



รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ
สำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

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

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย

นายเวียง อากรชี

Mr. Weang Arekornchee

ปี พ.ศ. 2564



รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ

สำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

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

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย

นายเวียง อากรชี

Mr. Weang Arekornchee

ปี พ.ศ. 2564

คำปรารภ (Foreword หรือ Preface)

เมล็ดพันธุ์พืชเป็นหัวใจสำคัญในการประกอบอาชีพของเกษตรกร คุณภาพเมล็ดพันธุ์จึงมีความสำคัญมาก ฉะนั้นในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชให้มีคุณภาพจึงมีความสำคัญมากเช่นกัน และส่วนหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชคือการใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพ แม่นยำ ในทุกขั้นตอนการผลิต และทางผู้วิจัยเห็นว่าขั้นตอนการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชให้มีคุณภาพ สามารถเก็บรักษาได้นาน เป็นงานที่มีความสำคัญ จึงได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งลดความชื้นเมล็ดพันธุ์โดยมีการลดแรงดันอากาศเพื่อให้สามารถลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ได้ดีขึ้นเป็นการรักษาคุณภาพเมล็ดพันธุ์

คณะผู้วิจัยจึงได้จัดทำผลงานวิจัยเรื่องเต็มของโครงการวิจัยดังกล่าวนี้ เพื่อหวังว่าองค์ความรู้และเทคโนโลยีที่ได้จากผลงานวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกร นักวิชาการในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชน รวมถึงผู้ที่สนใจ

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	1
ผู้วิจัย	2
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	3
บทนำ.....	4
บทคัดย่อ.....	12
กิจกรรมที่ 1 การออกแบบพัฒนาเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับลดความชื้น	
- เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง	8
กิจกรรมที่ 2 การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองหลังการลดความชื้นด้วย	
- เครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ.....	40
บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	54
บรรณานุกรม.....	55
ภาคผนวก ก การออกแบบเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ.....	57
ภาคผนวก ข การสร้างเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ.....	59
ภาคผนวก ค อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ และตารางบันทึกข้อมูลการอบลดความชื้น	
เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ.....	61

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการ เกษตร ที่สนับสนุน เจ้าหน้าที่ สถานที่ในการสร้างต้นแบบและทดสอบเก็บข้อมูลเบื้องต้น ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชไร่ขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร ที่ช่วยสนับสนุนห้องปฏิบัติการในการทดสอบคุณภาพการงอกหลังการทำแห้ง

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

M_{wb}	คือ	ความชื้นมาตรฐานเปียก % (w.b.)
M_{db}	คือ	ความชื้นมาตรฐานแห้ง % (d.b.)
m_w	คือ	มวลเปียกของวัตถุ (kg)
m_d	คือ	มวลแห้งของวัตถุ (kg)
$M_{wb}(t)$	คือ	ความชื้นมาตรฐานเปียกที่เวลาใดๆ % (w.b.)
$m_w(t)$	คือ	มวลของผลิตภัณฑ์ผลเกษตรที่เวลา t (g)
m_d	คือ	มวลแห้งของผลิตภัณฑ์ผลเกษตร (g)
L	คือ	ความร้อนแฝงของวัตถุขึ้น (J/kg)
L'	คือ	ความร้อนแฝงของน้ำ (J/kg)
M_{db}	คือ	ความชื้นของวัตถุมาตรฐานแห้ง % (d.b.)
a, b	คือ	ค่าคงที่ ขึ้นกับชนิดของวัตถุ
P1, P2	คือ	ความดันของของไหล
ρ	คือ	ความหนาแน่นของของไหล (ความหนาแน่นของน้ำ = 1,000 kg/m ³)
v_1, v_2	คือ	ความเร็วของของไหล
h_1, h_2	คือ	ระดับความสูง
G	คือ	ค่าแรงโน้มถ่วง (9.81 m/s ²)
A1, A2	คือ	พื้นที่หน้าตัดของท่อ

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 พืชผักต่างๆ ซึ่งในแต่ละปีมีการส่งออกค่อนข้างสูงโดยส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชมากกว่า 30 ชนิด โดยสร้างรายได้เข้าประเทศตั้งแต่ปี 2557 ถึง 2559 มีมูลค่าไม่น้อยกว่า 5,000 ล้านบาทต่อปี โดยเฉพาะเมล็ดพันธุ์ผักและพืชไร่ เช่น พืชตระกูลแตง ผักบุงจีน มะเขือเทศ พริก ถั่วฝักยาว ฟักทอง ผักกาดกวางตุ้ง ถั่วเขียวผิวดำ ข้าวโพด และข้าวโพดหวาน เป็นต้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) เมล็ดพันธุ์ถือว่าเป็นปัจจัยการผลิตที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการเพาะปลูก ดังนั้นคุณภาพเมล็ดพันธุ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงจึงเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่างๆ การลดความชื้นเป็นหนึ่งในขั้นตอนการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ ภายหลังการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ต้องนำมาลดความชื้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการความชื้นมีผลโดยตรงต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ความชื้นสูงส่งผลให้อัตรการหายใจเมล็ดพันธุ์สูงขึ้นตาม เกิดความร้อนภายในกองเมล็ดพันธุ์ ส่งผลให้เชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์เจริญเติบโต เมล็ดพันธุ์จึงเกิดการเสื่อมสภาพในที่สุด (จวงจันท์, 2529; วันชัย, 2537) ดังนั้นการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการที่เหมาะสมและรวดเร็วจะช่วยให้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพที่ดีและสามารถเก็บรักษาได้นาน การลดความชื้นหรือการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่จะหลีกเลี่ยงไม่ได้เนื่องจากในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชโดยเริ่มจาก การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว จนมาถึงขั้นตอนการลดความชื้นหรือการอบแห้ง แล้วนำไปคัดแยกและทำความสะอาด และสุดท้ายคือการเก็บรักษาเพื่อรอจำหน่ายหรือนำไปเพาะปลูกในฤดูถัดไปได้ ซึ่งในขั้นตอนการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี เช่น การลดความชื้นด้วยวิธีตากแดด การใช้เครื่องลดความชื้นด้วยลมร้อนที่ใช้แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้า น้ำมัน แก๊ส น้ำมันเตา เป็นต้น เนื่องจากเมล็ดพันธุ์เมื่อเก็บเกี่ยวจากแปลงเพาะปลูกจะมีความชื้นสูงถึง 20-40 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งค่าความชื้นนี้จะขึ้นอยู่กับเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิด ในปัจจุบันการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่ว ใช้วิธีการลดความชื้นด้วยแสงแดด (sun drying) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำ และประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นซึ่งมีแสงแดดเพียงพอต่อการลดความชื้น วิธีการนี้จึงยังเป็นที่ยอมรับอยู่จนถึงปัจจุบัน 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 จึงทำให้ไม่สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในระดับที่

ปลอดภัย (12-14%) ได้ภายใน 1-2 วัน ส่งผลให้ขบวนการเมทาบอลิซึมของเมล็ดพันธุ์สูง เชื้อราเจริญเติบโต ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพ ความแข็งแรงต่ำ และอายุการเก็บรักษาสั้น (จวงจันท์, 2529; วันชัย, 2537) ดังนั้นการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลดความชื้น อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เพื่อช่วยให้เมล็ดพันธุ์ยังคงมีคุณภาพที่ดีและความแข็งแรงสูง ในช่วงฤดูฝนหรือในช่วงที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ อีกทั้งสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (climate changes) ในปัจจุบันที่ค่อนข้างแปรปรวนไม่เป็นไปตามฤดูกาล การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยเครื่องอบลดความชื้นจึงน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วและส่งผลให้การจัดการเมล็ดพันธุ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการลดความชื้นแบบลดแรงดันอากาศเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืช เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันสามารถทำให้ประสิทธิภาพการระเหยน้ำออกจากเมล็ดได้มากขึ้นที่อุณหภูมิไม่สูงเมื่อเทียบกับภาวะปกติ และยังช่วยให้ความชื้นสม่ำเสมอ อีกทั้งยังช่วยให้ประหยัดเวลา และลดแรงงาน ในขั้นตอนการลดความชื้นของงานผลิตเมล็ดพันธุ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืชในระหว่างการเก็บรักษาเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการเมล็ดพันธุ์ให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น และเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถแข่งขันให้กับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของไทย เพื่อผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลาง (Seed Hub) เมล็ดพันธุ์พืชของอาเซียนและเอเชียในอนาคต ตามแผนแม่บทยุทธศาสตร์ศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567 ในการพัฒนาเครื่องมือในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสนับสนุนการผลิตเมล็ดพันธุ์ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2559) ที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย เพื่อศึกษาผลของการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง เพื่อวิจัยพัฒนาต้นแบบและวิธีการใช้ที่เหมาะสมของเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับการลดความชื้นในการทำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำมันค่อนข้างสูง อุณหภูมิที่ใช้ลดความชื้นเมล็ดไม่ควรเกิน 43 °C และความชื้นสัมพัทธ์ต้องต่ำกว่า 40 %RH เนื่องจากถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะสร้างความเสียหายให้แก่เมล็ดพันธุ์โดยจะทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์โดยตรง และนอกจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมที่ใช้ลดความชื้นแล้ว อัตราการไหลของอากาศก็มีส่วนสำคัญต่อประสิทธิภาพในการลดความชื้นเช่นกัน โดยเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองแนะนำให้ออกแบบอัตราการไหลของอากาศ 0.21 m³/s ต่อปริมาณถั่วเหลือง 1 m³ เมล็ดพันธุ์เป็นปัจจัยการผลิตที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการเพาะปลูก ดังนั้นคุณภาพเมล็ดพันธุ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชชนิดต่างๆ ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ประกอบด้วยหลายปัจจัยทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ปัจจัยก่อนการเก็บเกี่ยว เช่น การจัดการในแปลงปลูก สภาพภูมิอากาศ วิธีการเก็บเกี่ยว นวด กะเทาะ เป็นต้น ปัจจัยหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การลดความชื้น การปรับปรุงสภาพ การเก็บรักษา สภาพแวดล้อม เป็นต้น ปัจจัยดังกล่าวล้วนมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ โดยเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดทนต่อสภาพเครียดหรือสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้แตกต่างกันตามชนิดและองค์ประกอบทางสรีระและเคมีของเมล็ดพันธุ์ การลดความชื้นเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญเนื่องจากมีผลโดยตรงต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ความชื้นที่ระดับเหมาะสมต่อการเก็บรักษา คือ 8-13% แต่อย่างไรก็ตามอาจมีความแตกต่างและเฉพาะเจาะจงไปตามชนิดพืช ตารางที่ 2 แสดงขบวนการหรือ

ลักษณะที่เกิดขึ้นในเมล็ดพันธุ์ที่ระดับความชื้นต่างๆ วิธีการลดความชื้นด้วยแสงแดด (sun drying) เป็นวิธีที่นิยมตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันเนื่องจาก เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ต้นทุนต่ำ แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้แรงงานจำนวนมาก และไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิในการลดความชื้น และระยะเวลาได้แน่นอน ซึ่งมักเป็นปัญหาในฤดูฝน ส่งผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ทำให้การควบคุมคุณภาพเมล็ดพันธุ์เป็นไปได้ยาก จึงได้มีการคิดค้นและพัฒนาเครื่องอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในปี 1974 ได้มีการรายงานการลดความชื้นด้วยเครื่องอบที่อุณหภูมิ 54°C ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 40% แต่อย่างไรก็ตามส่งผลให้ความงอกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองลดลงและแตกร้าวมากขึ้น ในปี 2000 Soponronnarit และคณะได้ศึกษาการลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน (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% (w.b.) และพบว่าเมล็ดยังคงมีความงอกมากกว่า 95% เท่ากับ 98.45 96.53 และ 95.33% ตามลำดับ (จุฑาศินี และ ศิวลักษณ์, 2555)

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 มีการรายงานการใช้เครื่องอบแห้งชนิดลมร้อนเปรียบเทียบกับลดความชื้นด้วยแสงแดดและฝั้ในที่ร่ม พบว่าการลดความชื้นจาก 27% เป็น 5.6% ด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ $35-38^{\circ}\text{C}$ ใช้เวลา 36 ชั่วโมง ในขณะที่การใช้แสงแดดและฝั้ในที่ร่มใช้เวลา 60 และ 90 ชั่วโมง ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน เมล็ดพันธุ์ที่ลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อน แสงแดด และฝั้ในที่ร่ม มีความงอกเท่ากับ 75 71 และ 69% และพบว่าการฝั้ในที่ร่มมีการปนเปื้อนของเชื้อรามากที่สุด (บุญมี และคณะ, 2546) นอกจากนี้มีการรายงานการลดความชื้นแบบถังอบสามารถลดความชื้นเมล็ดถั่วลิสงจาก 25-27% ให้เหลือประมาณ 6-7% โดยใช้เวลา 24 และ 36 ชั่วโมง เมื่อบรรจุเมล็ดในถังอบหนา 60 และ 80 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การตากแดดต้องใช้เวลาในการลดความชื้น 48 ชั่วโมง ส่วนการฝั้ในที่ร่มใช้เวลา 78 ชั่วโมง และพบว่าการใช้เครื่องลดความชื้น การตากแดดและการฝั้ในที่ร่ม ทำให้เมล็ดมีความงอก 73, 70 และ 66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 4 เดือน (เบญจมาภรณ์, 2543) สำหรับเครื่องลดความชื้นฟิสิทิสและคณะ (2557) ได้ศึกษาการพัฒนาของการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรมตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน โดยจะสามารถแบ่งการลดความชื้นข้าวเปลือกออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ ด้วยกันคือ การลดความชื้นข้าวเปลือกแบบธรรมชาติจะเป็นการลดความชื้นโดยอาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์เท่านั้นจึงทำให้มีอุปสรรคต่อการลดความชื้นมากพอสมควร และการลดความชื้นข้าวเปลือก

โดยใช้เครื่องอบแห้งจะอาศัยความร้อนจากแหล่งความร้อนที่หลากหลาย เช่น เตาเผาแก๊ส เตาเผาสร้างลมร้อน เป็นต้น สามารถอบแห้งได้ทุกสภาวะอากาศแม้ขณะฝนตกหรือมีแสงแดดน้อย ไม่เปลืองพื้นที่ในการตาก

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

6.1 เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องอบลดความชื้นแบบมีการปรับลดแรงดันอากาศ สำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

6.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการปรับลดแรงดันอากาศ และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบลดความชื้นที่เหมาะสมต่อการทำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองคุณภาพดี

บทคัดย่อ

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

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

กิจกรรมที่ 1

การออกแบบพัฒนาเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง Design and Development of Air Pressure Reducing Dryer for Soybean Seed Drying

เวียง อากรชี่, สิทธิพงษ์ ศรีสว่างวงศ์, นิภาภรณ์ พรรณรา, นายวุฒิพล จันทร์สระคู,
กลวัชร ทิมินกุล, ปินิจ จิรัคคกุล, ศักดิชัย อาษาวัง, เอกภาพ ป่านภูมิ,
วัชรพงษ์ ตามไธสงค์, อนุชา เชาวโชติ และ อุทัย ธาณี

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

คำสำคัญ (Key words)

เครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ, การลดความชื้น, เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง
Reducing Air Pressure Dryer, Drying, Soybean Seed

บทคัดย่อ

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

Abstract

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 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.

บทนำ (Introduction)

การลดความชื้นเป็นหนึ่งในขั้นตอนการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ ภายหลังจากเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ต้องนำมาลดความชื้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการความชื้นมีผลโดยตรงต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ความชื้นสูงส่งผลให้อัตราการหายใจเมล็ดพันธุ์สูงขึ้นตาม เกิดความร้อนภายในกองเมล็ดพันธุ์ ส่งผลให้เชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์เจริญเติบโต เมล็ดพันธุ์จึงเกิดการเสื่อมสภาพในที่สุด (จวงจันท์, 2529; วันชัย, 2537) ดังนั้นการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการที่เหมาะสมและรวดเร็วจะช่วยให้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพที่ดีและสามารถเก็บรักษาได้นาน การลดความชื้นหรือการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่จะหลีกเลี่ยงไม่ได้เนื่องจากในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชโดยเริ่มจาก การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว จนมาถึงขั้นตอนการลดความชื้นหรือการอบแห้ง แล้วนำไปคัดแยกและทำความสะอาด และสุดท้ายคือการเก็บรักษาเพื่อรอจำหน่ายหรือนำไปเพาะปลูกในฤดูถัดไปได้ ซึ่งในขั้นตอนการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี เช่น การลดความชื้นด้วยวิธีตากแดด การใช้เครื่องลดความชื้นด้วยลมร้อนที่ใช้แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้า น้ำมัน แก๊ส น้ำมันเตา เป็นต้น เนื่องจากเมล็ดพันธุ์เมื่อเก็บเกี่ยวจากแปลงเพาะปลูกจะมีความชื้นสูงถึง 20-40 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งค่าความชื้นนี้จะขึ้นอยู่กับเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิด ในปัจจุบันการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่ว ใช้วิธีการลดความชื้นด้วยแสงแดด (sun drying) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำ และประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นซึ่งมีแสงแดดเพียงพอต่อการลดความชื้น วิธีการนี้จึงยังเป็นที่ยอมรับจนถึงปัจจุบัน 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 ส่งผลให้ขบวนการเมตาบอลิซึมของเมล็ดพันธุ์สูง เชื้อราเจริญเติบโต ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพ ความแข็งแรงต่ำ และอายุการเก็บรักษาสั้น (จวงจันท์, 2529; วันชัย, 2537) ดังนั้นการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลดความชื้น อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เพื่อช่วยให้เมล็ดพันธุ์ยังคงมีคุณภาพที่ดีและมีความแข็งแรงสูง ในช่วงฤดูฝนหรือในช่วงที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ อีกทั้งสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (climate changes) ในปัจจุบันที่ค่อนข้างแปรปรวนไม่เป็นไปตามฤดูกาล การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยเครื่องอบลดความชื้นจึงน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วและส่งผลให้การจัดการเมล็ดพันธุ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการลดความชื้นแบบลดแรงดันอากาศเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืช เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันสามารถทำให้ประสิทธิภาพการระเหยน้ำออกจากเมล็ดได้มากขึ้นที่อุณหภูมิไม่สูงเมื่อเทียบกับภาวะปกติ และยังช่วยให้ความชื้นสม่ำเสมอ อีกทั้งยังช่วยให้ประหยัดเวลา และลดแรงงาน ในขั้นตอนการลดความชื้นของงานผลิตเมล็ดพันธุ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษามูลค่าของการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์พืชในระหว่างการเก็บรักษาเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการเมล็ดพันธุ์ให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น และเทคโนโลยีที่ได้จาก

งานวิจัยนี้จะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถแข่งขันให้กับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของไทย เพื่อผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลาง (Seed Hub) เมล็ดพันธุ์พืชของอาเซียนและเอเชียในอนาคต ตามแผนแม่บทยุทธศาสตร์ศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567 ในการพัฒนาเครื่องมือในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสนับสนุนการผลิตเมล็ดพันธุ์ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2559) ที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย เพื่อวิจัยพัฒนาต้นแบบและวิธีการใช้ที่เหมาะสมของเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับการลดความชื้นในการทำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

การทบทวนวรรณกรรม

หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีการอบแห้ง

การอบแห้ง (drying) เป็นกระบวนการลดความชื้นหรือไล่ความชื้นออกจากวัตถุที่ขึ้นภายใต้สภาวะควบคุม โดยใช้ความร้อนถ่ายเทไปยังวัตถุที่มีความชื้นเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในวัตถุนั้นออกด้วยการระเหย โดยในกระบวนการอบแห้งส่วนมากจะใช้อากาศเป็นสารตัวกลางในการระเหยน้ำที่เป็นของเหลวออกไป วัตถุประสงค์ของการอบแห้งคือการยืดอายุการเก็บอาหารโดยการทำให้อัตราความชื้นลดลง ซึ่งการลดลงของความชื้นในวัตถุนั้นขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของวัตถุนั้นเป็นสำคัญ เช่น ผลไม้ที่มีปริมาณน้ำตาลสูงจะสามารถลดความชื้นลงเหลือประมาณ ร้อยละ 10 –15 ต่อน้ำหนักเปียก เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลมาก การระเหยน้ำจึงเป็นไปได้ยากกว่าวัตถุที่มีปริมาณน้ำตาลน้อย ส่วนผักซึ่งมีปริมาณน้ำตาลน้อยจะสามารถลดความชื้นลงเหลือต่ำกว่าร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักเปียก นอกจากนี้การอบแห้งยังเป็นการลดน้ำหนักและปริมาตรของวัตถุช่วยให้สะดวกต่อการบรรจุ การเก็บรักษา และการขนส่ง

ความชื้น (moisture content)

เป็นตัวบอกระดับปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เพื่อบ่งชี้ว่าวัสดุนั้นชื้นหรือแห้ง ด้วยการเปรียบเทียบกับมวลวัสดุโดยแสดงค่าเป็นร้อยละความชื้น โดยสามารถแบ่งการตรวจวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้ 2 รูปแบบคือ

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

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

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

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

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})

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

การหาความชื้นที่เวลาใดๆของผลิตภัณฑ์เริ่มจากการหามวลแห้งของผลิตภัณฑ์นั้น โดยการนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์รอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าตัวอย่างที่อบจะมีน้ำหนักคงที่ และหาความชื้นที่เวลาใดๆโดยใช้สมการ

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

โดยที่

$M_{wb}(t)$	=	ความชื้นมาตรฐานเปียกที่เวลาใดๆ % (w.b.)
$m_w(t)$	=	มวลของผลิตภัณฑ์ที่เวลา t (g)
m_d	=	มวลแห้งของผลิตภัณฑ์ (g)

ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content)

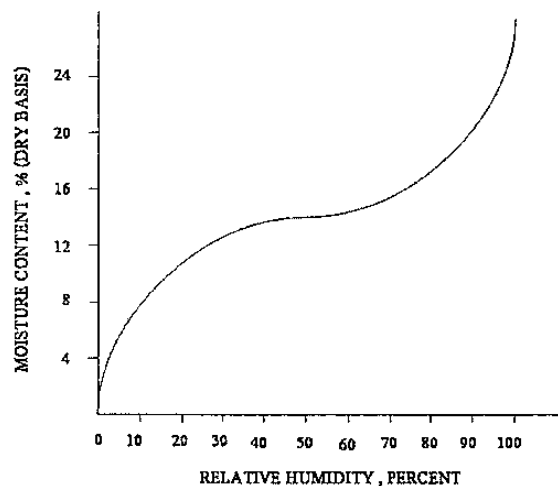
ความชื้นสมดุลเป็นตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์การอบแห้งและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เมื่อนำวัตถุไปวางไว้ภายใต้สภาวะคงที่ใดๆที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ วัตถุจะคายความชื้นให้กับอากาศหรือ

ดูดซับความชื้นจากอากาศ (adsorption) ถ้าวางวัสดุไว้เป็นเวลานานจนกระทั่งความชื้นคงที่ค่าหนึ่งที่ไม่เปลี่ยนแปลง จุดนี้ความชื้นในวัสดุจะมีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศและอุณหภูมิของวัสดุก็จะเท่ากับอุณหภูมิของอากาศที่อยู่รอบๆ เรียกความชื้นที่จุดนี้ว่าความชื้นสมดุล

ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (equilibrium relative humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลหมายถึง ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ซึ่งวัดในระบบปิดในสภาวะสมดุล (equilibrium) เมื่อนำวัสดุมาใส่ในระบบปิดที่มีความชื้นในบรรยากาศคงที่ และปล่อยให้ถึงไว้จนกระทั่งความชื้นของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลง คือไม่มีการดูดคายน้ำหรือน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง

ผลผลิตทางการเกษตรโดยทั่วไปความชื้นสมดุลจะขึ้นกับธรรมชาติของวัตถุนั้น อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ จะเรียกว่า sorption isotherm สามารถแสดงเป็นกราฟรูป sigmoid (ภาพที่ 1.1)



ภาพที่ 1.1 กราฟแสดง sorption isotherm ของผลผลิตทางการเกษตรโดยทั่วไป

(ที่มา: เสริม 2547)

ความร้อนแฝง (latent heat)

ความร้อนแฝง คือปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัตถุขึ้น เรียกว่า ความร้อนแฝง มีค่าขึ้นกับชนิดและความชื้นของวัตถุนั้นๆ ความร้อนแฝงของผลผลิตเกษตร สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

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

เมื่อ L = ความร้อนแฝงของวัตถุขึ้น (J/kg)

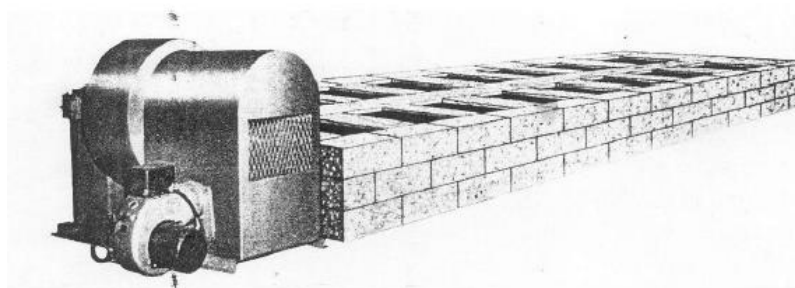
- L' = ความร้อนแฝงของน้ำ (J/kg)
 M_{db} = ความชื้นของวัตถุมাত্রฐานแห้ง % (d.b.)
 a, b = ค่าคงที่ ขึ้นกับชนิดของวัตถุ

นอกจากนี้วัตถุขึ้นยังมีสมบัติทางความร้อนอื่นๆที่มีผลต่อการอบแห้ง เช่น ความร้อนจำเพาะ (specific heat) สภานำความร้อน (heat conductivity) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (convective heattransfer coefficient) และพื้นที่ผิวต่อปริมาตรวัตถุ สมบัติเหล่านี้มักขึ้นกับความชื้นของวัตถุ และหาได้จากการทดลอง

เครื่องลดความชื้น

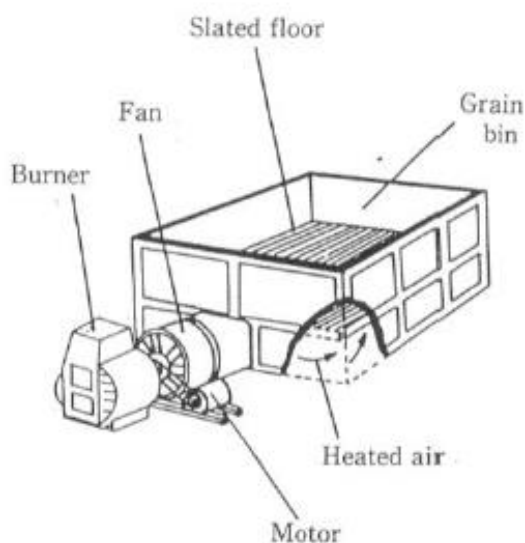
พิรลิตีและคณะ (2557) ได้ศึกษาการพัฒนาของการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรมตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน โดยจะสามารถแบ่งการลดความชื้นข้าวเปลือกออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ ด้วยกันคือ การลดความชื้นข้าวเปลือกแบบธรรมชาติจะเป็นการลดความชื้นโดยอาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์เท่านั้นจึงทำให้มีอุปสรรคต่อการลดความชื้นมากพอสมควร และการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งจะอาศัยความร้อนจากแหล่งความร้อนที่หลากหลาย เช่น เตเผาเผาเกลือ เตเผาสร้างลมร้อน เป็นต้น สามารถอบแห้งได้ทุกสภาวะอากาศแม้ขณะฝนตกหรือมีแสงแดดน้อย ไม่เปลืองพื้นที่ในการตาก การลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งนั้นสามารถควบคุมการลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ เวลาที่ใช้ในการลดความชื้นน้อยจึงทำให้มีข้อดีกว่าวิธีธรรมชาติ เครื่องลด ความชื้นข้าวเปลือกที่มีใช้มาจนถึงปัจจุบันสามารถแบ่ง ได้หลายแบบ ดังนี้

เครื่องลดความชื้นแบบข้าวเปลือกแบบบรรจุในกระสอบ เครื่องอบแบบนี้ส่วนใหญ่ใช้กับการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ ตัวเครื่องประกอบด้วย ห้องกำเนิดอากาศร้อนซึ่งมีช่องว่างทางด้านบนเพื่อใช้วางกระสอบของข้าวเปลือกซึ่งต้องการอบแห้ง ซึ่งโดยปกติมีจำนวนหลายช่อง สามารถวางข้าวเปลือกได้ครั้งละหลายกระสอบตามจำนวนของช่องว่างลมร้อนจะถูกเป่าผ่านช่องว่างของข้าวเปลือกที่บรรจุอยู่ในกระสอบ เครื่องอบแห้งชนิดนี้ใช้อุณหภูมิต่ำอบแห้งไม่เกิน 45 °C และในระหว่างการอบแห้งจะต้องมีการพลิกกลับกระสอบเป็นระยะๆ เพื่อให้การถ่ายเทความร้อนและมวลสารทั่วถึงทั้งด้านบนและด้านล่างของกระสอบ ดังภาพที่ 1.2



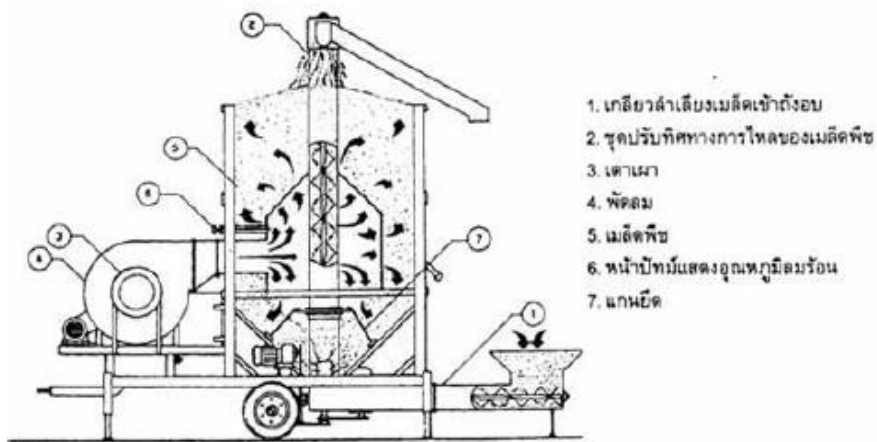
ภาพที่ 1.2 เครื่องลดความชื้นแบบข้าวเปลือกแบบบรรจุในกระสอบ
ที่มา : กองเกษตรวิศวกรรม, 2543

เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบกระบะ ประกอบด้วยกระบะที่บรรจุข้าวเปลือกอยู่บน ตะแกรง โดยด้านล่างของตะแกรงเป็นห้องอากาศร้อน ที่ต่อเข้ากับพัดลมและชุดกำเนิดอากาศร้อน อากาศ ร้อนจะไหลผ่านชั้นของข้าวเปลือกที่อยู่บนแผ่น ตะแกรงจากด้านล่างสู่ด้านบน ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่าง เมล็ดข้าวเปลือกกับ อากาศร้อน โดยความชื้นของข้าวเปลือกทางด้านล่างจะลดลงเร็วกว่าทางด้านบน เครื่องลดความชื้นแบบนี้ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งไม่เกิน 50°C และที่ใช้อยู่ในประเทศส่วนใหญ่จะใช้กับเมล็ดพันธุ์เนื่องจาก เมล็ดข้าว อยู่กับที่จึงไม่ส่งผลกระทบต่อการแตกตัวของเมล็ดมากนัก เครื่องลดความชื้นแบบนี้จะสามารถลดความชื้นได้ 0.5 %wb/hr จากความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก ดังภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 เครื่องลดความชื้นแบบข้าวเปลือกแบบกระบะ
ที่มา : กองเกษตรวิศวกรรม, 2543

เครื่องลดความชื้นแบบหมุนเวียน มีถังบรรจุเมล็ดพืชจะทำด้วยตะแกรง เป็นรูปทรงกระบอกแนวตั้ง ส่วนกลางของถังจะมีท่อลมทาด้วยตะแกรง เป็นรูปทรงกระบอกซ้อนอยู่ภายใน ลมร้อนอุณหภูมิ 60-80 °C จะถูกเป่าให้ผ่านเมล็ดพืชหนา 0.5 เมตรตามแนวรัศมี ผ่านรูตะแกรงออกสู่ภายนอก เมล็ดพืชที่อยู่ด้านล่างจะถูกลำเลียงขึ้นไปด้านบนใหม่ หลายเที่ยวจนกว่าจะแห้ง เครื่องลดความชื้นแบบนี้จึงต้องใช้ปริมาณลมร้อนจาเพาะสูง เครื่องอบแบบนี้ได้มีการสร้างจำหน่ายเมื่อประมาณสิบปีมาแล้ว แต่ไม่ได้รับความนิยม เนื่องจากปัญหาเรื่องฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายรบกวนผู้ปฏิบัติงานและผู้ที่อยู่ใกล้เคียง รวมทั้งการสึกหรอของระบบลำเลียงซึ่งใช้เกลียวลำเลียงในแนวตั้ง ดังภาพที่ 1.4

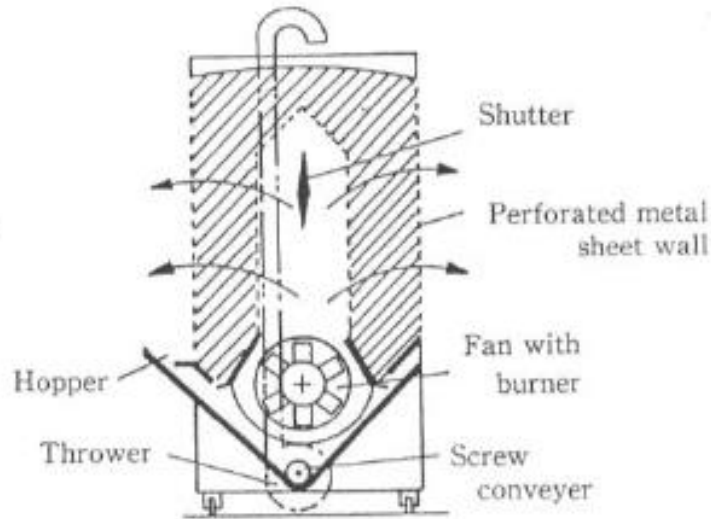


ภาพที่ 1.4 เครื่องลดความชื้นแบบหมุนเวียน

ที่มา : กองเกษตรวิศวกรรม, 2543

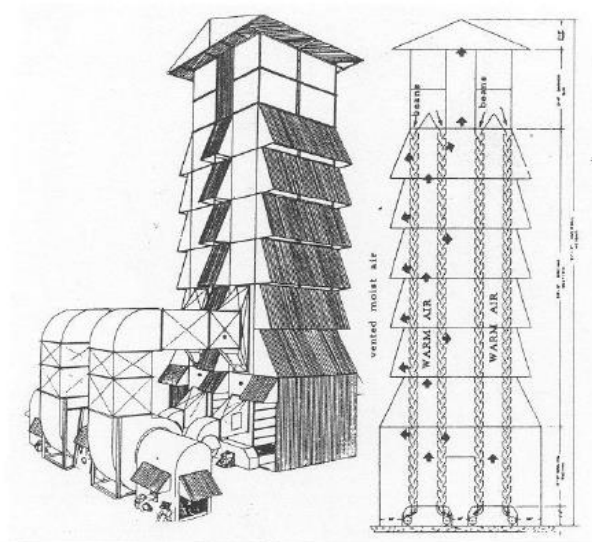
เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบคอลัมน์ เครื่องลดความชื้นแบบนี้หากมองภายนอกจะเห็นถึงบรรจุเมล็ดพืชเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมแนวตั้งสูงกว่า 3 เมตร ถึงบรรจุข้าวเปลือกต่อเข้ากับท่อลมร้อนทางด้านข้างซึ่งมีเตา ลมร้อนและพัดลมเป็นส่วนประกอบ ส่วนทางด้านล่างของถังบรรจุเมล็ดจะมีชุดควบคุมการไหลของข้าวเปลือก เครื่องลดความชื้นแบบนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1) เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบคอลัมน์ชนิดข้าวเปลือกไม่ไหลคลุกเคล้า ภายในถังบรรจุข้าวเปลือกของเครื่องลดความชื้นแบบนี้จะประกอบด้วย ช่องบรรจุข้าวเปลือกที่ด้านข้างทั้ง 2 ด้านเป็นตะแกรง เพื่อให้ลมร้อนผ่านได้อย่างสะดวก โดยออกแบบให้มีช่องว่างอย่างน้อย 2 ช่อง ตรงกลางของเครื่องซึ่งใช้เป็นห้อง ลมร้อน ที่จะไหลผ่านข้าวเปลือกและไหลออกทางแนวข้างทั้ง 2 ช่อง เครื่องลดความชื้นแบบนี้มีข้อเสีย คือ ข้าวเปลือกที่อยู่ชิดห้องลมร้อนจะแห้งเร็วกว่าทางด้านท่อลมออกทำให้เครื่องลดความชื้นแบบนี้ใช้ปริมาณลม ร้อนจาเพาะสูง เพื่อให้ความแตกต่างระหว่างความชื้นข้าวเปลือกส่วนที่ติดห้องลมร้อนกับด้านลมออกน้อย อุณหภูมิหม้อนึ่งที่ใช้ในการอบแห้งประมาณ 54 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 1.5



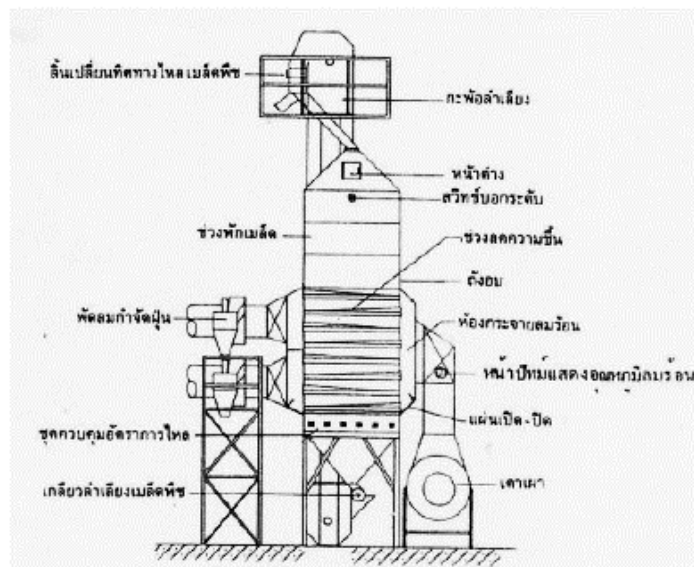
ภาพที่ 1.5 เครื่องลดความชื้นแบบคอลัมน์ชนิดข้าวเปลือกไม่ไหลคลุกเคล้า
ที่มา : กองเกษตรวิศวกรรม, 2543

2) เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบคอลัมน์ชนิดข้าวเปลือกมีการไหลคลุกเคล้า เครื่องลดความชื้นแบบนี้จะต่างจากแบบในข้อ 1) คือ ภายในห้องอบแห้งระหว่างห้องลมร้อนกับช่องบรรจุข้าวเปลือกจะถูกกั้นด้วยแผ่นทึบที่ทำเป็นแนวกลับทิศการไหลของข้าวเปลือกสลับกันไปมา ซึ่งในระหว่างแผ่นจะมีช่องว่างให้ลมไหลผ่านได้ ข้าวเปลือกที่ไหลจากด้านบนลงสู่ด้านล่างมีโอกาสสัมผัสลมร้อนเท่าๆ กัน เนื่องจากข้าวเปลือกมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา ดังภาพที่ 1.6



ภาพที่ 1.6 เครื่องลดความชื้นแบบคอลัมน์ชนิดข้าวเปลือกมีการไหลคลุกเคล้า
ที่มา : กองเกษตรวิศวกรรม, 2543

เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า โดยทั่วไปเรียกว่า แบบ LSU (Louisiana State University) เครื่องลดความชื้นแบบนี้ดูจากภายนอกมีลักษณะเช่นเดียวกับกับแบบคอลัมน์ คือ ถังบรรจุข้าวเปลือกจะเป็นแบบถังทรงสี่เหลี่ยมแนวตั้ง ข้าวเปลือกไหลจากด้านบนลงด้านล่างโดยมีอุปกรณ์ควบคุมการไหลของเมล็ด ภายในถังประกอบด้วยท่อลมเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นจะมีท่อลมหลายท่อ ท่อลมแต่ละชั้นจะเป็นท่อลมร้อนเข้าและท่อลมออกสลับกันท่อลมร้อนเข้านี้จะพัดผ่านข้าวเปลือกในถังอบและไหลออกทางท่อลมออกที่อยู่ชั้นด้านบนและด้านล่างท่อลม แต่ละท่อจะมีลักษณะเป็นรางคว่ำ ด้านบนแหลม ด้านล่างเปิดว่างในแนวขนานกับพื้นยาวตลอดถัง ที่ปลายรางด้านหนึ่งจะเจาะช่องต่อเข้ากับห้องรวบรวมลม ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะปิดท่อลมแต่ละชั้นโดยมีช่องที่เจาะเข้ากับห้องรวบรวมลมสลับกัน โดยชั้นหนึ่งจะต่อเข้าทางด้านห้องลมร้อนเข้า และอีกชั้นหนึ่งจะต่อเข้ากับห้องลมออก เครื่องลดความชื้นแบบนี้ทำให้เกิดการไหลข้าวเปลือกแบบไหลกลับไปกลับมา และทำให้ข้าวเปลือกมีโอกาสสัมผัสกับลมร้อนที่ไหลเข้าและเกิดการถ่ายเทความชื้นกับลมที่ไหลออก ทำให้เกิดการลดความชื้นสม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั้งถังบรรจุ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้จะได้อุณหภูมิสูงกว่าแบบคอลัมน์คือ 66 องศาเซลเซียส สำหรับการใช้งานก็เช่นเดียวกับกับแบบ คอลัมน์ คือ ใช้อบแบบเป็นครั้งหรือเป็นงวดและใช้อบแบบไหลต่อเนื่อง ดังภาพที่ 1.7



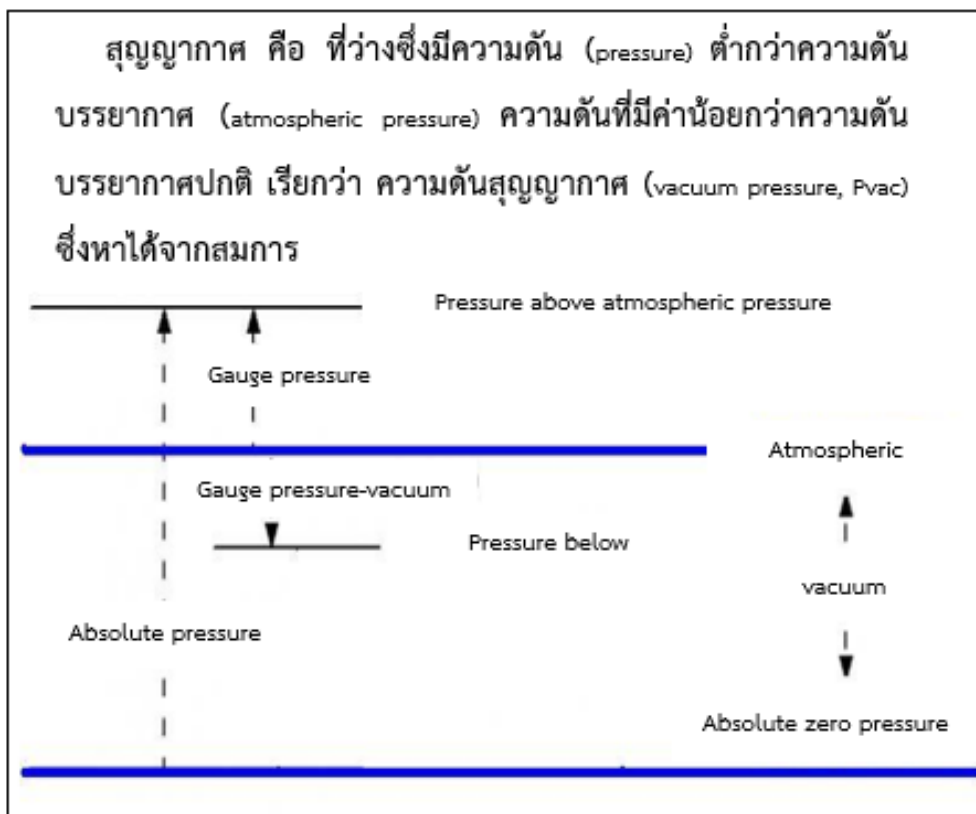
ภาพที่ 1.7 เครื่องลดความชื้นแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า
ที่มา : กองเกษตรวิศวกรรม, 2543

สุญญากาศ

สุญญากาศ คือ ปริมาตรของช่องว่างที่ไม่มีสสารอยู่ในนั้น เหมือนกับความดันแก๊สที่น้อยกว่าความดันบรรยากาศมาก ๆ ซึ่งในความเป็นจริงไม่สามารถทำให้ปริมาตรของช่องว่างว่างเปล่าได้อย่างสมบูรณ์ที่เรียกว่า สุญญากาศสมบูรณ์ (perfect vacuum) ซึ่งมีความดันแก๊สเป็นศูนย์ สุญญากาศสมบูรณ์จึงเป็นแนวความคิดที่ไม่สามารถสังเกตการณ์ได้ในทางปฏิบัติ นักฟิสิกส์จึงมักจะถกเถียงเกี่ยวกับผลการทดลองในอุดมคติว่าจะเกิดอะไรขึ้น

ในสุญญากาศสมบูรณ์ โดยใช้คำว่าสุญญากาศแทนสุญญากาศสมบูรณ์ และใช้คำว่า สุญญากาศบางส่วน (partial vacuum) แทนความหมายของสุญญากาศที่เกิดขึ้นได้จริง ดังภาพที่ 1.8

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



ภาพที่ 1.8 สุญญากาศ

ปั๊มสุญญากาศ

ปั๊มสุญญากาศ หรือ Vacuum pump ทำหน้าที่ดูดอากาศภายในพื้นที่ปิด เพื่อให้เกิดสุญญากาศ ปัจจุบันปั๊มสุญญากาศนิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมทำความเย็น และในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

ปั๊มสุญญากาศแบบโรตารี (Rotary vane vacuum pump) เป็นปั๊มสุญญากาศที่ทำงานด้วยใบพัด โดยใบพัดติดตั้งอยู่ภายในตัวเครื่องและเคลื่อนตัวไปในแนวนอนที่มีภายใต้แรงสปริง ด้วยหลักการทำงานแบบหมุนโรเตอร์ โดยเมื่อโรเตอร์หมุน อากาศจะไหลเข้าสู่ห้องดูดอากาศ ดังภาพที่ 1.9



ภาพที่ 1.9 ปั๊มสุญญากาศแบบโรตารี

ปั๊มสุญญากาศแบบลูกสูบ (Piston vacuum pump) มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่ที่สำคัญคือ ลูกเบี้ยวซึ่งสวมอยู่บนเพลลาหมุน ตัวลูกเบี้ยวจะไปดันให้ลูกสูบวิ่งขึ้นอัดอากาศผ่านวาล์วเปิด - ปิด ปั๊มสุญญากาศแบบลูกสูบส่วนมากจะมีขนาดเล็กและปัจจุบันไม่นิยมใช้ ดังภาพที่ 1.10



ภาพที่ 1.10 ปั๊มสุญญากาศแบบลูกสูบ [5]

ปั๊มสุญญากาศแบบวอเตอร์ริง (Water ring vacuum pump) ปั๊มสุญญากาศแบบวอเตอร์ริง ปั๊มชนิดนี้นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเคมี เนื่องจากสามารถรับของแข็งและของเหลวเข้าปั๊มได้ดีเมื่อเทียบกับปั๊มสุญญากาศชนิดอื่น โดยความดันด้านดูดของปั๊ม จะทำได้ต่ำเท่าไรขึ้นอยู่กับของเหลวที่ใช้ทำสุญญากาศภายในตัวปั๊ม ซึ่งหลักการทำงานของปั๊มใช้หลักการดูดและอัดของเหลว ตัวใบพัดยึดติดกับเพลลาติดตั้งในตำแหน่งเยื้องศูนย์กลางกับเสื้อปั๊มซึ่งเป็น

รูปทรงกระบอก ก่อนใช้งานต้องมีของเหลวบรรจุอยู่ก่อนเสมอ เมื่อใบพัดหมุนจะเหวี่ยงของเหลวไปปะทะผนังเส้น
ปัมเป็นรูปวงแหวน ดังภาพที่ 1.11



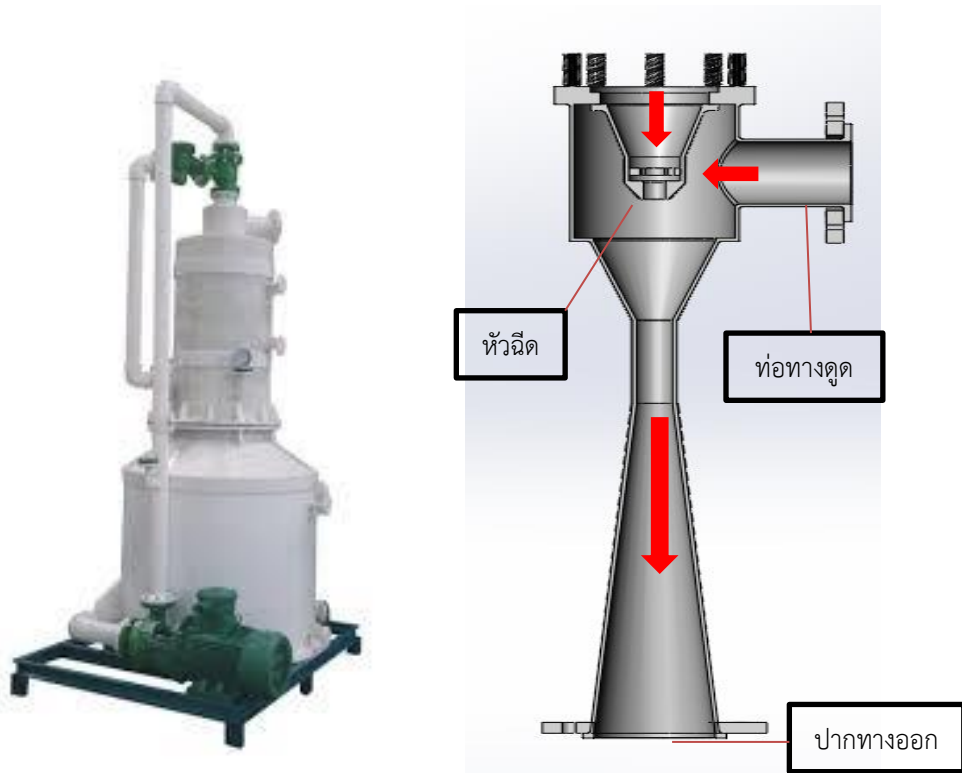
ภาพที่ 1.11 ปัมสุญญากาศแบบวอเตอร์ริง

ปัมสุญญากาศแบบบูสเตอร์ปัม (Mechanical booster vacuum Pump) เป็นปัมสำหรับเสริมแรงดัน โดยระบบถูกออกแบบมาเพื่อมีหน้าที่ในการเพิ่มแรงดันในระบบท่อ ซึ่งจะช่วยให้การไหลของน้ำมีความสม่ำเสมอ เมื่อเปิดใช้งาน ซึ่งเหมาะกับการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม หลักการทำงานของบูสเตอร์ปัม คือ เมื่อมีการเปิดใช้งานน้ำ น้ำในท่อที่ไหลออกไปจะทำให้แรงดันในระบบท่อดลดลงจนถึงระดับแรงดันที่มีการตั้งค่าไว้ เมื่อนั้นสวิทช์แรงดัน (Pressure switch) จะสั่งให้ระบบจ่ายไฟให้มอเตอร์ทำงาน ซึ่งปัมน้ำก็จะเริ่มทำงานเพื่อจ่ายน้ำเข้าสู่ระบบแรงดันก็จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่สวิทช์แรงดันตั้งค่าให้หยุดทำงาน ปัมน้ำก็จะหยุดทำงาน ซึ่งในกรณีโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความจำเป็นจะต้องใช้น้ำในปริมาณมาก อาจถูกออกแบบระบบบูสเตอร์ให้มีปัมน้ำสองตัวทำงานร่วมกัน โดยปัมอีกตัวจะทำงานเสริมเมื่อปัมตัวแรกทำการเพิ่มน้ำให้แรงดันขึ้นไม่ทันเท่าที่ระบบต้องการ ดังภาพที่ 1.12



ภาพที่ 1.12 ปัมสุญญากาศแบบบูสเตอร์ปัม

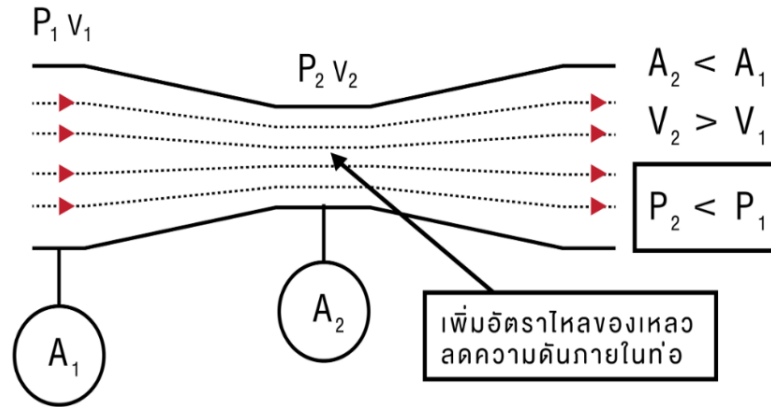
ปั๊มสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊ม (Jet vacuum pump) เป็นปั๊มที่อาศัยหลักการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านหัวฉีดซึ่งเปลี่ยนความดันของของไหลที่ผ่านหัวฉีดให้มีความเร็วมากพอที่จะสร้างสุญญากาศบริเวณท่อทางดูด ซึ่งเมื่อของไหลปฐมภูมิที่มีอุณหภูมิและความดันสูงพุ่งผ่านหัวฉีดที่อยู่ภายในเจ็ทปั๊มและมีความเร็วสูงจะเกิดการเหนี่ยวนำของไหลทุติยภูมิเข้ามาผสมกันภายในเจ็ทปั๊มและไหลออกจากผ่านปากทางออกของเจ็ทปั๊ม ดังภาพที่ 1.13



ภาพที่ 1.13 ปั๊มสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊ม

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปั๊มสุญญากาศแบบเจ็ทปั๊ม

สมการของแบร์นูลลี (Bernoulli's equation) คือ สมการการเคลื่อนที่ของของเหลวจากหน้าตัดที่ A1 ไปสู่หน้าตัดที่ A2 ดังรูปที่ 1.14



ภาพที่ 1.14 แสดงหลักการแบร์นูลลี

สมการนี้มีหลักการว่า พลังงานทั้งหมดของของไหลยุบตัวไม่ได้ในสภาวะคงตัวและปราศจากความเสียดทาน นั้นมีค่าคงที่เสมอ ดังสมการที่ 6

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (6)$$

โดยที่

P_1, P_2 คือ ความดันของของไหล

ρ ความหนาแน่นของของไหล (ความหนาแน่นของน้ำ = 1000 kg/m³)

v_1, v_2 คือ ความเร็วของของไหล

h_1, h_2 คือ ระดับความสูง

G คือ ค่าแรงโน้มถ่วง (9.81 m/s²)

A_1, A_2 คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ

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

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดร.อมรชัย และคณะ(2550) การทำแห้ง (Dehydration) เป็นวิธีการถนอมอาหาร ที่นิยมใช้มานานโดย การลดความชื้นของอาหารด้วยการระเหยน้ำ ด้วยการอบแห้ง การทอด หรือการระเหิดน้ำส่วนใหญ่ในอาหารออก ทำให้ช่วยลดการเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีในอาหาร ส่วนน้ำที่เหลือจากการทำแห้งเป็นน้ำที่ถูกยึดไว้กับองค์ประกอบของอาหาร อยู่ในโครงสร้างหรือในเซลล์ที่ประกอบเป็นก้ำกวมเนื้อสัตว์ โดยทั่วไป เนื้อสัตว์เป็นแหล่งอาหารที่ดี

สำหรับจุลินทรีย์ เนื่องจากมีสารอาหารครบถ้วน และมีน้ำอยู่ในเนื้อเยื่อปริมาณสูง โดยในเนื้อสัตว์มีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ถึงประมาณร้อยละ 70 จุลินทรีย์ในเนื้อสัตว์สามารถเจริญเติบโตได้และเอนไซม์ในเนื้อจะทำงานได้ดี เมื่อมีน้ำเพียงพอ ดังนั้นการลดความชื้นหรือการทำให้อาหารแห้งก็จะช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ชะลอการทำงานของเอนไซม์ หรือชะลอปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมี ซึ่งมีน้ำเป็นส่วนร่วม และเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย ช่วยให้เก็บได้นานขึ้น

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

นพพร และคณะ(2555) ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ประเภทอบแห้งได้มีความน่าสนใจและนิยมเพิ่มขึ้น จึงได้มีการนำเทคโนโลยีการอบแห้งหลากหลายประเภท เช่น การอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้งแบบลมร้อน และการอบแห้งแบบสุญญากาศ การอบแห้งแบบสุญญากาศเป็นอีกหนึ่งประเภทที่ยอมรับและน่าสนใจเพราะลักษณะจำเพาะของการอบแห้งแบบสุญญากาศ คือ มีอัตราการลดความชื้นที่รวดเร็วโดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งต่ำ และการไม่มีออกซิเจนอยู่ในห้องอบแห้งทำให้ช่วยในการรักษาคุณภาพของวัสดุ เช่น รูปร่าง สี กลิ่น รส และคุณค่าทางโภชนาการ ข้อดีของการอบแห้งแบบสุญญากาศ คือ การใช้พลังงานในการอบแห้งน้อย และได้มีการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งตลอด เช่น การออกแบบปั๊มหัวฉีดสำหรับประยุกต์เพื่อใช้งานกับเครื่องอบแห้งสุญญากาศ เป็นการออกแบบสร้างทดสอบปั๊มหัวฉีดสำหรับทดสอบการอบแห้งสุญญากาศเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรบางตัวที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของปั๊มหัวฉีดน้ำเพื่อเลือกชุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้ทดสอบอบแห้งสุญญากาศ สมรรถนะการอบพริกด้วยเครื่องอบสุญญากาศร่วมกับปั๊มความร้อน เป็นการออกแบบและทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งสุญญากาศด้วยเครื่องสูบลมความร้อนสามารถสร้างเครื่องอบแห้งสุญญากาศที่ใช้ปั๊มความร้อนเป็นแหล่งความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งและแหล่งเย็นสำหรับหล่อเย็นปั๊มสุญญากาศ ทำให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพแล้วได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความดันที่มีผลต่อเวลาในการอบแห้ง การหดตัว การคิ่นรูป สี และ ลักษณะของพื้นผิวพริก พบว่าเวลาในการอบแห้งลดลงเมื่อความดันในการอบแห้งลดลงหรืออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น การหดตัวและการคิ่นรูปไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการอบแห้ง แต่เมื่อความดันเพิ่มขึ้นการหดตัวจะเพิ่มขึ้นส่วนการคิ่นรูปจะลดลง การอบแห้งโดยกระบวนการสุญญากาศมีความซับซ้อนมากกว่ากระบวนการอบแห้งโดยกระบวนการลมร้อน ดังนั้นอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการอบแห้ง เช่น อุณหภูมิ และความดันที่มีผลต่อคุณภาพของวัสดุ ภายใต้กระบวนการอบแห้งแบบสุญญากาศ จากที่ได้กล่าวไปจะเห็นได้ว่า การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของวัสดุอย่างเดียวนั้นไม่ได้หมายความว่า เครื่องอบแห้งสุญญากาศจะมีประสิทธิภาพดี ความเร็วรอบและคุณสมบัติของไหล เช่น อุณหภูมิ ความดัน มีผลต่อการทำงานของปั๊มสุญญากาศ

วรรณพิชญ์ (2560) มะม่วงเบา (*Mangifera indica* L. Var.) เป็นผลไม้ที่ปลูกมากทางภาคใต้ของประเทศไทย ราคาถูก และอุดมด้วยแคลเซียม วิตามินซี และวิตามินบี 2 ช่วยป้องกันไขมันอุดตันเส้นเลือด จึงเป็นผลไม้ที่

เหมาะสมสำหรับผู้บริโภคที่ห่วงใยสุขภาพ รับประทานแล้วไม่อ้วนเมื่อเปรียบเทียบกับมะม่วงสายพันธุ์อื่น ส่วนใหญ่ใช้มะม่วงเบาในการประกอบอาหารที่มีรสเปรี้ยว เช่น ยำ น้ำพริก หรือใช้เป็นสารให้รสเปรี้ยวแทนมะนาว แต่ปัจจุบันมีการนำมะม่วงเบามาใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับมะม่วงสายพันธุ์อื่น เนื่องจากผลมีขนาดเล็กและรสชาติเปรี้ยวจัด ส่งผลให้มีผลผลิตทางการเกษตรเหลือทิ้งมากมาย การอบแห้งเป็นทางเลือกที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้นี้โดยการลดความชื้นในผลไม้ อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำมันหรือน้ำตาลซึ่งเป็นสาเหตุของโรคอ้วน จึงได้รับความนิยมในปัจจุบันโดยเฉพาะกลุ่มผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ การอบแห้งโดยทั่วไปใช้ลมร้อนพัดผ่านอาหารเพื่อดึงน้ำออกจากอาหาร มีอัตราการอบแห้งต่ำ ใช้เวลาอบแห้งนาน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการเนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาานาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเหนียวและการคืนรูปไม่ดี

การลดความชื้นโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศยังไม่มีการศึกษาวิจัยในเมล็ดพันธุ์ ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในพืชอาหารและสมุนไพร เช่น ชิง (อำไพศักดิ์ และ ศักดิ์ชัย, 2553) เห็ดและพาสเลย์ (Zecchi et al., 2011) กวีส์ไลด์ (Orikasa et al., 2014) แครอทและฟักทองสไลด์ (Arevalo-Pinedo and Murr FEX, 2007) เป็นต้น ซึ่งการลดแรงดันอากาศช่วยให้ไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงมากในการอบแห้งแต่อย่างไรก็ตามการลดแรงดันอากาศอาจส่งผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาระดับความดันรวมถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่ว เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ต่อไป

ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

อุปกรณ์

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

วิธีการ

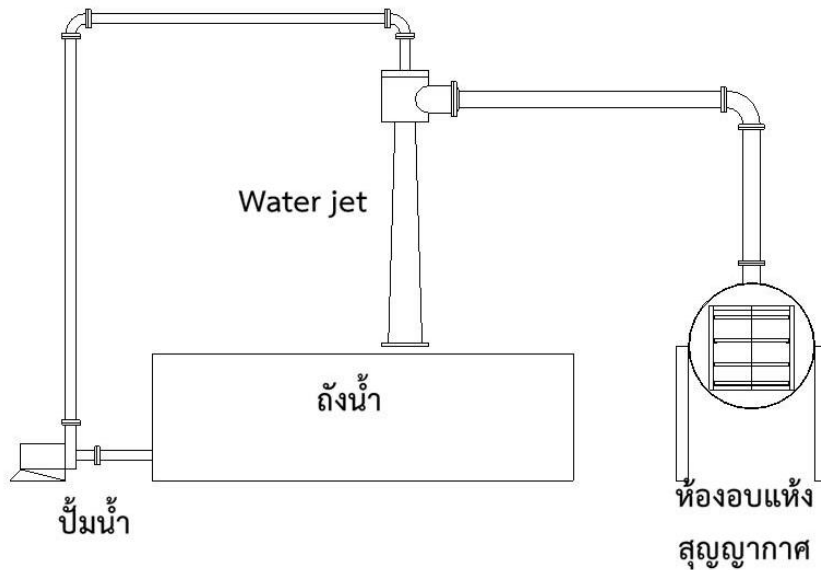
วิธีปฏิบัติการทดลอง

1. ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ โดยจะออกแบบอุปกรณ์หลักๆ คือ
 - 1.1 ห้องอบลดความชื้นที่รองรับภาวะการลดแรงดันอากาศได้ตั้งแต่ 500-700 มิลลิเมตรปรอท
 - 1.2 ปืนสูญญากาศ แบบ water jet
 - 1.3 แหล่งกำเนิดความร้อน
 2. ทำการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบลดความชื้นแบบลดแรงดันที่สร้างขึ้น
 - 2.1 ทดสอบกับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง
 - 2.2 ทดสอบกับเมล็ดพันธุ์พืชอื่น ๆ ที่เหมาะสม
 - 2.3 ทดสอบการอบลดความชื้น เพื่อดูประสิทธิภาพการอบแห้ง ที่ค่าอุณหภูมิ ความดัน เวลาในการลดความชื้น ผลการงอกของเมล็ดพันธุ์หลังการอบลดความชื้น
 3. วิเคราะห์ประเมินผลการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศ และการงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในการทดสอบ
- เวลาและสถานที่
- ระยะเวลาการดำเนินการ เริ่มต้น ตุลาคม 2562 สิ้นสุด กันยายน 2563
- สถานที่การสร้างและทดสอบ ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น

ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion)

1. ผลการออกแบบเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ

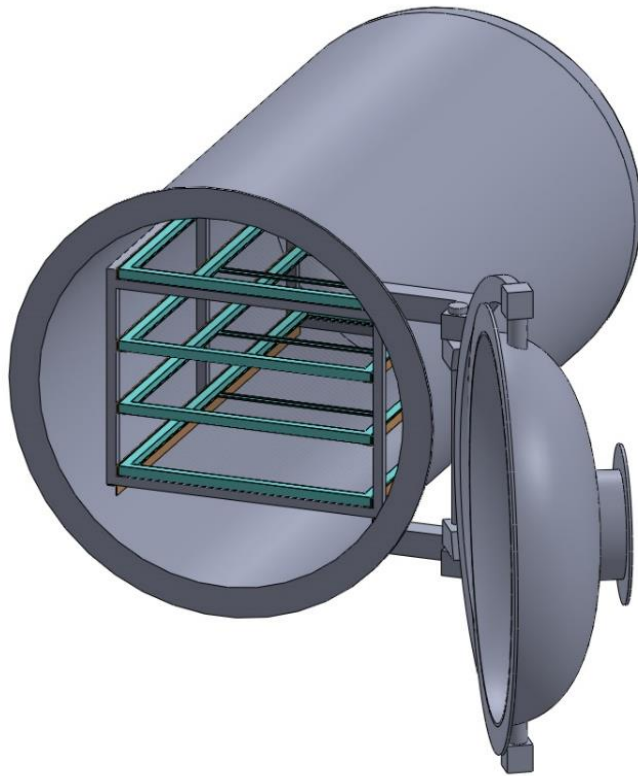
สำหรับเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศ หรือภาวะเข้าสู่สุญญากาศ แบ่งส่วนประกอบหลักออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ 1.1 ส่วนของห้องอบแห้ง 1.2 ส่วนของปั๊มสุญญากาศ แสดงหลักการทำงานได้ดังภาพที่ 1.15



ภาพที่ 1.15 แสดงหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศที่จะออกแบบสร้าง

1.1 ห้องอบแห้ง

ทำการออกแบบและสร้างส่วนของถังอบแห้งเป็นรูปทรงกระบอกกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เมตร ส่วนตรงยาว 1.20 เมตร ผนังถังอบทำจากเหล็กแผ่นหนา 6 มิลลิเมตร และมีส่วนหัวและท้ายของถังอบเป็นลักษณะโค้งเพื่อความแข็งแรง ทำการออกแบบช่องมองผลิตภัณฑ์เป็นกระจกใสวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.20 เมตร ถังอบมีฝาเปิด-ปิดทรงโค้งมีจุดหมุนแข็งแรงมีฐานตั้งรับถัง ทำการออกแบบชั้นวางและตะแกรงใส่เมล็ดถั่วเหลือง เพื่อบรรจุในถังอบแห้ง โดยตะแกรงจะมีขนาด กว้าง x ยาว 0.52 x 1.00 เมตร ดังภาพที่ 1.16



ภาพที่ 1.16 แบบเสมือนจริงถังอบแห้งสุญญากาศพร้อมชั้นวางเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

เมื่อทำการออกแบบเสร็จแล้วจึงดำเนินการสร้างต้นแบบโดยเริ่มจากการม้วนถังส่วนที่เป็นทรงกระบอกตรง และป้อนขึ้นรูปหัวท้ายถึงที่เป็นรูปทรงโค้ง โดยผนังถังอบแห้งที่สร้างมีความหนา 6 มิลลิเมตร การม้วนทรงกระบอกและป้อนส่วนโค้งต้องจ้างบริษัทที่มีเครื่องจักรสำหรับทำส่วนนี้ ทำฝาถังให้มีช่องกระจกมองผลิตภัณฑ์ และมีท่อสำหรับต่อเข้ากับท่อป้อนสุญญากาศอยู่ฝั่งตรงข้ามกับช่องมองผลิตภัณฑ์ จากนั้นมาออกแบบสร้างส่วนรองรับของการหมุน เปิด-ปิด ฝาถังอบซึ่งมีน้ำหนักค่อนข้างมากต้องออกแบบให้แข็งแรงเป็นพิเศษ ทำการติดตั้งถังอบแห้งบนฐานตั้งรับ ติดตั้งระบบให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์แบบแท่งกลมขนาด 1000 วัตต์ จำนวน 4 แท่ง โดยติดตั้ง 4 ด้านของถังอบแห้ง ดังภาพที่ 1.17 และได้เครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศโดยใช้ปั๊มสุญญากาศแบบ water jet เสร็จสมบูรณ์ ดังภาพที่ 1.18 และ 1.19



ภาพที่ 1.17 การติดตั้งฮีตเตอร์สำหรับระบบให้ความร้อน 4 ด้าน ของถังอบแห้ง



ภาพที่ 1.18 การประกอบถังอบแห้งกับปั๊มสุญญากาศ water jet ที่สร้างเสร็จสมบูรณ์แล้ว



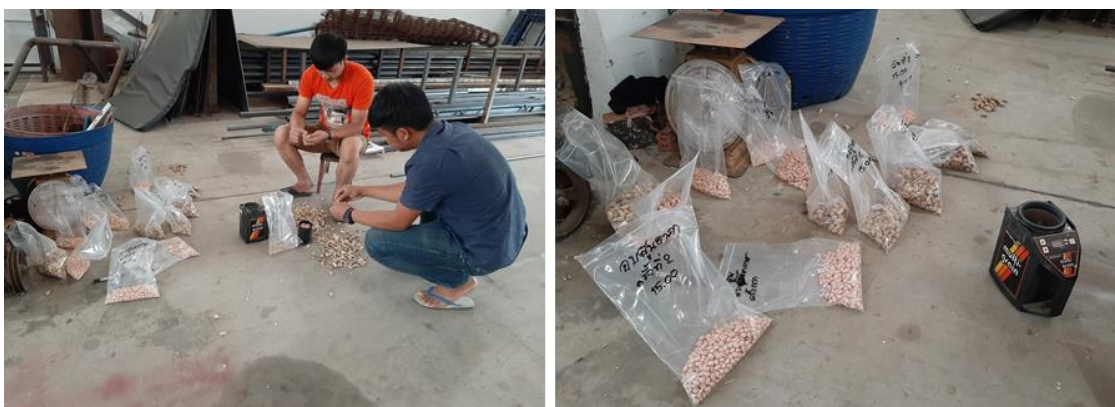
ภาพที่ 1.19 ฝา เปิด-ปิด ถังอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว

2. ผลการทดสอบเบื้องต้น

ทำการทดสอบเบื้องต้นเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศต้นแบบที่สร้างขึ้นสำหรับการอบลดความชื้น แต่เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองช่วงเวลาที่ต้องการทดสอบไม่สามารถหาเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีความชื้นสูง จึงใช้ถั่วลิสงมาทำการทดสอบแทน ซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีความต้องการที่จะใช้เทคโนโลยีในการผลิตเมล็ดพันธุ์เช่นกัน โดยใช้ถั่วลิสงฝักสด จากความชื้นเริ่มต้น 34.15 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบลดความชื้น 40 องศาเซลเซียส ความดันอากาศลดลงที่ 650 มิลลิเมตรปรอท ดังภาพที่ 1.20 และในการวัดความชื้นของเมล็ดถั่วลิสงจะทำการแกะเมล็ดออกจากฝักแล้วใช้เครื่องวัดความชื้นทำการวัด ดังภาพที่ 1.21



ภาพที่ 1.20 การทดสอบอบลดความชื้นฝักถั่วลิสงด้วยเครื่องอบลดแรงดันอากาศ



ภาพที่ 1.21 การแกะเมล็ดถั่วลิสงมาวัดค่าความชื้น

ตารางที่ 1.1 แสดงผลการอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศและผลการตากแห้งฝักถั่วลိสง

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

จากตารางที่ 1.1 แสดงผลการอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศให้ได้ความชื้นหลังการอบที่ระดับความชื้นต่าง ๆ ซึ่งในการอบลดความชื้นฝักถั่วลိสงวิธีการที่เหมาะสมคือการอบแบบมีการพักตัวทั้งนี้ เนื่องจากการอบแห้งจะเกิดที่เปลือกถั่วเป็นส่วนใหญ่ส่วนเมล็ดในจะแห้งช้าโดยความชื้นหรือน้ำจะค่อยๆ แพร่ ออกมาสู่ผิวเมล็ดและแพร่ไปยังเปลือกของถั่วลိสงที่ชื้นน้อยกว่า การพักตัวจึงเป็นการให้มีเวลาในการปรับสมดุล ความชื้นจากเมล็ดสู่เปลือกซึ่งในขั้นตอนนี้ไม่จำเป็นต้องมีการอบหรือให้ความร้อนเข้าไปเพราะจะเป็นการสูญเสียพลังงานไปเสียเป็นส่วนใหญ่ โดยอุณหภูมิ แรงดันอากาศลดลง เวลาที่ใช้อบแห้งรวมถึงเวลาพักตัว และเวลาในการตากแดดฝึงลมได้แสดงไว้แล้วในตารางที่ 1 ทั้งนี้จำเป็นต้องลดความชื้นโดยวิธีธรรมชาติด้วยการตากแดดฝึงลมให้แห้ง เพื่อใช้เป็นกรณีเปรียบเทียบในการนำไปเพาะดูการงอกของเมล็ด ดังภาพที่ 1.22



ภาพที่ 1.22 การทำแห้งโดยการฝึงลมให้แห้งแล้วนำไปทดสอบการเพาะเพื่อดูการงอก



ภาพที่ 1.23 ทำการเพาะดูการงอกของเมล็ดถั่วลိสงหลังผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลดแรงดันอากาศ

จากภาพที่ 1.22 และ 1.23 เป็นการทดสอบการเพาะดูการงอกของเมล็ดถั่วลิสงที่อบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ จนความชื้นลดลงเหลือ 11.50 7.40 และ 4.50% และการตากแดดผึ่งลมให้เหลือความชื้น 7.50 % ซึ่งในการสุมจะเอาฝักถั่วลิสงที่อบและตากแยกตามความชื้นและวิธีการลดความชื้น เป็น 4 แบบ แต่ละแบบคลุกเคล้าให้คลุกกันจากนั้นแกะเอาเมล็ดในแต่ละแบบอย่างละประมาณ 1 กิโลกรัม สุมเมล็ดดีจากแบบละ 1 กิโลกรัม มาอย่างละ 3 ตัวอย่างๆ ละ 100 เมล็ด/ถาด ทำการเพาะดูการงอก โดยจดบันทึก 7 14 และ 21 วัน ซึ่งผลการงอกแสดงไว้ในตารางที่ 1.2

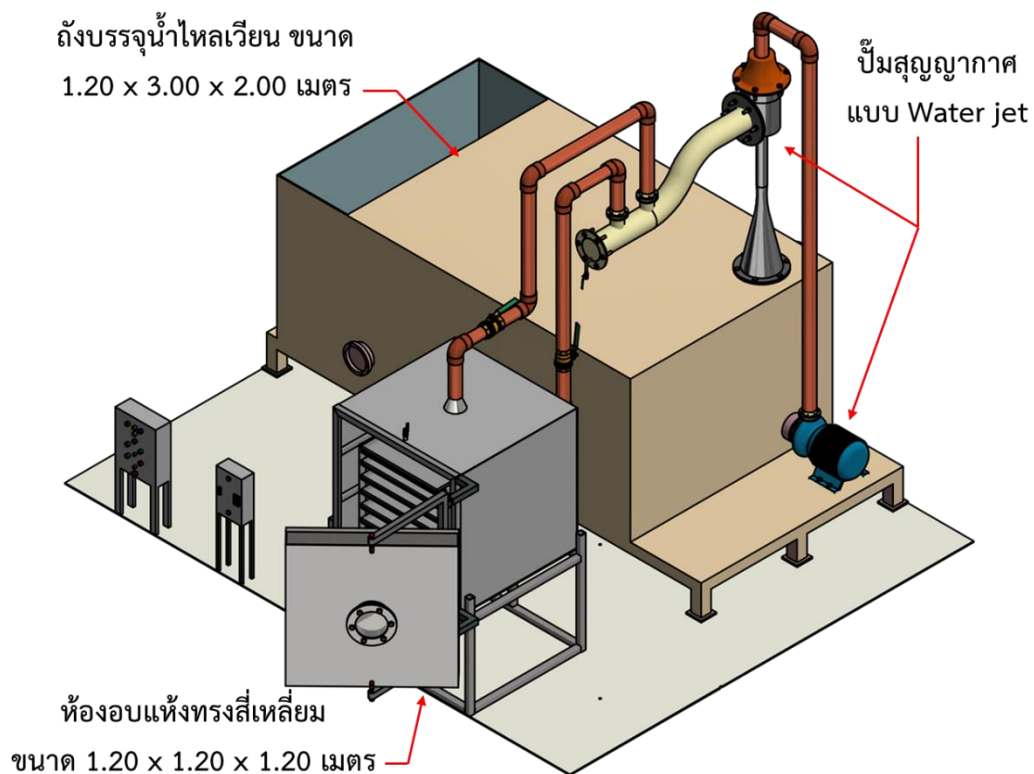
ตารางที่ 1.2 เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดถั่วลิสง

ระยะ เวลา	ตากแดดผึ่งลม			เครื่องอบลดความชื้นแบบลดความดันอากาศ								
	ความชื้น 7.50 %			ความชื้น 11.50%			ความชื้น 7.40%			ความชื้น 4.50%		
เพาะ (วัน)	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 1.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ผลการงอกของเมล็ดถั่วลิสงที่ผ่านการลดความชื้นด้วยการตากแดดผึ่งลมให้แห้งตามธรรมชาติ และลดความชื้นด้วยเครื่องอบลดความชื้นแบบลดแรงดันอากาศ ให้เหลือความชื้นที่ 11.50 7.40 และ 4.50% ซึ่งผลการงอกมีค่าใกล้เคียงกับการตากแห้งโดยการผึ่งลม(ความชื้น 7.50%) ทำให้มั่นใจได้ว่าการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศจะสามารถนำมาใช้กับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ได้ และคาดว่าจะช่วยแก้ปัญหาในเรื่องของการตากในช่วงฤดูฝน และปัญหาของเครื่องลดความชื้นที่ใช้อุณหภูมิสูงที่ส่งผลกระทบต่อารงอกและเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์

การออกแบบสร้างห้องอบแห้งลดแรงดันอากาศให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น

เนื่องจากห้องอบแห้งที่ออกแบบสร้างขนาดของถังอบแห้งเป็นรูปทรงกระบอกกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เมตร ส่วนตรงยาว 1.20 เมตร หรือคิดเป็นปริมาตรได้ 0.53 ลูกบาศก์เมตร มีพื้นที่ในการตากค่อนข้างน้อย ประมาณ 2.00 ตารางเมตร จึงยังไม่ค่อยเหมาะสมกับขนาดของปั๊มสุญญากาศ แบบ Water jet ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งสามารถรองรับปริมาตรห้องอบได้ 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 หรือคิดเป็นพื้นที่ตะแกรงรวม 5.25 ตารางเมตร ซึ่งมีภาพการออกแบบและการสร้าง ดังภาพที่ 1.24 1.25 และ 1.26



ภาพที่ 1.24 การออกแบบเสมือนจริงของห้องอบแห้งลดแรงดันอากาศ
ทรงสี่เหลี่ยม ขนาด กว้าง x ยาว x สูง 1.20 x 1.20 x 1.20 เมตร



ภาพที่ 1.25 ห้องอบแห้งลดแรงดันอากาศ ทรงสี่เหลี่ยม ขนาด กว้าง x ยาว x สูง 1.20 x 1.20 x 1.20 เมตร



ภาพที่ 1.26 ชั้นวางผลิตภัณฑ์ ขนาด กว้าง x ยาว 0.75 x 1.00 จำนวน 7 ถาด

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ (Conclusion and Suggestion)

การวิจัยออกแบบเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ขนาดของห้องอบแห้งจะขึ้นอยู่กับความสามารถของปั๊มสุญญากาศที่ใช้ ซึ่งจะมีขนาดค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับเครื่องอบลมร้อนทั่ว ๆ ไป อีกทั้งยังมีต้นทุนในการสร้างค่อนข้างสูง ค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการอบลดความชื้นมีราคาต่อหน่วยสูง แต่มีข้อดีคือ สามารถลดความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิต่ำ เป็นการรักษาคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ หรือผลิตภัณฑ์ที่ทำการอบลดความชื้น ผู้วิจัยได้ใช้ถั่วลิสง เป็นวัตถุดิบในการทดสอบ เพราะถั่วเหลืองความชื้นสูง 18% ที่วางแผนไว้ไม่สามารถหาได้ในขณะนี้ มีแต่ความชื้นลดลงตั้งแต่แปลงปลูกเหลือ 11% จึงได้พิจารณาเลือกถั่วลิสงมาใช้ในการทดสอบเบื้องต้น เพราะเป็นพืชตระกูลถั่ว และการลดความชื้นทำเมล็ดพันธุ์ก็ไม่ต่างกันมาก จากการทดสอบเบื้องต้นสำหรับถั่วลิสง ผลการเพาะงอก ได้ผลดีเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ลดความชื้นจากการผึ่งลม ในการทดสอบปั๊มสุญญากาศแบบ water jet ไม่สามารถค่าแรงดันติดลบได้ตามที่ต้องการ จะมีเพียงค่าเดียวที่ปั๊มทำงาน จึงทดลองได้เพียงค่าแรงดันติดลบค่าเดียว คือ 650 มิลลิเมตรปรอท

ข้อเสนอแนะ เนื่องจากเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศมีอุปกรณ์สำคัญคือปั๊มสุญญากาศ ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงมาก จึงควรมีการพัฒนากระบวนการใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

กิจกรรมที่ 2

การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองหลังการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ
Testing of Soybean Seed Quality after Drying by Air Pressure Reducing Dryer

เวียง อากรชี่, สิทธิพงษ์ ศรีสว่างวงศ์, นิภาภรณ์ พรรณรา, นายวุฒิพล จันทร์สระคู,
กลวัชร ทิมินกุล, ปินิจ จิรัคคกุล, ศักดิ์ชัย อาษาวิ้ง, เอกภาพ ป่านภูมิ,
วัชรพงษ์ ตามไธสงค์, อนุชา เชาวโชติ 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)

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

บทคัดย่อ

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 ความดันอากาศติดลบ 650 มิลลิเมตรปรอท จนความชื้นลดลงเหลือ 7.50 4.00 และ 2.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำการทดสอบการเพาะงอกทั้ง 3 ตัวอย่าง ซึ่งผลการงอกมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ใช้เปรียบเทียบ ทำให้สรุปได้ว่าการอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศมีความเป็นไปได้สูง การทดสอบกรณีที่ 2 โดยใช้เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีความชื้นสูงจากแปลงเกษตรกร 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

Soybean seed quality testing by dehumidification by reducing air pressure 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 43 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.

บทนำ

ถั่วเหลืองเป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำมันค่อนข้างสูง อุณหภูมิที่ใช้ลดความชื้นเมล็ดไม่ควรเกิน 43 °C และความชื้นสัมพัทธ์ต้องต่ำกว่า 40 %RH เนื่องจากถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะสร้างความเสียหายให้แก่เมล็ดพันธุ์โดยจะทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์โดยตรง และนอกจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมที่ใช้ลดความชื้นแล้ว อัตราการไหลของอากาศก็มีส่วนสำคัญต่อประสิทธิภาพในการลดความชื้นเช่นกัน โดยเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองแนะนำให้ออกแบบอัตราการไหลของอากาศ 0.21 m³/s ต่อปริมาณถั่วเหลือง 1 m³ 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 2.1 แสดงขบวนการหรือลักษณะที่เกิดขึ้นในเมล็ดพันธุ์ที่ระดับความชื้นต่างๆ (ASHRAE, 1999) วิธีการลดความชื้นด้วยแสงแดด (sun drying) เป็นวิธีที่นิยมตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันเนื่องจาก เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ต้นทุนต่ำ แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้แรงงานจำนวนมาก และไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิในการลดความชื้น และระยะเวลาได้แน่นอน ซึ่งมักเป็นปัญหาในฤดูฝน ส่งผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ทำให้การควบคุมคุณภาพเมล็ดพันธุ์เป็นไปได้ยาก จึงได้มีการคิดค้นและพัฒนาเครื่องอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในปี 1974 ได้มีการรายงานการลดความชื้นด้วยเครื่องอบที่อุณหภูมิ 54°C ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 40% แต่อย่างไรก็ตามส่งผลให้ความงอกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองลดลงและแตกร้าวมากขึ้น ในปี 2000 Soponronnarit และคณะได้ศึกษาการลดความชื้นแบบปั๊มความร้อน (Heat pump drying) ในเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้อุณหภูมิ 43°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 12% ภายหลังจากลดความชื้นนำเมล็ดพันธุ์ข้าวเก็บรักษาเป็นเวลา 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% (w.b.) และพบว่าเมล็ดยังคงมีความงอกมากกว่า 95% เท่ากับ 98.45 96.53 และ 95.33% ตามลำดับ (จุฑาศินี และ ศิวลักษณ์, 2555)

ตารางที่ 2.1 อัตราการไหลของอากาศสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพืช

Crop	Density, kg/m ³	Recommended Dryer 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 m³/kg

ที่มา : (ASHRAE, 1999)

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

การลดความชื้นเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญเนื่องจากมีผลโดยตรงต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ความชื้นที่ระดับเหมาะสมต่อการเก็บรักษาคือ 8-13% แต่อย่างไรก็ตามอาจมีความแตกต่างและเฉพาะเจาะจงไปตามชนิดพืช ตารางที่ 2.2 แสดงขอบเขตหรือลักษณะที่เกิดขึ้นในเมล็ดพันธุ์ที่ระดับความชื้นต่างๆ

ตารางที่ 2.2 ขบวนการ/ลักษณะที่เกิดขึ้นในเมล็ดพันธุ์ที่ระดับความชื้นต่างๆ (จวงจันท์, 2521)

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

	หากเก็บเมล็ดสุ่มกองไว้และมีการระบายอากาศไม่พอเพียงจะทำให้เกิดความร้อนสะสมในกอง เชื้อราและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย อ่อนแอต่อการกระทบกระแทกและเครื่องจักรกล
13-18	ที่ระดับความชื้นสูงกว่า 13% ยังมีอัตราการหายใจสูง ทำให้เกิดความร้อน เชื้อราและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย แต่ทนทานต่อการกระทบกระแทกได้ค่อนข้างดี
8-13	เก็บรักษาไว้ในโรงเก็บแบบเปิดได้นาน 6-18 เดือน มีแมลงเข้าทำลายบ้าง อ่อนแอต่อการกระทบกระแทกเพราะค่อนข้างแข็ง
4-8	เก็บรักษาในภาชนะปิดสนิทได้อย่างปลอดภัย
0-4	เมล็ดพันธุ์บางชนิดอาจเสียหาย และในเมล็ดพืชบางชนิดอาจพบเมล็ดแข็ง เช่น ในพีชวงศ์ถั่ว
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 มีการรายงานการใช้เครื่องอบแห้งชนิดลมร้อนเปรียบเทียบกับ การลดความชื้นด้วยแสงแดดและผึ่งในที่ร่ม พบว่าการลดความชื้นจาก 27% เป็น 5.6% ด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ $35-38^{\circ}\text{C}$ ใช้เวลา 36 ชั่วโมง ในขณะที่การใช้แสงแดดและผึ่งในที่ร่มใช้เวลา 60 และ 90 ชั่วโมง ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน เมล็ดพันธุ์ที่ลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อน แสงแดด และผึ่งในที่ร่ม มีความงอกเท่ากับ 75 71 และ 69% และพบว่าการผึ่งในที่ร่มมีการปนเปื้อนของเชื้อรามากที่สุด (บุญมี และคณะ, 2546) นอกจากนี้มีการรายงานการลดความชื้นแบบถ่วงอบสามารถลดความชื้นเมล็ดถั่วลิสงจาก 25-27% ให้เหลือประมาณ 6-7% โดยใช้เวลา 24 และ 36 ชั่วโมง เมื่อบรรจุเมล็ดในถังอบหนา 60 และ 80 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การตากแดดต้องใช้เวลาในการลดความชื้น 48 ชั่วโมง ส่วนการผึ่งในที่ร่มใช้เวลา 78 ชั่วโมง และพบว่าการใช้เครื่องลดความชื้น การตากแดดและการผึ่งในที่ร่ม ทำให้เมล็ดมีความงอก 73, 70 และ 66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 4 เดือน (เบญจมาภรณ์, 2543)

ระเบียบวิธีการวิจัย

อุปกรณ์

1. ถ้วยสแตนเลส
2. เครื่องชั่งน้ำหนักระบบอิเล็กทรอนิกส์ (6kg)
3. เครื่องชั่งน้ำหนักระบบอิเล็กทรอนิกส์ (300kg)
4. ตู้อบลมร้อนสำหรับการหาความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง
5. เครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศ
6. เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

วิธีการ

การทดลองเก็บข้อมูลเป็นแบบ Factorial experiment 3×3 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 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 6 เดือน

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

การบันทึกข้อมูล

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

ระยะเวลาดำเนินการเวลาและสถานที่ดำเนินการทดลอง กิจกรรมที่ 2

เริ่มต้นปีงบประมาณ ตุลาคม 2563 สิ้นสุดปีงบประมาณ กันยายน 2564

สถานที่ดำเนินการทดลอง

ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น ตำบลบ้านทุ่ม อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

ผลการวิจัยและอภิปรายผล(Results and Discussion)

2.1 ผลการทดสอบการอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความชื้น ซึ่งเป็นวิธีการทำ seed priming วิธีการหนึ่ง

วิธีการเพิ่มความชื้นให้กับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

1. ดำเนินการวัดความชื้นของเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น โดยใช้เครื่องวัดความชื้นภาคสนาม

2. เมื่อได้ความชื้นเริ่มต้นแล้ว จึงทำคำนวณการความชื้นที่ต้องการ โดยใช้สูตรดังนี้

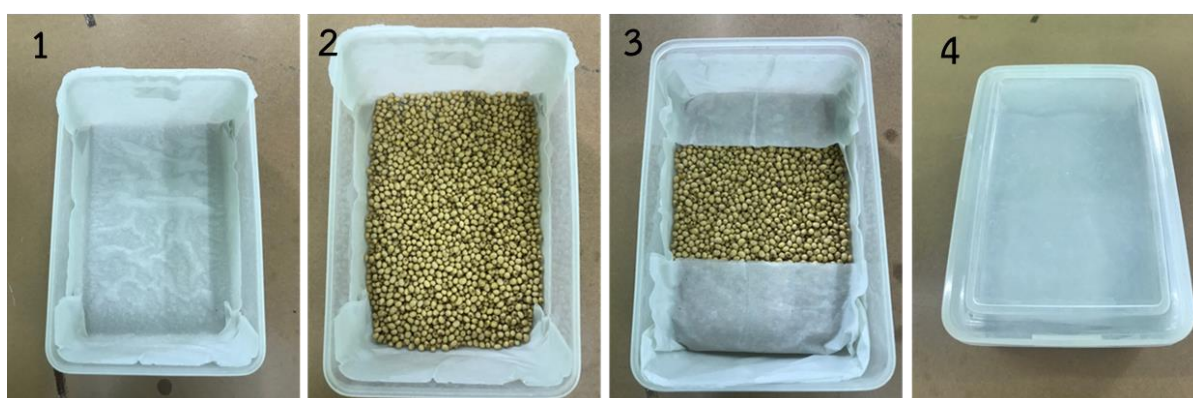
เช่น ต้องการความชื้นของเมล็ดพันธุ์ที่ 21% จำนวนเมล็ดพันธุ์ที่ต้องการ 5 กิโลกรัม และมีความชื้น

เริ่มต้น 11 % น้ำหนักสุดท้ายที่ต้องการ

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{น้ำหนักที่ต้องการใช้} \times (100 - \text{ความชื้นเริ่มต้น})}{(100 - \text{ความชื้นที่ต้องการ})} \\ &= 5,000 \text{ g.} \times \frac{(100 - 11)}{(100 - 21)} \\ &= 5,632.91 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

สรุป น้ำหนักสุดท้ายหลังการเพิ่มความชื้นจะต้องได้ 5,632.91 กรัม

3. ชั่งน้ำหนักเมล็ดพันธุ์ให้ได้ตามที่ต้องการ แล้วทำการเพิ่มความชื้น โดยใช้กระดาษเพาะชุบน้ำให้หมาด แล้วนำลงกล่องที่มีฝาปิด นำเมล็ดที่ต้องการเพิ่มความชื้น โรยแบบบาง ๆ ลงบนกระดาษเพาะที่เตรียมไว้ แล้วนำกระดาษเพาะที่หมาด ๆ ปิดทับให้สนิท ปิดฝากล่อง ดังขั้นตอนภาพที่ 2.1 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นานประมาณ 1-2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเมล็ดมาชั่งน้ำหนัก หากได้น้ำหนักตามที่คำนวณไว้ก็เป็นอันเสร็จ แต่ถ้า น้ำหนักยังไม่ได้ให้เพิ่มเวลาบ่ม จนกว่าจะได้น้ำหนักที่คำนวณ



ภาพที่ 2.1 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 โดยใช้อุณหภูมิภายในถึง 38 องศาเซลเซียส ความดันสูญญากาศ 650 มิลลิเมตรปรอท ดังภาพที่ 2.2 แล้วนำเมล็ดพันธุ์หลังการอบลดความชื้น ไปทำการทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ 4 ประการตามที่กล่าวมาแล้ว



ภาพที่ 2.2 การบรรจุเมล็ดถั่วเหลืองในถาดวางของเครื่องอบแห้งลดแรงดันอากาศ

ตารางที่ 2.3 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 2.3 แสดงผลการอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบลดแรงดันอากาศ โดยทำการอบที่ความชื้นเริ่มต้น 3 ค่า คือ 23.4% 17.5% และ 13.6% โดยใช้อุณหภูมิในการอบลดความชื้นที่ 43 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอบตามที่แสดงในตารางที่ 2.3

นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผ่านการอบลดความชื้นมาเพาะทดสอบการงอกตามหลักวิชาการ ภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงการเพาะเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเพื่อทดสอบการงอกของเมล็ดพันธุ์

ตารางที่ 2.4 เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ระยะเวลา (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 2.4 แสดงผลการเพาะงอกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ทำการเพิ่มความชื้นเริ่มต้น 3 ค่าด้วยกันคือ 23.40 17.50 และ 13.60 % มาตรฐานเปียก เพื่อนำมาทดสอบการอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ดังแสดงผลการอบแห้งไว้ในตารางที่ 2.3 แล้ว ซึ่งผลการงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่นำมาเพาะจะมีค่าอัตราการงอกใกล้เคียงและสูงกว่าค่าที่ใช้เปรียบเทียบ แสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศไม่มีผลเสียต่อการงอก และที่บางตัวอย่างมีอัตราการงอกที่สูงกว่าค่าเปรียบเทียบทั้งนี้อธิบายทางหลักวิชาการได้ว่าเมล็ดพันธุ์ที่เก็บรักษาไว้ที่ความชื้นต่ำเมื่อนำมาเพิ่มความชื้นแล้วลดความชื้นกลับไปอีกจะมีส่วนในการกระตุ้นการงอกให้เพิ่มขึ้นด้วย

2.2 การทดสอบการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจากแปลงเกษตรกร

เป็นการนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจากแปลงเกษตรกร จำนวน 3 ราย มาทำการลดความชื้นโดยเครื่องอบลดแรงดันอากาศ และทำการผึ่งลมให้แห้งเพื่อเปรียบเทียบค่าวิเคราะห์ผลต่าง ๆ โดยการหาความชื้นเริ่มต้น-สุดท้ายของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง โดยใช้ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง เพื่อคำนวณตามสมการที่ (1) $M_{wb} (\%) = \frac{m_w - m_d}{m_w} \times 100$ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การหาความชื้นเริ่มต้น-สุดท้าย ของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองโดยตู้อบลมร้อน



ภาพที่ 2.5 นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเข้าเครื่องอบลดแรงดันอากาศ ตั้งอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2.6 นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองของเกษตรกรทั้ง 3 ราย แยกฝั้งลดความชื้น



ภาพที่ 2.7 การเก็บเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองหลังผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบ และการฝั้งลม

จากภาพที่ 2.5 2.6 และ 2.7 แสดงขั้นตอนการทดสอบเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ของเกษตรกร 3 ราย ซึ่งมีค่าความชื้นแตกต่างกัน โดยการลดความชื้นจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ การใช้เครื่องอบลดแรงดันอากาศ และการผึ่งลม ซึ่งจะใช้ในการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณภาพ และเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผ่านการลดความชื้นทั้ง 2 กรณี จนความชื้นอยู่ในเกณฑ์ของการเก็บรักษาจึงนำไปเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 9 เดือน ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม ถึง เดือน ธันวาคม 2564 แล้วจึงนำไปทดสอบวิเคราะห์คุณภาพ โดยนักวิชาการเกษตรของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น และได้ผลแสดงไว้ตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ผลการทดสอบการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งลดแรงดันอากาศ และการผึ่งลมให้แห้ง

เมล็ดพันธุ์ ถั่วเหลือง ของเกษตรกร	ความชื้นเมล็ดพันธุ์ ถั่วเหลือง (%) 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

จากตารางที่ 2.5 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 เป็นการวัดเปอร์เซ็นต์การแตกตัวของเมล็ดโดยวิธีย้อมสี fast green test หากค่าติดสีสูง มีรอยแตกกว้างสูง คุณภาพเมล็ดก็จะเสื่อมเร็วค่ะ

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ มีการเตรียมเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองความชื้นสูง 2 แบบ คือ การเพิ่มความชื้น (seed priming) และการนำมาจากแปลงปลูกของเกษตรกร ผลการทดสอบการอบลดความชื้นและการวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์ พบว่าวิธีการเพิ่มความชื้นและอบลดความชื้นลงมามีผลการเพาะงอกใกล้เคียงและสูงกว่าตัวอย่างเปรียบเทียบ ส่วนเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่นำมาจากแปลงเกษตรกรผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังผ่านการเก็บรักษาผลออกมายังไม่ค่อยดีนัก ซึ่งอาจมาจากหลายสาเหตุ ได้แก่เมล็ดพันธุ์คุณภาพไม่ดีตั้งแต่แรก หรือกระบวนการเก็บรักษาไม่ดีพอ

ข้อเสนอแนะ ควรมีการทดสอบเพิ่มเติมและเก็บข้อมูลรายละเอียดให้มากขึ้น แต่ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมีราคาค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการต้องใช้เครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ ความคุ้มค่าน้อย

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยเรื่องวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศต้นแบบ ซึ่งผลของงานวิจัยได้สร้างเครื่องอบที่ลดแรงดันอากาศด้วยปั๊มสุญญากาศแบบ water jet และออกแบบห้องอบแห้ง 2 ขนาด ซึ่งมีปริมาตรของห้องอบแห้ง 0.75 และ 1.73 ลูกบาศก์เมตร ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน แรงดันอากาศที่ลดลงจากปั๊มสุญญากาศ water jet ไม่สามารถปรับค่าได้ จึงทดสอบได้เพียงค่าเดียวที่ติดลบ 650 มิลลิเมตรปรอท และเครื่องอบสามารถอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองได้ ครั้งละ 15-50 กิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณค่อนข้างน้อยสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีความต้องการในการผลิตปริมาณมาก จึงสรุปได้ว่าเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ข้อเสนอแนะ เนื่องจากเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศมีอุปกรณ์สำคัญคือปั๊มสุญญากาศ ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงมาก จึงควรมีการพัฒนากระบวนการใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด ควรนำไปใช้สำหรับเมล็ดพันธุ์ที่มีราคาแพง จึงจะเกิดความคุ้มค่า แต่ทั้งนี้ก็ต้องมีการทดสอบและวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดพันธุ์พืชที่นำมาอบลดความชื้นประกอบในการตัดสินใจด้วย

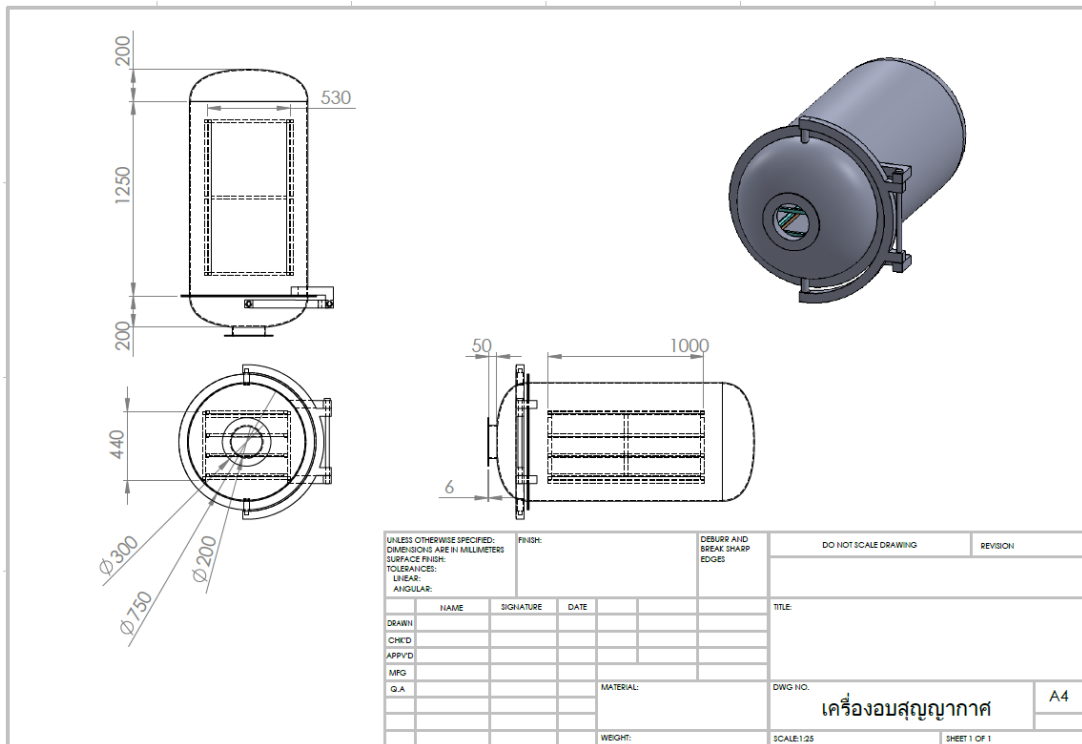
บรรณานุกรม

- กิตติคุณ ปิตุพรหมพันธุ์, ณ์ัฐพล ภูมิสะอาด และ ละมุล วิเศษ. 2013. การอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกโดยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน. *J Sci Technol MSU*. 32(5): 622-625.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2552. เทคโนโลยีการใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน.
- กองเกษตรวิศวกรรม. 2543. หลักการและส่วนประกอบที่สำคัญของการลดความชื้นของเมล็ดพืช. *กรมวิชาการเกษตร*. ปีที่ 12. (ฉบับที่ 2): เมษายน-มิถุนายน 2543.
- 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 พรพุทธรศรี และ ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์. 2555. การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งเมล็ดพันธุ์ฝักโดยใช้ปั๊มความร้อน. *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13*, 4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่, น. 566 - 570.
- บุญมี ศิริ, เบญจมาภรณ์ สุทธิ และ โสภณ วงศ์แก้ว. 2546. การลดความชื้นและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง, *ว. วิทยาศาสตร์เกษตร*, ปีที่ 34 ฉบับที่ 4-6 (พิเศษ) : 187-189.
- เบญจมาภรณ์ สุทธิ. 2543. อิทธิพลของวิธีการลดความชื้นและการเก็บรักษาต่อคุณภาพและอายุเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง. *วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 2543. 62 หน้า.
- พิรสิทธิ์ ทวยนาค มณฑล ชูชนาค มุस्ताฟา ยะภา และประชา บุญยวานิชกุล. 2557. การทบทวนพัฒนาการของการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรม. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*. ปีที่ 9 ฉบับที่ 1, หน้า 68-74.
- วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2537. สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สถุทธิพร วิทย์ผดุง และ สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548. การออกแบบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง. *การประชุมวิชาการครั้งที่ 43 แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, หน้า 239-246.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2559. *แผนแม่บทยุทธศาสตร์การเป็นศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567*. ศูนย์พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค), สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี. 105 หน้า

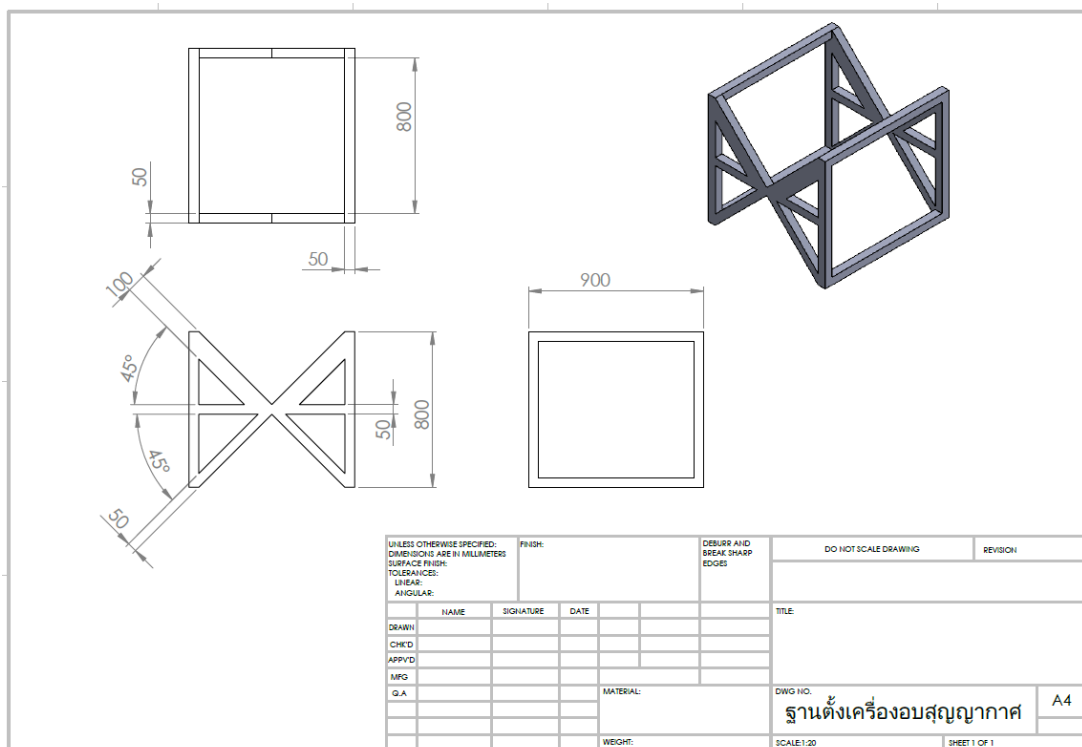
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. ปริมาณและมูลค่าการส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชควบคุมเพื่อการค้าปี 2553-2559. แหล่งข้อมูล: <http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/ValueExportSeed47-52.html> เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2560.
- อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และ ศักดิ์ชัย จงจำ. 2553. การอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 15(2): 76-86.
- Hampton, J.G. and D.M. TeKrony. 1995. Handbook of vigour test methods, 3rd Edition, The International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland.
- Arevalo-Pinedo and Murr FEX. 2007. Influence of pre-treatments on the drying kinetics during vacuum drying of carrot and pumpkin. J Food Eng. 80(1): 152–156.
- Hampton, J.G., K.A. Johnstone and V. Eua – Umpon. 1992. Ageing vigour tests for mungbean and French bean seed lots. Seed Sci. and Technol. 20: 643-653.
- ISTA. 2018. International rules for seed testing. International Seed Testing Association. Basesdorf, Switzerland.
- Krzyzanowski, F.C., West, S.H., Franaca Neto, J.B. 2006. Grying soybean seed using air ambient temperature at low relative humidity. Revista Brasileira de Sementes, 28(2): 77-83.
- Orikasa, T., Koide, S., Okamoto, S., Imaizumi, T., Muramatsu, Y., Takeda, J., Shiina, T. and Akio Tagawa, A. 2014. Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices. J Food Eng. 125: 51-58.
- Soponronnarit, S., Wetchacama, S. and Kanphukdee, T. 2000. Seed drying using heat pump. International Energy Journal. 1(2): 97-102.
- Zecchi, B., Clavijo, L., Martinez Garreiro, J. and Gerla, P. 2011. Modeling and minimizing process time of combined convective and vacuum drying of mushrooms and parsley J Food Eng. 104(1): 49-55

ภาคผนวก ก.

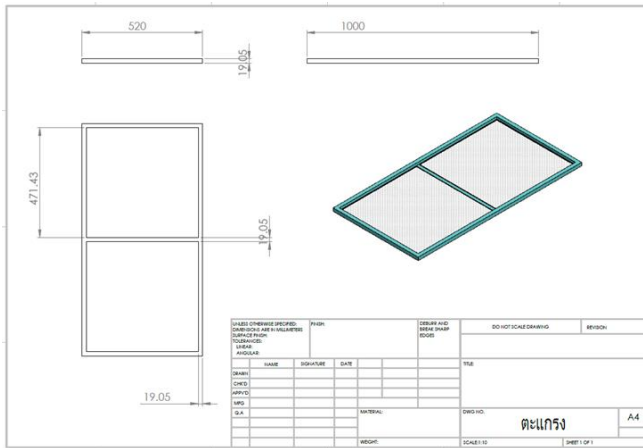
การออกแบบเครื่องอบแบบแรงดันอากาศ



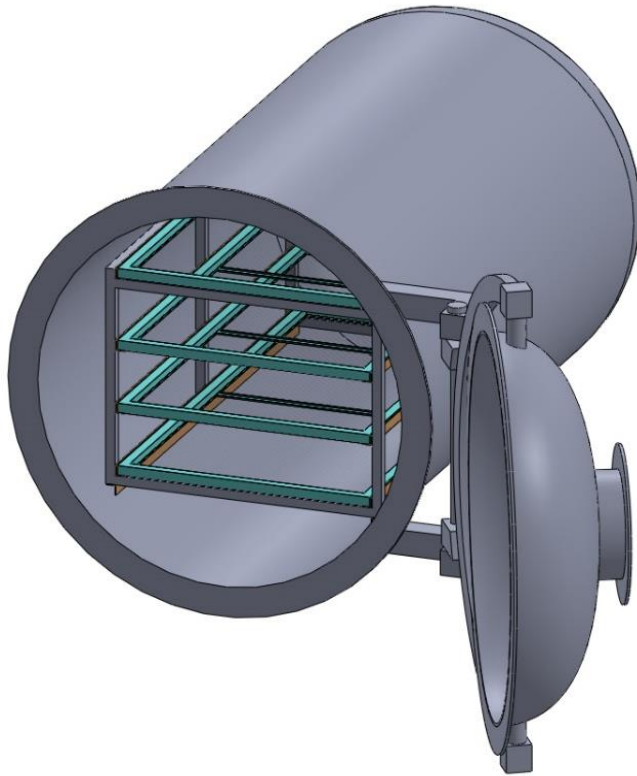
ภาพผนวก ก ที่ 1 การออกแบบถังอบแห้งสุญญากาศรูปทรงกระบอกกลม



ภาพผนวก ก ที่ 2 การออกแบบฐานตั้งรับถังอบแห้ง



ภาพผนวก ก ที่ 3 แบบชั้นวางและถาดตะแกรงสำหรับใส่เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองบรรจุในถังอบแห้งสุญญากาศ



ภาพผนวก ก ที่ 4 แบบจำลองเสมือนจริงถังอบแห้งสุญญากาศพร้อมชั้นวางเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ภาคผนวก ข.

การสร้างเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ



ภาพผนวก ข ที่ 1 ถังอบแห้งสุญญากาศทรงกระบอก มีช่องมองผลิตภัณฑ์เป็นช่องกระจกใส



ภาพผนวก ข ที่ 2 ถังอบสุญญากาศด้านตรงข้ามกับช่องมองผลิตภัณฑ์เป็นท่อต่อเข้ากับระบบปั๊มสุญญากาศ



ภาพผนวก ข ที่ 3 ชั้นสุตรองรับการหมุน เปิด-ปิด ฝาถังอบแห้งสุญญากาศ



ภาพผนวก ข ที่ 4 การติดตั้งถังอบสุญญากาศบนฐานตั้งรับถัง

ภาคผนวก ค.

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ และตารางบันทึกข้อมูลการอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง
ด้วยเครื่องอบแบบลดแรงดันอากาศ



ภาพผนวก ค ที่ 1 ถ้วยสแตนเลส



ภาพผนวก ค ที่ 2 เครื่องชั่งน้ำหนักระบบอิเล็กทรอนิกส์ พิกัดโหลด 6 กิโลกรัม



ภาพผนวก ค ที่ 3 เครื่องชั่งน้ำหนักระบบอิเล็กทรอนิกส์ พิกัดโหลด 300 กิโลกรัม



ภาพผนวก ค ที่ 4.ตู้อบลมร้อน



ภาพผนวก ค ที่ 5 การเตรียมเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองใส่ภาตตะแกรงและนำเข้าเครื่องอบลดแรงดันอากาศ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	หาความชื้นเริ่มต้นของถั่วเหลือง									
2	วันที่									
3	อ.11 พ.ค. 64							พ. 12 พ.ค. 64		
4	ชื่อ	นน.ถั่วเปียก (kg)	นน.รวม (kg)	นน.ถั่ว (kg)	นน.รวม ที่อบ 1ชม. 45น. (kg)	นน.ถั่ว ที่อบ 1ชม. 45น. (kg)	ความชื้นฐานเปียก ที่อบ 1ชม. 45น. (%)	นน.รวม ที่อบ16ชม.45น. (kg)	นน.ถั่ว ที่อบ 16ชม.45น. (kg)	ความชื้นฐานเปียก ที่อบ 16ชม.45น. (%)
5	1.คุณคมสันต์	0.024	0.130	0.106	0.125	0.101	4.7170	0.116	0.092	13.2075
6	mc=15.2%	0.023	0.125	0.102	0.121	0.098	3.9216	0.111	0.088	13.7255
7	2.คุณบัวเหรียญ	0.026	0.126	0.100	0.121	0.095	5.0000	0.112	0.086	14.0000
8	mc=16.4%	0.025	0.132	0.107	0.126	0.101	5.6075	0.118	0.093	13.0841
9	3.คุณคณิต	0.024	0.129	0.105	0.123	0.099	5.7143	0.115	0.091	13.3333
10	mc=17.2%	0.025	0.128	0.103	0.122	0.097	5.8252	0.115	0.09	12.6214
11		0.023	0.124	0.101	0.117	0.094	6.9307	0.109	0.086	14.8515
12		0.024	0.128	0.104	0.120	0.096	7.6923	0.112	0.088	15.3846
13		0.025	0.136	0.111	0.128	0.103	7.2072	0.119	0.094	15.3153
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
49										
50										
51										
52										
53										
54										
55										
56										
57										
58										
59										
60										
61										
62										
63										
64										
65										
66										
67										
68										
69										
70										
71										
72										
73										
74										
75										
76										
77										
78										
79										
80										
81										
82										
83										
84										
85										
86										
87										
88										
89										
90										
91										
92										
93										
94										
95										
96										
97										
98										
99										
100										

ภาพผนวก ค ที่ 6 การบันทึกข้อมูลการหาความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองโดยตู้อบลมร้อน