักสุดท้าย	230.34	kg
3	ความชื้นเริ่มต้นของ	18	%(wb.)
4	ความชื้นสุดท้ายของ	11	%(wb.)
5	อุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง	38	°C
6	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ใช้อบแห้ง	35	%RH
7	ค่าอัตราส่วนความชื้น (w_i)	0.0125	kg (water) /kg (dry air)
8	ค่าความหนาแน่นของอากาศ (ρ)	1.129	kg/m^3
9	อุณหภูมิอากาศหลังอบแห้ง	35	°C
10	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศหลังอบแห้ง	45	%RH
11	ค่าอัตราส่วนความชื้น (w_f)	0.0166	kg (water) /kg (dry air)
12	อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	30	°C
13	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม	70	%RH
14	เวลาที่ใช้อบแห้ง	12	hr
15	ปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออกจาก Product	19.66	kg (water)
16	อัตราการระเหยน้ำออกจาก Product	3.28	kg (water) / hr
	ปริมาณลมที่ต้องใช้ในการอบแห้ง	**707.98**	**m^3/ hr**

จากผลการคำนวณปริมาณลมที่ต้องใช้สำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในข้างต้นซึ่งเท่ากับ 707.98 m^3/hr หรือประมาณ 417 cfm จากนั้นจึงได้นำปริมาณลมดังกล่าวมาใช้คำนวณหาภาระการทำความเย็นของคอล์ยเย็นและขนาดคอล์ยร้อนของระบบปั๊มความร้อนโดยใช้โปรแกรม Psychometrics Chart ซึ่งผลการคำนวณได้ค่าภาระการทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อนมีค่าเท่ากับ 7.53 kW และขนาดของคอล์ยร้อนเท่ากับ 8.23 kW

กรมวิชาการเกษตร

3. ผลการสร้างต้นแบบตู้อบและระบบปั๊มความร้อน

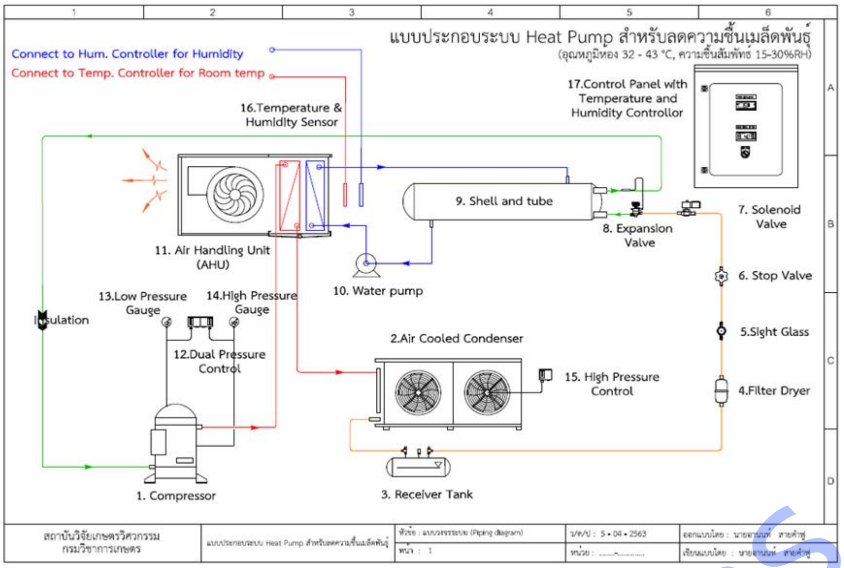
จากผลการออกแบบตู้ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง จึงได้ดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบในส่วนของตู้ลดความชื้นดังแสดงในภาพที่ 3.9 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ขนาดภายนอกของตู้อบ 1.8 x 2.5 x 2.3 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง)
2. ฉนวนผนังตู้อบเป็นโฟม PU (Polyurethane Foam) ความหนา 2 นิ้ว

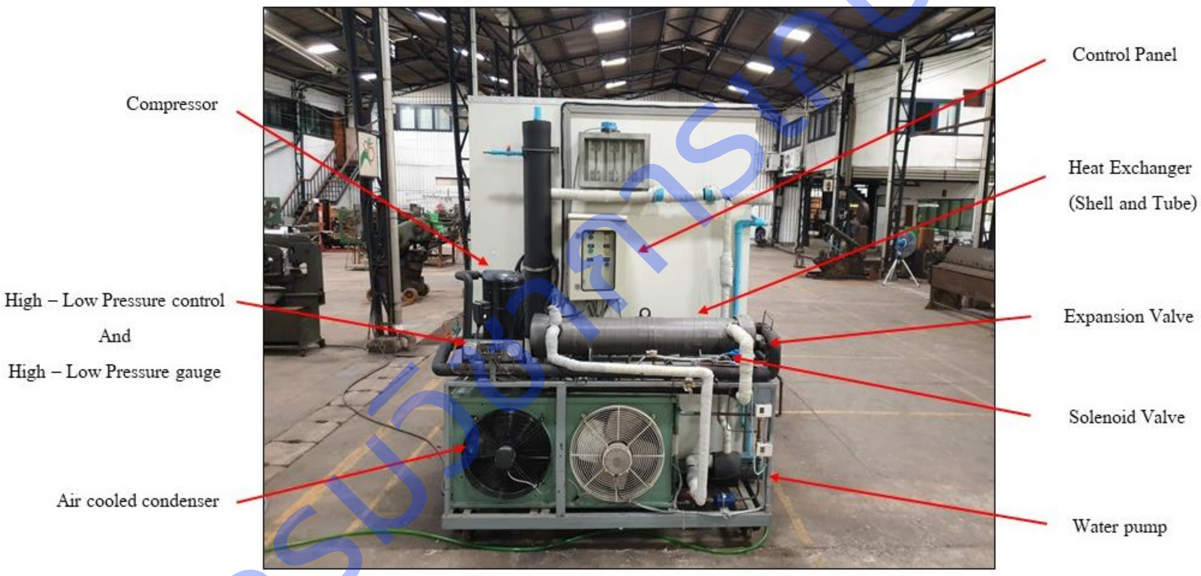
ภาพที่ 3.9 ผลการสร้างเครื่องต้นแบบตู้ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ผลการสร้างเครื่องต้นแบบในส่วนของเครื่องทำความเย็นสำหรับระบบปั๊มความร้อน จากการสร้างตู้ลดความชื้นขนาด 1.8 x 2.5 x 2.3 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง) จึงได้ดำเนินการสร้างระบบปั๊มความร้อนซึ่งระบบที่ออกใหม่เป็นระบบแบบ (Hydro Heat pump) คือ การให้คอมเพรสเซอร์ทำน้ำเย็นก่อน โดยใช้ Shell and Tube เป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับน้ำแล้วใช้ปั๊มส่งน้ำไปยังคอล์ยเย็นอีกทีหนึ่ง แทนการฉีดสารทำความเย็นผ่านเอ็กแปนชั่นวาวล์ (Direct Expansion valve) เข้าไปในคอล์ยเย็นโดยตรง ซึ่งเหตุผลที่ออกแบบให้ระบบปั๊มความร้อนใช้น้ำเย็นเพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันด้านต่ำ (Low pressure) ของระบบสูงเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้แรงดันด้านสูง (High pressure) สูงขึ้นตามไปด้วย และอาจทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานหนักจนเกินไป (Over load) ดังแสดงแผนวงจรระบบในภาพที่ 3.10 และผลการสร้างระบบปั๊มความร้อนแบบ Hydro Heat pump ดังแสดงในภาพที่ 3.11

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 3.10 แผนภาพวงจรระบบปั๊มความร้อนแบบ Hydro Heat pump



ภาพที่ 3.11 ระบบปั๊มความร้อนแบบ Hydro Heat pump

กรมวิชาการเกษตร

4. ผลการทดสอบหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของระบบปั๊มความร้อน

การทดสอบหาสภาวะการทำงานนี้ได้กำหนดตั้งค่าแรงดันด้านสูง (Hight Pressure) ของระบบทำความเย็นไว้ 3 ระดับ คือ 200 psi 250 psi และ 300 psi แล้วทำการบันทึกผลการทดลองดังนี้ 1) ค่าแรงดันด้านต่ำ (Low pressure) 2) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบ โดยจากผลการทดสอบพบว่า ที่แรงดันด้านสูง 200 250 และ 300 psi มีแรงดันด้านต่ำเท่ากับ 60 70 และ 80 psi ตามลำดับ มีอุณหภูมิภายในห้องอยู่ในช่วง 30-34°C, 36-40°C และ 42-46°C ตามลำดับ มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 38-40 %RH, 35-38 %RH และ 32-36 %RH ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ที่แรงดันด้านสูงเท่ากับ 250 psi เป็น

แรงดันสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง โดยมีอุณหภุมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบเท่ากับ 36-40 °C และ 35-38 %RH ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3.18

ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของระบบปั๊มความร้อนที่แรงดันด้านสูงระดับต่างๆ

แรงดันด้านสูง (pisg)	แรงดันด้านต่ำ (pisg)	อุณหภูมิภานในตู้ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)
200	60	30-34	38-40
250	**70**	**36-40**	**35-38**
300	80	42-46	32-36

5. ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยตู้อบแบบปั๊มความร้อน เมื่อนำทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยสามารถแยกเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันดังนี้

1. ต้นทุนคงที่หมายถึงต้นทุนที่ตายตัวคือ ราคาของเครื่องจักรจะประกอบด้วย ระบบทำความเย็นสำหรับปั๊มความร้อน ผนังห้องเย็น ชุดควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการประกอบและติดตั้งเครื่องจักร ซึ่งราคาต้นทุนคงที่โดยรวมแล้วประมาณ 500,000 บาท และมีอายุการใช้งาน 10 ปี

2. ต้นทุนแปรผันหมายถึงต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการใช้งานคือ ค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าซ่อมบำรุงเพื่อดูแลรักษาเครื่องจักร ซึ่งต้นแบบห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืชนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 9.87 หน่วย/ชั่วโมง คิดค่าไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 3.5 บาท/หน่วย ซึ่งสามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองได้ 250 กก./รอบ และใช้เวลารอบละ 6 ชั่วโมง คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.91 บาท/กก.แห้ง และค่าซ่อมบำรุงประจำปีเฉลี่ยประมาณ 5,000 บาท/ปี

เมื่อประเมินความคุ้มค่าและต้นทุนการการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยตู้อบแบบปั๊มความร้อนทั้งต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน เพื่อใช้ในการพิจารณาประกอบการตัดสินใจเลือกใช้งานตู้อบแบบปั๊มความร้อน พบว่า ที่กำลังการผลิต 20, 30, 40 และ 50 ตัน/ปี มีต้นทุนการใช้งานตู้อบแบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเท่ากับ 3.65, 2.73, 2.28 และ 2 บาท/กก.แห้ง ตามลำดับ

กิจกรรมที่ 2

1. ผลการศึกษาและทดสอบเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 เปรียบเทียบกับเครื่องอบลมร้อนและการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ โดยดำเนินการ ณ สถาบันเกษตรวิศวกรรม และศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก ทำการสุ่มเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ช่วงปลายฤดูฝนปี 2563 เพาะปลูกช่วงกรกฎาคม - สิงหาคม 2563 ณ แปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ตำบลศรีษะ

กรมวิชาการเกษตร

เกศ อำเภอนาน้อย จังหวัดน่าน เก็บเกี่ยวระหว่างตุลาคม - พฤศจิกายน 2563 ค่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองภายหลังการเก็บเกี่ยวอยู่ระหว่าง 16.93-19.58% จากนั้นดำเนินการแบ่งตัวอย่างเพื่อลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในช่วง 10-11% ด้วยเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน (Heat Pump Dryer; HP) เครื่องอบลมร้อน (Hot Air Oven; HA) และแสงอาทิตย์ (Sun drying) เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองพบว่า การลดความชื้นด้วย HP ใช้ระยะเวลา 5 ชั่วโมง ในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์จาก 16.93% เป็น 10.90% โดยอุณหภูมิขณะลดความชื้นมีค่าระหว่าง 37.4-41.9 $^{\circ}$C สำหรับการลดความชื้นด้วย HA ใช้ระยะเวลา 10 ชั่วโมง ในการลดความชื้นจาก 17.55% เป็น 10.96% อุณหภูมิการลดความชื้นอยู่ระหว่าง 37.0-40.1 $^{\circ}$C ในขณะที่การลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ใช้ระยะเวลา 5 ชั่วโมง เท่ากับวิธี HP สำหรับลดความชื้นจาก 19.58% เป็น 10.91% โดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 40.5-44.3 $^{\circ}$C (ตารางที่ 3.7) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการลดความชื้นด้วยลมแห้งอุณหภูมิเฉลี่ย 28.33 $^{\circ}$C และความชื้นสัมพัทธ์ 24% สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจาก 22.6% เหลือ 11.9% ในเวลา 16 ชั่วโมง 32 นาที โดยสภาวะดังกล่าวไม่มีผลต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (Krzyzanowski *et al.*, 2006) อย่างไรก็ตามจากการทดลองนี้พบว่าการลดความชื้นด้วยวิธี HP ทำให้เมล็ดพันธุ์แตกร้าวสูงที่สุดเท่ากับ 11% แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ที่มีความแตกร้าวเท่ากับ 8% อย่างไรก็ตามการลดความชื้นด้วยวิธี HA มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 4% การลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์เป็นการลดความชื้นในระบบเปิดจึงไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ระยะเวลาการลดความชื้นจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ณ ช่วงเวลาที่ปฏิบัติงาน ซึ่งอุณหภูมิในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองไม่ควรเกิน 43 $^{\circ}$C (Ashrae, 1999) นอกจากนี้มีการรายงานว่าการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองควรอยู่ในช่วง 38-41 $^{\circ}$C จึงจะไม่ส่งผลกระทบต่อความแตกร้าวและความงอกของเมล็ดพันธุ์ (White *et al.*, 1976) และการลดความชื้นที่อุณหภูมิช่วง 30 – 40 $^{\circ}$C ไม่พบผลกระทบต่อความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (Potts *et al.*, 1978) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมจึงเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อความแตกร้าวของเมล็ดพันธุ์ภายหลังการลดความชื้น แต่อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น อัตราการไหลเวียนของอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องอบ (Boyd, 1974; Brooker et al., 1974) เป็นต้น สำหรับความงอกมาตรฐานของวิธี HP เท่ากับ 56% ไม่แตกต่างทางสถิติจากการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ และพบว่าการลดความชื้นด้วย HA มีความงอกต่ำที่สุด อย่างไรทุกกรรมวิธีไม่มีผลทำให้ค่าความงอกภายหลังการเร่งอายุแตกต่างกัน (ตารางที่ 8) ดังนั้นการลดความชื้นด้วย HP ที่อุณหภูมิระหว่าง 37.4-41.9 $^{\circ}$C ระยะเวลา 5 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์ได้คือไม่เกิน 11% และไม่ส่งผลกระทบต่อความงอกมาตรฐานภายหลังการลดความชื้น วิธีการดังกล่าวอาจทดแทนวิธีการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ได้ แต่อย่างไรก็ตามควรศึกษาร่วมกับผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในแต่ละกรรมวิธีระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากความเสียหายของเมล็ดพันธุ์อาจไม่แสดงทันทีภายหลังการลดความชื้น (วันชัย, 2542)

จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ลดความชื้นทั้งสามกรรมวิธีมาเก็บรักษาโดยบรรจุถุงซิป และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20-22 $^{\circ}$C ความชื้นสัมพัทธ์ 60-65% เป็นเวลา 4 เดือน พบว่าความชื้นเมล็ดพันธุ์ที่ลดความชื้นด้วยวิธี HP, HA และแสงอาทิตย์ก่อนเก็บรักษา (เดือนที่ 0) มีค่า 9.12%, 9.70% และ 10.31 ตามลำดับ (ตารางที่ 9) ซึ่ง

กรมวิชาการเกษตร

พบว่าวิธีการลดความชื้นมีผลต่อความแตกต่างทางสถิติของความชื้น โดยค่าเฉลี่ยความชื้นของวิธี HP มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 9.24% รองลงมาคือ HA และแสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 9.67% และ 10.39% ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อความชื้น ซึ่งพบว่าความชื้นของเมล็ดพันธุ์ในทุกกรรมวิธีค่อนข้างคงที่ (ตารางที่ 3) สำหรับเปอร์เซ็นต์ความงอกมาตรฐานภายหลังการลดความชื้นก่อนการเก็บรักษาพบว่าการลดความชื้นด้วย HP มีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงที่สุดเท่ากับ 56% สำหรับความงอกของ HA และแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 50% และ 51% ตามลำดับ (ตารางที่ 10) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของความงอกแต่ละกรรมวิธีมีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ในเดือนที่ 4 ของการเก็บรักษา ความงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ลดความชื้นด้วยวิธี HP มีค่าเท่ากับ 42.8% ซึ่งมีค่าสูงกว่าการลดความชื้นด้วย HA และแสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญมีค่าเท่ากับ 31.3% และ 31.0% ตามลำดับ สอดคล้องกับผลวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าวิธีการลดความชื้นส่งผลต่อความงอกอย่างมีนัยสำคัญโดยพบว่าค่าเฉลี่ยของวิธี HP ให้ค่าความงอกสูงที่สุด รองลงมาคือ HA และแสงอาทิตย์ ในทำนองเดียวกันระยะเวลาการเก็บรักษาทำให้ความงอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากค่าเฉลี่ยเริ่มต้น 52.3% เหลือ 35.0% ในเดือนที่ 4 ของการเก็บรักษา นอกจากนี้ ความแข็งแรงเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่วิเคราะห์โดยค่าความงอกภายหลังการเร่งอายุ มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน โดยทั้งปัจจัยวิธีการลดความชื้น และระยะเวลาการเก็บรักษาส่งผลต่อการลดลงของความแข็งแรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยความงอกภายหลังการเร่งอายุเริ่มต้นเท่ากับ 22.9% และลดลงเหลือ 16.6% ในเดือนที่ 4 ส่วนวิธีการลดความชื้นพบว่า วิธี HP ยังคงให้ค่าความแข็งแรงสูงที่สุดคือ 22.4% แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วย HA และแสงอาทิตย์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 17% และ 13% ตามลำดับ (ตารางที่ 3.7)

ความงอกและความแข็งแรงในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ลดความชื้นด้วยวิธี HP มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาช้ากว่าวิธีการลดความชื้นอื่นๆ แม้ว่าอุณหภูมิในการลดความชื้นสูงสุดเท่ากับ 41.9 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 39.7°C แต่อาจเนื่องจากอัตราการไหลเวียนของอากาศภายในตู้อบลดความชื้นมีความสม่ำเสมอมากกว่าวิธีการอื่นๆ ซึ่งมีค่าประมาณ 1,800 ลบ.ม./ชั่วโมง หรือ 0.5 ลบ.ม./วินาที ในขณะที่อุณหภูมิสูงสุดของการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงสุดและเฉลี่ยเท่ากับ 44.3°C และ 42.4°C ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าวิธีการลดความชื้นแบบ HP จึงทำให้ความงอกและความแข็งแรงลดลงในระหว่างการเก็บรักษาเร็วกว่าโดยทั่วไปเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสามารถทนต่ออุณหภูมิการลดความชื้นได้สูงสุดที่ 43°C (Ashrae, 1999) อย่างไรก็ตามแม้ว่าอุณหภูมิการลดความชื้นด้วย HA จะไม่เกินอุณหภูมิสูงสุดสำหรับการลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดและเฉลี่ยเท่ากับ 40.1°C และ 38.6°C ต่ำกว่าวิธี HP และแสงอาทิตย์จึงพบการแตกร้าวน้อยที่สุด แต่พบว่าความงอกมาตรฐานและความแข็งแรงต่ำกว่าวิธี HP อาจเป็นไปได้ว่าการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์มิได้เกิดจากการแตกร้าวของเมล็ดพันธุ์แต่มีผลจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ความหนาแน่นและอัตราการไหลของอากาศในขณะลดความชื้น หากไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ (วันชัย, 2542) ส่วนสาเหตุการเสื่อมสภาพที่สำคัญของเมล็ดพันธุ์ที่ลดความชื้นด้วย HA อาจเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงในขบวนการทางชีวเคมีระหว่างการลดความชื้นเนื่องจากเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมีองค์ประกอบของน้ำมันสูง และวิธีการลดความชื้นด้วย HA ใช้ระยะเวลานานถึง 10 ชั่วโมง ปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (Lipid peroxidation) อาจถูกกระตุ้นให้เกิดขึ้น

กรมวิชาการเกษตร

โดยไขมันถูกออกซิไดส์เป็นกรดไขมันอิสระ ทำให้เกิดการสะสมของสารกลุ่มแอลดีไฮน์ คีโตน หรือแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นพิษต่อเซลล์ ส่งผลให้เซลล์เมมเบรนเสียหาย ความงอกและความแข็งแรงจึงลดลง (Sung and Chiu, 1995; Azadi and Younesi, 2013) สำหรับการลดลงของความงอกและความแข็งแรงในเมล็ดพันธุ์ที่ลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์เกิดจากความแตกร้าวเป็นหลักเนื่องจากอุณหภูมิสูงสุดในการลดความชื้นเกินจุดที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองคือ 43°C (Ashrae, 1999) จึงทำให้เกิดการแตกร้าวและเสียหายภายในเมล็ดพันธุ์

ตารางที่ 3.7 อุณหภูมิและระยะเวลาในการลดความชื้น และความชื้นก่อนและหลังลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ที่ลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน ตู้อบลมร้อน และแสงอาทิตย์

Drying Method	Drying Temperature (°C)	Drying Time (hours)	MC before Drying (%)	MC after Drying (%)
Heat Pump Dryer	37.4-41.9	5	16.93	10.90
Hot Air Oven	37.0-40.1	10	17.55	10.96
Sundry	40.5-44.3	5	19.58	10.91

ตารางที่ 3.8 เปอร์เซ็นต์การแตกร้าว ความชื้น ความงอกมาตรฐาน และความงอกภายหลังการเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ภายหลังการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน ตู้อบลมร้อน และแสงอาทิตย์

Drying Method	Cracked seed (%)	Moisture Content (%)	Standard Germination (%)	Germination after accelerated aging (%)
Heat Pump Dryer	11a	9.12c	56.0a	24.5
Hot Air Oven	4b	9.69b	50.0b	22.5
Sundry	8ab	10.31a	51.0ab	21.8
CV (%)	35.9	1.49	13.35	22.92
F-test	*	**	*	ns

หมายเหตุ; ในแนวเดียวกันค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 3.9 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ภายหลังการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน ตู้อบลมร้อน และแสงอาทิตย์ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 เดือน

กรมวิชาการเกษตร

Drying Methods (D)	% Moisture during storage (months) (M)					Mean D
	0	1	2	3	4	
Heat Pump	9.12cC	9.30cAB	9.26cB	9.37cA	9.16cC	9.24c
Hot Air Oven	9.69bAB	9.63bBC	9.71bAB	9.76bA	9.58bC	9.67b
Sundry	10.31aB	10.34aB	10.79aA	10.29aBC	10.21aC	10.39a
Mean M	9.71	9.76	9.92	9.80	9.65	**9.77**
CV (%)	Months (M)	5.43				
	Drying (D)	1.49				
F-test	Months (M)	ns				
	Drying (D)	**				
	D x M	**				

หมายเหตุ; ในแนวเดียวกันค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 3.10 เปอร์เซ็นต์ความงอกมาตรฐานของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ภายหลังการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน ตู้อบลมร้อน และแสงอาทิตย์ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 เดือน

Drying Methods (D)	% Standard Germination during storage (months) (M)					
	0	1	2	3	4	Mean D
Heat Pump	56.0aA	41.8B	41.0B	42.3B	42.8aB	44.8a
Hot Air Oven	50.0bA	40.5B	42.5B	36.3BC	31.3bC	40.1b
Sundry	51.0abA	42.3B	41.5B	32.8C	31.0bC	39.7b
Mean M	52.3A	41.5B	41.7B	37.1C	35.0C	**41.5**
CV (%)	Months (M)	9.59				
	Drying (D)	13.35				
F-test	Months (M)	**				
	Drying (D)	*				
	D x M	ns				

หมายเหตุ; ในแนวเดียวกันค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 3.11 เปอร์เซ็นต์ความงอกภายหลังการเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 ภายหลังการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน ตู้อบลมร้อน และแสงอาทิตย์ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 เดือน

กรมวิชาการเกษตร

Drying Methods (D)	% Germination after Accelerated aging during storage (months) (M)					
	0	1	2	3	4	Mean D
Heat Pump	24.5	19.5a	25.8a	19.5a	22.5a	22.4a
Hot Air Oven	22.5	15.5ab	15.8b	14.8b	16.5b	17.0b
Sundry	21.8A	11.8bB	11.8bB	9.0cB	10.8cB	13.0c
Mean M	22.9A	15.6BC	17.8B	14.4C	16.6BC	**17.5**
CV (%)	Months (M)	18.44				
	Drying (D)	22.61				
F-test	Months (M)	**				
	Drying (D)	**				
	D x M	ns				

หมายเหตุ; ในแนวเดียวกันค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในปริมาณ 250 กก./รอบ มีขนาด 1.8x2.5x2.3 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง) สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 36-42 ℃ และ 35-38 %RH ตามลำดับ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง จากผลการทดสอบประเมินสมรรถนะของเครื่องลดความชื้น โดยวิธีการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจากความชื้นเริ่มต้น 18 % ให้ลดลงเหลือ 11 % ด้วยเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายหลังการลดความชื้นและในระหว่างการเก็บรักษาน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อนและแสงอาทิตย์ ดังนั้นวิธีการลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 37.4-41.9°C เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง จึงเป็นวิธีและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองให้อยู่ในระดับปลอดภัยและสามารถแนะนำเพื่อทดแทนการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์ได้ และจาการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้ประกอบกาตัดสินใจลงทุนซื้อเครื่องจักรมาใช้งานพบว่า ที่กำลังการผลิต 20, 30, 40 และ 50 ตัน/ปี มีต้นทุนการใช้งานตู้อบแบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเฉลี่ยเท่ากับ 3.65, 2.73, 2.28 และ 2 บาท/กก.แห้ง ตามลำดับ

จากผลการวิจัยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองนี้ สามารถสร้างอุณหภูมิภายในห้องอบได้สูงสุด 46°C หากต้องการนำเครื่องต้นแบบนี้ไปใช้งานอบแห้งหรือลดความชื้ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ต้องการอณหภูมิสูงกว่านี้จำเป็นต้องติดฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มเข้าไป เพื่อสร้างอุรหภูมิให้สูงขึ้นแต่ไม่ควรเกิน 60°C เนื่องจากจะทำให้การทำงานของระบบปั๊มความร้อน (คอมเพรสเซอร์) เกิดสภาวะเกินกำลัง (Over load) ซึ่งอาจส่งผลให้ระบบการทำงานเกิดความเสียหายได้

กรมวิชาการเกษตร

โครงการวิจัยที่ 4

วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

Research and Development of Reducing Air Pressure Dryer for Soybean Seeds Drying

เวียง อากรชี, สิทธิพงษ์ ศรีสว่างวงศ์, นิภาภรณ์ พรรณรา, นายวุฒิพล จันทร์สระคู,
กลวัชร ทิมินกุล, พินิจ จิรัคคกุล, ศักดิชัย อาษาวัง, เอกภาพ ป้านภูมิ,
วัชรพงษ์ ตามไธสงค์, อนุชา เชาว์โชติ และ อุทัย ธานี

Weang Arekornchee, Sitthipong Srisawangwong, Nipaporn Phannara, Wuttipol Jansrakoo,
Kollawatch Timinkul, Pinit Jirakkakul, Sakchai Asawang, Akkaparp Panpoom
Watcharapong Tamthaisong, Anucha Chaochote and Uthai Thanee

คำสำคัญ (Key words)

เครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ, การลดความชื้น, เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง, การทดสอบคุณภาพ
Air Pressure Reducing Dryer, Drying, Soybean Seed, Testing of Quality

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง แบ่งเป็น 2 กิจกรรมวิจัย คือ 1) การออกแบบพัฒนาเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง 2) การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองหลังการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ ซึ่งแต่ละกิจกรรมได้ผลวิจัยดังนี้

เครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ 1. ห้องอบแห้งสุญญากาศ 2. แหล่งกำเนิดความร้อน 3. ปั๊มสุญญากาศ เบื้องต้นออกแบบ ห้องอบแห้งเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เมตร ยาว 1.2 เมตร หนา 6 มิลลิเมตร มีชั้นวางเป็นตะแกรงสแตนเลสขนาด กว้าง x ยาว 0.50 x 1.00 เมตร จำนวน 4 ถาด แหล่งกำเนิดความร้อนเป็นแท่งฮีตเตอร์ขนาด 1,000 วัตต์ จำนวน 4 แท่ง และใช้ปั๊มสุญญากาศ แบบ water jet ผลการทดสอบอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงที่มีความชื้นเริ่มต้น 34.15% โดยใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดันติดลบ 650 มิลลิเมตรปรอท จนได้ความชื้นหลังการอบ คือ 11.50 7.40 และ 4.50 %มาตรฐานเปียก ตามลำดับ และเมื่อทดสอบการงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองหลังการอบลดความชื้นทั้ง 3 กรณี พบว่าค่าอัตราการงอกใกล้เคียงและสูงกว่าค่าตัวอย่างเปรียบเทียบ ได้ทำการขยาย

กรมวิชาการเกษตร

ขนาดห้องอบแห้งให้มีรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด กว้าง x ยาว x สูง 1.20 x 1.20 x 1.20 เมตร ชั้นวางเป็นตะแกรงสแตนเลส ขนาด กว้าง x ยาว 0.75 x 1.00 เมตร จำนวน 7 ถาด เพื่อให้บรรจุเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองได้มากขึ้น

การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจากการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ จะทดสอบใน 2 กรณี คือเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ทำการเพิ่มความชื้น และเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีความชื้นสูงจากแปลงเกษตรกร โดยมีปัจจัยที่ตั้งค่าการอบลดความชื้นคือ อุณหภูมิ และแรงดันอากาศติดลบ ซึ่งในการทดสอบกรณีที่ 1 การเพิ่มปริมาณความชื้นให้เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง จากความชื้นเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 13.60 17.50 และ 23.40 เปอร์เซ็นต์ ทำการอบลดความชื้นใช้อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความดันอาการติดลบ 650 มิลลิเมตรปรอท จนความชื้นลดลงเหลือ 7.50 4.00 และ 2.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำการทดสอบการเพาะงอกทั้ง 3 ตัวอย่าง ซึ่งผลการงอกมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ใช้เปรียบเทียบ ทำให้สรุปได้ว่าการอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศมีความเป็นไปได้สูง การทดสอบกรณีที่ 2 โดยใช้เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีความชื้นจากแปลงเกษตรกร จำนวน 3 ราย ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้น 15.20 16.40 และ 17.20 เปอร์เซ็นต์ ทำการอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ที่แรงดันอากาศติดลบ 650 มิลลิเมตรปรอท จนความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองลดลงเหลือ 9.00 9.70 และ 10.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ได้หลังการอบลดความชื้นไปเก็บไว้ในตู้เย็นเป็นเวลา 9 เดือน จึงนำมาทดสอบวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ โดยพิจารณา เปอร์เซ็นต์การงอก ความแข็งแรง และความเสียหายของเมล็ดพันธุ์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้ค่าต่าง ๆ ยังไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน ทั้งนี้อาจเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของเมล็ดพันธุ์ที่ได้มา หรืออาจเกิดจากความผิดพลาดของการเก็บรักษา จึงควรมีการทดสอบใหม่ให้มีข้อมูลที่ชัดเจนมากขึ้น

Abstract

Research and development project of air pressure reducing dryer for soybean seed drying. This research was divided into 2 research activities: 1) Design and development of air pressure reducing dryer for soybean seed drying and 2) Testing of Soybean Seed Quality after Drying by Reducing Air Pressure Dryer. Each activity has the following research results:

Air pressure reducing dryer for soybean seed moisture dehumidification has 3 main components: 1. Vacuum drying chamber 2. Heat source 3. Vacuum pump. Preliminary design The drying chamber is cylindrical, diameter 0.75 m, length 1.2 m, thickness 6 mm. There are shelves made of stainless steel, size width x length 0.50 x 1.00 meters, 4 trays. The heat source is 4 round bars of 1000 watt heater and use a water jet vacuum pump. The results of the dehumidification drying test of peanut seeds with an initial moisture content of 34.15% using a temperature of 40 °C and a negative pressure of 650 mmHg. The moisture content of peanut seeds after drying was 11.50, 7.40 and 4.50 % wet standard, respectively. The testing of the germination of soybean seeds after dehumidification in all 3 cases, it was found that the

กรมวิชาการเกษตร

germination rate was close to and higher than the control sample value. The drying chamber was enlarged to have a square shape, width x length x height 1.20 x 1.20 x 1.20 meters. The shelf is a stainless steel grid, size width x length 0.75 x 1.00 meters, 7 trays to contain more soybean seeds.

Testing of soybean seed quality after drying by air pressure reducing dryer was tested in 2 cases. The case 1 was soybean seed with humidity increase and case 2 was soybean seeds with high moisture content from farmer's fields. The factors that set the dehumidification setting are temperature and negative air pressure. In the test case 1, increasing the moisture content of soybean seeds from the initial humidity of 10 percent increased to 13.60, 17.50 and 23.40 percent. Dehumidification was done at a temperature of 38 degrees Celsius and a negative pressure of 650 mmHg. The moisture content was decreased to 7.50, 4.00 and 2.50 percent respectively. The germination test was performed on all 3 samples. The germination results were similar to those used for control sample. Thus, it can be concluded that dehumidification with a dehumidification dryer is highly feasible. The case 2 was tested using soybean seeds with moisture content from 3 farmers' fields with initial humidity 15.20, 16.40 and 17.20 percent. Dehumidification was dried by reducing air pressure dryer at 38 °C at air pressure negative 650 mm Hg. the moisture content of soybean seed sample drops to 9.00, 9.70 and 10.00 percent respectively. The soybean seeds obtained after dehumidification were stored in the refrigerator for 9 months, and then tested for quality analysis by considering percentage of germination, vigor and seed damage. The results of the analysis that obtained various values have not yet passed the assessment criteria. This may be due to the imperfections of the obtained seeds or it may be caused by storage errors. Therefore, there should be a new test to have more clear information.

กรมวิชาการเกษตร

บทนำ

ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตเมล็ดพันธุ์ใหญ่ที่สุดในอาเซียน โดยมีการส่งออกเมล็ดพันธุ์ไปยังประเทศในกลุ่มอาเซียนมากเป็นอันดับ 1 และเป็นอันดับ 3 ในภูมิภาคเอเชีย รองจากจีนและญี่ปุ่น และเป็นอันดับที่ 12 ของโลก เนื่องจากประเทศไทยมีข้อได้เปรียบทางด้านสภาพสิ่งแวดล้อมที่เอื้ออำนวย ภัยธรรมชาติค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับประเทศอื่นในภูมิภาค เกษตรกรมีความสามารถในการเพาะปลูกพืชเหล่านี้ และมีมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อรองรับการส่งออกที่มีคุณภาพ ซึ่งการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของประเทศไทยมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ หน่วยงานภาครัฐจะเป็นผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่เป็นความมั่นคงทางด้านอาหารของประเทศ เช่น ข้าว พืชตระกูลถั่วต่างๆ ส่วนภาคเอกชนจะเป็นผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมเปิดเพื่อการค้า ประกอบด้วย ข้าวโพด ทานตะวัน พืชผัก

ต่างๆ ซึ่งในแต่ละปีมีการส่งออกค่อนข้างสูงโดยส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชมากกว่า 30 ชนิด โดยสร้างรายได้เข้าประเทศตั้งแต่ปี 2557 ถึง 2559 มีมูลค่าไม่น้อยกว่า 5,000 ล้านบาทต่อปี โดยเฉพาะเมล็ดพันธุ์ผักและพืชไร่ เช่น พืชตระกูลแตง ผักบุ้งจีน มะเขือเทศ พริก ถั่วฝักยาว ฟักทอง ผักกาดกวางตุ้ง ถั่วเขียวผิวดำ ข้าวโพด และข้าวโพดหวาน เป็นต้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) เมล็ดพันธุ์ถือว่าเป็นปัจจัยการผลิตที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการเพาะปลูก ดังนั้นคุณภาพเมล็ดพันธุ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่างๆ การลดความชื้นเป็นหนึ่งในขั้นตอนการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ ภายหลังการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ต้องนำมาลดความชื้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการความชื้นมีผลโดยตรงต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ความชื้นสูงส่งผลให้อัตราการหายใจเมล็ดพันธุ์สูงขึ้นตาม เกิดความร้อนภายในกองเมล็ดพันธุ์ ส่งผลให้เชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์เจริญเติบโต เมล็ดพันธุ์จึงเกิดการเสื่อมสภาพในที่สุด (จวงจันทร์, 2529; วันชัย, 2537) ดังนั้นการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการที่เหมาะสมและรวดเร็วจะช่วยให้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพที่ดีและสามารถเก็บรักษาได้นาน การลดความชื้นหรือการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่จะหลีกเหลี่ยงไม่ได้เนื่องจากในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชโดยเริ่มจาก การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว จนมาถึงขั้นตอนการลดความชื้นหรือการอบแห้ง แล้วนำไปคัดแยกและทำความสะอาด และสุดท้ายคือการเก็บรักษาเพื่อรอจำหน่ายหรือนำไปเพาะปลูกในฤดูถัดไปได้ ซึ่งในขั้นตอนการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี เช่น การลดความชื้นด้วยวิธีตากแดด การใช้เครื่องลดความชื้นด้วยลมร้อนที่ใช้แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้า น้ำมัน แก๊ส น้ำมันเตา เป็นต้น เนื่องจากเมล็ดพันธุ์เมื่อเก็บเกี่ยวจากแปลงเพาะปลูกจะมีความชื้นสูงถึง 20-40 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งค่าความชื้นนี้จะขึ้นอยู่กับเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิด ในปัจจุบันการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่ว ใช้วิธีการลดความชื้นด้วยแสงแดด (sun drying) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำ และประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นซึ่งมีแสงแดดเพียงพอต่อการลดความชื้น วิธีการนี้จึงยังเป็นที่นิยมอยู่จนถึงปัจจุบัน โดยทั่วไปการลดความชื้นด้วยวิธีดังกล่าวใช้เวลา 1-2 วัน ขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพันธุ์และปริมาณแสงแดดในช่วงเวลาที่ลดความชื้น เช่น การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่มีความชื้น 16-18% ใช้เวลา 1 วัน ในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% ถั่วเหลืองความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน ในการลดความชื้นให้เหลือ 11-12% และถั่วลิสงความชื้นเริ่มต้น 18-20% ใช้เวลา 2 วัน ในการลดความชื้นให้เหลือ 9-11% นอกจากนี้จำเป็นต้องใช้แรงงานในการนำเมล็ดพันธุ์พืชตากแดด กลับกองและเก็บเมล็ดพันธุ์ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อเสียในช่วงฤดูฝนซึ่งมีแสงแดดน้อย มีฝนตก ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง จึงทำให้ไม่สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (12-14%) ได้ภายใน 1-2 วัน ส่งผลให้ขบวนการเมทาบอลิซึมของเมล็ดพันธุ์สูง เชื้อราเจริญเติบโต ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพ ความแข็งแรงต่ำ และอายุการเก็บรักษาสั้น (จวงจันทร์, 2529; วันชัย, 2537) ดังนั้นการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลดความชื้น อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เพื่อช่วยให้เมล็ดพันธุ์ยังคงมีคุณภาพที่ดีและมีความแข็งแรงสูง ในช่วงฤดูฝนหรือในช่วงที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ อีกทั้งสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (climate changes) ในปัจจุบันที่ค่อนข้างแปรปรวนไม่เป็นไปตามฤดูกาล การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยเครื่องอบลดความชื้นจึงน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วและส่งผลให้การจัดการเมล็ดพันธุ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการลดความชื้นแบบลดแรงดันอากาศเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืช เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันสามารถทำให้

กรมวิชาการเกษตร

ประสิทธิภาพการระเหยน้ำออกจากเมล็ดได้มากขึ้นที่อุณหภูมิไม่สูงเมื่อเทียบกับภาวะปกติ และยังช่วยให้ความชื้นสม่ำเสมอ อีกทั้งยังช่วยให้ประหยัดเวลา และลดแรงงาน ในขั้นตอนการลดความชื้นของงานผลิตเมล็ดพันธุ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืชในระหว่างการเก็บรักษาเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการเมล็ดพันธุ์ให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น และเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถแข่งขันให้กับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของไทย เพื่อผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลาง (Seed Hub) เมล็ดพันธุ์พืชของอาเซียนและเอเชียในอนาคต ตามแผนแม่บทยุทธศาสตร์ศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567 ในการพัฒนาเครื่องมือในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสนับสนุนการผลิตเมล็ดพันธุ์ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2559) ที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย เพื่อศึกษาผลของการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง เพื่อวิจัยพัฒนาต้นแบบและวิธีการใช้ที่เหมาะสมของเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับการลดความชื้นในการทำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องอบลดความชื้นแบบมีการปรับลดแรงดันอากาศ สำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการปรับลดแรงดันอากาศ และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบลดความชื้นที่เหมาะสมต่อการทำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองคุณภาพดี

การทบทวนวรรณกรรม

หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีการอบแห้ง

การอบแห้ง (drying) เป็นกระบวนการลดความชื้นหรือไล่ความชื้นออกจากวัตถุที่ชื้นภายใต้สภาวะควบคุม โดยใช้ความร้อนถ่ายเทไปยังวัตถุที่มีความชื้นเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในวัตถุนั้นออกด้วยการระเหย โดยในกระบวนการอบแห้งส่วนมากจะใช้อากาศเป็นสารตัวกลางในการระเหยน้ำที่เป็นของเหลวออกไป วัตถุประสงค์ของการอบแห้งคือการยืดอายุการเก็บอาหารโดยการทำให้วัตถุนั้นมีปริมาณความชื้นลดลง ซึ่งการลดลงของความชื้นในวัตถุขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของวัตถุนั้นเป็นสำคัญ เช่น ผลไม้ที่ปริมาณน้ำตาลสูงจะสามารถลดความชื้นลงเหลือประมาณ ร้อยละ 10 –15 ต่อน้ำหนักเปียก เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลมาก การระเหยน้ำจึงเป็นไปได้ยากกว่าวัตถุที่มีปริมาณน้ำตาลน้อย ส่วนผักซึ่งมีปริมาณน้ำตาลน้อยจะสามารถลดความชื้นลงเหลือต่ำกว่าร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเปียก นอกจากนี้การอบแห้งยังเป็นการลดน้ำหนักและปริมาตรของวัตถุช่วยให้สะดวกต่อการบรรจุ การเก็บรักษา และการขนส่ง

ความชื้น (moisture content) เป็นตัวบอกถึงปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เพื่อบ่งชี้ว่าวัสดุนั้นชื้นหรือแห้ง ด้วยการเปรียบเทียบกับมวลวัสดุโดยแสดงค่าเป็นร้อยละความชื้น โดยสามารถแบ่งการตรวจวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้ 2 รูปแบบคือ

กรมวิชาการเกษตร

1. เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก (% moisture content wet basis) ความชื้นมาตรฐานเปียกสำหรับผลิตภัณฑ์ใดๆ คำนวณในรูปของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หารด้วยน้ำหนักทั้งหมดของผลิตภัณฑ์

$$M_{wb}(\%) = \frac{m_w - m_d}{m_w} \times 100 \qquad (1)$$

2. เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง ((% moisture content dry basis) ความชื้นมาตรฐานแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ใดๆ คำนวณในรูปของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หารด้วยน้ำหนักของมวลแห้ง

$$M_{db}(\%) = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100 \qquad (2)$$

โดยที่ M_{wb} = ความชื้นมาตรฐานเปียก % (w.b.)

M_{db} = ความชื้นมาตรฐานแห้ง % (d.b.)

m_w = มวลเปียกของวัตถุ (kg)

m_d = มวลแห้งของวัตถุ (kg)

ในทางการเกษตรนิยมใช้ความชื้นมาตรฐานเปียกในการกล่าวถึงความชื้น แต่ในการคำนวณมักจะนิยมใช้เป็นความชื้นมาตรฐานแห้ง การหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานเปียก (M_{wb}) และมาตรฐานแห้ง (M_{db})

$$M_{wb} = \frac{M_{db}}{1+M_{db}} \qquad (3)$$

การหาความชื้นที่เวลาใดๆของผลิตผลเกษตรเริ่มจากการหามวลแห้งของผลิตผลเกษตรนั้น โดยการนำตัวอย่างผลิตผลเกษตรอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าตัวอย่างที่อบจะมีน้ำหนักคงที่ และหาความชื้นที่เวลาใดๆโดยใช้สมการ

กรมวิชาการเกษตร

$$M_{wb}(t) = \frac{m_w(t) - m_d}{m_w(t)} \qquad (4)$$

โดยที่ $M_{wb}(t)$ = ความชื้นมาตรฐานเปียกที่เวลาใดๆ % (w.b.)

$m_w(t)$ = มวลของผลิตผลเกษตรที่เวลา t (g)

m_d = มวลแห้งของผลิตผลเกษตร (g)

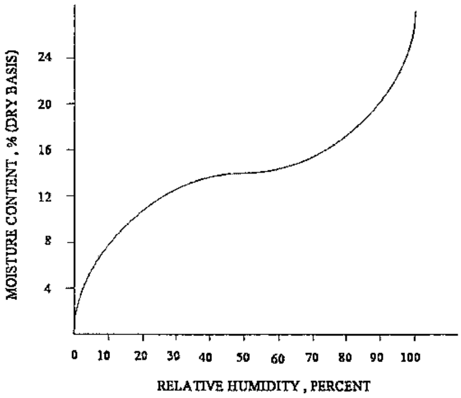
ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content)

ความชื้นสมดุลเป็นตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์การอบแห้งและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เมื่อนำวัตถุไปวางไว้ภายใต้สภาวะคงที่ใดๆที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ วัตถุอาจคายความชื้นให้กับอากาศหรือดูดซับความชื้นจากอากาศ (adsorption) ถ้าวางวัตถุไว้เป็นเวลานานจนกระทั่งความชื้นคงที่ค่าหนึ่งที่ไม่เปลี่ยนแปลง จุดนี้ความชื้นในวัสดุจะมีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศและอุณหภูมิของวัสดุก็จะเท่ากับอุณหภูมิของอากาศที่อยู่รอบๆ เรียกความชื้นที่จุดนี้ว่าความชื้นสมดุล

ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (equilibrium relative humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลหมายถึง ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ซึ่งวัดในระบบปิดในสภาวะสมดุล (equilibrium) เมื่อนำวัตถุมาใส่ในระบบปิดที่มีความชื้นในบรรยากาศคงที่ และปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งความชื้นของวัตถุไม่เปลี่ยนแปลง คือไม่มีการดูดคายน้ำหรือน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง

ผลิตผลทางการเกษตรโดยทั่วไปความชื้นสมดุลจะขึ้นกับธรรมชาติของวัตถุนั้น อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ จะเรียกว่า sorption isotherm สามารถแสดงเป็นกราฟรูป sigmoid (ภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดง sorption isotherm ของผลิตผลทางการเกษตรโดยทั่วไป

(ที่มา: เสริม 2547)

กรมวิชาการเกษตร

ความร้อนแฝง (latent heat)

ความร้อนแฝง คือปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัตถุชื้น เรียกว่า ความร้อนแฝง มีค่าขึ้นกับชนิดและความชื้นของวัตถุนั้นๆ ความร้อนแฝงของผลิตผลเกษตร สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\frac{L}{L'} = 1 + a\exp^{-bM_d} \qquad (5)$$

เมื่อ	L	=	ความร้อนแฝงของวัตถุชื้น (J/kg)
	L'	=	ความร้อนแฝงของน้ำ (J/kg)
	M_{db}	=	ความชื้นของวัตถุมาตรฐานแห้ง % (d.b.)
	a, b	=	ค่าคงที่ ขึ้นกับชนิดของวัตถุ

เมล็ดพันธุ์เป็นปัจจัยการผลิตที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการเพาะปลูก ดังนั้นคุณภาพเมล็ดพันธุ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่างๆ ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ประกอบด้วยหลายปัจจัยทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ปัจจัยก่อนการเก็บเกี่ยว เช่น การจัดการในแปลงปลูก สภาพภูมิอากาศ วิธีการเก็บเกี่ยว นวด กะเทาะ เป็นต้น ปัจจัยหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การลดความชื้น การปรับปรุงสภาพ การเก็บรักษา สภาพแวดล้อม เป็นต้น ปัจจัยดังกล่าวล้วนมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ โดยเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดทนต่อสภาพเครียดหรือสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้แตกต่างกันตามชนิดและองค์ประกอบทางสรีระและเคมีของเมล็ดพันธุ์

การลดความชื้นเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญเนื่องจากมีผลโดยตรงต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ความชื้นที่ระดับเหมาะสมต่อการเก็บรักษาคือ 8-13% แต่อย่างไรก็ตามอาจมีความแตกต่างและเฉพาะเจาะจงไปตามชนิดพืช ตารางที่ 4.1 แสดงขบวนการหรือลักษณะที่เกิดขึ้นในเมล็ดพันธุ์ที่ระดับความชื้นต่างๆ

ตารางที่ 4.1 ขบวนการ/ลักษณะที่เกิดขึ้นในเมล็ดพันธุ์ที่ระดับความชื้นต่างๆ (จวงจันทร์, 2521)

ระดับความชื้น (%)	ขบวนการ/ลักษณะที่เกิดขึ้นในเมล็ดพันธุ์
35-80	ช่วงกำลังสุกแก่และพัฒนา ยังไม่เก็บเกี่ยว
18-40	สุกแก่ทางสรีรวิทยา มีอัตราการหายใจสูง การเสื่อมในไร่นาเกิดขึ้นได้ง่ายหากเก็บเมล็ดสุมกองไว้และมีการระบายอากาศไม่พอเพียงจะทำให้เกิดความร้อนสะสมในกอง เชื้อราและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย อ่อนแอต่อการกระทบกระแทกและเครื่องจักรกล
13-18	ที่ระดับความชื้นสูงกว่า 13% ยังมีอัตราการหายใจสูง ทำให้เกิดความร้อน เชื้อราและ

กรมวิชาการเกษตร

	แมลงเข้าทำลายได้ง่าย แต่ทนทานต่อการกระทบกระแทกได้ค่อนข้างดี
8-13	เก็บรักษาไว้ ในโรงเก็บแบบเปิดได้นาน 6-18 เดือนมีแมลงเข้าทำลายบ้าง อ่อนแอต่อการกระทบกระแทกเพราะค่อนข้างแข็ง
4-8	เก็บรักษาในภาชนะปิดสนิทได้อย่างปลอดภัย
0-4	เมล็ดพันธุ์บางชนิดอาจเสียหาย และในเมล็ดพืชบางชนิดอาจพบเมล็ดแข็ง เช่น ในพืชวงศ์ถั่ว
33-60	เมล็ดจะเริ่มมีขบวนการงอกเกิดขึ้น

ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง การลดความชื้นด้วยลมแห้ง อุณหภูมิเฉลี่ย 28.33°C และความชื้นสัมพัทธ์ 24% สามารถลดความชื้นจาก 22.6% เหลือ 11.9% ในเวลา 16 ชั่วโมง 32 นาที โดยสภาวะดังกล่าวไม่มีผลต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (Krzyzanowski et al, 2006) สำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 มีการรายงานการใช้เครื่องอบแห้งชนิดลมร้อนเปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยแสงแดดและผึ่งในที่ร่ม พบว่าการลดความชื้นจาก 27% เป็น 5.6% ด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 35-38°C ใช้เวลา 36 ชั่วโมง ในขณะที่การใช้แสงแดดและผึ่งในที่ร่มใช้เวลา 60 และ 90 ชั่วโมง ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน เมล็ดพันธุ์ที่ลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อน แสงแดด และผึ่งในที่ร่ม มีความงอกเท่ากับ 75 71 และ 69% และพบว่าการผึ่งในที่ร่มมีการปนเปื้อนของเชื้อรามากที่สุด (บุญมี และคณะ, 2546) นอกจากนี้มีการรายงานการลดความชื้นแบบถังอบสามารถลดความชื้นเมล็ดถั่วลิสงจาก 25-27% ให้เหลือประมาณ 6-7% โดยใช้เวลา 24 และ 36 ชั่วโมง เมื่อบรรจุเมล็ดในถังอบหนา 60 และ 80 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การตากแดดต้องใช้เวลาในการลดความชื้น 48 ชั่วโมง ส่วนการผึ่งในร่มใช้เวลา 78 ชั่วโมง และพบว่าการใช้เครื่องลดความชื้น การตากแดดและการผึ่งในร่ม ทำให้เมล็ดมีความงอก 73, 70 และ 66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 4 เดือน (เบญจมาภรณ์, 2543)

เครื่องลดความชื้น

พิรสิทธิและคณะ (2557) ได้ศึกษาการพัฒนาของการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรมตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน โดยจะสามารถแบ่งการลดความชื้นข้าวเปลือกออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ ด้วยกันคือ การลดความชื้นข้าวเปลือกแบบธรรมชาติจะเป็นการลดความชื้นโดยอาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์เท่านั้นจึงทาให้มีอุปสรรคต่อการลดความชื้นมากพอสมควร และการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งจะอาศัยความร้อนจากแหล่งความร้อนที่หลากหลาย เช่น เตาเผาแกลบ เตาเผาสร้างลมร้อน เป็นต้น สามารถอบแห้งได้ทุกสภาวะอากาศแม้ขณะฝนตกหรือมีแสงแดดน้อย ไม่เปลืองพื้นที่ในการตาก การลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งนั้นสามารถควบคุมการลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ เวลาที่ใช้ในการลดความชื้นน้อยจึงทาให้มีข้อดีกว่าวิธีธรรมชาติ เครื่องลด ความชื้นข้าวเปลือกที่มีใช้มาจนถึงปัจจุบันสามารถแบ่ง ได้หลายแบบ ดังนี้

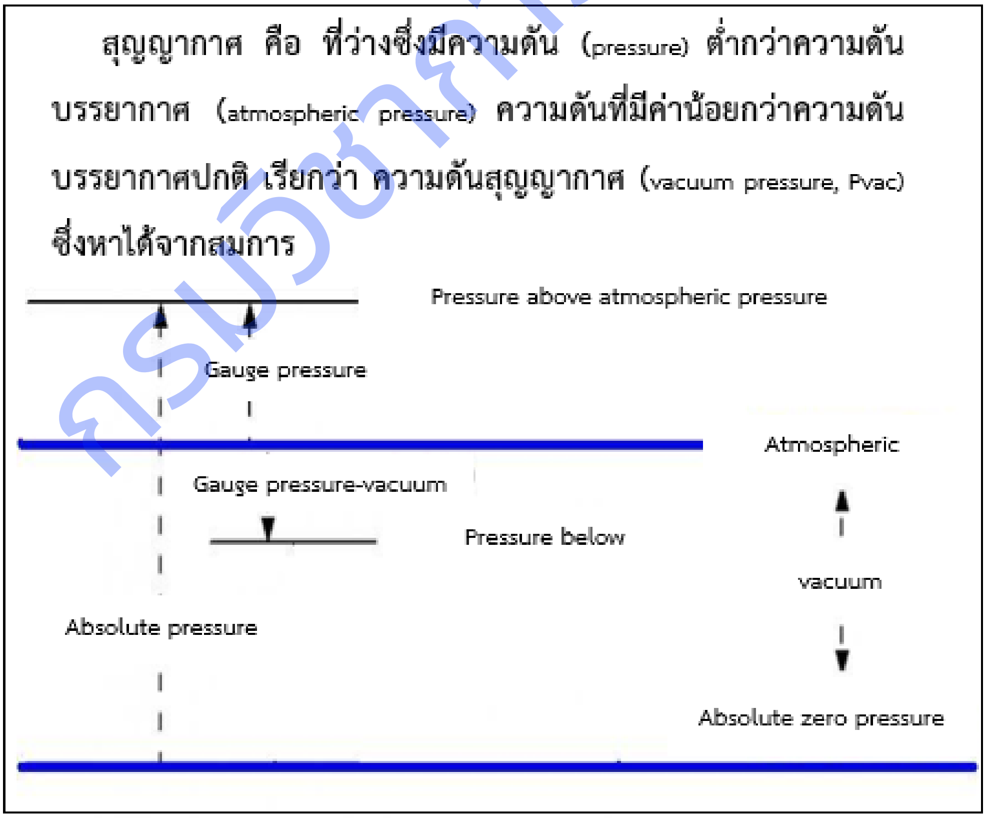
กรมวิชาการเกษตร

สุญญากาศ

สุญญากาศ คือปริมาตรของช่องว่างซึ่งไม่มีสสารอยู่ภายใน เหมือนกับความดันแก๊สที่น้อยกว่าความดันบรรยากาศมาก ๆ ซึ่งในความเป็นจริงไม่สามารถทำให้ปริมาตรของช่องว่างว่างเปล่าได้อย่างสมบูรณ์ที่เรียกว่าสุญญากาศสมบูรณ์ (perfect vacuum) ซึ่งมีความดันแก๊สเป็นศูนย์ สุญญากาศสมบูรณ์จึงเป็นแนวความคิดที่ไม่สามารถสังเกตการณ์ได้ในทางปฏิบัติ นักฟิสิกส์จึงมักจะถกเถียงเกี่ยวกับผลการทดลองในอุดมคติว่าจะเกิดอะไรขึ้นในสุญญากาศสมบูรณ์ โดยใช้คำว่าสุญญากาศแทนสุญญากาศสมบูรณ์ และใช้คำว่า สุญญากาศบางส่วน (partial vacuum) แทนความหมายของสุญญากาศที่เกิดขึ้นได้จริง ดังภาพที่ 4.2

คุณภาพของสุญญากาศ หมายถึงระดับของสภาวะที่เข้าใกล้สุญญากาศสมบูรณ์ ความดันของแก๊สที่เหลืออยู่จะถูกใช้เป็นตัววัดคุณภาพของสุญญากาศเป็นหลัก โดยการวัดในหน่วยทอรร์ (1 Torr = 1 mm.Hg) หรือหน่วยเอสไออื่น ๆ ความดันแก๊สที่ยิ่งเหลือน้อยจะหมายถึงคุณภาพที่ยิ่งมากขึ้น ถึงแม้ว่าจะมีตัวแปรอื่นที่ต้องตัดออกในภายหลัง ทฤษฎีควอนตัมได้กำหนดขอบเขตสำหรับคุณภาพของสุญญากาศที่ดีที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ จึงทำให้คาดเดาได้ว่าไม่มีปริมาตรของช่องว่างใดที่จะทำให้เป็นสุญญากาศได้อย่างสมบูรณ์ อวกาศเป็นสภาพสุญญากาศที่มีคุณภาพสูงโดยธรรมชาติ และสุญญากาศที่มีคุณภาพสูงกว่านั้นสามารถสร้างขึ้นได้ด้วยเทคโนโลยีปัจจุบัน สำหรับสุญญากาศคุณภาพต่ำได้ถูกใช้เพื่อการดูดและการสูบมากว่าหลายพันปีแล้ว

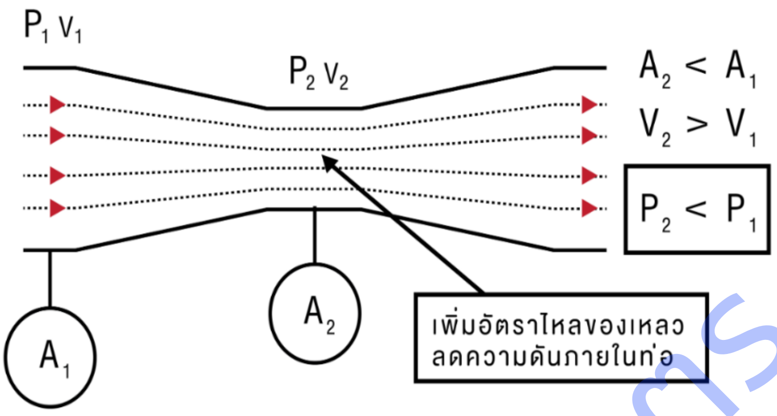
กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 4.2 สุญญากาศ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปั๊มสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊ม

สมการของแบร์นูลลี (Bernoulli's equation) คือ สมการการเคลื่อนที่ของของเหลวจากหน้าตัดที่ A1 ไปสู่หน้าตัดที่ A2 ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แสดงหลักการแบร์นูลลี

สมการนี้มีหลักการว่า พลังงานทั้งหมดของของไหลยุบตัวไม่ได้ในสภาวะคงตัวและปราศจากความเสียดทานนั้นมีค่าคงที่เสมอ ดังสมการที่ 6

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 \qquad (6)$$

โดยที่

P1, P2 คือ ความดันของของไหล

ρ ความหนาแน่นของของไหล (ความหนาแน่นของน้ำ = 1000 kg/m3)

v1 , v2 คือ ความเร็วของของไหล

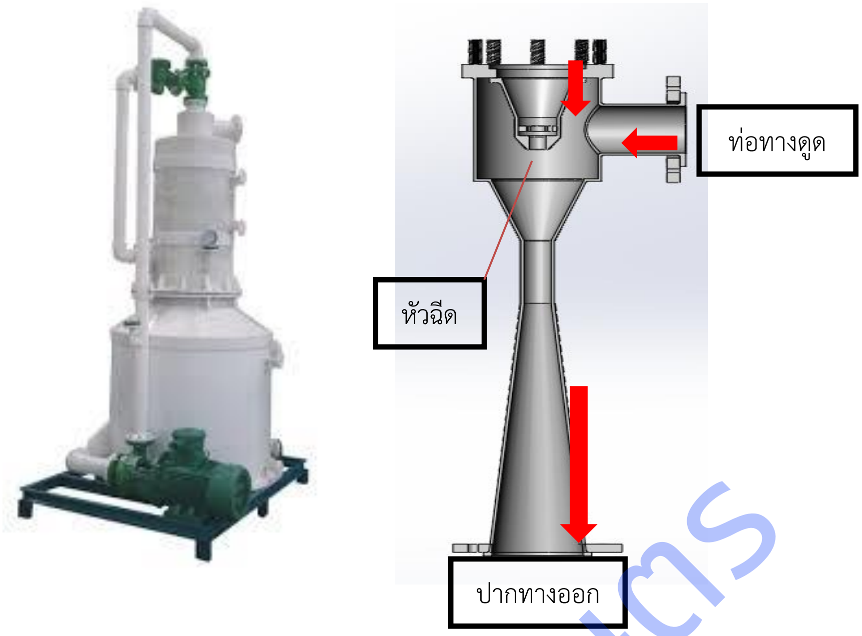
h1 , h2 คือ ระดับความสูง

G คือ ค่าแรงโน้มถ่วง (9.81 m/s2)

A1 , A2 คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ

ซึ่งจากภาพที่ 14 จะสังเกตได้ว่าพลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ของจุดที่ A2 มากกว่าจุดที่ A1 เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของการไหลลดลง ($A_2 < A_1$) จึงทำให้ความเร็วในจุดที่ A2 เพิ่มขึ้น ($V_2 > V_1$) ในขณะเดียวกันความแตกต่างของความดันที่จุด A2 มีมากกว่าจุด A1 ($P_2 < P_1$)

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 4.4 ปั๊มสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊ม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดร.อมรชัย และคณะ(2550) การทำแห้ง (Dehydration) เป็นวิธีการถนอมอาหาร ที่นิยมใช้มานานโดยการลดความชื้นขอวอาหารด้วยการระเหยน้ำ ด้วยการอบแห้ง การทอด หรือการระเหิดน้ำส่วนใหญ่ในอาหารออก ทำให้ช่วยลดการเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีในอาหาร ส่วนน้ำที่เหลือจากการทำแห้งเป็นน้ำที่ถูกยึดไว้กับองค์ประกอบของอาหาร อยู่ในโครงสร้างหรือในเซลล์ที่ประกอบเป็นกล้ามเนื้อสัตว์ โดยทั่วไป เนื้อสัตว์เป็นแหล่งอาหารที่ดีสำหรับจุลินทรีย์ เนื่องจากมีสารอาหารครบถ้วน และมีน้ำอยู่ในเนื้อเยื่อปริมาณสูง โดยในเนื้อสัตว์มีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ถึงประมาณร้อยละละ 70 จุลินทรีย์ในเนื้อสัตว์สามารถเจริญเติบโตได้และเอนไซม์ในเนื้อจะทำงานได้ดี เมื่อมีน้ำเพียงพอ ดังนั้นการลดความชื้นหรือการทำให้อาหารแห้งก็จะช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ชะลอการทำงานของเอนไซม์ หรือชะลอปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมี ซึ่งมีน้ำเป็นส่วนร่วมและเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย ช่วยให้เก็บได้นานขึ้น

การลดปริมาณน้ำในอาหารโดยการทำแห้ง ทำให้อาหารมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (Water activity) น้อยกว่า 0.6 ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรค รวมทั้งยับยั้งการสร้างสารพิษของเชื้อรา เช่น Aflatoxin นอกจากนี้การทำแห้งยังทำให้อาหารมีน้ำหนักเบา ลดปริมาตร ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง การบริภค หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่น ๆ และยังเป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้นอีกด้วย

นพพร และคณะ(2555) ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ประเภทอบแห้งได้มีความน่าสนและนิยมเพิ่มขึ้น จึงได้มีเทคโนโลยีการอบแห้งหลากหลายประเภท เช่น การอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้งแบบลมร้อน และการอบแห้งแบบสุญญากาศ การอบแห้งแบบสุญญากาศเป็นอีกหนึ่งประเภทที่ยอมรับและน่าสนใจเพราะ

กรมวิชาการเกษตร

ลักษณะจำเพาะของการอบแห้งแบบสุญญากาศ คือ มีอัตราการลดความชื้นที่รวดเร็วโดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งต่ำ และการไม่มีออกซิเจนอยู่ในห้องอบแห้งทำให้ช่วยในการรักษาคุณภาพของวัสดุ เช่น รูปร่าง สี กลิ่น รส และคุณค่าทางโภชนาการ ข้อดีของการอบแห้งแบบสุญญากาศ คือ การใช้พลังงานในการอบแห้งน้อย และได้มีการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งตลอด เช่น การออกแบบปั๊มหัวฉีดสำหรับประยุกต์เพื่อใช้งานกับเครื่องอบแห้งสุญญากาศ เป็นการออกแบบสร้างทดสอบปั๊มหัวฉีดสำหรับทดสอบการอบแห้งสุญญากาศเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรบางตัวที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของปั๊มหัวฉีดน้ำเพื่อเลือกชุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้ในการทดสอบอบแห้งสุญญากาศ สมรรถนะการอบพริกด้วยเครื่องอบสุญญากาศร่วมกับปั๊มความร้อน เป็นการออกแบบและทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งสุญญากาศด้วยเครื่องสูบความร้อนสามารถสร้างเครื่องอบแห้งสุญญากาศที่ใช้ปั๊มความร้อนเป็นแหล่งความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งและแหล่งเย็นสำหรับหล่อเย็นปั๊มสุญญากาศ ทำให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพแล้วได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความดันที่มีผลต่อเวลาในการอบแห้ง การหดตัว การคืนรูป สี และ ลักษณะของพื้นผิวพริก พบว่าเวลาในการอบแห้งลดลงเมื่อความดันในการอบแห้งลดลงหรืออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น การหดตัวและการคืนรูปไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการอบแห้ง แต่เมื่อความดันเพิ่มขึ้นการหดตัวจะเพิ่มขึ้นส่วนการคืนรูปจะลดลง การอบแห้งโดยกระบวนการสุญญากาศมีความซับซ้อนมากกว่ากระบวนการอบแห้งโดยกระบวนการลมร้อน ดังนั้นอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการอบแห้ง เช่น อุณหภูมิ และความดันที่มีผลต่อคุณภาพของวัสดุ ภายใต้กระบวนการอบแห้งแบบสุญญากาศ จากที่ได้กล่าวไปจะเห็นได้ว่า การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของวัสดุอย่างเดียวนั้นไม่ได้หมายความว่า เครื่องอบแห้งสุญญากาศจะมีประสิทธิภาพดี ความเร็วรอบและคุณสมบัติของไหล เช่น อุณหภูมิ ความดัน มีผลต่อการทำงานของปั๊มสุญญากาศ

วรรณพิชญ์ (2560) มะม่วงเบา (Mangifera indica L. Var.) เป็นผลไม้ที่ปลูกมากทางภาคใต้ของไทย ราคาถูก และอุดมด้วยแคลเซียม วิตามินซี และวิตามินบี 2 ช่วยป้องกันไขมันอุดตันเส้นเลือด จึงเป็นผลไม้ที่เหมาะสมสำหรับผู้บริโภคที่ห่วงใยสุขภาพ รับประทานแล้วไม่อ้วนเมื่อเปรียบเทียบกับมะม่วงสายพันธุ์อื่น ส่วนใหญ่ใช้มะม่วงเบาในการประกอบอาหารที่มีรสเปรี้ยว เช่น ยำ น้ำพริก หรือใช้เป็นสารให้รสเปรี้ยวแทนมะนาว แต่ปัจจุบันมีการนำมะม่วงเบามาใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับมะม่วงสายพันธุ์อื่น เนื่องจากผลมีขนาดเล็กและรสชาติเปรี้ยวจัด ส่งผลให้มีผลผลิตทางการเกษตรเหลือทิ้งมากมาย การอบแห้งเป็นทางเลือกที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้โดยการลดความชื้นในผลไม้ อีกทั้งผลิตภัณฑ์ไม่มีส่วนผสมของน้ำมันหรือน้ำตาลซึ่งเป็นสาเหตุของโรคอ้วน จึงได้รับความนิยมในปัจจุบันโดยเฉพาะกลุ่มผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ การอบแห้งโดยทั่วไปใช้ลมร้อนพัดผ่านอาหารเพื่อดึงน้ำออกจากอาหาร มีอัตราการอบแห้งต่ำ ใช้เวลาอบแห้งนาน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการเนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเหี่ยวย่นและการคืนรูปไม่ดี

การลดความชื้นโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศยังไม่มีการศึกษาวิจัยในเมล็ดพันธุ์ ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในพืชอาหารและสมุนไพร เช่น ขิง (อำไพศักดิ์ และ ศักดิ์ชัย, 2553) เห็ดและพาสเลย์ (Zecchi et al., 2011) กีวีสไลด์ (Orikasa et al., 2014) แครอทและฟักทองสไลด์ (Arevalo-Pinedo and Murr FEX, 2007) เป็นต้น ซึ่งการลดแรงดันอากาศช่วยให้ไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงมากในการอบแห้งแต่อย่างไรก็ตามการลด

กรมวิชาการเกษตร

แรงดันอากาศอาจส่งผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาระดับความดันรวมถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่ว เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ต่อไป

ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

กิจกรรมที่ 1 การออกแบบพัฒนาเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

อุปกรณ์

1. ปั๊มสุญญากาศแบบ water jet
2. วัสดุในการสร้างเครื่องต้นแบบ เช่น เหล็กแผ่นหนา เหล็กฉาก เหล็กกล่อง ตะแกรงสแตนเลส
3. อุปกรณ์อิเลคทรอนิคในการควบคุม เช่น อุปกรณ์เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ วัดความดัน เป็นต้น
4. อุปกรณ์เครื่องมือช่างต่างๆ
5. เมล็ดพันธุ์พืชเพื่อการทดสอบเบื้องต้น

วิธีการ

วิธีปฏิบัติการทดลอง

1. ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ โดยจะออกแบบอุปกรณ์หลักๆ คือ

   1.1 ห้องอบลดความชื้นที่รองรับภาวะการลดแรงดันอากาศได้ตั้งแต่ 500-700 มิลลิเมตรปรอท

   1.2 ปั๊มสุญญากาศ แบบ water jet

   1.3 แหล่งกำเนิดความร้อน

2. ทำการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบลดความชื้นแบบลดแรงดันที่สร้างขึ้น

   2.1 ทดสอบกับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

   2.2 ทดสอบกับเมล็ดพันธุ์พืชอื่น ๆที่เหมาะสม

   2.3 ทดสอบการอบลดความชื้น เพื่อดูประสิทธิภาพการอบแห้ง ที่ค่าอุณหภูมิ ความดัน เวลาในการลดความชื้น ผลการงอกของเมล็ดพันธุ์หลังการอบลดความชื้น

3. วิเคราะห์ประเมินผลการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศ และการงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในการทดสอบ

กิจกรรมที่ 2 การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองหลังการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ

อุปกรณ์

1. ถ้วยสแตนเลส
2. เครื่องชั่งน้ำหนักระบบอิเล็กทรอนิกส์ (6kg)
3. เครื่องชั่งน้ำหนักระบบอิเล็กทรอนิกส์ (300kg)
4. ตู้อบลมร้อนสำหรับการหาความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

กรมวิชาการเกษตร

5. เครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศ

6. เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

วิธีการ

การทดลองเก็บข้อมูลเป็นแบบ Factorial experiment 3 x 3 โดยเป็นการ combination 2 ปัจจัยๆละ 3 ระดับ คือ

ปัจจัยที่ 1 ได้แก่ อุณหภูมิในการลดความชื้น 3 ระดับ

1. อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส
2. อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
3. อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

ปัจจัยที่ 2 ได้แก่ การลดแรงดันอากาศ 3 ระดับ

1. แรงดันอากาศลดลง 500 มม.ปรอท
2. แรงดันอากาศลดลง 600 มม.ปรอท
3. แรงดันอากาศลดลง 700 มม.ปรอท

วิธีปฏิบัติการทดลอง

1.นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีความชื้นเริ่มช่วง 15-20% w.b. มาลดความชื้นที่อุณหภูมิ 35 40 และ 45 องศาเซลเซียส โดยลดแรงดันอากาศลง 500 600 และ 700 มิลลิเมตรปรอท อบลดความชื้นทำการบันทึกระยะเวลาที่ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เหลือ 10-11%

2. จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองภายหลังการลดความชื้นมาบรรจุถุงโพลีเอทิลีน จำนวน 1 กิโลกรัมต่อถุง เก็บรักษาที่ห้องควบคุม 20±2°C เป็นเวลา 6 เดือน

3. ตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ก่อนและระหว่างการเก็บรักษาทุก 1 เดือน เป็นเวลา 6 เดือน ดังนี้ ความแตกร้าว (ทดสอบภายหลังการลดความชื้น) ความชื้น ความงอกมาตรฐาน ระยะเวลาเฉลี่ยในการงอก และความงอกภายหลังการเร่งอายุ บันทึกอุณหภูมิระหว่างการอบลดความชื้นทุกชั่วโมง (ตามวิธีการบันทึกข้อมูล)

การบันทึกข้อมูล

1. ความชื้น (moisture test)
2. ความงอกมาตรฐาน (standard germination)
3. การเร่งอายุ (accelerated aging test)
4. ค่าความแตกร้าว

สถานที่ดำเนินการทดลอง

- เวลาและสถานที่

ระยะเวลาการดำเนินการ เริ่มต้น ตุลาคม 2562 สิ้นสุด กันยายน 2564

ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น ตำบลบ้านทุ่ม อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

กรมวิชาการเกษตร

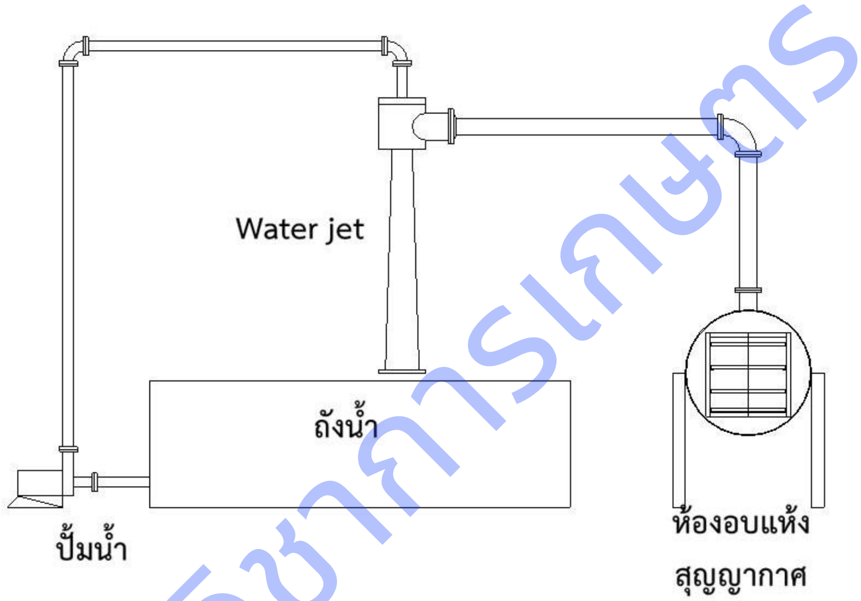
ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion)

กิจกรรมที่ 1

1. ผลการออกแบบเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ

สำหรับเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศ หรือภาวะเข้าสู่สุญญากาศ แบ่งส่วนประกอบหลักออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ 1.1 ส่วนของห้องอบแห้ง 1.2 ส่วนของปั๊มสุญญากาศ แสดงหลักการทำงานได้ดังภาพที่ 4.5

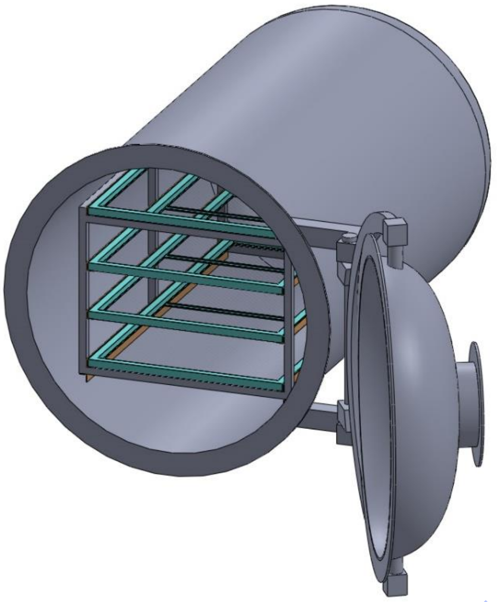


ภาพที่ 4.5 แสดงหลักการติดตั้งอุปกรณ์ของเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศที่จะออกแบบสร้าง

กรมวิชาการเกษตร

1.1 ห้องอบแห้ง

ทำการออกแบบและสร้างส่วนของถังอบแห้งเป็นรูปทรงกระบอกกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เมตร ส่วนตรงยาว 1.20 เมตร ผนังถังอบทำจากเหล็กแผ่นหนา 6 มิลลิเมตร และมีส่วนหัวและท้ายของถังอบเป็นลักษณะโค้งเพื่อความแข็งแรง ทำการออกแบบช่องมองผลิตภัณฑ์เป็นกระจกใสวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.20 เมตร ถังอบมีฝาเปิด-ปิดทรงโค้งมีจุดหมุนแข็งแรงมีฐานตั้งรับถัง ทำการออกแบบชั้นวางและตะแกรงใส่เมล็ดถั่วเหลืองเพื่อบรรจุในถังอบแห้ง โดยตะแกรงจะมีขนาด กว้าง x ยาว 0.52 x 1.00 เมตร ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 แบบเสมือนจริงถังอบแห้งสุญญากาศพร้อมชั้นวางเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

เมื่อทำการออกแบบเสร็จแล้วจึงดำเนินการสร้างต้นแบบโดยเริ่มจากการม้วนถังส่วนที่เป็นทรงกระบอกตรง และปั๊มขึ้นรูปหัวท้ายถังที่เป็นรูปทรงโค้ง โดยผนังถังอบแห้งที่สร้างมีความหนา 6 มิลลิเมตร การม้วนทรงกระบอกและปั๊มส่วนโค้งต้องจ้างบริษัทที่มีเครื่องจักรสำหรับทำส่วนนี้ ทำฝาถังให้มีช่องกระจกมองผลิตภัณฑ์ และมีท่อสำหรับต่อเข้ากับท่อปั๊มสุญญากาศอยู่ฝั่งตรงข้ามกับช่องมองผลิตภัณฑ์ จากนั้นมาออกแบบสร้างส่วนรองรับของการหมุน เปิด-ปิด ฝาถังอบซึ่งมีน้ำหนักค่อนข้างมากต้องออกแบบให้แข็งแรงเป็นพิเศษ ทำการติดตั้งถังอบแห้งบนฐานตั้งรับ ติดตั้งระบบให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์แบบแท่งกลมขนาด 1000 วัตต์ จำนวน 4 แท่ง โดยติดตั้ง 4 ด้านของถังอบแห้ง ดังภาพที่ 4.7 และได้เครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศโดยใช้ปั๊มสุญญากาศแบบ water jet เสร็จสมบูรณ์ ดังภาพที่ 4.8 และ 4.9

ภาพที่ 4.7 การติดตั้งฮีตเตอร์สำหรับระบบให้ความร้อน 4 ด้าน ของถังอบแห้ง

กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 4.8 การประกอบถังอบแห้งกับปั๊มสุญญากาศ water jet ที่สร้างเสร็จสมบูรณ์แล้ว

ภาพที่ 4.9 ฝา เปิด-ปิด ถังอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว

กรมวิชาการเกษตร

2. **ผลการทดสอบเบื้องต้น**

ทำการทดสอบเบื้องต้นเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นสำหรับการอบลดความชื้น แต่เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองช่วงเวลาที่ต้องการทดสอบไม่สามารถหาเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีความชื้นสูง จึงใช้ถั่วลิสงมาทำการทดสอบแทน ซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีความต้องการที่จะใช้เทคโนโลยีในการผลิตเมล็ดพันธุ์เช่นกัน โดยใช้ถั่วลิสงฝักสด จากความชื้นเริ่มต้น 34.15 เปอร์เซนต์มาตรฐานเปียก โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบลดความชื้น 40 องศาเซลเซียส ความดันอากาศลดลงที่ 650 มิลลิเมตรปรอท ดังภาพที่ 4.10 และในการวัดความชื้นของเมล็ดถั่วลิสงจะทำการแกะเมล็ดออกจากฝักแล้วใช้เครื่องวัดความชื้นทำการวั ดังภาพที่ 4.11

ภาพที่ 1.10 การทดสอบอบลดความชื้นฝักถั่วลิสงด้วยเครื่องอบลดแรงดันอากาศ

ภาพที่ 4.11 การแกะเมล็ดถั่วลิสงมาวัดค่าความชื้น

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศและผลการตากแห้งฝักถั่วลิสง

รายการข้อมูล	ลดความชื้นด้วยเครื่องอบลดแรงดันอากาศ			ตากแดดผึ่งลม
ความชื้นเริ่มต้น, %	34.15	34.15	34.15	34.15
ความชื้นหลัง, %	11.50	7.40	4.50	7.50
อุณหภูมิลมร้อน, °C	40	40	40	29 °C, RH 84% (ตอนเที่ยงวัน)
แรงดันลดลง, mm Hg	650	650	650	
ระยะเวลาในการอบ, hr	10 + พัก 9 +3	10 + พัก 9 + 5	10 + พัก 9 + 6.5	72

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศให้ได้ความชื้นหลังการอบที่ระดับความชื้นต่าง ๆ ซึ่งในการอบลดความชื้นฝักถั่วลิสงวิธีการที่เหมาะสมคือการอบแบบมีการพักตัวทั้งนี้

เนื่องจากการอบแห้งจะเกิดที่เปลือกถั่วเป็นส่วนใหญ่ส่วนเมล็ดในจะแห้งช้าโดยความชื้นหรือน้ำจะค่อยๆ แพร่ออกมาสู่ผิวเมล็ดและแพร่ไปยังเปลือกของถั่วลิสงที่ชื้นน้อยกว่า การพักตัวจึงเป็นการให้มีเวลาในการปรับสมดุลความชื้นจากเมล็ดสู่เปลือกซึ่งในขั้นตอนนี้ไม่จำเป็นต้องมีการอบหรือให้ความร้อนเข้าไปเพราะจะเป็นการสูญเสียพลังงานไปเสียเป็นส่วนใหญ่ โดยอุณหภูมิ แรงดันอากาศลดลง เวลาที่ใช้อบแห้งรวมถึงเวลาพักตัว และเวลาในการตากแดดผึ่งลมได้แสดงไว้แล้วในตารางที่ 1 ทั้งนี้จำเป็นต้องลดความชื้นโดยวิธีธรรมชาติด้วยการตากแดดผึ่งลมให้แห้ง เพื่อใช้เป็นกรณีเปรียบเทียบในการนำไปเพาะดูการงอกของเมล็ด ดังภาพที่ 4.12

ภาพที่ 4.12 การทำแห้งโดยการผึ่งลมให้แห้งแล้วนำไปทดสอบการเพาะเพื่อดูการงอก

ภาพที่ 4.13 ทำการเพาะดูการงอกของเมล็ดถั่วลิสงหลังผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลดแรงดันอากาศ

จากภาพที่ 4.12 และ 4.13 เป็นการทดสอบการเพาะดูการงอกของเมล็ดถั่วลิสงที่อบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ จนความชื้นลดลงเหลือ 11.50 7.40 และ 4.50% และการตากแดดผึ่งลมให้เหลือความชื้น 7.50 % ซึ่งในการสุ่มจะเอาฝักถั่วลิสงที่อบและตากแยกตามความชื้นและวิธีการลดความชื้น เป็น 4 แบบ แต่ละแบบคลุกเคล้าให้คละกันจากนั้นแกะเอาเมล็ดในแต่ละแบบอย่างละประมาณ 1 กิโลกรัม สุ่มเมล็ดดีจากแบบละ 1 กิโลกรัม มาอย่างละ 3 ตัวอย่างๆ ละ 100 เมล็ด/ถาด ทำการเพาะดูการงอก โดยจดบันทึก 7 14 และ 21 วัน ซึ่งผลการงอกแสดงไว้ในตารางที่ 4.3

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดถั่วลิสง

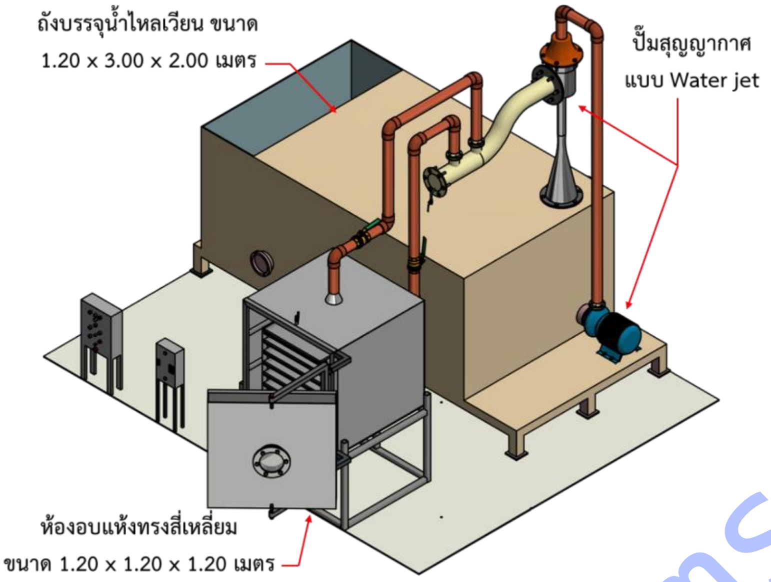
ระยะเวลาเพาะ (วัน)	ตากแดดผึ่งลม			เครื่องอบลดความชื้นแบบลดความดันอากาศ								
	ความชื้น 7.50 %			ความชื้น 11.50%			ความชื้น 7.40%			ความชื้น 4.50%		
	ตย.1 (%)	ตย.2 (%)	ตย.3 (%)	ตย.1 (%)	ตย.2 (%)	ตย.3 (%)	ตย.1 (%)	ตย.2 (%)	ตย.3 (%)	ตย.1 (%)	ตย.2 (%)	ตย.3 (%)
7	44	46	41	54	49	48	21	42	36	21	20	24
14	55	58	58	60	58	59	54	59	61	56	58	60
21	69	71	68	75	70	72	72	65	68	63	67	68
เฉลี่ย	69.33 %			72.33 %			68.33 %			66.00 %		

จากตารางที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ผลการงอกของเมล็ดถั่วลิสงที่ผ่านการลดความชื้นด้วยการตากแดดผึ่งลมให้แห้งตามธรรมชาติ และลดความชื้นด้วยเครื่องอบลดความชื้นแบบลดแรงดันอากาศ ให้เหลือความชื้นที่ 11.50 7.40 และ 4.50% ซึ่งผลการงอกมีค่าใกล้เคียงกับการตากแห้งโดยการผึ่งลม(ความชื้น 7.50%) ทำให้มั่นใจได้ว่าการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศจะสามารถนำมาใช้กับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ได้ และคาดว่าจะช่วยแก้ปัญหาในเรื่องของการตากในช่วงฤดูฝน และปัญหาของเครื่องลดความชื้นที่ใช้อุณหภูมิสูงที่ส่งผลกระทบต่อการงอกและเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์

การออกแบบสร้างห้องอบแห้งลดแรงดันอากาศให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น

เนื่องจากห้องอบแห้งที่ออกแบบสร้างขนาดของถังอบแห้งเป็นรูปทรงกระบอกกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เมตร ส่วนตรงยาว 1.20 เมตร หรือคิดเป็นปริมาตรได้ 0.53 ลูกบาศก์เมตร มีพื้นที่ในการตากค่อนข้างน้อยประมาณ 2.00 ตารางเมตร จึงยังไม่ค่อยเหมาะสมกับขนาดของปั๊มสุญญากาศ แบบ Water jet ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่ง สามารถรองรับปริมาตรห้องอบได้ 1.5-2.00 ลูกบาศก์เมตร จึงได้ดำเนินการออกแบบสร้างห้องอบแห้งลดแรงดัน ขึ้นอีกโดยมีรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด กว้าง x ยาว x สูง 1.20 x 1.20 x 1.20 เมตร หรือคิดเป็นปริมาตร 1.73 ลูกบาศก์เมตร มีชั้นตะแกรงวางเมล็ดพันธุ์ ขนาด กว้าง x ยาว 0.75 x 1.00 เมตร จำนวน 7 ชั้น หรือคิดเป็นพื้นตะแกรงรวม 5.25 ตารางเมตร ซึ่งมีภาพการออกแบบและการสร้าง ดังภาพที่ 4.14 และ 4.15

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 4.14 การออกแบบเสมือนจริงของห้องอบแห้งลดแรงดันอากาศ ทรงสี่เหลี่ยม ขนาด กว้าง x ยาว x สูง 1.20 x 1.20 x 1.20 เมตร

ภาพที่ 4.15 ห้องอบแห้งลดแรงดันอากาศ ทรงสี่เหลี่ยม ขนาด กว้าง x ยาว x สูง 1.20 x 1.20 x 1.20 เมตร

กรมวิชาการเกษตร

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ กิจกรรมที่ 1

การวิจัยออกแบบเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ขนาดของห้องอบแห้งจะขึ้นอยู่กับความสามารถของปั๊มสุญญากาศที่ใช้ ซึ่งจะมีขนาดค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับเครื่องอบลมร้อนทั่ว ๆ ไป อีกทั้งยังมีต้นทุนในการสร้างค่อนข้างสูง ค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการอบลดความชื้นมีราคาต่อหน่วยสูง แต่มีข้อดีคือ สามารถลดความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิต่ำ เป็นการรักษาคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ หรือผลิตภัณฑ์ที่ทำการอบลดความชื้น ผู้วิจัยได้ใช้ถั่วลิสง เป็นวัตถุดิบในการทดสอบ เพราะถั่วเหลืองความชื้นสูง 18%

ที่วางแผนไว้ไม่สามารถหาได้ในช่วงนี้ มีแต่ความชื้นลดลงตั้งแต่แปลงปลูกเหลือ 11% จึงได้พิจารณาเลือกถั่วลิสงมาใช้ในการทดสอบเบื้องต้น เพราะเป็นพืชตระกูลถั่ว และการลดความชื้นทำเมล็ดพันธุ์ก็ไม่ต่างกันมาก จากการทดสอบเบื้องต้นสำหรับถั่วลิสง ผลการเพาะงอก ได้ผลดีเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ลดความชื้นจากการผึ่งลม ในการทดสอบปั๊มสุญญากาศแบบ water jet ไม่สามารถค่าแรงดันติดลบได้ตามที่ต้องการ จะมีเพียงค่าเดียวที่ปั๊มทำงานจึงทดลองได้เพี่ยงค่าแรงดันติดลบค่าเดียว คือ 650 มิลลิเมตร ปรอท

ข้อเสนอแนะ เนื่องจากเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศมีอุปกรณ์สำคัญคือปั๊มสุญญากาศ ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงมาก จึงควรมีการพัฒนาระบบการใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ผลการวิจัยและอภิปรายผล กิจกรรมที่ 2

2.1 ผลการทดสอบการอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความชื้น ซึ่งเป็นวิธีการทำ seed priming วิธีการหนึ่ง

วิธีการเพิ่มความชื้นให้กับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

1. ดำเนินการวัดความชื้นของเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น โดยใช้เครื่องวัดความชื้นภาคสนาม

2. เมื่อได้ความชื้นเริ่มต้นแล้ว จึงทำคำนวณการความชื้นที่ต้องการ โดยใช้สูตรดังนี้

เช่น ต้องการความชื้นของเมล็ดพันธุ์ที่ 21% จำนวนเมล็ดพันธุ์ที่ต้องการ 5 กิโลกรัม และมีความชื้นเริ่มต้น 11 % น้ำหนักสุดท้ายที่ต้องการ

$$= \text{น้ำหนักที่ต้องการใช้} \times \frac{(100 - \text{ความชื้นเริ่มต้น})}{(100 - \text{ความชื้นที่ต้องการ})}$$

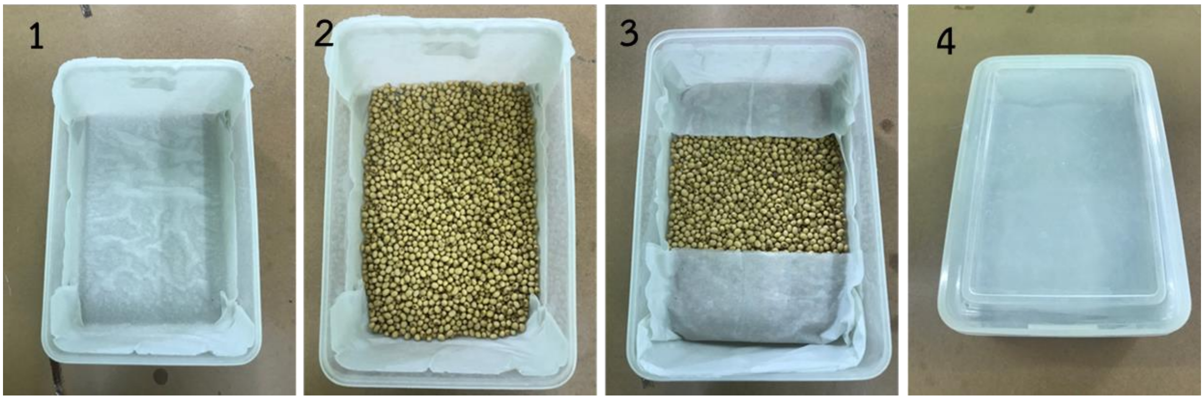
$$= 5{,}000 \text{ g.} \times \frac{(100 - 11)}{(100 - 21)}$$

$$= 5{,}632.91 \text{ กรัม}$$

สรุป น้ำหนักสุดท้ายหลังการเพิ่มความชื้นจะต้องได้ 5,632.91 กรัม

3. ชั่งน้ำหนักเมล็ดพันธุ์ให้ได้ตามที่ต้องการ แล้วทำการเพิ่มความชื้น โดยใช้กระดาษเพาะชุบน้ำให้หมาด แล้วนำลงกล่องที่มีฝาปิด นำเมล็ดที่ต้องการเพิ่มความชื้น โรยแบบบาง ๆ ลงบนกระดาษเพาะที่เตรียมไว้ แล้วนำกระดาษเพาะที่หมาด ๆ ปิดทับให้สนิท ปิดฝากล่อง ดังขั้นตอนภาพที่ 4.16 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นานประมาณ 1-2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเมล็ดมาชั่งน้ำหนัก หากได้น้ำหนักตามที่คำนวณไว้ก็เป็นอันเสร็จ แต่ถ้าน้ำหนักยังไม่ได้ให้เพิ่มเวลาบ่ม จนกว่าจะได้น้ำหนักที่คำนวณ

กรมวิชาการเกษตร

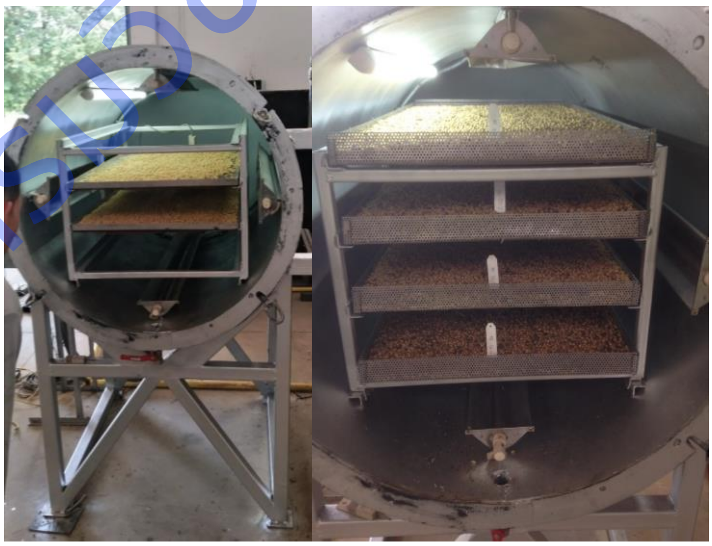


ภาพที่ 4.16 ขั้นตอนการบ่มเพิ่มความชื้นให้เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์

1. ทดสอบความชื้นของเมล็ดพันธุ์
2. ทดสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์
3. ทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ โดยวิธี เร่งอายุของเมล็ดพันธุ์ (Accelerated aging)
4. ทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยวิธี วัดค่าการนำไฟฟ้า (Electical conductivity)

จากวิธีการดังกล่าว ได้ทำการทำเมล็ดพันธุ์ที่ความชื้นต่าง ๆ 3 ค่า คือ 23.4% 17.5% และ 13.6% มาตรฐานเปียกเพื่อทดสอบการลดความชื้น ให้เหลือ ที่ประมาณ 10% มาตรฐานเปียก โดยใช้อุณหภูมิภายในถังอบลดความชื้น 38 องศาเซลเซียส ความดันสุญญากาศ 650 มิลลิเมตรปรอท ดังภาพที่ 4.17 แล้วนำเมล็ดพันธุ์หลังการอบลดความชื้น ไปทำการทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ 4 ประการตามที่กล่าวมาแล้ว



ภาพที่ 4.17 การบรรจุเมล็ดถั่วเหลืองในถาดวางของเครื่องอบแห้งลดแรงดันอากาศ

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง จากความชื้นเริ่มต้นต่าง ๆ

ข้อมูล	เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง 1	เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง 2	เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง 3
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	5600	5240	5110
ความชื้นเริ่มต้น (%)	23.4	17.5	13.6
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)	4790	4800	4800
ความชื้นสุดท้าย (%)	10.61	9.93	8.02
อุณหภูมิอบ (เซลเซียส)	38	38	38
ระยะเวลาที่ใช้อบ(ชั่วโมง)	7.50	4.00	2.50

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศ โดยทำการอบที่ความชื้นเริ่มต้น 3 ค่า คือ 23.4% 17.5% และ 13.6% โดยใช้อุณหภูมิในการอบลดความชื้นที่ 38 องศาเซลเซียส นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผ่านการอบลดความชื้นมาเพาะทดสอบการงอกตามหลักวิชาการ ภาพที่ 4.18

ภาพที่ 4.18 แสดงการเพาะเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเพื่อทดสอบการงอกของเมล็ดพันธุ์

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ระยะเวลาเพาะ (วัน)	ถั่วเหลืองที่เก็บไว้			เครื่องอบลดความชื้นแบบลดความดันอากาศ								
	ความชื้น 10.40 %			ความชื้นเริ่มต้น 23.40% ความชื้นหลังอบ 10.61%			ความชื้นเริ่มต้น 17.50% ความชื้นหลังอบ 9.93%			ความชื้นเริ่มต้น 13.60% ความชื้นหลังอบ 8.02%		
	ตย.1 (%)	ตย.2 (%)	ตย.3 (%)	ตย.1 (%)	ตย.2 (%)	ตย.3 (%)	ตย.1 (%)	ตย.2 (%)	ตย.3 (%)	ตย.1 (%)	ตย.2 (%)	ตย.3 (%)
7	78	86	83	81	89	86	81	85	87	76	81	88
เฉลี่ย	82.33 %			85.33 %			84.33 %			81.66.00 %		

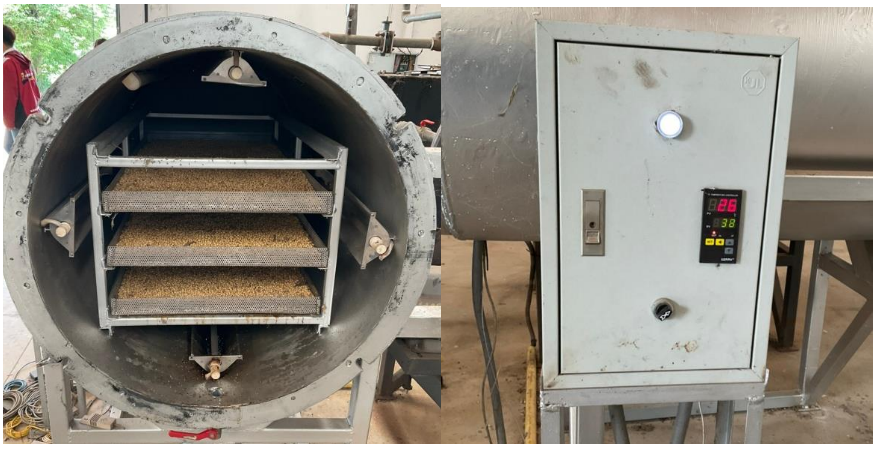
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการเพาะงอกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ทำการเพิ่มความชื้นเริ่มต้น 3 ค่าด้วยกันคือ 23.40 17.50 และ 13.60 % มาตรฐานเปียก เพื่อนำมาทดสอบการอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ดังแสดงผลการอบแห้งไว้ในตารางที่ 4.4 แล้ว ซึ่งผลการงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่นำมาเพาะจะมีค่าอัตราการงอกใกล้เคียงและสูงกว่าค่าที่ใช้เปรียบเทียบ แสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศไม่มีผลเสียต่อการงอก และที่บางตัวอย่างมีอัตราการงอกที่สูงกว่าค่าเปรียบเทียบทั้งนี้อธิบายทางหลักวิชาการได้ว่าเมล็ดพันธุ์ที่เก็บรักษาไว้ที่ความชื้นต่ำเมื่อนำมาเพิ่มความชื้นแล้วลดความชื้นกลับไปอีกจะมีส่วนในการกระตุ้นการงอกให้เพิ่มขึ้นด้วย

2.2 การทดสอบการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจากแปลงเกษตรกร

เป็นการนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจากแปลงเกษตรกร จำนวน 3 ราย มาทำการลดความชื้นโดยเครื่องอบลดแรงดันอากาศ และทำการผึ่งลมให้แห้งเพื่อเปรียบเทียบค่าวิเคราะห์ผลต่าง ๆ โดยการหาความชื้นเริ่มต้น-สุดท้ายของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง โดยใช้ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการช่างน้ำหนักตัวอย่าง เพื่อคำนวณตามสมการที่ (1) $M_{wb}(\%) = \frac{m_w - m_d}{m_w} \times 100$ ดังภาพที่ 4.19

ภาพที่ 4.19 การหาความชื้นเริ่มต้น-สุดท้าย ของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองโดยตู้อบลมร้อน

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 4.20 นำถาดเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเข้าเครื่องอบลดแรงดันอากาศ ตั้งอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส

การทดสอบเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ของเกษตรกร 3 ราย ซึ่งมีค่าความชื้นแตกต่างกัน โดยการลดความชื้นจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ การใช้เครื่องอบลดแรงดันอากาศ และการผึ่งลม ซึ่งจะใช้ในการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณภาพ และเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผ่านการลดความชื้นทั้ง 2 กรณี จนความชื้นอยู่ในเกณฑ์ของการเก็บรักษาจึงนำไปเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 9 เดือน ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม ถึง เดือนธันวาคม 2564 แล้วจึงนำไปทดสอบวิเคราะห์คุณภาพ โดยนักวิชาการเกษตรของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น และได้ผลแสดงไว้ตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งลดแรงดันอากาศ และการผึ่งลมให้แห้ง

เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ของเกษตรกร	ความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (%) w.b.		ผลการวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์		
	เริ่มต้น	สุดท้าย	ความงอก (%)	EC	ความเสียหาย (%)
เกษตรกร 1 อบลดความชื้น	15.2	9.00	15	52.9	86
เกษตรกร 1 ผึ่งให้แห้ง		10.00	58	28.3	90
เกษตรกร 2 อบลดความชื้น	16.4	9.70	77	29.6	83
เกษตรกร 2 ผึ่งให้แห้ง		10.20	77	27.0	96
เกษตรกร 3 อบลดความชื้น	17.2	10.00	63	37.6	94
เกษตรกร 3 ผึ่งให้แห้ง		11.00	29	52.7	93

กรมวิชาการเกษตร

จากตารางที่ 4.6 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบลดความชื้น 38 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอบ 7 ชั่วโมง และการลดความชื้นโดยการผึ่งลมในร่มเป็นเวลา 3-4 วัน และเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น เป็นเวลา 9 เดือน (พ.ค.- ธ.ค. 2564) ซึ่งจากการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ไว้นาน 9 เดือน ผลการวิเคราะห์คุณภาพยังไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน คือ

- ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ โดยทั่วไปในถั่วเหลือง ความชื้นจะต้องอยู่ระหว่าง 10-12%
- ความงอกของเมล็ดพันธุ์ ถั่วเหลืองจะต้องไม่ต่ำกว่า 75%,
- EC เป็นการวัดความแข็งแรง เช่นกัน แต่เป็นการวัดโดยวัดค่าการนำไฟฟ้า หากมีค่าสูง แสดงให้เห็นถึงมีปริมาณการรั่วไหลของสาร แสดงว่ามีความแข็งแรงต่ำ
- ความเสียหาย เป็นการวัดเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของเมล็ดโดยวิธีย้อมสี fast green test หากค่าติดสีสูง มีรอยแตกร้าวสูง คุณภาพเมล็ดก็จะเสื่อมเร็วค่ะ

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ กิจกรรมที่ 2

การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ มีการเตรียมเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองความชื้นสูง 2 แบบ คือ การเพิ่มความชื้น (seed priming) และการนำมาจากแปลงปลูกของเกษตรกร ผลการทดสอบการอบลดความชื้นและการวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์ พบว่าวิธีการเพิ่มความชื้นและอบลดความชื้นลงมามีผลการเพาะงอกใกล้เคียงและสูงกว่าตัวอย่างเปรียบเทียบ ส่วนเมล็พันธุ์ถั่วเหลืองที่นำมาจากแปลงเกษตรกรผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังผ่านการเก็บรักษาผลออกมายังไม่ค่อยดีนัก ซึ่งอาจมาจากหลายสาเหตุ ได้แก่เมล็ดพันธุ์คุณภาพไม่ดีตั้งแต่แรก หรือกระบวนการเก็บรักษายังไม่ดีพอ

ข้อเสนอแนะ ควรมีการทดสอบเพิ่มเติมและเก็บข้อมูลรายละเอียดให้มากขึ้น แต่ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมีราคาค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการต้องใช้เครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ ความคุ้มค่าน้อย

กรมวิชาการเกษตร

บทสรุปและข้อเสนอแนะแผนงาน

แผนงานวิจัยย่อยเรื่องการวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่ มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่ให้มีคุณภาพและประหยัดแรงงาน ซึ่งผลการวิจัยทำให้ได้ผลผลิตเป็นเครื่องจักรต้นแบบพร้อมข้อมูลการทดสอบ 4 เครื่องด้วยกัน ได้แก่ 1) เครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่ 2) เครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงที่ควบคุมการสั่นของขาขุดด้วยระบบอัตโนมัติแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก 3) เครื่องอบลดความชื้นด้วยระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง และ 4) เครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ซึ่งเครื่องจักรทางการเกษตรที่ได้ทั้งหมดนี้จะนำไปสู่เกษตรกร หรือผู้ประกอบการด้านการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่เพื่อการใช้ทำเมล็ดพันธุ์ในฤดูปลูกถัดไป หรือเพื่อการจำหน่ายก็สามารถทำได้

ข้อเสนอแนะ ควรมีการศึกษาเรื่องความเหมาะสมในการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด คุ้มค่ากับการลงทุน

กรมวิชาการเกษตร

บรรณานุกรม

โครงการวิจัยที่ 1

พรเจริญ (ช่างคิด). 2561ก. เครื่องหยอดข้าวพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ 6 in 1. แหล่งข้อมูล : http://www.machineautopart.com/index.php/th/product-category/6-in-1/เครื่องหยอดข้าว-6-in-1-detail. เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2561.

พรเจริญ (ช่างคิด). 2561ข. เครื่องหยอดข้าวโพดแบบยกร่องพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์. แหล่งข้อมูล : http://www.machineautopart.com/index.php/th/component/virtuemart/corn-seed-planter/ridger-seed-planter-detail?limitstart=0&limit=int&Itemid=0. เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2561.

ยุทธนา เครือหาญชาญพงค์, สุภาษิต เสงี่ยมพงศ์, อานนท์ สายคำฟู, พงษ์ศักดิ์ ต่ายก้อนทอง, อัคคพล เสนาณรงค์. 2556ก. ออกแบบและพัฒนาเครื่องหยอดพืชหลังนาติดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติครั้งที่ 15 ประจำปี 2557, พระนครศรีอยุธยา: โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ พระนครศรีอยุธยา

ยุทธนา เครือหาญชาญพงค์, สุภาษิต เสงี่ยมพงศ์, อานนท์ สายคำฟู, พงษ์ศักดิ์ ต่ายก้อนทอง และ อัคคพล เสนาณรงค์. 2556ข. ออกแบบและพัฒนาเครื่องหยอดติดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดกลางสาหรับถั่วเขียว, ถั่วเหลืองฝักสด, ข้าวโพดฝักอ่อน สาหรับพืชหลังนา. รายงานประจำปี สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร. 36 หน้า

สถาบันวิจัยพืชไร่. 2547. เอกสารวิชาการ "การปลูกพืชไร่". กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและหกรณ์. กรุงเทพ.

สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชพลังงานทดแทน. 2560. เอกสารคำแนะนำเทคโนโลยีการผลิต ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ข้าวโพด. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและหกรณ์. กรุงเทพฯ.

สนอง อมฤกษ์, ธีรศักดิ์ โกเมศ, ประพัฒน์ ทองจันทร์. 2556. ทดสอบและพัฒนาเครื่องหยอดเมล็ดพืช สำหรับ ถั่วเขียว ถั่วเหลืองฝักสด และข้าวโพด หลังนาโดยใช้รถไถเดินตามเป็นต้นกำลังในเขตภาคเหนือ. รายงานวิจัยฉบับบสมบูรณ์ประจำปี 2556. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

สันธาร นาควัฒนานุกูล, ดนัย ศารทูลพิทักษ์, จารุวัฒน์ มงคลธนทรรศ และชัชชัย ชัยสัตตปกรณ์. 2549. ทดสอบและพัฒนาเครื่องหยอดข้าวแห้งแบบติดรถแทรกเตอร์. รายงานประจาปี สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร. 39 หน้า.

สายรุ้ง กิตติวิเศษกุล และ วสุ อุดมเพทายกุล. 2558. การพัฒนาระบบหยอดสารเคมีในปริมาณน้อยเพื่อกำจัดศัตรูพืชควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. น. 470-474. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8. ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคบางนา, กรุงเทพฯ.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2559. แผนแม่บทยุทธศาสตร์การเป็นศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค), สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี. 105 หน้า

กรมวิชาการเกษตร

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. ปริมาณและมูลค่าการส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชควบคุมเพื่อการค้าปี 2553-2559. แหล่งข้อมูล:http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/ValueExportSeed47-52.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2560.

Jafari M., A. Hemmat and M. Sadeghi. 2010. Development and performance assessment of a DC electric variable-rate controller for use on grain drills. Computers and Electronics in Agriculture 73, 56-65.

โครงการวิจัยที่ 2

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2551. คู่มือนักส่งเสริมการเกษตร “ถั่วลิสง”. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 32 หน้า.

คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา. 2542. พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529 ก. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. กลุ่มหนังสือเกษตร, กรุงเทพฯ.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529 ข. การสุกแก่ของเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9 และ สข.38, น. 504-509. ใน รายงานการสัมมนา เรื่อง งานวิจัยถั่วลิสง ครั้งที่ 5.ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ สถานีทดลองข้าวไร่และธัญพืชเมืองหนาว สะเมิง, เชียงใหม่.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา 2529 ค. การตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์. กลุ่มหนังสือเกษตร, กรุงเทพฯ.

ไชยยงค์ หาราช. 2543. การวิจัยและพัฒนาเครื่องเก็บเกี่ยวถั่วลิสงพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 117 หน้า.

ปราโมทย์ คำเมือง, ฐานิสร นาคเกื้อ, สุกรี นันตะสุคนธ์ และ สุนทร จ้อยพจน์. 2538. รายงานการวิจัยออกแบบและพัฒนาเครื่องขุดมันฝรั่งติดท้ายรถแทรกเตอร์ (ทะเบียนวิจัยเลขที่ 37 08 001 010) กองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 53 หน้า.

กรมวิชาการเกษตร. 2561. ระบบพันธุ์พืชรับรอง (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://www.doa.go.th/cv/search_list.php. (เข้าถึงเมื่อ 4 พฤษภาคม 2561).

มงคล กวางวโรภาส. 2530. เครื่องทุ่นแรงในฟาร์ม (Farm machinery). สำนักพิมพ์ลิน, กรุงเทพฯ.

วินิต ชินสุวรรณ. 2545. พัฒนาเครื่องขุด ปลิด และกะเทาะถั่วลิสงเมล็ดโตสำหรับการผลิตรายย่อย

ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น. 2542. เอกสารวิชาการถั่วลิสง. ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร, ขอนแก่น.

สถาบันวิจัยพืชไร่. 2537. การปลูกพืชไร่. เอกสารวิชาการ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 180 หน้า.

สุรเวทย์ กฤษณะเศรณี. 2528. เครื่องขุดถั่วลิสง, น. 62-64. ใน กองเกษตรวิศวกรรม. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. *ปริมาณและมูลค่าการส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชควบคุมเพื่อการค้าปี 2553-2559*. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล:

กรมวิชาการเกษตร

http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/ValueExportSeed47-52.html. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2560).

อารีย์ วรัญญูวัฒก์. 2527. ถั่วลิสง. น. 224-264.ใน: วัชรินทร์ บุญวัฒน์ (ผู้รวบรวม). พืชเศรษฐกิจ เล่ม 1. (พิมพ์ครั้งที่ 5). ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อุดม พฤกษานุศักดิ์. 2530. อิทธิพลของความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วลิสง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพืชไร่. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.

Clinton, O.J. and R.H. William. 1983. Agricultural Power and Machinery. McGraw Hill, Inc., America. 472 p.

Culpin, C. 1986. Farm Machinery. 11th ed., Collins Professional and Technical Book., London. 450 p.

Delouche, J.C. 1971. Determinants of seed quality, pp. 53-68.In Proc. Short Course for Seedsmen. Mississippi State University, Mississippi

Delouche, J.C. and C.C. Baskin.1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. Seed Sci. and Technol. 1: 427-452.

Dey G., R. K. Mukherjee and S. Bal. 1999. Influence of harvest and post-harvest conditions on the physiology and germination of peanut kernels. Peanut Sci. 26: 64-68.

Fundamentals of Machinery Operation (FMO). 1981. Combine Harvesting, Fundamental of Machinery Operation. 2nd ed., John Deer Technical Service, Illinois, USA.212 p.

Hunt, D. 1995. Farm Power and Machinery Management. 9th ed., lowa., USA. 363 p.

โครงการวิจัยที่ 3

กรมพัฒนาพลังงานงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงงาน กระทรวงพลังงาน. 2552. เทคโนลียีการใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน.

กิตติคุณ ปิตุพรหมพันธุ์, ณัฐพล ภูมิสะอาด และ บละมุล วิเศษ. 2013. การอบแป้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกโดยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน. J Sci Technol MSU. 32(5): 622-625.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2521. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุฑาศินี พรพุทธศรี และ ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์. 2555. การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งเมล็ดพันธุ์ผักโดยใช้ปั๊มความร้อน. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, 4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่, น. 566 - 570.

บุญมี ศิริ, เบญจมาภรณ์ สุทธิ และ โสภณ วงศ์แก้ว. 2546. การลดความชื้นและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง, ว. วิทยาศาสตรเกษตร, ปีที่ 34 ฉบับที่ 4-6 (พิ เศษ) : 187-189.

เบญจมาภรณ์ สุทธิ. 2543. อิทธิพลของวิธีการลดความชื้นและการเก็บรักษาต่อคุณภาพและอายุเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย

กรมวิชาการเกษตร

มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2543. 62 หน้า.*พ.ศ. 2558-2567*. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค), สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี. 105 หน้า

พิรสิทธิ์ ทวยนาค มณฑล ชูโชนาค มุสตาฟา ยะภา และประชา บุณยวานิชกุล. 2557. การทบทวนพัฒนาการของการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรม. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.* ปีที่ 9 ฉบับที่ 1, หน้า 68-74.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2537. สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2542. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์พืชไร่. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2559. *แผนแม่บทยุทธศาสตร์การเป็นศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์*

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. *ปริมาณและมูลค่าการส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชควบคุมเพื่อการค้าปี 2553-2559*. แหล่งข้อมูล:http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/ValueExportSeed47-52.html เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2560.

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). 1998. ASHRAE Fundamentals Handbook (SI unit). Chapter 6 Psychrometric chart.

Ashrae (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). 1999. HVAC Applications Handbook. American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers.

Azadi M.S. and Younesi E. 2013. The effects of storage on germination characteristics and enzyme activity of sorghum seeds. J. Stress. Physiol. Biochem 9(4): 289-298.

Boyd, A.H. 1974. Heated air drying of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seed. Dissertation (Doctor of Philosophy) Faculty of Mississippi State University, Mississippi State.

Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema and C.W. Hall. 1974. Drying cereal grains. Westport: AVI. 265p.

Hampton, J.G. and D.M. TeKrony. 1995. Handbook of vigour test methods, 3rd Edition, The International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland.

ISTA. 2018. International rules for seed testing. International Seed Testing Association. Bassesdorf, Switzerland.

Krzyzanowski, F.C., S.H. West and J.B. Franaca Neto. 2006. Drying soybean seed using air ambient temperature at low relative humidity. Revista Brasileira de Sementes, 28(2): 77-83.

Potts, H.C., J. Duangpatra, W.G. Hairston and J.C. Delouche. 1978. Some influences of hard seededness on soybean seed quality. Crop Science, Madison. 18(2): 221-224.

Soponronnarit, S., Wetchacama, S. and Kanphukdee, T. 2000. Seed drying using heat pump. International Energy Journal. 1(2): 97-102.

กรมวิชาการเกษตร

Sung J.M. and C.C. Chiu. 1995. Lipid peroxidation and peroxide-scavenging enzymes of naturally aged soybean seed. Plant. Sci, 110(1), 45-52.

trueHVAC.com. (2013). The complete simple version of how heat pumps work, (online), Available: http://www.truehvac.com/php/how-heat-pumps-work.php. Accessed on 2 July 2013

White, G.M. O.J. Loewer, I.J. Ross, D.B Egli. 1976. Storage characteristics of soybean dried with heated air. Transaction of the ASAE, [S.l.]. 19: 306-310.

โครงการวิจัยที่4

กิตติคุณ ปิตุพรหมพันธุ์, ณัฐพล ภูมิสะอาด และ ละมุล วิเศษ. 2013. การอบแป้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกโดยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน. J Sci Technol MSU. 32(5): 622-625.

กรมพัฒนาพลังงานงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงงาน กระทรวงพลังงาน. 2552. เทคโนลียีการใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน.

ไกรสิงห์ อุดมญาติ, อรรถพงษ์ เฉลิมสุข และ สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548. ศักยภาพการพัฒนาตู้แช่เย็นขนาดเล็กมาเป็นเครื่องลดความชื้น, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19*, 19-21 ตุลาคม 2548, ภูเก็ต.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2521. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. การตรวจสอบและวิเคราะห์เมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุฑาศินี พรพุทธศรี และ ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์. 2555. การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งเมล็ดพันธุ์ผักโดยใช้ปั๊มความร้อน. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, 4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่, น. 566 - 570.

บุญมี ศิริ, เบญจมาภรณ์ สุทธิ และ โสภณ วงศ์แก้ว. 2546. การลดความชื้นและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง, ว. วิทยาศาสตรเกษตร, ปีที่ 34 ฉบับที่ 4-6 (พิ เศษ) : 187-189.

เบญจมาภรณ์ สุทธิ. 2543. อิทธิพลของวิธีการลดความชื้นและการเก็บรักษาต่อคุณภาพและอายุเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง.วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2543. 62 หน้า.

พิรสิทธิ์ ทวยนาค มณฑล ชูโชนาค มุสตาฟา ยะภา และประชา บุณยวานิชกุล. 2557. การทบทวนพัฒนาการของการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรม. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.* ปีที่ 9 ฉบับที่ 1, หน้า 68-74.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2537. สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรมวิชาการเกษตร

สฤทธิ์พร วิทยผดุง และ สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548. การออกแบบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง. *การประชุมวิชาการครั้งที่ 43 แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, หน้า 239-246.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2559. *แผนแม่บทยุทธศาสตร์การเป็นศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567*. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค), สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี. 105 หน้า

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. *ปริมาณและมูลค่าการส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชควบคุมเพื่อการค้าปี 2553-2559*. แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/ValueExportSeed47-52.html เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2560.

กรมวิชาการเกษตร

ภาคผนวก

โครงการวิจัยที่ 1

ภาพผนวกที่ 1.1 เครื่องหยอดเมล็ดพืชและปุ๋ยแบบอัตโนมัติที่ควบคุมอัตราการหยอดด้วยสมองกลฝังตัว

ภาพผนวกที่ 1.2 ส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบ

กรมวิชาการเกษตร

ภาพผนวกที่ 1.3 แปลงทดลองปลูกข้าวโพด

ภาพผนวกที่ 1.4 แปลงทดลองปลูกถั่วเหลือง

กรมวิชาการเกษตร

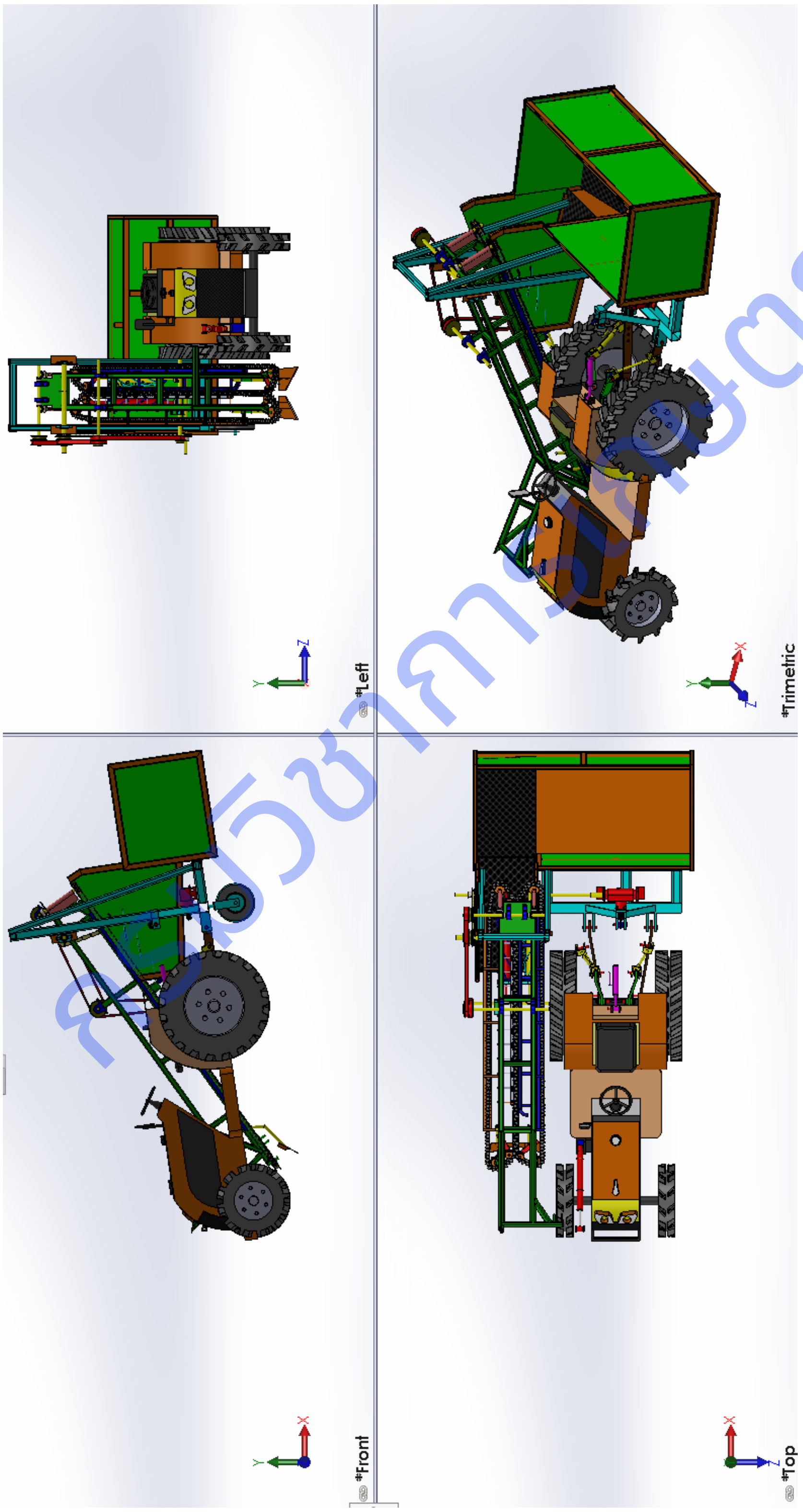
ภาพผนวกที่ 1.5 แปลงทดลองปลูกถั่วเขียว

ภาพผนวกที่ 6 แปลงทดลองปลูกถั่วลิสง

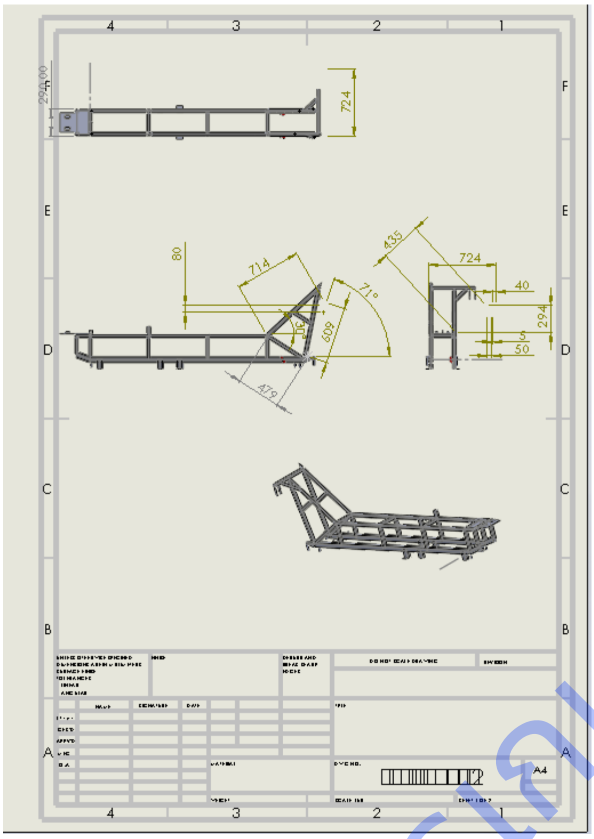
กรมวิชาการเกษตร

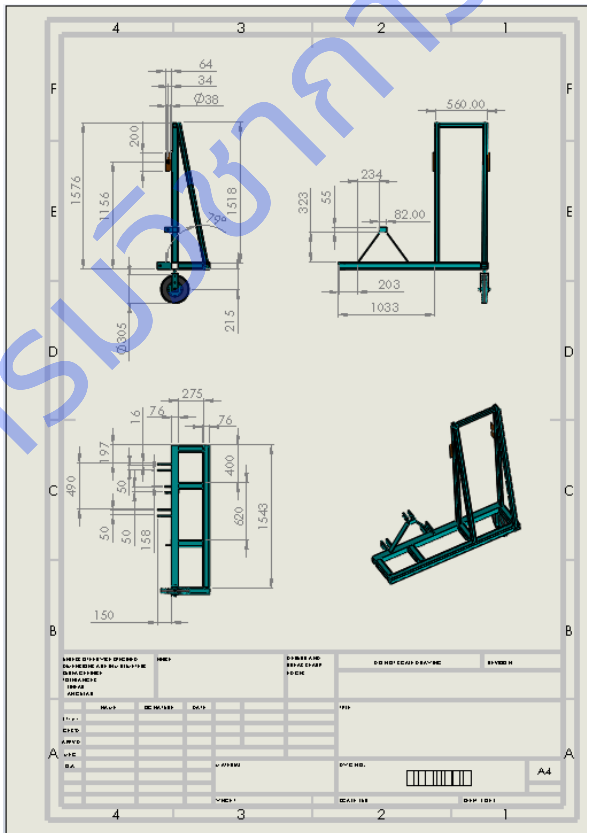
ภาคผนวก โครงการวิจัยที่ 2

แบบเครื่องขุดเก็บและปลิดฝักถั่วลิสงที่ควบคุมการสั่นของขาขุดด้วยระบบอัตโนมัติแบบติดตั้งท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก เพื่อการผลิตเมล็ดพันธุ์

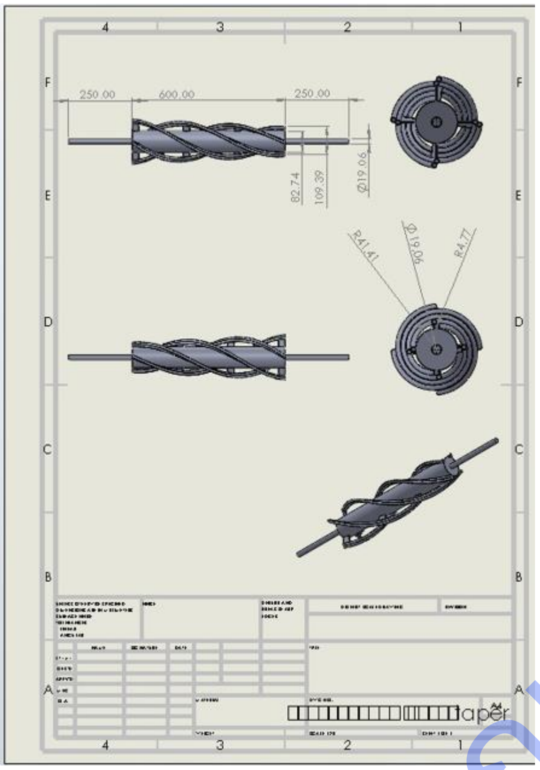


กองวิชาการสุนทร





กรมวิชาการเกษตร



กรมวิชาการเกษตร

ภาคผนวก โครงการวิจัยที่ 3

ภาพประกอบโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ภาพผนวกที่ 3.1 การเตรียมเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองก่อนการลดความชื้น ณ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ

กรมวิชาการเกษตร

ภาพผนวกที่ 3.2 ตำแหน่งตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองสำหรับการตรวจสอบความชื้น ในเครื่องอบแบบปั๊มความร้อน ณ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ

ภาพผนวกที่ 3.3 การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยตู้อบลมร้อน
ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก

กรมวิชาการเกษตร

ภาพผนวกที่ 3.4 การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยแสงอาทิตย์
ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก

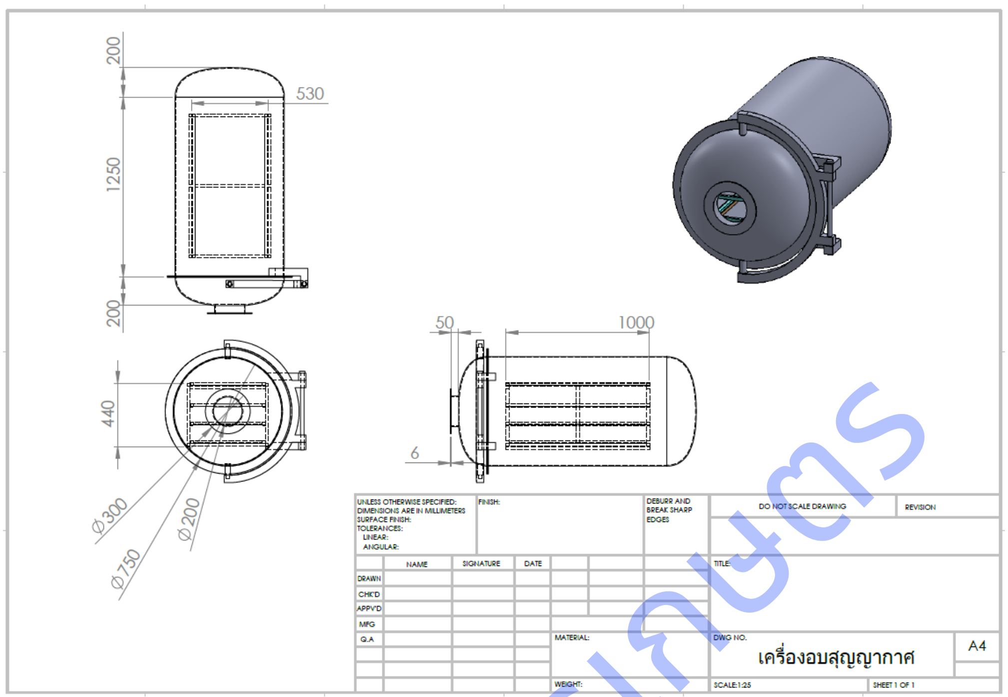
ภาพผนวกที่ 3.5 ต้นแบบเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน (ด้านหน้า)

ภาพผนวกที่ 3.6 ต้นแบบเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน (ด้านหลัง)

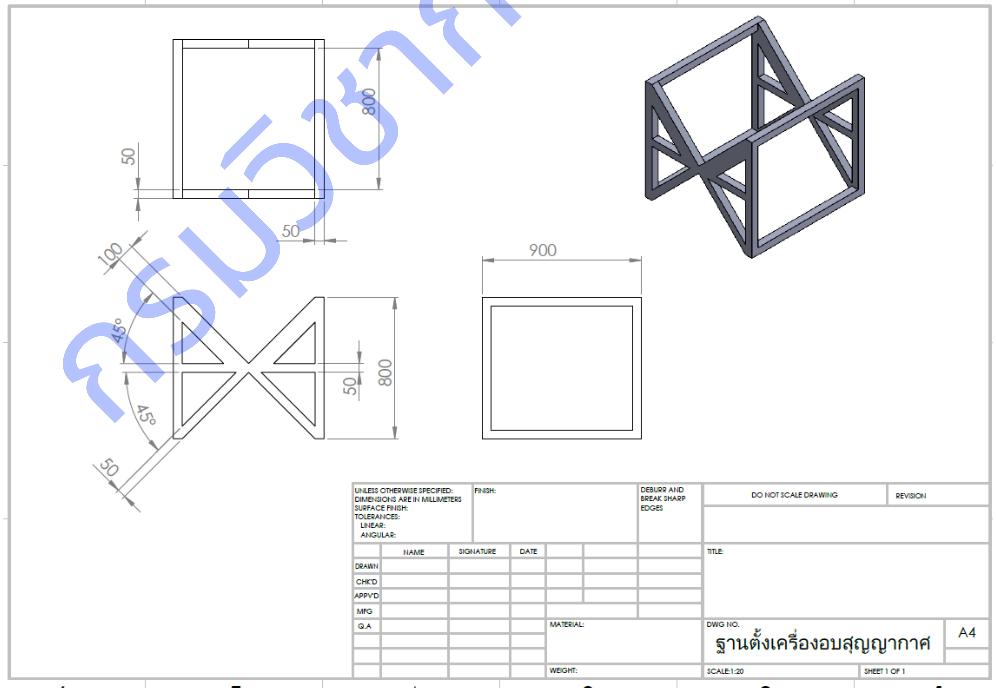
กรมวิชาการเกษตร

ภาคผนวกโครงการวิจัยที่ 4

การออกแบบเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ



ภาพผนวกที่ 4.1 การออกแบบถังอบแห้งสุญญากาศรูปทรงกระบอกกลม



ภาพผนวกที่ 4.2 การออกแบบฐานตั้งรับถังอบแห้ง

กรมวิชาการเกษตร

ภาพผนวกที่ 4.3 แบบชั้นวางและถาดตะแกรงสำหรับใส่เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองบรรจุในถังอบแห้งสุญญากาศ

ภาพผนวกที่ 4.4 การติดตั้งถังอบสุญญากาศบนฐานตั้งรับถัง

ภาพผนวกที่ 4.5 การเตรียมเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองใส่ถาดตะแกรงและนำเข้าเครื่องอบลดแรงดันอากาศ

กรมวิชาการเกษตร