

การเปลี่ยนแปลงความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าแครอท

หลังการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับธาตุอาหารพืช

Changes in Germination and Seedlings Growth of Carrot after Seed Pelleting with Plant Nutrients

จักรพงษ์ กางโสภา¹, เพชรรัตน์ จีเพชร¹, นรารัตน์ ทาวงค์¹, อรัญญา สิงโสภา¹ และสุริมาศ จันทะอินทร์¹
Jakkrapong Kangsopa¹, Phetcarat Jeepet¹, Nararat Thawong¹, Aranya Singsopa¹ and Sureemard Chantain¹

บทคัดย่อ

การเพาะปลูกแครอทเพื่อการค้ายังคงประสบปัญหาด้านการเพาะกล้า เนื่องจากเมล็ดพันธุ์แครอทมีรูปร่างแบน ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ทำให้เมล็ดมีความงอก ความแข็งแรงต่ำ และต้นกล้างอกไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาชนิดและปริมาณของธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมสำหรับพอกเมล็ดพันธุ์แครอท โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วยกรรมวิธีดังนี้ เมล็ดไม่พอก, การพอกเมล็ดด้วย calcium sulfate, การพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.048, 0.096 และ 0.192 กรัม, การพอกเมล็ดร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.064, 0.128 และ 0.256 กรัม, การพอกเมล็ดร่วมกับ KCl อัตรา 0.013, 0.026 และ 0.052 กรัม โดยใช้ calcium sulfate อัตรา 30 กรัมเป็นวัสดุพอก และใช้ carboxymethyl cellulose (CMC) อัตรา 0.1% (w/v) เป็นวัสดุประสานต่อเมล็ดพันธุ์แครอท 3 กรัม ผลการทดลองพบว่า การพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม ทำให้เมล็ดพันธุ์แครอทมีความงอกและความเร็วในการงอกสูงที่สุด และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ และการพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม และ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม ทำให้เมล็ดพันธุ์แครอทมีความยาวรากและความยาวต้นกล้าสูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ เมื่อเร่งอายุพบว่า การพอกเมล็ดด้วย KNO_3 ทุกอัตราทำให้เมล็ดมีความงอกและความเร็วในการงอกสูงมากกว่าการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารชนิดและอัตราอื่น ๆ แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดไม่พอก เมล็ดที่พอกร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.064 กรัม และเมล็ดที่พอกร่วมกับ KCl 0.013 กรัม และ 0.026 กรัม ส่วนการพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม และ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม มีความยาวต้น ความยาวราก และความยาวต้นกล้าสูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ ดังนั้นสรุปได้ว่าการพอกเมล็ดพันธุ์แครอทร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม จึงเป็นชนิดและปริมาณแนะนำสำหรับใช้พอกร่วมกับเมล็ดพันธุ์แครอทมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ

คำสำคัญ: การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ความงอก ความแข็งแรง ธาตุอาหารพืช

Abstract

Seeding is still a problem with the commercial cultivation of carrots. Due to the carrot seeds having a flat shape and small size, and being lightweight, there is a low degree of vigor and seedling uniformity among the seedlings. Therefore, the objective of this experiment was to determine the type and amount of plant nutrients suitable for carrot seed pelleting. The experiment was conducted at the Seed Technology Laboratory, Faculty of Agricultural Production, Maejo University. A completely randomized design was used as the experimental design, with four replications that consisted of non-pelleted seed, pelleted seed + calcium sulfate, pelleted seed + 0.048,

¹สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹Division of Agronomy, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, San Sai, Chiang Mai, 50290, Thailand

*Corresponding author, E-mail: jakkrapong_ks@mju.ac.th

0.096, or 0.192 g KNO₃, pelleted seed + 0.064, 0.128, or 0.256 g NaH₂PO₄.H₂O, and pelleted seed + 0.013, 0.026, or 0.052 g KCl. Calcium sulfate at 30 g was used as a filler material, and carboxymethyl cellulose (CMC) at 0.1% (w/v) was used as a binder for the carrot seed (3 g). The results show that seeds pelleted with 0.096 g KNO₃ had the best germination and highest speed of germination when compared to other pelleting methods, and the differences were statistically significant. Additionally, seeds pelleted with 0.096 g of KNO₃ and 0.256 g of NaH₂PO₄.H₂O had higher root and shoot lengths when compared to those pelleted with other methods, and the differences were statistically significant. In aging, all the rates of KNO₃ seeding resulted in higher seed germination and speed of germination than did other pelleted seeds with different types and rates of nutrients. However, there were no statistically significant differences when compared to non-pelleted seeds and seeds pelleted with NaH₂PO₄.H₂O at a rate of 0.064 g, and 0.013 g or 0.026 g KCl. Seeds pelleted with 0.096 g of KNO₃ and 0.256 g of NaH₂PO₄.H₂O had higher shoot and root lengths, and the differences were statistically significant when compared to seeds pelleted via other pelleting methods. Therefore, pelleting carrot seeds with 0.096 g of KNO₃ is the most suitable formula for use and is our recommendation.

Keywords: seed enhancement, germination, vigor, plant nutrition

คำนำ

แครอท (Carrot) เป็นพืชกินหัวชนิดหนึ่ง มีลักษณะยาว หัวแครอทมีหลายสี เช่น เหลือง ม่วง ส้ม เป็นต้น นอกจากนี้แครอทเป็นพืชที่อุดมไปด้วยสารเบต้าแคโรทีน วิตามินบี 1 บี 2 และสารโภชนาการสำคัญอื่น ๆ ช่วยทำให้ร่างกายมีภูมิคุ้มกันต่อต้านโรคหวัด เป็นต้น (Sharma, 2018) อย่างไรก็ตาม ในขั้นตอนการเพาะปลูกแครอทในเชิงการค้าส่วนใหญ่นำเข้าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเคลือบหรือพอกเมล็ดจากต่างประเทศ เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับผลิตเมล็ดพันธุ์แครอทต้องมีสภาพหนาวเย็น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 18-21 องศาเซลเซียส (Sharma, 2018) พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยจึงไม่เหมาะสมสำหรับผลิตเมล็ดพันธุ์แครอท อีกทั้งเมล็ดพันธุ์แครอทมีรูปร่างแบน ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ทำให้ไม่เหมาะกับการเพาะปลูกโดยใช้เครื่องมือการเกษตร จึงได้มีการนำเทคนิคการพอกเมล็ดพันธุ์มาเพื่อใช้แก้ปัญหา แต่การนำเข้าเมล็ดแครอทพอกจากต่างประเทศมีราคาขายประมาณ 0.6-1 บาทต่อเมล็ด จึงทำให้เกษตรกรรับภาระต้นทุนการเพาะปลูกสูงตั้งแต่ในกระบวนการอนุบาลต้นกล้า ทั้งนี้เมล็ดพอกจากการนำเข้ามีคุณสมบัติความงอก และความแข็งแรงสูง เนื่องจากมีส่วนผสมของธาตุอาหารพืชและสารเคมีป้องกันโรคที่มีความจำเป็นต่อการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้า

จากปัญหาดังกล่าว ทำให้การคิดค้นสูตรสารพอกเมล็ดแครอทร่วมกับธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมจะสามารถนำไปใช้ยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ที่ผลิตในประเทศไทยได้ โดยการพอกเมล็ดพันธุ์เป็นการเพิ่มขนาด และรูปร่างของเมล็ดให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เหมาะสมขึ้น เป็นการส่งเสริมการเพาะปลูกให้มีความสะดวก และรวดเร็วในการทำงานมากยิ่งขึ้น (Smith and Miller, 1987; Hill, 1999) และยังช่วยปกป้องเมล็ดพันธุ์จากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยไม่มีผลขัดขวางต่อกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ (บุญมี ศิริ, 2558; Zenk, 2004) นอกจากนี้ การพอกเมล็ดพันธุ์ยังสามารถเพิ่มธาตุอาหารในขั้นตอนการพอกเมล็ดพันธุ์ที่จำเป็นต่อการงอกและการเจริญเติบโตให้กับต้นกล้าพืชได้ ซึ่งในกระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์ต้องการธาตุอาหารพืชแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความต้องการของพืชและบทบาทของธาตุอาหารพืช อีกทั้งการพอกจะทำให้ธาตุอาหารกระจายตัวอยู่ในรัศมีของรากพืช ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ทันที เช่น การเพิ่มธาตุฟอสฟอรัสเพื่อช่วยกระตุ้นเอนไซม์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมต่อการงอกของเมล็ด (Yang, 2018) ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของราก รากฝอย และรากแขนง (Schachtman et al., 1998) ธาตุโพแทสเซียมกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ เร่งปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมของ

คาร์โบไฮเดรต และการแตกตัวเคลื่อนย้ายแป้งภายในเมล็ด (Sivanesan et al., 2011) และช่วยให้ต้นกล้าพืชมีความต้านทานต่อโรคต่าง ๆ ได้ดีเพิ่มขึ้น (Manning, 2010) ยกตัวอย่างการรายงานของ จักรพงษ์ กางโสภา และบุญมี ศิริ (2562) พบว่า เมื่อเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการพอกเมล็ดร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.4 และ 0.6 กรัม ทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอม ทั้งความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักกาดหอมได้สูงมากกว่าวิธีการอื่น ๆ และจากการรายงานของ สุริยา ตราชู และคณะ (2559) พบว่า การพอกเมล็ดพันธุ์ยาสูบร่วมกับ KCl อัตรา 1 กรัม ทำให้เมล็ดยาสูบมีความงอก และความเร็วในการงอกสูงมากกว่าวิธีการอื่น ๆ และเมื่อเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ยาสูบที่พอกร่วมกับ KCl อัตรา 0.5 กรัม มีความแข็งแรงมากที่สุด

ดังนั้น ในการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาชนิดและปริมาณของธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมสำหรับพอกเมล็ดพันธุ์แครอท เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเพาะต้นกล้าแครอทให้มีความงอกและความแข็งแรงสูงที่สุด

วิธีการศึกษา

ดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ และโรงเรือนทดลอง สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยใช้เมล็ดพันธุ์แครอททางการค้าเป็นเมล็ดพันธุ์ทดลอง ซึ่งดำเนินการวิจัยระหว่างเดือนมกราคม - พฤษภาคม 2564 ดังนี้

การพอกเมล็ดพันธุ์แครอท

การทดลองนี้ใช้เมล็ดพันธุ์แครอททูโรเคอิมปูลฟ (TOKITA SEED CO.,LTD.) พอกเมล็ดพันธุ์แครอทโดยใช้ calcium sulfate อัตรา 30 กรัมเป็นวัสดุพอก และใช้ carboxymethyl cellulose (CMC) อัตรา 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (w/v) อัตรา 40 มิลลิลิตร เป็นวัสดุประสาน (ธนากร กาวดิลก และคณะ, 2562) จากนั้นนำมาพอกร่วมกับธาตุอาหารพืช 3 ชนิด คือ KNO_3 , $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ และ KCl วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยแบ่งวิธีการทดลองออกเป็น 11 กรรมวิธีดังนี้ เมล็ดไม่พอก (T1), การพอกเมล็ดด้วย calcium sulfate เพียงอย่างเดียว (T2), การพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.048, 0.096 และ 0.192 กรัม (T3-T5 ตามลำดับ), การพอกเมล็ดร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.064, 0.128 และ 0.256 กรัม (T6-T8 ตามลำดับ), การพอกเมล็ดร่วมกับ KCl อัตรา 0.013, 0.026 และ 0.052 กรัม (T9-T11 ตามลำดับ) โดยแต่ละกรรมวิธีใช้เมล็ดพันธุ์แครอท 3 กรัม จากนั้นนำแต่ละกรรมวิธีทดลองมาพอกเมล็ดพันธุ์แครอทด้วยเครื่องพอกเมล็ดพันธุ์แบบถังหมุนรุ่น JK-01 แล้วนำเมล็ดที่ผ่านการพอกแต่ละกรรมวิธีมาลดความชื้นในสภาพอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนความชื้นใกล้เคียงหรือเท่ากับความชื้นเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น ($7\% \pm 2$)

การบันทึกข้อมูล

คุณภาพเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ

เพาะทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ทั้งที่ผ่านการพอกและไม่พอกเมล็ดด้วยวิธี top of paper (BP) ในกล่องพลาสติกใส ($110 \times 110 \times 30$ มิลลิเมตร, ยาว $\times$ กว้าง $\times$ สูง) ทำทั้งหมด 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด จากนั้นนำไปไว้ที่ตู้เพาะความงอกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แล้วประเมินผลความงอก โดยตรวจนับความงอกครั้งแรกในวันที่ 7 ของการเพาะเมล็ด (first count) และความงอกครั้งสุดท้ายเมื่อครบ 14 วันหลังเพาะ (final count) มาประเมินผลลักษณะต่าง ๆ ตามหลักสากล ISTA (2013) ดังนี้

1) การงอกราก ประเมินจากจำนวนรากที่งอกในแต่ละกรรมวิธีทดลอง ทำ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด โดยเริ่มนับเมื่อเมล็ดมีการงอกรากที่ความยาว 2 มิลลิเมตร ในวันที่ 1 และวันที่ 6 หลังจากการเพาะทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การงอกราก ดังนี้

$$\text{การงอกราก (\%)} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกราก}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะ}} \times 100$$

2) **ความเร็วในการงอกราก** การตรวจนับรากที่มีความยาว 2 มิลลิเมตร ในทุกวัน ตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 6 หลังการเพาะ ทำ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด จากนั้นคำนวณหาความเร็วในการงอกราก ดังนี้

$$\text{ความเร็วในการงอกราก (ราก/วัน)} = \frac{\text{ผลรวมของ [จำนวนรากที่งอกในแต่ละวัน]}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}}$$

3) **ความงอกของเมล็ดพันธุ์** จำนวนเมล็ดพันธุ์ที่งอกเป็นต้นกล้าปกติในวันที่ 7 และวันที่ 14 โดยทำทั้งหมด 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความงอก ดังนี้

$$\text{ความงอก (\%)} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะ}} \times 100$$

4) **ความเร็วในการงอก** ประเมินจำนวนเมล็ดพันธุ์ที่สามารถงอกเป็นต้นกล้าปกติในทุก ๆ วัน ตั้งแต่เริ่มเพาะครั้งแรก ที่ 7 วัน (first count) จนถึงวันที่ 14 หลังเพาะ (final count) โดยทำทั้งหมด 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด จากนั้นคำนวณหาความเร็วในการงอก (AOSA, 1983) ดังนี้

$$\text{ความเร็วในการงอก (ต้น/วัน)} = \frac{\text{ผลรวมของ [จำนวนต้นกล้าปกติที่งอกในแต่ละวัน]}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}}$$

5) **ความยาวต้น ความยาวราก และความยาวต้นกล้า** ความยาวต้นและความยาวรากที่ 14 วันหลังเพาะ ทั้งหมด ทำ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น โดยประเมินความยาวต้นวัดจากโคนลำต้นอ่อนจนถึงปลายใบ ส่วนความยาวรากวัดจากโคนรากแก้วจนถึงปลายราก ส่วนความยาวต้นกล้าตรวจวัดตั้งแต่ปลายรากจนถึงปลายใบ โดยใช้ไม้บรรทัดมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

การเร่งอายุเมล็ดพันธุ์

นำเมล็ดที่ผ่านการพอกและไม่พอก (ชุดควบคุม) ใส่ในถุงผ้าขนาด 10 x 20 เซนติเมตร วางลงบนตะแกรงที่อยู่ในกล่องเร่งอายุ ภายในกล่องมีน้ำปริมาณ 100 มิลลิลิตร โดยให้ระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าตะแกรง 2 เซนติเมตร ปิดกล่องให้สนิทแล้วนำไปไว้ในตู้เร่งอายุเมล็ดพันธุ์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์มาตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลผลของคุณภาพเมล็ดพันธุ์แคโรทหลังการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืช โดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยแปลงข้อมูลเป็นเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ เพื่อวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้วิธี arcsine transformation และแปลงข้อมูลเมื่อมีค่าเป็น 0 โดยวิธี square $\sqrt{X+0.5}$ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของชนิดและอัตราของธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมสำหรับการพอกร่วมกับเมล็ดพันธุ์แคโรท

การตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า เมล็ดไม่พอกมีการงอกรากและความเร็วในการงอกรากสูงมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติกับการพอกเมล็ดทุกกรรมวิธี จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ในระยะเวลา 1-6 วัน เมล็ดพันธุ์แคโรทที่ไม่ได้ผ่านการพอกมีอัตราการงอกสูงและเร็วกว่าการพอกเมล็ดทุกกรรมวิธี โดย บุญมี ศิริ (2558) อธิบายว่า การพอกเมล็ดที่มีสารหล่อลื่นทำให้เมล็ดที่ผ่านการพอกงอกได้ช้าในระยะแรก แต่ต้องไม่มีผลกระทบต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินความงอกคือ การพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม (T4) ทำให้เมล็ดมีความงอกและความเร็วในการงอกสูงที่สุดและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ (Table 1) ซึ่งการประเมินผลแสดงให้เห็น

เห็นว่ากรรมวิธีการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารพืชด้วยชนิดและอัตราที่เหมาะสม จะไม่ส่งผลกระทบต่อความงอก และความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ นอกจากนี้ KNO_3 ยังมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการงอกของเมล็ด โดย KNO_3 ช่วยเพิ่ม K^+ ในไซโทพลาซึมและแวคิวโอล ทำหน้าที่หลักในการรักษาค่า osmotic potential และ K^+ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์มากกว่า 40 ชนิด (ปิยะดา อธิกุลพิศุทธิ์, 2540; สุนันทิพย์ บุนนาค, 2542) อีกทั้ง KNO_3 ยังแตกตัวให้ออกซิเจนแก่เมล็ด ซึ่งมีส่วนช่วยส่งเสริมให้เมล็ดมีกระบวนการหายใจเพิ่มขึ้น จึงทำให้เมล็ดสามารถงอกได้เร็วสูงขึ้น นอกจากนี้ไนเตรท (NO_3^-) ยังเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจในวิถีทางเลือก pentose phosphate pathway ซึ่งจะทำหน้าที่แทนออกซิเจนในการออกซิไดส์ NADPH ในกระบวนการหายใจของเมล็ด ทำให้เมล็ดคลายการพักตัวและงอกได้มากขึ้นจากเดิม (วันชัย จันทน์ประเสริฐ, 2553)

ส่วนการพอกเมล็ดร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม (T8) ทำให้เมล็ดมีความยาวต้นสูงมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ คือ 4.12 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการพอกเมล็ดด้วย KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม (T4) มีความยาวต้นคือ 4.03 เซนติเมตร ส่วนการพอกเมล็ดด้วย KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม และ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม ทำให้ต้นกล้าแครอทมีความยาวรากและความยาวต้นกล้าสูงมากกว่า และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ (Table 2) เมื่อประเมินการเจริญเติบโตทางด้านความยาวต้นเห็นได้ชัดว่า การพอกเมล็ดด้วย $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม ช่วยส่งเสริมให้ต้นกล้ามีความยาวลำต้นสูงเพิ่มขึ้น 17 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการพอก นอกจากนี้ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม และ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม ยังช่วยให้ต้นกล้าแครอทมีความยาวรากและความยาวต้นกล้าสูงมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด โดย $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ เป็นสารประกอบหลักของฟอสฟอรัสที่ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของราก โดยเฉพาะรากฝอยและรากแขนง นอกจากนี้ โพแทสเซียมยังช่วยให้รากดูดน้ำได้ดียิ่งขึ้น และช่วยในการสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมกระบวนการเคลื่อนย้ายน้ำตาล และแป้ง เป็นต้น (Manning, 2010) และจากการเพิ่มธาตุอาหารพืชเข้าไปในการพอกเมล็ดพันธุ์ ธาตุอาหารจะกระจายตัวอยู่ในรัศมีของรากพืช จึงสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ทันทีโดยไม่สูญหายไป ทำให้การเพิ่ม $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม และ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม เป็นอัตราที่เหมาะสมต่อการเพิ่มขึ้นของความยาวรากและความยาวต้นกล้าได้

Table 1 Radicle emergence, speed of radicle emergence, germination and speed of germination of carrot seeds after pelleted seed with difference type and ratio of plant nutrients, tested under laboratory condition.

Treatment ¹	Laboratory condition			
	Radicle emergence	Speed of radicle emergence	Germination	Speed of germination
	(%)	(root/day)	(%)	(plant/day)
T1	85 a ^{2,3}	7.04 a	84 b-d	6.00 b-d
T2	43 b	3.54 b	84 b-d	6.00 b-d
T3	39 b	3.25 bc	83 cd	5.89 cd
T4	36 bc	3.00 bc	93 a	6.64 a
T5	37 bc	3.04 bc	79 d	5.64 d
T6	29 cd	2.38 cd	80 d	5.68 d
T7	47 b	3.92 b	84 b-d	5.97 b-d
T8	40 b	3.34 b	89 b	6.32 b
T9	25 d	2.08 d	80 d	5.71 d
T10	45 b	3.75 b	86 bc	6.14 bc
T11	43 b	3.54 b	87 bc	6.22 bc
F-test	**	**	**	**
CV.(%)	9.99	16.05	3.98	3.69

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

¹ T1 = non-pelleted seed, T2 = pelleted seed + calcium sulfate, T3 = pelleted seed + KNO_3 0.048 g., T4 = pelleted seed + KNO_3 0.096 g., T5 = pelleted seed + KNO_3 0.192 g., T6 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.064 g., T7 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.128 g., T8 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.256 g., T9 = pelleted seed + KCl 0.013 g., T10 = pelleted seed + KCl 0.026 g. and T11 = pelleted seed + KCl 0.052 g.

² Data are transformed by the arcsine before statistical analysis and back transformed data are presented.

³ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.01$ by DMRT.

Table 2 Shoot length, root length and seedling length of carrot seeds after pelleted seed with difference type and ratio of plant nutrients, tested under laboratory condition.

Treatment ¹	Laboratory condition		
	Shoot length (cm)	Root length (cm)	Seedling length (cm)
T1	3.52 cd ²	5.08 bc	8.60 bc
T2	3.75 bc	5.26 b	9.01 b
T3	3.59 cd	4.89 b-d	8.48 b-d
T4	4.03 ab	6.33 a	10.36 a
T5	3.52 cd	4.73 b-d	8.26 b-d
T6	3.41 cd	3.92 d	7.32 d
T7	3.45 cd	4.05 cd	7.49 cd
T8	4.12 a	6.34 a	10.46 a
T9	3.45 cd	5.14 b	8.59 bc
T10	3.32 d	4.69 b-d	8.01 b-d
T11	3.33 d	4.44 b-d	7.77 cd
<i>F</i> -test	**	**	**
CV.(%)	6.14	12.76	8.66

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

¹ T1 = non-pelleted seed, T2 = pelleted seed + calcium sulfate, T3 = pelleted seed + KNO_3 0.048 g., T4 = pelleted seed + KNO_3 0.096 g., T5 = pelleted seed + KNO_3 0.192 g., T6 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.064 g., T7 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.128 g., T8 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.256 g., T9 = pelleted seed + KCl 0.013 g., T10 = pelleted seed + KCl 0.026 g. and T11 = pelleted seed + KCl 0.052 g.

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

ผลการพอกเมล็ดพันธุ์แครอทร่วมกับธาตุอาหารพืชหลังผ่านการเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์

หลังการเร่งอายุพบว่า เมล็ดไม่พอกมีการงอกเร็วและความเร็วในการงอกเร็ว สูงมากกว่าการพอกเมล็ดทุกกรรมวิธีการพอกเมล็ดด้วย calcium sulfate เพียงอย่างเดียว และการพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.048, 0.096 และ 0.192 กรัม (T2-T5) มีความงอกและความเร็วในการงอกสูงมากกว่า และแตกต่างกันในทางสถิติกับกรรมวิธีอื่น ๆ แต่ไม่แตกต่างกันกับการพอกเมล็ดด้วย $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.064 กรัม, KCl อัตรา 0.013 และ 0.026 กรัม (Table 3)

การเร่งอายุเมล็ดพันธุ์เป็นเทคนิควิธีการที่พัฒนาขึ้นโดย Delouche and Baskin (1973) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์พืช โดยให้เมล็ดพันธุ์อยู่ภายใต้สภาพอุณหภูมิสูงและเร่งกระบวนการหายใจ (การใช้อาหาร) แล้วเมล็ดจะปลดปล่อยพลังงานความร้อนและความชื้น ส่งผลให้เมล็ดเสื่อมสภาพเร็วมากขึ้น (ทัศนีย์ จันทรนุ้ม, 2545) จากวิธีการเร่งอายุพบว่า ในระหว่าง 1-6 วัน การพอกเมล็ดทุกกรรมวิธีมีผลการทดลองที่คล้ายกับก่อนพอกก่อนการเร่งอายุ ซึ่งมีการงอกของรากและความเร็วในการงอกที่ช้ากว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการพอก สอดคล้องกับรายงานของ จักรพงษ์ ทางโสภา (2563)

พบว่า เมื่อพอกเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานร่วมกับสารชีวภัณฑ์ มีการงอกรากสูงมากกว่าการพอกเมล็ดทุกกรรมวิธีในระยะ 1-3 วัน แต่ไม่มีผลกระทบต่อความงอกเมล็ดพันธุ์ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาการประเมินต้นกล้าปกติครบ 14 วัน พบว่า การพอกเมล็ดด้วย calcium sulfate เพียงอย่างเดียว และการพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.048, 0.096 และ 0.192 กรัม ยังคงมีความงอกสูง ซึ่งไม่แตกต่างกันกับเมล็ดไม่พอก ดังนั้น การพอกเมล็ดแม้จะมีความล่าช้าของการงอกในระยะแรก แต่เมื่อครบกำหนดตามการประเมินความงอกตามมาตรฐานสากล (ISTA, 2013) พบว่าการพอกเมล็ดไม่ขัดขวางต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์แคโรท แต่การพอกเมล็ดพันธุ์แคโรทร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ และ KCl ส่งผลให้ความงอก และความเร็วในการงอกลดลง เนื่องจากปริมาณของ Na^+ และ Cl^- ที่เพิ่มมากขึ้น และอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการเร่งอายุ จะมีผลกระทบต่อกรดซึมน้ำของเมล็ดที่ลดลง จึงทำให้กระบวนการงอกของเมล็ดหยุดชะงักหรือเกิดขึ้นได้ช้า (Luan et al., 2014; Chowdhury et al., 2018)

ส่วนการพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม และ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม มีความยาวต้น ความยาวราก และความยาวต้นกล้าสูงมากกว่า และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ (Table 4) ซึ่งผลการทดลองพบว่า วิธีการพอกเมล็ดช่วยป้องกันคุณภาพเมล็ดพันธุ์จากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ โดย calcium sulfate ที่มีคุณสมบัติดูดซึมน้ำได้ดี และมีอนุภาคดินไหลปานกลาง ทำให้ก่อนพอกเมล็ดมีรูปร่างเรียบเนียน และแข็งแรงทนทาน (Saint-Gobain Formula, 2021) จึงเปรียบเสมือนการสวมเกราะป้องกันให้กับเมล็ดพันธุ์แคโรท ช่วยชะลอความร้อนและความชื้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์แคโรทได้ ซึ่งสอดคล้องกับ บุญมี ศรี (2558) และ Gawande et al. (1980) รายงานว่า การพอกเมล็ดจะช่วยป้องกันเมล็ดพันธุ์จากสภาวะความเครียดจากความร้อน โดยลดอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรอบเมล็ดได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ การพอกเมล็ดพันธุ์แคโรทร่วมกับธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม ซึ่งช่วยในการสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน รวมถึงประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช อีกทั้งยังส่งเสริมการต้านทานโรคและแมลงบางชนิดได้ เป็นต้น (Manning, 2010) ส่วน $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก และรากดูดใช้โพแทสเซียมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Schachtman et al., 1998) จึงทำให้การพอกเมล็ดด้วย KNO_3 และ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ มีส่วนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าแคโรทได้สูงมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ แม้เมล็ดจะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ส่วนเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการพอก เมื่อได้รับความชื้นสูงจากวิธีการเร่งอายุ ทำให้เมล็ดถูกกระตุ้นให้ hydrolytic enzyme เร่งกระบวนการเมแทบอลิซึมเกิดขึ้น อาหารที่สะสมภายในเมล็ดจะถูกย่อยและเกิดการปลดปล่อยความร้อน รวมถึงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเร่งอายุ ส่งเสริมให้กิจกรรมเมแทบอลิซึมและการทำงานของเอนไซม์สูงขึ้น เมล็ดมีการหายใจสูงขึ้น เกิดกระบวนการ peroxidation ซึ่งปลดปล่อยอนุมูลอิสระซึ่งเป็นอนุมูลที่ดึงอิเล็กตรอนจากไฮโดรเจนของชีวโมเลกุลอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียง เช่น ลิพิด และโปรตีนที่เป็นอาหารสะสม หรือส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ เกิดผลเสียหายต่อโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ โดยเฉพาะเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารต่าง ๆ (ทัศนีย์ จันทรนุ้ม, 2545; McDonald, 1999) ซึ่งมีผลกระทบต่อกระบวนการเคลื่อนย้ายอาหารต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้ โดยเฉพาะการพอกเมล็ดพันธุ์แคโรทร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ และ KCl เนื่องจากปริมาณของ Na^+ และ Cl^- ที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการสะสมของเกลือบริเวณราก ซึ่งมีผลต่อการดูดซึมน้ำและธาตุอาหาร ทำให้เกิดการยับยั้งการยืดยาวของเซลล์ส่วนรากและลำต้นได้ (Chowdhury et al., 2018) อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการเร่งอายุยังส่งผลกระทบต่ออายุการยืดยาวของรากและลำต้นได้อีกด้วย (Luan et al., 2014)

Table 3 Radicle emergence, speed of radicle emergence, germination and speed of germination of carrot seeds tested under laboratory condition, after pelleting process with difference type and ratio of plant nutrients, and accelerated aging.

Treatment ¹	Laboratory condition			
	Radicle emergence (%)	Speed of radicle emergence (root/day)	Germination (%)	Speed of germination (plant/day)
T1	67 a ^{2,3}	5.59 a	70 a	5.04 a
T2	18 bc	1.46 c	70 a	4.97 a
T3	18 bc	1.46 c	72 a	5.11 a
T4	20 bc	1.67 bc	70 a	5.00 a
T5	20 bc	1.62 bc	70 a	5.00 a
T6	15 cd	1.25 cd	65 ab	4.64 ab
T7	20 bc	1.63 bc	60 bc	4.29 b
T8	25 b	2.08 b	59 c	4.18 b
T9	17 c	1.38 cd	64 a-c	4.57 ab
T10	18 bc	1.50 bc	63 a-c	4.50 ab
T11	10 d	0.83 d	58 c	4.14 b
<i>F</i> -test	**	**	**	**
CV.(%)	12.00	20.14	6.70	8.72

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

¹ T1 = non-pelleted seed, T2 = pelleted seed + calcium sulfate, T3 = pelleted seed + KNO_3 0.048 g., T4 = pelleted seed + KNO_3 0.096 g., T5 = pelleted seed + KNO_3 0.192 g., T6 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.064 g., T7 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.128 g., T8 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.256 g., T9 = pelleted seed + KCl 0.013 g., T10 = pelleted seed + KCl 0.026 g. and T11 = pelleted seed + KCl 0.052 g.

² Data are transformed by the arcsine before statistical analysis and back transformed data are presented.

³ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.01$ by DMRT.

Table 4 Shoot length, root length and seedling length of carrot seeds tested under laboratory condition, after pelleting process with difference type and ratio of plant nutrients, and accelerated aging.

Treatment ¹	Laboratory condition		
	Shoot length (cm)	Root length (cm)	Seedling length (cm)
T1	3.29 c ²	5.23 b	8.53 bc
T2	3.64 b	5.12 b	8.75 b
T3	3.54 bc	5.18 b	8.71 b
T4	3.99 a	6.06 a	10.05 a
T5	3.48 bc	4.24 c-e	7.72 cd
T6	3.31 c	4.07 e	7.38 d
T7	3.51 bc	4.18 de	7.69 cd
T8	4.03 a	6.24 a	10.27 a
T9	3.43 bc	5.01 bc	8.44 bc
T10	3.28 c	4.95 b-d	8.23 b-d
T11	3.30 c	4.46 b-e	7.76 cd

F-test	**	**	**
CV.(%)	5.35	10.09	6.81

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

¹ T1 = non-pelleted seed, T2 = pelleted seed + calcium sulfate, T3 = pelleted seed + KNO_3 0.048 g., T4 = pelleted seed + KNO_3 0.096 g., T5 = pelleted seed + KNO_3 0.192 g., T6 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.064 g., T7 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.128 g., T8 = pelleted seed + $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.256 g., T9 = pelleted seed + KCl 0.013 g., T10 = pelleted seed + KCl 0.026 g. and T11 = pelleted seed + KCl 0.052 g.

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

สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาการพอกเมล็ดพันธุ์แครอทร่วมกับธาตุอาหารพืชด้วยชนิดและอัตราแตกต่างกัน สรุปได้ดังนี้

1. การพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม เมล็ดพันธุ์แครอทมีความงอกและความเร็วในการงอกสูงที่สุด คือ 93 เปอร์เซ็นต์ และ 6.64 ต้นต่อวัน ตามลำดับ และมีความยาวรากและความยาวต้นกล้าสูงมากกว่า และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ ส่วนการพอกเมล็ดร่วมกับ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม เมล็ดพันธุ์แครอทมีความยาวรากและความยาวต้นกล้าสูงมากกว่า และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ

2. เมื่อเร่งอายุพบว่า การพอกเมล็ดด้วย KNO_3 ทุกอัตรา เมล็ดมีความงอกและความเร็วในการงอกสูงมากกว่าการพอกเมล็ดร่วมกับธาตุอาหารชนิดและอัตราอื่น ๆ แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดไม่พอก และการพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม และ $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0.256 กรัม มีความยาวต้น ความยาวรากและความยาวต้นกล้าสูงมากกว่า และแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ

ดังนั้นการพอกเมล็ดร่วมกับ KNO_3 อัตรา 0.096 กรัม จึงเป็นชนิดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการพอกร่วมกับเมล็ดพันธุ์แครอท

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนนักวิจัยบุคลากรประเภทยุทธศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2564 คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้งบประมาณสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้การสนับสนุนสถานที่ดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จักรพงษ์ กางโสภา และบุญมี ศิริ. 2562. การเปลี่ยนแปลงความงอก ความแข็งแรง และการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักกาดหอม (*Lactuca sativa* L.) หลังการพอกเมล็ดพันธุ์ร่วมกับฟอสฟอรัส. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 37(2): 274-283.
- จักรพงษ์ กางโสภา. 2563. การพอกเมล็ดด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ MMO1 และ MMO2 ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวโพดหวาน ลูกผสม. วารสารแก่นเกษตร 48(ฉบับพิเศษ 1): 299-304.
- ทัศนีย์ จันทน์นุ้ม. 2545. วิธีการเร่งอายุเมล็ดเพื่อทำนายศักยภาพในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง 4 พันธุ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพืชไร่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ธนากร กาวดิลก, บุญมี ศิริ และอารักษ์ อีรธำพล. 2562. ผลของการพอกเมล็ดร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโต GA_3 และ IAA ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม. วารสารแก่นเกษตร 47(5): 1027-1036.
- บุญมี ศิริ. 2558. การปรับปรุงสภาพและยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์. ขอนแก่น: โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.
- ปิยะดา อีรกุลพิศุทธิ์. 2540. สรีรวิทยาของพืช. ขอนแก่น: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วันชัย จันทน์ประเสริฐ. 2553. สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์. กรุงเทพฯ: คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุนนทิพย์ บุญนาค. 2542. สรีรวิทยาเบื้องต้นของพืช. ขอนแก่น: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- สุริยา ตราฐ, นิวัต เหลืองชัยศรี และบุญมี ศิริ. 2559. การพอกเมล็ดด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตและโพแทสเซียมคลอไรด์ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ยาสูบ. *วารสารแก่นเกษตร* 44(3): 399-408.
- AOSA. 1983. *Seed Vigor Testing Handbook*. Ithaca: Association of Official Seed Analysts.
- Chowdhury, F. M., Halim, M. A., Hossain, F., and Akhtar, N. 2018. Effects of sodium chloride on germination and seedling growth of Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Biological Sciences* 7(1): 35-44.
- Delouche, J. C., and Baskin, C. C. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology* 1: 427-452.
- Gawande, M., Mohapatra, S. C., and Johnson, W. H. 1980. Effect of seed size and pelletization on tobacco seed germination under varying temperature regimes. *Tobacco Science* 24: 49-52.
- Hill, H. J. 1999. *Advances in Seed Technology: Original of New seeds*. Binghamton: The Haworth Press, Inc.
- ISTA. 2013. *International Rules for Seed Testing*. Bassersdorf: International Seed Testing Association.
- Luan, Z., Xiao, M., Zhou, D., Zhang, H., Tian, Y., Wu, Y., Guan, B., and Song, Y. 2014. Effects of salinity, temperature, and polyethylene glycol on the seed germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *The Scientific World Journal* 2014: 1-9.
- Manning, D. A. C. 2010. Mineral sources of potassium for plant nutrition. *Agronomy for Sustainable Development* 30: 281-294.
- McDonald, M. B. 1999. Seed deterioration: Physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology* 27: 177-237.
- Saint-Gobain Formula. 2021. The benefits of calcium sulfate use in soil & agriculture. <http://goo.gl/E7OI27>. (1 May 2021).
- Schachtman, D. P., Reid, R. J., and Ayling, S. M. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology* 116: 447-453.
- Sharma, H. K. 2018. Carrots production, processing, and nutritional quality. In *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing, Second Edition*, M. Siddiq, and Uebersax, M. A., eds. pp. 589-608. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.
- Sivanesan, I., Son, M. S., Lim, C. S., and Jeong, B. R. 2011. Effect of soaking of seeds in potassium silicate and uniconazole on germination and seedling growth of tomato cultivars, Seogeon and Seokwang. *African Journal of Biotechnology* 10(35): 6743-6749.
- Smith, A. E., and Miller, R. 1987. Seed pellets for improved seed distribution of small seeded forages crops. *Journal of Seed Technology* 11: 42-51.
- Yang, W. 2018. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on growth and seed germination of *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medikus. *Journal of Plant Nutrition* 41(5): 636-644.
- Zenk, P. 2004. Seed coatings get serious. <http://goo.gl/zpRR8j> (1 February 2004).

วันรับบทความ (Received date) : 5 ส.ค. 64

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 10 พ.ย. 64

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 9 พ.ค. 65