

ผลของการเตรียมเมล็ดพันธุ์ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือน

Effect of Pre-sowing Seed Treatments on Germination and Vigor of the Samdeun Upland Rice Seed

นัฐวรรณ บุชบา¹, ณัฐกานต์ โชติชัย¹, พรพิมล สว่างศรี¹, ประภัสสร วิจิตรจันทร์¹, จริญญา แวกสวัสดิ์¹, อารมย์ ศรีพิจิตร¹, ธนสิน ทับทิมโต¹, ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล¹, ภคนันท์ เจียมแท้² และธีรวัฒน์ ศรีตโยภาส^{1*}

Nattawan Bussaba¹, Nattikan Chottichai¹, Pronpimon Sawangsri¹, Prapasorn Wijitjun¹, Charanya Khaeksawad¹, Arom Sripichitt¹, Thanasin Thabthimtho¹, Phairat Phimsirikul¹, Pakanan Jiamtae² and Teerawat Sarutayophat^{1*}

Received date: 23 ก.ย. 67 Revised date: 16 ม.ค. 68 Accepted date: 18 ก.พ. 68

DOI: <https://doi.org/10.55003/kmaj.2025.06.30.016>

บทคัดย่อ

การปลูกพืชด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพสูงทำให้การงอกของเมล็ด การตั้งตัวของต้นกล้าและการให้ผลผลิตสูงขึ้นตามไป ด้วย การเตรียมเมล็ดพันธุ์ก่อนปลูกทำให้ความงอกของเมล็ดพันธุ์พืชหลายชนิดเพิ่มขึ้น จึงทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของการเตรียมเมล็ดพันธุ์ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 4 ซ้ำ เตรียมเมล็ดพันธุ์ 10 กรรมวิธี ดังนี้ แช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำพร้อมให้ก๊าซออกซิเจนที่ 18 องศาเซลเซียส (hydropriming) เป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง แช่เมล็ดพันธุ์ในสารละลายโปแตสเซียมไนเตรด (KNO₃) เข้มข้น 1.0% พร้อมให้ก๊าซออกซิเจนที่ 18 องศาเซลเซียส (osmopriming) เป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง และแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง (traditional soaking) เปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีการเตรียมการงอก ผลการทดลองพบว่า การเตรียมเมล็ดพันธุ์ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีความงอกและความแข็งแรงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธี hydropriming เป็นเวลา 24, 48, 72 ชั่วโมง และวิธี osmopriming เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เป็นวิธีการเตรียมเมล็ดพันธุ์ที่ดีทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีความงอกเพิ่มขึ้นเป็น 83.50, 81.50, 81.00 และ 83.00% ตามลำดับ สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก (71.00%) ขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกตามวิธีที่เกษตรกรใช้มีความงอก 76.50%

คำสำคัญ: การเตรียมเมล็ดพันธุ์ ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ไฮโดรไพรมิง ออสโมไพรมิง

Abstract

Direct seeding with high-quality seeds leads to an increase in germination, seedling establishment, and yield productivity. Pre-sowing treatments had increased seed germination of various crop species. This experiment was conducted to study an effect of pre-sowing seed treatments on germination and vigor of the Samdeun upland rice seeds. Completely randomized design with 4 replications was used. Ten seed treatments were as follows: soaking in water with oxygen pumping (hydropriming) at 18°C for 24, 48, 72 and 96-h, soaking in 1.0% KNO₃ with oxygen pumping (osmopriming) at 18°C for 24, 48, 72 and 96-h, soaking in water for 24-h at room temperature (traditional soaking), and a non-presowing treatment as a control treatment. Pre-sowing treatments showed a significant effect on germination percentage and all the tests for vigor. Hydropriming for 24, 48, 72-h and osmopriming for 24-h were better pre-sowing treatments for the Samdeun upland rice seeds with germination of 83.50, 81.50, 81.00, and 83.00%, respectively. These were highly significant ($p \leq 0.05$) compared to non-treated seeds (71.00%), while the traditional soaking had germination of 76.50%.

Keywords: pre-sowing seed treatment, seed germination and vigor, hydropriming, osmopriming

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

² คณะทรัพยากรภูมิภาคและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยมิยาซากิ เมืองมิยาซากิ ประเทศญี่ปุ่น 889-2155

¹ Department of Plant Production Technology, School of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520

² Faculty of Regional Innovation, University of Miyazaki, Miyazaki, Japan, 889-2155

* Corresponding author: E-mail: teerawat.sa@kmitl.ac.th

คำนำ

เมล็ดพันธุ์พืชที่ปลูกในแปลง (direct seeded) มักจะมีการงอกและการตั้งตัวของต้นกล้าได้ไม่ดีเท่ากับการทดสอบในห้องปฏิบัติการหรือในโรงเรือน เนื่องจากสภาพแวดล้อมในแปลงมีความแปรปรวน ซึ่งกระทบต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์และการตั้งตัวของต้นกล้า เช่น ดินร่วนไม่มากพอทำให้ผิวเมล็ดพันธุ์สัมผัสกับเนื้อดินได้น้อยจึงดูดซับน้ำจากดินเข้าสู่เมล็ดพันธุ์ได้น้อย ปริมาณน้ำที่เมล็ดพันธุ์หรือต้นกล้าได้รับมากหรือน้อยเกินไป การแพร่กระจายของวัชพืชแข่งขันกับพืชปลูก อุณหภูมิดินและอากาศร้อนหรือหนาวกว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการงอกและการตั้งตัวของต้นกล้า เป็นต้น ซึ่งความแปรปรวนของปัจจัยแวดล้อมต่างๆ เหล่านี้ย่อมส่งผลกระทบต่อผลผลิตของพืชปลูก อีกปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์และการตั้งตัวของต้นกล้าของพืชที่ปลูกด้วยเมล็ดทุกชนิด คือ คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ ทั้งนี้เมล็ดพันธุ์พืชจะมีความงอกและความแข็งแรงสูงสุดที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) หลังจากนั้นคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ก็จะเริ่มลดลงโดยไม่สามารถหยุดหรือระงับการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ได้ ทำได้เพียงชะลออัตราการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ (Sripichitt, 2012; Bussaba et al., 2017; Dornbos, 1995; Finch-Savage, 1995) รวมถึงอัตราการเสื่อมคุณภาพขึ้นกับชนิดพืช พันธุ์หรือพันธุ์กรรมและสภาพแวดล้อม ทั้งสภาพแวดล้อมในขณะที่เมล็ดอยู่ระหว่างการพัฒนาด้านต้นแม่ในแปลงปลูกและสภาพแวดล้อมในระหว่างการเก็บรักษา โดยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ที่สำคัญคือ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ซึ่งลักษณะอากาศแบบร้อนชื้น เช่น สภาพอากาศในประเทศไทยจะส่งผลทำให้เมล็ดพันธุ์พืชเสื่อมคุณภาพได้เร็วกว่าลักษณะอากาศแบบแห้งและเย็นในเขตอบอุ่น มีการศึกษาวิจัยที่หลากหลายในการพยายามปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ที่มีการเสื่อมคุณภาพระดับหนึ่งแล้วให้มีคุณภาพสูงขึ้นวิธีหนึ่งที่มีรายงานว่าได้ผลดีกับเมล็ดพันธุ์พืชหลายชนิดคือ การเตรียมการงอกโดยการควบคุมการดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์ก่อนนำไปปลูก (seed priming) ทั้งนี้การเตรียมการงอกของเมล็ดพันธุ์มีหลายวิธี แต่วิธีที่ใช้กันมากคือ การแช่เมล็ดพันธุ์ในสารละลาย (osmopriming) รองลงมาคือ การแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำ (hydropriming) (McDonald, 2000) Bussaba et al. (2017) รายงานว่าการเตรียมการงอกด้วยวิธี hydropriming เป็นเวลา 72 ชั่วโมงเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์เล็บนกมีความงอกสูงสุด 75.0% ขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีการเตรียมการงอกมีความงอกเพียง 59.0% Banjobpudsa et al. (2017) รายงานว่าการเตรียมการงอกด้วยวิธีการต่างๆ ทั้ง hydropriming เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง หรือ hardening เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง หรือ osmohardening เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง และ traditional soaking หรือการแช่เมล็ดในน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมล็ดข้าวไร่พันธุ์นุสรามีความงอก 93.0-97.0% ขณะที่เมล็ดที่ไม่ได้เตรียมการงอกมีความงอก 78.0% Farooq and Basra (2006) รายงานว่าการเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวโดยวิธี osmohardening ในสารละลาย KCl ที่มีค่าศักย์ของน้ำ -1.25 MPa ทำให้เมล็ดข้าวพันธุ์ KH282 มีความงอก 87.7% และให้ผลผลิต 3.23 ตัน/เฮกตาร์ สูงกว่าความงอกและผลผลิตจากเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอกที่มีความงอก 79.7% และให้ผลผลิตเพียง 2.71 ตัน/เฮกตาร์ Abdallah et al. (2016) ศึกษาผลของวิธีการและเวลาในการเตรียมการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าว 3 พันธุ์ (Inpago-8, IR64, Situ Bagendit) รายงานว่า เวลาที่เหมาะสมสำหรับเตรียมการงอกโดยวิธี hydropriming และ osmopriming ด้วยสารละลาย polyethylene glycol เข้มข้น 100 กรัม/น้ำ 1 ลิตร (PEG 100 gL⁻¹) คือเวลา 30-36 และ 63-69 ชั่วโมง ตามลำดับ เมล็ดพันธุ์ข้าว 3 พันธุ์ มีความงอกเฉลี่ยสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอกอย่างมีนัยสำคัญ Hussain et al. (2006) รายงานว่าเมล็ดพันธุ์ทานตะวันที่ผ่านการเตรียมการงอกโดยการแช่ในน้ำกลั่น 24 ชั่วโมง และการแช่ในสารละลาย NaCl เข้มข้น 0.1% 12 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์ความงอกและให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอกอย่างมีนัยสำคัญ คือให้ผลผลิตเท่ากับ 2.263, 2.260 และ 1.980 ตัน/เฮกตาร์ ตามลำดับ

พื้นที่ปลูกข้าวในประเทศไทยรวมทั้งนาปี นาปรังและข้าวไร่ ในปีการผลิต 2565/66 เท่ากับ 72.39 ล้านไร่ ได้ผลผลิตข้าวเปลือกที่ความชื้น 15% รวม 32.88 ล้านตัน (Office of Agricultural Economics, 2024) ในจำนวนนี้เป็นพื้นที่ปลูกข้าวไร่ประมาณ 1.2 ล้านไร่/ปี โดยข้าวไร่ทั้งหมดปลูกในฤดูฝนเพียงปีละครั้งและอาศัยเฉพาะน้ำฝน พันธุ์ข้าวไร่ที่กรมการข้าวแนะนำในปัจจุบันมีเพียง 12 พันธุ์ ได้แก่ กุเมืองหลวง ขาวโป่งไคร้ ดอกพะยอม ชิวแมจัน เจ้าฮ่อ น้ำรู้ เจ้าลิซอ สันป่าตอง เจ้าขาวเชียงใหม่เหนียวตาขอไม้ไผ่ 4 อาร์ 258 และข้าวเหนียวลิ้มผัว ให้ผลผลิตแปรปรวนระหว่าง 210-456 กก./ไร่ (Rice Department, 2024) แต่เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้พันธุ์พื้นเมือง ที่เก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ไว้เอง ซึ่งการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ตามวิธีของเกษตรกรที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเป็นเวลาประมาณ 7-8 เดือน ก่อนถึงฤดูกาลเพาะปลูกในปีถัดไปย่อมทำให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพ การเตรียมเมล็ดพันธุ์ก่อนนำไปปลูก (pre-sowing treatment) เช่น การเตรียมการงอกโดยควบคุมการดูดน้ำ (priming) อาจยกระดับการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่ให้สูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลของการเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือน

วิธีการศึกษา

เมล็ดพันธุ์ข้าวไร้พันธุ์สามเดือนที่บรรจุในถุงพลาสติกและเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ปี มีความงอก 71.0% วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ เมล็ดพันธุ์ 50 เมล็ด/ซ้ำ วิธีการศึกษามีรายละเอียด ดังนี้

การเตรียมเมล็ดพันธุ์

การเตรียมเมล็ดพันธุ์หรือสิ่งทดลองที่ทำการศึกษานี้มี 10 กรรมวิธี ดังนี้

ก) hydropriming คือ การแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำพร้อมให้ก๊าซออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง แล้วซับน้ำออกพอดำกๆ แล้วจึงนำไปฝังในที่ร่มประมาณ 3 วันหรือจนกระทั่งความชื้นในเมล็ดเหลือประมาณ 10-12%

ข) osmopriming คือ การแช่เมล็ดพันธุ์ในสารละลายโปแตสเซียมไนเตรด (KNO_3) เข้มข้น 1.0% ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง จากนั้นล้างเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำกลั่นและซับน้ำออกพอดำกๆ แล้วจึงนำไปฝังในที่ร่มประมาณ 3 วันหรือจนกระทั่งความชื้นในเมล็ดเหลือประมาณ 10-12%

ค) traditional soaking ซึ่งเป็นวิธีที่เกษตรกรใช้เตรียมเมล็ดพันธุ์ก่อนปลูก โดยการแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำประปา ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วซับน้ำออกพอดำกๆ แล้วจึงนำไปฝังในที่ร่มประมาณ 3 วันหรือจนกระทั่งความชื้นในเมล็ดเหลือประมาณ 10-12%

ง) เมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีการเตรียมการงอก (non-presowing/non-priming) เป็นสิ่งทดลองควบคุม (control treatment)

การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์

นำเมล็ดพันธุ์จากทุกกรรมวิธีไปตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์คือ ตรวจสอบความงอกมาตรฐาน (International Seed Testing Association, 2019) และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ซึ่งประกอบด้วย จำนวนวันที่ใช้ในการงอก ดัชนีการงอก (Association of Official Seed Analysts, 1993) พลังงานในการงอก (Ruan et al., 2002; Banjobpudsa et al., 2017) และ ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ของน้ำที่แช่เมล็ดพันธุ์ มีรายละเอียด ดังนี้

1. การตรวจสอบความงอก (germination test, G) โดยนำเมล็ดพันธุ์จำนวน 50 เมล็ด/ซ้ำ วางเรียงในกล่องพลาสติกใสที่รองด้วยกระดาษสำหรับเพาะเมล็ดหนา 2 ชั้น ที่ชุ่มด้วยน้ำกลั่นนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตรวจสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์ครั้งแรกหลังการเพาะ 4 วัน หลังจากนั้นตรวจนับทุกวันและตรวจนับความงอกครั้งสุดท้ายที่ 14 วันหลังการเพาะ เมล็ดพันธุ์ โดยนับเมล็ดที่รากของต้นอ่อน (radicle) งอกออกมาจากกาบหุ้มเมล็ดประมาณ 2 มิลลิเมตร แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหา

1.1 เปอร์เซนต์ความงอก (germination percentage; G)

$$G = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอก}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะทั้งหมด}} \times 100$$

1.2 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก (mean germination time; MGT)

$$MGT = \frac{\sum(n \times d)}{N}$$

โดย n = จำนวนเมล็ดที่งอกหลังการเพาะในวัน ที่ d

d = จำนวนวัน ที่เมล็ดงอกหลังการเพาะ

N = จำนวนเมล็ดที่งอกทั้งหมด

1.3 ดัชนีการงอก (germination index; GI)

$$GI = \sum \left(\frac{N_t}{T_t} \right)$$

โดย N_t = จำนวนเมล็ดที่งอกในวันที่ t หลังการเพาะ และ T_t = ระยะเวลา (วัน) หลังการเพาะ

1.4 เวลาที่งอกได้ 50% (time to 50% germination; T_{50})

$$T_{50} = \frac{t_i + [(N+1)/2 + n_i](t_j - t_i)}{n_j - n_i}$$

โดย n_i และ n_j คือ จำนวนเมล็ดที่งอกสะสมทั้งหมดที่ระยะเวลา (วัน) หลังการเพาะ t_i และ t_j

โดยที่ $n_i < (N+1)/2 < n_j$

1.5 พลังงานที่ใช้ในการงอก (germination energy; GE) หมายถึง สัดส่วนระหว่างจำนวนเมล็ดที่งอกภายใน 4 วันหลังการเพาะเปรียบเทียบกับจำนวนเมล็ดทั้งหมดที่เพาะ (Ruan et al., 2002; Banjobpudsa et al., 2017)

$$GE = \left(\frac{Nt_3}{N} \right) \times 100$$

โดย Nt_3 = จำนวนเมล็ดทั้งหมดที่งอกภายใน 3 วันหลังการเพาะ

N = จำนวนเมล็ดทั้งหมดที่เพาะ

2. การตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำแช่เมล็ด โดยการชั่งน้ำหนักเมล็ดสด 50 เมล็ด แล้วนำไปแช่ในน้ำกลั่น 100 มล ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำแช่เมล็ดด้วย EC meter หน่วยวัดเป็น $\mu S/cm/g\text{-seed}$

การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความงอกกับความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์

หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (multiple correlation coefficient) ระหว่างความงอกกับดัชนีชี้วัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ 5 ลักษณะด้วย Statistical Analysis Software (SAS) (Syphus, 2024)

การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ของข้อมูลผลการทดลองด้วย SAS (Syphus, 2024) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองตามวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนบรรจุในถุงพลาสติกและเก็บรักษาในตู้เย็นเป็นเวลา 1 ปี มีความชื้น 11.5% มีความงอก 71.0% หลังจากการเตรียมการงอกแล้วตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีการเตรียมการงอก ผลการทดลองมี ดังนี้

เปอร์เซ็นต์ความงอก (germination percentage; G)

การเตรียมการงอกด้วยวิธีการต่างๆ ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนมีเปอร์เซ็นต์การงอกแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยการทำ hydropriming เป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง และ osmopriming เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก ($p \leq 0.05$) คือ มีความงอก 83.5, 81.5, 83.0, 83.0 และ 71.0% ตามลำดับ ขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกตามวิธีที่เกษตรกรปฏิบัติ โดยการแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (traditional soaking) ทำให้เมล็ดพันธุ์มีความงอก 76.5% กว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก (71.0%) แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) ส่วนการทำ hydropriming เป็นเวลา 96 ชั่วโมง เมล็ดพันธุ์งอก 77.0% ใกล้เคียงกับการเตรียมเมล็ดพันธุ์ตามวิธีที่เกษตรกรใช้ (76.5%) และไม่แตกต่างจากความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก แสดงว่า hydropriming เป็นเวลา 96 ชั่วโมง เป็นเวลาที่ยาวเกินไป ขณะที่ osmopriming เป็นเวลา 48, 72 และ 96 ชั่วโมง เมล็ดมีความงอก 74.75-78.50% และไม่แตกต่างกับความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอกและเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกตามวิธีที่เกษตรกรใช้ สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Hussain et al. (2006) ที่รายงานว่า hydropriming ทำให้ทานตะวันพันธุ์ Hysun-33 มีเปอร์เซ็นต์ความงอกการเจริญเติบโตดีกว่าและให้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกด้วยเมล็ดที่ไม่ได้เตรียมการงอก เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Banjobpudsa et al. (2017) ที่รายงานว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สุราที่เตรียมการงอกโดยวิธี hydropriming เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง และ traditional soaking มีความงอก 90.50-97.00% สูงกว่า ความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก (78.00%) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$)

ดัชนีความงอก (germination index; GI)

เมล็ดพันธุ์ที่มีการเตรียมการงอกด้วยวิธีการต่างๆ และที่ไม่ได้เตรียมการงอกมีดัชนีความงอกแตกต่างกัน ($p \leq 0.01$) โดย hydropriming เป็นเวลา 24, 96 ชั่วโมง และ osmopriming เป็นเวลา 96 ชั่วโมง มีดัชนีความงอกสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกตามวิธีที่เกษตรกรใช้และเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก โดยมีดัชนีความงอก 34.88, 35.27, 34.55, 28.48 และ 27.96 ตามลำดับ (Table 1) ส่วนดัชนีความงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร้พันธุ์สามเดือนที่มีการเตรียมการงอกด้วยวิธีอื่นๆ มีดัชนีความงอก 29.67-31.91 มีแนวโน้มสูงกว่าดัชนีความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก (27.96) สอดคล้องกับรายงานของ Banjobpudsa et al. (2017) ที่รายงานว่า การเตรียมการงอกด้วยวิธีการต่างๆ ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร้พันธุ์สามเดือนมีดัชนีความงอกระหว่าง 37.08-43.75 สูงกว่า ($p \leq 0.01$) ดัชนีความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก (23.34) และสอดคล้องกับงานของ Dezfuli et al. (2008) ที่รายงานว่า hydropriming เป็นเวลา 24 และ 36 ชั่วโมง เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดสายพันธุ์แท้มีดัชนีความงอกสูงกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เตรียมการงอก คือมีดัชนีความงอก 23.28, 26.17 และ 18.53 ตามลำดับ

เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก (mean germination time; MGT)

การเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการต่างๆ ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร้พันธุ์สามเดือนมีเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก (วันหลังการเพาะ) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ระหว่าง 2.23-2.91 วันหลังการเพาะ โดยเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกด้วยวิธี hydropriming เป็นเวลา 96 ชั่วโมง มีเวลาเฉลี่ยในการงอกน้อยที่สุด 2.23 วันหลังการเพาะ รองลงมาคือ osmopriming เป็นเวลา 96 ชั่วโมง มีเวลาเฉลี่ยในการงอก 2.32 วันหลังการเพาะ ขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกด้วยวิธีที่เกษตรกรใช้และเมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีการเตรียมการงอกมีเวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดพันธุ์ยาวนานขึ้นเล็กน้อยเป็น 2.84 และ 2.74 วัน หลังการเพาะ ตามลำดับ เนื่องจากการทดสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวในครั้งนีกระทำให้ในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งสามารถควบคุมปัจจัยแวดล้อมบริเวณพื้นที่ทดลองให้มีความสม่ำเสมอ ดังนั้นเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีการเตรียมการงอกด้วยวิธีการต่างๆ จึงไม่ต่างกันมาก และค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของข้อมูลผลการทดลองก็อยู่ในเกณฑ์ต่ำระหว่าง 6.44-8.27 เปอร์เซนต์ (Table 1)

พลังงานในการงอก (germination energy; GE)

การเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีต่างๆ ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร้พันธุ์สามเดือนมีพลังงานในการงอกแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ระหว่าง 72.00-82.50 โดยเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกด้วยวิธี hydropriming เป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง และ osmopriming เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีพลังงานในการงอกสูงสุด 4 อันดับแรกเท่ากับ 80.50, 80.20, 80.00 และ 82.50 ตามลำดับ ขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอก และเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกตามวิธีที่เกษตรกรใช้ มีพลังงานในการงอก 72.00 และ 74.00 ตามลำดับ สำหรับเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกด้วยวิธีการอื่นๆ คือ hydropriming เป็นเวลา 96 ชั่วโมง และ osmopriming เป็นเวลา 48, 72 และ 96 ชั่วโมง มีพลังงานในการงอกระหว่าง 72.50-79.00 ถึงแม้ว่าจะไม่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอกแต่ก็มีแนวโน้มสูงกว่า (Table 2) ดังนั้นเมล็ดพันธุ์ข้าวไร้ที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน 7-8 เดือน ก่อนนำไปใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ปลูกควรทำการเตรียมการงอกโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง ซึ่งวิธีที่เหมาะสมสำหรับแต่ละพันธุ์อาจแตกต่างกัน แต่การเตรียมเมล็ดพันธุ์ก่อนปลูกตามวิธีที่เกษตรกรใช้ก็เป็นวิธีการที่สะดวกทำได้ง่าย และสำหรับข้าวไร้ซึ่งส่วนใหญ่ปลูกด้วยเมล็ดลงในแปลงโดยตรงแล้วรอฝนหรือใช้น้ำฝนเพื่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตในแปลงตลอดฤดูเพาะปลูก ดังนั้นเมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำแล้วแนะนำให้ผึ่งลมหรือตากแดดอ่อนๆ ให้เมล็ดพันธุ์แห้งเพื่อหยุดขบวนการงอกก่อนนำไปปลูกลงในแปลง เนื่องจากการเตรียมการงอกก่อนนำเมล็ดพันธุ์ไปปลูกในแปลงจะทำให้เมล็ดพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การงอกและพลังงานในการงอกเพิ่มขึ้น (Table 1 และ Table 2)

Table 1 Effect of pre-sowing seed treatments on the germination and seed vigor of the Samdeun upland rice seeds

Treatments	Germination (%)	Germination index	MGT (days)
1. Control (non-priming)	71.00 ^c	27.96 ^d	2.74 ^{ab}
2. Traditional (soaking in H ₂ O 24 h)	76.50 ^{abc}	28.48 ^d	2.84 ^a
3. Hydropriming 24 h	83.50 ^a	34.88 ^{ab}	2.52 ^{bcd}
4. Hydropriming 48 h	81.50 ^{ab}	31.91 ^{abcd}	2.75 ^{ab}
5. Hydropriming 72 h	83.00 ^{ab}	30.98 ^{bcd}	2.77 ^{ab}
6. Hydropriming 96 h	77.00 ^{abc}	35.27 ^a	2.23 ^e
7. Osmopriming 24 h	83.00 ^{ab}	30.49 ^{cd}	2.91 ^a
8. Osmopriming 48 h	76.00 ^{abc}	30.04 ^d	2.65 ^{abc}
9. Osmopriming 72 h	74.75 ^{bc}	29.67 ^d	2.42 ^{cde}
10. Osmopriming 96 h	78.50 ^{abc}	34.55 ^{abc}	2.32 ^{de}
F-test	*	**	**
C.V. (%)	6.50	8.27	6.44

* significant at $p \leq 0.05$ level, ** significant at $p \leq 0.01$ level.

Mean values in the same column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT.

เวลาที่ใช้ในการงอก 50% (time to 50% germination; T₅₀)

การเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการที่ต่างกันทำให้เมล็ดพันธุ์ใช้เวลาในการงอกครั้งหนึ่งของความงอกทั้งหมดหรือใช้เวลาในการงอก 50% แตกต่างกัน ($p \leq 0.01$) ระหว่าง 1.71-2.55 วันหลังการเพาะ (Table 2) โดยเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมโดยวิธี hydropriming เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ใช้เวลาในการงอก 50% เร็วที่สุด 1.63 วันหลังการเพาะ รองลงมาคือ เมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกโดยวิธี osmopriming เป็นเวลา 96 และ 72 ชั่วโมง ใช้เวลาในการงอก 50% ประมาณ 1.71 และ 1.86 วัน ขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีการเตรียมการงอกใช้เวลาในการงอก 50% ประมาณ 2.55 วัน ส่วนเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกตามวิธีที่เกษตรกรปฏิบัติใช้เวลาในการงอก 50% ประมาณ 2.40 วัน ซึ่งการที่เมล็ดพันธุ์งอกช้าจะทำให้การตั้งตัวของต้นกล้าช้าตามไปด้วย ทั้งนี้การปลูกข้าวในฤดูฝนในเขตที่อาศัยเฉพาะน้ำฝน การงอกของเมล็ดพันธุ์และการตั้งตัวของต้นกล้าที่รวดเร็วย่อมเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว (Banjobpudsa et al., 2017) เนื่องจากปริมาณและการกระจายของน้ำฝนมักจะไม่สม่ำเสมอตลอดฤดูเพาะปลูก

ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่รั่วไหลจากเมล็ดพันธุ์ (electrical conductivity of a soaked-seed solution; EC)

สารละลายที่รั่วไหลจากเมล็ดพันธุ์ที่มีการเตรียมการงอกต่างกันมีการนำไฟฟ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ระหว่าง 12.38-41.38 ไมโครซีเมนส์/เซ็นติเมตร/กรัม-เมล็ดพันธุ์ ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g-seed}$) โดยเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกด้วยวิธี osmopriming คือ การแช่เมล็ดพันธุ์ในสารละลายโพแทสเซียมไนเตรด (KNO_3) เข้มข้น 1.0% ที่อุณหภูมิ 18 °ซ เป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่า สารละลายที่ได้จากการแช่เมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกด้วยวิธีนี้มีค่าการนำไฟฟ้าระหว่าง 33.35-41.38 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g-seed}$ สูงกว่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ได้จากการแช่เมล็ดพันธุ์ที่มีการเตรียมการงอกด้วยวิธีอื่นๆ ($p \leq 0.01$) เนื่องจาก KNO_3 ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ และอวัยวะต่าง ๆ ภายในเซลล์เสียหาย (injured membranes and cellular organelles) (Basra et al., 2005) ทำให้สารประกอบต่าง ๆ ในเมล็ดพันธุ์ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ รั่วไหลออกมาอยู่ในสารละลายแช่เมล็ดพันธุ์มากกว่าสารละลายแช่เมล็ดพันธุ์ที่เตรียมการงอกด้วยวิธีอื่นๆ ที่มีค่าการนำไฟฟ้า 12.38-13.03 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g-seed}$ และมากกว่าสารละลายจากเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เตรียมการงอกที่มีค่าการนำไฟฟ้า 22.23 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g-seed}$ (Table 2) เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในการทดลองได้ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 ปี ทำให้มีการเสื่อมของเยื่อหุ้มและอวัยวะต่าง ๆ ภายในเซลล์ เมื่อนำเมล็ดพันธุ์ไปเตรียมการงอก โดยวิธีการแช่ในน้ำตามวิธีที่เกษตรกรใช้ และวิธี hydropriming เป็นเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ทำให้สารประกอบต่าง ๆ ในเมล็ดพันธุ์ส่วนหนึ่งรั่วไหลละลายออกมาอยู่ในน้ำในระหว่างการเตรียมเมล็ดพันธุ์ (Basra et al., 2005) ดังนั้นหลังจากการเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการเหล่านี้แล้ว จึงทำให้สารประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์รั่วไหลออกมาอยู่ในสารละลายจากการแช่เมล็ดพันธุ์มีปริมาณลดลง ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายจากการแช่เมล็ดพันธุ์ที่มีการเตรียมการงอกด้วยวิธีการต่าง ๆ เหล่านี้มีค่าต่ำกว่าสารละลายจากเมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีการเตรียมการงอก

Table 2 Effect of pre-sowing seed treatments on the germination energy and seed vigor of the Samdeun upland rice seeds

Treatments	Germination energy (%)	T ₅₀ (days)	EC (μS/cm/g-seed)
1. Control (non-priming)	72.00 ^c	2.55 ^a	22.23 ^c
2. Traditional (soaking in H ₂ O 24 h)	74.00 ^{bc}	2.40 ^{ab}	13.98 ^d
3. Hydropriming 24 h	80.50 ^{ab}	1.94 ^{cde}	13.03 ^d
4. Hydropriming 48 h	80.20 ^{abc}	2.15 ^{bcd}	12.83 ^d
5. Hydropriming 72 h	80.00 ^{abc}	2.31 ^{ab}	12.38 ^d
6. Hydropriming 96 h	76.50 ^{abc}	1.63 ^e	12.80 ^d
7. Osmopriming 24 h	82.50 ^a	2.40 ^{ab}	33.35 ^b
8. Osmopriming 48 h	76.00 ^{abc}	2.20 ^{bc}	34.70 ^b
9. Osmopriming 72 h	72.50 ^{bc}	1.86 ^{de}	41.38 ^a
10. Osmopriming 96 h	79.00 ^{abc}	1.71 ^e	40.98 ^a
F-test	*	**	**
C.V. (%)	6.30	9.42	7.94

* significant at $p \leq 0.05$ level, ** significant at $p \leq 0.01$ level.

Mean values in the same column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT.

สหสัมพันธ์ระหว่างความงอกกับความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (correlation coefficient between germination and other seed vigor)

เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่พันธุ์สามเดือนที่มีการเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการต่าง ๆ เมื่อนำไปตรวจสอบความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ เช่น เปอร์เซ็นต์การงอก ดัชนีการงอก เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก พลังงานในการงอกและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่รั่วไหลจากเมล็ดพันธุ์ ฯลฯ และเมื่อนำค่าหรือข้อมูลต่าง ๆ ที่ตรวจวัดได้เหล่านี้ไปหาสหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r) ระหว่างลักษณะ ผลแสดงใน Table 3 พบว่า เปอร์เซ็นต์การงอก (G) มีความสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญกับ ดัชนีการงอก (GI) และพลังงานในการงอก (GE) โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างกันเท่ากับ 0.48890** และ 0.94406** ตามลำดับ (Table 3) ส่วนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การงอกกับค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่รั่วไหลจากเมล็ดพันธุ์ (EC) มีค่าเป็นลบ (negative) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = -0.26309^{ns}$) หมายความว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่รั่วไหลจากเมล็ดพันธุ์สูง มีแนวโน้มจะมีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ที่มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่รั่วไหลจากเมล็ดพันธุ์สูง แสดงว่า ส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดพันธุ์เสื่อมลงทำให้สารประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ในเมล็ดพันธุ์ละลายออกมาสู่สารละลาย โดยเฉพาะแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ที่มีประจุไฟฟ้า เช่น โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ฯลฯ ทำให้สารละลายมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีการเสื่อมคุณภาพน้อยกว่า เมล็ดพันธุ์กลุ่มที่มีค่า EC สูงจึงมีแนวโน้มที่จะมีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่รั่วไหลจากเมล็ดพันธุ์ต่ำ

Table 3 Correlation coefficients among seed vigor traits and germination of pre-sowing seed treatments of the Samdeun upland rice seeds tested in a laboratory

	GI	MGT (days)	GE (%)	T50 (days)	EC (μS/cm/g-seed)	G (%)
GI	1.0000	-0.69974**	0.52449**	-0.81846**	-0.07794	0.48890**
MGT (days)		1.00000	0.19047	0.92848**	-0.21976	0.19733
GE (%)			1.00000	-0.08522	-0.16391	0.94406**
T50 (days)				1.00000	-0.18845	-0.12054
EC (μS/cm/g-seed)					1.00000	-0.26309

** significant at $p \leq 0.01$ level.

สรุปผลการศึกษา

1. การเตรียมเมล็ดพันธุ์สามารถปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่น้ำสามเดือนได้ โดยการเตรียมเมล็ดพันธุ์วิธี hydropriming เป็นเวลา 24-72 ชั่วโมง และ Osmopriming เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เป็นวิธีการเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่น้ำสามเดือนที่เหมาะสม สามารถเพิ่มความงอกของเมล็ดพันธุ์จาก 71.00% เป็น 83.50, 81.50, 83.00 และ 83.00% ตามลำดับ
2. เปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่น้ำสามเดือนมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับดัชนีการงอกและพลังงานในการงอกอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างกันเท่ากับ 0.48890** และ 0.94406** ตามลำดับ

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้ของคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนางสาวภัทรินทร์ วิจิตรการ และนางสาวสุนันทา บรรจบพุดชา ที่กรุณาให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการทำงานวิจัยในห้องปฏิบัติการ

การมีส่วนร่วมในการเขียนบทความของผู้เขียน

ความคิดริเริ่ม และ สมมุติฐาน: นัฐวรรณ บุชบา, ณัฐกานต์ โชติชัย, พรพิมล สว่างศรี, อารมณ ศรีพิจิตร ไพรรัตน์ พิมพ์ศิริกุล, อีรวรรณ ศรุตโยภาส. การปฏิบัติการวิจัย การมีส่วนร่วมในการออกแบบ การทดลอง การทดสอบ เครื่องมือวัด วิธีการเก็บข้อมูล และ criteria: นัฐวรรณ บุชบา, ณัฐกานต์ โชติชัย, พรพิมล สว่างศรี, ประภัสสร วิจิตรจันทร์, จริญญา แวกส์สวัสดิ์, ธนสิน ทับทิมโต, ไพรรัตน์ พิมพ์ศิริกุล, ภคินันท์ เจริญแท้, อีรวรรณ ศรุตโยภาส. การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล: นัฐวรรณ บุชบา, ณัฐกานต์ โชติชัย, พรพิมล สว่างศรี, ประภัสสร วิจิตรจันทร์, จริญญา แวกส์สวัสดิ์, ธนสิน ทับทิมโต, ไพรรัตน์ พิมพ์ศิริกุล, ภคินันท์ เจริญแท้, อีรวรรณ ศรุตโยภาส. การวิพากษ์วิจารณ์ผล การแสดง การเปรียบเทียบกับข้อสรุปหรือองค์ความรู้ หรือทฤษฎีเดิม: นัฐวรรณ บุชบา, ประภัสสร วิจิตรจันทร์, จริญญา แวกส์สวัสดิ์, ภคินันท์ เจริญแท้, อีรวรรณ ศรุตโยภาส. การมีส่วนร่วมในการเขียนต้นฉบับบทความ: นัฐวรรณ บุชบา, ไพรรัตน์ พิมพ์ศิริกุล, ภคินันท์ เจริญแท้, อีรวรรณ ศรุตโยภาส. การให้การสนับสนุนเครื่องมือห้องปฏิบัติการ และ ครูภัณฑ์: ไพรรัตน์ พิมพ์ศิริกุล.

เอกสารอ้างอิง

- Abdallah, H., Musa, Y., Mustafa, M., Sjahril, R., & Riadi, M. (2016). Comparison between hydro-priming and osmo-priming to determine period needed for priming indicator and its effect on germination percentage of aerobic rice cultivars (*Oryza sativa* L.). *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 38(3), 222-230.
- Association of Official Seed Analysts. (1993). Rules for testing seeds. *Journal of Seed Technology*, 16(1), 1-113.
- Banjobpudsa, S., Sripichitt, A., & Sarutayophat, T. (2017). The effect of pre-sowing treatments on germination and vigor of upland rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Agricultural Technology*, 13(7.1), 1343-1353.
- Basra, A., Farooq, M., Tabassam, R., & Ahmad, N. (2005). Physiological and biochemical aspects of pre-sowing seed treatments in fine rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Science and Technology*, 33(3), 623-628.
- Bussaba, N., Chottichai, N., Sawangsri, P., Sripichitt, A., & Sarutayophat, T. (2017). Effect of seed priming on germination and vigor of the Lebnok upland rice seed. In *Proceedings of the 14th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference: Plants and Biotechnology, Animals and Veterinary, Education and Development Sciences*, pp. 48-55. Kasetsart University. (in Thai).
- Dezfuli, P. M., Sharif-zadeh, F., & Janmohammadi, M. (2008). Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines (*Zea mays* L.). *Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3(3), 22-25.

- Dornbos, J. (1995). Seed Vigor. In Basra, A. (Ed.), **Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications**, pp. 45-80. Food Products Press.
- Farooq, M., & Basra, A. (2006). Seed priming enhances emergence, yield, and quality of direct-seeded rice. **International Rice Research Notes**, 31(2), 42-44.
- Finch-Savage, W. E. (1995). Influence of seed quality on crop establishment, growth and yield. In Basra, A. (Ed.), **Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications**, pp. 361-384. Food Products Press.
- Hussain, M., Farooq, M., Basra, A., & Ahmad, N. (2006). Influence of seed priming techniques on the seedling establishment, yield and quality of hybrid sunflower. **International Journal of Agriculture and Biology**, 8(1), 14-18.
- International Seed Testing Association. (2019). **International Rules for Seed Testing**. International Seed Testing Association.
- McDonald, B. (2000). Seed priming. In Black, M., & Bewley, J. D. (Ed.), **Seed Technology and Biological Basis**, pp. 287-325. Sheffield Academic Press.
- Office of Agricultural Economics. (2024). **Agricultural Production Data of Thailand**. Retrieved from: <https://www.oae.go.th/view/1>. (in Thai).
- Rice Department. (2024). **Rice Knowledge Bank, Rice Varieties**. Retrieved from: <https://newwebs2.ricethailand.go.th/webmain/rkb3/Varieties.htm>. (in Thai).
- Ruan, S., Xue, Q., & Tylkowska, L. (2002). The influence of priming on germination of rice (*Oryza sativa* L.) seeds and seedling emergence and performance in flooded soil. **Seed Science and Technology**, 30(1), 61-67.
- Sripichitt, A. (2012). **Seed Technology**. Faculty of Agricultural Technology. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai).
- Syphus, S. (2024). **Intro to SAS for Beginners**. Free SAS on Demand. Retrieved from: <https://datarockie.com/blog/intro-sas-programming/>.