รายงานการวิจัย

ผลของปุ๋ยที่มีต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิ (*Bacopa* sp.) ในระบบปลูกแบบไร้ดิน

Effect of fertilization on growth parameters and antioxidant activity of aquarium plant (*Bacopa* sp.) in hydroponics culture

รศ. ดร. นงนุช เลาหะวิสุทธิ์

ผศ. ดร. อัจฉรี เรืองเดช

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากรายได้ภาควิชา คณะเทคโนโลยีการเกษตร

ประจำปีงบประมาณ 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ ผลของปุ๋ยที่มีต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิ (*Bacopa* sp.) ในระบบปลูกแบบไร้ดิน

Effect of fertilization on growth parameters and antioxidant activity of aquarium plant (*Bacopa* sp.) in hydroponics culture

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก เงินรายได้คณะเทคโนโลยีการเกษตร

ประจำปีงบประมาณ 2554 **จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน** 40,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2553 ถึง 30 กันยายน 2554

ผู้ดำเนินการวิจัย นางนงนุช เลาหะวิสุทธิ์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง สจล.

klnongnu@kmitl.ac.th

นางสาวอัจฉรี เรืองเดช สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง สจล.

kruschar@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

พรรณไม้น้ำพรมมิเป็นพืชที่มีคุณค่าทางเภสัช การปลูกจากแหล่งที่แตกต่างอาจมีผลต่อสรรพคุณของพืช การศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโต และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ปลูกโดยระบบไฮโดรโพนิกแบบท่อ (DFT) ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารต่างๆ กันคือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 µS/cm โดยใช้สารละลายธาตุอาหารสูตร KMITL2 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์พบว่าชุดการทดลองที่มีระดับค่าการนำไฟฟ้า 0.5 µS/cm มีการเจริญเติบโตดีที่สุด คือมีน้ำหนัก 6.66±0.13 g รองลงมาคือ 1.5, 1 และ 2 µS/cm มีน้ำหนักเฉลี่ย 5.72±0.05, 5.09±0.07 และ 4.82±0.20 g ตามลำดับ ค่าคลอโรฟิลล์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระโดยการประเมินค่าฟีนอลและความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH พบว่ามีค่าลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารสูงขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้า 0.5 µS/cm มีความสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับการทดลองในชุดอื่น และช่วยยืนยันถึงความสัมพันธ์ของการสร้างสารป้องกันตนเองเมื่อขาดสารอาหาร

คำสำคัญ: พรรณไม้น้ำ สารต้านอนุมูลอิสระ สารละลายธาตุอาหาร

12776038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

Bacopa monnieri is valuable as traditional pharmaceutical plant. Plant grown from different source may affect the properties of the plant. Effect of nutrient solution via electrical conductivity (EC) on growth and antioxidant activities of aquarium plant, *B. monnieri*, were studied. The deep flow technique (DFT) systems were supplied by hydroponics fertilizer, KMITL2, at different EC levels (0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 µS/cm) for 4 weeks. The best performance was observed in 0.5 µS/cm EC level with the highest weight 6.66±0.13 g followed by groups of 1.5, 1 และ 2 µS/cm EC levels had weight 5.72±0.05, 5.09±0.07, and 4.82±0.20 g, orderly ($P< 0.05$) but no significant difference on chlorophyll content ($P\geq 0.05$). The antioxidant activities from total phenolic content (TPC) and DPPH scavenging activity revealed inverse effect to EC levels. This study showed that *B. monnieri* grown from 0.5 µS/cm EC level express the best antioxidant activities compare to other sets of experiments and confirmed relationship between nutrient deficiency and defensive response.

Keywords: aquatic plant, antioxidant, nutrient concentration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	III
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	2
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	12
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	17
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	23
เอกสารอ้างอิง	24
ภาคผนวก	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	รูปของธาตุที่จำเป็นในการดูดเข้าสู่รากของพืช และหน้าที่ในพืช	5
2	การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิค	14
3	ความสูงเฉลี่ยของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหาร ต่างๆ กัน (µS/cm)	18
4	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารต่างๆ กัน	19
5	ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารต่างๆ กัน	20
6	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ DPPH ที่ลดลงจากการสกัดพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ	21
7	ค่าเฉลี่ย TPC จากการสกัดพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ (µg/g)	22

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ความสูงเฉลี่ยของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิในระยะเวลา 4 สัปดาห์	27
2	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นและสุดท้ายของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิ	28
3	ค่าเฉลี่ยคลอโรฟิลล์ของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิ	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่		หน้า
1	พรมมิ *(Bacopa monnieri)*	2
2	โครงสร้างเคมีของ saponin บางชนิดที่สามารถแยกได้จากพรมมิ (*Bacopa monnieri*)	3
3	ที่มาของธาตุอาหารในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน	4
4	อนุภาคอิสระที่เสถียรสามารถรับอิเล็กตรอนได้เพื่อเปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ	11
5	ความยาวเฉลี่ยของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหาร ต่างๆ กัน (cm)	17
6	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นและสิ้นสุด (4 สัปดาห์) ของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารต่างๆ กัน (μS/cm)	18
7	ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารต่างๆ กัน	19
8	เปอร์เซ็นต์ DPPH ที่ลดลงของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารต่างๆ กัน	20
9	ค่าเฉลี่ย TPC ของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารต่างๆ กัน	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

Bacopa monnieri หรือพรมมิ เป็นพรรณไม้น้ำที่อยู่ในครอบครัว Scrophulariaceae มีชื่อสามัญว่า Brahmi พบได้ทั่วไปในเขตอบอุ่น ในพื้นที่ที่มีน้ำขังหรือในพื้นที่ชื้นแฉะ ลักษณะของลำต้นอวบน้ำ เลื้อยทอดไปตามพื้น ใบค่อนข้างยาว ขอบใบเรียบ ดอกมีสีม่วง นิยมนำมาประดับในตู้ปลาเพื่อความสวยงาม

พรมมิเป็นพรรณไม้น้ำที่ประเทศอินเดียและประเทศอื่นทั่วโลกนำมาศึกษาในด้านเภสัชศาสตร์ ซึ่งสารสกัดจากพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิมีสรรพคุณในการเป็นยารักษาโรคต่างๆ มากมาย ทั้งสารต่อต้านความเครียด สารต้านอนุมูลอิสระ สารช่วยบำรุงประสาท และสารช่วยสร้างเสริมความจำ สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบหลักของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิมีหลายชนิดด้วยกันเช่น ซาโปนิน ฟลาโวนอยด์ และอัลคาลอยด์ ซึ่งเป็นสารเคมีที่นิยมนำมาใช้ในทางเภสัช และเป็นที่น่าสนใจว่ามีการใช้สารสกัดจากพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิในคนและสัตว์บกมาเป็นเวลานาน และสำหรับในสัตว์น้ำก็พบว่าสามารถเพิ่มภูมิคุ้มกันได้ดีเช่นกัน

การศึกษาเกี่ยวกับพรรณไม้น้ำพรมมิเพื่อใช้ประโยชน์ด้านเภสัชพบว่ามีสรรพคุณที่ดี ซึ่งสารเมตาบอไลท์ทุติยภูมิที่พรมมิสร้างขึ้นนั้น ส่วนหนึ่งมาจากสารอาหารที่พืชได้รับหรืองบางครั้งการขาดสารอาหารก็อาจเร่งให้พืชสร้างสารเมตาบอไลท์เพิ่มขึ้นเพื่อช่วยในการป้องกันตนเองจากการถูกกัดกินและป้องกันการสูญพันธุ์ การศึกษาครั้งนี้จึงทำการทดสอบผลของความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ทำให้พรมมิสร้างสารที่สามารถต้านอนุมูลอิสระได้สูง และมีการเจริญเติบโตที่ดี

ดังนั้นการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำชนิดพรมมิ *(Bacopa monnieri)* จะช่วยเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

1.เพื่อศึกษาหาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำชนิดพรมมิ

2.เพื่อศึกษาหาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมต่อการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระของพรรณไม้น้ำชนิดพรมมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

ลักษณะของพรมมิ (*Bacopa monnieri*)

พรมมิ หรือ หยดน้ำ มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Bacopa monnieri* มีชื่อสามัญว่า Brahmi เป็นพรรณไม้น้ำที่อยู่ในครอบครัว Scrophulariaceae เป็นพืชสมุนไพรที่พบในเขตอบอุ่น เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ลุ่มชื้นแฉะ และพื้นที่ที่มีน้ำขัง ลักษณะลำต้นใหญ่ อวบน้ำ ไม่มีขน เลื้อยทอดไปตามพื้นและชูยอดขึ้น ใบเป็นใบเดี่ยวรูปไข่ ค่อนข้างยาว โคนใบแคบ ปลายใบกว้างกลมมน ขอบใบเรียบ แตกจากลำต้นแบบตรงข้าม ดอกเป็นดอกเดี่ยวออกตามซอกใบ มีสีม่วง โคนดอกติดกัน ส่วนตอนปลายของกลีบดอกแยกออกเป็น 5 กลีบ มีเกสรตัวผู้ 4 อันซึ่งติดกับกลีบดอก (Russo and Borrelli, 2005) จัดเป็นพืชมีดอก ใบเลี้ยงคู่ เป็นพืชล้มลุกอายุเดียวหรือฤดูกาลเดียว สามารถขยายพันธุ์ได้ง่ายโดยวิธีตัดลำต้นปักชำในแปลงดินหรือกรวดขนาดเล็กที่มีชื้นแฉะ อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 22-30 องศาเซลเซียส ระดับน้ำลึก 35-45 ซม. และความเป็นกรดเป็นด่าง 6.3-7.2 มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศไทยและอีกหลายประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (อานนท์, 2547)

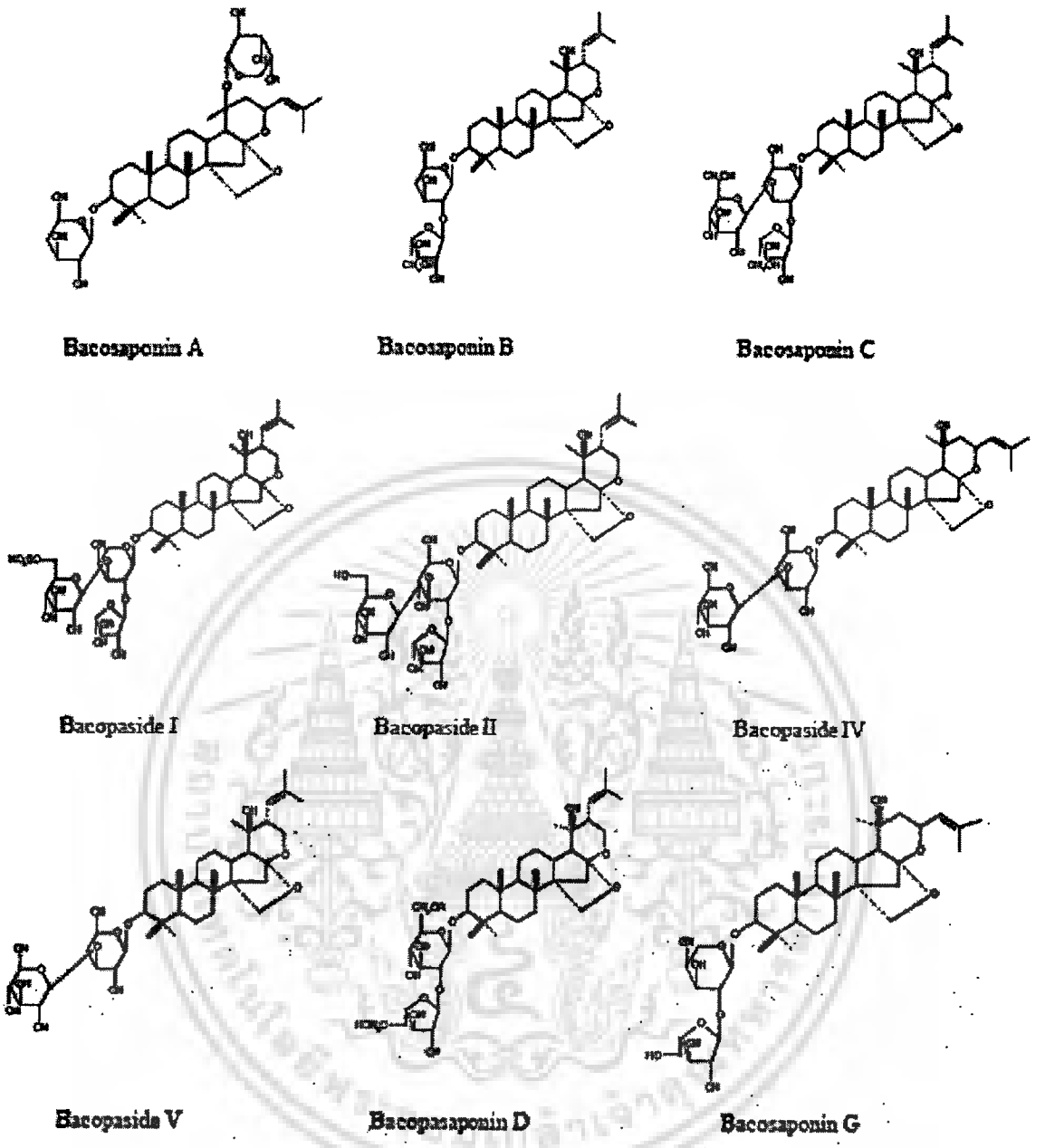
พรรณไม้น้ำชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้ประดับตกแต่งตู้ปลาและตู้พรรณไม้น้ำ ตลอดจนใช้ตกแต่งสวนหรือสระน้ำ เนื่องจากพรมมิเป็นพืชครึ่งบกครึ่งน้ำ จึงสามารถทำให้เจริญเติบโตได้ทั้งบนบกและใต้น้ำ แต่จะมีการเจริญเติบโตดีเมื่ออยู่ใต้น้ำ เนื่องจากใบลดการระคายน้ำ มีการดูแลรักษาง่าย เมื่ออยู่ใต้น้ำจะไม่เกิดดอก

ภาพที่ 1 พรมมิ *(Bacopa monnieri)*
ที่มา : http://crookedgarden.com/Bacopa%20monnieri_80.jpg

สารที่พบเป็นองค์ประกอบในพรรณไม้น้ำพรมมิ *(Bacopa monnieri)*

Bose and Bose (1931) อ้างโดย Russo and Borrelli (2005) รายงานว่าสามารถแยกสาร อัลคาลอยด์ “brahmine” จากพรมมิ ซึ่งมีส่วนประกอบของ bacosides และ triperpenoid saponin สารที่แยกได้จากพรมมิ (ภาพที่ 2)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2 โครงสร้างเคมีของ saponin บางชนิดที่สามารถแยกได้จากพรมมิ (*Bacopa monnieri*)
ที่มา : Russo and Borrelli (2005)

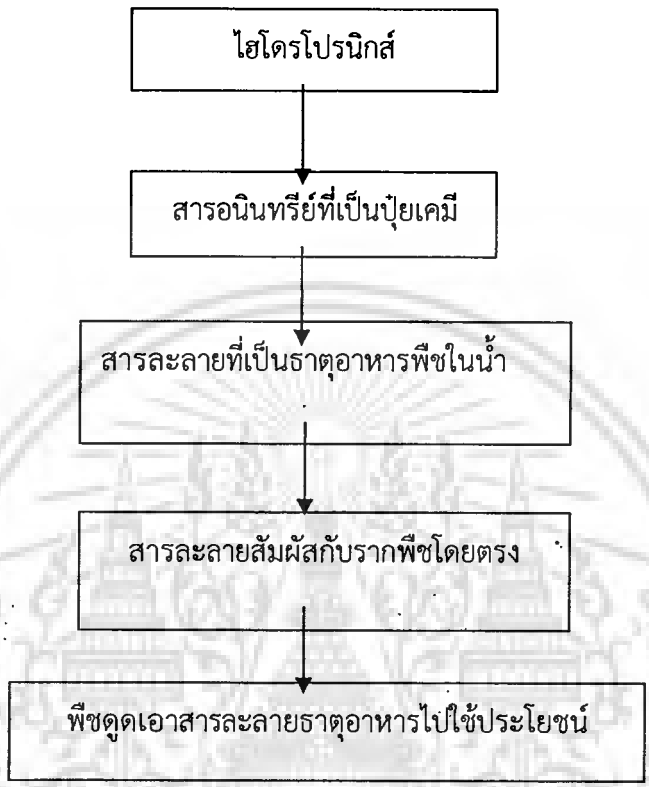
ปัจจัยต่างๆต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ

ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำนั้น ได้แก่ ธาตุอาหาร (Nutrient requirement), อุณหภูมิ (Temperature), ค่าความเป็นกรดด่าง (pH), ปริมาณความชื้นสัมพันธ์ (Humidity) และวัสดุปลูก (นงนุช, 2544) พันธุกรรม (Genetic) (โสระยา, 2544)

1. ธาตุอาหาร (Nutrient) เนื่องจากธาตุอาหารเป็นสิ่งสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชทุกชนิด ซึ่ง พืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างอาหารเองจากการสังเคราะห์จากการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic) โดยการเปลี่ยนพลังงานเคมี ในรูปของสารชีวโมเลกุลคาร์โบไฮเดรตได้จากกระบวนการดังกล่าว นอกจากนี้ยังสามารถสังเคราะห์อินทรีย์สารที่จำเป็นต่างๆ เช่น โปรตีน ลิพิด (กรม

เอกสารนี้เป็นการเผยแพร่เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิวคลีอิก) และวิตามิน ได้เองโดยใช้เพียงกาซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนจากอากาศ น้ำและแร่ธาตุต่างๆ (ยงยุทธ, 2545) ดังนั้นธาตุอาหารจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของ พรรณไม้น้ำโดยพรรณไม้น้ำจะรับอาหารทางสารละลายธาตุอาหาร



ภาพที่ 3 ที่มาของธาตุอาหารในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

ที่มา : ดัดแปลงจาก ดิเรก (2546)

โดยปกติพืชจะดูดซับธาตุอาหารจำนวนเล็กน้อยเข้าไปมากกว่า 90 ชนิด แต่มีเพียง 16 ชนิดเท่านั้นที่จำเป็นและสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยสังเกตจากปริมาณการต้องการของพืชเป็นสำคัญ (Anon, 2003) ธาตุอาหารกลุ่มแรกเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากคือ

ธาตุอาหารหลัก (Macronutrient) ที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) , โพแทสเซียม (K) , กำมะถัน (S) , ไฮโดรเจน (H) , ออกซิเจน (O) , แคลเซียม (Ca) (โสระยา, 2544) โดยธาตุไนโตรเจนมีความสำคัญในการสร้างโปรตีนของพรรณไม้น้ำ เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อหารเร่งให้ใบและลำต้นเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ในการให้อาหารซึ่งอยู่ในรูปของปุ๋ยที่จำเป็นที่สุด คือ ไนโตรเจน รองลงมาคือ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม

ธาตุอาหารรอง (Micronutrient) พรรณไม้น้ำต้องการในปริมาณน้อยแต่ขาดธาตุอาหารเหล่านี้ๆ ไม่ ได้ คลอรีน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โมลิบดินัม และโบรอน ธาตุอาหารรองที่สำคัญคือ ธาตุเหล็ก ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่ช่วยให้ใบมีสีเขียว แต่ถ้ามีการให้ธาตุอาหารเหล่านี้มากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พรรณไม้น้ำได้ โดยปกติในแหล่งน้ำธรรมชาติมักจะมีธาตุอาหารรองชนิดต่าง ๆ ละลายน้ำอยู่ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพรรณไม้น้ำ (อินทรสุนทร, 2545)

รูปการใช้ประโยชน์ของธาตุอาหาร พืชสามารถนำไปใช้ได้จะอยู่ในรูปของอิออน ก๊าซหรือคีเลท (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 รูปของธาตุที่จำเป็นในการดูดเข้าสู่รากของพืช และหน้าที่ในพืช

ธาตุอาหารที่จำเป็น	รูปแบบของการนำไปใช้	หน้าที่สำคัญในพืช
C , H , O , S , N	สารละลาย (HCO_3^- , NO_3^- , NH_4^+ ,SO_2^-) ในรูปของก๊าซ (O_2 , N_2 , SO_4)	ช่วยในการเจริญเติบโตของพืช
B, P	สารละลาย (PO_4^{3-}, BO_3^{3-})	ช่วยในการเคลื่อนย้ายแหล่งพลังงาน
Ca, Cl , K , Mg	สารละลาย (Ca^{2+} , Cl ,K^{2+} , Mg^{2+})	ช่วยให้สารอินทรีย์มีความสมดุล

ที่มา : Anon, 2003

2. อุณหภูมิ (Temperature) เป็นปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร็วของกระบวนการทางสรีระ ซึ่งพรรณไม้น้ำแต่ละชนิดชอบอุณหภูมิที่แตกต่างกัน บางชนิดชอบอุณหภูมิต่ำบางชนิดชอบอุณหภูมิสูงบางชนิดสามารถปรับตัวให้เจริญเติบโตในช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีช่วงกว้าง แต่บางชนิดสามารถปรับตัวให้เจริญเติบโตในช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีช่วงแคบ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำและการเพิ่มจำนวนของพรรณไม้น้ำที่มีปริมาณแตกต่างกัน ในประเทศไทยอุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ 23-32 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ค่อนข้างเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำหลายชนิด และพรรณไม้น้ำแต่ละชนิดมีความต้องการอุณหภูมิที่พอเหมาะอยู่ที่ 25-29 องศาเซลเซียส (วันเพ็ญ และ กาญจนรี, 2543) เมื่อพรรณไม้น้ำนั้นอยู่ในสภาพครึ่งบก-ครึ่งน้ำ อุณหภูมิจะมีผลต่อการสร้างและพัฒนาดอก และยังมีผลต่อการพัฒนาเจริญเติบโตของราก โดยเฉพาะในการปลูกพืชหรือพรรณไม้น้ำในระบบปลูกไร้ดิน ซึ่งรากพืชจะสัมผัสสารละลายธาตุอาหาร จะมีผลต่อหารเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำชัดเจน (โสระยา, 2544)

3.ความเป็นกรดด่าง (pH) หมายถึง ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายธาตุอาหารพืช ดังนั้นการปลูกพืชในระบบไร้ดินจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ควบคุมความเป็นกรดเป็นด่าง เนื่องจากธาตุอาหารแต่ละธาตุที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารนั้น รากพืชจะดูดนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับค่า pH ที่แตกต่างกันไป ดังนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างในสารละลายเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงความสามารถที่จะดูดธาตุอาหารต่างๆที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืชได้ (ดิเรก, 2550) ความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายที่ใช้ปลูกพืชไร้ดินเป็นสิ่งจำเป็นต่อพืชโดยตรง ในการนำธาตุอาหารไปใช้แต่ละครั้งต้องคำนึงถึงสภาพความเป็นกรดเป็นด่าง (โสระยา, 2544) พรรณไม้น้ำสามารถใช้ธาตุอาหารได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับระดับความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ถ้าน้ำมีความเป็นกรดเป็นด่างต่ำหรือสูงเกินไป จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำซึ่งส่วนใหญ่จะมีการเจริญเติบโตและงอกงามได้ดีในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นด่างอยู่ที่ 6.5-7.5 (วนาวรรณ, 2544) Arduini *et al.* (1998) ทำการทดลองศึกษาค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของรากและการนำสารอาหารไปใช้ของต้น *Pinus pinaster* โดยนำต้นอ่อนของ *Pinus pinaster* ที่มีอายุ 2 สัปดาห์มาปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 3.5-6.5 พบว่าอัตราการยืดตัวของรากลดลง หลังจากนั้นอีก 4 สัปดาห์กลุ่มที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 3.5 มีความยาวของรากต่ำที่สุดแต่มีน้ำหนักต้นมากที่สุด เนื่องจากมีใบค่อนข้างหนา

4.ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ หากรากไม้น้ำ ไม่สามารถดูดน้ำได้ทันกับอัตราการคายน้ำของพรรณไม้น้ำจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำหยุดชะงัก และเซลล์ของพรรณไม้น้ำไม่เต่งตรึงเท่าที่ควร พรรณไม้น้ำบางชนิด เช่น สกุลอนูเบียส ต้องการรดน้ำหรือสเปรย์ทุกๆ 15-20 นาที ส่วนพรรณไม้น้ำขาไก่หรือพรรณไม้น้ำแอมมาเนียควรรดน้ำวันละ 3-4 ครั้ง

5.วัสดุปลูก การปลูกพืชในวัสดุที่เป็นลักษณะรูปแบบและเทคนิคการใช้งานในการปลูกพืชไม่ใช่ดินที่คล้ายกับในดินมากที่สุด โดยใช้วัสดุปลูกที่เหมาะสมที่สุดต้องมีคุณสมบัติได้แก่ การรักษาอัตราส่วนของปริมาณน้ำและอากาศได้ดีตลอดการปลูก ไม่มีการสลายตัวชีวภาพและเคมีไม่มีสารพิษหรือสิ่งปนเปื้อนตกค้าง (อิทธิสุนทร, 2545) โดยหน้าที่ของวัสดุปลูกเป็นที่อยู่พรรณไม้น้ำเป็นวัสดุที่สามารถแพร่กระจายและเติบโตได้ทุกส่วนของวัสดุปลูก เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายตามท้องตลาดและราคาถูก ฯลฯ

6.พันธุกรรมของพรรณไม้ พันธุกรรมเป็นตัวบ่งบอกว่าพรรณไม้น้ำมีลักษณะต่างๆ เช่น โต เล็ก สูง เตี้ย ตามแต่ชนิดพันธุ์ของพรรณไม้น้ำนั้นๆ ดังนั้นต้องทราบว่าพันธุ์ใดมีความก้าวหน้าในการปรับปรุงพันธุ์สามารถผลิตสายพันธุ์ให้ตรงกับความต้องของตลาดได้ (อานนท์, 2547)

บทบาทและหน้าที่ของธาตุอาหารสำคัญที่จำเป็นต่อพืชในระบบปลูกพืชไร้ดิน

1. ไนโตรเจน (N) พืชสามารถใช้ประโยชน์จากการไนโตรเจนได้โดยตรงในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-)ประมาณ 80-85% ของไนโตรเจนทั้งหมดในพืช จะเป็นองค์ประกอบของโปรตีน ส่วนอีกประมาณ 10% จะเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกและอีก 5% จะเป็นองค์ประกอบของสารละลายกรดอะมิโน(soluble amino N) เมื่อรากจะทำการดูดไนไตรเจนขึ้นมา ทั้งนี้การเจริญเติบโตของพืชในระยะต่างๆ นั้นมีความต้องการปริมาณไนโตรเจนไม่เท่ากัน โดยเฉพาะพรรณไม้น้ำซึ่งมีราก ลำต้น และใบ การเจริญเติบโตจำเป็นต้องใช้ไนโตรเจน ไปเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโครงสร้างต่างๆของพืช (Tan, 2000) ส่วนใหญ่ไนโตรเจนจะถูกลำเลียงไปตามท่อลำเลียงน้ำไปสู่ส่วนบนของพืช (โสระยา, 2544) ถ้าพืชมีอาการขาดธาตุ ไนโตรเจน จะแสดงอาการชะงักการเจริญเติบโต ใบเหลืองซีดตลอดทั้งใบเนื่องจากคลอโรฟิลล์เสื่อมสลาย ใบเหี่ยวและตายในที่สุด (Olsen, 2000) ในทางกลับถ้าพืชได้รับไนโตรเจนที่เหมาะสม โดยเทียบเป็นอัตราส่วนของแอมโมเนียมต่อไนเตรตแล้ว พืชจะมีการเจริญเติบโตดี

2. ฟอสฟอรัส (P) ฟอสฟอรัสที่พืชดูดขึ้นไปส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปอนินทรีย์ฟอสฟอรัส เช่น โมโนเบสิกออโทฟอสฟอรัส (H_2PO_4) การใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเป็นกรดด่าง ซึ่งถ้าค่า pH ไม่เหมาะสมการแปรสภาพของฟอสฟอรัสมีผลต่อการนำไปใช้ของพืชได้ โดยพืชส่วนใหญ่จะเก็บอนินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ได้ดี ดังนั้นอาการขาดธาตุจึงมักจะเกิดขึ้นที่ใบแก่ก่อนลักษณะจะเป็นสีม่วงแดง แล้วเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือน้ำตาล ลำต้นแคระแกร็น ส่วนรากเน่า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โพแทสเซียม (K) โพแทสเซียมที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้อยู่ในรูปของ K ซึ่งมีหน้าที่สำคัญช่วยในการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อเจริญ กระบวนการสังเคราะห์แสง การเคลื่อนย้ายอาหารต่างๆ เป็นต้น อาการที่พบเนื่องจากขาดธาตุอาหารชนิดนี้ เริ่มแรกจะแสดงอาการเส้นใบเหลือง ใบไหม้มีสีเข้มกว่าปกติ ต้นพืชแคระแกรน ใบเล็ก ก้านใบสั้น

4. เหล็ก (Fe) ธาตุอาหารจะถูกเก็บในเซลล์พืชบริเวณ stroma ของเมล็ดพลาสติก เรียกว่า phyto-ferritin เหล็กเป็นองค์ประกอบของเอนไซด์หลายชนิด และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆในเซลล์ ทั้งนี้อาการขาดธาตุอาหารมักเกิดอาการไม่เด่นชัด

5. แมงกานีส (Mn) จะถูกดูดซึมในรูปของไอออนถูกลำเลียงไปยังส่วนของลำต้นในรูปของไอออนอิสระ ส่วนใหญ่ จะเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่างๆของเนื้อเยื่อเจริญ จึงพบมากในส่วนที่ยังเป็นเนื้อเยื่ออ่อนอยู่ หน้าที่คือ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซด์หลายชนิด ใบพืชที่ขาดแมงกานีสจะมีกิจกรรมของเอนไซด์ IAA Oxzidase เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเสื่อมสลายของ IAA ในเนื้อเยื่อพืช

6. ทองแดง (Cu) สารประกอบอินทรีย์ และจะมีปริมาณลดลงเมื่อน้ำมีสภาพเป็นกรดมากขึ้น หน้าที่ของทองแดงจะเกี่ยวข้องกับเอนไซด์ที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบนอกจากนี้ยังมีผลต่อการสร้างผนังเซลล์ ใบพืชที่ขาดทองแดงในสัดส่วนของผนังเซลล์และน้ำหนักแห้งลดลงและยังมีปริมาณสาร ลิกนินน้อยกว่าปกติ อาการเป็นพิษเนื่องจากทองแดง ได้แก่ ลำต้นชะงักการเจริญเติบโต ลดการแตกแขนงของราก (โสระยา, 2544)

รูปแบบของธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ได้

พืชจะใช้ส่วนของรากในการดูดสารละลายธาตุอาหารในสภาพหรือรูปแบบของไอออน ที่มีประจุไฟฟ้าของธาตุอาหาร ซึ่งรูปแบบของไอออนที่มีประจุนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติอาหารนั้นๆ ทั้ง 2 สภาพ คือ

1. ประจุไฟฟ้าลบ หรือ แอนไอออน (anion) เช่น พืชดูดธาตุกำมะถัน (Salphur,S) ไปใช้ในประจุไฟฟ้าลบในสารอาหารในรูปซัลเฟต (SO_4^{2-})

2. ประจุไฟฟ้าบวก หรือ แคตไอออน (Cation) เช่น พืชสามารถดูดแคลเซียมไปใช้ในสภาพประจุไฟฟ้าบวกในรูปของ(Ca^{2+})

อย่างไรก็ตาม ยังมีพืชที่สามารถใช้สารละลายธาตุอาหารได้ทั้ง 2 รูปแบบ ทั้งประจุลบและประจุบวก เช่น ธาตุไนโตรเจน (Nitrogen, N) พืชสามารถใช้ธาตุอาหารนี้ในรูปแบบของประจุลบในรูปสารละลายอาหารของไนเตรท (NO_3^-) และในรูปของประจุบวกของสารละลายในรูปแบบของแอมโมเนียม (NH_4^+) (ดิเรก, 2547)

ความสำคัญของค่าการนำไฟฟ้าในสารละลายธาตุอาหารพืช

1. บทบาทของการควบคุม EC ต่อการเจริเติบโตของพืช ปกติแล้วการควบคุมคุณค่า EC ที่ต่ำผลผลิตพืชอ่อนนุ่ม การเพิ่มค่า EC ทำให้พืชเจริญเติบโตเร็ว จนถึงจุดหนึ่งแล้วลดลง ทั้งด้านลำต้นและผลผลิต ทำให้ผลผลิตมีน้ำตาลและกรดสูง การเพิ่มค่า EC สูงขึ้นสำหรับพืชบางชนิด เช่น พืชแตงแคนตาลูปจะช่วยเพิ่มความหวาน อย่าไรก็ตามการรักษาค่า EC ที่สูงหรือปริมาณธาตุอาหารพืชละลายอยู่มากหรือมีความเข้มข้นสูงนี้ยังใช้ในการเกิดโรค

2. การควบคุมระดับของค่า EC ที่เหมาะสมในพืช โดยตามปกติแล้วควรรักษา EC ของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายธาตุอาหารพืชให้อยู่ระหว่าง 2.0-4.0 µS/cm ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ช่วงของ EC ที่นิยมปรับให้เป็นระดับที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1.5-2.5 µS/cm สำหรับพืชส่วนมากก็จะมีช่วงของที่เหมาะสมเท่ากับ 0.5-1.0 µS/cm (นงนุช, 2544) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดพรรณไม้น้ำช่วงอายุของการเจริญเติบโต สภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิของน้ำ ความเข้มแสง เป็นต้น (อิทธิสุนทร, 2547)

มณีรัตน์ และคณะ(2548) ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของการปลูกพรรณไม้น้ำชนิดใบพายเขาใหญ่ (*C. crispstula var. balansae*) ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินต่างกัน 4 รูปแบบ คือการปลูกพรรณไม้น้ำชนิดใบพายใหญ่ในระบบ DFT แบบท่อ , Sand culture ,NFT และ DFT แบบถาดโฟม ในระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าการปลูกพรรณไม้น้ำแบบ DFT มีผลต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำใบพายเขาใหญ่ดีที่สุด โดยน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้นที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) คือ 1.31 กรัมต่อต้น มีปริมาณระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมวัดจากค่าการนำไฟฟ้า 0.94-1.05 µS/cm

สมเกียรติ (2548) ได้ทำการศึกษาผลของระดับการให้ปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตทางต้นของ Echinodorus ozelot ซึ่งเป็นพรรณไม้น้ำที่นิยมในการใช้ในระดับตู้ปลา และพรรณไม้น้ำ ที่จัดอยู่ในกลุ่มอเมซอน ทำการย้ายต้นพันธุ์จากขวดเพาะเลี้ยงลงในกระยะทราย และให้ปุ๋ยที่มีความเข้มข้นต่างกัน 4 ระดับคือ 0.5 , 1.0 ,1.5 และ2.0 µS/cm ควบคุมระดับน้ำที่ขังเท่ากับผิวหน้าทราย และpH 6.5-7.5 เป็นเวลา 60 วัน พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 2.0 µS/cm พืชมีความสูงของต้น ความกว้าง ความยาวของใบ 10.95, 10.54, 10.41, 8.00 cm. ตามลำดับ จากข้อมูลที่ได้พบว่าทั้งความสูงของต้นและความกว้าง ความยาวของใบ มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนจำนวนใบมากที่สุด รองลงมาคือที่ 1.5 ,1.0 ,0.5 µS/cm โดยมีจำนวนในเฉลี่ยเท่ากับ 16.53 ,16.33 ,16.19 และ13.46 ใบตามลำดับ เมื่อแบ่งตามเกรดคุณภาพของพรรณไม้น้ำส่วนใหญ่จะได้ที่ความเข้มข้น 0.5 µS/cm เป็นพรรณไม้น้ำต้นที่มีขนาดเล็ก ความเข้มข้น 1.0, 1.5 และ 2.0 µS/cm เป็นพรรณไม้น้ำที่มีขนาดใหญ่

Jongput *et al.* (2007) ทำการศึกษาพรรณไม้น้ำ African swordplant (*Echinodorus africanus*) เพื่อหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ที่ระดับ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 µS/cm ที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน 21.6 ppm แต่พบว่าพรรณไม้น้ำ African swordplant เจริญเติบโตดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ที่ระดับ EC 2.0 µS/cm มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 15.26 ± 4.25 กรัมต่อต้น ตามด้วยค่า EC ที่ระดับ 1.5, 0.5 และ 1.0 µS/cm ตามลำดับ

Kim *et al.* (2005) ทำการทดลองผลของ pH และ EC ต่อต้นกุหลาบ pH อยู่ที่ 4.0, 6.0 และ 8.0 ค่า EC อยู่ที่ 0.2, 0.7 และ 1.2 µS/cm พบว่าความยาวของกิ่งเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่า pH อยู่ที่ 8.0 ค่า EC อยู่ที่ 0.7 µS/cm น้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นมีค่า pH อยู่ที่ 8.0 ค่า EC อยู่ที่ 1.2 µS/cm อัตราน้ำหนักแห้งต่อจำนวนตาและพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH อยู่ที่ 4.0 ค่า EC อยู่ที่ 0.2 µS/cm

อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (free radical) หมายถึง สารซึ่งมีอิเล็กตรอนซึ่งไม่มีคู่อยู่ในวงรอบของอะตอม หรือโมเลกุล เราให้ความสำคัญกับสารซึ่งมีออกซิเจนเป็นศูนย์กลาง คือ hydroxyl radical, superoxide, peroxyl, alkoxyl และ oxides ของ nitrogen โดยปกติสารเหล่านี้เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาในร่างกายอยู่แล้ว โดยเฉพาะเวลามีธาตุเหล็ก ทองแดง แมงกานีส โคบอลต์ โครเมียม นิเกิล อยู่เป็นจำนวนน้อยๆ มักเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่และร่างกายก็จะมีระบบของแอนติออกซิแดนท์ขจัดออกไป แต่ถ้าร่างกายได้รับสารอนุมูลอิสระจากภายนอกมากเกินไป ตัวอย่างเช่น ได้รับจากอาหารบางชนิด จากขบวนการประกอบอาหาร เช่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การย่างเนื้อสัตว์ที่มีส่วนประกอบของไขมันสูง การนำน้ำมันที่ใช้ทอดอาหารที่อุณหภูมิสูงๆ มาใช้อีก หรือจากสิ่งแวดล้อม เช่น แสงอาทิตย์ซึ่งมีรังสี ultraviolet การแผ่รังสี
(radiation) รังสี x-ray หรือจากมลพิษ เช่น ควันบุหรี่ ก๊าซจากท่อไอเสียรถยนต์ ถ้าสารเหล่านี้มีมากกว่าความสามารถของแอนตี้ออกซิแด้นท์ในร่างกายจะขจัดหมด หรือในภาวะที่จำนวนแอนติออกซิแดนท์ในร่างกายลดลง เช่น ผู้สูงอายุ ก็จะทำให้มีสารอนุมูลอิสระและสารที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระเช่น ไฮโดเจนเพอออกไซด์ ซึ่งมีออกซิเจนเป็นศูนย์กลางเช่นกัน โดยรวมเรียกว่า reactive oxygen species (ROS) มากเกินไปก่อให้เกิดอันตรายได้

อนุมูลอิสระที่มากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อไขมัน (โดยเฉพาะ low density lipoprotein) โปรตีน หน่วยสารพันธุกรรม DNA และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งจะไม่กล่าวถึงรายละเอียดในที่นี้ ทำให้เพิ่มอัตราการเสี่ยงต่อการเป็นโรคหลายชนิด โรคที่สำคัญและมีการศึกษากันมาก ได้แก่ โรคหลอดเลือดตีบและแข็งตัว โรคมะเร็งบางชนิด Alzheimer's disease หรือโรคความจำเสื่อม โรคไขข้ออักเสบ โรคความแก่ เป็นต้น

เราจึงควรหลีกเลี่ยงการที่จะได้รับสารอนุมูลอิสระเข้าไปในร่างกาย เช่น มลพิษในสิ่งแวดล้อม ก๊าซจากท่อไอเสียรถยนต์ ควันบุหรี่ เป็นต้น (G. Herzberg (1971), "The spectra and structures of simple free radicals")

สารต้านอนุมูลอิสระ

สารอาหารที่ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระ มีประโยชน์เนื่องมาจากในขบวนการปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในร่างกายจะมีการขับของเสียที่ร่างกายได้รับ ได้แก่ ควันบุหรี่ แอลกฮอลล์ รังสี UV เอ็กซเรย์ ซึ่งสิ่งเหล่านั้นเป็นอนุมูลอิสระที่มีอันตรายต่อเซลล์ในร่างกายที่อาจส่งผลให้เกิดโรคมะเร็ง โรคหัวใจ ภาวะข้อต่ออักเสบ ต้อกระจก และการเสื่อมของอวัยวะต่างๆ อนุมูลอิสระจะทำลายเนื้อเยื่อเซลล์ เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ DNAs ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการเพิ่มความเสี่ยงของการมีเซลล์มะเร็งและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่นำไปสู่ขบวนการเกิดโรคมะเร็ง

สารอาหารต้านอนุมูลอิสระ

ในทางเคมี สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) คือ สารประกอบที่สามารถป้องกันหรือชะลอกระบวนการเกิดออกซิเดชั่น กระบวนการออกซิเดชั่นมีได้หลายรูปแบบ เช่น กระบวนการออกซิเดชั่นที่ทำให้เหล็กกลายเป็นสนิม ทำให้แอปเปิ้ลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือทำให้น้ำมันพืชเหม็นหืน หรือกระบวนการออกซิเดชั่นที่เกิดในร่างกาย เช่น การย่อยสลายโปรตีนและไขมันจากอาหารที่กินเข้าไป มลพิษทางอากาศ การหายใจ ควันบุหรี่ รังสียูวี ล้วนทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในร่างกายของเราซึ่งสร้างความเสียหายต่อร่างกายได้ ในความเป็นจริงไม่มีสารประกอบสารใดสารหนึ่งสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นได้ทั้งหมด แต่ละกลไกอาจต้องใช้สารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันในการหยุดกระบวนการออกซิเดชั่น ในอีกทางหนึ่ง กระบวนการออกซิเดชั่นเป็นกระบวนการที่สำคัญต่อร่างกาย เช่น เราใช้ออกซิเจนจากอากาศที่หายใจเข้าไปไปเผาผลาญอาหารที่ร่างกายได้รับให้เป็นพลังงานสำหรับการทำงานของเซลล์ต่างๆ แต่ก็ทำให้เกิดอนุมูลอิสระเป็นผลพลอยได้ อนุมูลอิสระต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่สำคัญในร่างกาย เช่น ไขมัน โปรตีน ดีเอ็นเอ ทำให้เกิดความเสียหายต่อโมเลกุลดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระสามารถลดความเสี่ยงต่อโรคโดยเฉพาะโรคเรื้อรังที่สัมพันธ์กับอาหาร เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคสมอง (เช่น อัลไซเมอร์) เป็นต้น รวมทั้งช่วยชะลอกระบวนการบางขั้นตอนที่ทำให้เกิดความแก่ โดยปกติร่างกายสามารถกำจัดอนุมูลอิสระก่อนที่มันจะทำอันตราย แต่ถ้ามีการสร้างอนุมูลอิสระเร็ว หรือมากเกินกว่าร่างกายจะกำจัดทันอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น จะสร้างความเสียหายต่อเซลล์และเนื้อเยื่อได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพ สารต้านอนุมูลอิสระลดความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระได้ ๒ ทาง คือ

1. ลดการสร้างอนุมูลอิสระในร่างกาย
2. ลดอันตรายที่เกิดจากสารต้านอนุมูลอิสระ

แม้ว่าอนุมูลอิสระไม่สามารถแก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นแล้ว แต่สามารถชะลอให้ความเสียหายเกิดช้าลงได้ โดยเฉพาะโรคเรื้อรังซึ่งเป็นผลลัพธ์สะสมที่เกิดจากเซลล์และเนื้อเยื่อในร่างกายถูกทำอันตรายและเสียหายเป็นปีๆ (โดยมากเป็นเวลาหลายสิบปี) เห็นได้จากการรวบรวมความชุกของโรคว่า โรคไม่ติดต่อเรื้อรังเป็นมากในผู้ใหญ่วัยกลางคนหรือผู้สูงอายุ ดังนั้นบุคคลทุกเพศทุกวัยจึงควรได้รับสารต้านอนุมูลอิสระให้พอเพียงต่อความต้องการในแต่ละวัน เพื่อให้เกิดความสมดุลในร่างกายระหว่างสารต้านอนุมูลอิสระและอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น (www.elib-online.com)

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

วิธีที่นิยมทั่วไปมี 3 วิธี คือ (1) Antioxidant activity ซึ่งการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในการต่อต้านการเกิดอนุมูลอิสระของกรดลิโนเลอิค (2) Reducing เป็นการวิเคราะห์หาความสามารถในการรีดิวซ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ และ (3) Scavenging effect on 1, 1 – diphenyl – 2 – picrylhydrazyl radicals (DPPH) เป็นการวิเคราะห์ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการจำกัดสาร DPPH ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระชนิดหนึ่ง โดยอธิบายรายละเอียดของแต่ละวิธีดังนี้

1. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในการต่อต้านการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของกรดลิโนเลอิค (Antioxidant activity)

กรดลิโนเลอิคเป็นกรดเป็นกรดไขมันชนิดหนึ่งที่มีพันธะคู่เป็นส่วนประกอบ ทำให้กรดนี้สามารถจับกับอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในระบบ ทำให้กลายเป็นอนุมูลอิสระ จึงทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็น conjugated diene ที่เสถียร สารต้านอนุมูลอิสระมีพันธะคู่เป็นส่วนประกอบ ทำให้สารต้านนี้สามารถให้อิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระได้ จึงสามารถลดการเกิดเป็นอนุมูลอิสระของกรดลิโนเลอิคได้ ด้วยเหตุนี้ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระของกรดลิโนเลอิคจึงวัดโดยเติมสารต้านอนุมูลอิสระลงในสารละลายที่มีกรดลิโนเลอิคผสมอยู่ จากนั้น ทิ้งไว้ระยะหนึ่ง จากนั้นใช้เครื่อง UV Spectrophotometer วัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 234 ค่าที่ได้นี้แปรผันกับความเข้มข้นของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นการลดลงของค่าดูดกลืนแสงจึงบ่งบอกได้ถึงความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการต่อต้านการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ได้

2. การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ (Reducing power)

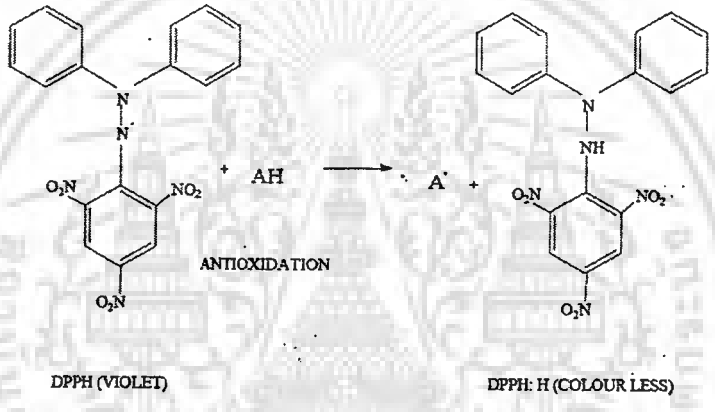
สารที่เป็น reducing agent สามารถจ่ายอิเล็กตรอนให้กับอะตอมหรือโมเลกุลในตระกูลของโลหะที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ (เช่น เหล็ก ทองแดง เป็นต้น) เหล็กที่อยู่ในรูปเฟอร์ริคในรูปไอออน (Fe^{3+}) มีความสามารถในการดึงอิเล็กตรอนจากสารอื่นๆ ได้ดี ในด้านชีวเคมี อนุมูลที่พบมากที่สุดเป็นสารที่มีออกซิเจนและไวต่อปฏิกิริยา (ROS) ไอออนอิสระของเหล็กสามารถเป็นตัวเร่งการเกิด ROS เช่น อนุมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซูเปอร์ออกไซด์ไอออน ไฮโดรเจน และอนุมูลไฮดรอกซิล เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบความสามารุในการให้อิเล็กตรอนของแต่ละสารสกัดที่ได้ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์ริคไอออนกับสารสกัดแต่ละชนิดมีค่าคงที่ และค่าของการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร จากเครื่องมือวิเคราะห์สารโดยใช้หลักการทางสเปคโตรโคป (UV Spectrophotometer) จะมีค่าแปรผันตามความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออนที่เกิดขึ้น ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของค่าดูดกลืนแสงจึงบ่งบอกได้ถึงความสามารถของการเป็น reduce agent

3. การวิเคราะห์ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระด้วยสาร DPPH (Scavenging effect on 1, 1 – diphenyl – 2 – picrylhydrazyl radicals (DPPH))

DPPH คือ อนุภาคอิสระเสถียรและสามารและความสามารถรับอิเล็คตรอนได้อีก เพื่อนเปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ และเมื่อได้รับอะตอมไฮโดรเจนจากโมเลกุลจากโมเลกุลอื่นจะทำให้สารดังกล่าวไม่เป็นอนุมูลอิสระ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 อนุภาคอิสระที่เสถียรสามารถรับอิเล็กตรอนได้เพื่อเปลี่ยนเป็นโมเลกุลที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ

ที่มา : http:// www.tridskin.com/servicos2.html

ดังนั้นความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระที่ศึกษานี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระที่ศึกษานี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในการรวมตัวกับ DPPH ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่เสถียรกว่าสารละลาย (นิยมใช้ DPPH ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระมาก เพราะใช้งานง่าย) โดยในการทดสอบนี้จะให้ DPPH (สีม่วงเข้ม) ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระในระยะเวลาที่กำหนด ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร จะแปรผันกับความเข้มข้นของ DPPH ดังนั้นลดลงของความเข้มข้นของ DPPH (สีอ่อนลง) บ่งบอกถึงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ในการปลูกพรรณไม้น้ำพรมมิ

1. ต้นพรมมิอายุประมาณ 20 วัน จำนวน 168 ต้น ซึ่งปลูกในถ้วยและพยุงลำต้นด้วยวัสดุปลูก (Perlite)
2. ปุ๋ยสูตร KMITL สูตร A (ธาตุอาหารหลัก) และ KMITL สูตร B (ธาตุอาหารรอง)
3. ระบบปลูกแบบ Deep Flow Technique (DFT) จำนวน 12 รางปลูก ทำจากท่อ (DFT) สีฟ้าขนาด 2 นิ้ว แต่ละท่อยาว 1.5 เมตร เจาะช่องห่างกัน 2 นิ้วและระบบปลูกเป็นแบบหมุนเวียนสารละลาย
4. ถังใส่สารละลายธาตุอาหารขนาด 12 แกลลอน จำนวน 12 ใบ
5. ปั๊มน้ำที่ใช้ในการดึงสารละลายธาตุอาหารขึ้นรางปลูก 12 เครื่อง
6. ไม้บรรทัดขนาด 30 ซม. และขนาด 60 ซม.
7. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH Meter)
8. เครื่องวัดความนำไฟฟ้า (Conductivity Meter)
9. เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
10. กระบอกฉีดน้ำ
11. สารเคมีกรดไนตริก (HNO_3^+) สำหรับปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
12. เครื่องชั่งน้ำหนัก

อุปกรณ์ในการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

1. เตาอบไฟฟ้า
2. เครื่องปั่น
3. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge)
4. spectrophotometer
5. บีกเกอร์
6. กระบอกตวง
7. แท่งแก้วคนสาร
8. Tip
9. ไมโครปิเปต
10. กรวยกรอง
11. เครื่องชั่งน้ำหนัก
12. กระดาษกรอง
13. หลอดทดลอง
14. volume metric flask

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการ

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยทำการทดลองสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นโดยวัดเป็นค่าการนำไฟฟ้า (EC) 4 ระดับดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 สารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้า (EC) 0.5 µS/cm

ชุดการทดลองที่ 2 สารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้า (EC) 1.0 µS/cm

ชุดการทดลองที่ 3 สารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้า (EC) 1.5 µS/cm

ชุดการทดลองที่ 4 สารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้า (EC) 2.0 µS/cm

ในแต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำๆ ละ 14 ต้น ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

วิธีการทดลอง

1. เตรียมระบบปลูกใช้ระบบปลูกไม่ใช้ดินแบบ Deep Flow Technique (DFT) ทำจากท่อ (DFT) สีขาวขนาด 2 นิ้ว จำนวน 12 รางปลูก แต่ละรางปลูกพรรณไม้น้ำ 14 ต้น โดยระบบปลูกนี้จะเป็นการหมุนเวียนสารละลายโดยสารละลายธาตุอาหารจะถูกปั้มดึงสารละลายขึ้นไปที่หัวราง และไหลออกทางท้ายรางกลับมาที่ถังสารละลายโดยจะหมุนเวียนเช่นนี้ตลอด

2. การเตรียมพรรณไม้น้ำโดยใช้ต้นพรมมิจำนวน 168 ต้น ซึ่งพยุงตัวปลูก (Perlite) ปลูกในถ้วยปลูก นำไปพักฟื้นในกระบะพลาสติก เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อลดการคายน้ำของพรรณไม้น้ำ จากนั้นนำมาวัดความยาวยอดเฉลี่ย และนับจำนวนยอด แล้วสุ่มขึ้นปลูกบนรางปลูกซ้ำละ 14 ต้น

3. เตรียมสารละลายธาตุอาหาร ผสมปุ๋ยสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 1 โดยเตรียมความเข้มข้นทั้งหมด 4 ระดับ มีการนำไฟฟ้า (EC) คือ0.5 µS/cm , 1.0 µS/cm, 1.5 µS/cm , 2.0 µS/cm ไว้ในถังสารละลายจำนวน 20 ลิตร และสารละลายจะถูกรักษาสภาพความเป็นกรดด่างที่ 6.5-7.5

4. เก็บข้อมูลด้านการเจริญเติบโตคือความยาวเฉลี่ยของทุกสัปดาห์ น้ำหนักเริ่มต้นและสิ้นสุดและค่าคลอโรฟิลล์

5. เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 4 สัปดาห์ เก็บพรมมิและล้างและอบแห้ง หลังจากนั้นวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ชั่งน้ำหนักสด
- นำพรมมิไปอบแห้งและปั่นจนละเอียด
- วิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระจากพรมมิ 2 วิธี คือ (1) DPPH (2) TPC (Total phenolic content) ในห้องปฏิบัติการ

1. การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

1.1 ชั่งพรมมิที่ปั่นแล้วในจำนวน 1 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ทั้ง 3 ใบ

1.2 นำมาสกัดด้วย น้ำ 50 มิลลิลิตร, เอทานอล (95%) 50 มิลลิลิตร, และ อะซิโตน 50 มิลลิลิตร โดยสกัด 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 เมื่อครบ 30 นาทีแล้วจึงนำมากรอง ส่วนอะซิโตนเมื่อกรองเรียบร้อยแล้วใช้ไมโครปิเปตดูดใส่ eppendorf จำนวน 6 หลอด นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10 นาที 14,000 รอบ 4 องศาเซลเซียส

1.4 เตรียมหลอดทดลอง 15 หลอด โดยสารสกัดทั้ง 3 ชนิด ชนิดละ 5 ซ้ำ ใช้ไมโครปิเปตดูดสารสกัดที่กรองเรียบร้อยแล้วใส่หลอดทดลอง หลอดละ 1.08 มิลลิลิตร

1.5 ใส่ DPPH 0.12 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองทั้ง 15 หลอด (การเตรียม DPPH ใช้ DPPH 0.0158 กรัม จากนั้นนำมาเจือจางด้วยเอทานอล. 95% โดยปรับปริมาตรจนได้ 50 มิลลิลิตร)

1.6 หลังจากใส่ DPPH เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที

1.7 Standard เอทานอล (40%) 1.08 มิลลิลิตร ใส่ DPPH 0.12 มิลลิลิตร จำนวน 3หลอดทดลอง

1.8 นำไปวัดความยาวคลื่นที่ 517 นาโนเมตร

การคำนวณ

ค่าที่วัด absorbance y= 1.0376 x – 0.0197

2. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (TPC)

2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานของกรดแกลลิค

1. ละลายกรดแกลลิค 0.0200 กรัม ด้วยเอทานอล (95%) ปรับปริมาตรจนได้ 50 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

2. ปิเปตสารละลายแกลลิคที่เตรียมไว้ลงในหลอดทดลอง โดยให้มีปริมาณแกลลิคตั้งแต่ 0-140 ไมโครกรัม เติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 10 มิลลิลิตร ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 2 การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิค

หลอดที่	ไมโครลิตรของ working solution	ไมโครกรัมของกรดแกลลิค	มิลลิลิตรน้ำกลั่น
1	0	0	10.00
2	50	20	9.95
3	100	40	9.90
4	150	60	9.85
5	200	80	9..80
6	250	100	9.75
7	300	120	9.70
8	350	140	9.65

3. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteau หลอดละ 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที

4. เติมสารละลาย Na_2CO_3 (10%) (วิธีเตรียม Na_2CO_3 จำนวน 10กรัม ละลายด้วยน้ำจำนวน 100 มิลลิลิตร)หลอดละ 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้อีก 10 นาที เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายหลอดที่ 1 เป็น blank

5. นำผลที่วัดได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสงกับปริมาณของกรดแกลลิคได้เป็นกราฟมาตรฐาน (standard curve)

2.2 การหาปริมาณโพลีฟีนอลจากสารสกัดจากพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิ

2.2.1 ชั่งพรมมิที่ปั่นแล้วในจำนวน 1 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ทั้ง 3 ใบ

2.2.2 นำมาสกัดด้วย น้ำ 50 มิลลิลิตร, เอทานอล (95%) 50 มิลลิลิตร, และ อะซิโตน 50 มิลลิลิตร โดยสกัด 30 นาที

2.2.3 เมื่อครบ 30 นาทีแล้วจึงนำมากรอง ส่วนอะซิโตนเมื่อกรองเรียบร้อยแล้วใช้ไมโครปิเปตดูดใส่ eppendorf จำนวน 6 หลอด นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10 นาที 14,000 รอบ 4 องศาเซลเซียส

2.2.4 เตรียมหลอดทดลอง 15 หลอด โดยสารสกัดทั้ง 3 ชนิด ชนิดละ 5 ซ้ำ ใช้ไมโครปิเปตดูดสารสกัดที่กรองเรียบร้อยแล้วใส่หลอดทดลอง หลอดละ 0.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรรวมเป็น 10 มิลลิลิตร

2.2.5 เติมสารละลาย Folin-Ciocalteau หลอดละ 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที

2.2.6 เติมสารละลาย Na_2CO_3 (10%) หลอดละ 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้อีก 10 นาที เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร คำนวณปริมาณโพลีฟีนอลโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

การเก็บข้อมูล

1. ทำการวัดความยาว ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง โดยทำการวัดความยาวของลำต้นพรมมิ ในทุกๆชุดการทดลอง

2. ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำทุกๆ 1 สัปดาห์ โดยทำการวัดความยาวทุกๆ ชุดการทดลอง เพื่อสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงทางการเจริญเติบโต

3. บันทึกค่าการนำไฟฟ้า (ค่าEC) โดยเครื่อง Conductivity Meter และวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) โดยเครื่อง pH Meter ทุกๆ สัปดาห์

4. บันทึกค่าการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระของ DPPH, TPC

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลการวัดความยาวยอดเฉลี่ย น้ำหนักเริ่มต้นและสิ้นสุด ค่าคลอโรฟิลล์ หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ TPC มาวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยโปรแกรม SPPS for window version 11.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานที่ทำการทดลอง

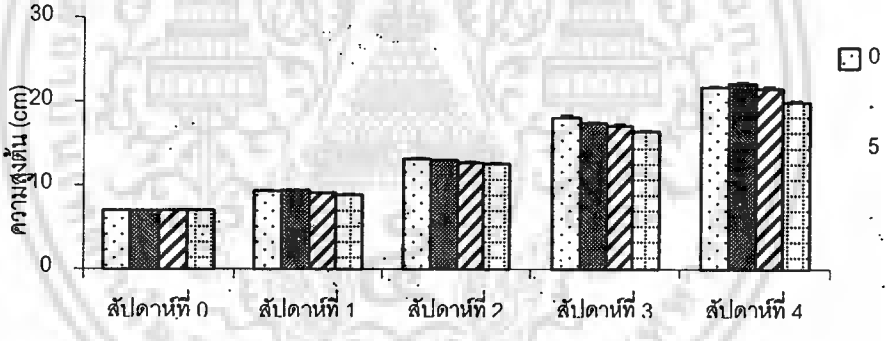
ห้องปฏิบัติการ หลักสูตรวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์การเจริญเติบโต

จากการศึกษาทดลองการเจริญเติบโตของต้นพรมมิที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกแบบท่อ (DFT) ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายอาหารต่างกัน ซึ่งทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 µS/cm เป็นระยะเวลาทั้งหมด 4 สัปดาห์ นำมาเลี้ยงในระบบปลูกพืชไร้ดินผ่านสารละลายธาตุอาหารสูตร KMITL 2 พบว่าในสัปดาห์ที่ 3 พบว่า ความสูงลำต้นเฉลี่ย ของชุดการทดลองที่มีค่าการนำไฟฟ้า 0.5 µS/cm มีค่ามากที่สุดรองลงมาคือ 1.0 , 1.5 และ 2.0 µS/cm ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 18.04±0.30, 17.43±0.13 , 17.09±0.19 และ 16.43±0.09 cm ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 4 พบว่า ความยาวลำต้นสุดท้ายเฉลี่ย ของชุดการทดลองที่มีค่าการนำไฟฟ้า 1.0 และ 0.5 µS/cm มีการเจริญเติบโตเท่ากับ 22.11±0.20 cm และ 21.68±0.12 cm ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่มีค่าการนำไฟฟ้า 1.5 และ 2.0 µS/cm ที่มีการเจริญเติบโตเท่ากับ 21.53±0.25 cm และ 19.92±0.17 cm ตามลำดับ (ภาพที่ 5 และ ตารางที่ 3)



ภาพที่ 5 ความยาวเฉลี่ยของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหาร ต่างๆ กัน (cm)

ซึ่งสอดคล้องกับ (นงนุช และ คณะ ,2548)ได้ทำการศึกษาทดลองการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกานัสที่ย้ายมาจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาปลูกยังระบบปลูกแบบไร้ดิน โดยสารละสายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1,1.5 และ 2 µS/cm เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าอเมซอนแอฟริกานัสที่เลี้ยงในสารละลายธาตุอาหาร 1 µS/cm มีการเจริญเติบโตดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีน้ำหนักสุดท้ายเท่ากับ 6.04 กรัม/ต้น มีจำนวนใบที่เกิดขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 14.86 ใบ/ต้น และมีความสูงของลำต้นเท่ากับ 20.08 เซนติเมตร/ต้น

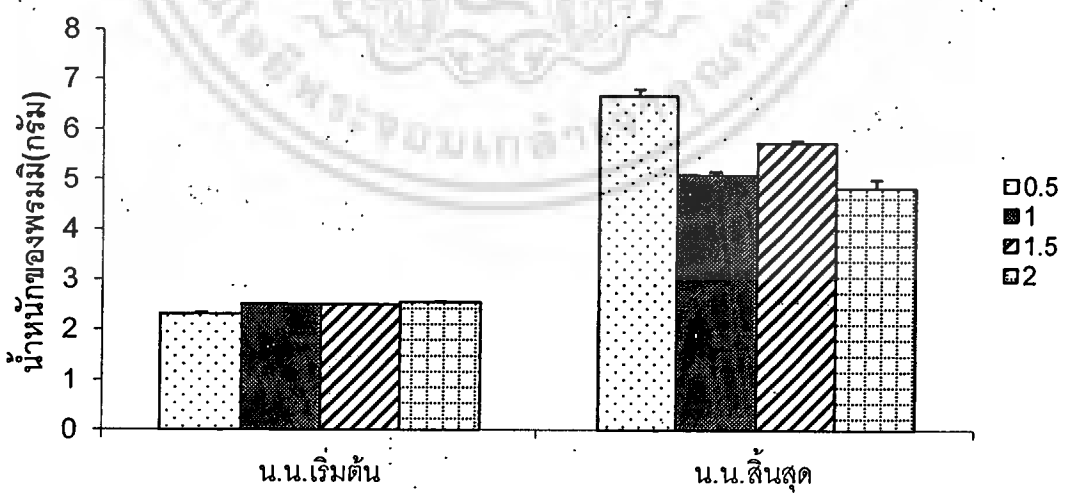
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ความสูงเฉลี่ย (cm)ของต้นพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารต่างๆ กัน (µS/cm)

สัปดาห์ที่	ความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหาร (µS/cm)			
	0.5	1	1.5	2
0	7±0.00 [a]	7±0.00 [a]	7±0.00 [a]	7±0.00 [a]
1	9.33±0.07 [a]	9.45±0.04 [a]	9.10±0.03 [a]	8.86±0.09 [a]
2	13.17±0.08 [a]	13.02±0.02 [a]	12.73±0.11 [a]	12.61±0.07 [a]
3	18.04±0.30 [a]	17.43±0.13 [a]	17.09±0.19 [a]	16.43±0.09 [a]
4	21.68±0.12 [a]	22.11±0.20 [a]	21.53±0.25 [a]	19.92±0.17 [b]

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

นอกจากนั้นการทดลองศึกษาน้ำหนักสดของต้นพรมมิที่ปลูกในสารละลายที่มีค่าการนำไฟฟ้า 0.5 µS/cm มีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองมากที่สุด รองลงมาเป็นต้นพรมมิในชุดการทดลองที่มีค่าการนำไฟฟ้า 1.5 µS/cm ส่วนในชุดการการทดลองที่ 1.0 และ 2.0 µS/cm มีการเพิ่มของน้ำหนักน้อยที่สุดคือ 6.66±0.13 , 5.72±0.05 5.09±0.07, และ 4.82±0.20 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 6 และตารางที่ 4)



ภาพที่ 6 น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นและสิ้นสุด (4 สัปดาห์) ของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารต่างๆ กัน (µS/cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

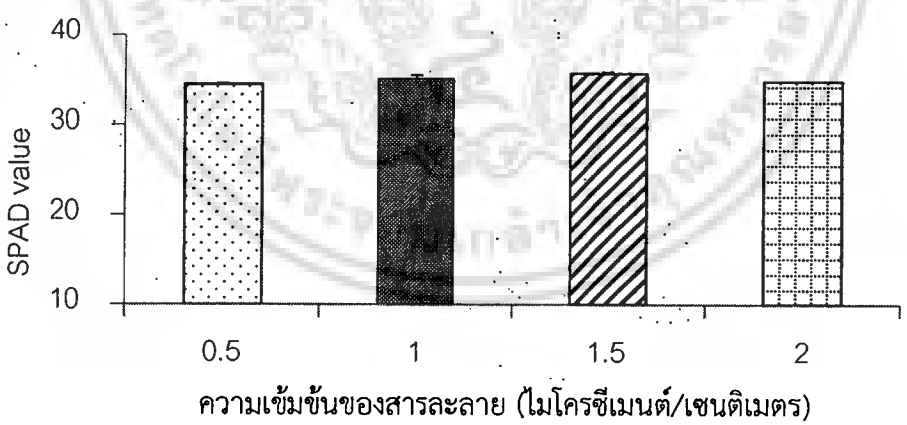
ตารางที่ 4 น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารต่างๆ กัน

ระดับความเข้มข้น (µS/cm)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสิ้นสุด (กรัม)
0.5	2.31±0.10 [a]	6.66±0.13 [ab]
1	2.50±0.05 [b]	5.09±0.07 [c]
1.5	2.50±0.03 [b]	5.72±0.05 [bc]
2	2.54±0.04 [b]	4.82±0.20 [c]

*ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2.การวิเคราะห์ค่าคลอโรฟิลล์

จากการศึกษาทดลองวัดค่าคลอโรฟิลล์ของต้นพรมมิที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกแบบท่อ (DFT) โดยใช้เครื่องรุ่น SPAD-502 โดยค่าที่ใช้วัดเป็นค่า SPAD value ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายอาหารต่างกัน ซึ่งทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 µS/cm เป็นระยะเวลาทั้งหมด 4 สัปดาห์ นำมาเลี้ยงในระบบปลูกพืชไร้ดินผ่านสารละลายธาตุอาหาร สูตร KMITL 2 เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 4 พบว่าสารละลายอาหารที่ค่าการนำไฟฟ้าที่ 1.5, 1, 2 และ 0.5 µS/cm ซึ่งมีค่าคลอโรฟิลล์คือ 35.73, 35.10, 34.86 และ 34.50 ตามลำดับ (ภาพที่ 7 และ ตารางที่ 5)



ภาพที่ 7 ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

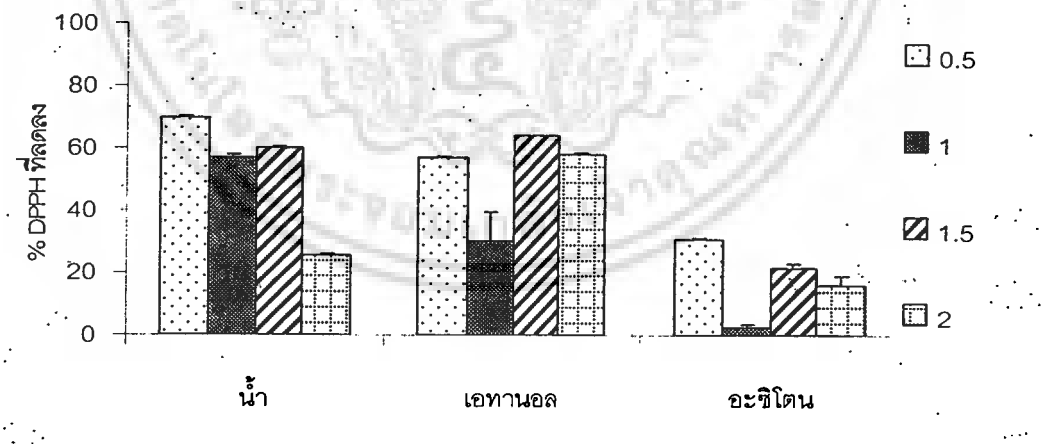
ตารางที่ 5 ปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารต่างๆ กัน

ระดับความเข้มข้น(µS/cm)	ค่า SPAD value
0.5	34.50±0.17 [a]
1	35.10±0.45 [a]
1.5	35.72±0.20 [a]
2	34.85±0.03 [a]

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

3.การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

จากการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระในพรรณไม้น้ำพรมมิ ด้วยวิธี DPPH พบว่าเปอร์เซ็นต์ DPPH ที่ลดลงจากการสกัดพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร 0.5 µS/cm ดีที่สุด รองลงมา คือ 1.5, 2.0 และ 1.0 µS/cm ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 52.60±11.28, 48.62±12.41, 33.17±14.74 และ 29.87±16.30 (ภาพที่ 8 และตารางที่ 6) มีการใช้ DPPH เป็นตัววิเคราะห์อนุมูลอิสระกันอย่างมาก ซึ่ง DPPH สามารถที่จะตรวจสอบประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในสารประกอบต่างๆ ได้ดี (Duan *et al.*, 2006)



ภาพที่ 8 เปอร์เซ็นต์ DPPH ที่ลดลงของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

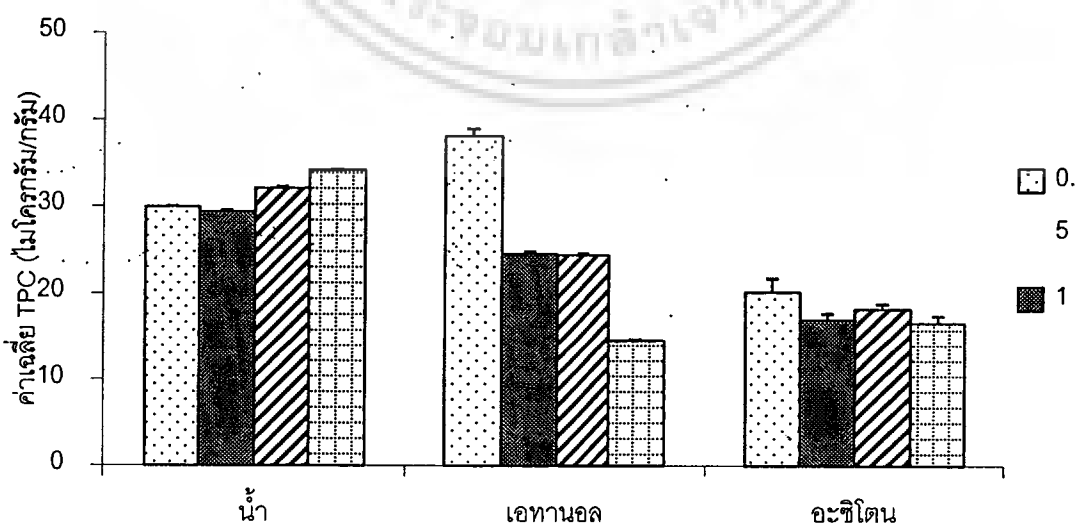
ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ DPPH ที่ลดลงจากการสกัดพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ

ระดับความเข้มข้น (µS/cm)	% DPPH ที่ลดลง			
	น้ำ	เอทานอล	อะซิโตน	Mean±SE
0.5	69.85±0.35	57.01±0.18	30.95±0.16	52.60±11.28[a]
1	57.12±0.76	30.07±9.26	2.42±1.22	29.87±16.30[b]
1.5	60.15±0.41	64.01±0.06	21.71±1.54	48.62±12.41[a]
2	25.42±0.49	58.18±0.05	15.91±2.84	33.17±14.74[b]
Mean±SE	51.13±7.45[a]	52.32±5.86[a]	17.75±4.62[b]	

*ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี TPC

การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระโดยวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด(TPC) ในพรรณไม้น้ำพรมมิ พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (TPC) จากการสกัดพรมมิ พบว่าค่าความเข้มข้น 2.0 µS/cm มีปริมาณมากสุด 34.12±0.11 µg/g รองลงมาคือ ความเข้มข้น 1.5 µS/cm มีปริมาณ 32.01±0.21 µg/g, ความเข้มข้น 0.5 µS/cm มีปริมาณ 29.93±0.09 µg/g และความเข้มข้น 1 µS/cm มีปริมาณ 29.35±0.18 µg/g ตามลำดับ (ภาพที่ 9 และตารางที่ 7) ซึ่งสอดคล้องกับ Tahawa *et al.*, (2007) พบว่าการสกัดด้วยน้ำจากพืชอาหารมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าการสกัดด้วยเอทานอล ผลครั้งนี้ค่า TPC สูงที่สุดเมื่อปลูกในค่า EC 0.5 µS/cm และสกัดด้วยเอทานอลค่าเท่ากับ 38.06±0.83 µg/g แต่ในภาพร่วมปริมาณ TPC จะสูงสุดเมื่อใช้น้ำเป็นตัวสกัด



ภาพที่ 9 ค่าเฉลี่ย TPC ของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิที่ระดับความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ย TPC จากการสกัดพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ (µg/g)

ระดับความ	ปริมาณ TPC (µg/g)			
เข้มข้น (µS/cm)	น้ำ	เอทานอล	อะซิโตน	Mean±SE
0.5	29.93±0.09	38.06±0.83	20.14±1.55	32.38±6.43[a]
1	29.35±0.18	24.51±0.27	16.99±0.69	23.62±4.93[b]
1.5	32.01±0.21	24.37±0.24	18.17±0.61	24.85±5.15[b]
2	34.12±0.11	14.59±0.19	16.59±0.81	21.77±5.21[c]
Mean±SE	31.35±0.84[a]	25.38±3.73[b]	17.97±0.61[c]	

*ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองปลูกพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิในระบบไฮโดรโพนิก (DFT) ที่ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างกันคือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 µS/cm พบว่าความสูงเฉลี่ยที่ระดับ 1.0 µS/cm มีการเจริญเติบโตดีที่สุด 22.11±0.20 cm และน้ำหนักสุดท้ายของชุดการทดลองที่ 0.5 µS/cm มีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด คือ 6.66±0.13 g การวิเคราะห์ค่าคลอโรฟิลล์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH พบว่าที่ระดับ 0.5 µS/cm มีค่าดีที่สุด คือ 52.60±11.28 และการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีหาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล พบว่าการสกัดด้วยน้ำจะมีปริมาณฟีนอลิกมากกว่าการสกัดด้วยเอทานอล ค่า TPC สูงที่สุดเมื่อปลูกที่ระดับ 0.5 µS/cm และสกัดด้วยเอทานอลค่าเท่ากับ 38.06±0.83 µg/g แต่ในภาพรวมปริมาณ TPC จะสูงสุดเมื่อใช้น้ำเป็นตัวสกัด

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ ลำต้นจะมีความยาวมาก จึงควรมีการจัดการระบบปลูกให้เหมาะสมต่อพรรณไม้น้ำพรมมิ โดยเว้นระยะห่างของท่อปลูกในระบบให้มีความห่างพอสมควร เพื่อป้องกันการเลื้อยพันกันของพรรณไม้น้ำพรมมิที่โตเต็มที่
2. ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารสำหรับปลูกพรรณไม้น้ำพรมมิในระบบการปลูกแบบไฮโดรโพนิก (DFT) ควรมีการปรับระดับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและป้องกันการเน่าเปื่อยของรากพรรณไม้น้ำพรมมิ
3. การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระจากพืชไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ จำเป็นต้องศึกษาความเป็นพิษ การออกฤทธิ์ต่างๆ และปริมาณที่เหมาะสมในการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ดิเรก ทองอร่าม. 2546. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 724 น.

ดิเรก ทองอร่าม. 2547. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการปลูกพืชไม่ใช้ดิน. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน รุ่นที่ 5. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นงนุช เลาหะวิสุทธิ์. 2544, ระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับพรรณไม้น้ำแบบไร้ดินในระบบปิด. วารสารเคหะการเกษตร 25(7) : 205-215.

มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ, นงนุช เลาหะวิสุทธิ์, อินธิสุนทร นันทกิจ และ ยุทธนา เกียรติธร. 2548. การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำใบพายเขาใหญ่. การประชุมสัมมนาทางวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 5. จอมเทียนบีช พัทยา, ชลบุรี.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2545. ธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพี, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 416 น.

วันเพ็ญ มีนกาญจน์. และ กาญจนรี พงษ์ฉวี. 2543. พรรณไม้น้ำสวยงาม. กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 233 น.

วนาวรรณ จันทร์หนูหงษ์. 2539. พรรณไม้น้ำในตู้กระจก. บริษัทเจเนอรัลบุ๊ค จำกัด, กรุงเทพฯ 94 น.

สมเกียรติ สีสนอง. 2548. การผลิตพรรณไม้น้ำ *Echinodorus Ozelot* เพื่อการค้าโดยการปลูกแบบไม่ใช้ดิน. การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำใบพายเขาใหญ่. การประชุมสัมมนาทางวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 5. จอมเทียนบีช พัทยา, ชลบุรี.

โสระยา ร่วมรังสี. 2544. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. สำนักพิมพ์เกษตรยุคใหม่, กรุงเทพฯ. 85 น.

อานนท์ เชยจำรูญ. 2547. การปลูกพรรณไม้น้ำ. การปลูกพรรณไม้น้ำเพื่อการส่งออก, สำนักพิมพ์เพื่อทางเลือกเกษตร, กรุงเทพฯ. 98 น.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2545. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 143 น.

Anon. 2003. “Hydroponics system”, 4 August 2003. http://www.bangsaiagro.com./hydroponics. 2003

Arduinni, i., c. Kettner, Goodbold, A. Onnis and A.Stefani 1998. pH influence on root growth and nutrient uptake of *Pinus pinaster* seedling. Chemophere 36 : 733-738

Duan X. J., W.W. Zhang and X. Ming. (2006). Evaluation of antioxidant property of extract and fractions obtained from a red alga, *Polysiphonia urceolata*. Food Chemistry 95 :(37-43)

Jongput, B., N. Laohavisuti and M. Mitrnoi. 2007. Effect of ammonium-nitrogen concentration and electrical conductivity on growth of African Swordplant (*Eichinodorus africanus*) in hydroponic culture. International conference on integration of Sustainable development Bangkok, Thailand 26-27 : 504-507

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kim, H., J., Y. S. Cho, O. K. Kwon, M. W. Cho, J. O. Hwang, S. D. Bae and W. T. Jeon. 2005 Effect of pH and EC of hydroponic solution on the growth of green house rose. Asian journal of plant science 4(4) : 348-355

Olsen, M.O. and G.U. Falkengren. 2000. Potentail nitrification as an indicator of preferantail uptake of ammonium or nitrate by plants in an Oak Woodland Understorey. Plant ecology. Lund University Ecology Building, Sweden. Anal of Botany 85 : 299-305.

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

Tahawa, K., F.Q. Alali., M. Gharibeh., M. Mohammad and T.El-Elimat. 2007. Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. Food Chemistry 104: 1372-1378.

Tan, X. W., M. Oda and H. Lkeda. 2000. The absorption translocation, and assimilation of urea, nitrate or ammonia in tomato plant at different plant growth stage in hydroponics culture. Scientia Horticulturae 84 : 275-283.

http://crookedgarden.com/Bacopa%20monnieri_80.jpg

http://www.elib-online.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 ความสูงเฉลี่ย (ซม.) ของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิในระยะเวลา 4 สัปดาห์

ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	จำนวนซ้ำ	ความสูงเฉลี่ยของลำต้น (cm)				
		week 0	week 1	week 2	week 3	week 4
0.5	1	7.00	9.46	13.31	16.52	21.89
	2	7.00	9.58	13.44	19.29	22.09
	3	7.00	8.95	12.78	18.32	21.08
1	1	7.00	9.44	13.08	18.14	23.15
	2	7.00	9.27	12.94	17.03	21.64
	3	7.00	9.64	13.05	17.13	21.55
1.5	1	7.00	9.21	13.00	17.44	22.12
	2	7.00	8.95	13.09	17.73	22.27
	3	7.00	9.17	12.11	16.10	20.21
2	1	7.00	8.36	12.92	16.87	20.84
	2	7.00	9.09	12.26	16.31	19.51
	3	7.00	9.14	12.65	16.11	19.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2 น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) เริ่มต้นและสุดท้ายของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิ

ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	จำนวนซ้ำ	น้ำหนักของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิ	
		เริ่มต้น	สุดท้าย
0.5	1	2.17	7.36
	2	2.37	6.42
	3	2.40	6.21
1	1	2.51	5.18
	2	2.57	5.35
	3	2.45	4.75
1.5	1	2.51	5.95
	2	2.54	5.47
	3	2.46	5.75
2	1	2.61	5.69
	2	2.51	4.57
	3	2.52	4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 ค่าเฉลี่ยคลอโรฟิลล์ (SPAD-Value) ของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิ

ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	จำนวนซ้ำ	ค่าคลอโรฟิลล์ของพรรณไม้น้ำสกุลพรมมิ
0.5	1	35.31
	2	33.74
	3	34.46
1	1	32.71
	2	36.36
	3	36.24
1.5	1	36.79
	2	35.32
	3	35.07
2	1	35.06
	2	34.73
	3	34.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้