ผลของการพอกเมล็ดพันธุ์ด้วยธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันต่อความงอก ความแข็งแรง และการเจริญเติบโตของต้นกล้ามะเขือเทศลูกผสม

Effect of Seed Pelleting with Different Plant Nutrients on Seed Germination, Vigor and Seedling Growth of Hybrid Tomato

สันติภาพ ไชยสาร[1] และ บุญมี ศิริ[1*]

Santipap Chaiyasarn[1] and Boonmee Siri[1*]

บทคัดย่อ: เมล็ดพันธุ์มะเขือเทศมีขนาดเล็ก รูปร่างแบน บาง ขนาดเบา และอาหารสะสมในเมล็ดน้อย การพอกเมล็ดพันธุ์โดยเฉพาะการพอกร่วมกับธาตุอาหารพืชเป็นวิธีการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ให้สูงขึ้น ทำให้ต้นกล้าสามารถเจริญเติบโตและสม่ำเสมอมากขึ้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารพืชในการพอกเมล็ดที่มีผลต่อคุณภาพและการเจริญเติบโตของเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศลูกผสม ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ โรงงานปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยนำเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศมาพอกโดยใช้ calcium sulfate อัตรา 100 กรัม ต่อเมล็ด15 กรัม และใช้ Methyl hydroxylethyl cellulose ที่ความเข็มข้น 0.7% โดยน้ำหนักเป็นวัสดุประสาน นำมาพอกร่วมกับธาตุอาหารพืชโดยแบ่งออกได้เป็น 8 กรรมวิธี คือเมล็ดไม่พอก, การพอกเมล็ดปราศจากธาตุอาหารพืช, การพอกเมล็ดร่วมกับสูตรที่ (F1) และสูตรที่ (F2) สูตรละ 3 ความเข้มข้น ที่ความเข้มข้น1, 2 และ 3 เท่าตามลำดับ (M1, M2 และ M3) (F1M1, F1M2, F1M3 และ F2M1,F2M2,F2M3) โดยทุกกรรมวิธีใช้ธาตุอาหารพืชอัตรา 10 มิลลิลิตร ต่อเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ 15 กรัม ผลการทดลองพบว่าการพอกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศร่วมกับธาตุอาหารพืชทั้ง 2 สูตร ไม่ทำให้ความงอกของเมล็ดพันธุ์แตกต่างกันกับเมล็ดที่ไม่ได้พอกเมื่อตรวจสอบทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลอง ด้านการเจริญเติบโตพบว่าการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืชทุกกรรมวิธีการทำให้ต้นกล้ามีความยาวต้น น้ำหนักแห้งต้น และความยาวรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเมล็ดไม่พอก ซึ่งผลการทดลองนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการเร่งอายุ จากการทดลองนี้สรุปได้ว่าการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืชสูตร F1M3 ทำให้คุณภาพเมล็ดพันธุ์ และการเจริญเติบโตของต้นกล้ามะเขือเทศมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่พอก

คำสำคัญ: การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ ธาตุอาหารพืช

Received December 26, 2018

Accepted April 26, 2019

[1] สาขาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

Program in Agronomy, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

[*] Corresponding author: boonmee@kku.ac.th

ABSTRACT: Tomato seeds are flat in shape low in size and small food storage. Seed pelleting together with plant nutrient is the method for enhancing seedling growth and uniformity. This research aimed to study the effect of seed pelleting with plant nutrient on seed germination and seedling growth of hybrid tomato. 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 100 g and methyl hydroxylethyl cellulose (MHEC) was used as binder with concentration of 0.7% by weight. Then each formulation of plant nutrient was used for seed pelleting consisting of unpelleted seed, pelleted without plant nutrient, pelleted seed with (F1) and (F2) plant nutrient formulas, used 3 time of formulas (M1, M2 and M3) (F1M1, F1M2, F1M3, F2M1, F2M2 and F2M3). All treatment methods of pelleting the seeds with plant nutrients were used rate of 10 ml per 15 g of seed weight. The results showed that germination of tomato seeds pelleted paste with two nutrient formula was not significantly different from unpelleted seed when tested under the laboratory and greenhouse conditions. The seedling growth showed that the pelleted seeds with all of plant nutrient formulas increased shoot length, shoot dry weight and root length when compared with unpelleted seed. Germination of accelerated aging seeds showed the same trend. In summary, the pelleted seed with F1M3 had highest seedlings growth when compared with unpelleted seed.
Keywords: Seed enhancement, Tomato seed, Plant nutrient

บทนำ

ประเทศไทยสร้างรายได้จากผลผลิตของมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ในการส่งออกคิดเป็น 8,905 ตัน โดยมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงถึง 404 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) ปัญหาสำคัญในการผลิตมะเขือเทศจากลักษณะของเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศที่มีรูปร่างแบน บาง ขนาดเบา ทำให้ยากต่อการเพาะเมล็ดพันธุ์ในถาดเพาะและจากการที่เมล็ดมีขนาดเล็กทำให้มีอาหารสะสมในเมล็ดน้อย จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นกล้างอกไม่สม่ำเสมอ พัฒนาการและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าช้า มะเขือเทศบางสายพันธุ์มีการเจริญเติบโตผิดปกติ การนำเทคโนโลยีการพอกเมล็ดพันธุ์ (seed pelleting) เข้ามาใช้ทำให้เมล็ดมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีรูปร่างสม่ำเสมอจึงเป็นการปรับเปลี่ยนขนาดและรูปร่างของเมล็ดพันธุ์ให้มีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูกยิ่งขึ้น (จักรพงษ์ และบุญมี 2557; บุญมี, 2558; Zenk, 2004; Maynard and Hochmuth, 2007; Gregg and Billups, 2010) นอกจากนี้การพอกเมล็ดพันธุ์สามารถเพิ่มสารออกฤทธิ์จำพวกธาตุอาหารพืชที่มีส่วนสำคัญต่อกระบวนการงอกและการเจริญเติบโตในระยะกล้าได้อีกด้วย เนื่องจากธาตุอาหารพืชจะละลายอยู่ในรัศมีของรากทำให้เมล็ดพันธุ์เมื่องอกเป็นต้นกล้าจะสามารถนำธาตุอาหารไปใช้ได้ทันที (ภาณี และคณะ, 2540) ซึ่งจากงานวิจัยของ Kangsopa and Siri (2017) พบว่าเมื่อพอกเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมร่วมกับ $ZnSO_4.7H_2O$ อัตรา 0.6 กรัม ทำให้น้ำหนักแห้ง ความสูงต้น และความยาวรากสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการพอก เช่นเดียวกันPonnusamy et al. (2003) พบว่าการพอกเมล็ดถั่วดำร่วมกับธาตุอาหารพืชกลุ่มจุลธาตุอัตรา 120 กรัมต่อ 1 กรัมเมล็ดพันธุ์ทำให้ผลผลิตสูงขึ้น 7.20 กิโลกรัมต่อแปลงปลูก และยังทำให้ความงอกและน้ำหนักเมล็ดสูงขึ้น 95 และ 93 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ทดสอบพอกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศร่วมกับธาตุอาหารพืชในอัตราที่แตกต่างกัน และติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและพัฒนาการการเจริญเติบโตของต้นกล้ามะเขือเทศหลังการพอก ซึ่งผลจากการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นแนวทางในการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ และการเพาะปลูกมะเขือเทศให้มีผลผลิตและคุณภาพเพิ่มสูงขึ้น

วิธีการศึกษา

ดำเนินการการทดลองที่อาคารโรงงานปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ตั้งแต่เดือน มกราคม ถึงเดือน พฤษภาคม 2661 ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงานทดลองดังนี้

การพอกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศร่วมกับธาตุอาหารพืช

นำเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศลูกผสมมาพอกเมล็ดโดยใช้วัสดุพอก คือ Calcium sulfate อัตรา 100 กรัม และใช้ Methyl hydroxylethyl cellulose ที่ความเข้มข้น 0.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตรา 150 มิลลิลิตร เป็นวัสดุประสาน ซึ่งมีกรรมวิธีการทดลอง 8 กรรมวิธี ประกอบด้วย เมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการพอก (Unpelleted) เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการพอกด้วย Calcium sulfate (Pelleted) และเมล็ดพันธุ์ที่พอกร่วมกับธาตุอาหารพืชตามอัตราที่แนะนำของ Jensen and Malter (1995) (F1) และ Mao et al. (1980) (F2) โดยปรับความเข้มข้นเป็น 1, 2 และ 3 เท่า (M1, M2 และ M3 ตามลำดับ) ดังแสดงใน Table 1 และ 2 แต่ละกรรมวิธีใช้เมล็ดพันธุ์มะเขือเทศลูกผสม 15 กรัม จากนั้นนำมาพอกเมล็ดด้วยเครื่องพอกเมล็ดแบบถังหมุน รุ่น SKK11 แล้วนำเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการพอกมาลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบลมแห้งรุ่น SKK09 ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นสุ่มเมล็ดพันธุ์พอกมะเขือเทศไปตรวจสอบคุณภาพและการเจริญเติบโตในระยะกล้าของต้นกล้ามะเขือเทศ

การเตรียมสูตรธาตุอาหารพืช

เตรียมสูตรธาตุอาหารพืชของ F1= Jensen and Malter (1995) แยกเตรียมระหว่างธาตุหลักและธาตุอาหารรอง(Table1) และทำการเตรียมธาตุอาหารพืชสูตร F2 = Mao et al. (1980) โดยผสมธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองลงในน้ำบริสุทธิ์จำนวน 1,000 มิลลิลิตร ในหน่วย (ppm) ตามอัตราแนะนำ (Table2)

Table1 Preparation of micronutrient solution for F1 nutrient solution (Jensen and Malter, 1995)

Chemical compounds	% element content		F1 (ppm)[/A]		
	%	%	F1M1	F1M2	F1M3
H_3BO_3	17.5% B	-	16,667	33,334	50,001
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	17% Mn	-	15,000	30,000	45,000
$CuCl_2 \cdot 2H_2O$	26.3% Cu	58.7% Cl	822	1,644	2,466
MoM_3	66% Mo	-	333	666	999
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	36% Zn	-	2,622	5,244	7,866

[A/]Add water mixture of micronutrients to make 450 ml of stock solution. Use 0.25 ml of this micronutrient stock in each 1 liters of nutrient solution from (Table 2)

Table2 Concentration of chemical compounds providing plant nutrients for each of nutrient formula and concentration combination used for pelleting tomato seeds.

Chemical compounds	% element content		F1 (ppm) [/1]			F2 (ppm) [/1]		
	%	%	F1M1	F1M2	F1M3	F2M1	F2M2	F2M3
$(NH_4)_2SO_4$	21% N	24% S	-	-	-	2,380	4,760	7,140
KNO_3	38% K	13% N	62	124	186	-	-	-
KH_2PO_4	28.7% K	22.7% P	199	398	597	1,880	3,760	5,640
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	21% Ca	15% N	122	244	366	-	-	-
$CaCl_2$	36% Cl	-	-	-	-	190	380	570
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	14% S	10% Mg	50	100	150	190	380	570
K_2SO_4	23% S	21% K	113	226	339	-	-	-
Fe - EDTA	13% Fe	-	2.5	5	7.5	-	-	-
$FeSO_4.7H_2O$	20% Fe	-	-	-	-	1,560	3,120	4,680
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	36% Zn	-	-	-	-	190	380	570
$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.2H_2O$	54% Mo	-	-	-	-	1,560	3,120	4,680

F1= Jensen and Malter(1995) and F2 = Mao et al.(1980);[/1] M1 = 1 time concentration, M2 = 2 time concentration, M3 = 3 time concentration

การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ

ความงอกของเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ สุ่มเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านกระบวนการพอกและไม่พอกเมล็ด จำนวน 4 ซ้ำๆละ 100 เมล็ดมาทดสอบความงอกโดยวิธี Top of Paper (TP) จากนั้นนำไปไว้ในตู้เพาะความงอกอุณหภูมิสลับ (16 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส และ 8 ชั่วโมง ที่ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์) โดยทำการนับ ความงอกครั้งแรก (first count) หลังจากเพาะ 5 วันและนับครั้งสุดท้าย (final count) หลังเพาะ 14 วัน ตามวิธีของ (ISTA, 2013)

ความงอกของเมล็ดพันธุ์ในสภาพเรือนทดลอง สุ่มเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านกระบวนการพอก และไม่พอกจำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 100 เมล็ด มาทดสอบความงอกในถาดหลุมใช้พีทมอสเป็นวัสดุเพาะต้นกล้า และนำมาประเมินผลการตรวจสอบความงอกตามวิธีของ (ISTA, 2013) โดยทำการนับความงอกครั้งแรก (first count) หลังจากเพาะ 5 วัน และนับครั้งสุดท้าย (final count) หลังเพาะ 14 วัน

ความเร็วในการงอกทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพเรือนทดลอง ทดสอบความเร็วในการงอก ของเมล็ดตามวิธีของ (ISTA, 2013) โดยนับต้นกล้าที่งอกปกติตั้งแต่วันนับความงอกครั้งแรก (first count) ถึงวันสุดท้ายในการนับ (final count) จากนั้นนำผลมาคำนวณหาความเร็วในการงอกของเมล็ดจากสูตรดังนี้

$$\text{ความเร็วในการงอกในห้องปฏิบัติการและในเรือนทดลอง} = \left(\sum \frac{\text{ของจำนวนต้นกล้าปกติที่งอกในแต่ละวัน)}}{\text{จำนวนวันหลังการเพาะ}}\right)$$

การงอกรากของเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ สุ่มเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านกระบวนการพอกและไม่พอก จำนวน 4 ซ้ำๆละ 100 เมล็ด นำมาทดสอบความงอกรากโดยวิธี Top of Paper (TP) จากนั้นนำไปไว้ในตู้เพาะความงอกอุณหภูมิสลับ จากนั้นตรวจนับการงอกของรากวันที่ 3-5 วันหลังการเพาะทดสอบ (กิตติวรรณ, 2559)

การตรวจสอบการเจริญเติบโต

ความยาวรากและความยาวลำต้น สุ่มต้นกล้าตรวจสอบ โดยทั้งหมดทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 10 ต้น โดยการ ตรวจวัดความยาวลำต้นจะวัดตั้งแต่บริเวณโคนต้นจนถึงปลาย ส่วนความยาวรากวัดตั้งแต่โคนรากจนถึงปลายราก (มิลลิเมตร) ในสภาพห้องปฏิบัติการ ตรวจวัดความยาวรากและความยาวลำต้นเมื่อต้นกล้ามะเขือเทศอายุ 14 วันหลัง เพาะเมล็ด ส่วนในสภาพเรือนทดลอง ตรวจสอบความยาวลำต้นเมื่อต้นกล้าโดยตัดส่วนลำต้นของต้นกล้าเหนือผิววัสดุปลูกอายุ 14 วัน และ 30 วันหลังเพาะเมล็ด

การตรวจสอบน้ำหนักแห้งของต้นกล้า นำต้นกล้าที่ได้จากหัวข้อที่ 1 ไปตรวจสอบน้ำหนักแห้งของต้นกล้า โดยทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 20 ต้น โดยการอบในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง

การประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการเร่งอายุ

ทำโดยวางเมล็ดพอกและไม่พอกใส่ในถุงผ้าลงบนตะแกรงที่อยู่ในกล่องเร่งอายุ มีน้ำปริมาณ 100 มิลลิลิตร โดยให้ระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าตะแกรง 2 เซนติเมตร ปิดกล่องให้สนิทแล้วนำไปไว้ในตู้เร่งอายุเมล็ดพันธุ์อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง จากนั้นตรวจสอบ การงอกราก ความงอก และความเร็วในการงอกตามวิธีของ (ISTA, 2013)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลผลของการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืชด้วยชนิดและอัตราที่แตกต่างกันตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แปลงข้อมูลความงอกและการงอกรากของเมล็ดพันธุ์ โดยใช้วิธี Arcsine transformation เพื่อวิเคราะห์ทางสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของวิธีการพอกโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป SAS (version 9.3)

ผลการทดลองและวิจารณ์

การพอกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศร่วมกับธาตุอาหารพืชด้วยสูตรและอัตราแตกต่างกัน ทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์หลังการพอกแตกต่างกันโดยมีผลการทดลองดังนี้

คุณภาพของเมล็ดพันธุ์พอกมะเขือเทศหลังการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืช

จากการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศในสภาพเรือนทดลอง พบว่าการพอกเมล็ดพันธุ์ทุกกรรมวิธีไม่ทำให้ความงอกของเมล็ดพันธุ์แตกต่างกันกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่พอก และเมื่อตรวจสอบความเร็วในการงอก พบว่าการพอกเมล็ดด้วยสูตร F1M3 และ F2M3 ไม่ทำให้ความเร็วในการงอกแตกต่างกันในทางสถิติกับเมล็ดไม่พอกและวิธีการอื่นๆ ส่วนการตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ พบว่า การพอกเมล็ดทุกกรรมวิธีไม่ทำให้ความงอกแตกต่างกันกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่พอก และพบว่าการงอกรากของเมล็ดที่พอกแตกต่างกันทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการพอก ยกเว้นการพอกเมล็ดด้วยสูตร F1M3, F2M2 และ F2M3 ที่ทำให้การงอกของรากน้อยมากกว่าวิธีการอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการพอกมีความเร็วในการงอกมากกว่าการพอกเมล็ดทุกกรรมวิธีเพียงเล็กน้อย (1-2 ต้น/วัน) **(Table3)** ซึ่งจากผลการทดลองนี้น่าจะเป็นผลจากการใช้ calcium sulfate เป็นวัสดุพอกทำให้ก้อนพอกสามารถละลายง่ายในน้ำเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศจึงมีการดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็ว (สันติภาพ และคณะ, 2561) และการใช้ MHEC เป็นวัสดุประสานซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากอนุพันธ์เซลลูโลสจากธรรมชาติ (ดวงกมล และเตชิษฐ์, 2549) จึงทำให้สูตรการพอกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศทุกวิธีการนั้นไม่เป็นอุปสรรคต่อกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ แต่พบการงอกของรากและความเร็วในการงอกของต้นกล้าช้าเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่พอก ซึ่งผลจากการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยการพอกเมล็ดพันธุ์พืชชนิดอื่นๆ เช่น เมล็ดพันธุ์ยาสูบ (สุริยา, 2559) เมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ (วัชลาวลี และคณะ, 2561) เมล็ดผักกาดหอม (ศศิประภา และบุญมี, 2561) และข้าวโพดไร่ (นงนุช, 2557) ซึ่งการพอกเมล็ดไม่ส่งผลให้ความงอกของเมล็ดพันธุ์ลดลง

Table3 Germination percentage, speed of germination and radicle emergence (RE) of pelleted tomato seeds with different types and rates of plant nutrient tested under greenhouse and laboratory conditions

Treatments[1/]	Greenhouse condition		Laboratory condition		
	Germination[3/] (%)	Speed of germination (seedlings/day)	RE[3/] (%)	Germination[3/] (%)	Speed of germination (seedlings/day)
Unpelleted	85	16.48 a[2/]	88 a	86	13.95 a
Pelleted (P)	87	14.80 bc	85 ab	88	12.00 b
(P) + F1M1	90	14.95 bc	85 ab	90	11.36 b
(P) + F1M2	90	14.99 bc	84 a-c	90	11.48 b
(P) + F1M3	91	15.42 a-c	79 c	92	11.70 b
(P) + F2M1	90	14.08 c	83 a-c	92	11.67 b
(P) + F2M2	92	15.10 bc	82 bc	90	11.21 b
(P) + F2M3	90	15.85 ab	81 bc	89	11.13 b
F-Test	ns	*	*	ns	*
CV. (%)	5.26	4.85	3.31	7.78	7.25

ns, * : non significantly and significantly different at $P \leq 0.05$.

[1/] F1= Jensen and Malter(1995) and F2 = Mao et al.(1980);M1 = 1 time concentration, M2 = 2 time concentration, M3 = 3 time concentration

[2/] Means within a column followed by the same letter are not significantly at $P \leq 0.05$ by DMRT.

[3/] Data are transformed by the arcsine before statistical analysis.

การเจริญเติบโตของต้นกล้ามะเขือเทศหลังการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืช

หลังจากการพอกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศร่วมกับธาตุอาหารพืชด้วยสูตรตำรับที่แตกต่างกัน พบว่าความสูงของต้นกล้ามะเขือเทศที่เพาะ 14 และ 30 วัน มากกว่าต้นกล้ามะเขือเทศที่เพาะจากเมล็ดพันธุ์ที่พอกโดยปราศจากธาตุอาหารพืช และพบว่าต้นกล้ามีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น 17-46% เมื่อต้นกล้า 30 วัน ทำให้น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 12-50% เมื่อพอกด้วยตำรับที่มีธาตุอาหารแตกต่างกันเมื่อตรวจสอบในสภาพเรือนทดลอง **(Table4)** และผลการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อพอกด้วยธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันทำให้ความสูงของต้นกล้าเพิ่มขึ้น 85-103% และทำให้ความยาวของรากเพิ่มขึ้น 56-73% เมื่อเทียบกับเมล็ดเมล็ดไม่พอกและเมล็ดที่พอกโดยปราศจากธาตุอาหารพืชเมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการพอกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศร่วมกับธาตุอาหารพืชทำให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการพอกอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากธาตุอาหารพืชที่เกาะยึดรวมอยู่กับสารพอกที่ห่อหุ้มอยู่รอบๆ เมล็ดมีส่วนช่วยในกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ ซึ่งในการทดลองนี้ได้ปรับใช้สูตรของธาตุอาหารรวม ที่ได้ดัดแปลงมาจากการปลูกพืชในน้ำระบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponic system) ที่มีชนิดและอัตราของธาตุอาหารแตกต่างกัน จึงทำให้ธาตุอาหารสามารถส่งเสริมพัฒนาการของต้นกล้ามะเขือเทศได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะบทบาทของไนโตรเจน (N) ที่มีส่วนช่วยในกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง (Huett and Dettmann,1991) และฟอสฟอรัส (P) ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก ทำให้รากมีประสิทธิภาพดูดน้ำและธาตุอาหารได้ดียิ่งขึ้น (ธรรมนูญ, 2526) ส่วนโพแทสเซียม(K) มีบทบาทต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงการหายใจของพืชและกระตุ้นให้เอนไซม์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (สรสิทธิ์, 2535) นอกจากนี้กลุ่มของธาตุอาหารรองโดยเฉพาะ แคลเซียม(Ca) สามารถส่งเสริมผนังเซลล์เพื่อช่วยทำให้ต้นพืชแข็งแรง (ธรรมนูญ, 2526) รวมทั้ง แมกนีเซียม (Mg) และ เหล็ก (Fe) ที่มีบทบาทหน้าที่ช่วยในการสังเคราะห์แสงของพืชเป็นต้น ทั้งนี้การใช้ธาตุอาหารพืชรวมที่มีปริมาณหรือความเข้มข้นที่เพียงพอจะช่วยทำให้พัฒนาการและเจริญเติบโตของต้นพืชดีขึ้นตามช่วงชีพจักรของพืชนั้นๆ (George and Robert, 2015) เช่นเดียวกันจากงานวิจัยของ สันติภาพ และ บุญมี (2561) ที่ใช้สูตรธาตุอาหารพืชรวมของ Hoagland (1938) และ Yamasaki (1982) พอกเมล็ดมะเขือเทศมีผลทำให้ความยาวของราก ความสูงของต้น และน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลจากการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shashibhaskar et al. (2011) ที่พอกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศร่วมกับ ZnSo4 อัตรา 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเมล็ดพันธุ์ ทำให้ต้นกล้ามะเขือเทศมีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตที่สูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการพอก

คุณภาพของเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศหลังการพอกร่วมกับธาตุอาหารพืชเมื่อผ่านการเร่งอายุ

เมื่อนำเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศที่ผ่านการพอกร่วมกับธาตุอาหารพืชและเมล็ดที่ไม่ได้พอกมาตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการพอกเมล็ดทุกวิธีการไม่ทำให้ความงอกและความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์แตกต่างกันทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่พอก เมื่อตรวจสอบในสภาพเรือนทดลอง ส่วนการตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติของความงอกของเมล็ดพันธุ์ แต่พบการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันของการงอกรากและความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ พบว่าเมล็ดที่ไม่พอกมีความเร็วในการงอกเร็วมากกว่าเมล็ดที่ผ่านการพอกเล็กน้อย แต่ไม่มีผลขัดขวางต่อกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ และจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมล็ดไม่พอกมีการงอกรากสูงที่สุดเมื่อเทียบกับทุกวิธีการ ซึ่งเมล็ดที่พอกทุกวิธีการมีการงอกรากช้าเล็กน้อยประมาณ 13-26% เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่พอก ทั้งนี้เมื่อผ่าน 7-14 วันหลังเพาะ การพอกเมล็ดทุกวิธีการสามารถงอกรากได้เทียบเท่ากับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการพอก แต่เมื่อตรวจสอบความงอกกลับพบว่ามีความงอกที่ลดลง และจากการสังเกตในงานทดลองนี้ พบว่าเมล็ดไม่พอกแสดงอาการที่ผิดปกติของต้นกล้าทำให้มีความงอก

Table4 Seedling growth of pelleted tomato seeds with different types and rates of plant nutrient tested under laboratory and greenhouse conditions.

Treatments[1/]	Greenhouse condition								Laboratory condition			
	Shoot length (cm)				Shoot dry weight (mg)				Shoot length (cm)		Root length (cm)	
	14 Day	(%)[3/]	30 Day	(%)[3/]	14 Day	(%)[3/]	30 Day	(%)[3/]	14 Day	(%)[3/]	14 Day	(%)[3/]
Unpelleted	5.66 c		16.46 b		186 d		1816 d[2/]		4.06 b		4.40 b	
Pelleted (P)	8.10 b	(43)	17.80 b	(8)	196 d	(5)	1880 d	(4)	4.73 b	(17)	5.50 ab	(25)
(P) + F1M1	9.16 a	(62)	24.06 a	(46)	243 b	(30)	2503 ab	(38)	7.70 a	(90)	7.45 a	(69)
(P) + F1M2	9.33 a	(65)	22.40 a	(36)	260 ab	(39)	2616 a	(44)	7.80 a	(92)	6.85 a	(56)
(P) + F1M3	9.30 a	(64)	23.40 a	(42)	271 a	(46)	2716 a	(50)	7.52 a	(85)	7.36 a	(67)
(P) + F2M1	9.46 a	(67)	23.86 a	(45)	218 c	(17)	2026 cd	(12)	7.72 a	(90)	7.63 a	(73)
(P) + F2M2	9.56 a	(69)	23.00 a	(40)	251 ab	(35)	2200 c	(21)	7.88 a	(94)	7.11 a	(62)
(P) + F2M3	9.53 a	(68)	24.80 a	(51)	271 a	(46)	2270 bc	(25)	8.24 a	(103)	7.53 a	(71)
F-Test	**		**		**		**		**		*	
CV. (%)	3.46		6.55		4.54		6.46		12.57		17.80	

*, **: significantly different at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$ respectively.

[1/] F1= Jensen and malter(1995), F2 = Mao et al.(1980) ; M1 = 1 time concentration, M2 = 2 time concentration, M3 = 3 time concentration

[2/] Means within a column followed by the same letter are not significantly at $P \leq 0.05$ by DMRT.

[3/] The number in parenthesis refer to percentage of increment compared to the unpelleted seed.

ที่ลดลง โดยการเร่งอายุจะทำให้เมล็ดพันธุ์เกิดสารอนุมูลอิสระและเกิดปฏิกิริยา Reactive oxygen species (ROS) (Lee et al., 2012) และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิดและโปรตีน (Murthy and Sun, 2000) ที่เป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายต่อผนังเซลล์ (Parkhey et al., 2012) ซึ่งส่งผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (Kaewnareea et al., 2008) และส่งผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ เช่น superoxide dismutase, catalase, peroxidase และ glutathione ลดลงอย่างชัดเจน (Lehner et al., 2008) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ทำให้ความงอกของเมล็ดพันธุ์ลดลง (Soltani et al., 2008) รวมไปถึงเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของต้นกล้าหลังการงอกอีกด้วย (Gidrol et al.,1990) ทั้งนี้การพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มความหนาของเปลือกหุ้มเมล็ดหลังจากการพอกช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมต่างๆ (Gawande et al., 1980) และธาตุอาหารที่เป็นส่วนผสมยังช่วยลดสภาวะเครียดจากการเร่งอายุยกตัวอย่างเช่น เหล็ก (Fe) ที่มีบทบาทต่อการส่งเสริมกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidases และ catalases รวมไปถึงทองแดง (Cu) ที่มีบทบาทต่อการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ CuZn-superoxide มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการสร้างเอนไซม์ต้านภาวะเครียดออกซิเดชั่น (Zelko et al., 2002) ทำให้มีการรักษาสมดุลกิจกรรมของเอนไซม์อย่างต่อเนื่องหลังเร่งอายุ

Table 5 Germination percentage, speed of germination and radicle emergence (RE) of pelleted tomato seeds with different types and rates of plant nutrients tested under laboratory and greenhouse conditions after accelerated ageing.

Treatments[1/]	Greenhouse condition		Laboratory condition		
	Germination[3/] (%)	Speed of germination (seedling/day)	RE[3/] (%)	Germination[3/] (%)	Speed of germination (seedling/day)
Unpelleted	61	10.88	85 a[2/]	75	12.95 a
Pelleted (P)	64	10.41	74 b	84	10.64 b
(P) + F1M1	71	11.46	72 bc	86	11.21 b
(P) + F1M2	76	12.90	73 bc	88	11.32 b
(P) + F1M3	75	12.15	72 bc	90	11.43 b
(P) + F2M1	71	11.46	63 cd	85	10.60b
(P) + F2M2	74	12.04	57 d	89	10.72 b
(P) + F2M3	76	12.74	65 b-d	88	10.98 b
F-Test	ns	ns	**	ns	**
CV. (%)	7.55	10.08	5.75	5.87	6.06

ns , **: non significantly, significantly different at $P \leq 0.01$ respectively.

[1/] F1= Jensen and malter(1995), F2 = Mao et al.(1980); M1 = 1 time concentration, M2 = 2 time concentration, M3 = 3 time concentration

[2/] Means within a column followed by the same letter are not significantly at $P \leq 0.05$ by DMRT.

[3/] Data are transformed by the arcsine before statistical analysis.

การเจริญเติบโตของต้นกล้ามะเขือเทศที่ผ่านการพอกหลังการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์

เมื่อนำเมล็ดพันธุ์มาตรวจสอบการเจริญเติบโตของต้นกล้ามะเขือเทศที่พอกร่วมกับตำรับธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกัน พบว่าความสูงของต้นกล้ามะเขือเทศที่ 14 วันหลังเพาะ การพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืชทุกกรรมวิธีมีความสูงของต้นเพิ่มขึ้น 34-50% เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วัน ทำให้ความสูงของต้นกล้าเพิ่มขึ้น 10-39% เมื่อเทียบกับเมล็ดไม่พอกและเมล็ดที่พอกโดยปราศจากธาตุอาหารพืช นอกจากนี้น้ำหนักแห้งลำต้นของต้นกล้ามะเขือเทศที่อายุ 14 วัน ยังคงเห็นได้ชัดว่าการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืชทุกวิธีการทำให้น้ำหนักแห้งลำต้นเพิ่มขึ้น 28-61% และเมื่อต้นกล้าอายุได้ 30 วัน พบการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันที่ทำให้น้ำหนักแห้งของต้นกล้ามะเขือเทศเพิ่มขึ้น 12-65% และแตกต่างในทางสถิติเมื่อเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านการพอกเมล็ด ส่วนการตรวจสอบในภาพห้องปฏิบัติการพบว่า การพอกเมล็ดมะเขือเทศด้วยธาตุอาหารพืชทุกวิธีการทำให้ลำต้นของต้นกล้ามะเขือเทศยาวเพิ่มขึ้น 78-111% และแตกต่างในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดไม่พอก แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงความยาวของรากต้นกล้ามะเขือเทศที่แตกต่างกันของทุกวิธีการทดลอง (Table6)

ทั้งนี้กระบวนการเร่งอายุเป็นวิธีการที่ใช้ทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ โดยที่เมล็ดพันธุ์จะได้รับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง ทำให้เมล็ดพันธุ์สูญเสียความมีชีวิตและความแข็งแรง (Tian et al. 2008) ทำให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพส่งผลให้ความงอกลดลง (Mosavi et al., 2011) ซึ่งอาจใช้คาดคะเนความสามารถในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ได้ (บุญมี, 2552) เพราะการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์จะทำให้เมล็ดพันธุ์ถูกเร่งกระบวนการหายใจ แล้วเมล็ดจะปลดปล่อยพลังงานความร้อนและความชื้น ทำให้เมล็ดเสื่อมสภาพเร็วมากขึ้น (Al-Maskri et al., 2003, Kapoor et al., 2011, Bewley et al., 2013) จากปัจจัยดังกล่าวทำให้เมล็ดพันธุ์ทุกวิธีการทดลองได้รับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมจนทำให้คุณภาพความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ามะเขือเทศลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่เร่งอายุ ตารางที่ 3 และ 4 อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารทุกกรรมวิธีสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตต้นกล้ามะเขือเทศเพิ่มมากขึ้น ซึ่งธาตุอาหารบางชนิดที่ติดไปกับเมล็ดพันธุ์พอกมีบทบาทสำคัญต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ช่วยในการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (Marschner, 1995) อีกทั้งส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากพืช ทั้งรากแก้ว รากฝอย และรากแขนง (Smith and Read, 2008) รวมถึงช่วยกระตุ้นการสร้างสารที่มีผลต่อการงอกของราก เช่น glucose, auxins, ethylene, cytokinins, nitric oxide (NO) และ reactive oxygen species (Niu et al., 2013) จากปัจจัยดังกล่าวทำให้ต้นกล้ามะเขือเทศที่สูญเสียพลังงานจากกระบวนการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ยังคงมีแหล่งอาหารสำรองคือธาตุอาหารพืชที่ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการพอกทำให้ต้นกล้าสามารถนำมาใช้ได้ทันที จึงสามารถเจริญเติบโตมีความยาวลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักแห้งลำต้นของต้นกล้ามากกว่าต้นกล้าของเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้ผ่านการพอกร่วมกับธาตุอาหารพืชอย่างชัดเจน

สรุป

จากการทดสอบผลของการพอกเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศลูกผสมร่วมกับธาตุอาหารพืชความเข้มข้นต่างๆ ต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้า สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

การพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืชทั้ง 2 สูตร ไม่ทำให้ความงอกของเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศลดลงเมื่อตรวจสอบทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและในสภาพเรือนทดลอง

ธาตุอาหารพืชสูตร F1 และ F2 ทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น มีผลให้ความยาวของราก ความยาวของต้นกล้าและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเปรียบเทียบกับเมล็ดพันธ์ที่ไม่พอกและเมล็ดพอกโดยปราศจากธาตุอาหารพืช

การตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ที่พอกโดยสูตรธาตุอาหารพืชอัตราแตกต่างกันโดยเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ พบว่าเมล็ดพันธุ์ที่พอกด้วยธาตุอาหารพืชสูตร F1 ที่ความเข้มข้น 2 และ 3 เท่า และสูตร F2 ที่ความเข้มข้น 3 เท่า ทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้ามะเขือเทศที่ดี มีความยาวของราก ความยาวต้นกล้า และน้ำหนักแห้งเพิ่มสูงขึ้น

Table 6 Shoot length, root length and shootdry weight of pelleted tomato seeds with different types and rates of plant nutrients tested under laboratory and greenhouse conditionsafter accelerated ageing

Treatments[1/]	Greenhouse condition								Laboratory condition		
	Shoot length (cm)				Shoot dry weight (mg)				Shoot length (cm)		Root length (cm)
	14 Day	(%)[3/]	30 Day	(%)[3/]	14 Day	(%)[3/]	30 Day	(%)[3/]	14 Day	(%)[3/]	14 Day
Unpelleted	3.60 c[2/]		5.56 c		60 d		170 d		5.10 b		6.26
Pelleted (P)	3.96 c	(10)	5.43 c	(-2)	63 d	(5)	160 d	(-6)	5.16 b	(1)	6.26
(P) + F1M1	5.03 ab	(40)	6.40 b	(15)	90 ab	(50)	226 bc	(33)	9.38 a	(84)	9.50
(P) + F1M2	5.13 ab	(43)	6.70 b	(21)	96 a	(61)	280 a	(65)	9.66 a	(89)	9.53
(P) + F1M3	5.40 a	(50)	7.66 a	(38)	80 bc	(33)	233 a-c	(37)	10.77a	(111)	10.06
(P) + F2M1	4.83 b	(34)	6.13 bc	(10)	76 c	(28)	190 cd	(12)	9.10 a	(78)	7.73
(P) + F2M2	5.06 ab	(41)	6.50 b	(17)	83 bc	(39)	203 b-d	(20)	9.54 a	(87)	7.91
(P) + F2M3	5.00 ab	(39)	7.73 a	(39)	86 a-c	(44)	246 ab	(45)	10.14a	(99)	8.73
F-Test	**		**		**		**		**		ns
CV. (%)	4.80		6.79		7.25		12.52		12.82		25.63

ns, **: non significantly and significantly different $P \leq 0.01$

[1] F1= Jensen and malter(1995) and F2 = Mao et al.(1980) ; M1 = 1 time concentration, M2 = 2 time concentration, M3 = 3 time concentration

[2/] Means within a column followed by the same letter are not significantly at $P \leq 0.05$ by DMRT.

[3/] The number in parenthesis refer to percentage of increment (+) compared to the unpelleted seed.

แก่นเกษตร ปีที่ 47 () : 877-890 (2562). /doi: 10.14456/kaj.2019.82.

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ที่ให้ทุนสนับสนุนทุนการศึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณโรงงานปรับปรุงสภาพเมล็ดพันธุ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้การสนับสนุนในด้านสถานที่และวัสดุอุปกรณ์ในการทำงานทดลองในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กิตติวรรณ กล้ารอด. 2559. ผลของตำรับสารเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับฮอร์โมนพืชต่อคุณภาพเมล็ดและอายุการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

จักรพงษ์ กางโสภา และบุญมี ศิริ. 2557. อิทธิพลของวัสดุประสานที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการพอกเมล็ด ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ยาสูบพันธุ์เวอร์จิเนีย. แก่นเกษตร, 42: 201-210.

ดวงกมล ศรีราจันทร์ และเตชิษฐ์ ประสิทธิ์วุฒิเวช. 2549. การพัฒนาตำรับพญายอสำหรับใช้ภายนอก. โครงการพิเศษ ปริญญาเภสัชศาสตร์บัณฑิต. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

ธรรมนูญ ฤทธิ์มณี. 2526. ยาสูบ. กรุงสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 202 หน้า.

นงนุช แสงหิน. 2557. ผลของการพอกเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดไร่ขนาดเล็ก ด้วยฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่มีต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์การเจริญเติบโตของต้นกล้าและการผลิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

บุญมี ศิริ. 2552. วิทยาการเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น. 234 หน้า.

บุญมี ศิริ. 2558. การปรับปรุงสภาพและการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์. โรงพิมพ์คลังนานา, ขอนแก่น. 239 หน้า.

ภาณี ทองพำนัก, วุฒิชัย ทองดอนแอ, ประภาส ประเสริฐสูงเนิน, กนิษฐา สังคะหะ และญาณี มันอ้น. 2540. การเคลือบและการพอกเมล็ดพันธุ์พืชและการใช้ประโยชน์. รายงานผลวิจัยทุนอุดหนุนวิจัยปี 2540 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วัชลาวลี ทองจันทร์, นิวัต เหลืองชัยศรี และบุญมี ศิริ. 2561. ผลของการพอกเมล็ดพันธ์ร่วมกับธาตุอาหารพืชต่อความ งอกและการเจริญเติบโตต้นกล้าของมะเขือเทศลูกผสม. แก่นเกษตร, 46: 487-496.

ศศิประภา บัวแก้ว และบุญมี ศิริ. 2561. ลักษณะทางกายภาพและคุณภาพเมล็ดพันธ์ผักกาดหอมหลังการพอกด้วยวัสดุประสานและวัสดุพอกที่แตกต่างกัน. แก่นเกษตร, 46: 469-480.

สันติภาพ ไชยสาร และบุญมี ศิริ. 2561. ผลของการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืชต่อคุณภาพของมะเขือเทศลูกผสม. น. 1-12. ใน: การประชุมวิชาการเมล็ดพันธุ์พืชแห่งชาติ ครั้งที่ 15 19-21 มิถุนายน 2561. ณ โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ, เชียงใหม่.

สันติภาพ ไชยสาร, จักรพงษ์ กางโสภา และบุญมี ศิริ. 2561. ผลของการพอกเมล็ดพันธุ์ด้วยวัสดุประสานชนิดแตกต่างกันต่อลักษณะทางกายภาพของก้อนพอก และคุณภาพเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศลูกผสม. แก่นเกษตร, 46: 36-42.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2560. สถิติการค้าการค้าสินค้าเกษตรไทยไปกับต่างประเทศ ปี 2560. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

สุริยา ตราชู. 2559. ผลของการพอกเมล็ดพันธุ์ด้วยธาตุอาหารพืชที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ยาสูบ. วิทยานิพนธ์

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

Al-Maskri, Y., M. Khan, A. Khan, and K. Al-Habsi. 2003. Effect of accelerated ageing on viability, vigor (RGR), lipid peroxidation and leakage in carrot (*Daucuscarota* L.) seeds. International Journal of Agriculture and Biology, 5:580-584.

Bewley, J.D., K.J. Bradford, H.W.M. Hilhorst, and H. Nonogaki. 2013. Seeds Physiology of Development, Germination and Dormancy. 3th Edition. New York, Springer.

Gawande, M., S.C. Mohapatra, and W.H. Johnson. 1980. Effect of seed size and pelletization on tobacco seed germination under varying temperature regimes. Tobacco Science, 24: 49-52.

George, J.H, and C.H. Robert. 2015. Nutrient solution formulation for hydroponic (Perlite, Rockwool, NFT) tomatoes in florida. Available: http://edis.ifas.ufl.edu. Accessed December 18, 2018.

Gidrol, X., P.A. Sabelli, Y.S. Fern, and A.K. Kush. 1990. Annexin–like protein from Arabidopsis thaliana rescues delta oxyR mutant of Escherichia coli from H2O2 stress. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 93: 11268-11273.

Gregg, B.R, and G.L. Billups. 2010. Seed condition. 3th edition. P.O. Box 699, Enfield, HN 03748, USA

Hoagland, D.R, and Arnon, D.I. 1938. The water culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circulation, 347: 1-39.

Huett, D.O, and E.B. Dettmann. 1991. Nitrogen response surface models of zucchini squash, head lettuce and potato. Plant and Soil, 134: 243-254.

ISTA. 2013. International Rules for Seed Testing, Seed Science and technology. Glattbrugg, Switzerland.

Jensen, H, and J. Malter. 1995. Protected agriculture a Global review merle. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank 1818 H Street, N.W.Washington, D.C. 20433, U.S.A.

Kaewnareea, P., S. Vichitphan, P. Klanrit, B. Siri and K. Vichitphan. 2008. Electrolyte leakage and fatty acid changing association in accelerated aging sweet pepper seed. Journal of Biotechnology,136: 149-149.

Kangsopa, J, and B. Siri. 2017. Seed germination and seedling growth of lettuce after seed pelleting with zinc. Khon Kaen Agriculture Journa, 45: 553-560.

Kapoor, N., A. Arya, M.A. Siddiqui, H. Kumar, and Amir, A. 2011. Physiological and biochemical changes during seed deterioration in aged seeds of rice (*Oryza sativa* L.) American Journal of Plant Physiology, 6:28-35.

Lee, J., R. Welti, M. Roth, W. T. Schapaugh, J. Li, and H.N. Trick. 2012. Enhanced

seed viability and lipid compositional changes during natural ageing by suppressing phospholipase Dalpha in soybean seed. Plant Biotechnology Journal, 10: 164-173

Lehner, A., N. Mamadou, P. Poels, D. Côme, C. Bailly, and F. Corbineau. 2008. Changes in soluble carbohydrates, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in the embryo during ageing in wheat grains. Journal of Cereal Science, 47: 555-565.

Mao, D.R., M.J. Lock, and X.R. Wang. 1980. On a summer maize experiment with fertilizer seed pelleting. Journal Acta Agriculturae, 1: 45-46.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. San Diego, CA: Academic; Press, 379–396.

Maynard, D.N, and G.J. Hochmuth. 2007. Handbook of vegetable growers. 5th edition. John Wiley and Sons, Inc.

Mosavi, N.M., H. Gholami, G.H. Kord, M. Sadeghi, and E. Sedighi. 2011. Free fatty acid and electrical conductivity changes in cotton seed (*Gossypium hirsutum*). International Journal of Agricultural Science, 1: 62-66.

Murthy, U.N, and W.Q. Sun. 2000. Protein modification by the Amadori and Maillard reactions during seed storage: roles of sugar hydrolysis and lipid peroxidation. Journal of Experimental Botany, 51:1221-1228.

Niu,Y., Y. Xu, X.F. Liu, S.X. Yang, S.P. Wei, F.T. Xie, and Y.M. Zhang. 2013. Association mapping for seed size and shape traits in soybean cultivars. Molecular Breeding, 31: 785-794.

Parkhey, S., S.C. Naithani, and S. Keshavkant. 2012. ROS production and lipid catabolism in desiccating Shorea robusta seeds during aging. Plant Physiology and Biochemistry, 57: 261-267.

Ponnusamy, A.S., J. Vijaya, V. Krishnasamy, and K. Raja. 2003. Economics of seed hardening and pelleting treatment with productivity of black gram. ICAR Short Course on Seed Hardening and Pelleting Technologies for Rainfed/ Garden land Ecosystems, May 27-June 5, Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore, p.213.

Shashibhaskar, M.S., S.N. Vasudevan, Nagabhushan, and V. Ramanjinappa. 2011. Effect of seed pelleting treatment on growth, seed yield and quality of tomato (Lycopersicum esculentum Mill.) CV.PKM-1. Plant Archives, 11: 443-445.

Smith, S, and D. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. 9th Edition. Academic Press.

Soltani, E., S. Galeshi, B. Kamkar, and F. Akramghaderi. 2008. Modeling seed aging effects on the response of germination to temperature in wheat. Seed Science and Biotechnology, 2: 32-36.

Tian, X., S. Song, and Y. Lei. 2008. Cell death and reactive oxigen species metabolism during acceleratedageing of soybean axes. Russian Journal of Plant Physiology, 55: 33-40.

Yamazaki, K. 1982. Soilless Culture (in Japanese). Tokyo, Japan: Hakuyu Press.

Zelko, N., T.J. Mariani, and R.J. Folz. 2002. Superoxide dismutase multigene family: a comparison of the CuZn-SOD (SOD1), Mn-SOD (SOD2), and EC-SOD (SOD3) gene structures, evolution, and expression. Free radical biology and medicine, 33(3):337-349.

Zenk, P. 2004. Seed coatings get serious. Available: http://farmindustrynews.com/mag/ Accessed February 1, 2004.