

การสร้างแบบจำลองของการประมวลผลภาพเพื่อประเมินความแข็งแรงของต้นกล้า
มะเขือพวงที่ผ่านการไพรมิงเมล็ดพันธุ์

Image processing modeling for seedling vigor estimation of primed plate
brush eggplant (*Solanum torvum* Sw.) seed

พิจิตรา แก้วสอน¹, กฤษณา ศรีประเสริฐ¹ และ รักศักดิ์ เสริมศักดิ์^{2*}

Pichittra Kaewsorn¹, Kridsada Sriprasert¹ and Raksak Sermsak^{2*}

¹ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹ Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

² ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

² Department of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

บทคัดย่อ: เมล็ดพันธุ์มะเขือพวงมักมีปัญหาความงอกต่ำและไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นวัตถุประสงค์การทดลองเพื่อศึกษาผลของวิธีการไพรมิงเมล็ดพันธุ์ต่อคุณภาพเมล็ดและความแข็งแรงของต้นกล้า รวมทั้งการสร้างแบบจำลองของการประมวลผลภาพเพื่อประเมินความแข็งแรงของต้นกล้ามะเขือพวง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 3 ทรีตเมนต์ ได้แก่ เมล็ดที่ไม่ผ่านการไพรมิง (control) การไพรมิงเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ และการไพรมิงเมล็ดพันธุ์ด้วยสารควบคุมแรงดันออสโมซิส พบว่าวิธีการไพรมิงเมล็ดพันธุ์ไม่มีผลต่อความงอกในสภาพห้องปฏิบัติการและในสภาพโรงเรือน แต่การไพรมิงเมล็ดพันธุ์ด้วยสารควบคุมแรงดันออสโมซิสมีผลทำให้เมล็ดมีเวลาเฉลี่ยในการงอกและเวลาที่ใช้ในการงอกถึง 50% ในสภาพโรงเรือนเร็วที่สุด นอกจากนี้ยังทำให้ต้นกล้าเจริญและแข็งแรงมากกว่าต้นกล้าจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพรมิง การสร้างแบบจำลองของการประมวลผลภาพ โดยถ่ายภาพเหนือทรงพุ่มของต้นกล้าที่ความสูง 30 ซม. จำนวน 120 ต้นกล้า ประมวลผลภาพเพื่อคำนวณจำนวนจุดภาพ (pixel) ต่อต้น ใช้วิธีการสุ่มแบบแบ่งชั้น (stratified random sampling) สุ่มตัวอย่าง 60 ต้นกล้า สำหรับสร้างแบบจำลอง และ 60 ต้นกล้า สำหรับทดสอบแบบจำลอง วิเคราะห์โดยใช้สมการถดถอย กำหนดให้ y คือ ดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้า และ x คือจำนวนจุดภาพต่อต้น สมการที่ได้ คือ $y = 0.36x + 42.86$ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ คือ 0.77 นำสมการดังกล่าวมาทดสอบแบบจำลอง พบว่าดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าจากการจำลอง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.88

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ; ความงอก; เวลาเฉลี่ยในการงอก; ความแข็งแรงของเมล็ด; มะเขือพวง

ABSTRACT: Plate brush eggplant seeds often have low germination and non-uniformity. Thus, the objectives of this study were to investigate the effects of seed priming method on seed quality and seedling vigor, including modeling of image processing for seedling vigor estimation of plate brush eggplant. The experiment was completely randomized design (CRD) with 3 treatments: non-primed seed (control), hydropriming and osmopriming. The results showed that methods of seed priming had no effect on germination in laboratory and greenhouse (GH) conditions, but osmoprimed seed had the fastest mean germination time and time to reach 50% germination in the GH condition. Moreover, seedling growth and vigor from osmoprimed seeds were better than those from non-primed seeds. For data collection from 120 seedlings, the images were captured at a height of 30 cm above the canopy of the seedlings. Image processing was calculated by calculating the pixel number per plant of all treatments. The random sampling was using Stratified Random Sampling of 60 seedlings for modeling and 60 seedlings for validation. The regression equation was then conducted where y was the seedling vigor index and x was the pixel per plant.

* Corresponding author: raksak.s@ku.th

Received: date; September 27, 2021 Accepted: date; February 18, 2022 Published: date; June 30, 2022

The equation was $y=0.36x + 42.86$, with the coefficient of determination of 0.77. The equation was used to estimate the seedling vigor index for validation. The results showed a highly significant relationship between seedling vigor index and seedling vigor index based on simulation, with the correlation coefficient (r) of 0.88.

Keywords: digital image processing; germination; mean germination time; seed vigor; pea eggplant

บทนำ

มะเขือพวง (plate brush eggplant; *Solanum torvum* Sw.) อยู่ในวงศ์ Solanaceae นำมาใช้เป็นต้นตอ (rootstock) ในการเสียบยอด (grafting) พืชหลายชนิดที่อยู่ในวงศ์เดียวกัน เช่น มะเขือเทศ และมะเขือ เนื่องจากประสบความสำเร็จในการเสียบยอดสูง และมีระบบรากแข็งแรง (Ranil et al., 2015) สามารถป้องกันการเข้าทำลายของโรคเหี่ยวเหี่ยว (bacterial wilt) (จำนงค์, 2552) และโรครากเน่าโคนเน่าได้ (ยศนนท์ และคณะ, 2555) มะเขือพวงนิยมขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด (Sarathkumar et al., 2016) แต่เมล็ดมักมีปัญหาการงอกต่ำทำให้มีความงอกต่ำและงอกไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากกลไกแรงต้านของเอนโดสเปิร์ม (mechanical resistance of endosperm) หรือมีสารยับยั้งการงอกบนเปลือกเมล็ด หรือสภาวะพักตัวทางสรีรวิทยาของเอ็มบริโอ (physiological state of the embryo) (Hayati et al., 2005) เช่นเดียวกับเมล็ดพืชหลายชนิดในวงศ์ Solanaceae เช่น เมล็ดมะม่วง (S. nigrum) มีการพักตัวนานถึง 39 ปี (Edmonds and Chweya, 1997) เมล็ด *S. incanum* มีการพักตัวแบบเปลือกเมล็ดหนา (Joshua, 1978) เมล็ด African eggplant (*S. ethiopicum* L.) มีการพักตัวของเอ็มบริโอมักเกิดขึ้นกับเมล็ดที่เก็บเกี่ยวใหม่ ซึ่งเมล็ดจะคลายการพักตัวประมาณ 4-5 เดือน (Abdoulaye, 1992) มีรายงานการทำลายการพักตัวของเมล็ดมะเขือพวง โดย อาริตา (2559) รายงานการแช่เมล็ดในสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 0.3% เป็นเวลา 5 ชม. ทำให้เมล็ดมีความงอกเพิ่มขึ้นจาก 62% เป็น 89%

ปัจจุบันเกษตรกรนิยมเพาะกล้าก่อนย้ายปลูกลงแปลง เนื่องจากได้ต้นกล้าที่เจริญพร้อมกันและมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่มักพบปัญหาเมล็ดมะเขือพวงมีความงอกต่ำและงอกไม่สม่ำเสมอ ทำให้ได้ต้นกล้าที่ไม่แข็งแรงและตั้งตัวในแปลงปลูกไม่ดี (Adnan et al., 2020) ดังนั้น การไพร้มิ่งเมล็ดพันธุ์ (seed priming) จึงเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการไพร้มิ่งเมล็ดพันธุ์เป็นวิธีการกระตุ้นการงอกของเมล็ดก่อนนำไปปลูก ทำให้เมล็ดมีความงอกสูง งอกได้เร็วและสม่ำเสมอ นอกจากนี้ต้นกล้าของเมล็ดที่ผ่านการไพร้มิ่งจะมีความแข็งแรงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี (Copeland and McDonald, 1995; McDonald, 2000) การไพร้มิ่งเมล็ดพันธุ์เป็นการกระตุ้นให้เมล็ดเกิดกระบวนการเตรียมพร้อมสำหรับการงอก โดยการดูดน้ำเข้าไปภายในเมล็ด หลังจากนั้นเมล็ดจะถูกลดความชื้นลงก่อนที่เมล็ดจะงอก วิธีการไพร้มิ่งเมล็ดพันธุ์มีหลายวิธี เช่น 1) การไพร้มิ่งเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ (hydropriming) เป็นการแช่เมล็ดในน้ำสะอาด ปฏิบัติได้ง่ายและสะดวก ค่าใช้จ่ายน้อย และไม่ปนเปื้อนกับสิ่งแวดล้อม 2) การไพร้มิ่งเมล็ดพันธุ์ด้วยสารควบคุมแรงดันออสโมซิส (osmopriming) เป็นการแช่เมล็ดในสารละลายที่มีค่าศักย์ (water potential) ในระดับต่ำ เพื่อให้เมล็ดดูดซับน้ำอย่างช้า ๆ สารเคมีที่นำมาใช้ เช่น polyethylene glycol (PEG), KNO_3 , KCl, K_3PO_4 , KH_2PO_4 , $MgSO_4$, $CaCl_2$ และ NaCl (Waqas et al., 2019) ซึ่งการใช้ KNO_3 เป็นที่นิยม เนื่องจากเป็นสารกระตุ้นการงอกของเมล็ด (ISTA, 2018) มีราคาถูก และหาซื้อได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคมีอื่น ๆ การศึกษาวิธีการไพร้มิ่งเมล็ดพันธุ์มะเขือพวงเพื่อกระตุ้นความงอกมีรายงานค่อนข้างน้อย เช่น Sarathkumar et al. (2016) รายงานการไพร้มิ่งเมล็ดพันธุ์มะเขือพวงด้วยจุลินทรีย์ (*biopriming*) *Pseudomonas fluorescens* ความเข้มข้น 10%, 15% และ 20% และ *Azospirillum* ความเข้มข้น 15% และ 20% เป็นเวลา 6 ชม. ทำให้เมล็ดมีความงอกสูงที่สุด มีความเร็วในการงอกสูง และมีค่าดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าสูง นอกจากนี้ พิจิตรา และคณะ (2561) รายงานการไพร้มิ่งเมล็ดพันธุ์มะเขือพวงด้วยน้ำ เป็นเวลา 5 ชม. และบ่มเมล็ดนาน 48 ชม. ทำให้เมล็ดมีความงอกสูงที่สุด เมล็ดมีจำนวนวันที่มีรากงอกเร็วที่สุด และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วที่สุด อย่างไรก็ตาม มีรายงานการไพร้มิ่งเมล็ดพันธุ์พืชในวงศ์ Solanaceae โดยใช้สารละลาย KNO_3 เช่น Shahlaei et al. (2009) รายงานการไพร้มิ่งเมล็ดพันธุ์มะเขือ (*S. melongena* L.) ด้วยสารละลาย KNO_3 ค่าศักย์ -0.5 MPa เป็นเวลา 96 ชม. ทำให้เมล็ดมีความงอกสูงที่สุด คือ 95% เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่แช่น้ำมีความงอกเพียง 83% นอกจากนี้ Aghdaei et al. (2019) รายงานการไพร้มิ่งเมล็ดพันธุ์เปปิโน (*pepino*; *S. muricatum* Aiton) ด้วยน้ำ เป็นเวลา 12 ชม. ทำให้เมล็ดมีความงอกสูงที่สุด (100%) และมีอัตราการงอกเร็วที่สุด (26.4%) Das et al. (2020) รายงานการไพร้มิ่งเมล็ดพันธุ์มะเขือ (*S. melongena* L.) 4 พันธุ์ ด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 5% เป็นเวลา 24 ชม. ทำให้ต้นกล้ามีความแข็งแรงมากที่สุด

ในการผลิตต้นกล้ามะเขือพวง เกษตรกรต้องการต้นกล้าที่เจริญเติบโตดี สม่าเสมอ และแข็งแรง เมื่อย้ายปลูกลงแปลงแล้ว ให้ผลผลิตเร็ว และเก็บเกี่ยวได้พร้อมกัน หรือใช้ประโยชน์เป็นต้นตอ ซึ่งอายุต้นกล้ามะเขือพวงที่พร้อมสำหรับการย้ายกล้าประมาณ 21-28 วันหลังเพาะเมล็ด โดยมีลักษณะลำต้นตั้งตรง ระบบรากสมบูรณ์ และมีใบจริง 2-3 ใบ (Özden and Demir, 2016) การวัดความแข็งแรงของต้นกล้ามีหลายวิธี เช่น พื้นที่ใบ (Wood and Roper, 2000) น้ำหนักสดของส่วนเหนือดินและส่วนราก น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินและส่วนราก (Almaghrabi, 2012) และอัตราส่วนเหนือดินต่อราก (Adnan et al., 2020) ซึ่งเป็นวิธีการที่แม่นยำ แต่ต้องทำลายตัวอย่างและใช้แรงงานมาก นอกจากนี้หากต้นกล้ามีปริมาณมากจะส่งผลให้การวัดความแข็งแรงของต้นกล้าเกิดความล่าช้า อาจมีผลให้อายุต้นกล้าแก่เกินไป จึงต้องหาแนวทางในการวัดความแข็งแรงของต้นกล้าทางอ้อม ซึ่งต้องมีความรวดเร็ว ช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย ปัจจุบันมีการนำการประมวลผลภาพ (image processing) มาประยุกต์ใช้กับการคำนวณด้านต่าง ๆ ทางด้านการเกษตร โดยการนำภาพดิจิทัลมาประมวลผลหรือคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ การประมวลผลภาพถูกนำมาช่วยเพิ่มความแม่นยำในกระบวนการประเมินความแข็งแรงของต้นกล้า ซึ่งสามารถทำได้อย่างรวดเร็วเมื่อต้นกล้ามีปริมาณมาก โดยอาศัยขนาด รูปร่าง พื้นผิว และสีของวัตถุในการแปลผล (Szeliski, 2011; Rahman and Cho, 2016; Xia et al., 2019) ซึ่งลักษณะเหล่านี้ถูกบันทึกเป็นภาพดิจิทัลในลักษณะของพิกเซล (pixel) มาจำแนกความสัมพันธ์กับลักษณะความแข็งแรงของต้นกล้า วิธีการดังกล่าวยังมีข้อจำกัด คือ ยังขาดความแม่นยำจากอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ทั้งจากลักษณะของพืช ขั้นตอนการถ่ายภาพ ตลอดจนการใช้โปรแกรมในการคำนวณ Yamamoto et al. (2016) รายงานการวัดข้อ (node detection) และการประเมินความยาวข้อปล้องของต้นกล้ามะเขือเทศโดยวิเคราะห์ภาพและการเรียนรู้ด้วยตนเองของเครื่อง (machine learning) ดังนั้น จึงควรศึกษาแนวทางในการถ่ายภาพและใช้ภาพถ่ายประเมินความแข็งแรงของต้นกล้า จากปัญหาเมล็ดมะเขือพวงมีความงอกต่ำ งอกไม่สม่ำเสมอ ทำให้ได้ต้นกล้าเจริญไม่พร้อมกัน ดังนั้น งานทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการโพรมิงเมล็ดพันธุ์ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์และความแข็งแรงของต้นกล้ามะเขือพวง เพื่อให้เมล็ดงอกได้เร็ว สม่าเสมอ และได้ต้นกล้าที่แข็งแรง รวมทั้งศึกษาแนวทางการสร้างแบบจำลองในการใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประเมินความแข็งแรงของต้นกล้ามะเขือพวง

วิธีการศึกษา

นำเมล็ดมะเขือพวงพันธุ์พวงหยก ซึ่งเป็นพันธุ์ผสมเปิด (open-pollinated variety) จากบริษัท ที เอส เอ จำกัด (Thai Seed and Agriculture Co., Ltd.) มีคุณภาพเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น ได้แก่ น้ำหนัก 1.11 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด ความชื้นประมาณ 7% และความงอก 80% มาศึกษาผลของวิธีการโพรมิงเมล็ดพันธุ์ต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์และความแข็งแรงของต้นกล้ามะเขือพวงในสภาพห้องปฏิบัติการและในสภาพโรงเรือน รวมทั้งการสร้างแบบจำลองของการประมวลผลภาพเพื่อประเมินความแข็งแรงของต้นกล้ามะเขือพวง ทดลองระหว่างเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ 2564 ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์และโรงเรือนทดลอง ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

วิธีการโพรมิงเมล็ดพันธุ์

นำเมล็ดมะเขือพวงแช่น้ำ reverse osmosis (RO) เป็นเวลา 24 ชม. และสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1% เป็นเวลา 12 ชม. ที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$ จากนั้นล้างเมล็ดผ่านน้ำ RO ไหล และนำเมล็ดมาลดความชื้นในตู้ลดความชื้นไฟฟ้าที่อุณหภูมิ $30 \pm 2^\circ\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ $40 \pm 2\%$ จนกระทั่งเมล็ดมีความชื้นใกล้เคียงกับความชื้นเริ่มต้นประมาณ 7% จากนั้นนำเมล็ดไปทดสอบคุณภาพในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพโรงเรือน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์มี 3 ทรีตเมนต์ คือ 1) เมล็ดที่ไม่ผ่านการโพรมิง (control) 2) การโพรมิงเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ (hydropriming) และ 3) การโพรมิงเมล็ดพันธุ์ด้วยสารควบคุมแรงดันออสโมซิส (osmopriming) จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด

1. การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ

1.1 ความงอก (germination) นำเมล็ดมะเขือพวงมาทดสอบความงอกมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะเมล็ดบนกระดาษขึ้นด้วยวิธี top of paper (TP) ที่อุณหภูมิ 20-30°C (20°C เป็นเวลา 16 ชม. ในสภาพมืด และ 30°C เป็นเวลา 8 ชม. ในสภาพมีแสง) (ISTA, 2018) ประเมินความงอกมาตรฐานตามกฎของ International Seed Testing Association การนับครั้งแรก (first count) ที่ 7 วันหลังเพาะเมล็ด โดยนับเฉพาะต้นอ่อนปกติที่มีลักษณะรากสมบูรณ์ ลำต้นตั้งตรง และใบเลี้ยง 2 ใบ และนับครั้งสุดท้าย (final count) ที่ 21 วันหลังเพาะเมล็ด โดยนับต้นอ่อนปกติ ต้นอ่อนผิดปกติ เมล็ดสดไม่งอก และเมล็ดตาย จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณความงอกเป็น % จากสูตร ความงอกของ (%) = (จำนวนต้นอ่อนปกติทั้งหมด / จำนวนเมล็ดทั้งหมด) × 100

1.2 จำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก (days to emergence; DTE) นับจำนวนเมล็ดที่มีรากงอกยาวประมาณ 2 มม. ทุกวัน เป็นเวลา 21 วันหลังเพาะเมล็ด จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณ DTE มีหน่วยเป็น วัน จากสูตร (Dhillon, 1995) $DTE = \sum nd / \sum n$ โดย n คือ จำนวนเมล็ดที่มีรากงอกในวันที่ 1, 2, ..., n (21) วันหลังเพาะเมล็ด d คือ จำนวนวันที่ 1, 2, ..., d (21) วันหลังเพาะเมล็ด

1.3 เวลาที่ใช้ในการงอกถึง 50% (time to reach 50% germination; T_{50}) นับต้นอ่อนปกติทุกวัน เป็นเวลา 21 วันหลังเพาะเมล็ด จากนั้นคำนวณ T_{50} มีหน่วยเป็น วัน จากสูตร $T_{50} = t_i + [((N+1) / 2 - n_i) / (n_j - n_i)] \times (t_j - t_i)$ โดย t_i คือ เวลาที่ก่อนที่เมล็ดงอกได้ครึ่งหนึ่ง, t_j คือ เวลาที่ถัดจากเวลา t_i , n_i คือ จำนวนเมล็ดที่งอก ณ เวลา t_i , n_j คือจำนวนเมล็ดที่งอก ณ เวลา t_j , N คือ จำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นอ่อนปกติทั้งหมด (Coolbear et al., 1984)

1.4 เวลาเฉลี่ยในการงอก (mean germination time; MGT) นับต้นอ่อนปกติทุกวัน เป็นเวลา 21 วันหลังเพาะเมล็ด จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณ MGT มีหน่วยเป็น วัน จากสูตร (Ellis and Robert, 1980) $MGT = \sum nd / \sum n$ โดย n คือ จำนวนต้นอ่อนปกติในวันที่ 1, 2, ..., n (21) วันหลังเพาะเมล็ด d คือ จำนวนวันที่ 1, 2, ..., n (21) วันหลังเพาะเมล็ด

2. การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในสภาพโรงเรือน

2.1 ความงอกในสภาพโรงเรือน เพาะเมล็ดมะเขือพวงลงในถาดหลุมพลาสติกขนาด 104 หลุม โดยใช้พีทมอสเป็นวัสดุเพาะเมล็ด จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด นับเฉพาะต้นอ่อนปกติเป็นเวลา 21 วันหลังเพาะเมล็ด

2.2 เวลาที่ใช้ในการงอกถึง 50% ในสภาพโรงเรือน นับต้นอ่อนปกติทุกวัน เป็นเวลา 21 วันหลังเพาะเมล็ด คำนวณตามวิธีการในข้อ 1.3

2.3 เวลาเฉลี่ยในการงอกในสภาพโรงเรือน นับจำนวนต้นอ่อนปกติทุกวัน เป็นเวลา 21 วันหลังเพาะเมล็ด คำนวณตามวิธีการในข้อ 1.4

2.4 การเจริญเติบโตและความแข็งแรงของต้นกล้าที่อายุ 28 วันหลังเพาะเมล็ด จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น ได้แก่ ความสูงต้น โดยวัดจากระดับผิวของพีทมอสถึงปลายยอด เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ โดยนับใบเต็มที่มีแผ่ขยายเต็มที่ น้ำหนักสดของส่วนเหนือดินและส่วนราก น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินและส่วนราก อัตราส่วนของส่วนเหนือดินต่อส่วนราก ดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้า (seedling vigor index; SVI) คำนวณจากสูตร $SVI = \text{ความงอก (\%)} \times \text{น้ำหนักแห้งของต้นกล้า}$ (Gaba et al., 2018)

3. การสร้างแบบจำลองของการประมวลผลภาพเพื่อประเมินความแข็งแรงของต้นกล้า

ถ่ายภาพจากกล้องที่มีความละเอียดของภาพ Intel RealSense Depth Camera รุ่น D435 (Condotta et al., 2020) โดยถ่ายภาพต้นกล้ามะเขือพวงที่ระยะความสูง 30 ซม. โดยการทดสอบเบื้องต้นสำหรับระยะการถ่ายภาพ 3 ระยะ คือ 10, 20 และ 30 ซม. เห็นทรงพุ่มพบว่าในระยะ 10 ซม. กล้องไม่สามารถโฟกัสภาพได้ ที่ระยะ 20 ซม. ไม่สามารถครอบคลุมถาดเพาะกล้าได้ทั้งหมด ขณะที่ระยะ 30 ซม. ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดและมีขนาดของจุดภาพที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ การถ่ายภาพจะถ่ายเห็นทรงพุ่มของต้นกล้าที่อายุ 28 วันหลังเพาะเมล็ด ซึ่งเป็นช่วงอายุต้นกล้าที่เหมาะสมสำหรับการย้ายกล้า โดยต้นกล้าเชื้อพวงที่แข็งแรงมีลักษณะลำต้นตั้งตรงและใบจริง 2-3 ใบ ตั้งฉากกับลำต้นทำให้สามารถตรวจสอบลักษณะพื้นที่ใบจริงทั้งหมดของต้นกล้าได้ ใช้โปรแกรม MATLAB (Gonzalez et al., 2003) ในการประเมินจุดภาพ (pixel) ของต้นกล้ามะเขือพวงที่มีความละเอียดจุดภาพ (ground sample distance) 0.024 มม. กระบวนการประมวลผลภาพแสดงในลักษณะผังงาน (flow chart) ดังแสดงใน Figure 1 ที่แสดงกระบวนการของการประมวลผลภาพทั้งหมดจนแสดงผลแบบจำลองการประเมินความแข็งแรงของต้นกล้ามะเขือพวง และผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ดังแสดงใน Figure 2 โดย

นำภาพต้นกล้าทั้งหมด 12 หน่วยทดลอง (experimental unit) รวมทั้งหมด 120 ต้น ซึ่งต้นกล้าแต่ละต้นได้กำหนดตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างไว้แล้ว จากกลุ่มตัวอย่างสำหรับภาพถ่ายดิจิทัลจำนวน 10 ต้นต่อค่าเฉลี่ยของภาพในแต่ละทรีตเมนต์ โดยการถ่ายภาพในโรงเรือนที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ ซึ่งไม่เกิดเงารบกวนภาพถ่าย (Figure 2A) โดยข้อมูลจากการวิเคราะห์จุดภาพร่วมกับต้นกล้าที่ผ่านวิธีการโพรมิงเมลิตพันธุ์ ทำให้ความแข็งแรงของต้นกล้าแตกต่างกัน ภาพที่ได้นำมาแยกกลุ่ม (clustering) แบบไม่ควบคุม (unsupervised) ด้วยวิธีการ K-means (Fränti and Sieranoja, 2019) เพื่อแยกระหว่างภาพของต้นกล้าและพื้นหลังออกจากกัน ผลการแยกกลุ่มดังแสดงใน Figure 2B คัดเลือกเฉพาะต้นกล้าที่ได้ระบุตำแหน่งไว้แล้ว (Figure 2C) แปลงสัญญาณเป็นภาพระดับสีเทา (gray scale) และภาพขาว-ดำ (binary) ตามลำดับ (Figure 2D) ซึ่งเป็นการแยกภาพพื้นหน้าออกจากพื้นหลัง (threshold) (Gonzalez and Wood, 2007) คำนวณจำนวนจุดภาพ (pixel) ที่เป็นสีขาวของต้นกล้าแต่ละต้น ในบริเวณที่เป็นพื้นที่ใบของต้นกล้าและประเมินจำนวนจุดภาพต่อต้น

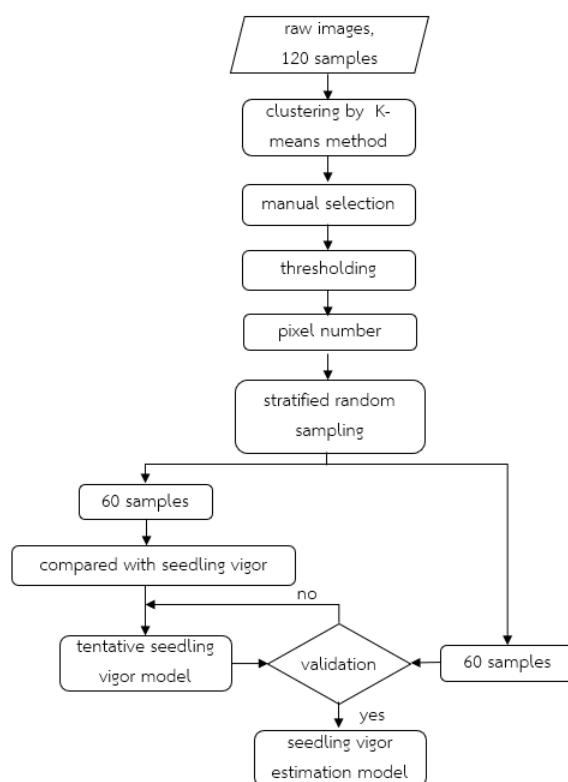


Figure 1 Flow chart of Image processing modeling for seedling vigor estimation

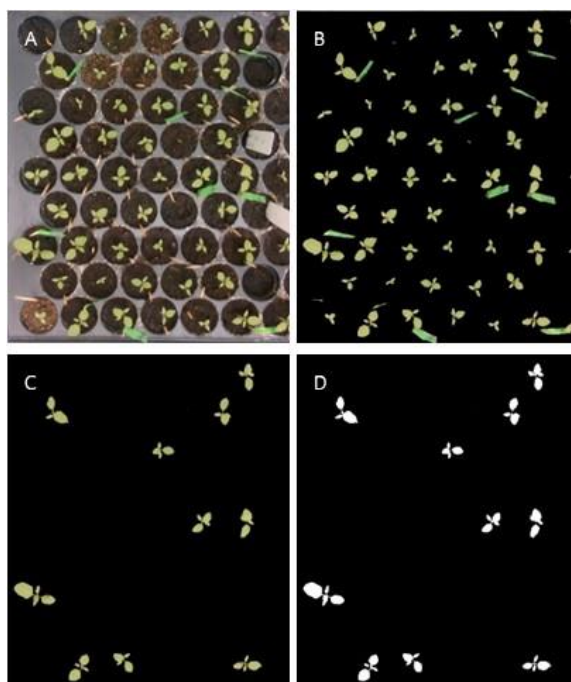


Figure 2 The steps of digital image processing for pixel number estimation: (A) raw data, (B) clustering, (C) sampling data and (D) thresholding of plate brush eggplant seedlings

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อหาค่า F-test วิเคราะห์ความแปรปรวนรวมและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ ด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสถิติ R

4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของภาพถ่ายจากผังงานดังแสดงใน **Figure 1**

4.2.1 สุ่มตัวอย่างต้นกล้ามะเขือพวงจาก 3 ทรีตเมนต์ จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น (40 ตัวอย่างต่อทรีตเมนต์) จำนวน 12 หน่วยทดลอง (experimental unit) รวมตัวอย่างทั้งหมด 120 ต้น ในแต่ละซ้ำสุ่มข้อมูลด้วยวิธีการการสุ่มแบบแบ่งชั้น (stratified random sampling) (Forthofer et al., 2007) โดยแต่ละกลุ่มใช้ 60 ต้น สำหรับการวิเคราะห์ภาพเพื่อสร้างแบบจำลองประเมินความแข็งแรงของต้นกล้า และอีก 60 ต้น ใช้สำหรับการตรวจสอบแบบจำลอง

4.2.2 การวิเคราะห์สมการในการประมาณการพื้นที่ใบของต้นกล้ามะเขือพวง เพื่อสร้างแบบจำลองใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้ากับจำนวนจุดภาพต่อต้น โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง (validation) จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination) หรือค่า R-square (R^2) และตรวจสอบแบบจำลองโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) หรือค่า r

ผลการศึกษา

1. คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ

การไพรมิงเมล็ดพันธุ์มะเขือพวงด้วยน้ำและการไพรมิงเมล็ดพันธุ์ด้วยสารควบคุมแรงดันออสโมซิส ไม่มีผลทำให้เมล็ดมีความงอกแตกต่างทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพรมิง โดยเมล็ดมีความงอก $99.0 \pm 1.15\%$ เท่ากัน (**Table 1**) แสดงว่าการไพรมิงเมล็ดพันธุ์ทั้งสองวิธีการไม่มีผลทำให้เมล็ดมีความงอกเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากเมล็ดพันธุ์มะเขือพวงล็อตนี้มีคุณภาพเริ่มต้นสูง คือ มีความงอก 99.0% ดังนั้น การไพรมิงเมล็ดพันธุ์ทั้งสองวิธีจึงไม่สามารถทำให้เมล็ดมีความงอกเพิ่มขึ้นได้ เพราะเมล็ดได้แสดงศักยภาพการงอกสูงที่สุดแล้ว

สอดคล้องกับ ประเสริฐ (2542) รายงานการไพร้มิงเมล็ดพันธุ์พริกพันธุ์บางช้างที่มีความงอกเริ่มต้น 97.5% ด้วยน้ำ (hydropriming) เป็นเวลา 5 ชม. ไม่มีผลทำให้เมล็ดมีความงอกแตกต่างทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพร้มิงเมล็ดพันธุ์ (97.5-99.5%) อย่างไรก็ตาม การไพร้มิงเมล็ดพันธุ์มะเขือพวงด้วยน้ำและสารควบคุมแรงดันออสโมซิสมีผลทำให้เมล็ดมีจำนวนวันที่มีรากงอก (10.50 ± 0.52 และ 10.81 ± 0.43 วัน ตามลำดับ) ใช้เวลาในการงอกถึง 50% (13.44 ± 0.22 และ 13.47 ± 0.44 วัน ตามลำดับ) และใช้เวลาเฉลี่ยในการงอก (14.51 ± 0.26 และ 14.46 ± 0.26 วัน ตามลำดับ) เร็วที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติ ส่วนเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพร้มิงมีจำนวนวันที่มีรากงอกช้าที่สุด (11.39 ± 0.13 วัน) ใช้เวลาในการงอกถึง 50% ช้าที่สุด (14.37 ± 0.11 วัน) และใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกช้าที่สุด (15.17 ± 0.19 วัน) (Table 1) แสดงว่าเมล็ดที่ผ่านการไพร้มิงแข็งแรงมากกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพร้มิง จึงงอกได้เร็วกว่า โดยเมล็ดสามารถแทงรากแรกเกิด (radicle) ได้เร็ว และพัฒนาเป็นต้นอ่อนปกติได้เร็ว เพราะการไพร้มิงเมล็ดพันธุ์เป็นการทำให้เมล็ดดูดน้ำเพื่อย่อยสลายอาหารสะสมและสังเคราะห์โปรตีนต่าง ๆ ที่สำคัญสำหรับการงอกอย่างสมบูรณ์แล้ว เมื่อนำเมล็ดที่ผ่านการไพร้มิงมาปลูกจึงทำให้เมล็ดเข้าสู่ระยะที่ 3 ของรูปแบบการดูดน้ำ (triphasic pattern) เร็วขึ้น เมล็ดจึงงอกเร็ว (Pawar and Laware, 2018) สอดคล้องกับ พิจิตรา และคณะ (2561) รายงานการไพร้มิงเมล็ดพันธุ์มะเขือพวงด้วยน้ำ เป็นเวลา 5 ชม. และบ่มเมล็ดนาน 48 ชม. ทำให้เมล็ดมีความงอกสูงที่สุด (62%) มีจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอกเร็วที่สุด (9.54 วัน) และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วที่สุด (12.52 วัน) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพร้มิง (19.50% 11.81 วัน และ 13.63 วัน ตามลำดับ) นอกจากนี้ Ali et al. (2020) รายงานการไพร้มิงเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศด้วยสารละลาย KNO_3 ที่ความเข้มข้น 0.75% เป็นเวลา 24 ชม. ทำให้เมล็ดมีความงอกสูงที่สุด คือ 98% มีเวลาเฉลี่ยในการงอกเร็วที่สุด คือ 3 วัน ส่วนเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพร้มิงมีความงอกต่ำที่สุด คือ 83% และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกช้าที่สุด คือ 5 วัน

Table 1 Germination, days to emergence (DTE), time to reach 50% germination (T_{50}), and mean germination time (MGT) of plate brush eggplant seed in laboratory condition

Treatments	Germination (%)	DTE (days)	T_{50} (days)	MGT (days)
Non-primed seed (control)	99.0 ± 1.15	11.39 ± 0.13 a ^{1/}	14.37 ± 0.11 a	15.17 ± 0.19 a
Hydropriming	99.0 ± 1.15	10.50 ± 0.52 b	13.44 ± 0.22 b	14.51 ± 0.26 b
Osmopriming	99.0 ± 1.15	10.81 ± 0.43 ab	13.47 ± 0.44 b	14.46 ± 0.26 b
F-test	ns	*	*	*
CV (%)	1.17	3.60	2.11	1.61

ns, not significantly different at $p \leq 0.05$. *, significantly different at $p \leq 0.05$

^{1/} mean $\pm$ SD values in the same column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.05$ by LSD

2.2 คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ในสภาพโรงเรือน

การไพร้มิงเมล็ดพันธุ์มะเขือพวงด้วยน้ำและการไพร้มิงเมล็ดพันธุ์ด้วยสารควบคุมแรงดันออสโมซิสไม่มีผลทำให้เมล็ดมีความงอกในสภาพโรงเรือนแตกต่างทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพร้มิง โดยเมล็ดมีความงอก $80.5 \pm 4.43 - 89.5 \pm 3.00\%$ (Table 2) สอดคล้องกับความงอกในห้องปฏิบัติการ (Table 1) แสดงว่าการไพร้มิงเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีต่าง ๆ ไม่สามารถทำให้เมล็ดมีความงอกเพิ่มขึ้นได้ทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการและในสภาพโรงเรือน นอกจากนี้ การไพร้มิงเมล็ดพันธุ์มะเขือพวงด้วยสารควบคุมแรงดันออสโมซิสมีผลทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกถึง 50% และใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกในสภาพโรงเรือนเร็วที่สุด คือ 15.83 ± 0.39 และ 16.54 ± 0.49 วัน ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพร้มิง โดยเมล็ดใช้เวลาในการงอกถึง 50% ช้าที่สุด คือ 17.33 ± 1.07 วัน และใช้เวลาเฉลี่ยในการงอก 18.10 ± 0.43 วัน (Table 2) เพราะการไพร้มิงเมล็ดพันธุ์ด้วยสารควบคุมแรงดันออสโมซิส โดยใช้สารละลาย KNO_3 จะแตกตัวออกเป็น K^+ และ NO_3^- ส่งผลให้กระบวนการเมแทบอลิซึม การสังเคราะห์โปรตีน และเอนไซม์ต่าง ๆ ในเมล็ดเกิดได้ดีขึ้น ซึ่งช่วยกระตุ้นให้เมล็ดดูดซึมน้ำออกซิเจนได้ดีขึ้น และอาจมีความสัมพันธ์กับเอนไซม์ไนเตรตรีดักเทส (nitrate

reductase) ในการสร้างไนไตรท์ (nitrite; NO_2^-) หรือไนตริกออกไซด์ (nitric oxide; NO) ซึ่งไนเตรตที่เมล็ดดูดเข้าไปจะไปช่วยในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนภายในเมล็ด ทำให้เมล็ดมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น เมล็ดจึงงอกได้ดีขึ้น (McIntyre et al., 1996; Lara et al., 2014) สอดคล้องกับ Zhang et al. (2011) รายงานการไพรมิงเมล็ดพันธุ์มะเขือด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 3% ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0.1 mM ทำให้เมล็ดใช้เวลาในการงอกถึง 50% เร็วที่สุด คือ 2.4 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพรมิงใช้เวลาในการงอกถึง 50% นาน 8.1 วัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างความงอกและความเร็วในการงอกของเมล็ดมะเขือพวงในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพโรงเรือน (Tables 1 and 2) พบว่าความงอกของเมล็ดในสภาพโรงเรือน ($80.5 \pm 4.43 - 89.5 \pm 3.00\%$) น้อยกว่าความงอกในสภาพห้องปฏิบัติการ ($99.0 \pm 1.15\%$) ประมาณ 9.5-18.5% รวมถึงเมล็ดใช้เวลาในการงอกถึง 50% ในสภาพโรงเรือน ($15.83 \pm 0.39 - 17.33 \pm 1.07\%$) ช้ากว่าในสภาพห้องปฏิบัติการ ($13.47 \pm 0.44 - 14.37 \pm 0.11$ วัน) ประมาณ 2.36-2.96 วัน และเมล็ดใช้เวลาเฉลี่ยการงอกในสภาพโรงเรือน ($16.54 \pm 0.49 - 18.10 \pm 0.43$ วัน) ช้ากว่าในสภาพห้องปฏิบัติการ ($14.46 \pm 0.26 - 15.17 \pm 0.19$ วัน) ประมาณ 2.08-2.93 วัน อาจเป็นเพราะการเพาะเมล็ดมะเขือพวงในสภาพโรงเรือนมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลอง 20°C โดยมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 30°C และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 15°C ซึ่งอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ จึงมีผลทำให้เมล็ดดูดน้ำเข้าสู่ผลต่อกิจกรรมเมแทบอลิซึมที่เกี่ยวข้องในการงอกช้า จึงทำให้เมล็ดงอกช้า (Copeland and McDonald, 1995) เช่นเดียวกับ Dong et al. (2020) รายงานว่าอุณหภูมิ 25°C เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ด *S. nigrum* L. หากอุณหภูมิต่ำประมาณ $15-20^\circ\text{C}$ หรือสูงกว่า 30°C ทำให้เมล็ดมีความงอกลดลง

Table 2 Germination, time to reach 50% germination (T_{50}), and mean germination time (MGT) of plate brush eggplant seed in greenhouse condition

Treatments	Germination (%)	T_{50} (days)	MGT (days)
Non-primed seed (control)	80.5 ± 4.43	17.33 ± 1.07 a ^{1/}	18.10 ± 0.43 a
Hydropriming	81.0 ± 12.15	16.60 ± 0.35 ab	17.44 ± 0.34 a
Osmopriming	89.0 ± 3.00	15.83 ± 0.39 b	16.54 ± 0.49 b
F-test	ns	*	*
CV (%)	9.15	4.15	2.44

ns, not significantly different at $p \leq 0.05$. *, significantly different at $p \leq 0.05$

^{1/} mean $\pm$ SD values in the same column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.05$ by LSD

2.3 การเจริญเติบโตและความแข็งแรงของต้นกล้ามะเขือพวงที่อายุ 28 วันหลังเพาะเมล็ด

การไพรมิงเมล็ดพันธุ์มะเขือพวงด้วยสารควบคุมแรงดันออสโมซิสมีผลทำให้ต้นกล้ามีความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น จำนวนใบ น้ำหนักสดส่วนเหนือดินและส่วนราก น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน อัตราส่วนเหนือดินต่อส่วนราก และดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าสูงที่สุดและแตกต่างทางสถิติกับการไพรมิงเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำและเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพรมิง ยกเว้นการไพรมิงเมล็ดพันธุ์ไม่มีผลทำให้น้ำหนักแห้งส่วนรากของต้นกล้าแตกต่างทางสถิติ (Tables 3-5) ต้นกล้าจากเมล็ดที่ผ่านการไพรมิงด้วยสารควบคุมแรงดันออสโมซิสมีการเจริญเติบโตและความแข็งแรงมากที่สุด ได้แก่ ความสูงต้น 1.80 ± 0.05 ซม. มีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น 0.92 ± 0.03 มม. มีจำนวนใบ 2.90 ± 0.08 ใบ (Table 3) มีน้ำหนักสดส่วนเหนือดินและส่วนราก 68.40 ± 4.59 และ 11.35 ± 1.35 มก. ต่อต้น ตามลำดับ น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน 5.83 ± 0.35 มก. ต่อต้น (Table 4) อัตราส่วนเหนือดินต่อส่วนราก 7.48 ± 0.79 และดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้า 591.55 ± 18.70 (Table 5) ส่วนเมล็ดมะเขือพวงที่ไม่ผ่านการไพรมิงและการไพรมิงเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำมีผลทำให้ต้นกล้าเจริญเติบโตและความแข็งแรงน้อยที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติ (Tables 3-5) โดยต้นกล้ามีความสูงต้น 1.57 ± 0.10 และ 1.60 ± 0.12 ซม.

มีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น 0.81 ± 0.04 และ 0.81 ± 0.01 มม. มีจำนวนใบ 2.13 ± 0.19 และ 2.23 ± 0.17 ใบ ตามลำดับ (Table 3) มีน้ำหนักสดของส่วนเหนือดิน 39.50 ± 7.04 และ 41.37 ± 5.02 มก. ต่อดัน มีน้ำหนักสดของส่วนราก 6.23 ± 1.27 และ 6.29 ± 0.47 มก. ต่อดัน มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน 3.43 ± 0.48 และ 3.60 ± 0.40 มก. ต่อดัน ตามลำดับ (Table 4) อัตราส่วนเหนือดินต่อราก 5.19 ± 2.10 และ 6.42 ± 0.39 และดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้า 335.54 ± 58.26 และ 336.62 ± 43.03 ตามลำดับ (Table 5) แสดงว่าการไพรมิงเมล็ดพันธุ์มะเขือพวงด้วยสารควบคุมแรงดันออสโมซิสด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 1% เป็นเวลา 12 ชม. ทำให้ได้ต้นกล้าเจริญเติบโตได้ดีและแข็งแรงมากกว่าต้นกล้าจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพรมิง เพราะเมล็ดที่ผ่านการไพรมิงสามารถงอกได้เร็วและพัฒนาเป็นต้นกล้าได้เร็วกว่าต้นกล้าจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพรมิงเมล็ดพันธุ์ โดย (Farooq et al., 2005) รายงานว่าเมล็ดที่ผ่านการไพรมิงจะมีปริมาณ DNA เพิ่มขึ้นในระหว่างการงอก ทำให้เกิดกระบวนการงอกได้สมบูรณ์ งอกได้เร็ว ต้นกล้าเจริญและพัฒนาได้ดี มีความแข็งแรง และตั้งตัวได้เร็ว สอดคล้องกับ Mirabi and Hasanabadi (2012) รายงานการไพรมิงเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศด้วยสารละลาย KNO_3 ทำให้ต้นกล้ามีความสูง น้ำหนักสดส่วนเหนือดินและส่วนรากสูงสุด สอดคล้องกับ Ziaf et al. (2007) รายงานการไพรมิงเมล็ดพันธุ์พริกสามารถเพิ่มศักยภาพการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้ นอกจากนี้ Amjad et al. (2007) รายงานการไพรมิงเมล็ดพันธุ์พริกด้วยสารละลาย KNO_3 ทำให้ต้นกล้ามีความสูงต้น น้ำหนักสดของต้น รวมถึงต้นกล้ามีความแข็งแรงสูงสุด ทั้งนี้ความสูงต้นกล้าและความยาวรากของต้นกล้าที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้ต้นกล้ามีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย โดย Rivas et al. (1984) รายงานการไพรมิงเมล็ดพันธุ์พริกด้วยสารละลาย KNO_3 ความเข้มข้น 3% เป็นเวลา 144 ชม. ทำให้เมล็ดแทงรากและปรากฏการยืดยาวของลำต้นอ่อนใต้ใบเลี้ยง (hypocotyl) เพียง 1-3 วัน ดังนั้น การไพรมิงเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO_3 ทำให้ต้นกล้าเจริญเติบโตได้เร็วและแข็งแรง นอกจากนี้ยังทำให้ต้นกล้าตั้งตัวได้เร็วหลังย้ายปลูก รวมไปถึงให้ผลผลิตเร็ว

Table 3 Height, stem diameter and leaf number of plate brush eggplant seedling grown in greenhouse at 28 days after sowing

Treatments	Height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf number
Non-primed seed (control)	1.57 ± 0.10 b ^{1/}	0.81 ± 0.04 b	2.13 ± 0.19 b
Hydropriming	1.60 ± 0.12 b	0.81 ± 0.01 b	2.23 ± 0.17 b
Osmopriming	1.80 ± 0.05 a	0.92 ± 0.03 a	2.90 ± 0.08 a
F-test	*	*	*
CV (%)	5.79	3.19	6.40

*, significantly different at $p \leq 0.05$

^{1/} mean $\pm$ SD values in the same column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.05$ by LSD

Table 4 Fresh weight of shoot and root and dry weight of shoot and root of plate brush eggplant seedling grown in greenhouse at 28 days after sowing

Treatments	Fresh weight (mg/plant)		Dry weight (mg/plant)	
	Shoot	Root	Shoot	Root
Non-primed seed	39.50 ± 7.04 b ^{1/}	6.23 ± 1.27 b	3.43 ± 0.48 b	0.74 ± 0.28
Hydropriming	41.37 ± 5.02 b	6.29 ± 0.47 b	3.60 ± 0.40 b	0.56 ± 0.05
Osmopriming	68.40 ± 4.59 a	11.35 ± 1.35 a	5.83 ± 0.35 a	0.79 ± 0.08
F-test	*	*	*	ns
CV (%)	11.37	13.89	9.67	24.34

ns, not significantly different at $p \leq 0.05$. *, significantly different at $p \leq 0.05$

^{1/} mean $\pm$ SD values in the same column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.05$ by LSD

2.4 การสร้างแบบจำลองของการประมวลผลภาพเพื่อประเมินความแข็งแรงของต้นกล้ามะเขือพวง

เมื่อพิจารณาข้อมูลการวิเคราะห์ภาพจากค่าจำนวนพิกเซล (pixel) ต่อต้นกล้า พบว่าจำนวนพิกเซลของภาพต้นกล้ามะเขือพวงจากทั้งสามวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (Table 5) โดยจำนวนพิกเซลของต้นกล้าจากเมล็ดที่ผ่านการไพร่ด้วยสารควบคุมแรงดันออสโมซิสมีค่ามากที่สุด คือ $1,355.83 \pm 136.42$ พิกเซลต่อต้นกล้า ซึ่งแตกต่างทางสถิติกับจำนวนพิกเซลต่อต้นกล้าจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพร่ และต้นกล้าจากเมล็ดที่ผ่านการไพร่ด้วยน้ำ มีค่าจำนวนพิกเซลน้อยที่สุดและไม่แตกต่างทางสถิติ คือ 842.23 ± 199.68 และ 929.85 ± 130.50 พิกเซลต่อต้นกล้า ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ (Table 3) น้ำหนักสดของส่วนเหนือดินและส่วนราก น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน (Table 4) และดัชนีความแข็งแรงของเมล็ด (Table 5) ดังนั้น ภาพถ่ายต้นกล้ามะเขือพวงที่ระยะความสูง 30 ซม. เหนือทรงพุ่มที่มีจำนวนพิกเซลของภาพมาก แสดงว่าต้นกล้ามีขนาดใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับค่าการเจริญเติบโตและความแข็งแรงของต้นกล้า เช่นเดียวกับ Syed et al. (2019) ได้รายงานการประเมินการเจริญเติบโตของต้นกล้าด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพแบบไม่ทำลายตัวอย่าง พบว่าความสัมพันธ์ของผลการวิเคราะห์ภาพที่ได้จากกล้อง RealSense และค่าความสูงของตัวอย่าง มีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ คือ 0.99, 0.99, 0.99 และ 0.99 ในพริก มะเขือเทศ แตงกวา และผักกาดหอม ตามลำดับ

Table 5 Shoot/root ratio, seedling vigor index and pixel number of plate brush eggplant seedling grown in greenhouse at 28 days after sowing

Treatments	Shoot/root ratio	Seedling vigor index	Pixel number (pixel/plant)
Non-primed seed	5.19 ± 2.10 b ^{1/}	335.54 ± 58.26 b	842.23 ± 199.68 b
Hydropriming	6.42 ± 0.39 ab	336.62 ± 43.03 b	929.85 ± 130.50 b
Osmopriming	7.48 ± 0.79 a	591.55 ± 18.70 a	$1,355.83 \pm 136.42$ a
F-test	*	*	**
CV (%)	20.68	10.25	15.22

*, significantly different at $p \leq 0.05$, **, significantly different at $p \leq 0.01$

^{1/} mean $\pm$ SD values in the same column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively by LSD

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้ามะเขือพวงและผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายเป็นจำนวนพิกเซลต่อต้น (Figure 3) พบว่าจากการวิเคราะห์ได้สมการถดถอยอย่างง่าย (simple linear regression) มีรูปแบบของสมการ คือ seedling vigor index = $0.36 \text{ pixel/plant} + 42.86$ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ($p \leq 0.01$) และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 77% เนื่องจากภาพถ่ายเป็นภาพด้านบน (top view) ของทรงพุ่มต้นกล้า ทำให้ภาพต้นกล้าที่มีใบขนาดใหญ่ จึงมีจำนวนของพิกเซลของภาพมาก แสดงถึงต้นกล้ามีความแข็งแรง ทำให้มีความสัมพันธ์ระหว่างมีจำนวนพิกเซลต่อต้นและดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้า สอดคล้องกับ ณภัทร และคณะ (2563) รายงานว่าพื้นที่ใบข้าวกับจำนวนของจุดภาพมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีการถดถอยอย่างง่าย มีรูปแบบของสมการ คือ พื้นที่ใบข้าว = $-329.24 + 0.012 \times$ จำนวนจุดภาพต่อกอ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ คือ 0.86 เมื่อนำสมการมาใช้ในการประเมินข้อมูลที่ใช้สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของสมการ ดังแสดงใน Figure 4 ซึ่งมีความสัมพันธ์ทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ในทางบวก ($r = 0.88$) ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error, RMSE) คือ 78.52 จากการเปรียบเทียบข้อมูลของผลที่ได้จากแบบจำลองด้วยสมการการถดถอย และข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบแบบจำลอง ยังมีปัจจัยบางประการที่ไม่สามารถตรวจสอบได้จากการถ่ายภาพ เช่น น้ำหนักของลำต้นและราก ซึ่งอาจจะมีผลต่อแบบจำลอง จึงควรมีการศึกษาการใช้ภาพถ่ายดิจิทัลประเมินปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องดังกล่าว นอกจากนี้การใช้วิธีการ

วิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal components analysis; PCA) การถดถอยโดยใช้องค์ประกอบหลัก (principal components regression; PCR) และการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least square regression; PLSR) อาจทำให้ได้สมการที่ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นรวมทั้งต้องมีการพัฒนาสมการประเมินความแข็งแรงของต้นกล้าที่ใบมีลักษณะการทาบมกับลำต้นที่แตกต่างกัน รวมทั้งต้องมีการใช้ภาพถ่ายดิจิทัลที่ถ่ายในมุมต่างกันมาช่วยในการประเมินความแข็งแรงของต้นกล้าด้วย การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้กล้อง Intel RealSense Depth Camera (Condotta et al., 2020) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาต่อไปในอนาคตในการวิเคราะห์ความแตกต่างของความแข็งแรงจากการประมวลผลภาพของต้นกล้าที่มีความแข็งแรงแตกต่างกันจากวิธีการโพรมิงสองวิธีและการไม่ทำโพรมิง ซึ่งในอนาคตจะพัฒนาองค์ความรู้จากการศึกษาครั้งนี้เข้าสู่กระบวนการ deep learning และ machine vision/robotic vision ต่อไป (Shinde et al., 2018)

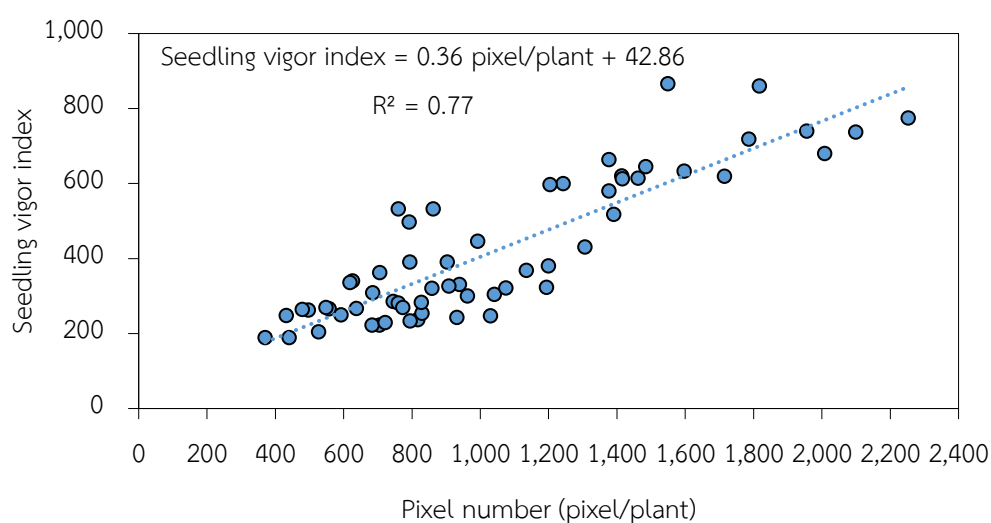


Figure 3 The relationship between pixel number and seedling vigor index of plate brush eggplant seedling

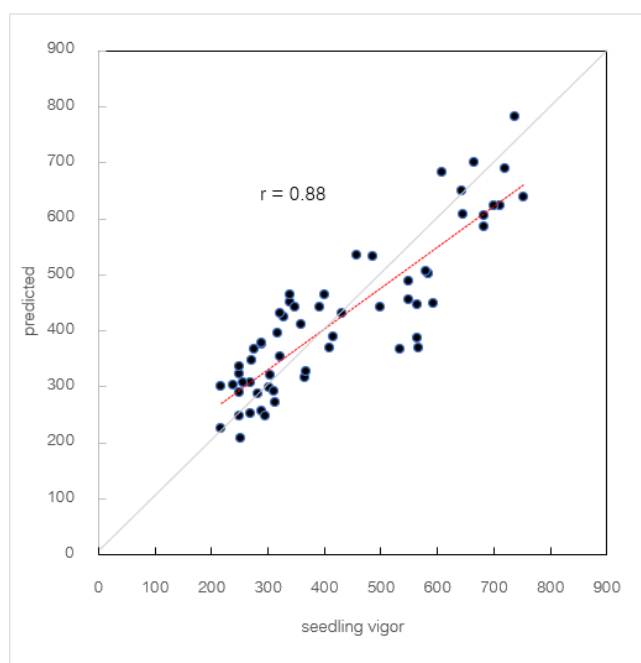


Figure 4 Correlation between experimental and predicted values of seedling vigor index of plate brush eggplant seedling

สรุป

1. วิธีการไพรมิงเมล็ดพันธุ์ไม่มีผลต่อความงอกในสภาพห้องปฏิบัติการและในสภาพโรงเรือน แต่การไพรมิงเมล็ดพันธุ์ด้วยสารควบคุมแรงดันออสโมซิสมีผลทำให้เมล็ดมีความแข็งแรง สามารถแทงรากได้เร็วและพัฒนาเป็นต้นอ่อนปกติได้เร็วประมาณ 1-2 วัน นอกจากนี้ยังทำให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตและแข็งแรงมากกว่าต้นกล้าจากเมล็ดที่ไม่ผ่านการไพรมิง

2. จำนวนพิกเซลต่อต้นมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีความแข็งแรงของต้นกล้าสูง สามารถนำมาสร้างเป็นแบบจำลองด้วยสมการถดถอยอย่างง่ายได้ และเมื่อทดสอบผลของการจำลองพบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับข้อมูลที่นำมาทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- จำนงค์ จันทะสี. 2552. การใช้ต้นตอต้านทางโรคเหี่ยวเหี่ยวในการผลิตมะเขือเทศผลสด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. อุบลราชธานี.
- ณภัทร โรจนสกุล, รักศักดิ์ เสริมศักดิ์ และเกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์. 2563. การใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประเมินพื้นที่ใบของข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 28(9): 1717-1724.
- ประเสริฐ ประภานภสินธุ์. 2542. การกระตุ้นการงอกของเมล็ดพริกด้วยวิธี hydropriming และ osmoconditioning. ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- พิจิตรา แก้วสอน, ขนิกันต์ เกิดกล้า และปริยานุช จุลกะ. 2561. ผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์มะเขือพวง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 49(พิเศษ 2): 329-332.
- ยศพนธ์ ศรีวิจารณ์, ประสิทธิ์ ชูติชูเดช และเบญจวรรณ ชูติชูเดช. 2555. ผลของการใช้ต้นตอต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศพันธุ์สีดา. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 31(3): 219-224.
- อาริตา วีสุนทร. 2559. ผลของการกระตุ้นความงอกด้วยสารเคมีต่อคุณภาพของเมล็ดมะเขือพวงพันธุ์พวงหยก. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- Abdoulaye, S. 1992. Advances in seed research on embryo dormancy in African eggplant (*Solanum aethiopicum*, L., spp Kumba). pp. 1620-1640. In XXVth International Horticultural Congress, Senegal, West Africa.
- Adnan, M., H. A. Rahman, M. Asif, M. Hussain, H. M. Bila, M. Adnan, F. Rehman, S. Ahmad, and M. Khalid. 2020. Seed priming; an effective way to improve plant growth. EC Agriculture. 6(6): 1-5.
- Aghdaei, M., S. H. Nemati, L. Samiei, and A. Sharifi. 2019. Effect of some priming methods on germination and vegetative parameters of pepino (*Solanum muricatum* Aiton). EurAsian Journal of BioSciences. 13(1): 1919-1929.
- Ali, M. M., T. Javed, R. P. Mauro, R. Shabbir, I. Afzal, and A. F. Yousef. 2020. Effect of seed priming with potassium nitrate on the performance of tomato. Agriculture. 10(11): 498-508.
- Almaghrabi, O. A. 2012. Impact of drought stress on germination and seedling growth parameters of some wheat cultivars. Life Science Journal. 9(1): 590-598.
- Amjad, M., K. Ziaf, Q. Iqbal, I. Ahmad, M. A. Riaz, and Z. A. Saqib. 2007. Effect of seed priming on seed vigour and salt tolerance in hot pepper. Pakistan Journal of Agricultural Sciences. 44(3): 408-416.
- Condotta, I. C. F. S., T. M. Brown-Brandl, S. K. Pitla, J. P. Stinn, and K. O. Silva-Miranda. 2020. Evaluation of low-cost depth cameras for agricultural applications. Computers and Electronics in Agriculture. 173: 1-15.
- Coolbear, P., A. Francis, and D. Grierson. 1984. The effect of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. Journal of Experimental Botany. 35(11): 1609-1617.

- Copeland, L. O., and M. B. McDonald. 1995. Principles of Seed Science and Technology. Chapman & Hill, New York.
- Das, S., S. Behera, R. Bhol, S. Swain, N. Senapati, and J. K. Beura. 2020. Evaluating relative efficacy of different priming treatments in brinjal (*Solanum melongena* L.). International Journal of Chemical Studies. 8(1): 2144-2148.
- Dhillon, N. P. S. 1995. Seed priming of male sterile muskmelon (*Cucumis melo* L.) for low temperature germination. Seed Science and Technology. 23: 881-884.
- Dong, H., Y. Ma, H. WU, W. Jiang, and X. MA. 2020. Germination of *Solanum nigrum* L. (Black Nightshade) in response to different abiotic factors. Planta Daninha. 38: 1-12.
- Edmonds, J. M., and J. A. Chweya. 1997. Black Nightshades (*Solanum nigrum* L.) and Related Species. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI)-Rome.
- Ellis, R. H., and E. H. Roberts. 1980. Improved equation for the prediction of seed longevity. Annals of Botany. 45(1): 13-30.
- Farooq, M., S. Basra, B. Saleem, M. Nafees, and S. Chishti. 2005. Enhancement of tomato seed germination and seedling vigor by osmopriming. Pakistan Journal of Agricultural Sciences. 42(3-4): 36-41.
- Forthofer, R. N., E. S. Lee, and M. Hernandex. 2007. Biostatistics: A Guide to Design, Analysis and Discovery. Elsevier Academic Press.
- Fränti, P., and S. Sieranoja. 2019. How much k-means be improved by using better initialization and repeats? Pattern Recognition. 93: 95-112.
- Gaba, R., N. Gupta, and S. K. Jindal. 2018. Effect of seed treatment on seed germination and vigour parameters in seeds subjected to salt stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Indian Journal of Ecology. 45(4): 892-894.
- Gonzalez, R. C., R. E. Wood, and S. L. Eddins. 2003. Digital Image Processing Using MATLAB. Pearson Prentice Hall., New Jersey.
- Gonzalez, R. C., and R. E. Wood. 2007. Digital Image Processing. 3rd Edition. Peason Prentice Hall., New Jersey.
- Hayati, N. E., S. Sukprakarn, and S. Juntakool. 2005. Seed germination enhancement in *Solanum stramonifolium* and *Solanum torvum*. Kasetsart Journal. 39(3): 368-376.
- ISTA. 2018. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association. Basserdorf, Switzerland.
- Joshua, A. 1978. Seed germination of *Solanum incatum*: An example of germination problems of tropical vegetable crops. Acta Horticulturae. 83: 155-162.
- Lara, T. S., J. M. S. Lira, A. C. Rodrigues, M. Rakocevic, and A. A. Alvarenga. 2014. Potassium nitrate priming affects the activity of nitrate reductase and antioxidant enzymes in tomato germination. Journal of Agricultural Science. 6(2): 72-80.
- McDonald, M. B. 2000. Seed priming. pp. 287-325. In M. Black and J. D. Bewley, eds. Seed Technology and Its Biological Basis. Sheffield Academic Press, UK.
- McIntyre, G. I., A. J. Cessna, and A. I. Hsiao. 1996. Seed dormancy in *Avena fatua*: interacting effects of nitrate, water and seed coat injury. Physiologia Plantarum. 97(2): 291-302.
- Mirabi, E., and M. Hasanabadi. 2012. Effect of seed priming on some characteristic of seedling and seed vigor of tomato (*Lycopersicon esculentum*). Journal of Advanced Laboratory Research in Biology. 3(3): 237-240.

- Özden, E., and I. Demir. 2016. GA₃ enhanced seed germination of *Solanum torvum*. Radova Poljoprivrednog Fakulteta Univerziteta u Sarajevu. 61(66): 316-320.
- Pawar, V. A., and S. L. Laware. 2018. Seed priming: a critical review. International Journal of Scientific Research in Biological Sciences. 5(5): 2347-7520.
- Rahman, A., and B. K. Cho. 2016. Assessment of seed quality using non-destructive measurement techniques: a review. Seed Science Research. 26(4): 285-305.
- Ranil, R. H. G., H. M. L. Nirana, M. Plazasc, R. M. Fonsekaa, H. H. Fonsekad, S. Vilanovac, I. Andújar, P. Gramazioc, A. Fitac, and J. Prohens. 2015. Improving seed germination of the eggplant rootstock *Solanum torvum* by testing multiple factors using an orthogonal array design. Scientia Horticulturae. 193: 174-181.
- Rivas, M., F. J. Sundstrom, and R. L. Edwards. 1984. Germination and crop development of hot pepper after seed priming. HortScience. 19 (2): 279-281.
- Sarathkumar, A., K. Malarkodi, and M. Ananthi. 2016. Effect of seed priming on seed germination and vigour in turkey berry (*Solanum torvum* Sw.). International Journal of Science and Nature. 7(2): 390-393.
- Shahlaei, A., N. A. Ansari, and S. Aliniaifard. 2009. Osmopriming eggplant (*Solanum melongena* L.) seeds by using salt solutions. Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology. 3(1): 41-43.
- Shinde, S., A. Kothari, and V. Gupta. 2018. YOLO based human action recognition and localization. Procedia Computer Science. 133: 831-838.
- Syed, T. N., L. Jizhan, Z. Xin, Z. Shengyi, Y. Yan, S. H. A. Mohamed, and I. A. Lakhia. 2019. Seedling-lump integrated non-destructive monitoring for automatic transplanting with Intel RealSense depth camera. Artificial Intelligence in Agriculture. 3: 18-32.
- Szeliski, R. 2011. Computer Vision Algorithms and Applications. Springer London Dordrecht Heidelberg, New York.
- Waqas, M., N. E. Korres, M. D. Khan, A. Nizami, F. Deeba, I. Ali, and H. Hussain. 2019. Advances in the concept and methods of seed priming. p. 1-41. In M. Hasanuzzaman and V. Fotopoulos. Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings. Springer Nature Singapore Pte Ltd, Singapore.
- Wood, A. J., and J. Roper. 2000. A simple & nondestructive technique for measuring plant growth & development. The American Biology Teacher. 62(3): 215-217.
- Xia, Y. Y. Xu, J. Li, C. Zhang, and S. Fan. 2019. Recent advances in emerging techniques for non-destructive detection of seed viability: A review. Artificial Intelligence in Agriculture. 1: 35-47.
- Yamamoto, K., W. Guo, and S. Ninomiya. 2016. Node detection and internode length estimation of tomato seedlings based on image analysis and machine learning. Sensors. 16: 1044-1059.
- Zhang, Y., H. Liu, S. Shen, and X. Zhang. 2011. Improvement of eggplant seed germination and seedling emergence at low temperature by seed priming with incorporation SA into KNO₃ solution. Frontiers of Agriculture in China. 5(4): 534-537.
- Ziaf, K., M. Amjad, M. A. Pervez, M. A. Anjum, Q. Iqbal, S. Rasheed, and T. Saeed. 2007. Seed priming for improved seedling vigour in chillies, pp. 251-256. In Proceeding of International Symposium on Prospects of Horticultural Industry in Pakistan Faisalabad, Pakistan.