

ความงอก และการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ หลังผ่านการทำไพรม์มิ่งด้วย KNO_3 และ KH_2PO_4

Germination and seedling growth of rice seeds cv. Riceberry
as affected by priming with KNO_3 and KH_2PO_4

จักรพงษ์ กางโสภา* วลลิภา วิทยาพงษ์ เพชรรัตน์ จีเพชฌ และ สุรีมาศ จันตะอินทร์
Jakkrapong Kangsopa* Wallipa Wittayapong Phetcarat Jeephet and Sureemard
Chantain

สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290
Division of Agronomy, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

* Corresponding author: jakkrapong_ks@mju.ac.th

(Received: 30 March, 2020; Accepted: 4 November, 2020; Published: December, 2020)

Abstract

Riceberry rice (rice seeds cv. Riceberry) is highly nutritious and has many anti-oxidants. Therefore, it is in high demand for consumption in order to promote health. Nevertheless, degradation of quality Riceberry rice seed is a problem when the seeds are kept for a long time. This results in a lower germination rate and could affect the quality and the production of Riceberry rice. Therefore, improving the quality of Riceberry rice seeds with priming before storing the seeds is necessary in order to be able to store them for a longer period of time. The experiment was conducted at the Seed Technology Laboratory, Faculty of Agricultural Production, Maejo University. The experiment results are as follows. Seeds primed with all methods did not grow into unusual seedlings compared to seeds that were not primed. More seeds primed with 1.0% of KNO_3 survived compared to seeds that were not primed. Additionally, seeds primed with 0.1% of KH_2PO_4 had a higher speed of radical emergence, better germination, and a higher speed of germination compared to the seeds that were not primed and the differences were statistically significant. At the same time, when tested under greenhouse condition, seeds primed with 1% of KNO_3

and 2.0% of KH_2PO_4 had longer shoot lengths, longer root lengths, and improved total seedling quality compared to the seeds that were not primed. The differences are statistically significant.

Keywords: Seed enhancement, osmopriming, hydropriming, plant nutrient

บทคัดย่อ

ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดี จึงนิยมใช้รับประทานเพื่อเสริมสร้างสุขภาพ อย่างไรก็ตาม เมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังคงมีปัญหาเรื่องการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวเมื่อเก็บรักษาในระยะยาว ทำให้คุณภาพของเมล็ดมีอัตราการงอกลดลง และส่งผลเสียหายต่อคุณภาพและผลผลิตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ทำให้การยกระดับคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการทำไพรมมิ่งก่อนการเก็บรักษาอาจมีความจำเป็นเพื่อรักษาคุณภาพเมล็ดพันธุ์ให้ยาวนานมากขึ้น ดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ สาขาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยมีผลการทดลองดังนี้ การไพรมเมล็ดทุกวิธีการไม่ทำให้ลักษณะของต้นกล้าผิดปกติมีความแตกต่างกันกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม แต่การไพรมเมล็ดด้วย KNO_3 อัตรา 1.0% ทำให้มีจำนวนเมล็ดตายน้อยมากกว่าและแตกต่างกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม ส่วนการไพรมเมล็ดด้วย KH_2PO_4 อัตรา 0.1% ทำให้เมล็ดมีความเร็วในการงอกราก ความงอก และความเร็วในการงอกดีมากกว่าและแตกต่างในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม และการไพรมเมล็ดด้วย KNO_3 อัตรา 1.0% และ KH_2PO_4 อัตรา 2.0% ทำให้ต้นกล้ามีความยาวต้น ความยาวราก และผลรวมต้นกล้าดีและแตกต่างในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

คำสำคัญ: การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ออสมไพรมมิ่ง ไฮโดรไพรมมิ่ง ธาตุอาหารพืช

คำนำ

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พันธุ์พ่อ) กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากสถาบันวิจัยข้าว (พันธุ์แม่) โดยมีคุณสมบัติทางโภชนาการคือ มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณสูง ได้แก่ เบต้าแคโรทีน แกมมาโอโรซานอล วิตามินอี แทนนิน สังกะสี และโฟเลต มีดัชนีน้ำตาลต่ำถึงปานกลาง นอกจากนี้รำข้าวและน้ำมันรำข้าว มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งจากคุณสมบัติข้อนี้นอกจากจะใช้รับประทานเพื่อ

เสริมสร้างสุขภาพแล้ว ในทางการแพทย์ยังนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารโภชนบำบัดลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง (โครงการข้าวไรซ์เบอร์รี่อินทรีย์, 2558) อย่างไรก็ตาม แม้จะมีคุณสมบัติที่ดีดังกล่าว ข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังคงมีปัญหาเรื่องการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน ทำให้คุณภาพของข้าวปลูกมีอัตราการงอกลดลง ต้นกล้ามีความแข็งแรงต่ำ ทำให้ง่ายต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลงในระยะต้นกล้า ผลผลิตไม่ได้ตามที่ต้องการ เมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีความงอกและ

ความแข็งแรงสูง ปราศจากโรคและแมลงเข้าทำลาย จะสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้เพิ่มขึ้น 5-20% (IRRI, 2013)

ปัจจุบันมีวิธีการทำให้เมล็ดพันธุ์ยังคงมีความงอกและความแข็งแรงแม้จะเก็บรักษาเป็นเวลานาน โดยหนึ่งในวิธีการดังกล่าวคือ การไพรม์เมล็ดพันธุ์ (seed priming) ซึ่งเป็นวิธีการให้ความชื้นกับเมล็ดพันธุ์ โดยจะให้เมล็ดค่อย ๆ ดูดซับน้ำ ในสภาวะที่มีการควบคุมอุณหภูมิ และระยะเวลาในการให้ความชื้น การไพรม์เมล็ดพันธุ์ช่วยเพิ่มกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ และกระบวนการทางชีววิทยาต่าง ๆ ภายในเมล็ดให้ดียิ่งขึ้น ส่งผลทำให้เมล็ดพันธุ์งอกได้เร็วและสม่ำเสมอมากขึ้น ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตดีขึ้น ส่งผลให้ต้นพืชเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตที่มากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มฮอร์โมนพืชหรือธาตุอาหารพืชบางชนิดในขั้นตอนการแช่เมล็ดเพื่อให้ดูดซับน้ำ เพื่อเสริมประสิทธิภาพในการไพรม์เมล็ดพันธุ์ให้ดียิ่งขึ้นได้ เช่น KNO_3 , KH_2PO_4 , Na_2SO_4 , $CaCl_2$ และ PEG เป็นต้น (Taylor et al., 1998; McDonald, 2000; บุญมี, 2558) พรทิพย์ และคณะ (2553) พบว่าการไพรม์เมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำสามารถส่งเสริมทำให้เมล็ดพันธุ์มีความงอกเพิ่มขึ้น และสามารถเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้นจากเดิม ส่วนจักรพงษ์ และคณะ (2563) พบว่าการทำ osmopriming ด้วยสารละลาย KNO_3 0.5% ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานมีความงอกสูงที่สุด และการทำ osmopriming ด้วยสารละลาย KNO_3 0.5% และ 1.0% ทำให้ต้นกล้ามีพัฒนาการทางด้านลำต้นและรากสูงกว่าวิธีการอื่น ๆ

งานทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการไพรม์เมล็ดพันธุ์ด้วย KNO_3 และ KH_2PO_4 โดยเก็บข้อมูลความงอกและการเจริญเติบโตของ

ต้นกล้าข้าวไรซ์เบอร์รี่ เพื่อเป็นหนึ่งในวิธีการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ให้สูงขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์และโรงเรือนทดลองสาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ระหว่างเดือนกรกฎาคม-ตุลาคม 2562 ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้

1. การไพรม์เมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่

การไพรม์เมล็ดพันธุ์ด้วยการแช่เมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในสารละลาย KNO_3 และ KH_2PO_4 โดยมีกรรมวิธีการทดลองดังนี้ T1) เมล็ดพันธุ์ไม่ไพรม์, T2) เมล็ดที่ถูกไพรม์ด้วยน้ำ (กรรมวิธีควบคุม), T3) การไพรม์เมล็ดด้วย KNO_3 0.1%, T4) การไพรม์เมล็ดด้วย KNO_3 0.5%, T5) การไพรม์เมล็ดด้วย KNO_3 1.0%, T6) การไพรม์เมล็ดด้วย KNO_3 2.0%, T7) การไพรม์เมล็ดด้วย KH_2PO_4 0.1%, T8) การไพรม์เมล็ดด้วย KH_2PO_4 0.5%, T9) การไพรม์เมล็ดด้วย KH_2PO_4 1.0% และ T10) การไพรม์เมล็ดด้วย KH_2PO_4 2.0% ทุกกรรมวิธีการทดลองไพรม์เมล็ดพันธุ์ข้าวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อครบกำหนดเวลานำเมล็ดพันธุ์ออกมาล้างด้วยน้ำเปล่าโดยล้างผ่านน้ำไหลเป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นซับน้ำที่ผิวเมล็ดและนำไปลดความชื้นในสภาพอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดที่ผ่านการไพรม์มาทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ

2. การบันทึกข้อมูล

ดำเนินการทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดสอบคุณภาพเมล็ดด้วยวิธี Between paper (BP) ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด ในตู้เพาะความงอกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แล้วทำการประเมินผลความงอก โดยทำการตรวจนับความงอกในวันที่ 5 ของการเพาะเมล็ด (first count) และนับอีกครั้งเมื่อครบ 14 วัน (final count) โดยประเมินผลในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้ (ISTA, 2018)

2.1 การตรวจสอบลักษณะเมล็ดตาย ทำโดยประเมินจากลักษณะเมล็ดที่ไม่งอก เมล็ดอยู่ในสภาพไม่สด เน่า และ หรืออาจจะมีเชื้อราขึ้นบนเมล็ด ประเมินทั้งหมด 3 ซ้ำ แล้วจึงนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เมล็ดตาย

2.2 การตรวจสอบลักษณะเมล็ดแข็ง ทำโดยประเมินลักษณะของเมล็ดที่มีชีวิต ไม่คุดน้ำ เมล็ดอยู่ในสภาพแข็ง และสมบูรณ์ ประเมินทั้งหมดจำนวน 3 ซ้ำ แล้วจึงนำมาประเมินหาเปอร์เซ็นต์เมล็ดแข็ง

2.3 การตรวจสอบลักษณะต้นกล้าผิดปกติ ทำโดยการประเมินต้นกล้าที่ไม่สามารถเจริญเป็นต้นกล้าที่ปกติได้ หรือต้นกล้าที่มีรากและลำต้นไม่สมบูรณ์ ทำทั้งหมดจำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำมาประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์ต้นกล้าผิดปกติ

2.4 การตรวจสอบการงอกราก โดยประเมินจากจำนวนรากที่งอกในแต่ละกรรมวิธีทดลอง ทำ 3 ซ้ำ โดยเริ่มนับเมื่อเมล็ดมีการงอกรากที่มีความยาว 2 มิลลิเมตร ในวันที่ 1 และวันที่ 4 หลังจากการเพาะทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ จากนั้นนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การงอกรากของต้นกล้าข้าวไรซ์เบอร์รี่

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

2.5 การตรวจสอบความเร็วในการงอกราก ดำเนินการตรวจนับรากที่มีความยาว 2 มิลลิเมตร ในทุกวันตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 4 หลังการเพาะ ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ ในทุกกรรมวิธีการ จากนั้นนำมาคำนวณหาความเร็วในการงอกรากของต้นกล้าข้าวไรซ์เบอร์รี่

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

2.6 การตรวจสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์ ดำเนินการตรวจนับจำนวนเมล็ดพันธุ์ที่งอกเป็นต้นกล้าปกติในวันที่ 5 และวันที่ 14 โดยทำทั้งหมด 3 ซ้ำในทุกกรรมวิธี จากนั้นนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความงอก

2.7 การตรวจสอบความเร็วในการงอก ดำเนินการตรวจนับจำนวนเมล็ดพันธุ์ที่สามารถงอกเป็นต้นกล้าปกติในทุก ๆ วัน ตั้งแต่เริ่มเพาะครั้งแรกที่ 5 วัน (first count) จนถึงวันที่ 14 หลังเพาะ (final count) โดยทำทั้งหมด 3 ซ้ำในทุกกรรมวิธี จากนั้นนำมาคำนวณหาความเร็วในการงอกของต้นกล้าข้าวไรซ์เบอร์รี่

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

2.8 การตรวจสอบความยาวต้นและความยาวราก โดยประเมินในวันที่ 14 ของการเพาะเมล็ด ทำโดยสุ่มต้นกล้าจำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น แล้วนำมาวัดความยาวต้น และความยาวรากด้วยไม้บรรทัด โดยวัดตั้งแต่โคนต้นจนถึงปลายใบของต้นกล้า และวัดจากโคนต้นลงมาจนถึงปลายรากของต้นกล้าโดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลผลของการทำไพรม์มิ่งเมล็ดพันธุ์ต่อความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยแปลงข้อมูลเป็นเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ เพื่อวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้วิธี Arcsine transformation และเปอร์เซ็นต์เมื่อข้อมูลมีค่าเป็น 0 มีการแปลงค่าโดยวิธี square $\sqrt{x+0.5}$ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) และเปรียบเทียบคุณภาพเมล็ดพันธุ์โดยวิธี orthogonal contrast comparison วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป

ผลการวิจัย

จากการศึกษาการทำไพรม์มิ่งเมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยกรรมวิธีการทดลองที่กำหนดต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้าหลังการทำไพรม์มิ่งเมล็ดพันธุ์มีผลการทดลองดังนี้

1. การประเมินคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่

การประเมินเมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการทำไพรม์มิ่งเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า เมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการทำไพรม์มิ่งด้วยสารละลาย KNO_3 และ KH_2PO_4 ในสภาพห้องปฏิบัติการ พบว่า เมล็ดเน่าและเมล็ดแข็ง มีความแตกต่างทางสถิติ โดยเมล็ดไม่ทำไพรม์มิ่งเมล็ดพันธุ์ (กรรมวิธีการควบคุม) มีแนวโน้มจำนวนเมล็ดเน่ามากกว่าวิธีการทดลองอื่น ๆ แต่ไม่แตกต่างในทางสถิติกับวิธีการ T2, T4, T6, T7, T8, T9 และ T10 อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเมล็ดแข็งพบว่า การทำไพรม์มิ่งเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KNO_3 อัตรา 0.1% (T5) มีจำนวนเมล็ดแข็งมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ไพรม์ 500% และมากกว่าวิธีการอื่น ๆ แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกับ T2, T3, T4, T8, T9 และ T10 และเมื่อพิจารณาต้นกล้าผิดปกติพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (Table 1)

Table 1 Dead seed, hard seed and abnormal seedling percentage of riceberry seed after primed with difference rate of KNO_3 and KH_2PO_4 after tested under laboratory condition.

Treatment ¹	Seed quality				
	Dead seed (%)	(%) ⁴	Hard seed (%)	(%) ⁴	Abnormal seedling (%)
T1	9 a ^{2,3}		1 b		1
T2	3 ab	(-66)	2 ab	(+100)	2
T3	2 b	(-77)	3 ab	(+200)	1
T4	5 ab	(-44)	5 ab	(+400)	1
T5	1 b	(-88)	6 a	(+500)	1
T6	4 ab	(-55)	2 b	(+100)	1
T7	3 ab	(-66)	1 b	(+0)	7
T8	5 ab	(-66)	2 ab	(+100)	1
T9	3 ab	(-66)	3 ab	(+200)	2
T10	5 ab	(-44)	3 ab	(+200)	1
<i>F</i> -test	*		*		ns
CV.(%)	39.44		36.32		54.88

ns, *: Not significantly difference and significantly different at $P \leq 0.05$ respectively.

¹ T1 = Control, T2 = primed + H_2O , T3 = primed + KNO_3 0.1%, T4 = primed + KNO_3 0.5%, T5 = primed + KNO_3 1.0% T6 = primed + KNO_3 2.0%, T7 = primed + KH_2PO_4 0.1%, T8 = primed + KH_2PO_4 0.5%, T9 = primed + KH_2PO_4 1.0%, T10 = primed + KH_2PO_4 2.0%

² Data are transformed by square root $\sqrt{x+0.5}$ before statistical analysis.

³ Means within a column followed by the same letter are not significantly at $P \leq 0.05$ by DMRT.

⁴ The number in parenthesis refer to percentage of increase (+) and decrease (-) compared to the control.

2. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ

การทำไพร้มิ่งเมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยสารละลาย KNO_3 และ KH_2PO_4 ไม่ทำให้การงอกรากแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการทำไพร้มิ่งเมล็ดพันธุ์ แต่เมื่อพิจารณาตรวจสอบ

ความเร็วในการงอกรากพบว่า การไพร้มเมล็ดพันธุ์ด้วยสารละลาย KH_2PO_4 0.1% ทำให้เมล็ดมีความเร็วในการงอกรากมากกว่ากรรมวิธีการอื่น ๆ แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกรรมวิธีการไพร้มเมล็ดพันธุ์ ใน T6, T8, T9 และ T10 ส่วนความงอกพบว่า เมล็ดที่แช่ด้วยน้ำ เมล็ดที่ไพร้มด้วย

สารละลาย KNO_3 อัตรา 0.5% และ 1% และการ
ไพรม์เมล็ดด้วยสารละลาย KH_2PO_4 0.1% มีความงอก
ดีที่สุด แต่ไม่พบความแตกต่างกันในทางสถิติกับ
กรรมวิธี T3, T5, T8, T9 และ T10 สำหรับความเร็ว
ในการงอกพบว่า การไพรม์เมล็ดพันธุ์ทุกวิธีการมี
ความเร็วในการงอกสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่

ไม่ได้ผ่านการไพรม์ แต่ไม่พบความแตกต่างกัน
ในทางสถิติในกรรมวิธีที่ T3 และ T5 (Table 2) เมื่อ
พิจารณา Figure 1 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของ
ทุกวิธีการทำไพรม์มีง (T3-T10) มีการงอกรากของ
ต้นกล้าข้าวไรซ์เบอร์รี่ยาวมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่าน
การทำไพรม์มีง และเมล็ดที่แช่น้ำเพียงอย่างเดียว

Table 2 Radicle emergence, speed of radicle emergence, germination percentage and speed of germination of riceberry seed after primed with difference rate of KNO_3 and KH_2PO_4 after tested under laboratory condition.

Treat- ment ¹	Seed quality						
	Radicle emergence (%)	Speed of radicle emergence (root/day)	Germination (%) ³	Germination (%)	Germination (%)	Speed of germination (seedling/ day)	Germination (%)
T1	25	33.67 d ²		93 b		9.27 b	
T2	19	38.78 bc	(+15)	99 a	(+6)	9.84 a	(+6)
T3	16	38.72 bc	(+15)	96 ab	(+3)	9.60 ab	(+3)
T4	25	38.17 c	(+15)	99 a	(+6)	9.89 a	(+6)
T5	21	38.61 bc	(+14)	96 ab	(+3)	9.55 ab	(+3)
T6	17	40.56 ab	(+20)	99 a	(+6)	9.92 a	(+7)
T7	25	41.50 a	(+23)	99 a	(+6)	9.85 a	(+6)
T8	20	40.61 ab	(+20)	98 ab	(+5)	9.78 a	(+5)
T9	21	40.00 a-c	(+20)	97 ab	(+4)	9.64 a	(+3)
T10	23	40.35 a-c	(+20)	97 ab	(+4)	9.72 a	(+4)
F-test	ns	**		*		*	
CV.(%)	18.12	2.98		6.08		2.02	

ns, *, **: not significantly difference, significantly different at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$ respectively.

¹ T1 = Control, T2 = primed + H_2O , T3 = primed + KNO_3 0.1%, T4 = primed + KNO_3 0.5%, T5 = primed + KNO_3 1.0% T6 = primed + KNO_3 2.0%, T7 = primed + KH_2PO_4 0.1%, T8 = primed + KH_2PO_4 0.5%, T9 = primed + KH_2PO_4 1.0%, T10 = primed + KH_2PO_4 2.0%

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

³ The number in parenthesis refer to percentage of increase (+) compared to the control.



Figure 1 Effect of seed priming with difference rate of KNO_3 and KH_2PO_4 , radicle emergence 3 day after tested under laboratory condition. T1 = Control, T2 = primed + H_2O , T3 = primed + KNO_3 0.1%, T4 = primed + KNO_3 0.5%, T5 = primed + KNO_3 1.0% T6 = primed + KNO_3 2.0%, T7 = primed + KH_2PO_4 0.1%, T8 = primed + KH_2PO_4 0.5%, T9 = primed + KH_2PO_4 1.0%, T10 = primed + KH_2PO_4 2.0%

3. การเปลี่ยนแปลงด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้าในสภาพห้องปฏิบัติการ

จากการพิจารณาการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวไรซ์เบอร์รี่หลังผ่านการทำไพรม์มิ่งร่วมกับ KNO_3 และ KH_2PO_4 ในอัตราที่แตกต่างกันพบว่า การไพรม์เมล็ดด้วย KNO_3 1.0% และ KH_2PO_4 2.0% ทำให้เมล็ดมีความยาวของลำต้นต้นกล้าดีมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดไม่ไพรม์ ส่วนการตรวจสอบความยาวราก

พบว่า การไพรม์เมล็ดด้วย KNO_3 1.0%, KH_2PO_4 0.1% และ KH_2PO_4 2.0% ทำให้เมล็ดมีความยาวของรากต้นกล้ามากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดไม่ไพรม์ เช่นเดียวกันกับผลรวมของต้นกล้าพบว่า การไพรม์เมล็ดด้วย KNO_3 1.0%, KH_2PO_4 0.1% และ KH_2PO_4 2.0% ทำให้ผลรวมของต้นกล้าดีมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดไม่ผ่านการไพรม์เมล็ด (Table 3)

Table 3 Shoot length, root length and seedling length of riceberry seed after primed with difference rate of KNO_3 and KH_2PO_4 after tested under laboratory condition.

Treatment ¹	Seed quality					
	Shoot length (mm)	(%) ³	Root length (mm)	(%)	Seedling length (mm)	(%)
T1	94.5 b ²		99.47 b		193.97 b	
T2	117.0 ab	(+24)	121.33 ab	(+22)	238.33 ab	(+23)
T3	103.8 ab	(+10)	121.90 ab	(+23)	225.70 ab	(+16)
T4	107.0 ab	(+13)	114.20 ab	(+15)	221.20 ab	(+14)
T5	104.9 a	(+11)	138.03 a	(+39)	242.93 a	(+25)
T6	90.5 b	(-4)	118.97 ab	(+20)	209.47 ab	(+8)
T7	117.9 ab	(+25)	126.90 a	(+28)	244.80 a	(+26)
T8	106.4 ab	(+13)	123.57 ab	(+24)	229.97 ab	(+19)
T9	114.0 ab	(+21)	125.60 ab	(+26)	239.60 ab	(+24)
T10	130.5 a	(+38)	130.40 a	(+31)	260.90 a	(+35)
F-test	*		*		**	
CV.(%)	16.02		11.52		10.56	

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

¹ T1 = Control, T2 = primed + H_2O , T3 = primed + KNO_3 0.1%, T4 = primed + KNO_3 0.5%, T5 = primed + KNO_3 1.0% T6 = primed + KNO_3 2.0%, T7 = primed + KH_2PO_4 0.1%, T8 = primed + KH_2PO_4 0.5%, T9 = primed + KH_2PO_4 1.0%, T10 = primed + KH_2PO_4 2.0%

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

³ The number in parenthesis refer to percentage of increase (+) and decrease (-) compared to the control.

4. การเปรียบเทียบแบบกลุ่มของ การงอกราก ความเร็วในการงอกราก ความงอก และความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

จากการเปรียบเทียบการงอกรากแบบกลุ่มระหว่างเมล็ดไม่ไพรม์และการแช่เมล็ดด้วยน้ำและการไพรม์ทุกวิธีการของเมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่พบ

ความแตกต่างในความเร็วในการงอกราก ความงอกและความเร็วในการงอก โดยวิธีการการแช่เมล็ดด้วยน้ำและการไพรม์ทุกวิธีการมีแนวโน้มของความเร็วในการงอกราก ความงอก และความเร็วในการงอกดีมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์เมล็ด ส่วนการเปรียบเทียบการใช้ KNO_3 และ KH_2PO_4 ในอัตราเดียวกันพบว่า มีความเร็วในการงอกราก ความงอก และความเร็วในการงอก

แตกต่างกันในทางสถิติ ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ KH_2PO_4 ในการทำไพรม์มีแนวโน้มทำให้ความเร็วในการงอกราก ความงอก

และความเร็วในการงอกดีมากกว่าการใช้ KNO_3 สำหรับการทำให้ไพรม์เมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Table 4)

Table 4 Comparison by orthogonal contrast of radicle emergence (RE), speed of radicle emergence (SRE), germination percentage (GE) and speed of germination (SGE) of riceberry seed after primed with difference rate of KNO_3 and KH_2PO_4 after tested under laboratory condition.

Treatment	Seed quality			
	RE (%)	SRE (root/day)	GE (%)	SGE (seedling/day)
T1 vs T2,T3,T4,T5,T6,T7,T8,T9,T10	ns	**	**	**
T2 vs T3,T4,T5,T6,T7,T8,T9,T10	ns	**	**	**
T3 vs T4 vs T5 vs T6	ns	ns	ns	ns
T7 vs T8 vs T9 vs T10	ns	ns	ns	ns
T3 vs T7	ns	**	**	**
T4 vs T8	ns	**	**	**
T5 vs T9	ns	**	**	**
T6 vs T10	ns	**	**	**
CV.(%)	30.61	2.98	1.98	2.02

ns, **: not significantly difference and $P \leq 0.01$ respectively.

¹ T1 = Control, T2 = primed + H_2O , T3 = primed + KNO_3 0.1%, T4 = primed + KNO_3 0.5%, T5 = primed + KNO_3 1.0% T6 = primed + KNO_3 2.0%, T7 = primed + KH_2PO_4 0.1%, T8 = primed + KH_2PO_4 0.5%, T9 = primed + KH_2PO_4 1.0%, T10 = primed + KH_2PO_4 2.0%

5. การเปรียบเทียบแบบกลุ่มของ ความสูงต้น ความยาวราก และผลรวมต้นกล้าของเมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

จากการเปรียบเทียบความสูงต้นแบบกลุ่มระหว่างเมล็ดไม่ไพรม์และการแช่เมล็ดด้วยน้ำและการไพรม์ทุกวิธีการของเมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่เมื่อ

พิจารณาความยาวรากพบว่า การไพรม์เมล็ดทุกวิธีการมีความยาวรากและผลรวมต้นกล้าดีมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ไพรม์เมล็ด แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการที่ใช้ KNO_3 และ KH_2PO_4 ในอัตราแตกต่างกันพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ โดยการไพรม์เมล็ดด้วย KNO_3 และ KH_2PO_4 ไม่ทำให้ผลของความสูงต้น ความยาวราก และผลรวมต้นกล้ามีผลการทดลองที่แตกต่างกันในทางสถิติ (Table 5)

Table 5 Comparison by orthogonal contrast of shoot length, root length and seedling length of riceberry seed after primed with difference rate of KNO_3 and KH_2PO_4 after tested under laboratory condition.

Treatment ¹	Seed quality		
	Shoot length (mm)	Root length (mm)	Seedling length (mm)
T1 vs T2,T3,T4,T5,T6,T7,T8,T9,T10	ns	**	**
T2 vs T3,T4,T5,T6,T7,T8,T9,T10	ns	*	**
T3 vs T4 vs T5 vs T6	ns	ns	ns
T7 vs T8 vs T9 vs T10	ns	ns	ns
T3 vs T7	ns	**	**
T4 vs T8	ns	**	**
T5 vs T9	ns	**	**
T6 vs T10	ns	**	**
CV.(%)	16.02	11.52	10.56

ns, *, **: not significantly difference, significantly different at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$ respectively.

¹ T1 = Control, T2 = primed + H_2O , T3 = primed + KNO_3 0.1%, T4 = primed + KNO_3 0.5%, T5 = primed + KNO_3 1.0% T6 = primed + KNO_3 2.0%, T7 = primed + KH_2PO_4 0.1%, T8 = primed + KH_2PO_4 0.5%, T9 = primed + KH_2PO_4 1.0%, T10 = primed + KH_2PO_4 2.0%

วิจารณ์ผลการวิจัย

ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความสำคัญต่อการบริโภคของประชากรในบางกลุ่ม และมีแนวโน้มต้องการเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง แต่ยังคงมีปัญหาด้านการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้มีคุณภาพเพื่อใช้เป็นแหล่งเมล็ดพันธุ์สำหรับเพาะปลูกในระยะยาว

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้า หลังผ่านการทำไพรม์มีงร่วมกับ KNO_3 และ KH_2PO_4 ของเมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่แสดงให้เห็นว่า การไพรม์เมล็ดด้วย KNO_3 และ KH_2PO_4 ไม่ทำให้การงอกของรากของ

ต้นกล้าข้าวไรซ์เบอร์รี่แตกต่างกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ แต่จะพบความแตกต่างในวิธีการไพรม์เมล็ดด้วย KH_2PO_4 อัตรา 0.1% ซึ่งทำให้เมล็ดมีความเร็วในการงอกของรากดีมากว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ อีกทั้งทุกวิธีการไพรม์มีแนวโน้มทำให้เมล็ดมีความงอกและความเร็วในการงอกดีมากว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ ทั้งนี้การไพรม์เมล็ดด้วย KNO_3 และ KH_2PO_4 จะช่วยทำให้เมล็ดดูดซึ่มก๊าซออกซิเจนได้ดีเพิ่มขึ้น เนื่องจากออกซิเจนเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด โดยมีผลช่วยในกระบวนการหายใจและการย่อยสลายอาหารภายในเมล็ด (Hilton and Thomas, 1986) อีกทั้ง

การไพรม์เมล็ดด้วย KNO_3 จะส่งเสริมให้ในเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจในวิถีเพนโทสฟอสเฟต (pentose phosphate pathway) หรือวิถีทางเลือกของไกลโคไลซิส (glycolysis) จะทำหน้าที่แทนออกซิเจนในการออกซิไดซ์ NADPH ในกระบวนการหายใจ ซึ่งสามารถทำลายการพักตัวของเมล็ดได้ จึงทำให้เมล็ดสามารถงอกได้ดี และงอกได้เร็วมากขึ้น (วันชัย, 2553) ซึ่งสอดคล้องกับ Amjad et al. (2007) พบว่า การไพรม์เมล็ดพริกพันธุ์ Hot Queen ด้วย KNO_3 ความเข้มข้น 3% ทำให้เมล็ดมีความงอก 100% และมีเวลาเฉลี่ยในการงอก 5.63 วัน ส่วนเมล็ดที่ไม่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มีความงอกเพียง 70% และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกนาน 14 วัน นอกจากนี้ ทั้ง KNO_3 และ KH_2PO_4 จะแตกตัวให้ K^+ และจะละลายอยู่ในไซโตพลาสซึมและแวคิวโอล ทำหน้าที่หลักในการรักษาค่า osmotic potential นอกจากนี้ K^+ ยังทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์มากกว่า 40 ชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเอนไซม์ในการสังเคราะห์แสงและกระบวนการหายใจรวมทั้งเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แป้งและโปรตีน และยังช่วยรักษาแรงตึงของเซลล์พืชได้อีกด้วย (ปิยะดา, 2540; สุมนทิพย์, 2542) นอกจากนี้ การไพรม์เมล็ดด้วย KH_2PO_4 จะแตกตัวให้ฟอสเฟสไอออนที่เป็นแหล่งของธาตุฟอสฟอรัส สำหรับให้เมล็ดดูดไปใช้ในกระบวนการงอก ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการหายใจ กระบวนการสลายสารอาหารในเมล็ด และการสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการแบ่งเซลล์ใหม่ (Marschner, 1995) ส่วน Wang (2009) พบว่า การกระตุ้นการงอกเมล็ดยาสูบด้วยสารละลายธาตุฟอสฟอรัส แล้วนำเมล็ดไปเคลือบด้วยพอลิเมอร์ ทำให้เมล็ดยาสูบมีคุณภาพดีขึ้นทั้งความงอกและความแข็งแรง ต่อมา Karanam

and Vadez (2010) พบว่า การ priming เมล็ดพันธุ์ข้าวฟ่าง phosphate ไม่ได้ทำให้มวลชีวภาพของข้าวฟ่างเพิ่มขึ้น

จากนั้นพิจารณาการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวไรซ์เบอร์รี่พบว่า การไพรม์เมล็ดด้วย KNO_3 และ KH_2PO_4 ยังคงมีแนวโน้มทำให้ความยาวต้นและความยาวรากตีมากกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ ซึ่งเมล็ดข้าวที่ผ่านการไพรม์ด้วย KNO_3 อัตรา 1.0% และ KH_2PO_4 อัตรา 0.1% และ 2.0% แสดงให้เห็นว่า มีผลรวมต้นกล้าตีมากกว่าและแตกต่างกันในทางสถิติกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ โดย KNO_3 จะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในโปรโตพลาสซึมและผนังของเซลล์พืชโดยจะอยู่ในรูป NO_3^- ซึ่งพืชจะต้องรีดิวซ์ NO_3^- ให้เป็น NH_4^+ แล้วนำ NH_4^+ ไปใช้สร้างกรดอมิโน ซึ่ง N เป็นองค์ประกอบของสารชีวโมเลกุลมากมายในเซลล์พืช (ปิยะดา, 2540; สุมนทิพย์, 2542) เมื่อเมล็ดดูดไนเตรทเข้าไปจะช่วยให้เมล็ดสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้ต้นกล้าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ทั้งในส่วนของรากและลำต้นของต้นกล้า ส่วน KH_2PO_4 จะส่งเสริมให้เมล็ดที่ถูกไพรม์ได้รับธาตุฟอสฟอรัสที่จะช่วยกระตุ้นการสร้างสารที่มีผลต่อการงอกของราก เช่น glucose, auxins, ethylene, cytokinins, nitric oxide (NO) และ reactive oxygen species (ROS) (Niu et al., 2013) อีกทั้งเมื่อต้นกล้าออกรากจะมีผลต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากพืช ทั้งรากแก้ว รากฝอย และรากแขนงมากขึ้น (Smith and Read, 1997) นอกจากนี้ยังช่วยสนับสนุนให้รากงอกสามารถดูดธาตุโพแทสเซียมจากดินมาใช้เป็นประโยชน์ได้มากขึ้นกว่าเดิม อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความต้านทานต่อโรคบางชนิด และส่งเสริมให้ต้นกล้าแข็งแรง และ

ช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไป (Uchida, 2000; McCauley et al., 2009; Thavarajah et al., 2010)

สรุปผลการวิจัย

จากผลของการไพรม์เมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วย KNO_3 และ KH_2PO_4 ต่อความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้า มีผลสรุปดังนี้ การไพรม์เมล็ดด้วย KH_2PO_4 อัตรา 0.1% ทำให้เมล็ดมีความเร็วในการงอก ความงอก และความเร็วในการงอก ตีมากกว่าและแตกต่างในทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ และการไพรม์เมล็ดด้วย KNO_3 อัตรา 1.0% และ KH_2PO_4 อัตรา 2.0% ทำให้ต้นกล้ามีความยาวต้น ความยาวราก และผลรวมต้นกล้าดีและแตกต่างในทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการไพรม์ เมื่อตรวจสอบในสภาพห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

โครงการข้าวไรซ์เบอร์รี่อินทรีย์. 2558. พันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่. แหล่งข้อมูล <https://bit.ly/2yhGdqj>. (12 มิถุนายน 2558).

จักรพงษ์ กางโสภา ธีดารัตน์ ศิริบุรณ์ เบญจมีย์ เหมืองทอง เพชรรัตน์ จีเพเซอร์ และบัณฑิต ต๊ะเสาร์. 2563. การเปลี่ยนแปลงความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวโพดหวาน ลูกผสมหลังการทำ Osmopriming ด้วยโพแทสเซียมไนเตรท. วารสารแก่นเกษตร 48(ฉบับพิเศษ 1): 437-444.

บุญมี ศรี. 2558. การปรับปรุงสภาพและการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, ขอนแก่น.

ปิยะดา อีรกุลพิศุทธิ์. 2540. ธาตุอาหารพืช. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

พรทิพย์ ถาวงค์ รอยบุญ จำรัสกาญจน์ สุวัฒน์ สายมายา และอดุลย์ อินทรประเสริฐ. 2553. ผลของ seed priming ต่อการยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าว. ใน: รายงานการประชุมทางวิชาการเมล็ดพันธุ์พืชแห่งชาติ ครั้งที่ 7 วันที่ 18-20 พฤษภาคม 2553 ณ โรงแรมท็อปแลนด์จังหวัดพิษณุโลก, พิษณุโลก. วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2553. สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุนนทิพย์ บุญนาค. 2542. ธาตุอาหารพืชและการลำเลียง. สรีรวิทยาเบื้องต้นของพืช. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

Amjad, M., K. Ziaf, Q. Lqbal, I. Ahmad, M.A. Riaz, and Z.A. Saqib. 2007. Effect of seed priming on seed vigour and salt tolerance in hot pepper. Pak. J. Agr. Sci. 44(3): 408-416.

Hilton, T.R., and J.A. Thomas. 1986. Regulation of pregerminative rates of respiration in seeds of various seed species by potassium nitrate. J. Exp. Bot. 37: 1516-1524

International Rice Research Institute (IRRI). 2013. Seed quality. Available: <https://bit.ly/2JohYJC> (December 10, 2017.).

International Seed Testing Association (ISTA). 2019. International rules for seed testing, Edition 2019. International Seed Testing Association, Bassersdorf.

- Karanam, P.V., and V. Vabez. 2010. Phosphorus coating on pearl millet seed in low P Alfisol improves plant establishment and increases stover more than seed yield. *Exp. Agric.* 46(4): 457-469.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plant. 2nd Edition. Institute of plant nutrition, University of ohenheim, Germany.
- McCauley, A., C. Jones, and J. Jacobsen. 2009. Plant nutrient functions and deficiency and toxicity symptoms. Nutrient Management Module No. 9. Montana State University, Bozeman MT.
- McDonald, M.B. 2000. Seed priming. pp. 287-325. *In*: Black, M. and J.D. Bewley. (Eds). Seed technology and its biological basis. Sheffield Academic Press, Sheffield, England.
- Niu, Y.F., R.S. Chai, G.L. Jin, H. Wang, C.X. Tang, and Y.S. Zhang. 2013. Responses of root architecture development to low phosphorus availability: a review. *Ann. Bot.* 112(2): 391-408.
- Smith, S.E., and D.J. Read. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, San Diego, CA.
- Taylor, A.G., P.S. Allen, M.A. Bennett, K.J. Bradford, J.S. Burris, and M.K. Misra. 1998. Seed enhancements. *Seed Sci. Res.* 8: 245-256.
- Thavarajah, D., P. Thavarajah, C.T. See, and A. Vandenberg. 2010. Phytic acid and Fe and Zn concentration in lentil (*Lens culinaris* L.) seeds is influenced by temperature during seed filling period. *Food Chemistry.* 122(1): 254-259.
- Uchida, R. 2000. Essential nutrients for plant growth: nutrient functions and deficiency symptoms. pp. 31-55. *In*: J.A. Silva, and R. Uchida (Eds.). Plant nutrient management in hawaii's soils. approaches for tropical and subtropical agriculture college of tropical agriculture and Hhuman resources, University of Hawaii, Manoa.
- Wang, W., A. He, S. Peng, J. Huang, K. Cui, and L. Nie. 2018. The effect of storage condition and duration on the deterioration of primed rice seeds. *Front. Plant Sci.* 9: Article 172. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00172>.