การพัฒนาวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการผลิตต้นพันธุ์เบญจมาศ โดยใช้ระบบจมชั่วคราว ไมโครโพนิกส์ และไฮโดรโพนิกส์

ไอรดา ถิ่นศรี

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2566

การพัฒนาวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการผลิตต้นพันธุ์เบญจมาศ โดยใช้ระบบจมชั่วคราว ไมโครโพนิกส์ และไฮโดรโพนิกส์

ไอรดา ถิ่นศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การพัฒนาวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการผลิตต้นพันธุ์เบญจมาศ
โดยใช้ระบบจมชั่วคราว ไมโครโพนิกส์ และไฮโดรโพนิกส์

ไอรดา ถิ่นศรี

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา ภูมิสุทธาผล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีกาญจนา คล้ายเรือง)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวลี อันพาพรม)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนุช เนียมทรัพย์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง การพัฒนาวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการผลิตต้นพันธุ์เบญจมาศ โดยใช้ระบบจมชั่วคราว ไมโครโพนิกส์ และไฮโดรโพนิกส์

ชื่อผู้เขียน นางสาวไอรดา ถิ่นศรี

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา ภูมิสุทธาผล

บทคัดย่อ

เบญจมาศเป็นไม้ตัดดอกเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยและในระดับโลก ในปัจจุบันการขยายพันธุ์เบญจมาศในระดับอุตสาหกรรมส่วนใหญ่อาศัยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแบบดั้งเดิม คือ อาหารกึ่งแข็ง ในงานวิจัยนี้ใช้เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงที่ทันสมัยเพื่อพัฒนาวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการขยายพันธุ์เบญจมาศ ในขั้นตอนการขยายพันธุ์ด้วยวิธีเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อระยะการเพิ่มปริมาณยอดได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเบญจมาศพันธุ์ WG โดยนำชิ้นส่วนข้อเดี่ยวมาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ¼ MS, ½ MS และ MS ที่เติม 6-benzylaminopurine (BAP) 0, 0.25, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ทุกกรรมวิธีเกิดยอดใหม่เท่ากัน คือ 1.00 ยอดต่อชิ้นส่วน และมีจำนวนข้อต่อยอดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอาหารกึ่งแข็งสูตร ½ MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตทำให้ยอดมีความสูง จำนวนข้อต่อยอด และน้ำหนักสดของยอดมากที่สุด คือ 7.36 เซนติเมตร, 7.40 ข้อต่อยอด และ 333.07 มิลลิกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบผลของระบบเพาะเลี้ยง โดยนำชิ้นส่วนข้อเดี่ยวมาเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร ½ MS ที่ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโต และใช้ระบบจมชั่วคราว (temporary immersion system: TIS) แบบขวดแฝดที่ให้อาหารเหลวทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 4, 5 และ 6 นาที เปรียบเทียบกับการเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็ง เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า การให้อาหารเหลวทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 5 นาที มีความเหมาะสมที่สุด โดยทำให้มีจำนวนยอดต่อชิ้นส่วน จำนวนข้อต่อยอด น้ำหนักสดของยอดสูงที่สุด คือ 1.40 ยอดต่อชิ้นส่วน, 10.10 ข้อต่อยอด และ 841.67 มิลลิกรัม ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มขึ้น 1.40, 1.42 และ 2.53 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง อย่างไรก็ตามพบการฉ่ำน้ำ (50%) เป็นลักษณะที่ผิดปกติเฉพาะการให้อาหารเหลวทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 6 นาที ในระยะชักนำให้ออกรากในสภาพปลอดเชื้อได้เปรียบเทียบผลของระบบเพาะเลี้ยงด้วยเช่นกัน โดยนำชิ้นส่วนข้อเดี่ยวมาเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ใช้อาหารสูตร ½ MS หรือเติม 1-naphthaleneacetic acid (NAA) 0, 0.05, 0.10, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า การเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS โดยไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตมีความเหมาะสมที่สุด โดยสามารถชักนำให้ออกรากได้เร็วที่สุด คือ 7.50 วัน และยังทำให้มีความยาวราก ความสูงต้น จำนวนใบต่อต้น และน้ำหนักสดของต้นมากที่สุด คือ 13.20 เซนติเมตร, 5.37 เซนติเมตร, 5.40 ใบต่อต้น และ 379.04 มิลลิกรัม ตามลำดับ สำหรับการทดสอบ

การชักนำให้ออกรากในระบบไมโครโพนิกส์ได้นำชิ้นส่วนยอดแช่สารละลาย NAA 0, 100, 250, 500 และ 1000 ppm ก่อนนำไปเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีอาหารเหลวสูตร ½ MS ซึ่งไม่เติมน้ำตาลและสารควบคุมการเจริญเติบโตเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ชิ้นส่วนยอดที่ไม่ได้แช่สารละลาย NAA มีอัตราการรอดชีวิตของต้นสูงที่สุด คือ 77.78% และออกรากได้เร็วที่สุด คือ 7.30 วัน และยังมีความยาวราก ความสูงต้น จำนวนใบต่อต้น และน้ำหนักสดของต้นมากที่สุด คือ 13.31 เซนติเมตร, 4.79 เซนติเมตร, 5.86 ใบต่อต้น และ 93.30 มิลลิกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบผลของจำนวนรูระบายอากาศในระบบไมโครโพนิกส์ ได้แก่ 0, 1, 3 และ 5 รู เมื่อเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนยอดเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า การใช้ระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศ 5 รู ให้ผลดีที่สุด โดยทำให้มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้น ความยาวราก ความสูงต้น จำนวนใบต่อต้น และน้ำหนักสดของต้นมากที่สุด ที่สุด คือ 100%, 14.66 เซนติเมตร, 6.19 เซนติเมตร, 6.43 ใบต่อต้น และ 162.60 มิลลิกรัม ตามลำดับ เมื่อนำต้นเบญจมาศที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์มาอนุบาลในโรงเรือนเปรียบเทียบกับระบบไฮโดรโพนิกส์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า ต้นที่อนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์ทั้งหมดมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูงถึง 100% ในขณะที่ต้นที่อนุบาลในโรงเรือนมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตลดลง คือ 66.67-73.33% โดยการใช้ต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS และอนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์ทำให้มีความสูงต้น จำนวนใบต่อต้น และน้ำหนักสดของต้นมากที่สุด คือ 13.64 เซนติเมตร, 10.70 ใบต่อต้น และ 4667.72 มิลลิกรัม ตามลำดับ ผลการศึกษาที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิการผลิตต้นพันธุ์เบญจมาศจากการใช้เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS ระบบไมโครโพนิกส์ และระบบไฮโดรโพนิกส์ผสมผสานกัน

คำสำคัญ : เบญจมาศ, การเพิ่มปริมาณยอด, การชักนำให้ออกราก, การอนุบาลต้น, ระบบจมชั่วคราว, ระบบไมโครโพนิกส์, ระบบไฮโดรโพนิกส์

Title DEVELOPMENT OF EFFICIENT PROTOCOL FOR CHRYSANTHEMUM PROPAGATION BY USING TEMPORARY IMMERSION, MICROPONIC AND HYDROPONIC SYSTEMS

Author Miss Irada Thinsri

Degree Master of Science in Biotechnology

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Paweena Pumisutapon

ABSTRACT

Chrysanthemums are economically important cut flowers in Thailand and globally. Currently, most industrial-scale chrysanthemum propagation relies on traditional tissue culture based on semi-solid media. In this research, modern cultivation technology was used to develop more efficient means to propagate chrysanthemums. During the multiplication stage of *in vitro* propagation, factors affecting the growth of chrysanthemums cultivar 'WG' were investigated. The single node explants were cultured on ¼ MS, ½ MS, and MS semi-solid media supplemented with 0, 0.25, 0.50, and 1.00 mg/L of 6-benzylaminopurine (BAP). After 8 weeks, it was found that all treatments yielded the same number of new shoots, i.e., 1 shoot per explant, while the number of nodes per shoot was also not statistically different. Interestingly, the non-supplemented ½ MS semi-solid medium exhibited the highest shoot length, number of nodes per shoot, and shoot fresh weight of 7.36 cm, 7.40 nodes per shoot, and 333.07 mg, respectively. Further, the influence of the culture systems was also examined. Single node explants were cultured in a growth regulator-free ½ MS medium in a twin-flasks temporary immersion system (TIS) that fed liquid medium every 24 h for 4, 5, and 6 min each time. We compared the TIS to the semi-solid medium cultures. After 8 weeks, it was showed that the TIS liquid feeding every 24 h for 5 min was the most efficient as it led to the highest number of shoots per explant (1.40 shoots per explant), the number of nodes per shoot (10.10 nodes), and the shoot fresh weight (841.67 mg). These numbers were 1.40, 1.42, and 2.53-fold increases, respectively, compared to the semi-solid media counterparts. However, the hyperhydricity (50%) was found to be abnormal with the 6-min liquid medium feeding every 24 h. The influence of the culture systems also compared during the *in vitro* rooting phase. Single

node explants were cultured in a semi-solid medium and TIS system using ½ MS medium supplemented with 0, 0.05, 0.10, 0.50, or 1.00 mg/L of 1-naphthaleneacetic acid (NAA). When cultured for 4 weeks, we found the growth regulator-free TIS culture to be the most suitable method. It enabled rooting as soon as 7.50 days and led to the highest numbers in terms of root length, plant height, number of leaves per explant, and fresh weight of the plants (13.20 cm, 5.37 cm, 5.40 leaves per plant, and 379.04 mg, respectively). To evaluate the rooting under a microponic system, the shoot explants were submerged in 0, 100, 250, 500, and 1000 ppm of NAA solution before being cultured in ½ MS liquid medium without added sugar or growth regulators for 4 weeks. As a result, we found the NAA-free (non-treated) plants with the highest survival rate of 77.78% and the fastest rooting time of 7.30 days. Additionally, they had the longest root length, plant height, number of leaves per explant, and the highest fresh weight of 13.31 cm, 4.79 cm, 5.86 leaves per plant, and 93.30 mg, respectively. Furthermore, we explored the influence of the number of ventilation holes in the microponics system by comparing the 4-week growth of the plants in the system with 0, 1, 3, and 5 holes. We found that using a microponic system with 5 ventilation holes gave the best results. This system yielded the highest percentage of plant survival, root length, plant height, number of leaves per plant, and fresh weight of 100%, 14.66 cm, 6.19 cm, 6.43 leaves per plant, and 162.60 mg, respectively. Finally, when acclimatizing the rooted chrysanthemum plants from semi-solid media, TIS, and microponic systems in the greenhouse vs. hydroponic cultivation for 8 weeks, we found a 100% survival rate of those acclimatized under the hydroponic system. In contrast, the survival percentage decreased to 66.67-73.33% when acclimatized under the canonical greenhouse system. Using rooted plants from TIS cultures under hydroponic cultivation maximized the plant height, number of leaves per plant, and fresh weight to 13.64 cm, 10.70 leaves per plant, and 4667.72 milligrams, respectively. The results can be used as a guideline for optimizing chrysanthemum production using a combination of TIS, microponics, and hydroponics systems.

Keywords : chrysanthemum, multiplication, root induction, acclimatization, temporary immersion system, microponic system, hydroponic system

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นผลงานที่ผู้ข้าพเจ้าได้ทุ่มเททั้งแรงกายแรงใจ และใช้สติปัญญาในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ โดยได้รับความช่วยเหลือจากประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา ภูมิสุทธาผล และกรรมการที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุวลี อันพาพรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีกาญจนา คล้ายเรือง ที่คอยให้ความรู้คำแนะนำ และคำปรึกษา ตลอดจนให้ความดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีในระหว่างการดำเนินงานวิจัย จนกระทั้งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชณี แสงทอง ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์นี้ ตลอดจนให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่การปรับปรุงแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์นี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ บริษัท ธนกริช อินเตอร์เทรด จำกัด ที่เอื้อเฟื้อต้นพันธุ์เบญจมาศสำหรับใช้ในการทดลองครั้งนี้

ขอขอบคุณ วิสาหกิจชุมชนไฮโดรเฟรช จังหวัดเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และวัสดุปลูก สำหรับการทดลองอนุบาลต้นพืช

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ประเภททุนศิษย์ก้นกุฏิ ประจำปีการศึกษา 2562

ขอขอบคุณ คณะกรรมการส่งเสริมกิจการมหาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนประเภททุนการศึกษาแบบต่อเนื่อง ระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีการศึกษา 2562

ขอขอบคุณ นางสาวอริสรา ติ๊บปะละวงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการวิเคราะห์ข้อมูลและประสานงานในการจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์นี้

นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่มอบโอกาสในการศึกษาเล่าเรียนพร้อมทั้งมอบความรักความห่วงใยมาโดยตลอด และขอขอบพระคุณพี่ ๆ น้อง ๆ จากห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เปรียบเสมือนครอบครัวที่แสนจะอบอุ่นและมีความสุข โดยคอยช่วยเหลือและชี้แนะแนวทางในด้านต่าง ๆ

ประโยชน์และความดีใดที่พึงมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณ บุคคลรุ่นหลังที่ได้นำความรู้ที่ได้ไปศึกษาและต่อยอด ตลอดจนครูอาจารย์ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้

ไอรดา ถิ่นศรี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

วัตถุประสงค์การวิจัย 2

ขอบเขตงานวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและตรวจเอกสาร 3

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และพันธุ์ของเบญจมาศ 3

แหล่งผลิตเบญจมาศ 5

การขยายพันธุ์เบญจมาศ 6

การขยายพันธุ์พืชด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (micropropagation) 7

การฉ่ำน้ำ (hyperhydricity) 9

ขั้นตอนการขยายพันธุ์พืชด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ 10

รายงานวิจัยที่ศึกษาการขยายพันธุ์เบญจมาศด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ 12

เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชด้วยระบบจมชั่วคราว 13

รายงานวิจัยที่ศึกษาการขยายพันธุ์เบญจมาศระบบไบโอรีแอคเตอร์ 14

ระบบไมโครโพนิกส์ (microponic system) 15

ระบบไฮโดรโพนิกส์ (hydroponic system) 18

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 21
สารเคมี วัสดุอุปกรณ์ และพืชทดลอง 21
การเตรียมต้นเบญจมาศในสภาพปลอดเชื้อเพื่อใช้เป็นแหล่งชิ้นส่วนตั้งต้นสำหรับการทดลอง 24
การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของความเข้มข้นสูตรอาหารและ BAP ต่อการเพิ่มปริมาณยอดบนอาหารกึ่งแข็ง 25
การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของระบบเพาะเลี้ยงต่อการเพิ่มปริมาณยอด 25
การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของระบบเพาะเลี้ยงและ NAA ต่อการชักนำให้ออกรากในสภาพปลอดเชื้อ 26
การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของ NAA ต่อการชักนำให้ออกรากในระบบไมโครโพนิกส์ 26
การทดลองที่ 5 ศึกษาผลของจำนวนรูระบายอากาศต่อการชักนำให้ออกรากในระบบ 27
ไมโครโพนิกส์ 27
การทดลองที่ 6 ศึกษาผลของวิธีอนุบาลต้นต่อการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตหลังย้ายปลูก 28
การวิเคราะห์ข้อมูล 29
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 30
ผลของความเข้มข้นสูตรอาหารและ BAP ต่อการเพิ่มปริมาณยอดบนอาหารกึ่งแข็ง 30
ผลของระบบเพาะเลี้ยงต่อการเพิ่มปริมาณยอด 34
ผลของระบบเพาะเลี้ยงและ NAA ต่อการชักนำให้ออกรากในสภาพปลอดเชื้อ 41
ผลของออกซินต่อการชักนำให้ออกรากในระบบไมโครโพนิกส์ 48
ผลของจำนวนรูระบายอากาศต่อการชักนำให้ออกรากในระบบไมโครโพนิกส์ 56
ผลของวิธีการเพาะเลี้ยงต้นออกรากต่อการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตหลังย้ายปลูก 64
วิจารณ์ผลการทดลอง 70
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 75
บรรณานุกรม 76
ภาคผนวก 81

การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลองที่ 1 ศึกษาผลของความเข้มข้นสูตรอาหารและ BAP ต่อการเพิ่มปริมาณยอดบนอาหารกึ่งแข็ง 82
การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลองที่ 2 ผลของระบบเพาะเลี้ยงต่อการเพิ่มปริมาณยอด 85
การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลองที่ 3 ผลของระบบเพาะเลี้ยงและ NAA ต่อการชักนำให้ออกรากในสภาพปลอดเชื้อ 90
การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลองที่ 4 ผลของออกซินต่อการชักนำให้ออกรากในระบบ..... 96
ไมโครโพนิกส์ 96
การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลองที่ 5 ผลของจำนวนรูระบายอากาศต่อการชักนำให้ออกรากในระบบไมโครโพนิกส์ 103
การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลองที่ 6 ผลของวิธีการเพาะเลี้ยงต้นออกรากต่อการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตหลังย้ายปลูก 109
ประวัติผู้วิจัย 112

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ความหลากหลายของสายพันธุ์เบญจมาศ 4

ภาพที่ 2 หลักการทำงานของระบบ TIS แบบขวดแฝด 14

ภาพที่ 3 การเพาะเลี้ยงพืชในระบบไมโครโพนิกส์โดยใช้กล่องพลาสติก 16

ภาพที่ 4 การทำงานของระบบไฮโดรโพนิกส์แบบ DRFT 19

ภาพที่ 5 ชุดภาชนะระบบ TIS แบบขวดแฝด 22

ภาพที่ 6 กล่องพลาสติกขนาด 11.5×11.5×7.5 เซนติเมตร ที่มีรูระบายอากาศจำนวน 1 รู สำหรับเพาะเลี้ยงพืชในระบบไมโครโพนิกส์ 23

ภาพที่ 7 กล่องพลาสติกขนาด 11.0×18.0×6.5 เซนติเมตร ที่มีรูระบายอากาศจำนวน 0-5 รู สำหรับเพาะเลี้ยงพืชด้วยระบบไมโครโพนิกส์ 23

ภาพที่ 8 ต้นแม่พันธุ์เบญจมาศในแปลงปลูก 24

ภาพที่ 9 ต้นเบญจมาศที่เจริญในสภาพปลอดเชื้อสำหรับใช้ทำการทดลองต่าง ๆ 25

ภาพที่ 10 การเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนยอดเบญจมาศด้วยระบบไมโครโพนิกส์ โดยห่อส่วนโคนด้วยก้อนฟองน้ำ (ซ้าย) และเก็บในกล่องพลาสติกขนาด 11.5×11.5×7.5 เซนติเมตร ที่มีอาหารเหลว (ขวา). 27

ภาพที่ 11 การอนุบาลต้นเบญจมาศในโรงเรือนและระบบไฮโดรโพนิกส์ 28

ภาพที่ 12 แผนดำเนินการทดลองต่าง ๆ ในงานวิจัยเรื่อง “การพัฒนาวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการผลิตต้นพันธุ์เบญจมาศ โดยใช้ระบบจมชั่วคราว ไมโครโพนิกส์ และไฮโดรโพนิกส์” 29

ภาพที่ 13 ลักษณะยอดใหม่ที่เกิดขึ้นจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ¼ MS, ½ MS และ MS ที่ไม่เติมหรือเติม BAP ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (bar = 1 เซนติเมตร) 30

ภาพที่ 14 ความยาวยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ¼ MS, ½ MS และ MS ที่ไม่เติมหรือเติม BAP ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 31

ภาพที่ 15 จำนวนข้อของยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ¼ MS, ½ MS และ MS ที่ไม่เติมหรือเติม BAP ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 32

ภาพที่ 16 น้ำหนักสดของยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ¼ MS, ½ MS และ MS ที่ไม่เติมหรือเติม BAP ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 33

ภาพที่ 17 ลักษณะยอดใหม่ที่เกิดขึ้นจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 4, 5 และ 6 นาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (bar = 1 เซนติเมตร)..... 34

ภาพที่ 18 การเพิ่มปริมาณยอดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 5 นาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (bar = 1 เซนติเมตร) 35

ภาพที่ 19 ยอดที่มีลักษณะฉ่ำน้ำเมื่อเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศด้วยระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 6 นาที..... 35

ภาพที่ 20 จำนวนยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 4, 5 และ 6 นาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)..... 36

ภาพที่ 21 ความยาวยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 4, 5 และ 6 นาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)..... 37

ภาพที่ 22 จำนวนข้อของยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 4, 5 และ 6 นาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)..... 38

ภาพที่ 23 น้ำหนักสดของยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 4, 5 และ 6 นาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)..... 39

ภาพที่ 24 เปอร์เซ็นต์การฉ่ำน้ำของยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 4, 5 และ 6 นาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 40

ภาพที่ 25 ลักษณะต้นออกรากที่เกิดขึ้นจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (bar = 1 เซนติเมตร)..... 41

ภาพที่ 26 วันที่เริ่มออกรากของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 42

ภาพที่ 27 จำนวนรากของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 43

ภาพที่ 28 ความยาวรากของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 44

ภาพที่ 29 ความสูงของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 45

ภาพที่ 30 จำนวนใบของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

(แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 46

ภาพที่ 31 น้ำหนักสดของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 47

ภาพที่ 32 ลักษณะต้นออกรากจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (bar = 1 เซนติเมตร) 48

ภาพที่ 33 เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นออกรากจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)..... 49

ภาพที่ 34 วันที่เริ่มออกรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)..... 50

ภาพที่ 35 จำนวนรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)..... 51

ภาพที่ 36 ความยาวรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)..... 52

ภาพที่ 37 ความสูงของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)..... 53

ภาพที่ 38 จำนวนใบของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 54

ภาพที่ 39 น้ำหนักสดของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 55

ภาพที่ 40 ลักษณะต้นออกรากจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (bar = 1 เซนติเมตร) 56

ภาพที่ 41 เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นออกรากจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 57

ภาพที่ 42 วันที่เริ่มออกรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 58

ภาพที่ 43 จำนวนรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 59

ภาพที่ 44 ความยาวรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) 60

ภาพที่ 45 ความสูงของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อน

มาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)..... 61

ภาพที่ 46 จำนวนใบของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)..... 62

ภาพที่ 47 น้ำหนักสดของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)..... 63

ภาพที่ 48 การเจริญเติบโตของต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์เมื่ออนุบาลในโรงเรือนเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (ลูกศรชี้ = หน่อแตกใหม่, bar = 1 เซนติเมตร)..... 64

ภาพที่ 49 การเจริญเติบโตของต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์เมื่ออนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (ลูกศรชี้ = หน่อแตกใหม่, bar = 1 เซนติเมตร)..... 65

ภาพที่ 50 เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์เมื่ออนุบาลในโรงเรือนและระบบไฮโดรโพนิกส์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์.... 66

ภาพที่ 51 ความสูงของต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์เมื่ออนุบาลในโรงเรือนและระบบไฮโดรโพนิกส์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์..... 67

ภาพที่ 52 จำนวนใบของต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์เมื่ออนุบาลในโรงเรือนและระบบไฮโดรโพนิกส์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์..... 68

ภาพที่ 53 น้ำหนักสดของต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบ ไมโครโพนิกส์เมื่ออนุบาลในโรงเรือนและระบบไฮโดรโพนิกส์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์..... 69

บทที่ 1
บทนำ

เบญจมาศเป็นไม้ตัดดอกที่มีปริมาณการผลิตและมูลค่าการจำหน่ายสูงเป็นอันดับ 2 ของโลก รองจากกุหลาบ โดยได้รับความนิยมสูงเนื่องจากมีสีสัน ขนาด และรูปทรงที่สวยงามหลากหลาย มีอายุการปักแจกันที่ยาวนาน นอกนี้ยังสามารถนำมาแปรรูป เช่น ทำชาดอกเก๊กฮวย มีสรรพคุณทางยาที่ดี ส่งผลให้มีความต้องการต้นพันธุ์เบญจมาศสูงยิ่งขึ้น แต่การผลิตต้นพันธุ์โดยวิธีการแบบดั้งเดิม เช่น การปักชำ มีข้อจำกัดที่ได้อัตราการเพิ่มปริมาณและมีคุณภาพต่ำ จึงมีการนำวิธีการขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเลี้ยงเนื้อพืชมาใช้ในการผลิตต้นพันธุ์เบญจมาศ เนื่องจากสามารถผลิตต้นปลอดโรคได้เป็นจำนวนมากในระยะเวลาสั้น นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชรูปแบบใหม่ คือ ระบบจมชั่วคราว (temporary immersion system: TIS) ซึ่งกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เป็นระบบที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการขยายพันธุ์พืชที่สูงกว่าวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแบบดั้งเดิม (อาหารกึ่งแข็ง) หลายเท่า ดังนั้นจึงมีการนำมาใช้ในการผลิตต้นพันธุ์พืชเศรษฐกิจหลายชนิด

อย่างไรก็ตามการผลิตต้นพันธุ์โดยกระบวนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ในการนำต้นเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อออกปลูกในโรงเรือนต้องปฏิบัติด้วยความเชี่ยวชาญ เนื่องจากหากปฏิบัติไม่เหมาะสมอาจทำให้ประสบปัญหาอัตราการรอดชีวิตของพืชต่ำได้ เนื่องจากสภาพแวดล้อมในโรงเรือนและในภาชนะเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแตกต่างกันมาก ดังนั้นต้องอาศัยวิธีการปรับสภาพต้นที่เหมาะสมเพื่อให้ต้นพันธุ์มีอัตราการรอดชีวิตสูงขึ้น แนวทางหนึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อปรับสภาพต้นเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ คือ ระบบไมโครโพนิกส์ (microponic system) ซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่างการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและระบบไฮโดรโพนิกส์ (hydroponic system) วิธีการนี้ปฏิบัติได้ง่ายโดยนำพืชมาเพาะเลี้ยงในภาชนะขนาดใหญ่ที่หาซื้อได้ทั่วไป เช่น กล่องพลาสติก สามารถบรรจุต้นได้เป็นจำนวนมากจึงลดพื้นที่เพาะเลี้ยงและการปฏิบัติดูแลพืชทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก โดยพืชที่เลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เมื่อนำไปออกปลูกในโรงเรือนจะมีอัตราการรอดชีวิตสูงขึ้น นอกจากนี้ในการนำพืชในขวดเพาะเลี้ยงออกปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์กำลังได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจากเป็นระบบที่พืชได้รับสารอาหารและน้ำอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการเจริญเติบโตดี มีความสะอาดสูงเนื่องจากไม่ใช้ดินเป็นวัสดุปลูก รวมทั้งสามารถควบคุมโรคและแมลงศัตรูได้ง่าย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาพัฒนาวิธีการผลิตต้นพันธุ์เบญจมาศ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยต่าง ๆ ได้แก่ ระบบ TIS ระบบไมโครโพนิกส์ และระบบไฮโดรโพนิกส์ เพื่อให้ได้

วิธีการผลิตต้นพันธุ์เบญจมาศที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม ซึ่งคาดว่าผลการศึกษาที่ได้จะเป็นแนวทางที่สามารถนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเบญจมาศเชิงพาณิชย์ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของไซโตไคนินและสภาวะการให้อาหารที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณต้นของเบญจมาศด้วยระบบ TIS
2. เพื่อศึกษาผลของออกซินและระบบเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมในการชักนำให้ออกรากของเบญจมาศในสภาพปลอดเชื้อ
3. เพื่อศึกษาผลของออกซินและจำนวนรูระบายอากาศที่เหมาะสมในการชักนำให้ออกรากของเบญจมาศในระบบไมโครโพนิกส์
4. เพื่อเปรียบเทียบอัตราการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของเบญจมาศที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์ เมื่ออนุบาลในโรงเรือนและระบบไฮโดรโพนิกส์

ขอบเขตงานวิจัย

1. พืชทดลอง คือ ต้นแม่พันธุ์เบญจมาศ WG (standard type ดอกสีขาวไส้สีเขียว) ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ธนกิจอินเตอร์ เทรด จำกัด
2. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชและการเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ ดำเนินการ ณ ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
3. การเพิ่มปริมาณยอดและการชักนำให้ออกรากด้วยระบบ TIS ใช้แบบขวดแฝด (twin-flasks) ขนาดภาชนะ 700 มิลลิลิตร
4. การชักนำให้ออกรากด้วยระบบไมโครโพนิกส์ใช้กล่องพลาสติกวัสดุ polypropylene ขนาด 11.5×11.5×7.5 เซนติเมตร และ 12.0x18.0×6.5 เซนติเมตร
5. การอนุบาลในโรงเรือนและระบบไฮโดรโพนิกส์ดำเนินการ ณ วิสาหกิจชุมชนไฮโดรเฟรช

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการผลิตต้นพันธุ์เบญจมาศที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งสามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ในการผลิตต้นพันธุ์เบญจมาศเชิงพาณิชย์
2. สร้างความได้เปรียบทางการแข็งขันด้านธุรกิจการผลิตต้นพันธุ์ ซึ่งนำเอาวิธีการเพาะเลี้ยงจากระบบต่าง ๆ ผสมผสานจนเกิดเป็นเทคโนโลยีใหม่ ที่สามารถแทนที่การขยายพันธุ์พืชด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม

บทที่ 2
ทฤษฎีและตรวจเอกสาร

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และพันธุ์ของเบญจมาศ

เบญจมาศมีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศจีนและญี่ปุ่น มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Dendranthema grandiflora* (ชื่อวิทยาศาสตร์เดิม *Chrysanthemum morifolium*) ชื่อสามัญ chrysanthemum ดอกมัมหรือเบญจมาศ จัดอยู่ในวงศ์ Asteraceae มีความสูงประมาณ 50-150 เซนติเมตร มีขนละเอียดตามกิ่งก้านและลำต้น ใบแบบเดี่ยวเรียงสลับ ใบเรียวรีขอบหยัก ออกดอกเป็นช่อกระจุกแน่นบริเวณซอกใบหรือปลายกิ่ง ดอกกลมมีกลีบซ้อนหลายชั้น มีสีหลากหลาย เช่น สีขาว สีเหลือง สีส้ม สีชมพู สีแดง สีบานเย็น สีม่วง ดอกเป็นประเภทช่อกระจุกแน่น (head) เกิดจากการรวมกันของดอกย่อย 2 ชนิด คือ ดอกย่อยวงนอก (ray florets) อยู่ชั้นนอก ๆ บนฐานรองดอก เป็นดอกเพศเมีย และดอกย่อยวงใน (disc florets) ครอบคลุมพื้นที่ส่วนกลางบนฐานรองดอก เป็นดอกสมบูรณ์เพศ (อดิศร, 2535) เนื่องจากโครงสร้างของดอกเบญจมาศประกอบด้วยพันธุกรรมที่ซับซ้อน ทำให้มีพันธุ์ต่าง ๆ หลากหลาย (ภาพที่ 1) จึงมีการจำแนกเบญจมาศหลายระบบ ซึ่งระบบที่นิยม คือ จำแนกตามลักษณะดอก จำแนกตามประโยชน์ใช้สอยและการปลูก และจำแนกตามการตอบสนองต่อช่วงความยาววัน (คำนูญ, 2542)

1. **การจำแนกเบญจมาศตามลักษณะดอก** สามารถแบ่งออกเป็น 6 ชนิดดังนี้ (ณัฐพงศ์, 2563)
   - **1.1 single bloom** กลีบดอกสีขาว ส่วนกลางดอกสีเหลืองคล้ายกับดอกเดซี่ ดอกมีขนาดใหญ่ ออกดอก 1 ดอกต่อต้น ต้นมีความสูงของประมาณ 60-90 เซนติเมตร
   - **1.2 spider blooms** กลีบดอกเรียวยาว ความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร และค่อนข้างบาง จึงเปรียบคล้ายกับขาของแมงมุม ตรงกลางดอกมีหลายเฉดสี
   - **1.3 quilled blooms** กลีบดอกค่อนข้างแหลม มีขอบลักษณะคล้ายกับขนนก มีหลากหลายสี เช่น สีเหลือง สีชมพู สีม่วง
   - **1.4 anemone** ดอกมีขนาดเล็ก ส่วนกลางดอกยกนูนขึ้นเล็กน้อย ทำให้ดูเหมือนปุ่ม ดอกเบญจมาศชนิดนี้มีหลากหลาย แต่ชนิดมีสีม่วงได้รับความนิยมมากที่สุด
   - **1.5 pompons** เป็นชนิดที่มีความหลากหลายน้อยที่สุด รูปร่างเหมือนโลก มีกลีบดอกเล็ก ๆ ดอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางดอกประมาณ 2.5-10 เซนติเมตร
   - **1.6 spoon blooms** ดอกลักษณะคล้ายปุ่ม ค่อนที่จะข้างแบน กลีบดอกมีหลายสี มีลักษณะคล้ายช้อน ปลายกลีบดอกหยิกเล็กน้อย

ภาพที่ 1 ความหลากหลายของสายพันธุ์เบญจมาศ

ที่มา: ณัฐพงศ์ (2563)

2. **การจำแนกเบญจมาศตามประโยชน์การใช้สอยและการปลูก** สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้ (ณัฐพงศ์, 2563)
   - **2.1 ชนิดดอกเดี่ยว (standard type)** ดอกมีขนาดใหญ่ เนื่องจากจะปลิดดอกด้านข้างทิ้งให้เหลือแต่ดอกยอดเท่านั้น พันธุ์ที่นิยมผลิตเป็นไม้ตัดดอก เช่น รีบอนเนท เรสซิเดนซ์ ชามร็อค เรโซมี ไรวารีสีเหลือง ขาวญี่ปุ่น
   - **2.2 ชนิดดอกช่อ (spray type)** ดอกมีขนาดเล็กกว่าชนิดดอกเดี่ยว เนื่องจากนิยมเด็ดดอกให้แตกกิ่งด้านข้างประมาณ 3 ช่อ แต่ละช่อมีประมาณ 8-10 ดอก พันธุ์ที่นิยม เช่น จากั้วแดง จากั้วม่วง เรแกนขาว ชมพูหวาน และโพลาริส
   - **2.3 ชนิดกระถาง (potted chrysanthemum)** เป็นชนิดที่ใช้ผลิตเป็นไม้กระถาง เนื่องจากมีทรงพุ่มขนาดเล็ก แตกกิ่งก้านมาก ออกดอกค่อนข้างดก พันธุ์ที่นิยม เช่น เหลืองขมิ้น
3. **การจำแนกเบญจมาศตามการตอบสนองของช่วงความยาวแสง** เป็นการจัดกลุ่มตามจำนวนสัปดาห์หลังจากเริ่มได้รับวันสั้นไปจนถึงวันตัดดอกจำหน่าย ทั้งนี้เพื่อกำหนดวันตัดดอกให้ตรงกับความต้องการของตลาด สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้ (สมเพียร, 2563)
   - **3.1 กลุ่ม 8 สัปดาห์เก็บเกี่ยว** นับระยะเวลาจากเริ่มบังคับการให้วันสั้นไปจนถึงวันตัดจำหน่าย 56 วัน
   - **3.2 กลุ่ม 9 สัปดาห์เก็บเกี่ยว** นับระยะเวลาจากเริ่มบังคับการให้วันสั้นไปจนถึงวันตัดจำหน่าย 63 วัน
   - **3.3 กลุ่ม 10-15 สัปดาห์เก็บเกี่ยว** นับระยะเวลาจากเริ่มบังคับการให้วันสั้นไปจนถึงวันตัดจำหน่าย 70-105 วัน

แหล่งผลิตเบญจมาศ

เบญจมาศจัดได้ว่าเป็นไม้ตัดดอกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย พันธุเบญจมาศที่มีการผลิตในเชิงการค้าส่วนใหญ่เกิดจากการผสมและคัดเลือกสายพันธุเบญจมาศชนิดต่าง ๆ ที่มีลักษณะโดดเด่นจำเพาะ มีการผลิตเบญจมาศเป็นไม้ตัดดอกหรือไม้กระถาง เนื่องจากมีรูปทรงดอกที่หลากหลายและสามารถกำหนดเวลาให้ดอกบานได้ค่อนข้างแน่นอน ในประเทศญี่ปุ่นเบญจมาศเป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกมากที่สุด สวนประเทศเนเธอร์แลนด์เป็นผู้ผลิตเบญจมาศตัดดอกรายใหญ่ของกลุ่มประเทศยุโรป และเป็นไม้ตัดดอกที่มีการซื้อขายเป็นอันดับ 2 รองจากกุหลาบ (สุภาพร และอำนวย, 2563)

เบญจมาศมีความสำคัญเป็นไม้ตัดดอกชนิดหนึ่งที่ตลาดต้องการสูงอย่างต่อเนื่อง ได้รับความนิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันในประเทศต่าง ๆ ประเทศที่เป็นผู้ผลิตเบญจมาศเป็นหลัก ได้แก่ เนเธอร์แลนด์ สหรัฐอเมริกา โคลัมเบีย สเปน อิสราเอล ญี่ปุ่น เวียดนาม และจีน ส่วนในประเทศไทยมีการนำมาปลูกเป็นระยะเวลานานแล้วตั้งแต่ปี พ.ศ. 2506 โดยนำเข้าพันธุ์จากประเทศไต้หวัน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา เนเธอร์แลนด์ และอิสราเอล (อดิศร, 2535) มีการปลูกเลี้ยงกันในหลายพื้นที่ เนื่องจากเป็นไม้ดอกที่มีรูปทรงสวยงาม สีสันสดใส ปลูกเลี้ยงง่าย มีหลากหลายสายพันธุ์ อีกทั้งยังเป็นไม้ที่มีขนาดเล็ก สำหรับการผลิตเบญจมาศในประเทศไทยสามารถปลูกได้ในทุกภูมิภาค แต่การผลิตเพื่อให้ดอกมีคุณภาพตรงกับตามความต้องการของตลาด ต้องใช้พื้นที่ที่มีความหนาวเย็นเพียงพอและมีการจัดการที่เหมาะสม จังหวัดที่เป็นแหล่งผลิตเบญจมาศที่สำคัญ ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย นครราชสีมา อุบลราชธานี อุดรธานี เลย และหนองคาย โดยส่วนใหญ่นิยมปลูกแบบดอกช่อมากกว่าดอกเดี่ยว เนื่องจากการดูแลทำได้ง่ายและมีต้นทุนค่าแรงในการผลิตที่ต่ำกว่า สีของดอกที่นิยมในท้องตลาด ได้แก่ สีเหลือง สีขาว และสีม่วง อย่างไรก็ตามถึงแม้ประเทศไทยจะมีการปลูกเบญจมาศเป็นเวลายาวนาน แต่ยังมีปัญหาการผลิตดอกเบญจมาศได้ในคุณภาพที่ต่ำกว่าต่างประเทศ เนื่องจากมีอายุการปักแจกันสั้น ขาดการพัฒนาสายพันธุ์ จึงต้องมีการนำเข้ามาจากบางประเทศ เช่น มาเลเซีย และเนเธอร์แลนด์ เป็นต้น (ณัฐพงศ์, 2563)

การขยายพันธุ์เบญจมาศ

เบญจมาศมีชนิดที่เป็นพืชล้มลุก (annual) พืชสองปี (biennial) และพืชยืนต้น (perennial) แต่ส่วนใหญ่จะนิยมปลูกให้เป็นพืชปีเดียว เนื่องจากต้นจะโทรมเร็ว มีอายุประมาณ 90-100 วัน นอกจากนี้ยังเป็นพืชที่ไวต่อช่วงแสงหรือความยาววัน ซึ่งต้องการวันสั้นในการชักนำให้ออกดอก ความต้องการช่วงวันสั้นนี้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ (อนุสร, 2549) การปลูกเบญจมาศในฤดูกาลตามปกติจะอยู่ในช่วงเดือนมิถุนายน-มกราคม สามารถผลิตได้ทั้งไม้ตัดดอกและไม้กระถาง

การขยายพันธุ์เบญจมาศสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเพาะเมล็ด (seeds) การปักชำ (cuttings) การแยกหน่อ (divisions) และการต่อกิ่ง (grafting) แต่การต่อกิ่งจะทำก็ต่อเมื่อต้องการจะนำแสดงเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากใช้เวลานาน ส่วนการขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ดไม่นิยมทำ แต่จะใช้วิธีการนี้เมื่อต้องการผสมพันธุ์เพื่อให้ได้พันธุ์ใหม่เท่านั้น จึงกล่าวได้ว่ามีวิธีการที่นิยมใช้ในการขยายพันธุ์เบญจมาศเพียง 2 วิธีเท่านั้น ได้แก่ (นันทิยา, 2535)

1. **การใช้กิ่งปักชำ** นิยมทำ terminal cutting คือ ใช้ส่วนยอดของกิ่ง (shoot) นำไปปักชำเป็นส่วนใหญ่ วิธีนี้สามารถขยายพันธุ์ได้จำนวนมาก และใช้กิ่งปักชำที่มีขนาดสม่ำเสมอ เมื่อนำต้นเบญจมาศที่ปักชำได้ไปปลูกจะสามารถออกดอกได้ในเวลาที่ใกล้เคียงกัน

2. **การแยกหน่อ** ในเบญจมาศบางสายพันธุ์สามารถแตกหน่อได้ดี หลังจากให้ดอกแล้วต้นจะแตกกอมีหน่อออกมาเป็นจำนวนมาก พบว่าเบญจมาศที่ปลูก 1 ต้น จะให้จำนวนหน่อเฉลี่ยประมาณ 10 หน่อ แต่ละหน่อจะมีรากติดอยู่ด้วย เมื่อแยกเอาหน่อเหล่านี้ไปปลูกจะได้ต้นที่แข็งแรงและมีการเจริญเติบโตดีกว่าการปลูกโดยใช้กิ่งปักชำ

การขยายพันธุ์พืชด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (micropropagation)

การขยายพันธุ์พืชด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยนำชิ้นส่วน (explant) ต่าง ๆ ของพืช เช่น ปลายยอดและตาข้าง มาเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสังเคราะห์ (synthetic medium) ภายใต้สภาพปลอดเชื้อ (aseptic condition) โดยควบคุมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ได้แก่ อุณหภูมิ แสง และความชื้น เพื่อให้ชิ้นส่วนพืชสามารถเจริญเติบโตและพัฒนาจนกลายเป็นต้นอ่อนที่แข็งแรง โดยการขยายพันธุ์ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ผลิตพืชได้ปริมาณมากภายในระยะเวลาสั้น สามารถผลิตพืชได้ตลอดทั้งปี ต้นพืชที่ได้จะเป็นพืชที่ปลอดโรค มีความสม่ำเสมอและมีลักษณะตรงตามพันธุ์ สามารถใช้เก็บรักษาหรือแลกเปลี่ยนสายพันธุ์พืช (รังสฤษดิ์, 2545) ความสำเร็จของการขยายพันธุ์พืชด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเยื่อขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ชนิดหรือสายพันธุ์พืช ชนิดและอายุของชิ้นส่วนพืชที่นำมาเพาะเลี้ยง อย่างไรก็ตามปัจจัยที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง คือ อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ อาหารกึ่งแข็ง (semi-solid medium) และอาหารเหลว (liquid medium) องค์ประกอบของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชและมีบทบาทหน้าที่ดังนี้ (นพมณี, 2545)

ธาตุอาหาร ประกอบด้วยหลักอาหารหลัก (macro nutrient) ได้แก่ N, P, K, Ca, Mg และ S เป็นธาตุอาหารที่พืชมีความต้องการในปริมาณที่สูง ธาตุอาหารรอง (micro nutrient) ได้แก่ Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo และ Co ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณที่น้อย

วิตามิน พืชในธรรมชาติโดยทั่วไปสามารถสังเคราะห์วิตามินได้เองซึ่งต่างจากพืชที่อยู่ในขวดเพาะเลี้ยงที่ต้องการวิตามินเพิ่มเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต วิตามินที่นิยมใช้กันมากในอาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ได้แก่ ไทอามีน (B_1) นิโคตินิกแอซิด (B_3) และไพริดอกซิน (B_6) ทำหน้าที่ช่วยให้การทำงานของระบบเมตาบอลิซึมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ในเซลล์พืช

น้ำตาล พืชที่อยู่ในขวดเพาะเลี้ยงมีความจำเป็นต้องใช้น้ำตาลต่อการเจริญเติบโต เนื่องจากสูญเสียความสามารถในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ ดังนั้นจึงมีการให้น้ำตาลแก่พืชเพื่อเป็นแหล่งพลังงานที่พืชสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง เช่น น้ำตาลซูโครส ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงที่สุด รองลงมา คือ กลูโคส มอลโตส และราฟฟิโนส

สารเพิ่มความแข็งตัว เช่น วุ้น (agar) เป็นพอลีแซคคาไรด์ที่มีมวลโมเลกุลสูงละลายได้ดีในอุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส ทำหน้าที่ช่วยพยุงเนื้อเยื่อให้ตั้งตรงและไม่เป็นพิษต่อเนื้อเยื่อพืช นอกจากนี้ยังมีสารทดแทนวุ้น ได้แก่ อะกาโรส (agarose) และเจลแลนกัม (gellan gum) ทั้งสองชนิดนี้มีข้อดีกว่าวุ้น คือ ประสิทธิภาพการแข็งตัวสูง ใช้ในปริมาณที่น้อย และใสจึงทำให้มองเห็นการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ง่าย

สารควบคุมการเจริญเติบโต เป็นสารอินทรีย์ที่สร้างขึ้นภายในต้นพืชหรือมนุษย์สังเคราะห์ขึ้นโดยกระบวนการทางเคมี มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช รวมทั้งทำให้เกิดการพัฒนาเป็นอวัยวะต่าง ๆ ปริมาณที่ใช้จะแตกต่างกันตามชนิดและวัตถุประสงค์ของงาน โดยสารควบคุมการเจริญเติบโตที่นิยมและมีการนำมาใช้ มีดังนี้

- ออกซิน (auxins) มีบทบาทในด้านการแบ่งตัวและการยืดตัวของเซลล์พืช กระตุ้นการเกิดราก การข่มโดยตายอด (apical dominance) และชะลอการล่วงของใบ ออกซินที่พบในธรรมชาติ เช่น indole-3-acetic acid (IAA) และ indole-3-butyric acid (IBA) ออกซินสังเคราะห์ เช่น 1-naphthaleneacetic acid (NAA) และ 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)
- ไซโตไคนิน (cytokinins) เป็นสารที่ช่วยกระตุ้นการแบ่งเซลล์ ลดการข่มตาข้าง ช่วยกระตุ้นการแตกกอของพืช กระตุ้นการงอกของพืชบางชนิด ไซโตไคนินที่พบในธรรมชาติ เช่น zeatin, 2-isopentenyladenine (2iP) ส่วนไซโตไคนินสังเคราะห์ เช่น 6-benzylaminopurine (BAP) และ thidiazuron (TDZ)
- จิบเบอเรลลิน (gibberellins) มีหน้าที่ช่วยในการยืดตัวของเซลล์ และกระตุ้นการออกดอกของพืชบางชนิด พบในธรรมชาติมีไม่ต่ำกว่าร้อยชนิด แต่ที่นิยมใช้ ได้แก่ gibberellic acid (GA_3), gibberellin A4 (GA_4) และ gibberellin A7 (GA_7)
- กรดแอบไซซิก (abscisic acid: ABA) ช่วยในการแก่ตัว ส่งเสริมการเจริญของแคลลัสและการเจริญของต้นอ่อนที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเซลล์ของพืชบางชนิด

นอกจากสูตรอาหารซึ่งเป็นปัจจัยทางเคมีในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแล้ว ยังมีอีกหนึ่งปัจจัยที่ควรให้ความสำคัญและไม่ควรมองข้ามนั่นคือ ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับช่องว่างและการแลกเปลี่ยนอากาศในภาชนะที่เพาะเลี้ยง ซึ่งมีผลต่อความสำเร็จของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชด้วยเช่นกันดังต่อไปนี้ (เพชรรัตน์, 2556)

- **ความชื้น (humidity)** ในภาชนะปิดของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชจะมีความชื้นอยู่ประมาณ 95-100% ซึ่งจะเป็นตัวยับยั้งการคายน้ำและการลำเลียงแร่ธาตุอาหารของพืช ส่งผลให้เกิดการฉ่ำน้ำ (hyperhydricity) ซึ่งมีปริมาณน้ำในเซลล์จำนวนมาก ใบมี

ลักษณะใสคล้ายแก้ว การลดความชื้นภายในขวดเพาะเลี้ยงสามารถทำได้โดยการเพิ่มความเข้มข้นของวุ้นในอาหารสูงขึ้นมีผลทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในขวดเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อลดลง

- **ก๊าซต่าง ๆ** มักเกิดขึ้นเนื่องจากระบบเมตาบอลิซึมของพืชเองและการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างภาชนะ หากมีการปิดฝาแน่นเกินไปทำให้อากาศถ่ายเทไม่สะดวกอาจมีการสะสมของก๊าซเอทิลีนและก๊าซอื่นในภาชนะเพาะเลี้ยงได้ ซึ่งถ้ามีก๊าซเอทิลีนมากเกินไปจะยับยั้งการเจริญและการพัฒนาของต้นพืช ต่อมาภายหลังมีการศึกษาและทดลองออกแบบภาชนะเพาะเลี้ยงให้มีรูระบายอากาศเพื่อลดการสะสมของก๊าซดังกล่าว

การฉ่ำน้ำ (hyperhydricity)

การฉ่ำน้ำเป็นลักษณะที่ผิดปกติที่อาจเกิดได้ในเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช โดยชิ้นส่วนใบมีลักษณะโปร่งแสง เปราะ มีสีซีด มีสาเหตุเกิดจากปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงหรือมีจำนวนน้อยและมีปริมาณน้ำในเซลล์สูง นอกจากนี้ยังพบว่าช่องว่างภายในเซลล์มีขนาดใหญ่ ปากใบ (stoma) ทำงานผิดปกติและความแข็งแรงของเซลล์ลดลง (Cassells and Curry, 2001) สาเหตุหรือปัจจัยที่ก่อให้เกิดการฉ่ำน้ำมีหลายอย่าง ได้แก่ (Grodzinski et al., 1981)

1. อาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง ซึ่งเกิดจากการได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโต (ไซโคไตนิน) และธาตุอาหารที่ไม่สมดุล เช่น มีปริมาณแอมโมเนียมในอาหารสูง นอกจากนี้ยังพบว่าการแช่ชิ้นส่วนพืชในอาหารเหลวเป็นระยะเวลานานมีผลทำให้ต้นพืชมีการฉ่ำน้ำ
2. สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม โดยต้นที่ผิดปกติจะเกิดขึ้นเมื่อความเข้มแสงต่ำ และความแตกต่างของอุณหภูมิในขวดเพาะเลี้ยง
3. บริเวณที่ว่างด้านบนหรืออากาศในขวด เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ในขวดที่สูงมาก (90-100%) พบว่าการปิดฝาขวดทำให้มีออกซิเจนน้อย คาร์บอนไดออกไซด์สูง และมีการสะสมเอทิลีน (ethylene) ส่งผลให้ต้นพืชอยู่ในสภาวะเครียด เช่น ยับยั้งการเจริญเติบโต

ซึ่งการแก้ไขลักษณะการฉ่ำน้ำมักจะแก้ไขตามปัจจัยที่ก่อให้เกิดอาการหรือบางกรณีเกิดจากหลายปัจจัยร่วมกัน จากปัญหาการฉ่ำน้ำมีสาเหตุการเกิดมาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นจึงมีงานวิจัยที่ศึกษาในพืชหลายชนิดเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลและแนวทางการแก้ไขปัญหา ดังนี้

Park et al. (2004) ได้เปรียบเทียบการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมันฝรั่งในภาชนะที่ปิดสนิท (completely sealed vessel: CSV) และภาชนะที่มีก๊าซผ่านได้ (gas permeable vessel: GPV) พบว่า การเพาะเลี้ยงในภาชนะ CSV ทำให้ต้นมีการฉ่ำน้ำอย่างรุนแรง มีน้ำหนักแห้งและปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำกว่า และมีปริมาณคาร์บอนไดออกซ์และเอทิลีนสูงในภาชนะสูงกว่าการเพาะเลี้ยงใน

ภาชนะ GPV ซึ่งต้นมีลักษณะที่ปกติ จึงได้ทดสอบการใช้ตัวดูดซับเอทิลีน คือ $KMnO_4$ ในภาชนะ CSV ด้วย พบว่า ต้นที่ได้มีลักษณะปกติ ซึ่งไม่ปรากฏลักษณะฉ่ำน้ำ และไม่พบการเกิดก๊าซเอทิลีนในภาชนะ ผลการทดลองบ่งชี้ว่า การฉ่ำน้ำเกี่ยวข้องกับการสะสมเอทิลีนในภาชนะเพาะเลี้ยง

Lai et al. (2005) รายงานว่า ต้น *Scrophularia yoshimurae* ที่เพาะเลี้ยงในภาชนะปิดสนิทเกิดการฉ่ำน้ำ เนื่องจากมีเอทิลีนและคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงและสะสมอยู่ในภาชนะ จึงแนะนำซึ่งวิธีที่ง่ายในการลดการฉ่ำน้ำ คือ การลอกพาราฟิล์ม (parafilm) ที่ปิดฝาออกเพื่อให้เกิดแลกเปลี่ยนก๊าซที่อยู่ภายนอกและภายในภาชนะ หลังจาก 4 สัปดาห์ ที่ลอกพาราฟิล์มออก พบว่าต้นที่ฉ่ำน้ำมีการฟื้นตัวที่รวดเร็ว ซึ่งเกี่ยวข้องกับการระบายอากาศของภาชนะเพาะเลี้ยง

รัฐภูมิ และคณะ (2560) ทดสอบการลดการฉ่ำน้ำในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อยูคาลิปตัสลูกผสม โดยปรับปริมาณไนโตรเจนในอาหารโดยใช้ NH_4NO_3 82.5, 165 และ 330 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้ฝาที่มีรูกรองอากาศ 0, 1, 2 และ 3 รู พบว่า กรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุด คือ การใช้ปริมาณ NH_4NO_3 82.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และรูกรองอากาศ 2 รู (ความชื้นสัมพัทธ์ 78.66 %) ซึ่งพบระดับการฉ่ำน้ำที่ต่ำ และมีการเพิ่มปริมาณยอดที่ค่อนข้างดี

รงรอง และคณะ (2534) ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้แผ่นกรองระบายอากาศเพื่อลดการฉ่ำน้ำในหม่อนที่เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ พบว่า การใช้แผ่นกรองระบายอากาศสามารถชักนำให้แตกยอดที่มีใบอ่อนปกติ และยังมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งสูงกว่าการใช้ฝาปิดทั่วไปถึง 50% ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งที่สูงขึ้นบ่งชี้ว่าปริมาณน้ำ (water content) ที่สะสมในต้นลดลงทำให้ไม่เกิดการฉ่ำน้ำ แสดงว่าการใช้แผ่นกรองระบายอากาศสามารถปรับสภาพแวดล้อมและการถ่ายเทอากาศระหว่างภายในและภายนอกภาชนะเพาะเลี้ยง โดยทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะลดลง

ขั้นตอนการขยายพันธุ์พืชด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

Debergh et al. (1981) แบ่งขั้นตอนการขยายพันธุ์พืชด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อออกเป็น 5 ระยะ ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เพราะนอกจากจะอธิบายการทำงานในแต่ละขั้นตอนแล้ว ยังบ่งชี้หรือกำหนดความต้องการสภาพแวดล้อมภายนอกขวดด้วย โดยในแต่ละระยะมีวัตถุประสงค์และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ระยะที่ 0 การเตรียมต้นแม่พันธุ์ วัตถุประสงค์ของระยะนี้ คือ เพื่อต้องการลดการปนเปื้อนของเชื้อ (contamination) ซึ่งขึ้นอยู่กับต้นแม่พันธุ์ที่นำมาใช้เป็นชิ้นส่วนเริ่มต้น โดยการนำต้นแม่พันธุ์ที่คัดเลือกแล้วมาเลี้ยงไว้ในโรงเรือนที่มีการให้ปัจจัยส่งเสริมการเจริญเติบโตของตาข้างหรือต้น ปัจจัยเหล่านี้ ได้แก่ การให้แสงหรืออุณหภูมิ การให้ธาตุอาหารหรือฮอร์โมนพืช เพื่อกระตุ้นให้แตกตาข้างออกมาให้มากยิ่งขึ้น

ระยะที่ 1 การชักนำให้เกิดยอด วัตถุประสงค์ของระยะนี้ คือ การทำให้ชิ้นส่วนพืชที่ปราศจากเชื้อโดยการฟอกฆ่าเชื้อ เลี้ยงในอาหารชักนำจนกระทั่งชิ้นส่วนพืชเจริญเติบโตต่อไปได้ ส่วนที่ใช้เป็นชิ้นส่วนเริ่มต้น ได้แก่ ปลายยอด ตาข้าง ข้อ ส่วนการกระตุ้นให้เกิดตาพิเศษ (adventitious bud) ไม่แนะนำที่จะนำมาใช้ชักนำให้เกิดต้น เนื่องจากมีความเสี่ยงที่จะเกิดการกลายพันธุ์ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระยะนี้ ได้แก่ สารฟอกฆ่าเชื้อ และสารควบคุมการเจริญเติบโตในการชักนำให้เกิดต้น มีรายงานวิจัยของ อธิรดา และธนากร (2561) พบว่า การฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนปลายยอดเฉาก๊วยด้วยคลอร็อกซ์ (Clorox®) 15 % ระยะเวลา 10 นาที ทำให้ชิ้นส่วนพืชมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูงที่สุด (100%) แล้วนำชิ้นส่วนที่ปลอดเชื้อมาชักนำให้เกิดยอดบนอาหาร Murashige and Skoog (MS) 1962 ที่เติม BAP, kinetin และ TDZ ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน พบว่า ชิ้นส่วนปลายยอดที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BAP 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนยอดสูงที่สุด (12.5 ยอดต่อชิ้นส่วน) รัตนา และอนัญญา (2561) รายงานว่า ชิ้นส่วนข้อกุหลาบหนูที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร MS เติม BAP 3 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการแตกยอด ความยาวยอด และจำนวนใบสูงที่สุด (2.8 ยอดต่อชิ้นส่วน, 2.95 เซนติเมตร และ 6.18 ใบต่อยอด ตามลำดับ)

ระยะที่ 2 การเพิ่มปริมาณยอด วัตถุประสงค์ของระยะนี้ คือ การเพิ่มปริมาณให้มีจำนวนมาก รวมทั้งเป็นการเก็บรักษาเพื่อใช้เป็นแหล่งต้นพันธุ์หลักในรอบการผลิตต่อไป โดยมีที่ปัจจัยสำคัญในการเพิ่มปริมาณยอด ได้แก่ สารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มไซโตไคนิน (เช่น BAP, TDZ, 2iP และ kinetin เป็นต้น) งานวิจัยของ พิมผกา และคณะ (2557) รายงานถึงการเพิ่มปริมาณยอดหัวหอมใหญ่ด้วยอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า สามารถเพิ่มปริมาณยอดได้มากที่สุด (4.70 ยอดต่อชิ้นส่วน) ในขณะที่ เยาวพา และขวัญจิตต์ (2552) รายงานว่าการเพาะเลี้ยงบนอาหาร MS ที่เติม BAP 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความเหมาะสมที่สุดต่อการเพิ่มปริมาณยอดสร้อยสายเพชร (3.40 ยอดต่อชิ้นส่วน)

ระยะที่ 3 การยืดยาวของลำต้นและการกระตุ้นหรือพัฒนาการออกราก วัตถุประสงค์ของระยะนี้ คือ การทำให้ลำต้นยืดยาวให้สูงขึ้นและแข็งแรงเพื่อให้ง่ายต่อการทำงาน และพร้อมที่จะออกสู่สภาพแวดล้อมภายนอกได้ ทำได้โดยการย้ายยอดลงในอาหารที่ไม่มีสารควบคุมการเจริญเติบโต ส่วนการชักนำให้เกิดรากสามารถนำยอดไปเลี้ยงในอาหารที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มออกซิน (เช่น NAA, IAA และ IBA เป็นต้น) เพื่อให้เป็นต้นที่สมบูรณ์ ในงานวิจัยของ อนุพันธ และพันธิตรา (2016) พบว่า การเพาะเลี้ยงกระเจียวขาวด้วยอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม NAA 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้ออกรากเป็นจำนวนสูงที่สุด (8.06 รากต่อต้น) เช่นเดียวกับ นุชจรี และคณะ (2019) พบว่า อาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม NAA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ผลดีที่สุดในการชักนำให้เกิดรากของกล้วยหิน (71.43%)

ระยะที่ 4 การย้ายปลูกและการปรับสภาพต้นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ขั้นตอนนี้ถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมากต่องานเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เพราะการย้ายปลูกสู่สภาพแวดล้อมภายนอกหากไม่ได้รับการปรับสภาพต้นที่เหมาะสมอาจทำให้ต้นมีอัตราการรอดชีวิตที่ต่ำ เนื่องจากต้นที่เพาะเลี้ยงในขวดมีส่วนของชั้น cuticle (wax layer) ที่บาง ลักษณะของใบจะบางอ่อน การสังเคราะห์แสงยังไม่มีการพัฒนามากนัก การควบคุมการปิดเปิดของปากใบ (stoma) ยังทำได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้พืชมีการคายน้ำสูง ดังนั้นควรที่จะลดความชื้นสัมพัทธ์ เพิ่มระดับแสงให้สูงขึ้นก่อนจะย้ายพืชลงปลูกแปลงเพื่อเป็นการปรับสภาพให้ต้นพืชอยู่ในสภาพที่สังเคราะห์แสงเองได้และอยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมภายนอก ในงานวิจัยของ อุบล (2556) ได้นำต้นส้มซ่าที่ออกรากดีแล้วในขวดเพาะเลี้ยงย้ายลงในถุงดำที่มีวัสดุปลูก 4 ชนิด ได้แก่ ถ่านแกลบ, ถ่านแกลบผสมทรายอัตราส่วน 1:1, ถ่านแกลบผสมดินอัตราส่วน 1:1 และกาบมะพร้าวสับผสมถ่านแกลบและดินอัตราส่วน 1:1:1 จากนั้นคลุมด้วยถุงพลาสติกไว้ 2 สัปดาห์ แล้วค่อย ๆ เปิดถุงที่คลุมออกเพื่อปรับสภาพอุณหภูมิและความชื้นเพื่อให้มีการถ่ายเทอากาศมากขึ้น หลังย้ายปลูก 8 สัปดาห์ พบว่า ต้นส้มซ่ามีอัตราการรอดชีวิตสูงที่สุดถึง 100% เมื่อปลูกในถ่านแกลบผสมทราย (1:1) ถ่านแกลบผสมดิน (1:1) และกาบมะพร้าวสับผสมถ่านแกลบและดิน (1:1:1) โดยต้นกล้ามีอัตราการรอดชีวิต 100% เมื่อนำไปปลูกในแปลง

รายงานวิจัยที่ศึกษาการขยายพันธุ์เบญจมาศด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ยกตัวอย่างดังนี้

Waseem et al. (2011) นำชิ้นส่วนปลายยอดเบญจมาศมาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BAP 0.5-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ NAA 0.50-1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือเติม BAP 1.00-2.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA 0.5-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อเพิ่มปริมาณยอด พบว่าการเติม BAP 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การเกิดยอด จำนวนยอดต่อชิ้นส่วน ความยาวยอดเฉลี่ย จำนวนใบต่อยอดเฉลี่ย และข้อต่อยอดเฉลี่ยสูงสุด คือ 100%, 11.80 ยอดต่อชิ้นส่วน 6.00 เซนติเมตร 19.90 ใบต่อยอด และ 6.50 ข้อต่อยอด ตามลำดับ นอกจากนี้ได้นำชิ้นส่วนข้อมาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ½ MS ที่เติม IBA พบว่า IBA 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้ออกรากได้เร็วที่สุดภายใน 5 วัน และมีเปอร์เซ็นต์การออกราก จำนวนรากเฉลี่ย และความยาวรากมากที่สุด คือ 100%, 14.30 รากต่อต้น และ 9 เซนติเมตร ตามลำดับ

Lindiro et al. (2013) ศึกษาการนำชิ้นส่วนข้อเบญจมาศมาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติมไซโตไคนิน ได้แก่ 2iP, BAP, kinetin และ TDZ เพื่อกระตุ้นการเพิ่มปริมาณยอด ซึ่งพบว่า BAP 40 ไมโครโมลาร์ สามารถกระตุ้นการเพิ่มปริมาณยอดได้เป็นจำนวนมากที่สุด คือ 15.98 ยอดต่อชิ้นส่วน และศึกษาการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร ½ MS ที่เติมออกซิน ได้แก่ IBA, IAA, NAA และ

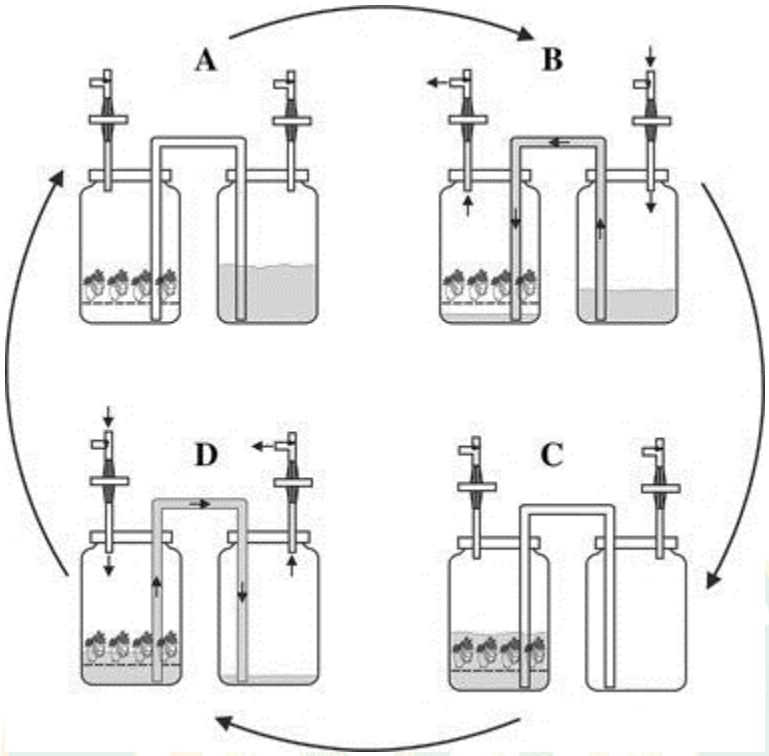
2,4-D เพื่อชักนำให้เกิดราก พบว่า IBA 10 ไมโครโมลาร์ สามารถชักนำให้ออกรากเป็นจำนวนมากที่สุดและมีความยาวรากมากที่สุด คือ 4.16 รากต่อต้น และ 0.62 เซนติเมตร ตามลำดับ

Yesmin et al. (2014) ศึกษาการขยายพันธุ์เบญจมาศจากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติมไซโตไคนิน ได้แก่ BAP และ kinetin และออกซิน ได้แก่ IAA และ NAA พบว่า การเติม BAP 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ IAA 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การเกิดยอด จำนวนยอด และความยาวยอดสูงที่สุด คือ 93.33%, 21.73 ยอดต่อชิ้นส่วน และ 6.43 ตามลำดับ จากนั้นนำต้นมาชักนำให้เกิดรากบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ½ MS ที่เติม IBA, IAA และ NAA พบว่า การเติม IBA 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้ออกรากสูงที่สุด คือ 98% และมีจำนวนรากมากที่สุด คือ 12.27 รากต่อต้น ตามลำดับ

Imtiaz et al. (2019) นำชิ้นส่วนข้อเบญจมาศมาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BAP เพียงอย่างเดียว หรือร่วมกับ NAA และ TDZ พบว่า BAP 44.39 ไมโครโมลาร์ สามารถชักนำให้เกิดยอดสูงที่สุดและมีความยาวยอดมากที่สุด คือ 12.00 ยอดต่อชิ้นส่วน และ 6.60 เซนติเมตร ตามลำดับ จึงเป็นความเข้มข้นที่ดีที่สุดสำหรับการชักนำให้เกิดยอดใหม่ จากนั้นนำยอดใหม่มาชักนำให้เกิดรากบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ¼ MS, ½ MS และ MS พบว่า อาหารสูตร ½ MS สามารถกระตุ้นให้เกิดจำนวนรากมากที่สุด 15.78 รากต่อต้น จึงมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการชักนำให้เกิดราก

เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชด้วยระบบจมชั่วคราว

ปัจจุบันการขยายพันธุ์พืชด้วยระบบจมชั่วคราว (temporary immersion system: TIS) ประสบความสำเร็จในพืชเศรษฐกิจหลากหลายชนิดรวมทั้งไม้ดอกไม้ประดับ ซึ่งช่วยในการลดต้นทุนการผลิตต้นพันธุ์ได้เป็นอย่างมาก รวมถึงได้ผลผลิตในปริมาณที่เพิ่มขึ้นด้วย ระบบ TIS เป็นการใช้ชุดอุปกรณ์ไบโอรีแอคเตอร์ (bioreactor) ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ โดยในงานวิจัยนี้ใช้ระบบ TIS แบบขวดแฝด (twin-flasks TIS) ซึ่งมีหลักการทำงาน คือ ประกอบด้วยภาชนะ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ใช้เพาะเลี้ยงชิ้นส่วนพืช และส่วนที่ใช้เก็บอาหารเหลว แต่ละส่วนมีท่อเชื่อมถึงกัน การให้อาหารแก่ชิ้นส่วนพืชใช้วิธีการผลักดันอาหารไปและกลับด้วยแรงดันลมจากปั๊มลม ซึ่งถูกควบคุมด้วยอุปกรณ์ตั้งเวลา อากาศที่เติมเข้าในภาชนะจะผ่านแผ่นกรองอากาศ (air filter) ซึ่งมีรูพรุนขนาด 0.2 ไมครอน จึงทำให้อากาศสะอาดปลอดเชื้อ (Georgiev et al., 2014) (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 หลักการทำงานของระบบ TIS แบบขวดแฝด
ที่มา: Georgiev et al. (2014)

รายงานวิจัยที่ศึกษาการขยายพันธุ์เบญจมาศระบบไบโอรีแอคเตอร์

เนื่องจากเบญจมาศเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความต้องการมากในตลาด ดังนั้นการขยายพันธุ์ด้วยระบบไบโอรีแอคเตอร์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตต้นพันธุ์ให้ได้จำนวนมากยิ่งขึ้น มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ระบบไบโอรีแอคเตอร์ในการขยายพันธุ์เบญจมาศ ยกตัวอย่างดังนี้

Hahn et al. (1996) ศึกษาการขยายพันธุ์เบญจมาศในระบบไบโอรีแอคเตอร์แบบคอลัมน์ ใส่ชิ้นส่วนข้อเดี่ยว 20, 40, 60 และ 80 ชิ้นส่วนต่อภาชนะ ของระบบไบโอรีแอคเตอร์ขนาด 10 ลิตร พบว่า การใส่ชิ้นส่วนข้อ 80 ชิ้นส่วนต่อภาชนะ ทำให้เกิดยอดที่มีความยาวมากที่สุด 28.30 เซนติเมตร แต่มีจำนวนกิ่งน้อยที่สุด ซึ่งเป็นจำนวนชิ้นส่วนพืชที่มีความเหมาะสมสำหรับการเพิ่มปริมาณยอด นอกจากนี้ได้ทดสอบการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อเดี่ยวในระบบไบโอรีแอคเตอร์ที่แตกต่างกัน 3 ระบบ ได้แก่ ระบบ DFT และ immersion พบว่า การเพาะเลี้ยงแบบระบบ DFT ทำให้มี

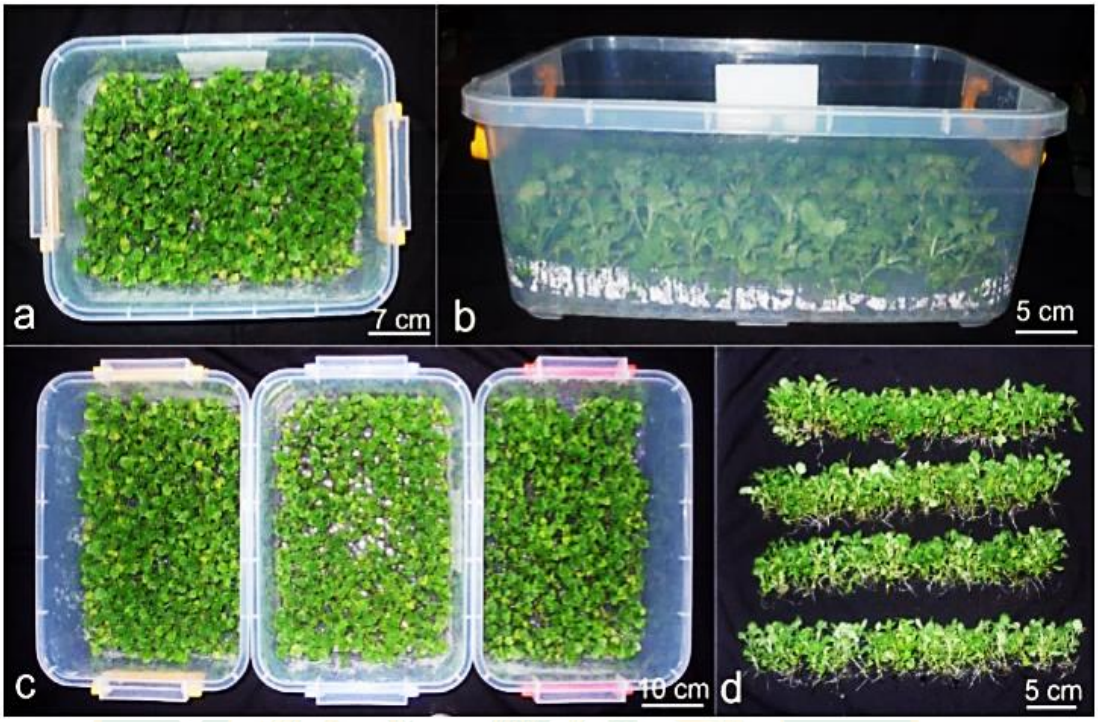
น้ำหนักสด ความยาวยอด และพื้นที่ใบมากที่สุด 2.63 กรัมต่อต้น, 15.80 เซนติเมตร และ 2.20 มิลลิเมตร ตามลำดับ

Kim et al. (2002) ศึกษาปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงเบญจมาศในระบบไบโอรีแอคเตอร์ชนิดคอลัมน์ ได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิ ปริมาณอากาศ องค์ประกอบของอาหาร จำนวนชิ้นส่วนพืชที่เพาะเลี้ยง ผลปรากฏว่า ความเข้มแสง 100 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ปริมาณอากาศ 0.10 vvm และจำนวนชิ้นส่วนข้อ 40-60 ข้อต่อภาชนะ เป็นปัจจัยที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงเบญจมาศในระบบไบโอรีแอคเตอร์ การทดสอบการย้ายต้นกล้าที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในระบบไบโอรีแอคเตอร์ออกปลูกในเรือนโรง ใช้วัสดุปลูกต่าง ๆ ได้แก่ ทราย, พีทมอส, พีทมอสผสมเพอร์ไลท์ (1:1) และ พีทมอสผสมเวอร์มิคูไลท์ (1:1) หลังปลูก 40 วัน พบว่า ต้นกล้าที่ปลูกในวัสดุ พีทมอสผสมเพอร์ไลท์ (1:1) มีอัตราการรอดชีวิตสูงถึง 100%

วรัญญา (2556) ศึกษาการเพิ่มปริมาณต้นเบญจมาศ พันธุ์ ‘MUM 13’ ในสภาพปลอดเชื้อโดยใช้อาหารสูตร MS ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโต หรือเติม BAP 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร พร้อมเปรียบเทียบการเพาะเลี้ยงในระบบจมชั่วคราว (ให้อาหารเหลว 6 ครั้งต่อวัน ครั้งละ 5 นาที) และอาหารแข็ง พบว่า การเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร MS ปราศจากสารควบคุมการเจริญเติบโตในระบบจมชั่วคราวให้ผลดีที่สุด โดยมีการเจริญเติบโตของข้อและใบที่ชัดเจน มีลำต้นสมบูรณ์ จึงมีความเหมาะสมในการเพิ่มปริมาณต้นส่วนต้นที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่เติม BAP 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระบบจมชั่วคราวมีการแตกตาข้างแทบจะทุกชิ้นส่วนทำให้เกิดยอดมากถึง 7.04 ยอดต่อชิ้นส่วน แต่ผลลัพธ์ที่ได้นั้นส่งผลทำให้ต้นที่ได้เกิดลักษณะผิดปกติ คือ มีการฉ่ำน้ำสูง

ระบบไมโครโพนิกส์ (microponic system)

ไมโครโพนิกส์ (microponics) จัดได้ว่าเป็นเทคนิคใหม่ของการเพาะเลี้ยงต้นพืช โดยเป็นการผสมผสานข้อดีระหว่างการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชและระบบไฮโดรโพนิกส์เข้าด้วยกัน ระบบนี้ได้รับการอธิบายครั้งแรกและใช้เทคนิคการให้ธาตุอาหารแบบ (NFT) ด้วยเครื่องสูบน้ำขนาดเล็กสำหรับการหมุนเวียนอาหารผ่านฉนวนใยหิน (rockwool) สภาวะการเพาะเลี้ยง (อุณหภูมิ, คาร์บอนไดออกไซด์, ความชื้น, pH และการนำไฟฟ้า) วิธีการนี้ปฏิบัติได้ง่ายโดยนำพืชมาเพาะเลี้ยงในภาชนะขนาดใหญ่ที่หาซื้อได้ทั่วไป เช่น กล่องพลาสติกที่สามารถบรรจุต้นได้เป็นจำนวนมากจึงลดพื้นที่เพาะเลี้ยง (ภาพที่ 3) ลดการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์เนื่องจากไม่มีการเติมน้ำตาลในอาหารที่เพาะเลี้ยง ไม่จำเป็นต้องนึ่งฆ่าเชื้ออุปกรณ์ต่าง ๆ จึงช่วยลดต้นทุนการผลิตและสะดวก ส่วนการปฏิบัติดูแลพืชทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก โดยพืชที่เลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เมื่อนำไปออกปลูกในโรงเรือนจะมีอัตราการรอดชีวิตสูงขึ้น (Hahn et al., 1996) อาจกล่าวได้ว่าระบบไมโครโพนิกส์เป็นแนวทางใหม่ที่จะเข้ามาการผลิตพืชแบบดั้งเดิมและรองรับการผลิตพืชในเชิงพาณิชย์



ภาพที่ 3 การเพาะเลี้ยงพืชในระบบไมโครโพนิกส์โดยใช้กล่องพลาสติก
ที่มา: Tung et al. (2018)

มีรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ระบบไมโครโพนิกส์ในการชักนำให้ออกรากและปรับสภาพต้นเบญจมาศ ยกตัวอย่างดังนี้

Eun-Joo et al. (1998) นำชิ้นส่วนข้อความยาว 1-1.5 เซนติเมตร ที่ได้จากต้นเบญจมาศเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ นำมาทดสอบการเพาะเลี้ยงใน 2 ระบบที่แตกต่างกัน ได้แก่ การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและระบบไมโครโพนิกส์ สังเกตการเจริญเติบโตและการรอดชีวิตของต้นกล้า 30 วันหลังย้ายปลูก พบว่า ต้นเบญจมาศที่เพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์มีการเจริญเติบโต (ความยาวใบ 5.83 เซนติเมตร, ความกว้างใบ 4.14 เซนติเมตร และพื้นที่ใบ 46.02 เฮกโตเซนติเมตร) มากกว่าต้นที่เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (ความยาวใบ 1.78 เซนติเมตร, ความกว้างใบ 1.13 เซนติเมตร และพื้นที่ใบ 6.30 เฮกโตเซนติเมตร) นอกจากนี้ยังพบว่า ในระบบไมโครโพนิกส์ยังมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นสูงขึ้นด้วย ส่วนจำนวนใบของต้นเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (12.20 ใบต่อต้น) มากกว่าต้นที่เพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ (10.10 ใบต่อต้น) แต่ใบมีขนาดเล็กมาก ต้นกล้าที่ได้จากทั้ง 2 ระบบ มีอัตราการรอดชีวิต 100% หลังการย้ายปลูก อัตราการสังเคราะห์แสงของต้นกล้าในระบบไมโครโพนิกส์สูงกว่าต้นเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

Nhut et al. (2005) ศึกษาการนำยอดเบญจมาศที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ความยาว 3.0 เซนติเมตร มาแช่ด้วย NAA ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาต่าง ๆ แล้วนำไปเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่า การแช่สารละลาย NAA 500 ppm เป็นระยะเวลา 20 นาที มีความเหมาะสมที่สุดในการชักนำให้เกิดราก โดยมีน้ำหนักสด ความยาวยอด ความยาวราก และอัตรารอดชีวิต 0.31 กรัม, 5.99 เซนติเมตร, 3.08 เซนติเมตร และ 100% ตามลำดับ (เทียบกับ NAA 100 และ 1,000 ppm และระยะเวลาแช่ 10 และ 30 นาที) นอกจากนี้ตัดส่วนยอดความยาว 10 เซนติเมตร จากต้นที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในระบบไมโครโพนิกส์มาย้ายปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์แบบน้ำนิ่ง โดยปลูก 20 ยอดต่อกล่องปลูก พบว่า สารละลายอาหารสูตร ½ MS ให้ผลดีที่สุดที่สุด โดยมีอัตราการรอดชีวิต ความยาวยอด จำนวนใบ ความยาวใบ เส้นผ่านศูนย์กลางใบ จำนวนราก ความยาวราก น้ำหนักสด 100%, 14.85 เซนติเมตร, 7.00 ใบต่อต้น, 6.46 เซนติเมตร, 4.82 เซนติเมตร, 28.60 รากต่อต้น, 2.47 เซนติเมตร และ 2.24 กรัม ตามลำดับ)

Tung et al. (2018) ศึกษาการผลิตเบญจมาศในระดับอุตสาหกรรม โดยทดสอบด้วยระบบไมโครโพนิกส์ที่เสริมด้วยอนุภาคเงินนาโนเงินและเพาะเลี้ยงภายแสง LED พบว่า การเพาะเลี้ยงยอดเบญจมาศในระบบไมโครโพนิกส์ที่เหมาะสม คือ การเสริมด้วยอนุภาคเงินนาโน 7.5 ppm ภายใต้แสง LED สีน้ำเงิน 30% ร่วมกับสีแดง 70% ซึ่งให้ผลดีที่สุดต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของต้น และมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการลดปริมาณเชื้อแบคทีเรีย 8 ชนิดและเชื้อรา 3 ชนิด นอกจากนี้ยังพบว่าเบญจมาศที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบไมโครโพนิกส์เริ่มออกดอกหลังจาก 15 สัปดาห์เมื่อย้ายปลูก ซึ่งเร็วกว่าต้นเบญจมาศที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ 1 สัปดาห์

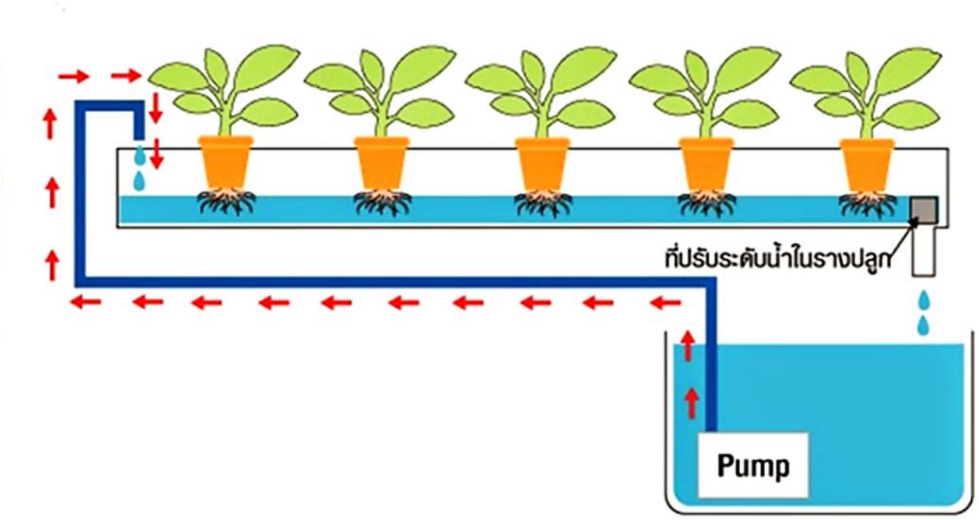
Zhou andCui (2010) ได้ทำการศึกษาผลของการไหลของโฟตอนในการสังเคราะห์ด้วยแสง (PPF) ที่ 50 100 และ 250 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที และหาค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของเบญจมาศ โดยใช้ระบบไมโครโพนิกส์ พบว่า PPF ที่สูง 250 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) มีค่า pH เท่ากับ 0.8 และค่า EC เท่ากับ 3.0 มิลลิซีเมนส์ ของสารละลายธาตุอาหาร ทำให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวยอด ความยาวราก และจำนวนใบใหม่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่า PPF ที่สูงยังทำให้มีการดูดซับคาร์บอนไดออกซ์ ส่งผลให้การเปิดของปากใบและการคายน้ำในใบสูง ดังนั้นค่า PPF และ EC สารละลายธาตุอาหารที่สูงมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเบญจมาศ ที่เพาะเลี้ยงระบบไมโครโพนิกส์

ระบบไฮโดรโพนิกส์ (hydroponic system)

ไฮโดรโพนิกส์ (hydroponics) เป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน แต่ใช้น้ำที่มีธาตุอาหารพืชละลายอยู่ผ่านรากพืช โดยปกติแล้วการที่พืชจะเจริญเติบโตได้ดีนั้นต้องอาศัยปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมหลายอย่าง เช่น แสงแดด อุณหภูมิ น้ำ และธาตุอาหารพืช การที่พืชจะนำธาตุอาหารพืชไปใช้ประโยชน์ได้นั้นจะต้องคำนึงถึงสภาพความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินหรือสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ปลูกพืช (ธนเดช และคณะ, 2556)

ข้อดีของระบบไฮโดรโพนิกส์ คือ ประหยัดพื้นที่ ควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตได้ ไม่ปนเปื้อนกับสารเคมีต่าง ๆ ในดิน อีกทั้งประหยัดเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินและกำจัดวัชพืช เป็นระบบที่พืชจะได้รับธาตุอาหารในรูปสารละลายผ่านทางราก ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที เพราะมีการปรับค่าการนำไฟฟ้า (EC) และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังมีการใช้ฟองน้ำที่เป็นวัสดุทดแทนดินเพื่อทำหน้าที่ให้รากยึดเกาะและยังมีบทบาทสำคัญคือ อุ้มน้ำได้ดีจึงลดการสูญเสียน้ำ มีช่องอากาศมากทำให้มีออกซิเจนในการหายใจของรากพืชส่งผลให้ต้นพืชจะเติบโตได้ดี (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2558)

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์นับว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญทั้งในปัจจุบันและในอนาคต คุ้มค่าต่อเกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม นับเป็นความก้าวหน้าทางการเกษตรที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จึงก่อเกิดเป็นระบบไฮโดรโปนิกส์ในรูปแบบที่แตกต่างกัน เช่น deep flow technique (DFT), dynamic root floating technique (DRFT) และ nutrient film technique (NFT) เป็นต้น (มณีรัตน์ และคณะ, 2548) ในที่นี้จะขอกล่าวถึงระบบไฮโดรโพนิกส์แบบ DRFT ที่ใช้ในการวิจัยนี้เท่านั้น ซึ่งพัฒนาให้เพิ่มการไหลเวียนของสารละลายธาตุอาหารและอากาศ ระบบน้ำเป็นแบบปิด เป็นระบบปลูกที่ใช้แพร่หลายในประเทศไทย มีข้อดี คือ ระบบไม่ยุ่งยากดูแลง่าย สามารถหาอุปกรณ์ต่าง ๆ และซ่อมแซมได้ง่าย ระบบการให้น้ำไม่ต้องดูแลมาก การป้องกันและกำจัดเชื้อโรคพืชต่าง ๆ ในสารละลายทำได้ง่าย เป็นระบบที่มีการใช้น้ำและธาตุอาหารอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด สามารถใช้ปลูกผักได้อย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปี ประมาณ 8-12 ครั้งต่อปี (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การทำงานของระบบไฮโดรโพนิกส์แบบ DRFT
ที่มา: พัชรี (2559)

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ระบบไฮโดรโพนิกส์ในการปรับสภาพต้นพืชที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ มีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการปรับสภาพด้วยระบบไฮโดรโพนิกส์ ยกตัวอย่างดังนี้

Hahn et al. (2000) ศึกษาการเจริญเติบโตและการปรับสภาพต้นเบญจมาศที่ได้จากระบบไบโอรีแอคเตอร์โดยใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงด้วยระบบไฮโดรโพนิกส์ พบว่า การเจริญเติบโตของการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนเบญจมาศที่อัตราส่วนต่าง ๆ ของ NH_4^+:NO_3^- มีอัตราการเติบโตของยอดดีที่สุดที่อัตราส่วนของ NH_4^+:NO_3^- เท่ากับ 1:4 น้ำหนักสดและแห้ง จำนวนใบ พื้นที่ใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดสูงกว่าในอัตราส่วนอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สภาพอากาศแวดล้อมที่เหมาะสม สำหรับการออกปลูกเบญจมาศ คือ ช่วงแสง 200 ไมโครโมลตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิอากาศ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5% ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 1,000 ไมโครโมลต่อโมล และสภาพแวดล้อมการเกิดรากที่เหมาะสมถูก คือ กำหนดให้สารละลายมีค่า pH 6.0 และค่า EC 1.5-2.2 มิลลิซีเมนส์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Zapata et al. (2003) ศึกษาการเกิดต้นใหม่ในสภาพปลอดเชื้อและการปรับสภาพต้นขมิ้นชัน (*Curcuma longa* L.) ในระบบไฮโดรโพนิกส์ โดยการปรับสภาพให้ชินกับสภาพแวดล้อมภายนอกด้วยระบบไฮโดรโพนิกส์และสังเกตการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า พืชที่ปรับสภาพในระบบไฮโดรโพนิกส์มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูงถึง 90% เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ปลูกตามสภาพแวดล้อมทั่วไปซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตลดลงอย่างเห็นได้ชัด

Nhut et al. (2004) ศึกษาการสร้างหัวและการเจริญเติบโตของต้นเผือก (*Colocasia esculenta* spp.) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเมื่อนำมาปรับสภาพต้นในระบบไฮโดรโพนิกส์

โดยเริ่มจากการนำปลายยอดของเผือกมาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS จนกระทั่งออกราก แล้วนำต้นที่สมบูรณ์มาศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตในการปรับสภาพ 2 ระบบ ได้แก่ (1) การปรับสภาพสภาพตามปกติในดิน และ (2) การปรับสภาพในระบบไฮโดรโพนิกส์ พบว่า มีการสร้างหัวจิ๋วเกิดขึ้นหลังจากการย้ายปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์เป็นเวลา 15 หรือ 30 วัน และการเจริญเติบโตของต้นกล้าก็เพิ่มขึ้นด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกในดิน รวมทั้งอัตราการรอดชีวิต ความสูงต้น จำนวนใบ และจำนวนหัวจิ๋วของต้นกล้าในระบบไฮโดรโพนิกส์ยังสูงกว่าการปลูกในดินเช่นกัน ต่อมาเมื่อย้ายลงแปลงปลูก พบว่า ต้นเผือกที่ผ่านการปรับสภาพในระบบไฮโดรโพนิกส์ยังมีการเจริญเติบโตที่สูงกว่าต้นที่ผ่านการปรับสภาพแบบปลูกในดิน โดยมีอัตราการรอดชีวิต จำนวนใบ ความสูงต้น จำนวนหัวที่มากกว่า คือ 100%, 3.20 ใบต่อต้น, 152 มิลลิเมตร และ 1 หัวต่อต้น ตามลำดับ

Duan et al. (2020) ศึกษาการอนุบาลและการปรับสภาพต้นในระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยนำต้นเทียวฮวยฮุ้ง (*Trichosanthes kirilowii*) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาปลูกในสารละลายอาหารสูตร ¼, ½ และเต็มสูตร Hoagland เปรียบเทียบกับการปลูกในดิน เมื่ออนุบาลเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า การใช้สารละลายอาหารทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น ทำให้พืชมีอัตราการรอดชีวิต การเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุ ศักยภาพการสังเคราะห์แสง และความหนาแน่นของปากใบที่สูงกว่าต้นที่อนุบาลในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าทางสัณฐานวิทยา ส่วนลักษณะของปากใบในต้นที่เจริญในสารละลายอาหารสูตร ¼ Hoagland มีอัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการคายน้ำ และค่าการชักนำของปากใบ (stomatal conductance) สูงที่สุด การศึกษากายวิภาคและเนื้อเยื่อวิทยา พบว่า รากของต้นที่อนุบาลในสารละลายอาหารสูตร ¼ Hoagland จะมีขนาดของช่องอากาศ (aerenchyma spaces) ที่ใหญ่ขึ้น มีความหนาของลิกนิน (lignin) มากขึ้น และพบซูเบอริน (suberin) และลิกนินที่มากกว่าในส่วนคอร์เท็กซ์ (cortex) ของราก เมื่อเปรียบเทียบกับรากของต้นที่ปลูกในดิน ทำให้เห็นว่าโครงสร้างรากเทียวฮวยฮุ้งสามารถปรับตัวให้มีความยืดหยุ่นทางสัณฐานวิทยา (phenotypic plasticity) เพียงพอในการเจริญเติบโตในระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยสร้างช่องอากาศที่ใหญ่ขึ้นและมีส่วน apoplastic barriers ที่หนาขึ้นด้วย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

สารเคมี วัสดุอุปกรณ์ และพืชทดลอง

1. สารเคมีสำหรับฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนพืช
   - เอทิลแอลกอฮอล์ 70%
   - ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6%
   - คลอร็อกซ์ (Clorox®) 10%
2. สารเคมีสำหรับเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
   - สารอาหารสูตร MS (Murashige and Skoog, 1962)
   - สารควบคุมการเจริญเติบโต BAP และ NAA
   - น้ำตาลซูโครส
   - ผงวุ้น (agar)
3. เครื่องมือและอุปกรณ์เตรียมอาหาร
   - เครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์ กระบอกตวง ขวดวัดปริมาตร แท่งแก้ว
   - เครื่องกรองน้ำ reverse osmosis
   - เครื่องชั่งดิจิทัลทศนิยมสองและสี่ตำแหน่ง
   - ขวดแก้วขนาด 24 ออนซ์ พร้อมฝา
   - เครื่องวัดค่า pH (pH meter) แบบตั้งโต๊ะ
   - เตาแก๊ส
   - หม้อโลหะทนความร้อนและทัพพี
   - หม้อนึ่งความดัน (autoclave)
4. เครื่องมือและอุปกรณ์ตัดถ่ายเนื้อเยื่อ
   - ตู้ตัดถ่ายเนื้อเยื่อ (lamina air flow cabinet)
   - เครื่องฆ่าเชื้ออุปกรณ์ผ่าตัด glass bead sterilizer
   - ชุดอุปกรณ์ผ่าตัด เช่น มีดผ่าตัด ปากคีบ กระดาษรองผ่าตัด
5. ชุดอุปกรณ์สำหรับระบบ TIS แบบขวดแฝด (ภาพที่ 5)
   - ขวดแก้วขนาด 24 ออนซ์ พร้อมฝาเจาะรู
   - สายยางซิลิโคนทนความร้อน
   - ชุดข้อต่อต่าง ๆ เช่น ท่อเหล็ก แหวนรองน็อต

- ตัวกรองอากาศ (air filter) 0.2 ไมโครเมตร
- ปั๊มลมไร้น้ำมัน
- ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมการไหลของอากาศ

ภาพที่ 5 ชุดภาชนะระบบ TIS แบบขวดแฝด

6. วัสดุอุปกรณ์สำหรับระบบไมโครโพนิกส์
   - กล่องพลาสติกโปร่งแสงขนาด 11.5×11.5×7.5 เซนติเมตร พร้อมฝาเจาะรูระบายอากาศเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร จำนวน 1 รู ปิดด้วยเทปแต่งแผล สำหรับใช้ในการทดลองที่ 4 (ภาพที่ 6)
   - กล่องพลาสติกโปร่งแสงขนาด 11.0×18.0×6.5 เซนติเมตร พร้อมฝาเจาะรูระบายอากาศเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร จำนวน 0, 1, 3 และ 5 รู ปิดด้วยเทปแต่งแผล สำหรับใช้ในการทดลองที่ 5 (ภาพที่ 7)
   - ก้อนฟองน้ำสำหรับปลูกพืช

ภาพที่ 6 กล่องพลาสติกขนาด 11.5×11.5×7.5 เซนติเมตร ที่มีรูระบายอากาศจำนวน 1 รู สำหรับเพาะเลี้ยงพืชในระบบไมโครโพนิกส์

ภาพที่ 7 กล่องพลาสติกขนาด 11.0x18.0×6.5 เซนติเมตร ที่มีรูระบายอากาศจำนวน 0-5 รู สำหรับเพาะเลี้ยงพืชด้วยระบบไมโครโพนิกส์

7. วัสดุอุปกรณ์สำหรับอนุบาลพืช
   - ไวท์พีท (white peat)
   - ถาดเพาะกล้าแบบก้นกลม 104 หลุม ขนาด 4×4×4 เซนติเมตร
   - ถาดปลูกพืชระบบไฮโดรโพนิกส์แบบ DRFT
   - ฟองน้ำสำหรับปลูกพืช
8. พืชทดลอง

ต้นแม่พันธุ์เบญจมาศ WG อายุประมาณ 2 เดือน ปลูกในแปลง ได้รับแสงจากธรรมชาติ ใช้ตาข่ายสีดำพรางแสง 60% (ภาพที่ 8)

ภาพที่ 8 ต้นแม่พันธุ์เบญจมาศในแปลงปลูก

การเตรียมต้นเบญจมาศในสภาพปลอดเชื้อเพื่อใช้เป็นแหล่งชิ้นส่วนตั้งต้นสำหรับการทดลอง

คัดเลือกกิ่งของต้นแม่พันธุ์เบญจมาศ เช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ 70% และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6% ตัดแต่งส่วนใบทิ้งไป ฟอกฆ่าเชื้อด้วย Clorox® 10% เป็นระยะเวลา 10 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ 3 ครั้ง ตัดแต่งชิ้นส่วนข้อเดี่ยวนำมาเพาะเลี้ยงลงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BAP 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อชักนำให้เกิดยอด โดยย้ายเปลี่ยนอาหารทุก ๆ 4 สัปดาห์ บนอาหารกึ่งแข็งสูตร ½ MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตเพื่อเพิ่มปริมาณต้นให้เพียงพอสำหรับทำการทดลองต่าง ๆ (ภาพที่ 9)

ภาพที่ 9 ต้นเบญจมาศที่เจริญในสภาพปลอดเชื้อสำหรับใช้ทำการทดลองต่าง ๆ

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของความเข้มข้นสูตรอาหารและ BAP ต่อการเพิ่มปริมาณยอดบนอาหารกึ่งแข็ง

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบความเข้มข้นของสูตรอาหารเพาะเลี้ยง ได้แก่ ¼ MS, ½ MS และ MS และความเข้มข้นของ BAP ได้แก่ 0, 0.25, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมทั้งสิ้น 12 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ใช้ 10 ชิ้นส่วนข้อเดี่ยวต่อ 1 ซ้ำ (ขวด) นำชิ้นส่วนข้อเดี่ยวจากต้นที่เพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อ ความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร มาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เติม BAP ความเข้มข้นที่แตกต่างกันตามแผนการทดลอง เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ บันทึกผล ได้แก่ จำนวนยอดต่อชิ้นส่วน ความยาวยอด จำนวนข้อต่อยอด และน้ำหนักสดของยอด

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของระบบเพาะเลี้ยงต่อการเพิ่มปริมาณยอด

ในการทดสอบเบื้องต้นจากการเพาะเลี้ยงเบญจมาศพันธุ์ WG ในระบบ TIS โดยให้อาหารในความถี่มากกว่าทุก 24 ชั่วโมง พบว่า มีแนวโน้มทำให้ยอดที่เกิดใหม่มีการฉ่ำน้ำซึ่งเป็นลักษณะที่ผิดปกติ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดความถี่ในการให้อาหาร คือ ทุก 24 ชั่วโมง วางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบระยะเวลาการให้อาหารในระบบ TIS แบบขวดแฝด ได้แก่ ครั้งละ 4, 5 และ 6 นาที โดยให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง และมีการเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งเป็นกลุ่มควบคุม (control) รวมทั้งสิ้น 4 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ใช้ 10 ชิ้นส่วนข้อเดี่ยวต่อ 1 ซ้ำ (ขวด) นำชิ้นส่วนข้อเดี่ยวจากต้นที่เพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อ ความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร มาเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งหรือระบบ TIB ตามแผนการทดลอง ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ บันทึกผล ได้แก่ จำนวนยอดต่อชิ้นส่วน ความยาวยอด จำนวนข้อต่อยอด น้ำหนักสดของยอด และเปอร์เซ็นต์การฉ่ำน้ำ

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของระบบเพาะเลี้ยงและ NAA ต่อการชักนำให้ออกรากในสภาพปลอดเชื้อ

วางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบระบบเพาะเลี้ยง ได้แก่ อาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS และความเข้มข้นของ NAA ได้แก่ ได้แก่ 0, 0.05, 0.10, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมทั้งสิ้น 10 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ใช้ 10 ชิ้นส่วนข้อเดี่ยวต่อ 1 ซ้ำ (ขวด) นำชิ้นส่วนข้อเดี่ยวจากต้นที่เพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อ ความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร มาเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งหรือระบบ TIB ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 5 นาที ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ความเข้มข้นต่าง ๆ ตามแผนการทดลอง เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ บันทึกผล ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การออกราก วันที่เริ่มออกราก จำนวนรากต่อต้น ความยาวราก ความสูงยอด และจำนวนใบต่อต้น

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเบญจมาศในการทดลองที่ 1-3 ควบคุมอุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส ให้แสงจากหลอด LED สีขาว ความเข้มแสง 30 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที เป็นระยะเวลา 14 ชั่วโมงต่อวัน

การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของ NAA ต่อการชักนำให้ออกรากในระบบไมโครโพนิกส์

วางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบความเข้มข้นของ NAA ได้แก่ ได้แก่ 0, 100, 250, 500 และ 1000 ppm รวมทั้งสิ้น 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ใช้ 9 ชิ้นส่วนยอดต่อ 1 ซ้ำ (กล่อง) โดยนำชิ้นส่วนยอดจากต้นที่เพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อ ความยาวประมาณ 3 เซนติเมตร แช่ในสารละลาย NAA ความเข้มข้นต่าง ๆ ตามแผนการทดลอง เป็นระยะเวลา 20 นาที แล้วหุ้มส่วนโคนด้วยก้อนฟองน้ำสำหรับปลูกพืช นำไปเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่เป็นกล่องพลาสติกขนาด 11.5x11.5x7.5 เซนติเมตร (ความจุ 992 ลูกบาศก์เซนติเมตร) มีจำนวนรูระบายอากาศ 1 รู และบรรจุอาหารเหลวสูตร ½ MS ที่ไม่เติมน้ำตาลและสารควบคุมการเจริญเติบโต ปริมาตร 90 มิลลิลิตร (ภาพที่ 10) เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ บันทึกผล ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต เปอร์เซ็นต์การออกราก วันที่เริ่มออกราก จำนวนรากต่อต้น ความยาวราก ความสูงต้น จำนวนใบต่อต้น

ภาพที่ 10 การเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนยอดเบญจมาศด้วยระบบไมโครโพนิกส์ โดยห่อส่วนโคนด้วยก้อนฟองน้ำ (ซ้าย) และเก็บในกล่องพลาสติกขนาด 11.5×11.5×7.5 เซนติเมตร ที่มีอาหารเหลว (ขวา)

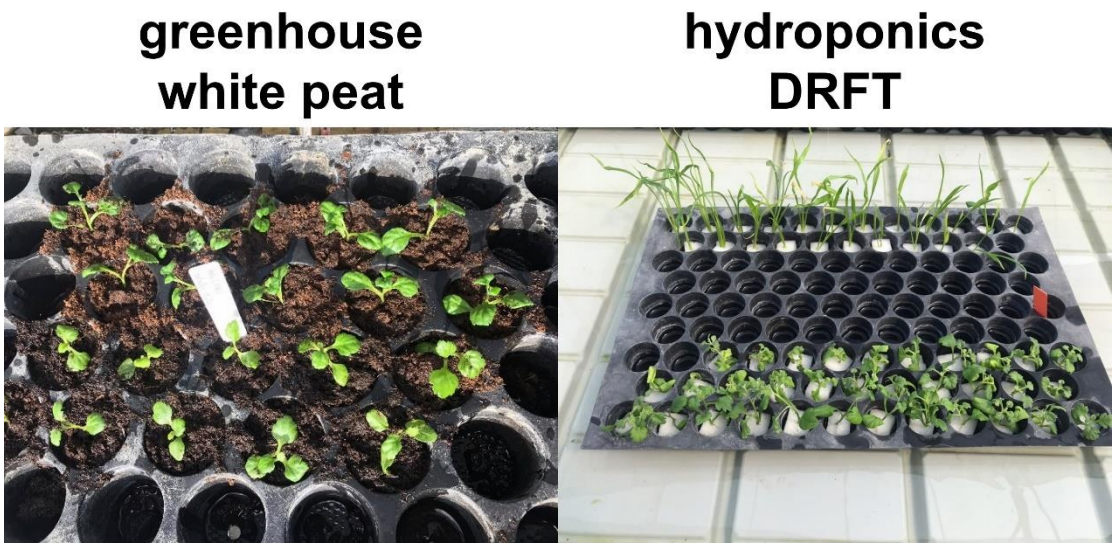
การทดลองที่ 5 ศึกษาผลของจำนวนรูระบายอากาศต่อการชักนำให้ออกรากในระบบไมโครโพนิกส์

วางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบจำนวนรูระบายอากาศของระบบไมโครโพนิกส์ ได้แก่ 0, 1, 3 และ 5 รู รวมทั้งสิ้น 4 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ใช้ 9 ชิ้นส่วนยอดต่อ 1 ซ้ำ (กล่อง) นำชิ้นส่วนยอดจากต้นที่เพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อความยาวประมาณ 3 เซนติเมตร มาหุ้มส่วนโคนด้วยก้อนฟองน้ำสำหรับปลูกพืช นำไปเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่เป็นกล่องพลาสติกขนาด 11.0x18.0x6.5 เซนติเมตร (ความจุ 1287 ลูกบาศก์เซนติเมตร) ซึ่งมีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันตามแผนการทดลอง และบรรจุอาหารเหลวสูตร ½ MS ที่ไม่เติมน้ำตาลและสารควบคุมการเจริญเติบโต ปริมาตร 280 มิลลิลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ บันทึกผล ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต เปอร์เซ็นต์การออกราก วันที่เริ่มออกราก จำนวนรากต่อต้น ความยาวราก ความสูงต้น จำนวนใบต่อต้น

การเพาะเลี้ยงเบญจมาศในระบบไมโครโพนิกส์ในการทดลองที่ 4 และ 5 ควบคุมอุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส ให้แสงจากหลอด LED สีขาว ความเข้มแสง 30 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที เป็นระยะเวลา 14 ชั่วโมงต่อวัน

การทดลองที่ 6 ศึกษาผลของวิธีอนุบาลต้นต่อการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตหลังย้ายปลูก

วางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบวิธีอนุบาลต้น ได้แก่ อนุบาลในโรงเรือนและระบบไฮโดรโพนิกส์ และต้นที่ชักนำให้ออกรากจากระบบเพาะเลี้ยงต่าง ๆ ได้แก่ อาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์ รวมทั้งสิ้น 6 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 15 ซ้ำ (ต้น) นำต้นที่ออกรากอายุ 4 สัปดาห์ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งหรือในระบบ TIS และใช้อาหารสูตร ½ MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต และต้นที่เพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์และใช้อาหารสูตร ½ MS ที่ไม่เติมน้ำตาลและสารควบคุมการเจริญเติบโต มาย้ายปลูกในโรงเรือนและระบบไฮโดรโพนิกส์ตามแผนการทดลอง โดยจะนำต้นไปล้างด้วยน้ำสะอาด แช่รากในสารป้องกันเชื้อราเมทาแลกซิล 1.50 กรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 20 นาที การอนุบาลในโรงเรือนใช้วัสดุปลูกเป็นไวท์พีทและปลูกในถาดหลุม การอนุบาลในระบบไฮโดรโปนิกส์ใช้แบบ DRFT ให้สารละลายปุ๋ย A และ B (1:1) ควบคุมค่า pH 5.8 และค่า EC 1.1-1.5 ไมโครซีเมนส์ (ภาพที่ 11) การอนุบาลทั้ง 2 วิธีอยู่ในโรงเรือนระบบ evaporative cooling system ให้แสงธรรมชาติผ่านตาข่ายกรองแสง 60% ควบคุมอุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60-80% เมื่อย้ายปลูกเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ บันทึกผล ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต ความสูงต้น จำนวนใบต่อต้น และน้ำหนักสดของต้น

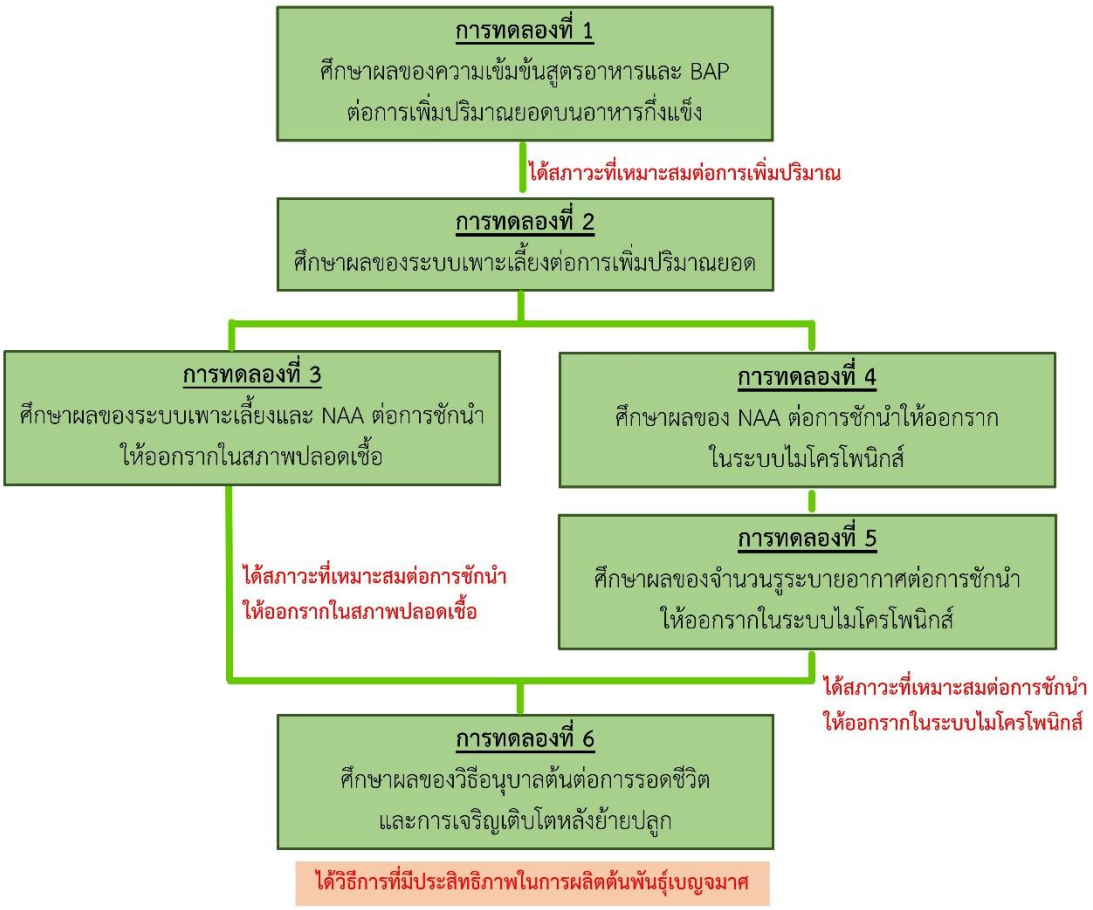


ภาพที่ 11 การอนุบาลต้นเบญจมาศในโรงเรือนและระบบไฮโดรโพนิกส์

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS (statistics 23.0) วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละหน่วยการทดลองโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลำดับขั้นตอนของแผนดำเนินการทดลองต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 12

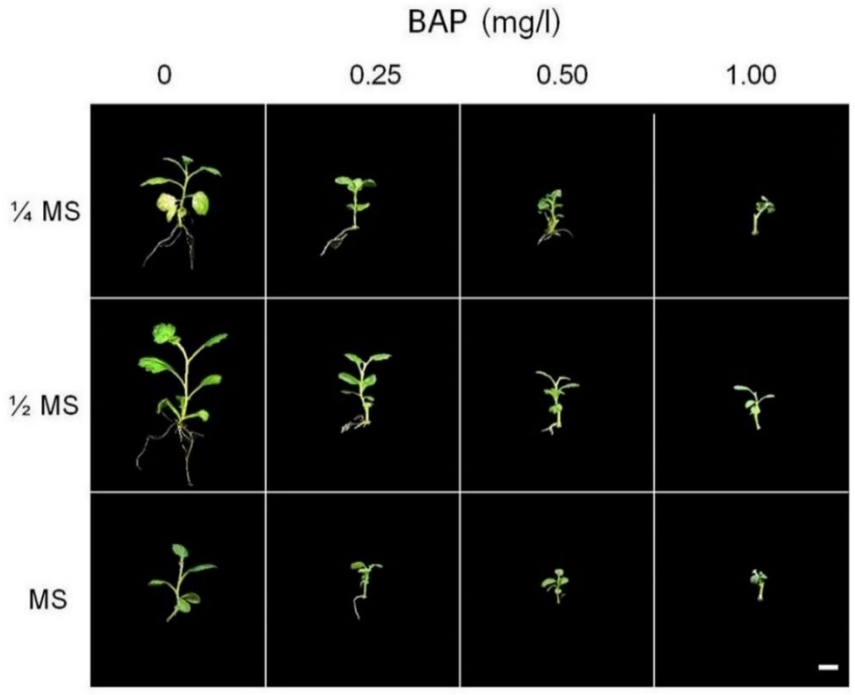


ภาพที่ 12 แผนดำเนินการทดลองต่าง ๆ ในงานวิจัยเรื่อง "การพัฒนาวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการผลิตต้นพันธุ์เบญจมาศ โดยใช้ระบบจมชั่วคราว ไมโครโพนิกส์ และไฮโดรโพนิกส์"

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลของความเข้มข้นสูตรอาหารและ BAP ต่อการเพิ่มปริมาณยอดบนอาหารกึ่งแข็ง

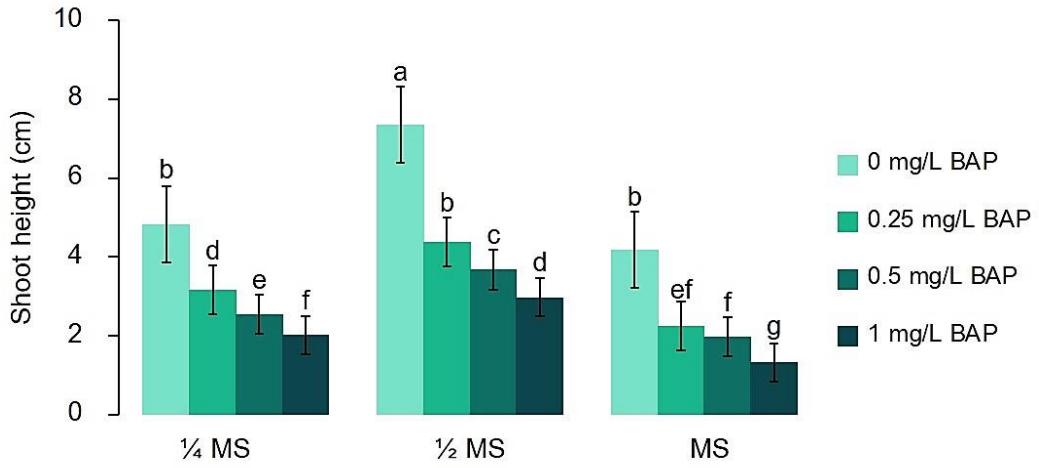
จากการนำชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศมาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ¼ MS, ½ MS และ MS ที่ไม่เติมหรือเติม BAP ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าทุกกรรมวิธีมีการเกิดยอดใหม่เป็นจำนวนเท่ากัน คือ 1.00 ยอดต่อชิ้นส่วน ซึ่งเป็นยอดที่เกิดจากตาข้าง (axillary bud) ตรงบริเวณซอกใบของชิ้นส่วนข้อเท่านั้น ไม่พบการเกิดยอดพิเศษ (adventitious shoot) และไม่พบการฉ่ำน้ำในทุกกรรมวิธี ยอดที่ได้จากการเพาะเลี้ยงบนอาหารที่ไม่เติม BAP มีลักษณะที่ค่อนข้างยาว ปล้องยาว ใบแผ่กว้าง ส่วนยอดที่ได้จากการเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม BAP มีลักษณะยอดที่สั้น ปล้องสั้น ทำให้ข้อค่อนข้างชิดกัน ความยาวยอดสั้นลงและใบมีขนาดเล็กลงตามระดับความเข้มข้นของ BAP ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบการออกรากในชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่ไม่เติม BAP หรือเติม BAP ระดับความเข้มข้นต่ำกว่า 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความยาวรากลดลงตามระดับความเข้มข้นของ BAP ที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 ลักษณะยอดใหม่ที่เกิดขึ้นจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ¼ MS, ½ MS และ MS ที่ไม่เติมหรือเติม BAP ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (bar = 1 เซนติเมตร)

ความยาวยอด

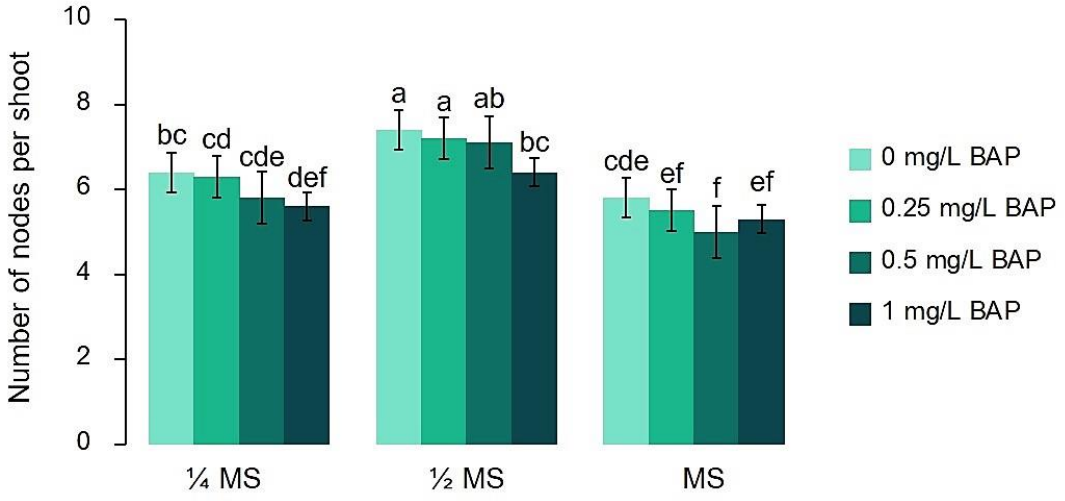
ความยาวยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 14 การเปรียบเทียบผลของระดับความเข้มข้น BAP เมื่อใช้อาหารความเข้มข้นเท่ากัน พบว่า ความยาวยอดมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของ BAP เพิ่มขึ้น การเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของสูตรอาหารเมื่อใช้ BAP ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ½ MS มีความยาวยอดมากกว่าชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ¼ MS และ MS ตามลำดับ โดยยอดของชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ½ MS ที่ไม่เติม BAP มีความยาวมากที่สุด คือ 7.36 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ส่วนชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BAP 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวยอดน้อยที่สุด คือ 1.33 เซนติเมตร



ภาพที่ 14 ความยาวยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ¼ MS, ½ MS และ MS ที่ไม่เติมหรือเติม BAP ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

จำนวนข้อต่อยอด

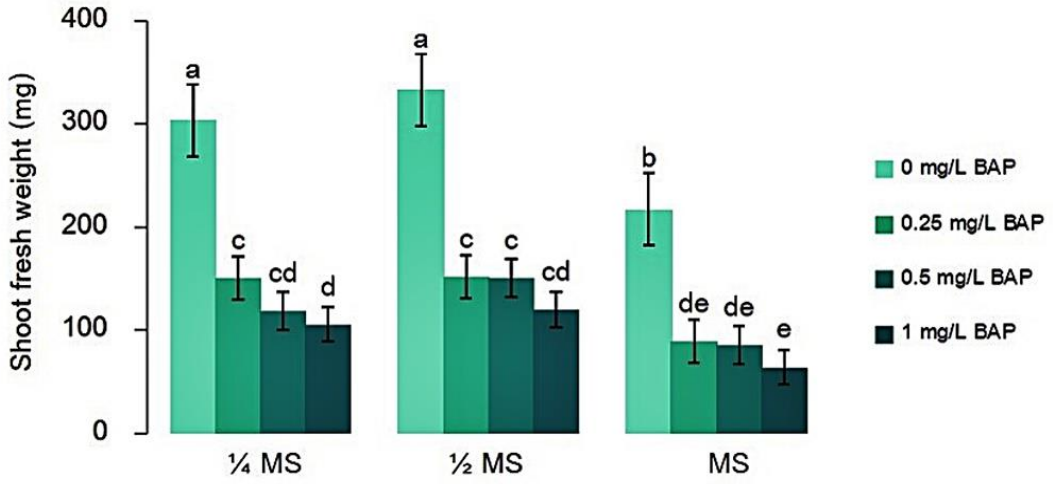
จำนวนข้อต่อยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 15 การเปรียบเทียบผลของระดับความเข้มข้น BAP เมื่อใช้อาหารความเข้มข้นเท่ากัน พบว่า จำนวนข้อต่อยอดมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของ BAP เพิ่มขึ้น การเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของสูตรอาหารเมื่อใช้ BAP ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ½ MS มีจำนวนข้อต่อยอดมากกว่าชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ¼ MS และ MS ตามลำดับ โดยยอดของชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ½ MS ที่ไม่เติม BAP มีจำนวนข้อมากที่สุด คือ 7.40 ข้อต่อยอด ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติจากชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ½ MS ที่เติม BAP 0.25 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ 7.20 และ 7.10 ข้อต่อยอด ตามลำดับ ในขณะที่ยอดของชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BAP 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนข้อน้อยที่สุด คือ 5.00 ข้อต่อยอด ตามลำดับ



ภาพที่ 15 จำนวนข้อของยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ¼ MS, ½ MS และ MS ที่ไม่เติมหรือเติม BAP ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

น้ำหนักสดของยอด

น้ำหนักสดของยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 16 การเปรียบเทียบผลของระดับความเข้มข้น BAP เมื่อใช้อาหารความเข้มข้นเท่ากัน พบว่า น้ำหนักสดของยอดมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของ BAP เพิ่มขึ้น การเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของสูตรอาหารเมื่อใช้ BAP ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ½ MS มีน้ำหนักสดของยอดสูงกว่าชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ¼ MS และ MS ตามลำดับ โดยยอดของชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ½ MS ที่ไม่เติม BAP มีน้ำหนักสดมากที่สุด คือ 333.07 มิลลิกรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติจากชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ¼ MS ที่ไม่เติม BAP คือ 303.46 มิลลิกรัม ในขณะที่ยอดของชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติม BAP 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดน้อยที่สุดเพียง 63.95 มิลลิกรัม

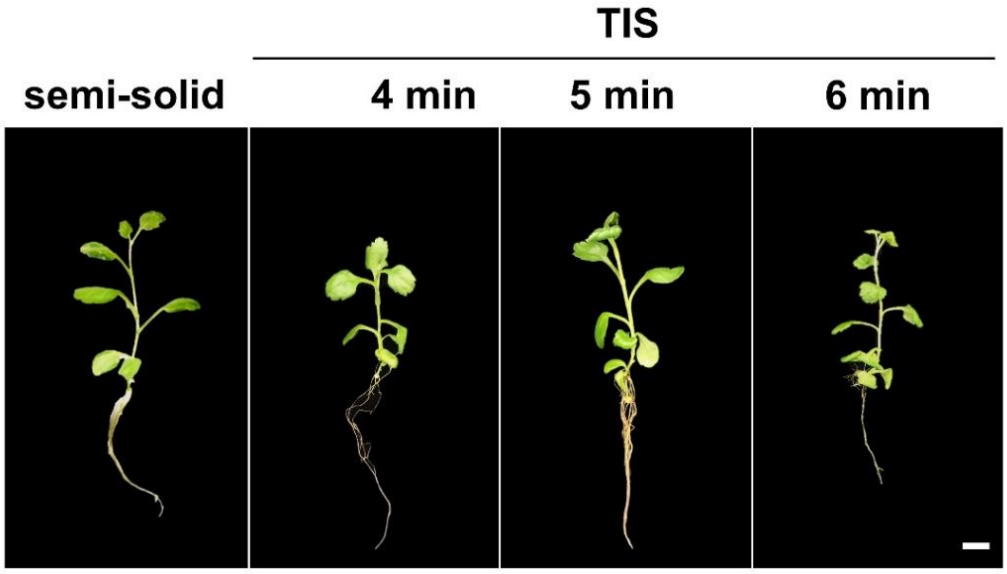


ภาพที่ 16 น้ำหนักสดของยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ¼ MS, ½ MS และ MS ที่ไม่เติมหรือเติม BAP ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

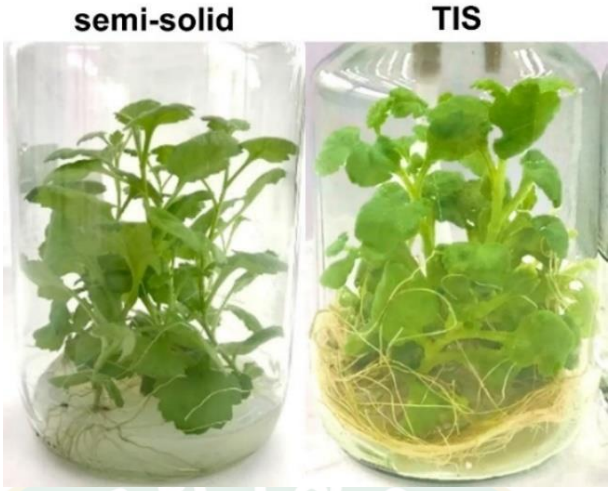
จากการที่ในการทดลองนี้พบว่า อาหารสูตร ½ MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตให้ผลดีที่สุดในการเพิ่มปริมาณยอด ดังนั้นจึงจะใช้อาหารสูตรดังกล่าวสำหรับการศึกษาในการทดลองถัดไป

ผลของระบบเพาะเลี้ยงต่อการเพิ่มปริมาณยอด

จากการนำชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศมาเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งสูตร ½ MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต โดยเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งเปรียบเทียบกับระบบ TIS ที่ให้อาหารเหลวทุก 24 ชั่วโมง ในระยะเวลาที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าทุกกรรมวิธีมีการเกิดยอดใหม่จากตาข้างตรงบริเวณซอกใบของชิ้นส่วนข้อเท่านั้น และไม่พบการเกิดยอดพิเศษ ยอดที่ได้จากการเพาะเลี้ยงทั้งสองระบบมีลักษณะที่ค่อนข้างยาว ปล้องยาว ใบแผ่กว้าง และออกรากยาว (ภาพที่ 17) แต่ยอดที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS มีลำต้นที่หนากว่ายอดที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง (ภาพที่ 18) นอกจากนี้ยังพบว่ามีการฉ่ำน้ำเกิดขึ้นเฉพาะการเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS ที่ให้อาหารครั้งละ 6 นาที เท่านั้น ซึ่งเกิดกับยอดบางส่วน (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 17 ลักษณะยอดใหม่ที่เกิดขึ้นจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 4, 5 และ 6 นาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (bar = 1 เซนติเมตร)

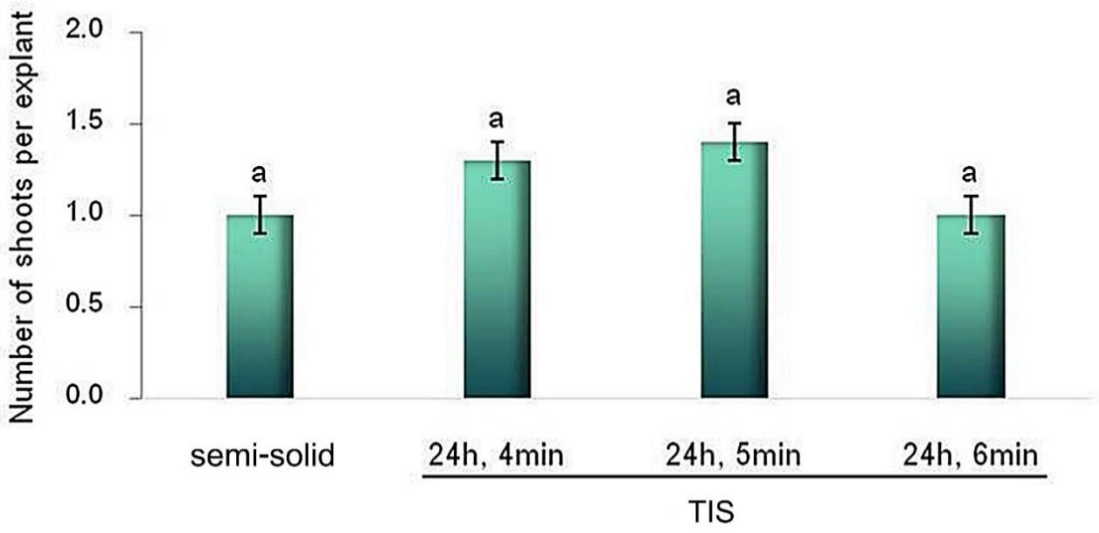


ภาพที่ 18 การเพิ่มปริมาณยอดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 5 นาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (bar = 1 เซนติเมตร)

ภาพที่ 19 ยอดที่มีลักษณะฉ่ำน้ำเมื่อเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศด้วยระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 6 นาที

จำนวนยอดต่อชิ้นส่วน

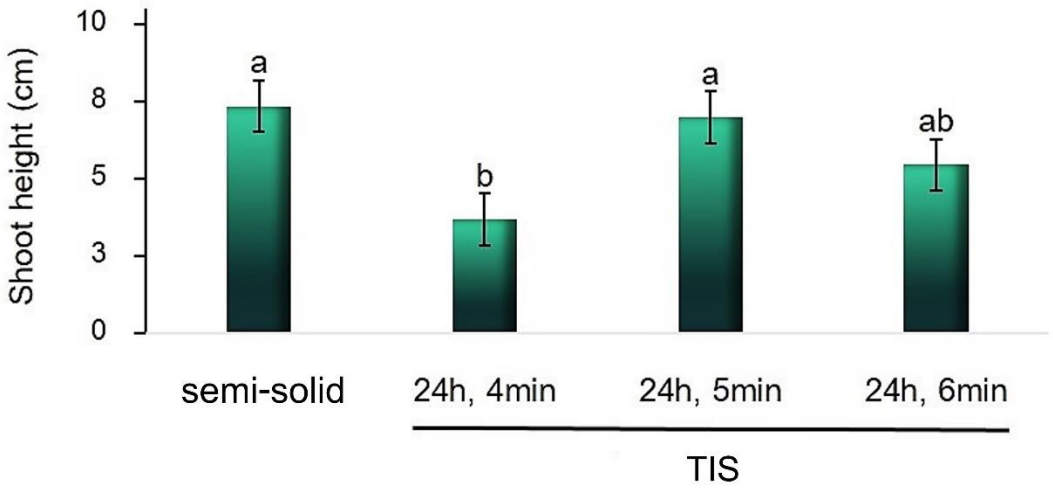
จำนวนยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 20 พบว่า ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS ที่ให้อาหารครั้งละ 5 นาที มีจำนวนยอดสูงที่สุด คือ 1.40 ยอดต่อชิ้นส่วน ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติจากชิ้นส่วนที่ได้รับอาหารครั้งละ 4 นาที คือ 1.30 ยอดต่อชิ้นส่วน แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชิ้นส่วนได้รับอาหารครั้งละ 6 นาที และชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ซึ่งมีจำนวนยอดน้อยที่สุดเท่ากัน คือ 1.00 ยอดต่อชิ้นส่วน



ภาพที่ 20 จำนวนยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 4, 5 และ 6 นาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

ความยาวยอด

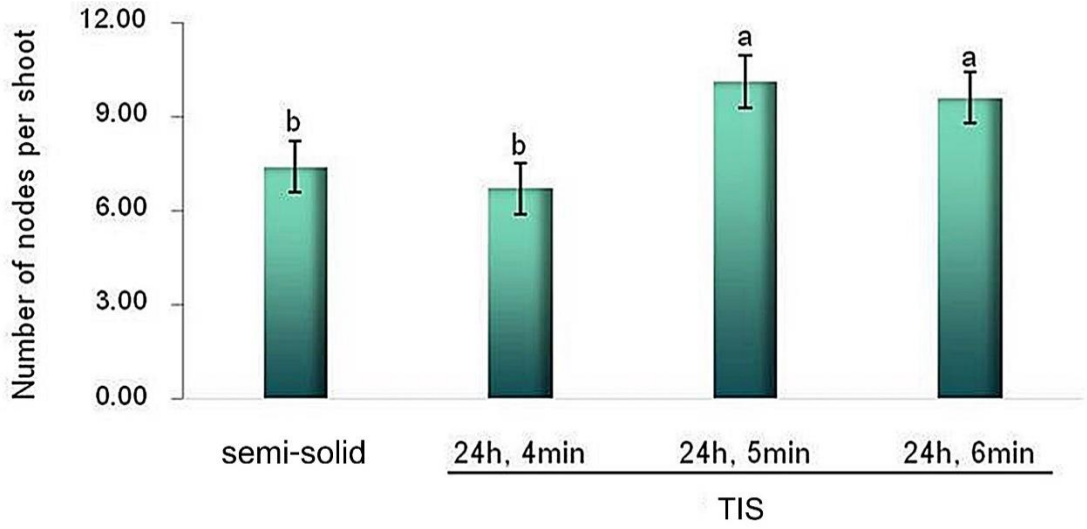
ความยาวยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 21 พบว่า ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งมีความยาวยอดมากที่สุด คือ 7.36 เซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันทางสถิติจากชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS ที่ให้อาหารครั้งละ 5 และ 6 นาที คือ 7.00 และ 5.46 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS ที่ให้อาหารครั้งละ 4 นาที มีความยาวยอดน้อยที่สุด คือ 3.69 เซนติเมตร



ภาพที่ 21 ความยาวยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 4, 5 และ 6 นาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

จำนวนข้อต่อยอด

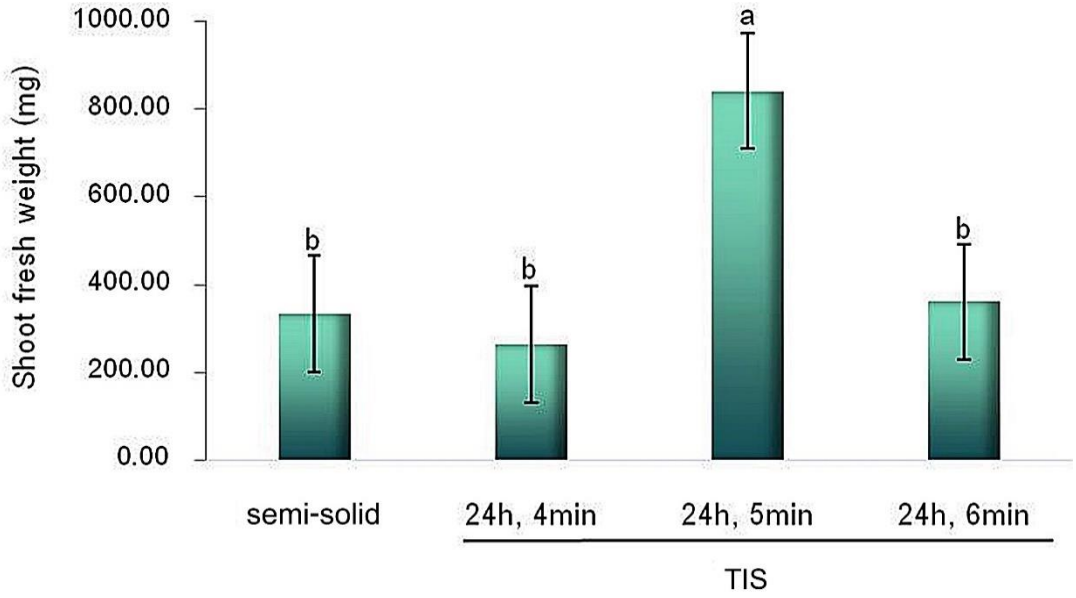
จำนวนข้อต่อยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 22 พบว่าชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS ที่ให้อาหารครั้งละ 5 นาที มีจำนวนข้อมากที่สุด คือ 10.10 ข้อต่อยอด ซึ่งใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันทางสถิติจากชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS ที่ให้อาหารครั้งละ 6 นาที คือ 8.00 ข้อต่อยอด ในขณะที่ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารครั้งละ 4 นาที และมีจำนวนข้อน้อยลงซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 7.10 และ 6.70 ข้อต่อยอด ตามลำดับ



ภาพที่ 22 จำนวนข้อของยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 4, 5 และ 6 นาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

น้ำหนักสดของยอด

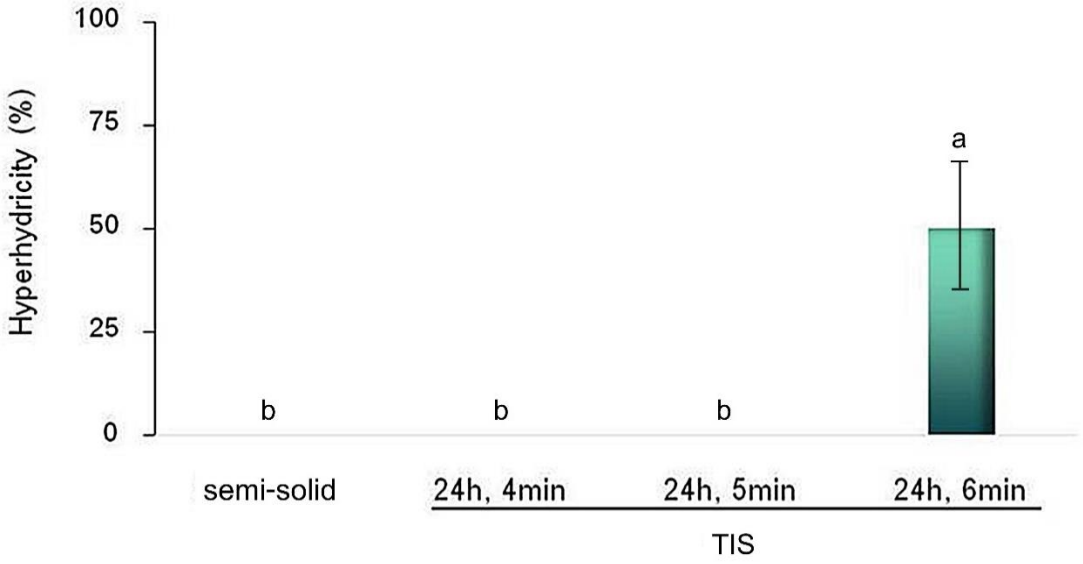
น้ำหนักสดของยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 23 พบว่าชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS ที่ให้อาหารครั้งละ 5 นาที มีน้ำหนักสดมากที่สุด คือ 841.67 มิลลิกรัม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ส่วนชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารครั้งละ 4 และ 6 นาที คือ มีน้ำหนักสดน้อยลงซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 333.07, 263.03 และ 360.64 มิลลิกรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 23 น้ำหนักสดของยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 4, 5 และ 6 นาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

เปอร์เซ็นต์การฉ่ำน้ำ

เปอร์เซ็นต์การฉ่ำน้ำของยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 24 ซึ่งพบการฉ่ำน้ำในยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 6 นาที เท่านั้น โดยมีเปอร์เซ็นต์การฉ่ำน้ำค่อนข้างสูง คือ 50% ส่วนยอดที่เกิดขึ้นในกรรมวิธีอื่น ๆ ไม่พบการฉ่ำน้ำ

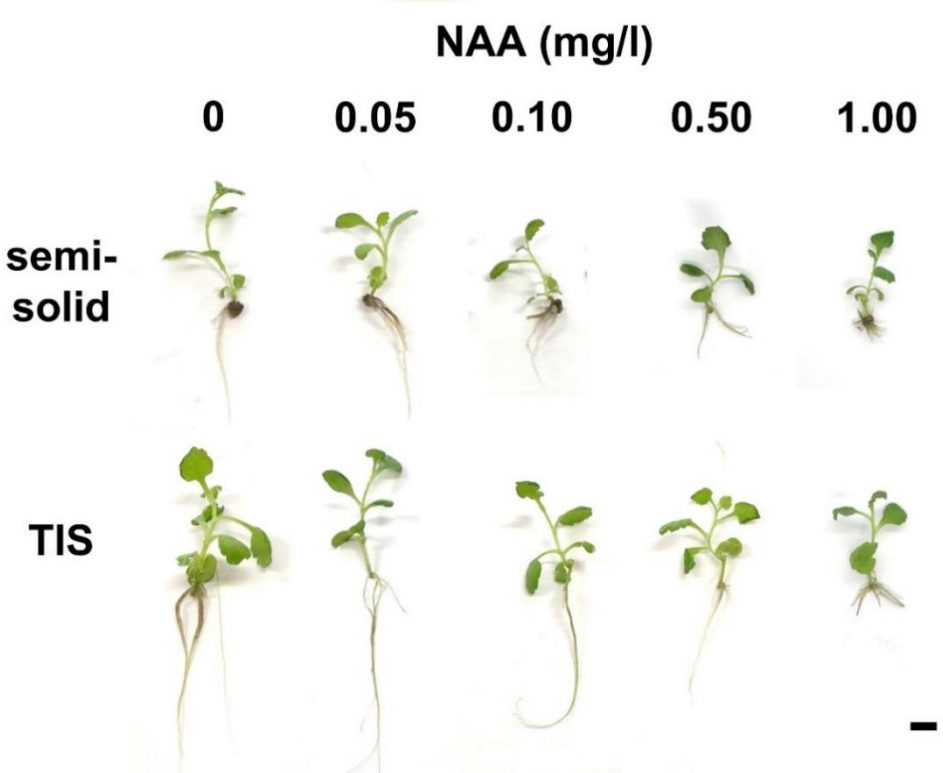


ภาพที่ 24 เปอร์เซ็นต์การฉ่ำน้ำของยอดที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 4, 5 และ 6 นาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

จากการที่ในการทดลองนี้พบว่า การเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIB ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 5 นาที ให้ผลดีที่สุดในการเพิ่มปริมาณยอด ดังนั้นจึงจะใช้อาหารสูตรดังกล่าวสำหรับการศึกษาในการทดลองถัดไป

ผลของระบบเพาะเลี้ยงและ NAA ต่อการชักนำให้ออกรากในสภาพปลอดเชื้อ

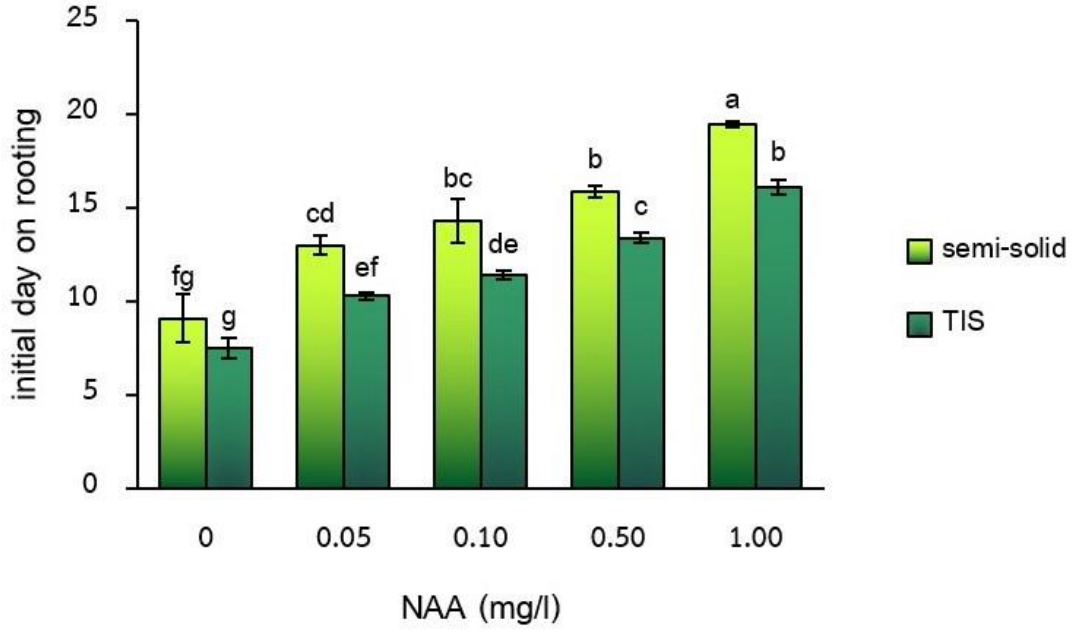
จากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ให้อาหารทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 5 นาที ซึ่งใช้อาหารสูตร ½ MS ที่ไม่เติมหรือเติม NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ชิ้นส่วนมีการแตกยอดใหม่จากตาข้างและออกรากจนได้ต้นสมบูรณ์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การออกรากสูงถึง 100% ในทุกกรรมวิธี โดยความสูงต้นลดลง ใบมีขนาดเล็กลง และความยาวรากสั้นลง แต่จำนวนรากมากขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของ NAA เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 25)



ภาพที่ 25 ลักษณะต้นออกรากที่เกิดขึ้นจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (bar = 1 เซนติเมตร)

วันที่เริ่มออกราก

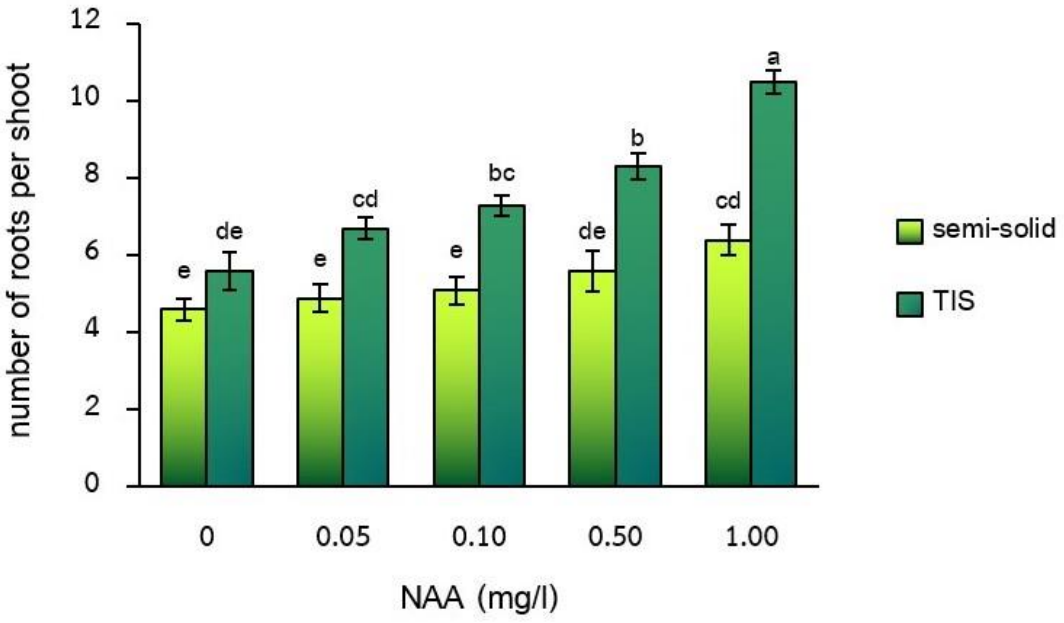
วันที่เริ่มออกรากของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 26 การเปรียบเทียบผลของระบบเพาะเลี้ยงเมื่อใช้ NAA ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS ออกรากได้เร็วกว่าชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง การเปรียบเทียบผลของระดับความเข้มข้น NAA เมื่อใช้ระบบเพาะเลี้ยงเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนที่ไม่ได้รับ NAA ออกรากได้เร็วกว่าชิ้นส่วนที่ได้รับ NAA ซึ่งออกรากช้าลงตามระดับความเข้มข้นของ NAA ที่เพิ่มขึ้น โดยชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS และไม่ได้รับ NAA มีวันที่เริ่มออกรากเร็วที่สุด คือ 7.50 วัน ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ในขณะที่ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและไม่ได้รับ NAA มีวันที่เริ่มออกรากช้าที่สุด คือ 19.50 วัน



ภาพที่ 26 วันที่เริ่มออกรากของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

จำนวนรากต่อต้น

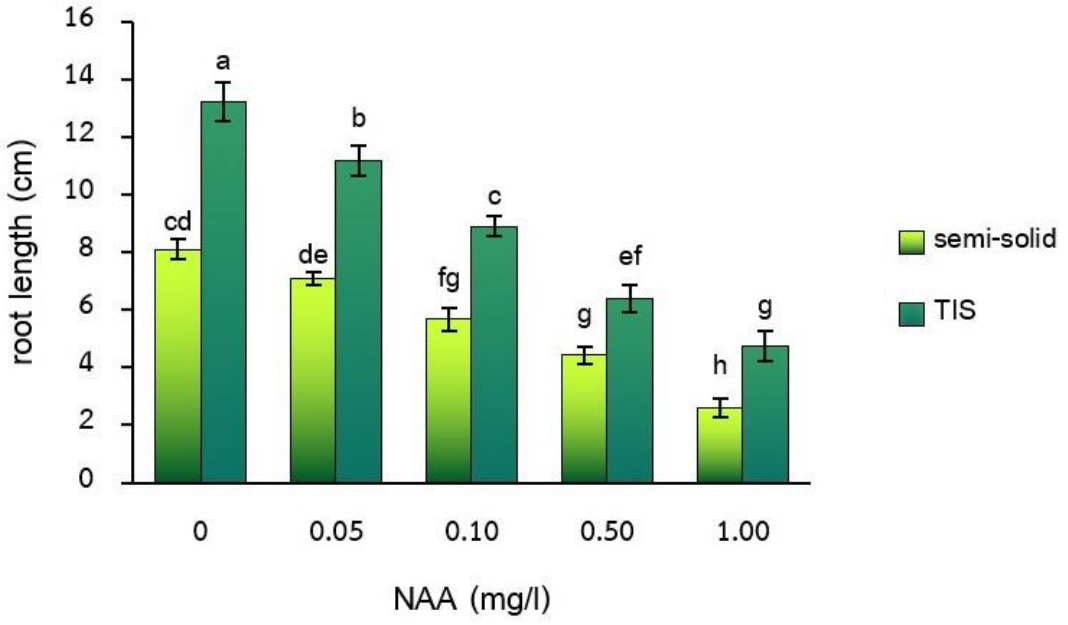
จำนวนรากของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 27 การเปรียบเทียบผลของระบบเพาะเลี้ยงเมื่อใช้ NAA ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS มีจำนวนรากมากกว่าชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง การเปรียบผลของระดับความเข้มข้น NAA เมื่อใช้ระบบเพาะเลี้ยงเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนที่ไม่ได้รับ NAA มีจำนวนรากน้อยกว่าชิ้นส่วนที่ได้รับ NAA ซึ่งมีจำนวนรากมากขึ้นตามระดับความเข้มข้นของ NAA ที่เพิ่มขึ้น โดยชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS และได้รับ NAA 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนรากมากที่สุด คือ 10.50 รากต่อต้น ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ในขณะที่ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและไม่ได้รับ NAA มีจำนวนรากน้อยที่สุด คือ 4.60 รากต่อต้น



ภาพที่ 27 จำนวนรากของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

ความยาวราก

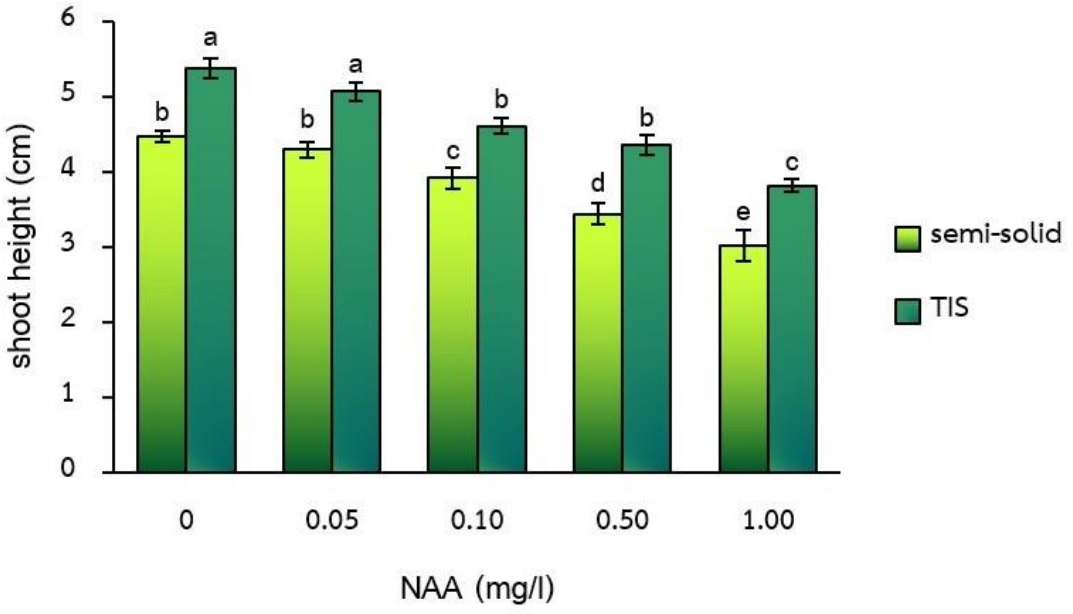
ความยาวรากของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 28 การเปรียบเทียบผลของระบบเพาะเลี้ยงเมื่อใช้ NAA ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS มีความยาวรากมากกว่าชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง การเปรียบผลของระดับความเข้มข้น NAA เมื่อใช้ระบบเพาะเลี้ยงเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนที่ไม่ได้รับ NAA มีความยาวรากมากกว่าชิ้นส่วนที่ได้รับ NAA ซึ่งมีความยาวรากลดลงตามระดับความเข้มข้นของ NAA ที่เพิ่มขึ้น โดยชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS และไม่ได้รับ NAA มีความยาวรากมากที่สุด คือ 13.20 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ในขณะที่ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและได้รับ NAA 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวรากสั้นที่สุด คือ 2.61 เซนติเมตร



ภาพที่ 28 ความยาวรากของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

ความสูงต้น

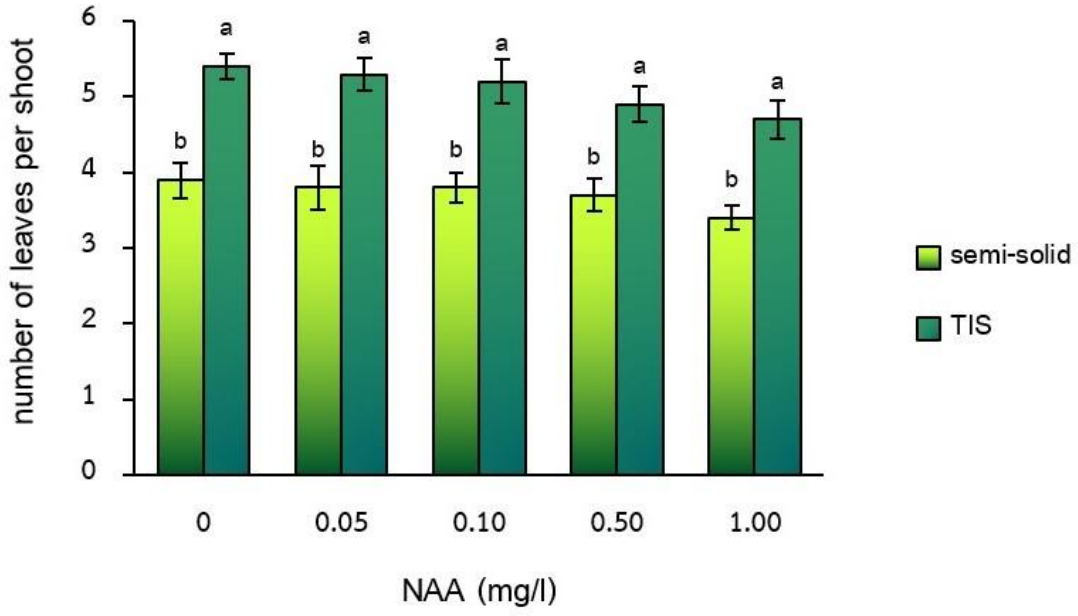
ความสูงของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 29 การเปรียบเทียบผลของระบบเพาะเลี้ยงเมื่อใช้ NAA ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS มีความสูงต้นมากกว่าชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง การเปรียบผลของระดับความเข้มข้น NAA เมื่อใช้ระบบเพาะเลี้ยงเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนที่ไม่ได้รับ NAA มีความสูงต้นมากกว่าชิ้นส่วนที่ได้รับ NAA ซึ่งมีความสูงต้นลดลงตามระดับความเข้มข้นของ NAA ที่เพิ่มขึ้น โดยชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS และไม่ได้รับ NAA มีความสูงต้นมากที่สุด คือ 5.37 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติจากชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS และได้รับ NAA 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ 5.06 เซนติเมตร ในขณะที่ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและได้รับ NAA 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความยาวรากสั้นที่สุด คือ 3.01 เซนติเมตร



ภาพที่ 29 ความสูงของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

จำนวนใบต่อต้น

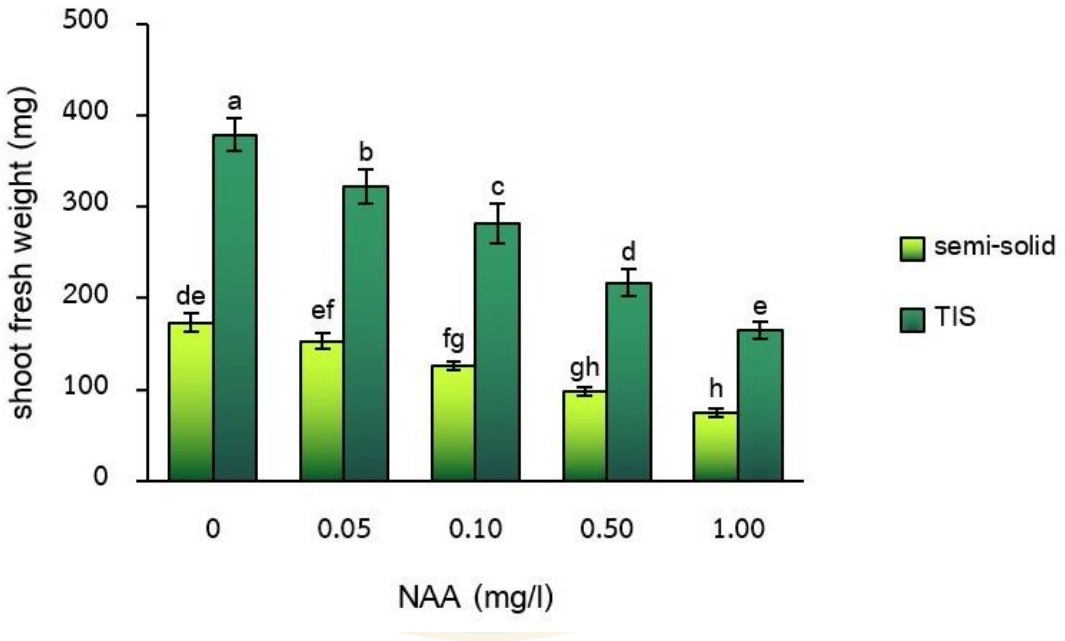
จำนวนใบของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 30 การเปรียบเทียบผลของระบบเพาะเลี้ยงเมื่อใช้ NAA ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS มีจำนวนใบมากกว่าชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง การเปรียบผลของระดับความเข้มข้น NAA เมื่อใช้ระบบเพาะเลี้ยงเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนที่ไม่ได้รับ NAA มีจำนวนใบมากกว่าชิ้นส่วนที่ได้รับ NAA ซึ่งมีจำนวนใบลดลงตามระดับความเข้มข้นของ NAA ที่เพิ่มขึ้น โดยชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS และไม่ได้รับ NAA มีจำนวนใบมากที่สุด คือ 5.40 ใบต่อต้น แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติจากชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS และได้รับ NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ คืออยู่ระหว่าง 4.70-5.30 ใบต่อต้น ในขณะที่ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและได้รับ NAA 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนใบน้อยที่สุด คือ 3.40 ใบต่อตน แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติจากชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS และไม่ได้รับ NAA หรือได้รับ NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ คืออยู่ระหว่าง 3.70-3.90 ใบต่อต้น



ภาพที่ 30 จำนวนใบของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

น้ำหนักสดของต้น

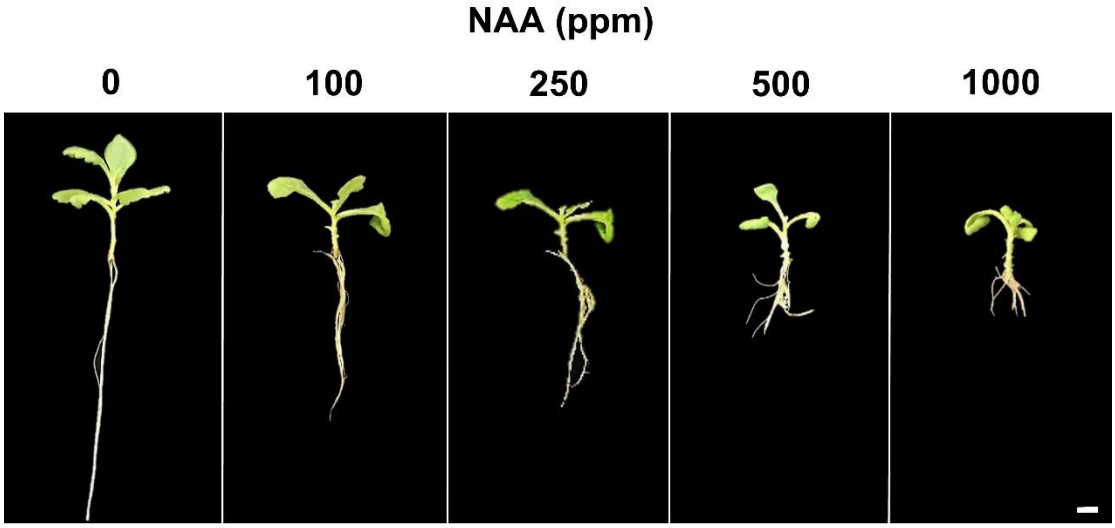
น้ำหนักสดของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 31 การเปรียบเทียบผลของระบบเพาะเลี้ยงเมื่อใช้ NAA ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS มีน้ำหนักสดของต้นมากกว่าชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งอย่างชัดเจน การเปรียบผลของระดับความเข้มข้น NAA เมื่อใช้ระบบเพาะเลี้ยงเดียวกัน พบว่า ชิ้นส่วนที่ไม่ได้รับ NAA มีความน้ำหนักสดของต้นมากกว่าชิ้นส่วนที่ได้รับ NAA ซึ่งมีน้ำหนักสดของต้นลดลงตามระดับความเข้มข้นของ NAA ที่เพิ่มขึ้น โดยชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS และไม่ได้รับ NAA มีน้ำหนักสดของต้นมากที่สุด คือ 379.04 มิลลิกรัม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ในขณะที่ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและได้รับ NAA 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักสดของต้นน้อยที่สุด คือ 74.65 มิลลิกรัม



ภาพที่ 31 น้ำหนักสดของต้นที่เกิดจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS ที่ใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

ผลของออกซินต่อการชักนำให้ออกรากในระบบไมโครโพนิกส์

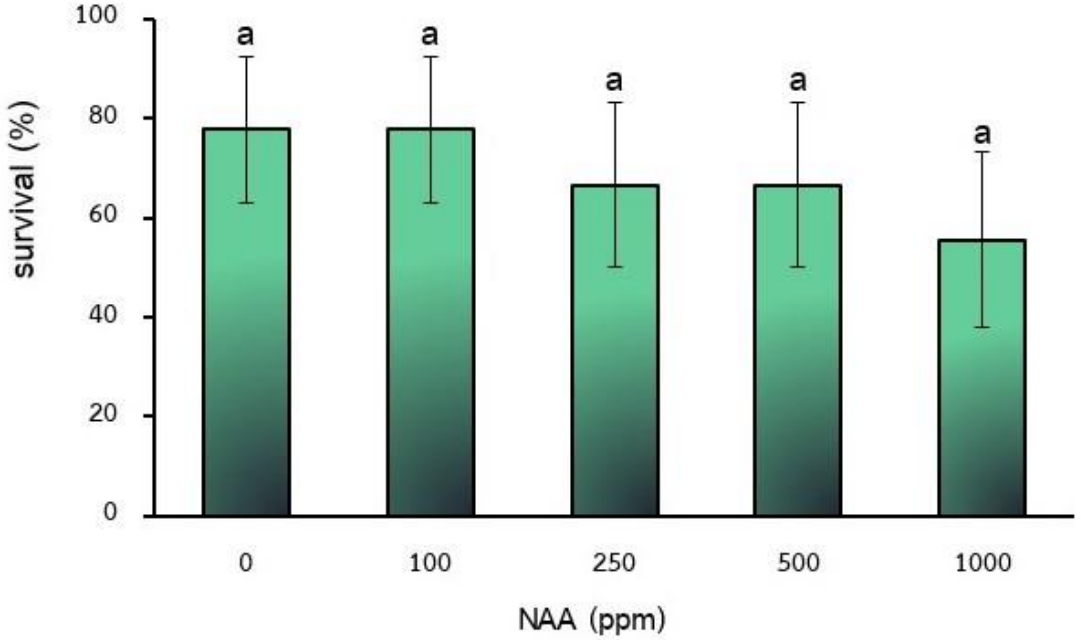
จากการนำชิ้นส่วนยอดเบญจมาศแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ นำมาเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่เป็นกล่องพลาสติกขนาด 11.5x11.5x7.5 เซนติเมตร และมีรูระบายอากาศ 1 รู เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ชิ้นส่วนยอดมีการออกรากจนได้ต้นสมบูรณ์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การออกรากสูงถึง 100% ในทุกกรรมวิธี โดยความสูงต้นลดลง ใบมีขนาดเล็กลง และความยาวรากสั้นลง แต่จำนวนรากมากขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของ NAA เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 32) อย่างไรก็ตามในระหว่างการเพาะเลี้ยงพบว่า ต้นที่ออกรากแล้วมีการตายเกิดขึ้นด้วยในกรรมวิธีต่าง ๆ



ภาพที่ 32 ลักษณะต้นออกรากจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (bar = 1 เซนติเมตร)

เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต

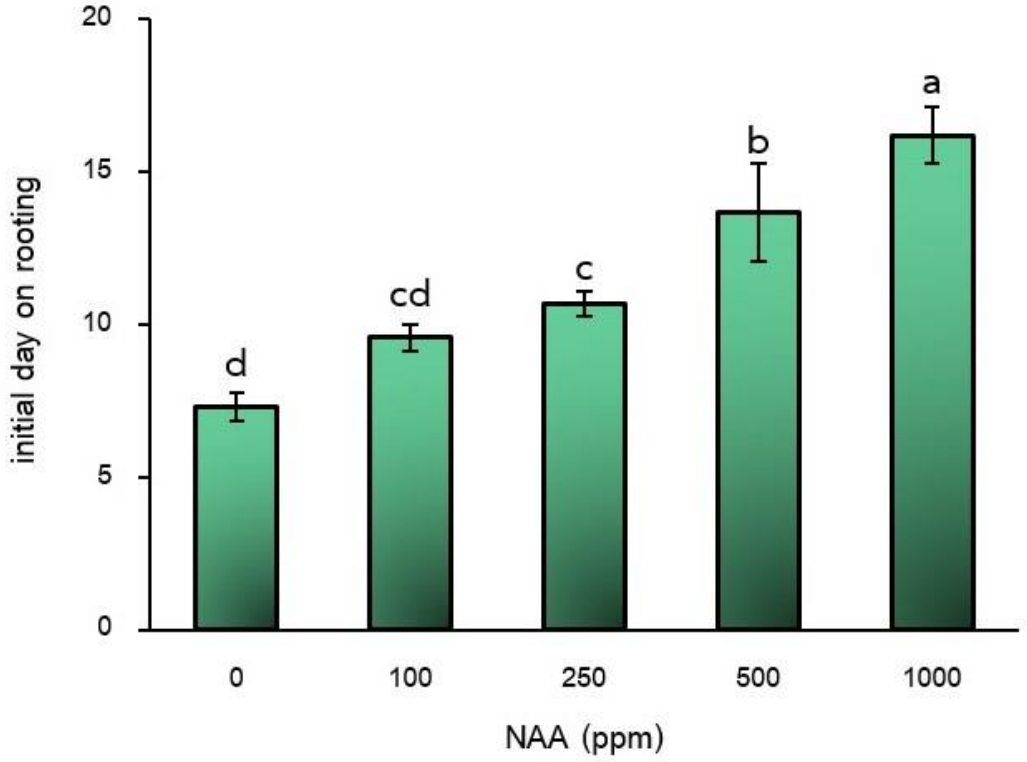
เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นจากชิ้นส่วนยอดในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 33 พบว่าเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นมีแนวโน้มลดลงตามระดับความเข้มข้นของ NAA ที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี โดยชิ้นส่วนที่ไม่ได้แช่ NAA หรือแช่ NAA 100 ppm มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นสูงที่สุด คือ 77.78% ส่วนชิ้นส่วนที่แช่ NAA 1000 ppm มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นต่ำที่สุด คือ 55.56%



ภาพที่ 33 เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นออกรากจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย DMRT อักษรที่แตกต่างกันหมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

วันที่เริ่มออกราก

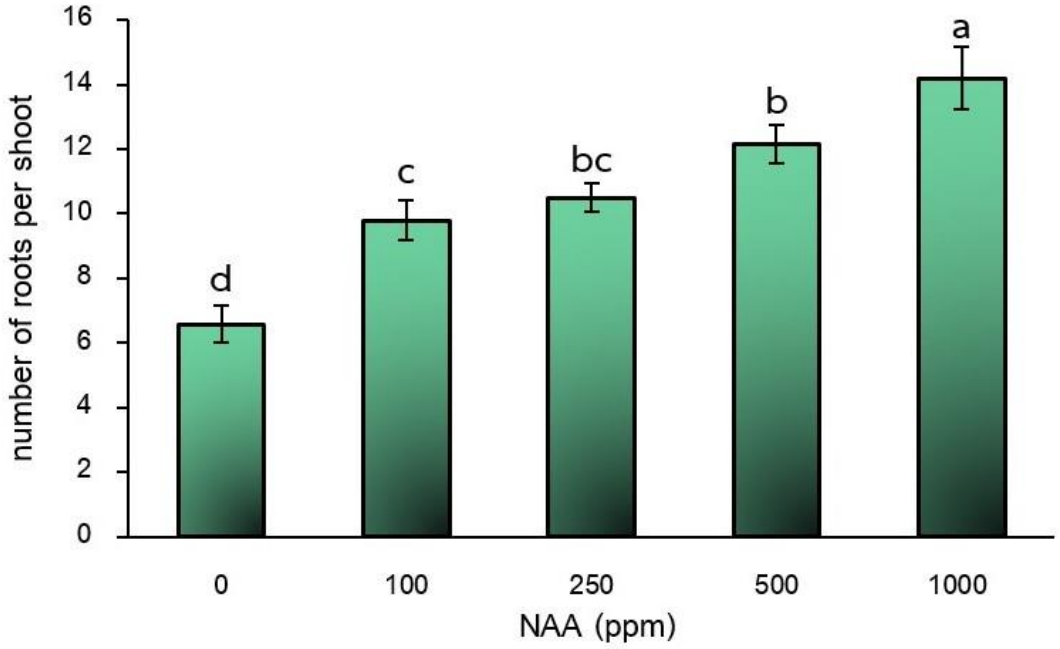
วันที่เริ่มออกรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 34 พบว่า วันที่เริ่มออกรากมีแนวโน้มช้าลงตามระดับความเข้มข้นของ NAA ที่เพิ่มขึ้น โดยชิ้นส่วนที่ไม่ได้แช่ NAA ออกรากได้เร็วที่สุด คือ 7.30 วัน ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ในขณะที่ชิ้นส่วนที่แช่ NAA 1000 ppm ออกรากได้ช้าที่สุด คือ 16.20 วัน



ภาพที่ 34 วันที่เริ่มออกรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

จำนวนรากต่อต้น

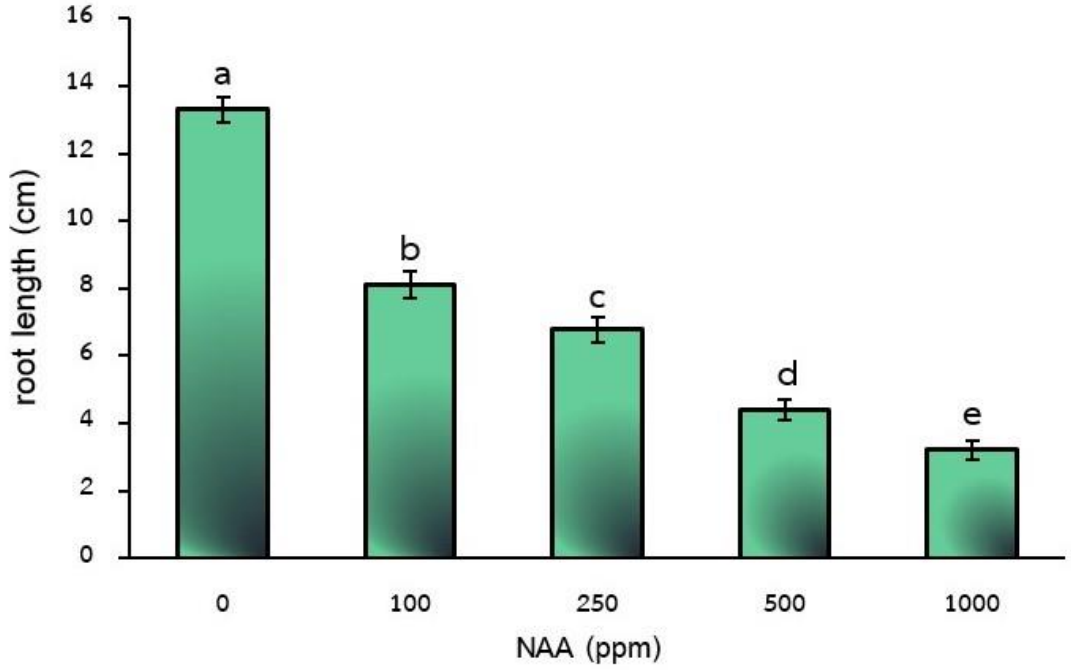
จำนวนรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 35 พบว่า จำนวนรากมีแนวโน้มมากขึ้นตามระดับความเข้มข้นของ NAA ที่เพิ่มขึ้น โดยชิ้นส่วนที่แช่ NAA 1000 ppm มีจำนวนรากมากที่สุด คือ 14.2 รากต่อต้น ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ในขณะที่ชิ้นส่วนที่ไม่ได้แช่ NAA มีจำนวนรากน้อยที่สุด คือ 6.57 รากต่อต้น



ภาพที่ 35 จำนวนรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

ความยาวราก

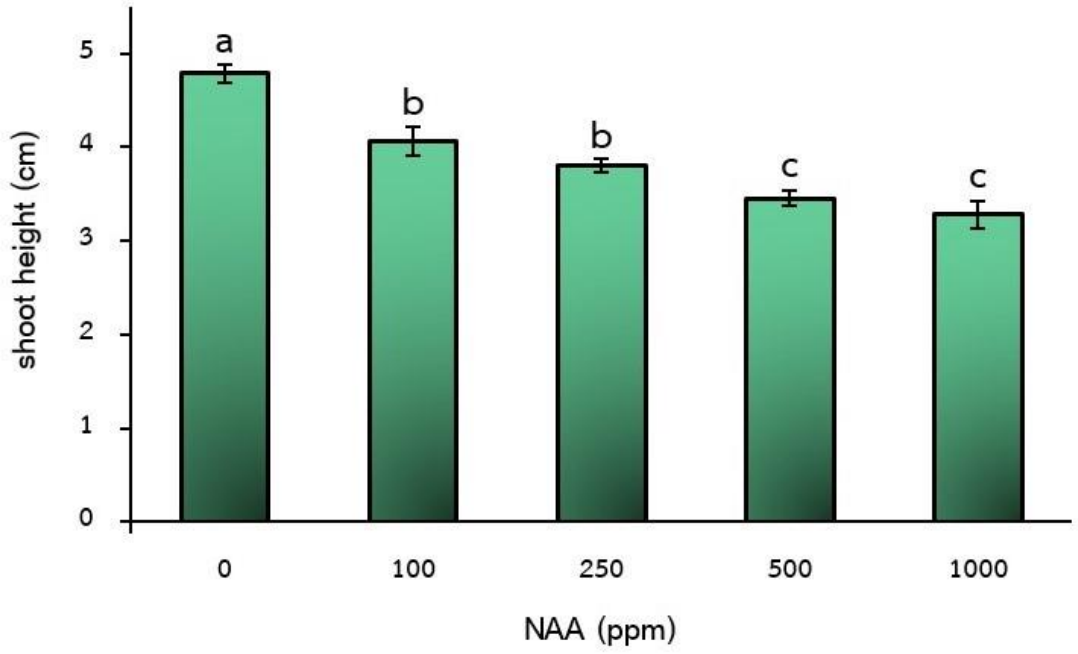
ความยาวรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 36 พบว่า ความยาวรากมีแนวโน้มลดลงตามระดับความเข้มข้นของ NAA ที่เพิ่มขึ้น โดยชิ้นส่วนที่ไม่ได้แช่ NAA มีความยาวรากมากที่สุด คือ 13.31 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ในขณะที่ชิ้นส่วนที่แช่ NAA 1000 ppm มีความยาวรากสั้นที่สุด คือ 3.20 เซนติเมตร



ภาพที่ 36 ความยาวรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

ความสูงต้น

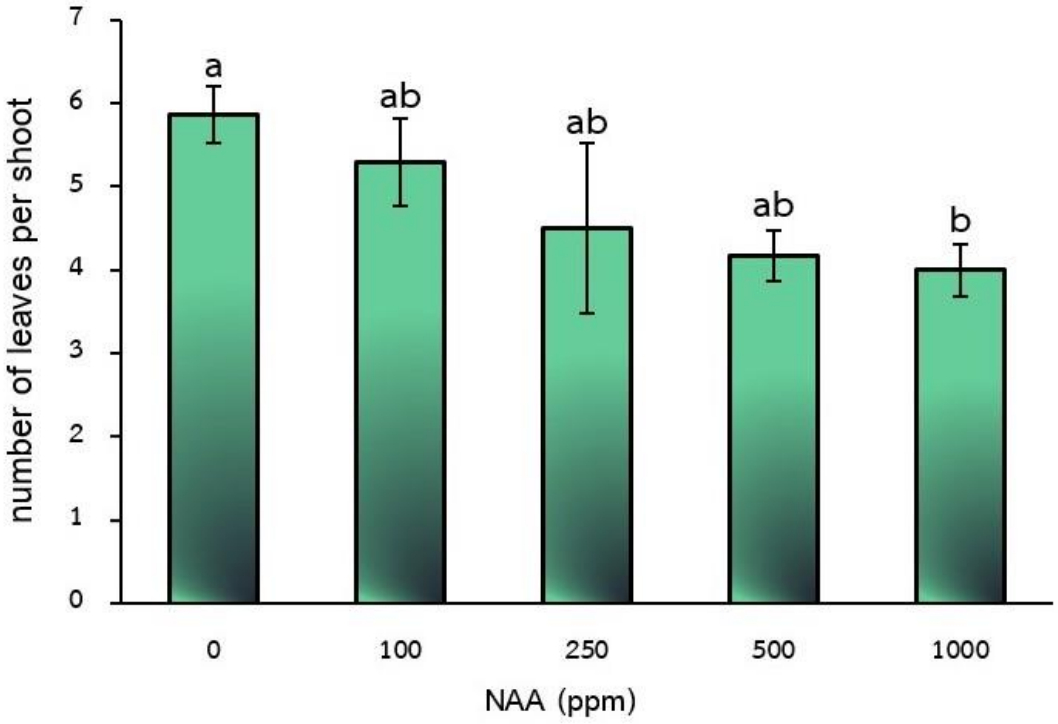
ความสูงของต้นจากชิ้นส่วนยอดในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 37 พบว่า ความสูงต้นมีแนวโน้มลดลงตามระดับความเข้มข้นของ NAA ที่เพิ่มขึ้น โดยชิ้นส่วนที่ไม่ได้แช่ NAA มีความสูงต้นมากที่สุด คือ 4.79 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ในขณะที่ชิ้นส่วนที่แช่ NAA 1000 ppm มีความสูงต้นน้อยที่สุด คือ 3.28 เซนติเมตร



ภาพที่ 37 ความสูงของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

จำนวนใบต่อต้น

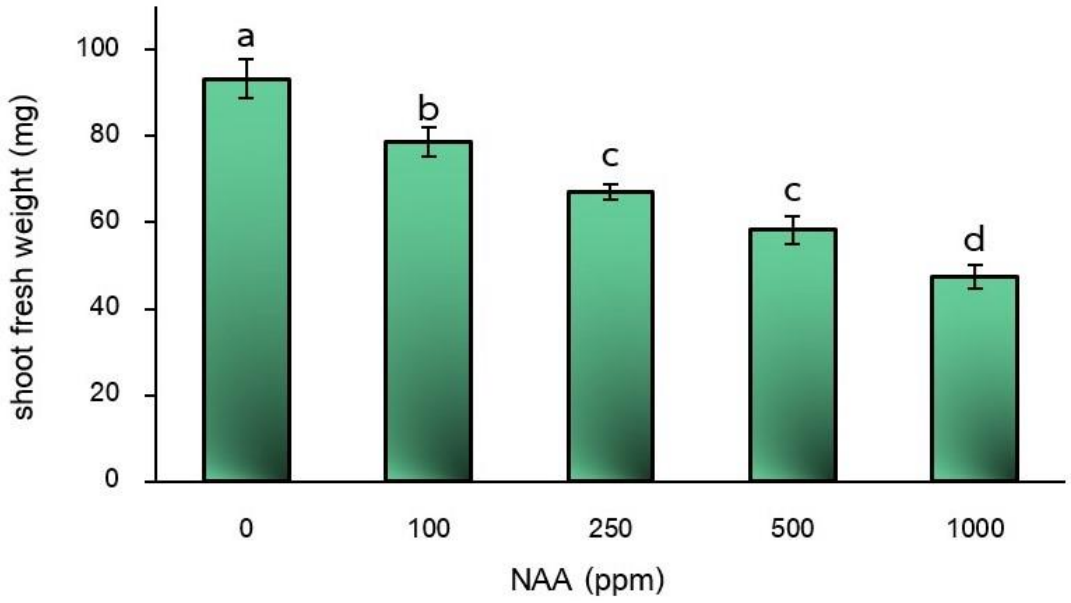
จำนวนใบของต้นจากชิ้นส่วนยอดในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 38 พบว่า จำนวนใบมีแนวโน้มลดลงตามระดับความเข้มข้นของ NAA ที่เพิ่มขึ้น โดยชิ้นส่วนที่ไม่ได้แช่ NAA มีจำนวนใบมากที่สุด คือ 5.86 ใบต่อต้น ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติจากชิ้นส่วนที่แช่ NAA 100, 250, 500 ppm คือ 5.29, 4.50 และ 4.50 ใบต่อต้น ตามลำดับ ในขณะที่ชิ้นส่วนที่แช่ NAA 1000 ppm มีจำนวนใบน้อยที่สุด คือ 3.28 ใบต่อต้น



ภาพที่ 38 จำนวนใบของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

น้ำหนักสดของต้น

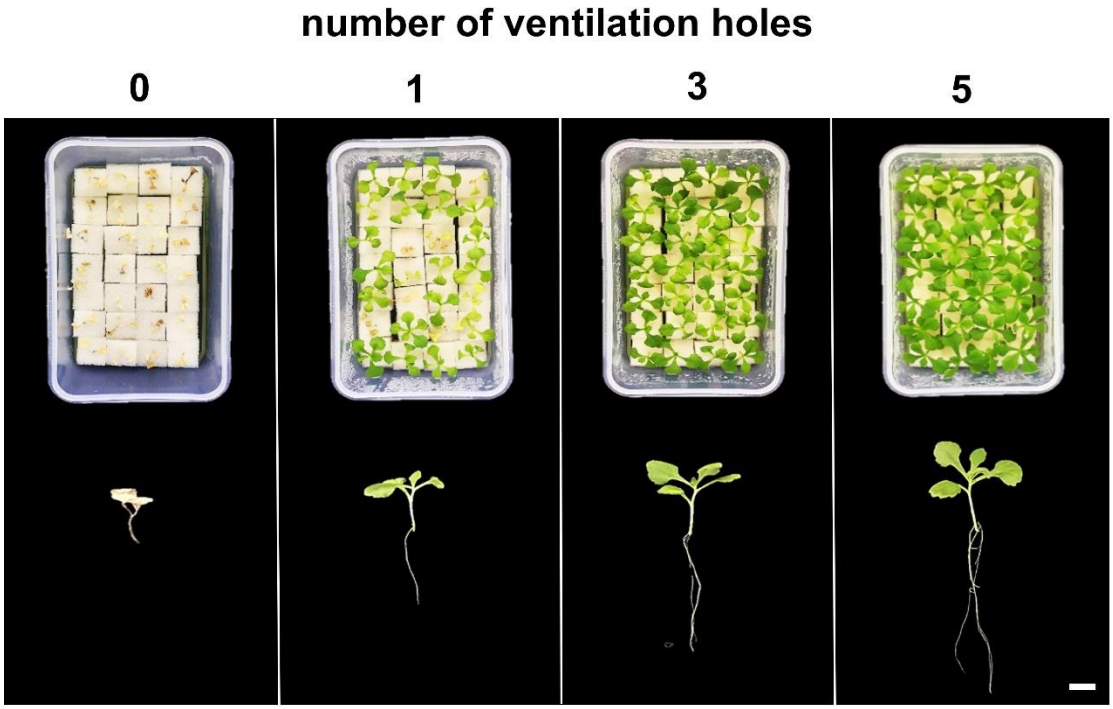
น้ำหนักสดของต้นจากชิ้นส่วนยอดในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 39 พบว่า น้ำหนักสดของต้นมีแนวโน้มลดลงตามระดับความเข้มข้นของ NAA ที่เพิ่มขึ้น โดยชิ้นส่วนที่ไม่ได้แช่ NAA มีน้ำหนักสดของต้นมากที่สุด คือ 93.30 มิลลิกรัม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ในขณะที่ชิ้นส่วนที่แช่ NAA 1000 ppm มีน้ำหนักสดของต้นน้อยที่สุด คือ 47.44 มิลลิกรัม



ภาพที่ 39 น้ำหนักสดของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อแช่ในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

ผลของจำนวนรูระบายอากาศต่อการชักนำให้ออกรากในระบบไมโครโพนิกส์

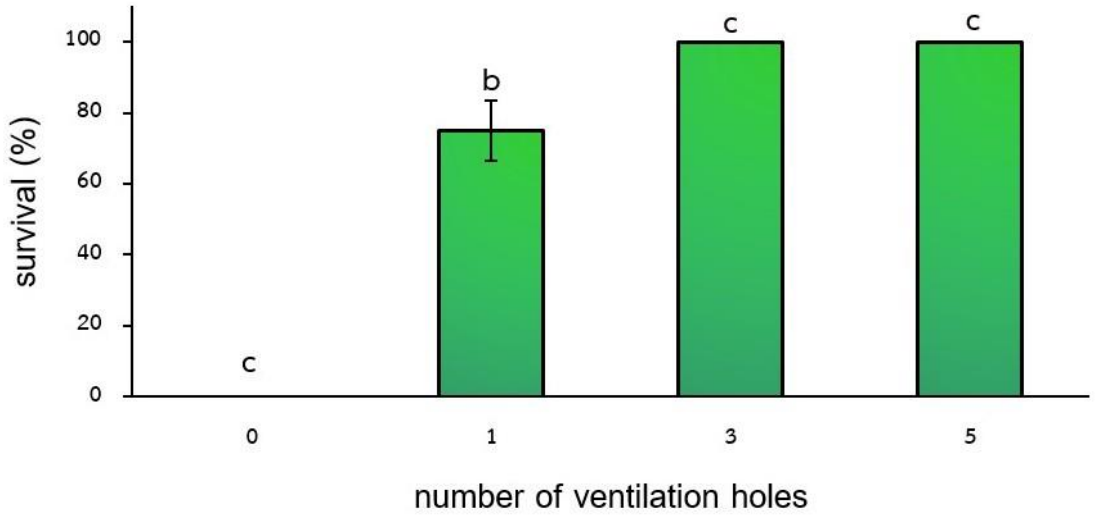
จากการนำชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่เป็นกล่องพลาสติกขนาดใหญ่กว่าที่ใช้ในการทดลองที่ 4 คือ 11.0x18.0×6.5 เซนติเมตร ซึ่งมีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ชิ้นส่วนยอดมีการออกรากจนได้ต้นสมบูรณ์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การออกรากสูงถึง 100% ในทุกกรรมวิธี โดยความสูงต้นและความยาวรากเพิ่มขึ้น ใบมีขนาดใหญ่ขึ้นและความยาวรากสั้นลงเมื่อจำนวนรูระบายอากาศมากขึ้น (ภาพที่ 40) อย่างไรก็ตามในระหว่างการเพาะเลี้ยงพบว่า ต้นที่ออกรากแล้วมีการตายเกิดขึ้นด้วยในบางกรรมวิธี



ภาพที่ 40 ลักษณะต้นออกรากจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (bar = 1 เซนติเมตร)

เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต

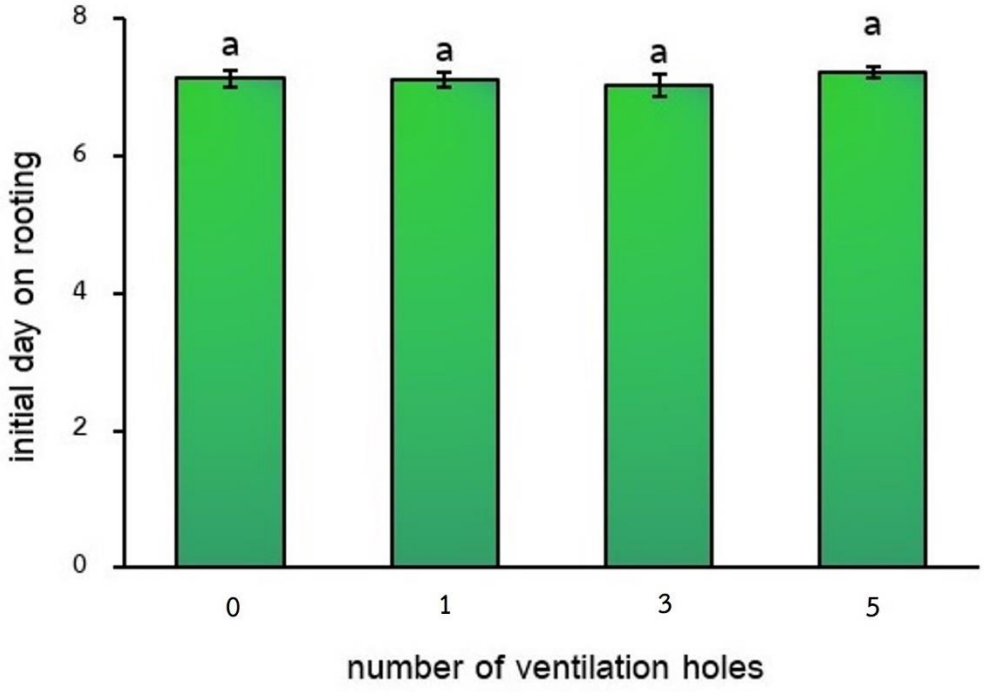
เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นจากชิ้นส่วนยอดในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 41 พบว่าเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นมีแนวโน้มสูงขึ้นตามจำนวนรูระบายอากาศที่มากขึ้น ซึ่งชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงโดยมีรูระบายอากาศ 3 และ 5 รู มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นสูงที่สุดเท่ากัน คือ 100% รองลงมาเป็นชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงโดยมีรูระบายอากาศ 1 รู คือ 75% ในขณะที่ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงโดยไม่มีรูระบายอากาศเกิดการตายทั้งหมด ด้วยเหตุนี้ข้อมูลการทดลอง ได้แก่ จำนวนรากต่อต้น ความยาวราก ความสูงต้น จำนวนใบต้น และน้ำหนักสดของต้นจะวิเคราะห์เฉพาะกรรมวิธีที่มีการรอดชีวิตของต้นเท่านั้น



ภาพที่ 41 เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นออกรากจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

วันที่เริ่มออกราก

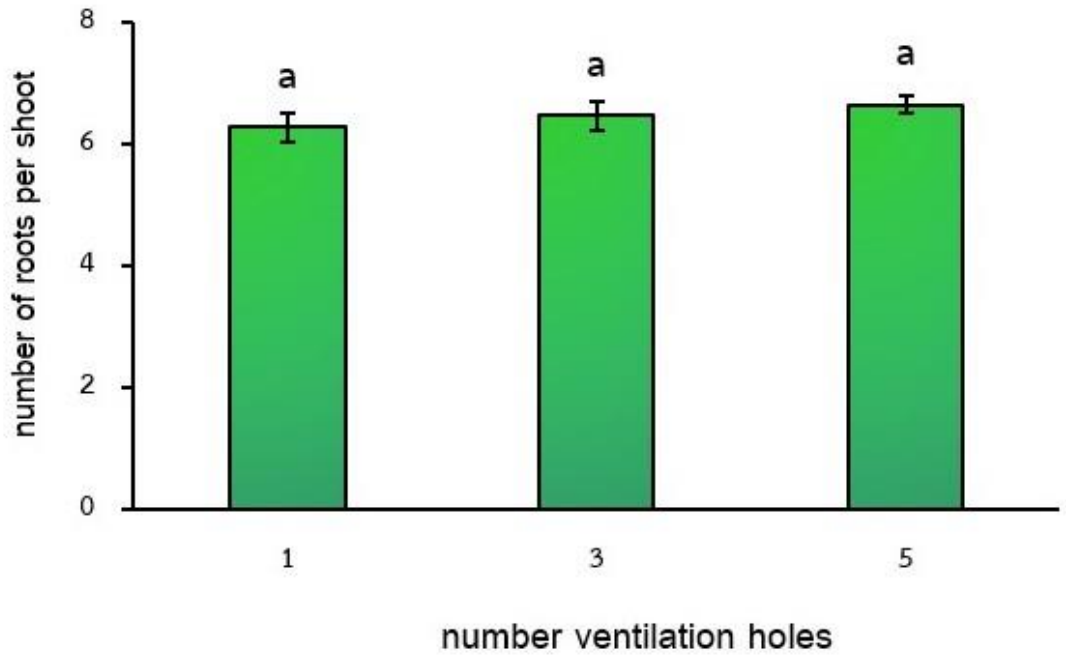
วันที่เริ่มออกรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 42 พบว่า ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงโดยมีรูระบายอากาศลดลงมีแนวโน้มออกรากได้เร็วขึ้นตามจำนวนรูระบายอากาศที่น้อยลง โดยชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงโดยมีรูระบายอากาศ 0, 1 และ 3 รู ออกรากได้เร็วที่สุด คือ 6.00 วัน ในขณะที่ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงโดยมีรูระบายอากาศ 5 รู ออกรากได้ช้าที่สุด คือ 7.00 วัน



ภาพที่ 42 วันที่เริ่มออกรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

จำนวนรากต่อต้น

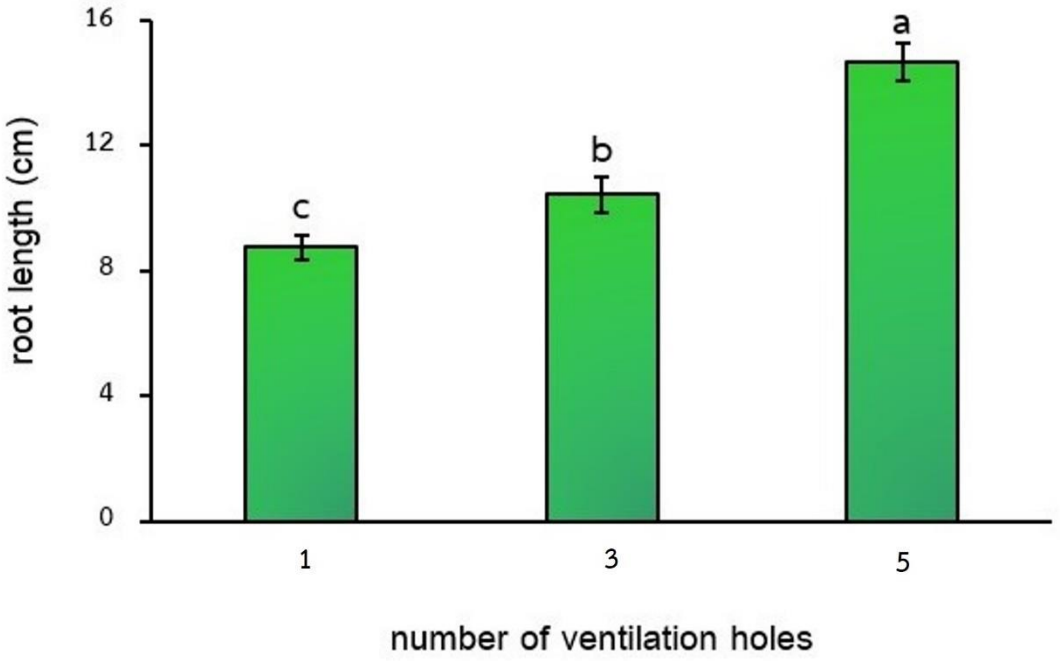
จำนวนรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 43 พบว่า ชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงโดยมีรูระบายอากาศจำนวน 1, 3 และ 5 รู มีจำนวนรากใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 6.27, 6.46 และ 6.64 รากต่อต้น ตามลำดับ



ภาพที่ 43 จำนวนรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

ความยาวราก

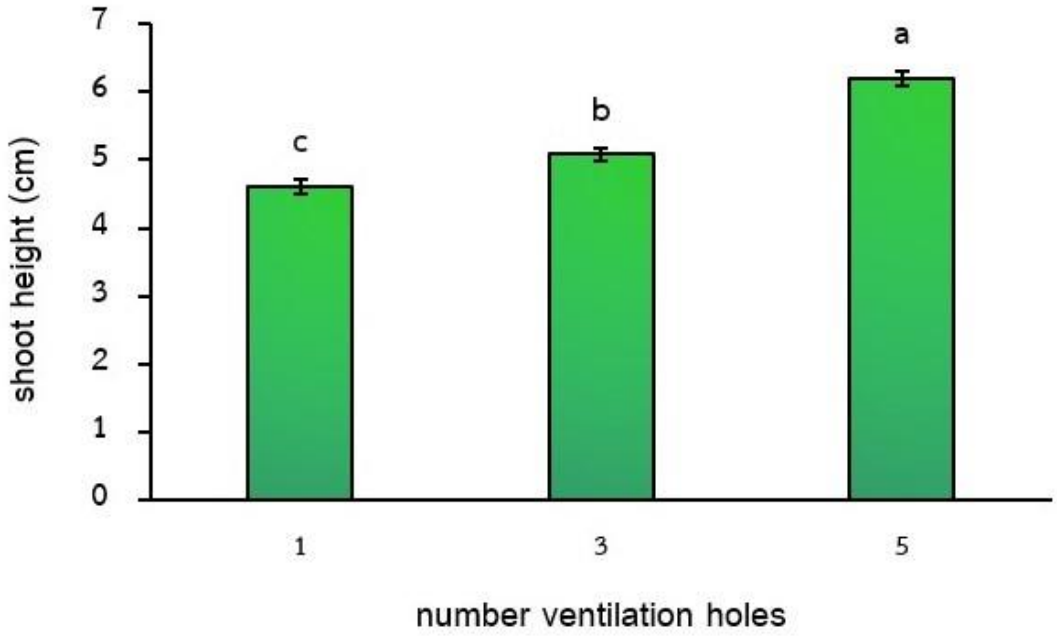
ความยาวรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 44 พบว่า จำนวนราก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนรูระบายอากาศที่มากขึ้น การเพาะเลี้ยงโดยมีรูระบายอากาศจำนวน 5 รู มีความยาวรากมากที่สุด คือ 14.66 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ส่วนการเพาะเลี้ยงโดยมีรูระบายอากาศจำนวน 1 รู มีความยาวรากน้อยที่สุด คือ 8.74 เซนติเมตร



ภาพที่ 44 ความยาวรากของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

ความสูงต้น

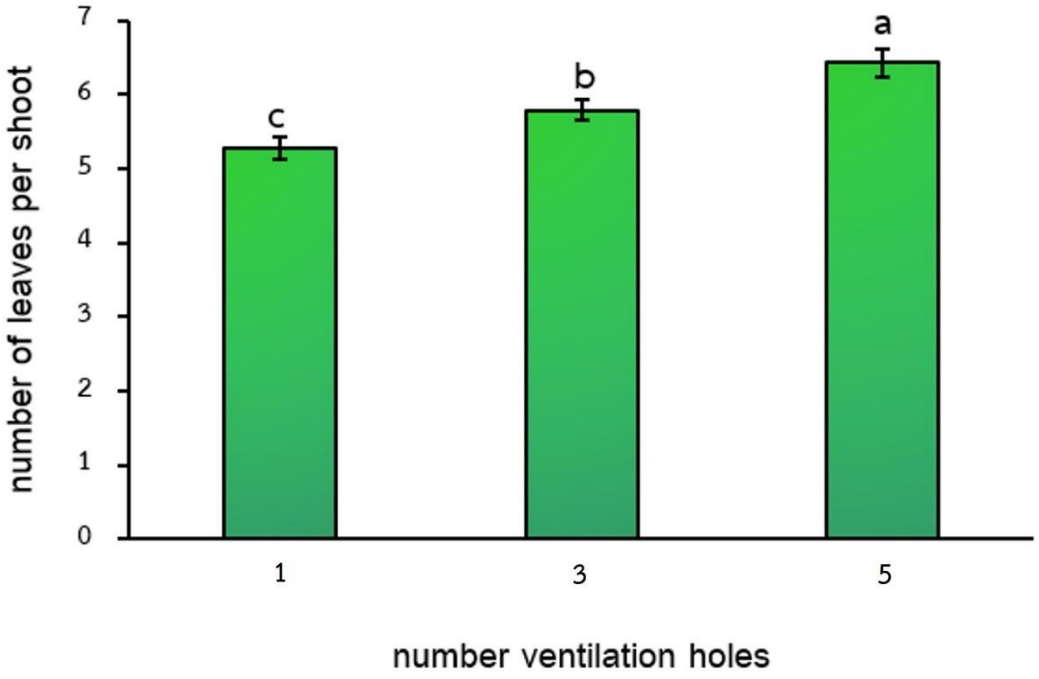
ความสูงของต้นจากชิ้นส่วนยอดในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 45 พบว่า ความสูงต้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนรูระบายอากาศที่มากขึ้น การเพาะเลี้ยงโดยมีรูระบายอากาศจำนวน 5 รู มีความสูงต้นมากที่สุด คือ 6.19 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ส่วนการเพาะเลี้ยงโดยมีรูระบายอากาศจำนวน 1 รู มีความยาวสูงต้นน้อยที่สุด คือ 4.61 เซนติเมตร



ภาพที่ 45 ความสูงของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

จำนวนใบต่อต้น

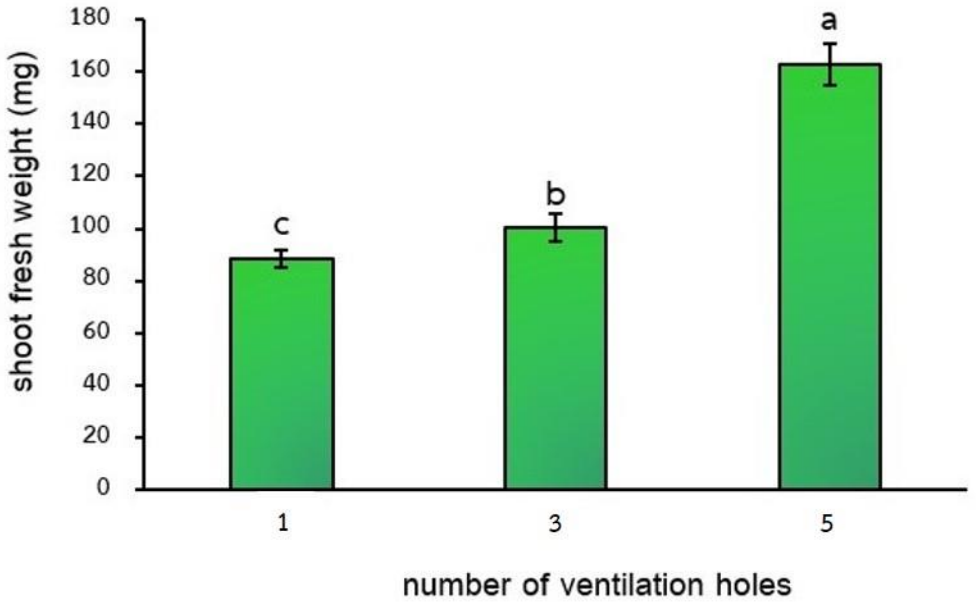
จำนวนใบของต้นจากชิ้นส่วนยอดในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 46 พบว่า จำนวนใบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนรูระบายอากาศที่มากขึ้น การเพาะเลี้ยงโดยมีรูระบายอากาศจำนวน 5 รู มีจำนวนใบมากที่สุด คือ 6.43 ใบต่อต้น ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ส่วนการเพาะเลี้ยงโดยมีรูระบายอากาศจำนวน 1 รู มีจำนวนใบน้อยที่สุด คือ 5.27 ใบต่อต้น



ภาพที่ 46 จำนวนใบของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

น้ำหนักสดของต้น

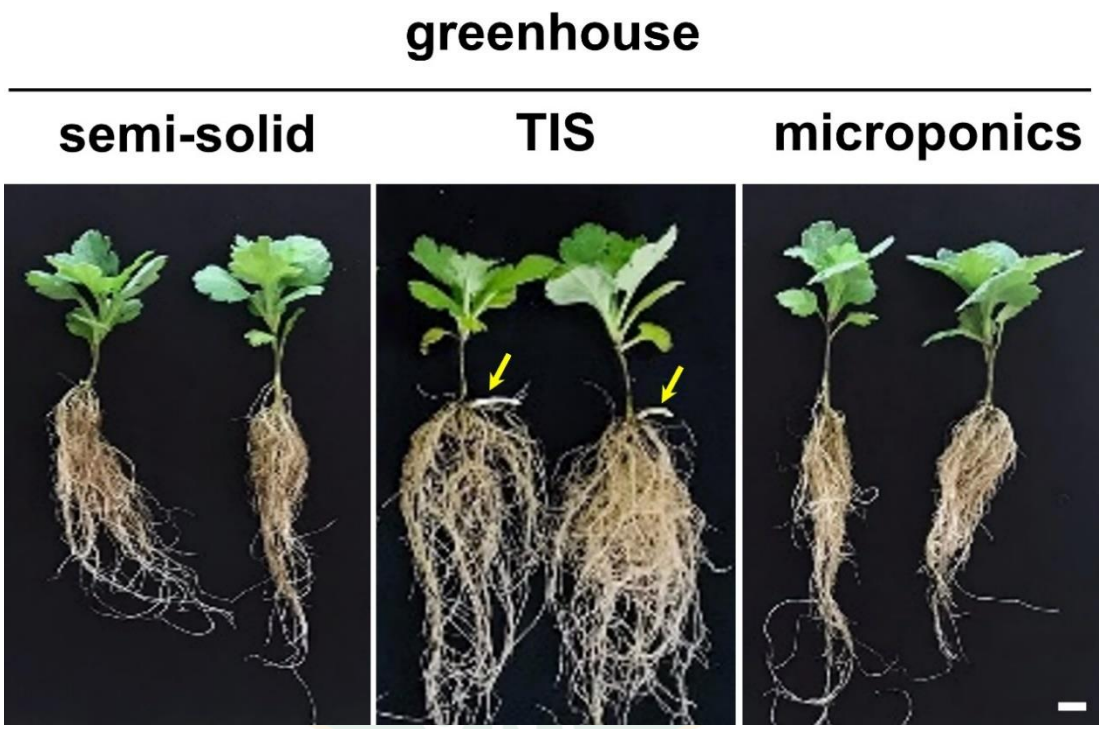
น้ำหนัดสดของต้นจากชิ้นส่วนยอดในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 47 พบว่า น้ำหนักสดของต้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนรูระบายอากาศที่มากขึ้น การเพาะเลี้ยงโดยมีรูระบายอากาศจำนวน 5 รู มีน้ำหนักสดของต้นมากที่สุด คือ 162.60 มิลลิกรัม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ส่วนการเพาะเลี้ยงโดยมีรูระบายอากาศจำนวน 1 รู มีน้ำหนักสดน้อยที่สุด คือ 88.58 มิลลิกรัม



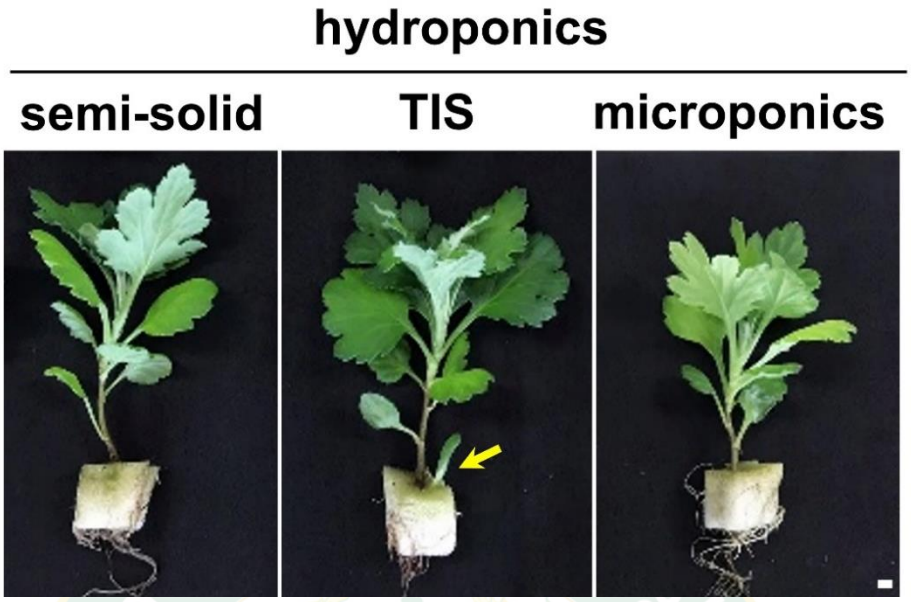
ภาพที่ 47 น้ำหนักสดของต้นจากชิ้นส่วนยอดเบญจมาศเมื่อเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT อักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

ผลของวิธีการเพาะเลี้ยงต้นออกรากต่อการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตหลังย้ายปลูก

จากการนำต้นเบญจมาศที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์มาอนุบาลในโรงเรือนเปรียบเทียบกับระบบไฮโดรโพนิกส์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ต้นที่อนุบาลในโรงเรือนซึ่งรอดชีวิตมีความสูงเพิ่มขึ้น สร้างใบและรากใหม่ มีระบบรากแตกแขนงอย่างชัดเจน (ภาพที่ 48) ส่วนต้นที่อนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์รอดชีวิตทั้งหมด มีลำต้นอวบและใบใหญ่กว่าต้นที่อนุบาลในโรงเรือน ส่วนระบบรากไม่สามารถสังเกตได้เพราะถูกหุ้มด้วยฟองน้ำ (ภาพที่ 49) นอกจากนี้ต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS บางต้นมีการแตกหน่อใหม่ที่โคนต้นด้วย (ภาพที่ 48 และ 49)



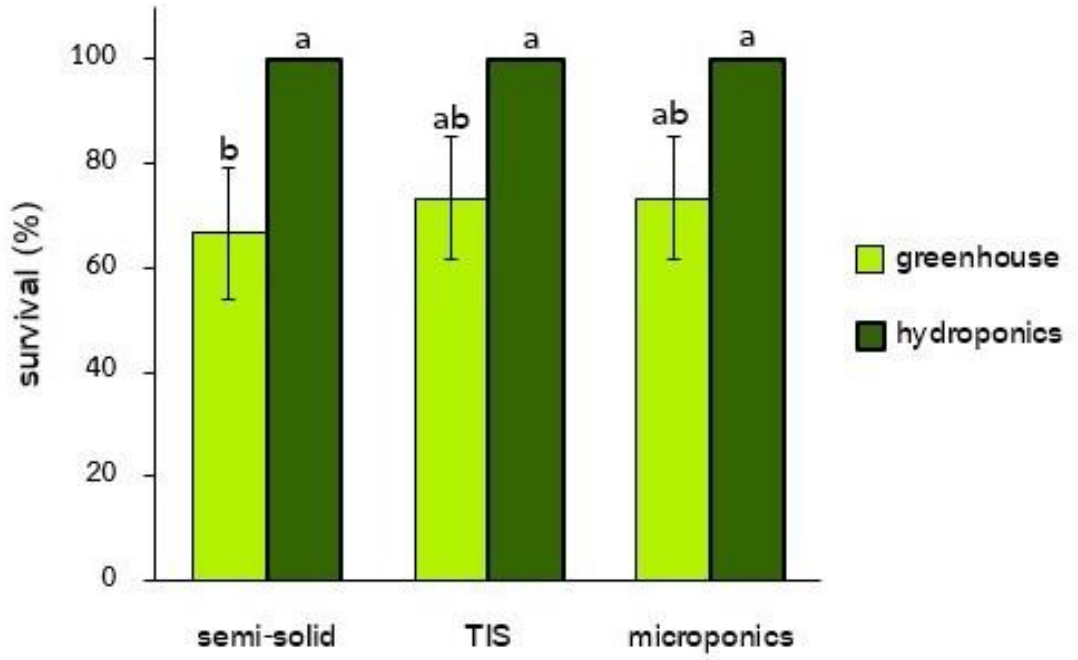
ภาพที่ 48 การเจริญเติบโตของต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์เมื่ออนุบาลในโรงเรือนเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (ลูกศรชี้ = หน่อแตกใหม่, bar = 1 เซนติเมตร)



ภาพที่ 49 การเจริญเติบโตของต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์เมื่ออนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (ลูกศรชี้ = หน่อแตกใหม่, bar = 1 เซนติเมตร)

เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต

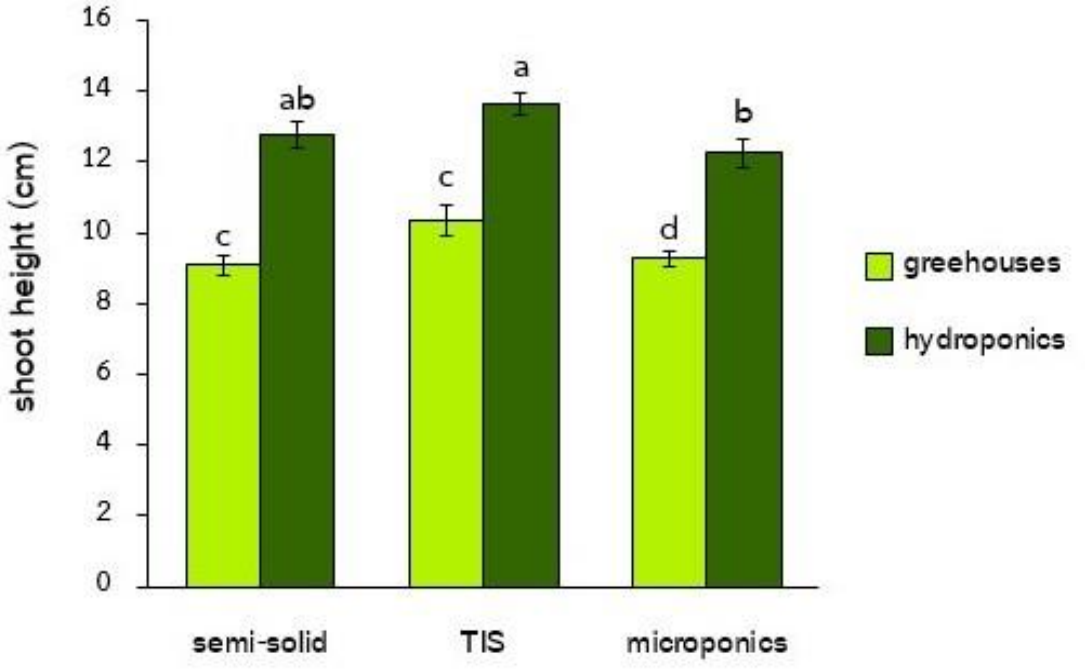
เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นที่อนุบาลในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 50 พบว่า ต้นที่อนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์ทั้งหมดมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูงถึง 100% ในขณะที่ต้นที่อนุบาลในโรงเรือนมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตต่ำกว่า อยู่ระหว่าง 66.67-73.33%



ภาพที่ 50 เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์เมื่ออนุบาลในโรงเรือนและระบบไฮโดรโพนิกส์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

ความสูงต้น

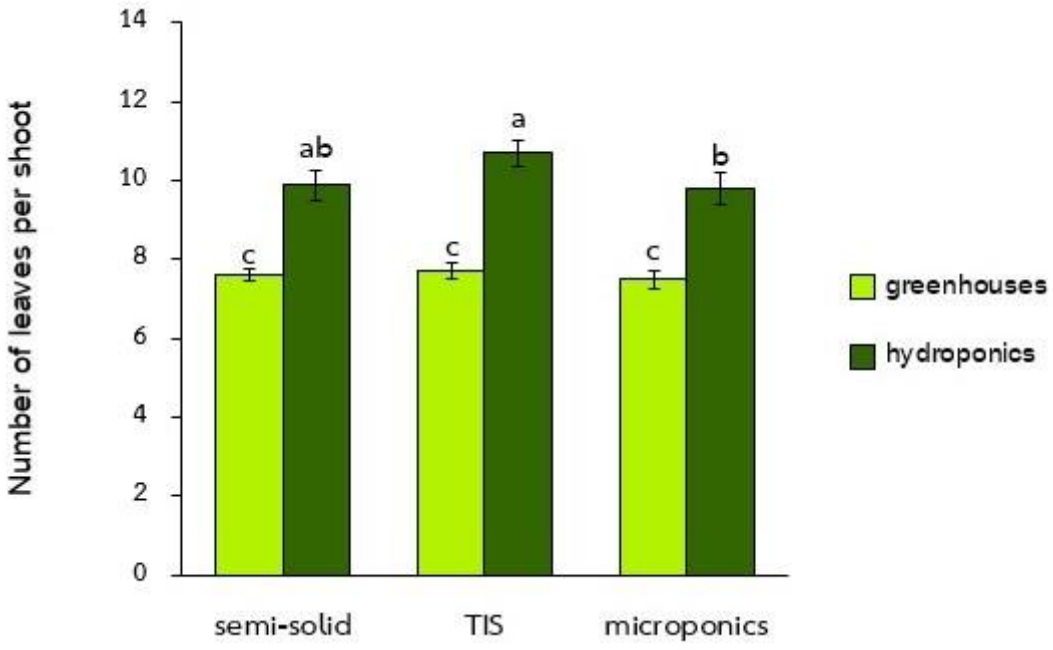
ความสูงของต้นที่อนุบาลในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 51 พบว่า ต้นที่อนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์มีความสูงต้นมากกว่าต้นที่อนุบาลในโรงเรือนเมื่อเปรียบเทียบระหว่างต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยวิธีการเดียวกัน นอกจากนี้ต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS มีความสูงต้นมากกว่าวิธีการเพาะเลี้ยงอื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการอนุบาลด้วยวิธีการเดียวกัน โดยต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS และอนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์มีความสูงต้นมากที่สุด คือ 13.64 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น ๆ ยกเว้นต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและอนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์ คือ 12.78 เซนติเมตร ในขณะที่ต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและอนุบาลในโรงเรือนมีความสูงต้นน้อยที่สุด คือ 9.10 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างจากต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยระบบไมโครโพนิกส์และอนุบาลในโรงเรือน คือ 9.27 เซนติเมตร



ภาพที่ 51 ความสูงของต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์เมื่ออนุบาลในโรงเรือนและระบบไฮโดรโพนิกส์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

จำนวนใบต่อต้น

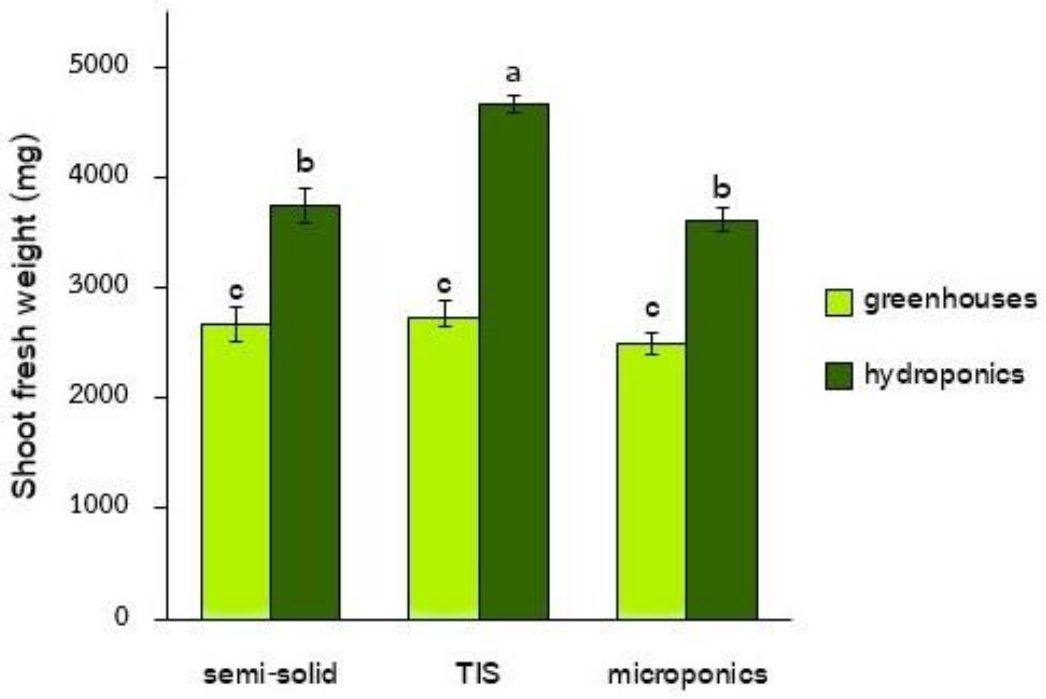
จำนวนใบของต้นที่อนุบาลในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 52 พบว่า ต้นที่อนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์มีจำนวนใบมากกว่าต้นที่อนุบาลในโรงเรือนเมื่อเปรียบเทียบระหว่างต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยวิธีการเดียวกัน โดยต้นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS และอนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์มีจำนวนใบต้นมากที่สุด คือ 10.70 ใบต่อต้น แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิตจากต้นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและอนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์ คือ 9.90 ใบต่อต่อ ส่วนต้นที่อนุบาลในโรงเรือนทั้งหมดมีจำนวนใบใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันทางสถิติ อยู่ระหว่าง 7.50-7.70 ใบต่อต้น



ภาพที่ 52 จำนวนใบของต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์เมื่ออนุบาลในโรงเรือนและระบบไฮโดรโพนิกส์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

น้ำหนักสดของต้น

น้ำหนักสดของต้นที่อนุบาลในแต่ละกรรมวิธี แสดงดังภาพที่ 53 พบว่า ต้นที่อนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์มีน้ำหนักสดสูงกว่าต้นที่อนุบาลในโรงเรือนเมื่อเปรียบเทียบระหว่างต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยวิธีการเดียวกัน โดยต้นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS และอนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์มีน้ำหนักสดของต้นมากที่สุด คือ 4667.72 มิลลิกรัม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกรรมวิธีอื่น ๆ รองลงมา คือ ต้นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งหรือระบบไมโครโพนิกส์และอนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์ ซึ่งมีน้ำหนักสดของต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 3744.81 และ 3618.27 มิลลิกรัม ตามลำดับ ส่วนต้นที่อนุบาลในโรงเรือนทั้งหมดมีน้ำหนักสดใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันทางสถิติ อยู่ระหว่าง 2505.30-2730.70 มิลลิกรัม



ภาพที่ 53 น้ำหนักสดของต้นที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์เมื่ออนุบาลในโรงเรือนและระบบไฮโดรโพนิกส์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาขั้นตอนการขยายพันธุ์เบญจมาศในสภาพปลอดเชื้อ โดยในระยะการเพิ่มปริมาณยอดได้เปรียบเทียบผลของความเข้มข้นสูตรอาหารและไซโตไคนิน คือ BAP ที่เติมในอาหารกึ่งแข็ง พบว่า ชิ้นส่วนข้อในทุกกรรมวิธีมีการแตกยอดใหม่เพียง 1.00 ยอดต่อชิ้นส่วน ซึ่งเป็นยอดที่แตกจากตาข้างเท่านั้น และไม่พบการเกิดยอดพิเศษ สันนิษฐานว่า การที่ชิ้นส่วนข้อเบญจมาศสามารถแตกยอดได้เองบนอาหารที่ไม่เติม BAP เนื่องจากมีไซโตไคนินธรรมชาติภายในพืชกระตุ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Waseem et al. (2011) พบว่า การเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนตาข้างเบญจมาศที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่ไม่เติม BAP เกิดยอดได้เองเป็นจำนวนใกล้เคียงกันกับการศึกษานี้ (1.50 ยอดต่อชิ้นส่วน) สำหรับการแตกยอดบนอาหารที่เติม BAP ในการทดลองนี้ เนื่องจากช่วงความเข้มข้นของ BAP ที่ใช้ทดสอบเป็นระดับที่ไม่สูงมาก คือ 0.25-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงทำให้เกิดเพียงการแตกตาข้างเท่านั้น และไม่กระตุ้นให้เกิดตาพิเศษ (adventitious bud) ซึ่งไม่สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Waseem et al. (2011) ที่พบว่า การเติม BAP 0.50-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เกิดยอดเพิ่มขึ้น (4.00-4.90 ยอดต่อชิ้นส่วน) โดยเป็นทั้งยอดที่เกิดจากตาข้างและตาพิเศษ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการตอบสนองต่อความเข้มข้น BAP ที่แตกต่างกันไปในเบญจมาศแต่ละพันธุ์ อย่างไรก็ตามยอดที่แตกจากตาข้างมีข้อดี คือ มีโอกาสเกิดผันแปรทางพันธุกรรมต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับยอดที่เกิดจากตาพิเศษ (Renau-Morata et al., 2005) นอกจากนี้ในการทดลองยังพบว่า การเจริญเติบโตของยอดที่เกิดขึ้นใหม่ทั้งในด้านความยาวยอด จำนวนข้อต่อยอด และน้ำหนักสดของยอดมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของ BAP เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ กรณ์ และลัดดาวัลย์ (2558) ที่พบว่า อาหารที่เติม BAP ความเข้มข้นสูงมีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตทางลำต้นและรากของต้นกล้าโมกมันลดลง ในการเปรียบเทียบการใช้อาหารความเข้มข้นที่แตกต่างกันโดยเติม BAP ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ยอดที่ได้จากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร ½ MS มีการเจริญเติบโตด้านต่าง ๆ สูงกว่ายอดที่ได้จากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร ¼ MS และ MS ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Imtiaz et al. (2019) ที่เปรียบเทียบผลของความเข้มข้นสูตรอาหาร (¼ MS, ½ MS และ MS) ต่อการชักนำให้เบญจมาศออกราก ซึ่งพบว่า อาหารสูตร ½ MS เหมาะสมที่สุด โดยมีจำนวนรากและความยาวรากมากที่สุด (15.78 รากต่อต้น และ 13.11 เซนติเมตร ตามลำดับ) การที่อาหารสูตร ½ MS ถึงแม้จะมีความเข้มข้นของธาตุอาหารต่าง ๆ ต่ำกว่าอาหาร MS เต็มสูตร แต่กลับให้ผลที่ดีกว่าในเรื่องการเจริญเติบโตของเบญจมาศที่เพาะเลี้ยง สันนิษฐานว่า อาจเป็นเพราะพืชแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุอาหารหรือสารอาหารในปริมาณที่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาถึงต้นทุนการเตรียมอาหารสูตร ½ MS ซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าอาหารสูตร MS เนื่องจากใช้ปริมาณองค์ประกอบของอาหารที่ลดลง ดังนั้นอาหารสูตร ½ MS จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดต้นทุนการเพาะเลี้ยงและยังให้ผลดีต่อการเจริญเติบโตของเบญจมาศอีกด้วย

ในการศึกษาระยะการเพิ่มปริมาณยอดของเบญจมาศยังได้เปรียบเทียบผลของระบบเพาะเลี้ยงด้วยเช่นกัน พบว่า การเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS ให้ผลดีกว่าการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ การให้อาหารเหลวทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 5 นาที ทำให้การเจริญเติบโตโดยด้านจำนวนยอดต่อชิ้นส่วน จำนวนข้อต่อยอด และน้ำหนักสดของยอดเพิ่มขึ้น 1.40, 1.42 และ 2.53 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการรายงานในพืชหลายชนิด เช่น ราสเบอรีและสตรอว์เบอร์รี (Georgiev et al., 2014) ไผ่เก้าดาว (*Guadua angustifolia*) (Gutiérrez et al., 2016) กล้วยไม้ดิน *Anoectochilus formosanus* (Wu et al., 2007) รวมทั้งเบญจมาศ (วรัญญา, 2013) โดยการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนพืชในระบบ TIS สามารถส่งเสริมให้พืชมีการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณได้มากกว่า เนื่องจากส่วนต่าง ๆ ของพืชสัมผัสอาหารเหลวได้อย่างทั่วถึง เมื่อเปรียบเทียบกับการเพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งแบบดั้งเดิม ซึ่งพืชดูดซึมสารอาหารเพียงบริเวณส่วนฐานเท่านั้น (Teisson and Alvard, 1995) นอกจากนี้ในการทดลองยังพบการฉ่ำน้ำซึ่งเป็นลักษณะที่ผิดปกติเกิดขึ้นด้วย โดยพบการฉ่ำน้ำเฉพาะยอดที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในระบบ TIS ที่มีการให้อาหารเหลวครั้งละ 6 นาทีเท่านั้น ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ชิ้นส่วนพืชแช่อาหารเหลวนานที่สุดในการทดลอง มีเปอร์เซ็นต์การฉ่ำน้ำสูงถึง 50% แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการแช่อาหารที่นานขึ้นอาจส่งผลกระตุ้นให้เกิดการฉ่ำน้ำได้ในการเพาะเลี้ยงเบญจมาศ โดยมีรายงานว่า โกจิเบอร์รีที่เพาะเลี้ยงในระบบ TIS ที่ให้อาหารเหลวด้วยความถี่มากขึ้นและระยะเวลาแช่อาหารที่นานขึ้น (ทุก 16 ชั่วโมง ครั้งละ 8 นาที และทุก 12 ชั่วโมง ครั้งละ 20 นาที) ส่งผลให้เกิดการฉ่ำน้ำมีแนวโน้มสูงยิ่งขึ้น (85-100%) ในขณะที่การให้อาหารเหลวด้วยความถี่ต่ำกว่าและระยะเวลาแช่อาหารที่สั้นลง (ทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 6 นาที) ทำให้การฉ่ำน้ำลดลงเป็นอย่างมาก (10%) (Ruta et al., 2020)

การศึกษาการชักนำให้ออกรากจากชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเบญจมาศโดยเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบ TIS และเปรียบเทียบการไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตและเติมออกซิน NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า การใช้อาหารที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตและเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS มีความเหมาะสมที่สุดต่อการชักนำให้ออกราก การเปรียบเทียบระหว่างการใช้อาหารที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตและอาหารที่เติม NAA พบว่า การไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตสามารถกระตุ้นให้ชิ้นส่วนยอดออกรากได้เร็วกว่าและมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าในส่วนของต้นและราก (ยกเว้นจำนวนราก) สอดคล้องกับที่ Imtiaz et al. (2019) รายงานว่า อาหารสูตร ½ MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตมีความเหมาะสมที่สุดในการชักนำการออกรากของเบญจมาศ การที่เบญจมาศสามารถออกรากได้เองในอาหารที่ไม่เติมออกซิน เนื่องจากมีออกซินธรรมชาติสังเคราะห์ที่ส่วนปลายยอดซึ่งจะถูกเคลื่อนที่ลงสู่ลำต้นด้านล่างแล้วไปกระตุ้นให้เกิดรากพิเศษ (adventitious roots) นั่นเอง (Ross & Salisbury, 1984) แสดงให้เห็นว่า ในการชักนำให้เบญจมาศออกรากใน

สภาพปลอดเชื้อไม่จำเป็นต้องเติมออกซินในอาหารเพาะเลี้ยง จึงช่วยประหยัดต้นทุนค่าสารเคมีอีกทางหนึ่ง ส่วนการเติม NAA ระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นจาก 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ไปจนถึง 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตด้านความยาวราก ความสูงต้น และน้ำหนักสดของต้นลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Yesmin et al. (2014) ที่พบว่า การใช้อาหารสูตร ½ MS ที่เติม NAA ระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นจาก 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ไปจนถึง 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ความยาวของรากเบญจมาศมีแนวโน้มสั้นลง สำหรับ NAA นั้นเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตที่ช่วยกระตุ้นการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญ ซึ่งมีฤทธิ์ของออกซินที่ค่อนข้างสูง เคลื่อนที่ภายในต้นได้ดีและสลายตัวได้ช้า จึงกระตุ้นให้เกิดจุดกำเนิดรากได้ดี แต่หากมีปริมาณมากเกินไปจะส่งผลยับยั้งการเจริญและการพัฒนาของรากได้ (Adriance and Brison, 1939) สำหรับการเปรียบเทียบผลของระบบเพาะเลี้ยง พบว่า การใช้ระบบ TIS ทำให้ชิ้นส่วนยอดเบญจมาศมีการเจริญเติบโตด้านต่าง ๆ ที่ดีกว่าการใช้อาหารกึ่งแข็ง ซึ่งคาดว่าจะส่งผลดีต่อการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตหลังนำไปย้ายปลูก

ในงานวิจัยนี้นอกจากศึกษาการชักนำให้เบญจมาศออกรากในสภาพปลอดเชื้อแล้ว ยังทดสอบการชักนำให้ออกรากด้วยระบบไมโครโพนิกส์ด้วยเช่นกัน โดยในการทดลองได้ศึกษาผลของการกระตุ้นด้วย NAA ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (ระยะเวลาแช่สาร 20 นาที) ก่อนนำชิ้นส่วนยอดไปเพาะเลี้ยงด้วยระบบไมโครโพนิกส์ที่เป็นกล่องพลาสติกขนาด 11.5x11.5x7.5 เซนติเมตร ซึ่งมีจำนวนรูระบายอากาศ 1 รู พบว่า การไม่แช่ชิ้นส่วนยอดในสารละลาย NAA ก่อนนำไปเพาะเลี้ยงด้วยระบบไมโครโพนิกส์ส่งผลดีที่สุดต่อการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตด้านต่าง ๆ (ยกเว้นจำนวนราก) ส่วนการแช่ชิ้นส่วนยอดในสารละลาย NAA ระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นจาก 100 ppm ไปจนถึง 1000 ppm ก่อนนำไปเพาะเลี้ยงด้วยระบบไมโครโพนิกส์ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตและการเจริญเติบโตด้านต่าง ๆ (ยกเว้นจำนวนราก) มีแนวโน้มลดลง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ชิ้นส่วนยอดเบญจมาศสามารถออกรากได้ในระบบไมโครโพนิกส์โดยไม่ต้องแช่สารละลาย NAA เนื่องจากพืชสามารถสังเคราะห์ออกซินตามธรรมชาติได้นั่นเอง อย่างไรก็ตามผลการทดลองไม่สอดคล้องกับที่ Nhut et al. (2005) พบว่า ระดับความเข้มข้นของ NAA ที่สูงถึง 500 ppm (ระยะเวลาแช่สาร 20 นาที) มีความเหมาะสมที่สุดในการชักนำให้เบญจมาศออกรากในระบบไมโครโพนิกส์ สันนิษฐานว่าการตอบสนองต่อระดับความเข้มข้นของ NAA ที่เหมาะสมในการชักนำให้ออกรากอาจขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ของเบญจมาศที่ทดสอบด้วย

นอกจากนี้ในการทดสอบการชักนำให้เบญจมาศออกรากในระบบไมโครโพนิกส์ยังได้เปรียบเทียบผลของจำนวนรูระบายอากาศบริเวณส่วนฝาของภาชนะเพาะเลี้ยง โดยในการทดลองนี้มีการใช้กล่องพลาสติกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น คือ 11.0x18.0x6.5 เซนติเมตร สามารถบรรจุชิ้นส่วนยอดได้มากขึ้น จึงเป็นขยายขนาดการเพาะเลี้ยง ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มจำนวนรูระบายอากาศจาก 0 รู ไปจนถึง 5 รู มีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตและการเจริญเติบโตต่าง ๆ เพิ่มขึ้น โดยการใช้ฝา

จำนวนรูระบายอากาศ 5 รู ให้ผลดีที่สุด ส่วนการใช้ฝาที่ไม่มีรูระบายอากาศถึงแม้ว่าชิ้นส่วนยอดจะสามารถออกรากได้ แต่เมื่อเพาะเลี้ยงไประยะเวลาหนึ่งพบว่าต้นเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและแห้งตายทั้งหมดในที่สุด สันนิษฐานว่า ภายในกล่องพลาสติกที่ไม่เจาะรูระบายอากาศจะมีการหายใจของพืชค่อนข้างสูง ทำให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซชนิดอื่น ๆ ในปริมาณมากเกินไปจนส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช (Grodzinski and Yorks, 1981) โดยเฉพาะก๊าซเอทิลีนมีผลต่อการแก่ตัวและการร่วงของใบ ส่งผลให้พืชสูญเสียกระบวนสังเคราะห์แสงซึ่งเป็นกระบวนการสร้างอาหารของพืช เนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์แสงส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ใบ เมื่อใบถูกทำลายจึงทำให้พืชนำเอาพลังงานมาใช้ไม่เพียงพอ จึงเป็นเหตุที่ทำให้พืชเจริญเติบโตช้าหรือเกิดการตายได้ (พันทวี, 2529) ดังนั้นการเพิ่มจำนวนรูระบายอากาศจะช่วยเพิ่มการไหลเวียนก๊าซและลดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่น ๆ

เมื่อนำต้นเบญจมาศที่ออกรากจากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็ง ระบบ TIS และระบบไมโครโพนิกส์มาอนุบาลในโรงเรือนเปรียบเทียบกับระบบไฮโดรโพนิกส์ พบว่า การอนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์ทำให้ต้นมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตและการเจริญเติบโตหลังย้ายปลูกสูงกว่าการอนุบาลในโรงเรือนด้วยวัสดุปลูกไวท์พีท สอดคล้องกับการรายงานในพืชหลายชนิด เช่น เผือก (Nhut et al., 2004) และหนอนตายหยาก (Palee et al., 2012) ที่อนุบาลในระบบไฮโดรโปนิกส์มีอัตราการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตที่ดีกว่าต้นที่ปลูกในดินและอนุบาลในโรงเรือน ซึ่งมีรายงานโดย Duan et al. (2020) ในต้นเทียวฮวยฮุ้ง (*Trichosanthes kirilowii*) ที่สนับสนุนว่า ต้นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเมื่ออนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์มีอัตราการรอดชีวิต การเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุสังเคราะห์แสง และความหนาแน่นของปากใบที่สูงกว่าต้นที่อนุบาลในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสันนิษฐานว่า การอนุบาลในระบบไฮโดรโปนิกส์ทำให้ต้นมีอัตราการรอดชีวิตที่สูงขึ้นเนื่องจากโครงสร้างรากมีการปรับตัวให้มีความยืดหยุ่นทางสัณฐานวิทยา (phenotypic plasticity) ให้เหมาะแก่การเจริญในระบบไฮโดรโปนิกส์ โดยสร้างช่องอากาศ (aerenchyma spaces) ที่ใหญ่ขึ้นและมีส่วน apoplastic barriers ที่หนาขึ้น นอกจากนี้ในการเปรียบเทียบระหว่างต้นที่ได้จากระบบการเพาะเลี้ยงต่าง ๆ เมื่ออนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์ พบว่า เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่การเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS ทำให้ต้นเบญจมาศมีการเจริญเติบโตหลังอนุบาลที่ดีกว่าการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบไมโครโพนิกส์ สอดคล้องกับรายงานวิจัย Ramírez-Mosqueda et al. (2019) ที่พบว่า ต้นหน้าวัวที่เพาะเลี้ยงในระบบ TIS มีอัตราการรอดชีวิตเมื่ออนุบาลในสภาพโรงเรือนสูงกว่าต้นที่เพาะเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสันนิษฐานว่าเกี่ยวข้องกับการเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS สามารถปรับคุณภาพต้นให้ดีขึ้น โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงขึ้น รวมทั้งมีดัชนีปากใบ (stomatal index) ลดลงและเปอร์เซ็นต์ปากใบปิด (closed

stomata) สูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้พืชมีอัตราการคายน้ำต่ำ จึงช่วยลดการสูญเสียน้ำที่เป็นสาเหตุหลักของการตายในระหว่างการอนุบาลต้น (Aragón et al., 2014)

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

1. การเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS ให้ผลดีกว่าอาหารกึ่งแข็งในการขยายพันธุ์เบญจมาศทั้งในระยะการเพิ่มปริมาณยอดและการชักนำให้ออกราก โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารควบคุมการในอาหารเพาะเลี้ยง ซึ่งมีสภาวะที่เหมาะสมของการเพาะเลี้ยงเหมือนกัน คือ การนำชิ้นส่วนข้อเดี่ยวเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งสูตร ½ MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต และให้อาหารเหลวทุก 24 ชั่วโมง ครั้งละ 5 นาที แต่ใช้ระยะเวลาสำหรับการเพิ่มปริมาณยอดและการชักนำให้ออกราก 8 และ 4 สัปดาห์ ตามลำดับ
2. การเพาะเลี้ยงด้วยระบบไมโครโพนิกส์เพื่อชักนำให้เบญจมาศออกราก พบว่า สามารถนำชิ้นส่วนยอดไปเพาะเลี้ยงในระบบไมโครโพนิกส์ได้ทันที โดยไม่จำเป็นต้องกระตุ้นด้วยออกซินก่อน ซึ่งมีสภาวะที่เหมาะสมของการเพาะเลี้ยง คือ การนำชิ้นส่วนยอดมาเพาะเลี้ยงด้วยอาหารเหลวสูตร ½ MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต และใช้ระบบไมโครโพนิกส์ที่มีจำนวนรูระบายอากาศ 5 รู เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์
3. การอนุบาลในระบบไฮโดรโพนิกส์ทำให้ต้นเบญจมาศมีอัตราการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตสูงกว่าการอนุบาลในโรงเรือน โดยต้นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยระบบ TIS มีการเจริญเติบโตหลังย้ายปลูกดีกว่าต้นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารกึ่งแข็งและระบบไมโครโพนิกส์

บรรณานุกรม

Adriance, G. W. & Brison, F. R. 1939. **Propagation of Horticultural Plants**. New York and London: McGraw-Hill Book Company, Inc.

Aragón, C., Sánchez, C., Gonzalez-Olmedo, J., Escalona, M., Carvalho, L. & Amâncio, S. 2014. Comparison of plantain plantlets propagated in temporary immersion bioreactors and gelled medium during *in vitro* growth and acclimatization. **Biologia Plantarum**, 58(1), 29-38.

Debergh, P., Harbaoui, Y. & Lemeur, R. 1981. Mass propagation of globe artichoke (*Cynara scolymus*): evaluation of different hypotheses to overcome vitrification with special reference to water potential. **Physiologia Plantarum**, 53(2), 181-187.

Duan, J.-X., Duan, Q.-X., Zhang, S.-F., Cao, Y.-M., Yang, C.-D. & Cai, X.-D. 2020. Morphological, physiological, anatomical and histochemical responses of micropropagated plants of *Trichosanthes kirilowii* to hydroponic and soil conditions during acclimatization. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, 142, 177-186.

Eun-Joo, H., Jong-Hyang, B. & Yong-Beom, L. 1998. Growth and leaf-surface characteristics of chrysanthemum plantlets between micropropagation and microponic system. **Horticulture Environment and Biotechnology**, 39(6), 838-842.

Georgiev, V., Schumann, A., Pavlov, A. & Bley, T. 2014. Temporary immersion systems in plant biotechnology. **Engineering in Life Sciences**, 14(6), 607-621.

Grodzinski, W. & Yorks, T. 1981. Species and ecosystem level bioindicators of airborne pollution: an analysis of two major studies. **Water, Air, and Soil Pollution**, 16, 33-53.

Gutiérrez, L. G., López-Franco, R. & Morales-Pinzón, T. 2016. Micropropagation of *Guadua angustifolia* Kunth (Poaceae) using a temporary immersion system RITA®. **African Journal of Biotechnology**, 15(28), 1503-1510.

Hahn, E., Bae, J. & Lee, Y. 2000. Growth and photosynthetic characteristics of

Chrysanthemum plantlets as affected by pH and EC of the nutrient solution in microponic culture. **Journal of the Korean Society for Horticultural Science**, 41(1), 12-15.

Hahn, E., Lee, Y. & Ahn, C. 1996. A new method on mass-production of micropropagated chrysanthemum plants using microponic system in plant factory. **Acta Horticulturae**, 440, 527-532.

Imtiaz, M., Khattak, A. M., Khan, M. A., Jalal, F., Hussain, S., Said, F. & Bo, H. 2019. Rapid in-vitro propagation of *Chrysanthemum morifolium* through shoot bud explants. **Pakistan Journal of Botany**, 51(3), 1093-1098.

Kim, S., Hahn, E., Paek, K. & Murthy, H. 2002. Application of bioreactor culture for large scale production of *Chrysanthemum* transplants. **Acta Horticulturae**, 625, 187-191

Lai, C.-C., Lin, H.-M., Nalawade, S. M., Fang, W. & Tsay, H.-S. 2005. Hyperhydricity in shoot cultures of *Scrophularia yoshimurae* can be effectively reduced by ventilation of culture vessels. **Journal of Plant Physiology**, 162(3), 355-361.

Lindiro, C., Kahia, J., Asiimwe, T., Mushimiyimana, I., Waweru, B., Kouassi, M., Koffi, E., Kone, S. & Sallah, P. Y. 2013. In vitro regeneration of pyrethrum *Chrysanthemum cinerariaefolium*) plantlets from nodal explants of in vitro raised plantlets. **International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management**, 2(7), 207-213.

Nhut, D. T., Don, N. T., An, T. T. T., Van, T. P. T., Vu, N. H., Huyen, P. X. & Khiem, D. 2005. Microponic and hydroponic techniques in disease-free chrysanthemum (*Chrysanthemum* sp.) production. **Journal of Applied Horticulture**, 7(2), 67-71.

Nhut, D. T., Huong, N. T. D. & Van Khiem, D. 2004. Direct microtuber formation and enhanced growth in the acclimatization of in vitro plantlets of taro (*Colocasia esculenta* spp.) using hydroponics. **Scientia Horticulturae**, 101(1-2), 207-212.

Palee, J., Dheeranupattana, S., Jatisatienr, A., Wangkarn, S., Mungkornasawakul, P., Pyne, S., Ung, A. & Sastraruji, T. 2012. Influence of plantlet age and different soilless culture on acclimatization of *Stemona curtisii* Hook. f. **Asian Journal of Plant Sciences**, 11(6), 294-299.

Park, S., Jeon, J. H., Kim, H. S., Park, Y., Aswath, C. & Joung, H. 2004. Effect of sealed and

vented gaseous microenvironments on the hyperhydricity of potato shoots in vitro. **Scientia Horticulturae**, 99(2), 199-205.

Ramírez-Mosqueda, M. A., Cruz-Cruz, C. A., Cano-Ricárdez, A. & Bello-Bello, J. J. 2019. Assessment of different temporary immersion systems in the micropropagation of anthurium (*Anthurium andreanum*). **3 Biotech**, 9, 1-7.

Renau-Morata, B., Nebauer, S., Arrillaga, I. & Segura, J. 2005. Assessments of somaclonal variation in micropropagated shoots of *Cedrus*: consequences of axillary bud breaking. **Tree Genetics & Genomes**, 1, 3-10.

Ruta, C., De Mastro, G., Ancona, S., Tagarelli, A., De Cillis, F., Benelli, C. & Lambardi, M. 2020. Large-scale plant production of *Lycium barbarum* L. by liquid culture in temporary immersion system and possible application to the synthesis of bioactive substance. **Plants**, 9(7), 844.

Teisson, C. & Alvard, D. 1995. A new concept of plant in vitro cultivation liquid medium: temporary immersion. In M. Terzi, R. Cella & A. Falavigna (Eds.). **Current issues in plant molecular and cellular biology** (pp. 105-110). Dordrecht: Springer.

Tung, H. T., Nam, N. B., Huy, N. P., Luan, V. Q., Hien, V. T., Phuong, T. T. B., Le, D. T., Loc, N. H. & Nhut, D. T. 2018. A system for large scale production of chrysanthemum using microponics with the supplement of silver nanoparticles under light-emitting diodes. **Scientia Horticulturae**, 232, 153-161.

Waseem, K., Jilani, M. S., Jaskani, M. J., Khan, M. S., Kiran, M. & Khan, G. U. 2011. Significance of different plant growth regulators on the regeneration of chrysanthemum plantlets (*Dendranthema morifolium* L.) through shoot tip culture. **Pakistan Journal of Botany**, 43(4), 1843-1848.

Wu, R. Z., Chakrabarty, D., Hahn, E. J. & Paek, K. Y. 2007. Micropropagation of an endangered jewel orchid (*Anoectochilus formosanus*) using bioreactor system. **Horticulture Environment and Biotechnology**, 48(6), 376-380.

Yesmin, S., Hashem, A., Das, K., Hasan, M. & Islam, M. 2014. Efficient in vitro regeneration of chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.) through nodal explant culture. **Nuclear Science and Applications**, 23(1&2), 47-50.

Zapata, E. V., Morales, G. S., Lauzardo, A. N. H., Bonfil, B. M., Tapia, G. T., Sánchez, A. D. J., Valle, M. & Aparicio, A. J. 2003. In vitro regeneration and acclimatization of

plants of turmeric (*Curcuma longa* L.) in a hydroponic system. **Biotecnología Aplicada**, 20(25-31.

Zhou, L. & Cui, Y. 2010. Chrysanthemum plantlet growth with photosynthetic photon flux and electrical conductivity treatments in a microponic system culture. **Journal of Zhejiang Forestry College**, 27(4), 554-558.

กรณ์ กรภัทร์ชัยกุล และลัดดาวัลย์ รักษ์ธรรม. 2558. การขยายพันธุ์โมกมัน [*Wrightia arborea* (Dennst.) Mabb.] ในหลอดทดลอง. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,** 23(5) (ฉบับพิเศษ), 833-845.

กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2558. **การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์**. เอกสาร คำแนะนำ 5/2558. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

คำนูญ กาญจนภูมิ. 2542. **การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

ณัฐพงศ์ จันจุฬา. 2563. **การผลิตต้นกล้าเบญจมาศปลอดโรคเชิงพาณิชย์**. ปทุมธานี: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

ธนเดช เปรมะศีโล, พินิจ ประเสริฐสังข์, เอกพล ทองลิ่ม. 2559. **ระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์**. ปริญญานิพนธ์. มหาวิทยาลัยบูรพา.

นพมณี โทปุญญานนท์. 2545. หลักการและขั้นตอนการขยายพันธุ์พืชโดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. ใน นพมณี โทปุญญานนท์ (บรรณาธิการ). **การขยายพันธุ์พืชโดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช**. น. 11-21. เชียงใหม่: iBeam Press studio.

นันทิยา สมานนท์. 2535. **คู่มือการปลูกไม้ดอก.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พริ้นติ้งเฮาส์.

นุชจรี ทัดเศษ, การันต์ ผึ่งบรรหาร และลลิดา อุดธา. 2019. ผลของ BA และ NAA ต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของกล้วยหินในสภาพปลอดเชื้อและผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตในสภาพธรรมชาติ. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**, 37(2), 262-273.

พัชรี สำโรงเย็น. 2016. **ผักไฮโดรโพนิกส์ (ฉบับชาวบ้าน).** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ นาคา อินเตอร์มีเดีย จำกัด.

พันธวี มาไพโรจน์. 2529. **การสังเคราะห์แสงและการหายใจ**. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 192 น.

พิมผกา ส่างกวาง, นพมณี โทปุญญานนท์ และปวีณา ภูมิสุทธาผล. 2557. **การขยายพันธุ์หอมหัวใหญ่ในสภาพปลอดเชื้อและอัตราการเพิ่มปริมาณต้นด้วยระบบไบโอรีแอคเตอร์จมชั่วคราว.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ, นงนุช เลาหะวิสุทธิ์, อิทธิสุนทร นันทกิจ และยุทธนา เกียรติธร. 2548. **เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำชนิดใบพายเขาใหญ่ (*Crytocoryne crispatula* var. balansae) ในระบบปลูกพืชแบบไร้ดิน**. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรประมงน้ำจืด. กรุงเทพฯ: กรมประมง.

เยาวพา จิระเกียรติกุล และ ขวัญจิตต์ บุญหา. 2552. การเพิ่มจำนวนต้นและชักนำให้เกิดรากในสภาพปลอด

เชื้อของต้นสร้อยสายเพชร. **วารสารวิทยาสตร์และเทคโนโลยี,** 17(3), 61-67.

รงรอง วิเศษสุวรรณ, ศิริวรรณ บุรีคำ, ชาดา ชัยยะศิริสุวรรณ และคาสุฮิโร ฟูจิวารา. 2534. การลดอาการอวบน้ำของหม่อนในสภาพปลอดเชื้อโดยการใช้แผ่นกรองและระบายอากาศ. ใน **เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 29**: รายงานผลการวิจัย สาขาพืช. น. 669 หน้า. กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน.

รังสฤษดิ์ กาวีต๊ะ. 2545. **การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชหลักการและเทคนิค.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัฐภูมิ รวมอัญมณ, สมคิด สิริพัฒนดิลก และสุธีร์ ดวงใจ. 2017. ผลของแอมโมเนียมไนเตรท และความชื้นสัมพัทธ์ต่ออาการฉ่ำน้ำในการเพาะเลี้ยงยอดยูคาลิปตัสลูกผสม. **วารสารวนศาสตร์,** 36(1), 22-32.

รัตนา ขามฤทธิ์ และ อนัญญา กิ่งหลักเมือง. 2561. ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำให้เกิดต้นและรากจากการเพาะเลี้ยงข้อกุหลาบหนูในสภาพหลอดทดลอง. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร,** 49(2)(พิเศษ), 287-290.

วรัญญา เสาสีนาด. 2556. **การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงเบญจมาศ 'MUM 13' โดยระบบไบโอรีแอคเตอร์จมชั่วคราวเปรียบเทียบกับอาหารแข็ง.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

สมเพียร เกษมทรัพย์. 2525 **การปลูกไม้ดอก.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภาพร สัมโย และ อำนวย อรรถลังรอง. 2563. **สถานการณ์การผลิตเบญจมาศ.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/09/สถานการณ์การผลิตเบญจมาศ_กันยายน63.pdf (5 พฤศจิกายน 2556).

อดิศร กระแสชัย. 2535. **เบญจมาศ**. กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พริ้นติ้งเฮ้าส์.

อธิรดา บุญเดช และ ธนากร วงษศา. 2561. ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของปลายยอดต้นเฉาก๊วยในสภาพปลอดเชื้อ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโนโลยี (สวทช.),** 5(2), 88-96.

อนุสร จันทร์แดง , 2549. เทคโนโลยีการผลิตเบญจมาศที่เหมาะสมตำบลไทยสามัคคี อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา. **รายงานวิจัย. ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จังหวัดนครราชสีมา (พันธุ์พืชเพาะเลี้ยง)** สำนักส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4 จังหวัดขอนแก่น กรมส่งเสริมการเกษตร.

อุบล สมทรง. 2556. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อส้มซ่า. **วารสารเกษตรพระวรุณ,** 10(1), 29-38.

ภาคผนวก

การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลองที่ 1 ศึกษาผลของความเข้มข้นสูตรอาหารและ BAP ต่อการเพิ่มปริมาณยอดบนอาหารกึ่งแข็ง

1. จำนวนยอดต่อชิ้นส่วน

ANOVA

number.of.shoots

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	11	.000	.	.
Within Groups	.000	108	.000		
Total	.000	119			

2. ความยาวยอด

ANOVA

shoot.height

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	288.270	11	26.206	163.515	.000
Within Groups	17.309	108	.160		
Total	305.579	119			

Duncan[a]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	7
MS+BA1.0	10	1.3300						
MS+BA0.5	10		1.9800					
1/4 MS+BA1.0	10		2.0200					
MS+BA0.25	10		2.2500	2.2500				
1/4 MS+BA0.5	10			2.5500				
1/2 MS+BA1.0	10				2.9200			
1/4 MS+BA0.25	10				3.1800			
1/2 MS+BA0.5	10					3.6800		
MS	10						4.1900	
1/4 MS	10						4.3800	
1./2 MS+BA0.25	10						4.3900	
1/2 MS	10							7.3600
Sig.		1.000	.158	.097	.149	1.000	.297	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

3. จำนวนข้อต่อยอด

ANOVA

number.of.nodes

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	67.300	11	6.118	10.012	.000
Within Groups	66.000	108	.611		
Total	133.300	119			

Duncan[a]

		Subset for alpha = 0.05					
Tr	N	1	2	3	4	5	6
MS+BA0.5	10	5.0000					
MS+BA1.0	10	5.3000	5.3000				
MS+BA0.25	10	5.5000	5.5000				
1/4 MS+BA1.0	10	5.6000	5.6000	5.6000			
1/4 MS+BA0.5	10		5.8000	5.8000	5.8000		
MS	10		5.8000	5.8000	5.8000		
1/4 MS+BA0.25	10			6.3000	6.3000		
1/4 MS	10				6.4000	6.4000	
1/2 MS+BA1.0	10				6.4000	6.4000	
1/2 MS+BA0.5	10					7.1000	7.1000
1./2 MS+BA0.25	10						7.2000
1/2 MS	10						7.4000
Sig.		.121	.210	.069	.131	.060	.424

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

4. น้ำหนักสดของยอด

ANOVA

shoot.fresh.weight

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	800893.054	11	72808.459	55.558	.000
Within Groups	141533.010	108	1310.491		
Total	942426.064	119			

Duncan[a]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
MS+BA1.0	10	63.9500				
MS+BA0.5	10	85.6200	85.6200			
MS+BA0.25	10	88.7300	88.7300			
1/4 MS+BA1.0	10		105.4000			
1/4 MS+BA0.5	10		118.7500	118.7500		
1/2 MS+BA1.0	10		119.9100	119.9100		
1/2 MS+BA0.5	10			150.6100		
1/4 MS+BA0.25	10			151.0200		
1./2 MS+BA0.25	10			151.4000		
MS	10				217.1400	
1/4 MS	10					303.4600
1/2 MS	10					333.0700
Sig.		.152	.060	.074	1.000	.070

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลองที่ 2 ผลของระบบเพาะเลี้ยงต่อการเพิ่มปริมาณยอด

1. จำนวนยอดต่อชิ้นส่วน

ANOVA

number.of.shoots

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.600	3	.533	1.500	.231
Within Groups	12.800	36	.356		
Total	14.400	39			

Duncan[a]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05
		1
SL	10	1.0000
TIS-24h,6m	10	1.0000
TIS-24h,4m	10	1.4000
TIS-24h,5m	10	1.4000
Sig.		.180

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

2. ความยาวยอด

ANOVA

shoot.height

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	84.173	3	28.058	20.170	.000
Within Groups	50.077	36	1.391		
Total	134.250	39			

Duncan[a]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
TIS-24h,4m	10	3.6900		
TIS-24h,6m	10		5.4600	
TIS-24h,5m	10			7.0000
SL	10			7.3600
Sig.		1.000	1.000	.499

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

3. จำนวนข้อต่อยอด

ANOVA

number.of.nodes

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	82.100	3	27.367	6.577	.001
Within Groups	149.800	36	4.161		
Total	231.900	39			

Duncan[a]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
TIS-24h,4m	10	6.7000	
SL	10	7.4000	
TIS-24h,6m	10		9.6000
TIS-24h,5m	10		10.1000
Sig.		.448	.587

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

4. น้ำหนักสดของยอด

ANOVA

shoot.fresh.weight

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2100203.723	3	700067.908	15.527	.000
Within Groups	1623091.407	36	45085.872		
Total	3723295.130	39			

Duncan[a]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
TIS-24h,4m	10	263.0300	
SL	10	333.0700	
TIS-24h,6m	10	360.6400	
TIS-24h,5m	10		841.6700
Sig.		.340	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

5. เปอร์เซ็นต์การฉ่ำน้ำ

ANOVA

hyperhydricity

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	18750.000	3	6250.000	9.000	.000
Within Groups	25000.000	36	694.444		
Total	43750.000	39			

Duncan[a]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
SL	10	.0000	
TIS-24h,4m	10	.0000	
TIS-24h,5m	10	.0000	
TIS-24h,6m	10		50.0000
Sig.		1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลองที่ 3 ผลของระบบเพาะเลี้ยงและ NAA ต่อการชักนำให้ออกรากในสภาพปลอดเชื้อ

1. วันที่เริ่มออกราก

ANOVA

initial.day

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1174.050	9	130.450	32.017	.000
Within Groups	366.700	90	4.074		
Total	1540.750	99			

Duncan[a]

		Subset for alpha = 0.05						
Tr	N	1	2	3	4	5	6	7
TIS-0NAA	10	7.5000						
SL-0NAA	10	9.1000	9.1000					
TIS-0.05NAA	10		10.3000	10.3000				
TIS-0.10NAA	10			11.4000	11.4000			
SL-0.05NAA	10				13.0000	13.0000		
TIS-0.50NAA	10					13.4000		
SL-0.10NAA	10					14.3000	14.3000	
SL-0.50NAA	10						15.9000	
TIS-1NAA	10						16.1000	
SL-1NAA	10							19.5000
Sig.		.080	.187	.226	.080	.178	.062	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

2. จำนวนรากต่อต้น

ANOVA

number.of.roots

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	296.800	9	32.978	23.897	.000
Within Groups	124.200	90	1.380		
Total	421.000	99			

Duncan[a]

		Subset for alpha = 0.05				
Tr	N	1	2	3	4	5
SL-0NAA	10	4.6000				
SL-0.05NAA	10	4.9000				
SL-0.10NAA	10	5.1000				
SL-0.50NAA	10	5.6000	5.6000			
TIS-0NAA	10	5.6000	5.6000			
SL-1NAA	10		6.4000	6.4000		
TIS-0.05NAA	10		6.7000	6.7000		
TIS-0.10NAA	10			7.3000	7.3000	
TIS-0.50NAA	10				8.3000	
TIS-1NAA	10					10.5000
Sig.		.093	.058	.109	.060	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

3. ความยาวราก

ANOVA

root.length

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	936.048	9	104.005	55.398	.000
Within Groups	168.969	90	1.877		
Total	1105.017	99			

Duncan[a]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
SL-1NAA	10	2.6100							
SL-0.50NAA	10		4.4200						
TIS-1NAA	10		4.7300						
SL-0.10NAA	10		5.6600	5.6600					
TIS-0.50NAA	10			6.3900	6.3900				
SL-0.05NAA	10				7.0800	7.0800			
SL-0NAA	10					8.1000	8.1000		
TIS-0.10NAA	10						8.8800		
TIS-0.05NAA	10							11.1900	
TIS-0NAA	10								13.2100
Sig.		1.000	.058	.237	.263	.099	.206	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

MAEJO UNIVERSITY

4. ความสูงต้น

ANOVA

shoot.height

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	46.082	9	5.120	31.078	.000
Within Groups	14.828	90	.165		
Total	60.910	99			

Duncan[a]

		Subset for alpha = 0.05				
Tr	N	1	2	3	4	5
SL-1NAA	10	3.0100				
SL-0.50NAA	10		3.4300			
TIS-1NAA	10			3.8100		
SL-0.10NAA	10			3.9100		
SL-0.05NAA	10				4.2900	
TIS-0.50NAA	10				4.3500	
SL-0NAA	10				4.4700	
TIS-0.10NAA	10				4.6000	
TIS-0.05NAA	10					5.0600
TIS-0NAA	10					5.3700
Sig.		1.000	1.000	.583	.123	.091

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

5. จำนวนใบต่อต้น

ANOVA

number.of.leaves

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	52.490	9	5.832	11.004	.000
Within Groups	47.700	90	.530		
Total	100.190	99			

Duncan[a]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
SL-1NAA	10	3.4000	
SL-0.50NAA	10	3.7000	
SL-0.05NAA	10	3.8000	
SL-0.10NAA	10	3.8000	
SL-0NAA	10	3.9000	
TIS-1NAA	10		4.7000
TIS-0.50NAA	10		4.9000
TIS-0.10NAA	10		5.2000
TIS-0.05NAA	10		5.3000
TIS-0NAA	10		5.4000
Sig.		.177	.057

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

6. น้ำหนักสดของต้น

ANOVA

shoot.fresh.weight

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	895535.378	9	99503.931	59.040	.000
Within Groups	151682.022	90	1685.356		
Total	1047217.400	99			

Duncan[a]

		Subset for alpha = 0.05							
Tr	N	1	2	3	4	5	6	7	8
SL-1NAA	10	74.6500							
SL-0.50NAA	10	98.1000	98.1000						
SL-0.10NAA	10		125.8500	125.8500					
SL-0.05NAA	10			152.8800	152.8800				
TIS-1NAA	10				165.0100				
SL-0NAA	10				173.0700				
TIS-0.50NAA	10					216.8800			
TIS-0.10NAA	10						281.1500		
TIS-0.05NAA	10							321.9700	
TIS-0NAA	10								379.0400
Sig.		.205	.134	.144	.305	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลองที่ 4 ผลของออกซินต่อการชักนำให้ออกรากในระบบไมโครโพนิกส์

1. เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต

ANOVA

survival.rate

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3111.111	4	777.778	.333	.854
Within Groups	93333.333	40	2333.333		
Total	96444.444	44			

Duncan[a]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05
		1
1000 NAA	9	55.5556
250 NAA	9	66.6667
500 NAA	9	66.6667
0 NAA	9	77.7778
100 NAA	9	77.7778
Sig.		.393

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

2. วันที่เริ่มออกราก

ANOVA

initial.day

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	288.874	4	72.219	15.831	.000
Within Groups	118.610	26	4.562		
Total	407.484	30			

Duncan[a,b]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
0 NAA	7	7.2857			
100 NAA	7	9.5714	9.5714		
250 NAA	6		10.6667		
500 NAA	6			13.6667	
1000 NAA	5				16.2000
Sig.		.073	.379	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.105.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

3. จำนวนรากต่อต้น

ANOVA

number.of.roots

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	195.650	4	48.913	19.355	.000
Within Groups	65.705	26	2.527		
Total	261.355	30			

Duncan[a,b]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
0 NAA	7	6.5714			
100 NAA	7		9.8571		
250 NAA	6		10.5000	10.5000	
500 NAA	6			12.1667	
1000 NAA	5				14.2000
Sig.		1.000	.486	.078	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.105.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

4. ความยาวราก

ANOVA

root.length

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	392.463	4	98.116	121.793	.000
Within Groups	20.945	26	.806		
Total	413.408	30			

Duncan[a,b]

		Subset for alpha = 0.05				
Tr	N	1	2	3	4	5
1000 NAA	5	3.2000				
500 NAA	6		4.4000			
250 NAA	6			6.7833		
100 NAA	7				8.1143	
0 NAA	7					13.3143
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.105.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

5. ความสูงต้น

ANOVA

shoot.height

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8.835	4	2.209	26.238	.000
Within Groups	2.189	26	.084		
Total	11.024	30			

Duncan[a,b]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
1000 NAA	5	3.2800		
500 NAA	6	3.4500		
250 NAA	6		3.8000	
100 NAA	7		4.0571	
0 NAA	7			4.7857
Sig.		.315	.134	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.105.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

6. จำนวนใบต่อต้น

ANOVA

number.of.leaves

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	15.575	4	3.894	1.924	.136
Within Groups	52.619	26	2.024		
Total	68.194	30			

Duncan[a,b]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1000 NAA	5	4.0000	
500 NAA	6	4.1667	4.1667
250 NAA	6	4.5000	4.5000
100 NAA	7	5.2857	5.2857
0 NAA	7		5.8571
Sig.		.160	.067

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.105.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

7. น้ำหนักสดของต้น

ANOVA

shoot.fresh.weight

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7716.838	4	1929.209	27.177	.000
Within Groups	1845.631	26	70.986		
Total	9562.468	30			

Duncan[a,b]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
1000 NAA	5	47.4400			
500 NAA	6		58.2833		
250 NAA	6		67.0667		
100 NAA	7			78.5571	
0 NAA	7				93.3000
Sig.		1.000	.080	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.105.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลองที่ 5 ผลของจำนวนรูระบายอากาศต่อการชักนำให้ออกรากในระบบไมโครโพนิกส์

1. เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต

ANOVA

survival.rate

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	2	.000	.	.
Within Groups	.000	74	.000		
Total	.000	76			

2. วันที่เริ่มออกราก

ANOVA

initial.day

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.464	3	.155	.350	.789
Within Groups	47.786	108	.442		
Total	48.250	111			

Duncan[a]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05
		1
3	28	7.0357
1	28	7.1071
1.00	28	7.1429
5	28	7.2143
Sig.		.368

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 28.000.

3. จำนวนรากต่อต้น

ANOVA

number.of.roots

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.692	2	.846	.677	.511
Within Groups	93.756	75	1.250		
Total	95.449	77			

Duncan[a,b]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05
		1
1	22	6.2727
3	28	6.4643
5	28	6.6429
Sig.		.269

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.667.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

4. ความยาวราก

ANOVA

root.length

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	478.020	2	239.010	29.033	.000
Within Groups	617.429	75	8.232		
Total	1095.449	77			

Duncan[a,b]

		Subset for alpha = 0.05		
Tr	N	1	2	3
1	22	8.7409		
3	28		10.4393	
5	28			14.6571
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.667.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

5. ความสูงต้น

ANOVA

shoot.height

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	33.883	2	16.941	61.170	.000
Within Groups	20.772	75	.277		
Total	54.654	77			

Duncan[a,b]

		Subset for alpha = 0.05		
Tr	N	1	2	3
1	22	4.6136		
3	28		5.0786	
5	28			6.1929
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.667.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are no guaranteed.

6. จำนวนใบต่อต้น

ANOVA

number.of.leaves

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	16.783	2	8.391	12.604	.000
Within Groups	49.935	75	.666		
Total	66.718	77			

Duncan[a,b]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
1	22	5.2727		
3	28		5.7857	
5	28			6.4286
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.667.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

7. น้ำหนักสดของต้น

ANOVA

shoot.fresh.weight

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	83373.964	2	41686.982	41.294	.000
Within Groups	75714.368	75	1009.525		
Total	159088.332	77			

Duncan[a,b]

		Subset for alpha = 0.05	
Tr	N	1	2
1	22	88.5773	
3	28	100.2964	
5	28		162.6000
Sig.		.190	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 25.667.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดลองที่ 6 ผลของวิธีการเพาะเลี้ยงต้นออกรากต่อการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตหลังย้ายปลูก

1. เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต

ANOVA

survival.rate

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	5	.000	.	.
Within Groups	.000	54	.000		
Total	.000	59			

2. ความสูงต้น

ANOVA

shoot.height

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	182.794	5	36.559	29.399	.000
Within Groups	67.150	54	1.244		
Total	249.944	59			

Duncan[a]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
GH-SL	10	9.1300			
GH-MC	10	9.2700			
GH-TIS	10		10.3600		
Hydro-MC	10			12.2600	
Hydro-SL	10			12.7800	12.7800
Hydro-TIS	10				13.6400
Sig.		.780	1.000	.302	.090

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

3. จำนวนใบต่อต้น

ANOVA

number.of.leaves

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	101.333	5	20.267	22.992	.000
Within Groups	47.600	54	.881		
Total	148.933	59			

Duncan[a]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
GH-MC	10	7.5000		
GH-SL	10	7.6000		
GH-TIS	10	7.7000		
Hydro-MC	10		9.8000	
Hydro-SL	10		9.9000	9.9000
Hydro-TIS	10			10.7000
Sig.		.658	.813	.062

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

4. น้ำหนักสดของต้น

ANOVA

shoot.fresh.weight

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	35048903.96	5	7009780.792	44.556	.000
Within Groups	8495531.107	54	157324.650		
Total	43544435.07	59			

Duncan[a]

Tr	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
GH-MC	10	2505.3000		
GH-SL	10	2681.0700		
GH-TIS	10	2730.7000		
Hydro-MC	10		3618.2700	
Hydro-SL	10		3744.8100	
Hydro-TIS	10			4667.7200
Sig.		.237	.479	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 10.000.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ไอรดา ถิ่นศรี
เกิดเมื่อ	11 กันยายน 2539
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2564 วิทยาศาสตร์บัณฑิตมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พ.ศ. 2562 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ประวัติการทำงาน	พ.ศ.2563-2564 ผู้ช่วยนักวิจัย ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พ.ศ 2564-ปัจจุบัน บริษัทไนน์ทีนธ แลนด์สเคป จำกัด ตำแหน่งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

ผลงานและรางวัล

1. นำเสนอผลงานทางวิชาการ ประเภทบรรยาย (ออนไลน์) เรื่อง ผลของอาหารเพาะเลี้ยง benzylaminopurine และระบบไบโอรีแอคเตอร์จมชั่วคราวต่อการเจริญเติบโตของเบญจมาศในสภาพปลอดเชื้อ ในการประชุมวิชาการระดับชาติ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา ครั้งที่ 5 “การวิจัยและนวัตกรรมในวิถีปกติใหม่” ระหว่างวันที่ 29-30 เมษายน 2564

2. รางวัลนำเสนอดีเด่น และรางวัลบทความระดับดีมาก เรื่อง "ผลของอาหารเพาะเลี้ยง ไซโตไคนิน และระบบไบโอรีแอคเตอร์จมชั่วคราวต่อการเพิ่มปริมาณยอดเบญจมาศในสภาพปลอดเชื้อ" ในการประชุมวิชาการระดับชาติ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา ครั้งที่ 5 ระหว่างวันที่ 29 - 30 เมษายน 2564