

การเปลี่ยนแปลงความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าหลังการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืชของเมล็ดยาสูบพันธุ์เวอร์จิเนีย

Germination changes and seedlings growth after seed pelleting combined with plant nutrient of Virginia tobacco seed

วิชา คาสีทอง¹, จักรพงษ์ กางโสภา¹ และ บุญมี สิริ^{1*}

Wichuda Khasithong¹, Jakkrapong Kangsopa¹ and Boonmee Siri^{1*}

บทคัดย่อ: การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสูตรสารพอกที่เหมาะสมสำหรับการพอกร่วมกับเมล็ดพันธุ์ยาสูบ และเพื่อใช้สูตรสารพอกที่ดีที่สุดนำมาพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืชเพื่อช่วยส่งเสริมการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ายาสูบ โดยดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ อาคารโรงงานปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น แบ่งออกเป็น 2 การทดลองโดยการทดลองที่ 1 วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยการคัดเลือกสูตรสารพอกเมล็ดพันธุ์ คือ การพอกเมล็ดด้วย pumice เพียงอย่างเดียว และการพอกเมล็ดด้วย talcum และ pumice โดยใช้ Hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) ความเข้มข้น 0.5% โดยน้ำหนัก เป็นวัสดุประสานต่อเมล็ดพันธุ์ยาสูบ 3 กรัม ผลการทดลองพบว่า การพอกเมล็ดด้วย talcum และ pumice ทำให้ก้อนพอกสามารถขึ้นรูปได้ง่ายกว่า และสามารถละลายน้ำได้เร็วกว่าการพอกเมล็ดด้วย pumice และเมื่อนำไปตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์พบว่า การพอกเมล็ดด้วย talcum และ pumice ทำให้เมล็ดพันธุ์ยาสูบมีความงอก และความยาวรากมากที่สุด เมื่อตรวจสอบทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลอง การทดลองที่ 2 วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการคัดเลือกสูตรการพอกเมล็ดด้วย talcum และ pumice ในการทดลองที่ 1 แล้วนำมาพอกร่วมกับธาตุอาหารพืช อัตรา (F1-F3) มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ผลการทดลองพบว่า การพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบด้วยธาตุอาหารพืชสูตร F2 ความเข้มข้น 2 เท่า ทำให้เมล็ดพันธุ์ยาสูบมีความงอก ความยาวต้นและผลรวมการเจริญเติบโตของต้นกล้ามีมากกว่าเมล็ดพันธุ์ยาสูบที่พอกร่วมกับธาตุอาหารพืชสูตรอื่น ๆ และเมล็ดพันธุ์ยาสูบที่ไม่ผ่านการพอก

คำสำคัญ: คุณภาพเมล็ดพันธุ์, เมล็ดพันธุ์ยาสูบ, การพอกเมล็ดพันธุ์, ธาตุอาหารพืช

ABSTRACT: This research aimed to select the appropriate filler material and seed pelleting of tobacco seed. The best formula for pelleting seed was used and combined with plant nutrients to promoting the germination and growth of tobacco seedling. Two experiments were conducted at Seed Quality Testing Laboratory, Seed Processing Plant, Faculty of Agriculture, KhonKaen University. The first experiment laid out in CRD. Filler material selection by pelleting seed with pumice alone pelleteing seed with talcum for first layer and added pumice for second layer. Hydroxypropyl methyl cellulose (HPMC) was used as a binder with concentration 0.5% (w/v) per 3 g of tobacco seed. The result showed that the pelleted tobacco seeds with talcum and pumice could be easier to forming

¹ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002
Department of Plant Science and Agricultural Resource Faculty of Agriculture, KhonKaen University,
KhonKaen, 40002, Thailand.

* Corresponding author: boonmee@kku.ac.th

pelleted seed and had the best water solubility when compared with pumice pelleted seed alone. Seed quality of the pelleted seed with talcum and pumice had higher germination and root length than other methods when tested under both laboratory and greenhouse condition. CRD was the second experimental design second Formulation of talcum and pumice for pelleting seed in the first experiment was added with 3 formulation of plant nutrients (F1-F3). The results found that the pelleted seed with plant nutrient formula 2 (F2), had better germination and shoot length than the pelleted seed with other plant nutrient formula rates and unpelleted seed.

Keywords: seed quality, tobacco seed, seed pelleting, plant nutrient

บทนำ

ยาสูบเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งทำรายได้ให้กับประเทศเป็นอย่างมาก โดยมีปริมาณการส่งออกใบยาสูบพันธุ์เวอร์จิเนียสูงถึง 4,117 ตัน คิดเป็นมูลค่า 371 ล้านบาท และใบยาสูบพันธุ์เบอร์เลย์ 8,117 ตัน คิดเป็นมูลค่า 1,110 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์มีความจำเป็นต่อระบบการปลูกพืชให้มีประสิทธิภาพอย่างมาก (Kaewkham et al., 2016) โดยเฉพาะเทคโนโลยีการพอกเมล็ดพันธุ์พืชที่เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากการพอกเมล็ดพันธุ์เป็นการเพิ่มขนาดเมล็ดพันธุ์ให้มีรูปร่างใหญ่เพิ่มขึ้นจากเดิม ซึ่งเหมาะสมสำหรับเมล็ดพันธุ์ที่มีรูปร่างเล็กบิดเบี้ยวและเรียวยาว เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น ผักกาดหอม แครอท บีทรูท ถั่ว และเมล็ดดาวเรือง เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มขนาดเมล็ดพันธุ์ยาสูบเนื่องจากมีรูปร่างขนาดเล็กมาก ทำให้การเพาะต้นกล้ามีความยุ่งยากและสูญเสียเมล็ดพันธุ์สำหรับการเพาะกล้าในปริมาณมาก ตลอดจนส่งผลทำให้ต้นกล้าไม่มีความสม่ำเสมอหลังการงอก (วิภาวรรณ, 2548) อย่างไรก็ตาม การพอกเมล็ดพันธุ์ให้ประสบผลสำเร็จยังคงมีสูตรการพอกเมล็ดที่มีความจำเพาะต่อเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิด (บุญมี, 2558) โดยเฉพาะสูตรการพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบมีความยุ่งยากมาก ทำให้มีรายงานการศึกษาน้อย โดย จักรพงษ์ และบุญมี (2557) พบว่าการใช้สูตรสารพอกโดยมี pumice เป็นวัสดุพอกเพียงอย่างเดียว และใช้ Hydroxylpropyl

methylcellulose 4% เป็นวัสดุประสาน ต่อการใช้เมล็ดพันธุ์ยาสูบ 3 กรัม ทำให้การพอกเมล็ดยาสูบประสบผลสำเร็จ แต่ยังคงมีปริมาณเมล็ดพันธุ์ยาสูบในก้อนพอกไม่สม่ำเสมอ จากนั้น Guan et al. (2013) รายงานว่าการพอกเมล็ดยาสูบโดยแบ่งออกเป็น 2 ชั้นของวัสดุพอกจะง่ายต่อการพอกประกอบด้วยการใช้ talc และ bentonite ตามลำดับ และจากผลการวิจัยของ สุริยา และบุญมี (2558) พบว่า สูตรการขึ้นรูปก้อนพอกด้วย talcum เป็นชั้นแรกและตามด้วยใช้ pumice เป็นชั้นที่ 2 ทำให้ประสบผลสำเร็จต่อการพอกเมล็ดอย่างง่าย ดังนั้นปัจจุบันจึงมีนักวิจัยให้ความสำคัญต่อการพัฒนาสูตรสารพอกต่อเมล็ดพันธุ์ขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้น เพื่อช่วยยกระดับการเพาะปลูกพืชให้มีระบบและมีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มธาตุอาหารพืชให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์เพื่อช่วยส่งเสริมกิจกรรมต่างๆ ภายในเซลล์พืชหรือส่งเสริมกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืชให้ดำเนินไปอย่างปกติเช่นการใช้และเก็บสะสมพลังงานการสร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรบ (Roy et al., 2006) อีกทั้งช่วยให้ต้นกล้าตั้งตัวได้ไว แข็งแรง และปราศจากการเข้าทำลายของโรคและแมลง ยกตัวอย่างเช่น Shashibhaskar et al. (2011) พบว่า การพอกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศร่วมกับ $ZnSO_4$ อัตรา 300 mg/kg มีผลทำให้ต้นกล้ามะเขือเทศมีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตสูงมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้พอก ต่อมา สุริยา และบุญมี (2557) พบว่าการพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบร่วมกับธาตุอาหารพืช และพบการตอบสนองของไนโตรเจน และฟอสฟอรัส มีผลช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นยาสูบและปัจจุบัน วิชุดา และคณะ (2559) พบว่า การพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบร่วม

กับธาตุอาหารพืชสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นกล้ามากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้พอก

จากการรายงานสูตรสารพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบที่มีการคัดเลือกใช้สูตรสารพอกแตกต่างกัน ทำให้สูตรการพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบไม่แน่นอน และการเพิ่มธาตุอาหารให้ติดไปกับก้อนพอกเพื่อช่วยให้ต้นกล้ายาสูบมีพัฒนาการการเจริญเติบโตที่รวดเร็วแข็งแรง การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสูตรสารพอกที่เหมาะสมสำหรับการพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบ และใช้สูตรสารพอกที่ดีที่สุดพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืชสำเร็จรูปเพื่อช่วยส่งเสริมการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ายาสูบ

วิธีการศึกษา

ดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ อาคารโรงงานปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยได้รับความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ยาสูบพันธุ์เวอร์จิเนีย จากสถานีทดลองยาสูบแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ ระหว่างเดือนมีนาคม-มิถุนายน 2559 โดยมีสภาพอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 36.5 ± 40.3 องศาเซลเซียส (สถานีตรวจอากาศเกษตร หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น) โดยดำเนินวิธีการทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 การคัดเลือกสูตรสารพอกที่เหมาะสมสำหรับการพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบ

การคัดเลือกสูตรสารพอก โดยคัดเลือกสูตรการพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบที่ดีที่สุดจาก 2 สูตร โดยสูตรที่ 1 คือ การใช้ pumice 150 กรัม เป็นวัสดุพอก (จักรพงษ์และบุญมี, 2557) และสูตรที่ 2 คือ การใช้ talcum และ pumice (60:150 กรัม) เป็นวัสดุพอก (สุริยาและบุญมี, 2558) โดยทั้ง 2 สูตรสารพอกเมล็ดใช้ Hydroxylpropyl methylcellulose (HPMC) อัตรา 0.5% โดยน้ำหนักเป็นวัสดุประสาน ต่อเมล็ดพันธุ์ยาสูบจำนวน 3 กรัม โดยมีกรรมวิธีดังนี้ 1. เมล็ดพันธุ์

ยาสูบไม่พอก 2. เมล็ดพันธุ์ยาสูบพอกด้วย pumice (P) 3. เมล็ดพันธุ์ยาสูบพอกด้วย talcum + pumice (TP) จากนั้นทำการพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบทั้ง 2 สูตรสารพอกด้วยเครื่องพอกเมล็ดพันธุ์แบบถังหมุน (rotary drum) แล้วนำเมล็ดหลังการพอกมาลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบลมแห้ง (รุ่น SKK09) ด้วยอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนความชื้นของเมล็ดพันธุ์พอกเท่ากับความชื้นของเมล็ดพันธุ์ยาสูบก่อนการพอก (5%)

การบันทึกข้อมูล

ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของก้อนพอกและคุณภาพหลังการพอก ดังนี้

การขึ้นรูปของก้อนพอก การขึ้นรูปของเมล็ดพอกในระหว่างการพอกเมล็ดพันธุ์จะมีการสังเกตวัสดุพอกชนิดต่างๆ ที่สามารถยึดเกาะและคลุมผิวของเมล็ดพันธุ์ให้มีลักษณะกลมและสม่ำเสมอได้ง่ายโดยใช้ค่าคะแนน 1-5 ในการประเมินการขึ้นรูปเมล็ดพอก กำหนดให้ 1 = ยากมาก, 2 = ยาก, 3 = ปานกลาง, 4 = ง่าย และ 5 = ง่ายมาก (สุริยาและบุญมี, 2558)

ความสม่ำเสมอของก้อนพอก ทำการสุ่มเมล็ดพันธุ์หลังการพอก 100 ก้อนพอก ทำ 4 ซ้ำ จากนั้นร่อนบนตะแกรงรูเปิดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 และ 3 มิลลิเมตร แล้วตรวจนับจำนวนก้อนพอกที่ค้างบนตะแกรงรูเปิดกลมขนาด 2 มิลลิเมตร และนำมาประเมินหาเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอของก้อนพอก

น้ำหนักของเมล็ดหลังการพอก ทำโดยสุ่มเมล็ดพันธุ์หลังพอกจำนวน 1,000 ก้อนพอก/กรรมวิธี ทำ 3 ซ้ำ นำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง

การละลายน้ำของก้อนพอก โดยสุ่มก้อนพอกซ้ำละ 20 ก้อนพอก/กรรมวิธี ทำ 3 ซ้ำ นำมาแช่ในบีกเกอร์ ขนาดปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่บรรจุน้ำปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นตรวจสอบระยะเวลาที่ก้อนพอกสามารถละลายในน้ำได้ (หน่วยเป็นนาที) โดยมีเกณฑ์ตรวจสอบเมื่อก้อนพอกเริ่มมีรอยปริแตก

จำนวนเมล็ดพันธุ์ในก้อนพอก ทำโดยสุ่มก้อนพอกจำนวน 10 ก้อนพอก/กรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำ นำมา

กดทับด้วยแผ่นเหล็กทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 1 เซนติเมตร น้ำหนัก 1 กิโลกรัม จากนั้นนำมาตรวจสอบจำนวนเมล็ดยาสูบในก้อนพอกของแต่ละกรรมวิธีการทดลอง

ความมอกของเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการและในสภาพเรือนทดลอง สุ่มเมล็ดพันธุ์แต่ละกรรมวิธีที่ผ่านการพอกและไม่ได้พอกจำนวน 3 ซ้ำๆ ละ 100 เมล็ดมาทดสอบความมอกโดยวิธี Top of Paper (TP) และนำไปไว้ในตู้เพาะความมอก อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนการตรวจสอบในสภาพเรือนทดลอง ทดสอบความมอกในถาดเพาะขนาด 200 หลุม ซึ่งใช้พีทมอสเป็นวัสดุเพาะทั้ง 2 สภาพการทดลอง ทำการตรวจนับความมอกหลังการเพาะวันแรกที่ 7 วัน นับทุกวัน และวันสุดท้ายที่ 16 วัน จากนั้นนำมาประเมินผลความมอกตามหลักสากล (ISTA, 2010)

ความเร็วในการออกของเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลอง ทดสอบความเร็วในการออกของเมล็ดตามกฎ ISTA (2010) ตามวิธีทดสอบความมอก แล้วตรวจนับจำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติและจำนวนวันที่นับครั้งแรกจนถึงวันที่นับครั้งสุดท้าย โดยนับทุกวัน จากนั้นนำผลการนับมาคำนวณหาความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์

การตรวจสอบความยาวต้นและความยาวของราก ในสภาพห้องปฏิบัติการตรวจสอบโดยวัดความสูงต้นและความยาวรากเมื่อต้นกล้ายาสูบมีอายุ 16 วันหลังเพาะ และสำหรับในสภาพเรือนทดลอง ตรวจสอบความสูงต้น 30 วันหลังเพาะ โดยแต่ละกรรมวิธีแบ่งออกเป็นกรรมวิธีละ 3 ซ้ำๆ ละ 5 ต้น มาตรวจวัดด้วยอุปกรณ์การวัดละเอียด (Vernier Caliper)

การทดลองที่ 2 ผลของการพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบร่วมกับธาตุอาหารพืช

คัดเลือกสูตรการพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบที่ดีที่สุดตามการทดลองที่ 1 มาพอกร่วมกับเมล็ดพันธุ์ยาสูบอีกครั้ง ร่วมกับธาตุอาหารพืช 3 สูตร (Table 1) มีกรรมวิธีดังนี้ 1. เมล็ดพันธุ์ยาสูบไม่พอก 2. เมล็ดพันธุ์ยาสูบพอกด้วย talcum + pumice (F0) 3. เมล็ดพันธุ์ยาสูบพอกร่วมกับธาตุอาหารพืชความเข้มข้น 1 เท่า (F1) 4. เมล็ดพันธุ์ยาสูบพอกร่วมกับธาตุอาหารพืชความเข้มข้น 2 เท่า (F2) 5. เมล็ดพันธุ์ยาสูบพอกร่วมกับธาตุอาหารพืชความเข้มข้น 3 เท่า (F3) โดยแต่ละกรรมวิธีการพอกเมล็ดพันธุ์จะเพิ่มธาตุอาหารพืชในชั้นวัสดุพอกของ pumice และใช้ปริมาณของแต่ละสูตรธาตุอาหารพืช ปริมาณ 10 มิลลิกรัม/เมล็ดพันธุ์ยาสูบ 3 กรัม แล้วนำไปลดความชื้น จากนั้นนำไปตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์

Table 1 Quantity of plant nutrients used for pelleting tobacco seed.

Formulas	Plant nutrient content (% w/v)						
	(NH ₄) ₂ SO ₄	KH ₂ PO ₄	CaCl ₂	MgSO ₄	FeSO ₄	ZnSO ₄	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄
F1	0.237	0.188	0.018	0.018	0.156	0.018	0.156
F2	0.475	0.375	0.037	0.037	0.312	0.037	0.312
F3	0.950	0.750	0.075	0.075	0.625	0.075	0.625

Adapted from: สุริยา และบุญมี (2558)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลผลของการพอกต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการพอก ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แปลงข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความมอกของเมล็ดพันธุ์เพื่อวิเคราะห์

ทางสถิติโดยใช้วิธี Arcsine transformation เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของวิธีการพอกโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 การคัดเลือกสูตรสารพอกที่เหมาะสมสำหรับการพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบ

1.1 ผลของสูตรสารพอกต่อคุณภาพด้านกายภาพของเมล็ดพันธุ์ยาสูบ

การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพหลังการพอกเมล็ดด้วย pumice และ talcum + pumice (Table 2) พบว่าสูตรการพอกเมล็ดของทั้งสองวิธีการมีระดับความยากง่ายแตกต่างกัน โดยการพอกด้วย talcum + pumice สามารถขึ้นรูปก้อนพอกได้ง่ายที่สุด และการพอกเมล็ดด้วย pumice เพียงอย่างเดียวมีความยากระดับปานกลาง ส่วนลักษณะของน้ำหนักก้อนพอก 1,000 เมล็ด ความสม่ำเสมอของก้อนพอก และจำนวนเมล็ดในก้อนพอกพบว่าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่การพอกเมล็ดด้วย talcum + pumice มีผลให้ความสามารถในการละลายน้ำของก้อนพอกมีความแตกต่างกันในทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากการการขึ้น

รูปก้อนพอกยาสูบด้วย talcum ช่วยให้เมล็ดพันธุ์ยาสูบเกาะติดรวมกับผงแป้ง talcum ได้ง่าย และสม่ำเสมอ (Guan et al., 2013; สุริยา และบุญมี, 2558) อีกทั้ง talcum ช่วยให้เมล็ดพันธุ์ยาสูบ 1 เมล็ด สามารถขึ้นรูปเป็น 1 เมล็ดต่อ 1 ก้อนพอกได้ง่าย โดยเมล็ดไม่เกาะติดกันเป็นกลุ่มก้อน เพราะ talcum มีลักษณะเป็นผงแป้งละเอียด มีความมันวาวและผิวลื่นไหล (จักรพงษ์, 2557; สุริยา และบุญมี, 2558; บุญมี, 2558) จึงเหมาะสำหรับใช้ขึ้นรูปก้อนพอกมากที่สุด แต่ไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุพอกทั้งหมดเพราะไม่ดูดซับน้ำ มีผลทำให้ก้อนพอกไม่มีความแข็ง แตกได้ง่าย ดังนั้นการนำ pumice มาใช้สำหรับเป็นวัสดุพอกชั้นที่ 2 จึงมีส่วนช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับก้อนพอก เนื่องจาก pumice มีพื้นผิวอนุภาคที่โปร่งพรุนคล้ายกับโครงสร้างของฟองน้ำ จึงสามารถดูดซับวัสดุประสาน ทำให้เกิดแรงยึดเกาะร่วมกับเมล็ดได้ดี (จักรพงษ์ และบุญมี, 2556; สุริยา และบุญมี, 2558) อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอของก้อนพอกสูงอีกด้วย

Table 2 Physical properties of pelleted tobacco seed after pelleting with different formulation

Treatments	Forming scale ^{1/}	1,000 pelleted seed weight (g)	Uniformity (%)	Time to dissolve (second)	Number of seed/pellet (seed)
Control	-	-	-	-	-
P	3	6.29	95	9.77 ^a	1
TP	5	6.10	94	7.81 ^b	1
F-test	-	ns	ns	*	ns
CV.%	-	2.12	5.77	9.83	16.38

Mean within column with different letters are significantly different by DMRT at P<0.05

P: Pelleting seed with pumice

TP: Pelleting seed with talcum plus pumice

^{1/} Forming scale 1: very good 2: Different 3: Moderate 4: Simple 5: Very simple

ผลของสูตรสารพอกต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ยาสูบ

การตรวจสอบความงอกในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า การพอกเมล็ดทุกวิธีการมีความงอกสูงมากกว่าเมล็ดไม่พอก และการพอกเมล็ดด้วย talcum + pumice มีความงอกดีมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่พอกด้วย pumice เพียงอย่างเดียวและเมล็ดไม่พอก แต่เมื่อตรวจสอบความเร็วในการงอกไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติ ส่วนการ

ตรวจสอบในสภาพเรือนทดลองพบว่ายังคงมีความแตกต่างกันในทางสถิติ โดยการพอกเมล็ดด้วย talcum + pumice มีความงอกสูงที่สุด คือ 63% รองลงมาคือการพอกเมล็ดด้วย pumice เพียงอย่างเดียวคือ 57% โดยทั้งสองวิธีการพอกมีความงอกดีมากกว่าเมล็ดไม่พอก จากนั้นตรวจสอบความเร็วในการงอกไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่การพอกเมล็ดทั้งสองวิธีการมีแนวโน้มของความเร็วในการงอกดีมากกว่าเมล็ดไม่พอก (Table 3)

Table 3 Germination percentage and speed of germination of tobacco pelleted seeds tested under laboratory and greenhouse condition.

Treatments	Laboratory condition		Greenhouse condition	
	Germination ^{1/} (%)	Speed of germination (no. of plant/day)	Germination ^{1/} (%)	Speed of germination (no. of plant/day)
Non-pelleted	90 ^b	11.69	40 ^b	4.31
P	92 ^{ab}	12.21	57 ^{ab}	5.17
TP	97 ^a	12.80	63 ^a	5.82
F-test	*	ns	*	ns
CV.%	4.64	6.23	19.55	21.42

Mean within column with different letters are significantly different by DMRT at P<0.05

P: Pelleting seed with pumice

TP: Pelleting seed with talcum plus pumice

^{1/} Data are transformed by the arcsine before statistical analysis

ผลการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังพอกพบว่า การพอกเมล็ดด้วย pumice และ talcum + pumice เมล็ดมีเปอร์เซ็นต์ความพอกและความเร็วในการพอกไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าการพอกเมล็ดด้วย talcum + pumice เมล็ดมีเปอร์เซ็นต์ความพอกและความเร็วในการงอกสูงที่สุด สอดคล้องกันทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและในเรือนทดลอง (Table 3) ส่วนการเจริญเติบโตของต้นกล้าจากการวัดความยาวต้นและความยาวรากพบว่า ความยาวรากของต้นกล้าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่การพอกด้วย talcum + pumice มีผลทำให้ต้นกล้ามีการพัฒนาความยาวรากสูงที่สุดและมีความแตกต่างกันในทางสถิติ (Table 4)

ทั้งนี้เพราะการพอกเมล็ดด้วย talcum + pumice เพราะก่อนพอกสามารถละลายน้ำได้รวดเร็ว ลดความเสี่ยงจากการขัดขวางความงอกของวัสดุพอกซึ่งใช้เป็นสารห่อหุ้ม ทำให้เมล็ดพันธุ์สามารถดูดซับน้ำและอากาศได้ง่าย (สุริยา และบุญมี, 2558) วัสดุพอกบางชนิดยังช่วยสนับสนุนการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้ โดยเฉพาะ pumice ที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีประโยชน์ต่อต้นกล้ายาสูบเมื่อต้นกล้าดูดซับไปใช้ จะตกผลึกที่เซลล์ในส่วนต่างๆ จะทำให้เซลล์พืชแข็งแรง และทนต่อการเข้าทำลายของโรคแมลง และเชื้อราได้ดี (จักรพงษ์, 2557)

Table 4 The seedling growth of tobacco seed under laboratory condition as affected by seed pelleting method.

Treatments	Shoot length(mm)	Root length (mm)
Non-pelleted	5.7	4.6 ^b
P	5.3	4.5 ^b
TP	6.1	5.7 ^a
F-test	ns	**
CV.%	5.99	13.77

Mean within column with different letters are significantly different by DMRT at P<0.01

P: Pelleting seed with pumice

TP: Pelleting seed with talcum plus pumice

^{1/} Data are transformed by the arcsine before statistical analysis

การทดลองที่ 2 ผลของการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืช

ผลการทดลองที่ 1 พบว่าสูตรสารพอกที่เหมาะสมสำหรับใช้พอกร่วมกับเมล็ดพันธุ์ยาสูบ คือ การใช้ talcum ขึ้นรูปก้อนพอกเป็นชั้นที่ 1 และตามด้วยการใช้ pumice เป็นชั้นที่ 2 ดังนั้นจึงนำมาพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบร่วมกับธาตุอาหารพืช โดยมีผลการทดลองดังนี้

ผลของธาตุอาหารพืชต่อความงอกและความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ยาสูบ

การพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืชด้วยสูตรแตกต่างกัน เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่าเปอร์เซ็นต์ ความงอกมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการพอกเมล็ดด้วยสูตรธาตุอาหารพืช F2 มีความงอกสูงที่สุดคือ 99% ส่วนการพอกด้วยสูตรธาตุอาหาร F3 ให้ความงอกต่ำที่สุด 94% และเมื่อตรวจสอบความเร็วในการงอกไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มการพอกเมล็ดด้วยสูตรธาตุอาหารพืช F2 มีความเร็วในการงอกสูงที่สุด 13.48 ต้น/วัน ส่วนการตรวจสอบในสภาพเรือนทดลองพบว่าทั้งความงอกและความเร็วในการงอกให้ผลไม่แตกต่างกันในทางสถิติแต่มีแนวโน้มว่าการพอกเมล็ดด้วยสูตรธาตุอาหารพืช F2 ให้เปอร์เซ็นต์ความงอกและความเร็วในการงอกสูงที่สุด (Table 5)

การพอกเมล็ดทุกกรรมวิธีการทดลองไม่มีผลชัดเจนต่อความงอกและความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ยาสูบโดยการพอกเมล็ดยาสูบร่วมกับธาตุอาหารพืชสูตร F2 ช่วยสนับสนุนความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ยาสูบได้ดีมากกว่าวิธีการอื่นๆ สอดคล้องกับ สุริยา และบุญมี (2558) พบว่าการพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบด้วยธาตุอาหารพืช อัตรา 1-2 เท่า มีความงอกและความเร็วในการงอกสูงกว่าเมล็ด

ไม่พอก โดยสูตรธาตุอาหารที่ใช้พอกร่วมกับเมล็ดพันธุ์ยาสูบมีสารประกอบที่จำเป็นต่อกระบวนการงอกของเมล็ด ยกตัวอย่างสารประกอบในสูตรธาตุอาหารพืช คือ แอมโมเนียมซัลเฟต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ซึ่งแตกตัวให้ NH_4^+ ซึ่งเป็นไอออนของธาตุไนโตรเจน มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการหายใจ กระบวนการสลายสารอาหารในเมล็ด ทำให้ต้นกล้าตั้งตัวได้เร็ว ส่งเสริมการสร้างโปรตีนให้แก่เมล็ดและการสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการแบ่งเซลล์ใหม่ของต้นกล้า (Marschner, 1995) ส่วนสารประกอบ แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) พืชจะดูดใช้ในรูปแบบแคลเซียมไอออน Ca^{2+} โดยมีส่วนช่วยส่งเสริมการงอกของเมล็ด และจะมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเมื่อทำงานร่วมกับ ฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน (gibberellins) (Bush, 1995; Anil and Rao, 2001) และซิงค์ซัลเฟต (ZnSO_4) มีส่วนช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในปฏิกิริยาทางชีวเคมี คือ การสังเคราะห์แสงการสร้างน้ำตาลการสังเคราะห์โปรตีน และส่งเสริมการงอกของเมล็ด (Kaya and Higgs, 2002) สอดคล้องกับการรายงานของ Kangsopa and Siri (2017) พบว่า การพอกเมล็ดร่วมกับ ZnSO_4 ไม่มีผลชัดเจนต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองจะพบว่า หากพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืชมากเกินไปกว่า 3 เท่า อาจมีผลทำให้ความงอกของเมล็ดยาสูบลดลงตามปริมาณธาตุอาหารเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สูง จะมีผลกระทบต่อ การสังเคราะห์ฮอร์โมนพืชที่ช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ดลดลงด้วย โดยเฉพาะจิบเบอเรลลิน (Copeland and McDonald, 1995) และไซโตไคนิน ซึ่งมีผลต่อการกระตุ้นให้เกิดการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ สำหรับใช้ในกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Kucera et al., 2005)

Table 5 Germination percentage and speed of germination of pelleting tobacco seed tested under laboratory and greenhouse condition.

Treatments	Laboratory condition		Greenhouse condition	
	Germination ^{1/} (%)	Speed of germination (no. of plant/day)	Germination ^{1/} (%)	Speed of germination (no. of plant/day)
Control	94 ^b	12.86	40 ^b	4.31 ^b
F0	97 ^{ab}	13.05	63 ^a	5.82 ^{ab}
F1	97 ^{ab}	13.28	64 ^a	6.13 ^{ab}
F2	99 ^a	13.48	66 ^a	6.31 ^a
F3	94 ^b	12.83	63 ^a	6.10 ^{ab}
F-test	**	ns	**	**
CV.%	1.87	3.41	14.57	16.25

Mean within column with different letters are significantly different by DMRT at P<0.01

Control : non-pelleted seed, F0 : pelleted seed with talcum plus pumice (TP), F1 : TP + plant nutrient rate of 1 time, F2 : TP + plant nutrient rate of 2 times, F3 : TP + plant nutrient rate of 3 times.

^{1/} Data are transformed by the arcsine before statistical analysis

ผลของธาตุอาหารพืชต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ายาสูบ

เมื่อตรวจสอบการเจริญเติบโตของต้นกล้ายาสูบ หลังการพอกร่วมกับธาตุอาหารพืชในสภาพห้องปฏิบัติการ พบว่าการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับสูตรธาตุอาหารพืช F1 ทำให้ต้นกล้ายาสูบมีความยาวต้นเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่พอกด้วยสูตรธาตุอาหารพืช F0 และมีความแตกต่างกันในทางสถิติ

โดยการพอกเมล็ดร่วมกับสูตรธาตุอาหารพืช F3 มีความยาวต้นมากที่สุดคือ 16.1 มิลลิเมตร ส่วนความยาวราก ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติ เมื่อตรวจสอบผลรวมการเจริญเติบโตของต้นกล้ายาสูบพบว่า การพอกเมล็ดร่วมกับสูตรธาตุอาหารพืช F2 และ F3 มีการเจริญเติบโตดีที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (Table 6)

Table 6 The seedling growth of tobacco seed as affected by seed pelleting method under laboratory condition

Treatments	Shoot length (mm)	Root length (mm)
Control	14.1 ^{ab}	5.4
F0	13.2 ^b	5.1
F1	13.3 ^b	4.7
F2	15.3 ^{ab}	5.2
F3	16.1 ^a	4.9
F-test	**	ns
CV.%	8.34	7.70

Mean within column with different letters are significantly different by DMRT at P<0.01

Control : non-pelleted seed, F0 : pelleted seed with talcum plus pumice (TP), F1 : TP + plant nutrient rate of 1 time, F2 : TP + plant nutrient rate of 2 times, F3 : TP + plant nutrient rate of 3 times.

^{1/} Data are transformed by the arcsine before statistical analysis

การพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืช 3 เท่า มีส่วนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของลำต้นดีที่สุด แต่จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของรากต้นกล้ายาสูบ และจากผลการตรวจสอบการเจริญเติบโตของต้นกล้าเห็นได้ชัดว่าการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืช 2 และ 3 เท่า มีส่วนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตต้นกล้ายาสูบได้ดีที่สุด และจากสูตรของธาตุอาหารพืชสำหรับใช้ในการทดลอง มีสารประกอบที่จำเป็นต่อพัฒนาการของต้นกล้ายาสูบหลายชนิดประกอบด้วย ธาตุไนโตรเจน (N) มีบทบาทช่วยให้ต้นกล้ายาสูบตั้งตัวได้เร็ว โดยเฉพาะในระยะแรกของการเจริญเติบโต (Barker and Pilbeam, 2007) อีกทั้งไนโตรเจนยังช่วยกระตุ้นการทำงานของออกซิน (auxin) และไซโตไคนิน (cytokinin) ทำงานได้ดีขึ้น เพื่อส่งเสริมให้ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่สำคัญในกระบวนการทางชีวเคมีสำหรับกระตุ้นการเพิ่มจำนวนของเซลล์รากและเซลล์ลำต้นพืชให้ขยายเพิ่มมากขึ้น (Mi et al., 2008)

นอกจากนี้สารประกอบแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ที่อยู่ในรูปของแคลเซียมเพคเตต (calcium pectate) ช่วยในการสร้างเซลล์และโครงสร้างของเซลล์ของพืช ทำให้ผนังเซลล์ตึง และมีลำต้นพืชแข็งแรง (Wyn Jones and Lunt, 1967; Burstrom, 1968) ส่วนแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่สำคัญหลายชนิด โดยเฉพาะเอนไซม์ในกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (Mengel and Kirkby, 1978) อีกทั้งช่วยในการเคลื่อนย้ายอาหารและเป็นตัวนำพาฟอสฟอรัสในการดูดซึมจากรากไปยังส่วนต่างๆ ของต้นกล้าทำให้หลังจากต้นกล้าสามารถเจริญเติบโตทางลำต้นได้รวดเร็ว (Wedding and Black, 1988; Portis, 1992; Marschner, 2012) และสารประกอบซิงค์ซัลเฟต (ZnSO_4) จะมีบทบาทต่อกระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ที่เป็นในกระบวนการสร้างออกซินซึ่งมีส่วนช่วยในการเร่งการเติบโตของพืชทั้งในส่วนที่เป็นต้นและราก (Caldelas and Weiss, 2017)

สรุป

การศึกษาสูตรพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบด้วยวิธีการต่างกันพบว่าการพอกเมล็ดด้วย talcum + pumice ในอัตราส่วน 60:150 กรัม/เมล็ดพันธุ์ยาสูบ 3 กรัม มีผลทำให้คุณภาพด้านกายภาพของก้อนพอก ได้แก่ การขึ้นรูปก้อนพอก ความสามารถในการละลายน้ำของก้อนพอกน้ำหนักเมล็ดหลังพอก จำนวนเมล็ดพันธุ์ในก้อนพอก และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ ความงอก ความเร็วในการงอก และการเจริญเติบโตของต้นกล้าดีที่สุด ส่วนการพอกด้วยสูตรธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ความยาวต้น และความยาวรวมต้นกล้าดีมากกว่าเมล็ดที่พอกร่วมกับธาตุอาหารพืชสูตร F1 และเมล็ดที่ไม่ผ่านการพอกพบว่าการพอกด้วยสูตรธาตุอาหาร F2 มีผลทำให้ความงอก ความเร็วในการงอก และการเจริญเติบโตของต้นกล้าดีที่สุด

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) (สัญญาทุนเลขที่ MSD57I0141) และทุนอุดหนุนทั่วไปงบประมาณประจำปี 2559 ที่สนับสนุนทุนในการวิจัย ขอขอบคุณสถานที่ทดลองยาสูบแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ได้อนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ยาสูบ และขอขอบคุณโรงงานปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้อนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่ในการดำเนินการทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จักรพงษ์ กางโสภา. 2557. ผลของสูตรตำรับและวิธีการพอกเมล็ดด้วยสารเคมีป้องกันโรคเน่าคอดินต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ยาสูบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- จักรพงษ์ กางโสภา และ บุญมี ศิริ. 2556. ผลของการพอกเมล็ดด้วย pumice zeolite และ bentonite ต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ยาสูบพันธุ์เวอร์จิเนีย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 41(ฉบับพิเศษ 1): 257-262.

- จักรพงษ์ กางโสภา และ บุญมี ศิริ. 2557. ผลของชนิดสารพอกเมล็ดต่อความงอก และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ยาสูบ. แก่นเกษตร. 42: 283-292.
- บุญมี ศิริ. 2558. การปรับปรุงสภาพและยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์. โรงพิมพ์คลังนาวิทยา, ขอนแก่น.
- วิชุดา คะสิทอง, สมศรี พวงขุนทด, สุริยา ตราชู และบุญมี ศิริ. 2559. ผลของการพอกเมล็ดร่วมกับ $ZnSO_4$ และ KH_2PO_4 ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้ายาสูบ. น. 25-32. ใน: การประชุมทางวิชาการเมล็ดพันธุ์พืชแห่งชาติ ครั้งที่ 13 ระหว่างวันที่ 21 - 25 มิถุนายน 2559. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีวิทยาเขตสุรินทร์, สุรินทร์.
- วิภาวรรณ กิตติวัชรเจริญ. 2548. ยาสูบพืชเศรษฐกิจของไทย. เอกสารวิชาการขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิชาการเกษตร 8 กลุ่มวิชาการ สถาบันวิจัยพืชไร่.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. สถิติการส่งออก-นำเข้า. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th>. ค้นเมื่อ 4 เมษายน 2559.
- สุริยา ตราชู และ บุญมี ศิริ. 2557. ผลของการพอกเมล็ดร่วมกับแมกนีเซียมซัลเฟตและโพแทสเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ยาสูบ. น. 1-8. ใน: การประชุมทางวิชาการเมล็ดพันธุ์พืชแห่งชาติครั้งที่ 11 ระหว่างวันที่ 20-23 พฤษภาคม 2557. โรงแรมแกรนด์จอมเทียนพาเลซ, ชลบุรี.
- สุริยา ตราชู และ บุญมี ศิริ. 2558. การพอกเมล็ดด้วย pumice talcum และ green cal ที่มีผลต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ยาสูบเวอร์จิเนีย. แก่นเกษตร. 43 (ฉบับพิเศษ 1): 83-88.
- Anil, V.S., and K.S. Rao. 2001. Calcium-mediated signal transduction in plants: a perspective on the role of Ca^{2+} and CDPKs during early plant development. Journal of Plant Physiology. 158: 1237-1256.
- Barker, A.V., and D.J. Pilbeam. 2007. Handbook of plant nutrition. CRC press, Boca Raton, FL.
- Burström, H.G. 1968. Calcium and plant growth. Biol. Rev. (Camb.). 43: 287-316.
- Bush, D.S. 1995. Calcium regulation in plant cells and its role in signaling. Annu Rev Plant Physiol Plant MolBiol. 46: 95-122.
- Caldelas, C., and D.J. Weiss. 2017. Zinc Homeostasis and isotopic fractionation in plants. Plant Soil. 411: 17-46.
- Copeland L.O., and M.B. McDonald. 1995. Principles of Seed Science and Technology. 3rd Edition. Chapman & Hall, New York.
- Guan, Y., J. Wang, Y. Tian, W. Hu, and L. Zhu. 2013. The Novel Approach to Enhance Seed Security: Dual Anti-Counterfeiting Methods Applied on Tobacco Pelleted Seeds. PLoS One. 8: e57274.
- ISTA. 2010. International Rules for Seed testing. Seed Science and technology. Glattbrugg, Switzerland.
- Kaewkham, T., R.K. Hynes, and B. Siri. 2016. The effect of accelerated seed ageing on cucumber germination following seed treatment with fungicides and microbial biocontrol agents for managing gummy stem blight by *Didymellaabryoniae*. Biocontrol Science and Technology. 26: 1048-1061.
- Kangsopa, J., and B. Siri. 2017. Seed germination and seedling growth of lettuce after seed pelleting with zinc. Khon Kaen Agri. J. 45: 553-560.
- Kaya, C., and D.E.B. Higgs. 2002. Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. Sci. Hortic. 93: 53-64.
- Kucera B.M., A. Cohn, and G. Leubner-Metzger. 2005. Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. Seed Science Research. 15: 281-307.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants, 2nd edition. Academic Press, London.
- Marschner, P. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd Edn. Elsevier, Academic Press, USA.
- Mengel, K., and E.A. Kirkby. 1978. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Worbhavefen-Bern, Switzerland.
- Mi, G.F. Chen, and F. Zhang. 2008. Multiple signaling pathways controls nitrogen-mediated root elongation in maize. Plant signaling & behavior. 3: 1030-1032.
- Portis, A.R.J. 1992. Regulation of ribulose 15-bisphosphate carboxylase/oxygenase activity. Annu Rev Plant Physiol. 43: 415-437.
- Roy J., D. Shaklega, P. Callery, and J. 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: 1-7.
- Shashibhaskar, M.S., S.N. Vasudevan, Nagabhushan, and V. Ramanjinappa. 2011. Effect of seed pelleting treatment on growth, seed yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) CV. PKM-1. Plant Archives. 11: 443-445.
- Wedding, R.T., and M.K. Black. 1988. Role of magnesium in the binding of substrate and effectors to phosphoenolpyruvate carboxylase from a CAM plant. Plant Physiol. 87: 443-446.
- Wyn Jones, R.G., and O.R. Lunt. 1967. The function of calcium in plants. Bot. Rev. 33: 407-426.