สถิติงานวิจัย

สำนักหอสมุด

รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการ

การเพิ่มคุณภาพและปริมาณผลผลิตพรมมิโดยระบบไฮโดรโปนิกส์

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 1 มี.ค. 2562
เลขทะเบียน 1020088
เลขเรียกหนังสือ ว QK 867 น๖๑๕ ๒๕๖๐

โดย

ดร. เนริสา คุณประทุม

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจาก

งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2560

มหาวิทยาลัยนเรศวร

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติและมหาวิทยาลัยนเรศวรที่ได้ อนุเคราะห์งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2560 สัญญาเลขที่ R2560B111 ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ผู้ปลูกพรมมิเชิงการค้า เกษตรกรผู้ที่สนใจเพื่อเพิ่มผลผลิตพรมมิได้ และนักวิจัยในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2561

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	2
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	11
บทที่ 4 ผลการทดลอง	15
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการทดลอง	31
เอกสารอ้างอิง	37

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 1 บทนำ

พรมมิ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. มีชื่อพ้องคือ ผักมิ, Brahmi, Bacopa และ Water hyssop (เต็ม สมิตินันทน์, 2544) จัดอยู่ในวงศ์ Plantaginaceae (Charoenphon et al., 2016) เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็ก ลำต้นเลื้อยแผ่ไปตามพื้นดิน ชอบขึ้นตามพื้นดินที่ชุ่มชื้น หรือมีน้ำขัง พบได้ทั่วไปในแถบทวีปเอเชีย เขตร้อนชื้น กึ่งร้อนชื้น และประเทศไทย (สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืชกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2558; Russo and Borrelli, 2005) พรมมิใช้เป็นยาสมุนไพรในตำราอายุรเวท (Ayurvedic medicine) ของอินเดียมามากกว่า 3000 ปี โดยใช้ส่วนต้นที่อยู่เหนือดินเป็นยาอายุวัฒนะ มีสรรพคุณช่วยเพิ่มความจำ และบำรุงสมอง (Calabrese et al., 2008) ในปัจจุบันพบว่ามีรายงานการวิจัยฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของพรมมิหลายด้าน เช่น ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์การต้านเซลล์มะเร็ง ลดอาการซึมเศร้า ฤทธิ์การฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ฤทธิ์ด้านการขยายหลอดเลือด (Kamkaew et al., 2011; Charoenphon et al., 2016; Haque et al., 2017) โดยเฉพาะอย่างยิ่งฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่มีผลในการป้องกันระบบประสาท และการป้องกันการเกิดโรคอัลไซเมอร์ (Peth-Nui et al., 2012; Nemetchek et al., 2017) พบว่าสารออกฤทธิ์สำคัญในต้นพรมมิเป็นสารกลุ่ม triterpenoid saponin ชื่อว่า bacoside มีฤทธิ์ช่วยเพิ่มความจำและไม่มีผลข้างเคียงใดๆ (Calabrese et al., 2008; Kongkeaw et al., 2014) ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพจากสารสกัดพรมมิออกมาจำนวนมากมายทั่วโลก รวมทั้งในประเทศไทย แต่ในประเทศไทยยังมีแหล่งเพาะปลูกพรมมิเพื่อใช้ในการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมยาและอาหารเสริมน้อยมาก อีกทั้งยังเป็นการปลูกบนดินที่มีน้ำท่วมขัง (กรกนก อิงคนินันท์, 2553; Phrompittayarat et al., 2011) ซึ่งการใช้แหล่งน้ำธรรมชาติในการเพาะปลูก มีโอกาสสูงที่พืชจะปนเปื้อนสารพิษตกค้าง เนื่องจากมีการชะล้างจากการทำเกษตรกรรมและปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพรมมิเป็นพืชที่ดูดซับสารตกค้างและโลหะหนักในดินได้ง่าย (Pierce et al., 2009; Hussain. K, 2010) ดังนั้นการเพาะปลูกบนดินที่มีน้ำท่วมขังอาจปนเปื้อนสารพิษจากยาฆ่าแมลงหรือสารโลหะหนักที่ถูกชะลงในแหล่งน้ำได้ นอกจากนั้นยังพบว่าการเพาะปลูกบนดินที่มีน้ำท่วมขังนั้นต้องใช้เวลาในการปลูกนาน 3-4 เดือน จึงจะสามารถเก็บเกี่ยวได้ และพบสาร bacoside เฉลี่ยเพียงร้อยละ 1.9 ของน้ำหนักแห้งเท่านั้น (กรกนก อิงคนินันท์, 2553; Phrompittayarat et al., 2011) ปัจจุบันการปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์เป็นที่นิยมในด้านการเกษตรเพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตและลดระยะเวลาในการเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นเทคโนโลยีทางการเกษตรที่สามารถปลูกพืชได้โดยไม่ใช้ดิน โดยรากพืชสามารถนำสารอาหารไปใช้ได้โดยตรงผ่านสารละลายธาตุอาหาร การปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์จึงเป็นส่วนสำคัญในการช่วยเพิ่มผลผลิต ลดระยะเวลาในการเพาะปลูก ป้องกันการปนเปื้อนสารพิษในดินหรือแหล่งน้ำในธรรมชาติ (ดิเรก ทองอร่าม, 2550)

และสามารถควบคุมคุณภาพของพรมมิที่จะนำไปผลิตในระดับอุตสาหกรรมยาและอาหารเสริมได้ ซึ่งการปลูกพรมมิให้มีผลผลิตสูงและมีคุณภาพขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของระบบปลูกไฮโดรโปนิกส์ซึ่งมีหลากหลายระบบในปัจจุบัน ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่สามารถวัดได้จากค่าการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity, EC) และค่า pH ของสารละลายธาตุอาหาร เนื่องจากการปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์เป็นระบบที่สารละลายหมุนเวียนอยู่ในระบบ การจัดการธาตุอาหารให้อยู่ในสภาพสมดุลและเหมาะสมกับความต้องการของพืชตลอดการปลูก จึงมีผลอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยจะเน้นที่การควบคุมค่า pH และค่า EC ของสารละลายธาตุอาหาร (อานัฐ ตันโช, 2548) และปัจจุบันมีรายงานการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต Methyl jasmonate (MeJA) ในปริมาณที่เหมาะสมในการช่วยเพิ่มการสะสมสารทุติยภูมิ หรือสารต้านอนุมูลอิสระในพืช (Largia et al., 2015; Lucho-Constantino et al., 2017) เนื่องจากพืชจะหลั่งฮอร์โมนภายในต้นพืชเพื่อใช้ในกระบวนการปกป้องตัวเองเมื่อเกิดบาดแผลจากโรคและการเข้าทำลายกัดกินของแมลงศัตรูพืชหรือถูกสัตว์กัดกิน โดย MeJA เป็นสัญญาณจากสารควบคุมการเจริญเติบโตไปกระตุ้นให้พืชเกิดการสังเคราะห์สารทุติยภูมิ (secondary metabolite) ดังนั้น เพื่อให้พรมมิสามารถผลิตสาร bacoside ได้สูงขึ้น จึงต้องศึกษาถึงผลของ MeJA ที่มีต่อการสะสมของสาร bacoside ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญของพรมมิ

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาปัจจัยทางกายภาพ และสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตและการสะสมสาร bacoside ของพรมมิ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของพืชสมุนไพร และเพื่อการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตยาและอาหารเสริมเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดในอนาคต

บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะและความสำคัญของพรมมิ

พรมมิ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. เป็นพืชสมุนไพร จัดอยู่ในวงศ์ Plantaginaceae พืชสกุล *Bacopa* เคยถูกจัดให้อยู่ในวงศ์ Scrophulariaceae แต่หลังจากที่ได้มีการศึกษาโดยใช้ข้อมูลทางชีววิทยาระดับโมเลกุลเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของการจัดหมวดหมู่ พบว่าพืชหลายสกุลที่เคยอยู่ในวงศ์ Scrophulariaceae ได้ถูกย้ายไปอยู่ในวงศ์อื่นๆ ปัจจุบันพืชสกุล *Bacopa* มีทั้งหมด 69 ชนิด (กรกนก อิงคนินันท์ และคณะ, 2558) พบได้ทั่วไปในแถบทวีปเอเชีย เขตร้อนชื้นและกึ่งร้อนชื้น รวมทั้งในประเทศไทย พบอยู่ในที่ชื้นมีน้ำท่วมถึง หรือมีน้ำขัง (สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืชกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2558; Russo and Borrelli, 2005) พรมมิมีชื่อพ้องคือ ผักมิ, Brahmi, Bacopa และ Water hyssop (เต็ม สมิตินันทน์, 2544) ในประเทศไทยพบพืชสกุลนี้ 3 ชนิด คือ *B. monnieri* (L.) Wettst. (พรมมิ) *B. caroliniana* Roxb. (ลานไพลิน) และ *B. floribunda* (R. Br.) Wettst. (ผักสามหลั่น) แต่มีเพียง *B. monnieri* (L.) Wettst. หรือ พรมมิชนิดเดียวเท่านั้นที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีปริมาณมากที่สุด และสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตยาและอาหารเสริมได้ (กรกนก อิงคนินันท์ และคณะ, 2558)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ พรมมิ เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็ก อายุมากกว่า 1 ปี (perennial plant) ปลายยอดชูเหนือน้ำ ลำต้นตั้งตรง กลมอวบน้ำ ไม่มีขน มีรากออกตามข้อยึดติดกับดิน ใบเป็นใบเดี่ยว ออกแบบตรงข้ามสลับตั้งฉากในแต่ละข้อ ไม่มีก้านใบ แผ่นใบรูปไข่กลับ ขนาดใบยาวประมาณ 1-1.5 เซนติเมตร กว้างประมาณ 0.5 เซนติเมตร ปลายใบป้าน โค้งมนไม่เรียบ มีรอยหยักตื้นๆ 2-3 ครั้งที่ขอบปลายใบ โคนใบแคบติดกับลำต้น แผ่นใบไม่มีขนปกคลุมทั้งด้านล่างและด้านบน ใบอวบน้ำ เส้นใบเห็นไม่ชัดเจน ดอกเป็นดอกเดี่ยวออกที่ซอกใบทั้งสองข้างที่ตรงกันข้าม ก้านดอกยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร วงกลีบเลี้ยง 5 กลีบ ขนาดไม่เท่ากัน วงกลีบดอกเชื่อมติดกันที่ฐาน มี 5 กลีบ หลุดร่วงง่ายทั้งวง ความยาวของกลีบดอกประมาณ 1 เซนติเมตร เกสรเพศผู้ มี 4 อัน แบบ didynamous stamen (2+2) ผล เป็นผลเดี่ยว ผลแห้งแบบแตกตรงกลางพู (loculicidal dehisent) เมล็ด ขนาดเล็กมีลวดลายเป็นริ้ว ขนาดประมาณ 0.1 เซนติเมตร นิยมใช้เป็นพืชประดับตู้ปลาสวยงาม และเป็นพืชสมุนไพร (สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืชกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2558; กรกนก อิงคนินันท์ และคณะ, 2558)

พรมมิถูกใช้เป็นยาสมุนไพรในตำราอายุรเวท (Ayurvedic medicine) ของอินเดียมามากกว่า 3000 ปี โดยใช้ส่วนต้นที่อยู่เหนือดินเป็นยาอายุวัฒนะ ช่วยเพิ่มความจำ และบำรุงสมอง (Calabrese et al., 2008) สำหรับตำรายาไทยนั้น พบว่าใช้ขับโลหิต แก้ไข้ ขับพิษร้อน ขับเสมหะ บำรุงหัวใจ แก้ลมบ้าหมู และบำรุงประสาท (พิชานันท์ ลีแก้ว, 2555; ชาญชัย สาดแสงจันทร์, 2556)

ในปัจจุบันพบว่ามีรายงานการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของพรมมิหลายด้าน เช่น ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์การต้านเซลล์มะเร็ง ลดอาการซึมเศร้า ฤทธิ์การฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ฤทธิ์ด้านการขยายหลอดเลือด เป็นต้น (Kamkaew et al., 2011; Charoenphon et al., 2016; Haque et al., 2017) โดยเฉพาะอย่างยิ่งฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่มีผลในการป้องกันระบบประสาท และการป้องกันการเกิดโรคอัลไซเมอร์ (Peth-Nui et al., 2012; Nemetchek et al., 2017) พบว่าองค์ประกอบหลักทางเคมีของพรมมิเป็นสารกลุ่ม saponins สารกลุ่ม saponin glycosides นี้ แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ Jujubogenin ประกอบด้วย Bacoside A3 และ Bacopaside X และกลุ่ม pseudoJujubogenin ประกอบด้วย Bacopaside I, Bacopaside II และ Bacopasaponin C นอกจากนี้ยังพบสารกลุ่ม alkaloids สารกลุ่ม glycoside, flavonoid และ steroid โดยสารกลุ่ม saponins จะเป็นกลุ่มที่ออกฤทธิ์เพิ่มความจำ สารหลักที่มีปริมาณมากที่สุดเรียกว่า bacoside ประกอบด้วย Bacoside A3, Bacopaside II, Bacopasaponin C และ Bacopaside X (เรียกว่า bacoside A) รวมถึง Bacopaside I ด้วย (Nuengchamnong et al., 2016) สำหรับวิธีการตรวจสอบสารกลุ่ม saponins ในพรมมิ เพื่อใช้ในการควบคุมมาตรฐาน มีรายงานการวิเคราะห์สารด้วยเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography) พบว่าส่วนที่อยู่เหนือน้ำความยาว 10-20 เซ็นติเมตรจากยอด มีปริมาณของสารกลุ่ม saponins สูงที่สุดเฉลี่ยเพียงร้อยละ 1.9 ของน้ำหนักแห้ง และพบว่าพรมมิที่สามารถทำการเก็บเกี่ยวได้ จะต้องมีอายุนาน 3-4 เดือนขึ้นไปจึงจะมีปริมาณสารซาโปนินปริมาณสูงและเหมาะสำหรับการเก็บเกี่ยว (กรกนก อิงคนินันท์, 2553; Phrompittayarat et al., 2011)

ปัจจุบัน มีรายงานการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารที่พบในพรมมิหลายด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่มีผลในการป้องกันระบบประสาท และการป้องกันการเกิดโรคอัลไซเมอร์ โดยมีการศึกษาผลทั้งในระดับห้องปฏิบัติการ ในสัตว์ทดลอง การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรัง ตลอดจนการทดลองทางการแพทย์ โดยพบว่าสารสกัดจากสมุนไพรพรมมิ มีฤทธิ์ในการป้องกันเซลล์ประสาทไม่ให้ถูกทำลาย ความบกพร่องทางการเรียนรู้และความจำ เช่น โรคอัลไซเมอร์เกิดจากการตายของเซลล์ประสาทส่วน Hippocampus และ Frontal cortex โดยโปรตีน beta amyloid เป็นสาเหตุสำคัญต่อการตายของเซลล์ประสาท และการเกิดโรคอัลไซเมอร์ (อรระวี คงสมบัติ และคณะ, 2554) จากการศึกษาฤทธิ์ด้านการปกป้องเซลล์ประสาทของสารสกัดพรมมิ โดยการเพาะเลี้ยงเซลล์ประสาท พบว่าสารสกัดพรมมิสามารถป้องกันเซลล์ประสาทที่ถูกทำลายด้วยโปรตีน beta amyloid ได้ โดยสารสกัดจากพรมมิมีกลไกในการต้านสารอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเกิด oxidative stress บนเซลล์ประสาท และการยับยั้งการทำงานของ Acetylcholinesterase (AChE) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ไปทำลายสารสื่อประสาท คือ Acetylcholine หากมีการหลั่ง Acetylcholinesterase (AChE) ในปริมาณมากจะทำให้ Acetylcholine ลดลง และเป็นสาเหตุให้การทำงานของระบบประสาทมีประสิทธิภาพน้อยลง (Limpeanchob et al., 2008) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงาน อรระวี

คงสมบัติ และคณะ (2554) และ Uabundit et al. (2010) พบว่าสัตว์ทดลองที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยโปรตีน beta amyloid มีความจำลดลงโดยวัดจากรูปแบบการทดสอบที่ให้สัตว์ทดลองได้ทดสอบ และวัดจากระดับของ lipid peroxidation ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อสัตว์ได้รับสารสกัดจากพรมมิขนาด 20, 40 และ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว พบว่าสารสกัดทุกขนาดส่งผลให้สัตว์ทดลองมีการเรียนรู้และมีความจำเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับปกติ โดยมีระดับของ lipid peroxidation ที่ลดลง และมีจำนวนเซลล์ประสาทมากขึ้น โดยให้ผลใกล้เคียงกับยา Donepezil ซึ่งเป็นยาสำหรับรักษาผู้ป่วยภาวะสมองเสื่อม และสมุนไพรแปะก๊วย นอกจากนั้นยังพบว่าสารสกัดพรมมิ มีผลทำให้ช่วยเพิ่มการไหลเวียนโลหิตบริเวณหลอดเลือดแดงบนเยื่อหุ้มสมอง โดยไม่มีผลต่อความดันโลหิตและอัตราการเต้นของหัวใจในสัตว์ทดลอง (Kamkaew et al.,2013)

สำหรับการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลัน และพิษเรื้อรังจากการได้รับสารสกัดพรมมินั้น พบว่าไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษเฉียบพลัน และพิษเรื้อรังทั้งในสัตว์ทดลองและในมนุษย์ (Calabrese et al., 2008; Sireeratawong et al., 2016) สำหรับการศึกษาทดลองทางการแพทย์พบว่าการรับประทานสารสกัดพรมมิปริมาณ 300 มิลลิกรัมต่อวัน เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ มีผลทำให้ความสามารถในการเรียนรู้ และความสามารถในการจดจำเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังมีความสนใจและจดจ่อมากขึ้นเช่นกัน เนื่องมาจากการลดลงของ Acetylcholinesterase (AChE) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ไปทำลายสารสื่อประสาท การรับประทานสารสกัดพรมมิช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้และความจำทั้งในผู้สูงอายุและผู้ที่อยู่ในวัยกลางคน (Calabrese et al., 2008; Peth-Nui et al., 2012; Kongkeaw et al., 2014)

2.2 การปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponic system)

Hydroponics เป็นการปลูกพืชที่ไม่ใช้ดินและวัสดุปลูก (Nonsubstrate หรือ Water culture) เป็นการปลูกพืชลงในสารละลายธาตุอาหารพืชโดยให้รากพืชสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารโดยตรง ปัจจุบันการปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์เป็นที่นิยมและเป็นที่ยอมรับทั่วโลก เนื่องจากสามารถผลิตพืชได้อย่างต่อเนื่องตลอดปี เพิ่มรอบการผลิตได้มากแต่ใช้พื้นที่น้อย สามารถผลิตพืชในบริเวณที่แห้งแล้งที่สุดของโลกได้ อายุการเก็บเกี่ยวสั้นกว่าและได้คุณภาพสูงกว่าการปลูกพืชบนดิน เนื่องจากมีการจัดการที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆ ให้เหมาะสมต่อพืชได้ นอกจากนั้นยังสามารถลดปัญหาการปนเปื้อนสารพิษในดินหรือแหล่งน้ำที่ถูกชะล้างจากการทำเกษตรกรรม อีกทั้งยังช่วยประหยัดค่าสารเคมีในการกำจัดวัชพืชและการกำจัดแมลงด้วย (ดิเรก ทองอร่าม, 2550) การปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ที่มีการไหลวนของสารละลายธาตุอาหารที่ได้รับความนิยมในประเทศไทยมี 3 ระบบ ดังนี้

1) ระบบไฮโดรโปนิกส์แบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (Nutrient film technique; NFT)

เป็นการปลูกพืชโดยการให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง รากพืชจะได้รับสารละลายธาตุอาหารโดยตรง โดยสารละลายธาตุอาหารที่ให้จะหนาประมาณ 1–3 มิลลิเมตร (ภาพที่ 2.1 A) ต้นพืชจะเติบโตขึ้นในถ้วยที่ใช้ปลูกซึ่งจะวางอยู่ตรงกลางของราง และเพื่อให้สารละลายธาตุอาหารไหลได้เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ตัวรางจึงต้องตั้งให้ลาดเอียงประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ ทำให้รากพืชได้รับออกซิเจนได้มาก โดยมีอัตราการไหล 1-2 ลิตร/นาที/ราง แต่ทั้งนี้อัตราการไหลยังจะขึ้นอยู่กับความยาวของรางซึ่งจะต้องให้เพียงพอกับความต้องการในการเจริญเติบโตของพืชด้วย ในรางปลูกพืชกว้าง ตั้งแต่ 5-35 เซนติเมตร สูงประมาณ 5-10 เซนติเมตร ความยาวของรางปลูก ตั้งแต่ 5-20 เมตร รางอาจทำจากแผ่นพลาสติกสองหน้า ขาวและดำ หนา 80 - 200 ไมครอน หรือทำจากท่อ PVC ขึ้นรูปเป็นรางสำเร็จรูป โดยจะมีปั๊มดูดสารละลายให้ไหลผ่านรางและรากพืชและหมุนเวียนกลับมายังถังเก็บสารละลายธาตุอาหาร การปลูกพืชด้วยระบบ NFT เป็นการปลูกที่ใช้ปริมารสารละลายธาตุอาหารน้อยและมีประสิทธิภาพที่สุด เนื่องจากใช้น้ำในระบบน้อย แต่จะมีการสะสมความร้อนของสารละลายธาตุอาหารได้ง่าย และต้องมีเครื่องสำรองไฟเพื่อให้ปั๊มน้ำทำงานตลอดเวลาหากมีปัญหาในกรณีที่ไฟดับ (อานัฐ ตันโช, 2548; ดิเรก ทองอร่าม, 2550)

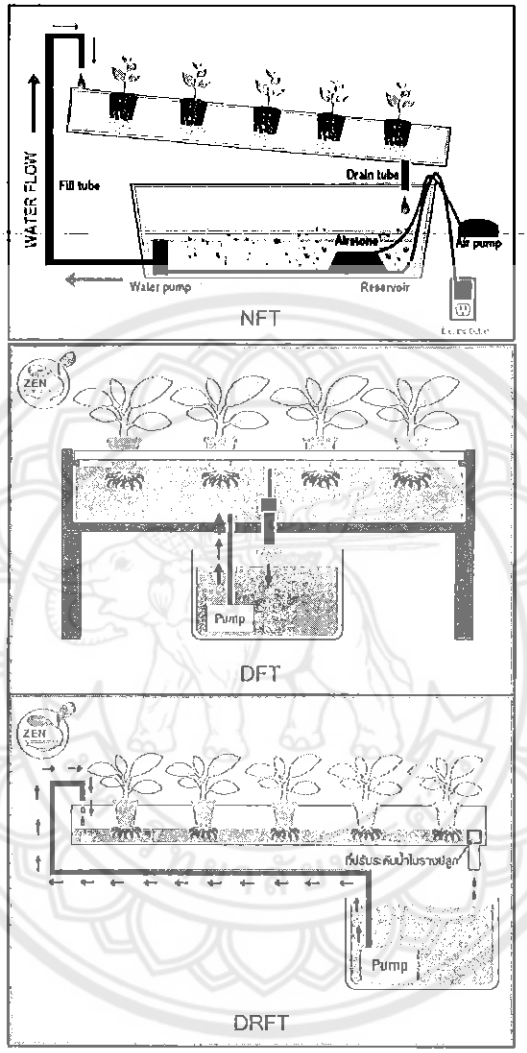
2) ระบบไฮโดรโปนิกส์แบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชในรางปลูกระดับลึก (Deep Flow Technique; DFT)

เป็นวิธีการปลูกที่ให้สารละลายธาตุอาหารได้ลึกกว่าระบบ NFT โดยมีความลึกประมาณ 3-10 เซนติเมตร หรือปริมาณสารละลายธาตุอาหารท่วมราก (ภาพที่ 2.1 B) โดยอาจนำท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-4 นิ้ว ขึ้นอยู่กับการออกแบบของการปลูก ซึ่งอาจมีการออกแบบระบบในแนวราบหรือแบบขั้นบันไดก็ได้ เพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้ดี การวางของท่อจึงไม่จำเป็นต้องวางให้ลาดเอียงเหมือนกับระบบ NFT เพียงแต่ว่าการหมุนเวียนสารละลายต้องให้อัตราการไหลที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้กับสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งทำให้รากพืชได้รับออกซิเจนได้เพียงพอ การปลูกพืชด้วยระบบ DFT เป็นระบบที่อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารค่อนข้างคงที่ ทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขึ้นสูงหรือต่ำเป็นไปอย่างช้าๆ และลดปัญหารากแห้งหรือความเสียหายของพืชหากเกิดปัญหาในกรณีที่ไฟดับ เนื่องจากรากพืชแช่อยู่ในสารละลายตลอดเวลา

3) ระบบไฮโดรโปนิกส์แบบกึ่งน้ำลึก (Dynamic Root Floating Technique (DRFT)

เป็นการปลูกพืชแบบให้สารละลายธาตุอาหารและอากาศไหลวนผ่านรากพืชในระดับลึกอย่างต่อเนื่องในกระบะปลูก สารละลายจะไหลผ่านรากพืชลึกกว่าระบบ NFT แต่จะลึกน้อยกว่าในระบบ DFT (ภาพที่ 2.1 C) เน้นการปลูกให้รากพืชแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งสร้างรากอากาศเพื่อดูดออกซิเจนเข้าสู่รากเพื่อช่วยในการหายใจ โดยเพิ่มระบบท่อรับน้ำในกระบะที่ช่วยให้ระดับสารละลายธาตุอาหารสูงขึ้นหรือลดลงได้ตามความต้องการของพืช โดยมีปั๊มน้ำช่วยในการหมุนเวียนสารละลาย รางปลูกจะไม่ต้องลาดเอียงเหมือนระบบ NFT ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหา

น้ำแห้งรางเมื่อเกิดไฟฟ้าดับได้ นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการปลูกด้วยเทคนิคนี้ทำมาจากโฟมที่มีความหนาแน่นมาก เพื่อใช้เป็นฉนวนกันความร้อนให้ระบบรากพืช ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาในเรื่องอุณหภูมิของน้ำในระบบด้วย (อานัฐ ตันโช, 2548; ดิเรก ทองอร่าม, 2550; เฉลิมวุฒิ คำฟูบุตร, 2552)



ภาพที่ 2.1 การปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์; (A) ระบบ NFT, (B) ระบบ DFT และ (C) ระบบ DRFT

ที่มาภาพที่ 2.1 A: https://howtogrowmarijuana.com/nft-nutrient-film-technique/

B และ C: http://zen-hydroponics.blogspot.com/2014/11/blog-post.html

2.3 ปัจจัยทางกายภาพต่อการเจริญเติบโตและการสะสมสารทุติยภูมิของพืชภายใต้การปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

การปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ที่มีการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ เช่น ระบบ NFT ระบบ DFT และ ระบบ DRFT เป็นการใช้สารละลายอย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากเป็นระบบ

ที่สารละลายหมุนเวียนอยู่ในระบบ การจัดการธาตุอาหารให้อยู่ในสภาพสมดุลและเหมาะสมกับความต้องการของพืชตลอดการปลูก จึงมีผลอย่างมากต่อการเจริญเติบโตและความสำเร็จในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ในทางปฏิบัติในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเชิงพาณิชย์จะเน้นที่การควบคุมค่า pH และค่า EC ของสารละลายธาตุอาหาร โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1. ค่าการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity; EC) ของสารละลายธาตุอาหาร

ค่าการนำไฟฟ้า หรือค่า EC (Electrical Conductivity) เป็นค่าที่บอกความเข้มข้นของสารละลายมีหน่วยเป็น มิลลิโมห์ต่อเซนติเมตร (mmhos/cm) หรือโมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (µS/cm) หรือมิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) ซึ่งมีค่าเท่ากับเดซิซีเมนส์ต่อเมตร (dS/m) ถ้าค่า EC สูงแสดงว่าสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นสูง คือมีธาตุอาหารละลายอยู่มาก ค่า EC ในการปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์จะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่และชนิดพืชที่ปลูก จากการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมในการปลูกต้นอนูเบียสนานา (*Anubias nana*) ซึ่งเป็นพรรณไม้น้ำที่ใช้เป็นไม้ประดับตกแต่งตู้ปลาด้วยวิธีการปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ Deep Flow Technique (DFT) โดยศึกษาค่า EC ของสารละลายธาตุอาหารต่างกัน 3 ระดับ คือ 1, 2 และ 3 mS/cm เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าค่า EC ของสารละลายธาตุอาหารที่ 2 mS/cm มีผลทำให้ต้นอนูเบียสนานาเจริญเติบโตดีที่สุด (จิราพร กุลคำ, 2555) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Mitrnoi (2007) พบว่า *Echinodorus africanus* ซึ่งเป็นไม้น้ำเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในสารละลายธาตุอาหารที่ค่า EC 2 mS/cm ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ Deep Flow Technique (DFT) แต่จากการศึกษาค่า EC ของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำชนิดอื่นๆ ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์พบว่า *Microsorium pteropus* เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1 mS/cm (Wangwibulkit and Laohavisuti, 2006) และต้นดาวน้อย (*Pogostemon helferi*) เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.6 mS/cm (Wangwibulkit and Vajrodaya, 2016) นอกจากพืชน้ำยังมีการปลูกพืชเศรษฐกิจด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์อีกหลายชนิด ซึ่งค่า EC ที่ใช้มีความแตกต่างกัน เช่น ผักกาดหอมที่เจริญเติบโตดีที่สุดและมีสารให้ความขมน้อยที่สุดควรปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 2 dS/m (Seo et al., 2009) สตรอว์เบอร์รี (*Fragaria vesca* L.) จะให้ผลผลิตที่ดีที่สุดหากปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.3 mS/cm (Caruso et al., 2011) โดยค่า EC ของสารละลายธาตุอาหารระหว่าง 1.8-2 mS/cm เหมาะสำหรับการปลูกผักและไม้ประดับทั่วไป แต่ยังมีพืชบางชนิดที่ต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC สูง เช่น สารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ระหว่าง 3-4 mS/cm เหมาะกับการปลูกมะเขือเทศ และสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ระหว่าง 4-6 mS/cm เหมาะกับการปลูกแคนตาลูป เพราะจะทำให้ผลผลิต มีความหวาน เนื่องจากปริมาณน้ำตาลในผลสูงซึ่งเกิดจากความเครียด (Stress) (ดิเรก ทองอร่าม, 2550) แต่หากค่า EC ของสารละลายธาตุอาหารสูงเกินไปสำหรับพืชบางชนิด อาจมี

ปริมาณประจุของธาตุอาหารที่แตกตัวในสารละลายธาตุอาหารในปริมาณมากจนส่งผลกระทบทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าของน้ำภายในสารละลายธาตุอาหาร และสมดุลของน้ำภายในพืชลดลง มีผลทำให้ความเต่งของเซลล์ การแบ่งเซลล์ และการขยายขนาดของเซลล์ภายในพืชลดลง ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงด้วยเช่นกัน (คงเอก ศิริงาม, 2557; Krishantha et al., 2012)

ค่า EC เป็นค่าที่บอกความเข้มข้นของธาตุอาหารโดยรวม แต่ไม่สามารถบอกความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละตัวได้ จึงไม่มีโอกาสรู้ว่าธาตุใดมีปริมาณมากเกินหรือน้อยเกินไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการถ่ายสารละลายทิ้งเป็นช่วงๆ เพื่อกำจัดธาตุที่พืชไม่ต้องการและมีการสะสมอยู่ในสารละลายธาตุอาหาร ธาตุที่มักมีปัญหาการสะสมในการปลูกพืชด้วยระบบปิดคือ โซเดียม ซึ่งพืชไม่ดูดไปใช้และมักมีอยู่ในน้ำหรือปุ๋ยที่ใช้เตรียมสารละลายธาตุอาหาร และอาจสูงถึงระดับที่เป็นพิษต่อพืชได้ แนวทางที่จะกำจัดโซเดียมออกจากระบบได้ คือการถ่ายสารละลายทิ้ง นอกจากโซเดียมแล้วยังอาจเกิดการสะสมของธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยตัวอื่นได้ ซึ่งเป็นสาเหตุของความไม่สมดุลของธาตุอาหารในสารละลาย เช่น ความไม่สมดุลของ แอมโมเนียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นประจุบวก (Cation) และถูกดูดใช้ในกระบวนการที่คล้ายกัน ถ้าธาตุเหล่านี้อยู่ในสภาพไม่สมดุล เช่น มีแมกนีเซียม หรือโพแทสเซียมมากเกินไป จะทำให้พืชดูดใช้แคลเซียมได้น้อยลง หากต้องการทราบว่าเกิดความไม่สมดุลของสารละลายธาตุอาหารหรือไม่ ต้องทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมาก ในทางปฏิบัติเราอาจสังเกตได้จากอาการของพืช แต่วิธีนี้ก็อาจจะเป็นวิธีที่สายเกินกว่าจะแก้ไข วิธีที่ดีที่สุดจึงควรเปลี่ยนถ่ายสารละลายธาตุอาหารทิ้งให้หมดก่อนที่ความไม่สมดุลจะรุนแรง แล้วเติมสารละลายที่เตรียมใหม่แทน การเปลี่ยนถ่ายสารละลายโดยทั่วไปมักกำหนดเป็นช่วงแน่นอน เช่น อาจเปลี่ยนถ่ายสายละลายใหม่ทุก 2, 3 หรือ 4 สัปดาห์ (อานัฐ ตันโช, 2548; Lee et al.,2015)

2.3.2. ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)

ค่า pH ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน (H^+) หรือไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) ค่า pH มีความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของพืชในด้านความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช สารละลายธาตุอาหารโดยทั่วไปควรอยู่ในช่วง 5.5-6.5 เป็นช่วงที่เหมาะสม คือธาตุอาหารอยู่ในรูปที่พืชใช้ได้มากที่สุด เมื่อค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารต่ำกว่า 4 จะเป็นอันตรายต่อรากพืช แต่หากค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารสูงกว่า 7 ติดต่อกันนาน 2-3 วัน จะทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัส เหล็ก และแมงกานีส ผิดปกติ เมื่อเตรียมสารละลายธาตุอาหารใหม่ค่า pH จะเท่ากับ 6 แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่า pH จะสูงขึ้น เนื่องจากในการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบจะมีการดูดใช้ ไนเตรทอิออน (NO_3^-) เป็นส่วนใหญ่ (ดูดใช้ประจุลบมากกว่าบวก) จึงมีการปล่อยอนุมูลไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ออกมาในปริมาณเท่ากัน ทำให้ค่าค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้น จากรายงานการศึกษาวิจัยพบว่า pH ของสารละลายธาตุอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของ

พืชแต่ละชนิด โดยพบว่าพรรณไม้น้ำที่ทำการปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ deep flow technique (DFT) คือ *Anubias barteri* สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH ระหว่าง 4.7-8.04 และ *Anubias barteri* var. *broad leaf* สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH ระหว่าง 5.7-7.3 โดยปรับค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 1.5 dS/m ตลอดการทดลอง (สุรภี ประชุมพล และนงนุช เลาหะวิสุทธิ์, 2555)และจากการศึกษาของ ศักดิ์สิทธิ์ บุญดำ และปริยานุช จุลกะ (2557) พบว่าค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารที่ 5.5 ส่งผลให้ผักกาดฮ่องเต้ (*Brassica chinensis* var. *chinensis*) ที่ปลูกด้วยระบบ Nutrient Film Technique (NFT) มีความสูงของต้นมากที่สุด นอกจากค่า pH จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชแล้วยังพบว่าค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารมีผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารบางตัวของพืชด้วย เช่น ฟอสฟอรัส ซึ่งส่งผลต่อการสะสมสารทุติยภูมิในพืชโดยเฉพาะพืชสมุนไพรบางชนิดที่มีการสะสมน้ำมันหอมระเหย (Kerwin Lefever, 2013) ดังรายงานของ Seo, et al. (2009) พบว่าผักกาดหอมที่มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสมากที่สุดมีการสะสมสาร Sesquiterpene lactones (สารที่ทำให้ผักกาดหอมมีรสขม) ปริมาณมากที่สุด ดังนั้น ในการปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์จึงต้องวัดค่า pH อย่างสม่ำเสมอ (อานัฐ ตันโช, 2548; ดิเรก ทองอร่าม, 2550)

2.4 สารควบคุมการเจริญเติบโต Methyl jasmonate (MeJA)

MeJA เป็นฮอร์โมนพืชที่มีฤทธิ์ในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เช่น ยับยั้งการเจริญเติบโต กระตุ้นการแก่ชรา และการหลุดร่วงของใบ ยับยั้งการงอกของเมล็ดและการเจริญของรากมีผลต่อกระบวนการสุกของผลไม้ และเกี่ยวข้องกับการเพิ่มความต้านทานให้กับพืชเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอก เช่น การเกิดบาดแผล การเข้าทำลายของโรคและแมลง ตลอดจนความเครียดต่างๆ (บุญร่วม คิดค้า, 2557) ปกติในพืชนั้นเมื่อเกิดบาดแผลเนื่องจากการเกิดโรคและการเข้าทำลายกัดกินของแมลงศัตรูพืชหรือสัตว์กินพืช พืชจะมีระบบป้องกันตนเองจากโรคพืช และแมลงศัตรูพืชในหลายรูปแบบ ซึ่งรวมไปถึงการหลั่งฮอร์โมนภายในต้นพืชเพื่อใช้ในกระบวนการปกป้องตัวเองที่สำคัญคือ MeJA สัญญาณจากสารควบคุมการเจริญเติบโตดังกล่าวจะไปกระตุ้นให้พืชเกิดการสังเคราะห์สารทุติยภูมิ (secondary metabolite) เช่น สาร saponin, anthocyanin, limonene, menthol และ curcumin เป็นต้น ดังมีรายงานการศึกษากลไกการตอบสนองของพลู (*Piper betle* L.) เมื่อเกิดสภาวะเครียดจากสิ่งแวดล้อม พบว่าพลูจะส่งสัญญาณผ่าน MeJA และเพิ่มการสร้างสาร sesquiterpene (สารทุติยภูมิที่มีสรรพคุณทางยา) ด้วยการกระตุ้นเอนไซม์ sesquiterpene synthase (กำไร วรนุชและคณะ, 2558) ซึ่งสารทุติยภูมิเหล่านี้ มีฤทธิ์แตกต่างกันไป เช่น มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย หรือเชื้อก่อโรค ฤทธิ์ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด หรือเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น (Jong-Joo Cheong and Yang Do Choi, 2003; Abdelgawad et al., 2014) ปัจจุบันได้มีการศึกษาผลของ MeJA (ความเข้มข้น 0, 50 และ 100 ไมโครโมลาห์) ต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและคุณค่าทางโภชนาการในผักกาดหอมเรดโอ๊คที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่าการฉีดพ่น

MeJA ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาห์ สามารถชักนำฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และสารแอนโทไซยานินได้สูงที่สุดเท่ากับ 55.3 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิคต่อกรัมน้ำหนักสด และ 10.7 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (บุญร่วม คิดค้า, 2557) ปัจจุบันมีการใช้ MeJA เพื่อเพิ่มสารทุติยภูมิในพืชสมุนไพรที่สำคัญอีกเป็นจำนวนมาก (Ankita Singh and Padmanabh Dwivedi, 2017) โดยพบว่ามีการใช้ MeJA ในการช่วยเพิ่มการสร้างสาร bacoside A ในพรมมิ โดย Largia et al. (2015) ได้ศึกษาผลของ MeJA และ Salicylic acid (SA) ในการเพิ่มสาร bacoside A ของพรมมิโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในอาหารเหลว พบว่าการใช้ MeJA ความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาห์ สามารถเพิ่มการสะสมสาร bacoside A ได้มากขึ้น 11.39 เปอร์เซ็นต์ การใช้ SA ความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาห์ สามารถเพิ่มการสะสมสาร bacoside A ได้ 18.07 เปอร์เซ็นต์ และการใช้ MeJA ร่วมกับ SA อย่างละ 25 µM สามารถเพิ่มการสะสมสาร bacoside A ได้มากที่สุดถึง 26.87 เปอร์เซ็นต์

สำหรับประเทศไทยแหล่งการเพาะปลูกพรมมิเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมมีจำนวนน้อยโดยเป็นการปลูกแบบดั้งเดิม คือปลูกบนดินที่มีน้ำท่วมขัง ซึ่งน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติที่ใช้ในการเกษตรมีโอกาสปนเปื้อนสารพิษตกค้างในดิน หรือสารพิษที่ถูกปล่อยลงแหล่งน้ำจากการทำเกษตรกรรมในปัจจุบัน ซึ่งการเพาะปลูกพรมมิแบบดั้งเดิมอาจทำให้พืชดูดซับสารพิษตกค้างในดิน หรือปนเปื้อนสารพิษจากยาฆ่าแมลงหรือสารโลหะหนักได้ง่าย (Pierce et al., 2009; Hussain. K, 2010) อีกทั้งยังพบว่าการปลูกแบบดั้งเดิมจะสามารถทำการเก็บเกี่ยวพรมมิได้ต้องมีอายุนาน 3-4 เดือน จึงจะมีปริมาณสาร saponins สูงและเหมาะสำหรับการเก็บเกี่ยว ซึ่งปริมาณของสารกลุ่ม saponins สูงที่สุดเฉลี่ยเพียงร้อยละ 1.9 ของน้ำหนักแห้งเท่านั้น (กรกนก อิงคนินันท์, 2553; Phrompittayarat et al., 2011) ดังนั้นการปลูกสมุนไพรพรมมิในระบบไฮโดรโปนิกส์จึงเป็นทางเลือกที่สำคัญ ที่สามารถควบคุมคุณภาพของพรมิ ปริมาณสาร bacoside และป้องกันการปนเปื้อนจากสารพิษตกค้างในดินได้ ซึ่งการปลูกพรมมิให้ได้คุณภาพสูงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการชักนำให้พืชสะสมสาร bacoside มากขึ้น ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาปัจจัยทางกายภาพที่เหมาะสม คือ ระบบการปลูกไฮโดรโปนิกส์ ค่า EC ค่า pH ของสารละลายธาตุอาหาร และความเข้มข้นของ MeJA ต่อการสะสมสาร bacoside เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของพืชสมุนไพร และเพื่อการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตยาและอาหารเสริม เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดในอนาคตต่อไป

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมต้นพันธุ์

พืชทดลองที่ใช้ คือ พรมมิ *(Bacopa monnieri* (L.) Wettst.) โดยใช้ส่วนยอดที่ปลูกในดินเป็นเวลา 1 เดือน ความยาว 8 เซนติเมตร โดยมีข้อติดอยู่ส่วนปลายตัด เพื่อให้รากที่งอกจากข้อนั้นจุ่มในสารละลายธาตุอาหาร และมีจำนวนใบประมาณ 6 ใบ จากนั้นนำชิ้นส่วนที่ตัดได้ลงปลูกในฟองน้ำและถ้วยปลูกพลาสติก ทำการปรับสภาพเพื่อให้มีรากงอกพร้อมที่จะดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ โดยนำถ้วยปลูกแช่ในช่องปลูกไฮโดรโปนิกส์ให้สารละลายธาตุอาหารท่วมข้อของชิ้นส่วนพืช เมื่อรากงอกจากนั้นจึงดำเนินการทดลองต่อไป

3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็น 5 การทดลอง ดังนี้

3.2.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (Nutrient film technique; NFT) และแบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชในรางปลูกระดับลึก (Deep Flow Technique; DFT)

1) การเตรียมระบบปลูกไฮโดรโปนิกส์แบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (Nutrient film technique; NFT)

การปลูกพรมมิด้วยระบบปลูกไฮโดรโปนิกส์แบบ NFT โดยใช้รางปลูกสำเร็จรูป (ร้าน Hydroponic-OK อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่) มีความกว้าง 10 เซนติเมตร ความยาว 150 เซนติเมตร และมีความสูง 5 เซนติเมตร วางรางเรียงต่อกัน 8 ราง โดยด้านบนของรางปลูกเจาะรูเพื่อใช้ปลูกต้นพรมมิ เตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตร 50% Hoagland's solution ปริมาตร 50 ลิตร ในถังเก็บสารละลาย และสารละลายธาตุอาหารถูกปั๊มเข้าสู่ระบบปลูกไฮโดรโปนิกส์แบบ NFT โดยไหลเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ผ่านรากพืช ระดับความลึกของสารละลายธาตุอาหารประมาณ 3-5 มิลลิเมตร อย่างต่อเนื่อง

2) การเตรียมระบบปลูกไฮโดรโปนิกส์แบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชในรางปลูกระดับลึก (Deep Flow Technique; DFT)

การปลูกพรมมิด้วยระบบปลูกไฮโดรโปนิกส์แบบ DFT โดยใช้รางปลูกสำเร็จรูป (ร้าน Hydroponic-OK อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่) มีความกว้าง 10 เซนติเมตร ความยาว 150 เซนติเมตร และมีความสูง 5 เซนติเมตร วางรางเรียงต่อกัน 8 ราง โดยด้านบนของรางปลูกเจาะรูเพื่อใช้ปลูกต้นพรมมิ เตรียมสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland's solution 50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 50 ลิตร ในถังเก็บสารละลาย และสารละลายธาตุอาหารถูกปั๊มเข้าสู่ระบบปลูกไฮโดรโปนิกส์แบบ DFT

โดยไหลผ่านรากพืชในระดับลึกอย่างต่อเนื่อง โดยระดับความลึกของสารละลายธาตุอาหารประมาณ 4 เซนติเมตร

3) การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ NFT และ DFT โดยมีการปลูกในดินเหนียวที่มีนำขังในบ่อปูนเป็นกลุ่มควบคุม (Control) เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต สารละลายธาตุอาหารสูตร 50% Hoagland's solution ปริมาตร 50 ลิตร จะได้ค่า EC 1.5 mS/cm วัดค่า EC ด้วยเครื่อง TRI-Meter (pH/EC&TEMP-983) และปรับค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่าระหว่าง 5.8-6.5 ตลอดการทดลอง เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ทำการเปลี่ยนถ่ายสารละลายธาตุอาหารใหม่ในสัปดาห์ที่ 4 และบันทึกผลการทดลองทุก 2 สัปดาห์ โดยการชั่งน้ำหนักสดรวม น้ำหนักแห้งรวม วัดความยาวลำต้น นับจำนวนยอด จำนวนใบ วัดพื้นที่ใบรวม และวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

3.2.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในสารละลายธาตุอาหาร ต่อการเจริญเติบโตของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

การศึกษาผลของค่า EC ในสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโต แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดที่ 1 : ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.0 mS/cm (25% Hoagland's solution)

ชุดที่ 2 : ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.5 mS/cm (50% Hoagland's solution)

ชุดที่ 3 : ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 2.0 mS/cm (75% Hoagland's solution)

โดยนำส่วนยอดพรมมิขนาด 8 เซนติเมตร ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชในรางปลูกระดับลึก (DFT) (ผลจากการทดลองที่ 1) ใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland's solution วัดค่า EC ด้วยเครื่อง TRI-Meter (pH/EC&TEMP-983) และปรับค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารให้มีค่าระหว่าง 5.8-6.5 ตลอดการทดลอง เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ทำการเปลี่ยนถ่ายสารละลายธาตุอาหารใหม่ในสัปดาห์ที่ 4 และบันทึกผลการทดลองทุก 2 สัปดาห์ โดยการชั่งน้ำหนักสดรวม น้ำหนักแห้งรวม วัดความยาวลำต้น นับจำนวนยอด จำนวนใบ วัดพื้นที่ใบรวม และวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

3.2.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ในสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

การศึกษาผลของค่า pH ในสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโต แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดที่ 1 : ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5±0.2

ชุดที่ 2 : ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 6.5±0.2

ชุดที่ 3 : ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 7.5±0.2

โดยนำส่วนยอดพรมมิขนาด 8 เซนติเมตร ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในรางปลูกระดับลึก (DFT) (ผลจากการทดลองที่ 1) ใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร 50% Hoagland's solution จะได้ค่า EC 1.5 mS/cm (ผลจากการทดลองที่ 2) ตลอดการทดลอง เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ทำการเปลี่ยนถ่ายสารละลายใหม่ในสัปดาห์ที่ 4 และบันทึกผลการทดลองทุก 2 สัปดาห์ โดยการชั่งน้ำหนักสดรวม น้ำหนักแห้งรวม วัดความยาวลำต้น นับจำนวนยอด จำนวนใบ วัดพื้นที่ใบรวม และวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

3.3 วิเคราะห์ปริมาณสาร Bacoside (Bacoside A3, Bacopaside X, Bacopaside II และ Bacopasaponin C) ด้วยเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การเตรียมตัวอย่างพืชและการสกัดสาร Bacoside (Bacoside A3, Bacopaside X, Bacopaside II และ Bacopasaponin C)

การสกัดสารจากพรมมิโดยนำตัวอย่างพืชพรมมิจากการปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชในรางปลูกระดับลึก (DFT) ที่ได้รับ MeJA ที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (จากการทดลองที่ 4) มาอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สกัดสารจากพรมมิโดยนำมาบดให้ละเอียดแล้วเก็บไว้ในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งตัวอย่างปริมาณ 0.1 กรัม แล้วเติมเมทนานอลปริมาตร 3 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไป sonicate เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นดูดส่วนใสที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไม่ให้โดนแสง หลังจากนั้นทำการสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง นำสารละลายที่สกัดได้รวมกันแล้วปรับปริมาตรเท่ากับ 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารสกัดที่ได้กรองผ่าน nylon syringe filter ขนาด 0.45 ไมครอน แล้วเก็บสารสกัดที่กรองได้ในขวดสีชาแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส และนำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์หาสาร bacoside ต่อไป (Phrompittayarat et al., 2011 and Mishra et al., 2013)

2) การวิเคราะห์หาสาร Bacoside (Bacoside A3, Bacopaside X, Bacopaside II และ Bacopasaponin C) โดยใช้เทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography)

การวิเคราะห์หาสาร Bacoside ด้วยวิธี HPLC โดยใช้คอลัมน์ RP-18 colum และใช้ 0.2% Phosphoric acid : Acetonitrile (65:35) เป็น mobile phase ใช้ระยะเวลาในการชะ 30 นาที ใช้อัตราการชะที่ 1 มิลลิลิตรต่อนาที โดยปริมาตรที่ฉีด คือ 60 µL และตรวจวัดสัญญาณด้วยเครื่อง UV detector ที่ความยาวคลื่น 205 นาโนเมตร

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 การเจริญเติบโตของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ NFT และ DFT

เมื่อนำยอดพรมมิขนาด 6-8 เซนติเมตร มาปรับสภาพเป็นเวลา 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (Nutrient film technique; NFT) และแบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชในรางปลูกระดับลึก (Deep Flow Technique; DFT) โดยใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland (Hoagland's solution; half strength) และปลูกพรมมิในบ่อซีเมนต์ที่มีน้ำท่วมขังเป็นชุดควบคุม (Control) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าพรมมิที่ปลูกด้วยไฮโดรโปนิกส์ทั้งระบบ NFT และ DFT มีการเจริญเติบโตมากกว่าการปลูกในดิน (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่าชุดควบคุมตั้งแต่ในสัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 6 (ตารางที่ 4.1)

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพรมมิที่ปลูกด้วยไฮโดรโปนิกส์ทั้ง 2 ระบบ พบว่าในสัปดาห์ที่ 2 พรมมิที่ปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือมีน้ำหนักสด 4.89±0.20 และ 4.58±0.24 กรัม/ต้น และน้ำหนักแห้ง 0.28±0.01 และ 0.30±0.01 กรัม/ต้น ตามลำดับ แต่ในสัปดาห์ที่ 4 พรมมิที่ปลูกด้วยระบบ DFT มีการเจริญเติบโตที่มากกว่าพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ NFT โดยระบบ DFT ให้น้ำหนักสดของพรมมิมากที่สุด คือ 40.77±1.55 กรัม/ต้น (ตารางที่ 4.1) เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 6 พรมมิที่ปลูกด้วยระบบ DFT มีการเจริญมากกว่าพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ NFT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักสด 106.01±2.98 กรัม/ต้น และน้ำหนักแห้ง 8.48±0.44 กรัม/ต้น ซึ่งมากกว่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพรมมิที่ปลูกในดินถึง 7.2 เท่า และ 10 เท่า ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT

		Control	NFT	DFT
น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)	2 สัปดาห์	1.16 ± 0.57 ^{b}	4.58 ± 0.24 ^{a}	4.89 ± 0.20 ^{a}
	4 สัปดาห์	3.60 ± 0.29 ^{c}	31.79 ± 1.50 ^{b}	40.77 ± 1.55 ^{a}
	6 สัปดาห์	14.64 ± 0.64 ^{c}	69.18 ± 3.38 ^{b}	106.01 ± 2.98 ^{a}
น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)	2 สัปดาห์	0.07 ± 0.01 ^{b}	0.30 ± 0.01 ^{a}	0.28 ± 0.01 ^{a}
	4 สัปดาห์	0.21 ± 0.01 ^{b}	2.26 ± 0.14 ^{a}	2.42 ± 0.10 ^{a}
	6 สัปดาห์	0.84 ± 0.03 ^{c}	7.14 ± 0.57 ^{b}	8.48 ± 0.44 ^{a}

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ย (mean) ± SE ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันที่อยู่ในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาความยาวต้นพรมมิ พบว่าพรมมิที่ปลูกด้วยไฮโดรโปนิกส์ทั้งระบบ DFT และ NFT มีความยาวต้นมากกว่าพรมมิที่ปลูกในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสังเกตผลได้ตั้งแต่ในสัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 6 อย่างไรก็ตามพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ NFT มีความยาวต้นสูงสุด (99.60±1.93 เซนติเมตร) ในสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ NFT (95.60±2.81 เซนติเมตร) **(ตารางที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.1)**

สำหรับจำนวนยอดพบว่า พรมมิที่ปลูกด้วยไฮโดรโปนิกส์ทั้งระบบ DFT และ NFT มีจำนวนยอดมากกว่าพรมมิที่ปลูกในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตั้งแต่ในสัปดาห์ที่ 2 จนสิ้นสุดการทดลอง โดยพบว่าพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ DFT มีจำนวนยอดมากที่สุด (58.67±2.64 ยอด/ต้น) แต่ไม่มีความแตกต่างจากจำนวนยอดของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ NFT (53.40±3.85 ยอด/ต้น) **(ตารางที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.1)**

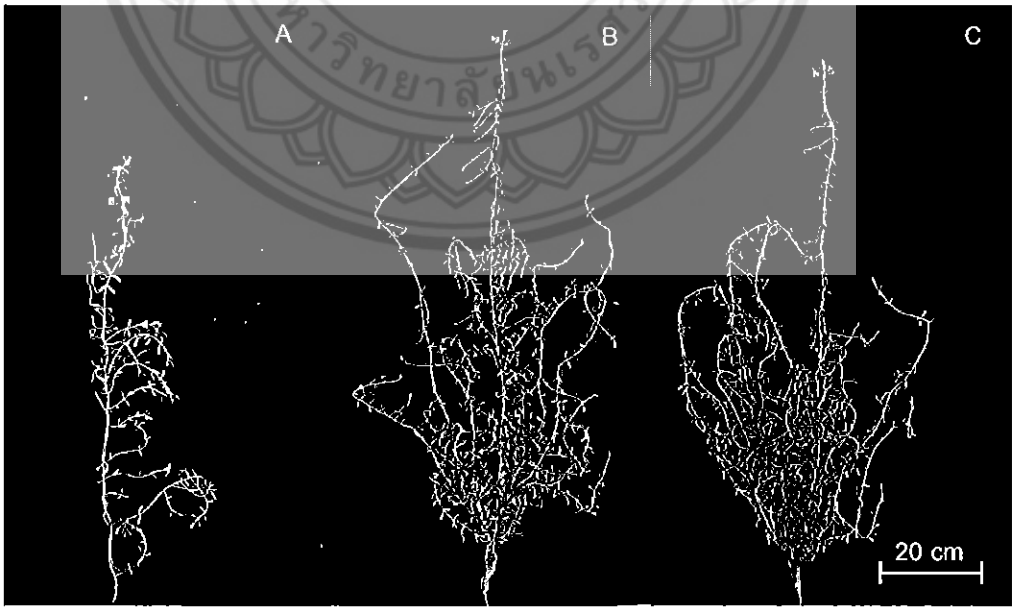
พรมมิที่ปลูกด้วยไฮโดรโปนิกส์ทั้งระบบ NFT และ DFT มีจำนวนใบมากกว่าพรมมิที่ปลูกในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อสิ้นสุดการทดลองจำนวนใบของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ DFT มีจำนวนใบมากที่สุด (1376.20±24.88 ใบ/ต้น) มากกว่าจำนวนใบของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ NFT (958.60±45.23 ใบ/ต้น) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในขณะที่พื้นที่ใบของพรมมิให้ผลเช่นเดียวกับจำนวนใบ คือ พรมมิที่ปลูกด้วยไฮโดรโปนิคส์ทั้งระบบ NFT และ DFT มีพื้นที่ใบมากกว่าพรมมิที่ปลูกในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในสัปดาห์ที่ 6 พื้นที่ใบของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ DFT มีพื้นที่ใบมากที่สุด (1146.17±48.58 ตารางเซ็นติเมตร) มากกว่าพื้นที่ใบของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ NFT (670.72±57.13 ตารางเซ็นติเมตร) ประมาณ 1.7 เท่า

ตารางที่ 4.2 ความยาวต้น จำนวนยอด จำนวนใบ และพื้นที่ใบ ของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT

ระบบปลูก		Control	NFT	DFT
ความยาวต้น (เซนติเมตร)	2 สัปดาห์	14.73±0.54 [b]	24.46±1.03 [a]	24.00±0.76 [a]
	4 สัปดาห์	35.23±1.15 [b]	63.75±1.51 [a]	62.82±2.24 [a]
	6 สัปดาห์	87.00±2.04 [b]	99.60±1.93 [a]	95.60±2.81 [a]
จำนวนยอด (ยอด)	2 สัปดาห์	3.77±0.53 [b]	16.92±0.44 [a]	16.46±0.47 [a]
	4 สัปดาห์	10.31±0.71 [c]	34.08±1.00 [b]	40.00±0.92 [a]
	6 สัปดาห์	21.60±0.83 [b]	53.40±3.85 [a]	58.67±2.64 [a]
จำนวนใบ (ใบ)	2 สัปดาห์	26.50±1.28 [c]	131.17±3.87 [a]	118.00±3.94 [b]
	4 สัปดาห์	86.60±5.26 [b]	482.00±6.15 [a]	509.00±15.16 [a]
	6 สัปดาห์	127.30±8.83 [c]	958.60±45.23 [b]	1376.20±24.88 [a]
พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)	2 สัปดาห์	20.88±2.95 [b]	71.28±6.38 [a]	66.35±5.32 [a]
	4 สัปดาห์	59.17±4.92 [c]	258.61±6.25 [b]	344.33±20.61 [a]
	6 สัปดาห์	132.66±14.47 [c]	670.72±57.13 [b]	1146.17±48.58 [a]

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ย (mean) ± SE ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันที่อยู่ในแถวเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.1 พรมมิอายุ 6 สัปดาห์ที่เจริญเติบโตในดิน (A) ในชุดการทดลองระบบ NFT (B) และในระบบ DFT (C)

4.2 การสร้างสารบาโคไซด์ เอ (bacoside A) ของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ NFT และ DFT

เมื่อนำยอดพรมมิขนาด 6-8 เซ็นติเมตร ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ NFT และ DFT เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ จากนั้นตัดยอดพรมมิพรมมิที่มีอายุ 6 สัปดาห์ นำไปอบด้วยตู้อบความร้อน (hot air oven) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำยอดพรมมิอบแห้งมาบดให้ละเอียดด้วยโกร่งบดยา นำ 0.1 กรัมของผงแห้งละเอียดของพรมมิมาสกัดสารสำคัญด้วย Methanol จากนั้นนำสารสกัดมาวิเคราะห์ปริมาณของ bacoside A (Bacoside A_3, Bacopaside II, Bacopaside X และ Bacopasaponin C) ด้วยวิธี HPLC ผลการทดลองพบว่า พรมมิที่ปลูกในดิน (control) มีปริมาณสาร Bacoside A_3, Bacopaside II และ Bacopaside X (% w/w dry wt) มากที่สุด (ตารางที่ 4.3) ซึ่งมากกว่าพรมมิที่ปลูกด้วยไฮโดรโปนิกส์ทั้ง 2 ระบบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปริมาณของ Bacopasaponin C ในพรมมิที่ปลูกด้วยไฮโดรโปนิกส์ทั้ง 2 ระบบมีปริมาณสูงกว่าพรมมิที่ปลูกในดิน โดยพบมากที่สุดในพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ NFT (1.45±0.09 w/w dry wt) อย่างไรก็ตามปริมาณ bacoside A รวม (total bacosaide) ในพรมมิที่ปลูกในดินพบมีปริมาณสูงกว่าพรมมิที่ปลูกด้วยไฮโดรโปนิกส์

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ Bacoside A แต่ละชนิดที่พบในพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT พบว่าปริมาณ Bacoside A_3 และ Bacopaside X มีปริมาณไม่แตกต่างกัน แต่ Bacopaside II และ Bacopasaponin C พบสะสมในต้นพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ NFT มากกว่า DFT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสาร Bacoside A (% w/w dry wt) ของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT เมื่ออายุ 6 สัปดาห์

	ปริมาณสาร Bacoside A (% w/w dry wt.)				
	Bacoside A_3	Bacopaside II	Bacopaside X	Bacopasaponin C	Total Bacoside A
Control	0.75 ± 0.04 [a]	1.27 ± 0.04 [a]	0.36 ± 0.03 [a]	0.81 ± 0.05 [c]	3.19 ± 0.05 [a]
NFT	0.38 ± 0.01 [b]	0.76 ± 0.02 [b]	0.10 ± 0.01 [b]	1.45 ± 0.09 [a]	2.69 ± 0.08 [b]
DFT	0.36 ±0.02 [b]	0.62 ± 0.04 [c]	0.11 ± 0.03 [b]	1.21 ± 0.03 [b]	2.30 ± 0.05 [c]

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ย (mean) ± SE ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อคำนวณเปรียบเทียบปริมาณสาร Bacoside A ที่สะสมในพรมมิ 1 ต้น (มิลลิกรัมต่อต้น) พบว่าพรมมิที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ทั้ง NFT และ DFT มีการสะสมสาร Bacoside A (Bacoside A_3, Bacopaside II, Bacopaside X และ Bacopasaponin C) มากกว่าพรมมิที่ปลูกในดินอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) **(ตารางที่ 4.4)** โดยปริมาณสาร bacoside A ส่วนใหญ่ (Bacoside A_3, Bacopaside II และ Bacopasaponin C) ที่พบสะสมในพรมมิ (ต่อต้น) ที่ปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT มีปริมาณใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ **(ตารางที่ 4.4)**

การสะสมสาร bacoside A ในต้นพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ DFT มีปริมาณ bacoside A มากกว่าที่สะสมในพรมมิที่ปลูกในดินมาก เช่น Bacoside A_3 พบสูงกว่าประมาณ 5 เท่า และ Bacopasaponin C พบสูงกว่าประมาณ 15 เท่า

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสาร Bacoside A (มิลลิกรัม/ต้น) ของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT เมื่ออายุ 6 สัปดาห์

	ปริมาณสาร Bacoside A (มิลลิกรัม/ต้น)				
	Bacoside A_3	Bacopaside II	Bacopaside X	Bacopasaponin C	Total Bacoside A
Control	6.33±0.25 [b]	10.71±0.42 [b]	3.04±0.12 [c]	6.83±0.27 [b]	26.90±1.05 [b]
NFT	27.13±2.19 [a]	54.25±4.39 [a]	7.14±0.58 [b]	92.89±12.57 [a]	181.41±17.54 [a]
DFT	30.51±1.59 [a]	52.54±2.74 [a]	9.32±0.49 [a]	102.55±5.35 [a]	194.93±10.16 [a]

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ย (mean)±SE ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

4.3 ผลของค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: EC) ของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

เมื่อนำยอดพรมมิขนาด 6-8 เซนติเมตร มาปรับสภาพเป็นเวลา 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชในรางปลูกระดับลึก (Deep Flow Technique; DFT) โดยใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland (Hoagland's solution) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยปรับให้สารละลายธาตุอาหารมีค่าการนำไฟฟ้า (EC) 3 ระดับ ได้แก่ 1.00, 1.50 และ 2.00 mS/cm

ผลการศึกษาพบว่าในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 4 พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.50 และ 2.00 mS/cm มีน้ำหนักสดใกล้เคียงกันมาก และน้ำหนักสดที่ได้มีค่ามากกว่าพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร EC 1.00 mS/cm อย่างไรก็ตาม น้ำหนักสดพรมมิที่ปลูกด้วย

สารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ทั้ง 3 ระดับ คือ 1.00, 1.50 และ 2.00 mS/cm ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (**ตารางที่ 4.5**)

เมื่อพรมมิมีอายุ 6 สัปดาห์ พบว่าน้ำหนักสดของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.50 มีน้ำหนักสดสูงสุด คือ 107.16±3.25 กรัม/ต้น และมีน้ำหนักสดใกล้เคียงไม่แตกต่างกันทางสถิติกับน้ำหนักสดของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายที่มีค่า EC 2.00 mS/cm (102.61 ± 5.76 กรัม/ต้น) (**ตารางที่ 4.5**) ส่วนพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร EC 1.00 mS/cm มีน้ำหนักสดน้อยที่สุด (65.85±3.48 กรัม/ต้น) ซึ่งน้อยกว่าน้ำหนักสดของพรมมิที่เลี้ยงในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.50 และ 2.00 mS/cm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.5 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น) ของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1, 1.5 และ 2 mS/cm

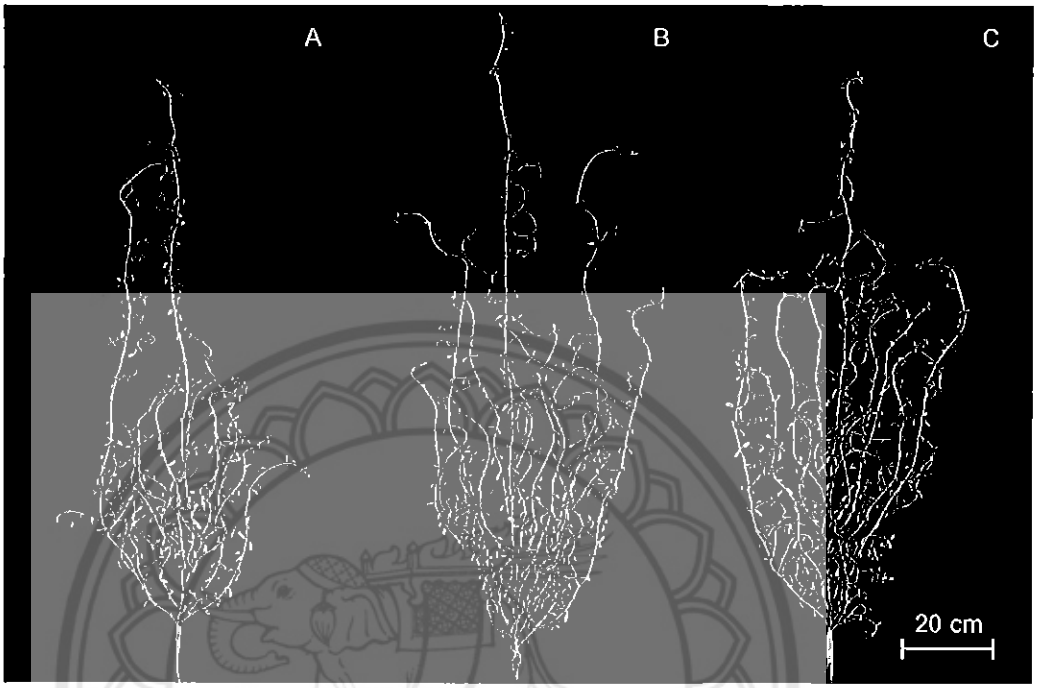
		ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายธาตุอาหาร (mS/cm)		
		1.00	1.50	2.00
น้ำหนักสด (กรัม/ต้น)	2 สัปดาห์	8.86 ± 0.79 [a]	10.06 ± 0.63 [a]	10.52 ± 0.53 [a]
	4 สัปดาห์	29.47 ± 1.27 [a]	32.12 ± 1.64 [a]	32.49 ± 1.68 [a]
	6 สัปดาห์	65.85 ± 3.48 [b]	107.16 ± 3.25 [a]	102.61 ± 5.76 [a]
น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น)	2 สัปดาห์	0.50 ± 0.04 [b]	0.58 ± 0.04 [ab]	0.63 ± 0.04 [a]
	4 สัปดาห์	1.87 ± 0.06 [a]	1.96 ± 0.11 [a]	2.08 ± 0.12 [a]
	6 สัปดาห์	8.25 ± 0.58 [a]	8.48 ± 0.25 [a]	7.34 ± 0.53 [a]

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ย (mean) ± SE ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันที่อยู่ในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ส่วนน้ำหนักแห้งพบว่าในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร EC 2.00 mS/cm มีน้ำหนักแห้งมากที่สุด (0.63±0.04 และ 2.08±0.12 กรัม/ต้น ตามลำดับ) รองลงมาคือพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร EC 1.50 mS/cm โดยมีน้ำหนักแห้งในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 เท่ากับ 0.58±0.04 และ 1.96±0.11 กรัม/ต้น ตามลำดับ ส่วนพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร EC 1.00 mS/cm มีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 (0.50±0.04 และ 1.87±0.06 กรัม/ต้น ตามลำดับ)

แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 6 กลับพบว่าพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มี EC 1.50 mS/cm มีน้ำหนักแห้งมากที่สุด (8.48±0.25 กรัม/ต้น) (ตารางที่ 4.5) รองลงมาคือพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร EC 1.00 (8.25±0.58 กรัม/ต้น) ส่วนพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 2.00 mS/cm มีน้หนักแห้งน้อยที่สุด คือ 7.34±0.53 กรัม/ต้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อ

เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายที่มีค่า EC ทั้ง 3 ระดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 4.2 พรมมิอายุ 6 สัปดาห์ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.00 (A), 1.50 (B) และ 2.00 mS/cm (C)

สำหรับความยาวต้นและจำนวนยอด พบว่าในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.00, 1.50 และ 2.00 mS/cm มีความยาวต้นและจำนวนยอดใกล้เคียงกันมาก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในสัปดาห์ที่ 2 พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ทั้ง 3 ระดับ มีความยาวต้นประมาณ 45-48. เซนติเมตร และจำนวนยอดประมาณ 17-19 ยอด (**ตารางที่ 4.6**) ส่วนในสัปดาห์ที่ 4 พบว่าพรมมิมีการเจริญเพิ่มมากขึ้น โดยมีความยาวต้นอยู่ในช่วง 90-91เซนติเมตร และจำนวนยอดประมาณ 28-29 ยอด (**ตารางที่ 4.6**)

ในสัปดาห์ที่ 6 พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร EC 1.50 mS/cm มีความยาวต้นเพิ่มสูงที่สุด (150.40±2.99 เซนติเมตร) (ภาพที่ 4.2, ตารางที่ 4.6) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร EC 2.00 mS/cm (136.60±2.27 เซนติเมตร) และ EC 1.00 mS/cm (125.00±2.78 เซนติเมตร) ส่วนจำนวนยอดของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 2.00 mS/cm และ EC 1.50 mS/cm จำนวนยอดยังคงใกล้เคียงกันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (**ภาพที่ 4.2, ตารางที่ 4.6**) ในขณะที่พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.00

mS/cm มีจำนวนยอดน้อยที่สุด (34.90±1.73 ยอด) ซึ่งน้อยกว่าจำนวนยอดพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.50 mS/cm และ 2.00 mS/cm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.6 ความยาวต้น จำนวนยอด จำนวนใบ และพื้นที่ใบของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.00, 1.50 และ 2.00 mS/cm

		ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายธาตุอาหาร (mS/cm)		
		1.00	1.50	2.00
ความยาวต้น (เซนติเมตร)	2 สัปดาห์	45.38 ± 1.56 [a]	47.08 ± 0.95 [a]	48.38 ± 0.74 [a]
	4 สัปดาห์	91.70 ± 2.65 [a]	90.70 ± 2.39 [a]	90.70 ± 1.97 [a]
	6 สัปดาห์	125.00 ± 2.78 [c]	150.40 ± 2.99 [a]	136.60 ± 2.27 [b]
จำนวนยอด (ยอด)	2 สัปดาห์	17.46 ± 1.04 [a]	18.92 ± 0.75 [a]	19.15 ± 0.71 [a]
	4 สัปดาห์	29.20 ± 0.99 [a]	29.40 ± 1.19 [a]	28.60 ± 0.79 [a]
	6 สัปดาห์	34.90 ± 1.73 [b]	43.40 ± 1.00 [a]	47.00 ± 2.21 [a]
จำนวนใบ (ใบ)	2 สัปดาห์	138.00 ± 9.98 [a]	156.92 ± 7.09 [a]	161.46 ± 6.59 [a]
	4 สัปดาห์	414.40 ± 15.73 [a]	428.00 ± 17.27 [a]	403.40 ± 19.32 [a]
	6 สัปดาห์	796.40 ± 43.36 [b]	1090.60 ± 33.61 [a]	989.20 ± 57.20 [a]
พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)	2 สัปดาห์	199.93 ± 15.35 [a]	224.89 ± 16.82 [a]	256.15 ± 24.74 [a]
	4 สัปดาห์	462.94 ± 41.03 [b]	525.79 ± 31.24 [ab]	614.62 ± 35.67 [a]
	6 สัปดาห์	468.16 ± 6.89 [b]	802.71 ± 15.10 [a]	800.07 ± 13.05 [a]

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ย (mean) ± SE ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันที่อยู่ในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลของ EC ของสารละลายธาตุอาหารต่อจำนวนใบของพรมมิ พบว่าในสัปดาห์ที่ 2 และ 4 พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า ECทั้ง 3 ระดับ คือ 1.00, 1.50 และ 2.00 mS/cm มีจำนวนใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยสัปดาห์ที่ 2 พบพรมมิมีจำนวนใบอยู่ระหว่าง 138-162 ใบต่อต้น เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 4 พรมมิมีจำนวนใบเพิ่มสูงขึ้นอยู่ระหว่าง 403-428 ใบ ต่อต้น (ตารางที่ 4.6) เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 6 จำนวนใบของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.50 mS/cm มีจำนวนใบมากที่สุด (1090.60±33.61 ใบ) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับจำนวนใบของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 2.00 mS/cm (989.20±57.20 ใบ) ส่วนพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.00 mS/cm มีจำนวนใบน้อยที่สุด (796.40±43.36 ใบ)

ผลของ EC ของสารละลายธาตุอาหารต่อพื้นที่ใบของพรมมิ พบว่าในสัปดาห์ที่ 2 พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ทั้ง 3 ระดับ คือ 1.00, 1.50 และ 2.00 mS/cm มีพื้นที่ใบระหว่าง 200-256 ตารางเซนติเมตรต่อต้น ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.6) เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 4 พรมมิมีพื้นที่ใบเพิ่มสูงขึ้น โดยพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 2.00 mS/cm มีพื้นที่ใบมากที่สุด (614.62 ± 35.67 ตารางเซนติเมตร) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับพื้นที่ใบของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.50 mS/cm

เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 6 จำนวนใบของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.50 mS/cm และ 2.00 mS/cm มีพื้นที่ใบเพิ่มสูงขึ้นมาก และมีพื้นที่ใบใกล้เคียงกัน ในขณะที่พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.00 mS/cm มีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นน้อยมาก (ตารางที่ 4.6)

ผลของ EC ของสารละลายธาตุอาหารต่อปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวมและแคโรทีนอยด์ของพรมมิ พบว่าปริมาณรงควัตถุทุกชนิดมีผลการทดลองในลักษณะเดียวกัน คือ ปริมาณรงควัตถุที่พบในพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.50 mS/cm และ 2.00 mS/cm ส่วนใหญ่มีปริมาณรงควัตถุใกล้เคียงกัน ส่วนปริมาณรงควัตถุในพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.00 mS/cm มีปริมาณน้อยที่สุด (ตารางที่ 4.7)

4.4 ผลของความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

เมื่อนำยอดพรมมิขนาด 6-8 เซนติเมตร มาปรับสภาพเป็นเวลา 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นปลูกเลี้ยงด้วยไฮโดรโปนิกส์ระบบ DFT (Deep Flow Technique) โดยใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland (Hoagland's solution; half strength), EC 1.5 โดยสารละลายธาตุอาหารมี pH แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5.5, 6.5 และ 7.5 ปลูกเลี้ยงเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ หลังจากนั้นเก็บผลการเจริญเติบโตของพรมมิ ได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวต้น จำนวนยอด จำนวนใบ พื้นที่ใบ และปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง ผลการทดลองพบว่าในสัปดาห์ที่ 2 พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5, 6.5 และ 7.5 มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.8) โดยพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 7.5 มี

ตารางที่ 4.7 ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.00, 1.50 และ 2.00 mS/cm

		ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายธาตุอาหาร (mS/cm)		
		1.00	1.50	2.00
คลอโรฟิลล์ เอ	2 สัปดาห์	4.82 ± 0.18 [b]	5.44 ± 0.13 [a]	4.98 ± 0.13 [b]
	4 สัปดาห์	4.80 ± 0.32 [b]	5.69 ± 0.17 [a]	6.06 ± 0.16 [a]
	6 สัปดาห์	2.67 ± 0.24 [b]	4.89 ± 0.17 [a]	4.52 ± 0.18 [a]
คลอโรฟิลล์ บี	2 สัปดาห์	1.61 ± 0.07 [b]	1.87 ± 0.07 [a]	1.70 ± 0.05 [ab]
	4 สัปดาห์	1.73 ± 0.13 [b]	2.17 ± 0.12 [a]	2.40 ± 0.12 [a]
	6 สัปดาห์	0.91 ± 0.08 [b]	1.59 ± 0.06 [a]	1.46 ± 0.06 [a]
คลอโรฟิลล์รวม	2 สัปดาห์	6.38 ± 0.25 [b]	7.25 ± 0.20 [a]	6.62 ± 0.18 [b]
	4 สัปดาห์	6.48 ± 0.45 [b]	7.79 ± 0.28 [a]	8.39 ± 0.27 [a]
	6 สัปดาห์	3.55 ± 0.31 [b]	6.42 ± 0.22 [a]	5.94 ± 0.24 [a]
แคโรทีนอยด์	2 สัปดาห์	1.82 ± 0.07 [c]	2.13 ± 0.04 [a]	1.96 ± 0.03 [b]
	4 สัปดาห์	1.97 ± 0.09 [b]	2.21 ± 0.09 [a]	2.36 ± 0.03 [a]
	6 สัปดาห์	1.21 ± 0.10 [b]	2.05 ± 0.06 [a]	1.89 ± 0.07 [a]

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ย (mean) ± SE ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสาคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุด (2.28±0.12 และ 0.13±0.01 กรัม/ต้น ตามลำดับ) รองลงมาคือพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 6.5 โดยมีน้ำหนักสดเท่ากับ 1.86±0.14 กรัม/ต้น และน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.10±0.01 กรัม/ต้น และพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5 มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งน้อยที่สุด (1.05±0.12 และ 0.07±0.01 กรัม/ต้น ตามลำดับ)

เมื่อพรมมิมีอายุที่ 4 และ 6 สัปดาห์ พบว่าพรมมิมีการเจริญเติบโตมากขึ้น มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5, 6.5 และ 7.5 ในสัปดาห์ที่ 4 และ 6 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.8)

โดยในสัปดาห์ที่ 4 พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร pH 6.5 มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นมากเป็น 25.93±1.99 กรัม/ต้น ใกล้เคียงกับพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร pH 7.5 (25.15±1.60 กรัม/ต้น) แต่พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร pH 5.5 มีน้ำหนักสดน้อยที่สุด (21.23±1.97 กรัม/ต้น) ในขณะที่น้ำหนักแห้งในสัปดาห์ที่ 4 พบว่าพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH

ว QK
961
ม7925
2560
1020088

25
สำนักวิทยบริการฯ
31 มี.ค. 2562

7.5 มีน้ำหนักแห้งมากที่สุด (1.65±0.11 กรัม/ต้น) รองลงมาคือพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 6.5 (1.58±0.14 กรัม/ต้น) และพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5 มีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุด (1.29±0.12 กรัม/ต้น)

และในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร pH 6.5 มีน้ำหนักสดเพิ่มมากขึ้น และมากที่สุด คือ 85.34±4.36 กรัม/ต้น ส่วนพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร pH 7.5 และ 5.5 มีน้ำหนักสดใกล้เคียงกัน (80.78±4.29 และ 80.11±4.67 กรัม/ต้น ตามลำดับ) แต่น้ำหนักแห้งของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 7.5 มีค่ามากที่สุด (5.65±0.35 กรัม/ต้น) แต่น้ำหนักแห้งที่ได้นี้ไม่แตกต่างจากพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร pH 6.5 (5.61±0.33 กรัม/ต้น) ส่วนพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5 มีน้ำหนักแห้งน้อยที่สุด (4.83±0.28 กรัม/ต้น)

ตารางที่ 4.8 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น) ของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5, 6.5 และ 7.5

		pH ของสารละลายธาตุอาหาร		
		5.5	6.5	7.5
น้ำหนักสด	2 สัปดาห์	1.05 ± 0.12 ^{c}	1.86 ± 0.14 ^{b}	2.28 ± 0.12 ^{a}
	4 สัปดาห์	21.23 ± 1.97 ^{a}	25.93 ± 1.99 ^{a}	25.15 ± 1.60 ^{a}
	6 สัปดาห์	80.11 ± 4.67 ^{a}	85.34 ± 4.36 ^{a}	80.78 ± 4.29 ^{a}
น้ำหนักแห้ง	2 สัปดาห์	0.07 ± 0.01 ^{c}	0.10 ± 0.01 ^{b}	0.13 ± 0.01 ^{a}
	4 สัปดาห์	1.29 ± 0.12 ^{a}	1.58 ± 0.14 ^{a}	1.65 ± 0.11 ^{a}
	6 สัปดาห์	4.83 ± 0.28 ^{a}	5.61 ± 0.33 ^{a}	5.65 ± 0.35 ^{a}

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ย (mean)±SE ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันที่อยู่ในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลของความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายธาตุอาหารต่อความยาวต้นพรมมิ พบว่าในสัปดาห์ที่ 2 พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5, 6.5 และ 7.5 มีความยาวต้นแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร pH 7.5 มีความยาวต้นมากที่สุด (25.42±0.77 เซนติเมตร) รองลงมาคือพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 6.5 และพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5 มีความยาวต้นน้อยที่สุด เท่ากับ 16.00±0.98 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.9) ในสัปดาห์ที่ 4 พรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 6.5 มีความยาวต้นสูงขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับพรมมิที่ปลูกสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 7.5

(ตารางที่ 4.9) แต่เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 6 พบว่าพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 6.5 มีความยาวต้นเพิ่มขึ้นจนสูงสุดคือ 130.27±2.83 เซนติเมตร มากกว่าพรมมิที่ปลูกสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 7.5 และ 5.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5 ยังคงมีความยาวต้นน้อยที่สุด คือ 107.91±2.18 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.3)

ส่วนผลของความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายธาตุอาหารต่อจำนวนยอดพรมมิต่อต้นในสัปดาห์ที่ 2 นั้นให้ผลคล้ายกับด้านความยาวต้น นั่นคือพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร pH 7.5 มีจำนวนยอดมากที่สุด (9.75±0.63 ยอด) รองลงมาคือพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 6.5 และพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5 มีจำนวนยอดน้อยที่สุด คือ 6.42±0.80 ยอด

ในสัปดาห์ที่ 4 พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5, 6.5 และ 7.5 มีความจำนวนยอดเพิ่มขึ้นแต่จำนวนยอดที่ได้นั้นทั้ง 3 ทรีตเมนท์ อยู่ระหว่าง 25-30 ยอดต่อต้น ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามพรมมิที่มีจำนวนยอดสูงสุดจนถึงต่ำสุด คือพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 7.5, 6.5 และ 5.5 ตามลำดับ

ในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร pH 6.5 มีจำนวนยอดเพิ่มมากขึ้น จนมีจำนวนยอดสูงที่สุด (47.09±1.17 ยอด) (ตารางที่ 4.9, ภาพที่ 4.3B) ในขณะที่จำนวนยอดของพรมมิปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร pH 5.5 และ 7.5 มีจำนวนยอดใกล้เคียงกัน (43.36±2.00 และ 43.00±1.90 ยอด ตามลำดับ) แต่อย่างไรก็ตาม จำนวนยอดของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 7.5, 6.5 และ 5.5 นั้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.9, ภาพที่ 4.3)

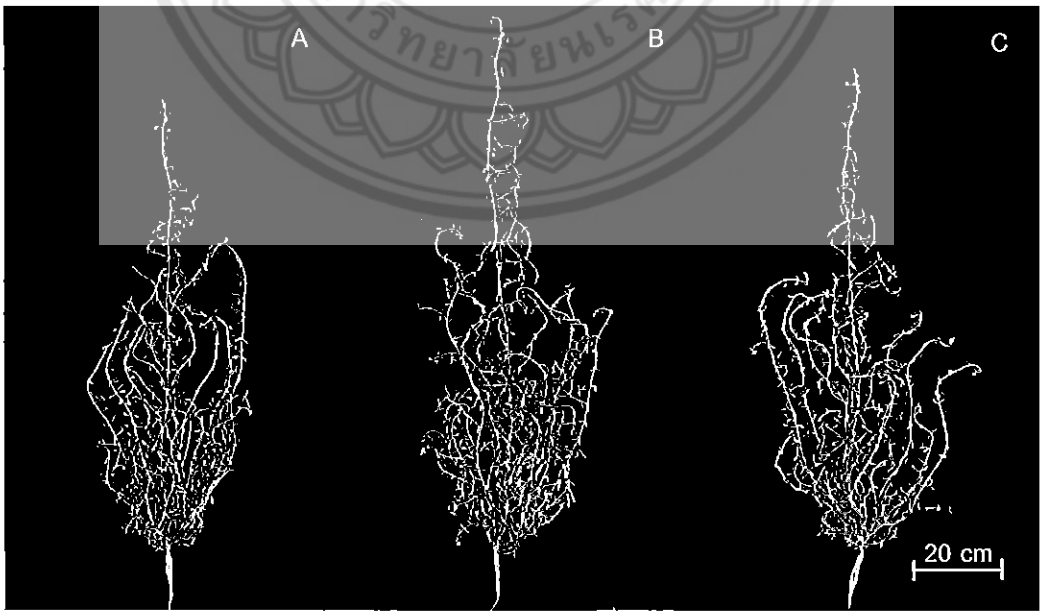
ผลของความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายธาตุอาหารต่อจำนวนใบ พบว่าในสัปดาห์ที่ 2 พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 7.5 มีจำนวนใบมากที่สุด (53.33±2.81 ใบ) ซึ่งใกล้เคียงกับจำนวนใบของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร pH 6.5 (48.50±2.57 ใบ) ส่วนพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5 มีจำนวนใบน้อยที่สุด (35.83±3.54 ใบ) เมื่อถึงสัปดาห์ที่ 4 จำนวนใบพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร pH 5.5, 6.5 และ 7.5 มีจำนวนใบเพิ่มมากขึ้นถึง 8-10 เท่าเมื่อเทียบกับจำนวนใบในสัปดาห์ที่ 2 ซึ่งจำนวนใบที่พบมากที่สุดพบในพรมมิที่ปลูกในสารละลาย pH 7.5 รองลงมาคือ 6.5 และ 5.5 น้อยที่สุด อย่างไรก็ตามจำนวนใบที่ได้ทั้ง 3 ทรีตเมนต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ในสัปดาห์ที่ 6 จำนวนใบพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร pH 6.5 มีจำนวนใบเพิ่มมากขึ้นจนสูงที่สุด (993.09±46.96 ใบ) และจำนวนใบพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร pH 5.5 ก็เพิ่มจำนวนสูงขึ้นเช่นกัน (905.27±42.56 ใบ) ในขณะที่จำนวนใบพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร pH 7.5 มีจำนวนน้อยที่สุด (845.09 ± 50.68 ใบ) (ตารางที่ 4.9, ภาพที่ 4.3B)

ตารางที่ 4.9 ความยาวต้น จำนวนยอด จำนวนใบ และพื้นที่ใบ ของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5, 6.5 และ 7.5

		pH ของสารละลายธาตุอาหาร		
		5.5	6.5	7.5
ความยาวต้น (เซนติเมตร)	2 สัปดาห์	16.00 ± 0.98 ^{c}	22.42 ± 1.12 ^{b}	25.42 ± 0.77 ^{a}
	4 สัปดาห์	65.33 ± 2.98 ^{b}	78.27 ± 3.57 ^{a}	83.73 ± 1.55 ^{a}
	6 สัปดาห์	107.91 ± 2.18 ^{b}	130. 27 ± 2.83 ^{a}	114.55 ± 2.68 ^{b}
จำนวนยอด (ยอด)	2 สัปดาห์	6.42 ± 0.80 ^{b}	8.25 ± 0.64 ^{ab}	9.75 ± 0.63 ^{a}
	4 สัปดาห์	25.87 ± 1.59 ^{a}	27.73 ± 1.99 ^{a}	30.20 ± 1.19 ^{a}
	6 สัปดาห์	43.36 ± 2.00 ^{a}	47.09 ± 1.17 ^{a}	43.00 ± 1.90 ^{a}
จำนวนใบ (ใบ)	2 สัปดาห์	35.83 ± 3.54 ^{b}	48.50 ± 2.57 ^{a}	53.33 ± 2.81 ^{a}
	4 สัปดาห์	374.67 ± 25.38 ^{a}	425.47 ± 29.74 ^{a}	444.53 ± 20.60 ^{a}
	6 สัปดาห์	905.27 ± 42.56 ^{ab}	993.09 ± 46.96 ^{a}	845.09 ± 50.68 ^{b}
พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)	2 สัปดาห์	28.47 ± 2.04 ^{b}	46.43 ± 3.41 ^{a}	45.52 ± 3.97 ^{a}
	4 สัปดาห์	275.16 ± 18.40 ^{a}	280.47 ± 23.68 ^{a}	312.35 ± 13.05 ^{a}
	6 สัปดาห์	565.27 ± 24.23 ^{b}	818.43 ± 30.36 ^{a}	737.08 ± 24.39 ^{a}

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ย (mean) ± SE ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันที่อยู่ในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.3 พรมมิอายุ 6 สัปดาห์ที่เจริญในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5 (A), 6.5 (B) และ 7.5 (C)

ผลของความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายธาตุอาหารต่อพื้นที่ใบ พบว่าพื้นที่ใบของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5 6.5 และ 7.5 มีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นมากในสัปดาห์ที่ 4 ประมาณ 6-10 เท่าเมื่อเทียบกับสัปดาห์ที่ 2 (ตารางที่ 4.9) โดยพื้นที่ใบที่ได้ทั้ง 3 ทรีตเมนต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

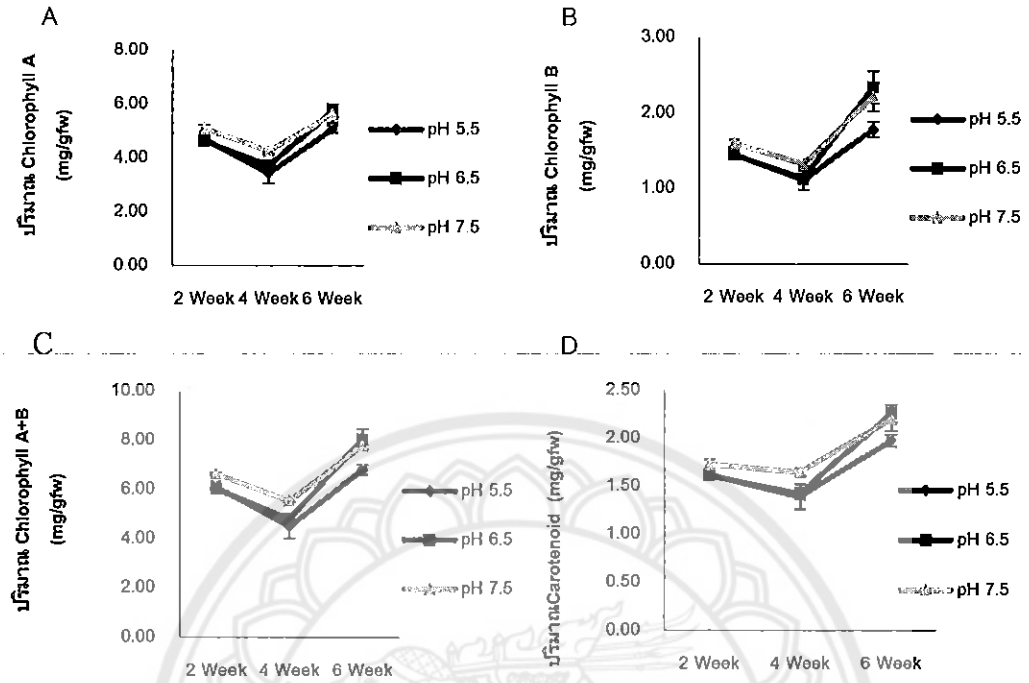
ในสัปดาห์ที่ 6 พื้นที่ใบพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร pH 6.5 มีพื้นที่ใบเพิ่มมากขึ้นจนสูงที่สุด (818.34±30.36 ตารางเซนติเมตร) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับพื้นที่ของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร pH 7.5 (737.08±24.39 ตารางเซนติเมตร) ส่วนพื้นที่ใบพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร pH 5.5 มีค่าน้อยที่สุด (565.27±24.23 ตารางเซนติเมตร) (ตารางที่ 4.9)

ผลของ pH ของสารละลายธาตุอาหารต่อปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวมและแคโรทีนอยด์ของพรมมิ พบว่าปริมาณรงควัตถุทุกชนิดมีผลการทดลองในลักษณะเดียวกัน คือ ปริมาณรงควัตถุลดลงในสัปดาห์ที่ 4 จากนั้นปริมาณรงควัตถุเพิ่มสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 6 (ตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.4) โดยพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มี pH 6.5 มีปริมาณรงควัตถุทุกชนิด (คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวมและแคโรทีนอยด์) สูงสุด รองลงมาคือ pH 7.5 ส่วนพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มี pH 5.5 มีปริมาณรงควัตถุทุกชนิดต่ำสุด (ตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.4)

ตารางที่ 4.10 ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า pH 5.5, 6.5 และ 7.5

		pH ของสารละลายธาตุอาหาร		
รงควัตถุ		5.5	6.5	7.5
ระยะเวลา				
คลอโรฟิลล์ เอ	2 สัปดาห์	4.71 ± 0.15 ^{ab}	4.63 ± 0.14 ^{b}	5.10 ± 0.14 ^{a}
	4 สัปดาห์	3.42 ± 0.36 ^{b}	3.71 ± 0.18 ^{ab}	4.26 ± 0.11 ^{a}
	6 สัปดาห์	5.07 ± 0.14 ^{a}	5.75 ± 0.24 ^{a}	5.62 ± 0.31 ^{a}
คลอโรฟิลล์ บี	2 สัปดาห์	1.45 ± 0.05 ^{a}	1.45 ± 0.05 ^{a}	1.60 ± 0.05 ^{a}
	4 สัปดาห์	1.11 ± 0.13 ^{b}	1.13 ± 0.05 ^{b}	1.32 ± 0.03 ^{a}
	6 สัปดาห์	1.78 ± 0.10 ^{b}	2.34 ± 0.21 ^{a}	2.21 ± 0.19 ^{ab}
คลอโรฟิลล์รวม	2 สัปดาห์	6.11 ± 0.20 ^{ab}	6.03 ± 0.18 ^{b}	6.64 ± 0.18 ^{a}
	4 สัปดาห์	4.49 ± 0.49 ^{b}	4.80 ± 0.22 ^{ab}	5.53 ± 0.14 ^{a}
	6 สัปดาห์	6.80 ± 0.20 ^{b}	8.02 ± 0.43 ^{a}	7.77 ± 0.49 ^{ab}
แคโรทีนอยด์	2 สัปดาห์	1.62 ± 0.06 ^{a}	1.61 ± 0.05 ^{a}	1.73 ± 0.05 ^{a}
	4 สัปดาห์	1.39 ± 0.13 ^{b}	1.42 ± 0.06 ^{b}	1.65 ± 0.04 ^{a}
	6 สัปดาห์	1.97 ± 0.06 ^{b}	2.25 ± 0.09 ^{a}	2.20 ± 0.12 ^{ab}

หมายเหตุ : ข้อมูลในตารางคือ ค่าเฉลี่ย (mean) ± SE ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันที่อยู่ในแถวเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.4 ปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์ด้วยแสง: (A) คลอโรฟิลล์ เอ (B) คลอโรฟิลล์ บี (C) คลอโรฟิลล์รวม (D) แคโรทีนอยด์ของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มี pH 5.5, 6.5 และ 7.5

บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

อภิปรายผล

5.1 การเจริญเติบโตของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ NFT และ DFT

พรมมิที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ทั้ง NFT และ DFT มีการเจริญมากกว่าพรมมิที่ปลูกลงดินในบ่อซีเมนต์แบบดั้งเดิม (กลุ่มควบคุม) โดยมีน้ำหนักแห้งของพรมมิที่ได้จากการปลูกด้วยระบบ NFT และ DFT มากกว่าการปลูกในดินถึง 8.5 และ 10.1 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากระบบไฮโดรโปนิกส์เป็นระบบการปลูกพืชโดยให้สารละลายธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช (ดิเรก ทองอร่าม, 2550) โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย และปรับค่าความเป็นกรด-เบส ให้เหมาะสมกับการละลายของธาตุอาหารและธาตุอาหารอยู่ในรูปแบบที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ทำให้พืชสามารถดูดธาตุอาหารที่จำเป็นนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบการปลูกในดิน (Raviv and Lieth, 2008)

เมื่อเปรียบเทียบระบบไฮโดรโปนิกส์ที่ใช้คือ NFT กับ DFT พบว่าระบบ DFT มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นการเจริญของพรมมิได้ดีที่สุด โดยพรมมิที่ได้จากการปลูกแบบ DFT มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DFT เป็นระบบที่ให้สารละลายธาตุอาหารไหลเวียนในรางปลูกในระดับลึกกว่า NFT และอัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารในระบบ DFT (15 ลิตรต่อนาที) สูงกว่าระบบ NFT (10 ลิตรต่อนาที) ส่งผลต่อการเจริญของต้นและรากพรมมิได้ดี อีกทั้งอุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารในระบบ NFT มักมีอุณหภูมิสูงกว่าระบบ DFT อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลต่อการเจริญลดลง โดยเฉพาะการเจริญของรากซึ่งเป็นบริเวณที่สำคัญที่ใช้ในการดูดแร่ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต Masura et al., (2016) รายงานว่าอุณหภูมิบริเวณรากที่สูงขึ้นส่งผลให้การเจริญของสตรอเบอรี่ลดลง นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่อโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ ต่อการทำงานของเอนไซม์ การสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชทั้งต้นลดลง (Nxawe et al., 2010)

5.2 การสร้างสารบาโคไซด์ เอ (bacoside A) ของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ NFT และ DFT

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสาร bacoside A (bacoside A3, bacopaside II, bacoside X และ bacopasaponin C) ของพรมมิอายุ 6 สัปดาห์ ที่ปลูกด้วยไฮโดรโปนิกส์ระบบ NFT, DFT และเปรียบเทียบกับการปลูกในดินแบบดั้งเดิม พบว่าพรมมิที่ปลูกเลี้ยงในดิน (control) มีปริมาณสาร bacoside A (% w/w dry wt) มากกว่าพรมมิที่ปลูกด้วยไฮโดรโปนิกส์ทั้ง NFT และ DFT ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก bacoside A จัดเป็น secondary metabolite ซึ่งพืชมักสังเคราะห์มากขึ้นเมื่อพืชอยู่สภาวะเครียด (stress) (Gupta et al., 2017) โดยการปลูกพรมมิในดิน ทำให้พรมมิพบกับสภาวะ

เครียด ทั้ง abiotic stress และ biotic stress ได้มากกว่าการปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ ตัวอย่างเช่น osmotic stress และมีโรคและแมลงเข้าทำลาย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Gupta et al. (2017) พบว่าการเข้าทำลายโดยเชื้อโรค (microbe infection) กระตุ้นการสร้างสารที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันตัวเองของพืชได้แก่ phenolic compound และ bacoside A

อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนวณปริมาณสาร bacoside A ที่สะสมในพรมมิต่อ 1 ต้น พบว่าพรมมิที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DFT มีปริมาณสาร bacoside A สูงสุด ซึ่งเป็นผลดี เนื่องจาก Phrompittayarat et al. (2011) รายงานว่าพบสาร bacoside A ในปริมาณสูงที่บริเวณยอดพรมมิ ซึ่งการปลูกพรมมิด้วยระบบ DFT นอกจากพรมมิมีการเจริญที่ดี ให้น้ำหนักแห้งสูงสุดแล้ว ยังมีจำนวนยอด (axillary bud) จำนวนสูงที่สุดด้วยเช่นกัน ทำให้ได้พรมมิที่มีสารออกฤทธิ์ในปริมาณสูงด้วยเช่นกัน ซึ่งเป็นประโยชน์ในด้านการนำการนำไปใช้เชิงการค้า

5.3 ผลของค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: EC) ของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

จากการศึกษาค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: EC) หรือระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพรมมิ โดยศึกษาความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน 3 ระดับคือ 1.00, 1.50 และ 2.00 mS/cm ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DFT โดยใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland's solution และควบคุมสารละลายธาตุอาหารให้มีค่า pH อยู่ระหว่าง 5.8 - 6.5 เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ แสดงให้เห็นว่าพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร EC 1.50 mS/cm และ EC 2.00 mS/cm มีผลด้านการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร EC 1.50 mS/cm ส่งผลให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวต้น จำนวนใบ พื้นที่ใบ คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ สูงที่สุด และแม้ว่าจำนวนยอดของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร EC 2.00 mS/cm มีจำนวนมากกว่าจำนวนยอดของพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร EC 1.50 mS/cm แต่พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเป็นที่น่าสังเกตว่าในขณะที่พรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร EC 1.00 mS/cm มีผลด้านการเจริญเติบโตน้อยที่สุด และมีน้ำหนักสดน้อยกว่าพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร EC 2.00 mS/cm ถึง 1.5 เท่า แต่กลับมีน้ำหนักแห้งมากกว่าพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร EC 2.00 mS/cm แต่อย่างไรก็ตามพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: EC) เป็นการวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายซึ่งเกิดจากการแตกตัวของปุ๋ยเมื่อละลายในน้ำ ดังนั้นสารละลายที่เข้มข้นขึ้นจึงส่งผลให้มีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นเช่นกัน แต่จากผลการทดลองพบว่าแม้จะเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายธาตุ

อาหารสูงขึ้นถึง 2.00 mS/cm แต่ก็ไม่ได้ส่งผลให้พรมมิมีการเจริญเติบโตได้มากขึ้นไปกว่าพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร EC 1.50 mS/cm อีกทั้งยังพบว่ามีแนวโน้มของการเจริญเติบโต โดยเฉพาะน้ำหนักแห้งลดลงอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wangwibulkit and Vajrodaya (2016) ที่พบว่า ต้นดาวน้อย *Pogostemon helferi* (Hook. f.) ซึ่งเป็นพรรณไม้น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 1.6 mS/cm และมีการเจริญเติบโตลดลงเมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC 2.00 mS/cm นอกจากนั้นยังพบว่าผักกาดหอมเจริญเติบโตดีที่สุดในสารละลายที่ EC 2.00 mS/cm แต่เมื่อ EC สูงขึ้นกลับส่งผลให้มีการเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากพบว่าภายในต้นผักกาดหอมมีปริมาณธาตุ N และ P ลดลง และสารละลายที่ EC 2.00 mS/cm ส่งผลให้ภายในต้นผักกาดหอมมีปริมาณธาตุ Mg ลดลง (Seo et al., 2009) อีกทั้งยังพบว่า EC ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ภายในต้นพืชมี Zn และ Fe น้อยลง (Abou-Hadid et al., 1996) ซึ่งเหล่านี้ล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญของรงควัตถุในการสังเคราะห์แสงและเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ภายในต้นพืช แม้ว่าการเพิ่มค่า EC จะเป็นการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหาร แต่ไม่ได้หมายความว่าพืชจะสามารถใช้ธาตุอาหารต่างๆ ที่มากขึ้นเหล่านี้ได้หมด และการที่สารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นมากขึ้น ทำให้พืชดูดใช้ธาตุอาหารบางตัวมากเกินไปในขณะที่ดูดธาตุบางตัวน้อยลง ส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลภายในต้นพืช ซึ่งเป็นสาเหตุให้พืชเจริญเติบโตน้อยลง และได้ผลผลิตที่ลดลงด้วยเช่นเดียวกัน (ดิเรก ทองอร่าม, 2550; Samarakoon et al., 2006) ดังนั้น การเลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารหรือค่า EC ที่เหมาะสมในการปลูกพืชแต่ละชนิดจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีและได้ผลผลิตที่สูงขึ้น

5.4 ผลของค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของพรมมิที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

จากการศึกษาเปรียบเทียบผลของค่า pH ในสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน 3 ระดับ (5.5, 6.5 และ 7.5) ต่อการเจริญเติบโตของพรมมิที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DFT โดยใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland's solution (half strength) โดยมีค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ EC 1.50 mS/cm เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าสารละลายธาตุอาหาร pH 6.5 ส่งผลให้พรมมิมีการเจริญเติบโตดีที่สุด คือมีน้ำหนักสด ความยาวต้น จำนวนยอด จำนวนใบ พื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ สูงที่สุด รองลงมาคือพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร pH 7.5 และ 5.5 ตามลำดับ ซึ่งน้ำหนักแห้งของพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร pH 7.5 มีความใกล้เคียงกับ pH 6.5 แต่อย่างไรก็ตามพบว่า น้ำหนักแห้ง น้ำหนักสด จำนวนยอด และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ pH แตกต่างกันทั้ง 3 ระดับ และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ ของพรมมิที่

ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร pH 6.5 และ 7.5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่พรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร pH 6.5 มีความยาวต้นมากกว่าพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร pH 5.5 และ 6.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เนื่องจากค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่รากพืชนั้นจะดูดนำไปใช้ได้ เนื่องจากธาตุอาหารแต่ละตัวจะอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้มากที่สุดที่ pH แตกต่างกัน จากการทดลองจะพบว่าการเจริญเติบโตในระยะ 2 สัปดาห์แรกจะมีการเปลี่ยนแปลงของ pH เล็กน้อย แต่เมื่อถึงระยะ 4 สัปดาห์ ค่า EC ของสารละลายธาตุอาหารเริ่มลดลง pH เปลี่ยนแปลงเร็วขึ้นและสูงขึ้น แสดงถึงการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบที่มากขึ้น โดยพืชจะดูดใช้ NO_3^- เป็นส่วนใหญ่ (ดูดใช้ธาตุอาหารที่มีไอออนลบมากกว่าบวก) และพืชจะปล่อยอนุมูล HCO_3^- ออกมา ทำให้ pH ของสารละลายธาตุอาหารเพิ่มขึ้น (อานัฐ ตันโช, 2548) นอกจากนั้นยังพบว่าค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของพรมมิ โดยพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ pH 6.5 มีการเจริญเติบโตและมีปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์แสงสูงที่สุด รองลงมาคือพรมมิที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ pH 7.5 และสารละลายธาตุอาหารที่ pH 5.5 ส่งผลให้พรมมิมีการเจริญเติบโตและมีปริมาณรงควัตถุน้อยที่สุด สอดคล้องกับผลการทดลองของ Roosta and Rezaei (2014) ที่พบว่าสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland's solution (half strength) ที่ pH 6.5 ส่งผลให้กุหลาบที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์มีการเจริญเติบโตดีที่สุด เนื่องจาก pH 6.5 เป็นช่วง pH ที่เหมาะสมในการดูดใช้ธาตุอาหารมากที่สุด อีกทั้งยังพบว่าสารละลายธาตุอาหารที่ pH 5.5 และ 8 ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตและปริมาณรงควัตถุในการสังเคราะห์แสงลดลง เนื่องจากสารละลายที่ pH 5.5 และ 8 พืชดูดใช้ P, Ca, Fe, Mn, Zn และ Cu ได้น้อยลง กรณีที่สารละลายมี pH สูง ส่งผลให้การละลายและการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารต่ำลง โดยเฉพาะกับธาตุอาหารรอง เช่น Fe, Mn, Cu, และ Zn ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพและปริมาณของรงควัตถุในการสังเคราะห์แสง และการที่รากได้รับ pH สูงนานๆ ทำให้รากมีโอกาสสัมผัสกับ HCO_3^- เป็นเวลานาน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ของรากพืชลดลง โดยทำให้บริเวณปลายรากเกิดการสังเคราะห์กรดอินทรีย์สูงมากเกินไปมีผลทำให้ไปยับยั้งการหายใจของรากได้ (Almansouri and Alhendawi, 2014) และในกรณีที่สารละลายมี pH ต่ำเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อัตราการไหลของน้ำในรากลดลง เมื่อพืชดูดใช้สารละลายธาตุอาหารได้น้อยลงจึงส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ (Kamaluddin and Zwiazek, 2004) นอกจากนั้น สารละลายธาตุอาหารที่มี pH ต่ำยังมีผลทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซและการซึมผ่านของ CO_2 และปริมาณของคลอโรฟิลล์ในใบลดลงอีกด้วย (Yang et al., 2015; Long et al., 2017) สารละลายธาตุอาหารที่มี pH ต่ำส่งผลให้พืชได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดูดธาตุอาหารบางตัวได้น้อยลง และมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงลดลงนั้น จึงส่งผลให้มีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าผักกาดฮ่องเต้เจริญเติบโตได้ดีในสารละลายธาตุอาหารที่ pH 5.5 และผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ก

เจริญเติบโตได้ดีในสารละลายธาตุอาหารที่มี pH ช่วง 5.5-6.5 (ศักดิ์สิทธิ์ บุญดำ และปริยานุช จุลกะ, 2557; สุภาพร ราชา และศิรศาธิญากร จันทร์ขศิราพร, 2560) นอกจากนั้นยังพบว่าพืชที่เป็นพรรณไม้น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสารละลายที่มี pH ช่วง 5.7-7.3 (สุรภี ประชุมพล และนงนุช เลาหะวิสุทธิ์, 2555) จะเห็นว่าพืชแต่ละชนิดมีความต้องการช่วง pH ที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ดังนั้น การปรับ pH ของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อความต้องการของพืชแต่ละชนิดจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีและได้ผลผลิตที่สูงที่สุด

สรุป

ระบบไฮโดรโปนิกส์ทั้ง NFT และ DFT กระตุ้นการเจริญของพรมมิได้มากกว่าการปลูกในบ่อดินหรือบ่อซีเมนต์แบบดั้งเดิม โดยมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวต้น จำนวนยอด จำนวนใบและพื้นที่ใบมากกว่าการปลูกในดิน (กลุ่มควบคุม) เมื่อเปรียบเทียบระบบไฮโดรโปนิกส์ที่ใช้คือ NFT กับ DFT พบว่าระบบ DFT มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นการเจริญของพรมมิได้ดีที่สุด โดยพรมมิที่ได้จากการปลูกแบบ DFT มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง จำนวนยอด ความยาวต้น จำนวนใบมากกว่าพรมมิที่ได้จากการปลูกด้วยระบบ NFT

พรมมิที่ปลูกในดินมีปริมาณ bacoside A (bacoside A3, bacopaside II และ bacoside X % w/w dry wt) มากกว่าพรมมิที่ปลูกโดยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ NFT และ DFT แต่ bacopasaponin C พบปริมาณสูงสุดในพรมมิโดยไฮโดรโปนิกส์แบบ NFT อย่างไรก็ตามเมื่อคำนวณปริมาณการสะสมของสาร bacoside A ในพรมมิ 1 ต้น (มิลลิกรัมต่อต้น) พบว่าพรมมิที่ปลูกด้วยระบบ DFT มีการสะสมของสาร bacoside A ทุกชนิดสูงสุด

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) หรือ ระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland's solution; half strength ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรมมิ ภายใต้การปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DFT คือ EC 1.50 mS/cm ซึ่งค่า EC 1.50 mS/cm เป็นระดับที่ทำให้มีธาตุอาหารเพียงพอและเหมาะสมต่อความต้องการของพรมมิ ทำให้ต้นพรมมิมีการเจริญเติบโตดีที่สุด มากกว่า EC 1.50 และ 2.0 mS/cm ค่า EC 1.5 mS/cm นี้ ให้ผลผลิตพรมมิสูงสุด ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตพรมมิในระบบไฮโดรโปนิกส์แทนการใช้ EC 2.0 mS/cm ได้อีกด้วย

ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland's solution; half strength ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรมมิ ภายใต้การปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DFT คือ pH 6.5 ซึ่งส่งผลให้พรมมิมีการเจริญเติบโตดีที่สุด (มากกว่า pH 5.5 และ 7.5) และพรมมิมีแนวโน้มของการเจริญเติบโตที่ลดลงเมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มี pH 7.5 ดังนั้นในการปลูกเลี้ยงพรมมิด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์แบบ DFT จึงควรระมัดระวังไม่ให้สารละลายธาตุอาหารมี pH ที่สูงกว่า 7.5 ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน เพราะอาจส่งผลให้พรมมิมีการเจริญเติบโตน้อยลงและผลผลิตที่ได้จะลดต่ำลงได้

เอกสารอ้างอิง

กรกนก อิงคนินันท์, วราภรณ์ ภูตะลุน, วฐู พรหมพิทยารัตน์, ศักดิ์ชัย วิทยาอารีย์กุล, ชรินรัตน์ โตเทียม, อรยา เครื่องทิพย์, นิศาชล ช่างเหล็ก, รัตนาพร สิริบาล, และศุภรัตน์ การุณย์วิจิตร. (2553). การศึกษาพัฒนาพรมมิเพื่อใช้เป็นสมุนไพรบำรุงความจำ ระยะที่ 4, รายงานการวิจัยโครงการย่อยที่ 7 การศึกษาเพื่อส่งต่อเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารพรมมิสู่อุตสาหกรรม. (รายงานการวิจัย). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

กรกนก อิงคนินันท์, สุชาดา สุขหร่อง, นิทรา เนื่องจำนงค์, ปราณี นางงาม, ประภาพรรณ เต็มกิจถาวร, และทองชัย แซ่สง. (2558). การศึกษาเมตาบอโลมิกและลายพิมพ์ดีเอ็นเอของพรมมิและพืชสกุล *Bacopa* ที่พบในประเทศไทย. (รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

กำไร วรนุช, รัตติกานต์ บัวเรือง, อนุพันธ์ กงบังเกิด, คำรพ รัตนสุต, และชนนิษฎ์ ชูพยัคฆ์. (2015). เมทิลจัสโมเนทและการทำให้เกิดแผลกระตุ้นการแสดงออกของยีน *sesquiterpene synthase* ในเนื้อเยื่อเพาะเลี้ยงพลู. Thai Journal of Genetics. *8*(3), 182-190.

คงเอก ศิริงาม, กุลิสรา ธีระวิภา, และณัฐวุฒิ ไหลหาโคตร. (2557). ผลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. *22*(6), 828-836.

จิราพร กุลคำ. (2555). การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมในการผลิตอนูเบียสนานา (*Anubias nana*) แบบไร้ดิน. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. *6*(2), 78-86.

เฉลิมวุฒิ คำฟูบุตร. (2552). อัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารในระบบการปลูกพืชไร้ดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมชนิดผักสลัดใบแดง. โครงงานวิศวกรรมชลประทาน ที่ 21/2552. 85 น.

ชัยชาญ สาดแสงจันทร์. (2556). พรมมิ สมุนไพรเพื่อสุขภาพสมอง. วารสารธรรมศาสตร์เวชสาร. *13*(4), 554-560

ดิเรก ทองอร่าม. (2550). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: พิมพ์ดีการพิมพ์.

เต็ม สมิตินันทน์. (2544). ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : ส่วนพฤกษศาสตร์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.

บุญร่วม คิดค้า. (2557). อิทธิพลของเมทิลจัสโมเนตต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและคุณค่าทางโภชนาการในผักกาดหอมเรดโอ๊คที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์. วารสารแก่นเกษตร. 42(1), 652-657.

พิชานันท์ ลีแก้ว. (2555). "พรมมิ" สมุนไพรรักษาอาการความจำเสื่อม. บทความวิชาการ จุลสารข้อมูลสมุนไพร. *29*(3), 16-19.

ศักดิ์สิทธิ์ บุญดำ, และปริยานุช จุลกะ. (2557). ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและปริมาณไนเตรทของผักกาดฮ่องเต้ที่ปลูกในระบบ Nutrient Film Technique (NFT). วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. *45*(2), 9-12.

สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืชกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (2558). พืชสมุนไพรในสวนพฤกษศาสตร์และสวนรุกขชาติในประเทศไทย เล่ม 2. กรุงเทพฯ.

สุรภี ประชุมพล, และนงนุช เลาหะวิสุทธิ์. (2555). ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตพรรณไม้น้ำสกุลอนูเบียสบาร์เทอรี่ในระบบปลูกแบบไร้ดิน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. *30*(3), 42-51.

สุรภี ประชุมพล, และนงนุช เลาหะวิสุทธิ์. (2555). ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตพรรณไม้น้ำสกุลอนูเบียสบาร์เทอรี่ในระบบปลูกแบบไร้ดิน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. *30*(3), 42-51.

อรระวี คงสมบัติ, สุทิสา ถาน้อย, และเสมอ ถาน้อย. (2554). การศึกษาเมตาบอโลมิกและลายพิมพ์ ดีเอ็นเอของพรมมิและพืชสกุล *Bacopa* ที่พบในประเทศไทย. (รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

อานัฐ ตันโช. (2548). การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน Soilless Culture in Tropics (พิมพ์ครั้งที่ 3). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

Abdelgawad, Z. A., Khalafaallah, A. A. and Abdallah, M. M. (2014). Impact of methyl jasmonate on antioxidant activity and some biochemical aspects of maize plant grown under water stress condition. *Agricultural Sciences, 5*(12), 1077-1088.

Abou-Hadid, A.F., Abd-Elmoniem, E.M., Ei-Shinawy, M.Z. and Abou-Elsoud, M. (1996). Electrical conductivity effect on growth and mineral composition of lettuce plants in hydroponic system. *Acta Hortic. 434*, 59-66.

Almansouri, H.M. and Alhendawi, R.A.M. (2014). Effect of increasing concentration of bicarbonate on plant growth and nutrient uptake by Maize plants. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 14*(1), 01-06.

Calabrese, C., Gregory, W. L., Leo, M., Kraemer, D., Bone, K. and Oken, B. (2008). Effects of a standardized *Bacopa monnieri* extract on cognitive performance, anxiety, and depression in the elderly: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine, 14*(6), 707-713.

Caruso, G., Villari, G., Melchionna, G. and Conti, S. (2011). Effects of cultural cycles and nutrient solutions on plant growth, yield and fruit quality of alpine strawberry (*Fragaria vesca* L.) grown in hydroponics. *Scientia Horticulturae*, 129, 479-485.

Charoenphon, N., Anandsongvit, N., Kosai, P., Sirisidthi, K., Kangwanrangsan, N. and Jiraungkoorskul, W. (2016). Brahmi (*Bacopa monnieri*): Up-to-date of memory boosting medicinal plant: A review. *Indian Journal of Agricultural Research, 50*(1), 1-7.

Cheong, J. and Choi, Y. (2003). Methyl jasmonate as a vital substance in plants. *Trends in Genetics, 19*(7), 409-413.

Gupta, R., Singh, A., Srivastava, M., Singh, V., Gupta, M. M., and Pandey, R. (2017). Microbial modulation of bacoside A biosynthetic pathway and systemic defense mechanism in *Bacopa monnieri* under *Meloidogyne incognita* stress. *Scientific Reports, 7*, 41867. doi:10.1038/srep41867 https://www.nature.com/articles/srep41867#supplementary-information

Haque, S.M., Chakraborty, A., Dey, D., Mukherjee, S., Nayak, S. and Ghosh, B. (2017). Improved micropropagation of *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. (Plantaginaceae) and antimicrobial activity of *in vitro* and *ex vitro* raised plants against multidrug-resistant clinical isolates of urinary tract infecting (UTI) and respiratory tract infecting (RTI) bacteria. *Clinical Phytoscience*, 3, 17.

Hussain. K. (2010). *Bacopa monnieri* (L.) pennell –a good biomarker of water pollution/contamination. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 6*(3), 91-101.

Kamaluddin, M. and Zwiazek, J.J (2004). Effects of root medium pH on water transport in paper birch (*Betula papyrifera*) seedlings in relation to root temperature and abscisic acid treatments. *Tree Physiology, 24*, 1173-1180.

Kamkaew, N., Scholfield, C.N., Ingkaninan, K., Maneesai, P., Parkington, H.C., Tare, M. and Chootip, K. (2011). *Bacopa monnieri* and its constituents is hypotensive in anaesthetized rats and vasodilator in various artery types. *Journal of Ethnopharmacology,* 137, 790-795.

Kamkaew, N., Scholfield, C.N., Ingkaninan, K., Taepavarapruk, N. and Chootip, K. (2013). *Bacopa monnieri* increases cerebral blood flow in rat independent of blood pressure. *Phytotherapy Research,* 27, 135-138.

Kongkeaw, C., Dilokthornsakul, P., Thanarangsarit, P., Limpeanchob, N. and Scholfield, C.N. (2014). Meta-analysis of randomized controlled trials on cognitive effects of *Bacopa monnieri* extract. *Journal of Ethnopharmacology*, 151, 528-535.

Krishantha, G.D., Gunasekera, H.K.L.K., Sugathadasa, K.S.S. and Prasangika, K.W.D.S. (2012). Feasibility study of growing Lunuwila (Bacopa Monnieri L.) under hydroponics. *Annual Academic Sessions 2012 "Open University of Sri Lanka"*. 1-4.

Largia, M.J.V., Pothiraj, G., Shilpha, J. and Ramesh, M. (2015). Methyl jasmonate and salicylic acid synergism enhances bacoside A content in shoot cultures of *Bacopa monnieri* (L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 122, 9-20.

Lee, Y.H., Yoon, C.S., Park, N. and Yeoung, Y.R. (2015). Influence of various nutrient concentrations on the growth and yield of summer strawberry cultivars cultivated in a hydroponic system. *Horticulture, Environment and Biotechnology, 56*(4), 421-426.

Lefever, K. (2013). Effects of pH and Phosphorus concentrations on the cultivation of *Salvia chamelaeagnea* grown in hydroponics. (Master's thesis). Cape Peninsula University of Technology, South Africa.

Limpeanchob, N., Jaipan, S., Rattanakaruna, S., Phrompittayarat, W. and Ingkaninan, K. (2008). Neuroprotective effect of *Bacopa monnieri* on beta-amyloid-induced cell death in primary cortical culture. *Journal of Ethnopharmacology,* 120, 112-117.

Long, A., Zhang, J., Yang, L. T., Ye, X., Lai, N. W., Tan, L. L., Lin, D. and Chen, L. S. (2017). Effects of low pH on photosynthesis, related physiological parameters, and nutrient profiles of Citrus. *Front Plant Sci, 8*, 185.

Lucho, C.G.G., Zaragoza, M.F., Ponce, N.T., Cerda, G.R.C.M., Trejo, T.G., Esparza, G.F. and Ramos. V.A.C. (2017). Antioxidant responses under jasmonic acid elicitation comprise enhanced production of flavonoids and anthocyanins in *Jatropha curcas* leaves. *Acta Physiologiae Plantarum, 39*(8), 165.

Masaru, S., Uenishi, M., Miyamoto, K., and Suzuki, T. (2016). Effect of root-zone temperature on the growth and fruit quality of hydroponically grown strawberry plants. *2016, 8*(5). doi:10.5539/jas.v8n5p122

Mishra, A., Mishra, A.K., Tiwari, O.P. and Jha, S. (2013). HPLC analysis and standardization of Brahmi vati - An Ayurvedic poly-herbal formulation. *Journal of Young Pharmacists, 5*(3), 77-82.

Mitrnoi, M. (2007). Tissue culture and factors affecting growth of African sword plant (*Echinodorus africanus* K. Ratag) in deep flow technique system (M.Sc. thesis). King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

Naik, P.M., Manohar, S.H., Praveen, N. and Murthy, H.N. (2009). Effects of sucrose and pH levels on in vitro shoot regeneration from leaf explants of *Bacopa monnieri* and accumulation of bacoside A in regenerated shoots. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 100*(2), 235-239.

Nemetchek, M. D., Stierle, A. A., Stierle, D. B. and Lurie, D. I. (2017). The Ayurvedic plant *Bacopa monnieri* inhibits inflammatory pathways in the brain. *Journal of Ethnopharmacology*, 197, 92-100.

Nuengchamnong, N., Sookying, S. and Ingkaninan, K. (2016). LC-ESI-QTOF-MS based screening and identification of isomericjujubogenin and pseudojujubogenin aglycones in *Bacopa monnieri* extract. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 129, 121-134.

Nxawe, S., Ndakidemi, P., and Laubscher, C. (2010). Possible effects of regulating hydroponic water temperature on plant growth, accumulation of nutrients and other metabolites. *African Journal of Biotechnology, 9*(54), 9128-9134.

Peth-Nui, T., Wattanathorn, J., Muchimapura, S., Tong-Un, T., Piyavhatkul, N., Rangseekajee, P.,Ingkaninan, K. and Vittaya-Areekul, S. (2012). Effects of 12-week *Bacopa monnieri* consumption on attention, cognitive processing, working memory, and functions of both cholinergic and monoaminergic systems in healthy elderly volunteers. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2012, 606424.

Phrompittayarat, W., Jetiyanon, K., Wittaya-areekul, S., Putalun, W., Tanaka, H., Khan, I. and Ingkaninan, K. (2011). Influence of seasons, different plant parts, and plant growth stages

on saponin quantity and distribution in *Bacopa monnieri*. *Songklanakarin Journal of Science and Technology, 33*(2), 193-199.

Pierce, S. C., Pezeshki, S. R., Larsen, D. and Moore, M. T. (2009). Hydrology and species-specific effects of *Bacopa monnieri* and *Leersia oryzoides* on soil and water chemistry. *Ecohydrology*, 2(3), 279-286.

Raviv, M. and Lieth, J. H. (2008). Soilless Culture: Theory and Practice. *Amsterdam: Elsevier*, 604p.

Roosta, H.R. and Rezaei, I. (2014). Effect of nutrient solution pH on the vegetative and reproductive growth and physiological characteristics of Rose Cv. 'Grand Gala' in hydroponic system. *Journal of Plant Nutrition, 37*(13), 2179-2194.

Russo, A. and Borrelli, F. (2005). *Bacopa monniera*, a reputed nootropic plant: an overview. *Phytomedicine,* 12, 305-317.

Samarakoon, U.C., Weerasinghe P.A. and Weerakkody, W.A.P. (2006). Effect of electrical conductivity [EC] of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Stationary Culture. *Tropical Agricultural Research, 18*, 13-21.

Seo, M.W., Yang, D.S., Kays, S.J., Kim, J.H., Woo, J.H. and Park, K.W. (2009). Effects of nutrient solution electrical conductivity and sulfur, magnesium, and phosphorus concentration on sesquiterpene lactones in hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientia Horticulturae*, 122, 369-374.

Singh, A. and Dwivedi, P. (2018). Methyl-jasmonate and salicylic acid as potent elicitors for secondary metabolite production in medicinal plants: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7*(1), 750-757.

Sireeratawong, S., Jaijoy, K., Khonsung, P., Lertprasertsuk, N. and Ingkaninan, K. (2016). *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16, 249.

Uabundit, N., Wattanathorn, J., Mucimapura, S. and Ingkaninan, K. (2010). Cognitive enhancement and neuroprotective effects of *Bacopa monnieri* in Alzheimer's disease model. *Journal of Ethnopharmacology*, 127, 26-31.

Wangwibulkit, M. and Laohavisuti, N. (2006). Propagation of Java fern *Microsorium pteropus* (Blume) Ching, 1961. Technical Paper No. 20/2006. Inland Fisheries Research and Development Bureau, Department of Fisheries, Bangkok, Thailand, 36.

Wangwibulkit, M. and Vajrodaya, S. (2016). Ex-situ propagation of *Pogostemon helferi* (Hook. f.) Press using tissue culture and a hydroponics system. *Agriculture and Natural Resources,* 50, 20-25.

Yang, M., Tan, L., Xu, Y., Zhao, Y., Cheng, F., Ye, S. and Jiang, W. (2015). Effect of low pH and aluminum toxicity on the photosynthetic characteristics of different fast-growing eucalyptus vegetatively propagated clones. *PLoS One*, *10*(6), 1-15.