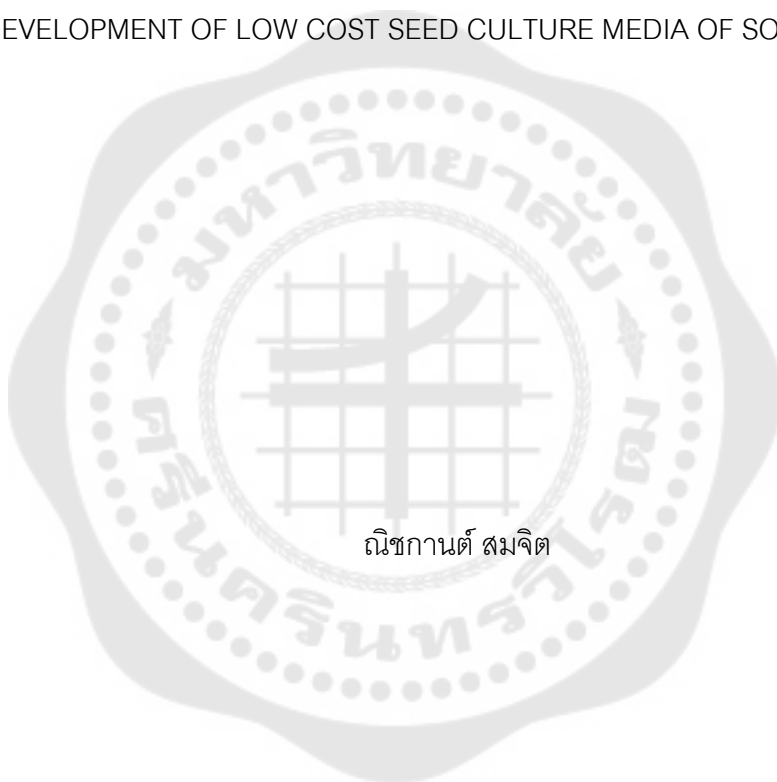




การพัฒนาสูตรอาหารเพาะเมล็ดต้นทุนต่ำสำหรับพืชบางชนิด
DEVELOPMENT OF LOW COST SEED CULTURE MEDIA OF SOME PLANTS



ณิชา กานต์ สมจิต

บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การพัฒนาสูตรอาหารเพาะเมล็ดต้นทุ่นดำสำหรับพืชบางชนิด



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

DEVELOPMENT OF LOW COST SEED CULTURE MEDIA OF SOME PLANTS



A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for MASTER OF EDUCATION (Biology)
Faculty of Science Srinakharinwirot University

2018

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาสูตรอาหารเพาะเมล็ดต้นทุนต่ำสำหรับพืชบางชนิด

ของ

ณิษกานต์ สมจิต

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

ประธาน

(อาจารย์ ดร.รักษนก โคโต)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลนาถ อบสุวรรณ)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิ
มาศ)

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาสูตรอาหารเพาะเมล็ดต้นทุนต่ำสำหรับพืชบางชนิด
ผู้วิจัย	ณิชนันท์ สมจิต
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. รักชนก โคโต

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชคืออาหารเพาะเลี้ยง แต่อาหารเพาะเลี้ยงอนินทรีย์มีขั้นตอนการเตรียมที่ยุ่งยากและต้นทุนสูง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมี สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน และสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน โดยใช้เมล็ดของข้าวโพดหวาน พืชเนย พริกจินดา กะเพราแดง พักทอง คื่นช่ายองกง กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค เรดคอส และบัตเตอร์เฮดเคิลเป็นพืชทดลองโดยใช้เมล็ดที่ปราศจากเชื้อ ผลการศึกษาสูตรอาหารจากปุ๋ยเคมี พบว่า กะเพราแดง พักทอง และเรดโอ๊คที่เพาะเลี้ยงในอาหารจากปุ๋ยเคมีสูตร 30 - 20 - 10 ความเข้มข้น 2 g/L น้ำตาลซูโครส 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 3 % ชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ดได้ดีไม่แตกต่างจากอาหารสูตร MS ($p \leq 0.05$) ผลการศึกษาสูตรอาหารจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน (solution A และ B) ร่วมกับวิตามินทางการค้า M - 150 และ Vitamix v 1000 ความเข้มข้น 0.5 % และ 1 % พบว่า เรดโอ๊ค และเรดคอสที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB ชักนำให้เกิดจำนวนยอด จำนวนใบต่อยอด ความยาวลำต้น และจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตร MS ($p \leq 0.05$) กรีนโอ๊คที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร ABM10 ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด ความยาวลำต้น และจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตร MS ($p \leq 0.05$) ผลการศึกษาสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า สูตรอาหารเพาะเมล็ดต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินสามารถประยุกต์ใช้หรือดัดแปลงเพื่อให้ประสิทธิภาพที่ดีในการเพาะเลี้ยงเมล็ดได้ เนื่องจากต้นทุนถูกกว่า ขั้นตอนเตรียมง่ายกว่า และหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด

คำสำคัญ : สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน, อาหารต้นทุนต่ำ, อาหารเพาะเลี้ยงเมล็ด

Title	DEVELOPMENT OF LOW COST SEED CULTURE MEDIA OF SOME PLANTS
Author	NICHAKARN SOMJIT
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2018
Thesis Advisor	Dr. RAKCHANOK KOTO

The most important factor in plant tissue culture is the tissue culture medium, but limiting factors with regard to use of optimal methods and materials can be the high cost and tedious preparation of an inorganic plant tissue culture medium. The aim of this research was to study the efficacy of various low - cost seed culture media formulas using chemical fertilizer, hydroponic solutions and hydroponic solutions made by the different manufacturers. The seeds of sweet corn, petunia, chili, red basil, pumpkin, Chinese kale, green oak, red oak, red cos and butter - head deli lettuce were used as the explants. The disinfected seeds were cultured on the low - cost medium combined with various concentrations of two types of vitamin drink using the MS medium as control. The results of the chemical fertilizer found that red basil, pumpkin and red oak that culture with fertilizer 2 g/L of 30 - 20 - 10 fertilizer formula, 30 g/L sucrose with 3% M - 150 indicated no significant differences between greater seed germination and MS medium ($p \leq 0.05$). The results from hydroponic solutions (A and B) were combined with M - 150 and Vitamix v 1000 at 0.5 % and 1 % respectively, which found red oak and red cos cultured with with AB medium induced the higher number of shoots, leaves, and roots, and a greater length of the stem than when using MS medium. ($p \leq 0.05$). For green oak, the AMB10 medium increased the number of leaves, the length of the stem and the number of roots compared with the MS medium ($p \leq 0.05$). The results of hydroponic solutions from different manufacturers found that there were no statistically significant differences in plant growth ($p \leq 0.05$). Concluding, the hydroponic solutions with added energy vitamin drink can be used with great effect in seed tissue culture. Moreover, this technique is low - cost, less time - consuming and commercially available.

Keyword : hydroponics solution, low - cost medium, seed culture media

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสามารถช่วยเหลือ และความเอาใจใส่อย่างดียิ่งตลอดจนการให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการปรับแก้ไขข้อบกพร่องจากกรรมการผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ

อาจารย์ ดร.รักษนก โคโต อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลนาถ อบสุวรรณ ประธานกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่ให้ความเมตตากรุณาเป็นที่ปรึกษาในการศึกษาค้นคว้าและให้ความช่วยเหลือชี้แนะแนวทางในการปฏิบัติในสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการทำปริญญานิพนธ์นี้ด้วยความเอาใจใส่ตลอดมา รวมทั้ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมแก่ผู้วิจัย ทำให้เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไขปริญญานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์และกรรมการบริหารหลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน ที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้ต่าง ๆ ให้แก่ผู้วิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และครอบครัว รวมถึงบุคคลอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอโน้มรำลึกถึงคุณของบิดามารดาและครูอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ณิชากรนต์ สมจิต

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย	4
ขอบเขตของการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
1. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ.....	6
1.1 ความหมายการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ.....	6
1.2 ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช	8
1.3 สูตรอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ	18
1.4 ประโยชน์ของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช	20
2. ปุ๋ยเคมี	22
2.1 ธาตุอาหารหลักในปุ๋ยเคมี	22
2.2 หน้าที่ของแร่ธาตุ.....	22
2.3 ชนิดของปุ๋ยเคมี.....	24
3. สารละลายสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน.....	25

3.1 การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน	25
3.2 สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.....	26
3.3 การจัดการด้านสารละลาย.....	28
3.4 ปัจจัยในการเจริญเติบโตของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.....	29
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องการพัฒนาสูตรอาหารอย่างง่ายเพื่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ	31
4.1 การพัฒนาสูตรอาหารอย่างง่ายโดยใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ.....	31
4.2 การพัฒนาสูตรอาหารอย่างง่ายโดยใช้สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน เพื่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ.....	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	37
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	37
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	41
3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ (statistical analysis)	45
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย	46
1. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามิน ทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช	46
2. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหาร สำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช	61
3. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหาร สำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเพาะเมล็ดพืช	79
บทที่ 5 สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ	86
สรุปผลการทดลอง	86
1. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามิน ทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช.....	86

2. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหาร สำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช.....	89
3. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหาร สำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเพาะเมล็ดพืช	91
อภิปรายผลการทดลอง.....	93
1. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามิน ทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช.....	93
2. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหาร สำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช.....	95
3. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหาร สำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเพาะเมล็ดพืช	106
ข้อเสนอแนะ	109
บรรณานุกรม	111
ประวัติผู้เขียน.....	120

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ชนิดและปริมาณสารละลายของอาหารสูตร MS (Murashige และ Skoog, 1962).....	19
ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดในสารละลายที่เหมาะสมสำหรับปลูกพืช....	27
ตาราง 3 ธาตุสารละลายในสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน	28
ตาราง 4 ชนิดและปริมาณสารละลายของอาหารสูตร MS ที่ใช้ต่ออาหาร 1 ลิตร	39
ตาราง 5 สูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่าย 16 สูตรจากปุ๋ยเคมี	42
ตาราง 6 สูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่าย 5 สูตร จากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน	44
ตาราง 7 สูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่าย 3 สูตร จากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน	45
ตาราง 8 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของข้าวโพดหวานภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์	47
ตาราง 9 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของพืชน้ำเขียวภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์	48
ตาราง 10 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของพริกจินดาภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์... ..	50
ตาราง 11 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของกะเพราแดงภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์..	51
ตาราง 12 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของฟักทองหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	53
ตาราง 13 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของคะน้าฮ่องกงภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์..	54
ตาราง 14 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของกรีนไค้ภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	56
ตาราง 15 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของเรดไค้ภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์	57

ตาราง 24 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของกรีนไ้คภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามิน	
ทางการค้าสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	74
ตาราง 25 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของเรดไ้คภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามิน	
ทางการค้าสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	76
ตาราง 26 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของเรดคอสภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และอาหารเพาะเรดคอสอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับ	
วิตามินทางการค้าสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	78
ตาราง 27 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของข้าวโพดหวานหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มี	
ต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน 3 บริษัท เป็นเวลา 4 สัปดาห์	80
ตาราง 28 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของพิทูเนียหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุน	
ต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน 3 บริษัท เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	82
ตาราง 29 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของเรดไ้คหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุน	
ต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน 3 บริษัท เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	83
ตาราง 30 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของคะน้ำฮ่องกงหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มี	
ต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน 3 บริษัท เป็นเวลา 4 สัปดาห์	85

ตาราง 31 สูตรอาหารเพาะเมล็ดจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามินทางการค้าที่มีผลต่อการชักนำการเจริญเติบโตของพืชทดลอง.....	89
ตาราง 32 สูตรอาหารเพาะเมล็ดจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินที่มีผลต่อการชักนำการเจริญเติบโตของพืชทดลอง	91
ตาราง 33 เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารของอาหารสูตร MS กับสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน	99
ตาราง 34 เปรียบเทียบองค์ประกอบของธาตุอาหารของอาหารสูตร MS กับอาหารจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน และอาหารจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้า	103
ตาราง 35 เปรียบเทียบราคาขั้นต่ำของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมอาหารเพาะเมล็ดจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินและอาหารสูตร MS ณ วันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ.2557 (วรรณนา จະณู และคนอื่นๆ, 2558)	105
ตาราง 36 เปรียบเทียบองค์ประกอบระหว่างอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน	107

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 การเจริญของเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของพืชที่พบได้เมื่อนำมาเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อ	7
ภาพประกอบ 2 เมล็ดข้าวโพดหวานภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10	63
ภาพประกอบ 3 ต้นพืชเนี่ยภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10	65
ภาพประกอบ 4 เมล็ดพริกจินดาภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10	67
ภาพประกอบ 5 เมล็ดกะเพราแดงภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10	69
ภาพประกอบ 6 เมล็ดผักทองภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10	71
ภาพประกอบ 7 เมล็ดคะน้าฮ่องกงภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10	73
ภาพประกอบ 8 เมล็ดกรีนไค้ดภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10	75
ภาพประกอบ 9 เมล็ดเรดไค้ดภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10	77

ภาพประกอบ 10 เมล็ดเรดคอสหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10.....	79
ภาพประกอบ 11 เมล็ดข้าวโพดหวานหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร AB1 B: อาหารสูตร AB2 C: อาหารสูตร AB3	81
ภาพประกอบ 12 ต้นพื้ญเนียหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร AB1 B: อาหารสูตร AB2 C: อาหารสูตร AB3.....	82
ภาพประกอบ 13 เมล็ดเรดไค้คหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร AB1 B: อาหารสูตร AB2 C: อาหารสูตร AB3.....	84
ภาพประกอบ 14 เมล็ดค่น้ำฮ่งกงหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร AB1 B: อาหารสูตร AB2 C: อาหารสูตร AB3.....	85



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

วิธีการขยายพันธุ์พืชที่เหมาะสมสามารถทำให้ผลิตต้นกล้าได้มีปริมาณและคุณภาพตามที่ต้องการ โดยวิธีการขยายพันธุ์พืชที่สามารถทำได้ง่ายและสะดวก คือ การใช้เมล็ดในการขยายพันธุ์ซึ่งเมล็ดเกิดจากการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของพืชดอก โดยเมล็ดที่มีการเจริญเต็มที่ภายในจะมีต้นอ่อนซึ่งเป็นต้นพืชเล็ก ๆ ที่มีส่วนที่พร้อมจะเจริญไปเป็นรากและยอด และมีอาหารสะสมที่สามารถทำให้ต้นอ่อนในเมล็ดมีชีวิตอยู่ได้โดยไม่ต้องอาศัยอาหารจากภายนอก โดยเมล็ดพืชมีหน้าที่ในการช่วยกระจายพันธุ์ได้อย่างกว้างขวางอาจคงสายพันธุ์เดิมไว้หรือกลายเป็นพันธุ์ใหม่ก็ได้ ดังนั้นการขยายพันธุ์พืชโดยการใช้เมล็ดจึงมีโอกาสทำให้เกิดพันธุ์ใหม่และมีลักษณะที่ดีกว่าต้นพ่อแม่ได้เช่นเดียวกัน (ฝ่ายเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2544) ซึ่งการปรับปรุงพันธุ์พืชโดยการผสมข้ามสายพันธุ์นั้นอาจทำให้ต้นอ่อนที่ได้ไม่แข็งแรงและไม่สามารถงอกได้เองตามธรรมชาติจึงจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาช่วยในการขยายพันธุ์

เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมและแพร่หลายในการส่งเสริมการจัดการเรียนการสอนในสถาบันการศึกษา กลุ่มบุคคลทั่วไป และผู้ที่สนใจที่จะลงเรียนรู้วิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเบื้องต้น สอดคล้องกับงานวิจัยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชอย่างง่ายเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พันธุ์กรรมพืชท้องถิ่นสำหรับอนุรักษ์พันธุ์กรรมพืชท้องถิ่น สำหรับโรงเรียนในเขตเชียงใหม่และลำพูน ที่มีการสนับสนุนให้ครูและนักเรียนนำเอาเทคนิคเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชอย่างง่ายไปใช้ในการส่งเสริมกิจกรรมอนุรักษ์พันธุ์พืชท้องถิ่นและสามารถจัดทำโครงการวิทยาศาสตร์ด้านการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในท้องถิ่นได้ (กิตติศักดิ์ โชติกเดชาณรงค์, 2559a) ซึ่งนักเรียนหรือผู้ที่สนใจที่จะลงเรียนรู้วิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเบื้องต้น การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยใช้เมล็ดจึงเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากเอ็มบริโอหรือคัพภะสามารถช่วยชีวิตพืชพันธุ์ต่าง ๆ ให้รอดชีวิต (Embryo rescue) พืชเกิดการพัฒนาของต้นอ่อนให้สามารถมีชีวิตรอดและเกิดการเจริญเติบโตได้ (Reed, 2005; Shen, Gmitter, และ Grosser, 2011) ซึ่งพืชบางชนิดถ้าปล่อยให้เอ็มบริโอเจริญอยู่ภายในเมล็ดตามธรรมชาติอาจตายได้เนื่องจากไม่มีอาหารสะสมอยู่ในเมล็ดรวมทั้งการศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยใช้สูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการเพาะ

เมล็ดพืชก็เป็นความรู้พื้นฐานที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ Embryo rescue ให้มีต้นทุนต่ำและทำได้ง่ายอีกด้วย รวมทั้งการใช้เมล็ดในการขยายพันธุ์พืชสามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดและเป็นวิธีการที่เหมาะสมกับการผลิตพืชจำนวนมากสามารถทำได้สะดวกและรวดเร็ว

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของพืชจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่พัฒนาเทคนิคในการขยายพันธุ์พืช โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อขยายพันธุ์พืชให้ได้ปริมาณมากในระยะเวลาที่สั้นและตรงตามสายพันธุ์ (Thorpe, 2007; พัทธา ลิปนนะเวช, 2550; สมพร ประเสริฐสงกุล, 2552a) ซึ่งทำให้ได้พืชต้นใหม่ที่มีจำนวนมากในระยะเวลาอันจำกัดและพืชที่เกิดขึ้นมาจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อนั้นจะมีลักษณะเหมือนกับพืชต้นพันธุ์ที่นำมาใช้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อทุกประการ (ปิยะดา ต้นตสวัสดิ์, 2551) ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น ในปัจจุบันจึงมีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพในด้านของพืชเพิ่มมากขึ้น การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจึงเป็นเทคนิคหนึ่งที่นิยมใช้ในการการเกษตรและเชิงพาณิชย์ แต่วิธีการและขั้นตอนในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของพืชมีความยุ่งยากและซับซ้อนเป็นอย่างมาก เช่น วิธีการนำเนื้อเยื่อของพืชมาเพาะเลี้ยงในหลอดทดลอง (*In vitro*) ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ปลอดเชื้อจุลินทรีย์ในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมทั้งอุณหภูมิ แสง และความชื้น รวมทั้งอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ซึ่งมีสูตรต่าง ๆ มากมาย โดยแต่ละสูตรมีองค์ประกอบของอาหารที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชแต่ละชนิด ซึ่งสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย คือ อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชสูตร Murashige and Skoog (Murashige and Skoog, MS) (Murashige และ Skoog, 1962) มีความเข้มข้นของธาตุอาหารสูงจึงสามารถใช้กับพืชได้หลากหลายชนิด แต่เนื่องจากการเตรียมอาหารสูตร MS มีขั้นตอนในการเตรียมที่ยุ่งยากและต้นทุนในการเตรียมสูง รวมทั้งการใช้วิตามินและสารเคมีที่ต้องสั่งซื้อและมีราคาแพงจากบริษัทเอกชน จึงส่งผลให้การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของพืชเป็นวิธีการที่มีค่าใช้จ่ายในราคาที่สูง ทำให้การลดต้นทุนในการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชจึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะทำให้ต้นทุนของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชลดลงอย่างมาก และการขยายพันธุ์พืชโดยใช้เทคนิคดังกล่าวมีความง่ายต่อเกษตรกรและผู้สนใจที่มีต้นทุนไม่สูง สอดคล้องกับงานวิจัยซึ่งมีการรายงานว่าการดัดแปลงสูตรอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยใช้สารทดแทนธาตุอาหารและวิตามินนั้น ต้นพืชมีการเจริญได้ดีและมีวิธีการเตรียมง่าย เหมาะสมที่จะส่งเสริมให้กับเกษตรกร และชุมชนต่าง ๆ นำมาใช้ในขยายพันธุ์พืชเพื่อการค้า (พงศ์ยุทธ นวลบุญเรือง, อภิชาติ ชิดบุรี, และ ยุทธนา เขาสุเมรุ, 2551; วรธนา จะนุ, กิตติศักดิ์ โชติกเดชาณรงค์, ดาราลักษณ์ เยาวภาคย์โสภณ, และ ศรีสกุลลักษณ์ ธีรานุกพัฒนา, 2558) รวมทั้งมีการศึกษาและการดัดแปลงปุ๋ยเคมีสูตรต่าง ๆ มาใช้ทดแทนสารเคมีในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เช่น การศึกษาผลของปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตของสตรอ

เบอรี่ในสภาพปลอดเชื้อ (จิราภรณ์ พิมพ์, สุมนา นีระ, และ สุภัทธิ อิศรางกูร ณ อยุธยา, 2557) การศึกษาผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมของปุ๋ยเคมีที่มีต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วย (ณัฐสิทธิ์ ธีระนพพิทักษ์, สุมนา นีระ, และ สุภัทธิ อิศรางกูร ณ อยุธยา, 2557) และ การศึกษาผลของการดัดแปลงสูตรอาหารในการพัฒนาการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ *Dendrobium parishii* ในหลอดทดลอง (Kaewduangta และ Reamkatog, 2011) และมีรายงาน การศึกษาเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากการใช้สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ ดินต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อว่านสีทศ พบว่า การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากชิ้นส่วนหัวว่านสีทศที่ เพาะเลี้ยงบนอาหารวุ้นจากอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถชักนำให้เกิดจำนวนยอด จำนวนราก และความสูงของยอดไม่แตกต่างจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรวุ้นสูตร MS ที่ระดับ นัยสำคัญ 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถใช้ ทดแทนธาตุอาหารในสูตรอาหาร MS ได้ (กิตติศักดิ์ โชติเดชานรงค์, 2559b) แต่ยังไม่พบรายงาน เกี่ยวกับการพัฒนาสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดย ไม่ใช้ดินอย่างแพร่หลาย

จากเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยเห็นถึงความสำคัญและข้อจำกัดของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช จึงต้องการศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับการพัฒนาสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในหลอดทดลองโดยใช้ปุ๋ยหรือสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทาง การค้า ซึ่งหาได้ง่ายโดยทั่วไปตามท้องตลาด มีราคาและต้นทุนที่ต่ำเพื่อทดแทนอาหารเพาะเลี้ยง เนื้อเยื่อพืชสูตร Murashige and Skoog (MS) ซึ่งมีการใช้สารเคมีและวิตามินที่มีราคาและต้นทุนที่ สูง ซึ่งผลการวิจัยในครั้งนี้ สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้หรือดัดแปลงเป็นต้นแบบการ เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชโดยใช้สูตรอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชจากสารอาหารทดแทนธาตุอาหารและ วิตามินทางการค้า ในการส่งเสริมการเรียนการสอนเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในรูปแบบ ของการจัดการเรียนการสอนในสถาบันการศึกษาทั้งในระดับเตรียมอุดมศึกษา อุดมศึกษา การ อบรมและการวิจัยในหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ในสาขาเทคโนโลยีชีวภาพและ การเกษตร ตลอดจนเกษตรกรและผู้สนใจสามารถนำไปใช้เป็นทางเลือกใหม่ในการประกอบ อาชีพต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดความมุ่งหมายไว้ ดังนี้

เพื่อพัฒนาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายต้นทุนต่ำจากสารอาหารทดแทนธาตุอาหารร่วมกับวิตามินทางการแพทย์เพื่อทดแทนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชสูตร MS

ขอบเขตของการวิจัย

พัฒนาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารอาหารทดแทนธาตุอาหาร ซึ่งได้แก่ ปุ๋ยเคมี หรือ สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการแพทย์เพื่อทดแทนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชสูตร MS ในหลอดทดลอง โดยได้ศึกษาผลของสูตรอาหารดังกล่าวต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืชจำนวน 10 ชนิด

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย 2 ปี เริ่มตั้งแต่ พ.ศ. 2559 - พ.ศ.2561

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
 - 1.1 ความหมายของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช
 - 1.2 ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช
 - 1.3 สูตรอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
 - 1.4 ประโยชน์ของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช
2. ปุ๋ยเคมี
 - 2.1 ธาตุอาหารหลักในปุ๋ยเคมี
 - 2.2 หน้าที่ของแร่ธาตุ
 - 2.3 ชนิดของปุ๋ยเคมี
3. สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน
 - 3.1 การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
 - 3.2 สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
 - 3.3 การจัดการด้านสารละลาย
 - 3.4 ปัจจัยในการเจริญเติบโตของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสูตรอาหารอย่างง่ายเพื่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
 - 4.1 การพัฒนาสูตรอาหารอย่างง่ายโดยใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
 - 4.2 การพัฒนาสูตรอาหารอย่างง่ายโดยใช้สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินเพื่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

1. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

1.1 ความหมายการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นเทคนิคหนึ่งในการขยายพันธุ์พืชเพื่อให้ได้ต้นพันธุ์จำนวนมากในระยะเวลาอันรวดเร็ว ปลอดภัย และได้สายพันธุ์ที่มีความสม่ำเสมอตามความต้องการ สามารถขยายพันธุ์ได้ทุกฤดูกาลไม่ขึ้นกับสภาวะแวดล้อมโดยการนำชิ้นส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ยอด ลำต้น ตาข้าง กลีบดอก เป็นต้น มาเพาะเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ภายใต้สภาวะควบคุมและปลอดเชื้อจากนั้นชิ้นส่วนที่นำมาเพาะเลี้ยงจะมีการเจริญพัฒนาเป็นต้นพืชที่สมบูรณ์สามารถนำออกปลูกในสภาพธรรมชาติได้ (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

ส่วนต่าง ๆ ของพืชที่นำมาเพาะเลี้ยงในหลอดทดลองโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ส่วนที่มีตายอดหรือตาข้าง เช่น ปลายยอด ช่อ และเอ็มบริโอ ส่วนที่ไม่มีตายอดหรือตาข้าง เช่น ปล้อง แผ่นใบ ส่วนต่าง ๆ ของดอก ผล และราก เมื่อนำส่วนที่มีตายอดหรือตาข้างมาเลี้ยง ตามักเจริญเป็นยอดและลำต้นซึ่งตามปกติ ตา 1 ตามักเจริญเป็น 1 ยอด แต่หากมีการใช้สารควบคุมการเจริญในกลุ่มไซโตไคนินในอาหารสังเคราะห์ด้วยอาจพบว่า เนื้อเยื่อเจริญสามารถเจริญจาก 1 ตาเป็นหลาย ๆ ยอดพร้อมกันได้ สำหรับเนื้อเยื่อพืชส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ตาโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่มีบาดแผลและรอยตัดมักพบการเจริญของแคลลัส (callus) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีการรวมเป็นกลุ่มก้อน โดยอาจมีลักษณะที่เกาะกันแน่น (compact callus) หรือเกาะกันอย่างหลวม ๆ (friable callus) และมีสีที่หลากหลายตั้งแต่สีขาว ครีမ် เหลือง เขียว แดง ม่วง น้ำตาล ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ชนิดของเนื้อเยื่อที่เป็นต้นกำเนิดของแคลลัส สารควบคุมการเจริญเติบโต และรวมทั้งสภาพแวดล้อม เช่น แสง อุณหภูมิ ความชื้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546; กาญจนวี พงษ์ฉวี, 2560; พัชรา ลิปะนะเวช, 2550)

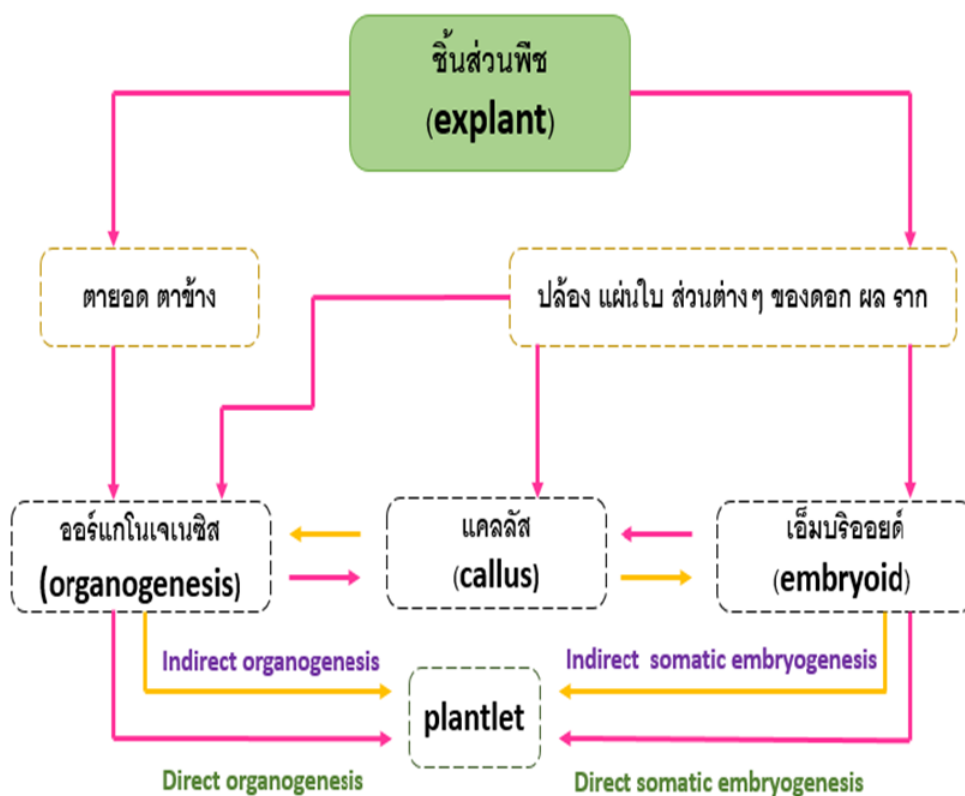
นอกจากรูปแบบการเจริญของชิ้นส่วนพืชดังที่กล่าวมา ชิ้นส่วนของพืชที่เพาะเลี้ยงสามารถมีรูปแบบการเจริญอีกแบบหนึ่ง เรียกว่าการเกิดสัณฐาน (morphogenesis) หมายถึง การพัฒนาของเซลล์และเนื้อเยื่อจากภาวะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพ (undifferentiation) ไปสู่ภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพ (differentiation) ไปเป็นโครงสร้างหรืออวัยวะอย่างใดอย่างหนึ่ง ขึ้นอยู่กับว่านำชิ้นส่วนมาจากบริเวณใด ซึ่งมี 3 รูปแบบ ดังนี้ (รังสฤษดิ์ กาวิตะ, 2541); (Pierik, 1997)

รูปแบบที่ 1 เจริญไปเป็นอวัยวะ (organogenesis) ได้แก่ ราก ยอด หรือดอก

รูปแบบที่ 2 เจริญเป็นแคลลัส (callus) ซึ่งเป็นกลุ่มของเซลล์ส่วนใหญ่จะเป็นเซลล์พาเรงคิมา (parenchyma call) ที่ยังไม่เปลี่ยนแปลงไปเป็นต้นหรือรากแต่ก็สามารถเป็นต้นได้

รูปแบบที่ 3 เจริญไปเป็นเอ็มบริอยด์ (embryoid) ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับเอ็มบริโอ (embryo) ที่ได้จากไซโกต (zygote) แต่เอ็มบริอยด์ได้มาจากเซลล์ร่างกาย (somatic cell) เมื่อเอ็มบริอยด์ (embryoid) เจริญเต็มที่ จะเป็นโครงสร้างที่เจริญได้ 2 ขั้ว คือ ขั้วหนึ่งเจริญเป็นยอด ส่วนขั้วตรงข้ามจะเจริญไปเป็นราก คล้ายการงอกของเอ็มบริโอในเมล็ด

การเกิดสัณฐานทั้งแบบที่เกิดเป็นอวัยวะและแบบที่เกิดเป็นเอ็มบริอยด์นี้ อาจเกิดโดยตรงจากเซลล์พืชที่นำมาเลี้ยงเมื่อได้รับสภาวะที่เหมาะสม หรืออาจเกิดจากแคลลัสที่เจริญมาจากส่วนของพืชที่นำมาเลี้ยงก็ได้ ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ ดังนี้



ภาพประกอบ 1 การเจริญของเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของพืชที่พบได้เมื่อนำมาเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อ

ที่มา: (รังสฤษดิ์ กาวิตะ, 2541; สมปอง เตชะโต, 2539)

1.2 ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

แหล่งอาหารของพืชมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืช พืชแต่ละชนิดต้องการธาตุอาหารที่ต่างกันถึงแม้จะเป็นพืชชนิดเดียวกันก็ใช้ชิ้นส่วนในการเพาะเลี้ยงที่ต่างกันและสูตรอาหารที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งการเจริญเติบโตของชิ้นส่วนพืชในหลอดทดลองเป็นผลมาจากสิ่งแวดล้อม องค์ประกอบของอาหาร และพันธุกรรมของพืช โดยขั้นตอนสำคัญของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชประกอบด้วย 5 ส่วน ได้แก่ อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ การเลือกชิ้นส่วนของพืชที่นำมาเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ การกำจัดเชื้อ สภาพของการเพาะเลี้ยง และการย้ายพืชออกจากขวดออกปลูกในสภาพธรรมชาติ โดยมีรายละเอียด ดังนี้ (ศศิลักษณ์ กลิ่นมณฑา และ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2556)

1.2.1 อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

อาหารที่ใช้เลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมีหลายชนิดทั้งนี้ขึ้นกับความเหมาะสมต่อชนิดของพืช พันธุ์ ตลอดจนชนิดและสภาพของชิ้นส่วนพืชที่จะนำมาเลี้ยงอย่างไรก็ตามอาหารที่นิยมใช้เลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมากที่สุด คือ อาหารที่ดัดแปลงมาจากอาหารที่ใช้ได้ดีในการเลี้ยงกลุ่มเซลล์หรือแคลลัส ซึ่งเป็นกลุ่มของเซลล์ที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงพัฒนามีช่องว่างในเซลล์จำนวนมาก และเซลล์ยังไม่มีการจัดรูปร่างที่แน่นอน การเลี้ยงแคลลัสและเซลล์แขวนลอยของพืชส่วนใหญ่เกือบทุกชนิดทำได้ง่ายกว่าการเลี้ยงจากส่วนอื่น ๆ แคลลัสเหล่านี้ได้จากการเลี้ยงชิ้นส่วนพืชในอาหารกึ่งแข็งที่อย่างน้อยที่สุดประกอบด้วยเกลือของธาตุอาหารที่ต้องการครบ คือ สารประกอบอนินทรีย์ และสารประกอบอินทรีย์ ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง

แม้พืชทั้งต้นจะมีความต้องการขั้นพื้นฐานในการเจริญเติบโตไม่ซับซ้อนมากนักก็ตามแต่การนำชิ้นส่วนของพืชมาเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์นั้นพืชมีความต้องการธาตุอาหารและสารบางอย่างที่จำเป็นและมีความซับซ้อนมากกว่า คือ พืชต้องการทั้งธาตุอาหารหลัก (macroelements) และธาตุอาหารรอง (microelements) ที่ใช้ตามปกติในการเลี้ยงพืชในสารละลายนอกจากนี้ยังต้องการธาตุอาหารอื่น ๆ เช่น แหล่งของธาตุคาร์บอน และวิตามินอย่างมาก โดยปกติแล้วเซลล์หรือเนื้อเยื่อพืชที่แยกมาเลี้ยงจะต้องการวิตามินและสารควบคุมการเจริญเติบโต (growth regulators) ต่าง ๆ ซึ่งปกติสังเคราะห์ได้เองจากส่วนหนึ่งของต้นเพื่อไปสะสมไว้ยังอีกส่วนหนึ่งของต้นพืชแล้วเคลื่อนย้ายไปยังส่วนอื่น ๆ เพื่อใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) อย่างไรก็ตามผลของแต่ละสารประกอบที่จำเป็นนี้ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของสารที่ได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึม จากองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารที่ใช้มักถูกดัดแปลงไปตามความมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการ

เจริญเติบโตของเซลล์ และการเปลี่ยนแปลงพัฒนาเพื่อกำเนิดอวัยวะ (organogenesis) และ/หรือ กำเนิดอวัยวะ (embryogenesis) จึงทำให้ยากต่อการหาข้อสรุปพื้นฐานที่สอดคล้องไปในทางเดียวกันได้โดยง่าย

โดยทั่วไปส่วนประกอบของอาหารแบ่งออกเป็นแร่ธาตุอาหาร แหล่งคาร์บอน วิตามิน ฮอโมนหรือสารควบคุมการเจริญเติบโต และอื่น ๆ ซึ่งหลักการทั่วไปในการเตรียมอาหาร เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช คือ การเลือกใช้สูตรอาหารให้เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชแต่ละ ชนิด เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสามารถจำแนกได้เป็น 5 กลุ่ม ดังนี้ (พงศยุทธ์ นวบุญเรือง, อภิชาติ ชิดบุรี, และ พัทธกร พุทธรชัช, 2562)

1.2.1.1 สารอนินทรีย์ เป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญที่พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโต แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) ธาตุอาหารหลัก (macronutrients) หมายถึง ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณที่มากซึ่งถ้าพืชได้รับอาหารหลักไม่เพียงพอจะมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืช ลดลงและแสดงอาการของโรคขาดอาหารในระหว่างการเจริญเติบโตของเซลล์หรือเนื้อเยื่อ ได้แก่ ไนโตรเจน (Nitrogen, N) ฟอสฟอรัส (Phosphorus, P) โพแทสเซียม (Potassium, K) แคลเซียม (Calcium, Ca) แมกนีเซียม (Magnesium, Mg) และกำมะถัน (Sulfur, S)

2) ธาตุอาหารรอง (micronutrients) หมายถึง ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณ น้อยถ้าพืชได้รับมากเกินไปจะเป็นพิษต่อเซลล์ ได้แก่ โบรอน (Boron, B) โคบอลต์ (Cobalt, Co) ทองแดง (Copper, Cu) ไอโอดีน (Iodine, I) เหล็ก (Iron, Fe) แมงกานีส (Manganese, Mn) โมลิบดีนัม (Molybdenum, Mo) สังกะสี (Zinc, Zn) คลอรีน (Chlorine, Cl) โซเดียม (Sodium, Na) และซิลิกอน (Silicon, Si)

1.2.1.2 สารอินทรีย์ ได้แก่ สารที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน แบ่งได้ 4 กลุ่มย่อย ดังนี้ (ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560b)

1) น้ำตาล เป็นสารอาหารที่ให้พลังงาน ได้แก่ ซูโครส (sucrose) กลูโคส (glucose) และฟรุกโตส (fructose) โดยทั่วไปแล้วในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อใช้ประมาณ 20-60 กรัมต่ออาหาร 1 ลิตร ซึ่งส่วนมากจะใช้น้ำตาลซูโครส น้ำตาลซูโครสมีความจำเป็นอย่างมากต่อ เนื้อเยื่อพืชเกือบทุกชนิด โดยปกติแล้วนิยมใช้ 2 - 3% และมีหลักฐานชี้ว่า การสร้างสารเมแทบอลิต์ (metabolites) บางชนิดในเนื้อเยื่อที่เลี้ยงเป็นผลมาจากความเข้มข้นของซูโครส (รังสฤษดิ์ กา วีตะ, 2541)

2) วิตามิน (vitamin) ได้แก่ อินโนซิทอล (inositol) วิตามินบี 1 (vitamin B1) วิตามินบี 2 (vitamin B2) ไนอะซิน (niacin) ไพริดอกซิน (pyridoxine) วิตามินซี (vitamin C) โดยการเติมวิตามินลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมีความจำเป็นไม่มาก เนื่องจากพืชสามารถสร้างวิตามินเองได้ แต่บางครั้งต้องเติมวิตามินในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเนื่องจากพืชที่เรานำมาใช้เพาะเลี้ยงไม่แข็งแรงพอที่จะสร้างวิตามินได้ครบถ้วน

3) กรดอะมิโน (amino acids) กรดอะมิโนแต่ละชนิดมีธาตุไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ โดยปกติพืชสามารถสังเคราะห์ได้เอง การเติมกรดอะมิโนลงในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์ ซึ่งเซลล์สามารถใช้กรดอะมิโนเป็นแหล่งของธาตุไนโตรเจนได้ทันที โดยที่เซลล์ได้รับเร็วกว่าธาตุไนโตรเจนในรูปของเกลือแอมอนิยัม กรดอะมิโนที่นิยมใช้ คือ ไกลซีน (glycine) (อุดม นวพานิช, 2549)

4) สารควบคุมการเจริญเติบโต (plant growth regulators) คือ สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่ธาตุอาหารประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นหลักซึ่งสารควบคุมการเจริญเติบโตเป็นชื่อรวมที่ใช้เรียกสารทั้งสารที่เกิดจากธรรมชาติและสารที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นมาที่มีอิทธิพลต่อการเจริญและการเติบโตของพืช ถ้าเป็นสารอินทรีย์ที่พบในธรรมชาติซึ่งพืชสร้างขึ้นมาเองจะเรียกว่า ฮอโมน มีการสร้างจากส่วนใดส่วนหนึ่งของพืช แล้วลำเลียงไปยังส่วนอื่น ๆ เพื่อควบคุม กระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเมื่อใช้ในปริมาณน้อยสามารถกระตุ้น ยับยั้ง หรือมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาของพืช ปัจจุบันสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแบ่งตามคุณสมบัติที่มีต่อพืช โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้ (คำณูณ กาญจนภูมิ, 2544)

1) ออกซิน (auxin) เป็นชื่อเรียกของกลุ่มสารที่ทำหน้าที่กระตุ้นการยืดตัวของเซลล์ทั้งในส่วนของต้นและราก แหล่งสังเคราะห์ออกซิน ได้แก่ เนื้อเยื่อเจริญ ปลายราก ใบออก ดอก ผล และปลายโคเลออปไทล์ (coleoptile) สารออกซินชนิดแรกที่ค้นพบ คือ กรดอินโดล - 3 - แอซีติก (indol-3-acetic acid, IAA) ซึ่งเป็นสารที่พืชสร้างขึ้นเอง โดยมีคุณสมบัติเป็นสารเร่งการเจริญเติบโต มีผลกระตุ้นการขยายขนาดของเซลล์ การยืดตัวของเซลล์ และยังมีผลกระตุ้นการเกิดราก รวมถึงมีคุณสมบัติในการส่งเสริมการเจริญเติบโตในส่วนต่าง ๆ ของพืช ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้หลายวิธีกับพืชทั้งต้น (intact plant) รวมทั้งวิธีที่ตัดอวัยวะเฉพาะส่วนมาทดสอบ (excised part) สรุปได้ว่า กระบวนการต่าง ๆ หลายอย่างที่เกิดขึ้นในพืชนั้น ออกซินมีส่วนในการควบคุมกระบวนการนั้น ๆ ด้วย เมื่อเป็นเช่นนี้จึงทำให้มีการสังเคราะห์สารต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายออกซินเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร สารสังเคราะห์เหล่านี้มีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันทั่วไปมีอยู่เพียงไม่กี่ชนิด ได้แก่ กรด 1 - แนฟทาไลน์แอซีติก (1 - naphthylacetic acid, NAA) กรด

อินโดล - 3 - บิวทีริก (4- (indol - 3 - yl) butyric acid, IBA) กรด 2, 4 - ไดคลอโรฟีนอกซีแอซีติก (2, 4-dichlorophenoxyacetic acid, 2, 4 - D) และกรด 4- คลอโรฟีนอกซีแอซีติก (4 - chlorophenoxyacetic acid, 4 - CPA) (พันทวี มาไพโรจน์, 2532; พีรเดช ทองอำไพ, 2537) การลำเลียงออกซินเกิดขึ้นในโฟลเอ็ม (phloem) และเป็นแบบตามขั้ว (polarity) เคลื่อนที่จากบนลงล่าง (basipetal) ในยอดและลำต้น และเคลื่อนที่จากล่างขึ้นบน (acropetal) ในราก การเคลื่อนที่ของออกซินต้องอาศัยพลังงานซึ่งออกซินสามารถถูกทำลายได้โดยแสง (photo oxidation) หรืออาจถูกทำลายด้วยเอนไซม์

2) ไซโตไคนิน (cytokinin) เป็นสารที่กระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์ช่วยในการเปลี่ยนแปลงสภาพของเซลล์ ช่วยชะลอการแก่ในใบ ช่วยการขยายตัวของเซลล์ และชักนำการสังเคราะห์รงควัตถุในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ มักนิยมใช้สารสังเคราะห์ของไซโตไคนินมากกว่าชนิดที่พบในธรรมชาติ สารสังเคราะห์ดังกล่าว ได้แก่ สารประกอบพิวรีน (purine) เช่น benzylaminopurine หรือ benzyladenine (BA) และ 6-furfurylaminopurine (kinetin) ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งเป็นสาร phenylureas เช่น thidiazuron ส่วนไซโตไคนินที่เป็นสารธรรมชาติและใช้กันอยู่ ได้แก่ N6-isopentenyladenine (2iP) ซึ่งเป็นไซโตไคนินที่ออกฤทธิ์มากที่สุดชนิดหนึ่ง ส่วน zeatin เป็นไซโตไคนินธรรมชาติอีกชนิดหนึ่งที่มีราคาแพงจึงนิยมใช้ในงานวิจัยเท่านั้น ซึ่งวัตถุประสงค์ของการใช้ไซโตไคนินในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อกระตุ้นการแบ่งเซลล์กระตุ้นการสร้างและเพิ่มจำนวนตา ความเข้มข้นของ ไซโตไคนินที่นิยมใช้กันอยู่ในระหว่าง 1 - 10 mg/L

3) จิบเบอเรลลิน (gibberellin) เป็นชื่อที่ใช้เรียกทั่ว ๆ ไปของกลุ่มสารประเภทนี้ ซึ่งค้นพบแล้วไม่น้อยกว่า 80 ชนิด และตั้งชื่อเรียกเป็น gibberellin A₁ (GA₁, GA₂, GA₃) เป็นต้น โดยที่กรดจิบเบอเรลลิก คือ GA₃ เป็นชนิดที่พบมากและได้รับความสนใจศึกษามากกว่าชนิดอื่น ๆ (दनัย บุญยเกียรติ, 2556) โดยทั่วไปจิบเบอเรลลินจะชักนำให้เกิดการยืดตัวของลำต้น การเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อเจริญหรือตา ช่วยทำลายการพักตัวของเมล็ด ทำให้เมล็ดหรือเอ็มบริโอสามารถงอกได้ นอกจากนี้จิบเบอเรลลินยังมีผลในการยับยั้งการเกิดรากและยอด อีกทั้งช่วยกระตุ้นการออกดอกของพืชบางชนิด และช่วยชะลอการแก่ของผลไม้บางชนิด

4) กรดแอบไซซิก (abscisic acid) หรือเรียกอีกอย่างว่า ABA สารประเภทนี้ส่วนใหญ่สังเคราะห์ขึ้นเองตามธรรมชาติ เพื่อควบคุมกระบวนการทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ของพืชไม่ให้เกิดเร็วเกินไป หรือไม่ให้เกิดในช่วงเวลาสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม กรดแอบไซซิกมีคุณสมบัติเกี่ยวกับการร่วงของใบและผล การกระตุ้นการพักตัวของพืช และการควบคุมการเปิด - ปิดของปากใบ โดยส่วนมากกรดแอบไซซิกให้ผลที่เป็นลบต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

5) เอทิลีน (ethylene) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดเดียวที่มีสถานะเป็นแก๊ส เป็นสารอินทรีย์ที่มีสถานะเป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย จัดเป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) มีสูตรทางเคมีคือ $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ สามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ง่าย ทำให้มีอิทธิพลค่อนข้างกว้างขวางต่อการพัฒนาของพืช โดยพืชตอบสนองต่อเอทิลีนได้หลายทาง เช่น เร่งการสุกของผลไม้ กระตุ้นการเกิดรากฝอยและรากแขนง กระตุ้นการออกของเมล็ด กระตุ้นให้ใบและผลร่วงจากต้น กระตุ้นการออกดอก สามารถทำให้สีของดอกไม้จางลง ในการเพาะเลี้ยง แคลลัสและเนื้อเยื่อ พบว่า แคลลัสและเนื้อเยื่อสามารถผลิตเอทิลีนออกมาได้จึงต้องระวังอย่าให้มีการสะสมของแก๊สเอทิลีนมากในหลอดทดลองเพราะแก๊สเอทิลีนอาจยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชนั้นออกซินและไซโตไคนินมีความสำคัญที่สุด พืชบางชนิดสร้างสารเหล่านี้อยู่แล้ว แต่ควรเพิ่มเข้าไปในอาหารเพื่อช่วยให้การเจริญดีขึ้น สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ อาหารจะต้องมีอัตราส่วนและสารควบคุมการเจริญเติบโตที่เหมาะสมที่สุดสำหรับพืชแต่ละชนิดที่นำมาเพาะเลี้ยง ชิ้นส่วนพืชที่นำมาเพาะเลี้ยงอาจจะมีไซโตไคนินหรือออกซินอยู่ในเนื้อเยื่ออยู่แล้วจำนวนหนึ่งหรือเนื้อเยื่อเหล่านี้สามารถสังเคราะห์ฮอร์โมนขึ้นมาเองได้ถ้าในชิ้นส่วนพืชมีฮอร์โมนเหล่านี้เพียงพอแล้วก็ไม่จำเป็นต้องเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตลงไปในอาหารเพาะเลี้ยง การเจริญของชิ้นส่วนพืชบางชนิดในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออาจจะเจริญขึ้นมาโดยที่ไม่จำเป็นต้องมีออกซินหรือไซโตไคนิน หรืออาจจะต้องการออกซินหรือไซโตไคนินเพียงอย่างเดียวหนึ่ง หรืออาจจะต้องการทั้งสองชนิด (วรรณา มังกิตะ, สุคนธ์ทิพย์ วงศ์เมือง, และ กมลพร ปานง่อม, 2554)

1.2.1.3 น้ำ

น้ำที่ใช้ในการเตรียมอาหารตลอดจนการใช้ในกระบวนการอื่น ๆ ควรใช้น้ำกลั่น ธรรมดาหรือน้ำกรอง เนื่องจากคุณภาพของน้ำมีผลต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ดังนั้นน้ำที่ใช้เตรียมอาหารจึงต้องมีความสะอาด สำหรับการขยายพันธุ์พืชทั่ว ๆ ไปนั้นใช้น้ำกลั่นธรรมดาหรือน้ำกรองที่มีคุณภาพก็เพียงพอแล้ว

1.2.1.4 สารที่ช่วยให้ความคงตัว

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมีความจำเป็นให้ชิ้นส่วนของพืชสัมผัสกับอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช แต่ต้องไม่จมอยู่ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เนื่องจากเนื้อเยื่อพืชต้องการออกซิเจน ดังนั้นจึงต้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในอาหารแข็งหรืออาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลว (semi-solid media) สารที่ทำให้อาหารเลี้ยงเนื้อเยื่ออยู่ในสภาพของแข็ง (gel) นิยมใช้กันมากที่สุด คือ วุ้น (agar) ซึ่งสกัดจากสาหร่ายทะเล (*Gelidium*) วุ้นที่ใช้ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อต้องมีความ

บริสุทธิ์สูง (อุดม นวพานิช, 2549) การใส่กลิ่นลงในอาหารจะต้องใส่ในปริมาณที่เหมาะสมถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้อาหารแข็งจะพืชสัมผัสกับอาหารได้น้อยและการดูดซับสารอาหารก็น้อยด้วยทำให้พืชเจริญเติบโตช้าและถ้าใส่น้อยเกินไปก็จะทำให้ไม่สามารถพวงต้นพืชให้ตั้งตรง

1.2.1.5 ความเป็นกรด - เบส

ความเป็นกรด-เบสของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ อาหารสังเคราะห์สูตรต่าง ๆ ถูกเตรียมขึ้นมาจากเกลือแร่อนินทรีย์ (inorganic salt) และ pH ของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีอิทธิพลต่อการละลายของเกลือแร่อนินทรีย์ให้สามารถอยู่ในสภาพไอออน เซลล์จึงสามารถนำธาตุอาหารไปใช้ได้ ดังนั้นอาหารสังเคราะห์ที่มีความเป็นกรด - เบส สูงหรือต่ำกว่าปกติจะมีผลต่อธาตุอาหารต่าง ๆ ปกติค่า pH ที่พอเหมาะอยู่ในช่วง 5.6 - 5.8 แต่ระดับค่า pH จะเปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญเติบโตในขณะการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ จากการศึกษา พบว่า ในขณะการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อหรือเซลล์ ระดับค่า pH ของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อลดลงเล็กน้อยประมาณ pH 5 แต่ต่อมาระดับค่า pH ของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจะเพิ่มสูงขึ้นประมาณ pH 6 หรือสูงกว่า (อุดม นวพานิช, 2549) การเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสามารถปรับค่า pH โดยใช้กรดเกลือและโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนหนึ่งชั่วโมงเพื่อจุลินทรีย์ นอกจากนี้ อาจใช้กรดหรือเบสชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ในการปรับค่าความเป็นกรด-เบสได้

1.2.1.6 สารอื่น ๆ

1) สารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต และทำให้เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงพร้อมที่จะเกิดเป็นต้นได้ เช่น แคลซีนไฮโดรไลเซต (casein hydrolysate) 0.1 - 1.0 mg/L ทริปโทน (tryptone) และสารสกัดจากมอลต์ (malt extract) สารเหล่านี้ประกอบด้วยวิตามินและกรดอะมิโน ส่วนสารสกัดจากยีสต์ (yeast extract) ซึ่งมีวิตามินบีสูงมักใช้ในปริมาณ 0.25 - 2.00 mg/L

2) ผงถ่าน มีรูพรุนขนาดเล็กที่เชื่อมต่อกันมากมายทำให้พื้นที่ภายในเพิ่มขึ้น จึงสามารถดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี ผสมลงในอาหารเพื่อดูดซับสารพิษที่มีสีน้ำตาลหรือสีดำ หรือเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพจากที่สว่างเป็นที่มืดเพื่อชักนำให้พืชเกิดรากและการเจริญเติบโตของรากดีขึ้น และช่วยให้ pH ของอาหารคงที่มากขึ้น เมื่อนำเนื้อเยื่อพืชไปเลี้ยงในอาหารในช่วงระยะเวลาหนึ่ง มักจะพบว่า อาหารมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เช่น อาหารมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลของสารจำพวกสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) หรืออาจเกิดสารพิษบางอย่าง การกำจัดสารเหล่านี้สามารถทำได้ง่าย ๆ คือ การย้ายเนื้อเยื่อไปเลี้ยงในอาหารใหม่หลาย ๆ ครั้ง แต่ในทางปฏิบัติอาจทำให้เสียค่าใช้จ่ายและแรงงาน การแก้ปัญหาอีกวิธีหนึ่งสามารถทำได้โดย

การเติมผงถ่านลงในอาหารปริมาณที่ใช้ประมาณ 0.5 - 30 % ซึ่งผงถ่านที่เติมลงไปอาจมีทั้งข้อดีและข้อเสียโดยการเติมผงถ่านลงในอาหารแล้วมีผลต่อการยับยั้งการเจริญของเนื้อเยื่อพืชนั้นเนื่องมาจากผงถ่านได้ดูดซับฮอร์โมนที่ส่งไปในอาหารเอาไว้ ในทางตรงข้ามผงถ่านช่วยยึดเอาสารประกอบที่เป็นพิษ (phenolic compound) ที่เนื้อเยื่อปล่อยออกมาจึงทำให้เนื้อเยื่อพืชไม่ได้รับอันตรายจากสารพิษเหล่านี้หรือไม่ได้ยับยั้งการดูดสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญจึงทำให้เนื้อเยื่อพืชมีการเจริญได้ดีขึ้น (บุญยืน กิจวิจารณ์, 2544)

3) อะดีนีนซัลเฟต (adenine sulfate) เป็นสารที่ใส่เพื่อช่วยกระตุ้นการเกิดยอดในพืชบางชนิดที่เกิดยอดได้ค่อนข้างยาก ปริมาณที่ใช้ประมาณ 80 mg/L

1.2.2 การเลือกชิ้นส่วนของพืชที่จะนำมาเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

การเลือกชิ้นส่วนพืชจากต้นพืชเพื่อนำมาเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ นับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความสำเร็จในการขยายพันธุ์ โดยที่ชิ้นส่วนของพืชจะเจริญไปเป็นเนื้อเยื่อเจริญ เนื้อเยื่อ หรืออวัยวะ ซึ่งจะต้องได้จากต้นที่แข็งแรงสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอายุของต้นพืช สภาพแวดล้อม ฤดูกาล รวมถึงชิ้นส่วนที่นำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ได้แก่ เนื้อเยื่อเจริญ ตา ยอด ตาข้าง ช่อดอก ใบ และราก (อภิชาติ ชิดบุรี, 2560) ซึ่งขนาดของเนื้อเยื่อโดยเฉพาะเนื้อเยื่อที่มีขนาดใหญ่จะง่ายต่อการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อโรคต่าง ๆ ขณะที่เนื้อเยื่อขนาดเล็กมีโอกาสในการหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนได้ดีกว่า ขนาดของเนื้อเยื่อที่เล็กที่สุดที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งที่ควรพิจารณาเนื่องจากเนื้อเยื่อเจริญที่มีขนาดเล็กเกินไปอาจโตช้า และไม่ตอบสนองต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเท่ากับเนื้อเยื่อที่มีขนาดใหญ่หากเกิดสภาพเครียดหรือช็อคจากการตัดแยกในทางปฏิบัติมักจะแก้ไขโดยเลี้ยงเนื้อเยื่อขนาดเล็กหลาย ๆ ชิ้นในภาชนะเดียวกัน เพื่อกระตุ้นให้มีการตอบสนองต่อการเพาะเลี้ยงมากขึ้นแต่อาจเกิดปัญหาอิทธิพลของชิ้นส่วนของแคลลัสที่โตเร็วกว่าการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพียงชนิดเดียวทำให้ต้องย้ายอาหารบ่อยครั้งขึ้นเป็นการสิ้นเปลืองเวลา แรงงาน ค่าใช้จ่าย และเพิ่มความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนมากขึ้น (ศศิลักษณ์ กลิ่นมณฑา และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2556)

1.2.3 การกำจัดเชื้อ

โดยปกติการฆ่าเชื้ออาหารจะใช้หม้อนึ่งอัดไอที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เครื่องแก้วและเครื่องมือที่เป็นโลหะฆ่าเชื้อโดยการอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 160 - 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 - 2 ชั่วโมง นอกจากนี้อาจฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดไอโดยการห่อด้วยอลูมิเนียมฟลอยด์และใส่ในถุงพลาสติกที่ทนความร้อนได้ก่อนใส่ลงในหม้อนึ่งอัดไอ ขณะที่องค์ประกอบของอาหารบางชนิดสลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนจึงมีการ

เติมใส่ลงไปในการหมักแล้วในภายหลังด้วยวิธีการกรองผ่านกระดาษกรองที่มีรูขนาด $0.22 \mu\text{m}$ สามารถป้องกันการผ่านของแบคทีเรียได้ (สมพร ประเสริฐสงกุล, 2552b) ซึ่งบริเวณของเนื้อเยื่อพืชปกติแล้วจะมีจุลินทรีย์จำนวนมากจึงต้องทำการกำจัดก่อนนำลงเลี้ยงในขวดหรือภาชนะเลี้ยงเนื้อเยื่อซึ่งวิธีการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่ติดมากับชิ้นส่วนพืชเพื่อไม่ให้มีผลยับยั้งการเจริญและการพัฒนาการของชิ้นส่วนพืชมี 2 วิธี คือ วิธีทางกายภาพ (physical method) เป็นการลดจำนวนจุลินทรีย์ของชิ้นส่วนพืชที่จะนำมาเพาะเลี้ยงโดยใช้ปัจจัยทางกายภาพ เช่น รังสี ความร้อน เป็นต้น และวิธีทางเคมี (chemical method) เป็นการใช้สารเคมีในการลดหรือกำจัดจุลินทรีย์โดยไม่ทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อพืช ซึ่งมีอยู่หลายชนิดแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพแตกต่างกันไปจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับเนื้อเยื่อพืชและประสิทธิภาพที่จะได้รับโดยมีแนวทางการเลือกใช้ คือ ต้องมีประสิทธิภาพดีให้เปอร์เซ็นต์ความปลอดเชื้อสูงไม่ทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อ มีราคาไม่แพงและสามารถหาซื้อได้ง่าย เตรียมได้ง่าย และขั้นตอนในการเก็บรักษาไม่ยุ่งยากไม่เป็นอันตรายหรือมีอันตรายน้อยที่สุดต่อสิ่งมีชีวิตทั้งคนและชิ้นส่วนพืชที่ทำการเพาะเลี้ยงรวมทั้งขั้นตอนในการทำลายไม่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

ชิ้นส่วนพืชที่จะนำมาเพาะเลี้ยงต้องผ่านการฆ่าเชื้อเพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจติดอยู่ที่บริเวณผิวออกเสียก่อนด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อ (sterilizing agent) ซึ่งมีอยู่หลายชนิด การเลือกชนิดของน้ำยาฆ่าเชื้อและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเนื้อเยื่อพืชแต่ละชนิดเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง สารเคมีที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการ คือ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (sodium hypochlorite) แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ (calcium hypochlorite) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ซึ่งห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มักใช้น้ำยาฟอกขาวที่ใช้ในบ้าน เช่น คลอโร็กซ์ (clorox) ผลิตภัณฑ์นี้ประกอบด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ 5.25 % อัตราที่ใช้ คือ 10 - 20 % สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อสารละลายมี pH 6 และเพื่อให้การทำงานของคลอรีนมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการฆ่าเชื้อชิ้นส่วนของพืชควรเติมสบู่เหลวเข้าไปในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ เช่น Tween - 20 จำนวน 2 - 3 หยด ถ้าไม่สามารถเติมน้ำยาล้างจาน

การฟอกฆ่าเชื้อโดยสารโซเดียมไฮโปคลอไรท์เริ่มจากการเลือกส่วนของพืชที่จะนำมาใช้ในการขยายพันธุ์ ได้แก่ ปลายยอด ตาข้าง หน่อ ใบอ่อน ราก เป็นต้น จากนั้นให้ตัดแต่งชิ้นส่วนพืชให้มีความยาวที่เหมาะสมจากนั้นทำการล้างและทำความสะอาดชิ้นส่วนเนื้อเยื่อพืชด้วยน้ำยาและน้ำประปาแล้วจึงนำมาแช่ในน้ำยาที่มีสารฟอกฆ่าเชื้อตามเวลาที่กำหนดซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของเนื้อเยื่อพืช เช่น เนื้อเยื่อพืชที่อ่อนนุ่มและบางต้องทำด้วยความระมัดระวังโดยแช่เนื้อเยื่อพืชลงในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 0.5 % หรือคลอโร็กซ์ 10 % เป็น

เวลา 10 - 15 นาที สำหรับเนื้อเยื่อพืชที่ผิวนอกแข็ง เช่น ไม้เนื้อแข็ง ผักกล้วยไม้ นำเนื้อเยื่อไปล้างทำความสะอาดด้วยน้ำยาซักฟอกและน้ำแล้วจุ่มเนื้อเยื่อลงใน 95 % เอทิลแอลกอฮอล์และลงไฟ ส่วนเนื้อเยื่อพืชที่มีสารประเภทขี้ผึ้งหรือขนปกคลุมให้จุ่มเนื้อเยื่อลงใน 70 - 95 % เอทิลแอลกอฮอล์นาน 30 วินาที ถึง 1 นาที แล้วจึงนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 0.5 % หรือคลอริกซ์ 10 % เป็นเวลา 10 - 15 นาที และในขณะที่ฆ่าเชื้อบริเวณผิวพืชต้องเขย่าไฮโดรเจนไฮโปคลอไรท์ตลอดเวลาหรืออาจวางไว้บนเครื่องเขย่า เวลาในการฆ่าเชื้อด้วยสารละลายไฮโดรเจนไฮโปคลอไรท์ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อว่าทนต่อสารละลายไฮโดรเจนไฮโปคลอไรท์ได้นานแค่ไหน ถ้ามีความทนทานมากก็สามารถใช้เวลานานขึ้นได้ จากนั้นล้างในน้ำกลั่นที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว 3 - 5 ครั้ง นำไปผึ่งในจานแก้วปลอดเชื้อที่มีกระดาษกรองรองเพื่อรอการตัดแต่งและย้ายลงขวดเลี้ยงเนื้อเยื่อต่อไป (สมพร ประเสริฐสงกุล, 2552a)

1.2.4 สภาพของการเพาะเลี้ยง

สภาพของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีผลอย่างมากต่อการพัฒนาและการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานของเนื้อเยื่อที่เพาะเลี้ยง ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัย ดังนี้ (เทิดศักดิ์ โทณลักษณ์, 2555; สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, 2560)

1.2.4.1 แสง (light) เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเนื่องจากเนื้อเยื่อในขวดทดลองยังไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างอาหารเองได้ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ จึงต้องมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบเพื่อเป็นแหล่งพลังงานแต่พืชหลายชนิดต้องการความมืดในการเกิดรากหรือยอดเมื่อนำเนื้อเยื่อของพืชเหล่านี้มาเลี้ยงในอาหาร แสงจึงเป็นปัจจัยจำกัด (limiting factor) ในการเกิดตายอดในทางตรงข้ามมีพืชอีกหลายชนิดที่เกิดยอดหรือรากได้ก็ต่อเมื่อได้รับแสงเท่านั้นชนิดและความเข้มของแสงก็เป็นปัจจัยที่สำคัญโดยพบว่า การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในขั้นตอนของการเพิ่มปริมาณจะใช้ความเข้มแสงประมาณ 1,000 lux ส่วนในขั้นตอนการเกิดรากและการเตรียมต้นก่อนย้ายปลูกจะใช้ความเข้มแสงที่สูงขึ้น คือ 3,000 - 10,000 lux และระยะเวลาของการให้แสงจะให้แสงแก่เนื้อเยื่อประมาณ 16 ชั่วโมง และมีช่วงมืด 8 ชั่วโมง (Murashige, 1974)

1.2.4.2 ความชื้น (humidity) เนื่องจากความชื้นในขวดเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีค่อนข้างสูง ถ้าความชื้นในห้องเพาะเลี้ยงต่ำก็จะเป็นการสูญเสียไอน้ำภายในขวดส่งผลทำให้อาหารแห้งเร็ว แต่ถ้าความชื้นในห้องเพาะเลี้ยงสูงเกินไปก็จะเชื้ออเนกยให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญได้ดี เกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่ายและในบางครั้งถ้าความชื้นภายในขวดเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

สูงมากจะทำให้พืชเกิดอาการบวมน้ำ โดยอากาศในห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อควรจะมีค่าความชื้นอยู่ที่ 60 - 70 % ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

1.2.4.3 อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิที่เหมาะสมในเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อพืชในสภาพเพาะเลี้ยงในขวดแก้วมักต่ำกว่าในสภาพตามธรรมชาติโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 22 - 28 องศาเซลเซียส และเนื้อเยื่อพืชบางชนิดต้องการอุณหภูมิต่ำสลับกับอุณหภูมิสูง เช่น การสร้างรากของทานตะวันจะดีขึ้นถ้าเพาะเลี้ยงให้ได้รับอุณหภูมิกลางวัน 26 องศาเซลเซียส และกลางคืนอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, 2560) และการเลี้ยงกล้วยไม้ในสกุลฟาแลนนอปีซิส (*Phalaenopsis*) จะมีการพัฒนาและเจริญได้ดีภายใต้อุณหภูมิกลางวัน 25 องศาเซลเซียส และกลางคืน 20 องศาเซลเซียส (Blanchard และ Runkle, 2006; Chen และคนอื่น ๆ, 2008; Kataoka, Sumitomo, Fudano, และ Kawase, 2004; Lee, Chen, Markhart, และ Lin, 2007; Su, Hsu, และ Chen, 2001) การเลี้ยงแคลลัสของพืชบางชนิดให้ผลเช่นเดียวกันอีกทั้งอุณหภูมิยังสามารถทำให้พืชบางชนิดพ้นระยะการพักตัว (break dormancy) ได้ เช่น การเพาะเลี้ยงเหง้าลิลลี่สามารถทำให้พ้นระยะการพักตัวได้โดยเลี้ยงในที่มืดที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 4 สัปดาห์ ก่อนย้ายปลูก (Langens-Gerrits, Miller, Croes, และ De Klerk, 2003)

1.2.4.4 สถานะของอาหารเพาะเลี้ยง (medium status) เนื้อเยื่อบางชนิดเมื่อเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็ง (semi - solid medium) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานได้ซึ่งเมื่อนำเนื้อเยื่อนั้นไปเลี้ยงในอาหารเหลว (liquid medium) กลับไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานแต่พืชบางชนิดสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานได้ทั้งบนอาหารกึ่งแข็งและในอาหารเหลว ปริมาณอากาศที่อยู่ในภาชนะเลี้ยงเนื้อเยื่อก็มีส่วนควบคุมการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานด้วย เช่น ปริมาณออกซิเจนมากเนื้อเยื่อมักเกิดเป็นราก แต่ถ้าปริมาณออกซิเจนน้อยเนื้อเยื่อจะเกิดเป็นยอด

1.2.5 การย้ายพืชขวดออกปลูกในสภาพธรรมชาติ

โดยนำขวดเพาะเลี้ยงพืชทดลองที่รากเจริญดีแล้วไปปรับสภาพอุณหภูมิและความชื้นโดยวางขวดนอกห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อประมาณ 1 สัปดาห์ นำพืชทดลองออกมาล้างวุ้นที่รากออกให้หมดโดยผ่านน้ำไหล และนำไปทดลองปลูกในถุงวัสดุปลูกที่มีดินผสมที่อบนึ่งฆ่าเชื้อแล้วพร้อมรดน้ำให้ชุ่มคลุมภาชนะปลูกด้วยถุงพลาสติกเพื่อควบคุมความชื้นนำต้นอ่อนวางไว้ในห้องเพาะเลี้ยงให้ได้รับแสง 7 - 10 วัน เมื่อต้นอ่อนตั้งตัวดีแล้วนำออกไปวางไว้ในโรงเรือนเปิดถุงพลาสติกออกเพื่อให้ได้รับแสงธรรมชาติหลังจากนั้นย้ายต้นที่เจริญดีมีระบบรากแข็งแรงออก

ปลูกในกระถางใหญ่หรือแปลงปลูกนอกโรงเรือน นับเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นพืชทดลองหลังย้ายปลูก 1 และ 2 เดือน (ปิยดา ตันตสวัสดิ์ และ อารีย์ วรรณวัฒน์, 2551)

1.3 สูตรอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ สิ่งที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง คือ อาหารสังเคราะห์ ซึ่งอาหารสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นเพื่อเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ต้องมีความเหมาะสมและสามารถส่งเสริมการเจริญของเซลล์และเนื้อเยื่อพืชได้ อีกทั้งองค์ประกอบของอาหารที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชจะต้องประกอบด้วยสารอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเลือกใช้สูตรอาหารในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของชนิดพืชและวัตถุประสงค์ที่ใช้แตกต่างกันตามชนิดหรือพันธุ์พืชหรือตามพัฒนาการของเนื้อเยื่อ (กลุ่มส่งเสริมการเกษตร สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมส่งเสริมการเกษตร, 2560); (พรชัย จุฑามาศ, 2560) จากการศึกษาทดลองของนักพฤกษศาสตร์อย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาหลายสิบปีที่ผ่านมาทำให้ค้นพบสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของพืชหลากหลายชนิดตามวัตถุประสงค์ของการทดลองทาง ซึ่งสูตรอาหารที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ได้แก่

1.3.1 อาหารสูตร MS (Murashige และ Skoog, 1962) สูตรอาหารพื้นฐานที่นิยมใช้โดยทั่วไปสามารถใช้ได้กับพืชเกือบทุกชนิด ซึ่งมักเตรียมเป็นสารละลายเข้มข้นสูง (stock solution) ที่ประกอบไปด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ หลากหลาย ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง สารอินทรีย์ และสารละลายเหล็ก

1.3.2 อาหารสูตร VW (Vacin และ Went, 1949) นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยไม้

1.3.3 อาหารสูตร WPM (Woody Plant Medium) (McCown BH และ Lloyd G, 1981) นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไม้เนื้อแข็ง

1.3.4 อาหารสูตร Y3 (Eeuwens, 1967) นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชตระกูลปาล์ม

1.3.5 อาหารสูตร B5 (Gamborg, 1970) นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชไร่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ

1.3.6 อาหารสูตร Miller (1963) นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออับละอองเรณูของข้าว

ตาราง 1 ชนิดและปริมาณสารละลายของอาหารสูตร MS (Murashige และ Skoog, 1962)

สาร	ความเข้มข้นของสารในสูตร MS (mg/L)
1.ธาตุอาหารหลัก	
NH_4NO_3	1,650,000.
KNO_3	1,900.000
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	440.000
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	370.000
KH_2PO_4	170.000
ธาตุอาหารรอง	
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.025
KI	0.830
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	8.600
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	22.300
H_3BO_4	6.200
$\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.250
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.025
3.สารอินทรีย์	
Glycine	2.000
Thiamine-HCl	0.100
Pyridoxine-HCl	0.500
Nicotinic acid	0.500
Myo-inositol	100.000
4.สารละลายเหล็ก	
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	27.800
$\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	37.300

1.4 ประโยชน์ของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

ในปัจจุบันมีการนำเทคนิคเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาใช้ประโยชน์อีกทั้งการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมีบทบาทอย่างมากทั้งในด้านการเกษตร อุตสาหกรรมและด้านการแพทย์ รวมถึงการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1.4.1 การขยายพันธุ์พืช (propagation)

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นเทคนิคหนึ่งที่น่ามาใช้ในการขยายพันธุ์พืชโดยการนำเอาชิ้นส่วนของพืช (explant) มาเพาะเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ที่ควบคุมสภาวะต่าง ๆ ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด สามารถผลิตต้นพันธุ์ได้ตลอดปีซึ่งเมื่อนำไปปลูกจะได้ต้นลักษณะเหมือนเดิมทุกประการ และให้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีทำให้สามารถควบคุมปริมาณและเวลาที่ใช้ในการขยายพันธุ์พืชได้ตามความประสงค์ และได้ปริมาณมากในระยะเวลาอันรวดเร็วจึงมีประโยชน์ในการผลิตพืชในเชิงพาณิชย์ เช่น การขยายพันธุ์กล้วยไม้ และเบญจมาศในการส่งออก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546)

1.4.2 การผลิตพืชที่ปราศจากโรค (disease-free plant)

ปัญหาที่สำคัญในการผลิตพืช คือ การเกิดโรคที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา แบคทีเรีย และไมโครพลาสมา ที่ติดมากับเมล็ดหรือส่วนต่าง ๆ ที่นำมาขยายพันธุ์ ต้นพืชที่มีการปนเปื้อนของเชื้อโรคดังกล่าวจะไม่แสดงอาการของโรคให้เห็นจะทราบได้ต่อเมื่อเกิดอาการของโรคเมื่อปลูกต้นพืชไปแล้ว ซึ่งจะเป็นการยากในการแก้ไขหรือการป้องกัน การผลิตพืชโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจะให้ต้นพืชที่ปราศจากโรคโดยเฉพาะจากเชื้อราและแบคทีเรียเพราะถ้ามีเชื้อเหล่านี้จะแสดงการปนเปื้อนในอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงทันที เนื่องจากแบคทีเรียและราก สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในอาหารเพาะเลี้ยงทำให้ไม่สามารถกำจัดทิ้งได้ ส่วนไวรัสเป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กมากและดำรงชีวิตอยู่ได้ในเซลล์พืชจึงมักไม่แสดงอาการปนเปื้อนให้เห็นโดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ในทางปฏิบัติต้องคัดเลือกและตรวจสอบเนื้อเยื่อพืชก่อนการเพาะเลี้ยงจนแน่ใจว่าปลอดจากเชื้อไวรัส ชิ้นส่วนของพืชที่ปลอดจากเชื้อไวรัสมากที่สุด คือ เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายยอด และเนื้อเยื่อคัพภะที่อยู่ในเมล็ด เนื่องจากเนื้อเยื่อดังกล่าวไม่มีส่วนของเนื้อเยื่อลำเลียง (vascular tissue) ได้แก่ ท่อลำเลียงน้ำ (xylem) และท่อลำเลียงอาหาร (phloem) ติดต่อกับส่วนอื่น ๆ ของต้นพืชที่เชื้อไวรัสจะสามารถเคลื่อนย้ายมาปนเปื้อนได้ (รังสฤษฎ์ กาวิต๊ะ, 2541)

1.4.3 ผลิตสารทุติยภูมิ (secondary metabolites)

นอกจากประโยชน์ในเชิงเกษตรกรรม ยังมีการประยุกต์ใช้การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเพื่อผลิตสารทุติยภูมิ เนื่องจากพืชบางชนิดสามารถผลิตสารที่มีคุณสมบัติเป็นยาหรือมีประโยชน์

ทางด้านอุตสาหกรรม สารเหล่านี้ ได้แก่ สารสี สารอัลคาลอยด์จากยาสมุนไพร สารหอมระเหย (ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560a) ซึ่งในบางครั้งสารที่ต้องการนั้นมีในปริมาณที่น้อยมากจะต้องใช้ชิ้นส่วนของพืชจำนวนมากเพื่อนำมาสกัดแยก การเพาะเลี้ยงเซลล์หรือเนื้อเยื่อพืชเหล่านั้นในอาหารและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมอาจชักนำให้เกิดการสังเคราะห์สารที่ต้องการได้มากขึ้นซึ่งวิธีการนี้ให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าการเก็บผลผลิตจากต้นแล้วนำมาสกัดแยกอีกทั้งประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย(สมพร ประเสริฐสงกุล, 2552b)

1.4.4 การเก็บรักษาพันธุ์พืช (plant preservation)

ปัจจุบันพืชหลายชนิดได้มีการสูญเสียพันธุ์หรือใกล้สูญพันธุ์อย่างน่าเป็นห่วงอาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมหรือเกิดจากฝีมือของมนุษย์ นอกจากนี้สามารถช่วยลดเนื้อที่ในการปลูก และปลอดภัยจากภัยธรรมชาติเนื่องจากการเก็บรักษาพันธุ์พืชในธรรมชาติอาจจะประสบปัญหาเรื่องภัยธรรมชาติ เช่น น้ำท่วม ไฟไหม้ป่า ทำให้ต้นพืชล้มตาย และสูญพันธุ์ได้จึงมีการคิดที่จะเก็บรักษาพันธุ์พืชในหลอดทดลองโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในอาหารที่มีส่วนผสมของสารชะลอการเจริญเติบโตบางชนิดทำให้พืชมีอัตราในการเจริญเติบโตที่ช้าเพื่อประหยัดเวลา แรงงาน และอาหารในการที่จะต้องทำการย้ายเนื้อเยื่อบ่อย ๆ จนกว่าที่ต้องการจะเพิ่มปริมาณเนื้อเยื่อซึ่งสามารถนำเนื้อเยื่อดังกล่าวมาย้ายลงในอาหารสูตรปกติของพืชชนิดนั้น ๆ อีกวิธีหนึ่ง คือ การเก็บรักษาเนื้อเยื่อไว้ในไนโตรเจนเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำถึง - 196 องศาเซลเซียส ในสภาพเช่นนี้เซลล์และเนื้อเยื่อจะคงสภาพและมีชีวิตอยู่ได้ยาวนาน (วรรณา มังกิตะ และคนอื่น ๆ, 2554)

1.4.5 การปรับปรุงพันธุ์พืช (crop improvement)

การเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชได้ถูกนำมาช่วยในการเลือกสายพันธุ์ที่ทนทาน (tolerant plant) หรือสายพันธุ์ที่ต้านทาน (resistant plant) ได้จากการตั้งเงื่อนไขของอาหารและสภาวะแวดล้อมของการเลี้ยงหรือชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ (induced mutation) โดยการใช้สารเคมี การฉายรังสี เช่น การคัดเลือกสายพันธุ์พืชทนเค็มจากการเลี้ยงเซลล์หรือเนื้อเยื่อในอาหารที่มีส่วนผสมของเกลือ การคัดสายพันธุ์ทนดินเปรี้ยวจากการเลี้ยงในอาหารที่มีสภาพเป็นกรด การคัดสายพันธุ์ทนร้อนโดยการเลี้ยงในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง การสร้างสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อสารพิษของโรค แมลง และสารเคมีกำจัดวัชพืช การตัดต่อยีน (DNA recombination) และการถ่ายยีนที่มีลักษณะตามต้องการ (gene transformation) นำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างพืชสายพันธุ์ใหม่ (transgenic plants) ที่ต้องการ (ศศิลักษณ์ กลิ่นมณฑา และ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2556)

1.4.6 การศึกษาทางชีวเคมีและสรีรวิทยาของพืช (biochemical and physiology study)

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษาความรู้พื้นฐานในสาขาวิชาต่าง ๆ สามารถติดตามการพัฒนาของการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงในด้านเหล่านี้ได้ง่าย มีความชัดเจน และถูกต้องแม่นยำ ทั้งในระดับเซลล์ เนื้อเยื่อ อวัยวะ และพืชทั้งต้น เช่น การศึกษาวัฏจักรของเซลล์ในระดับโมเลกุล และระดับเซลล์ ศึกษาเมตาบอลิซึม และใช้เป็นเครื่องมือการศึกษาการตอบสนองของเซลล์หรือเนื้อเยื่อพืชต่อสารเคมีป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืช หรือสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชโดยใช้เทคนิคเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสามารถควบคุมตัวแปรในด้านต่าง ๆ ได้ง่ายกว่าในแปลงทดลอง (ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์, 2546)

2. ปุ๋ยเคมี

2.1 ธาตุอาหารหลักในปุ๋ยเคมี

ธาตุอาหารหลักในปุ๋ยเคมี แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริม

- 1) ธาตุอาหารหลัก ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม
- 2) ธาตุอาหารรอง ประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน
- 3) ธาตุอาหารเสริม ประกอบด้วย เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดีนัม คลอรีน และซิลิกอน

2.2 หน้าที่ของแร่ธาตุ

1) ไนโตรเจน ธาตุไนโตรเจนปกติจะมีอยู่ในอากาศในรูปของก๊าซไนโตรเจนเป็นจำนวนมาก แต่ไนโตรเจนในอากาศในรูปของก๊าซนั้น พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งยกเว้นพืชตระกูลถั่ว เนื่องจากมีระบบรากพิเศษสามารถแปรูปก๊าซไนโตรเจนในอากาศมาใช้ประโยชน์ได้ ธาตุไนโตรเจนที่พืชทั่วไปดึงมาใช้ประโยชน์ได้นั้นจะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลของสารประกอบ เช่น แอมโมเนียมไอออน และไนเตรทไอออน ธาตุไนโตรเจนในดินที่อยู่ในรูปเหล่านี้จะมาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์วัตถุในดิน โดยจุลินทรีย์ในดินจะเป็นผู้ปลดปล่อยให้ นอกจากนั้นก็ได้มาจากการที่เราใส่ปุ๋ยเคมีลงไปในดินด้วย พืชเมื่อขาดไนโตรเจนจะแคระแกร็น โตช้า ใบเหลือง โดยเฉพาะใบล่าง ๆ จะแห้งและร่วงหล่นเร็วทำให้แลดูต้นโกร๋น การออกดอกออกผลจะช้าและไม่ค่อยสมบูรณ์ ซึ่งดินโดยทั่ว ๆ ไปมักจะมีไนโตรเจนไม่เพียงพอับความต้องการของพืช ดังนั้นเวลา

ปลูกพืชจึงควรใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยเคมีเพิ่มเติมให้กับพืชด้วยเพื่อใช้สำหรับบำรุงยอด ใบ กิ่ง และลำต้นสำหรับในกระบวนการสร้างกรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก คลอโรฟิลล์ โปรตีน และเอนไซม์

2) ฟอสฟอรัส ธาตุฟอสฟอรัสในดินมีกำเนิดมาจากการสลายตัวของแร่บางชนิดในดิน การสลายตัวของสารอินทรีย์วัตถุในดินก็จะสามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกได้เช่นเดียวกัน ดังนั้น การใช้ปุ๋ยคอกนอกจากจะได้ธาตุไนโตรเจนแล้วก็ยังได้ฟอสฟอรัสอีกด้วย ธาตุฟอสฟอรัสในดินที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้จะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลของสารประกอบที่เรียกว่า ฟอสเฟตไอออน ซึ่งจะต้องละลายอยู่ในน้ำในดิน สารประกอบของฟอสฟอรัสในดินมีอยู่เป็นจำนวนมากแต่ส่วนใหญ่ละลายน้ำยาก ใช้สำหรับบำรุงราก ดอก ผล สำหรับสร้างยีน เยื่อผนังเซลล์ และเอนไซม์ทำหน้าที่สลายแป้งเป็นน้ำตาล และสังเคราะห์น้ำตาลเป็นแป้งทำหน้าที่เป็นตัวนำการสร้างพลังงานเพื่อนำแร่ธาตุส่งไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช

3) โพแทสเซียม ธาตุโพแทสเซียมในดินที่พืชนำเอาไปใช้เป็นประโยชน์ได้ มีกำเนิดมาจากการสลายตัวของหินและแร่มากมายหลายชนิดในดิน โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปอนุมูลบวกหรือโพแทสเซียมไอออนเท่านั้นที่พืชจะดึงดูดไปใช้เป็นประโยชน์ได้ ถ้าธาตุโพแทสเซียมยังคงอยู่ในรูปของสารประกอบยังไม่แตกตัวออกมาเป็นอนุมูลบวกนั้นพืชไม่สามารถดึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ อนุมูลโพแทสเซียมในดินอาจจะอยู่ในน้ำในดินหรือดูดยึดอยู่ที่พื้นผิวของอนุภาคดินเหนียวใช้สำหรับกระบวนการสร้างแป้งและน้ำตาลในลำต้น ใบ ผลหรือเมล็ด เร่งการดูดซึมน้ำไนโตรเจน และการสังเคราะห์แสง

4) แคลเซียม ใช้สำหรับบำรุงดอก ผล ขั้วผล และเมล็ด ปรับสมดุลฮอร์โมน

5) แมกนีเซียม ใช้สำหรับกระบวนการสร้างอาหาร และโปรตีน เป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ ช่วยในการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัส ช่วยในการสังเคราะห์อะมิโนแอซิด ไขมัน วิตามิน และน้ำตาล

6) กำมะถัน ช่วยในการหายใจ การปรุงอาหาร เพิ่มกลิ่นของดอก และผล

7) เหล็ก ช่วยในการหายใจ บำรุงยอดอ่อนให้มีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง และคลอโรฟิลล์ ช่วยในการดูดซึมอาหาร และเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด

8) ทองแดง ช่วยเสริมระบบฮอร์โมน เสริมการออกดอก ผล เพิ่มโมเลกุล และคลอโรฟิลล์ ช่วยในการลำเลียงเหล็กไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ช่วยในการคายน้ำ เพิ่มกลิ่น เพิ่มสี และรสหวาน

9) สังกะสี ช่วยในการสร้างน้ำย่อย ขยายดอก เพิ่มความแข็งแรง และช่วยด้านสภาวะอ่อนไหวจากสภาพการเปลี่ยนแปลงของอากาศ

10) แมงกานีส ช่วยในการสังเคราะห์แสง ช่วยสร้างส่วนสีเขียว กระตุ้นการทำงานของน้ำเลี้ยง เสริมการทำงานของธาตุเหล็ก และสร้างวิตามินที่ขาดแคลน

11) โมลิบดีนัม ช่วยเสริม และตรึงธาตุไนโตรเจน เสริมสร้างส่วนสีเขียวเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นไนโตรที่ทำให้พืชไนโตรเจนไปใช้ได้ง่ายขึ้น

12) ซิลิกอน ช่วยสร้างความแข็งแรงให้แก่เซลล์พืช

13) โบรอน ช่วยในการสังเคราะห์แสง เสริมแคลเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม ช่วยเพิ่มรส และขนาดผล

14) โซเดียม และคลอรีน ช่วยเร่งใบ และผลให้แก่เร็ว

15) วิตามินอี ช่วยลดความเครียดของพืช กระตุ้นการเจริญเติบโต

16) วิตามินบี ช่วยในการบำรุงราก ซ่อมแซมเซลล์ราก และช่วยสร้างเซลล์รากใหม่

2.3 ชนิดของปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมีแบ่งออก เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1) ปุ๋ยเชิงเดี่ยว (straight fertilizer) เป็นปุ๋ยเคมีที่มีธาตุอาหารหลักเพียงธาตุเดียว อาจเป็นธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส หรือโพแทสเซียม เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตที่มีธาตุไนโตรเจนเพียงธาตุเดียว หรือปุ๋ยสูตร 46 - 0 - 0

2) ปุ๋ยเชิงประกอบ (compound fertilizer) เป็นปุ๋ยเคมีที่ผลิตขึ้นด้วยกระบวนการทางเคมีที่ประกอบด้วยธาตุปุ๋ยอย่างน้อยสองธาตุขึ้นไปซึ่งธาตุปุ๋ยชนิดต่าง ๆ จะอยู่รวมกันในสารประกอบเดียวกัน เช่น สารประกอบหรือแม่ปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรต ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และโพแทสเซียมเมตาฟอสเฟต

3) ปุ๋ยเชิงผสม (mixed fertilizer) เป็นปุ๋ยเคมีที่มีการผสมของปุ๋ยเคมีเชิงเดี่ยวมากกว่าหนึ่งชนิดเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ธาตุอาหารตามที่ต้องการ เช่น ปุ๋ยสูตร 15 - 15 - 15 ที่เป็นการผสมแม่ปุ๋ยทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

โดยปุ๋ยเชิงผสมแบ่งตามสูตรปุ๋ยได้ เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1) ปุ๋ยสูตรเสมอ คือ ปุ๋ยที่มีธาตุทั้ง 3 ในปริมาณที่เท่ากัน ใช้เมื่อไม่ต้องการเร่งส่วนใดส่วนหนึ่งโดยเฉพาะ คือ ให้พืชเจริญเติบโตตามปกติ เช่น ปุ๋ยสูตร 15 - 15 - 15 และ 20 - 20 - 20

2) ปุ๋ยหน้าสูง คือ ปุ๋ยที่มีธาตุไนโตรเจนมากกว่าธาตุฟอสฟอรัสและธาตุโพแทสเซียม ใช้เมื่อต้องการเร่งการเจริญเติบโตทางต้นมักใช้ในระยะกล้าจะทำให้พืชมีใบเขียวขึ้น ต้นโตขึ้น เช่น ปุ๋ยสูตร 30 - 20 - 10 และสูตร 20 - 10 - 10

3) ปุ๋ยสูตรกลางสูง คือ ปุ๋ยที่มีธาตุฟอสฟอรัสมากกว่าธาตุไนโตรเจนและธาตุโพแทสเซียมใช้เมื่อต้องการเร่งการเจริญเติบโตทางราก หรือเร่งให้ออกดอกเร็วขึ้น เช่น ปุ๋ยสูตร 15 - 30 - 15 สูตร 12 - 24 - 12

4) ปุ๋ยหลังสูง คือ ปุ๋ยที่มีธาตุโพแทสเซียมมากกว่าธาตุไนโตรเจนและธาตุฟอสฟอรัส ใช้เร่งสีให้เข้มขึ้น หรือเพิ่มความหวานให้มากขึ้น เช่น ปุ๋ยสูตร 12 - 12 - 27 สูตร 10 - 20 - 30

3. สารละลายสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน

3.1 การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ในปัจจุบันการปลูกพืชไร้ดิน (hydroponics) เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง มีการปลูกในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และทำรายได้ให้แก่ผู้ประกอบการเป็นอย่างดี ทั้งนี้เนื่องจากว่าผู้บริโภคในยุคปัจจุบันได้หันมาให้ความสนใจเกี่ยวกับสุขภาพกันมากขึ้น จึงเลือกที่จะบริโภคผักที่ปลูกในระบบ hydroponics ซึ่งมีการปลูกในโรงเรือนที่ควบคุมแมลงศัตรูพืชได้ ทำให้มีการใช้สารเคมีน้อยลง ผักที่ได้จึงเป็นผักอนามัยมีการปนเปื้อนสารเคมีน้อยมากและเป็นทางเลือกหนึ่งที่ผู้บริโภคหันมาให้ความสนใจมากขึ้นอีกทั้งการปลูกและการจัดการต่าง ๆ ไม่ยุ่งยาก ทุกคนสามารถปลูกเองได้ทุกครัวเรือนเพื่อบริโภคภายในครอบครัวทำให้ได้บริโภคผักที่สด สะอาด ปลอดภัย และช่วยเสริมสร้างสุขภาพร่างกายให้แข็งแรงและยังเป็นการทำกิจกรรมร่วมกันภายในครอบครัวสร้างความผูกพันและความอบอุ่นให้เกิดขึ้นกับครอบครัวได้อีกทางหนึ่งด้วย

การปลูกพืชไร้ดินเป็นคำที่แปลมาจากภาษาอังกฤษ 2 คำคือ คำว่า soilless culture และ hydroponics สามารถอธิบายได้ 2 ลักษณะ คือ

1) Soilless culture เป็นวิธีการปลูกพืชเลียนแบบการปลูกพืชบนดินแต่ไม่ใช้ดินเป็นวัสดุปลูก แต่เป็นการปลูกพืชลงบนวัสดุชนิดต่าง ๆ เช่น แผ่นฟองน้ำ ทราย กรวด ขี้เลื่อย แกลบ ขุยมะพร้าว ฯลฯ แทนดิน โดยพืชสามารถเจริญเติบโตบนวัสดุปลูกที่ใช้เป็นที่ยึดเกาะและจากการได้รับสารละลายธาตุอาหารพืช ที่มีน้ำที่ผสมกับแร่ธาตุต่าง ๆ ที่พืชต้องการจากทางราก

2) Hydroponics เป็นการปลูกพืชที่ไม่ใช้วัสดุปลูก กล่าวคือ จะทำการปลูกพืชลงในสารละลายธาตุอาหารพืชโดยให้รากพืชสัมผัสกับสารอาหารโดยตรง (bare roots) hydroponics มาจากการรวมคำในภาษากรีกสองคำ คือ คำว่า hydon หมายถึง น้ำ และ ponos หมายถึง งาน ซึ่งเมื่อรวมคำสองคำเข้าด้วยกันความหมายก็คือ water-working หรือหมายถึง การทำงานของน้ำ (สารละลายธาตุอาหาร) ผ่านทางรากพืช ดังนั้นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน จึงหมายถึงวิธีการปลูกพืชเลียนแบบการปลูกพืชบนดินโดยปลูกพืชลงบนวัสดุปลูกหรือสารอาหารโดยไม่ต้องมีวัสดุปลูก

เพื่อให้พืชได้รับสารอาหารหรือสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีน้ำที่ผสมกับแร่ธาตุที่ต้องการจากทางรากพืช (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2560)

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นวิธีการปลูกพืชเพื่อให้พืชได้รับสารละลายธาตุอาหารจากทางรากพืช โดยที่สารละลายธาตุอาหารจะประกอบไปด้วยน้ำผสมกับธาตุอาหารที่พืชต้องการสามารถจำแนกการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินได้ 2 ระบบหรือวิธีการปลูก คือ

1) ซับสเตรทคัลเจอร์ (substrate culture) เป็นการปลูกพืชลงบนวัสดุปลูกชนิดต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ดินซึ่งวัสดุที่ใช้ปลูกแทนดินมีหลายชนิด เช่น วัสดุปลูกเป็น อินทรียสาร และ อินทรียสาร โดยพืชสามารถเจริญเติบโตบนวัสดุปลูกจากการได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีน้ำผสมกับธาตุอาหารที่พืชต้องการทางรากพืช

2) ไฮโดรโพนิกส์ (hydroponics) เป็นการปลูกพืชที่ไม่ใช้วัสดุปลูกโดยที่จะปลูกพืชให้รากพืชสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารพืชโดยตรง (การแบ่งปันและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของคณะวิทยาศาสตร์, 2558)

3.2 สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

3.2.1 ธาตุอาหารและสารละลายธาตุอาหาร

สารละลายธาตุอาหารถือเป็นหัวใจสำคัญของการปลูกพืชไฮโดรโพนิกส์ เนื่องจากพืชจะได้รับแร่ธาตุต่าง ๆ จากสารละลายซึ่งผู้ปลูกเตรียมจากการนำปุ๋ยหรือสารเคมีมาละลายน้ำสามารถกำหนดปริมาณธาตุอาหารให้เป็นไปตามที่พืชต้องการได้ ปัจจุบันสารละลายธาตุอาหารมีอยู่หลายสูตรขึ้นอยู่กับชนิดพืชที่ปลูก ฤดูปลูก แสง อุณหภูมิขณะปลูก สถานที่ใช้ปลูก รวมถึงวัตถุประสงค์ของการปลูก ช่วงความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชแต่ละชนิดในสารละลายธาตุอาหารพืชแต่ละชนิดในสารละลายธาตุอาหารที่ใช้กันโดยทั่วไป (สมัย สังข์ทองงาม, 2553)

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดในสารละลายที่เหมาะสมสำหรับปลูกพืช

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้นของสารละลาย (mg/L)	
	ช่วง	เฉลี่ย
ไนโตรเจน	150 - 1000	300
แคลเซียม	300 - 500	400
แมกนีเซียม	50 - 100	75
ฟอสฟอรัส	50 - 100	75
โพแทสเซียม	100 - 400	250
กำมะถัน	200 - 1000	400
ทองแดง	0.100 - 0.500	0.500
โบรอน	0.500 - 5.000	1.000
เหล็ก	2.000 - 10.000	5.000
แมงกานีส	0.500 - 5.000	2.000
โมลิบดีนัม	0.001 - 0.002	0.001
สังกะสี	0.500 - 1.000	0.500
คลอรีน	0.100 - 1.000	0.500

ที่มา: (นพดล เรียบเลิศหิรัญ, 2553)

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะต้องให้ธาตุและปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีความเหมาะสมและสมดุลกัน พืชจึงจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีขึ้นซึ่งความจำเป็นของธาตุต่อต้นพืชมี ดังนี้

1) กลุ่มธาตุที่ต้องการสูง (macroelement) ได้แก่ คาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน

2) กลุ่มธาตุที่พืชต้องการเพียงเล็กน้อย (microelement) ได้แก่ เหล็ก คลอไรด์ โบรอน ทองแดง สังกะสี และโมลิบดีนัม

ตาราง 3 ธาตุสารละลายในสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ธาตุอาหารที่พืชต้องการ	
ชนิดแม่ปุ๋ย A	น้ำหนัก (mg)
แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$)	500
โพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3)	800
โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (MAP)	125
โมโนโปแตสเซียมฟอสเฟต (MKP)	85
แมงกานีส (Mn)	4
จุลธาตุ	8
ชนิดแม่ปุ๋ย B	
แคลเซียมไนเตรท ($CaNO_3$)	1000
ธาตุเหล็ก (Fe - EDTA)	30

ที่มา: (พีรศักดิ์ ฉายประสาท, 2560)

3.3 การจัดการด้านสารละลาย

การเตรียมสารละลายธาตุอาหารเพื่อใช้ในการปลูกพืชมี 2 แบบ คือ การเตรียมสารละลายแบบเจือจาง และการเตรียมสารละลายแบบเข้มข้น การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชมีวิธีการเตรียม ดังนี้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558)

3.3.1 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเจือจาง

เป็นการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชเพื่อใช้ในถังหรือภาชนะที่ใช้ในการปลูกพืชโดยตรง การเตรียมในลักษณะนี้มีความสะดวกแต่ต้องเตรียมบ่อย ๆ เริ่มจากเมื่อทราบปริมาณของธาตุอาหาร คำนวณน้ำหนักและจัดหาปุ๋ยเคมี ผสมปุ๋ยเคมีทั้งหมดในน้ำสะอาดแล้วเติมน้ำจนครบ

3.3.2 การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเข้มข้น

การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชที่มีความเข้มข้นจะเริ่มจากการเตรียมสารละลายเข้มข้นไว้ 2 ถัง เรียกว่า stock solution A และ stock solution B เมื่อต้องการใช้ก็จะเอา stock solution มาผสมให้เจือจางตามอัตราส่วนที่กำหนดตามความต้องการเหตุที่ต้องแยกออกเป็น stock solution A และ stock solution B เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยาทางเคมีของสารโดยแยก

แคลเซียมและเหล็กไว้ด้วยกัน ส่วนอีกถึงจะผสมธาตุอื่น ๆ ทั้งหมดส่วนโพแทสเซียมในเตรทจะไม่ทำปฏิกิริยาใด ๆ สามารถเฉลี่ยใส่ได้ทั้ง 2 ถัง

3.4 ปัจจัยในการเจริญเติบโตของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมการเจริญเติบโตของพืชสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน คือ ปัจจัยภายในจะเป็นตัวกำหนดขอบเขตของการเจริญเติบโต ส่วนปัจจัยภายนอกเป็นตัวกำหนดระดับของการเจริญเติบโตส่งผลให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้สมบูรณ์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558; สมัย สังข์ทองงาม, 2553)

3.4.1 ปัจจัยภายใน ได้แก่ พันธุกรรม และสารควบคุมการเจริญเติบโต

3.4.1.1 พันธุกรรม ลักษณะทางพันธุกรรมเป็นตัวกำหนดลักษณะต่าง ๆ ของพืช ดังนั้นเราต้องมีความรู้เรื่องเฉพาะของพันธุ์พืชที่นำมาปลูกเกี่ยวกับลักษณะพิเศษของพันธุ์ ปัญหาในการผลิต ความทนทานต่อโรคและแมลง อายุในการผลิต ความเหมาะสมในการนำมาปลูกแบบไม่ใช้ดิน และการตอบสนองต่อภูมิอากาศของพืช

3.4.1.2 สารควบคุมการเจริญเติบโต (plant growth regulators) มีทั้งพืชสร้างขึ้นเอง (plant hormones) และที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งฮอร์โมนที่พืชสร้างขึ้นจะมีบทบาทต่อการกระตุ้นยับยั้งหรือเปลี่ยนแปลงด้านสรีรวิทยาของพืช

3.4.2 ปัจจัยภายนอกหรือสิ่งแวดล้อมนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช พืชแต่ละชนิดมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องควรรู้ว่าพืชที่นำมาปลูกสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพแวดล้อมแบบใด ปัจจัยภายนอกที่สำคัญได้แก่

3.4.2.1 แสง เป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสร้างอาหารและพัฒนาการของพืช เนื่องจากแสงเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสร้างอาหาร

3.4.2.2 อุณหภูมิ มีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา เคมี และชีววิทยาของพืช เช่น การงอกของเมล็ด การแบ่งและขยายขนาดของเซลล์ การสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ พืชแต่ละชนิดต้องการอุณหภูมิที่ใช้ในการเจริญเติบโตแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืช

3.4.2.3 ความชื้น ความชื้นในดินมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยเฉพาะการปลูกพืชบนดินหากดินขาดน้ำจนรากพืชไม่สามารถดูดน้ำได้ทันกับอัตราการคายน้ำของพืชแล้ว พืชจะแสดงอาการเหี่ยวหากพืชไม่ได้นำน้ำพืชก็จะตายในที่สุด

3.4.2.4 อากาศและองค์ประกอบของอากาศ พืชได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศซึ่งเป็นก๊าซที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากนี้ก๊าซบางชนิดในอากาศ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ถ้ามีปริมาณมากจะส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช

3.4.2.5 องค์ประกอบของอากาศในน้ำ ก๊าซที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ ก๊าซออกซิเจน (O_2) รากพืชที่ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอจะมีสีขาว ยาว และมีรากฝอยมาก

3.4.2.6 ธาตุอาหารพืช เป็นสิ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโต

3.4.2.7 ความเป็นกรด - เบสของน้ำ เกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโต

3.4.2.8 สิ่งมีชีวิตอื่นที่เกี่ยวข้อง สิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะอยู่บนดินหรืออยู่ในน้ำต่างมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งสิ้นไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม

3.4.2.9 ด้านการจัดการดูแลในการเพาะปลูกควรคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างรากและยอดของพืช เนื่องจากส่วนยอดจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยด้านแสงและอุณหภูมิในกระบวนการหายใจและกระบวนการสังเคราะห์อาหารซึ่งหากไม่ได้รับการจัดการที่เหมาะสมจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งต้น ในทางกลับกันรากพืชซึ่งทำหน้าที่ส่งแร่ธาตุและให้น้ำเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์อาหารหากมีการตัดรากหรือรากเกิดการเน่าเสีย เนื่องมาจากการดูแลที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลให้พืชมีการร่วงเหี่ยวและมีผลผลิตที่ลดลง ดังนั้นการดูแลพืชจึงแยกเป็น 2 ส่วนคือ

1) การจัดการบริเวณส่วนต้นพืช การควบคุมอุณหภูมิบริเวณส่วนใบควรให้เหมาะกับพืชชนิดนั้นและควรได้รับแสงในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชรวมถึงการควบคุมปริมาณความชื้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจนให้มีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด

2) การจัดการบริเวณรากพืช การควบคุมอุณหภูมิโดยการสร้างรางปลูกที่เหมาะสมให้มีอากาศถ่ายเทได้ดี ควบคุมปริมาณและความชื้นของธาตุอาหารในสารละลายให้ตรงกับความต้องการของพืช และจัดการให้รากได้รับก๊าซออกซิเจนอย่างเพียงพอ

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องการพัฒนาสูตรอาหารอย่างง่ายเพื่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

4.1 การพัฒนาสูตรอาหารอย่างง่ายโดยใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

Vaz และ Kerbauy (1998) ได้ศึกษาปริมาณของธาตุอาหารที่มีผลในการชักนำการออกดอกของกล้วยไม้ *Psychomorphis pusilla* ในหลอดทดลอง ทำการเพาะเลี้ยงกล้วยไม้เป็นเวลา 15 วัน หลังจากนั้นย้ายไปเลี้ยงในอาหารที่ลดปริมาณธาตุอาหารทุกชนิดลงครึ่งหนึ่ง พบว่าสามารถชักนำให้เกิดช่อดอกได้ 80% เช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงในอาหารที่ลดปริมาณไนโตรเจนลงครึ่งหนึ่ง และลดปริมาณไนโตรเจนเหลือ 1/4 พบว่า ถ้าเพิ่มปริมาณของไนโตรเจนและโพแทสเซียมเป็น 2 เท่า ทำให้ปริมาณช่อดอกที่เกิดลดลง และการเพิ่มปริมาณแคลเซียมเป็น 2 เท่า ทำให้เกิดช่อดอกมากขึ้นโดยที่ฟอสฟอรัสไม่มีผลต่อการเกิดช่อดอก

Pacheco-Ruiz, Zertuche-González, Arroyo-Ortega, และ Valenzuela-Espinoza (2004) ได้ศึกษาการใช้ปุ๋ยเคมีทางการเกษตรเป็นอาหารเพาะเลี้ยงทางเลือกลำสำหรับการผลิตพลังงานมวลชีวภาพของ *Chondracanthus squarulosus* (Rhodophyta, Gigartinales) ภายใต้การสภาวะแบบ semi-control โดยการนำสาหร่าย *C. squarulosus* มาเพาะเลี้ยงในสภาวะแบบ semi-control เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตในการผลิตพลังงานมวลชีวภาพ ซึ่งใช้อาหารเพาะเลี้ยงที่เตรียมจากปุ๋ยเคมีทางการเกษตร ได้แก่ แอมโมเนียมไนเตรท แอมโมเนียมซัลเฟต และยูเรีย โดยใช้ปุ๋ยที่ระดับความเข้มข้น 1.95 mg/L เปรียบเทียบการวิเคราะห์กับเกล็ดอินทรี และใช้น้ำทะเลเป็นชุดควบคุม พบว่า การเจริญเติบโตของ *C. squarulosus* มีการเจริญเติบโตสูงสุด 5.4 % ต่อวัน ในอาหารที่เตรียมจากแอมโมเนียมซัลเฟต ผลที่ได้จากการศึกษานี้พบว่า สามารถใช้ปุ๋ยเคมีทางการเกษตรเป็นอาหารเพาะเลี้ยงแทนอาหารเกรดวิเคราะห์ได้โดยไม่มีผลต่อการเพาะเลี้ยง

Pulma, Anit, และ Quilang (2010) ได้ศึกษาการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสำหรับการเพาะเมล็ดกล้วยไม้สกุล *Cattleya* โดยใช้ปุ๋ยเคมี Gaviota สูตร 19 - 19 - 19 เป็นสูตรอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งเพาะเลี้ยงเมล็ดกล้วยไม้สกุล *Cattleya* ในอาหาร Knudson C ก่อน จากนั้นย้ายไปเลี้ยงในอาหาร Gaviota โดยใช้ปุ๋ยที่ระดับความเข้มข้น 0.5 1.0 2.0 3.0 และ 4.0 g/L ร่วมกับกล้วยพันธุ์ Saba 150 g/L ถ่านกัมมันต์ 1 g/L วุ้น 5 g/L และน้ำมะพร้าว 150 ml/L พบว่า ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตได้ดีและมีการเจริญเติบโตได้ดีในอาหารที่ใช้ปุ๋ย Gaviota ที่ระดับความเข้มข้น 2.0 และ 3.0 g/L ดังนั้นปุ๋ย Gaviota ที่ระดับความเข้มข้น 2.0 และ 3.0 g/L จึงสามารถนำมาทำอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสำหรับการเพาะเมล็ดกล้วยไม้สกุล *Cattleya* เนื่องจากมีราคาไม่แพง

Kaewduangta และ Reamkatog (2011) ได้ศึกษาผลของการดัดแปลงสูตรอาหารในการพัฒนาการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ *Dendrobium parishii* ในหลอดทดลอง โดย

ทดสอบการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 21 - 21 - 21 จำนวน 2 g/L ร่วมกับอาหารเสริมในธรรมชาติ ได้แก่ pupa powder 5 g/L ถ่านกัมมันต์ 2 g/L เนื้อเยื่อกล้วย 50 g/L และน้ำมะพร้าว 150 ml/L วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 31 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 4 ซ้ำ เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีทดแทนธาตุสามารถชักนำให้พืชมีการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ที่มีการใช้กันอยู่โดยทั่วไป

สุกัลยา ศิริพงษ์สกุล, เพชรรัตน์ จันทรทิณ, และ เสริมศิริ จันทรเปรม (2549) ได้ศึกษาสูตรอาหารอย่างง่ายสำหรับการเพาะเลี้ยง hairy root ของเจตมูลเพลิงแดงเพื่อผลิตสารพลัมบาจิน โดยการชักนำเชื้อ *Agrobacterium rhizogenes* สายพันธุ์ K599 เลี้ยงในอาหารเหลวอย่างง่ายสูตรต่าง ๆ ที่เตรียมจากปุ๋ยมาสเตอร์ 20 - 20 - 20 ปริมาณ 2 และ 4 g/L ร่วมกับวิตามินสูตร MS วิตามินสูตร B5 และวิตามินรวมทางการค้า (ไววิท) เปรียบเทียบกับอาหารสูตร MS และสูตร MS ที่ใช้วิตามินสูตร B5 โดยทุกสูตรทดลองใช้น้ำตาลซูโครส 3 % ที่ pH 5.7 เพาะเลี้ยงในสภาพมืดที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 เดือน โดยเปลี่ยนถ่ายอาหารใหม่ทุกเดือน พบว่า hairy root ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตรปุ๋ยเกิดการค้ำร่วมกับวิตามินรวมทุกความเข้มข้นมีการเจริญเติบโตดีและผันแปรตามปริมาณวิตามินรวมที่ใช้ แต่ growth Index โดยรวมยังมีค่าน้อยกว่า hairy root ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร MS และสูตร MS - B5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสาร plumbagin ใน hairy root พบว่า hairy root ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยเกิดการค้ำมีปริมาณสาร plumbagin ต่อน้ำหนักกรัมของน้ำหนักแห้งมากกว่า hairy root ที่เพาะเลี้ยงในสูตร MS และ MS-B5 เมื่อคำนวณผลผลิตรวมของสาร plumbagin ต่อการใช้อาหาร 1 ลิตร เพาะเลี้ยง 2 เดือน พบว่า อาหารสูตร MS และสูตร MS-B5 ให้ผลผลิตสูงสุดที่สุด คือ 47.14 และ 43.79 มิลลิกรัมต่ออาหาร ส่วนอาหารสูตรปุ๋ย 2 g/L ร่วมกับวิตามินสูตร MS ให้ผลผลิตเท่ากับ 43.03 มิลลิกรัมต่ออาหาร และสูตรปุ๋ย 2 g/L ร่วมกับวิตามินรวม 2 ml ให้ผลผลิตเท่ากับ 40.34 mg ซึ่งใกล้เคียงกับสูตร MS และ MS-B5 แต่เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตอาหารต่อหน่วยปริมาณสารที่ได้แล้ว พบว่า การผลิตโดยใช้ปุ๋ยเกิด 2 g/L ร่วมกับวิตามินรวม 2 mL มีต้นทุนการผลิตสาร plumbagin ต่ำที่สุด แต่อาหารที่ใช้ปุ๋ยมีต้นทุนต่ำกว่าประมาณ 2 เท่า จึงสามารถใช้ปุ๋ยเกิดการค้ำร่วมกับวิตามินทดแทนสูตรอาหารสูตร MS และสูตร MS-B5 ได้

พงศ์ยุทธ นวลบุญเรือง และคนอื่น ๆ (2551) ได้ศึกษาศักยภาพของสารละลายทดแทนธาตุอาหารและวิตามินในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช จากการดัดแปลงอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยการใช้ปุ๋ย สูตร 30 - 20 - 10 ร่วมกับเครื่องต้มฆ่าล้าง 3 ชนิด คือ กระทั่งแดง

M - 150 และฉลาม เพื่อทดแทนอาหารและวิตามิน ซึ่งเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยใช้ปุ๋ย 2 g/L น้ำมะพร้าว 150 ml/L ร่วมกับเครื่องตีหมูกำลังทั้ง 3 ชนิด ที่ระดับความเข้มข้น 10 15 และ 20 ml/L ต่อลิตร เปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชสูตร MS ร่วมกับ BA 2 mg/L โดยการเลี้ยงต้นกระชายดำทำการทดลองเป็นเวลา 60 วัน พบว่า จำนวนยอด จำนวนใบ จำนวนราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนอาหารสูตรดัดแปลงที่เสริมด้วย M - 150 ที่ความเข้มข้น 10 ml/L ให้ความสูงต้นสูงสุด คือ 8.05 เซนติเมตร และอาหารสูตรดัดแปลงที่เสริมด้วย M - 150 ที่ความเข้มข้น 20 ml/L ให้ความยาวรากมากที่สุด คือ 2.95 เซนติเมตร

จิราภรณ์ พิมล และคนอื่น ๆ (2557) ได้ศึกษาผลของปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตของสตรอเบอรี่ในสภาพปลอดเชื้อ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองซึ่งใช้ปุ๋ยเคมี 3 ชนิด คือ ปุ๋ยสูตร 21 - 21 - 21 15 - 30 - 15 และ 36 - 5 - 5 แต่ละการทดลองศึกษาผลของปุ๋ยเคมีแต่ละชนิด โดยใช้ปุ๋ยความเข้มข้น 0.5 1.5 2.5 และ 3.5 g/L และใช้สูตร MS เป็นชุดควบคุม วางแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design, CRD) ผลการทดลอง พบว่า ปุ๋ยสูตร 21 - 21 - 21 ทุกความเข้มข้นสามารถชักนำให้เกิดต้นอ่อนได้ไม่แตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุม ปุ๋ยสูตร 15 - 30 - 10 พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 2.5 g/L มีจำนวนต้นและจำนวนรากดีกว่าทุกความเข้มข้นและชุดควบคุม และปุ๋ยสูตร 36 - 5 - 5 ที่ความเข้มข้น 0.5 g/L มีจำนวนต้นอ่อนและจำนวนรากไม่แตกต่างจากชุดควบคุม แต่มีความยาวรากมากกว่าทางสถิติทุกความเข้มข้นและชุดควบคุม

ณัฐสิทธิ์ ธีระนะพุทธิลักษณ์ และคนอื่น ๆ (2557) ได้ศึกษาผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมของปุ๋ยเคมีที่มีต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วย เตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยการศึกษา 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 ปุ๋ยเคมีสูตร 30 - 20 - 10 (ช้างไทยออน) และปุ๋ยเคมีสูตร 36 - 5 - 5 (Polean) ร่วมกับธาตุอาหารรอง วิตามิน และเกลือของอาหารสูตร MS ปัจจัยที่ 2 ศึกษา ความเข้มข้นของปุ๋ยเคมี โดยใช้ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.2 0.4 0.6 และ 0.8 g/L พบว่า ปุ๋ยเคมีชนิด 30 - 20 - 10 ให้ผลที่ดีกว่า 36 - 5 - 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งสามารถชักนำให้ต้นอ่อนกล้วยมีการพัฒนาทั้งน้ำหนักสดความสูงต้นอ่อน จำนวนใบ ความยาวใบ ความกว้างใบ จำนวนราก และความยาวราก ส่วนการศึกษาปัจจัยความเข้มข้นของปุ๋ยเคมี 4 ระดับ พบว่า น้ำหนักสด ความสูงต้นอ่อน จำนวนใบ ความกว้างใบ จำนวนราก และความยาวรากไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่ความเข้มข้นของปุ๋ยมีผลให้ความยาวใบแตกต่างกันทางสถิติ

วันเพ็ญ นันทานุวัฒน์ และ ยลนา เกลี้ยงแก้ว (2557) ได้ศึกษาสูตรอาหารอย่างง่ายต่อการเจริญของต้นอ่อนกล้วยไม้หวายปอมปาดัวร์ (*Dendrobium Pompadour*) ในสภาพปลอดเชื้อ โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนกล้วยไม้บนอาหารแข็ง 4 สูตร คือ Vacin and Went (VW) Simple

media 1 (ปุ๋ยเคมีสูตร 20 - 20 - 20 1 g/L น้ำมะพร้าว 150 ml/L น้ำมันฝรั่งต้ม 100 ml/L กล้วยน้ำว่า 100 ml/L) (SM1) Simple media 2 (ปุ๋ยเคมีสูตร 20 - 20 - 20 2 g/L น้ำมะพร้าว 150 ml/L น้ำมันฝรั่งต้ม 100 ml/L กล้วยน้ำว่า 100 ml/L) (SM2) และ Simple media 3 (ปุ๋ยเคมีสูตร 20 - 20 - 20 3 g/L น้ำมะพร้าว 150 ml/L น้ำมันฝรั่งต้ม 100 ml/L กล้วยน้ำว่า 100 ml/L) (SM3) พบว่า จากการเลี้ยงโปรโตคอร์มเป็นเวลา 8 สัปดาห์ อาหารสูตร SM2 ชักนำไปโปรโตคอร์มเกิดการพัฒนาไปเป็นต้นอ่อนได้ดีที่สุด โดยมีความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของลำต้น 0.830 เซนติเมตร และ 0.273 เซนติเมตร และหลังจากย้ายต้นอ่อนไปวางบนอาหารสูตรเดิมอีกครั้ง และเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 32 สัปดาห์ พบว่า ต้นอ่อนที่เลี้ยงบนอาหารสูตร SM3 มีการเจริญเติบโตของจำนวนใบ จำนวนราก และน้ำหนักสดดีที่สุด คือ 5.7 ใบต่อต้น 11.4 รากต่อต้น และ 0.675 กรัมต่อต้น เมื่อนำต้นอ่อนที่ได้จากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร SM2 และ SM3 มาเลี้ยงในสภาพโรงเรือนเป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่า มีอัตราการรอดตายสูงสุด 80 % ซึ่งจากการทดลอง พบว่า อาหารสูตร SM3 สามารถนำมาใช้เป็นอาหารเพาะเลี้ยงต้นอ่อนกล้วยไม้หวายปอมปาดัวร์ได้ เนื่องจากมีต้นทุนที่ถูกกว่าการใช้อาหารสูตร VW

4.2 การพัฒนาสูตรอาหารอย่างง่ายโดยใช้สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม้ใช้ดินเพื่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

กัลยาจิต จันทรมูล (2555) ได้ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยไฮโดรโพนิคส์ ยี่ห้อ Hydrowork สูตรสำหรับผักสลัดเพื่อทดแทนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อม่วงเทพรัตน์และหน่อกุหลาบ พบว่า การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชม่วงเทพรัตน์โดยใช้สูตรอาหารไฮโดรโพนิคส์ (HW) Hydrowork A และ Hydrowork B ความเข้มข้น 5 ml/L ชักนำไปเกิดการเจริญเติบโตมากที่สุด โดยมีความสูงเฉลี่ย 2.48 ± 0.16 เซนติเมตร มีจำนวนยอดเฉลี่ย 5.20 ± 0.49 ยอด และจำนวนใบเฉลี่ย 20.70 ± 1.82 ใบ การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อหน่อกุหลาบโดยใช้สูตรอาหารไฮโดรโพนิคส์ (HW) Hydrowork A และ Hydrowork B ความเข้มข้น 5 ml/L ชักนำไปเกิดการเจริญเติบโตมากที่สุดเช่นเดียวกัน โดยมีความสูงเฉลี่ย 4.30 ± 0.41 เซนติเมตร จำนวนยอดเฉลี่ย 1.88 ± 0.23 ยอด และจำนวนใบเฉลี่ย 16.73 ± 1.22 ใบ ดังนั้นสูตรอาหารทั้งสองสูตรดังกล่าวสามารถใช้ทดแทนอาหารวุ้นสูตร MS ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จิตรานุช คำหาล้า (2557) ได้ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยไฮโดรโพนิคส์ดอยคำที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อหน่อกุหลาบ โดยการนำชิ้นส่วนของหน่อกุหลาบมาเลี้ยงบนอาหารวุ้นสูตรไฮโดรโพนิคส์ความเข้มข้นของ stock A และ B ความเข้มข้น 0 1 2 3 4 และ 5 ml/L เปรียบเทียบกับอาหารวุ้นสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุม หลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์

พบว่า อาหารร่วนจากสูตรไฮโดรโพนิกส์ความเข้มข้น 5 ml/L สามารถชักนำให้เกิดยอดและใบได้ดีกว่าดีกว่าอาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุม โดยสามารถชักนำให้เกิดยอดได้สูงสุด

กิตติศักดิ์ โชติกเดชานรงค์ (2558) ได้ศึกษาสารละลายอย่างง่ายจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน โดยการนำเอาชิ้นส่วนของมวงเทพรัตน์และหน่อกุหลาบมาเพาะเลี้ยงบนอาหารร่วนที่เตรียมจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน สูตรสำหรับผักสลัดซึ่งประกอบด้วย stock A และ B ที่ระดับความเข้มข้น 0 1 2 3 4 และ 5 ml/L ร่วมกับการเติมน้ำตาลซูโครส 30 g/L ผ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อด้วยการเติมน้ำยาฟอกผ้าขาวไฮเตอร์ สูตรมาตรฐาน 0.1 ml/L เปรียบเทียบกับอาหารสูตร MS ที่ฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ และการเติมน้ำยาฟอกผ้าขาวโดยทุกชุดการทดลองนำไปเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ให้แสงเป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่า อาหารร่วนที่เตรียมได้จากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน สูตรสำหรับผักสลัด stock A และ B ความเข้มข้น 5 ml/L มีผลในการชักนำให้มวงเทพรัตน์และหน่อกุหลาบมีจำนวนยอด จำนวนใบ และความสูงของยอดมากกว่าอาหารสูตร MS ที่ฆ่าเชื้อด้วยความดันไอน้ำ และการเติมน้ำยาฟอกผ้าขาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

วรรณภา จะนุ และคนอื่น ๆ (2558) ได้ศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชต้นทุเรียนดำเพื่อขยายพันธุ์หน่อกุหลาบ จากการนำชิ้นส่วนของหน่อกุหลาบมาเพาะเลี้ยงบนอาหารร่วนที่เตรียมได้จากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน (Hydrowork) สูตรสำหรับผักสลัด stock A และ B ที่ระดับความเข้มข้นความเข้มข้นอย่างละ 5 ml/L ร่วมกับการเติมน้ำตาลซูโครส 30 g/L ร่วมกับเครื่องตีหมักกำลัง หรือเครื่องตีผสมวิตามิน 3 ชนิด คือ กระทั่งแดง M 150 และ Vitamix 500 ที่ความเข้มข้น 0 5 10 และ 15 ml/L จำนวน 10 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 30 ชั่วโมง เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิห้องในสภาพให้แสง 16 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า อาหารร่วนที่เตรียมได้จากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน ร่วมกับ Vitamix 500 ที่ความเข้มข้น 5 ml/L ให้ต้นอ่อนที่มีจำนวนยอด จำนวนใบ จำนวนราก และความสูงของยอด พบว่า มีการเจริญเติบโตสูงสุด

กิตติศักดิ์ โชติกเดชานรงค์ (2559b) ได้ศึกษาการใช้สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินทดแทนธาตุอาหารในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อว่านสี่ทิศ โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อชิ้นส่วนของว่านสี่ทิศในอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน stock A และ B ความเข้มข้นเท่ากันอย่างละ 0 1 2 3 4 และ 5 ml/L ร่วมกับการเติมน้ำตาลซูโครส 30 g/L pH 5.7 ร่วน 7 g/L ผ่าเชื้อด้วยการเติมน้ำยาฟอกผ้าขาวไฮเตอร์ 0.1 ml/L เปรียบเทียบกับการเพาะเลี้ยงในอาหารร่วนสูตร MS พบว่า ชิ้นส่วนของว่านสี่ทิศที่เพาะเลี้ยงบนอาหารร่วนที่เตรียมจากอาหารสำหรับ

ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน stock A และ B ที่ความเข้มข้น 3 4 และ 5 ml/L ชักนำให้เกิดจำนวนยอด จำนวนราก และความสูงของยอด ไม่แตกต่างจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรวุ้นสูตร MS ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถใช้ทดแทนธาตุอาหารในสูตรอาหาร MS ได้

ดังนั้นแล้วจึงสามารถใช้ปุ๋ยเคมีและสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมาใช้มาในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อทดแทนธาตุอาหารและวิตามินในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้ เนื่องจากสามารถชักนำให้พืชมีการเจริญเติบโตได้เช่นเดียวกับอาหารสังเคราะห์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรอาหารเมล็ดอย่างง่ายโดยใช้ปุ๋ยเคมีหรือสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าเพื่อการเพาะเมล็ดพืช โดยศึกษาผลของสูตรอาหารต้นทุนต่ำที่มีต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืชจำนวน 10 ชนิด ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษา ดังนี้

1. ศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช
2. ศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช
3. ศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 พืชทดลอง

การศึกษานี้ทำการทดลองในพืช 7 ชนิด 4 พันธุ์ปลูก ได้แก่

ข้าวโพดหวาน (*Zea mays* L.)

พริกจินดา (*Capsicum frutescens* L.)

กะเพราแดง (*Ocimum sanctum* L.)

ฟักทอง (*Cucurbita moschata* Decne.)

พืทูเนีย (*Petunia hybrida* E. Vilm)

คะน้าฮ่องกง (*Brassica oleraceae* var. *alboglara*)

กรีนไคค (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.)

เรดไคค (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.)

เรดคอส (*Lactuca sativa* var. *longifolia* L.)

บัตเตอร์เฮดเดลี (*Lactuca sativa* var. *nidus tenerrima* Helm L.)

3.1.2 วัสดุอุปกรณ์

3.1.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (analytical balance) บริษัท Ohaus Corporation

เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance) บริษัท Ohaus Corporation

กระดาศวัดค่าพีเอช

บริษัท Merck KGaA

เตาไมโครเวฟ (microwave oven)

บริษัท LG Corporation

ตู้เย็น (refrigerator)

บริษัท Mitsubishi Electric

Consumer Products (Thailand) Co., Ltd

หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave)

บริษัท Meditop.Co.,Ltd

3.1.2.2 การย้ายเนื้อเยื่อ ได้แก่

ตู้ย้ายเนื้อเยื่อ

ตะเกียงแอลกอฮอล์

จานแก้ว (petri dish)

มีดผ่าตัด (knives and scalpel)

ปากคีบ (forcep)

3.1.2.3 ห้องเลี้ยงเนื้อเยื่อ ได้แก่

เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (temperature controlled)

ชั้นสำหรับวางขวดเนื้อเยื่อ

ตัวตั้งเวลา (timer)

3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 สารเคมีที่ใช้เป็นองค์ประกอบในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ Murashige & Skoog 1962 (MS)

3.1.3.2 ปุ๋ยเคมีสูตร 30 - 20 - 20 บริษัท เสรีเคมีเกษตรและอุตสาหกรรม จำกัด ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และวิตามินบี 1

3.1.3.3 สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน (solution A และ B) บริษัทไฮโดรเพลนท จำกัด ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซึ่งประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และโบรอน

3.1.3.4 สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน (solution A และ B) บริษัท How ประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี

3.1.3.5 สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน (solution A และ B) บริษัท Hi Hydro ประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดีนัม และเหล็กคีเลต

3.1.3.6 วิตามินทางการค้า 3 ชนิด ได้แก่ M - 150 Red bull และ Vitamix v 1000

3.1.3.7 น้ำตาลซูโครส

3.1.3.8 ผงวุ้น (agar)

3.1.3.9 โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (คลอโร็กซ์)

3.1.3.10 แอลกอฮอล์ 70 %

3.1.3.11 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 1 นอร์มอล

3.1.4 สูตรอาหารควบคุมและวิธีการเตรียม

สูตรอาหารที่นิยมใช้โดยทั่วไป คือ อาหารสูตร Murashige และ Skoog (MS) ซึ่งมักเตรียมเป็นสารละลายเข้มข้นสูง (stock solution) ที่ประกอบไปด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ โดยแบ่งเป็น 4 stocks แสดงดังตาราง 4

ตาราง 4 ชนิดและปริมาณสารละลายของอาหารสูตร MS ที่ใช้ต่ออาหาร 1 ลิตร

สาร	ความเข้มข้นของสารใน สูตร MS (mg/L)	ปริมาณที่ใช้ต่ออาหาร 1 L
1.ธาตุอาหารหลัก		
NH_4NO_3	1650	100 mL
KNO_3	1900	
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	440	

ตาราง 4 (ต่อ)

สาร	ความเข้มข้นของสารใน สูตร MS (mg/L)	ปริมาณที่ใช้ต่ออาหาร 1 L
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	370	
KH_2PO_4	170	
ธาตุอาหารรอง		
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.025	
KI	0.83	
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	8.60	
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	22.30	10 mL
H_3BO_4	6.20	
$\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.25	
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.025	
3. สารอินทรีย์		
Glycine	2.0	
Thiamine-HCl	0.1	
Pyridoxine-HCl	0.5	10 mL
Nicotinic acid	0.5	
Myo-inositol	100	
4. สารละลายหลัก		
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	27.8	10 mL
$\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	37.3	

วิธีการเตรียมอาหารสูตร Murashige และ Skoog (MS)

การเตรียมอาหารสูตร MS จำนวน 1 L สามารถเตรียมโดยตรงจากน้ำกลั่นประมาณ 300 mL ใส่ในภาชนะที่จะใช้เตรียมในปริมาตรที่ต้องการ จากนั้นทำการตวง stock solution ตามปริมาตรที่คำนวณไว้เติมลงในภาชนะที่ละ stock จนครบทุก stock เติมน้ำตาลซูโครส 300 g คนให้ละลาย และเติมน้ำกลั่นอีกจนได้ปริมาตรประมาณ 900 mL แล้วปรับค่า pH ให้ได้ประมาณ

5.6 - 5.8 โดยใช้ KOH หรือ HCl จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1000 mL ในการเตรียมอาหารแข็งให้นำอาหารไปอุ่นจนร้อนด้วยไมโครเวฟจนเดือด เติมน้ำ 7.5 g/L คนให้เข้ากัน นำไปอุ่นอีกครั้งจนอุ่นละลายหมด คนให้เข้ากันแล้วจึงกรอกใส่ขวดให้อาหารสูงจากก้นขวดประมาณ 1 เซนติเมตร ปิดฝาและนำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 - 20 นาที

3.1.5 สภาวะในการเพาะเลี้ยง

สภาวะที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงมีผลอย่างมากต่อการพัฒนาและการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานของเนื้อเยื่อที่เพาะเลี้ยงโดยในงานวิจัยครั้งนี้ห้องเพาะเลี้ยงจะได้รับแสงที่มีความเข้มแสง $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน และอุณหภูมิประมาณ 25 ± 2 องศาเซลเซียส คงที่ทั้งตอนกลางวันและกลางคืน

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างพืชทดลอง

3.2.1.1 การเตรียมตัวอย่างพืชทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาพัฒนาสูตรอาหารเพาะเมล็ดพืชอย่างง่ายโดยใช้ปุ๋ยร่วมกับวิตามินทางการค้าเพื่อการเพาะเมล็ด ทำการศึกษาในพืชทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ พืชใบเลี้ยงเดี่ยว ได้แก่ ข้าวโพดหวาน พืชใบเลี้ยงคู่ ได้แก่ พืชเนย ผักสวนครัว ได้แก่ พริกจินดา กะเพราแดง พักทอง คื่นช่ายขี้เหล็ก และผักสลัด ได้แก่ กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค เรดคอส และบัตเตอร์เฮด-เดิ้ล ซึ่งในการเตรียมตัวอย่างพืชทดลองทั้ง 10 ชนิด ใช้วิธีการฟอกฆ่าเชื้อเมล็ดด้วยสารเคมี

3.2.1.2 การฟอกฆ่าเชื้อเมล็ดด้วยสารเคมี

นำเมล็ดพืชที่ได้แช่ด้วยแอลกอฮอล์ 70 % เป็นเวลา 1 นาที ก่อนนำไปฟอกฆ่าเชื้อด้วยสารละลายคลอโรกซ์ที่ผสมสารลดแรงตึงผิว Tween 20 จำนวน 1 - 2 หยด โดยฟอก 2 ครั้ง

ครั้งที่ 1 ความเข้มข้น 10 % เป็นเวลา 5 นาที

ครั้งที่ 2 ความเข้มข้น 5 % เป็นเวลา 5 นาที

จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง ๆ ละ 1 - 2 นาที และนำตัวอย่างพืชทดลองไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.2.1.3 การใช้ชิ้นส่วนปลอดเชื้อ

เตรียมพืชนี้สำหรับการทดลอง โดยนำเมล็ดพืชนี้ (*Petunia hybrida* E. Vilm รุ่น F1 ของบริษัท Gartenland GmbH Aschersleben, Denmark) แช่ในแอลกอฮอล์ 70 % เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำมาฟอกฆ่าเชื้อด้วยสารละลายคลอโรกซ์ที่ผสมสารลดแรงตึงผิว Tween 20 จำนวน 1 - 2 หยด โดยฟอก 2 ครั้ง

ครั้งที่ 1 ความเข้มข้น 10 % เป็นเวลา 5 นาที

ครั้งที่ 2 ความเข้มข้น 5 % เป็นเวลา 5 นาที

จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง ๆ ละ 1 - 2 นาที แล้วนำไปเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS เพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 45 วัน และนำตัวอย่างพืชทดลองไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.2.2 การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช

3.2.2.1 การเตรียมอาหาร

เตรียมอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่าย 16 สูตร โดยใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 30 - 20 - 10 ที่ปริมาตร 2 และ 3 g/L และน้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้น 2 % และ 3 % ร่วมกับวิตามินทางการค้า 2 ชนิด คือ M - 150 และ Red bull ที่ระดับความเข้มข้น 2 % และ 3 % แสดงดังตาราง 5 และเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร MS เพื่อเป็นชุดควบคุม บรรจุอาหารลงในขวดอาหารในปริมาณที่เท่า ๆ กัน แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

ตาราง 5 สูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่าย 16 สูตรจากปุ๋ยเคมี

สูตรอาหาร	Fertilizer	Sugar	วิตามินทางการค้า	
			วิตามิน	ปริมาตร
1	N 2 g/L	20 g/L	M - 150	20 ml/L
2	N 2 g/L	20 g/L	M - 150	30 ml/L
3	N 2 g/L	20 g/L	Red bull	20 ml/L
4	N 2 g/L	20 g/L	Red bull	30 ml/L
5	N 2 g/L	30 g/L	M - 150	20 ml/L

ตาราง 5 (ต่อ)

สูตรอาหาร	Fertilizer	Sugar	วิตามินทางการค้า	
			วิตามิน	ปริมาณ
6	N 2 g/L	30 g/L	M - 150	30 ml/L
7	N 2 g/L	30 g/L	Red bull	20 ml/L
8	N 2 g/L	30 g/L	Red bull	30 ml/L
9	N 3 g/L	20 g/L	M - 150	20 ml/L
10	N 3 g/L	20 g/L	M - 150	30 ml/L
11	N 3 g/L	20 g/L	Red bull	20 ml/L
12	N 3 g/L	20 g/L	Red bull	30 ml/L
13	N 3 g/L	30 g/L	M - 150	20 ml/L
14	N 3 g/L	30 g/L	M - 150	30 ml/L
15	N 3 g/L	30 g/L	Red bull	20 ml/L
16	N 3 g/L	30 g/L	Red bull	30 ml/L

3.2.2.2 การนำเมล็ดลงขวด

การนำเมล็ดลงขวดสามารถทำได้โดยการนำเมล็ดที่ฟอกฆ่าเชื้อด้วยสารเคมีที่ได้จากข้อ 3.2.1.2 มาทำการเพาะเลี้ยงโดยใช้เมล็ดพืชทดลอง 1 เมล็ดต่อขวด นำมาเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่เตรียมไว้ โดยแต่ละชุดการทดลองมี 10 ข้ว เพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยง เป็นเวลา 30 วัน บันทึกผลจำนวนการงอกของเมล็ด และอัตราการงอกของเมล็ด

3.2.3 การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช

3.2.3.1 การเตรียมอาหาร

เตรียมอาหารเพาะเมล็ดสูตรอย่างง่ายจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน สูตรสำหรับผักสลัด stock A และ B ของบริษัทไฮโดรแพลนท์ จำกัด โดยเติมน้ำกรองลงในบีกเกอร์ขนาด 1 L ประมาณ 300 mL แล้วเติมสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินความเข้มข้นอย่างละ 5 mL โดยเติมอาหาร stock A คนให้เข้ากันก่อน จากนั้นเติม stock B และเติมซูโครส 30 g/L ร่วมกับวิตามินทางการค้า 2 ชนิด คือ M - 150 และ Vitamix v 1000 ที่

ระดับความเข้มข้น 0.5 % และ 1 % แสดงดังตาราง 6 และเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร MS เพื่อเป็นชุดควบคุม บรรจุอาหารลงในขวดอาหารในปริมาณที่เท่า ๆ กัน แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

ตาราง 6 สูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่าย 5 สูตร จากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน

สูตรอาหาร	สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน	วิตามินทางการค้า	
		วิตามิน	ปริมาณ
MS	-	-	-
AB	สารละลายธาตุอาหาร stock A และ B	-	-
ABM5	สารละลายธาตุอาหาร stock A และ B	M - 150	5 ml/L
ABM10	สารละลายธาตุอาหาร stock A และ B	M - 150	10 ml/L
ABV5	สารละลายธาตุอาหาร stock A และ B	Vitamix v 1000	5 ml/L
ABV10	สารละลายธาตุอาหาร stock A และ B	Vitamix v 1000	10 ml/L

3.2.3.2 การนำเมล็ดและชิ้นส่วนปลอดเชื้อลงขวด

การนำเมล็ดและชิ้นส่วนปลอดเชื้อลงขวด สามารถทำได้โดยการนำเมล็ดที่ฟอกฆ่าเชื้อด้วยสารเคมีและชิ้นส่วนในสภาพปลอดเชื้อที่ได้จากข้อ 3.2.1.2 และ 3.2.1.3 มาทำการเพาะเลี้ยงโดยใช้เมล็ดพืชทดลอง 1 เมล็ดต่อขวด และใช้ชิ้นส่วนปลอดเชื้อจากชิ้นส่วนลำต้นพืชเนื้อเยื่อความยาว 1 เซนติเมตร 1 ชิ้นต่อขวด นำมาเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเนื้อเยื่อที่เตรียมไว้ โดยแต่ละชุดการทดลองมี 10 ข้ว เพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยง เป็นเวลา 30 วัน บันทึกผลจำนวนยอดจำนวนใบต่อยอด ความยาวลำต้น จำนวนราก และพัฒนาการของพืช

3.2.4 การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเพาะเมล็ดพืช

เปรียบเทียบอาหารเพาะเมล็ดสูตรอย่างง่ายที่ให้ผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืชจากการทดลอง 3.2.3 กับอาหารเพาะเมล็ดที่เตรียมจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินที่มาจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันเพิ่มเติมอีก 2 บริษัท สูตรอาหารแสดงดังตาราง 7 โดยทดสอบ

กับพืช 4 ชนิด ซึ่งแต่ละชุดการทดลองมี 10 ซ้ำ เพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยง เป็นเวลา 30 วัน บันทึกผลจำนวนยอด จำนวนใบต่อยอด ความยาวลำต้น จำนวนราก และพัฒนาการของพืช

ตาราง 7 สูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่าย 3 สูตร จากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน

สูตรอาหาร	สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน	ปริมาณ	
		Stock A	Stock B
AB1	บริษัท ไฮโดรแพลนท์ จำกัด	5 ml/L	5 ml/L
AB2	บริษัท How	5 ml/L	5 ml/L
AB3	บริษัท Hi Hydro	5 ml/L	5 ml/L

3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ (statistical analysis)

การทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) ซึ่งแต่ละชุดการทดลองมี 10 ซ้ำ และแต่ละชุดการทดลองทำซ้ำ 3 รอบ โดยแสดงผลการวิจัยเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) จากนั้นทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

การวิจัยเพื่อให้ได้มาซึ่งการพัฒนาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายต้นทุนต่ำสำหรับพืชบางชนิด ผู้วิจัยได้ดำเนินการโดยการศึกษาตามขอบวนการและขั้นตอนต่าง ๆ จนกระทั่งได้มาซึ่งสูตรอาหารและให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ได้ดังนี้

1. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช
2. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช
3. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเพาะเมล็ดพืช

1. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช

จากการศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช โดยทำการศึกษาในพืชทดลอง 10 ชนิด ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ พืชใบเลี้ยงเดี่ยว ได้แก่ ข้าวโพดหวาน พืชใบเลี้ยงคู่ ได้แก่ พืชเนื้อ ฝักสวนครัว ได้แก่ พริกจินดา กะเพราแดง พักทอง คื่นช่ายฮ่องกง และผักสลัด ได้แก่ กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค เรดคอส และบัตเตอร์เฮดเดลี ซึ่งในการเตรียมตัวอย่างพืชทดลองใช้วิธีการพอกฆ่าเชื้อเมล็ดด้วยสารเคมีเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เตรียมจากปุ๋ยเคมีสูตร 30 - 20 - 10 ที่ปริมาตร 2 และ 3 g/L และน้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้น 2 % และ 3 % ร่วมกับวิตามินทางการค้า 2 ชนิด คือ M - 150 และ Red bull ที่ระดับความเข้มข้น 2 % และ 3 % และอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมโดยเพาะเลี้ยงภายใต้อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน ให้ผลการทดลอง ดังนี้

ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีต่อการเพาะเมล็ดข้าวโพดหวานหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 8 พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ดได้ โดยผลการศึกษาพบว่า ข้าวโพดหวานที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมมีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างจากอาหารสูตร 1 - 11 และ อาหารสูตร 14 - 16 แต่แตกต่างจากอาหารสูตร 12 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 3 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 20 g/L ร่วมกับ Red bull ความเข้มข้น 20 ml/L และอาหารสูตร 13 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 3 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 20 g/L ร่วมกับ Red bull ความเข้มข้น 30 ml/L ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า อาหารสูตร MS มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 8.66 ± 1.33 เมล็ด และอัตราการงอกของเมล็ดเท่ากับ ร้อยละ 86.66

ตาราง 8 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของข้าวโพดหวานภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด
MS	$8.66^a \pm 1.33$	86.66
1	$8.33^{ab} \pm 5.84$	83.33
2	$5.66^{abcd} \pm 0.66$	56.66
3	$7.00^{abc} \pm 1.52$	70.00
4	$6.66^{abc} \pm 1.66$	66.66
5	$7.33^{abc} \pm 0.33$	73.33
6	$5.33^{abcd} \pm 0.33$	53.33
7	$6.00^{abcd} \pm 1.52$	60.00
8	$6.66^{abc} \pm 2.40$	66.66
9	$3.66^{abcd} \pm 2.40$	36.66
10	$2.66^{abcd} \pm 0.66$	26.66
11	$2.33^{bcd} \pm 0.66$	23.33
12	$0.66^d \pm 0.66$	6.66
13	$2.00^{cd} \pm 0.57$	20.00

ตาราง 8 (ต่อ)

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด
14	5.00 ^{abcd} ± 1.00	50.00
15	4.00 ^{abcd} ± 1.54	40.00
16	3.66 ^{abcd} ± 0.66	36.66

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย ± SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT

ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีต่อการเพาะเมล็ด พืชเนี่ยหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 9 พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ดได้ โดยผลการศึกษาพบว่า พืชเนี่ยที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมมีจำนวนการงอกของเมล็ดแตกต่างจากทุกสูตรอาหาร ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 0.50 ± 1.15 เมล็ด และอัตราการงอกของเมล็ดเท่ากับ ร้อยละ 50.00

ตาราง 9 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด ± ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของพืชเนี่ยภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด
MS	5.00 ^a ± 1.15	50.00
1	2.00 ^b ± 0.57	20.00
2	1.66 ^b ± 0.88	16.66
3	1.33 ^b ± 0.33	13.33
4	1.33 ^b ± 0.33	13.00
5	2.33 ^b ± 0.66	23.33
6	2.66 ^b ± 0.66	26.66

ตาราง 9 (ต่อ)

สูตรอาหาร	จำนวนการรงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการรงอกของเมล็ด
7	1.00 ^b ± 0.57	10.00
8	1.33 ^b ± 0.33	13.33
9	1.66 ^b ± 0.33	16.66
10	1.33 ^b ± 0.66	13.33
11	1.00 ^b ± 0.57	10.00
12	1.33 ^b ± 0.88	13.33
13	0.66 ^b ± 0.33	6.66
14	1.00 ^b ± 0.57	10.00
15	1.33 ^b ± 0.66	13.33
16	0.66 ^b ± 0.33	6.66

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย ± SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT

ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดตัวอย่างที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีต่อการเพาะเมล็ดพริกจินดาหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 10 พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ดได้ โดยผลการศึกษาพบว่า พริกจินดาเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมมีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างจากอาหารสูตร 15 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 3 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 30 g/L ร่วมกับ Red bull ความเข้มข้น 20 ml/L และอาหารสูตร 16 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 3 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 30 g/L ร่วมกับ Red bull ความเข้มข้น 30 ml/L ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า อาหารสูตร MS มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยที่ 4.66 ± 1.20 เมล็ด และมีอัตราการงอกของเมล็ดเท่ากับ ร้อยละ 46.66

ตาราง 10 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของพริกจินดาภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด
MS	$4.66^a \pm 1.20$	46.66
1	$1.66^c \pm 0.33$	16.66
2	$1.33^c \pm 0.88$	13.33
3	$1.00^c \pm 0.00$	10.00
4	$0.66^c \pm 0.33$	6.66
5	$1.00^c \pm 0.75$	10.00
6	$1.66^c \pm 0.66$	16.66
7	$1.33^c \pm 0.66$	13.33
8	$1.00^c \pm 0.00$	10.00
9	$2.66^{bc} \pm 3.33$	26.66
10	$0.66^c \pm 0.66$	6.66
11	$2.00^c \pm 0.00$	20.00
12	$1.33^c \pm 0.33$	13.33
13	$1.66^c \pm 0.33$	16.66
14	$1.33^c \pm 0.88$	13.33

ตาราง 10 (ต่อ)

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด
15	4.33 ^{ab} ± 0.33	43.33
16	4.00 ^{ab} ± 1.00	40.00

* ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย ± SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT

ผลการศึกษสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีต่อการเพาะเมล็ดกะเพราแดงหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 11 พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ดได้ โดยผลการศึกษาพบว่า กะเพราแดงที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมมีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างจากอาหารสูตร 6 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาตร 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาตร 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 30 ml/L ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า อาหารสูตร MS มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 4.00 ± 0.15 เมล็ด และมีอัตราการงอกของเมล็ดเท่ากับ ร้อยละ 40.00

ตาราง 11 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด ± ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของกะเพราแดงภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด
MS	4.00 ^a ± 0.15	40.00
1	2.00 ^{bc} ± 0.57	20.00
2	1.66 ^{bc} ± 0.88	16.66
3	1.33 ^{bc} ± 0.33	13.33
4	1.00 ^{bc} ± 0.57	10.00
5	2.33 ^{bc} ± 0.33	23.33
6	2.66 ^a ± 0.66	26.66

ตาราง 11 (ต่อ)

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด
7	1.00 ^{bc} ± 0.00	10.00
8	1.33 ^{bc} ± 0.88	13.33
9	2.00 ^{bc} ± 0.57	20.00
10	1.66 ^{bc} ± 0.33	16.66
11	1.33 ^{bc} ± 0.33	13.33
12	1.66 ^{bc} ± 0.66	16.66
13	0.66 ^c ± 0.33	6.66
14	1.00 ^{bc} ± 0.57	10.00
15	1.33 ^{bc} ± 0.33	13.33
16	0.66 ^c ± 0.33	6.66

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย ± SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT

ผลการศึกษสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีต่อการเพาะเมล็ด พักทองหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 12 พบว่า ทุกสูตรอาหาร สามารถชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ดได้ โดยผลการศึกษาพบว่า พักทองที่เพาะเลี้ยงบนอาหาร สูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมมีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างจากอาหารสูตร 5 โดยใช้ปุ๋ยเคมี ปริมาตร 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาตร 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 20 ml/L และอาหาร สูตร 6 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาตร 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาตร 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 30 ml/L ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า อาหารสูตร MS มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุด โดยมี ค่าเฉลี่ยที่ 36.66 ± 1.76 เมล็ด และมีอัตราการงอกของเมล็ดเท่ากับ ร้อยละ 36.00

ตาราง 12 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของฟักทองหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด
MS	36.66 ^a $\pm$ 1.76	36.66
1	1.66 ^b $\pm$ 0.33	16.66
2	1.33 ^b $\pm$ 0.33	13.33
3	1.00 ^b $\pm$ 0.57	10.00
4	0.66 ^b $\pm$ 0.33	6.66
5	2.00 ^{ab} $\pm$ 0.57	20.00
6	2.33 ^{ab} $\pm$ 0.33	23.33
7	1.66 ^b $\pm$ 0.66	13.33
8	0.66 ^b $\pm$ 0.66	6.66
9	1.00 ^b $\pm$ 0.00	10.00
10	0.66 ^b $\pm$ 0.66	6.66
11	1.33 ^b $\pm$ 0.33	13.33
12	0.66 ^b $\pm$ 0.33	6.66
13	0.66 ^b $\pm$ 0.33	6.66
14	1.00 ^b $\pm$ 0.66	10.00
15	0.66 ^b $\pm$ 0.66	6.66
16	1.00 ^b $\pm$ 0.00	10.00

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT

ผลการศึกษาสุตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีต่อการเพาะเมล็ด ค่น้ำฮองกงหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 13 พบว่า ทุกสูตรอาหาร สามารถชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ดได้ โดยผลการศึกษพบว่า ค่น้ำฮองกงที่เพาะเลี้ยงบน อาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมมีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างจากอาหารสูตร 1 โดยใช้ ปุ๋ยเคมีปริมาณ 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 20 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 20 ml/L อาหารสูตร 2 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 20 g/L ร่วมกับ M - 150 ความ เข้มข้น 30 ml/L อาหารสูตร 3 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 20 g/L ร่วมกับ Red bull ความเข้มข้น 20 ml/L อาหารสูตร 4 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 20 ml/L ร่วมกับ Red bull ความเข้มข้น 20 ml/L อาหารสูตร 5 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 20 ml/L อาหารสูตร 6 โดยใช้ปุ๋ยเคมี ปริมาณ 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 30 ml/L และอาหาร สูตร 8 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 30 g/L ร่วมกับ Red bull ความเข้มข้น 30 ml/L ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า อาหารสูตร MS มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุด โดยมี ค่าเฉลี่ยที่ 4.00 ± 1.15 เมล็ด และมีอัตราการงอกของเมล็ดเท่ากับ ร้อยละ 40.00

ตาราง 13 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐานของค่น้ำฮองกงภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด
MS	$4.00^a \pm 1.15$	40.00
1	$2.66^{abc} \pm 0.33$	26.66
2	$2.33^{abc} \pm 0.33$	23.33
3	$2.00^{abc} \pm 0.57$	20.00
4	$1.00^{abc} \pm 1.00$	20.00
5	$3.00^{ab} \pm 1.00$	30.00
6	$2.33^{abc} \pm 0.33$	23.33
7	$1.33^{bc} \pm 0.33$	13.33
8	$2.00^{abc} \pm 0.57$	20.00

ตาราง 13 (ต่อ)

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด
9	1.66 ^{bc} ± 0.66	16.66
10	0.66 ^c ± 0.33	10.00
11	1.00 ^{bc} ± 0.00	10.00
12	0.66 ^c ± 0.66	6.66
13	0.66 ^c ± 0.33	6.66
14	0.66 ^c ± 0.33	6.66
15	1.00 ^{bc} ± 0.57	10.00
16	0.66 ^c ± 0.33	6.66

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย ± SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT

ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีต่อการเพาะเมล็ดกรีนไค้หลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 14 พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ดได้ โดยผลการศึกษาพบว่า กรีนไค้ที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมมีจำนวนการงอกของเมล็ดแตกต่างจากทุกสูตรอาหาร ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 3.00 ± 1.15 เมล็ด และมีอัตราการงอกของเมล็ดเท่ากับ ร้อยละ 30.00

ตาราง 14 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของกรีนไค้คภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด
MS	$3.00^a \pm 1.15$	30.00
1	$1.00^b \pm 0.57$	10.00
2	$0.66^b \pm 0.33$	6.66
3	$1.00^b \pm 0.00$	10.00
4	$0.66^b \pm 0.33$	6.66
5	$1.33^b \pm 0.33$	13.33
6	$1.00^b \pm 0.57$	10.00
7	$0.33^b \pm 0.33$	3.33
8	$0.33^b \pm 0.33$	3.33
9	$0.33^b \pm 0.33$	3.33
10	$0.66^b \pm 0.33$	6.66
11	$1.00^b \pm 0.57$	10.00
12	$1.33^b \pm 0.66$	13.33
13	$0.66^b \pm 0.33$	6.66
14	$0.33^b \pm 0.33$	3.33
15	$1.00^b \pm 0.00$	10.00
16	$0.66^b \pm 0.33$	6.66

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT

ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีต่อการเพาะเมล็ด เรดโอ๊คหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 15 พบว่า ทุกสูตรอาหาร สามารถชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ดได้ โดยผลการศึกษาพบว่า เรดโอ๊คที่เพาะเลี้ยงบนอาหาร สูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมมีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างจากอาหารสูตร 4 โดยใช้ปุ๋ยเคมี ปริมาตร 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาตร 20 ml/L ร่วมกับ Red bull ความเข้มข้น 20 ml/L อาหาร สูตร 5 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาตร 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาตร 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 20 ml/L อาหารสูตร 6 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาตร 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาตร 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 30 ml/L และอาหารสูตร 15 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาตร 3 g/L น้ำตาลซูโครส ปริมาตร 30 g/L ร่วมกับ Red bull ความเข้มข้น 20 ml/L ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า อาหารสูตร MS มี จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 3.33 ± 0.88 เมล็ด และมีอัตราการงอกของ เมล็ดเท่ากับ ร้อยละ 33.33

ตาราง 15 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อน มาตรฐานของเรดโอ๊คภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด (% การงอกของเมล็ด)
MS	$3.33^a \pm 0.88$	33.33
1	$1.33^b \pm 0.00$	13.33
2	$0.66^b \pm 0.33$	6.66
3	$1.00^b \pm 0.57$	10.00
4	$1.66^{ab} \pm 0.33$	16.66
5	$1.66^{ab} \pm 0.33$	16.66
6	$2.00^{ab} \pm 0.57$	20.00
7	$1.00^b \pm 0.57$	10.00
8	$0.33^b \pm 0.33$	3.33
9	$0.66^b \pm 0.33$	6.66
10	$1.00^b \pm 0.57$	10.00
11	$1.33^b \pm 0.33$	13.33

ตาราง 15 (ต่อ)

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด
12	0.66 ^b ± 0.33	6.66
13	0.66 ^b ± 0.33	3.33
14	1.33 ^b ± 0.88	13.33
15	1.66 ^{ab} ± 0.88	16.66
16	1.33 ^b ± 0.33	13.33

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย ± SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT

ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีต่อการเพาะเมล็ดเรดคอสหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 16 พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ดได้ โดยผลการศึกษาพบว่า เรดคอสที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมมีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างจากอาหารสูตร 1 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 20 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 20 ml/L อาหารสูตร 2 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 20 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 30 ml/L อาหารสูตร 5 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 20 ml/L อาหารสูตร 6 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 30 ml/L อาหารสูตร 10 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 3 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 20 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 30 ml/L อาหารสูตร 11 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 3 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 20 g/L ร่วมกับ Red bull ความเข้มข้น 20 ml/L อาหารสูตร 13 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 3 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 20 ml/L อาหารสูตร 15 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 3 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 30 g/L ร่วมกับ Red bull ความเข้มข้น 20 ml/L และอาหารสูตร 16 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 3 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 30 g/L ร่วมกับ Red bull ความเข้มข้น 30 ml/L ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า อาหารสูตร MS มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 2.33 ± 0.88 เมล็ด และมีอัตราการงอกของเมล็ดเท่ากับ ร้อยละ 23.33

ตาราง 16 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของเรดคอสหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด
MS	2.33 ^a $\pm$ 0.88	23.33
1	1.00 ^{ab} $\pm$ 0.57	10.00
2	1.00 ^{ab} $\pm$ 0.00	10.00
3	0.66 ^b $\pm$ 0.33	6.66
4	0.66 ^b $\pm$ 0.33	6.66
5	1.33 ^{ab} $\pm$ 0.33	13.33
6	1.66 ^{ab} $\pm$ 0.57	16.66
7	0.33 ^b $\pm$ 0.33	3.33
8	0.33 ^b $\pm$ 0.33	3.33
9	0.33 ^b $\pm$ 0.33	3.33
10	1.00 ^{ab} $\pm$ 0.57	10.00
11	1.33 ^{ab} $\pm$ 0.33	13.33
12	0.66 ^b $\pm$ 0.33	6.66
13	1.33 ^{ab} $\pm$ 0.33	13.33
14	0.33 ^b $\pm$ 0.33	3.33
15	1.33 ^{ab} $\pm$ 0.33	13.33
16	1.00 ^{ab} $\pm$ 0.33	10.00

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT

ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีต่อการเพาะเมล็ดบัตเตอร์เฮดเดลีหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 17 พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการงอกของเมล็ดได้ โดยผลการศึกษาพบว่า บัตเตอร์เฮดเดลีที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมมีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างจากอาหารสูตร 1 - 8 อาหารสูตร 11 - 13 และอาหารสูตร 15 แต่แตกต่างจากอาหารสูตร 9 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 3 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 20 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 20 ml/L อาหารสูตร 10 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 3 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 20 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 30 ml/L อาหารสูตร 14 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 3 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 30 ml/L และอาหารสูตร 16 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 3 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 30 g/L ร่วมกับ Red bull ความเข้มข้น 30 ml/L ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 2.00 ± 0.57 เมล็ด และมีอัตราการงอกของเมล็ดเท่ากับ ร้อยละ 20.00

ตาราง 17 จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และร้อยละการงอกของเมล็ด $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของบัตเตอร์เฮดเดลีจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด
MS	$2.00^a \pm 0.57$	20.00
1	$1.00^{ab} \pm 0.57$	10.00
2	$0.66^{ab} \pm 0.33$	6.66
3	$1.00^{ab} \pm 0.00$	10.00
4	$0.66^{ab} \pm 0.33$	6.66
5	$1.33^{ab} \pm 0.33$	13.33
6	$1.00^{ab} \pm 0.57$	10.00
7	$0.66^{ab} \pm 0.66$	6.66
8	$1.00^{ab} \pm 0.33$	10.00
9	$0.33^b \pm 0.33$	33.33
10	$0.33^b \pm 0.33$	33.33
11	$0.66^{ab} \pm 0.33$	6.66

ตาราง 17 (ต่อ)

สูตรอาหาร	จำนวนการงอกของเมล็ด (เมล็ด)	ร้อยละการงอกของเมล็ด
12	1.00 ^{ab} ± 0.57	10.00
13	1.33 ^{ab} ± 0.33	13.33
14	0.33 ^b ± 0.33	3.33
15	0.66 ^{ab} ± 0.33	6.66
16	0.33 ^b ± 0.33	3.33

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย ± SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT

2. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช

จากการศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช โดยทำการศึกษาในพืชทดลอง 9 ชนิด ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ พืชใบเลี้ยงเดี่ยว ได้แก่ ข้าวโพดหวาน พืชใบเลี้ยงคู่ ได้แก่ พืชเนื้อ ฝักสวนครัว ได้แก่ พริกจินดา กะเพราแดง พักทอง คื่นช่ายฮ่องกง และผักสลัด ได้แก่ กรีนไคค เรดไคค และเรดคอส ซึ่งในการเตรียมตัวอย่างพืชทดลองมีพืช 9 ชนิด ใช้วิธีการพอกฆ่าเชื้อเมล็ดด้วยสารเคมี และมีพืช 1 ชนิด คือ พืชเนื้อ ที่เตรียมตัวอย่างพืชทดลองโดยการใช้ชิ้นส่วนปลอดเชื้อ เพาะเลี้ยงบนอาหารที่เตรียมจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้า 2 ชนิด คือ M - 150 และ Vitamix v 1000 ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 % และ 1 % และอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุม โดยเพาะเลี้ยงภายใต้อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน ให้ผลการทดลอง ดังนี้

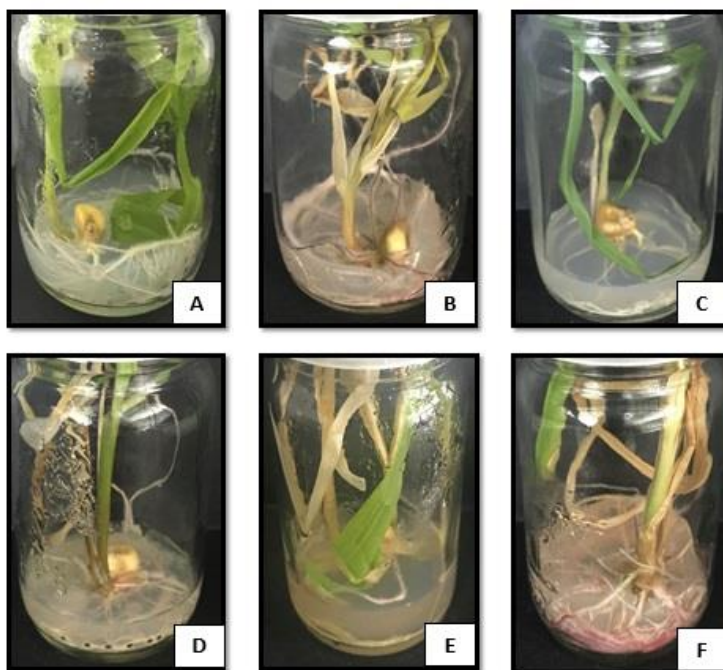
ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำต่อการเพาะเมล็ดข้าวโพดหวานหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 18 พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ (ภาพประกอบ 2) โดยผลการศึกษาพบว่า ข้าวโพดหวานที่เพาะเลี้ยงในทุกสูตรอาหารชักนำให้เกิดจำนวนยอดได้ไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) อาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอดมากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) โดยมี

จำนวนใบต่อยอดเฉลี่ยที่ 6.42 ± 0.29 ใบต่อยอด ข้าวโพดหวานที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB ชักทำให้เกิดความยาวลำต้นมากกว่าอาหารสูตร MS และอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) โดยมีความยาวลำต้นเฉลี่ยที่ 7.94 ± 0.38 เซนติเมตร และยังพบว่า ข้าวโพดหวานที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร ABV5 โดยใช้สารละลายธาตุอาหาร stock A และ B ร่วมกับ Vitamix v 1000 ความเข้มข้น 5 ml/L ชักทำให้เกิดจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตร MS และอาหารสูตรอื่น ๆ เช่นเดียวกัน ($p \leq 0.05$) โดยมีจำนวนรากเฉลี่ยที่ 20.28 ± 1.53 รากต่อต้น

ตาราง 18 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของข้าวโพดหวานภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนยอด (ยอดต่อชิ้น เนื้อเยื่อ)	จำนวนใบ (ใบต่อยอด)	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	จำนวนราก (รากต่อต้น)
MS	$1.00^a \pm 0.00$	$6.42^a \pm 0.29$	$7.40^a \pm 0.36$	$15.21^b \pm 1.72$
AB	$1.00^a \pm 0.00$	$6.12^{ab} \pm 0.31$	$7.94^a \pm 0.38$	$17.62^{ab} \pm 1.32$
ABM5	$1.00^a \pm 0.00$	$5.23^{bc} \pm 0.33$	$6.16^b \pm 0.23$	$18.61^{ab} \pm 1.28$
ABM10	$1.00^a \pm 0.00$	$4.50^c \pm 0.24$	$6.20^b \pm 0.17$	$19.25^{ab} \pm 0.71$
ABV5	$1.00^a \pm 0.00$	$4.71^c \pm 0.33$	$6.55^b \pm 0.14$	$20.28^a \pm 1.53$
ABV10	$1.00^a \pm 0.00$	$4.90^c \pm 0.42$	$6.45^b \pm 0.29$	$16.90^{ab} \pm 1.32$

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT



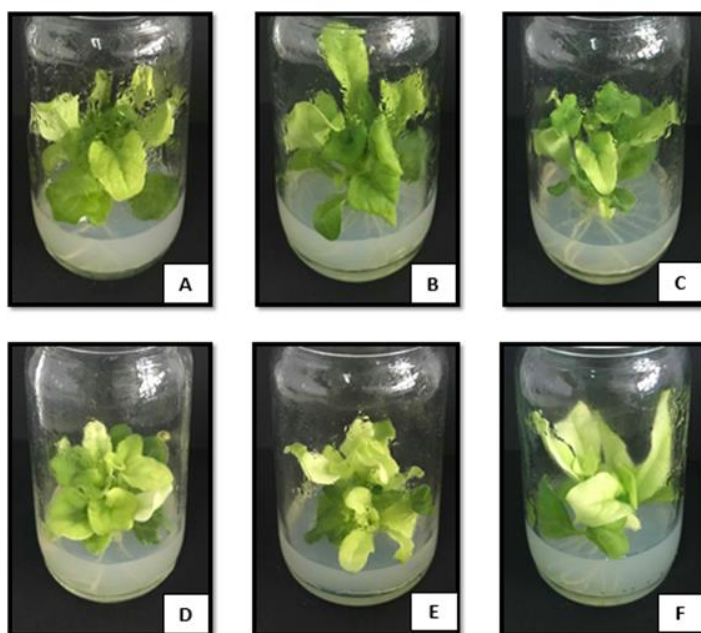
ภาพประกอบ 2 เมล็ดข้าวโพดหวานภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10

ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ พืชเนี่ยหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 19 พบว่า ทุกสูตรอาหาร สามารถชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ (ภาพประกอบ 3) โดยผลการศึกษาพบว่า พืชเนี่ยที่ เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอดมากกว่าอาหารสูตร MS และอาหาร สูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) โดยมีจำนวนใบต่อยอดเฉลี่ยที่ 23.90 ± 2.29 ใบต่อยอด และยังพบว่า พืชเนี่ยที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ชักนำให้เกิดความยาวลำต้นและจำนวนรากมากกว่าอาหาร สูตร MS และอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 2.60 ± 0.26 เซนติเมตร และ 9.30 ± 1.47 รากต่อต้น ตามลำดับ

ตาราง 19 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของพืชเนี่ยภายใต้การเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และอาหารเพาะเลี้ยงเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนยอด (ยอดต่อชิ้น เนื้อเยื่อ)	จำนวนใบ (ใบต่อยอด)	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	จำนวนราก (รากต่อต้น)
MS	$1.92^a \pm 0.21$	$20.92^{ab} \pm 2.52$	$2.60^a \pm 0.26$	$9.30^a \pm 1.47$
AB	$1.45^{ab} \pm 0.20$	$23.90^a \pm 2.29$	$2.16^a \pm 0.23$	$3.72^b \pm 0.55$
ABM5	$1.70^a \pm 0.21$	$21.60^{ab} \pm 2.00$	$2.01^a \pm 0.14$	$2.80^b \pm 0.38$
ABM10	$1.45^{ab} \pm 0.20$	$23.27^a \pm 2.21$	$2.45^a \pm 0.18$	$3.00^b \pm 0.70$
ABV5	$1.37^{ab} \pm 0.18$	$21.12^{ab} \pm 1.40$	$2.33^a \pm 0.13$	$4.25^b \pm 0.99$
ABV10	$1.00^b \pm 0.00$	$14.50^b \pm 1.11$	$2.18^a \pm 0.29$	$3.50^b \pm 0.80$

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT



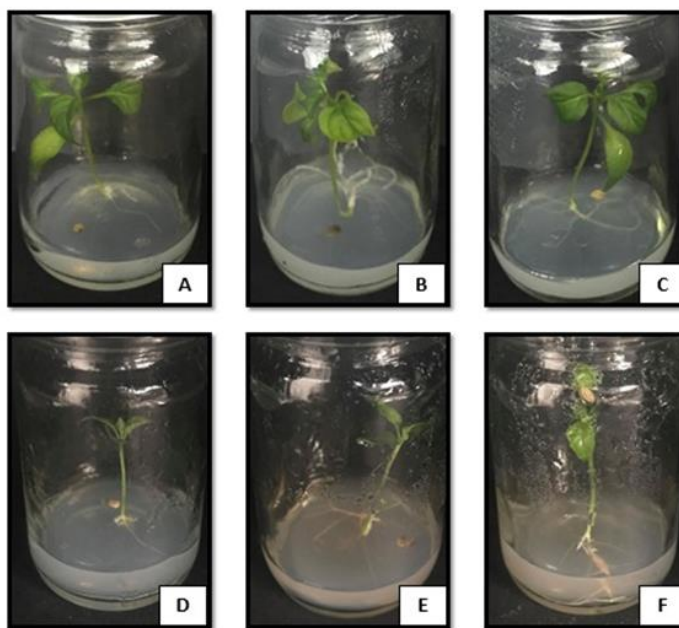
ภาพประกอบ 3 ต้นพืชเนียงภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10

ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำต่อการเพาะเมล็ดพริกจินดาหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 20 พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ (ภาพประกอบ 4) โดยผลการศึกษาพบว่า พริกจินดาที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ชักนำให้เกิดจำนวนยอด จำนวนใบต่อยอด และความยาวลำต้นมากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 1.72 ± 0.14 ยอด 4.00 ± 0.58 ใบต่อยอด และ 2.83 ± 0.24 เซนติเมตร ตามลำดับ และยังพบว่า พริกจินดาที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร ABV10 ชักนำให้เกิดจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตร MS และอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) โดยมีจำนวนรากเฉลี่ยที่ 4.30 ± 1.30 รากต่อต้น

ตาราง 20 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของพริกจินดาภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนยอด (ยอดต่อชิ้น เนื้อเยื่อ)	จำนวนใบ (ใบต่อยอด)	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	จำนวนราก (รากต่อต้น)
MS	$1.72^a \pm 0.14$	$4.00^a \pm 0.58$	$2.83^a \pm 0.24$	$2.90^{ab} \pm 0.47$
AB	$1.00^b \pm 0.00$	$2.00^b \pm 0.00$	$1.33^c \pm 0.23$	$2.00^b \pm 0.26$
ABM5	$1.23^b \pm 0.23$	$1.92^b \pm 0.07$	$1.39^c \pm 0.25$	$2.21^b \pm 0.27$
ABM10	$1.15^b \pm 0.10$	$2.46^b \pm 0.24$	$2.00^{ab} \pm 0.31$	$2.21^b \pm 0.24$
ABV5	$1.13^b \pm 0.11$	$2.00^b \pm 0.00$	$1.87^{bc} \pm 0.34$	$3.08^{ab} \pm 0.63$
ABV10	$1.40^{ab} \pm 0.16$	$2.50^b \pm 0.34$	$2.65^{ab} \pm 0.36$	$4.30^a \pm 1.30$

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT



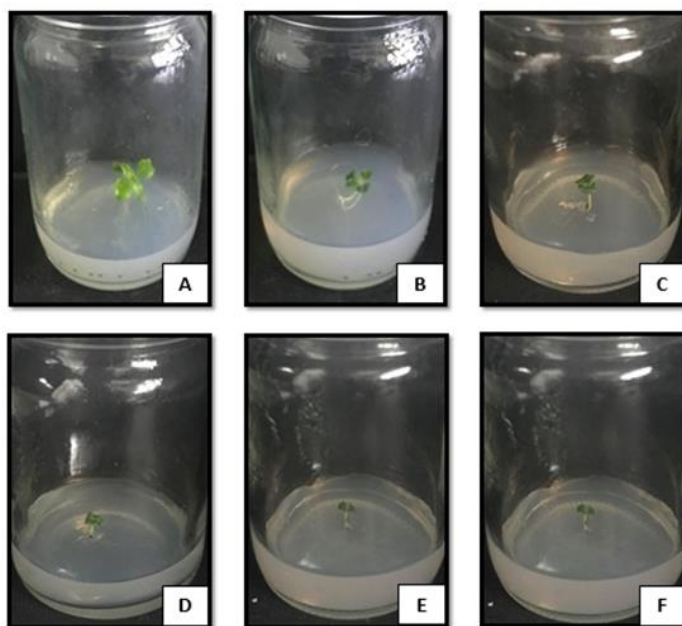
ภาพประกอบ 4 เมล็ดพริกจินดาภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10

ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำต่อการเพาะเมล็ดกะเพราแดงหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 21 พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ (ภาพประกอบ 5) โดยผลการศึกษาพบว่า กะเพราแดงที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด และความยาวลำต้นมากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 3.36 ± 0.27 ใบต่อยอด และ 1.06 ± 0.05 เซนติเมตร ตามลำดับ และยังพบว่า กะเพราแดงที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB ชักนำให้เกิดจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตร MS และอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 1.89 ± 0.26 รากต่อต้น

ตาราง 21 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของกะเพราแดงภายใต้การเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนยอด (ยอดต่อชิ้น เนื้อเยื่อ)	จำนวนใบ (ใบต่อยอด)	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	จำนวนราก (รากต่อต้น)
MS	1.31 ^a $\pm$ 0.23	3.36 ^a $\pm$ 0.27	1.06 ^a $\pm$ 0.05	1.59 ^{ab} $\pm$ 0.19
AB	1.47 ^a $\pm$ 0.36	3.26 ^a $\pm$ 0.31	0.61 ^b $\pm$ 0.06	1.89 ^a $\pm$ 0.26
ABM5	1.00 ^a $\pm$ 0.00	2.80 ^{ab} $\pm$ 0.22	0.58 ^b $\pm$ 0.04	1.60 ^{ab} $\pm$ 0.11
ABM10	1.00 ^a $\pm$ 0.00	2.80 ^{ab} $\pm$ 0.26	0.48 ^b $\pm$ 0.27	1.53 ^{ab} $\pm$ 0.19
ABV5	1.00 ^a $\pm$ 0.00	2.23 ^b $\pm$ 0.16	0.71 ^b $\pm$ 0.37	1.29 ^b $\pm$ 0.14
ABV10	1.21 ^a $\pm$ 0.16	2.22 ^b $\pm$ 0.14	0.39 ^b $\pm$ 0.04	1.15 ^b $\pm$ 0.08

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT



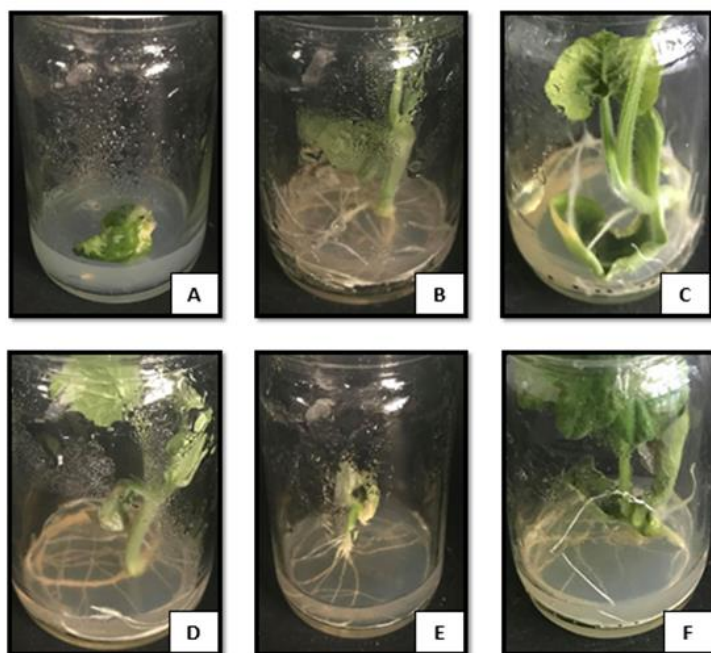
ภาพประกอบ 5 เมล็ดกะเพราแดงภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10

ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำต่อการเพาะเมล็ดผักทอง หลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 22 พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ (ภาพประกอบ 6) โดยผลการศึกษาพบว่า ผักทองที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร ABV10 ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอดมากกว่าอาหารสูตร MS และอาหารสูตรอื่นๆ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 3.71 ± 0.19 ใบต่อยอด และยังพบว่า ผักทองที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร ABM5 ชักนำให้เกิดความยาวลำต้นและจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตร MS และอาหารสูตรอื่นๆ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกัน โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 2.10 ± 0.33 เซนติเมตร และ 4.58 ± 0.91 รากต่อต้น ตามลำดับ

ตาราง 22 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของฟักทองภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนยอด (ยอดต่อชิ้น เนื้อเยื่อ)	จำนวนใบ (ใบต่อยอด)	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	จำนวนราก (รากต่อต้น)
MS	1.00 ^a $\pm$ 0.00	2.00 ^b $\pm$ 0.00	0.00 ^b $\pm$ 0.00	0.00 ^b $\pm$ 0.00
AB	0.75 ^a $\pm$ 0.13	1.50 ^b $\pm$ 0.26	1.40 ^a $\pm$ 0.54	2.58 ^a $\pm$ 0.87
ABM5	1.00 ^a $\pm$ 0.00	3.10 ^{ab} $\pm$ 0.29	2.10 ^a $\pm$ 0.33	4.58 ^a $\pm$ 0.91
ABM10	1.00 ^a $\pm$ 0.00	2.00 ^b $\pm$ 0.00	1.62 ^a $\pm$ 0.23	3.40 ^a $\pm$ 0.50
ABV5	0.85 ^a $\pm$ 0.08	2.50 ^{bc} $\pm$ 0.38	0.38 ^b $\pm$ 0.17	2.85 ^a $\pm$ 0.54
ABV10	0.71 ^a $\pm$ 0.12	3.71 ^a $\pm$ 0.19	1.61 ^a $\pm$ 0.25	4.07 ^a $\pm$ 0.47

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT



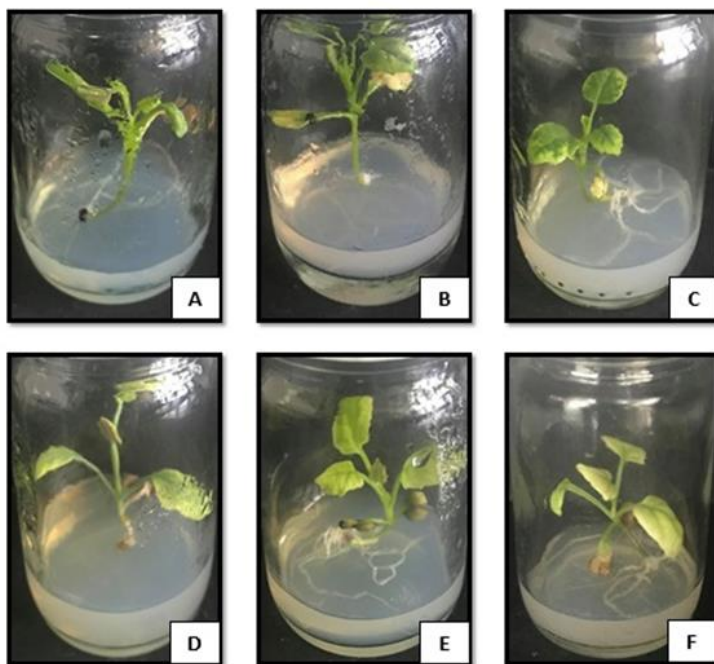
ภาพประกอบ 6 เมล็ดผักของภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10

ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำต่อการเพาะเมล็ดคะน้าฮ่องกงหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 23 พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ (ภาพประกอบ 7) โดยผลการศึกษาพบว่า คะน้าฮ่องกงที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร ABV5 ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอดมากกว่าอาหารสูตร MS และอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 5.50 ± 0.18 ใบต่อยอด และพบว่า คะน้าฮ่องกงที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร ABM10 ชักนำให้เกิดความยาวลำต้นมากกว่าอาหารสูตร MS และอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกัน โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 1.94 ± 0.19 เซนติเมตร

ตาราง 23 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของคะแนนอ้างอิงภายหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนยอด (ยอดต่อชิ้น เนื้อเยื่อ)	จำนวนใบ (ใบต่อยอด)	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	จำนวนราก (รากต่อต้น)
MS	1.00 ^a $\pm$ 0.00	4.30 ^b $\pm$ 0.21	1.51 ^{ab} $\pm$ 0.19	4.15 ^a $\pm$ 0.50
AB	1.00 ^a $\pm$ 0.00	3.80 ^b $\pm$ 0.35	1.82 ^a $\pm$ 0.15	3.90 ^a $\pm$ 0.61
ABM5	1.00 ^a $\pm$ 0.00	3.72 ^b $\pm$ 0.27	1.75 ^a $\pm$ 0.16	4.05 ^a $\pm$ 0.61
ABM10	1.00 ^a $\pm$ 0.00	4.57 ^{ab} $\pm$ 0.38	1.94 ^{ab} $\pm$ 0.19	4.38 ^a $\pm$ 0.47
ABV5	1.00 ^a $\pm$ 0.00	5.50 ^a $\pm$ 0.18	1.18 ^b $\pm$ 0.13	5.56 ^a $\pm$ 0.87
ABV10	1.00 ^a $\pm$ 0.00	4.18 ^b $\pm$ 0.45	1.50 ^{ab} $\pm$ 0.11	4.62 ^a $\pm$ 1.03

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT



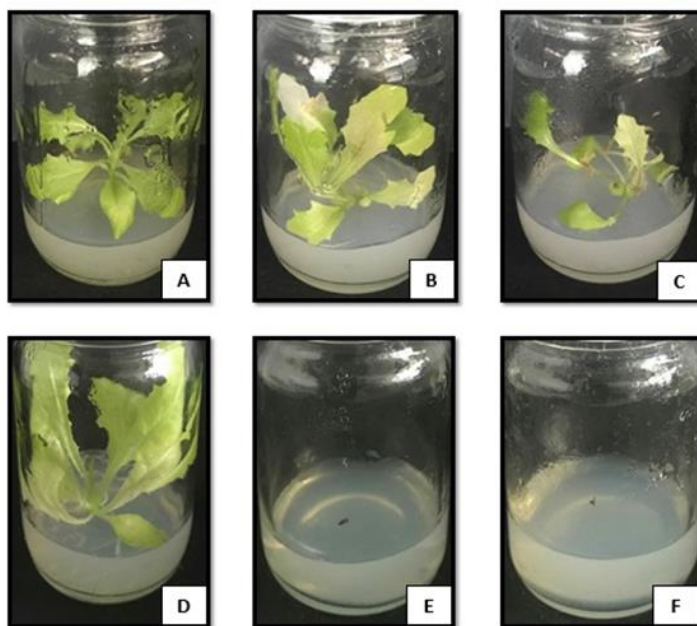
ภาพประกอบ 7 เมล็ดค่น้ำฮองกงหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10

ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำต่อการเพาะเลี้ยงเมล็ดกรีนโด้หลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 24 พบว่า สูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ (ภาพประกอบ 8) โดยผลการศึกษาพบว่า กรีนโด้ที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร ABM10 ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด ความยาวลำต้น และจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตร MS และอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 5.14 ± 1.56 ใบต่อยอด 2.11 ± 0.31 เซนติเมตร และ 5.57 ± 3.25 รากต่อต้น ตามลำดับ

ตาราง 24 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของกรีนโฮคภายใต้การเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนยอด (ยอดต่อชิ้น เนื้อเยื่อ)	จำนวนใบ (ใบต่อยอด)	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	จำนวนราก (รากต่อต้น)
MS	$1.00^a \pm 0.00$	$5.00^a \pm 1.29$	$1.85^a \pm 0.31$	$1.50^{ab} \pm 0.50$
AB	$1.00^a \pm 0.00$	$3.33^{ab} \pm 0.66$	$1.86^a \pm 0.19$	$2.33^{ab} \pm 0.42$
ABM5	$1.00^a \pm 0.00$	$2.66^b \pm 0.42$	$1.61^a \pm 0.24$	$2.66^{ab} \pm 0.42$
ABM10	$1.00^a \pm 0.00$	$5.14^a \pm 1.56$	$2.11^a \pm 0.31$	$5.57^a \pm 3.25$
ABV5	$0.00^a \pm 0.00$	$0.00^c \pm 0.00$	$0.00^b \pm 0.00$	$0.00^b \pm 0.00$
ABV10	$0.00^a \pm 0.00$	$0.00^c \pm 0.00$	$0.00^b \pm 0.00$	$0.00^b \pm 0.00$

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT



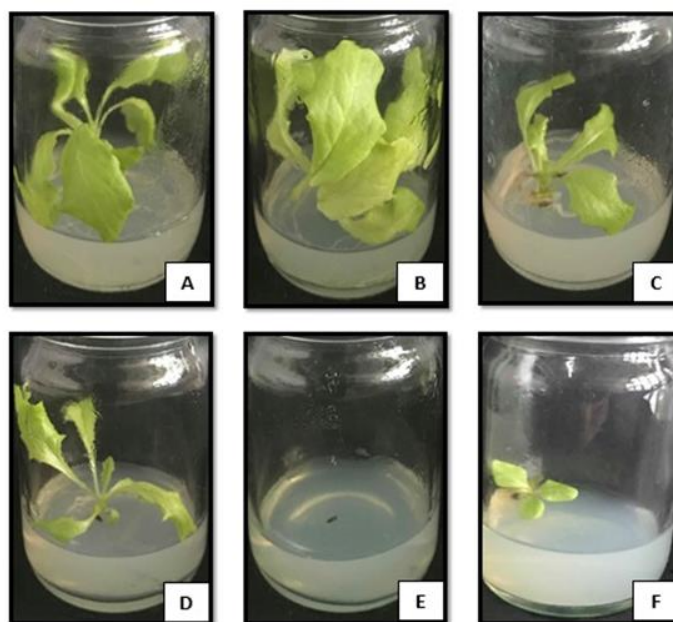
ภาพประกอบ 8 เมล็ดกรีนไคคหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10

ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำต่อการเพาะเมล็ดเรดไคค หลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 25 พบว่า สูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ (ภาพประกอบ 9) โดยผลการศึกษาพบว่า เรดไคคที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด ความยาวลำต้น และจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตร MS และอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 6.10 ± 1.20 ใบต่อยอด 2.18 ± 0.20 เซนติเมตร และ 2.25 ± 0.59 รากต่อต้น ตามลำดับ

ตาราง 25 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของเรดโอ๊คภายใต้การเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนยอด (ยอดต่อชิ้น เนื้อเยื่อ)	จำนวนใบ (ใบต่อยอด)	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	จำนวนราก (รากต่อต้น)
MS	1.00 ^a $\pm$ 0.00	4.85 ^{ab} $\pm$ 0.96	1.95 ^{ab} $\pm$ 0.28	2.00 ^a $\pm$ 0.43
AB	1.00 ^a $\pm$ 0.00	6.10 ^a $\pm$ 1.20	2.18 ^a $\pm$ 0.20	2.25 ^a $\pm$ 0.59
ABM5	1.00 ^a $\pm$ 0.00	3.10 ^{ab} $\pm$ 0.54	2.06 ^{ab} $\pm$ 0.09	1.66 ^a $\pm$ 0.21
ABM10	1.00 ^a $\pm$ 0.00	4.50 ^{ab} $\pm$ 1.45	1.82 ^{ab} $\pm$ 0.25	1.62 ^a $\pm$ 0.26
ABV5	0.00 ^a $\pm$ 0.00	0.00 ^c $\pm$ 0.00	0.00 ^c $\pm$ 0.00	0.00 ^a $\pm$ 0.00
ABV10	1.00 ^a $\pm$ 0.00	2.40 ^b $\pm$ 0.40	1.40 ^b $\pm$ 0.15	2.00 ^a $\pm$ 0.31

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT



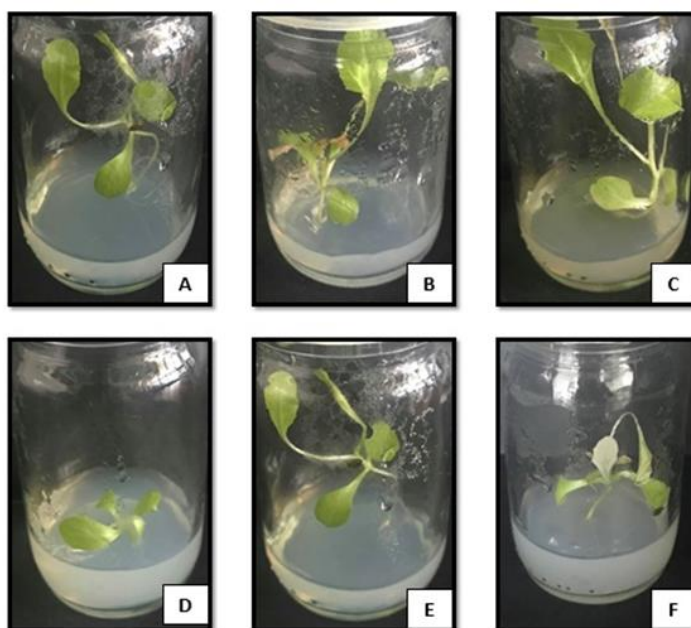
ภาพประกอบ 9 เมล็ดเรดโอ๊คหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10

ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดงาที่มีต้นทุนต่ำต่อการเพาะเมล็ดเรดคอสดังกล่าวจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 26 พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ (ภาพประกอบ 10) โดยผลการศึกษาพบว่า เรดคอสดที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด และความยาวลำต้นมากกว่าอาหารสูตร MS และอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 4.38 ± 0.50 ใบต่อต้น และ 2.37 ± 0.18 เซนติเมตร ตามลำดับ

ตาราง 26 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของเรดคอสภายใต้การเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS และอาหารเพาะเรดคอสอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนยอด (ยอดต่อชิ้น เนื้อเยื่อ)	จำนวนใบ (ใบต่อยอด)	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	จำนวนราก (รากต่อต้น)
MS	1.00 ^a $\pm$ 0.00	3.73 ^{ab} $\pm$ 0.38	2.24 ^{ab} $\pm$ 0.18	2.66 ^a $\pm$ 0.31
AB	1.00 ^a $\pm$ 0.00	4.38 ^a $\pm$ 0.50	2.37 ^a $\pm$ 0.18	3.07 ^a $\pm$ 0.53
ABM5	1.00 ^a $\pm$ 0.00	2.88 ^{bc} $\pm$ 0.28	1.93 ^{ab} $\pm$ 0.18	2.47 ^a $\pm$ 0.31
ABM10	1.00 ^a $\pm$ 0.00	2.43 ^c $\pm$ 0.24	1.65 ^b $\pm$ 0.19 ^b	2.43 ^a $\pm$ 0.43
ABV5	1.00 ^a $\pm$ 0.00	2.57 ^c $\pm$ 0.30	2.06 ^{ab} $\pm$ 0.29	3.21 ^a $\pm$ 0.75
ABV10	1.00 ^a $\pm$ 0.00	2.85 ^{ab} $\pm$ 0.39	1.77 ^{ab} $\pm$ 0.20	2.71 ^a $\pm$ 0.33

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT



ภาพประกอบ 10 เมล็ดเรดคอสหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร MS B: อาหารสูตร AB C: อาหารสูตร ABM5 D: อาหารสูตร ABM10 E: อาหารสูตร ABV5 F: อาหารสูตร ABV10

3. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเพาะเมล็ดพืช

จากการเปรียบเทียบอาหารเพาะเมล็ดสูตรอย่างง่ายที่ให้ผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืชจากการทดลอง 3.2.3 กับอาหารเพาะเมล็ดสูตรที่เตรียมจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินที่มาจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันเพิ่มเติมอีก 2 บริษัท โดยเพาะเลี้ยงพืชบนอาหารแข็ง 3 ชนิด ได้แก่ อาหารสูตร AB1 อาหารสูตร AB2 และอาหารสูตร AB3 ทำการทดสอบกับพืช 4 ชนิด คือ ข้าวโพดหวาน พืชเนย เรดโอ๊ค และคะน้าฮ่องกง โดยเพาะเลี้ยงภายใต้อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน ให้ผลการทดลอง ดังนี้

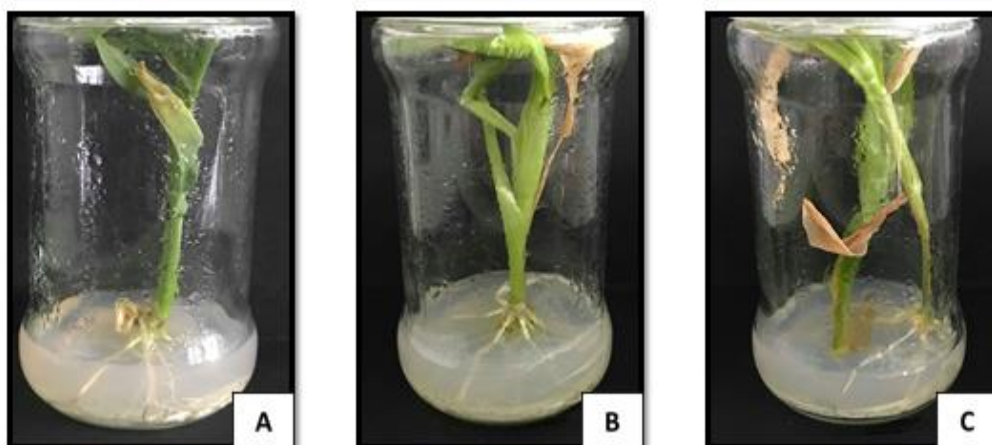
ผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเพาะเมล็ดข้าวโพดหวานหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 27 พบว่าทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ (ภาพประกอบ 11) โดยผลการศึกษาพบว่าข้าวโพดหวานที่เพาะเลี้ยงในทุกสูตรอาหารชักนำให้เกิดจำนวนยอดได้ไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ข้าวโพดหวานที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB1 ซึ่งเป็นชุดควบคุมชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอดและความยาวลำต้นแตกต่างจากอาหารสูตร AB3 แต่ไม่แตกต่างจากอาหารสูตร AB2 ($p \leq 0.05$)

และข้าวโพดหวานที่เพาะเลี้ยงในทุกสูตรอาหารชักนำให้เกิดจำนวนรากแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า อาหารสูตร AB1 ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด ความยาวลำต้น และจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 5.24 ± 0.13 ใบต่อยอด 6.14 ± 0.17 เซนติเมตร และ 17.44 ± 0.80 รากต่อต้น ตามลำดับ

ตาราง 27 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของข้าวโพดหวานหลังการเพาะเลี้ยงบนอาหารเพาะเมล็ดด้อย่างง่ายที่มีต้นพันธุ์จากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน 3 บริษัท เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนยอด (ยอดต่อชิ้น เนื้อเยื่อ)	จำนวนใบ (ใบต่อยอด)	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	จำนวนราก (รากต่อต้น)
AB1	$1.00^a \pm 0.00$	$5.24^a \pm 0.13$	$6.14^a \pm 0.17$	$17.44^a \pm 0.80$
AB2	$1.00^a \pm 0.00$	$5.12^a \pm 0.13$	$5.97^{ab} \pm 0.25$	$15.12^b \pm 0.54$
AB3	$1.00^a \pm 0.00$	$4.55^b \pm 0.26$	$5.29^b \pm 0.39$	$12.65^c \pm 0.75$

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT



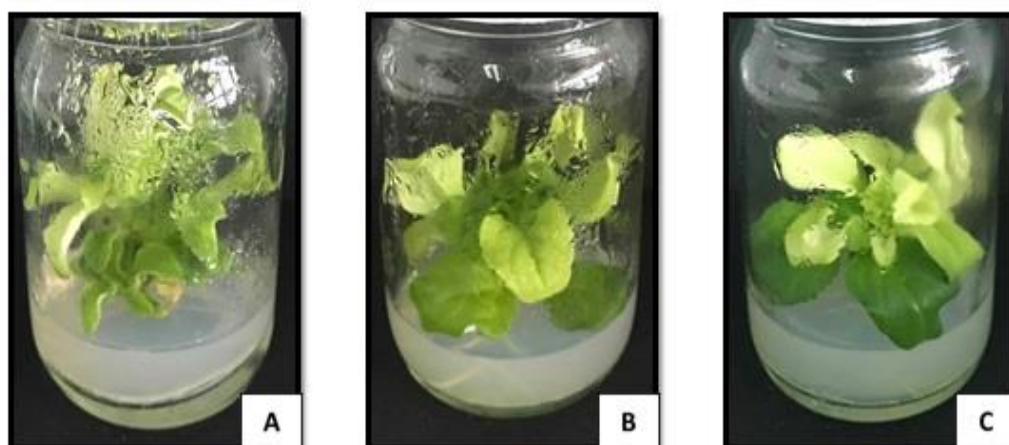
ภาพประกอบ 11 เมล็ดข้าวโพดหวานหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร AB1
B: อาหารสูตร AB2 C: อาหารสูตร AB3

ผลการศึกษารูปร่างอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเนี่ยหลังจากการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 28 พบว่าทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ (ภาพประกอบ 12) โดยผลการศึกษาพบว่าพืชเนี่ยที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB1 ซึ่งเป็นชุดควบคุมชักนำให้เกิดจำนวนยอดและจำนวนใบต่อยอดแตกต่างจากอาหารสูตร AB2 และอาหารสูตร AB3 ($p \leq 0.05$) อาหารสูตร AB2 ชักนำให้เกิดความยาวลำต้นมากกว่าอาหารสูตร AB1 และอาหารสูตร AB3 ($p \leq 0.05$) และพบว่า ทุกสูตรอาหารชักนำให้เกิดจำนวนรากไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า อาหารสูตร AB1 ชักนำให้เกิดจำนวนยอด จำนวนใบต่อยอด และจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 1.88 ± 0.13 ยอดต่อชิ้นเนื้อเยื่อ 30.12 ± 1.67 ใบต่อยอด และ 14.96 ± 0.80 รากต่อต้นตามลำดับ

ตาราง 28 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของพืชเนี่ยหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน 3 บริษัท เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนยอด (ยอดต่อชิ้น เนื้อเยื่อ)	จำนวนใบ (ใบต่อยอด)	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	จำนวนราก (รากต่อต้น)
AB1	$1.88^a \pm 0.13$	$30.12^a \pm 1.67$	$2.12^a \pm 0.13$	$14.96^a \pm 0.80$
AB2	$1.42^b \pm 0.09$	$25.10^b \pm 1.25$	$2.21^a \pm 0.18$	$13.85^a \pm 1.05$
AB3	$1.40^b \pm 0.10$	$23.50^b \pm 1.99$	$1.63^b \pm 0.10$	$14.54^a \pm 1.40$

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT



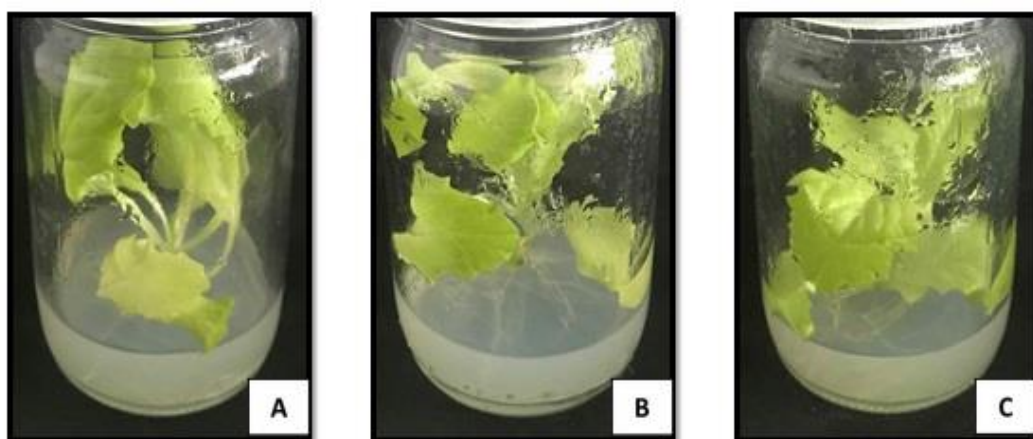
ภาพประกอบ 12 ต้นพืชเนี่ยหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร AB1 B: อาหารสูตร AB2 C: อาหารสูตร AB3

ผลการศึกษาสุตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเพาะเมล็ดเรดโอ๊คหลังการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 29 พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ (ภาพประกอบ 13) โดยผลการศึกษาพบว่า เรดโอ๊คที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB2 ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอดไม่แตกต่างจากอาหารสูตร AB1 และอาหารสูตร AB3 ($p \leq 0.05$) อาหารสูตร AB1 ซึ่งเป็นชุดควบคุมชักนำให้เกิดความยาวลำต้นไม่แตกต่างจากอาหารสูตร AB2 และอาหารสูตร AB3 ($p \leq 0.05$) และอาหารสูตร AB2 ชักนำให้เกิดจำนวนรากไม่แตกต่างจากอาหารสูตร AB1 แต่แตกต่างจากอาหารสูตร AB3 ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า อาหารสูตร AB2 ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด และจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 6.70 ± 0.39 ใบต่อยอด และ 3.95 ± 0.51 รากต่อต้น ตามลำดับ

ตาราง 29 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของเรดโอ๊คหลังการเพาะเลี้ยงบนอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม้ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน 3 บริษัท เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนยอด (ยอดต่อชิ้น เนื้อเยื่อ)	จำนวนใบ (ใบต่อยอด)	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	จำนวนราก (รากต่อต้น)
AB1	$1.00^a \pm 0.00$	$6.20^a \pm 0.32$	$1.22^a \pm 0.11$	$3.15^{ab} \pm 0.44$
AB2	$1.00^a \pm 0.00$	$6.70^a \pm 0.39$	$1.10^a \pm 0.09$	$3.95^a \pm 0.51$
AB3	$1.00^a \pm 0.00$	$5.84^a \pm 0.25$	$1.05^a \pm 0.10$	$2.42^b \pm 0.29$

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT



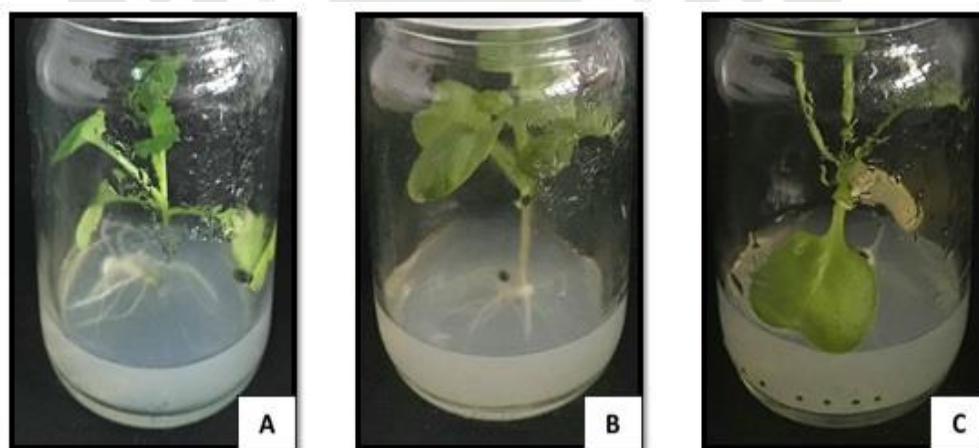
ภาพประกอบ 13 เมล็ดเรดไค้หลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร AB1 B: อาหารสูตร AB2 C: อาหารสูตร AB3

ผลการศึกษารูปร่างอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเพาะเมล็ดคะน้าฮ่องกงหลังการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ผลการวิจัยแสดงดังตาราง 30 พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ (ภาพประกอบ 14) โดยผลการศึกษาพบว่า คะน้าฮ่องกงที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB3 ชักนำให้เกิดจำนวนยอดแตกต่างจากอาหารสูตร AB1 และอาหารสูตร AB2 ($p \leq 0.05$) และอาหารสูตร AB2 ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด ความยาวลำต้น และจำนวนรากไม่แตกต่างจากอาหารสูตร AB1 และอาหารสูตร AB3 ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า อาหารสูตร AB2 ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด ความยาวลำต้น และจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 5.20 ± 0.26 ใบต่อยอด 1.93 ± 0.45 เซนติเมตร และ 6.04 ± 0.70 รากต่อต้น ตามลำดับ

ตาราง 30 จำนวนยอดเฉลี่ย จำนวนใบเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และจำนวนรากเฉลี่ย $\pm$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของคะแนนฮ้างกหลังจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน 3 บริษัท เป็นเวลา 4 สัปดาห์

สูตรอาหาร	จำนวนยอด (ยอดต่อชิ้น เนื้อเยื่อ)	จำนวนใบ (ใบต่อยอด)	ความยาวลำต้น (เซนติเมตร)	จำนวนราก (รากต่อต้น)
AB1	$1.00^b \pm 0.00$	$5.12^a \pm 0.26$	$1.92^a \pm 0.12$	$5.16^a \pm 0.44$
AB2	$1.00^b \pm 0.00$	$5.20^a \pm 0.26$	$1.93^a \pm 0.45$	$6.04^a \pm 0.70$
AB3	$1.13^a \pm 0.07$	$4.82^a \pm 0.34$	$1.39^a \pm 0.12$	$4.86^a \pm 0.29$

*ตัวเลข (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SE) ในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ วิเคราะห์โดย DMRT



ภาพประกอบ 14 เมล็ดคะน้าฮ้างกหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ A: อาหารสูตร AB1 B: อาหารสูตร AB2 C: อาหารสูตร AB3

บทที่ 5

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเพื่อให้ได้มาซึ่งการพัฒนาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายต้นทุนต่ำสำหรับพืชบางชนิด ผู้วิจัยได้ดำเนินการโดยศึกษาตามขบวนการต่าง ๆ จนกระทั่งได้มาซึ่งสูตรอาหารและนำไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ หลังจากได้ผลการศึกษาแล้ว สามารถสรุปผลการศึกษา โดยแบ่งหัวข้อในการสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. สรุปผลการทดลอง
2. อภิปรายผลการทดลอง
3. ข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช

จากการศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช โดยทำการศึกษาในพืชทดลอง 10 ชนิด ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ พืชใบเลี้ยงเดี่ยว ได้แก่ ข้าวโพดหวาน พืชใบเลี้ยงคู่ ได้แก่ พืชเนื้อ ฝักสวนครัว ได้แก่ พริกจินดา กะเพราแดง พักทอง คะน้าย่องกง และผักสลัด ได้แก่ กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค เรดคอส และบัตเตอร์เฮดเดลี ในกลุ่มของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว พบว่า ข้าวโพดหวานที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมมีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างจากอาหารสูตร 1 - 11 และอาหารสูตร 14 - 16 แต่แตกต่างจากอาหารสูตร 12 ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (8.66 ± 1.33) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 86.66) สูงกว่าสูตรอื่น ๆ และพบว่า อาหารสูตร 5 มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (8.33 ± 5.84) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 83.33) เป็นอันดับที่ 2 รองจากอาหารสูตร MS

ในกลุ่มของพืชใบเลี้ยงคู่ พบว่า พืชเนื้อที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS มีจำนวนการงอกของเมล็ดแตกต่างจากสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (0.50 ± 1.15) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 50.00) สูงกว่าสูตรอื่น ๆ เช่นเดียวกัน และ

พบว่า อาหารสูตร 6 มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (2.66 ± 0.66) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 26.66) เป็นอันดับที่ 2 รองจากอาหารสูตร MS

ในกลุ่มของผักสวนครัว พบว่า พริกจินดาที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมมีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างจากอาหารสูตร 15 และอาหารสูตร 16 ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (4.66 ± 1.20) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 46.66) สูงกว่าสูตรอื่น ๆ และพบว่า อาหารสูตร 15 มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (4.33 ± 0.33) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 43.33) เป็นอันดับที่ 2 รองจากอาหารสูตร MS กะเพราแดงที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร MS มีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างจาก อาหารสูตร 6 ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (4.00 ± 0.15) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 40.00) สูงกว่าสูตรอื่น ๆ และพบว่า อาหารสูตร 6 มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (2.66 ± 0.66) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 26.66) เป็นอันดับที่ 2 รองจากอาหารสูตร MS พักทองที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS มีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างจากอาหารสูตร 5 และอาหารสูตร 6 ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (36.66 ± 1.76) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 36.66) สูงกว่าสูตรอื่น ๆ และพบว่า อาหารสูตร 6 มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (23.33 ± 0.33) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 23.33) เป็นอันดับที่ 2 รองจากอาหารสูตร MS เช่นเดียวกัน และคะแนยฮ่องกที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS มีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างจากอาหารสูตร 1 - 6 และอาหารสูตร 8 ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า จำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (4.00 ± 1.15) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 40.00) สูงกว่าสูตรอื่น ๆ และพบว่า อาหารสูตร 5 มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (3.00 ± 1.00) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 30.00) เป็นอันดับที่ 2 รองจากอาหารสูตร MS

ในกลุ่มของผักสลัด พบว่า กรีนโอ๊คที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมมีจำนวนการงอกของเมล็ดแตกต่างจากสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (3.00 ± 1.15) และอัตราการงอก (ร้อยละ 30.00) สูงกว่าสูตรอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด และพบว่า อาหารสูตร 5 มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (1.33 ± 0.33) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 13.33) และอาหารสูตร 12 มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (1.33 ± 0.66) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 13.33) เป็นอันดับที่ 2 รองจากอาหารสูตร MS เรดโอ๊คที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS มีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างจากอาหารสูตร 4 อาหารสูตร 5 อาหารสูตร 6 และอาหารสูตร 15 ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (3.33 ± 0.88) และอัตราการงอก (33.33 %) สูงกว่าสูตรอื่น ๆ และพบว่า อาหารสูตร 6 มีจำนวนการงอกของเมล็ด

เฉลี่ย (2.00 ± 0.57) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 20.00) เป็นอันดับที่ 2 รองจากอาหารสูตร MS เรดคอสที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS มีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างจากอาหารสูตร 1 อาหารสูตร 2 อาหารสูตร 5 อาหารสูตร 6 อาหารสูตร 10 อาหารสูตร 11 อาหารสูตร 15 และอาหารสูตร 16 ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (2.33 ± 0.88) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 23.33) สูงกว่าสูตรอื่น ๆ และพบว่า อาหารสูตร 6 มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (1.66 ± 0.57) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 16.66) เป็นอันดับที่ 2 รองจากอาหารสูตร MS เช่นเดียวกัน และบัตเตอร์เฮดเค้เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS มีจำนวนการงอกของเมล็ดไม่แตกต่างไม่แตกต่างจากอาหารสูตร 1 - 8 อาหารสูตร 11 - 13 และอาหารสูตร 15 ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่า มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (2.00 ± 0.57) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 20.00) สูงกว่าสูตรอื่น ๆ และพบว่า อาหารสูตร 5 และอาหารสูตร 13 มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย (13.33 ± 0.33) และอัตราการงอกของเมล็ด (ร้อยละ 30.00) เป็นอันดับที่ 2 รองจากอาหารสูตร MS เช่นเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชทดลองกับอาหารสูตร MS และทุกสูตรอาหารแล้วพบว่า จากการเพาะเลี้ยงเมล็ดของพืชทั้ง 10 ชนิด บนอาหารสูตรต่าง ๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทุกสูตรอาหารชักนำให้พืชมีการงอกของจำนวนเมล็ดพืชได้ ซึ่งพืชทดลองที่เพาะเลี้ยงบนอาหาร MS มีจำนวนการงอกของเมล็ดเฉลี่ย และอัตราการงอกของเมล็ดสูงกว่าสูตรอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชทดลองกับอาหารสูตร MS และทุกสูตรอาหารแล้วสามารถสรุปได้ดังตาราง 31 โดยพบว่า สูตรอาหารเพาะเมล็ดจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามินทางการค้าที่มีผลต่อการชักนำการเจริญเติบโตของพืชทดลอง คือ อาหารสูตร 6 โดยใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณ 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาณ 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 30 ml/L ซึ่งชักนำให้พืชเนยกะเพราแดง พักทอง เรดโอ๊ค และเรดคอส มีจำนวนการงอกของเมล็ด และอัตราการงอกของเมล็ดได้ดีเช่นเดียวกับอาหารสูตร MS จากการทดลองดังกล่าวข้างต้น สามารถนำอาหารสูตร 6 และพืชทดลอง 2 ชนิด คือ ข้าวโพดหวาน (8.33 ± 5.84) และพริกจินดา (4.33 ± 0.33) ตามลำดับ เนื่องจากมีการชักนำให้เกิดจำนวนการงอกของเมล็ดสูงที่สุดจากการเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามินทางการค้าสำหรับเป็นต้นแบบเพื่อนำไปศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามินทางการค้าในโอกาสต่อไป

ตาราง 31 สูตรอาหารเพาะเมล็ดจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามินทางการค้าที่มีผลต่อการชักนำการเจริญเติบโตของพืชทดลอง

พืชทดลอง	อาหารเพาะเมล็ดพืช
ข้าวโพดหวาน	อาหารสูตร 1
พืทูเนีย	อาหารสูตร 6
พริกจินดา	อาหารสูตร 15
กะเพราแดง	อาหารสูตร 6
ผักทอง	อาหารสูตร 6
คะน้าฮ่องกง	อาหารสูตร 5
กรีนโอ๊ค	อาหารสูตร 5 และอาหารสูตร 12
เรดโอ๊ค	อาหารสูตร 6
เรสคอส	อาหารสูตร 6
บัตเตอร์เฮดเดลี	อาหารสูตร 5 และอาหารสูตร 13

2. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช

จากผลการศึกษาสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช โดยทำการทดลองในพืช 9 ชนิด ซึ่งแบ่งพืชออกเป็น 4 กลุ่ม คือ พืชใบเลี้ยงเดี่ยว ได้แก่ ข้าวโพดหวาน พืชใบเลี้ยงคู่ ได้แก่ พืทูเนีย ผักสวนครัว ได้แก่ พริกจินดา กะเพราแดง ผักทอง คะน้าฮ่องกง และผักสลัด ได้แก่ กรีนโอ๊ค เรสคอส และเรดคอส ในกลุ่มของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว พบว่า ข้าวโพดหวานที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอดมากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด (6.42 ± 0.29) และในกลุ่มของพืชใบเลี้ยงคู่ พบว่า พืทูเนียที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด (20.92 ± 2.52) มากกว่าอาหารสูตร MS และสูตรอื่น ๆ

ในกลุ่มของผักสวนครัว พบว่า พริกจินดาที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด (4.00 ± 0.58) และความยาวลำต้น (2.83 ± 0.24) มากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ อีกทั้งพบว่า กะเพราแดงที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด (3.36 ± 0.27) และความยาวลำต้น (1.06 ± 0.05) มากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ เช่นเดียวกัน

ผักทองที่เพาะเลี้ยงบนอาหาร ABV10 โดยใช้สารละลายธาตุอาหาร stock A และ B ร่วมกับ Vitamix v 1000 ที่ความเข้มข้น 10 ml/L ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอดมากกว่าอาหารสูตร MS และอาหารสูตรอื่น ๆ (3.71 ± 0.19) และคะน้ำฮ่องกงที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร ABV5 โดยใช้สารละลายธาตุอาหาร stock A และ B ร่วมกับ Vitamix v 1000 ที่ความเข้มข้น 5 ml/L ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด (5.50 ± 0.18) และจำนวนราก (5.56 ± 0.87) มากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ

ในกลุ่มของผักสลัด พบว่า กรีนโอ๊คที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร ABV10 โดยใช้สารละลายธาตุอาหาร stock A และ B ร่วมกับ Vitamix v 1000 ที่ความเข้มข้น 10 ml/L ที่ความเข้มข้น 10 ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด (5.14 ± 1.56) ความยาวลำต้น (2.11 ± 0.31) และจำนวนราก (5.57 ± 3.25) มากกว่าอาหารสูตร MS และสูตรอื่น ๆ เรดโอ๊คที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด (6.10 ± 1.20) ความยาวลำต้น (2.18 ± 0.20) และจำนวนราก (2.25 ± 0.59) มากกว่าอาหารสูตร MS อาหารสูตรอื่น ๆ เรดคอสที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร AB ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด (4.38 ± 0.50) และความยาวลำต้น (2.37 ± 0.18) มากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ เช่นเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชทดลองกับทุกสูตรอาหารแล้ว สามารถสรุปได้ดังตาราง 32 ทั้งนี้ผู้วิจัยเลือกสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินที่มีผลชักนำการเจริญเติบโตของพืชทดลองได้ดีที่สุดจากอาหาร 6 สูตร คือ อาหารสูตร AB เนื่องจากเป็นสูตรอาหารที่สามารถชักนำให้พืชทดลองมีการเจริญเติบโตได้ดีทั้งชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด ความยาวลำต้น และจำนวนรากได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสูตร MS และอาหารสูตรอื่น ๆ และผู้วิจัยทำการเลือกพืชทดลอง คือ ข้าวโพดหวาน (6.42 ± 0.29) พืชเนย (23.90 ± 2.29) เรดโอ๊ค (6.10 ± 1.20) และคะน้ำฮ่องกง (5.50 ± 0.18) ตามลำดับ เนื่องจากมีการชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอดสูงที่สุดสำหรับนำไปศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายต้นทุนต่ำต่อสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเพาะเมล็ดเป็นลำดับต่อไป

ตาราง 32 สูตรอาหารเพาะเมล็ดจากจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินที่มีผลต่อการชักนำการเจริญเติบโตของพืชทดลอง

พืชทดลอง	อาหารเพาะเมล็ดพืช
ข้าวโพดหวาน	MS
พืทูเนีย	AB
พริกจินดา	MS
กะเพราแดง	MS
ผักทอง	ABV10
คะน้าฮ่องกง	ABV5
กรีนโอ๊ค	ABM10
เรดโอ๊ค	AB
เรสคอส	AB

3. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเพาะเมล็ดพืช

จากผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเพาะเมล็ดพืชโดยเปรียบเทียบอาหารเพาะเมล็ดที่ให้ผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืชจากการทดลองที่ 3.2.3 คือ อาหารสูตร AB กับอาหารเพาะเมล็ดที่เตรียมจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันอีก 2 บริษัท ทำการเพาะเลี้ยงพืชทดลองบนอาหารแข็ง 3 ชนิด คือ อาหารสูตร AB1 อาหารสูตร AB2 และอาหารสูตร AB3 ซึ่งศึกษาในพืชทดลอง 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพดหวาน พืทูเนีย เรดโอ๊ค และคะน้าฮ่องกง โดยพบว่า ข้าวโพดหวานที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB1 ซึ่งเป็นชุดควบคุมชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอดได้ไม่แตกต่างจากอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) และพบว่า อาหารสูตร AB1 ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด (5.24 ± 0.13) ความยาวลำต้น (6.14 ± 0.17) และความยาวราก (17.44 ± 0.80) มากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ เช่นเดียวกัน พืทูเนียที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB1 ซึ่งเป็นชุดควบคุมชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอดได้แตกต่างจากอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) และพบว่า อาหารสูตร AB1 ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด (30.12 ± 1.67) และจำนวนราก (14.96 ± 0.80) มากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ เรดโอ๊คที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB2 ชักนำให้เกิดการ

จำนวนใบต้อยอดและจำนวนรากได้ไม่แตกต่างจากอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) และพบว่า เรดโอ๊คที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB2 ชักน้ำให้เกิดจำนวนใบต้อยอด (6.70 ± 0.39) และจำนวนราก (3.95 ± 0.515) มากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ เช่นเดียวกัน และคะน้าฮ่องกงที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB2 ชักน้ำให้เกิดการเจริญเติบโตได้ไม่แตกต่างจากอาหารสูตรอื่น ๆ ($p \leq 0.05$) และพบว่า คะน้าฮ่องกงที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB2 ชักน้ำให้เกิดจำนวนใบต้อยอด (5.20 ± 0.26) ความยาวลำต้น (1.93 ± 0.45) และจำนวนราก (6.04 ± 0.70) ได้มากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ เช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชทดลองกับสูตรอาหารแล้ว พบว่า สูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน 3 บริษัท คือ อาหารสูตร AB1 อาหารสูตร AB2 และ อาหารสูตร AB 3 ซึ่งอาหารที่มีผลชักนำการเจริญเติบโตของพืชทดลองได้ดีที่สุด คือ อาหารสูตร AB1 เนื่องจากเป็นสูตรอาหารที่สามารถชักนำให้พืชทดลองมีการเจริญเติบโตได้ดีทั้งชักน้ำให้เกิดจำนวนใบต้อยอด ความยาวลำต้น และจำนวนรากได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสูตรอื่น ๆ และจากการทดลอง ผู้วิจัยทำการเลือกพืชทดลองคือ พืชเนย (30.12 ± 1.67) และ เรดโอ๊ค (6.70 ± 0.39) ตามลำดับ เนื่องจากมีการชักน้ำให้เกิดจำนวนใบต้อยอดสูงที่สุด สำหรับเป็นต้นแบบเพื่อนำไปศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายต้นทุนต่ำต่อสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันในโอกาสต่อไป

อภิปรายผลการทดลอง

1. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช

งานวิจัยการพัฒนาสูตรอาหารเพาะเมล็ดต้นทุนต่ำสำหรับพืชบางชนิดโดยใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช ซึ่งทำการศึกษา ในพืช 4 กลุ่ม คือ พืชใบเลี้ยงเดี่ยว พืชใบเลี้ยงคู่ ผักสวนครัว และผักสลัด โดยศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ทำการเพาะเลี้ยงพืชทั้ง 4 กลุ่ม บนอาหารแข็ง 17 ชนิด ซึ่งได้แก่ อาหารสูตร MS และอาหารสูตร 1 - 16 หลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้พืชมีการงอกของจำนวนเมล็ดได้ ซึ่งจากผลการศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของพืชทั้ง 4 กลุ่ม บนอาหารแข็ง 17 ชนิด พบว่า พืชเนย และกรีนโอ๊คเท่านั้นที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS มีการงอกของจำนวนเมล็ดที่ดีกว่าสูตรอื่น ๆ

จากการทดลองพบว่า พืชอีก 8 ชนิด คือ ข้าวโพดหวาน พริกจินดา กะเพราแดง พักทอง คื่นช่ายองุ่น เรดโอ๊ค เรดคอส และบัตเตอร์เฮดเดิ้ล ที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรอย่างง่ายซึ่งเตรียมจากปุ๋ยเคมีร่วมกับวิตามินทางการค้ามีการงอกของจำนวนเมล็ดได้ไม่แตกต่างจากอาหารสูตร MS ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า ข้าวโพดหวานที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร 1 (ปุ๋ยเคมีสูตร 30 - 20 - 10 ปริมาตร 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาตร 20 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 20 ml/L) ชักนำให้เกิดการงอกของจำนวนเมล็ดรองจากอาหารสูตร MS คื่นช่ายองุ่นที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร 5 (ปุ๋ยเคมีสูตร 30 - 20 - 10 ปริมาตร 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาตร 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 20 ml/L) ชักนำให้เกิดการงอกของจำนวนเมล็ดรองจากอาหารสูตร MS เช่นเดียวกัน กะเพราแดง พักทอง เรดโอ๊ค และเรดคอสที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร 6 (ปุ๋ยเคมีสูตร 30 - 20 - 10 ปริมาตร 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาตร 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 30 ml/L) ชักนำให้เกิดการงอกของจำนวนเมล็ดรองจากอาหารสูตร MS พริกจินดาที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร 15 (ปุ๋ยเคมีสูตร 30 - 20 - 10 ปริมาตร 3 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาตร 30 g/L ร่วมกับ Red bull ความเข้มข้น 20 ml/L) ชักนำให้เกิดการงอกของจำนวนเมล็ดรองจากอาหารสูตร MS เช่นเดียวกัน และบัตเตอร์เฮดเดิ้ลที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร 5 (ปุ๋ยเคมีสูตร 30 - 20 - 10 ปริมาตร 2 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาตร 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 20 ml/L) และอาหารสูตร 13 (ปุ๋ยเคมีสูตร 30 - 20 - 10 ปริมาตร 3 g/L น้ำตาลซูโครสปริมาตร 30 g/L ร่วมกับ M - 150 ความเข้มข้น 20 ml/L) ชักนำให้เกิดการงอกของจำนวนเมล็ดรองจากอาหารสูตร MS ซึ่งพบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 30 - 20 - 10 ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อให้ผลที่ต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสอดคล้องกับ การศึกษาผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของปุ๋ยเคมีที่มีต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วย พบว่า

ปุ๋ยเคมีสูตร 30 - 20 - 10 ร่วมกับธาตุอาหารรอง วิตามิน และเหล็กของอาหารสูตร MS ให้ผลดีกว่า ปุ๋ยเคมีสูตร 36 - 30 - 5 ร่วมกับธาตุอาหารรอง วิตามิน และเหล็กของอาหารสูตร MS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สามารถชักนำให้ต้นอ่อนของกล้วยมีการพัฒนาของน้ำหนักราก ความสูงของต้นอ่อน จำนวนใบ ความยาวใบ ความกว้างใบ จำนวนราก และความยาวราก (ณัฐสิทธิ์ ฐานะพุทธิลักษณ์ และคนอื่น ๆ, 2557) เนื่องจากจากปุ๋ยเคมีประกอบไปด้วยธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากและมีบทบาทเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของการพัฒนาและการเจริญเติบโตของพืช (อรรพรรณ ฉัตรสิริรุ่ง, 2551)

จากการทดลองพบว่า พืชทดลอง ซึ่งได้แก่ กะเพราแดง พักทอง เวดไอ้ค และเเวดคอส ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร 6 ซึ่งเตรียมจากปุ๋ยเคมีสูตร 30 - 20 - 10 ปริมาตร 2 g/L น้ำตาลซูโครส ปริมาตร 30 g/L ร่วมกับ M - 150 30 ml/L มีการงอกของเมล็ดได้ดีกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่า พืชทดลองส่วนใหญ่ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยที่ปริมาตร 2 g/L น้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้น 3 % ร่วมกับวิตามินทางการค้า คือ M - 150 ที่ระดับความเข้มข้น 3 % แต่จากการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 30 - 20 - 10 ปริมาตร 2 g/L และ 3 g/L ร่วมกับวิตามินทางการค้าในการทดลองทำให้ผลของการเจริญเติบโตของพืชไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากมีปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารในปริมาณที่สูงทำให้การเจริญเติบโตของพืชเริ่มลดลงเพราะความเข้มข้นของธาตุอาหารที่มากเกินไปจะทำให้ทำลายเซลล์พืชโดยการดึงน้ำออกมาจากเซลล์ทำให้เซลล์ของพืชเกิดการเหี่ยว (วรรณนา จະนะ และคนอื่น ๆ, 2558) ดังนั้นปริมาณความเข้มข้นและสัดส่วนของธาตุอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งการปริมาณความเข้มข้นและลดสัดส่วนของปริมาณธาตุอาหารอาจส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีได้เช่นเดียวกัน สอดคล้องกับการศึกษาปริมาณของธาตุอาหารที่มีผลในการชักนำการออกดอกของกล้วยไม้ *Psychomorphis pusilla* ในหลอดทดลองซึ่งทำการเพาะเลี้ยงกล้วยไม้เป็นเวลา 15 วัน หลังจากนั้นย้ายไปเลี้ยงในอาหารที่ลดปริมาณธาตุอาหารทุกชนิดลงครึ่งหนึ่ง พบว่าสามารถชักนำให้เกิดช่อดอกได้ 80 % เช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงในอาหารที่ลดปริมาณไนโตรเจนลงครึ่งหนึ่งและลดปริมาณไนโตรเจนเหลือ 1/4 (Vaz และ Kerbauy, 1998) ซึ่งโดยทั่วไปอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจะประกอบด้วย สารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ น้ำตาล สารควบคุมการเจริญเติบโต และสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งสารอนินทรีย์ในกลุ่มของธาตุอาหารหลักพืชต้องการในปริมาณมาก ได้แก่ ไนโตรเจน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส และกลุ่ม mesos เป็นกลุ่มของธาตุอาหารหลักแต่พืชต้องการในปริมาณปานกลาง ได้แก่ ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และกลุ่มของธาตุอาหารรองซึ่งพืชต้องการในปริมาณที่น้อย ได้แก่ ทองแดง แมงกานีส เหล็ก คลอรีน โบรอน สังกะสี

และโมลิบดีนัม ดังนั้นธาตุอาหารของพืชจึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการชักนำให้การเจริญเติบโตเป็นอย่างมากรวมทั้งพืชจะต้องได้รับธาตุอาหารในปริมาณที่เพียงพอและสมดุลกันจึงจะส่งผลให้พืชเกิดการเจริญเติบโตที่มีประสิทธิภาพ (Trigiano และ Gray, 1999)

ดังนั้นสามารถนำปุ๋ยเคมีมาใช้เป็นสูตรอาหารอย่างง่ายในการขยายพันธุ์พืชโดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชบางชนิดได้ เนื่องจากปุ๋ยเคมีสามารถกระตุ้นเจริญเติบโตของพืชในสภาพปลอดเชื้อได้และชักนำให้พืชมีการเจริญเติบโตได้เช่นเดียวกับอาหารสังเคราะห์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป สอดคล้องกับการศึกษาการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสำหรับการเพาะเมล็ดกล้วยไม้สกุล *Cattleya* โดยใช้ปุ๋ยเคมี Gaviota สูตร 19 - 19 - 19 เป็นสูตรอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (Pulma และคนอื่น ๆ, 2010) การศึกษาผลของการดัดแปลงสูตรอาหารในการพัฒนาการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ *Dendrobium parishii* ในหลอดทดลอง โดยทดสอบการใช้ปุ๋ยเคมี สูตร 21 - 21 - 21 จำนวน 2 g/L ร่วมกับอาหารเสริมในธรรมชาติ(Kaewduangta และ Reamkatog, 2011) การศึกษาสูตรอาหารอย่างง่ายต่อการเจริญของต้นอ่อนกล้วยไม้หวายปอมปาดัวร์ (*Dendrobium Pompadour*) ในสภาพปลอดเชื้อ (วันเพ็ญ นันทานุวัตร และ ยลนา เกลี้ยงแก้ว, 2557) การศึกษาสูตรอาหารอย่างง่ายสำหรับการเพาะเลี้ยง hairy root ของเจตมูลเพลิงแดงเพื่อผลิตสารพลาบิกิน โดยการชักนำเชื้อ *Agrobacterium rhizogenes* สายพันธุ์ K599 เลี้ยงในอาหารเหลวอย่างง่ายสูตรต่าง ๆ ที่เตรียมจากปุ๋ยมาสเตอร์ 20 - 20 - 20 ปริมาณ 2 และ 4 g/L ร่วมกับวิตามินสูตร MS วิตามินสูตร B5 และวิตามินรวมทางการค้า (ไววิท) เปรียบเทียบกับอาหารสูตร MS และสูตร MS ที่ใช้วิตามินสูตร B5 (สุกัลยา ศิริพงษ์สกุล และคนอื่น ๆ, 2549) และ การศึกษาผลของปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตของสตรอเบอรี่ในสภาพปลอดเชื้อ โดยใช้ปุ๋ยเคมี 3 ชนิด คือ ปุ๋ยสูตร 21 - 21 - 21 15 - 30 - 15 และ 36 - 5 - 5 ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน เปรียบเทียบกับอาหารสูตร MS (จิราภรณ์ พิมพ์ และคนอื่น ๆ, 2557)

2. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช

งานวิจัยการพัฒนาสูตรอาหารเพาะเมล็ดต้นทุนต่ำสำหรับพืชบางชนิดโดยใช้สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาดและวิตามินทางการค้าต่อการเพาะเมล็ดพืช ซึ่งทำการศึกษา ในพืช 4 กลุ่ม คือ พืชใบเลี้ยงเดี่ยว พืชใบเลี้ยงคู่ ผักสวนครัว และผักสลัด โดยศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ด ทำการเพาะเลี้ยงพืชทั้ง 4 กลุ่ม บนอาหารแข็ง 6 ชนิด ซึ่งได้แก่ อาหารสูตร MS อาหารสูตร AB อาหารสูตร ABM5 อาหารสูตร ABM10 อาหารสูตร ABV5 และอาหารสูตร ABV10 หลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ทุก

สูตรอาหารสามารถชักนำให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ ซึ่งจากผลการศึกษาการเพาะเมล็ดของพืชทั้ง 4 กลุ่ม บนอาหารแข็ง 6 ชนิด พบว่า ข้าวโพดหวาน พริกจินดา และกะเพราแดงเพียงเท่านั้นที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากอาหารสูตร MS (Murashige และ Skoog, 1962) เป็นอาหารที่ประกอบไปด้วยสารหลายกลุ่มทั้งสารอาหารหลัก สารอาหารรอง สารละลายเกลือ วิตามินหลายชนิด และน้ำ ซึ่งสามารถใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชได้หลากหลายชนิด แต่จากการทดลองพบว่า พืชอีก 6 ชนิด คือ พืชเนื้อมะเขือเทศ กระเทียม กะหล่ำปลี กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี และกะหล่ำดอก ที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรอย่างง่ายซึ่งเตรียมจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าอาหารสูตร MS โดยพบว่า พืชเนื้อมะเขือเทศที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB ซึ่งไม่เติมวิตามินใด ๆ ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอดมากกว่าอาหารสูตร MS เกรดไฮโดร และเกรดคอส ที่เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร AB ซึ่งไม่เติมวิตามินใด ๆ เช่นเดียวกัน ชักนำให้เกิดจำนวนยอด จำนวนใบต่อยอด ความยาวลำต้น และจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตร MS โดยลักษณะทางพันธุกรรมของพืชส่งผลต่อการกำหนดลักษณะต่าง ๆ ของพืช จึงทำให้พืชตอบสนองต่ออาหารเพาะเลี้ยงที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจะต้องมีความรู้โดยเฉพาะในเรื่องพันธุ์พืชที่นำมาปลูก ลักษณะพิเศษของพันธุ์ ปัญหาในการผลิต ความทนทานต่อโรคและแมลง อายุในการผลิต ความเหมาะสมในการนำมาปลูกแบบไม่ใช้ดิน และการตอบสนองต่อภูมิอากาศของพืช (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2558)

เมื่อพิจารณาสัดส่วนของธาตุอาหารที่เป็นส่วนประกอบของอาหารสูตร MS นั้น อาหารสูตร MS อาจเหมาะสมสำหรับพืชบางชนิด โดยพบว่า การลดสัดส่วนของธาตุอาหารในอาหารสูตร MS ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสามารถชักนำให้พืชเกิดการเจริญเติบโตที่ดีกว่าอาหารสูตร MS เช่น การเพาะเลี้ยงโปรโตคอร์มกาบหอยแครงภายใต้สภาวะปลอดเชื้อเพื่อชักนำให้เกิดยอด โดยใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตไซโตไคนินและออกซิน พบว่า อาหารสูตร 1/3 MS ที่ประกอบไปด้วยไโคเนติน 0.5 mg/L สามารถชักนำให้เกิดยอดได้เป็นจำนวนมาก จากนั้นย้ายไปยังอาหารที่ใส่ออกซินเพื่อทำการศึกษาการเกิดรากของกาบหอยแครง พบว่า อาหารสูตร 1/3 MS ที่ประกอบไปด้วย IBA 0.1 mg/L ชักนำให้เกิดรากได้มากที่สุดสูงถึง 22 % (Jang, Kim, และ Park, 2003) และการศึกษาการเพิ่มจำนวนกาบหอยแครงโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ พบว่า หลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 6 สัปดาห์ เนื้อเยื่อกาบหอยแครงสามารถพัฒนาเป็นแคลลัสเกิดขึ้นที่บริเวณขอบและผิวหน้าของเนื้อเยื่อกาบและใบอ่อน และอาหารสูตร 1/2 MS ร่วมกับ BA 1.0 mg/L ให้ค่าเฉลี่ยปริมาณแคลลัสและความเข้มของสีแดงของแคลลัสสูงที่สุด และหลังจากย้ายแคลลัสสีแดงนี้ลงอาหารสูตรเดิมอีก 3 ครั้ง ทุก ๆ 3 สัปดาห์ พบว่า อาหารสูตร 1/2 MS ที่เติม BA 1.0 mg/L แคลลัส

เกิดการพัฒนาเกิดเป็นต้นและรากได้สูงสุด (อัญชลี จาละ และ สโรธร ไพฑูรย์, 2556) การศึกษาเพิ่มจำนวนในต้นหยาดน้ำค้างโดยใช้โปรโตคอร์มที่เพาะเลี้ยงบนอาหาร Murashige and Skoog (MS) โดยใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ พบว่า ต้นหยาดน้ำค้างที่เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ในอาหารสูตร 1/4 MS ร่วมกับการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตโคเคนตินเกิดต้นอ่อนที่มียอดและรากสมบูรณ์สามารถนำออกปลูกได้ (Grevinstuk, Coelho, Gonçalves, และ Romano, 2010) การศึกษาผลของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชต้นทุ่นต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้มอคคาร่า พบว่า อาหาร 1/2 MS เช่นเดียวกันส่งผลให้ต้นอ่อนของกล้วยไม้มอคคาร่ามีการเจริญเติบโตให้ความยาวลำต้นมากที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยที่ 0.66 เซนติเมตร (ปัทมา ศรีน้ำเงิน และ พชนิดา เคลิ้มกระโทก, 2560) และศึกษาการทดสอบผลของความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของผักกาดหอมและ Japanese honewort พบว่า ผักทั้ง 2 ชนิดที่ปลูกใน 1/4 สารละลายธาตุอาหารกึ่งแข็งมีผลการเจริญเติบโตได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งจากการทดลองพบว่า พืชจะได้รับสารอาหารที่เพียงพอในระยะเวลา 2 - 7 วัน ก่อนการเก็บเกี่ยว (Shinohara และ Suzuki, 1988) จึงสามารถนำผลจากการทดลองมาประยุกต์ใช้ในการปลูกพืชโดยใช้สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินได้ รวมทั้งสอดคล้องกับอีกหลายงานวิจัย เช่น การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อม่วงเทพรัตน์และหนุ่ยหวานโดยใช้ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ ยี่ห้อ Hydrowork สูตรสำหรับผักสลัดเพื่อทดแทนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ พบว่า การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชม่วงเทพรัตน์และหนุ่ยหวานโดยใช้สูตรอาหารไฮโดรโปนิกส์ (HW) Hydrowork A และ Hydrowork B ความเข้มข้น 5 ml/L ชักนำให้เกิดการเจริญเติบโตมากที่สุด ดังนั้นสูตรอาหารทั้งสองสูตรดังกล่าวสามารถใช้ทดแทนอาหารรุ่นสูตร MS ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (กัลยาจิต จันทรมูล, 2555) การศึกษาใช้ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ดอยคำ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อหนุ่ยหวาน พบว่า อาหารรุ่นจากสูตรไฮโดรโปนิกส์ ความเข้มข้น 5 ml/L สามารถชักนำให้เกิดยอดและใบได้ดีกว่าดีกว่าอาหารสูตร MS ซึ่งเป็นชุดควบคุมโดยสามารถชักนำให้เกิดยอดได้สูงสุด (จิตรานุช คำหาล้า, 2557) การศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อว่านสี่ทิศที่เตรียมจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน stock A และ B ที่ความเข้มข้นอย่างละ 3 4 และ 5 ml/L ชักนำให้เกิดจำนวนยอด ความสูงของยอด และจำนวนรากได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอาหารสูตร MS ซึ่งอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่เตรียมจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน stock A และ B ที่ความเข้มข้น 5 ml/L ชักนำให้เกิดจำนวนยอด ความสูงของยอด และจำนวนรากสูงที่สุด โดยมีจำนวนยอดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.60 ± 1.17 ยอดต่อชิ้นเนื้อเยื่อ มีความสูงของยอดเฉลี่ยอยู่ที่ 4.49 ± 2.43 เซนติเมตร และจำนวน

รากเฉลี่ยอยู่ที่ 0.45 ± 0.82 รากต่อชิ้นเนื้อเยื่อ (กิตติศักดิ์ โชติกเดชานรงค์, 2559b) และการศึกษาอาหารอย่างง่ายจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินเพื่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อม่วงเทพรัตน์และหน้้าหวาน พบว่า การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชที่เตรียมจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน stock A และ B ความเข้มข้นอย่างละ 5 ml/L สามารถชักนำให้ต้นม่วงเทพรัตน์และหน้้าหวานมีจำนวนยอด จำนวนใบ และความสูงของยอดได้มากกว่าอาหารสูตร MS และมีการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ดีกว่า (กิตติศักดิ์ โชติกเดชานรงค์, 2558)

โดยพบว่า ปัจจัยสำคัญที่มีผลการเจริญเติบโตของพืช คือ ปริมาณของธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหาร โดยสารละลายธาตุอาหารที่ดีควรมีปริมาณของธาตุอาหารเพียงพอต่อความต้องการของพืชในการเจริญเติบโตและเป็นสารละลายธาตุอาหารที่ราคาประหยัด (ธีระศักดิ์ พงษาอนุทิน, 2547) เนื่องจากในสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมทั้ง stock A ประกอบด้วย แคลเซียม เหล็ก และ stock B ประกอบด้วยแมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และโบรอน สอดคล้องกับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองของอาหารสูตร MS โดยเมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารของอาหารสูตร MS กับสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน (พีรศักดิ์ ฉายประสาท, 2560) แสดงดังตาราง 33 พบว่า ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินมีความเข้มข้นของสารละลายที่สูงกว่าอาหารสูตร MS ดังนั้นอาหารวุ้นที่เตรียมจากสารละลายปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน stock A และ B ความเข้มข้นอย่างละ 5 ml/L จึงสามารถใช้ทดแทนสารเคมีในอาหารสูตร MS ได้ เนื่องจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินมีธาตุอาหารครบถ้วนเช่นเดียวกับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองตามที่พืชต้องการซึ่งมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้เช่นเดียวกับอาหารสูตร MS ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาผลการเจริญเติบโตของการใช้สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินในกับพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ผักกาดหอมพันธุ์คอส (คงเอก ศิริงาม, กุลิสรา ธีระวิภา, และ ณัฐวุฒิไหล หาโคตร, 2557) ผักกาดหอมพันธุ์ Red oak (เยาวพา จิระเกียรติกุล และ นิสา แซ่ลิ้ม, 2552) ผักชีและผักคะน้า (สุดชล วุ่นประเสริฐ, 2555)

ตาราง 33 เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารของอาหารสูตร MS กับสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน

อาหารสูตร MS	ความเข้มข้นของ สารในอาหารสูตร MS (mg/L)	สารละลายธาตุ อาหารสำหรับปลูก พืชไม่ใช้ดิน stock A และ B	ความเข้มข้นของ สารในสารละลาย ธาตุอาหารสำหรับ ปลูกพืชไม่ใช้ดิน Stock A และ B (mg/L)
ธาตุอาหารหลัก			
NH_4NO_3	1650	MAP (stock A)	125
KNO_3	1900	KNO_3 (stock A)	800
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	440	CaNO_3 (stock B)	1000
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	370	MgSO_4 (stock A)	500
KH_2PO_4	170	MKP (stock A)	85
อาหารรอง			
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.025		
KI	0.83		
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	8.60		
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	22.30	Mn (stock A)	4
H_3BO_4	6.20		
$\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.25		
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.025		

ตาราง 33 (ต่อ)

อาหารสูตร MS	ความเข้มข้นของ สารในอาหารสูตร MS (mg/L)	สารละลายธาตุ อาหารสำหรับปลูก พืชไม่ใช้ดิน stock A และ B	ความเข้มข้นของ สารในสารละลาย ธาตุอาหารสำหรับ ปลูกพืชไม่ใช้ดิน Stock A และ B (mg/L)
3. สารอินทรีย์			
Glycine	2.0		
Thiamine-HCl	0.1		
Pyridoxine-HCl	0.5		
Nicotinic acid	0.5		
Myo-inositol	100		
4. สารละลายหลัก			
FeSO ₄ ·7H ₂ O	27.8	Fe-EDTA (Stock B)	30
Na ₂ EDTA·2H ₂ O	37.3	จุลธาตุ (Stock A)	8

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น พืชเนื้อ เรดโอ๊ค และเรดคอส นั้นสามารถเจริญเติบโตได้ดีในอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายสูตร AB ที่ไม่เติมวิตามินใด ๆ แต่พืชทอง คะน้าฮ่องกง และกรีนโอ๊คมีการเจริญเติบโตได้ดีเมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่เติมวิตามิน โดยพบว่า อาหารสูตรที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชทอง คือ อาหารสูตร ABV10 คะน้าฮ่องกงเจริญเติบโตได้ดีบนอาหารสูตร ABV5 และกรีนโอ๊คเจริญเติบโตได้ดีบนอาหาร ABM10 แสดงให้เห็นว่า พืชบางชนิดมีความต้องการสัดส่วนและชนิดของวิตามินที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยการใช้สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินในการเพาะเลี้ยงเพื่อขยายพันธุ์เห็ดหลินจือ พบว่า อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่เตรียมจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน ร่วมกับ Vitamix v 500 ความเข้มข้น 5 ml/L ชักนำให้ต้นอ่อนเห็ดหลินจือมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดทั้งจำนวนยอด ความสูงเฉลี่ย และจำนวนราก (วรรณนา จະนุ และคนอื่น ๆ, 2558) จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในสภาพที่ปลอดเชื้อ

โดยธรรมชาตินั้นพืชสามารถสร้างวิตามินเองได้แต่มีปริมาณที่น้อยมากไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ซึ่งจากการทดลองด้วยการเติม Vitamix v 1000 จึงมีส่วนช่วยให้พืชสามารถเกิดการเจริญเติบโตได้ดี เนื่องจาก Vitamix v 1000 ประกอบด้วย วิตามิน เอ ซี อี บี 1 บี 2 บี 6 บี 12 ไนอะซิน ไบโอติน กรดโฟลิก และอาร์จินีน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยการศึกษาการดัดแปลงอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อต้นกระชายดำโดยใช้ปุ๋ยสูตร 30 - 20 - 10 และเครื่องดื่มน้ำรุกรำล้าง 3 ชนิด คือ กระทั่งแดง M - 150 และฉลาม ทดแทนอาหารและวิตามินซึ่งใช้ความเข้มข้นของเครื่องดื่มน้ำรุกรำล้าง 3 ระดับ คือ 10 15 และ 20 ml/L เปรียบเทียบกับอาหาร MS ร่วมกับ BA 2 mg/L เมื่อทำการทดลองเป็นเวลา 60 วัน พบว่า จำนวนยอด จำนวนใบ จำนวนราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับอาหารสูตร MS รวมทั้งพบว่า อาหารสูตรดัดแปลงที่เสริมด้วย M - 150 ความเข้มข้น 10 ml/L ชักนำให้เกิดความยาวลำต้นสูงสุดโดยมีความสูงเฉลี่ยที่ 8.05 เซนติเมตร และในระหว่างสูตรดัดแปลงสูตรที่เสริมด้วย M - 150 ความเข้มข้น 20 ml/L ชักนำให้เกิดความยาวรากมากที่สุดโดยมีความยาวรากเฉลี่ยที่ 2.95 เซนติเมตร (พงศียุทธ นวลบุญเรือง และคนอื่น ๆ, 2551) ดังนั้นแล้วปริมาณความเข้มข้นของเครื่องดื่มน้ำรุกรำล้างมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไป แต่วิตามินจากเครื่องดื่มน้ำรุกรำล้างมีวิตามินที่คล้ายกับอาหารสูตร MS คือ วิตามินบี 6 และวิตามินบี 3 ซึ่งเครื่องดื่มน้ำรุกรำล้างมีปริมาณที่มากกว่าอาหารสูตร MS โดยในสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน พบว่า วิตามินบี 3 มีปริมาณความเข้มข้น 133.33 mg/L และวิตามินบี 6 มีปริมาณความเข้มข้น 33.33 mg/L ซึ่งในอาหารสูตร MS นั้น วิตามินบี 3 และ 6 มีปริมาณความเข้มข้น เพียง 0.5 mg/L เท่านั้น และพบว่า ใน M - 150 มีองค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ อินโนซิทอล (inositol) มีปริมาณความเข้มข้นสูงถึง 333.33 mg/L ซึ่งมีความจำเป็นต่อการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ของพืช หากขาดไปจะทำให้เนื้อเยื่อของพืชไม่เกิดการพัฒนาและเจริญเติบโตช้า โดยการใช้อินโนซิทอลในปริมาณเพียงเล็กน้อยสามารถกระตุ้นในการแบ่งเซลล์ได้ (George, 1993) อีกทั้งการเติมวิตามินจึงเป็นการช่วยส่งเสริมในการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งวิตามินเป็นสารอาหารที่พืชต้องการต่อการเจริญเติบโต โดยวิตามินมีหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ในกระบวนการต่าง ๆ ของพืช เช่น วิตามินบี 1 จำเป็นต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อรวมทั้งมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาของพืชทำหน้าที่เป็นปัจจัยของการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์โดยเกี่ยวข้องกับกระบวนการ decarboxylation ของอัลฟาคีโตน, phosphate pathway, glycolysis, tricarboxylic acid (TCA) cycle, pyruvate dehydrogenase complex, transketolase และ pyruvate decarboxylase (Goyer, 2010) วิตามินบี 2 เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้าง FAD ช่วยกระตุ้นให้เกิดราก และป้องกันการเกิดการติด

เชื้อในพืช (Aver'Yanov, Lapikova, Nikolaev, และ Stepanov, 2000; van der Krieken, Breteler, Visser, และ Jordi, 1992) วิตามินบี 3 เกี่ยวข้องกับกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) และทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของกระบวนการ embryogenesis (Barwale, Kerns, และ Widholm, 1986; Singh Tomar, 2018) วิตามินบี 6 เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของกรดอะมิโน และกระบวนการที่จำเพาะในพืช เช่น starch metabolism, glucosinolate biosynthesis, ethylene และ auxin biosynthesis (Mooney และ Hellmann, 2010; Vanderschuren และคนอื่น ๆ, 2013) และวิตามินซีมีหน้าที่เกี่ยวข้องในการยับยั้งกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) และส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดและราก (Singh Tomar, 2018)

โดยเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของธาตุอาหารของอาหารสูตร MS กับอาหารจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน และ อาหารจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้า แสดงดังตาราง 34 พบว่ามีองค์ประกอบของธาตุอาหารที่มีความคล้ายกันกับอาหารสูตร MS จึงสามารถใช้อาหารเพาะเมล็ดได้อย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินมาใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้เช่นเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบราคาขั้นต่ำของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมอาหารเพาะเมล็ดจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินและอาหารสูตร MS พบว่า ต้นทุนในการผลิตถูกกว่าแสดงดังตาราง 35 ซึ่งเมื่อคำนวณงบประมาณขั้นต่ำในการลงทุนเฉพาะราคาของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมอาหารเพาะเมล็ดจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินและอาหารสูตร MS พบว่าราคาของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมอาหารจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินเปรียบเทียบกับอาหารสูตร MS มีต้นทุน 243 และ 22,159 บาท ตามลำดับ และเมื่อคำนวณราคาต้นทุนในการเตรียมอาหารต่อลิตรของสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินเปรียบเทียบกับอาหารสูตร MS มีราคาต้นทุน 15.89 และ 22.06 บาท ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่เตรียมจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินมีต้นทุนในการผลิตที่ถูกกว่าอาหารสูตร MS รวมทั้งมีขั้นตอนในการเตรียมที่ง่ายกว่าและไม่ยุ่งยาก

ตาราง 34 เปรียบเทียบองค์ประกอบของธาตุอาหารของอาหารสูตร MS กับอาหารจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน และอาหารจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้า

อาหารสูตร MS	สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน stock A และ B (อาหารสูตร AB)	สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน ร่วมกับ M - 150 (อาหารสูตร ABM5 และ ABM10)	สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน ร่วมกับ Vitamix v 1000 (อาหารสูตร ABV5 และ ABV10)
ธาตุอาหารหลัก			
NH_4NO_3	-	-	-
KNO_3	-	-	-
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	CaO	CaO	CaO
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	MgO	MgO	MgO
KH_2PO_4	-	-	-
อาหารรอง			
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Cu	Cu	Cu
KI	-	-	-
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Zn	Zn	Zn
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Mn	Mn	Mn
H_3BO_4	B	B	B
$\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-	-	-
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	-	-	-
	-	S	S
3. สารอินทรีย์			
Glycine	-	-	-
Thiamine-HCl	-	Thiamine-HCl	Thiamine-HCl
Pyridoxine-HCl	-	Pyridoxine-HCl	Pyridoxine-HCl

ตาราง 34 (ต่อ)

อาหารสูตร MS	สารละลายธาตุ อาหารสำหรับปลูก พืชไม่ใช้ดิน stock A และ B (อาหารสูตร AB)	สารละลายธาตุ อาหารสำหรับปลูก พืชไม่ใช้ดิน ร่วมกับ M - 150 (อาหารสูตร ABM5 และ ABM10)	สารละลายธาตุ อาหารสำหรับปลูก พืชไม่ใช้ดิน ร่วมกับ Vitamix v 1000 (อาหารสูตร ABV5 และ ABV10)
Nicotinic acid	Nicotinic acid	Nicotinic acid	Nicotinic acid
Myo-inositol	Myo-inositol	Myo-inositol	Myo-inositol
-	-	-	Riboflavin
-	-	-	Cobalamin
4.สารละลายเหล็ก			
FeSO ₄ ·7H ₂ O	-	-	-
Na ₂ EDTA·2H ₂ O	-	-	-

ตาราง 35 เปรียบเทียบราคาขั้นต่ำของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมอาหารเพาะเมล็ดจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินและอาหารสูตร MS ณ วันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ.2557 (วรรณาจะนุ และคนอื่น ๆ, 2558)

สารเคมี	สารละลายธาตุอาหาร สำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน		อาหารสูตร MS	
	ราคาต่อทุน (บาท)	ราคาต่อการ เตรียมอาหาร 1 ลิตร (บาท)	ราคาต่อทุน (บาท)	ราคาต่อการ เตรียมอาหาร 1 ลิตร (บาท)
สารเคมีตามสูตร	140	0.70	22,066	10.17
น้ำตาล 1 กิโลกรัม	23	0.69	23	0.69
วุ้น 25 กรัม	70	11.20	70	11.20
วิตามินทางการค้า	10	3.30	-	-
รวม	243	15.89	22,159	22.06

ดังนั้นอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืช จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การนำอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำโดยใช้สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินมาใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ พบว่า พืชทุกชนิดสามารถมีการเจริญเติบโตและการตอบสนองต่ออาหารดังกล่าว โดยส่วนใหญ่มีทั้งการเจริญเติบโตที่ดีกว่าหรือไม่แตกต่างจากอาหารสูตร MS ซึ่งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพืชที่ใช้ปลูก รวมทั้งความต้องการของปริมาณธาตุอาหารในสัดส่วนที่แตกต่างกัน แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดหลายประการของอาหารสูตร MS ทั้งต้นทุนที่สูง มีองค์ประกอบของสารเคมีหลายชนิด และขั้นตอนการเตรียมที่ยุ่งยาก ดังนั้นแล้วจึงสามารถนำสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำโดยใช้สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าซึ่งหาได้ง่ายโดยทั่วไปตามท้องตลาดไปประยุกต์ใช้หรือดัดแปลงเป็นต้นแบบในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชชนิดอื่น ๆ ต่อไป และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้หรือดัดแปลงเป็นต้นแบบการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชโดยใช้สูตรอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชจากสารอาหารทดแทนธาตุอาหารและวิตามินทางการค้าในการส่งเสริมเรียนการสอนเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในรูปแบบของการจัดการเรียนการสอนในสถาบันการศึกษาทั้งในระดับเตรียมอุดมศึกษา อุดมศึกษา ซึ่งเป็นผลดีต่อนักเรียน นิสิต และ

นักศึกษาที่จะสามารถได้เรียนรู้เองจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออย่างง่ายด้วยเช่นกัน รวมทั้งการอบรมและการวิจัยในหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ในสาขาเทคโนโลยีชีวภาพและการเกษตร ตลอดจนเกษตรกรและผู้สนใจสามารถนำไปใช้เป็นทางเลือกใหม่ในการประกอบอาชีพเพื่อลดต้นทุนในการผลิตได้ในอนาคต

3. การศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเพาะเมล็ดพืช

งานวิจัยการศึกษาผลของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันต่อการเพาะเมล็ดพืช ซึ่งทำการศึกษาในพืช 4 ชนิด คือ ข้าวโพดหวาน พืชเนย เรดโอ๊ค และคะน้าฮ่องกง ทำการเพาะเลี้ยงพืชทั้ง 4 ชนิด บนอาหารแข็ง 3 ชนิด ได้แก่ อาหารสูตร AB1 อาหารสูตร AB2 และอาหารสูตร AB3 ที่เตรียมจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน ภายหลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ทุกสูตรอาหารสามารถชักนำให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ ซึ่งจากผลการศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของพืชทั้ง 4 ชนิด พบว่า ข้าวโพดหวานที่เพาะเลี้ยงในทุกสูตรอาหารชักนำให้เกิดจำนวนยอด และจำนวนใบต่อยอดได้ไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) พืชเนยที่เพาะเลี้ยงในทุกสูตรอาหารชักนำให้เกิดจำนวนรากต่อต้นได้ไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) เรดโอ๊คที่เพาะเลี้ยงในทุกสูตรอาหารชักนำให้เกิดจำนวนยอด จำนวนใบต่อยอด และความยาวลำต้นได้ไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) และคะน้าฮ่องกงที่เพาะเลี้ยงในทุกสูตรอาหารชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด ความยาวลำต้น และความยาวรากไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบระหว่างอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้าจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน แสดงดังตาราง 36 พบว่าองค์ประกอบของสูตรอาหารที่เหมือนกันทั้งกลุ่มธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมครบถ้วน ซึ่งอาหารสูตร AB1 ประกอบด้วยกลุ่มธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และธาตุอาหารเสริม ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และโบรอน อาหารสูตร AB2 ประกอบด้วยกลุ่มธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และอาหารเสริม ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี อาหารสูตร AB3 ประกอบด้วยกลุ่มธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และอาหารเสริม ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดีนัม และเหล็กคีเลต เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของธาตุอาหารในกลุ่มต่าง ๆ พบว่า ไม่แตกต่างกันและ

สอดคล้องกับอาหารสูตร MS จึงสามารถนำอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทาง การค้าจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันในท้องตลาดมาใช้เป็นอาหารเพาะเมล็ดพืชได้

ตาราง 36 เปรียบเทียบองค์ประกอบระหว่างอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทาง การค้าจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน

ธาตุอาหาร	สารละลายธาตุ อาหารสำหรับ ปลูกพืชไม่ใช้ดิน จากบริษัทไฮโดร แพลนท์ จำกัด	สารละลายธาตุ อาหารสำหรับปลูก พืชไม่ใช้ดิน จาก บริษัท How	สารละลายธาตุอาหาร สำหรับปลูกพืชไม่ใช้ ดิน จากบริษัท Hi Hydro
ธาตุอาหารหลัก			
N	N	N	N
P	P	P	P
K	K	K	K
ธาตุอาหารรอง			
Ca	Ca	Ca	Ca
Mg	Mg	Mg	Mg
S	S	S	S
ธาตุอาหารเสริม			
Fe	Fe	Fe	Fe
Mn	Mn	Mn	Mn
Cu	Cu	Cu	Cu
Zn	Zn	Zn	Zn
B	B	-	B
Mo	-	-	Mo
Fe-EDTA	-	-	-

จากการทดลองพบว่า ข้าวโพดหวาน และพืชน้ำ ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร AB1 ชักนำให้เกิดจำนวนยอด จำนวนใบต่อยอด และจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากสูตร AB1 ประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง ซึ่งได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และธาตุอาหารเสริม ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช รวมทั้งสอดคล้องกับอาหารสูตร MS ในกลุ่มของธาตุอาหารหลักที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน (สมพร ประเสริฐสงกุล, 2552b) จึงช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและสร้างความสมบูรณ์ให้แก่ต้นพืชทั้งยอด ใบ ลำต้น และราก และพบว่า เรดโอ๊ค ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร AB2 ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด ความยาวลำต้น และจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ รวมทั้งคะน้าฮ่องกงที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร AB2 ชักนำให้เกิดจำนวนใบต่อยอด และจำนวนรากมากกว่าอาหารสูตรอื่น ๆ เช่นเดียวกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของอาหาร พบว่า อาหารสูตร AB2 ประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง คือ แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และธาตุอาหารเสริม คือ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี สอดคล้องกับอาหารสูตร MS และครบถ้วนตามธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมากและธาตุอาหารรองที่พืชต้องการเพียงเล็กน้อยแต่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช (พงศยุทธ์ นวลบุญเรือง และคนอื่น ๆ, 2562) จึงส่งผลให้พืชทั้งสองชนิดนี้มีการเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งจากการทดลองนี้ทางผู้วิจัยใช้อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่เตรียมจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน stock A และ B อาจส่งผลต่อพืชในการนำธาตุอาหารไปใช้ซึ่งการนำธาตุอาหารไปใช้ของพืชในลักษณะของสารละลายธาตุอาหาร (nutrient solution) เป็นการเตรียมความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารให้แก่พืชซึ่งสารละลายที่อยู่บริเวณรากพืช เมื่อสารละลายที่เตรียมขึ้นนี้เกิดการสัมผัสกับรากพืชทำให้รากพืชดูดใช้สารละลายทำให้องค์ประกอบของสารละลายเกิดการเปลี่ยนแปลง ธาตุอาหารที่พืชสามารถดูดเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้ง่าย เช่น ไนโตรเจน โพแทสเซียม และธาตุอาหารที่พืชดูดไปใช้ได้ยาก เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก (Nuntagij และคนอื่น ๆ, 2001) จากเหตุนี้จึงทำให้ไนเตรทและโพแทสเซียมเหลือสะสมอยู่ในอาหารเพาะเลี้ยงบริเวณรากในปริมาณที่น้อย และแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กจะคงเหลือในอาหารเพาะเลี้ยงบริเวณรากในปริมาณมากทำให้เรดโอ๊คและคะน้าฮ่องกงที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร AB2 สามารถเจริญเติบโตได้ดีเนื่องจากประกอบด้วยอาหารที่กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้พืชทั้งสองสามารถดูดธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับการเจริญเติบโตในอาหารสูตร MS

ดังนั้นการนำสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน พบว่า พืชทุกชนิดสามารถเกิดการเจริญเติบโต และตอบสนองต่ออาหารดังกล่าว โดยพืชที่เพาะเลี้ยงในอาหารจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันให้ผลในการเจริญเติบโตได้ทั้งแตกต่างและไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ใช้ปลูก ปริมาณของธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบของสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดิน เนื่องจากพืชแต่ละชนิดต้องการปริมาณของธาตุอาหารในการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน รวมทั้งสภาวะในการเพาะเลี้ยง เช่น แสง อุณหภูมิ ความชื้น มีผลอย่างมากต่อการพัฒนาและการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานของเนื้อเยื่อที่เพาะเลี้ยง (กาญจน์วี พงษ์ฉวี, 2560; พัชรา ลิปะนะเวช, 2550) ดังนั้นแล้วจึงสามารถนำสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันดังกล่าวข้างต้นมาประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้

ข้อเสนอแนะ

1. ผลจากการวิจัยของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายโดยใช้ปุ๋ยเคมี สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้า และสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันเพื่อการเพาะเมล็ดพืช อาจมีข้อจำกัดบางประการ ดังนี้

1.1 แสง เนื่องจากในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อนั้นเนื้อเยื่อในขวดยังไม่สามารถสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารได้เอง ชนิดและความเข้มของแสงจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อซึ่งความเข้มแสงไม่เพียงพอจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

1.2 อุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชในสภาพเพาะเลี้ยงในขวดแก้วมักจะต่ำกว่าในสภาพธรรมชาติ ซึ่งเกษตรกรหรือที่สนใจที่จะลงเรียนรู้วิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจะต้องศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชทดลองที่ต้องการจะขยายพันธุ์

1.3 ความชื้น ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจะมีความชื้นในขวดเพาะเลี้ยงสูง ดังนั้นจะต้องควบคุมความชื้นให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นวิธีการซับซ้อน และยุ่งยากต้องอาศัยเครื่องมือห้องปฏิบัติการเฉพาะด้าน และผู้ชำนาญที่มีประสบการณ์ จึงเป็นข้อจำกัดต่อการขยายพันธุ์พืชด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

2. ผลจากการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้หรือดัดแปลงเป็นต้นแบบการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชโดยใช้สูตรอาหารเพาะเมล็ดจากสารอาหารทดแทนธาตุอาหารและวิตามินทางการค้า

โดยพิจารณาเลือกจากพืช และสูตรอาหารที่เหมาะสมที่ควรพัฒนาเป็นแผนการจัดการเรียนการสอนในโรงเรียน สถาบันการศึกษา กลุ่มบุคคลทั่วไป และผู้ที่สนใจที่จะลองเรียนรู้วิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเบื้องต้น

3. เกษตรกรที่ต้องการปรับปรุงพันธุ์พืช สามารถนำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยใช้เมล็ดมาใช้ในการขยายพันธุ์พืชได้ โดยเกษตรกรสามารถใช้วิธีการเพาะเมล็ดในการช่วยชีวิตพืชพันธุ์ต่าง ๆ ให้รอดชีวิต (Embryo rescue) ซึ่งจะทำให้พืชเกิดการพัฒนาด้านอ่อนสามารถมีชีวิตรอดและเกิดการเจริญเติบโตได้ โดยผนวกกับการประยุกต์ใช้หรือดัดแปลงผลการวิจัยของสูตรอาหารเพาะเมล็ดอย่างง่ายโดยใช้ปุ๋ยเคมี สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินร่วมกับวิตามินทางการค้า และสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชไม่ใช้ดินจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันที่เหมาะสมต่อการเพาะเมล็ดพืชซึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ Embryo rescue ให้มีต้นทุนต่ำได้เช่นเดียวกัน

4. ผลจากการวิจัยสามารถนำไปพัฒนาร่วมกับการประยุกต์ใช้หรือดัดแปลงการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยใช้สูตรอาหารเพาะเมล็ดจากสารอาหารทดแทนธาตุอาหารและวิตามินทางการค้าร่วมกับการเตรียมสูตรอาหารโดยไม่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อและการปฏิบัติในขั้นตอนการย้ายเนื้อเยื่อโดยไม่ใช้ตู้ปลอดเชื้อเพื่อขยายพันธุ์พืชในหลอดทดลองในโอกาสต่อไป

บรรณานุกรม

- Aver'Yanov, A., Lapikova, V., Nikolaev, O., และ Stepanov, A. (2000). Active oxygen-associated control of rice blast disease by riboflavin and roseoflavin. *Biochemistry. Biokhimiia*, 65(11), 1292-1298.
- Barwale, U., Kerns, H., และ Widholm, J. (1986). Plant regeneration from callus cultures of several soybean genotypes via embryogenesis and organogenesis. *Planta*, 167(4), 473-481.
- Blanchard, M. G., และ Runkle, E. S. (2006). Temperature during the day, but not during the night, controls flowering of *Phalaenopsis* orchids. *Journal of experimental botany*, 57(15), 4043-4049.
- Chen, W.-H., Tseng, Y.-C., Liu,, Yo-Ching, C., Chuo-Min, C., Pai-Ting, T., Kai-Meng, Y., . . . Wang, H.-L. (2008). Cool-night temperature induces spike emergence and affects photosynthetic efficiency and metabolizable carbohydrate and organic acid pools in *Phalaenopsis aphrodite*. *Plant cell reports*, 27(10), 1667-1675.
- George, E. F. (1993). *Plant propagation by tissue culture. Part 1: The technology*: Exegetics limited.
- Goyer, A. (2010). Thiamine in plants: aspects of its metabolism and functions. *Phytochemistry*, 71(14-15), 1615-1624.
- Grevenstuk, T., Coelho, N., Gonçalves, S., และ Romano, A. (2010). In vitro propagation of *Drosera intermedia* in a single step. *Biologia plantarum*, 54(2), 391-394.
- Jang, G.-W., Kim, K.-S., และ Park, R.-D. (2003). Micropropagation of Venus fly trap by shoot culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 72(1), 95-98.
- Kaewduangta, W., และ Reamkatog, P. (2011). Effect of modification medium on growth development of *Dendrobium parishii* in vitro. *Am Eurasian J Agric Environ Sci*, 11, 117-121.
- Kataoka, K., Sumitomo, K., Fudano, T., และ Kawase, K. (2004). Changes in sugar content of *Phalaenopsis* leaves before floral transition. *Scientia horticulturae*, 102(1), 121-132.

- Langens-Gerrits, M. M., Miller, W. B., Croes, A. F., และ De Klerk, G.-J. (2003). Effect of low temperature on dormancy breaking and growth after planting in lily bulblets regenerated *in vitro*. *Plant growth regulation*, 40(3), 267-275.
- Lee, H.-C., Chen, Y.-J., Markhart, A. H., และ Lin, T.-Y. (2007). Temperature effects on systemic endoreduplication in orchid during floral development. *Plant Science*, 172(3), 588-595.
- McCown BH, และ Lloyd G. (1981). Woody Plant Medium (WPM)-a mineral nutrient formulation for microculture for woody plant species. *Hort. Sci.*, 16, 453.
- Mooney, S., และ Hellmann, H. (2010). Vitamin B6: Killing two birds with one stone? *Phytochemistry*, 71(5-6), 495-501.
- Murashige, T. (1974). Plant propagation through tissue cultures. *Annual review of plant physiology*, 25(1), 135-166.
- Murashige, T., และ Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, 15(3), 473-497.
- Nuntagij, I., Tongaram, D., Poovarodom, S., Tawinteung, N., Laohavisuti Nongnuch, และ Na-Songkhla, P. (2001). *Soilless culture training 3 th*. Bangkok, Thailand: Department of soil Science Faculty of Agricultural King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- Pacheco-Ruiz, I., Zertuche-González, J., Arroyo-Ortega, E., และ Valenzuela-Espinoza, E. (2004). Agricultural fertilizers as alternative culture media for biomass production of *Chondracanthus squarulosus* (Rhodophyta, Gigartinales) under semi-controlled conditions. *Aquaculture*, 240(1-4), 201-209.
- Pierik, R. L. M. (1997). *In vitro culture of higher plants*: Springer science & business media.
- Pulma, C. C., Anit, J. A., และ Quilang, A. B. (2010). An inorganic fertilizer as a culture medium for *Cattleya* seedling culture. *AsPac J Mol Biol Biotechnol*, 18, 229-231.
- Reed, S. M. (2005). *Embryo Rescue Plant Development and Biotechnology* (R.N. Trigiano และ D. J. Gray Eds.). Florida, USA: CRC Press LLC.
- Shen, X., Gmitter, F. J., และ Grosser, J. (2011). *Immature Embryo Rescue and Culture Methods in Molecular Biology* (J. M. Walker Ed.). New York, USA: Humana Press.

- Shinohara, Y., และ Suzuki, Y. (1988). *Quality improvement of hydroponically grown leaf vegetables*. Paper presented at the Symposium on High Technology in Protected Cultivation 230.
- Singh Tomar, R. (2018). Role of Vitamins in Plant Growth and their Impact on Regeneration of Plants under Invitro Condition. 6, 423-426.
- Su, V., Hsu, B.-D., และ Chen, W.-H. (2001). The photosynthetic activities of bare rooted *Phalaenopsis* during storage. *Scientia horticulturae*, 87(4), 311-318.
- Thorpe, T. A. (2007). History of plant tissue culture. *Molecular biotechnology*, 37(2), 169-180.
- Trigiano, R. N., และ Gray, D. J. (1999). *Plant tissue culture concepts and laboratory exercises*: CRC press.
- Vacin, E. F., และ Went, F. (1949). Some pH changes in nutrient solutions. *Botanical Gazette*, 110(4), 605-613.
- van der Krieken, W. M., Breteler, H., Visser, M. H., และ Jordi, W. (1992). Effect of light and riboflavin on indolebutyric acid-induced root formation on apple in vitro. *Physiologia plantarum*, 85(4), 589-594.
- Vanderschuren, H., Boycheva, S., Li, K.-T., Szydlowski, N., Grisse, W., และ Fitzpatrick, T. B. (2013). Strategies for vitamin B6 biofortification of plants: a dual role as a micronutrient and a stress protectant. *Frontiers in plant science*, 4, 143.
- Vaz, A. P. A., และ Kerbauy, G. B. (1998). *Effects of mineral nutrients on in vitro growth and flower formation of *Psychomorphis pusilla* (Orchidaceae)*. Paper presented at the XXV International Horticultural Congress, Part 10 : Application of Biotechnology and Molecular Biology and Breeding-In Vitro 520.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2546). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเกี่ยวกับงานขยายพันธุ์พืช. กรุงเทพฯ: ชุมนุมการเกษตรแห่งประเทศไทย.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2558). การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์. กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2559). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. ชุมนุมการเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด: กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

- กลุ่มส่งเสริมการเกษตร สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมส่งเสริมการเกษตร. (2560). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. สืบค้นจาก <http://northernfoodvalley.com/ebook/43.pdf>
- กัลยาจิต จันทรมูล. (2555). ผลของการใช้ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ทดแทนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. เชียงใหม่:
- กาญจนา พงษ์ฉวี. (2560). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำ. สืบค้นจาก <http://inlandfisheries.go.th/files/pdf/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%9E%E0%B8%B2%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%B5%E0%B9%89%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%99%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B9%80%E0%B8%A2%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%9E%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%93%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%89%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3.pdf>
- การแบ่งปันและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของคณะวิทยาศาสตร์. (2558). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soiless Culture). สืบค้นจาก <http://www.science.kmitl.ac.th/sciblog/?p=433>
- กิตติศักดิ์ โชติกเดชานรงค์. (2558). อาหารอย่างง่ายจากสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเพื่อการเลี้ยงเนื้อเยื่อม่วงเทพรัตน์และกล้วยหาวาน. *Naresuan University Journal: Science and Technology (NUJST)*, 23(1), 74-81.
- กิตติศักดิ์ โชติกเดชานรงค์. (2559a). การใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชอย่างง่ายเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชท้องถิ่นสำหรับโรงเรียนในเขตจังหวัดเชียงใหม่ และลำพูน. การประชุมวิชาการระดับชาติพิบูลสงครามวิจัย ครั้งที่ 4, 202-208.
- กิตติศักดิ์ โชติกเดชานรงค์. (2559b). การใช้สารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินทดแทนธาตุอาหารในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อว่านสีทศ. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข*, 44(1), 103-110.
- คงเอก ศิริงาม, กุลิสรา อีระวิภา, และ ณัฐวุฒิ ไหล หาคโคตร. (2557). ผลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 22(6), 828-836.
- คำณูณ กาญจนภูมิ. (2544). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช (พิมพ์ครั้งที่ 2): กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิตราณัฐ คำหล้า. (2557). ผลของปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ต่อการเจริญเติบโตของกล้วยหาวานในสภาพปลอดเชื้อ. เชียงใหม่:
- จิราภรณ์ พิมพ์ลี, สุนนา นีระ, และ สุภัทธิ อิศรางกูล ณ อยุธยา. (2557). ผลของปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตของสตอเบอรี่ในสภาพปลอดเชื้อ. *วารสารแก่นเกษตร*, 42(3), 255-259.

- ณัฐสิทธิ์ ธารนะพุทธิลักษณ์, สุธนา นีระ, และ สุภัทธี อิศรางกูร ณ อยุธยา. (2557). ผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมของปุ๋ยเคมีที่มีต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วย. วารสารแก่นเกษตร, 43(3), 204-209.
- ดนัย บุญเกียรติ. (2556). สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลพืชสวน (พิมพ์ครั้งที่ 1): กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- เทิดศักดิ์ โทณลักษณ์. (2555). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเสี้ยวดอกขาว (*Bauhinia variegata* L.). เชียงใหม่: สาขาวิชาเทคโนโลยีและพัฒนากการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- ธีระศักดิ์ พงษาอนุทิน. (2547). การเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารของผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายสูตรต่าง ๆ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นพดล เรียบเลิศหิรัญ. (2553). การปลูกพืชไร้ดิน = *Soilless culture* (พิมพ์ครั้งที่ 3 [ฉบับพิมพ์ซ้ำ]). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- บุญยืน กิจวิจารณ์. (2544). เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช (พิมพ์ครั้งที่ 2 ฉบับปรับปรุง..): ขอนแก่น : ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปัทมา ศรีน้ำเงิน, และ พิชนิดา เคลิ้มกระโทก. (2560). The Effect of The Low-cost Plant Tissue Culture Medium on Growth of Mokara.
- ปิยดา ตันตสวัสดิ์, และ อารีย์ วรรณวัฒน์. (2551). บทปฏิบัติการการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. กรุงเทพฯ: เอเจนเทค.
- ปิยะดา ตันตสวัสดิ์. (2551). บทปฏิบัติการ การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช = *Plant tissue culture laboratory manual*: ม.ป.ท. : ม.ป.พ.
- ฝ่ายเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2544). การขยายพันธุ์พืช (Plant Propagation). สืบค้นจาก <https://www.tistr.or.th/tistrblog/>
- พงศ์ยุทธ นวลบุญเรือง, อภิชาติ ชิตบุรี, และ พัทธ์ พุทธวรชัย. (2562). การขยายพันธุ์พืชด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. กรุงเทพฯ: KBS Knowledge BookStore.
- พงศ์ยุทธ นวลบุญเรือง, อภิชาติ ชิตบุรี, และ ยุทธนา เขาสุเมรุ. (2551). ศักยภาพของสารทดแทนธาตุอาหารและวิตามินในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร, 39(3), 528-531.
- พรชัย จุฑามาศ. (2560). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. สืบค้นจาก http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/other/cell_plant.pdf
- พัชรา ลิปะนะเวช. (2550). การเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

- พันทวี มาไพโรจน์. (2532). ฮอร์โมนและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พีรเดช ทองอำไพ. (2537). ฮอร์โมนพืชและสารสังเคราะห์ : แนวทางการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย = *Plant hormones and the synthetics: potential uses in Thailand* (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พีรศักดิ์ ฉายประสาท. (2560). การปลูกผักไฮโดรโปนิคส์. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2560a). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชกับการพัฒนาการเกษตร. สืบค้นจาก <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxrYXNldGNob290aGFpfGd4OjZmM2M5OTFkNDdjZjc4ZDc>
- ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2560b). องค์ประกอบและการเตรียมอาหารสังเคราะห์. สืบค้นจาก <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxrYXNldGNob290aGFpfGd4OjE5NjBhMzE5OGUyNmOzMzk>
- เยาวพา จิระเกียรติกุล, และ นิสา แซ่ลิ้ม. (2552). การเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์ Red Oak ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ด้วยสารละลายสูตรต่าง ๆ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 17(2), 81-88.
- รังสฤษฎ์ กาวีตะ. (2541). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช : หลักการและเทคนิค (พิมพ์ครั้งที่ 2.). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรรณ มังกิตะ, สุคนธ์ทิพย์ วงศ์เมือง, และ กมลพร ปานง่อม. (2554). การขยายพันธุ์ห่อม (*Strobilanthes cusia* (Nees) Kuntze) ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย, 3(2), 187-197.
- วรรณ จะนู, กิตติศักดิ์ โชติกเดชาณรงค์, ดาราลักษณ์ เยาวภาคย์โสภณ, และ ศรีสุลักษณ์ อีรานูพัฒนา. (2558). อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชต้นทุนต่ำเพื่อการขยายพันธุ์หญ้าหวาน. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลการวิจัย ระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6 กลุ่มระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์, 1(6), 401-411.
- วันเพ็ญ นันทานุวัฒน์, และ ยลนา เกลี้ยงแก้ว. (2557). สูตรอาหารอย่างง่ายต่อการเจริญของต้นอ่อนกล้วยไม้หวายปอมปาดัวร์ (*Dendrobium Pompadour*) ในสภาพปลอดเชื้อ. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 17(3), 111-117.

- ศศิลักษณ์ กลิ่นมณฑา, และ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2556). คู่มือการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเบื้องต้น สำหรับมือใหม่ (พิมพ์ครั้งที่ 1.): ปทุมธานี : สำนักงาน.
- ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์. (2546). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช: อุดรธานี : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏอุดรธานี.
- สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง. (2560). ความรู้ทางการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. สืบค้นจาก ก
จ ง
<http://www.lartc.rmutl.ac.th/ptclab/Tissue%20Culture/factor%20tissue%20culture.html>
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2560). Hydroponic การปลูกพืชไร้ดิน สืบค้นจาก <http://www.tistr.or.th/bsd/hydroponic.html>
- สมปอง เตชะโต. (2539). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช หลักการและพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ (พิมพ์ครั้งที่ 3). สงขลา: ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สมพร ประเสริฐสงกุล. (2552a). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกับการปรับปรุงพันธุ์พืช (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โพรเฟส.
- สมพร ประเสริฐสงกุล. (2552b). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและการปรับปรุงพันธุ์ เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาวิทยาศาสตร์ (pp. 127). ปัตตานี: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- สมัย สังข์ทองงาม. (2553). การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์. (วิทยาศาสตร์ มหบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สาขาวิชาเทคโนโลยี.
- สุกัลยา ศิริพงษ์สกุล, เพชรรัตน์ จันทรทิณ, และ เสริมศิริ จันทร์เปรม. (2549). สูตรอาหารอย่างง่าย สำหรับการเพาะเลี้ยง hairy root ของเจตมูลเพลิงแดงเพื่อผลิตสารพลัมบากิน. วารสาร วิทยาศาสตร์การเกษตร, 37(3), 249-256.
- สุดชล วันประเสริฐ. (2555). การศึกษาสัดส่วนความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในการผลิตผักคะน้าและ ผักชี ในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในระบบปิด (รายงานการวิจัย).
- อภิชาติ ชิตบุรี (Producer). (2560). หลักการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเพื่อการขยายพันธุ์. สืบค้นจาก <http://www.lartc.rmutl.ac.th/ptclab/chapter/tissue.htm>
- อรรณณ ฉัตรสีรุ่ง. (2551). ความสมบูรณ์ของดิน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: หน่วยพิมพ์และผลิตเอกสาร คณะเกษตรศาสตร์.
- อัญชลี จาละ, และ สโรธร ไพฑูรย์. (2556). การเพิ่มจำนวนกาบหอยแครงโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. *Thai Journal of Science and Technology*, 2(2), 134-139.

อุดม นวพานิช. (2549). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช = *Plant tissue culture : BO 467* (พิมพ์ครั้งที่ 1).
กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยรามคำแหง.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวณิชา กานต์ สมจิต
วัน เดือน ปี เกิด	18 ตุลาคม 2534
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2553 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จาก โรงเรียนกัลยาณีศรีธรรมราช อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ.2557 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ.2561 การศึกษามหาบัณฑิต (กศ.ม.) สาขาชีววิทยา
ที่อยู่ปัจจุบัน	186/14 หมู่ 10 ซอยม่วงงาม ตำบลท่าเรือ อำเภอเมือง จังหวัด นครศรีธรรมราช 8000
ผลงานตีพิมพ์	ณิชากรต์ สมจิต, รักชนก โคโต. (2562). การพัฒนาสูตรอาหารเพาะเลี้ยง เนื้อเยื่อต้นทุนต่ำสำหรับพืชบางชนิด. รายงานสืบเนื่องจากการประชุม วิชาการ "วิทยาศาสตร์วิจัย" ครั้งที่ 11. 142-150.