

การขยายพันธุ์ฟีโลเดนดรอนเบอร์กิน: อิทธิพลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชไบโอรีแอคเตอร์จมชั่วคราวและวัสดุปลูก

Micropropagation of *Philodendron* 'Birkin': Influence of Plant Growth Regulators, Temporary Immersion Bioreactor and Growing Medium

จันทิมา ดาวเรือง¹ และ ปิยะมาศ ศรีรัตน์^{1*}
Jantima Daoruang¹ and Piyamat Srirat^{1*}

Received: 20 July 2025

Revised: 3 February 2026

Accepted: 9 February 2026

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อขยายพันธุ์ฟีโลเดนดรอนเบอร์กิน (*Philodendron* 'Birkin') โดยศึกษาผลของสูตรอาหาร สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ระบบไบโอรีแอคเตอร์จมชั่วคราว (TIB) และการย้ายปลูก ยอดอ่อนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS, WPM และ DKW ที่เติม Kinetin 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรอาหาร โดยอาหารสูตร MS ให้จำนวนยอดเฉลี่ย 1.50 ยอด การศึกษาผลของไซโทไคนิน พบว่า BAP มีประสิทธิภาพในการเพิ่มจำนวนยอดสูงกว่า Kinetin อาหาร MS ที่เติม BAP 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุด (36.40 ยอด) ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต 22.8 เท่า อย่างไรก็ตาม BAP ความเข้มข้นสูงมีผลยับยั้งการเกิดราก การเติม IBA 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ BAP ยับยั้งการเพิ่มจำนวนยอด และชักนำให้เกิดแคลลัส ยอดที่ไม่มีรากสามารถพัฒนารากได้บนอาหารสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต ผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่ายอดที่เพาะเลี้ยงในระบบ TIB เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ให้จำนวนยอดเฉลี่ย

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมชีวภาพ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม ประเทศไทย 73140

¹Department of Science and Bioinnovation, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, Thailand, 73140

*ผู้รับผิดชอบงาน (Corresponding author) e-mail: piyamat.s@ku.th

2.33 ยอด และความยาวยอด 3.37 เซนติเมตร สูงกว่าการเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งเป็นเวลา 8 สัปดาห์ (1.50 ยอด และ 2.20 เซนติเมตร) แสดงให้เห็นว่าระบบ TIB ส่งเสริมการเจริญเติบโตได้ดีในระยะเวลาที่สั้นกว่า ในการย้ายปลูกต้นกล้ามีอัตราการรอดชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์ โดยวัสดุปลูกผสมพีทมอสและขุยมะพร้าว (1:1) ให้ผลดีที่สุดในด้านจำนวนใบ ความสูงต้น และการพัฒนาราก ผลการศึกษานี้แสดงถึงศักยภาพของเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชสำหรับการขยายพันธุ์ฟีโลเดนดรอนเบอร์กินในเชิงพาณิชย์

คำสำคัญ: ฟีโลเดนดรอนเบอร์กิน การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อการขยายพันธุ์พืช สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ไบโอดีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราว วัสดุปลูก

ABSTRACT

This study aimed to develop a micropropagation protocol for *Philodendron* 'Birkin' by investigating the effects of culture media, plant growth regulators (PGRs), temporary immersion bioreactor (TIB) system, and *ex vitro* transplanting. Shoot tips cultured on Murashige and Skoog (MS), Woody Plant Medium (WPM), and Driver and Kuniyuki Walnut (DKW) media supplemented with 0.5 mg/L Kinetin(6-furfurylaminopurine) for 8 weeks showed no significant differences among media, with MS producing an average of 1.50 shoots per explant. BAP (6-benzylamino-purine) was more effective than Kinetin for shoot multiplication. MS medium supplemented with 2.0 mg/L BAP produced the highest average shoot number (36.40 shoots), 22.8-fold greater than the PGR-free control. However, high BAP concentrations reduced root formation in initial shoots. The addition of 1.0 mg/L IBA combined with BAP inhibited shoot multiplication and induced callus formation. Rootless shoots successfully developed roots on PGR-free MS medium. Preliminary results showed that shoots cultured in the TIB system for 4 weeks produced an average of 2.33 shoots with 3.37 cm shoot length, exceeding those from semi-solid medium cultured for 8 weeks (1.50 shoots and 2.20 cm), demonstrating that TIB promoted effective growth within a shorter period. During *ex vitro* transplanting, plantlets achieved 100% survival across all growing medium treatments. The peat moss and coconut coir mixture (1:1) produced the best results in leaf number, plant height, and root development. These findings demonstrate the potential of micropropagation techniques for commercial propagation of *Philodendron* 'Birkin'.

Keywords: *Philodendron* 'Birkin'; Micropropagation; Plant Growth Regulators; Temporary Immersion Bioreactor; Growing Medium

บทนำ

ฟีโลเดนดรอน (*Philodendron*) เป็นพืชในวงศ์ Araceae ที่ได้รับความนิยมอย่างสูงในฐานะไม้ใบและไม้ประดับสำหรับตกแต่งภายในอาคาร [1, 2] การขยายพันธุ์พืชสกุลฟีโลเดนดรอนด้วยวิธีดั้งเดิมใช้วิธีการตัดชำลำต้นหรือกิ่ง (stem cuttings) และใช้เมล็ด (seeds) แต่วิธีการดังกล่าวทำได้ช้าและผลิตต้นได้จำนวนจำกัด

ไม่เพียงพอต่อความต้องการ [4] อีกทั้งการขยายพันธุ์ฟีโลเดนดรอนโดยใช้เมล็ดมีข้อจำกัดในด้านคุณภาพและอายุของเมล็ดที่สั้น [2] ในกรณีของฟีโลเดนดรอนประเภทที่มีการเจริญแบบ self-heading ซึ่งมีการเจริญเติบโตช้า มีลำต้นสั้น และมีระยะห่างระหว่างข้อน้อย การขยายพันธุ์โดยการตัดชำลำต้นหรือกิ่งจึงไม่เป็นที่นิยม [1, 5] ฟีโลเดนดรอนเบอร์กิน (*Philodendron* 'Birkin') เป็นไม้ประดับในร่มชนิดหนึ่งในกลุ่มฟีโลเดนดรอนที่ได้รับความนิยม มีลักษณะเด่นคือมีก้านใบที่อวบอ้วน หนา และมีเปลือกที่ห่อหุ้มก้านหรือลำต้น พื้นใบมีสีเขียวและมีลายใบสีขาวไล่จากเส้นกลางใบไปยังขอบใบ ลายใบสีขาวอาจมีทั้งใบหรือมีเพียงบางส่วนทำให้ใบมีสีและลายที่แตกต่างกัน ฟีโลเดนดรอนเบอร์กินมีการเจริญแบบ self-heading การขยายพันธุ์โดยการตัดชำลำต้นหรือกิ่งจึงทำได้ยาก

การขยายพันธุ์พืชด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (micropropagation) เป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถผลิตต้นพันธุ์พืชได้จำนวนมากในระยะเวลาอันรวดเร็ว ต้นพืชมีคุณภาพที่ดี และมีลักษณะตรงตามแม่พันธุ์ [11] มีผลการวิจัยหลายฉบับที่สนับสนุนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อการขยายพันธุ์พืชสกุลฟีโลเดนดรอน [1-10] ความสำเร็จของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชขึ้นขึ้นอยู่กับการปฏิบัติหลายประการ โดยพืชแต่ละชนิดและแต่ละสายพันธุ์มีความต้องการการพัฒนาระเบียบวิธีการ (Protocol) ที่จำเพาะเจาะจง [3-5] การเลือกส่วนประกอบของอาหารที่เหมาะสมมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช อาหารสูตร Murashige and Skoog Medium (MS) [12] เป็นอาหารเพาะเลี้ยงสูตรพื้นฐานที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช [11] ในงานวิจัยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชสกุลฟีโลเดนดรอนนิยมเลือกใช้อาหารสูตร MS โดยอ้างอิงว่าเป็นสูตรที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย [1, 2, 5, 7-9] อย่างไรก็ตาม Sreekumar และคณะ [4] พิสูจน์ว่าฟีโลเดนดรอนจำนวน 6 สายพันธุ์ได้แก่ *P. 'blue mistic'*, *P. 'painted lady'*, *P. 'pink prince'*, *P. 'pluto'*, *P. 'royal queen'* และ *P. 'green emperor'* มีการตอบสนองต่อธาตุอาหารไม่เหมือนกัน โดยบางสายพันธุ์เจริญเติบโตได้ไม่ดีในอาหารสูตร MS ซึ่งมีแอมโมเนียมที่ความเข้มข้นสูงเป็นองค์ประกอบ

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (plant growth regulators) โดยเฉพาะอย่างยิ่งไซโทไคนินและออกซิน มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของเนื้อเยื่อพืช [1, 11] ในการเพาะเลี้ยงยอดของพืชกลุ่ม broad-leafed plants เช่น พืชสกุลฟีโลเดนดรอนและอโศกาเซีย (*Alocasia*) มักเติมไซโทไคนินลงในอาหารในระยะเพิ่มจำนวนยอด เพื่อยับยั้งการข่มของปลายยอด (apical dominance) และส่งเสริมการพัฒนารวมของตาข้างให้เกิดยอดใหม่ [8, 11] 6-benzylamino-purine (BAP) เป็นไซโทไคนินชนิดที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการเพิ่มจำนวนยอดในพืชหลายชนิด [1, 8, 13, 14] ในขณะที่ไซโทไคนินชนิด 6-furfurylamino-purine (Kinetin) มีประสิทธิภาพในการเพิ่มจำนวนยอดต่ำกว่า BAP แต่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการยืดยาวของยอดและการพัฒนาของใบที่ดี และมีการรักษาความเสถียรทางสรีรวิทยาได้ดีกว่า [15, 16] อย่างไรก็ตามฟีโลเดนดรอนต่างสายพันธุ์ก็อาจตอบสนองต่อไซโทไคนินได้แตกต่างกัน Chen และคณะ [5] พบว่าการเติม BAP ให้อัตราการสร้างยอดสูงสุดใน *P. 'Imperial Green'* ในขณะที่ Kinetin ให้ผลที่ดีใน *P. 'Imperial Red'* และ *P. 'Imperial Rainbow'* ในกรณีการใช้ไซโทไคนินร่วมกับออกซินสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเพิ่มจำนวนยอดได้ เช่น ในการเพาะเลี้ยงฟีโลเดนดรอนใบมะละกอ (*P. bipinnatifidum* Schott ex Endl.) [1] และฟีโลเดนดรอนเบอร์กิน [8, 9] แต่ในบางกรณีการใช้ร่วมกันไม่ได้เพิ่มจำนวนยอดและใบเมื่อเทียบกับการใช้ไซโทไคนินเพียงอย่างเดียว เช่น ในการศึกษาของ Sreekumar และคณะ [4] ในฟีโลเดนดรอนจำนวน 6 สายพันธุ์ และในการศึกษาของ Khamrit และ Jongrunklang [13] ในฟีโลเดนดรอนก้านส้ม (*P. billietiae*) สิ่งเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าความต้องการชนิดและความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตมีความแตกต่างกันตามชนิดของพืชที่เพาะเลี้ยงและสภาพการเพาะเลี้ยง โดยปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารควบคุมทั้งสองกลุ่มมักซับซ้อน [11]

แม้ว่าการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแบบดั้งเดิมในอาหารกึ่งแข็งสามารถขยายพันธุ์พืชได้ แต่มีต้นทุนการผลิตสูงเนื่องจากใช้แรงงานมาก การใช้สารก่อเจล และการขาดระบบอัตโนมัติ [17] การขยายขนาดการเพาะเลี้ยงโดยใช้ระบบไบโอรีแอคเตอร์จมชั่วคราว (Temporary Immersion Bioreactor; TIB) เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการขยายพันธุ์พืชในเชิงพาณิชย์ ระบบนี้ทำงานโดยการให้ชิ้นส่วนพืชอยู่ในอาหารเหลวเป็นช่วงเวลาสั้นๆ จึงช่วยปรับปรุงการถ่ายเทอากาศให้แก่ชิ้นส่วนพืช ลดปัญหาการขาดออกซิเจน และเพิ่มอัตราการเพิ่มจำนวนได้ ในปัจจุบันมีผลการศึกษาในพืชหลายชนิดที่ยืนยันถึงประสิทธิภาพที่ดีของการเพาะเลี้ยงในระบบ TIB [18-24]

วัสดุปลูกเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดชีวิตของต้นอ่อนในขั้นตอนการปรับสภาพและการย้ายปลูก โดยพืชในวงศ์ Araceae นิยมใช้พีทมอสเป็นวัสดุปลูกในการปรับสภาพต้นอ่อนเนื่องจากมีธาตุอาหาร [25] และความสามารถในการกักเก็บน้ำที่ดีเยี่ยม [2, 26] มีทั้งการใช้เป็นวัสดุปลูกเดี่ยว เช่น การย้ายปลูกฟีโลเดนดรอนพังก์ปรีนเซส (*P. erubescens* 'Pink Princess') โดยใช้พีทมอสเพียงอย่างเดียว [2] และวัสดุปลูกแบบผสม เช่น ในกรณีการย้ายปลูกฟีโลเดนดรอนใบมะละกอ ที่ใช้ส่วนผสมพีทมอสและเพอร์ไลต์ (1:1) [1] และในฟีโลเดนดรอนเบอร์กันดีที่ใช้ส่วนผสมโคโคพีทและเพอร์ไลต์ (2:1) [8] และส่วนผสมของดินสวน: ปุ๋ยหมัก: เศษถ่าน: พีทมอส (1:1:1:1) [9] การศึกษาการใช้ขุยมะพร้าวซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมมะพร้าวที่มีอยู่มากในประเทศไทย มีราคาถูกกว่าและหาได้ในท้องถิ่นเพื่อใช้ทดแทนหรือเป็นส่วนผสมในวัสดุปลูกผสมของพีทมอสจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการขยายพันธุ์ฟีโลเดนดรอนเบอร์กันดีในสภาพปลอดเชื้อ โดยศึกษาผลของสูตรอาหารและสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเจริญและการเพิ่มจำนวนยอด และศึกษาผลเบื้องต้นของระบบไบโอรีแอคเตอร์จมชั่วคราวต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนยอดของฟีโลเดนดรอนเบอร์กันดีเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการขยายพันธุ์ในเชิงพาณิชย์ต่อไป ในขั้นสุดท้ายศึกษาผลของวัสดุปลูกต่อการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของต้นกล้าหลังย้ายปลูกเพื่อพัฒนาวิธีการผลิตต้นพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุพืช

ต้นอ่อนฟีโลเดนดรอนเบอร์กันดีที่ปลอดเชื้อที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร Murashige and Skoog Medium (MS) [12] ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตไซโทไคนินชนิด 6-furfurylamino-purine (Kinetin) ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรเพื่อเพิ่มจำนวนยอดให้เพียงพอต่อการทดลอง [5] โดยเมื่อมียอดอ่อนที่เกิดขึ้นใหม่ทำการตัดเพื่อแยกเป็นยอดเดี่ยว แล้วจึงย้ายไปเพาะเลี้ยงต่อบนอาหารสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ในระหว่างการเพาะเลี้ยงทำการย้ายชิ้นส่วนพืชเพื่อเปลี่ยนอาหารใหม่ในทุก 4 สัปดาห์โดยใช้ยอดอ่อนเหล่านี้ที่มีความยาวยอด 1.0-1.5 เซนติเมตรและมีใบ 2-3 ใบ เป็นชิ้นส่วนพืชเริ่มต้น (explants) สำหรับการทดลองต่อไป

2. อาหารเพาะเลี้ยงและสภาวะในการเพาะเลี้ยง

อาหารเพาะเลี้ยงกึ่งแข็ง ได้แก่ อาหารสูตร MS, สูตร Woody Plant Medium (WPM) [27] และสูตร Driver and Kuniyuki Walnut (DKW) [28] โดยอาหารทุกสูตรเติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตรและ gellan gum (KELCOGEL®) 3 กรัมต่อลิตร ทำการปรับ pH ที่ 5.6-5.7 จากนั้นทำให้อาหารปลอดเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วนาน 20 นาที ในกรณีที่มีการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ให้ทำการเติมลงในอาหารก่อนการปรับ pH การเตรียมอาหารเพาะเลี้ยง

เหลวสำหรับการเพาะเลี้ยงในไบโอรีแอคเตอร์แบบจมชั่วคราว ทำเช่นเดียวกับการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงกิ่งแข็งสูตร MS แต่ไม่เติม gellan gum (KELCOGEL[®])

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อทำในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ± 2 องศาเซลเซียสและมีการให้แสงสว่างด้วยหลอดไฟแอลอีดีที่ความเข้มแสง 1,500-1,700 ลักซ์เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน โดยในระหว่างการเพาะเลี้ยงทำการย้ายยอดเพื่อเปลี่ยนอาหารใหม่ในทุก 4 สัปดาห์

3. การศึกษาผลของสูตรอาหารต่อการเจริญเติบโตของยอดอ่อนฟีโลเดนดรอนเบอร์กิน

นำยอดอ่อนในสภาพปลอดเชื้อ (explants) มาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็ง 3 สูตร ได้แก่ อาหารสูตร MS, สูตร WPM และสูตร DKW โดยอาหารทุกสูตรเติม Kinetin ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นความเข้มข้นของไซโทไคนินในระดับต่ำไม่รบกวนการตอบสนองต่อองค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ต้องการทดสอบ แต่ยังคงส่งเสริมการเติบโตตามธรรมชาติ [1, 5] วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) แต่ละสูตรอาหารทำซ้ำ 10 ซ้ำ โดย 1 ซ้ำ คือ การเพาะเลี้ยงยอดอ่อนเริ่มต้น 1 ยอดใน 1 ขวดเพาะเลี้ยง ทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ บันทึกลักษณะการเจริญเติบโตของยอดอ่อน ได้แก่ จำนวนยอดโดยนับรวมยอดเริ่มต้น (ยอดที่ยาวที่สุด) และยอดอ่อนที่เกิดใหม่ที่มีความยาวยอดตั้งแต่ 1 เซนติเมตรและมีใบอย่างน้อย 2 ใบ ความยาวยอดโดยวัดความยาวของยอดเริ่มต้น และการเกิดรากของยอดเริ่มต้น ยอดเริ่มต้นและยอดใหม่ที่แยกได้หลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ถูกย้ายไปเพาะเลี้ยงต่อบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เพื่อเตรียมไว้สำหรับการย้ายต้นอ่อนออกปลูก

4. การศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนยอดของฟีโลเดนดรอนเบอร์กิน

นำยอดอ่อนในสภาพปลอดเชื้อ (explants) มาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS (จากผลการทดลองข้อ 2) ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (PGRs) ที่แตกต่างกันจำนวน 11 ชุดทดลอง ได้แก่ ชุดทดลองที่ 1 คือ อาหารที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (ชุดควบคุม) ชุดทดลองที่ 2, 3 และ 4 คือ อาหารที่เติมไซโทไคนินชนิด 6-benzylamino-purine (BAP) ความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ชุดทดลองที่ 5 และ 6 คือ อาหารที่เติม BAP ความเข้มข้น 1.0 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับออกซินชนิด 3-indolebutyric acid (IBA) ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ชุดทดลองที่ 7, 8 และ 9 คือ อาหารที่เติมไซโทไคนินชนิด Kinetin ความเข้มข้น 1.0, 2.0 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และชุดทดลองที่ 10 และ 11 คือ อาหารที่เติม Kinetin ความเข้มข้น 1.0 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ IBA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) แต่ละสูตรอาหารทำซ้ำ 10 ซ้ำ โดย 1 ซ้ำ คือ การเพาะเลี้ยงยอดอ่อนเริ่มต้น 1 ยอดใน 1 ขวดเพาะเลี้ยงทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ บันทึกลักษณะการเจริญเติบโตของยอดอ่อน ได้แก่ จำนวนยอดโดยนับรวมยอดเริ่มต้น (ยอดที่ยาวที่สุด) และยอดอ่อนที่เกิดใหม่ที่มีความยาวยอดตั้งแต่ 1 เซนติเมตรและมีใบอย่างน้อย 2 ใบ ความยาวยอดโดยวัดความยาวของยอดเริ่มต้นและการเกิดรากของยอดเริ่มต้น ยอดเริ่มต้นและยอดใหม่ที่แยกได้หลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ถูกย้ายไปเพาะเลี้ยงต่อบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเพื่อเตรียมไว้สำหรับการย้ายต้นอ่อนออกปลูก

5. การศึกษาเบื้องต้นของการเพาะเลี้ยงยอดอ่อนฟีโลเดนดรอนเบอร์กินในไบโอรีแอคเตอร์จมชั่วคราว (Temporary Immersion Bioreactor; TIB)

ทำการเพาะเลี้ยงยอดอ่อนด้วยอาหารเหลวในระบบ TIB แบบขวดคู่ (two-bottle bioreactor) ที่พัฒนาขึ้น แสดงในภาพที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยขวดขนาด 500 มิลลิลิตรจำนวน 2 ขวด โดยขวดที่ 1 เป็นขวดที่

ใช้บรรจอาหารเหลว ในการศึกษานี้ใช้อาหารเหลวสูตร MS ที่เติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร และ Kinetin ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรอาหาร 150 มิลลิลิตรและขวดที่ 2 เป็นขวดเพาะเลี้ยง ในการเพาะเลี้ยงนี้ใช้ยอดอ่อน 10 ยอด ต่อ 1 ขวดเพาะเลี้ยง โดยภายในขวดเพาะเลี้ยงบรรจุแก้วขนาดเล็กไว้ ภายในเพื่อช่วยรองรับยอดอ่อนพืช โดยทำซ้ำจำนวน 3 ชุด กำหนดความถี่และระยะในการให้อาหารคือในทุกๆ 4 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 นาที ทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ บันทึกลักษณะการเจริญเติบโตของยอดอ่อน ได้แก่ จำนวนยอดโดยนับรวมยอดเริ่มต้น (ยอดที่ยาวที่สุด) และยอดอ่อนที่เกิดขึ้นใหม่ที่มีความยาวยอดตั้งแต่ 1 เซนติเมตรและมีใบอย่างน้อย 2 ใบ ความยาวยอดโดยวัดความยาวของยอดเริ่มต้นและการเกิดรากของยอดเริ่มต้น ยอดเริ่มต้นและยอดใหม่ที่ยกได้ถูกย้ายไปเพาะเลี้ยงต่อบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

6. การย้ายปลูกลงดินอ่อนที่ได้จากการเพาะเลี้ยง

นำต้นอ่อนฟีโลเดนดรอนเบอร์กันดีที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อที่มีความสูง 3.0-3.5 เซนติเมตร และมีการเกิดรากแล้วมาทำการย้ายต้นอ่อนออกจากขวดเพาะเลี้ยงอย่างระมัดระวัง นำลงปลูกในกระถางที่มีวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน 4 ชุดทดลอง ได้แก่ (1) พีทมอส (2) ขุยมะพร้าว (3) พีทมอส:ขุยมะพร้าว (1:1 โดยปริมาตร) และ (4) พีทมอส:หินภูเขาไฟ (1:1 โดยปริมาตร) นำกระถางที่ปลูกลงดินอ่อนวางไว้ในแก้วพลาสติกแบบปิดฝา นำกระถางที่ปลูกลงดินอ่อนวางไว้บนชั้นวาง ในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ± 2 องศาเซลเซียส และมีการให้แสงสว่างจากหลอดไฟแอลอีดีชนิดให้แสงสำหรับเลี้ยงต้นไม้โดยมีการให้แสง 16 ชั่วโมงต่อวัน ทำการฉีดพ่นน้ำปริมาณ 15-20 มิลลิลิตรในทุกๆ 2 วัน ในช่วงเช้าเป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อปรับสภาพต้นอ่อนให้คุ้นชินกับสภาพแวดล้อมใหม่ เมื่อครบ 2 สัปดาห์แล้วนำกระถางที่ปลูกลงดินอ่อนออกจากแก้วพลาสติก ดูแลและรดน้ำทุกๆ 2 วันในช่วงเช้าจนครบ 12 สัปดาห์ บันทึกจำนวนต้นกล้าที่รอดชีวิต ลักษณะการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงของต้นกล้า จำนวนใบโดยนับเฉพาะใบที่มีความยาวตั้งแต่ 1 เซนติเมตร จำนวนรากโดยนับเฉพาะรากที่มีความยาวตั้งแต่ 3 เซนติเมตร

7. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อหาค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test; DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และในการฝึกการศึกษาเบื้องต้นของการเพาะเลี้ยงยอดอ่อนฟีโลเดนดรอนเบอร์กันดีในระบบ TIB ซึ่งเปรียบเทียบข้อมูลในส่วน of จำนวนยอดและความยาวยอดในระบบอาหารกึ่งแข็งที่มีจำนวนตัวอย่าง $n=10$ และในระบบ TIB ที่มีจำนวนตัวอย่าง $n=30$ วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี Independent Samples t-test และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยวิธี Welch's t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัย

1. ผลของสูตรอาหารต่อการเจริญเติบโตของยอดอ่อนฟีโลเดนดรอนเบอร์กันดี

ในการเพาะเลี้ยงยอดอ่อนฟีโลเดนดรอนเบอร์กันดีบนอาหารกึ่งแข็ง 3 สูตร ได้แก่ สูตรอาหาร MS, WPM และ DKW โดยทุกสูตรอาหารเติม Kinetin 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการเจริญเติบโตแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 1 ยอดอ่อนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS มีจำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุดที่ 1.50 ± 0.22 ยอด อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับสูตร WPM (1.40 ± 0.22 ยอด) และ DKW (1.10 ± 0.10 ยอด) ในขณะที่การเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร WPM มีความยาวยอดเฉลี่ยสูงสุดที่ 2.46 ± 0.11 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตร DKW

(2.42 ± 0.11 เซนติเมตร) และ MS (2.22 ± 0.08 เซนติเมตร) ในส่วนของการเกิดรากเริ่มสังเกตเห็นการเกิดรากที่ยอดเริ่มต้นได้ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 6 ของการเพาะเลี้ยง โดยเมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ยอดเริ่มต้นที่เพาะเลี้ยงในทุกสูตรอาหารมีการเกิดรากได้อย่างสมบูรณ์

ตารางที่ 1 ผลของอาหารเพาะเลี้ยงต่อการเจริญเติบโตของยอดฟีโลเดนดรอนเบอร์กันที่เพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อเป็นเวลา 8 สัปดาห์

สูตรของอาหาร	จำนวนยอด * (ยอด/ชิ้นส่วนเริ่มต้น)	ความยาวยอด * (เซนติเมตร)	อัตราการเกิดราก (เปอร์เซ็นต์)
MS	1.50 ± 0.22^a	2.22 ± 0.08^a	100
WPM	1.40 ± 0.22^a	2.46 ± 0.11^a	100
DKW	1.10 ± 0.10^a	2.42 ± 0.11^a	100

* ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SE) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan Multiple's Rang Test (DMRT)



ภาพที่ 1 การเจริญเติบโตของยอดอ่อนฟีโลเดนดรอนเบอร์กันที่เพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อบนอาหารเพาะเลี้ยงสูตรที่ต่างกันเป็นเวลา 8 สัปดาห์ (| = 1 เซนติเมตร)

2. ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนยอดของฟีโลเดนดรอนเบอร์กัน

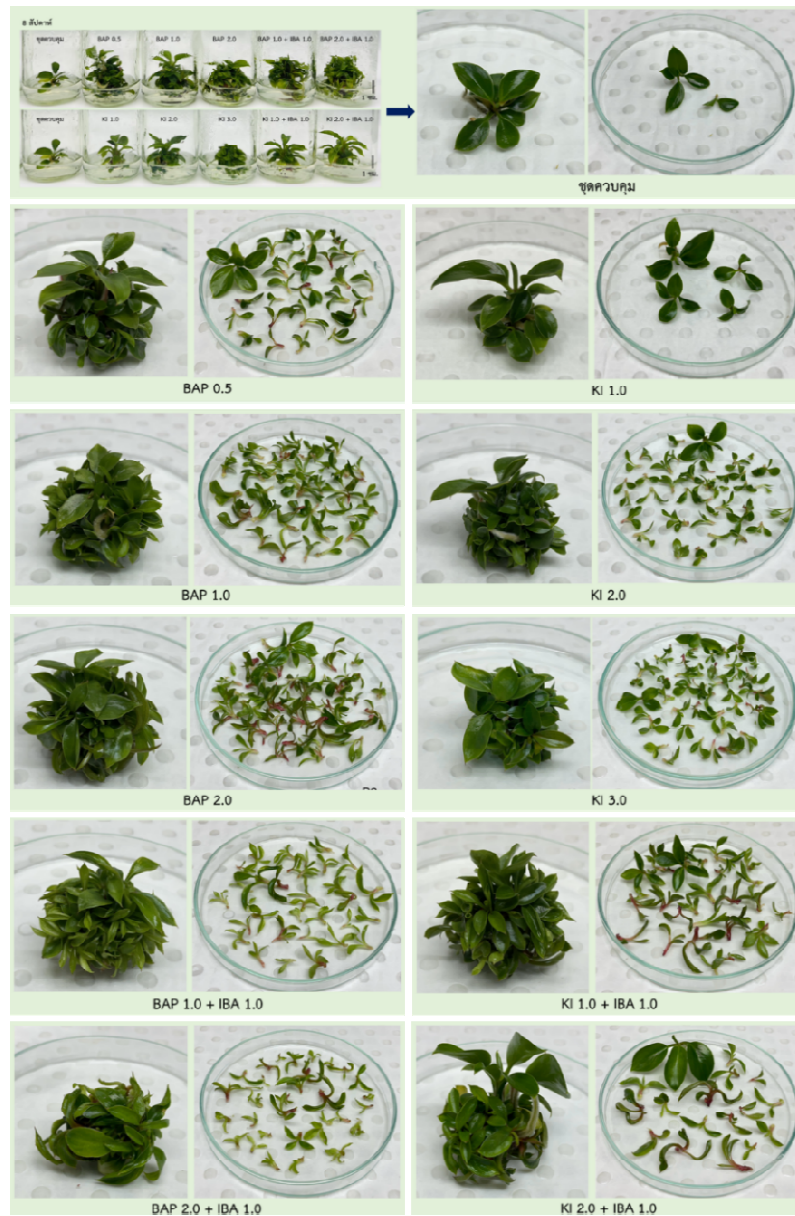
ในการทดลองใช้อาหารสูตร MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชกลุ่มไซโทไคนินชนิด BAP และชนิด Kinetin และกลุ่มออกซินชนิด IBA ที่ความเข้มข้นที่ต่างกันจำนวน 11 ชุดทดลอง โดยมีชุดควบคุมคืออาหารที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์

การเจริญเติบโตของยอดในด้านจำนวนยอด พบว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มไซโทไคนินมีผลกระตุ้นการเพิ่มจำนวนยอดได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับชุดควบคุม ลักษณะการเจริญของยอดและการเกิดยอดใหม่ขนาดเล็กจำนวนมากที่เจริญอัดกันแน่น (ภาพที่ 2) โดยยอดใหม่ที่แยกได้มีลักษณะเป็นยอดขนาดเล็ก มีใบ 2-4 ใบและยังไม่มีการพัฒนาใบราก เมื่อเปรียบเทียบผลทางสถิติพบว่าอาหารทุกสูตรที่ไซโทไคนินเกิดการเพิ่มจำนวนยอดได้ดีกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 3ก) โดย BAP แสดงประสิทธิภาพในการกระตุ้นการเพิ่มจำนวนยอดได้ดีกว่า Kinetin ในทุกระดับความเข้มข้นที่ศึกษาโดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ BAP ที่ 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้มีจำนวนยอดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนที่ 17.40, 28.70 และ 36.40 ยอดตามลำดับ โดยสูตรอาหารที่เติม BAP ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ย

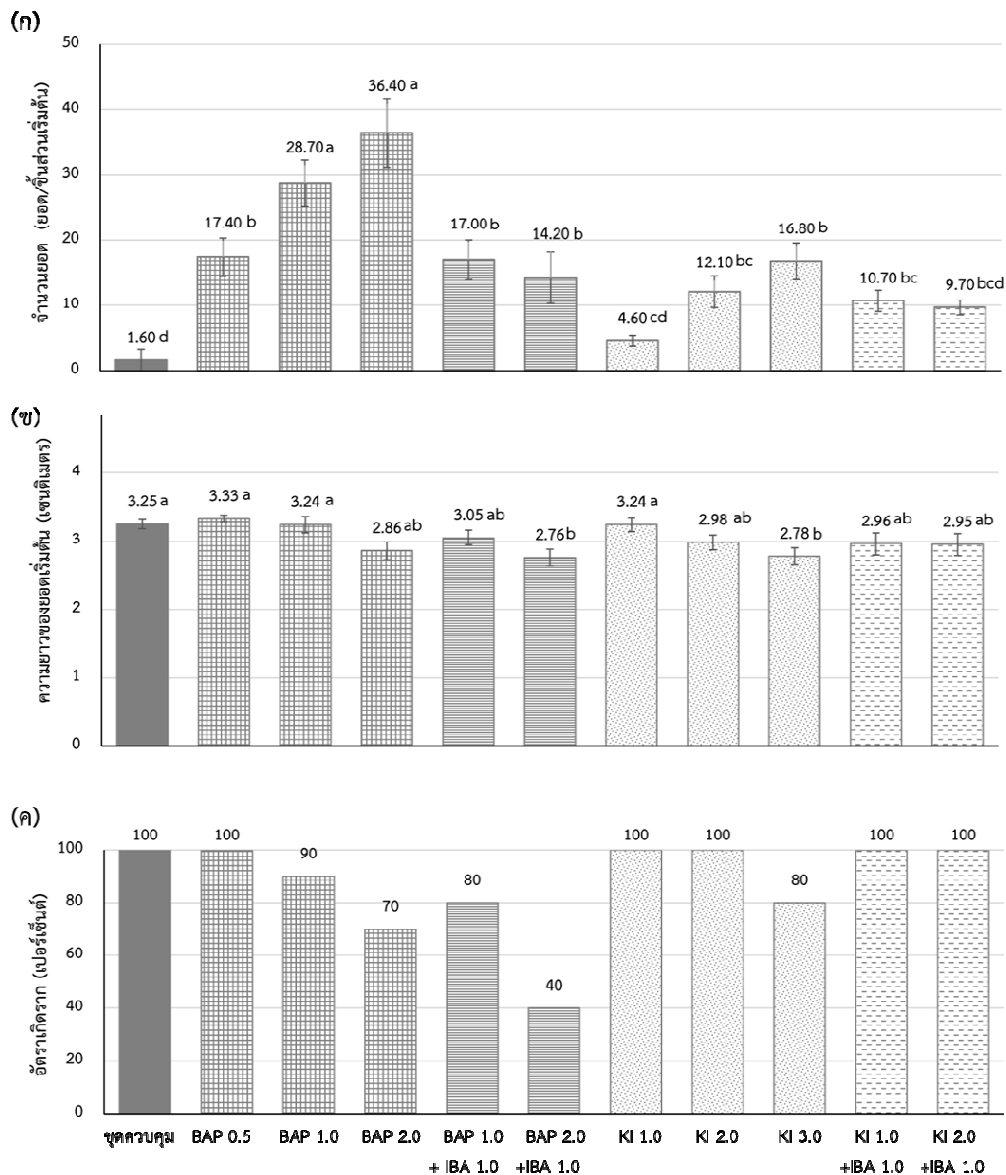
สูงที่สุดซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม 22.8 เท่า สำหรับการเพาะเลี้ยงที่เติม Kinetin เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของที่เติมจาก 1.0, 2.0 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้จำนวนยอดเฉลี่ยที่ได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยมีจำนวนยอด 4.60, 12.00 และ 16.80 ยอดตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่าประสิทธิภาพในการเพิ่มจำนวนยอดของ Kinetin ยังคงต่ำกว่า BAP อย่างชัดเจน โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 3ก)

การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มไซโทไคนิน (BAP และ Kinetin) ร่วมกับกลุ่มออกซินชนิด IBA พบว่าการเติม BAP ร่วมกับ IBA ที่ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงผลการยับยั้งการเพิ่มจำนวนยอด โดยมีจำนวนยอดที่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 3ก) ในการเพาะเลี้ยงที่เติม BAP ที่ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ IBA ให้จำนวนยอดลดลง 1.7 เท่า และการเติม BAP ที่ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ IBA ให้จำนวนยอดลดลง 2.6 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับการเติม BAP เพียงอย่างเดียวที่ระดับความเข้มข้นเท่ากัน โดยการเพาะเลี้ยงที่เติม BAP ที่ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ IBA พบการเกิดแคลลัสบริเวณส่วนฐานของยอด (ภาพที่ 4ค) ในกรณีของ Kinetin พบว่าการเติม Kinetin ที่ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ IBA ให้จำนวนยอดลดลง ในขณะที่ Kinetin ที่ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ IBA มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนยอด อย่างไรก็ตามจำนวนยอดเฉลี่ยที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการเติม Kinetin เพียงอย่างเดียวที่ระดับความเข้มข้นเท่ากัน

การเจริญเติบโตของยอดในด้านความยาวยอด ความยาวยอดวัดจากความยาวของยอดเริ่มต้นหลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ (ภาพที่ 3ข) โดยพบว่าการเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม BAP ที่ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวของยอดเริ่มต้นเฉลี่ยสูงสุดที่ 3.33 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับยอดที่เพาะเลี้ยงในชุดควบคุม อาหารที่เติม BAP ที่ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรและอาหารที่เติม Kinetin ที่ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ให้ความยาวยอดเฉลี่ย 3.25, 3.24 และ 3.24 เซนติเมตรตามลำดับ ในขณะที่การเติม BAP ที่ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรมีความยาวยอดเฉลี่ย 2.9 เซนติเมตร โดยความยาวยอดเฉลี่ยที่น้อยที่สุดพบในการเพาะเลี้ยงที่เติม BAP ที่ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ IBA ที่ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และการเพาะเลี้ยงที่เติม Kinetin ที่ 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตรที่มีความยาวยอดเฉลี่ย 2.76 และ 2.78 เซนติเมตรตามลำดับ ในส่วนของยอดที่เกิดขึ้นใหม่ในทุกชุดการทดลองยังคงมีขนาดสั้น มีความยาวยอดเฉลี่ยในช่วง 1.00-1.50 เซนติเมตร (ภาพที่ 2)

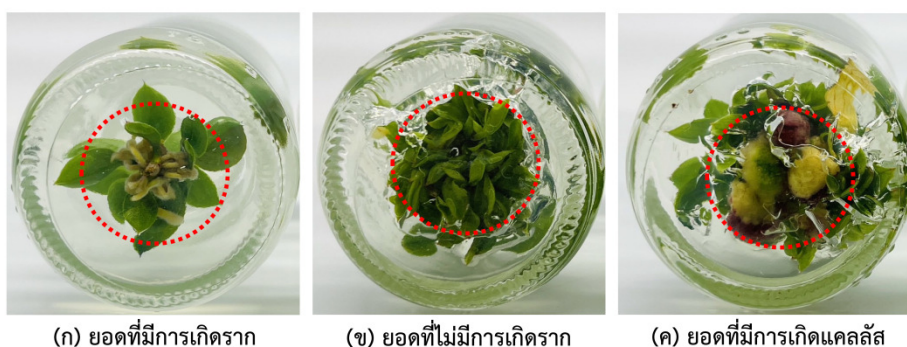


ภาพที่ 2 ลักษณะการแตกยอดของฟีโลเดนดรอนเบอร์กิ้นที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตพืช BAP, Kinetin (KI) และการใช้ร่วมกับ IBA หลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ในแต่ละชุดการทดลองภาพถ่ายแสดงลักษณะของยอด (multiple shoot clump) ที่เจริญในขวดเพาะเลี้ยงและภาพขวาแสดงยอดทั้งหมดที่ถูกแยกออกมา



ภาพที่ 3 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชกลุ่มไซโทไคนิน BAP และ Kinetin (KI) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆและการใช้ร่วมกับออกซิน IBA ต่อการเจริญเติบโตของยอดอ่อนพีโลเดนดรอนเบอร์กิงที่เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดย (ก) จำนวนยอดเฉลี่ยต่อชิ้นส่วนเริ่มต้น (ข) ความยาวค่าเฉลี่ยของยอดเริ่มต้น (เซนติเมตร) และ (ค) เปอร์เซ็นต์การเกิดรากของยอดเริ่มต้น แท่งกราฟแสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และแถบบาร์แสดงค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) โดยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันบนแท่งกราฟแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

การเกิดรากพบว่ามีการเกิดรากเฉพาะที่ยอดเริ่มต้นเท่านั้น ในขณะที่ยอดเกิดใหม่ทั้งหมดยังไม่พบการเกิดราก (ภาพที่ 2) โดยผลการเกิดรากของยอดเริ่มต้นมีความแตกต่างกันตามสูตรอาหารอย่างชัดเจน (ภาพที่ 3ค) ยอดเริ่มต้นที่เพาะเลี้ยงในชุดควบคุมและชุดที่เติม Kinetin เกือบทุกระดับความเข้มข้นมีการเกิดราก 100 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4ก) ในขณะที่การเติม BAP แสดงฤทธิ์ยับยั้งการเกิดราก โดยเมื่อความเข้มข้นของ BAP เพิ่มขึ้นจำนวนการเกิดรากมีแนวโน้มลดลง การเพาะเลี้ยงที่เติม BAP ที่ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรยอดเริ่มต้นมีการเกิดราก 70 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4ข) ที่น่าสนใจคือสูตรอาหารที่เติม BAP ที่ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ IBA ที่ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรมีการเกิดราก 40 เปอร์เซ็นต์ และยอดส่วนใหญ่ที่ไม่เกิดรากมีการสร้างแคลลัสซึ่งเป็นกลุ่มเซลล์ที่ไม่เป็นระเบียบเกิดขึ้นที่ส่วนฐานของยอด (ภาพที่ 4ค) ในกรณีของยอดเริ่มต้นที่ไม่มีรากและยอดที่เกิดใหม่ที่ยังไม่มีราก เมื่อย้ายไปเพาะเลี้ยงต่อบนอาหารสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ยอดเหล่านี้จะสามารถเกิดรากขึ้นได้ โดยยอดที่เกิดใหม่มีการเจริญเติบโตโดยมีความยาวยอดและจำนวนใบเพิ่มขึ้น และเมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 6–8 สัปดาห์จะเริ่มสังเกตเห็นการเกิดราก



ภาพที่ 4 ลักษณะการเกิดรากของยอดฟีโลเดนดรอนเบอร์กิน (ก) ยอดที่มีการเกิดรากซึ่งเพาะเลี้ยงบนอาหารที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (ชุดควบคุม) (ข) ยอดที่ไม่มีการเกิดรากซึ่งเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม BAP ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และ (ค) ยอดที่มีการเกิดแคลลัสบริเวณส่วนฐานของยอดซึ่งเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม BAP ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ IBA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ (บริเวณที่สนใจแสดงด้วยเส้นประสีแดง)

3. ผลการศึกษาเบื้องต้นของการเพาะเลี้ยงยอดอ่อนฟีโลเดนดรอนเบอร์กินในไบโอรีแอคเตอร์จมชั่วคราว (Temporary Immersion Bioreactor; TIB)

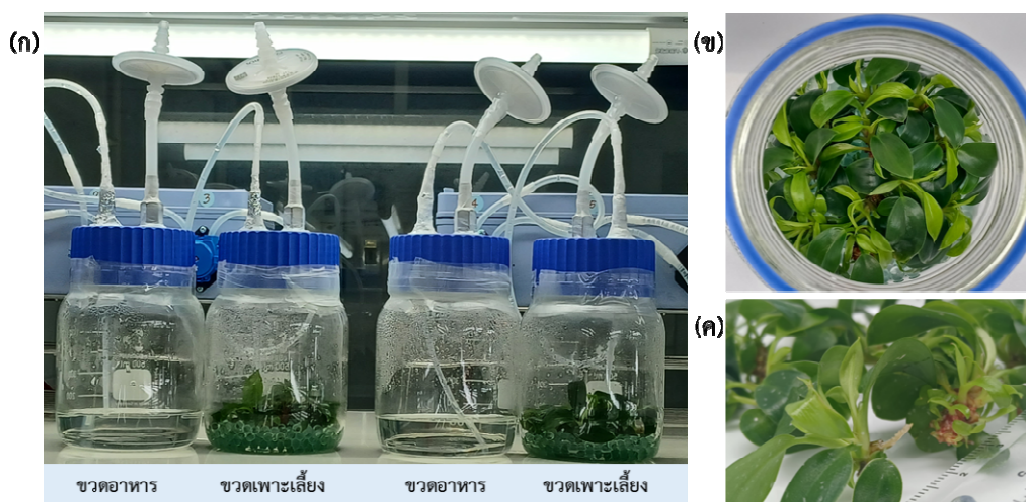
ในภาพที่ 5 แสดงการเพาะเลี้ยงยอดโดยใช้อาหารเหลวใน TIB แบบขวดคู่ และในตารางที่ 2 แสดงผลการเจริญเติบโตของยอดในระบบอาหารกึ่งแข็งที่เพาะเลี้ยง 8 สัปดาห์ และในระบบอาหารเหลวในไบโอรีแอคเตอร์จมชั่วคราว (TIB) ที่เพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบการเพาะเลี้ยงทั้งสองพบว่าระบบ TIB ให้ผลการเจริญเติบโตของยอดที่ดี โดยระบบ TIB สามารถชักนำให้เกิดยอดใหม่ได้เฉลี่ย 2.33 ± 0.59 ยอด ในขณะที่ระบบอาหารกึ่งแข็งมีจำนวนยอดเฉลี่ย 1.50 ± 0.22 ยอด โดยในระบบ TIB มีการเกิดยอดใหม่ขึ้นจำนวนมากแต่ยอดที่ได้ยังมีขนาดเล็ก ในการนับจำนวนยอดจะนับเฉพาะยอดที่มีความยาวยอดตั้งแต่ 1 เซนติเมตรและมีใบอย่างน้อย 2 ใบ ในด้านความยาวยอดพบว่าระบบ TIB ให้ยอดเริ่มต้นที่มีความ

ยาวอดเฉลี่ย 3.37 ± 0.16 เซนติเมตร ซึ่งยาวกว่ายอดที่ได้จากระบบอาหารกึ่งแข็ง (2.20 ± 0.09 เซนติเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในส่วนของการเกิดรากของยอดเริ่มต้นพบว่าการเพาะเลี้ยงในระบบอาหารกึ่งแข็งมีการเกิดรากได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ระบบ TIB มีผลการเกิดราก 77 เปอร์เซ็นต์ โดยรากที่ได้เป็นรากที่เพิ่งเกิด ยังคงมีความยาวไม่มากและมีลักษณะเป็นรากเดี่ยว (ภาพที่ 5ค)

4. การย้ายปลูกต้นอ่อนที่ได้จากการเพาะเลี้ยง

หลังจากการย้ายต้นอ่อนฟิโลเดนดรอนเบอร์กันดีออกจากขวดเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าต้นกล้าทั้งหมดที่ปลูกในวัสดุปลูกทั้ง 4 ชนิดมีอัตราการรอดชีวิต 100% (ตารางที่ 3) อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตของต้นอ่อนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในด้านความสูงของต้นและจำนวนใบ (ตารางที่ 3) ต้นกล้าที่ปลูกในวัสดุปลูกผสมระหว่างพีทมอสและขุยมะพร้าว (1:1 โดยปริมาตร) ให้ผลดีที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนใบสูงสุด (11.10 ± 0.31 ใบ) และมีค่าเฉลี่ยความสูงของต้น (14.05 เซนติเมตร) ที่ไม่แตกต่างทางสถิติกับต้นที่ปลูกในพีทมอสเพียงอย่างเดียว (14.13 ± 0.23 เซนติเมตร) รองลงมาคือวัสดุปลูกผสมพีทมอสและหินภูเขาไฟ (1:1 โดยปริมาตร) สำหรับวัสดุปลูกชนิดเดียวพบว่าต้นกล้าที่ปลูกในพีทมอสมีความสูงที่ดี ในขณะที่ต้นกล้าที่ปลูกในขุยมะพร้าวเพียงอย่างเดียวแสดงการเจริญเติบโตด้อยที่สุดในทุกด้าน โดยมีค่าเฉลี่ยความสูง (7.31 ± 0.28 เซนติเมตร) และค่าเฉลี่ยจำนวนใบ (7.70 ± 0.34 ใบ) ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากนี้จากการสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยา (ภาพที่ 6) พบว่าต้นกล้าที่เจริญเติบโตในวัสดุปลูกแบบผสมทั้งสองชนิด (พีทมอส:ขุยมะพร้าว และ พีทมอส:หินภูเขาไฟ) มีระบบรากที่สมบูรณ์ แข็งแรง และแผ่ขยายได้ดีกว่ากลุ่มที่ใช้วัสดุปลูกชนิดเดียวอย่างชัดเจน โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ปลูกในขุยมะพร้าว ซึ่งมีระบบรากขนาดเล็กและไม่พัฒนา



ภาพที่ 5 (ก) การเพาะเลี้ยงยอดอ่อนฟิโลเดนดรอนเบอร์กันดีในไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราว (TIB) แบบขวดคู่ (two-bottle bioreactor) (ข) ยอดฟิโลเดนดรอนเบอร์กันดีที่เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ และ (ค) การเกิดยอดใหม่ ขนาดเล็ก และการเกิดราก

ตารางที่ 2 การเพาะเลี้ยงยอดอ่อนฟีโลเดนดรอนเบอร์กินในระบบอาหารกึ่งแข็งและระบบอาหารเหลวในไบโอรีแอคเตอร์จมชั่วคราว (TIB)

ระบบการเพาะเลี้ยง	จำนวนยอด *	ความยาวยอด *	อัตราการเกิดราก
	(ยอด/ชิ้นส่วนเริ่มต้น)	(เซนติเมตร)	(เปอร์เซ็นต์)
อาหารกึ่งแข็งในขวดเพาะเลี้ยง ¹	1.50 ± 0.22 ^a	2.20 ± 0.09 ^b	100
อาหารเหลวใน TIB ²	2.33 ± 0.59 ^a	3.37 ± 0.16 ^a	77

¹ อาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม Kinetin 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร, n = 10; ประเมินผลการเจริญเติบโตเมื่อเพาะเลี้ยงครบ 8 สัปดาห์

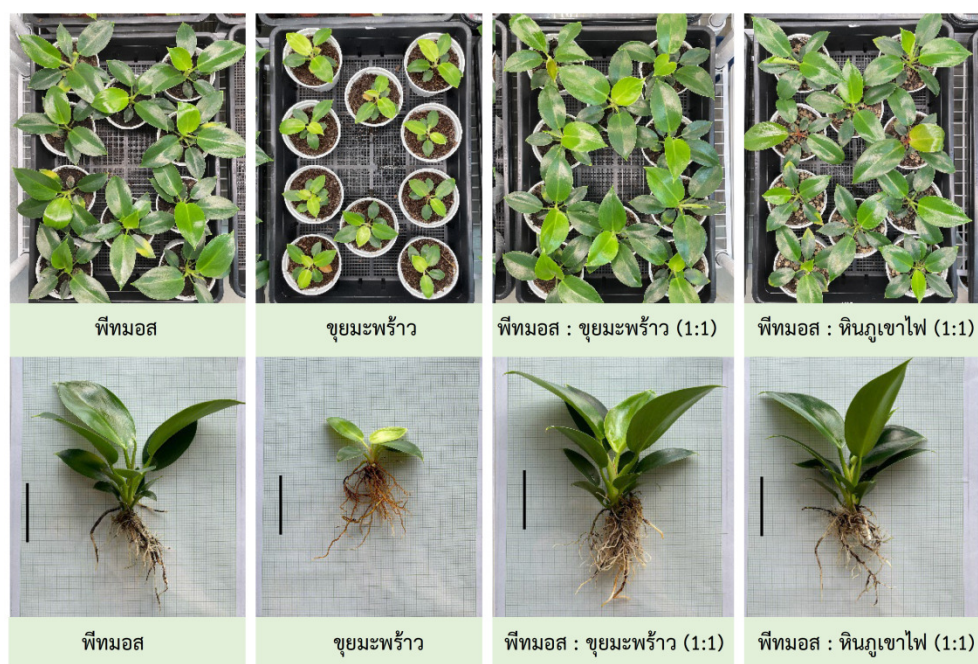
² อาหารเหลวสูตร MS ที่เติม Kinetin 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร, n = 30; ประเมินผลการเจริญเติบโตเมื่อเพาะเลี้ยงครบ 4 สัปดาห์

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Mean ± SE) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Welch's t-test

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตของต้นอ่อนฟีโลเดนดรอนเบอร์กินหลังการปรับสภาพนอกหลอดทดลองและย้ายลงปลูกในวัสดุปลูกที่แตกต่างกันเป็นเวลา 12 สัปดาห์

วัสดุปลูก (ส่วนผสมโดยปริมาตร)	อัตราการรอดชีวิต (เปอร์เซ็นต์)	ความสูงของต้น *	จำนวนใบ *
		(เซนติเมตร)	(ใบ)
พีทมอส	100	14.13 ± 0.23 ^a	10.60 ± 0.31 ^{ab}
ขุยมะพร้าว	100	7.31 ± 0.28 ^c	7.70 ± 0.34 ^c
พีทมอส:ขุยมะพร้าว (1:1)	100	14.05 ± 0.17 ^a	11.10 ± 0.31 ^a
พีทมอส:หินภูเขาไฟ (1:1)	100	12.98 ± 0.06 ^b	10.00 ± 0.33 ^b

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Mean ± SE) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan Multiple's Rang Test (DMRT)



ภาพที่ 6 การเจริญเติบโตของต้นอ่อนฟีโลเดนดรอนเบอร์กันนีในวัสดุปลูกที่แตกต่างกันหลังจากย้ายปลูกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ (| = 5 เซนติเมตร)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาผลของสูตรอาหารต่อการเจริญเติบโตของยอดอ่อนฟีโลเดนดรอนเบอร์กันนี ผลการศึกษาพบว่าอาหารทั้งสามสูตร ได้แก่ สูตร MS, WPM และ DKW ที่เติม Kinetin ที่ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ผลการเจริญเติบโตของยอดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในการศึกษาต่อมาเลือกใช้อาหารสูตร MS เป็นสูตรอาหารเพาะเลี้ยงในการทดลองต่อมา เนื่องจากแม้ว่าผลการทดลองจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อาหารสูตร MS แสดงแนวโน้มที่ดีในการส่งเสริมการพัฒนาของยอด โดยมีจำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุดที่ 1.50 ± 0.22 ยอดต่อชิ้นส่วนเริ่มต้น และอาหารสูตร MS เป็นสูตรอาหารที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และมีรายงานรองรับการใช้งานในพืชสกุลฟีโลเดนดรอนและพืชวงศ์ Araceae อื่นๆ [1, 2, 5, 7, 8, 9, 26] โดย Alawaadh และคณะ [1] รายงานว่าความเข้มข้นของแร่ธาตุในอาหารมีผลอย่างมากต่อการสร้างอวัยวะ (organogenesis) และพืชสกุลฟีโลเดนดรอนต้องการสารอาหารในระดับสูงเพื่อการแตกยอด ซึ่งในกรณีนี้ อาหารสูตร MS ถือว่ามีปริมาณธาตุอาหารหลัก (macronutrients) โดยเฉพาะไนโตรเจนและโพแทสเซียมในระดับที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสูตร WPM และ DKW

ผลการทดลองที่น่าสนใจคือ ยอดเริ่มต้นที่เพาะเลี้ยงในทุกสูตรอาหารมีการเกิดรากได้อย่างสมบูรณ์โดยเริ่มสังเกตเห็นการเกิดรากตั้งแต่สัปดาห์ที่ 6 ของการเพาะเลี้ยง ซึ่งการเกิดรากโดยธรรมชาติในอาหารที่ไม่มีการเติมออกซินภายนอกนี้สอดคล้องกับรายงานของ Sreekumar และคณะ [4] และ Chen และคณะ [5] ที่ศึกษาพืชในสกุลฟีโลเดนดรอนหลายสายพันธุ์ ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าพืชในสกุลฟีโลเดนดรอนมีระดับออกซินภายในเพียงพอสำหรับการชักนำรากได้เอง

ในการศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนยอดของฟีโลเดนดรอนเบอร์กัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าชนิดและปริมาณของสารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มไซโทไคนิน มีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มจำนวนยอดของฟีโลเดนดรอนเบอร์กันโดยไซโทไคนินชนิด BAP มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเพิ่มจำนวนยอดได้ดีกว่าชนิด Kinetin อย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับความเข้มข้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยหลายฉบับที่ระบุว่า BAP มีประสิทธิภาพในการเพิ่มจำนวนยอดได้ดีกว่าไซโทไคนินชนิดอื่นๆ ในพืชสกุลฟีโลเดนดรอน [2, 4-6] และในพืชหลากหลายชนิด เช่น กล้วย (*Musa spp.* AAA Group) 'Basrai' [14], *Chlorophytum borivilianum* [15] และคราม (*Indigofera zollingeriana*) [29] เป็นต้น โดยการที่ BAP มีประสิทธิภาพในการเพิ่มจำนวนยอดได้ดีกว่า Kinetin เนื่องจาก BAP เป็นไซโทไคนินกลุ่มอะโรมาติกที่มีความเสถียรทางเคมี ทำให้ทนทานต่อการถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ในเนื้อเยื่อพืชและสามารถออกฤทธิ์ได้ยาวนานกว่า Kinetin [16]

การเติมไซโทไคนินชนิด BAP ร่วมกับออกซินชนิด IBA ไม่แสดงผลการส่งเสริมซึ่งกันและกัน (synergistic effect) ในการเพิ่มจำนวนยอดของฟีโลเดนดรอนเบอร์กัน แต่กลับแสดงการยับยั้งการเพิ่มจำนวนยอด ส่งผลให้จำนวนยอดที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และในการเพาะเลี้ยงที่เติม BAP ความเข้มข้นสูงร่วมกับออกซินชนิด IBA พบการเกิดแคลลัสขึ้นที่ส่วนฐานของยอด การเกิดแคลลัสซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่พึงประสงค์สำหรับการพัฒนาไปเป็นต้นที่สมบูรณ์ ในกรณีนี้แสดงให้เห็นว่าการเติม IBA เป็นการรบกวนสมดุลการเจริญเติบโตของพืชตามทฤษฎีอัตราส่วนออกซินต่อไซโทไคนิน ซึ่งนำไปสู่การแบ่งเซลล์ที่ไม่เป็นระเบียบ (แคลลัส) แทนที่จะเป็นการสร้างอวัยวะ (ยอด) ที่สมบูรณ์ซึ่งสอดคล้องกับ Sreekumar และคณะ [4] ที่รายงานว่าในพืชสกุลฟีโลเดนดรอน บางสายพันธุ์การใช้ BAP ร่วมกับออกซินกระตุ้นให้เกิดแคลลัสและจากการศึกษาของ Klanrit และคณะ [2] ที่เพาะเลี้ยงฟีโลเดนดรอนพืงค์ปรีนเซส พบว่าการใช้ BAP ร่วมกับออกซินชนิด 1-naphthaleneacetic acid (NAA) ไม่ส่งผลส่งเสริมซึ่งกันและกันในการเพิ่มจำนวนยอดและใบเมื่อเทียบกับการใช้ BAP เพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการตอบสนองนี้อาจมีความจำเพาะต่อพืชแต่ละชนิด เนื่องจากมีรายงานการเพาะเลี้ยงฟีโลเดนดรอนใบมะละกอ [1] และโอลิเวีย [26] ที่ระบุว่าการใช้ไซโทไคนินร่วมกับออกซินมีผลส่งเสริมการเพิ่มจำนวนยอดได้

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชมีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มจำนวนยอด การยืดยาวของยอด และการเกิดราก จากผลการทดลองที่ใช้ BAP ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีอัตราการเพิ่มจำนวนยอดสูงสุดแต่ความยาวยอดเริ่มต้นและอัตราการเกิดรากที่น้อยกว่าชุดทดลองอื่นๆ ความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างจำนวนยอดและความยาวของยอดนี้สอดคล้องการศึกษาใน *P.*'White Knight' ที่พบว่าเมื่อจำนวนยอดเพิ่มขึ้น ความยาวของยอดกลับลดลงอย่างชัดเจน โดยการมีไซโทไคนินในปริมาณสูงจะทำให้ลายการข่มของตายอด (apical dominance) ทำให้ตาข้างเจริญออกมา แต่ในขณะเดียวกันก็สร้างสภาวะที่ไม่เอื้อต่อการยืดตัวของยอดเริ่มต้น [10] เช่นเดียวกับในการเพาะเลี้ยง *P.*'Imperial Green', *P.*'Imperial Red' และ *P.*'Imperial Rainbow' ที่มีการเจริญแบบ self-heading [5] และในการเพาะเลี้ยงฟีโลเดนดรอนพืงค์ปรีนเซส [2] ที่พบว่ายอดที่เกิดขึ้นใหม่จำนวนมากยังคงมีขนาดสั้นและไม่สามารถยืดตัวได้ภายใต้อิทธิพลของไซโทไคนินที่มีความเข้มข้นสูง โดยเมื่อทำการย้ายกอของยอดไปเลี้ยงต่อบนอาหารที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตพบว่ายอดเหล่านั้นมีการยืดตัวทำให้ความยาวยอดเพิ่มขึ้น

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า BAP มีผลยับยั้งการเกิดรากของยอดเริ่มต้นในฟีโลเดนดรอนเบอร์กัน โดยเมื่อความเข้มข้นของ BAP เพิ่มขึ้น การเกิดรากมีแนวโน้มลดลง ปรากฏการณ์นี้สอดคล้องกับหลักการทางสรีรวิทยาพืชที่ได้รับการยืนยันอย่างกว้างขวาง โดย George และคณะ [11] อธิบายว่าไซโทไคนินที่มีความเข้มข้นสูง (0.5–10 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยทั่วไปจะยับยั้งหรือชะลอการเกิดราก ด้วยเหตุนี้เมื่อต้องการให้ยอดเกิดราก

เพื่อสร้างต้นกล้าจึงเพาะเลี้ยงในอาหารที่ไม่เติมไซโทไคนิน และมีรายงานการเพาะเลี้ยงในพืชสกุลฟีโลเดนดรอนหลายสายพันธุ์ [2, 4, 5] และอโกลนีมา [26] ที่ระบุว่าการใช้ BAP ที่ความเข้มข้นสูงเพื่อเพิ่มจำนวนยอด มีผลกระทบต่อเนื่องในการยับยั้งการเกิดราก และการย้ายยอดไปเลี้ยงบนอาหารที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตช่วยให้ยอดได้ยึดตัวเพิ่มความยาวและมีการเกิดรากได้ ซึ่งจากผลการศึกษาเมื่อย้ายยอดเริ่มต้นที่ไม่มีรากและยอดใหม่ที่ยังไม่มีรากของฟีโลเดนดรอนเบอร์กินไปเพาะเลี้ยงต่อบนอาหารสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช พบว่าเมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 6–8 สัปดาห์จะเริ่มสังเกตเห็นการเกิดราก ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในพืชสกุลฟีโลเดนดรอนหลายสายพันธุ์ [2, 4, 5]

จากผลการทดลองเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า วิธีการเพาะเลี้ยงยอดฟีโลเดนดรอนเบอร์กินเพื่อเพิ่มปริมาณยอดได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือทำการเพาะเลี้ยงยอดบนอาหารสูตร MS ที่เติม BAP ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตรเพื่อให้ได้ยอดจำนวนมาก โดยยอดเริ่มต้นที่ไม่มีรากและยอดใหม่ขนาดเล็กที่ยังไม่มีรากจะถูกย้ายไปเพาะเลี้ยงต่อบนอาหารสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งในช่วงนี้เกิดการพัฒนายอด โดยยอดจะมีการเพิ่มความยาวยอดและจำนวนใบ และมีการเกิดรากได้ก่อนนำไปสู่ขั้นตอนการปรับสภาพและย้ายปลูก

ผลการศึกษาเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าระบบไบโอรีแอคเตอร์จมชั่วคราว (TIB) มีศักยภาพสำหรับการขยายขนาดการเพาะเลี้ยงฟีโลเดนดรอนเบอร์กิน โดยในการเพาะเลี้ยงใช้อาหารเหลวสูตร MS ที่เติม Kinetin ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เปรียบเทียบการเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตรเดียวกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบ TIB ส่งเสริมการเจริญเติบโตในส่วนยอดได้ดี สามารถเพิ่มได้ทั้งจำนวนยอดและความยาวของยอดเริ่มต้น โดยใช้ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงที่สั้นกว่าในระบบอาหารกึ่งแข็ง (4 สัปดาห์ เทียบกับ 8 สัปดาห์) สอดคล้องกับรายงานการวิจัยจำนวนมากที่ยืนยันประสิทธิภาพที่เหนือกว่าของระบบ TIB เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารกึ่งแข็ง ข้อได้เปรียบนี้เกิดจากการที่อาหารเหลวช่วยให้เนื้อเยื่อสัมผัสกับธาตุอาหารได้อย่างทั่วถึง ประกอบกับการจมชั่วคราวที่ช่วยเพิ่มการแลกเปลี่ยนก๊าซและลดการสะสมของสารยับยั้งการเจริญเติบโตโดย Bello-Bello และคณะ [18] รายงานผลการเพาะเลี้ยงแก้วมังกร (*Hylocereus undatus*) ในระบบ TIB ว่ามีอัตราการเพิ่มจำนวนสูงเป็นสองเท่าเมื่อเทียบกับอาหารกึ่งแข็งและอาหารจมบางส่วน โดยไม่พบความแตกต่างในขนาดของยอด ซึ่งเป็นผลจากอาหารเหลวในระบบจมชั่วคราว ช่วยให้ธาตุอาหารและสารควบคุมการเจริญเติบโตพร้อมใช้งานมากขึ้น และมีพื้นผิวสัมผัสระหว่างชิ้นส่วนเริ่มต้นและอาหารเพาะเลี้ยงมากกว่าอาหารกึ่งแข็ง เช่นเดียวกับ Uma และคณะ [19] รายงานผลการเพาะเลี้ยงกล้วย (*Musa* spp.) ว่าระบบ TIB สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดยอดได้ 1.8 ถึง 2.7 เท่าเมื่อเทียบกับอาหารกึ่งแข็ง และในการศึกษาการขยายพันธุ์หน้าวัว (*Anthurium andraeanum*) ของ Martinez-Estrada และคณะ [20] พบว่าระบบ TIB ให้จำนวนยอดสูงกว่า (31.50 ยอด/ชิ้นส่วน) อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับระบบจมบางส่วน (7.25 ยอด) และอาหารกึ่งแข็ง (4.50 ยอด)

การศึกษานี้เป็นรายงานแรกเกี่ยวกับการใช้ระบบ TIB สำหรับการเพาะเลี้ยงฟีโลเดนดรอนเบอร์กินสำหรับการพัฒนาวิธีการขยายพันธุ์เชิงพาณิชย์ในอนาคต อย่างไรก็ตามยังคงมีความจำเป็นในการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพาะเลี้ยงฟีโลเดนดรอนเบอร์กินในระบบ TIB รวมถึงชนิดและความเข้มข้นของไซโทไคนิน ความถี่และระยะเวลาการจม และความหนาแน่นของชิ้นส่วนเริ่มต้น เพื่อให้ได้วิธีการเพาะเลี้ยงที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการผลิตเชิงพาณิชย์

ในขั้นตอนการย้ายปลูกต้นอ่อนฟีโลเดนดรอนเบอร์กินที่ได้จากการเพาะเลี้ยงโดยภายหลังการย้ายต้นอ่อนออกปลูกเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าต้นอ่อนทุกต้นมีอัตราการรอดชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีความแข็งแรงและวิธีที่ใช้เพื่อการปรับสภาพเบื้องต้นมีความเหมาะสม

ผลที่ได้จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าชนิดของวัสดุปลูกมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของต้นกล้า โดยวัสดุปลูกสูตรผสมระหว่างพีทมอสและขุยมะพร้าว (1:1 โดยปริมาตร) ให้ผลการเจริญเติบโตโดยรวมดีที่สุด ทั้งในด้านความสูง จำนวนใบ และการเกิดราก โดยองค์ประกอบทั้งสองส่วนมีคุณสมบัติที่ส่งเสริมซึ่งกันและกัน พีทมอสเป็นวัสดุปลูกคุณภาพสูงที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง มีคุณสมบัติเด่นในการอุ้มน้ำและความชื้นได้ดีเยี่ยม [2, 26] และมักมีธาตุอาหารเริ่มต้นที่จำเป็นต่อพืชสูงกว่าวัสดุปลูกบางชนิด [30] ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ส่งเสริมการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินได้เป็นอย่างดี ดังที่เห็นได้จากผลการทดลองว่าต้นกล้าที่ปลูกในพีทมอสมีความสูงอยู่ในกลุ่มสูงสุด อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของพีทมอสคืออาจกักเก็บน้ำไว้มากเกินไปและไม่ใช่อากาศที่ดีที่สุดสำหรับการพัฒนาระบบรากเมื่อเทียบกับวัสดุที่โปร่งกว่า [2] การนำขุยมะพร้าวซึ่งมีคุณสมบัติเด่นด้านความโปร่งและการระบายอากาศที่ดีมาผสมจึงช่วยแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวได้ ทำให้เกิดความสมดุลที่ลงตัวระหว่างการกักเก็บความชื้นและการถ่ายเทอากาศในระบบราก ส่งผลให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์ทั้งส่วนเหนือดินและใต้ดิน อีกทั้งการใช้ขุยมะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุปลูกที่มีการผลิตในประเทศและมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกชนิดอื่นๆ มาเป็นส่วนผสมสามารถช่วยลดต้นทุนของวัสดุปลูกได้เป็นอย่างดี ในขณะที่ต้นกล้าที่ปลูกในพีทมอสเพียงอย่างเดียวแม้จะมีความสูงที่ดี แต่มีจำนวนใบและระบบรากที่ด้อยกว่าสูตรผสม อาจเนื่องมาจากการระบายอากาศในระบบรากไม่ดีเท่าที่ควร ในทางตรงกันข้ามต้นที่ปลูกในขุยมะพร้าวเพียงอย่างเดียวมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด อาจมีสาเหตุมาจากการขาดธาตุอาหารและความสามารถในการอุ้มน้ำที่ด้อยกว่าพีทมอส ในส่วนของวัสดุผสมพีทมอสและหินภูเขาไฟ (1:1 โดยปริมาตร) ให้ผลดีเช่นกัน แต่ยังคงด้อยกว่าสูตรพีทมอสผสมขุยมะพร้าว อาจเป็นเพราะหินภูเขาไฟเป็นวัสดุเฉื่อยที่ช่วยเรื่องการระบายอากาศเพียงอย่างเดียว แต่ไม่มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำหรือธาตุอาหาร [31] โดยผลการทดลองในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ทดสอบวัสดุปลูกใน *P. 'White Knight'* [10] อโกลนีมา [26] และอะกาเว (*Agave angustifolia* Haw) [20] ที่ระบุว่าการใช้วัสดุปลูกแบบผสม (mixed substrates) มักให้ผลลัพธ์ในการปรับสภาพพืชที่ดีกว่าการใช้วัสดุปลูกชนิดเดียว เนื่องจากสามารถสร้างสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างครอบคลุม ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงสรุปได้ว่า วัสดุปลูกสูตรผสมระหว่างพีทมอสและขุยมะพร้าวในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตรเป็นสูตรที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับการปรับสภาพและผลิตต้นฟิโลเดนดรอนเบอร์กัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรวิทยาศาสตรชีวภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมชีวภาพ ฝ่ายกิจการนิสิต และคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนที่ให้การสนับสนุนทุนการทำวิจัยในครั้งนี้

References

- [1] Alawaadh, A. A., et al. (2020). Micropropagation of Lacy Tree Philodendron (*Philodendron bipinnatifidum* Schott ex Endl.). *HortScience*, 55(3), 294-299.
- [2] Klanrit, P., et al. (2023). In Vitro Propagation of *Philodendron erubescens* 'Pink Princess' and Ex Vitro Acclimatization of the Plantlets. *Horticulturae*, 9(6), 688.
- [3] Oboni, K. A., & Hossain, M. A. (2025). Exploring the Diversity, Propagation, Impacts, and Market Dynamics of Houseplants: Current Trends and Future Prospects. *Technology in Horticulture*, 5, e010.

- [4] Sreekumar, S., et al. (2001). Morphogenetic Responses of Six *Philodendron* Cultivars In Vitro. *Indian Journal of Experimental Biology*, 39(12), 1280-1287.
- [5] Chen, F. C., et al. (2012). Micropropagation of Self-Heading *Philodendron* Via Direct Shoot Regeneration. *Scientia Horticulturae*, 141, 23-29.
- [6] Han, B. H., & Park, B. M. (2008). In Vitro Micropropagation of *Philodendron cannifolium*. *Journal of Plant Biotechnology*, 35(3), 203-208.
- [7] Mongkolsawat, W., et al. (2023). Effects of BA, TDZ, and NAA on Growth of *Philodendron* 'Birkin' In Vitro. *PSRU Journal of Science and Technology*, 8(1), 27-36. (in Thai)
- [8] Akramian, M., et al. (2024). Optimization of Plant Growth Regulators for In Vitro Mass Propagation of *Philodendron* cv. Birkin Through Shoot Tip Culture. *Greenhouse Plant Production Journal*, 1(1), 55-62.
- [9] Tasnim, N., et al. (2025). In Vitro Mass Propagation of *Philodendron* cv. 'Birkin' Through Direct and Indirect Organogenesis. *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, 35(1), 105-116.
- [10] Kang, I., & Sivanesan, I. (2025). Micropropagation of *Philodendron* 'White Knight' Via Shoot Regeneration From Petiole Explants. *Plants*, 14(11), 1714.
- [11] Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays With Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473-497.
- [12] van Staden, J., Zazimalová, E., & George, E.F. (2008). Plant Growth Regulators II: Cytokinins, their Analogues and Antagonists. In E.F. George, M.A. Hall, & G-J. De Klerk (Eds.), *Plant Propagation by Tissue Culture: Volume 1. The Background* (3rd ed., p. 205–226). Dordrecht : Springer.
- [13] Khamrit, R., & Jongrunklang, N. (2024). Determining Optimal Mutation Induction of *Philodendron billietiae* Using Gamma Radiation and In Vitro Tissue Culture Techniques. *Horticulturae*, 10(11), 1164.
- [14] Muhammad, A., et al. (2007). Proliferation-Rate Effects of BAP and Kinetin on Banana (*Musa* spp. AAA Group) 'Basrai'. *HortScience*, 42(5), 1253-1255.
- [15] Ashraf, M. F., et al. (2014). Effect of Cytokinin Types, Concentrations and Their Interactions on In Vitro Shoot Regeneration of *Chlorophytum borivillianum* Sant. & Fernandez. *Electronic Journal of Biotechnology*, 17(5), 275-279.
- [16] Grzegorzczak-Karolak, I., et al. (2020). The Stimulatory Effect of Purine-Type Cytokinins on Proliferation and Polyphenolic Compound Accumulation in Shoot Culture of *Salvia viridis*. *Biomolecules*, 10(2), 178.
- [17] Etienne, H., & Berthouly, M. (2002). Temporary Immersion Systems in Plant Micropropagation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 69(3), 215-231.
- [18] Bello-Bello, J. J., et al. (2021). A Temporary Immersion System for Mass Micropropagation of Pitahaya (*Hylocereus undatus*). *3 Biotech*, 11(10), 437.
- [19] Uma, S., et al. (2021). A Novel Temporary Immersion Bioreactor System for Large Scale Multiplication of Banana (Rasthali AAB—Silk). *Scientific Reports*, 11, 20371.

- [20] Martínez-Estrada, E., et al. (2019). Temporary Immersion Improves In Vitro Multiplication and Acclimatization of *Anthurium andreanum* Lind. *Scientia Horticulturae*, 249, 185-191.
- [21] Ramírez-Mosqueda, M. A., & Iglesias-Andreu, L. G. (2016). Evaluation of Different Temporary Immersion Systems (BIT®, BIG, and RITA®) in the Micropropagation of *Vanilla planifolia* Jacks. *In Vitro Cellular & Developmental Biology—Plant*, 52(2), 154-160.
- [22] Lotfi, M., et al. (2020). Effects of Meta-Topolin Derivatives and Temporary Immersion on Hyperhydricity and In Vitro Shoot Proliferation in *Pyrus communis*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 143(3), 499-505.
- [23] Rico, S., et al. (2022). A Temporary Immersion System to Improve *Cannabis sativa* Micropropagation. *Frontiers in Plant Science*, 13, 895971.
- [24] Guerra, F., et al. (2025). In Vitro Propagation of *Peumus boldus* Molina Using a Temporary Immersion System. *Horticulturae*, 11(2), 142.
- [25] Trasar-Cepeda, C., et al. (2023). Effect of Soil Type and In Vitro Proliferation Conditions on Acclimation and Growth of Willow Shoots Micropropagated in Continuous Immersion Bioreactors. *Plants*, 12(1), 132.
- [26] Barakat, A. A., & Gaber, M. K. (2018). Micropropagation and Ex Vitro Acclimatization of *Aglaonema* Plants. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 8(4), 1425-1436.
- [27] Lloyd, G., & McCown, B. H. (1980). Commercially-Feasible Micropropagation of Mountain Laurel, *Kalmia latifolia*, by Shoot Tip Culture. *Combined Proceedings—International Plant Propagator's Society*, 30, 421-427.
- [28] Driver, A., & Kuniyuki, A. H. (1984). In Vitro Propagation of Paradox Walnut Rootstock. *HortScience*, 19(4), 507-509.
- [29] Royani, J. I., et al. (2021). Effect of Benzilaminopurine and Kinetin for Shoot Multiplication of Indigofera (*Indigofera zollingeriana* Miq.) by In Vitro Culture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 637(1), 012053.
- [30] Trasar-Cepeda, C., et al. (2023). Effect of Soil Type and In Vitro Proliferation Conditions on Acclimation and Growth of Willow Shoots Micropropagated in Continuous Immersion Bioreactors. *Plants*, 12(1), 132.
- [31] De la Cruz-Olvera, A., et al. (2025). Micropropagation of *Agave angustifolia* Haw., for Use and Conservation Purposes. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 16(88), 98-123.