KHON KAEN AGR. J. 48 (3): 515-526 (2020)./doi:10.14456/kaj.2020.47.

ผลของการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์ ด้วยวิธี Nano-Bubbles priming ต่อการงอกของต้นกล้าดาวเรืองฝรั่งเศส

Effect of Nano-bubble priming on seed germination and seedling growth of France marigold

สลาลีวัลย์ แน่นแฟ้น[1] และ ปิยะณัฏฐ์ ผกามาศ[1*]

Salaleewan Naenfan[1] and Piyanath Pagamas[1]

บทคัดย่อ :การเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์โดยวิธี priming ทำให้เมล็ดพันธุ์งอกได้เร็วและสม่ำเสมอมากขึ้น การทดลองนี้ศึกษาผลของการทำ Nano-bubble priming (NB priming) ต่อความงอก ดัชนีความงอก และการเจริญเติบโตของต้นกล้าดาวเรืองฝรั่งเศส (*Tagetes erecta* L.) พันธุ์กำแพงแสน-08-DO เตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศสใหม่และเมล็ดพันธุ์ที่เก็บรักษาไว้ 1 ปี ในน้ำ RO ที่ปรับสภาพเป็นน้ำ NB เป็นเวลา 0 (Hydropriming), 10,20 และ 30 นาที เปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการเตรียมความพร้อมของเมล็ดพันธุ์ (มคุบวคดชุ) ผลการศึกษา พบว่า การทำ NB priming ช่วยยกระดับคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศสได้ โดยเมล็ดพันธุ์ใหม่ที่ผ่านการทำ NB priming มีค่าความงอกในสภาพโรงเรือนทดลอง 89.00-92.00% มากกว่าการทำ Hydropriming และเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการเตรียมความพร้อมของเมล็ดพันธุ์ รวมถึงให้ค่าความเร็วในการงอก (GI) าล้กนต้งอขตโบติเญริจเราการตอัะลแ (SGR) สูงกว่าในชุดควบคุมในสภาพห้องปฏิบัติการ ในเมล็ดพันธุ์เก่า NB Priming ให้ค่าความงอกมาตรฐานสูงกว่าการทำ Hydropriming และชุดควบคุม โดยการทำ NB priming ด้วยน้ำที่ปรับสภาพเป็นเวลา 20 และ 30 นาที ให้ค่าความงอก GI และ SGR ในสภาพโรงเรือนทดลองสูงกว่าการทำ Hydropriming และชุดควบคุม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การทำ NB priming เป็นวิธีการที่ง่ายไม่มีสารเคมีตกค้างในสภาพแวดล้อม และสามารถยกระดับคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศสได้

คำสำคัญ: *Tagetes erecta* L., Nano Bubbles, ความงอก, ความแข็งแรง

Abstract: Seed priming method is potentially able to promote rapid and more uniform seed germination. This study investigated the effect of nano-bubble priming (NB priming) on germination, germination index and seedling growth rate of French marigold (*Tagetes erecta* L.) var. Kamphaeng Saen-08-DO. The new and 1 year storaged seeds were primed in RO (reverse osmosis) water that were generated to be NB water for 0 (Hydropriming), 10, 20 and 30 minutes, compared with unprimed seed (control). The results showed that NB priming enhanced the quality of French marigold seeds. In new seeds, NB priming significantly increased the greenhouse germination (89.00-92.00%) and higher than hydropriming

Received July 22, 2019

Accepted November 20, 2019

[1] ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ต.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

[1] Department of Horticulture, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen campus, Kamphaeng Saen, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140

* Corresponding author: agrpnp@ku.ac.th

and control treatment. Moreover, NB priming gave the higher germination index (GI) and seedling growth rate (SGR) than control in the laboratory condition. In aged seeds, NB Priming had the higher standard germination than Hydropriming and control. NB priming with 20 and 30 minutes generated NB water gave the significantly higher germination, GI and SGR than hydropriming and control in greenhouse condition. NB priming, being simple, without any chemical residues, and can be effective to increase the quality of French marigold seeds.
Keywords: *Tagetes erecta* L., Nano Bubbles, seed germination, seed vigor

บทนำ

ปัจจุบันความนิยมปลูกไม้ดอกไม้ประดับมีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลถึงความต้องการเมล็ดพันธุ์ที่งอกได้ดีมีคุณภาพเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดาวเรืองฝรั่งเศส (*Tagetes patula* L.) เป็นไม้ดอกไม้ประดับอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยม โดยเมล็ดมีลักษณะเป็นเมล็ดแห้ง ล่อน สีดำ เรียวยาว และมีหางเมล็ด (กรมวิชาการเกษตร, 2560) ปัญหาการงอกที่ไม่สม่ำเสมอ และการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศสที่รวดเร็ว เกิดจากเมล็ดพันธุ์มีขนาดเล็ก และมีอาหารสะสมภายในเมล็ดน้อย กระบวนการกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์ (seed priming) เป็นการเตรียมเมล็ดพันธุ์ให้มีความพร้อมต่อการงอก ทำให้เมล็ดพันธุ์งอกเร็ว และมีความสม่ำเสมอมากขึ้น โดยคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ต้องไม่ลดลง (Gray et al., 1990; Hill, 1999; McDonald, 2000) กระบวนการงอกของเมล็ดพันธุ์มี 3 ระยะ การกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์จะอยู่ในช่วง 2 ระยะแรกเท่านั้น โดยการงอกของเมล็ดพันธุ์เริ่มจากกระบวนการดูดน้ำในระยะที่ 1 เมล็ดพันธุ์จะดูดน้ำเข้าสู่ภายในเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะลดลงเมื่อใกล้ถึงจุดอิ่มตัวของความชื้นในเมล็ดพันธุ์ซึ่งจุดนี้ถือเป็นจุดสิ้นสุดการดูดน้ำในระยะที่ 1 มีปริมาณน้ำภายในเมล็ดมากเพียงพอในการพัฒนาของเมล็ดพันธุ์ที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการงอกต่อไป ระยะที่ 2 จะมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางชีวเคมี และสรีรวิทยาภายในเมล็ดพันธุ์ ส่วนระยะที่ 3 เป็นระยะที่เมล็ดพันธุ์มีรากงอกพ้นจากเปลือกหุ้มเมล็ด และจะดูดน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้ง จากนั้นเมล็ดพันธุ์จะเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าที่แข็งแรงและสมบูรณ์ดังนั้นหากรักษาความชื้น ในระยะที่ 2 ให้คงที่เมล็ดพันธุ์จะไม่เกิดการงอกของราก และเมล็ดพันธุ์ทุกเมล็ดจะพร้อมที่จะงอกเมื่อนำเมล็ดพันธุ์มาเพาะหรือให้เมล็ดพันธุ์ได้รับน้ำอีกครั้ง ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เกิดการงอกได้พร้อมกัน (Bewley and Black, 1982; วันชัย, 2553)

การกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์หรือ seed priming ที่นิยม คือ การแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำ หรือสารละลายบางชนิดที่มีการควบคุมค่าศักย์ของน้ำ (Ψ) เพื่อให้เมล็ดพันธุ์ดูดน้ำอย่างช้าๆ เป็นกระบวนการกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์ก่อนนำไปปลูก เริ่มจากการแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำหรือสารละลายบางชนิด ที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่นานเพียงพอทำให้เมล็ดมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางชีวเคมี และสรีรวิทยาต่างๆ ภายในเมล็ดพันธุ์และหยุดกระบวนการงอกก่อนรากจะงอกพ้นเปลือกหุ้มเมล็ด ทำให้เมล็ดพันธุ์ทุกเมล็ดมีการพัฒนาการงอกขึ้นมาอยู่ในระดับเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน (Heydecker and Coolbear, 1997) จากนั้นลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ให้แห้งเท่ากับความชื้นเดิมก่อนแช่เมล็ดพันธุ์ ก่อนนำไปปลูกหรือเก็บรักษาต่อไป เนื่องจากเมล็ดที่ผ่านการทำ seed priming แล้ว เมื่อนำเมล็ดไปปลูกและให้ความชื้นอีกครั้ง เมล็ดจะสามารถงอกได้อย่างรวดเร็ว และสม่ำเสมอเพิ่มขึ้น (Bewley and Black, 1985) เพราะเมื่อเมล็ดดูดน้ำอีกครั้ง เมล็ดจะเข้าสู่กระบวนการดูดน้ำในระยะที่ 3 ได้เร็วกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการทำ priming (Varier et al., 2010) โดยปัจจัยทางกายภาพที่เกี่ยวข้องและมีบทบาทสำคัญต่อผลการตอบสนองของเมล็ดพันธุ์ คือ ออกซิเจน (O_2) ซึ่งเมล็ดพันธุ์ต้องได้รับ O_2 ประมาณ 20% จึงจะเกิดการงอกที่สมบูรณ์ ได้ จากรายงานของ Ozbingol et al. (1998) พบว่าการทำ Osmopriming ของเมล็ดพันธุ์พริกและมะเขือเทศ มีความงอกสูงขึ้นได้เมื่อความเข้มข้นของออกซิเจนในสารละลายสูงกว่า 10% และจากการทดลองของ Yeoung et al. (1996) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของ O_2 มากว่า 50% ให้กับน้ำระหว่างการทำ Hydropriming กับเมล็ดพันธุ์แตงเทศทำให้เมล็ดพันธุ์งอกได้ช้ากว่าการแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำที่มีปริมาณ O_2 น้อยกว่า 21% หากสามารถเพิ่มปริมาณ O_2 ในน้ำและรักษาระดับความเข้มข้นของ O_2 ไว้ได้นานตลอดการทำ priming จะสามารถเพิ่มความงอกของเมล็ดพันธุ์ได้ ขณะที่เมล็ด

งอกมีอัตราการหายใจสูง ใช้ออกซิเจนในการหายใจเพื่อย่อยสลายอาหารและได้พลังงานออกมาใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ของเซลล์สำหรับการงอก (Bewley and Black, 1978) น้ำ Nano-bubble (NB) เป็นน้ำที่มีฟองอากาศขนาดนาโนเมตรกระจายอยู่ทั่วไป สามารถผลิตจากเครื่องกำเนิดฟองอากาศนาโน (Nano-bubble Generator) โดยฟองอากาศขนาด Nano เกิดจากการยุบตัวของฟองอากาศขนาด Micro จะคงอยู่ในน้ำได้นาน เนื่องจากมีแรงลอยตัวต่ำ ทำให้เกิดการตรึงออกซิเจนให้อยู่ในน้ำได้มากขึ้นโดยอยู่ในรูปของฟองอากาศขนาดนาโนเมตร (ชิติ และคณะ, 2561) กระบวนการนี้จึงเป็นการเติมออกซิเจนลงในน้ำ จากงานวิจัยก่อนหน้ารายงานว่า Micro/Nano-bubble สามารถกระตุ้นการงอกของข้าวโพดหวานทำให้งอกได้เร็วกว่า รวมถึงมีผลทำให้ความสูงต้น และความยาวรากที่มากกว่าการใช้น้ำเปล่า (Sritontip et al., 2017) และสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดข้าวและการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้ (Ikeura et al., 2014) รวมถึงกระตุ้นกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดี เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศเข้าสู่เมล็ดได้ดีกว่าน้ำปกติ (Oshita and Liu, 2013) สำหรับการทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำ Nano-bubble priming ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ในการกระตุ้นการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าดาวเรืองฝรั่งเศส โดยการทำ Nano-bubble priming ถือเป็นเทคโนโลยีสะอาด ไม่มีการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ และไม่มีสารตกค้างสู่สภาพแวดล้อม

วิธีการศึกษา

การทดลองนี้ใช้เมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศสพันธุ์กำแพงแสน-08-DO แบ่งเป็น 2 Lot คือเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 ปี ที่อุณหภูมิ 8°C ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ 5% ความงอกเริ่มต้น 80% และเมล็ดพันธุ์ใหม่ ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ 5% ความงอกเริ่มต้น 96% ปรับสภาพน้ำ RO (Reverse Osmosis) ให้เป็นน้ำ Nano-bubble โดยใช้ Nano-bubble Generator จากศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่เวลา 0, 10, 20 และ 30 นาที นำน้ำ Nano-bubble ที่ได้ไปวัดปริมาณออกซิเจน ด้วยเครื่อง Dissolved Oxygen Meter (Lutron Electronic Enterprise Co., Ltd, Taiwan) และตรวจวัดปริมาณการมีอยู่ของ Bubble ด้วยเครื่อง HORIBA Bubble Size Analyzer LA-960 (HORIBA Co., Ltd., Japan) การทดลองประกอบด้วย 5 ทรีทเมนต์ คือ เมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการทำprimingและเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ Nano-bubble priming ด้วยน้ำ RO ที่ปรับสภาพเป็นน้ำ Nano-bubble โดยใช้ Nano-bubble Generator ที่เวลา 0 (hydropriming), 10, 20 และ 30 นาที ทรีทเมนต์ละ 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 การทดลองดัง

การทดลองที่ 1 ศึกษารูปแบบการดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศส (Imbibition) โดยนำเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศสทั้ง 2 Lot แช่ในน้ำ RO และ น้ำ NB ที่อุณหภูมิ 25°C ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ บันทึกข้อมูลการดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 ชั่วโมง จนเมื่อเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศสแทงรากแรงออกมาจากเปลือกหุ้มเมล็ด จึงหยุดการทดลอง โดยการสุ่มเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศสจากแต่ละทรีทเมนต์ออกมาซับน้ำที่บริเวณผิวให้แห้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักทันที จากนั้นคำนวณปริมาณน้ำที่เมล็ดดูดเข้าไปในทุกๆ ชั่วโมง ดังสมการ (พิจิตรา และคณะ, 2557)

$$W = \frac{(W_i - W_0) \times 100}{W_0}$$

โดย W = ปริมาณน้ำที่เมล็ดพันธุ์ดูดเข้าไปหลังจาก i ชั่วโมง (%) W_i = น้ำหนักเมล็ดพันธุ์หลังจากดูดน้ำที่เวลา i ชั่วโมง (กรัม) และ W_0 = น้ำหนักเริ่มแรกของเมล็ดพันธุ์ก่อนดูดน้ำ (กรัม)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของ Nano-bubble priming ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าดาวเรืองฝรั่งเศส โดยนำเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศสทั้ง 2 Lot แช่ในน้ำ RO และน้ำ NB ในแต่ละทรีทเมนต์ ตามระยะเวลาที่เมล็ดพันธุ์มีการดูดน้ำในระดับคงที่จากผลการทดลองที่ 1 จากนั้นบ่มเมล็ดพันธุ์เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เมื่อครบกำหนดนำเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศสมาลดความชื้นด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 35°C นาน 3 วัน หรือจนเมล็ดพันธุ์มีความชื้นลดลงเหลือ 5% ก่อนนำไป

ทดสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ ดังนี้

การบันทึกข้อมูล

1. **การตรวจสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์** (Germination test)

นำเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศสทั้ง 2 Lot จากทุกทรีตเมนต์มาทดสอบความงอก ดังนี้

1.1 **ความงอกมาตรฐาน** (Standard Germination) โดยวิธีการเพาะเมล็ดพันธุ์บนกระดาษ (Top of paper: TP) จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด จากนั้นนำไปวางในตู้เพาะอุณหภูมิสลับ 20-30°C ให้แสง 12 ชั่วโมงต่อวัน ตรวจนับจำนวนต้นอ่อนปกติครั้งแรกที่ 4 วันหลังเพาะเมล็ด และครั้งสุดท้ายที่ 14 วันหลังเพาะเมล็ด นำค่าที่ได้มาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความงอกตามสูตร (ISTA, 2016)

$$\text{ความงอก (\%)} = \left(\frac{\text{จำนวนต้นกล้าที่งอกปกติ}}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}} \right) \times 100$$

บันทึกจำนวนต้นอ่อนที่งอกผิดปกติ เมล็ดสดไม่งอก และเมล็ดตาย ตามหลักการประเมินความงอกของ ISTA (2016) ร์อปเนป็เลผยางยารด้ไที่ลมูอข้านำ เซ็นต์

1.2 **ความงอกในสภาพโรงเรือนทดลอง** (Greenhouse germination) โดยการเพาะเมล็ดพันธุ์ในถาดหลุมพลาสติกและใช้พีทมอสเป็นวัสดุปลูก ให้น้ำ 2 ครั้งต่อวัน จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 50 เมล็ด ตรวจนับจำนวนต้นกล้าปกติที่ 30 วันหลังเพาะเมล็ด คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความงอก เช่นเดียวกับวิธีการใน ข้อ 1.1

2. **ค่าดัชนีความงอก**

ทำการเพาะเมล็ดพันธุ์วิธีเดียวกับการทดสอบความงอกมาตรฐาน และการทดสอบความงอกในสภาพโรงเรือนทดลอง ตรวจนับจำนวนต้นกล้าปกติทุกวัน แล้วคำนวณค่าดัชนีความงอกดังนี้ (AOSA, 1983)

$$\text{ความงอก (\%)} = \text{ผลรวม} \left(\frac{\text{จำนวนต้นกล้าที่งอกปกติ}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}} \right)$$

3. **อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า** (Seedlings Growth Rate: SGR)

นำต้นกล้าดาวเรืองฝรั่งเศสจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการอายุ 14 วันหลังเพาะเมล็ดและต้นกล้าในสภาพโรงเรือนทดลอง อายุ 30 วันหลังเพาะเมล็ด อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง และคำนวณอัตราการเจริญของต้นกล้า จากสูตร

$$\text{อัตราการเจริญของต้นกล้า (g/plant)} = \left(\frac{\text{ผลรวมน้ำหนักแห้งต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนต้นกล้าปกติ}} \right)$$

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ค่าวาเรียนซ์ด้วยการวิเคราะห์ ANOVA และนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS version 22 สถานที่ทำการทดลอง ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีของเมล็ดพันธุ์ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ผลการทดลอง

จากการปรับสภาพน้ำ RO (Reverse Osmosis) ให้เป็นน้ำ NB (Nano-bubble) โดยใช้ Nano-bubble Generator ที่เวลา 0, 10, 20 และ 30 นาที และนำน้ำ NB ที่ได้ไปวัดปริมาณออกซิเจน พบว่า การปรับสภาพน้ำเป็นเวลานานขึ้นทำให้มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเพิ่มขึ้น โดยการปรับสภาพน้ำนาน 30 นาที มีค่า DO สูงที่สุดเท่ากับ 8.23 $mg \cdot L^{-1}$ รองลงมาคือการปรับสภาพน้ำนาน 20 และ 30 นาทีตามลำดับ โดยน้ำ RO มีค่า DO ต่ำที่สุดเท่ากับ 4.20 $mg \cdot L^{-1}$ (**Table 1**) ส่วนขนาดและปริมาณฟองอากาศขนาดนาโนเมตรในน้ำ NB จากการปรับสภาพที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่าที่เวลา 10, 20 และ 30 นาที ของการปรับสภาพน้ำมีฟองอากาศขนาดใกล้เคียงกัน คือ 195.90, 195.20 และ 195.20 nm ตามลำดับ ทั้งนี้จำนวนฟองอากาศขนาดนาโนเมตรที่พบในน้ำหลังจากปรับสภาพมีปริมาณมากขึ้นตามระยะเวลาในการปรับสภาพน้ำที่นานขึ้น โดยที่เวลา 10, 20 และ 30 นาที มีจำนวนฟองอากาศขนาดนาโนเมตรเท่ากับ 7.84×10^6, 8.76×10^6 และ 9.04×10^6 $particle \cdot ml^{-1}$ ตามลำดับ (**Table 1** และ **Figure 1**) ทั้งนี้ไม่พบฟองอากาศขนาดนาโนเมตรในน้ำ RO

Table 1 Effects of Nano-bubble generating time on dissolved oxygen, bubble sizes (nm) and total particle contents.

Treatments	DO ($mg \cdot l^{-1}$)	Particle size (nm)	Total particle ($particle \cdot ml^{-1}$)
RO water	4.20 d	0.00 b	0.00 d
10 min generated NB water	5.98 c	195.30 a	$8.47x10^6$ c
20 min generated NB water	6.99 b	195.20 a	$8.76x10^6$ b
30 min generated NB water	8.23 a	195.20 a	$9.04x10^6$ a
F-test	**	**	**
CV (%)	6.26	19.70	19.63

**: significant difference at $P \leq 0.01$

[1/]Means within the same column followed by the same letter are not significantly different by DMRT at $P<0.05$.

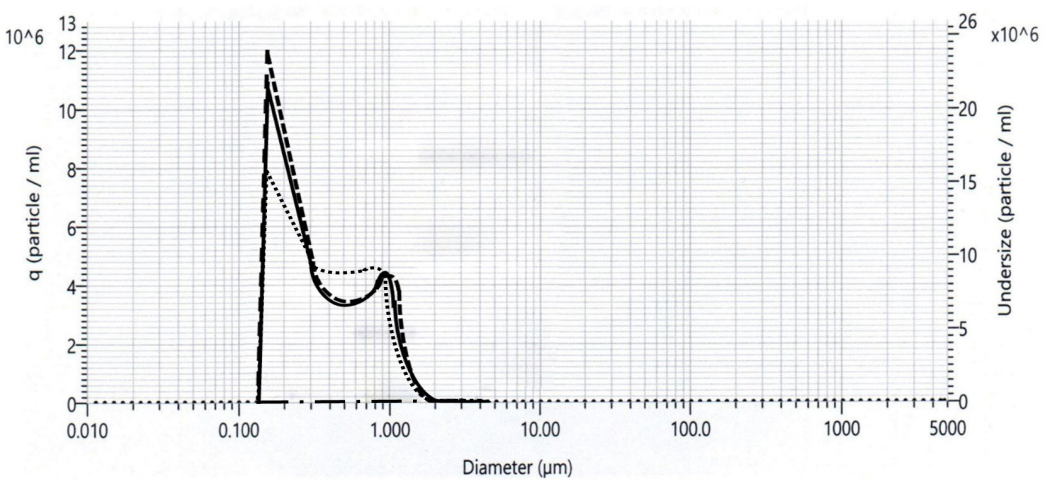

Figure 1 Bubble sizes by bubble size analyzer (Horiba Partica LA-960) of RO water (—•—) and 10 min (••••), 20 min (——) and 30 min (----) generated NB water

การทดลองที่ 1 จากการศึกษารูปแบบการดูดน้ำ (Imbibition) ของเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศส ทั้ง 2 Lot เป็นระยะเวลา 13 ชั่วโมง พบว่า เมล็ดพันธุ์ใหม่ในชั่วโมงแรกหลังจากแช่เมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์ทุกทรีทเมนต์ดูดน้ำได้อย่างรวดเร็ว เมล็ดพันธุ์ที่แช่ในน้ำ NB ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 30 นาที ดูดน้ำได้มากที่สุด คือ 54.50% แตกต่างจากเมล็ดพันธุ์ที่แช่ในน้ำ NB ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 10 และ 20 นาที และการแช่ในน้ำ RO ที่เมล็ดพันธุ์มีปริมาณน้ำภายในเมล็ดพันธุ์ เท่ากับ 50.00, 49.50 และ 49.00% ตามลำดับ จากนั้นเมล็ดพันธุ์มีการดูดน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ที่ 2-5 ชั่วโมงหลังจากแช่เมล็ดพันธุ์ พบว่าปริมาณน้ำภายในเมล็ดพันธุ์ในทุกทรีทเมนต์มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่การแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำ NB ตั้งแต่ 6-13 ชั่งโมงหลังจากแช่เมล็ดพันธุ์ พบว่า เมล็ดพันธุ์ที่แช่ในน้ำ NB ทุกทรีทเมนต์มีปริมาณน้ำภายในเมล็ดสูงกว่าเมล็ดที่ แช่น้ำ RO เมล็ดพันธุ์ที่แช่น้ำ NB ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 30 นาที ปริมาณน้ำภายในเมล็ดพันธุ์เริ่มคงที่ที่เวลา 8 ชั่วโมงหลังการแช่เมล็ดพันธุ์มีค่าเท่ากับ 81.00% ไม่แตกต่างจากที่เวลา 9-13 ชั่วโมงหลังการแช่เมล็ดพันธุ์ ส่วนเมล็ดพันธุ์ที่แช่ในน้ำ NB ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 10 และ 20 นาที และน้ำ RO มีปริมาณน้ำภายในเมล็ดพันธุ์เริ่มคงที่ที่เวลา 9 ชั่งโมงหลังการดูดน้ำ มีค่า เท่ากับ 97.50, 97.00 และ 99.50% ตามลำดับ ทุกทรีทเมนต์เริ่มมีรากงอกพ้นจากเปลือกหุ้มเมล็ด จนสังเกตุได้ที่เวลา 10 ชั่วโมงหลังการแช่เมล็ด (**Figure 2A**) ในเมล็ดพันธุ์เก่า พบว่า ในชั่วโมงแรกเมล็ดพันธุ์ทุกทรีทเมนต์ดูดน้ำได้อย่างรวดเร็ว โดยเมล็ดพันธุ์ที่แช่ในน้ำ NB ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 30, 20 และ 10 นาที มีปริมาณน้ำ ภายในเมล็ด เท่ากับ 50.50, 48.00 และ 45.00% ตามลำดับ สูงกว่าการแช่ในน้ำ RO ที่มีปริมาณน้ำภายในเมล็ดเท่ากับ 36.00% จากนั้นปริมาณน้ำภายในเมล็ดพันธุ์มีค่าเพิ่มขึ้นเรียงตามระยะเวลาการแช่เมล็ดพันธุ์โดยการแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำ NB มีผลให้เมล็ดพันธุ์ดูดน้ำได้มากกว่าการแช่ในน้ำ RO จนถึงชั่วโมงที่ 7 หลังการแช่เมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์เริ่มมีการดูดน้ำที่ช้าลงและคงที่ โดยไม่พบความแตกต่างของปริมาณน้ำภายในเมล็ดพันธุ์จากทุกทรีทเมนต์จนถึงชั่วโมงที่ 13 หลังการแช่เมล็ดพันธุ์ และเริ่มสังเกตุมีรากงอกพ้นจากเปลือกหุ้มเมล็ดที่เวลา 11 ชั่วโมงหลังการแช่เมล็ดพันธุ์ในทุกทรีทเมนต์ (**Figure 2B**)

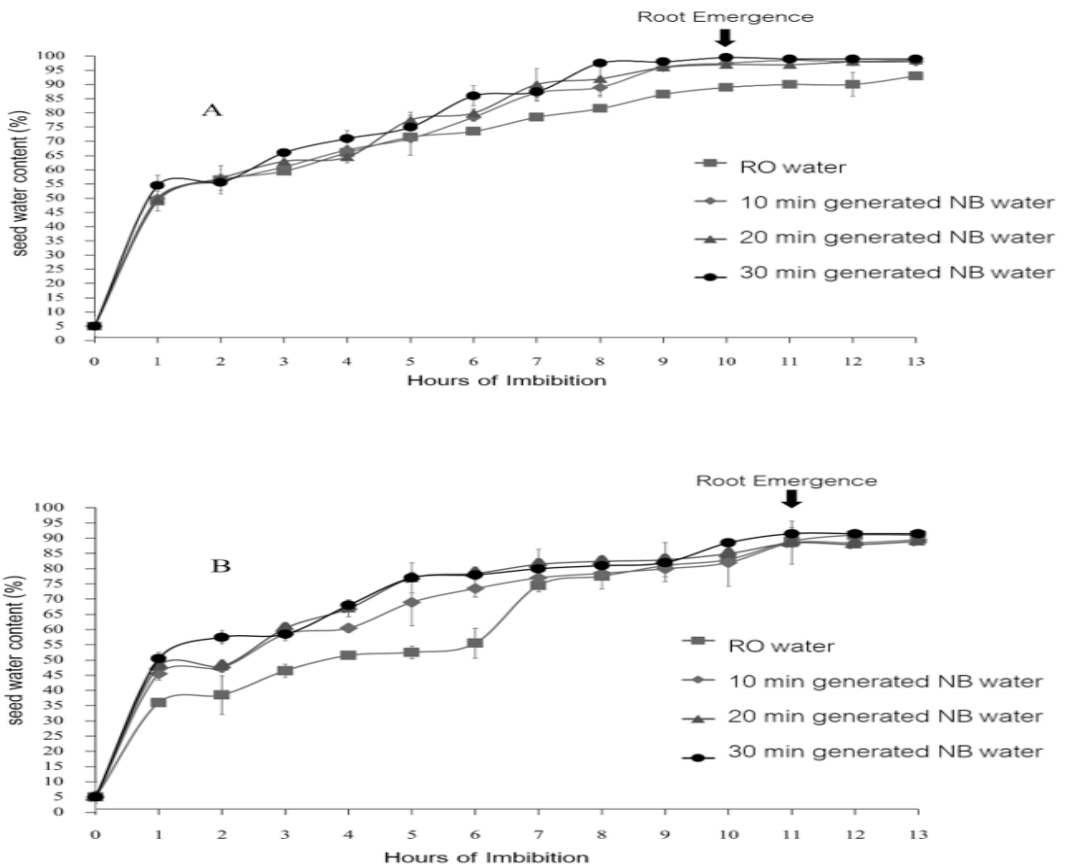

Figure 2 Change of France Marigold seed water content of new seed (A) and aged seed (B) after soaking in RO water and 10, 20 and 30 min generated NB water.

การทดลองที่ 2 จากผลการทดลองที่ 1 แช่เมล็ดพันธุ์ใหม่ในน้ำ RO และ น้ำ NB เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ส่วนเมล็ดพันธุ์เก่าแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำ RO และ NB เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ก่อนนำเมล็ดพันธุ์ไปบ่มที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100% อุณหภูมิ 25°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศสมาลดความชื้นด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 35°C นาน 3 วัน หรือจนเมล็ดมีความชื้นลดลงเหลือ 5% เมื่อนำเมล็ดพันธุ์มาทดสอบคุณภาพในสภาพห้องปฏิบัติการ และในสภาพโรงเรือนทดลอง พบว่า ในเมล็ดพันธุ์ใหม่ การทำ NB priming และ Hydropriming ให้ค่าความงอกมาตรฐานไม่แตกต่างกันและไม่แตกต่างจากชุดควบคุม โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 97.50-98.50% ในเมล็ดพันธุ์เก่า พบว่า เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB priming ทุกทรีทเมนต์ ให้ค่าความงอกมาตรฐานไม่แตกต่างกันมีค่าอยู่ระหว่าง 91.50-92.00% สูงกว่าการทำ Hydropriming ซึ่งมีความงอกเท่ากับ 88.50% โดยเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์มีความงอกต่ำสุด คือ 84.00% โดยการทำ NB priming สามารถเพิ่มค่าความงอกมาตรฐานของเมล็ดพันธุ์ให้สูงขึ้นมากกว่า 8% เมื่อเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์ (Table 2)

ส่วนความงอกในสภาพโรงเรือนทดลองให้ผลการทดลองไปในทางเดียวกับความงอกมาตรฐาน แต่เมล็ดพันธุ์งอกได้น้อยกว่าการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เมล็ดพันธุ์ใหม่ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 20 และ 30 นาที ให้ค่าความงอกไม่แตกต่างกันมีค่าอยู่ระหว่าง 91.00-92.00% ไม่แตกต่างกับเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 10 นาที มีความงอกเท่ากับ 89.00% แต่มีค่าสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ Hydropriming ที่มีความงอกเท่ากับ 88.00% และเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์ พบว่าการทำ NB priming สามารถเพิ่มความงอกในสภาพโรงเรือนทดลองขึ้นสูงกว่า 15% ส่วนในเมล็ดพันธุ์เก่า พบว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 30 นาที มีความงอกสูงสุดเท่ากับ 89.00% ไม่แตกต่างกับการปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 20 นาที ที่มีความงอกเท่ากับ 85.00% รองลงมาคือเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB primรing ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 10 นาที และการทำ Hydro-priming มีความงอกเท่ากับ 62.00 และ 48.00% ตามลำดับ โดยเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์มีความงอกต่ำสุด คือ 38.00% ทั้งนี้เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 10 20 และ 30 นาที ช่วยให้เมล็ดพันธุ์เก่ามีความงอกในสภาพโรงเรือนทดลองเพิ่มขึ้น 123.7 63.2 และ 134.2% ตามลำดับ (**Table 2**)

Table 2 Effects of NB priming on standard germination and greenhouse germination of new and aged France Marigold seeds.

Treatments	Standard germination (%)[1/]		Greenhouse germination (%)[1/]	
	New seed	Aged seed	New seed	Aged seed
non-priming (control)	97.50	84.00 c	77.00 b	38.00 d
Hydropriming (RO water)	98.00	88.50 b	88.00 b	48.00 c
NB priming (10 min generated NB water)	98.00	91.50 a	89.00 ab	62.00 b
NB priming (20 min generated NB water)	98.50	92.00 a	91.00 a	85.00 a
NB priming (30 min generated NB water)	98.50	92.00 a	92.00 a	89.00 a
F-test	ns	*	*	**
CV (%)	0.80	3.46	6.07	8.89

ns, *, **: non-significant, significant difference at P≤0.05, significant difference at P≤0.01 respectively.

[1/]Means within the same column followed by the same letter are not significantly different by DMRT at P<0.05.

จากการตรวจนับความงอกของต้นกล้าปกติ เพื่อนำมาคำนวณค่าดัชนีความงอก ในสภาพห้องปฏิบัติการ พบว่า ในเมล็ดพันธุ์ใหม่ค่าดัชนีความงอกจากทรีทเมนต์ต่างๆ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 20 และ 30 นาที ให้ค่าดัชนีความงอกไม่แตกต่างกันที่ 36.96 และ 35.88 ตามลำดับ สูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 10 นาที และเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ Hydropriming ที่ให้ค่าดัชนีความงอกเท่ากับ 30.48 และ 27.96 ตามลำดับ โดยเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์มีค่าดัชนีความงอกต่ำสุด เท่ากับ 24.38 เช่นเดียวกับที่พบในเมล็ดพันธุ์เก่า เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 20 และ 30 นาที ให้ค่าดัชนีความงอกเท่ากับ 28.11 และ 28.61 ตามลำดับ ไม่แตกต่างกับเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 10 นาที แต่สูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ Hydropriming ให้ค่าดัชนีความงอกเท่ากับ 23.40 โดยเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่าน

การเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์มีค่าดัชนีความงอกต่ำสุดเท่ากับ 18.73 ในสภาพโรงเรือนทดลอง พบว่า เมล็ดพันธุ์ใหม่ในทุกทรีทเมนต์ให้ค่าดัชนีความงอกไม่มีความแตกต่างทางสถิติ มีค่าอยู่ระหว่าง 8.07-9.22 แต่ในเมล็ดพันธุ์เก่าพบความแตกต่างทางสถิติในระหว่างทรีทเมนต์ โดยเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 20 และ 30 นาที ให้ค่าดัชนีความงอกเท่ากับ 8.88 และ 8.80 ตามลำดับ สูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 10 นาที และเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ Hydropriming มีค่าดัชนีความงอกเท่ากับ 6.30 และ 5.38 ตามลำดับ โดยเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์มีค่าดัชนีความงอกต่ำสุด คือ 4.05 ทั้งนี้การทำ NB priming สามารถเพิ่มค่าดัชนีความงอกของเมล็ดพันธุ์เก่าให้สูงขึ้นได้ทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการที่มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 38 % ส่วนในสภาพโรงเรือนทดลองพบว่าการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 20 และ 30 นาทีให้ค่าดัชนีความงอกเพิ่มขึ้นมากกว่า 55 % (**Table 3**)

Table 3 Effects of NB priming on germination index (GI) of new and aged France Marigold seeds under laboratory and greenhouse testing conditions.

Treatments	Laboratory test[1/]		Greenhouse test[1/]	
	New seed	Aged seed	New seed	Aged seed
non-priming (control)	24.38 c	18.73 c	8.07	4.05 d
Hydropriming (RO water)	27.96 b	23.40 b	8.93	5.38 c
NB priming (10 min generated NB water)	30.48 b	25.92 ab	9.05	6.30 b
NB priming (20 min generated NB water)	35.88 a	28.11 a	9.10	8.88 a
NB priming (30 min generated NB water)	36.96 a	28.61 a	9.22	8.80 a
F-test	**	**	ns	**
CV (%)	5.49	7.83	8.92	30.10

ns, **: non-significant and significant difference at P≤0.01

[1/]Means within the same column followed by the same letter are not significantly different by DMRT at P<0.05.

จาก **Table 4** แสดงค่าอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า ในสภาพห้องปฏิบัติการ พบว่า เมล็ดพันธุ์ใหม่ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที ให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าไม่แตกต่างกันมีค่าเท่ากับ 1.71, 1.74 และ 1.82 mg/plant ตามลำดับ ไม่แตกต่างกับเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ Hydropriming แต่สูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเตรียมความพร้อมของเมล็ดพันธุ์ที่มีค่าอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า เท่ากับ 1.34 mg/plant ส่วนในเมล็ดพันธุ์เก่า พบว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 30 นาที มีค่าอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าสูงสุดที่ 1.71 mg/plant ซึ่งไม่แตกต่างกับเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 20 นาที แต่มีค่าสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 10 นาที เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ Hydropriming และเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเตรียมความพร้อมของเมล็ดพันธุ์ที่มีค่าอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าเท่ากับ 1.08, 1.05 และ 0.93 mg/plant ตามลำดับ ในสภาพโรงเรือนทดลอง พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าของเมล็ดพันธุ์ใหม่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.36-0.47 g/plant ส่วนในเมล็ดพันธุ์เก่า พบว่า เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 30 นาที มีค่าอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าสูงสุดเท่ากับ 0.47 g/plant ไม่แต่ต่างกับเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 10 และ 20 นาที แต่มีค่าสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการทำ Hydropriming และเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเตรียมความพร้อมของเมล็ดพันธุ์ (**Table 4**)

Table 4 Effects of NB priming on seedling growth rate (SGR) of new and aged France Marigold seeds under laboratory (14 DAP seedling) and greenhouse (31 DAP seedling) testing conditions.

	Laboratory test[1/] (mg/plant)		Greenhouse test[1/] (g/plant)	
Treatments	New seed	Aged seed	New seed	Aged seed
non-priming (control)	24.38 c	18.73 c	8.07	4.05 d
Hydropriming (RO water)	27.96 b	23.40 b	8.93	5.38 c
NB priming (10 min generated NB water)	30.48 b	25.92 ab	9.05	6.30 b
NB priming (20 min generated NB water)	35.88 a	28.11 a	9.10	8.88 a
NB priming (30 min generated NB water)	36.96 a	28.61 a	9.22	8.80 a
F-test	*	*	ns	*
CV (%)	13.87	14.74	17.78	18.16

ns, * : non-significant and significant difference at $P \leq 0.05$

[1/]Means within the same column followed by the same letter are not significantly different by DMRT at $P<0.05$

วิจารณ์

จากผลการทดลอง การปรับสภาพน้ำจากน้ำ RO ให้เป็นน้ำ NB ที่เวลา 10, 20 และ 30 นาที ทำให้ขนาดฟองอากาศ ความหนาแน่นของฟองอากาศ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการปรับสภาพน้ำ สอดคล้องกับรายงานของ Alheshibri et al. (2016) ที่กล่าวว่าการปรับสภาพน้ำให้เป็นน้ำ NB จะมีปริมาณฟองอากาศขนาดนาโนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการปรับสภาพน้ำ จนถึงจุดอิ่มตัวตามปริมาตรของน้ำ เนื่องจากกระบวนการเกิด NB เกิดจากการยุบตัวของฟองอากาศขนาดไมโครเมตร ซึ่งมีอิเลคโตรไลท์ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าบริเวณพื้นที่ผิวของ NB มีประจุลบล้อมรอบ ส่งผลให้ฟองอากาศไม่รวมตัวกันเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่ จึงทำให้ NB ตรึงอยู่ในน้ำได้นาน รวมถึง NB มีแรงลอยตัวต่ำทำให้การลอยขึ้นสู่ผิวน้ำช้ากว่าฟองอากาศทั่วไป (Gaiduk et al., 2018)

จากผลการทดสอบรูปแบบการดูดน้ำ ในเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศสใหม่ และเมล็ดพันธุ์เก่า พบว่าการแช่เมล็ดพันธุ์ในน้ำ NB ทุกทรีทเมนต์เมล็ดพันธุ์สามารถดูดน้ำเข้าสู่ภายในเมล็ดได้อย่างรวดเร็ว และมีแนวโน้มการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดพันธุ์ได้ดีกว่าเมล็ดพันธุ์ที่แช่ในน้ำ RO สอดคล้องกับผลการทดลองของ Liu et al. (2013) ที่กล่าวว่าน้ำ NB มีอัตราการแพร่เข้าสู่เซลล์ภายในของเมล็ดพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากการปรับสภาพน้ำให้เป็นน้ำ NB จะมีหมู่ไฮดรอซิลอยู่ในน้ำเป็นจำนวนมาก ช่วยเพิ่มความคล่องตัวของโมเลกุลน้ำ และทำให้ผนังเซลล์อ่อนนุ่ม อาจส่งผลให้การดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์ และการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่เมล็ดเพิ่มขึ้น (Liu et al., 2017)

จากการทดสอบเมล็ดพันธุ์ใหม่ในห้องปฏิบัติการ พบว่า การทำ NB priming ในเมล็ดพันธุ์ใหม่ไม่มีผลต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศส ให้ค่าไม่แตกต่างจากการทำ Hydropriming และเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเตรียมความพร้อมของเมล็ดพันธุ์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเป็นเมล็ดพันธุ์ใหม่มีความบริบูรณ์สูง ความงอกสูง และเป็นการทดสอบในสภาพที่เหมาะสมต่อการงอก ทำให้การทำ NB priming ให้ค่าความงอกไม่แตกต่างจากทรีทเมนต์อื่นๆ แต่เมื่อนำเมล็ดพันธุ์มาทดสอบในสภาพโรงเรือนทดลอง พบว่า เมล็ดพันธุ์ใหม่มีความงอกลดลงในชุดควบคุม แต่การทำ NB priming สามารถ

ยกระดับความงอกในสภาพโรงเรือนทดลองให้เพิ่มขึ้นได้ ส่วนในเมล็ดพันธุ์เก่า พบว่าการทำ NB priming ทุกทรีทเมนต์จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถเพิ่มความงอกของเมล็ดพันธุ์ให้สูงขึ้นได้อย่างชัดเจน โดยสูงกว่าการทำ Hydropriming และเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเตรียมความพร้อมของเมล็ดพันธุ์ และจากการทดสอบในสภาพโรงเรือนทดลอง การทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 30 และ 20 นาที ให้ค่าความงอกสูงกว่า ทรีทเมนต์อื่นๆ และสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเตรียมความพร้อมของเมล็ดพันธุ์เป็นอย่างมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เมล็ดพันธุ์ใหม่เมื่อได้รับความชื้นจะมีการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอในระดับเซลล์ได้รวดเร็วและพัฒนาสู่การงอกที่รวดเร็ว ทำให้มีความงอกสูงมากกว่าเมล็ดพันธุ์ที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน (Bray, 1995) โดยคุณสมบัติของน้ำ NB ที่ส่งเสริมให้การเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศเข้าสู่ภายในเมล็ดได้ดีกว่าน้ำปกติ กิจกรรมทางสรีรวิทยาและชีววิทยาภายในเมล็ดพันธุ์จึงเกิดขึ้นได้ดีกว่าส่งผลโดยตรงต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์ที่สูงขึ้น (Oshita and Liu, 2013; Taylor et al., 1988) โดยเฉพาะในเมล็ดพันธุ์เก่าสอดคล้องกับรายงานของ Ishibashi et al. (2005) ที่กล่าวว่าน้ำ NB มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ metabolism ของเซลล์ใน endosperm ภายในเมล็ดพันธุ์ทำให้การงอกเกิดขึ้นได้ดีกว่าน้ำปกติ เช่นเดียวกับรายงานของ ซิติ และคณะ (2018) ที่รายงานว่าน้ำ Micro/Nano-bubble มีผลกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์คะน้า มากกว่าการใช้น้ำกลั่น

เมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศสที่ผ่านการทำ NB priming ให้ค่าดัชนีความงอกสูงกว่าการทำ Hydropriming และเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเตรียมความพร้อมของเมล็ดพันธุ์ทั้งในการทดสอบในสภาพห้องปฏิบัติการและในสภาพโรงเรือนทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก คุณสมบัติของน้ำ NB ที่ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์ดูดน้ำและออกซิเจนเข้าสู่เมล็ดพันธุ์ได้มากทำให้กระบวนการ metabolism ต่างๆ ที่ส่งเสริมการงอกของเมล็ดพันธุ์เกิดขึ้นได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับน้ำ RO (Oshita and Liu, 2013; Liu et al., 2013; Taylor et al., 1988) นอกจากจะทำให้ความงอกมีค่าสูงแล้วยังมีผลให้เมล็ดพันธุ์สามารถงอกได้อย่างรวดเร็วขึ้นด้วย (**Table 4**) เช่นเดียวกันที่พบในเมล็ดพันธุ์คะน้า (ซิติ และคณะ, 2018) และข้าวโพดหวาน (Sritontip et al., 2017)

ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยการวัดอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า พบว่า NB priming มีแนวโน้มเพิ่มความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ได้ทั้งเมล็ดพันธุ์ใหม่และเมล็ดพันธุ์เก่า และทั้งจากการทดสอบในสภาพห้องปฏิบัติการและโรงเรือนทดลอง เมื่อเทียบกับการทำ Hydropriming และการไม่เตรียมความพร้อมของเมล็ดพันธุ์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำ NB ทำให้เมล็ดพันธุ์มีการดูดน้ำได้อย่างรวดเร็วรวมถึงน้ำ NB มีปริมาณออกซิเจนที่สูงกว่าน้ำ RO ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญ ที่ช่วยเพิ่มกระบวนการทางชีวเคมี และสรีรวิทยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในของเมล็ดพันธุ์ และการสร้างพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการหายใจ (McDonald, 1999; Krainart et al., 2015) การงอก และการเจริญเติบโตของต้นกล้าจึงเกิดได้ดีขึ้น สอดคล้องกับ Ikeura et al., (2014) ได้ศึกษาผลของน้ำ Micro/Nano-bubble พบว่าสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดข้าว และการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้ดี เช่นเดียวกับที่พบในเมล็ดพันธุ์ข้าวบาร์เลย์ (Liu et al., 2017) ดังนั้นการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์ โดยการทำ NB priming สามารถยกระดับคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศสได้

สรุป

การเตรียมความพร้อมของเมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศส โดยการทำ NB priming ที่ปรับสภาพน้ำ RO เป็นน้ำ NB เป็นเวลา 20 นาที มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าดาวเรืองฝรั่งเศส เนื่องจากให้ค่าความงอก ดัชนีความงอก และอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าดาวเรืองฝรั่งเศสสูงกว่า การทำ Hydropriming และการไม่เตรียมความพร้อมของเมล็ดพันธุ์ ทั้งนี้ไม่มีความแตกต่างจากการปรับสภาพน้ำเป็นเวลา 30 นาที โดยเฉพาะในเมล็ดพันธุ์เก่าจากการทดสอบในสภาพโรงเรือนทดลองที่ค่าความงอก และดัชนีการงอก เพิ่มขึ้นถึง 123 และ 117% ตามลำดับ และให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าดาวเรืองฝรั่งเศษเพิ่มขึ้นถึง 1.4 เท่า เมื่อเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านการเตรียมความพร้อมของเมล็ดพันธุ์

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ราตรี บุญเรืองรอด ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์ ที่อนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศษสำหรับการทดลองในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2560. ดาวเรืองฝรั่งเศส (*Tagetes erecta* L.). แหล่งข้อมูล:http://www.doa.go.th/pvp/images/stories/indexpp2518/AnnoDOA_nameplant /t799.pdf, ค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2561.

ชิติ ศรีตนทิพย์, วิเชียร ผลแสง, วิษณุ ทองเล็ก, ชาญชัย เดชธรรมรงค์ และ คิโยชิ โยชิคาวา. 2561. การประยุกต์ใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของกล้าคะน้า. ว.วิทย.กษ. 49: 37-41.

พิจิตรา แก้วสอน, ปาริฉัตร บุญยืน และ ปริยานุช จุลกะ. 2557. การศึกษาเบื้องต้นของลักษณะทางกายภาพและการดูดน้ำของเมล็ดพันธุ์วงศ์แตงบางชนิด. ว.วิทย์.กษ. 45: 549-552.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2553. สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

Alheshibri, M., J. Qian, M. Jehannin, and V.S. Craig. 2016. A history of nanobubbles. J. Langmuir. 32: 11086-11100.

Association of Official Seed Analysts. 1983. Seed Vigor Testing Handbook. Contribution No. 32. Association of Official Seed Analysts. Lincon, NE., U.S.A.

Bewley, J.D., and M. Black. 1978. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination. Berlin Heidelberg, New York.

Bewley, J.D., and M. Black. 1985. Seeds Physiology of Development and Germination. Plenum Press. New York.

Bray, C.M. 1995. Biochemical process during the osmopriming of seeds. P.767-789. In: J. Kigel, and G. Galili. Seed Development and Germination, Marcel Dekker Inc., New York.

Gaiduk A. P., T. A. Pham, M. Govoni, F. Paesani, and G. Galli. 2018. Electron affinity of liquid water. J. Nature Communications. 9: 247.

Heydecker, W.J., and P. Coolbear. 1977. Seed treatment for improved performance survey and attempted prognosis. J. Seed Sci. & Technol. 5: 353-425.

Ikeura, H., F. Kobayashi, and M. Tamaki. 2014. Hydropriming treatment of rice seeds with microbubble water. J. AS. 6: 189-194.

ISTA. 2016. Handbook of Vigor Test Methods. International Seed Testing Association. Bassersdorf, Switzerland.

Krainart, C., B. Siri, and K. Vichitphan. 2015. Effects of Accelerated Aging and Subsequent Priming on Seed J. Ag Tech.11:165-179

Liu, S., Y. Kawagoe, Y. Makino, and S. Oshita. 2013. Effects of nanobubbles on the physicochemical properties of water: The basis for peculiar properties of water containing nanobubbles. J. Langmuir. 93: 250-256.

Liu, S., S. Oshita, S. Kawabata, and D.Q. Thuyet, 2017. Nanobubble Water's Promotion Effect of Barley (Hordeum vulgare L.) Sprouts Supported by RNA-Seq Analysis. J. Langmuir. 33: 12478-12486.

McDonald, M. B. 1998. Seed Deterioration: Physiology Repair and Assessment, J. SST. 27: 177-237.

McDonald, M.B. 2000. Seed priming. P.287-325. In: M. Black, and J.D. Bewley. Seed Technology and Its Biological Basis. Sheffield Acad, Press, Sheffield, U.K.

Oshita, S., and S. Liu. 2013. Nanobubble characteristics and its application to agriculture and foods. Proceedings of AFHW 2013. International Symposium on Agri-Foods for Health and Wealth August 5-8, 2013, Golden Tulip Sovereign Hotel.

Ozbingol N., F. Corbineau, and D. Come. 1998. Responses of tomato seeds to osmoconditioning as related to temperature and oxygen. J. Seed Sci. Res. 8: 377-384.

Sritontip, C., C. Dechthummarong, V. Thonglek, and W. Phonsaeng. 2017. Effects of high voltage plasma and micro/nano bubbles on seed germination and growth of crop under hydroponic system. In the 2nd International Symposium on Application of High-voltage, Plasmas & Micro/Nano Bubbles to Agriculture and Aquaculture (RMUTL ISHPMNB 2017). 26 – 27 July 2017, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand.

Taylor, A., P. Allen, M. Bennett, K. Bradford, J. Burris, and M. Misra. 1998. Seed enhancements. J. Seed Sci. Res. 8: 245-256.

Varier, A., A,K Vari, and M. Dadlani. 2010. The subcellular basic of seed priming. J. Current Sci. Res. 99: 450-456.

Yeoung, Y.R., D.O. Wilson, and G.A. Murray. 1996. Germination performance and loss of late-embryogenesis-abundant (LEA) proteins during muskmelon seed priming. J. SST. 24: 429-439.