

ผลของน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อการงอกของเมล็ดมะละกอฮอลแลนด์

Effect of Fermented StarFruit (*Averrhoa carambola* L.) Bioextracton Seed Germination of Holland Papaya (*Carica papaya* L.)

รัชชชนม์ ชนก^{1*} วณัฐญา งอยพาลา¹ สุกัญญา ศรีบัวขาว¹
และ พงศกร ชนะ¹
Ratchachon Chanok^{1*}, Wanattaya Ngoiphala¹,
Sukanya Sribuakhao¹ and Phongsakorn Chana¹

Received: 10 September 2025

Revised: 12 December 2025

Accepted: 12 January 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟือง (*Averrhoa carambola* L.) ต่อน้ำกลั่นต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นกล้ามะละกอฮอลแลนด์ (*Carica papaya* L.) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 5 ทรีตเมนต์ จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่ น้ำกลั่น (ควบคุม) อัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:250, 1:500, 1:750 และ 1:1,000 โดยปริมาตร แช่เมล็ดมะละกอฮอลแลนด์ในทรีตเมนต์ต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง 16 ชั่วโมง ล้างน้ำให้สะอาด ผึ่งลม 3 ชั่วโมง เพาะเมล็ดมะละกอฮอลแลนด์ในพีทมอสเป็นเวลา 28 วันผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:1,000 โดยปริมาตร มีผลทำให้เมล็ดมะละกอฮอลแลนด์มีการงอกสูงสุด (81.25 เปอร์เซ็นต์) และระยะเวลาในการงอกน้อยที่สุด (12.25 วัน) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) ด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้า อัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:1,000 โดยปริมาตร มีผลทำให้ต้นกล้าที่ได้มีการเจริญเติบโตด้านความสูงต้นมากที่สุด (13.46 เซนติเมตร) และความยาวราก (5.94 เซนติเมตร) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับทรีตเมนต์อื่นๆ สรุปผลการวิจัยได้ว่าอัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:1,000 โดยปริมาตร ทำให้เมล็ดมะละกอฮอลแลนด์มีการงอกสูงสุด ระยะเวลาในการงอกน้อยที่สุด และต้นกล้ามะละกอฮอลแลนด์ที่ได้มีการเจริญเติบโตดีที่สุด

คำสำคัญ: น้ำหมักชีวภาพ มะเฟือง การงอกของเมล็ด มะละกอฮอลแลนด์

¹สถาบันการอาชีวศึกษาเกษตรภาคใต้ นครศรีธรรมราช ประเทศไทย 80250

¹Regional Southern Institute of Vocational Education in Agriculture, Nakhon Si Thammarat, Thailand 80250

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน (Corresponding author) e-mail: ratchachon.chanok@gmail.com

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effects of different dilution ratios of fermented star fruit (*Averrhoa carambola* L.) bioextract on seed germination and seedling growth of Holland papaya (*Carica papaya* L.). The experiment was arranged in a Completely Randomized Design (CRD) with four replications, consisting of five treatments: distilled water (control) and fermented bioextract diluted with distilled water at ratios of 1:250, 1:500, 1:750, and 1:1,000 (v/v). Holland papaya seeds were soaked in each treatment at room temperature for 16 hours, rinsed thoroughly, air-dried for 3 hours, and subsequently tested for germination and seedling growth in peat moss. After 28 days of sowing, results indicated that the 1:1,000 (v/v) ratio significantly produced the highest germination percentage (81.25%) and the shortest mean germination time (12.25 days) compared with other treatments ($P \leq 0.01$). For seedling growth, the same dilution ratio also resulted in the greatest stem height (13.46 cm) and root length (5.94 cm), with statistically significant differences from other treatments ($P \leq 0.05$). In conclusion, a 1:1,000 (v/v) dilution of fermented star fruit bioextract to distilled water was the most effective treatment, enhancing seed germination and promoting the early growth of Holland papaya seedlings.

Keywords: Fermented Bioextract; Star Fruit; Seed Germination; Holland Papaya

บทนำ

มะละกอบนเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชที่ให้ผลตอบแทนเร็ว สามารถติดผลได้ตลอดทั้งปี ส่งผลให้มีผลผลิตออกสู่ตลาดอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังเป็นพืชที่ต้องการทั้งในประเทศ และต่างประเทศโดยมีการส่งออกในเชิงพาณิชย์สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรและเศรษฐกิจของประเทศ มะละกอสายพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกในประเทศไทย ได้แก่ มะละกอแขกดำ และสายพันธุ์ใหม่ที่ได้รับการยอมรับเป็น อย่างมากคือ มะละกอฮอลแลนด์ [1] เนื่องจากมีราคาขายปลีกสูงกว่ามะละกอแขกดำ ปี 2568 มะละกอฮอลแลนด์ และมะละกอแขกดำมีราคาขายปลีกเฉลี่ยกิโลกรัมละ 52.50 และ 37.50 บาทต่อกิโลกรัมตามลำดับ [2] นอกจากนี้ มะละกอฮอลแลนด์ (*Carica papaya* L.) ยังสามารถปลูกได้เกือบทุกสภาพพื้นที่ยกเว้นพื้นที่น้ำขัง ติดผลตก ผลมีเปลือกหนาทนทานต่อโรคและการขนส่ง ผลสุกเนื้อมีสีแดงอมส้ม ไม่ละ เนื้อหนา ไม่มีกลิ่นยาง รสชาติ หวานโดยมีความหวาน 11-13 องศาบริกซ์ [1] การขยายพันธุ์มะละกอฮอลแลนด์นิยมใช้วิธีการเพาะเมล็ด [3, 4] เนื่องจากทำได้ง่าย มีความสะดวกและประหยัดค่าใช้จ่าย แต่มักพบปัญหาด้านการงอกของเมล็ด อาจมีสาเหตุ เกิดจากความแข็งแรงของเมล็ด ลักษณะทางพันธุกรรม การแก่ของเมล็ด เยื่อหุ้มเมล็ด และปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ แสง ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ออกซิเจน และความชื้น ซึ่งมีผลต่อการงอกของเมล็ด [5] โดยทั่วไป เมล็ดมะละกอใช้เวลาในการงอกนานประมาณ 16–20 วัน หรืออาจนานถึง 40 วัน [6] การงอกไม่สม่ำเสมอ และมีการงอก 3-71 เปอร์เซ็นต์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและพันธุ์มะละกอ เช่น อุณหภูมิต่ำมีผลให้เมล็ดมะละกอ งอกช้ากว่าปกติและทำให้มีต้นกล้าที่ผิดปกติ [7, 8] เมล็ดมะละกอฮอลแลนด์ใช้เวลาในการงอก 9-10 วัน [1] เมล็ดมะละกอฮอลแลนด์ศรีสะเกษใช้เวลาในการงอก 10-14 วัน [9] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเตรียมเมล็ดก่อนทำการ เพาะเมล็ด ซึ่งการนำเมล็ดมาผ่านกระบวนการปฏิบัติบางอย่างก่อนนำไปเพาะเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหา

การออกของเมล็ดพันธุ์ เช่น การนำเมล็ดพันธุ์มาผ่านกระบวนการกระตุ้นการงอกก่อนนำไปเพาะจะทำให้เมล็ดพันธุ์งอกได้ดีขึ้นและงอกได้เร็วขึ้น [10]

ปัจจุบันความรู้ทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพมีส่วนช่วยในการเพิ่มผลผลิตเป็นอย่างมาก มีการศึกษาเกี่ยวกับน้ำหมักชีวภาพจากวัสดุธรรมชาติที่หาได้ในท้องถิ่น เช่น พืช สัตว์และเศษวัสดุทางการเกษตรที่เหลือใช้มาทำเป็นน้ำหมักชีวภาพ และเกษตรกรได้นำน้ำหมักชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรด้านต่าง ๆ เช่น ใช้เป็นแหล่งให้อาหารให้กับพืช ใช้เป็นสารป้องกันแมลงศัตรูพืช เป็นต้น [11] กรมวิชาการเกษตรได้วิเคราะห์ฮอโมนพืชในน้ำหมักชีวภาพจากพืช (ผัก ผลไม้ และกากน้ำตาล) พบฮอโมนพืชชนิดกรดอินโดลอะซิติกปริมาณสูงในระยะ 15-30 วันหลังหมัก มีสมบัติกระตุ้นการแบ่งเซลล์ เร่งการเกิดราก การเจริญของรากและลำต้น ฯลฯ รองลงมาคือ กรดจิบเบอเรลลิก มีสมบัติกระตุ้นการแบ่งเซลล์ การยืดตัวของเซลล์ ทำลายการพักตัวของเมล็ด กระตุ้นการงอกของเมล็ด ฯลฯ [12] จึงมีการทดลองใช้น้ำหมักชีวภาพจากพืชกระตุ้นการงอกของเมล็ดและประสบความสำเร็จในเมล็ดพืชหลายชนิด เช่น มะละกอแขกดำ [13] ผักกาดหอม [14] พริก [15] และพริกจินดาแดง [16] ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตรคณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ [17] แนะนำการใช้น้ำหมักชีวภาพเจือจางแช่เมล็ดพืชก่อนนำไปเพาะเพื่อกระตุ้นการงอกของเมล็ด เนื่องจากเมล็ดพืชที่ผลิตขึ้นมาขายตามท้องตลาดมักจะอยู่ในสภาพการเลี้ยวอย่างอุดมสมบูรณ์ เมล็ดที่ได้มาจึงมักอ่อนแอ ไม่เคยประสบความสำเร็จ ความผันแปรตามสภาพอากาศตามธรรมชาติ ดังนั้นควรนำเมล็ดที่จะปลูกลงมาแช่ในน้ำหมักชีวภาพในอัตราส่วน 1 ต่อน้ำสะอาด 500 ถึง 1 ต่อน้ำสะอาด 1,000 สำหรับเมล็ดที่มีเปลือกหุ้มบางให้เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง หากเมล็ดที่มีเปลือกหุ้มหนาให้แช่นานขึ้น เมื่อนำเมล็ดพืชไปหว่านจะช่วยให้เมล็ดงอกเร็วขึ้นและได้ต้นกล้าที่แข็งแรงสมบูรณ์ ตัวอย่างน้ำหมักชีวภาพจากผลของพืชเช่นสูตรน้ำหมักชีวภาพฟักทอง ส้มโอ มะละกอ ลำไย ลิ้นจี่ มะม่วง และผลไม้อื่นๆ จะเห็นได้ว่าน้ำหมักชีวภาพจากผลของพืชมีหลายชนิดที่ใช้ผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวอมหวาน ได้แก่ ส้มโอ และมะม่วง ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำผลมะเฟืองมาผลิตน้ำหมักชีวภาพ

มะเฟือง (*Averrhoa carambola* L.) เป็นไม้ผลที่มีถิ่นกำเนิดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ลักษณะเด่นของมะเฟืองคือ ผลเป็นพู่ 5 พู ผิวมัน ผลดิบมีสีเขียวและรสเปรี้ยวจัด ผลสุกมีสีเหลืองใส รสหวานอมเปรี้ยวและมีน้ำมาก อีกทั้งยังมีสารฟีนอลิก วิตามินซี และสารต้านอนุมูลอิสระสูง [18, 19] ปัจจุบันมีการผลิตน้ำหมักชีวภาพจากผลมะเฟืองสุกเพื่อใช้ประโยชน์ด้านชีวภาพ เช่น การศึกษาของคัพประกอบเมตาโบไลต์และฤทธิ์ชีวภาพของน้ำหมักชีวภาพจากผลมะเฟืองต่อการต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งเชื้อรา *Candida albicans* โดยใช้ผลมะเฟืองสุกหมักกับหัวเชื้อ พด.2 และกากน้ำตาล เป็นเวลา 180 วัน ติดตามแอลกอฮอล์ ความเป็นกรดต่าง สารฟีนอลิกและเมตาโบไลต์ด้วย LC-ESI-QTOF-MS/MS พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจนถึง 8.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในวันที่ 30 หลังจากนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญและคงที่ที่ 3.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตั้งแต่วันที่ 120 เป็นต้นไป ค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้นของน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองอยู่ที่ 5.67 จากนั้นลดลงอย่างต่อเนื่องและอยู่ในช่วง 4.17-4.10 ตั้งแต่วันที่ 120 จนถึงวันที่ 180 ปริมาณสารฟีนอลิกเริ่มต้นที่ 216.67 ไมโครกรัม GAE/มล. ในวันเริ่มต้นและเพิ่มขึ้นเป็น 1,164.24 ไมโครกรัม GAE/มล. ในวันที่ 180 ผลการวิเคราะห์เมตาโบไลต์พบสารหลักแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ น้ำตาล เช่น กลูโคส ฟรุคโทส ซูโครส กรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดมาลิก กรดออกซาลิก กรดซัคซินิก ฟลาโวนอยด์ และฟีนอลิก เช่น เควอซิติน รูติน อะพิจินิน กรดแกลลิก และสารประกอบไนโตรเจน เช่น กรดอะมิโน เปปไทด์ อัลคาลอยด์บางชนิด [20] ซึ่งกรดอินทรีย์ที่พบในกระบวนการหมักวัตถุดิบนั้นนับบทบาทโดยตรงต่อการออกของเมล็ดพืช โดยกรดอินทรีย์สามารถลดค่าความเป็นกรด-ด่างในบริเวณรอบเมล็ด ส่งผลให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอาหารสะสม เช่น อะไมเลส โปรตีเอส และเอนไซม์ที่ช่วยคลายตัวผนังเซลล์ทำงานได้

อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญของการเริ่มต้นงอกของเมล็ด [21] นอกจากนี้การปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างโดยกรดอินทรีย์มีผลอย่างชัดเจนต่อการกระตุ้นกระบวนการงอกของเมล็ดพืช [22] น้ำตาลที่ละลายได้ เช่น กลูโคส ฟรุคโทส และซูโครส มีบทบาทสำคัญต่อการเริ่มต้นการงอกของเมล็ด เนื่องจากทำหน้าที่เป็นตัวช่วยปรับแรงออสโมติกในบริเวณรอบเมล็ด ทำให้เมล็ดดูดซึมน้ำได้รวดเร็ว น้ำช่วยกระตุ้นให้เซลล์ภายในเมล็ดขยายตัวและกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่จำเป็นต่อการงอก นอกจากนี้น้ำตาลที่ละลายได้ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานทันทีให้แก่กระบวนการหายใจของเมล็ดในระยะเริ่มต้น ส่งผลให้เมล็ดสามารถเริ่มต้นกระบวนการงอกได้เร็วขึ้น [23] สารฟีนอลิกมีบทบาททั้งด้านกระตุ้นและยับยั้งการงอกของเมล็ด ขึ้นอยู่กับชนิดของสารและระดับความเข้มข้น สารฟีนอลิกหลายชนิดในความเข้มข้นต่ำสามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเริ่มต้นกระบวนการงอก เช่น เอนไซม์อะไมเลสและโปรตีเอส ซึ่งมีหน้าที่ย่อยสลายแป้งและโปรตีนเพื่อให้ได้พลังงานที่จำเป็นต่อการงอก [24] อย่างไรก็ตามเมื่อมีความเข้มข้นสูงอาจทำหน้าที่ตรงกันข้ามคือยับยั้งการงอก โดยสามารถจับกับฮอร์โมนภายในเมล็ด เช่น จิบเบอเรลลิน หรือรบกวนการรับออกซิเจนของเซลล์ ส่งผลให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มที่จึงทำให้กระบวนการงอกช้าลงหรือหยุดชะงัก [25] จากบทบาทของน้ำตาลที่ละลายได้ กรดอินทรีย์ และสารฟีนอลิกที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด ซึ่งสารเหล่านี้พบในน้ำหมักชีวภาพมะเฟือง ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะผลิตน้ำหมักชีวภาพผลมะเฟืองสุกมาใช้ในการกระตุ้นการงอกของเมล็ดมะละกอฮอลแลนด์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่นต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นกล้ามะละกอฮอลแลนด์ ผลจากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลส่งเสริมให้เกษตรกรสามารถเพาะเมล็ดพันธุ์มะละกอได้ด้วยตนเอง เป็นการลดต้นทุนการผลิตด้านเมล็ดพันธุ์ อีกทั้งสามารถเพิ่มรายได้จากการขายต้นกล้ามะละกอฮอลแลนด์อีกทางหนึ่ง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การผลิตน้ำหมักชีวภาพจากมะเฟือง

ล้างทำความสะอาดผลมะเฟืองสุก (1 กิโลกรัม) ในน้ำไหล ทั้งไว้ให้สะอาดแล้วหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในถังพลาสติกขนาดกว้าง 28 เซนติเมตร สูง 23 เซนติเมตร เติมน้ำตาลทรายแดง 1 กิโลกรัม เติมน้ำสะอาด 1 ลิตร และเติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) 100 มิลลิลิตร ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปิดฝาทิ้งพลาสติกให้แน่น วางไว้ในที่อุณหภูมิห้องที่มีอากาศถ่ายเทสะดวกเป็นเวลา 1 เดือน หลังจาก 1 เดือน กรองเอาเฉพาะของเหลวที่ผ่านการหมัก (น้ำหมักชีวภาพมะเฟือง) ใส่ขวดพลาสติกเก็บไว้ใช้สำหรับการทดลอง (ภาพที่ 1)



1. หั่นผลไม้เพื่อสุกเป็นชิ้น



2. เติมน้ำตาลทรายแดง 1 กิโลกรัม



3. เติมน้ำสะอาด 1 ลิตร

4. เติมน้ำจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM)
100 มิลลิลิตร5. ปิดฝาถังพลาสติกให้แน่น
เป็นเวลา 1 เดือน6. กรองเอาเฉพาะของเหลว
(น้ำหมักชีวภาพมะเฟือง)

ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำน้ำหมักชีวภาพมะเฟือง

2. การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำหมักชีวภาพจากมะเฟือง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ประกอบด้วย 5 ทรีตเมนต์ จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่ น้ำกลั่น (ควบคุม) อัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:250, 1:500, 1:750 และ 1:1,000 โดยปริมาตรตามลำดับ ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองแต่ละอัตราส่วนการเจือจาง ได้แก่ ความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids; TDS) ด้วยเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำพารามิเตอร์ (Multiparameter meter) ยี่ห้อ Hanna Instruments รุ่น HI9811-5 (USA) ตามแนวทางการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่แนะนำใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [26] นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3. การศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อการงอกของเมล็ดมะละกอฮอลแลนด์

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ประกอบด้วย 5 ทรีตเมนต์จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่ น้ำกลั่น (ควบคุม) อัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:250, 1:500, 1:750 และ 1:1,000 โดยปริมาตรตามลำดับ ใช้เมล็ดมะละกอฮอลแลนด์ (พันธุ์ฮอลแลนด์โกลด์ (Holland Gold)) ที่มีเปอร์เซ็นต์การงอก 65 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดลองโดยแช่เมล็ดมะละกอฮอลแลนด์ในแต่ละทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 100 เมล็ด ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้วล้างน้ำให้สะอาดเป็นเวลา 3 นาที แล้วเกลี่ยเมล็ดมะละกอฮอลแลนด์บนกระดาษเพาะเมล็ดที่วางในจานแก้วเพาะเชื้อ ผึ่งลมที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำเมล็ดไปปลูกในถาดหลุมที่บรรจุด้วยพีทมอสหลุมละ 1 เมล็ด แล้วนำไปวางในโรงเรือนที่อุณหภูมิ 27-32 องศาเซลเซียส รดน้ำทุกวัน วันละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 28 วัน ประเมินการงอกตามหลักการประเมิน International Seed Testing Association (ISTA) [27] โดยนับครั้งแรก (first count) ที่ 12 วันหลังเพาะเมล็ด นับเฉพาะจำนวน

ต้นอ่อนปกติและนับครั้งสุดท้าย (final count) ที่ 28 วันหลังเพาะเมล็ด จากนั้นคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การงอก ตรวจนับการงอกทุกวันเป็นเวลา 28 วัน แล้วนำมาหาเวลาเฉลี่ยในการงอก (Mean germination time; MGT) [28] ด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้าสุ่มต้นกล้าปกติ (ต้นกล้าที่มีทั้งส่วนรากและส่วนยอด) ที่อายุ 28 วันหลังเพาะ ข้างละ 10 ต้น วัดความสูงต้นโดยวัดตั้งแต่ส่วนรอยต่อของต้นกับรากไปจนถึงปลายสุดใบแท้ (Foliage leaf) วัดความยาวราก โดยวัดจากบริเวณปลายรากจนถึงบริเวณข้อต่อระหว่างส่วนรากและลำต้นของต้นกล้า [29] นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิจัย

1. ความเป็นกรดต่าง การนำไฟฟ้า และปริมาณรวมของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งหมด

ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่นมีผลทำให้น้ำหมักชีวภาพมะเฟืองมีความเป็นกรดต่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยอัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:1,000 มีค่าความเป็นกรดต่างสูงสุด 6.54 รองลงมาคือ 1:750, 1:500 และ 1:250 มีค่าความเป็นกรดต่าง 6.39, 6.22 และ 5.94 ตามลำดับ ขณะที่ชุดควบคุม (น้ำกลั่น) มีค่าความเป็นกรดต่าง 6.75 (ตารางที่ 1) มีค่าการนำไฟฟ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติโดยอัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:250 มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด 3.150 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร รองลงมาคือ 1:500, 1:750 และ 1:1,000 มีค่าการนำไฟฟ้า 1.553, 1.035 และ 0.730 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ ส่วนชุดควบคุม (น้ำกลั่น) มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำที่สุด 0.017 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (ตารางที่ 1) และค่าปริมาณรวมของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยอัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:250 มีค่าปริมาณรวมของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งหมดสูงสุด 2,046.75 พีพีเอ็ม รองลงมาคือ 1:500, 1:750 และ 1:1,000 มีค่าปริมาณรวมของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งหมด 1,010.50, 675.50 และ 472.25 พีพีเอ็ม ตามลำดับขณะที่ชุดควบคุม (น้ำกลั่น) มีค่าปริมาณรวมของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งหมดต่ำสุด 11.06 พีพีเอ็ม (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ความเป็นกรดต่าง ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณรวมของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งหมดของน้ำหมักชีวภาพจากมะเฟือง

น้ำหมักชีวภาพมะเฟือง (โดยปริมาตร)	ความเป็นกรดต่าง ^{1/}	ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm) ^{1/}	ปริมาณรวมของแข็งที่ละลาย อยู่ในน้ำทั้งหมด (ppm) ^{1/}
น้ำ (ควบคุม)	6.75 ^a	0.017 ^e	11.06 ^e
1:250	5.94 ^e	3.150 ^a	2,046.75 ^a
1:500	6.22 ^d	1.553 ^b	1,010.50 ^b
1:750	6.39 ^c	1.035 ^c	675.50 ^c
1:1,000	6.54 ^b	0.730 ^d	472.25 ^d
F-test	**	**	**
CV (%)	0.58	4.63	0.57

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 99%

^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรยกกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$) ตามวิธีการทดสอบของ Duncan's new multiple range test

2. การงอกของเมล็ดมะละกอฮอลแลนด์

ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่นมีผลทำให้เมล็ดมะละกอฮอลแลนด์มีการงอกของเมล็ดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมล็ดมะละกอฮอลแลนด์ที่แช่ในน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:1,000 โดยปริมาตร มีการงอกสูงสุดเฉลี่ย 81.25 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือที่แช่ในน้ำ (ควบคุม) และแช่ในน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:750 โดยปริมาตรมีการงอกเฉลี่ย 63.75 และ 61.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีการงอกต่ำสุดเมื่อแช่ในน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:250 โดยปริมาตร คือ มีการงอกเฉลี่ย 31.25 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2)

3. เวลาเฉลี่ยในการงอก

ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่นมีผลทำให้เมล็ดมะละกอฮอลแลนด์มีเวลาเฉลี่ยในการงอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมล็ดมะละกอฮอลแลนด์ที่แช่ในน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:500 โดยปริมาตร มีเวลาเฉลี่ยในการงอกมากที่สุด 16.50 วัน รองลงมาคือที่แช่ในน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:250 โดยปริมาตร และที่แช่ในน้ำกลั่น (ควบคุม) มีเวลาในการงอก 15.50 และ 15.25 วันตามลำดับ ขณะที่แช่ในน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:1,000 โดยปริมาตร มีเวลาเฉลี่ยในการงอกน้อยที่สุด 12.25 วัน (ตารางที่ 2)

4. ความสูงต้น

ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่นมีผลทำให้ต้นกล้ามะละกอฮอลแลนด์มีความสูงของลำต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมล็ดมะละกอฮอลแลนด์ที่แช่ในน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:1,000 โดยปริมาตรต้นกล้ามีความสูงต้นมากที่สุดเฉลี่ย 13.46 เซนติเมตร รองลงมาคือที่แช่ในน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:750 โดยปริมาตรและที่แช่ในน้ำกลั่น (ควบคุม) ต้นกล้ามีความสูงต้นเฉลี่ย 12.19 และ 12.11 เซนติเมตรตามลำดับ ขณะที่แช่ในน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:500 โดยปริมาตรต้นกล้าความสูงต้นน้อยที่สุดเฉลี่ย 11.77 เซนติเมตร (ตารางที่ 2)

5. ความยาวราก

ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่นมีผลทำให้ต้นกล้ามะละกอฮอลแลนด์มีความยาวรากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมล็ดมะละกอฮอลแลนด์ที่แช่ในน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:1,000 โดยปริมาตรต้นกล้ามีความยาวรากมากที่สุดเฉลี่ย 5.94 เซนติเมตร รองลงมาคือ ที่แช่ในน้ำกลั่น (ควบคุม) และน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:250 โดยปริมาตร ต้นกล้ามีความยาวรากเฉลี่ย 5.48 และ 5.35 เซนติเมตรตามลำดับ ขณะที่แช่ในน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:750 โดยปริมาตรต้นกล้ามีความยาวรากน้อยที่สุดเฉลี่ย 5.20 เซนติเมตร (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลของน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อการงอกของเมล็ด เวลาเฉลี่ยในการงอก ความสูงต้นและความยาวรากของมะละกอฮอลแลนด์

น้ำหมักชีวภาพ มะเฟือง (โดยปริมาตร)	การงอกของ เมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ^{1/}	เวลาเฉลี่ยใน การงอก (วัน) ^{1/}	ต้นกล้าปกติ (เปอร์เซ็นต์)	ต้นกล้าผิดปกติ (เปอร์เซ็นต์) ^{1/}	ความสูงต้น (เซนติเมตร) ^{1/}	ความยาวราก (เซนติเมตร) ^{1/}
น้ำ (ควบคุม)	63.75 ^b	15.25 ^b	57.25 ^b	6.25 ^d	12.11 ^b	5.48 ^{ab}
1:250	31.25 ^c	15.50 ^{ab}	21.75 ^e	9.25 ^b	11.90 ^b	5.35 ^{ab}
1:500	40.00 ^c	16.50 ^a	30.00 ^d	10.00 ^a	11.77 ^b	5.25 ^b
1:750	61.25 ^b	14.75 ^b	53.75 ^c	7.25 ^c	12.19 ^b	5.20 ^b
1:1,000	81.25 ^a	12.25 ^c	75.50 ^a	5.75 ^d	13.46 ^a	5.94 ^a
F-test	**	**	**	**	*	**
CV (%)	7.71	3.58	2.50	5.81	4.15	5.38

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 95%

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 99%

^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรยกกำกับเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($P \leq 0.01$) ตามวิธีการทดสอบของ Duncan's new multiple range test

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การงอกของเมล็ดมะละกอฮอลแลนด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่นที่เพิ่มขึ้นหรือตามความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองที่ลดลง และที่อัตราส่วน 1:1,000 โดยปริมาตร เมล็ดมะละกอฮอลแลนด์มีการงอกสูงสุด 81.25 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าที่แช่ในน้ำกลั่น (ควบคุม) ซึ่งมีการงอก 63.75 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่อัตราส่วน 1:250 โดยปริมาตร มีการงอกต่ำสุด 31.25 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่า น้ำหมักชีวภาพมะเฟืองสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดมะละกอฮอลแลนด์ได้ โดยเฉพาะที่ระดับความเข้มข้นต่ำ มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่าที่ระดับความเข้มข้นสูง สอดคล้องกับการทดลองใช้น้ำหมักชีวภาพเปลือกกาแฟ อัตราส่วน 1:1,000 โดยปริมาตร ทำให้เมล็ดมะละกอแขกดำมีการงอกสูงสุด 74 เปอร์เซ็นต์ [13] และเมล็ดพริกที่แช่ในน้ำหมักชีวภาพผลไม้ความเข้มข้น 0.2–0.4 เปอร์เซ็นต์ มีการงอกสูงสุด 73.5–76.5 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างจากการแช่ในน้ำกลั่น ขณะที่ความเข้มข้นสูงกว่านี้ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกลดลง [15] อีกทั้งยังสอดคล้องกับคำแนะนำของศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตรคณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้แช่เมล็ดพืชในน้ำหมักชีวภาพเจือจางก่อนนำไปเพาะ โดยใช้หมักชีวภาพอัตราส่วน 1 ต่อน้ำสะอาด 500 ถึง 1 ต่อน้ำสะอาด 1,000 [17] ทั้งนี้เป็นเพราะในน้ำหมักชีวภาพจากพืชมีฮอร์โมนพืชชนิดกรดจิบเบอเรลลิน ซึ่งมีสมบัติทำลายการพักตัวของเมล็ดและกระตุ้นการงอกของเมล็ด [12, 30, 31] กรดจิบเบอเรลลินที่ความเข้มข้นที่สูงเกินไปอาจทำให้ค่าการนำไฟฟ้า (EC) สูงส่งผลยับยั้งกระบวนการงอกของเมล็ด โดยค่าการนำไฟฟ้าที่สูงสะท้อนถึงความเข้มข้นของเกลือที่มาก ทำให้แรงออสโมติกภายนอกสูงขึ้น ส่งผลให้เมล็ดไม่สามารถดูดน้ำได้ตามปกติ เอนไซม์ที่จำเป็นต่อการงอก เช่น อะไมเลสและโปรตีเอสทำงานลดลง ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การงอกลดลงและการเจริญของรากอ่อนผิดปกติ [32, 33] น้ำหมักชีวภาพมะเฟืองที่ผลิตขึ้นเมื่อนำมาเจือจางกับน้ำกลั่นที่อัตราส่วน 1:1,000 โดยปริมาตร มีค่าการนำไฟฟ้าเป็น 0.730 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ จึงส่งผลกระตุ้นการงอกของเมล็ดมีค่าความเป็นกรดต่าง 6.54 ซึ่งมีค่าสูงกว่าหรือมีความเป็นกรดอ่อนกว่าการเจือจางที่อัตราส่วนอื่นๆ ค่าความเป็นกรดต่างมีผลโดยตรงต่ออัตราการงอกของเมล็ดโดยมีผลต่อเอนไซม์กระบวนการดูดน้ำและความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหาร โดยทั่วไปเมล็ดพืชส่วนมากจะงอกได้ดีที่สุดเมื่อ

ค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 5.5-7.0 [34] และมีค่าปริมาณรวมของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งหมดเท่ากับ 472.25 พีพีเอ็ม ซึ่งค่านี้ที่น้อยกว่า 500 พีพีเอ็มจะเป็นค่าที่เมล็ดส่วนใหญ่งอกได้ดีที่สุด หากมีค่ามากกว่า 1,500-3,000 พีพีเอ็มเมล็ดเริ่มถูกยับยั้งการงอก เนื่องจากปริมาณรวมของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งหมดส่งผลต่อการงอกผ่าน 2 กลไกหลัก คือทำให้เกิดแรงดันออสโมติก (osmotic stress) ต่อเมล็ดส่งผลให้เมล็ดดูดน้ำเพื่อเริ่มกระบวนการงอกได้ช้าลง [35] และทำให้มีระดับไอออนที่สูงโดยเฉพาะโซเดียมไอออน (Na^+) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ซึ่งเป็นองค์ประกอบทั่วไปในน้ำหมักชีวภาพ อาจทำให้เกิดความเป็นพิษของไอออน (ion toxicity) ที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่จำเป็นต่อการงอก [36] สำหรับเวลาเฉลี่ยในการงอกพบว่าเมล็ดมะละกอฮอลล์แลนด์ที่แช่ในน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:1,000 โดยปริมาตรใช้เวลาเฉลี่ยในการงอกน้อยที่สุด 12.25 วัน และน้อยกว่าที่แช่ในน้ำกลั่น (ควบคุม) ที่ใช้เวลาเฉลี่ยในการงอก 15.25 วัน แสดงถึงประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองในการเร่งการงอกและลดระยะเวลาในการงอกของเมล็ดมะละกอฮอลล์แลนด์ สอดคล้องกับการงอกของเมล็ดมะละกอแช่คั่วที่แช่ในน้ำหมักชีวภาพเปลือกกาแฟอัตราส่วน 1:1,000 โดยปริมาตร ใช้เวลาเฉลี่ยในการงอก 12.27 วัน [13] และใช้ระยะเวลาในการงอกของเมล็ดน้อยกว่าเมล็ดมะละกอฮอลล์แลนด์ศรีสะเกษที่ใช้เวลาในการงอก 10-14 วัน จากการเพาะเมล็ดโดยหยอดเมล็ดลึก 1 นิ้วในถุงเพาะ 3-5 เมล็ด และรดน้ำในช่วงเช้าวันละ 1 ครั้ง [9] ด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้ามะละกอฮอลล์แลนด์ พบว่าเมล็ดมะละกอฮอลล์แลนด์ที่แช่ในน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่นอัตราส่วน 1:1,000 ให้ต้นกล้าที่มีความสูงต้นและความยาวรากมากที่สุด เนื่องในน้ำหมักชีวภาพจากพืชมีฮอร์โมนพืชชนิดกรดอินโดลอะซิติก ซึ่งมีสมบัติกระตุ้นการแบ่งเซลล์ เร่งการเกิดราก การเจริญของรากและลำต้น และกระตุ้นการแบ่งเซลล์ ที่มีสมบัติกระตุ้นการแบ่งเซลล์ และการยืดตัวของเซลล์ [12] และระดับความเข้มข้นต่ำนี้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของรากและลำต้น ซึ่งหากความเข้มข้นสูงก็จะยับยั้งการเจริญเติบโต แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างการงอกที่ดี ความเร็วในการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้า นั่นคือการใช้ น้ำหมักชีวภาพสามารถส่งเสริมการพัฒนาของระบบรากและลำต้นได้ดีกว่าการไม่ใช้สารกระตุ้น [37] ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองระดับความเข้มข้นต่ำสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดมะละกอฮอลล์แลนด์และการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้นสูง โดยเฉพาะที่อัตราน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:1,000 โดยปริมาตร ซึ่งมีความเป็นกรดอ่อน ค่าการนำไฟฟ้าต่ำ และค่าปริมาณรวมของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งหมดต่ำ เนื่องจากในน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองนอกจากจะมีฮอร์โมนพืชที่มีบทบาทสำคัญต่อการงอกของเมล็ดแล้ว ยังมีกรดอินทรีย์ น้ำตาลที่ละลายได้ และสารฟีนอลิก ซึ่งสารเหล่านี้ที่ระดับความเข้มข้นต่ำจะกระตุ้นกระบวนการงอกได้ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้นสูง โดยกรดอินทรีย์จะทำหน้าที่ลดความเป็นกรดต่างในบริเวณรอบเมล็ด ทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอาหารสะสมในเมล็ด และเอนไซม์ที่ช่วยการคลายตัวผนังเซลล์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงมีผลกระตุ้นกระบวนการงอกของเมล็ดและช่วยให้รากแทงออกจากเปลือกเมล็ดได้ง่ายขึ้น [21, 22, 27] ขณะที่น้ำตาลที่ละลายได้ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยปรับแรงออสโมติกในบริเวณรอบเมล็ดทำให้เมล็ดดูดซึมน้ำได้รวดเร็ว น้ำจึงไปกระตุ้นให้เซลล์ภายในเมล็ดขยายตัวและกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่จำเป็นต่อการงอก และยังทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานทันที กระบวนการหายใจของเมล็ดในระยะเริ่มต้นส่งผลให้เมล็ดสามารถเริ่มต้นกระบวนการงอกได้เร็วขึ้น [23] การมีน้ำตาลในระดับที่เหมาะสมในน้ำหมักชีวภาพจึงเอื้อต่อการฟื้นตัวของเมล็ดหลังการดูดน้ำและกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ภายในเมล็ดทำให้การงอกเริ่มต้นได้รวดเร็วขึ้น และสารฟีนอลิกในระดับความเข้มข้นต่ำสามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเริ่มต้นกระบวนการงอก เช่น เอนไซม์อะไมเลสและโปรตีเอสซึ่งมีหน้าที่ย่อยสลายแป้งและโปรตีนเพื่อให้ได้พลังงานที่จำเป็นต่อการงอก ทำให้การงอกเกิดขึ้นได้ดี [24] สรุปผลการวิจัยได้ว่าอัตราน้ำหมักชีวภาพมะเฟืองต่อน้ำกลั่น 1:1,000 โดยปริมาตร

ทำให้เมล็ดมะละกอฮอลล์แลนด์มีการงอกสูงสุด ใช้ระยะเวลาในการงอกน้อยที่สุด และต้นกล้ามะละกอฮอลล์แลนด์ที่ได้มีการเจริญเติบโตดีที่สุด

References

- [1] Nimkingrat, T., et al. (2021). *Papaya Breeding Programm for Fresh Fruit* (Research reports). Bangkok: Department of Agriculture. (in Thai)
- [2] Department of Internal Trade. (2024). *Consumer Goods and Agricultural Product Prices*. Ministry of Commerce. (in Thai)
- [3] Rungrueng, P., et al. (2019). Propagation of Papaya (*Carica papaya* L.) cv. Holland in Tissue Culture. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 47(3), 459-466. (in Thai)
- [4] Sansuk, M. (2014). *Papaya Is Making Rich Money*. Nana Publishing. (in Thai)
- [5] Lange, W. (1991). Seed Germination: Factors Influencing the Process. *Journal of Agricultural Science*, 20(4), 112-118.
- [6] Bhattacharya, J., & Khuspe, S. S. (2001). In Vitro and In Vivo Germination of Papaya (*Carica papaya* L.) Seeds. *Scientia Horticulturae*, 91(1-2), 39-49.
- [7] Lange, A. H. (1961). Effect of Sarcotesta on the Germination of Papaya Seed. *Botanical Gazette*, 122(4), 305-311.
- [8] Yahiro, M. (1979). *Effect of Seed Pre-Treatment on the Promotion of Germination in Papaya (Carica papaya L.)*. *Memoris of the Faculty of Agriculture, Kagoshima University*, 15, 49-54.
- [9] Horticultural Research Institute. (n.d.). *Holland Sisaket papaya variety*. Available from https://www.doa.go.th/hort/?page_id=54065. Accessed date: 25 August 2025. (in Thai)
- [10] Sukprakarn, S., & Prapanopasin, P. (2002). Hydropriming Treatments on Chilli Seeds Germination. *Agricultural Science Journal*, 33(4-5), 141-148. (in Thai)
- [11] Kunchon Na Ayudhya, V. (2001). *Local Wisdom Technology*. Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- [12] Department of Agriculture. (2004). *Scientific Information on Bio-Fermented Liquid (Part 1)* (Technical Document No. 3/2004). Department of Agriculture. (in Thai)
- [13] Chumpookam, J., et al. (2014). Effect of Bioextract From Coffee Pulp on Seed Germination and Seedling Growth of "Khaek Dam" Papaya (*Carica papaya* Linn.). In *Proceedings of the 35th Kasetsart University Annual Conference* (pp. 1-8). 3-5 February, 1997, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- [14] Kitsanachandee, R. (2017). Effects of Liquid Bio-Extracts From Plants to Release of Dormancy in Lettuce Seed. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 45(Suppl. 1), 1283-1288. (in Thai)
- [15] Kumplee, S. & Dumrongkittikule, S. (2019). Effect of Fermented Fruit Juice on Chilli Seed Germination. In *Proceedings of the 9th Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus Conference*. (p. 699-705). 6 – 7 December, 2019, Nakhon Pathom, Thailand.

(in Thai)

- [16] Phonmat, S., et al. (2023). Effect of Water Hyacinth Fermented Bio-Extracts on Germination of Chili (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University*, 15(1), 1-14. (in Thai)
- [17] Suwannakhiri, S. (2004). *Bio-Liquid Fertilizer or Bio-Extract and Its Application With Effective Microorganisms (EM) in Agriculture and Environment* (Research report). Chiang Mai: Chiang Mai University. (in Thai)
- [18] Lim, T. K. (2012). *Averrhoa carambola* (Carambola). *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants*. 2(5). 78–88.
- [19] Apidech, P. (2014). Antioxidant Activity of Fruits in the Family Oxalidaceae. *Thai Journal of Science*, 41(2), 45-52. (in Thai)
- [20] Kuntang, P., et al. (2022). Metabolite Profile, Antioxidant Activity and Anti-*Candida* Activity of Fermented Star Fruit Bioextract (*Averrhoa carambola* L.). *Trends in Sciences*, 19(24), 4183.
- [21] Bewley, J. D., & Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination*. Plenum Press.
- [22] Taiz, L., & Zeiger, E. (2015). *Plant Physiology* (6th ed.). Sinauer Associates.
- [23] Gill, P. K., et al. (2003). Changes in Germination, Growth and Soluble Sugar Contents of *Sorghum bicolor* Seeds Under Various Abiotic Stresses. *Plant Growth Regulation*, 40(2), 157-162.
- [24] Günal-Köroğlu, D., et al. (2025). Effect of Germination on the Phenolic Compounds: Content, Bioavailability, Food Applications, and Health Benefits. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 19, 8144-8164.
- [25] Jovanović, I., et al. (2024). Role of Total Polyphenol Content in Seed Germination Characteristics of Spring Barley Varieties Amidst Climate Change. *Scientific Reports*, 14, 23818.
- [26] American Public Health Association. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). APHA.
- [27] International Seed Testing Association. (2025). *International Rules for Seed Testing*. ISTA.
- [28] Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1980). Improved Equation for the Prediction of Seed Longevity. *Annals of Botany*, 45(1), 13-30.
- [29] Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Vigor Determination in Soybean Seed by Multiple Criteria. *Crop Science*, 13(6), 630-633.
- [30] Tancho, A. (2006). *Applied Natural Agriculture*. National Science and Technology Development Agency. (in Thai)
- [31] Copeland, L. O., & McDonald, M. B. (1995). *Principles of Seed Science and Technology*

(3rd ed.). Chapman & Hall.

- [32] Tokhun, N., & Worawut, K. (2021). Effects of Different Soaking Techniques on Germination and Seed Vigor of Kaowong Kalasin and Pathum Thani 1 Rice Varieties. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 49(Suppl. 1), 942-948. (in Thai)
- [33] Chartzoulakis, K., & Klapaki, G. (2000). Effects of Salinity on Seed Germination, Growth and Yield of Greenhouse Cucumber. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 75(4), 499-504.
- [34] Kabar, K., & Fazal, A. (1981). Effect of pH on Seed Germination of Various Crop Species. *Seed Science and Technology*, 9(2), 535-540.
- [35] Kaya, C., et al. (2001). The Effects of Low Levels of Salinity on Seed Germination and Early Seedling Growth of Cucurbit Species. *Scientia Horticulturae*, 89(1), 47-54.
- [36] Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
- [37] Yin, J., et al. (2025). Compost Tea: Preparation, Utilization Mechanisms, and Agricultural Applications Potential—A Comprehensive Review. *Environmental Technology & Innovation*, 38, 104137.