



ผลของการทำไพรมิงต่อรูปแบบการดูดอมน้ำ และความงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าว

Effects of seed priming on water imbibition pattern and seed germination of rice

จิราภา ไชยเมือง¹, ดร.ณิ โขติษฐียงกูร^{1*}, บุญมี สิริ¹, พรทิพย์พา ทาระโคตร¹ และดนุพล เกษโรตอง

Jirapa Chaiyamuang¹, Darunee Jothityangkoon^{1*}, Boonmee Siri¹, Pornthippa Harakotr¹ and Danupol Keththaisong

¹ สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

¹ Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002 Thailand

บทคัดย่อ: ความงอก และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวมีผลต่อการตั้งตัวของต้นกล้า และการเจริญเติบโตของข้าว การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) น้ำส้มควันไม้ (WV) และกรดซาลิไซลิก (SA) ในการทำไพรมิงต่อรูปแบบการดูดอมน้ำ (water imbibition) และความงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าว พันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์สกลนคร ที่เก็บเกี่ยวใหม่ เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเก็บรักษา 1 ปี และเมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเร่งอายุ โดยมีกรรมวิธีการไพรมิง 13 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ คือ แช่เมล็ดในน้ำกลั่น (วิธีควบคุม), แช่เมล็ดในสารละลาย CaCl₂ (ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5 mol) แช่เมล็ดในสารละลาย NaCl (ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5 mol) แช่เมล็ดในสารละลาย WV (ความเข้มข้น 1:500, 1:300 และ 1:200 v/v; น้ำส้มควันไม้:น้ำ) และแช่เมล็ดในสารละลาย SA (ความเข้มข้น 0.0004, 0.0007, 0.0011 mol) ผลการทดลอง พบว่า ข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีรูปแบบการดูดอมน้ำที่คล้ายคลึงกัน เมื่อไพรมิงเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำกลั่น WV และ SA เมล็ดพันธุ์งอกโดยปรากฏรากแรกเกิดในระยะเวลาใกล้เคียงกันที่ 20-36 ชั่วโมงหลังการแช่ ส่วนการไพรมิงเมล็ดพันธุ์ด้วย CaCl₂ และ NaCl เมล็ดพันธุ์ใช้เวลาในการดูดอมน้ำนานขึ้น นอกจากนี้ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสกลนคร ที่เป็นเมล็ดพันธุ์ใหม่และเมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเก็บรักษา 1 ปี เมื่อไพรมิงด้วย WV 1:200 v/v และ SA 0.0007 mol ทำให้เมล็ดพันธุ์งอกได้เร็วขึ้นเมื่อประเมินความงอกที่ 5 วันหลังเพาะ ส่วนเมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเร่งอายุเมื่อประเมินความงอกที่ 5 วันหลังเพาะ เมล็ดพันธุ์ที่ไพรมิงด้วยสารละลาย และความเข้มข้นต่าง ๆ ทำให้เมล็ดพันธุ์งอกได้เร็วขึ้น และความงอกเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดแห้ง และการไพรมิงด้วยสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นสูง ทำให้ข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีความงอกลดลง

คำสำคัญ: การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์; การแช่เมล็ด; น้ำส้มควันไม้

ABSTRACT: Seed germination and seed vigor affect seedling establishment and growth of rice. This experiment was undertaken to investigate the effect of calcium chloride (CaCl₂), sodium chloride (NaCl), wood vinegar (WV) and salicylic acid (SA) using as priming agents on water imbibition pattern and seed germination of two rice cultivars, Chainat 1 (CN1) and Sakonnakhon (SK) with three levels of seed quality, new seed, deteriorated seed due to storage and deteriorated seed due to artificial accelerated aging. Treatments with 4 replications were 1) soaking seed in water or hydropriming (control); soaking seed in 2) CaCl₂ solution (conc. 0.1, 0.2 or 0.5 mol); 3) in NaCl (conc. 0.1, 0.2 or 0.5 mol); 4) in 500, 300, or 200 times diluted wood vinegar (WV) and 5) in salicylic acid (SA) (conc. 0.0004, 0.0007 or 0.0011 mol). Results revealed that both rice varieties exhibited similar water imbibition pattern when priming with water, WV or SA. Seed germination of all treatments as indicated by the radicle protrusion was observed nearly the same time, 20-36 h after priming. Priming rice seed with CaCl₂ or NaCl delayed water imbibition process.

* Corresponding author: darcho@kku.ac.th

Seed priming did not improve seed germination percentage of new seed batch of Chainat 1 and Sakonnakhon since they already possessed high seed germination, and deteriorated seed due to storage but priming with 200 times diluted WV or 0.0007 mol SA significantly enhanced speed of germination as measured by first count evaluation of seed germinations test. Effect of seed priming on germination of accelerated aged seed showed that priming with different solutions and different concentrations of solution significantly increased germination percentage and speed of germination of Chainat 1 and Sakonnakhon as measured by first count evaluation of seed germination test. Priming with high concentration of salt solution decreased seed germination.

Keywords: seed enhancement; seed hydration; wood vinegar

บทนำ

ข้าวเป็นธัญพืชและพืชอาหารที่มีความสำคัญที่สุดของโลก ซึ่งมีความสำคัญสำหรับประชากรกว่า 4 พันล้านคน โดยเฉพาะประชากรในทวีปเอเชีย ถึงแม้ว่าในแต่ละปีจะมีการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกและมีพื้นที่เพาะปลูกพืชลดลง แต่ยังคงมีความต้องการข้าวเพิ่มมากขึ้นจาก 479 ล้านตันในปี ค.ศ.2014 เป็น 536-551 ล้านตันในอนาคต (ปี ค.ศ.2030) (Bouman and Reyes, 2017) ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นกับเกษตรกรรมมักจะมีปัญหาเกี่ยวกับความงอกของเมล็ดพันธุ์ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากเมล็ดพันธุ์ หรือสภาพแวดล้อมอื่น ๆ เช่น ความชื้นที่ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต (Rehman et al., 2011 ; Bouman and Reyes, 2017) ดังนั้นการทำไพรมิงจึงมีความสำคัญในการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ซึ่งเป็นการให้ความชื้นแก่เมล็ดพันธุ์ โดยการแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำ (hydropriming) หรือสารละลายบางชนิด (osmopriming) และการคลุกเมล็ดพันธุ์กับสารที่เป็นวัสดุธรรมชาติ (matrixpriming) (Copeland and McDonald, 2001) ซึ่งสารละลายหรือวัสดุที่นำมาใช้ในการไพรมิงเมล็ดพันธุ์ จะต้องมีความเข้มข้น มีอุณหภูมิที่เหมาะสม และระยะเวลาเพียงพอที่จะทำให้เมล็ดพันธุ์เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์ (Bewley and Black, 1982) การไพรมิงเมล็ดพันธุ์ ให้ความงอกของเมล็ดพันธุ์ มีอัตราการงอกเพิ่มขึ้น และสามารถย่นระยะเวลาการงอกถึง 50 % รวมทั้งทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าดีขึ้น เช่น การไพรมิงด้วยวิธี osmopriming ในเมล็ดพันธุ์ถั่วฝักยาว (Ghassemi et al., 2008) และข้าวสาลี (Murungu, 2005) นอกจากนี้การไพรมิงยังช่วยทำให้เมล็ดพันธุ์งอก และเจริญเติบโตได้ในสภาพที่ไม่เหมาะสม เช่น การทำ hydropriming เมล็ดพันธุ์ทานตะวัน และไพรมิงเมล็ดพันธุ์ *Bromus* ด้วย polyethylene glycol (PEG) ต้นกล้าสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพเกลือเค็ม และสภาพแห้งแล้ง (Kaya et al., 2006; Tavili et al., 2011) จากการรายงานของ Dissatian et al. (2018) พบว่า การไพรมิงเมล็ดข้าวพันธุ์ลิ้มผิว ด้วยน้ำกลั่น $CaCl_2$ และน้ำส้มควันไม้ ให้ความงอกเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดแห้ง และน้ำส้มควันไม้ช่วยทำให้ความงอกของต้นข้าวในแปลงปลูกเพิ่มขึ้น Fuller et al. (2012) รายงานว่าเมล็ดข้าวสาลีที่ผ่านการไพรมิงด้วย NaCl ทำให้ต้นกล้ามีความเร็วในการงอก และเปอร์เซ็นต์ความงอกเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ต้นกล้าพริกชี้หูเจริญเติบโตได้ดีขึ้นในสภาวะเกลือ (Khan et al., 2009) และ การไพรมิงเมล็ดข้าวพันธุ์ Hashemi ด้วยกรดซาลิไซลิก ช่วยลดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อต้นกล้าในสภาวะความเครียดจากความเย็น ทั้งด้านสรีรวิทยาและชีวเคมี (Dashtman et al., 2014)

พื้นฐานของการทำไพรมิงจะขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการดูดอมน้ำของเมล็ดพันธุ์ (seed imbibition) ดังนั้นการดูดอมน้ำของเมล็ดพันธุ์เป็นกระบวนการที่สำคัญในการงอกและการเจริญเติบโต ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระยะ (Bewley and Black, 1982) ระยะที่ 1 เป็นช่วงการดูดอมน้ำเพื่อกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ระยะที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมี และสรีรวิทยาภายในเมล็ดพันธุ์ เช่น มีการหายใจเพิ่มขึ้น มีการสร้างพลังงาน มีการย่อยสลายของอาหารสำรอง ซึ่งทำให้เกิดการงอกของรากและการเจริญเติบโตของต้นกล้าในระยะต่อไป และระยะที่ 3 เป็นระยะการเจริญเติบโตของต้นกล้า แต่สำหรับการไพรมิงจะกระตุ้นกิจกรรมต่าง ๆ จากระยะที่ 1-2 เท่านั้น (Copeland and McDonald, 2001) และการไพรมิงเมล็ดพันธุ์มักใช้สาร osmoticum เข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อควบคุมความเร็วในการดูดอมน้ำของเมล็ดพันธุ์ และสาร osmoticum เมื่อละลายน้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความเป็นประโยชน์ของน้ำ ทำให้ค่าศักย์ของน้ำเปลี่ยนไป และลดความบริสุทธิ์ของน้ำลง ดังนั้นจึงทำให้รูปแบบการดูดอมน้ำของเมล็ดพันธุ์เปลี่ยนแปลงไป (บุญมี, 2558; ดรณี, 2559)

อย่างไรก็ตามยังมีรายงานเกี่ยวกับผลกระทบของความเข้มข้นของ $CaCl_2$, NaCl, WV และ SA ที่แตกต่างกันในรูปแบบของการดูดอมน้ำของเมล็ดพันธุ์ แต่ยังไม่มีการรายงานที่เปรียบเทียบช่วงเวลาในการดูดอมน้ำของเมล็ดพันธุ์ที่จะไปมีผลต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์

ข้าว ซึ่งการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของ $CaCl_2$, NaCl, WV และ SA ที่ความเข้มข้นต่างกัน ต่อรูปแบบการดูดอมน้ำ และความงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าว

วิธีการศึกษา

1. การศึกษารูปแบบการดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์ข้าว และระยะเวลาในการแช่เมล็ด

1.1 พันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ คือ 1) พันธุ์ชัยนาท 1 (ข้าวเจ้า) และ 2) พันธุ์สกลนคร (ข้าวเหนียว) เป็นพันธุ์ข้าวที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง

1.2 เมล็ดพันธุ์ 3 ระดับคุณภาพ คือ

1) เมล็ดพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวใหม่ (เก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2560) โดยพันธุ์ชัยนาท 1 มีความงอกเริ่มต้น 95 % และสกลนคร 98 %

2) เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเก็บรักษา 1 ปี โดยเก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2559 และเก็บรักษาในโรงเก็บในสภาพอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ปี ก่อนนำมาทดสอบ โดยพันธุ์ชัยนาท 1 มีความงอกเริ่มต้น 93 % และสกลนคร 89 %

3) เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเร่งอายุ (accelerated aging) เป็นเมล็ดพันธุ์เก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2560 แล้วนำมาเร่งอายุให้เสื่อมคุณภาพ ตามวิธีการของ Delouche (1973) โดยนำเมล็ดพันธุ์ใส่ในถุงผ้าวางบนตะแกรงลวดที่เตรียมไว้ เติมน้ำใส่ในขวดโหลแก้ว กำหนดปริมาณน้ำให้ต่ำกว่าตะแกรงลวดประมาณ 2 เซนติเมตร ปิดขวดโหลให้สนิท เพื่อให้เมล็ดได้รับความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ นำเมล็ดมาไว้ในตู้เร่งอายุที่ อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 240 ชั่วโมง (10 วัน)

1.3 ความเข้มข้นของสารละลายที่เลือกมาทดสอบ คือ

1) น้ำกลั่น (วิธีควบคุม), 2) $CaCl_2$ (ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5 mol), 3) NaCl (ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5 mol), 4) WV (ความเข้มข้น 1:500, 1:300 และ 1:200 v/v; น้ำส้มควันไม้:น้ำ) และ 5) SA (ความเข้มข้น 0.0004, 0.0007, 0.0011 mol) (Duga and Tufa, 2016; Farooq et al., 2009)

ศึกษารูปแบบการดูดน้ำ (seed water imbibition pattern) ของเมล็ดพันธุ์ ในข้าว 2 พันธุ์ กรรมวิธีการแช่เมล็ดพันธุ์ มี 13 กรรมวิธี โดยใช้เมล็ดพันธุ์ 100 เมล็ด ต่อสารละลาย 200 มิลลิลิตร แช่ในสารละลายชนิดต่าง ๆ ตามอัตราที่กำหนด นำเมล็ดพันธุ์ที่แช่ในสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยไม่ให้แสง และชั่งน้ำหนักเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่าง ๆ ทุก ๆ 2 ชั่วโมง โดยชั่งน้ำและสารละลายส่วนเกินออก เมื่อเมล็ดพันธุ์เริ่มมีน้ำหนักคงที่ (เนื่องจากเมล็ดพันธุ์มีการดูดอมน้ำช้าลง) จากนั้นชั่งเมล็ดพันธุ์ทุก ๆ 3 ชั่วโมง จนกระทั่งเมล็ดพันธุ์ปรากฏรากแรกเกิด แล้วบันทึกข้อมูล ซึ่งข้อมูลระยะเวลาการดูดอมน้ำของเมล็ดพันธุ์ในแต่ละความเข้มข้นของสารละลายไปใช้ในการทดลองที่ 2.2

2. การศึกษาผลของการทำไพรมิงที่มีผลต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์

การศึกษาลักษณะการไพรมิง ระยะเวลาของการแช่เมล็ด และความเข้มข้นของสารที่ใช้ทั้ง 13 กรรมวิธี ระบุในตารางที่ 1 (Table 1) ไพรมิงเมล็ดพันธุ์ จากนั้นลดความชื้นโดยใช้พัดลมเป่าเมล็ดให้แห้ง (forced air) ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 2 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งความชื้นเมล็ดใกล้เคียงกับความชื้นเริ่มต้น (13%) นำไปทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ โดยการตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ความงอก

2.1 การตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์

นำตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ตามกรรมวิธีการทดลองมาเพาะเมล็ด โดยวิธี Between paper ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้แสง 12 ชั่วโมง ทดสอบทั้งหมด 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด จากนั้นตรวจนับความงอกเมล็ดพันธุ์ที่ 5 วันหลังเพาะ (first count) และ 14 วันหลังเพาะ (final count) (ISTA, 1996) หลังจากนั้นรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความงอก

$$\text{ความงอกของเมล็ด (\%)} = \frac{\text{จำนวนต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะ}} \times 100$$

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของข้อมูล (Analysis of variance) แต่ละกรรมวิธีโดยข้อมูลที่เป็นเปอร์เซ็นต์แปลงค่าด้วย Arcsine transformation วิเคราะห์ข้อมูลตามแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธี โดยวิธี Duncan's new multiple rang test (DMRT)

Table 1 Priming duration (h) of rice seed cv. Chainat 1 and Sakonnakhon in DI water, different concentrations of wood vinegar, salicylic acid, CaCl₂ and NaCl tested under laboratory conditions

Rice cultivar	Treatment	Priming duration (h)		
		New rice seed	Deteriorated rice seed due to storage	Deteriorated rice seed due to accelerated aging
Chai nat 1	DI water	27	18	24
	CaCl ₂ 0.1 mol	39	33	39
	CaCl ₂ 0.2 mol	57	53	78
	CaCl ₂ 0.5 mol	78	20	78
	NaCl 0.1 mol	33	30	39
	NaCl 0.2 mol	54	42	51
	NaCl 0.5 mol	78	78	78
	WV 1:500 v/v	27	18	27
	WV 1:300 v/v	27	18	27
	WV 1:200 v/v	27	18	24
	SA 0.0004 mol	27	18	24
	SA 0.0007 mol	27	18	24
	SA 0.0011 mol	27	18	24
Sakon nakhon	DI water	30	18	36
	CaCl ₂ 0.1 mol	42	20	39
	CaCl ₂ 0.2 mol	66	22	45
	CaCl ₂ 0.5 mol	78	78	78
	NaCl 0.1 mol	36	20	51
	NaCl 0.2 mol	54	33	78
	NaCl 0.5 mol	78	42	78
	WV 1:500 v/v	27	18	33
	WV 1:300 v/v	27	18	33
	WV 1:200 v/v	27	18	33
	SA 0.0004 mol	27	18	30
	SA 0.0007 mol	27	18	33
	SA 0.0011 mol	27	18	30

ผลการศึกษา และวิจารณ์

1. รูปแบบการดูดอมน้ำของเมล็ดพันธุ์ข้าว

รูปแบบการดูดอมน้ำของเมล็ดพันธุ์ข้าว พันธุ์ชัยนาท 1 และ พันธุ์สกลนคร ที่คุณภาพเมล็ดพันธุ์ต่างกัน 3 แบบ คือ เมล็ดพันธุ์ใหม่ เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเก็บรักษา 1 ปี และเมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเร่งอายุ การดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์ข้าวในน้ำกลั่น WV และ SA มีการตอบสนองที่คล้ายคลึงกัน ส่วนการตอบสนองใน CaCl_2 และ NaCl ใช้ระยะเวลาในการดูดอมน้ำนานกว่า ซึ่งรูปแบบการดูดอมน้ำของเมล็ดพันธุ์ในช่วง 2 ชั่วโมงแรก น้ำหนักของเมล็ดพันธุ์ข้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นช้า ๆ และคงที่ในระยะที่ 2 ก่อนเข้าสู่ระยะเจริญเติบโตต่อไป (Copeland and McDonald, 2001) ในเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เป็นเมล็ดใหม่พันธุ์ชัยนาท 1 พบว่า รูปแบบการดูดอมน้ำของเมล็ดในน้ำกลั่น สารละลาย WV 3 ระดับความเข้มข้น คือ 1:500, 1:300 และ 1:200 v/v และ SA 3 ระดับความเข้มข้น คือ 0.0004, 0.0007 และ 0.0011 mol มีรูปแบบการดูดอมน้ำที่คล้ายคลึงกัน โดยจะสิ้นสุด phase 1 ในช่วงเวลาที่ 12 หลังจากการแช่เมล็ด และ phase 2 ใช้เวลา 18 ชั่วโมง ก่อนรากแรกเกิด (radicle) ปรากฏขึ้นช่วงเวลาที่ 30 หลังจากการแช่เมล็ด แต่เมล็ดพันธุ์ที่แช่ด้วยสารละลายกลุ่มเกลือ คือ CaCl_2 กระบวนการดูดอมน้ำของเมล็ดพันธุ์เป็นไปได้ช้า ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.2 mol สิ้นสุด phase 1 ในช่วงเวลาที่ 13 และ 23 หลังจากการแช่เมล็ด ตามลำดับ จากนั้นรากแรกเกิดปรากฏช่วงเวลาที่ 42 และ 60 หลังจากการแช่เมล็ด ตามลำดับ แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้นเป็น 0.5 mol พบว่า เมล็ดพันธุ์ที่แช่ไม่ปรากฏรากแรกเกิด ซึ่ง นภาพร และพิริยศ (2561) รายงานว่าเมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ในสารละลายนานเกินไป ทำให้เนื้อเยื่อภายในเกิดการฉีกขาด สารอาหารภายในเมล็ดพันธุ์เกิดการรั่วไหล อาจถูกยับยั้งความงอก หรือเกิดความเป็นพิษต่อเมล็ดพันธุ์ ส่วนการแช่เมล็ดใน NaCl ทุกความเข้มข้น พบว่า รูปแบบการตอบสนองเป็นไปในทำนองเดียวกับการแช่ใน CaCl_2 และพันธุ์สกลนครจะมีการตอบสนองคล้ายคลึงกับพันธุ์ชัยนาท 1 (Figure 1)

เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเก็บรักษา 1 ปี ของพันธุ์ชัยนาท 1 พบว่า มีรูปแบบการดูดอมน้ำของเมล็ดในน้ำกลั่น สารละลาย WV และ SA ทุกระดับความเข้มข้นคล้ายคลึงกัน โดยจะสิ้นสุด phase 1 ในช่วงเวลาที่ 8 หลังจากการแช่เมล็ด และ phase 2 ใช้เวลา 12 ชั่วโมง ก่อนรากแรกเกิดปรากฏขึ้นช่วงเวลาที่ 20 หลังจากการแช่เมล็ด แต่เมื่อแช่เมล็ดด้วยสารละลายกลุ่มเกลือ คือ CaCl_2 และ NaCl ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ 0.1 mol สิ้นสุด phase 1 ในช่วงเวลาที่ 14 และ 12 หลังจากการแช่เมล็ด ตามลำดับ จากนั้นรากแรกเกิดปรากฏช่วงเวลาที่ 36 และ 33 หลังจากการแช่เมล็ด ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงสุด เมล็ดพันธุ์ที่แช่อาจถูกยับยั้งความงอก หรือเกิดความเป็นพิษต่อเมล็ดพันธุ์ และพันธุ์สกลนครจะมีการตอบสนองคล้ายคลึงกันกับพันธุ์ชัยนาท 1 (Figure 2)

เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเร่งอายุ ของพันธุ์ชัยนาท 1 พบว่า มีรูปแบบการดูดอมน้ำของเมล็ดในน้ำกลั่น สารละลาย WV 1:200 v/v และ SA ทุกระดับความเข้มข้นคล้ายคลึงกัน โดยจะสิ้นสุด phase 1 ในช่วงเวลาที่ 12, 12, 10, 8 และ 8 หลังจากการแช่เมล็ด ตามลำดับ และ phase 2 ใช้เวลา 15, 15, 17, 19 และ 19 ชั่วโมง ตามลำดับ ก่อนรากแรกเกิดปรากฏขึ้นช่วงเวลาที่ 27 หลังจากการแช่เมล็ด แต่เมื่อแช่เมล็ดด้วยสารละลายกลุ่มเกลือที่ความเข้มข้นต่ำ คือ CaCl_2 0.1, 0.2, NaCl 0.1 และ 0.2 mol สิ้นสุด phase 1 ในช่วงเวลาที่ 18, 24, 18 และ 20 หลังจากการแช่เมล็ด ตามลำดับ จากนั้นรากแรกเกิดปรากฏช่วงเวลาที่ 42 หลังจากการแช่เมล็ด เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงสุด เมล็ดพันธุ์ที่แช่อาจถูกยับยั้งความงอก หรือ เกิดความเป็นพิษต่อเมล็ดพันธุ์ และพันธุ์สกลนครจะมีการตอบสนองคล้ายคลึงกับพันธุ์ชัยนาท 1 แต่ใช้ระยะเวลานานกว่า (Figure 3)

การโปรมิ้งเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำกลั่น สารละลาย WV และ SA ทำให้เมล็ดพันธุ์ดูดอมน้ำได้อย่างรวดเร็ว และรากแรกเกิดปรากฏในเวลาที่รวดเร็วกว่าการโปรมิ้งเมล็ดพันธุ์ข้าวในสารละลายกลุ่มเกลือ เนื่องจากสารละลาย WV และ SA มีคุณสมบัติเป็นฮอร์โมน ที่ช่วยในการควบคุมการเจริญเติบโต และปกป้องโครงสร้างของเซลล์พืช (Van staden et al., 2006; Kang et al., 2007) ส่วนสารละลายกลุ่มเกลือมีคุณสมบัติเป็นตัวควบคุมค่าศักย์ของน้ำ ลดความความบริสุทธิ์ของน้ำ ทำให้มีการดูดซับสารละลายช้าลง (บุญมี, 2558) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ บุญมี (2552) ที่แช่เมล็ดพันธุ์ Cocklebur (*Xanthium* sp.) ในสารละลายกลุ่มเกลือที่มีความเข้มข้นสูง ทำให้เมล็ดพันธุ์มีการดูดอมน้ำช้าและลดน้อยลงเมื่อเทียบกับอัตราความเข้มข้นต่ำ นอกจากนี้รูปแบบการดูดอมน้ำของเมล็ดพันธุ์ข้าวชัยนาท 1 และสกลนคร มีความคล้ายคลึงกันจากการแช่ในสารละลายตามกรรมวิธีต่าง ๆ เช่นเดียวกันกับงานทดลองของ Ruttanaruangboworn et al. (2017) ซึ่งทดสอบในข้าว 2 พันธุ์ พบว่า มีรูปแบบการดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์ในน้ำที่ปราศจากไอออน

ใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าพันธุ์ กข15 มีแนวโน้มสิ้นสุดระยะที่ 2 เร็วกว่าพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ก็ตาม ซึ่งรูปแบบการดูดอมน้ำของเมล็ดพันธุ์จะไปมีผลต่อการงอก และการเจริญเติบโตของพืชต่อไป นอกจากนี้ความแตกต่างของคุณภาพเมล็ดพันธุ์มีผลต่อรูปแบบการดูดอมน้ำของเมล็ด โดยเมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเก็บรักษา 1 ปี สามารถดูดอมน้ำได้เร็วกว่าเมล็ดพันธุ์ใหม่ และเมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเร่งอายุ เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลานาน ทำให้ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานั้นมีผลต่อเมล็ดพันธุ์โดยตรง เกิดการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ สูญเสียโครงสร้างของเนื้อเยื่อต่าง ๆ สูญเสียคุณสมบัติในการกักเก็บ คัดเลือกสารต่าง ๆ และเกิดกระบวนการเมแทบอลิซึมที่ผิดปกติภายในเมล็ด (Padares et al. 1996; กรมป่าไม้, 2545; ดร.ณิ, 2559)

2. ผลของการทำไพรมิงต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าว

การตอบสนองของเมล็ดข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่เป็นเมล็ดใหม่ เมื่อไพรมิงเมล็ดพันธุ์ด้วย WV 1:200 v/v ทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกที่ 5 วัน ซึ่งเป็นการนับความงอกครั้งแรก (first count) มีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีควบคุม และการไพรมิงด้วยน้ำกลั่น นอกจากนี้เมล็ดที่ไพรมิงด้วย CaCl_2 และ NaCl มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น และการทำไพรมิงสามารถยกระดับเปอร์เซ็นต์ความงอกที่ 14 วัน (final count) ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดแห้ง (วิธีควบคุม) และในพันธุ์สกลนครมีการตอบสนองจากการทำไพรมิงเช่นเดียวกันกับพันธุ์ชัยนาท 1 (Table 2) ส่วนเมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 ปี พบว่า พันธุ์ชัยนาท 1 เมื่อไพรมิงด้วย WV 1:500 v/v ทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกที่ 5 วัน เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับไพรมิงด้วยน้ำกลั่น นอกจากนี้เมล็ดที่ไพรมิงด้วย CaCl_2 และ NaCl มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกลดลงเช่นเดียวกันกับเมล็ดใหม่ และเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์เมื่อประเมินที่ 14 วัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนเมล็ดข้าวพันธุ์สกลนครเมื่อไพรมิงด้วย NaCl 0.2 mol ทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกที่ 5 วัน เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับไพรมิงด้วยน้ำกลั่น (Table 3) และเมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเร่งอายุ พบว่า พันธุ์ชัยนาท 1 เมื่อไพรมิงด้วย SA 0.0007 mol ทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกที่ 5 วัน เพิ่มขึ้นสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับไพรมิงด้วยน้ำกลั่น นอกจากนี้เมล็ดที่ไพรมิงด้วย CaCl_2 และ NaCl ทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น และเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนเมล็ดข้าวพันธุ์สกลนครเมื่อไพรมิงด้วย WV 1:500 v/v ทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกที่ 5 วัน เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับไพรมิงด้วยน้ำกลั่น (Table 4)

จากผลการทดสอบการไพรมิงเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วย WV และ SA มีแนวโน้มที่ทำให้เมล็ดพันธุ์งอกได้รวดเร็ว และมีความงอกสูงกว่าการไพรมิงด้วยสารละลายอื่น ๆ เนื่องจาก WV มี butanolide และ SA เป็นสารประกอบ phenolic ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิด ทำหน้าที่เช่นเดียวกับฮอร์โมนพืช ในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Van staden et al, 2006; ชานนท์ และคณะ, 2556) เช่น เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไพรมิงด้วย WV (ดร.ณิ และคณะ, 2555) และเมล็ดพันธุ์ฝักบัวที่ไพรมิงด้วย SA (ชานนท์ และคณะ, 2556) นอกจากนี้การทำไพรมิงร่วมกับสารละลายที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน มีผลต่อการดูดอมน้ำของเมล็ดพันธุ์ และบทบาทของการนำเข้าไปของสารละลายภายในเมล็ดพันธุ์ รวมถึงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์มีผลต่อระดับความงอกและความแข็งแรงที่แตกต่างกัน เมื่อนำมาทำไพรมิงจะมีการตอบสนองที่ไม่เหมือนกัน (Halmer, 2004) จากงานทดลองของ Hasan (1998) เมล็ดพันธุ์ถั่วฝักยาวที่มีคุณภาพต่ำเมื่อผ่านการทำ matrix priming พบว่า ทำให้ความงอกและความเร็วในการงอกเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์คุณภาพปานกลาง และคุณภาพสูง อีกทั้งเมล็ดข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสกลนคร มีคุณภาพของเมล็ดพันธุ์เริ่มต้นไม่แตกต่างกัน เมื่อนำมาทดสอบการทำไพรมิงจึงมีรูปแบบการดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์ไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ภาณุมาศ และอดิพร (2551) ในเมล็ดพันธุ์ฝักบัวต่างชนิดกัน และมีความแตกต่างกันเมื่อไพรมิง พบว่า เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพเมล็ดพันธุ์เริ่มต้นดีกว่าจะมีความงอกเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

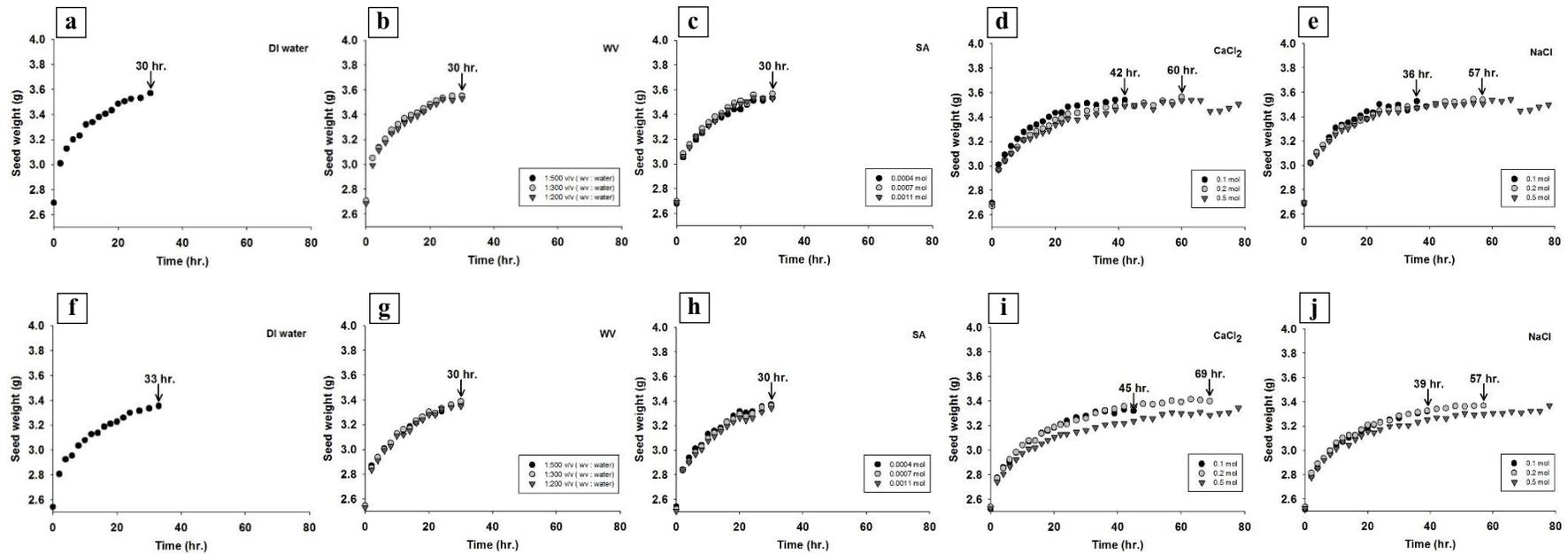


Figure 1 Water imbibition of new rice seed cv. Chainat1 (a-e) and Sakonnakhon (f-j) in DI water (control; a,f), different concentrations of wood vinegar (b,g), salicylic acid (c,h), CaCl₂ (d,i) and NaCl (e,j). Note: seed weight (g/100 seeds) and arrows (←) assigned as times (hr.) taken to radicle protrusion of viable seeds

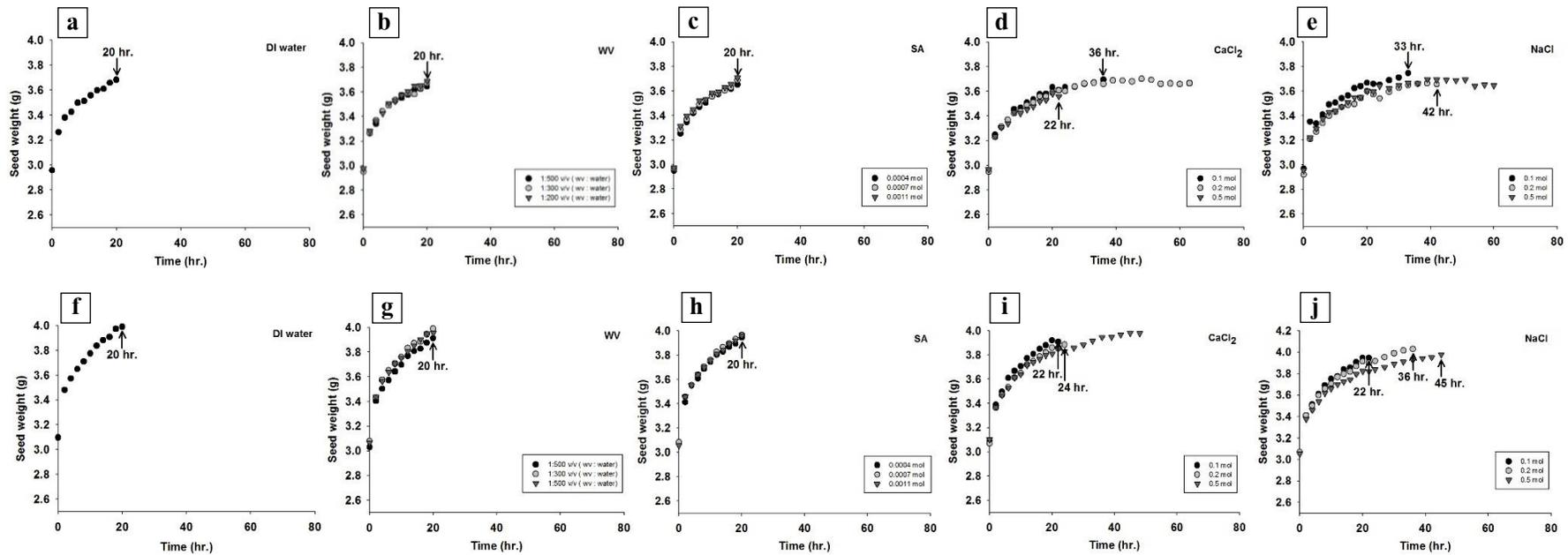


Figure 2 Water imbibition of deteriorated rice seed due to storage cv. Chainat1 (a-e) and Sakonnakhon (f-j) in DI water (control; a,f), different concentrations of wood vinegar (b,g), salicylic acid (c,h), CaCl₂ (d,i) and NaCl (e,j). Note: seed weight (g/100 seeds) and arrows (←) assigned as times (hr.) taken to radicle protrusion of viable seeds

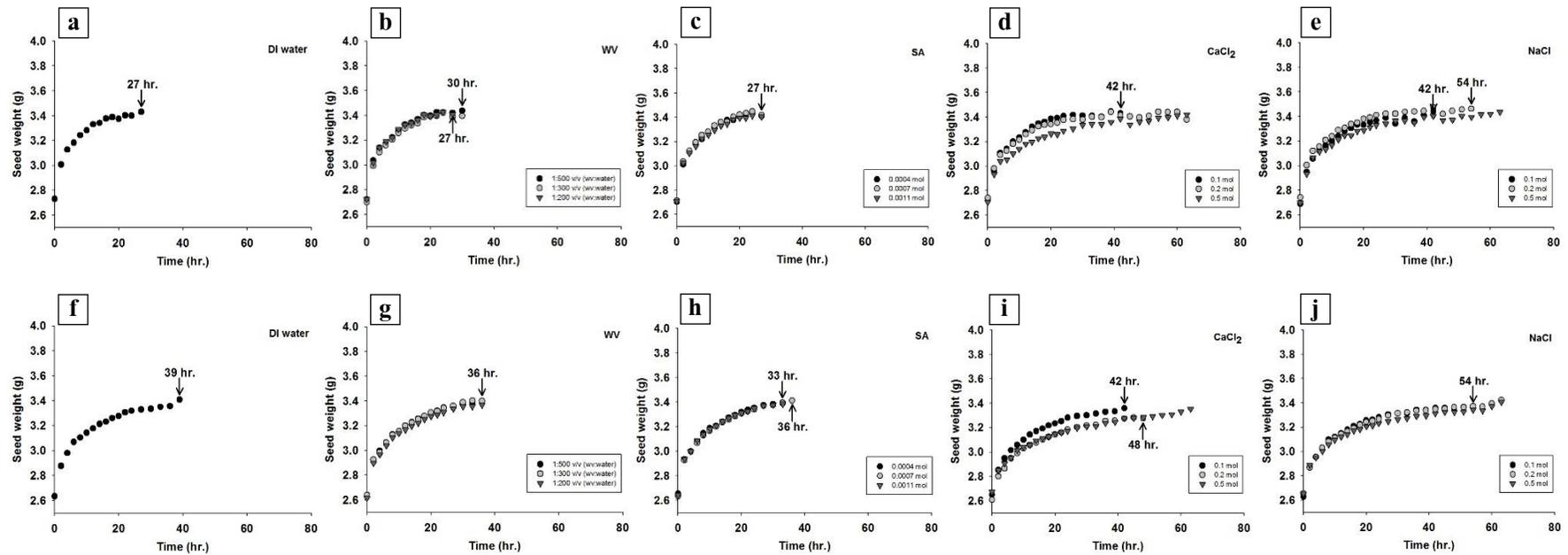


Figure 3 Water imbibition of deteriorated rice seed due to accelerated aging cv. Chainat1 (a-e) and Sakonnakhon (f-j) in DI water (control; a,f), different concentrations of wood vinegar (b,g), salicylic acid (c,h), CaCl₂ (d,i) and NaCl (e,j). Note: seed weight (g/100 seeds) and arrows (←) assigned as times (hr.) taken to radicle protrusion of viable seeds

Table 2 Effect of seed priming on germination of new rice seed cv. Chainat1 and Sakonnakhon in DI water, different concentrations of wood vinegar, salicylic acid, CaCl₂ and NaCl tested under laboratory conditions

Treatment ^{1/}	Germination (%) ^{2/}			
	Chai nat 1		Sakon nakhon	
	First count	Final count	First count	Final count
Control	95 bcd	96 bc	98 ab	98 abc
DI water	96 bcd	98 abc	99 a	99 ab
CaCl ₂ 0.1 mol	93 cd	98 abc	97 ab	99 ab
CaCl ₂ 0.2 mol	93 cd	99 abc	93 b	98 abc
CaCl ₂ 0.5 mol	81 e	95 c	78 c	93 cd
NaCl 0.1 mol	99 ab	100 a	98 a	98 ab
NaCl 0.2 mol	97 abc	99 ab	95 ab	98 abc
NaCl 0.5 mol	90 d	96 bc	74 c	91 d
WV 1:500 v/v	98 ab	100 a	98 ab	99 ab
WV 1:300 v/v	98 abc	99 ab	99 a	100 a
WV 1:200 v/v	100 a	100 a	99 a	100 a
SA 0.0004 mol	96 abc	98 abc	97 ab	97 bcd
SA 0.0007 mol	97 abc	100 a	98 ab	99 ab
SA 0.0011 mol	95 bcd	97 abc	98 ab	98 abc
F-test	**	**	**	**
C.V. (%)	6.39	5.73	6.91	5.89

^{1/} CaCl₂ = calcium chloride, NaCl = sodium chloride, WV = wood vinegar, SA = salicylic acid

^{2/} Data are transformed by the arcsine before statistical analysis.

** = significantly different at P≤0.01

Means in the same column with different letters are significantly different at P≤0.01 by DMRT

Table 3 Effect of seed priming on germination of deteriorated rice seed cv. Chainat1 and Sakonnakhon due to storage in DI water, different concentrations of wood vinegar, salicylic acid, CaCl₂ and NaCl tested under laboratory conditions

Treatment ^{1/}	Germination (%) ^{2/}			
	Chai nat 1		Sakon nakhon	
	First count	Final count	First count	Final count
Control	90 a	93	89 ab	90
DI water	86 ab	91	85 ab	89
CaCl ₂ 0.1 mol	87 ab	90	90 ab	91
CaCl ₂ 0.2 mol	76 c	92	85 ab	87
CaCl ₂ 0.5 mol	81 bc	87	47 c	87
NaCl 0.1 mol	86 ab	89	85 ab	88
NaCl 0.2 mol	87 ab	89	91 a	91
NaCl 0.5 mol	82 abc	91	86 ab	87
WV 1:500 v/v	90 a	92	84 ab	87
WV 1:300 v/v	88 ab	89	84 ab	86
WV 1:200 v/v	87 ab	92	87 ab	88
SA 0.0004 mol	88 ab	88	89 ab	94
SA 0.0007 mol	88 ab	92	81 b	85
SA 0.0011 mol	85 ab	89	85 ab	87
F-test	*	ns	**	ns
C.V. (%)	6.29	5.32	6.90	6.29

^{1/} CaCl₂ = calcium chloride, NaCl = sodium chloride, WV = wood vinegar, SA = salicylic acid

^{2/} Data are transformed by the arcsine before statistical analysis.

ns, *, ** = not significant, significantly different at P≤0.05 and P≤0.01, respectively

Means in the same column with different letters are significantly different at P≤0.01 by DMRT

Table 4 Effect of seed priming on germination of accelerated aged seed cv. Chainat1 and Sakonnakhon in DI water, different concentrations of wood vinegar, salicylic acid, CaCl₂ and NaCl tested under laboratory conditions

Treatment ^{1/}	Germination (%) ^{2/}			
	Chai nat 1		Sakon nakhon	
	First count	Final count	First count	Final count
Control	38 d	83	26 d	94
DI water	73 ab	87	75 a	91
CaCl ₂ 0.1 mol	73 ab	87	75 a	90
CaCl ₂ 0.2 mol	31 d	87	64 b	91
CaCl ₂ 0.5 mol	29 d	87	36 d	91
NaCl 0.1 mol	70 ab	87	77 a	90
NaCl 0.2 mol	70 ab	82	49 c	86
NaCl 0.5 mol	54 c	78	55 bc	84
WV 1:500 v/v	64 bc	88	83 a	94
WV 1:300 v/v	72 ab	86	77 a	92
WV 1:200 v/v	76 ab	89	79 a	93
SA 0.0004 mol	65 bc	92	75 a	91
SA 0.0007 mol	77 a	90	78 a	91
SA 0.0011 mol	74 ab	86	77 a	92
F-test	**	ns	**	ns
C.V. (%)	8.63	6.04	8.20	6.03

^{1/} CaCl₂ = calcium chloride, NaCl = sodium chloride, WV = wood vinegar, SA = salicylic acid

^{2/} Data are transformed by the arcsine before statistical analysis.

ns, ** = not significant, significantly different at P<0.01, respectively

Means in the same column with different letters are significantly different at P<0.01 by DMRT

สรุป

จากการศึกษารูปแบบการดูดอมน้ำของเมล็ดพันธุ์ และผลของการไพรมิงเมล็ดพันธุ์ข้าวชัยนาท 1 และสกลนคร ในสารละลายชนิดต่าง ๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การไพรมิงเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำกลั่น สารละลาย WV และ SA ทำให้การดูดอมน้ำของเมล็ดข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสกลนคร ใช้ระยะเวลาในการดูดอมน้ำรวดเร็ว และรูปแบบการดูดอมน้ำสิ้นสุด phase 2 เร็วกว่าการแช่ในสารละลายอื่น ๆ

2. สารละลายWV 1:200 v/v และ SA 0.0007 mol เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการไพรมิงเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากสามารถส่งเสริมให้เมล็ดพันธุ์งอกได้เร็วเมื่อประเมินความงอกที่ 5 วันหลังเพาะ และมีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม นอกจากนี้เมล็ดพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวใหม่ และเมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเก็บรักษา 1 ปี ความงอกของเมล็ดพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกับความเข้มข้นอื่น ๆ แต่ในเมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเร่งอายุเมื่อประเมินความงอกที่ 5 วันหลังเพาะ การใช้สารละลายและความเข้มข้นต่าง ๆ ในการไพรมิง ช่วยยกระดับความงอกได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม

เอกสารอ้างอิง

- กรมป่าไม้. 2545. คุณภาพเมล็ดไม้ และการพัฒนาแหล่งเมล็ดพันธุ์ไม้ป่า. เอกสารเผยแพร่ทางวนวัฒนวิทยา เล่มที่ 2. สำนักวิชาการป่าไม้. กรมป่าไม้.
- ชานนท์ มณีนรัตน์ ภาณุมาศ ฤทธิไชย และเยาวพา จิระเกียรติกุล. 2556. ผลของการ priming ด้วย salicylic acid และ folic acid ต่อ ความงอก ความแข็งแรง และการเจริญเติบโตของต้นกล้าฝักบัวจีน. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 21 (ฉบับพิเศษ 6): 511-519.
- ดรุณี โชติษฐยางกูร สดุดี วรณพัฒน์ และ อนันต์ พลธानी. 2555. การใช้น้ำส้มคว้นไม้เป็นสารแช่เมล็ดและฉีดพ่นทางใบในข้าวนาหว่าน: การทดสอบโดยเกษตรกร. แก่นเกษตร. 40 (ฉบับพิเศษ): 233-240.
- ดรุณี โชติษฐยางกูร. 2559. ชีววิทยา และเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. สาขาพืชไร่ ภาควิชาพืชศาสตร์ และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นภาพร เวชกามา และพีรยศ แข็งขัน. 2561. การปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ด้วยเทคนิค Seed priming. เกษตรพระวรุณ. 15(1): 17-30.
- บุญมี ศิริ. 2552. วิทยาการเมล็ดพันธุ์ Seed Technology. ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- บุญมี ศิริ. 2558. การปรับปรุงสภาพและยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. โรงพิมพ์คลังน่านาวิทยา. ขอนแก่น.
- ภาณุมาศ ฤทธิไชย และอดิพร พิพัฒน์กรสกุล. 2551. ผลของวิธี hydropriming ต่อความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ฝักบัว. แก่นเกษตร. 36: 235-240.
- Bewley, J.D., and M. Black. 1982. Physiology and Biochemistry of Seed in Relation to Germination. Vol. II. Seed Viability, Dormancy and Environmental Control. Springer-Verlay, New York.
- Bouman, B., and L. Reyes. 2017. Continuing global partnership through rice. Rice today. Available: <https://ricetoday.irri.org/continuing-global-partnership-through-rice/> Accessed Oct. 12, 2020.
- Copeland, O.L., and M. B. McDonald. 2001. Principles of Seed Science and Technology. 4th Edition. Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.
- Dashtnian, F.P., Hosseini M.K., and M. Esfahani. 2014. Improving rice seedling physiological and biochemical processes under low temperature by seed priming with salicylic. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences. 4: 565–572.
- Delouche, D.C. 1973. Precepts of seed storage. Proceedings of the Mississippi State Seed Processors Short Course.
- Dissatian, A., J. Sanitchon, P. Pongdontri, N. Jongrunklang, and D. Jothityangkoon. 2018. Potential of wood vinegar for enhancing seed germination of three upland rice varieties by suppressing malondialdehyde production. Journal of Agricultural Science. 40(2): 371-380.
- Duga, J.N., and R. Tufa. 2016. Effects of seed priming with sodium chloride on seedling performance of common bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) under greenhouse condition. International Journal of Research – GRANTHAALAYAH. 4(6): 222-228.
- Farooq, M., S. M. A. Basra, A. Wahid, N. Ahmad, and B. A. Saleem. 2009. Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. Journal of Agronomy and Crop Science. 195: 237–246.
- Fuller, M. P., J. H. Hamza, H. Z. Rihan, and M. Al-Issawi. 2012. Germination of Primed Seed under NaCl Stress in Wheat. International Scholarly Research Network.

- Ghassemi-Golezani, K., A. A. Aliloo, M. Valizadeh, and M. Moghaddam. 2008. Effects of hydro and osmo-priming on seed germination and field emergence of Lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 36: 29-33.
- Halmer, P. 2004. Methods to improve seed performance in the field. pp. 125-165. In: R. L. Benech-Arnold and R. A. Sanchez (eds.). *Handbook of Seed Physiology: Applications to Agriculture*. The Haworth Press, New York, USA.
- Hasan, A., S. Ilyas, D. Sudarsono, and U.J. Sireger. 1998. Effect of invigoration treatment applied on different levels of seed vigor on physiological and biochemical changes in yard-long bean (*Vigna unguiculata* L. Walp.) seed. Thesis, Graduate School, Bogor Agricultural University.
- ISTA. 1996. *International Rules for Seed Testing: Rule 1996*. International Seed Testing Association, Zurich. Switzerland.
- Kang, G. Z., Z. X. Wang, K. F. Xia, and G. C. Sun. 2007. Protection of ultrastructure in chilling-stressed banana leaves by salicylic acid. *Journal of Zhejiang University Science*. B.8: 277- 282.
- Kaya, M.D., G. Okcu, M. Atak, Y. CIKILI, and O. Kolsarici. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *The European Journal of Agronomy*. 24: 291–295.
- Khan, H.A., C.M. Ayub, M.A. Pervez, R.M. Balal, M.A. Shahid, and K. Ziaf. 2009. Effect of seed priming with NaCl on salinity tolerance of hot pepper (*Capsicum annum* L.) at seedling stage. *Soil and Environment*. 28: 81-87.
- Murungu, F. S., P. Nyamugafata, C. Chiduzza, L. J. Clark, and W. R. Whalley. 2005. Effects of seed priming and water potential on germination of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and maize (*Zea mays* L.) in laboratory assays. *South African Journal of Plant and Soil*. 22: 64-70.
- Padares, D.E., T.W. Mew, and L.L. Ilag. 1996. Influence of moisture content and length of storage on fungal invasion of paddy rice. *Biotropia* 10: 1-13.
- Rehman, H., S.M.A. Brasa, M. Farooq, N. Ahmad, and I. Afzal. 2011. Seed priming with CaCl₂ improves stand establishment, yield and quality attributes in direct seeded rice (*Oryza sativa*). *International Journal of Agriculture & Biology* 13: 786-790.
- Ruttanaruangboworn, A., W. Chanprasert, P. Tobunluepop, and D. Onwimol. 2017. Effect of seed priming with different concentrations of potassium nitrate on the pattern of seed imbibition and germination of rice (*Oryza sativa* L.). *Integrative Agriculture*. 16(3): 605–613.
- Tavili, A., S. Zare, S.A. Moosavi, and A. Enayati. 2011. Effects of Seed Priming on germination characteristics of *Bromus* species under salt and drought conditions. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 10(2): 163-168.
- Van Staden, J., S.G. Sparg, M.G. Kulkarni, and M.E. Light. 2006. Post-germination effects of the smoke-derived compound 3-methyl-2H-furo[2,3-c]pyran-2-one, and its potential as a pre-conditioning agent. *Field Crops Research*. 98: 98–105.