

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อเมซอนแอฟริกา (*Echinodorus africanus* K. Rataj)

อเมซอนแอฟริกา (ภาพที่ 2.1) เป็นพรรณไม้น้ำที่จัดอยู่ในวงศ์ Alismataceae เป็นพืชมีดอก ลักษณะทั้งสองเพศในดอกเดียวกัน ประกอบด้วยกลีบเลี้ยง 3 กลีบ โดยปกติจะมีสีเขียว กลีบดอกมีสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน (Anonymous. 2007) ใบเลี้ยงเดี่ยว ตันเป็นเหง้าฝังอยู่ในพื้นน้ำที่เป็นทรายหรือดินปนทรายรากจะชอนไชไปตามพื้นทรายบริเวณริมขอบสระน้ำตื้นๆ มีใบหนาแข็งแรง สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งใต้น้ำ เหนือน้ำ และบนบกบริเวณที่ชื้นแฉะ แต่จะมีการเจริญเติบโตดีเมื่ออยู่ใต้น้ำ (Jez. 2004) นอกจากนี้สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะของน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลง รวมทั้งต้องการสภาพอากาศที่อบอุ่น อเมซอนแอฟริกาสามารถขยายพันธุ์ได้โดยการตัดต้นอ่อนบริเวณก้านช่อดอก (Anonymous. 2007)



ภาพที่ 2.1 อเมซอนแอฟริกา (*Echinodorus africanus*)

2.2 หลักการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำ

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำ เป็นวิธีการขยายพันธุ์พรรณไม้น้ำที่นำชิ้นส่วนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ตา ขอด ใบ ดอก หรือเมล็ด มาเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ในสภาพปลอดเชื้อจุลินทรีย์ ให้มี

จำนวนของต้นพันธุ์ตามที่ต้องการภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว โดยการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และแสงสว่าง นอกจากนี้ต้นพันธุ์ที่ได้ยังปราศจากโรคอีกด้วย (มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ. 2545)

2.3 สารควบคุมการเจริญเติบโต

ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำนอกจากอาหารสังเคราะห์ที่ใช้เลี้ยงแล้ว สารควบคุมการเจริญเติบโตยังเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้พรรณไม้น้ำสามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วและมีปริมาณที่มากเพียงพอตามความต้องการ สารควบคุมการเจริญเติบโต ได้แก่ สารควบคุมการเจริญเติบโตที่ใช้เติมในอาหารเพื่อชักนำให้มีการพัฒนาการเจริญเติบโตของพืชตามต้องการ ซึ่งสารเร่งการเจริญเติบโตหรือสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีความสำคัญและนิยมนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ได้แก่

2.3.1 กลุ่มออกซิน (auxins)

เป็นกลุ่มของสารที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการขยายขนาดของเซลล์ (cell enlargement) การแบ่งตัวของเซลล์ การขยายขนาดของใบ การเกิดราก การขยายขนาดของผล ป้องกันการหลุดร่วงของใบ ดอก ผล ขยายการแตกตาข้าง นอกจากนี้ยังสามารถกระตุ้นการเกิดราก การเจริญเติบโตของลำต้น ตา และใบ ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามการใช้ฮอร์โมนในระดับความเข้มข้นสูงมากๆ จะก่อให้เกิดความเป็นพิษกับพืชคือ จะยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช จนอาจทำให้ตายได้ (รังสฤษฎ์ กาวิต๊ะ. 2541) ได้แก่ α -naphthaleneacetic acid (NAA) เป็นชนิดที่นิยมใช้กันมาก 3-indoleacetic acid (IAA), 3-indolebutyric acid (IBA) และ 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) เป็นต้น

2.3.2 กลุ่มไซโตไคนิน (cytokinins)

เป็นกลุ่มฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ของพืช ชะลอการแก่ชราและกระตุ้นการแตกตาข้าง ทำหน้าที่ส่งเสริมการเจริญของใบยับยั้งการเจริญเติบโตของรากและเร่งขึ้นส่วนพืชให้เกิดยอด และสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มนี้จะมีประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นอย่างมาก โดยจะผสมเข้าไปในสูตรอาหารเพื่อช่วยกระตุ้นให้เซลล์แบ่งตัวได้อย่างรวดเร็ว และเร่งให้เนื้อเยื่อเจริญไปเป็นยอดและลำต้น ส่งเสริมการเจริญเติบโตของใบ ยับยั้งการเจริญเติบโตของราก (รังสฤษฎ์ กาวิต๊ะ. 2541) ได้แก่ zeatin เป็นฮอร์โมนที่พบในพืช ส่วนฮอร์โมนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมา ได้แก่ 6-benzyladenine (BA) และ 6-furfurylaminopurine (kinetin) เป็นต้น

อัตราส่วนของออกซินและไซโตไคนินมีผลต่อการเจริญพัฒนาของเนื้อเยื่อนำมาเพาะเลี้ยง โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้เนื้อเยื่อมีการพัฒนาเป็นต้นและรากได้อย่างปกติ (รังสฤษฎ์ กาวิต๊ะ. 2541) Miller and Skoog (1953) รายงานว่า อัตราส่วนของออกซินและไซโตไคนินที่สูงกว่า

อัตราส่วนที่เหมาะสมจะมีผลให้น้ำเนื้อเยื่อเจริญเป็นรากและแคลลัส (callus) ซึ่งเป็นกลุ่มเซลล์จำนวนมากเกาะรวมกันอยู่โดยยังไม่มีหน้าที่ที่เฉพาะเจาะจง แต่ถ้าอัตราส่วนของออกซินและไซโตไคนินต่ำกว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้ว เนื้อเยื่อจะพัฒนาไปเป็นยอด อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของออกซินและไซโตไคนินที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชแต่ละชนิดยังมีความแตกต่างกันออกไป การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้ไม่ได้ขยายวงกว้างออกไปมาก จึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตในพืชมาใช้กับพรรณไม้เพื่อเป็นการส่งเสริมการผลิตพรรณไม้ให้ได้จำนวนมาก โดยมณิรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ และ อรุณี รอดลอย (2542) ทำการทดลองเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อใบพายศรีลังกา (*Cryptocoryne wendtii*) ที่เลี้ยงในอาหารที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่า เนื้อเยื่อใบอ่อนของใบพายศรีลังกาที่เลี้ยงในอาหารที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA เพียงอย่างเดียวที่ระดับความเข้มข้น 0.20 – 0.40 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนของต้นอ่อนที่เกิดใหม่น้อยมาก คือ 0.00 ต้น และ 0.50 ต้น ตามลำดับ และต้นอ่อนที่ได้มีขนาดเล็ก ไม่แข็งแรง และที่ความเข้มข้นของ NAA 0.40 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว เกิดเป็นกลุ่มเซลล์แคลลัส แต่ไม่มีการเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อนต่อไป ในทางตรงกันข้าม ชี้นเนื้อเยื่อที่เลี้ยงในอาหารที่เติม BA ที่ระดับความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าเฉลี่ยของจำนวนต้นอ่อนเกิดขึ้นสูงที่สุด คือ 20 ต้น โดยต้นอ่อนที่ได้จะแข็งแรงและเจริญเติบโตได้ดีภายใน 8-10 สัปดาห์ ในขณะที่ Michael,E.K et.al. (1999) ศึกษาการเพิ่มจำนวนของต้นอ่อนของพรรณไม้ชนิดเดียวกันคือใบพายศรีลังกา (*Cryptocoryne wendtii*) โดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพบว่า จำนวนต้นอ่อนของใบพายศรีลังกา เกิดมากที่สุด เฉลี่ย 7 ต้น ต่อชิ้นเนื้อเยื่อ เมื่อเลี้ยงในอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 4.50 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงอย่างเดียว หลังจาก 4 สัปดาห์ และหลังจากที่ย้ายไปปลูก พบว่ามีอัตรารอด 100 เปอร์เซ็นต์และมีความยาวลำต้นเฉลี่ย 10.40 เซนติเมตร หลังจากย้ายไปปลูกแล้ว 8 สัปดาห์ นอกจากนี้ Michael,E.K et.al. (1990) ทดลองเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อใบพาย (*Cryptocoryne lucens*) โดยนำชิ้นเนื้อเยื่อมาเลี้ยงในอาหารที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต 2 ชนิดคือ BA ที่ระดับความเข้มข้น 0.00 ถึง 4.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ NAA ความเข้มข้น 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจาก 35 วันต่อมา พบว่าชิ้นเนื้อเยื่อที่เลี้ยงในอาหารที่เติม BA 4.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ NAA 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการชักนำให้เกิดต้นอ่อนมากที่สุด โดยเฉลี่ย 7 ต้นต่อชิ้นเนื้อเยื่อ ในทำนองเดียวกันการใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเมซอนไบแดง (*Echinodorus barthii*) ของนางนุช เลาหะวิสุทธิ และคณะ (2544) โดยตัดส่วนปลายยอดไปเลี้ยงในอาหารสูตรพื้นฐาน MS (Murashige & Skoog. 1962) ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ kinetin 0, 1, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนปลายสุดของตาขอดเมซอนไบแดงในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม kinetin 1 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นเวลา 4 สัปดาห์ เนื้อเยื่อสามารถเกิดต้นอ่อนได้มากที่สุด และเมื่อเลี้ยงต่อไปอีก 4 สัปดาห์ จะเกิดรากและต้นใหม่เพิ่มขึ้น 8-10 ต้น และนางนุช เลาหะวิสุทธิ และมัลลิกา มิตรน้อย (2548) นำชิ้นเนื้อเยื่อส่วนยอดของพรรณไม้

อะโกลนีมา (*Aglaonema simplex*) มาเลี้ยงในอาหารสูตรพื้นฐานที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA และ BA ในปริมาณที่ต่างกันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าเนื้อเยื่อส่วนยอดของอะโกลนีมาที่เลี้ยงในอาหารสูตรพื้นฐานที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA เพียงอย่างเดียวในปริมาณ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้ชิ้นเนื้อเยื่อเกิดต้นอ่อนได้เร็วในปริมาณที่มากที่สุด นอกจากนี้ยังมีการทดลองการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำในกลุ่มอนูเบียส (*Anubias* sp.) โดย Huang, L.C. et.al. (1994) ทำการทดลองเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ *Anubias barteri* ในอาหารที่เติม BA และ NAA ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน พบว่าอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร และ NAA ความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะชักนำให้เกิดต้นใหม่ 5 ต้นต่อชิ้นเนื้อเยื่อ หลังจากทำการเลี้ยงเป็นเวลา 7 เดือน หลังจากนั้นวรรณดา พิพัฒน์เจริญชัย (2548) ได้พัฒนาสูตรอาหารเพื่อการขยายพันธุ์พรรณไม้น้ำ อนูเบียส (*Anubias barteri* Engler, 1979) ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโดยสูตรอาหารแต่ละสูตรมีความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักแตกต่างกัน มีการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA 0 และ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และ BA 2 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าสูตรอาหารแต่ละสูตรมีผลชักนำให้เกิดยอดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เมื่อพิจารณาลักษณะภายนอกของชิ้นเนื้อเยื่อ พบว่าชิ้นเนื้อเยื่อที่เลี้ยงในอาหารสูตรพื้นฐาน (MS) และอาหารสูตร LS ร่วมกับ BA เพียงอย่างเดียว สามารถชักนำให้ชิ้นเนื้อเยื่อส่วนยอด เกิดยอดใหม่ที่มีลักษณะสมบูรณ์ ไม่แสดงอาการบวม อวบน้ำ และสามารถเกิดยอดใหม่ได้มากที่สุด (3.60 ยอดต่อชิ้นเนื้อเยื่อ) นอกจากนี้ยังมีการทดลองขยายพันธุ์พรรณไม้น้ำชนิดอื่นๆ ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เช่น Kunisaki (1980) ได้ศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำชนิด *Anthurium andraeanum* โดยเลี้ยงในอาหารที่เติม BA ที่ความเข้มข้น 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าหลังจาก 6 สัปดาห์ ชิ้นเนื้อเยื่อที่เลี้ยงในอาหารที่เติม BA 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีจำนวนต้นอ่อนเกิดมากที่สุดคือ เฉลี่ย 3 ต้นต่อชิ้นเนื้อเยื่อ ส่วนพรรณไม้น้ำในกลุ่มของสาหร่ายไมริโอไฟลัม (*Myriophyllum heterophyllum*) สามารถชักนำให้เกิดยอดใหม่มากที่สุดเฉลี่ย 13 ยอด และ 37 ยอดต่อชิ้นเนื้อเยื่อ ด้วยสูตรอาหารที่เติม zeatin ความเข้มข้น 2.19 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ IAA 1.75 มิลลิกรัมต่อลิตร และ zeatin ความเข้มข้น 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ IAA 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ (Michael and Albert, 1989) และ Bird, K.T. et.al. (1998) พบว่าออกซินทั้ง IBA และ NAA สามารถไปยับยั้งการเกิดต้นอ่อนของหญ้ามะเล (*Halophila decipiens*) ในทุกความเข้มข้นที่ทำการทดลอง และ IAA ที่ความเข้มข้น 1.70 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่สามารถกระตุ้นการเกิดต้นอ่อนได้เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต และ IAA ที่ความเข้มข้น 8.70 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของหญ้ามะเล

2.4 ระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ deep flow technique (DFT)

การปลูกพืชในระบบ DFT หรือ deep flow technique (ภาพที่ 2.2) เป็นระบบการปลูกที่ให้รากพืชแช่อยู่ในน้ำสูงประมาณ 3 เซนติเมตร โดยให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านช่องว่างภายในรางปลูกตลอดเวลา ประกอบด้วยท่อปลูก ทำมาจากท่อพีวีซีสีขาว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-2.5 นิ้ว ความยาวของท่อ 4-18 เมตรและด้านบนของท่อเจาะรูเพื่อวางถ้วยปลูก (นนุชเลาหะวิสุทธิ. 2547) ซึ่งข้อดีของระบบการปลูกพืชในระบบนี้คือ พืชไม่ขาดน้ำและธาตุอาหาร เนื่องจากรากแช่อยู่ในสารละลายตลอดเวลา (เรไร นันทนาวัฒน์. 2548) และสอดคล้องกับการทดลองของนนุช เลาหะวิสุทธิ และมัลลิกา มิตรน้อย (2548) ทดลองเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอะโกลนีมา (*Aglaonema simplex*) ที่ย้ายปลูกจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในระบบการปลูกแบบไร้ดิน 4 ระบบ คือ DFT, NFT (nutrient film technique), sand culture และ floating system เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่ามีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 2.48, 2.29, 2.01 และ 2.46 กรัมต่อต้นตามลำดับ ในทำนองเดียวกันยุทธนา เกียรติธร (2547) เปรียบเทียบการปลูกใบพายเขาใหญ่ (*Cryptocoryne crispata*) ในระบบการปลูกพืชไร้ดิน 4 รูปแบบ คือ DFT, NFT, sand culture และ floating system พบว่าการเจริญเติบโตของใบพายเขาใหญ่ที่ปลูกในระบบ DFT มีน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นและน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด



ภาพที่ 2.2 ระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ deep flow technique (DFT)

2.5 ปุ๋ยหรือธาตุอาหารพืช

ปุ๋ยหรือธาตุอาหารพืช เป็นปัจจัยอาหารที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เนื่องจากการจัดการในการให้ปุ๋ยเคมีต่างๆ เพื่อทดแทนธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน เพราะการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นการให้พืชที่ปลูกได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชที่ได้จากการนำธาตุอาหารหรือปุ๋ยเคมีซึ่งอาจเป็นรูปสารละลายของของแข็งหรือเป็นของเหลวผสมกับน้ำ (ดิเรกทองอร่าม, 2548) โดยธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

2.5.1 ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก (macronutrient elements)

เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการเพื่อการเจริญเติบโตเป็นหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S)

2.5.1.1 ไนโตรเจน (nitrogen)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการมากที่สุด ซึ่งไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ได้มีอยู่ 3 อย่างคือ ไนเตรทไอออน (NO_3^-) แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และยูเรีย [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] โดยเฉพาะรูปของไนเตรทไอออน (NO_3^-) แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เป็นรูปของไนโตรเจนที่พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด(ขงยุทธ โอสถสภา, 2543) Lasa,B. et.al. (2001) ได้ศึกษาผลของแหล่งของไนโตรเจน (ไนเตรทและแอมโมเนียม) ต่อการเจริญเติบโต การสังเคราะห์แสง และปริมาณของไนโตรเจนในผักปวยเล้ง (*Spinacea oleracea* L.) ต้นทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) ถั่วลันเตา (*Pisum sativum* L.) โดยนำเมล็ดของพืชทั้ง 3 ชนิด มาเพาะในวัสดุปลูก คือ เวอร์มิคูไลท์ : เพอร์ไลต์ (2:1) เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ และนำต้นอ่อนมาปลูกในระบบการปลูกพืชไร้ดิน โดยพืชทดลองได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีไนเตรท (5 มิลลิโมล) จาก $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ หรือ แอมโมเนียม (5 มิลลิโมล) ซึ่งได้จาก $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ และปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.8 ± 0.4 และเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุกๆ 5 วัน จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าผักปวยเล้งมีการตอบสนองต่อแอมโมเนียมสูงสุด รองลงมาคือต้นทานตะวัน และถั่วลันเตาจะมีการตอบสนองต่อแอมโมเนียมต่ำที่สุด ถ้ามีการสะสมแอมโมเนียมในรากพืชมากมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง และหากมีการเพิ่มไนโตรเจนจนถึงระดับที่เพียงพอ การใช้ประโยชน์ของแอมโมเนียมมีอัตราสูงขึ้น จึงสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีน การเจริญเติบโต ดัชนีพื้นที่ใบพืช (leaf area index, LAI) และการสังเคราะห์แสงสุทธิ (ขงยุทธ โอสถสภา, 2543) ในขณะที่โสระยา ร่วมรังสี และคณะ (2548) ศึกษาผลของระดับไนโตรเจนร่วมกับโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้สกุลหวายอันนี้ โดยใช้หวายอายุ 1 ปี ปลูกเลี้ยงในระบบ NFT พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ระดับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการเจริญเติบโตมากกว่าหวายที่ได้รับไนโตรเจน 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่การได้รับไนโตรเจนที่ระดับต่ำสุดคือ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ผลการเจริญเติบโตของ

หว่านนี้ไม่แตกต่างจากการได้รับไนโตรเจนที่ระดับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และ Kim, T. et.al. (2002) ศึกษาของไนโตรเจนที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการนำสารอาหารไปใช้ของผลไม้เปลือกแข็งพีแคน ปลูกระบบการปลูกแบบไร้ดิน แต่ละกลุ่มได้รับอัตราส่วนของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) ต่อ ไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) 3 อัตราส่วน ได้แก่ 25:75, 50:50 และ 75:25 จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน จะขัดขวางการเจริญเติบโตของเมล็ดพีแคน โดยกลุ่มที่ได้รับอัตราส่วนของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ต่อ ไนเตรท-ไนโตรเจน 75:25 มีน้ำหนักน้อยกว่า อัตราส่วนของรากต่อยอดลดลง และน้ำหนักใบจำเพาะต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ และการเจริญเติบโตของรากจะสูงที่สุดในกลุ่มที่ได้รับอัตราส่วนของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ต่อ ไนเตรท-ไนโตรเจน 50:50 และพืชสามารถนำไนโตรเจนจากแหล่งต่างๆ ไปใช้ในการเจริญเติบโต แต่โดยปกติแล้วไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมจะถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้มากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของยูทรีนา เกียร์ดิธ (2547) ที่ทดลองหาสัดส่วนของแอมโมเนียมต่อไนเตรทที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของใบพายเขาใหญ่ (*Cryptocoryne crispata*) ในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT พบว่าการเจริญเติบโตของใบพายเขาใหญ่ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีสัดส่วนของแอมโมเนียมต่อไนเตรท 10 ต่อ 90 ดีที่สุด มีน้ำหนักสดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากที่สุด นอกจากนี้ Romero, J.A. et.al. (1999) ได้ศึกษาผลของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) 3 ระดับ (50, 500 และ 1,000 ไมโครโมลต่อลิตร) และ ฟอสฟอรัส 2 ระดับ (15 และ 50 ไมโครโมลต่อลิตร) ต่อการเจริญเติบโตของต้นอ้อ (*Phragmites australis*) ที่ปลูกระบบการปลูกพืชแบบไร้ดิน พบว่าระดับของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารจะมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของพืช โดยที่อัตราการเจริญเติบโตจะต่ำสุดในกลุ่มที่ได้รับไนโตรเจนต่ำ (0.026 ต่อวัน) ส่วนในกลุ่มที่ได้รับไนโตรเจน 500 ไมโครโมลต่อลิตร จะมีอัตราการเจริญเติบโต 0.035 ต่อวัน และกลุ่มที่ได้รับไนโตรเจนสูงสุด (0.037 ต่อวัน)

2.5.1.2 ฟอสฟอรัส (phosphorus)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการ 0.3-0.5% (โดยน้ำหนักแห้ง) เพื่อให้การเจริญเติบโตของพืชเป็นไปตามปกติ นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังช่วยสร้างความแข็งแรงให้กับรากพืช พืชที่ขาดฟอสฟอรัสจะมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญคือ ใบขนาดเล็ก และจำนวนใบน้อย (ยงยุทธ โอสดสภา. 2543) โดยพืชต้องการธาตุฟอสฟอรัสไม่มากเท่ากับไนโตรเจนและโพแทสเซียม ประกอบกับไม่มีปัญหาในเรื่องความไม่เพียงพอของฟอสฟอรัสเหมือนในดิน พืชจึงได้รับฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอ รูปของฟอสฟอรัสที่พืชสามารถดูดกินได้คือ mono-hydrogen phosphate ion (HPO_4^{2-}) ส่วนจะอยู่ในรูปใดมากกว่ากันขึ้นอยู่กับความเป็นกรด่างของสารละลายในขณะนั้น (ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์ และคณะ. 2548)

2.5.1.2 โพแทสเซียม (potassium)

โพแทสเซียมเป็นธาตุหนึ่งที่มีบทบาทในการควบคุมการเปิดและปิดของปากใบ รูปของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชคือ K^+ แม้ว่าพืชแต่ละชนิดจะต้องการโพแทสเซียมเพื่อการเจริญเติบโตตามปกติในปริมาณที่แตกต่างกันก็ตาม แต่โดยทั่วไปแล้วพืชจะต้องการประมาณ 2-5% (โดยน้ำหนักแห้ง) ถ้าพืชขาดธาตุโพแทสเซียม จะแสดงอาการเหี่ยวเฉาง่าย นอกจากนี้ยังทำให้การเจริญเติบโตลดลง (ยงยุทธ โอสดสภา. 2543)

2.5.1.3 แคลเซียม (calcium)

แคลเซียมเป็นองค์ประกอบสำคัญของมิดเดิล ลามลลา (middle lamella) ของผนังเซลล์ทุกเซลล์ ในพืชที่ได้รับแคลเซียมอย่างเพียงพอสำหรับการเจริญตามปกติ จะมีแคลเซียมสะสมอยู่ที่ปลายยอดและปลายรากมากกว่าส่วนอื่นของต้น แสดงว่าแคลเซียมเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการแบ่งเซลล์ของพืช เมื่อเกิดการขาดแคลนแคลเซียมในพืช แคลเซียมเป็นธาตุที่ไม่สามารถถูกเคลื่อนย้ายจากส่วนแก่ไปยังส่วนอ่อนหรือที่กำลังเติบโตได้ ดังนั้นอาการขาดแคลเซียมของพืชจึงแสดงออกที่ส่วนยอดของต้นหรือกิ่ง ลักษณะอาการขาดแคลเซียมในพืชทั่วไปคือ ใบอ่อนที่เกิดขึ้นใหม่มีรูปร่างบิดเบี้ยวผิดปกติ หรือขาดแหว่งและมีสีซีดจางกว่าปกติ ถ้าขาดรุนแรงอาจเป็นสีขาวหรือไม่มีสี ใบอ่อนของพืชมี้วนงอและไม่สามารถคลี่ออกได้ตามปกติ รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชปรากฏอยู่ในรูปของไอออนบวก (Ca^{2+}) ที่อาจแลกเปลี่ยนได้เป็นส่วนใหญ่เช่นเดียวกับโพแทสเซียม ความเข้มข้นของแคลเซียมในพืชแตกต่างกันตามสภาพการปลูก พันธุ์พืช และอวัยวะ ซึ่งแปรผันอยู่ในช่วง 0.1 ถึงมากกว่า 5% โดยน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ โอสดสภา. 2543)

2.5.1.4 แมกนีเซียม (magnesium)

แมกนีเซียมมีบทบาทสำคัญยิ่งในพืชสีเขียว เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ สัดส่วนของธาตุนี้ในคลอโรฟิลล์ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ แมกนีเซียมจะเข้าสู่ต้นพืชในรูปของแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) พืชปกติมีแมกนีเซียมอยู่ในช่วง 0.15-0.35% โดยน้ำหนักแห้ง ดังนั้นถ้าขาดแมกนีเซียมพืชมีใบเหลืองซีดซึ่งจะปรากฏตามใบซึ่งขยายตัวเต็มที่แล้ว และขบวนการสังเคราะห์แสงลดลง (ยงยุทธ โอสดสภา. 2543)

2.5.1.5 กำมะถัน (Sulfur)

กำมะถันเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนบางชนิด เช่น cysteine methionine และสารประกอบสำคัญในพืชบางชนิด เช่น glutathione ดังนั้นกำมะถันจึงมีความสำคัญต่อการสร้างโปรตีนในพืชซัลเฟอร์จะเข้าสู่พืชในรูปของซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) อาการขาดกำมะถันของพืชคล้ายคลึงกับอาการขาดธาตุไนโตรเจนคือ พืชทั้งต้นแคระแกรนและมีสีเขียวอ่อนหรือเหลือง อาจแตกต่างจากไนโตรเจนบ้างตรงที่กำมะถันในพืชไม่เคลื่อนย้ายจากส่วนแก่ไปยังส่วนอ่อนที่ขาดแคลนได้ดีเหมือนไนโตรเจน ดังนั้นอาการขาดจึงเห็นพร้อมกันทั้งในใบอ่อนและใบแก่ (ยงยุทธ โอสดสภา. 2543)

2.5.2 ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยหรือจุลธาตุ (micronutrient elements)

เป็นธาตุอาหารที่พรรณไม้จำเป็นต้องการในปริมาณน้อย แต่ขาดธาตุอาหารเหล่านี้ไม่ได้ ได้แก่ คลอรีน (Cl), เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn), สังกะสี (Zn), ทองแดง (Cu), โมลิบดีนัม (Mo) และ โบรอน (B)

2.6 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในสารละลายธาตุอาหาร

ในระบบการปลูกพืชไร้ดินวัดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารโดยวัดจากค่าการนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็นมิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร (mS/cm) เป็นค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายแสดงถึงปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย การวัดค่าการนำไฟฟ้าจะทำให้ทราบเพียงค่ารวมของการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารพืช (คือน้ำกับปุ๋ยที่เป็นธาตุอาหารพืชทั้งหมดในถังที่ใส่สารอาหารทั้งหมด) เท่านั้น แต่ไม่ทราบค่าของสัดส่วนของธาตุอาหารใดธาตุอาหารหนึ่งที่อยู่ในส่วนที่อาจเปลี่ยนไปตามเวลาเนื่องจากพืชนำไปใช้หรือตกตะกอน (ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์ และคณะ. 2548) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดปุ๋ย หรือค่าการนำไฟฟ้าในสารละลาย เรียกว่า conductivity meter (Weerasena, 2004) มีการวัดค่าการนำไฟฟ้าเพื่อควบคุมระดับของเกลือหรือปุ๋ยในสารละลายธาตุอาหาร เพื่อให้พืชได้รับปริมาณสารอาหารตามที่ต้องการ (ดิเรก ทองอร่าม. 2548) ถ้าค่าการนำไฟฟ้าสูงแสดงว่าสารละลายมีความเข้มข้นสูง คือมีธาตุอาหารต่างๆ ละลายอยู่มาก และค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ในช่วง 1-4 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2538) โดยพรรณไม้น้ำบอนแดง (*Cryptocoryne blassii* De Wit, 1960) สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร Coic-Lesaint ระดับความเข้มข้น 0.5 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตรเป็นระยะเวลา 2 เดือน และมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.33 กรัมต่อต้น (วันเพ็ญ มินกาญจน์. 2547) ส่วนการทดลองของสมเกียรติ สีสนอง (2548) ที่ศึกษาผลของระดับการให้ปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนโอซีลอต (*Echinodorus ozelot*) ที่ปลูกในกระเบทราย และให้ปุ๋ยที่มีความเข้มข้น 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร เป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ทำให้พรรณไม้น้ำอเมซอนโอซีลอต มีความสูงของต้น ความกว้าง และความยาวของใบมากที่สุด รองลงมาคือ 1.5, 1.0 และ 0.5 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร มีความสูง 1.28, 20.81, 20.67 และ 0.82 เซนติเมตร ความกว้างของใบ คือ 6.19, 6.03, 5.73 และ 3.98 เซนติเมตร และความยาวของใบ 10.95, 10.54, 10.41 และ 8.00 เซนติเมตร ตามลำดับ ที่ระดับความเข้มข้นปุ๋ย 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร มีจำนวนใบมากที่สุด รองลงมาคือ 1.5, 1.0 และ 0.5 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร มีจำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 16.53, 16.33, 16.19 และ 13.46 ใบ ตามลำดับ และยุทธนา เกียรติธร (2547) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นใบพายเขาใหญ่ (*Cryptocoryne crispata*) ในระบบการปลูกแบบไร้ดินโดยมีความเข้มข้นของ

สารละลายธาตุอาหาร (ค่าการนำไฟฟ้า) ต่างกัน พบว่าต้นใบพายเขาใหญ่มีการเจริญเติบโตมากที่สุด เมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น 1.00 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร เช่นเดียวกับพรรณไม้ น้ำใบพายศรีลังกา (*Cryptocoryne wendtii* de Wit.) ที่สามารถเจริญเติบโตได้มากที่สุด เมื่อปลูกใน สารละลายธาตุอาหาร Coic-Lesaint ที่มีความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโต 1 มิลลิซีเมน ต่อเซนติเมตร โดยมีน้ำหนักต้น ความสูงต้น และจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2.99 กรัมต่อต้น 11.45 เซนติเมตรต่อต้น และ 11 ใบต่อต้น ตามลำดับ (นาซีเราะห์ วาโคร์ และปิยะกาญจน์ บุญสุวรรณ. 2547)

2.7 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในสารละลายธาตุอาหาร

ค่า pH หมายถึงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายธาตุอาหารพืช ดังนั้นการปลูกพืช ในระบบไร้ดินจำเป็นต้องมีการควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เนื่องจากธาตุอาหารพืชแต่ละธาตุที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารนั้น รากพืชจะดูดน้ำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับค่า ของ pH ที่แตกต่างกันไป ดังนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างในสารละลายเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึง ความสามารถของรากที่จะดูดธาตุอาหารต่างๆ ที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืชได้ นอกจากนี้ค่า ความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายที่ต่ำจะทำให้พืชดูดธาตุอาหารหลัก เช่น ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) และธาตุอาหารรอง เช่น แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ได้น้อยลง ในขณะที่เดียวกันถ้าค่าความเป็นกรดเป็นด่างในสารละลายสูง จะทำให้พืชดูดธาตุอาหารรอง เช่น เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn) ได้น้อยลงเช่นกัน ถึงแม้ว่าโดยทั่วไป ควรรักษาค่าของ pH ที่ 5.8 – 7.0 เป็นช่วงที่ธาตุอาหารพืชต่างๆ สามารถคงรูปในสารละลายที่พืช ส่วนมากนำไปใช้ได้ดี แต่ปกติแล้วค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมในการปลูกพืชแบบไร้ดิน คือ 6 แต่แตกต่างกันไปตามชนิดของพืชที่ปลูก (ดิเรก ทองอร่าม. 2548) สารละลายธาตุอาหารที่ใช้ ในการปลูกพรรณไม้จำเป็นต้องมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.5-7.4 (วันเพ็ญ มินกาญจน์ และ กาญจนรี พงษ์ฉวี. 2543)

ปรีชาติ ดิษฐกิจ และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ (2548) ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลาย ธาตุอาหาร และระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสที่ปลูก ในโรงเรือนปิดที่มีระบบลดอุณหภูมิ (evaporative-cooling greenhouse) พบว่าการใช้ความเข้มข้น ของสารละลายธาตุอาหาร (ค่าการนำไฟฟ้า) ที่ 1.5 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ร่วมกับ ค่าความเป็น กรดเป็นด่างที่ 5.8 ให้การเจริญเติบโตที่ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบอาการขอบไหม้ในผักกาดหอมคอส เกิดรุนแรงมากขึ้นเมื่อปลูกในสารละลายที่มีความเข้มข้น และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง pH สูงขึ้น นอกจากนี้ Arduini, I. et.al. (1998) ได้ศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ที่มีต่อการ เจริญเติบโตของราก และการนำสารอาหารไปใช้ของต้น *Pinus pinaster* นำดินอ่อนของ

Pinus pinaster อายุ 2 สัปดาห์ มาปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 3.5-6.5 พบว่าอัตราการยึดตัวของรากจะลดลงเมื่อสารละลายธาตุอาหารมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 3.5 และ 6.5 หลังจากนั้นอีก 4 สัปดาห์ กลุ่มที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 3.5 มีความยาวของรากต่ำที่สุดแต่น้ำหนักของลำต้นมากที่สุด เนื่องจากมีใบที่ค่อนข้างหนา นอกจากนี้ (ราชนันท์ วิสุมิทธิแพทย์ และคณะ. 2548) กล่าวว่าค่าความเป็นกรดด่างในสารละลายธาตุอาหารพืชเปลี่ยนแปลงได้หลายสาเหตุ เช่น การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการที่รากพืชดูดธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหาร แล้วพืชปลดปล่อยไฮโดรเจน (H^+) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) จากรากสู่สารละลายธาตุอาหารพืชทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเปลี่ยนแปลงไป เช่น ประจุไฟฟ้าลบ หรือแอนไอออน (anions) เช่น ไนเตรต (NO_3^-), ซัลเฟต (SO_4^{2-}), ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) แล้วจะปลดปล่อยไฮดรอกไซด์ (OH^-) สู่สารละลายธาตุอาหาร ส่วนประจุไฟฟ้าบวก หรือแคตไอออน (cations) เช่น แคลเซียม (Ca^{2+}), แมกนีเซียม (Mg^{2+}), โพแทสเซียม (K^+), แอมโมเนียม (NH_4^+) แล้วจะปลดปล่อยไฮโดรเจน (H^+) สู่สารละลายธาตุอาหารปกติแล้วธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหารพืชมีประจุไฟฟ้าบวกหรือแคตไอออนมากกว่าค่าของประจุไฟฟ้าลบหรือแอนไอออนแล้ว ค่าความเป็นกรดด่างจะลดลง ในขณะที่การดูดกินแอนไอออนมากกว่าแคตไอออนจะเพิ่มความเป็นกรดด่างในสารละลายธาตุอาหารพืช