

การเปลี่ยนแปลงความงอก ความแข็งแรง และการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอม
(*Lactuca sativa* L.) หลังการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับฟอสฟอรัส

Change of Germination, Vigour and Seedling Growth of Lettuce (*Lactuca sativa* L.)

After Seed Pelleting with Phosphorus

จักรพงษ์ กางโสภา¹ และบุญมี สิริ^{1*}

Jakkrapong Kangsopa¹ and Boonmee Siri^{1*}

บทคัดย่อ

เมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมมีรูปร่างเรียวยาวแบน และอาหารสะสมในเมล็ดน้อย การพอกเมล็ดพันธุ์โดยเฉพาะการพอกร่วมกับธาตุอาหารพืชเป็นวิธีการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ให้สูงขึ้น ทำให้ต้นกล้ามีความแข็งแรงมากขึ้น งานวิจัยนี้เพื่อค้นหาอัตราส่วนของธาตุฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับการพอกร่วมกับเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ โรงงานปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยนำเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมมาพอกโดยใช้ calcium sulfate 250 กรัม เป็นวัสดุพอกร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ที่อัตราแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0.2, 0.4 และ 0.6 กรัม ใช้ Carboxymethyl cellulose (CMC) เป็นวัสดุประสาน 0.3% โดยน้ำหนัก ต่อเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม 10 กรัม จากนั้นตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลอง พบว่าการพอกเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ทุกอัตราไม่มีผลกระทบต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์ การพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.4 และ 0.6 กรัม เมื่อตรวจสอบทั้งหลังการพอกเมล็ดและหลังการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์พบว่า ทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอม ทั้งความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมได้ดีมากกว่าวิธีการอื่นๆ

คำสำคัญ: ธาตุอาหารพืช คุณภาพเมล็ดพันธุ์ การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ การเคลือบเมล็ดพันธุ์

Abstract

Lettuce seeds are flat in shape and small in size with small amounts of stored food reserves. Especially, seed pelleting with plant nutrient is method for enhancing germination uniformity and seedling vigour. This research was conducted to find ratio of phosphorus appropriate for seed pelleting with lettuce seeds. The experiment was conducted at Seed Quality Testing Laboratory, Seed Processing Plant, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University. Calcium sulfate was used as filler material at 250 g pelleted seeds with $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ three different rates, 0.2, 0.4 and 0.6 g. Carboxymethyl cellulose (CMC) was used as binder with concentration of 0.3% by weight per 10 g. lettuce seed weight. Then the seeds quality was examined both in the laboratory and greenhouse conditions and found that the pelleted seed with $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ at all rates did not affect the germination. Seed pelleting with $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.4 and 0.6 g and after accelerate aging of such seeds resulted in increasing seedling growth in terms shoot length, root length, fresh weight and dry weight better than other methods.

Keywords: Plant nutrient, seed quality, seed enhancement, seed coating

¹สาขาพืชไร่ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40002

*Corresponding author, Email: boonmee@kku.ac.th

คำนำ

ผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) เป็นพืชที่ได้รับความนิยมและมีการเพาะปลูกกันทั่วโลก (Kim *et al.*, 2017) โดยผู้ผลิตผักกาดหอมรายใหญ่ที่สุดของโลกคือประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน รองลงมาคือ สหรัฐอเมริกา และประเทศยุโรปตะวันตก ตามลำดับ (Mou, 2008) อย่างไรก็ตามการผลิตผักกาดหอมชนิดต่างๆ ให้ได้คุณภาพดี การเพาะกล้าเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในระบบการผลิต เนื่องจากเมล็ดผักกาดหอมมีขนาดเล็ก รูปร่างแบน และอาหารสะสมในเมล็ดน้อย จึงจำเป็นอย่างมากที่จะต้องอนุบาลต้นกล้าให้การงอกสม่ำเสมอ (จักรพงษ์ กางโสภา และ บุญมี ศิริ, 2558) จากปัญหาดังกล่าว เทคโนโลยีการพอกเมล็ดพันธุ์ (seed pelleting) จึงมีความสำคัญอย่างมาก สำหรับการปรับปรุงลักษณะเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา หรือมีรูปร่างไม่แน่นอน โดยวิธีการทำให้เมล็ดพันธุ์ ถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุพอก หรือสารเติมเต็มชนิดต่างๆ ทำให้เมล็ดพันธุ์มีขนาดใหญ่ขึ้น มีน้ำหนักเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม มีขนาดและรูปร่างแน่นอนตามที่ต้องการ เพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูก ให้สามารถใช้งาน และสะดวกมากยิ่งขึ้น (Zenk, 2004; Maynard and Hochmuth, 2007; Gregg and Billups, 2010)

นอกจากนี้ข้อดีของการพอกเมล็ดพันธุ์คือสามารถเพิ่มธาตุอาหารพืชให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ได้ เนื่องจากธาตุอาหารพืชมีส่วนช่วยดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในเซลล์ หรือกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืชให้เป็นไปอย่างปกติ เช่น การใช้และเก็บสะสมพลังงาน การสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก และการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ เป็นต้น (Abel *et al.*, 2002; Vance *et al.*, 2003; Roy *et al.*, 2006) โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส เนื่องจากโดยทั่วไปปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในดิน มักมีปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช เพราะเป็นธาตุที่ถูกตรึงหรือเปลี่ยนแปลงได้ง่าย อีกทั้งละลายน้ำยาก ทำให้ฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยลง เนื่องจากฟอสฟอรัสมีผลต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากในระยะกล้า ทำให้ต้นกล้ามีพัฒนาการที่เจริญเติบโตเร็วขึ้น (Baas *et al.*, 2016) อีกทั้งช่วยให้รากสามารถดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมได้ดียิ่งขึ้น (George *et al.*, 2016) การพอกเมล็ดพันธุ์อาจจำเป็นสำหรับการเตรียมความพร้อมให้กับเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม โดยมีธาตุอาหารพืชติดไปกับเมล็ดพันธุ์ ทำให้ต้นกล้าได้รับปริมาณธาตุอาหารที่จำเพาะด้วยอัตราที่เหมาะสม จึงทำให้ต้นกล้าสามารถนำไปใช้ได้ทันทีหลังการงอก จากข้อดีดังกล่าว Sharples and Gentry (1980) รายงานว่าการใช้ phosphorus ร่วมกับการทำ seed tablets มีผลทำให้ต้นกล้าผักกาดหอมเจริญเติบโตและมีลำต้นที่แข็งแรงเพิ่มมากกว่าปกติ

ดังนั้นเพื่อยกระดับความงอกของเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอม การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนของธาตุฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการพอกเมล็ดพันธุ์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความงอกของเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมหลังการพอกเมล็ดพันธุ์

วิธีการศึกษา

ดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ โรงงานปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ และโรงเรือนทดลอง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2559 ส่วนเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม พันธุ์ RUTLL 58-1 ได้รับความอนุเคราะห์จาก คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ลำปาง ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้

การพอกเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมร่วมกับธาตุอาหารพืช

นำเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมที่มีขนาดเล็กมาพอกด้วย calcium sulfate อัตรา 250 กรัม ให้ได้ขนาดประมาณ 0.3-0.4 มิลลิเมตร โดยใช้ Carboxymethyl cellulose (CMC; Sigma Aldrich) อัตรา 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นวัสดุประสาน ต่อเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม 10 กรัม สารประกอบของธาตุฟอสฟอรัสที่ใช้คือ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (P)

(J.T.Baker) โดยแบ่งกรรมวิธีที่ศึกษา 5 วิธีการประกอบด้วย เมล็ดไม่ได้พอก (T1); เมล็ดที่พอกด้วย calcium sulfate (T2); เมล็ดที่พอกด้วย calcium sulfate ผสม (P) อัตรา 0.2, 0.4 และ 0.6 กรัม (T3, T4 และ T5 ตามลำดับ) (หลังการเตรียมใช้ปริมาตร 20 มิลลิลิตร/กรรมวิธีการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืช) โดยทำการพอกเมล็ดพันธุ์ ผักกาดหอมด้วยเครื่องพอกเมล็ดพันธุ์แบบถังหมุน (rotary drum) รุ่น SKK12 แล้วนำเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการพอกมาลดความชื้นโดยใช้เครื่องลดความชื้นด้วยระบบลมร้อน รุ่น SKK09 ให้มีความชื้นเท่ากับความชื้นของเมล็ดพันธุ์ก่อนพอก (6-7%) และสุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการพอกมาตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในลักษณะต่างๆ

การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์

การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมหลังจากการพอกร่วมกับธาตุอาหารอัตราต่างๆ โดยการสุ่มตัวอย่างเมล็ดพอก ไม่พอก และการพอกเมล็ดในแต่ละกรรมวิธี จำนวนกรรมวิธีละ 4 ซ้ำ มาตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในลักษณะต่างๆ ดังนี้

การตรวจสอบความงอกในสภาพห้องปฏิบัติการ ทำโดยสุ่มเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านกระบวนการพอกและไม่พอก จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 50 เมล็ด มาทดสอบความงอกโดยวิธี Top of Paper (TP) โดยวางในกล่องพลาสติกสำหรับเพาะความงอก (110 มิลลิเมตร (กว้าง) × 110 มิลลิเมตร (ยาว) × 30 มิลลิเมตร (สูง)) จากนั้นนำไปไว้ในตู้เพาะความงอก อุณหภูมิ 8 ชั่วโมง 30 °C และ 16 ชั่วโมง 20 °C แล้วตรวจนับความงอกหลังการเพาะครั้งที่ 4 วัน (first count) และ 7 วันหลังเพาะ (final count) โดยนำมาประเมินผลการตรวจสอบความงอกตามวิธีของ ISTA (2013)

การตรวจสอบความงอกในสภาพเรือนทดลอง สุ่มเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านกระบวนการพอกและไม่พอกจำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 50 เมล็ด มาทดสอบความงอกในถาดหลุม ซึ่งใช้พีทมอส (peatmoss) เป็นวัสดุเพาะต้นกล้า แล้วประเมินผลการงอกที่ 4-7 วัน เช่นเดียวกันกับวิธีการตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

การตรวจสอบความเร็วในการงอก โดยนับจำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติและจำนวนวันที่งอกตั้งแต่เริ่มเพาะ (first count) จนถึงวันสุดท้าย (final count) แล้วนำผลการนับมาคำนวณหาความเร็วในการงอกตามหลักสากล (ISTA, 2013)

การตรวจสอบความยาวต้นและความยาวราก โดยประเมินที่ 14 วัน หลังปลูก (เป็นช่วงระยะเวลาการย้ายต้นกล้าสำหรับเตรียมการเพาะปลูกพืช) ทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลอง ทั้งหมดทำ 4 ซ้ำๆ ละ 10 ต้น การประเมินในสภาพห้องปฏิบัติการใช้ถุงเพาะความงอก (growth pouch bag) การประเมินในสภาพเรือนทดลองโดยการตัดที่ต้นพืชบริเวณโคนต้นชิดวัสดุปลูก ทั้งหมดทำ 4 ซ้ำๆ ละ 10 ต้น จากนั้นนำต้นกล้าที่ได้จากการสุ่มมาประเมินตรวจวัดโดยใช้ไม้บรรทัดมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

การตรวจสอบน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นกล้า ทำโดยหลังจากการตรวจวัดความยาวต้นและความยาวรากแล้ว นำต้นกล้าไปตรวจสอบน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกล้า โดยทำ 4 ซ้ำๆ ละ 10 ต้นเช่นเดียวกัน โดยการประเมินหาน้ำหนักแห้งทดสอบในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

การเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ โดยการนำเมล็ดที่ผ่านการพอกและไม่พอก (ชุดควบคุม) ใส่ในถุงผ้าขนาด 10x20 เซนติเมตร วางลงบนตะแกรงที่อยู่ในกล่องเร่งอายุ ภายในกล่องมีน้ำปริมาณ 100 มิลลิลิตร โดยให้ระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าตะแกรง 2 เซนติเมตร ปิดกล่องให้สนิทแล้วนำไปไว้ในตู้เร่งอายุเมล็ดพันธุ์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์มาตรวจสอบความงอก และความเร็วในการงอก

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ผลของการพอกเมล็ดต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้า โดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) แปลงข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์เพื่อวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้วิธี Arcsine transformation เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมหลังการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืช

เมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมเป็นเมล็ดขนาดเล็กที่มีรูปร่าง เรียวแบน และน้ำหนักเบา ทำให้การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการพอกเมล็ดพันธุ์มีความจำเป็นต่อการปรับปรุงสภาพของเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม อีกทั้งการเพิ่มธาตุอาหารพืชด้วยชนิดและอัตราที่เหมาะสมจะทำให้คุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการเพาะปลูกดีขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยนี้ผลการทดลองพบว่าเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมที่ไม่พอกและพอกด้วยกรรมวิธีต่างๆ มีเปอร์เซ็นต์ความงอก ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Figure 1a,1c) ทั้งผลการทดลองในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลอง ทั้งนี้การใช้ calcium sulfate เป็นวัสดุพอก และ carboxymethyl cellulose เป็นวัสดุประสาน ทำให้สูตรสารพอกเหล่านี้ไม่มีผลกระทบต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์ แต่มีผลข้างเคียงเพียงเล็กน้อยต่อความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม โดยจากการตรวจสอบความเร็วในการงอก ในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า เมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมที่ไม่ผ่านการพอก (T1) มีความเร็วในการงอกดีที่สุด คือ 24.36 ต้น/วันรองลงมาคือการพอกเมล็ดร่วมกับ (P) อัตรา 0.6 กรัม (T5) มีความเร็วในการงอก 24.07 ต้น/วัน ซึ่งมีความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการพอกเมล็ดพันธุ์วิธีอื่นๆ

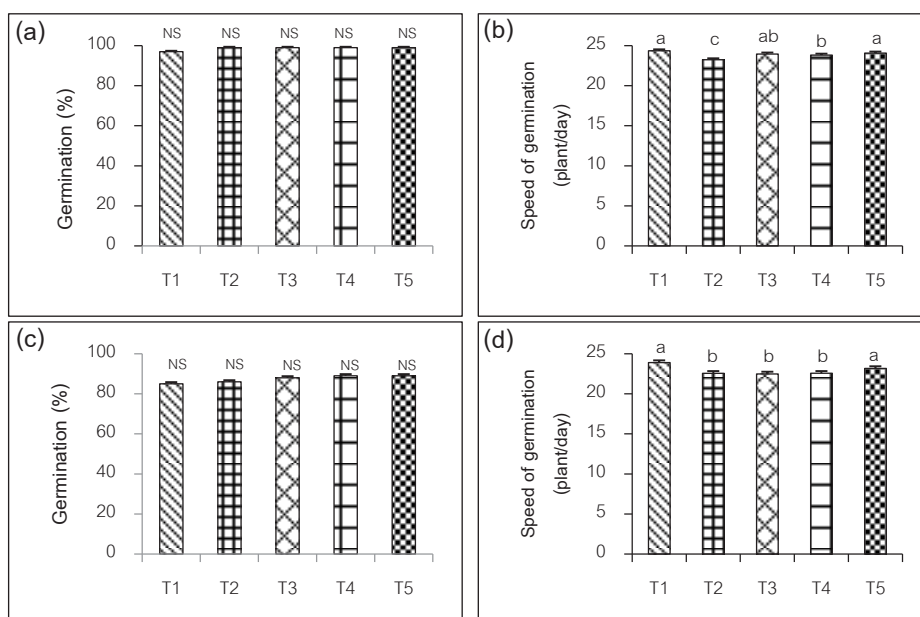


Figure 1 Germination percentage and speed of germination of pelleted lettuce seeds tested under laboratory (a,b) and greenhouse condition; (c,d), control (T1); pelleted seed (T2); pelleted seeds mixed with $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ rate 0.2 g., 0.4 g., 0.6 g./10 g.seeds (T3, T4, T5) respectively.

ผลการตรวจสอบความเร็วในการงอกในสภาพเรือนทดลองพบว่า เมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมไม่พอก (T1) มีความเร็วในการงอกดีที่สุด คือ 23.90 ต้น/วัน (Figure 1b) รองลงมาคือ การพอกเมล็ดร่วมกับ (P) อัตรา 0.6 กรัม (T5) คือ 23.17 ต้น/วัน (Figure 1d) และมีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมมีขนาดเล็ก เปลือกหุ้มเมล็ดบาง ทำให้เมล็ดพันธุ์ดูดน้ำได้เร็วกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่าน

การพอก อีกทั้งเมล็ดที่ผ่านการพอกถูกสารพอกห่อหุ้มอยู่รอบๆ เมล็ด จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการงอก เพื่อให้รากของต้นกล้าแทงทะลุผ่านสารพอกที่ห่อหุ้มต้นกล้า จึงมีผลต่อความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมเพื่อเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าปกติ ซึ่ง บุญมี ศิริ (2558) ได้อธิบายว่า เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการพอก และขนาดของก้อนพอกมีผลต่อความเร็วในการงอกช้าเร็วแตกต่างกัน นอกจากนี้ Main and Nafziger (1994) ได้อธิบายเพิ่มเติมว่าขนาดและรูปร่างของเมล็ดพันธุ์ที่ต่างกันจะมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดน้ำ ทำให้ความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์แตกต่างกัน อีกทั้งอาจส่งผลต่อความสม่ำเสมอในการงอกและพัฒนาการที่ดีของต้นกล้าได้ (Seiwa, 2000) อย่างไรก็ตามวิธีการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับฟอสฟอรัสทุกอัตราในงานวิจัยนี้ เป็นวิธีการปฏิบัติต่อเมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความงอกและความสม่ำเสมอในการงอกของเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม

การเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมหลังการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุฟอสฟอรัส

เมื่อตรวจสอบการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมในสภาพห้องปฏิบัติการหลังการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุฟอสฟอรัสพบว่า การพอกเมล็ดร่วมกับ (P) อัตรา 0.6 กรัม (T5) ทำให้ต้นกล้ามีความสูงต้น สูงที่สุดคือ 34.27 มิลลิเมตร และแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับต้นกล้าจากการพอกเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการอื่นๆ (Table 1) ส่วนการตรวจสอบความยาวราก พบว่ากรรมวิธีการพอกเมล็ดร่วมกับ (P) ทุกอัตราทำให้ต้นกล้าผักกาดหอมมีความยาวรากมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีไม่ได้พอกเมล็ดพันธุ์ และการพอกเมล็ดเพียงอย่างเดียว (Figure 2A) จากนั้นตรวจสอบน้ำหนักสดของต้นกล้า พบว่าการพอกเมล็ดร่วมกับ (P) อัตรา 0.6 กรัม (T5) มีน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของต้นกล้าดีที่สุด และมีความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ กรรมวิธีไม่ได้พอกเมล็ดพันธุ์ จากนั้นตรวจสอบการเจริญเติบโตของต้นกล้าในสภาพเรือนทดลองพบว่า การพอกเมล็ดร่วมกับ (P) อัตรา 0.6 กรัม (T5) ยังคงมีความสูงต้นกล้าดีที่สุดคือ 40.29 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปซึ่งน้ำหนักพบว่า น้ำหนักสดต้น และน้ำหนักแห้งต้นของกรรมวิธีการพอกเมล็ดร่วมกับ (P) อัตรา 0.6 กรัม (T5) ยังคงดีที่สุดและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ (Table 1)

Table 1. Shoot length, root length, seedling fresh weight and seedling dry weight of lettuce seeds tested under laboratory and greenhouse conditions after pelleting process.

Treatment ^{1/}	Laboratory condition				Greenhouse condition		
	Shoot length (mm)	Root length (mm)	Seedling fresh weight (g)	Seedling dry weight (g)	Shoot length (mm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)
T ₁	31.41 b ^{2/}	84.87 b	0.2813 b	0.0135 c	27.59 d	0.3321 d	0.0198 c
T ₂	31.74 b	93.09 b	0.2855 b	0.0169 b	32.33 c	0.5096 c	0.0277 b
T ₃	32.59 ab	105.52 a	0.2882 b	0.0201 a	34.80 bc	0.5880 b	0.0289 b
T ₄	32.97 ab	103.67 a	0.2912 b	0.0209 a	36.77 b	0.6663 a	0.0319 b
T ₅	34.27 a	104.91 a	0.3809 a	0.0212 a	40.29 a	0.7182 a	0.0360 a
<i>F</i> -test	**	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	4.52	6.08	6.17	7.59	6.65	8.44	11.52

** : significantly different at $P \leq 0.01$.

^{1/}Control (T1); pelleted seed (T2); pelleted seeds mixed with $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ rate 0.2 g., 0.4 g., 0.6 g./10 g.seeds (T3, T4, T5) respectively.

^{2/}Means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.01$ by DMRT

ดังนั้นจากผลการทดลองเห็นได้ว่า หลังการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืชมีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้ดีมากกว่าเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมชุดควบคุมอย่างชัดเจน (Figure 2B) เนื่องจากธาตุฟอสฟอรัสที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้จะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลของสารประกอบที่เรียกว่า ฟอสเฟตไอออน ($H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-}) (Uchida, 2000) โดยส่วนมากสารประกอบของฟอสฟอรัสมืออยู่เป็นจำนวนมากในดินทั่วไป แต่ส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้ยากทำให้ต้นกล้าพืชได้รับธาตุฟอสฟอรัสในปริมาณน้อย (George *et al.*, 2016) ฉะนั้นการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที ทำให้ต้นกล้าหลังการงอกสามารถนำธาตุฟอสฟอรัสที่ติดอยู่กับสารพอกไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ทำให้การพอกเมล็ดพันธุ์เป็นวิธีการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ที่มีความจำเป็นต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าเป็นอย่างมาก โดยธาตุฟอสฟอรัสจะไปส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากพืช ทั้งรากแก้ว รากฝอย และรากแขนง (Smith and Read, 1997) โดยจะช่วยกระตุ้นการสร้างสารที่มีผลต่อการงอกของราก เช่น glucose, auxins, ethylene, cytokinins, nitric oxide (NO) และ reactive oxygen species (ROS) (Niu *et al.*, 2013) นอกจากนี้ยังช่วยสนับสนุนให้รากสามารถดูดธาตุโพแทสเซียมจากดินมาใช้เป็นประโยชน์ได้มากขึ้นกว่าเดิม อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความต้านทานต่อโรคบางชนิด และส่งเสริมให้ต้นกล้าแข็งแรง ไม่ล้มง่าย และช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไป (Scott, 1998; Schachtman *et al.* 1998; Uchida, 2000; McCauley *et al.*, 2009; Thavarajah *et al.*, 2010)

อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปพืชจะต้องการฟอสฟอรัสประมาณ 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อให้การเจริญเติบโตทางใบเป็นปกติ แต่หากได้รับในปริมาณที่สูงกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งจะเกิดความเป็นพิษต่อพืช (Grant *et al.*, 2001) ดังนั้นการคัดเลือกอัตราที่เหมาะสมของฟอสฟอรัสสำหรับนำมาใช้พอกร่วมกับเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมจึงเป็นหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญเพื่อการปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ นอกจากนี้มีการรายงานจากนักวิจัยคนอื่นๆ ยกตัวอย่างเช่นจากการรายงานของ Rebařka *et al.* (1993) พบว่าการเคลือบเมล็ด ร่วมกับ ammonium dehydrogenase phosphate (ADP) อัตรา 1 มิลลิกรัม P/เมล็ด 1 กิโลกรัม สามารถช่วยยกระดับการเจริญเติบโตของต้นกล้า pearl millet ได้ ต่อมา Zelonka *et al.* (2005) รายงานว่าการเคลือบเมล็ดบาร์เลย์ร่วมกับ ธาตุฟอสฟอรัสมีผลทำให้กิจกรรมทางชีววิทยาของเมล็ดดีขึ้นเช่นเดียวกับผลผลิตของข้าวบาร์เลย์เพิ่มมากขึ้น 3-9% จากเดิม นอกจากนี้ Rathod *et al.* (2005) รายงานว่า เมื่อทดสอบพอกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองร่วมกับ phosphate ในอัตรา 3.0 กรัม พบว่า สามารถช่วยให้เมล็ดพันธุ์มีความงอกและความแข็งแรงเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม

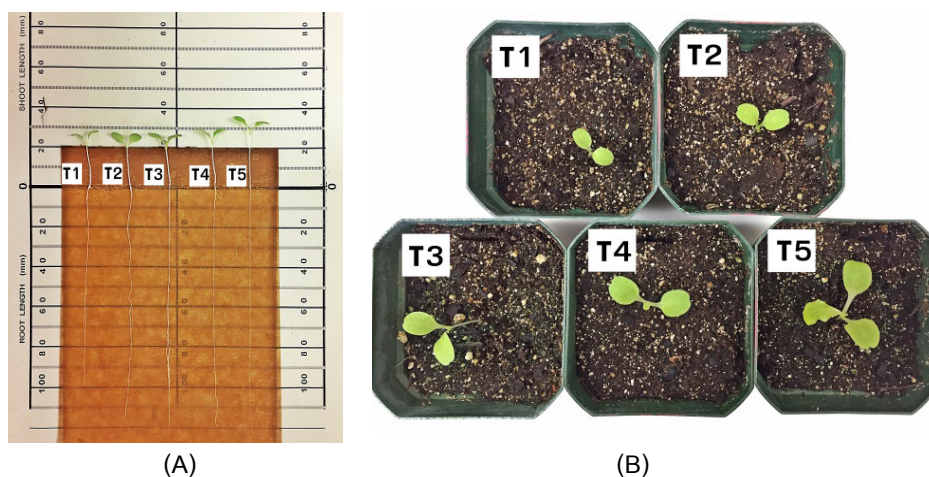


Figure 2 Effect of seed pelleting mixed $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$ on seedling growth tested under laboratory (A) and greenhouse (B) conditions: Control (T1); pelleted seed (T2); pelleted seeds mixed with $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$ rate 0.2 g., 0.4 g., 0.6 g./10 g.seeds (T3, T4, T5) respectively.

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมหลังการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์พืช

การเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลองเห็นได้ชัดแจ้งว่าการพอกเมล็ดทุกกรรมวิธีทำให้เมล็ดพันธุ์มีความงอกมากกว่าเมล็ดพันธุ์ไม่พอกและมีความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ไม่พอก (T1) (Figure 3a,c) แต่ความเร็วในการงอก ของเมล็ดพันธุ์ไม่พอก ยังคงงอกได้เร็วกว่าวิธีการพอกเมล็ดทุกกรรมวิธี (Figure 3b,d) อย่างไรก็ตามเมื่อตรวจสอบการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอมหลังการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า การพอกเมล็ดพันธุ์ทุกกรรมวิธีมีการเปลี่ยนแปลงด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้ามากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดไม่พอก (T1) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ P อัตรา 0.4 (T4) และ 0.6 กรัม (T5) มีการเจริญเติบโตด้านความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสดต้นกล้า และน้ำหนักแห้งต้นกล้าตีมากกว่าวิธีการอื่นๆ ส่วนการตรวจสอบในสภาพเรือนทดลองพบว่า การพอกเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมร่วมกับ (P) อัตรา 0.4 กรัม (T4) มีความยาวต้นดีที่สุดคือ 24.26 มิลลิเมตร และการพอกเมล็ดร่วมกับ P อัตรา 0.6 กรัม (T5) ทำให้น้ำหนักสดต้นดีที่สุดคือ 0.2011 กรัม และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ส่วนการตรวจสอบน้ำหนักแห้งต้นพบว่า การพอกเมล็ดร่วมกับ P อัตรา 0.2, 0.4 และ 0.6 กรัม (T3, T4, T5) มีน้ำหนักแห้งต้นดีที่สุดและแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการพอกเมล็ดพันธุ์เพียงอย่างเดียว (T2) และเมล็ดไม่ได้พอกเมล็ดพันธุ์ (T1) (Table 2)

การเร่งอายุเมล็ดพันธุ์พัฒนาขึ้นโดย Delouche and Baskin (1973) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์พืช โดยความงอกของเมล็ดพันธุ์จะลดลงช้าหรือเร็ว ขึ้นอยู่กับการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ เพราะการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์จะอยู่ภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง ทำให้เมล็ดพันธุ์ถูกเร่งกระบวนการหายใจ (การใช้อาหาร) แล้วเมล็ดจะปลดปล่อยพลังงานความร้อนและความชื้น ทำให้เมล็ดเสื่อมสภาพเร็วมากขึ้น จากผลการทดลองพบว่าวิธีการพอกเมล็ดพันธุ์ช่วยปกป้องเมล็ดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ เปรียบเสมือนการสวมเกาะป้องกันให้กับเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม ทำให้ช่วยชะลอความร้อนและความชื้นในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ได้

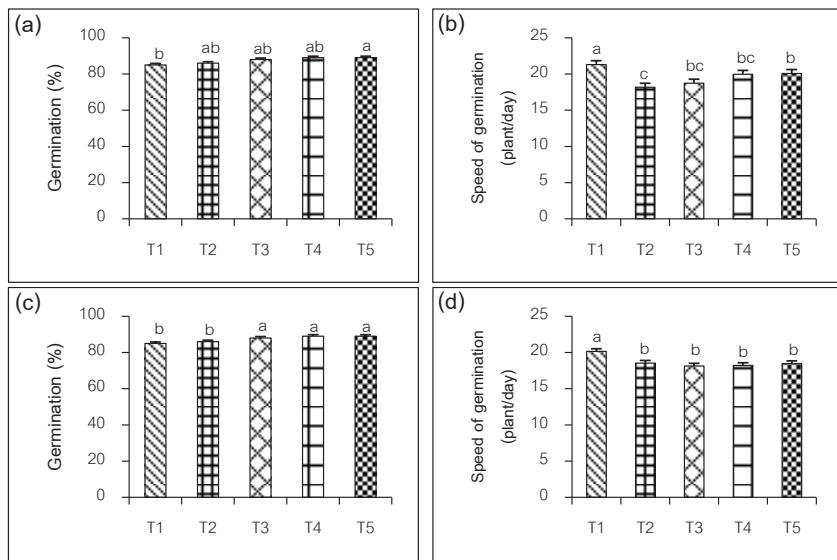


Figure 3 Effect of accelerate ageing on germination percentage and speed of germination of lettuce seeds tested under laboratory (a,b) and greenhouse condition; (c,d), control (T1); pelleted seed (T2); pelleted seeds mixed with NaH₂PO₄·H₂O rate 0.2 g., 0.4 g., 0.6 g./10 g.seeds (T3, T4, T5) respectively.

Table 2. Shoot length, root length, seedling fresh weight and seedling dry weight of lettuce tested under laboratory and greenhouse conditions after pelleting process and accelerated aging.

Treatment ^{1/}	Laboratory condition				Greenhouse condition		
	Shoot length (mm)	Root length (mm)	Seedling fresh weight (g)	Seedling dry weight (g)	Shoot length (mm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)
T ₁	27.25 b	80.16 d	0.1830 c	0.0118 d	19.82 c	0.1576 c	0.0109 b
T ₂	29.70 b	88.24 c	0.2517 b	0.0153 c	21.97 b	0.1564 c	0.0116 b
T ₃	31.56 a	93.61 c	0.2583 b	0.0175 b	23.25 ab	0.1784 b	0.0125 a
T ₄	32.36 a	109.57 a	0.2833 a	0.0197 a	24.26 a	0.1816 b	0.0129 a
T ₅	32.44 a	101.75 b	0.2755 a	0.0193 a	23.74 ab	0.2011 a	0.0131 a
<i>F</i> -test	**	**	**	**	**	**	**
C V (%)	2.78	3.95	2.21	4.90	5.52	3.51	7.82

** : significantly different at $P \leq 0.01$.

^{1/}Control (T1); pelleted seed (T2); pelleted seeds mixed with $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ rate 0.2 g, 0.4 g, 0.6 g/10 g seeds (T3, T4, T5) respectively.

^{2/}Means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.01$ by DMRT.

จากการทดลองเห็นได้ชัดว่าวิธีการพอกเมล็ดพันธุ์ทำให้เมล็ดพันธุ์มีความงอกมากกว่าเมล็ดพันธุ์ไม่พอก และมีความแตกต่างกันในทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อเมล็ดพันธุ์งอกเป็นต้นกล้าปกติยังสามารถนำธาตุอาหารที่อยู่กับสารพอกไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้ ดังนั้นการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืชจึงทำให้ต้นกล้าหลังการทดสอบด้วยวิธีการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ยังคงมีการเจริญเติบโตที่มากกว่าเมล็ดพันธุ์ฝักกาดหอมที่ไม่ได้ผ่านการพอก ซึ่งสอดคล้องกับ Gawande et al. (1980) รายงานว่าการพอกเมล็ดจะช่วยป้องกันเมล็ดพันธุ์จากสภาวะความเครียดจากความร้อน โดยลดอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรอบเมล็ดได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีรายงานการพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบพบว่า เมล็ดพันธุ์ยาสูบที่ผ่านการพอก มีเปอร์เซ็นต์ความงอกดีกว่าเมล็ดพันธุ์ยาสูบที่ไม่ได้พอก (จักรพงษ์ กางไสภา และบุญมี ศิริ) นอกจากนี้ ศศิประภา บัวแก้ว และบุญมี ศิริ (2559) รายงานว่าหลังจากการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ฝักกาดหอม การพอกเมล็ดพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์ความงอกและความเร็วในการงอกดีมากกว่าเมล็ดพันธุ์ไม่ได้พอก ทั้งในการตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลอง

สรุปผลการศึกษา

การพอกเมล็ดพันธุ์ฝักกาดหอมร่วมกับธาตุฟอสฟอรัสไม่มีผลกระทบต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์ และการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับ ธาตุฟอสฟอรัสทุกอัตรา ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าฝักกาดหอมอย่างชัดเจน โดยอัตราส่วนของ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.4 และ 0.6 กรัม เป็นอัตราที่เหมาะสมสำหรับการพอกร่วมกับเมล็ดพันธุ์ฝักกาดหอม โดยมีผลทำให้ต้นกล้าฝักกาดหอมมี ความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของต้นกล้า ดีมากกว่าเมล็ดพันธุ์ฝักกาดหอมไม่พอก เมื่อตรวจสอบทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและในสภาพเรือนทดลอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (รหัสทุน พวอ. PHD58I0007) และภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณโรงงานปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนในด้านสถานที่และวัสดุอุปกรณ์ในการทำงานทดลองในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จักรพงษ์ กางโสภา และบุญมี ศิริ. 2557. ผลของชนิดสารพอกเมล็ดต่อความงอก และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ยาสูบ. *แก่นเกษตร* 42, (3): 283-292.
- จักรพงษ์ กางโสภา และบุญมี ศิริ. 2558. ศักยภาพของการใช้ carboxymethyl cellulose และ hydroxypropyl methylcellulose เป็นวัสดุประสาน สำหรับการพอกเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม. *แก่นเกษตร* 43(1) (พิเศษ): 268-273.
- บุญมี ศิริ. 2558. การปรับปรุงสภาพและยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศศิประภา บัวแก้ว และบุญมี ศิริ. 2559. ผลของการพอกเมล็ดพันธุ์ด้วย Methylhydroxy Ethylcellulose และ Polyvinyl pyrrolidone เป็นวัสดุประสานต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม. *แก่นเกษตร* 44(1) (พิเศษ): 356-361.
- Abel, S., C.A. Ticconi, and C.A. Delatorre. 2002. Phosphate sensing in higher plants. *Physiologia Plantarum* 115(1): 1-8.
- Baas, P., C. Bell, L.M. Mancini, M.N. Lee, R.T. Conant, and M.D. Wallenstein. 2016. Phosphorus mobilizing consortium Mammoth PTM enhances plant growth. *Peer J* 4: e2121.
- Buakaew, S. and B. Siri. 2016. Effects of seed pelleting with methylhydroxy ethylcellulose and polyvinylpyrrolidone as binder on seed quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Khon Kaen Agriculture Journal* (Supplement) 41(1): 356-361.
- Delouche, J.C. and C.C. Baskin. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Sci. and Tech* 1: 427-452.
- Gawande, M., S.C. Mohapatra and W.H. Johnson. 1980. Effect of seed size and pelletization on tobacco seed germination under varying temperature regimes. *Tob Sci* 24: 49-52.
- George, T.S., P. Hinsinger, and B.L. Turner. 2016. Phosphorus in soils and plants—facing phosphorus scarcity. *Plant and Soil* 401(1): 1-6.
- Grant, C.A., D.N. Flaten, D.J. Tomasiewicz, and S.C. Sheppard. 2001. The importance of early season phosphorus nutrition. *Can J Plant Sci* 81(2): 211-224.
- Gregg, B.R. and G.L. Billups. 2010. *Seed Conditioning*. Volume 2 Technology Part-A. CRC Press, Boca Raton.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2013. *International Rules for Seed Testing*, Edition 2003 International Seed Testing Association, Bassersdorf.
- Kim, M.J., Y. Moona, J.C. Toub, B. Mouc, and N.L. Waterlanda. 2017. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis* 49: 19-34.
- Maynard, D.N. and G. J. Hochmuth. 2007. *Knott's Handbook for Vegetable Growers*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ.
- McCauley, A., C. Jones and J. Jacobsen. 2009. *Plant nutrient functions and deficiency and toxicity symptoms*. Nutrient Management Module No. 9. Montana State University, Bozeman MT.
- Mian, M.A.R. and E.D. Nafziger. 1994. Seed size and water potential effects on germination and seedling growth of winter wheat. *Crop Science*, 34(1): 169-171.
- Mou, B. 2008. Lettuce. In: Prohens, J., Nuez, F. (Eds.), *Handbook of Plant Breeding*, Vol. I: Vegetables I: Asteraceae, -Brassicaceae, Chenopodiaceae, and Cucurbitaceae. Springer, New York, NY, USA (pp. 75-116).
- Niu, Y.F., R.S. Chai, G.L. Jin, H. Wang C.X. Tang and Y.S. Zhang. 2013. Responses of root architecture development to low phosphorus availability: a review. *Annals of Botany* 112(2): 391-408.

- Olson, R.A. and A.F. Dreier. 1956. Fertilizer placement for small grains in relation to crop stand and nutrient efficiency in Nebraska. *Soil Science Society of America Journal* 20(1): 19-24.
- Rathod, T.H., A.B. Padvi, B.N., Patil, and R.R. Rathod. 2005. Effect of seed pelleting on seed quality and dry matter production in soybean. *Annals of Plant Physiology* 19(2): 220-223.
- Rebafka, F.P., A. Bationo and H. Marschner. 1993. Phosphorus seed coating increases phosphorus uptake, early growth and yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) grown on an acid sandy soil in Niger, West Africa. *Fertilizer Research* 35(3): 151-160.
- Richards, J.E., T.E. Bates and S.C. Sheppard. 1985. The effect of broadcast P applications and small amounts of fertilizer placed with the seed on continuously cropped corn (*Zea mays* L.). *Fertilizer Research* 6(3): 269-277.
- Roy, J., D.M. Shakleya, P.S. Callery and J.G. Thomas. 2006. Chemical constituents and antimicrobial activity of a traditional herbal medicine containing garlic and black cumin. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines* 3(2): 1-7.
- Schachtman, D.P., R.J. Reid and S.M. Ayling. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology* 116(2): 447-453.
- Scott, J.M. 1998. Delivering fertilizers through seed coatings. *Journal of Crop Production* 1(2): 197-220.
- Seiwa, K. 2000. Effects of seed size and emergence time on tree seedling establishment: importance of developmental constraints. *Oecologia* 123(2): 208-215.
- Sharples, G.C. and J.P. Gentry. 1980. Lettuce emergence from vermiculite seed tablets containing activated carbon and phosphorus. *HortScience* 15(1): 73-75.
- Smith, S.E. and D.J. Read. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, San Diego, CA.
- Soares, M.M., T. Sedyama, J.C.L., Neves, H.C. Santos Júnior and L.J.da. Silva. 2016. Nodulation, growth and soybean yield in response to seed coating and split application of phosphorus. *Journal of Seed Science* 38(1): 30-40.
- Thavarajah, D., P. Thavarajah, C.T. See and A. Vandenberg. 2010. Phytic acid and Fe and Zn concentration in lentil (*Lens culinaris* L.) seeds is influenced by temperature during seed filling period. *Food Chemistry* 122(1): 254-259.
- Uchida, R. 2000. Essential nutrients for plant growth: nutrient functions and deficiency symptoms. pp.31-55. In: J. A. Silva and R. Uchida (eds.). *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils*. Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Manoa.
- Vance, C.P., C. Uhde-Stone and D.L. Allan. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist* 157: 423-447.
- Zelonka, L., V. Stramkale and M. Vikmane. 2005. Effect and after-effect of barley seed coating with phosphorus on germination, photosynthetic pigments and grain yield. *Acta Universitatis Latviensis* 691: 111-119.
- Zenk, P. 2004. *Seed coatings get serious*. (Online). Available: <http://goo.gl/zpRR8j> (February 1, 2004).

วันรับบทความ (Received date) : 15 พ.ย. 60

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 14 ก.พ. 61

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 8 มี.ย. 61