ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

เรื่อง ระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนใบยาว
ในระบบการปลูกแบบไร้ดิน

The Optimum Nutrient for Growing Amazon Sword Plant (*Echinodorus amazonicus)*
in Hydroponic Culture

ชื่อนักศึกษา นางสาวมาฆะวัน อาสาวดีรส

ชืออาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงนุช เลาหะวิสุทธิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงนุช เลาหะวิสุทธิ์)

ภาควิชารับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ)
หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
วันที่ 2 ...เดือน ก.ค. .....พ.ศ. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20503

หอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนใบยาว ในระบบการปลูกแบบไร้ดิน

The Optimum Nutrient for Growing Amazon Sword Plant (*Echinodorus amazonicus*) in Hydroponic Culture

T099254

โดย

นางสาวมาฆะวัน อาสาวดีรส รหัสนักศึกษา 43040451

ว/ผ.
ป1414 ร
2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนใบยาว ในระบบการปลูกแบบไร้ดิน

The Optimum Nutrient for Growing Amazon Sword Plant (*Echinodorus amazonicus*) in Hydroponic Culture

การศึกษาระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของการปลูกอเมซอนใบยาวแบบไร้ดิน โดยใช้ธาตุอาหาร N-P-K สูตร 25-5-5 ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าชุดการทดลองที่ใช้ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร 30 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการเจริญเติบโตดีที่สุด มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4.09 $\pm$ 0.55 กรัม รองลงมาที่ระดับความเข้มข้น 25, 20, 10, 5 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.04 $\pm$ 0.63 , 1.76 $\pm$ 0.28, 1.57 $\pm$ 0.59, 1.33 $\pm$ 0.41 และ 1.19 $\pm$ 0.28 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยของต้นอเมซอนใบยาวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จากการวิเคราะห์หาอัตราส่วนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในต้นอเมซอนใบยาวพบว่า ต้นอเมซอนใบยาวที่ปลูกในระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร 30 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราส่วนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสะสมอยู่สูงที่สุดคือ 3.43 $\pm$ 0.05 และ 3.74 $\pm$ 0.13 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อัตราส่วนไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่สะสมในต้นอเมซอนใบยาวที่ปลูกในธาตุอาหารระดับความเข้มข้น 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีอัตราส่วนไนโตรเจน 3.02 $\pm$ 0.1, 2.99 $\pm$ 0.05, 3.05 $\pm$ 0.15, 3.10 $\pm$ 0.15 และ 3.10 $\pm$ 0.06 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อัตราส่วนฟอสฟอรัส 2.78 $\pm$ 0.27, 3.35 $\pm$ 0.19, 3.34 $\pm$ 0.20, 3.43 $\pm$ 0.11 และ 3.46 $\pm$ 0.13 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

การทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้สำเร็จลงได้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาการทำปัญหาพิเศษผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงนุช เลาหะวิสุทธิ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและให้ความรู้ในการทำปัญหาพิเศษเป็นอย่างดี รวมทั้งการตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมงทุกท่านที่ได้อบรมให้ข้าพเจ้าได้มีความรู้ และคอยให้คำปรึกษามาโดยตลอด

ขอขอบคุณ พี่แสง พี่มอญ พี่ดาว พี่นิพนธ์ และพี่ออด ที่กรุณาอำนวยความสะดวกในการทำปัญหาพิเศษ คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำตลอดการทดลอง ขอบคุณพี่ไต๋ (นักศึกษาปริญญาโทภาควิชาปฐพีวิทยา) ที่ให้คำปรึกษาเรื่องต่างๆ ในการทดลอง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่น 7 ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือในการทดลอง ขอบคุณมิตรภาพที่ดีที่มีให้กันมาตลอด และขอบใจน้องๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจ ห่วงใยข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณบิดามารดาของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ คอยห่วงใยให้ความอบอุ่นและสนับสนุนทุนทรัพย์บางส่วนในการทดลองนี้ ขอขอบพระคุณทุกๆ คนอีกครั้งที่ทำให้การทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวมาฆะวัน อาสาวดีรส

พฤษภาคม 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	IV
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	2
อุปกรณ์และวิธีการ	10
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	13
สรุปและข้อเสนอแนะ	24
เอกสารอ้างอิง	25
ภาคผนวก	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	รูปของธาตุที่จำเป็นในการดูดเข้าสู่รากของต้นพืช และหน้าที่ในพืช	4
2	น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยในสัปดาห์ที่ 2 สัปดาห์ที่ 4 สัปดาห์ที่ 6 และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ของต้นอเมซอนใบยาวที่ปลูกในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	15
3	ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในต้นอเมซอนใบยาว ที่ปลูกในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	17
4	ค่าเฉลี่ยแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตร์ท-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ ที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	19
5	คุณสมบัติของน้ำ ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	21

ตารางผนวกที่		หน้า
1	น้ำหนักพรรณไม้น้ำในสัปดาห์ที่ 0	32
2	น้ำหนักพรรณไม้น้ำในสัปดาห์ที่ 2	33
3	น้ำหนักพรรณไม้น้ำในสัปดาห์ที่ 4	34
4	น้ำหนักพรรณไม้น้ำในสัปดาห์ที่ 6	35
5	อัตราส่วนไนโตรเจนที่สะสมในอเมซอนใบยาว ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	36
6	อัตราส่วนฟอสฟอรัสที่สะสมในอเมซอนใบยาว ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	36
7	น้ำหนักพรรณไม้น้ำ(กรัม) หลังการทดลอง ที่ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	37
8	แอมโมเนียม- ไนโตรเจน(ppm)ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 2 สัปดาห์	39
9	ไนไตร์ท- ไนโตรเจน(ppm)ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 2 สัปดาห์	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
10	ไนแตรท - ไนโตรเจน(ppm)ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 2 สัปดาห์	43
11	ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (ppm)ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 2 สัปดาห์	45
12	ความเข้มแสงตลอดการทดลอง เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	47
13	การนำไฟฟ้าของสารละลายในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นเวลา 6 สัปดาห์	51
14	อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นเวลา 6 สัปดาห์	53
15	ความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ยตลอดการทดลอง เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	54
16	ออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลอง เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ต้นอเมซอนใบยาว (*Echinodorus amazonicus)*	2
2	น้ำหนักเริ่มต้น และน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (กรัม) ของต้นอเมซอนใบยาว ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	14
3	การเจริญเติบโตของต้นอเมซอนใบยาวที่ปลูกในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	14
4	อัตราส่วนไนโตรเจนที่สะสมในอเมซอนใบยาว ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	17
5	อัตราส่วนฟอสฟอรัสที่สะสมในอเมซอนใบยาว ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	18
6	ปริมาณความเข้มแสงบริเวณที่ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	20
7	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	20
8	อุณหภูมิของน้ำ ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	22
9	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	22
10	ค่าการนำไฟฟ้า ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

พรรณไม้น้ำสกุล *Echinodorus* มีชื่อภาษาไทยว่า อเมซอน จัดอยู่ในวงศ์ Alismataceae เป็นพรรณไม้น้ำที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในปัจจุบัน เนื่องจากในปัจจุบันการจัดตู้ปลาและการจัดตู้พรรณไม้น้ำสวยงามเลียนแบบธรรมชาติ ได้รับความนิยมสูงทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยเป็นแนวคิดในการจัดตู้ขนาดใหญ่และมีความยาว ใช้ตกแต่งสถานที่ต่างๆ เช่น สถานที่ทำงาน โรงแรม โรงพยาบาล ร้านอาหาร ห้างสรรพสินค้า ฯลฯ นอกจากนี้ในประเทศแถบยุโรปในช่วงเวลาของฤดูหนาวอันยาวนาน ทำให้ผู้คนต้องเก็บตัวอยู่ในบ้านมากขึ้น ดังนั้นการจัดตู้ปลาหรือตู้พรรณไม้น้ำเป็นงานอดิเรกจะสามารถช่วยผ่อนคลายบรรยากาศ และให้ความเพลิดเพลินภายในบ้านได้เป็นอย่างดี ตลอดจนใช้ตกแต่งสวนหรือสระน้ำ เนื่องจากอเมซอนเป็นพืชครึ่งบกครึ่งน้ำ ทำให้สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งบนบกและใต้น้ำ ซึ่งพรรณไม้น้ำนอกจากจะมีรูปทรง และมีสีสันหลากหลายสวยงามแล้ว ยังเป็นประโยชน์ต่อปลาด้วยโดย พรรณไม้น้ำมีการสังเคราะห์แสงให้ออกซิเจน ซึ่งปลานำไปใช้ในการหายใจ และยังช่วยกำจัดของเสียที่ขับถ่ายจากตัวปลา โดยนำไปเป็นปุ๋ย เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ การปลูกพรรณไม้น้ำในระบบการปลูกแบบไร้ดินเป็นการปลูกพรรณไม้น้ำลงบนสารละลายธาตุอาหารพืช โดยรากพรรณไม้น้ำสัมผัสกับสารอาหารโดยตรง เนื่องจากในปัจจุบันพรรณไม้น้ำสวยงามที่ใช้ประดับตู้ ได้กลายมาเป็นธุรกิจที่มีการซื้อขายกันมากขึ้นเรื่อยๆ ทั้งในประเทศและนอกประเทศ ประมาณได้ว่าทั่วโลกมีมูลค่าการซื้อขายปลาสวยงามและพรรณไม้น้ำปีหนึ่งๆ มากกว่า 20,000 ล้านบาท (อัมพร, 2541) ซึ่งประเทศไทยมีส่วนแบ่งการตลาดประมาณ 10 % ของมูลค่าการค้าทั่วเอเชีย ซึ่งนับว่าค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศเพื่อนบ้าน เช่น สิงคโปร์ สำหรับพรรณไม้น้ำสวยงามประดับตู้ที่ผลิตได้ในประเทศไทยในปัจจุบัน มีหลากหลายชนิดทั้งพันธุ์ไทยและพันธุ์ต่างประเทศ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่ค่อนข้างเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงพรรณไม้น้ำ ทำให้ศักยภาพในการส่งออกพรรณไม้น้ำของไทยค่อนข้างสูงจนผลิตได้ไม่ทันต่อความต้องการของตลาด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนใบยาว
2. เพื่อศึกษาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในอเมซอนใบยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสาร

ชีววิทยาของอเมซอนใบยาว

อเมซอนใบยาว (*Echinodorus amazonicus)* มีชื่อสามัญว่า Amazon sword plant พรรณไม้น้ำสกุลนี้จัดอยู่ในวงศ์ Alismataceae เป็นพืชมีดอกใบเลี้ยงเดี่ยวก้านใบยาว ใบแตกจากลำต้น หรือเหง้าใต้ดิน ก้านใบตอนโคนแผ่เป็นกาบ (sheathing basally) หุ้มประกบกันทำให้มองดูคล้ายลำต้น (สุชาดา, 2530 ; สุชาดา, 2542) แผ่นใบแคบมีรูปร่างคล้ายหอก สามารถยาวได้ถึง 40 เซนติเมตร และกว้าง 1.5-3 เซนติเมตร (Han, 2001 ; Anon, 2004) ต้นเป็นเหง้าฝังอยู่ในพื้นน้ำที่เป็นทรายหรือดินปนทราย รากจะซอนไชไปตามพื้นทรายบริเวณริมขอบสระน้ำตื้นๆ ซึ่งในธรรมชาติ อเมซอนส่วนใหญ่ที่อยู่ในสภาพครึ่งบกครึ่งน้ำ หรืออยู่ในที่ชื้นแฉะจะมีก้านช่อดอกยื่นยาวออกมาจากโคนต้น และมีดอกสีขาว เมื่อผลแก่จะเกิดต้นอ่อนขึ้นบนก้านช่อดอก ซึ่งการขยายพันธุ์จะใช้วิธีตัดต้นอ่อนบนก้านช่อดอกไปปลูกในแปลงดินปนทรายที่ชื้นแฉะ (วันเพ็ญ และกาญจนรี, 2543) สภาพอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 22-30 องศาเซลเซียส ระดับน้ำลึก 45 เซนติเมตร และความเป็นกรดเป็นด่าง 6-7.2 มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ ประเทศบราซิล (Han, 2001 ; Anon, 2004 ; Rhett, 2004)

พรรณไม้น้ำชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้ประดับตู้ปลาตู้พรรณไม้น้ำ ตลอดจนใช้ตกแต่งสวนหรือสระน้ำ เนื่องจากอเมซอนเป็นพืชครึ่งบกครึ่งน้ำ จึงทำให้สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งบนบกและใต้น้ำ แต่จะมีการเจริญเติบโตดีเมื่ออยู่ใต้น้ำ ดูแลรักษาง่ายไม่ต้องตัดตกแต่งบ่อย แต่จะไม่เกิดดอกเมื่ออยู่ใต้น้ำ (วันเพ็ญ และกาญจนรี, 2543)

ภาพที่ 1 อเมซอนใบยาว (*Echinodorus amazonicus)*

ที่มา : Shigenobu (2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดิน

การปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดิน เป็นวิธีการปลูกพรรณไม้น้ำเพื่อให้พรรณไม้น้ำได้รับสารอาหารหรือสารละลายธาตุอาหารพืช ที่มีน้ำผสมกับแร่ธาตุที่ต้องการจากทางรากพรรณไม้น้ำ โดยพรรณไม้น้ำที่ปลูกนั้นจะปลูกลงบนวัสดุปลูก หรือไม่มีวัสดุปลูกก็ได้ (จตุรงค์, 2543) ซึ่งในการปลูกพรรณไม้น้ำแบบมีวัสดุปลูกอื่นๆ ที่ไม่ใช่ดิน เช่น ทราย กรวด หินเกล็ด ด้วยการให้น้ำที่ผสมธาตุอาหารที่คิดค้นขึ้นมาจึงเรียกการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินนี้เป็นคำรวมว่า Soilless culture และในการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไม่มีวัสดุปลูกเรียกว่า Hydroponics (Anon, 2003) ในการปลูกนั้นเป็นการปลูกพรรณไม้น้ำในสารละลายธาตุอาหาร หรือเรียกกันทั่วไปว่า การปลูกพืชลอยน้ำ เป็นแบบการปลูกที่ได้รับความนิยมมาก วิธีการปลูกโดยนำรากพรรณไม้น้ำจุ่มแช่อยู่ในสารละลายโดยตรง สารละลายธาตุอาหารพืชไม่มีการไหลวนแต่จะมีการให้อากาศในน้ำโดยเครื่องพ่นอากาศ ซึ่งรากพรรณไม้น้ำไม่ได้มีวัสดุใดไว้สัมผัสเกาะยึด รากสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ จึงยึดเหนี่ยวในส่วนของลำต้นแทนเพื่อการทรงตัว (ถวัลย์, 2534)

การปลูกพรรณไม้น้ำวิธีนี้ ส่วนใหญ่นิยมนำต้นพันธุ์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาขยายพันธุ์ เพราะสะดวกต่อการทำงาน สามารถกำหนดปริมาณได้แน่นอน และมีความสะอาดปราศจากโรค (วันเพ็ญ และกาญจนรี, 2543)

ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ

พรรณไม้น้ำจะเจริญเติบโตได้ดี ต้องประกอบด้วยปัจจัยที่จำเป็นในการเจริญเติบโต ซึ่งได้แก่ ธาตุอาหาร แสง น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความกระด้างของน้ำ ความชื้น เป็นต้น ทั้งที่รากและส่วนต่างๆ ของลำต้น ใบ และดอก (วันเพ็ญ และคณะ, 2535)

1. ความต้องการธาตุอาหารของพรรณไม้น้ำ (Nutrient requirement) ธาตุอาหารเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ ซึ่งแบ่งเป็นธาตุอาหารหลัก (macronutrients) พรรณไม้น้ำต้องการธาตุอาหารหลักเป็นปริมาณมากในการเจริญเติบโต ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อพรรณไม้น้ำ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ไนโตรเจนมีความสำคัญในการสร้างโปรตีนของพรรณไม้น้ำ เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเร่งให้ใบและลำต้นเจริญได้ดีทำให้ใบสวยงามและแข็งแรง ฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมจะช่วยให้พืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ในการให้อาหารซึ่งอยู่ในรูปปุ๋ยจำเป็นมากที่สุดคือ ไนโตรเจน รองลงมาคือฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ตามหลักสากลนิยมวัดสัดส่วนปุ๋ยเป็นปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ทั้งหมด (N) ฟอสฟอริกแอซิด (P_2O_5) และโปแตสเซียมที่ละลายได้ (K_2O) ดังนั้นสูตรที่เหมาะสมต่อการปลูกพรรณไม้น้ำส่วนใหญ่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนดังนี้ N : P_2O_5 : K_2O = 3 : 2 : 1 ปริมาณการใส่ปุ๋ยพรรณไม้น้ำที่เจริญใต้น้ำควรใช้ประมาณ 0.1-0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าเป็นพรรณไม้น้ำที่มีใบเจริญเหนือน้ำ แต่รากหรือลำต้นเจริญใต้น้ำควรใช้ประมาณ 0.5-1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของพรรณไม้น้ำซึ่งมีความต้องการชนิดและปริมาณของธาตุอาหารหรือปุ๋ยแตกต่างกัน ความถี่ในการให้ปุ๋ยควรให้ประมาณ 1-2 สัปดาห์ต่อ 1 ครั้ง (วนาวรรณ, 2539)

ธาตุอาหารรอง (micronutrients) พรรณไม้น้ำต้องการในปริมาณน้อย และขาดธาตุอาหารเหล่านี้ไม่ได้ ซึ่งได้แก่ คลอรีน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โมลิบดินัม และโบรอน ธาตุอาหารรองที่สำคัญก็คือ ธาตุเหล็ก ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่ช่วยให้ใบมีสีเขียว แต่ถ้ามีการให้ธาตุอาหารเหล่านี้มากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อพรรณไม้น้ำได้ โดยปกติในแหล่งน้ำธรรมชาติมักจะมีธาตุอาหารรองชนิดต่างๆ ละลายน้ำอยู่ในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของพรรณไม้น้ำ

รูปการใช้ประโยชน์ของธาตุอาหาร พืชสามารถนำไปใช้ได้จะต้องอยู่ในรูปของอิออน แก๊ส หรือคีเลท ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รูปของธาตุที่จำเป็นในการดูดเข้าสู่รากของต้นพืช และหน้าที่ในพืช

ธาตุอาหารที่จำเป็น	รูปการดูดไปใช้	หน้าที่ในพืช
C, H, O, N, S	รูปอิออนในสารละลาย (HCO^{3-}, NO^{3-}, NH^{4-}, SO_4^{2-}) ในรูปก๊าซใน บรรยากาศ (O_2 , N_2, SO_4)	เป็นองค์ประกอบหลักในการเจริญเติบโตของพืช
P, B	รูปอิออนในสารละลาย (PO_4^{3-} ,BO_3^{3-})	เกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายพลังงาน และการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต
K, Mg , Ca, Cl	รูปอิออนในสารละลาย(K^{2+}, Mg^{+}, Ca^{2+}, Cl)	ประกอบจำเพาะของสารอินทรีย์การสร้างสมดุลของอิออนต่างๆ
Cu, Fe, Mn, Mo, Zn	อิออนหรือคีเลทในสารละลาย (Cu^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, MoO_4^{2-}, Zn^{2+})	เกี่ยวข้องกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเลคตรอน และสารกระตุ้นของเอนไซม์ต่างๆ ในพืช

ที่มา : ดัดแปลงจาก Megel and Kirby อ้างโดย Anon 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปริมาณความเข้มของแสง (Light intensity) แสงสว่างมีความสำคัญในขบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารของพรรณไม้น้ำ ซึ่งแสงสว่างจากดวงอาทิตย์มีคุณภาพดีที่สุดต่อการเจริญเติบโต แต่ยากต่อการควบคุมปริมาณของแสงให้พอดีกับความต้องการของพรรณไม้น้ำแต่ละชนิด ถ้าปริมาณแสงมากเกินไปจะทำให้ตะไคร่น้ำเจริญเติบโตได้ดี ขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำขุ่นเขียว พรรณไม้น้ำต่างชนิดกันมีความต้องการปริมาณแสงที่แตกต่างกัน พวกที่ชอบขึ้นในแหล่งน้ำที่อยู่ในป่าทึบใต้ร่มเงาไม้ใหญ่ย่อมต้องการปริมารแสงน้อยกว่าพรรณไม้น้ำที่อยู่ในแหล่งน้ำที่โล่งแจ้ง พืชต้องการแสงสีแดง และแสงสีน้ำเงินในการสังเคราะห์แสง (วนาวรรณ, 2539) และแสงยังเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะของพรรณไม้น้ำ พรรณไม้น้ำเจริญเติบโตในความเข้มแสงค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับผัก ส่วนใหญ่พรรณไม้น้ำต้องการความเข้มแสงประมาณ 3,000-7,500 ลักซ์ (Lux) (นงนุช, 2544)

3. คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซที่ไม่มีสีและไม่มีกลิ่น สามารถละลายน้ำได้ดีกว่าก๊าซออกซิเจน ถึง 200 เท่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะได้จากการแพร่ผ่านจากชั้นบรรยากาศ ขบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์วัตถุต่างๆ โดยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในน้ำ และได้จากการหายใจของพืชและสัตว์ ในช่วงที่มีแสงพรรณไม้น้ำนำแสงมาเปลี่ยนเป็นพลังงานเพื่อดึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการดูดซึมจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำเข้าเซลล์จะทำปฏิกิริยากับน้ำ โดยอาศัยรงค์วัตถุสีเขียวในเซลล์หรือคลอโรฟิลล์ (Chlorophll) และแสงสว่างเพื่อผลิตกลูโคส (สมการที่ 1) ซึ่งเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแป้ง (Organics Carbon) หรือคาร์โบไฮเดรต เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ในขบวนการดังกล่าวให้ก๊าซออกซิเจนเป็นผลพลอยได้ (วนาวรรณ, 2539)

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{แสง}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \quad \text{.....สมการที่ 1}$$

4. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen)

ก๊าซออกซิเจนเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเพื่อช่วยในการหายใจในตอนกลางคืน หรือขณะที่ไม่มีแสงสว่าง เมื่อขบวนการสังเคราะห์แสงหยุดลง พรรณไม้น้ำที่อาศัยอยู่ใต้น้ำจะดูดซึมก๊าซออกซิเจน ที่ละลายอยู่ในน้ำส่วนพรรณไม้น้ำที่มีใบเจริญอยู่เหนือน้ำจะดูดซึมจากบรรยากาศโดยตรง ก๊าซออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ อาจได้จากบรรยากาศโดยตรง ได้จากขบวนการสังเคราะห์แสง หรือได้จากขบวนการทางด้านเคมีอื่นๆ ในน้ำ โดยในแหล่งน้ำมีสารประกอบหรือแร่ธาตุบางชนิดทำปฏิกิริยาต่อกันแล้วให้ออกซิเจนในน้ำได้ พรรณไม้น้ำจะนำก๊าซออกซิเจนไปใช้ในการสลายอาหารเพื่อให้ได้พลังงานออกมา และปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากใบ (สมการที่ 2) แต่ปริมาณออกซิเจนในน้ำที่มีพรรณไม้น้ำ จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ปริมาณความเข้มแสงเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำคัญ ถ้าหากแหล่งน้ำนั้นๆ ได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอ พรรณไม้น้ำจะใช้ออกซิเจนที่เกิดจากการสังเคราะห์แสงได้อย่างเพียงพอ ออกซิเจนควรจะมีค่ามากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะมีผลต่อการดูดซับธาตุอาหาร (วนาวรรณ, 2539 ; นงนุช 2544)

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \xrightarrow{\text{ไม่มีแสง}} 6CO_2 + 6H_2O + \text{พลังงาน}.....\text{สมาการที่ 2}$$

5. อุณหภูมิ (Temperature) เป็นปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร็วของกระบวนการทางสรีระ ซึ่งพรรณไม้น้ำแต่ละชนิดชอบอุณหภูมิที่แตกต่างกัน บางชนิดชอบอุณหภูมิต่ำบางชนิดชอบอุณหภูมิสูง บางชนิดสามารถปรับตัวให้เจริญเติบโตได้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกว้าง (Eurythermic plants) แต่บางชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่แคบ (Stenothermic plants) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ และการเพิ่มจำนวนของพรรณไม้น้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน ในประเทศไทยมีอุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงระหว่าง 23-32 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ค่อนข้างเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำหลายชนิด และพรรณไม้น้ำแต่ละชนิดมีความต้องการอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25-29 องศาเซลเซียส (วันเพ็ญ และกาญจนรี, 2543) เช่น อเมซอนใบยาวเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 22-30 องศาเซลเซียส (Anon, 2004)

6. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) พรรณไม้น้ำสามารถใช้ธาตุอาหารในน้ำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับระดับความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ถ้าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำหรือสูงเกินไป พรรณไม้น้ำไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี ส่วนใหญ่จะเจริญงอกงามได้ดีในน้ำที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 6.5-7.5 ซึ่งปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำมีผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเปลี่ยนแปลง โดยในขณะเวลากลางคืนหรือในที่มืด พรรณไม้น้ำไม่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงจึงทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำลดลง ส่วนในตอนกลางวันขณะมีแสงสว่างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำจะลด เนื่องจากการสังเคราะห์แสงของพรรณไม้น้ำค่าความเป็นกรดเป็นด่างจะเพิ่มขึ้น (วนาวรรณ, 2539)

7. ความกระด้างของน้ำ (Water hardness) เป็นปริมาณของเกลือแคลเซียมหรือแมกนีเซียมที่ละลายอยู่ในน้ำและอาจรวมถึงแร่ธาตุอื่นๆ หากละลายอยู่เป็นปริมาณมาก ค่าความกระด้างที่เกิดจากสารละลายแคลเซียมหรือแมกนีเซียมไบคาร์บอเนต ซึ่งเมื่อถูกความร้อนจะตกตะกอนกลายเป็นหินปูน (Carbonate) เรียกว่ากระด้างชั่วคราว (Temporary hardness) ส่วนความกระด้างที่เกิดจากสารละลายพวกแคลเซียมหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต หรือพวกเกลือจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดบางชนิด เรียกว่ากระด้างถาวร (Permanent hardness) ดังนั้นค่าความกระด้างของน้ำ คือผลรวมของค่าความกระด้างชั่วคราวและความกระด้างถาวร (วนาวรรณ, 2539)

วันเพ็ญและกาญจนรี (2543) กล่าวว่าพรรณไม้น้ำทั่วไปสามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ในน้ำที่มีความกระด้าง 80-160 มิลลิกรัมต่อลิตร (กระด้างเล็กน้อยหรือกระด้างปานกลาง) เช่น ต้นอเมซอนใบยาว *(Echinodorus amazonicus)* เจริญเติบโตได้ดีในน้ำอ่อนถึงน้ำกระด้างปานกลาง คือ 50-300 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น (Anon, 2004)

8. ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) เป็นปัจจัยที่สำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ หากรากพรรณไม้น้ำไม่สามารถดูดน้ำได้ทันกับอัตราการคายน้ำของพรรณไม้น้ำจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำหยุดชงัก และเซลล์ของพรรณไม้น้ำไม่เต่งตึงเท่าที่ควร (สุมิตรา, 2542) พรรณไม้น้ำบางชนิด เช่น สกุลอนูเบียส ต้องมีการรดน้ำหรือสเปรย์น้ำทุกๆ 15-20 นาที ส่วนขาไก่หรือแอมมาเนียควรรดน้ำวันละ 3-4 ครั้ง (วันเพ็ญและกาญจนรี, 2543) ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ (นงนุช, 2544)

9. ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (Electrical conductivity, EC) ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารวัดในรูปของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายค่าความเข้มข้นสารละลายที่เหมาะสมสำหรับพรรณไม้น้ำมีค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 0.5-1.0 mS/cm (นงนุช, 2544) ซึ่งขึ้นกับชนิดของพรรณไม้น้ำ ช่วงอายุการเจริญเติบโต สภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิของน้ำ ความเข้มแสงเป็นต้น (อิทธิสุนทร, 2538) ค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเจริญของมอสชวา *(Vesicularia dubyana)* อยู่ที่ 0.15 mS/cm (ปฐมาพร, 2544) ต้นขาไก่ด่าง *(Hygrophila polysperma)* อยู่ที่ 0.26-0.32 mS/cm (วิกานดา, 2543) ต้นอนูเบียส (*Anubias nana)* อยู่ที่ 0.5 mS/cm (รจณี, 2546) และต้นดาวกระจาย *(Hygrophila difformis)* อยู่ที่ 0.72 mS/cm เป็นต้น (มณีรัตน์ และคณะ, 2540)

10. วัสดุปลูก หน้าที่ของวัสดุปลูกเป็นที่อยู่ของรากพรรณไม้น้ำ สารละลายธาตุอาหารและอากาศวัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับพรรณไม้น้ำ คือ ทราย ใยหิน ฟองน้ำ (นงนุช, 2544)

มณีรัตน์ และคณะ (2540) ทำการศึกษาวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวกระจาย *(Hygrophila difformis)* 4 ชนิดเป็นเวลา 8 สัปดาห์พบว่าปะการังขนาด 1-2 มิลลิเมตร เป็นวัสดุปลูกที่ทำให้ต้นดาวกระจายเจริญเติบโตได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ กรวดขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1-2 มิลลิเมตร ทรายหยาบขนาด 0.5-1 มิลลิเมตร และกรวดขนาด 3-5 มิลลิเมตร โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 150 กรัมเป็น 320, 264, 250 และ 230 กรัมตามลำดับ

การสะสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของพืช

ไนโตรเจน (N) เป็นธาตุที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืช พืชแต่ละระยะต้องการไนโตรเจนในปริมาณที่ไม่เท่ากัน การให้ไนโตรเจนในรูปที่ต่างกันก็มีผลต่อการสะสมไนโตรเจนที่ส่วนต่างๆ ของพืชในปริมาณที่ต่างกัน (Tan et al., 2000a) ในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน รูปของไนโตรเจนที่ใช้ควรมีสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแอมโมเนียม (NH_4^+) กับ ไนเตรท (NO_3^-) มีการศึกษามาก่อนว่า ปริมาณแอมโมเนียมไม่ควรเกิน 50 เปอร์เซ็นต์ ของความเข้มข้นไนโตรเจนทั้งหมดในสารละลาย แต่สัดส่วนที่เหมาะสมมักใช้ ไนเตรทเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ และแอมโมเนียม 25 เปอร์เซ็นต์ ถ้าใช้แอมโมเนียมในปริมาณมากเกินไป อาจเกิดเป็นพิษกับพืชบางชนิดได้ (สุมิตรา, 2542) พืชมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช โดยเฉพาะระยะต้นอ่อนเพื่อการพัฒนาส่วนต่างๆที่ยังอ่อน (Jones, 1997) ซึ่งไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน นิวคลีโอไทด์ (nucleotide) และคลอโรฟิล สารประกอบเหล่านี้มีความสำคัญมากต่อขบวนการเมตตาโบลิซึมของพืช การเติมนิเกิลลงไปในอาหารพืชจะมีผลสนับสนุนในการสะสมไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ของพืช (tan et al., 2000b) พืชที่ได้รับไนโตรเจนเพียงพอ จะมีการเจริญเติบโตดี มีความแข็งแรง ใบมีสีเขียวเข้มขึ้น ถ้าพืชได้รับไนโตรเจนมาก แต่ได้รับธาตุอื่น เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม หรือกำมะถัน ในสัดส่วนที่ไม่เหมาะสมจะทำให้พืชแก่ช้า ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่จัดว่าเคลื่อนที่ได้ในพืช ซึ่งรากเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของไนโตรเจน (Jones, 1997) และความหนาแน่นของรากมีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหาร (Bar-Tal et.al., 1995) ดังนั้น เมื่อส่วนของพืชที่กำลังเจริญเติบโต (ใบและยอดอ่อน) ได้รับไนโตรเจนไม่เพียงพอ ไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในส่วนที่เป็นใบแก่จะถูกเคลื่อนย้ายไปยังส่วนที่เป็นใบอ่อน ทำให้พืชแสดงอาการผิดปกติที่บริเวณใบแก่ อาการขาดไนโตรเจนที่พบทั่วไปคือ พืชจะเจริญเติบโตช้า เนื่องจากขบวนการสร้างโปรตีนของพืชผิดปกติ ใบแก่จะมีสีเหลือง เพราะปริมาณคลอโรฟิลลดลง ในพืชหลายชนิด ปลายใบแก่จะมีสีเหลืองก่อน แล้วแถบสีเหลืองนั้นจะลุกลามเข้าไปยังเส้นกลางใบ โดยที่ขอบใบยังเขียวอยู่ ถ้าอาการขาดรุนแรงขึ้น ใบแก่ที่อยู่ส่วนล่างของลำต้นจะแห้งตาย การขาดไนโตรเจนเกิดได้อย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกัน ก็สามารถแก้ไขได้อย่างรวดเร็วโดยการใส่ปุ๋ยให้พืชอย่างเพียงพอ (สุมิตรา, 2542)

ฟอสฟอรัส (P) พบในพืชประมาณ 0.1-0.4 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยกว่าไนโตรเจนประมาณ 10 เท่า ฟอสฟอรัสมีหน้าที่ที่เกี่ยวกับการถ่ายเทพลังงาน ซึ่งเป็นขบวนการทางสรีรวิทยาที่สำคัญอย่างยิ่ง พลังงานที่ได้จากการสังเคราะห์แสงและเมตตาโบลิซึมของสารประกอบคาร์โบไฮเดรทจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกเก็บไว้ในรูปของสารประกอบฟอสเฟต (อะดิโนซีนไตรฟอสเฟต, ATP) สำหรับใช้ในการเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ของพืช นอกจากนั้น ฟอสฟอรัสยังเป็นส่วนประกอบของ นิวคลีโอไทด์ และฟอสฟอไลปิดอีกด้วย ซึ่งความสำคัญของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของพืชคือ ช่วยทำให้การแบ่งเซลล์และการพัฒนาของส่วนที่เจริญเติบโตของพืช (ยอดและราก) เป็นไปได้ดี ฟอสฟอรัสช่วยให้พืชออกดอกและแก่เร็ว ทำให้พืชมีความแข็งแรง ต้านทานต่อโรคและแมลง ถ้าพืชได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณน้อยกว่าความต้องการ พืชจะมีขนาดของต้นลดลง ลำต้นและใบแคระแกรน การเติบโตของระบบรากไม่ดี ใบแก่ของพืชจะมีสีเขียวเข้ม หรือสีม่วงเนื่องจากมีการสะสมคาร์โบไฮเดรทมากเกินไป (สุมิตรา, 2542)

การสะสมธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ได้มีการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในพรรณไม้น้ำ เพื่อศึกษาการดูดซึมธาตุอาหารไปใช้สร้างอาหารสะสมของพืชในเนื้อเยื่อ ซึ่งพรรณไม้น้ำหลายชนิดมีการสะสมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อมีระดับเหมาะสมอยู่ที่ 1.3 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจน และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ ของฟอสฟอรัส และยังมีการศึกษาไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในพรรณไม้น้ำ 13 ชนิด จากแหล่งน้ำ 9 แหล่งได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าการสะสมของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระดับเหมาะสม ผลปรากฏว่า มีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าระดับเหมาะสม ส่วนไนโตรเจนอยู่ในระดับเหมาะสม สรุปได้ว่าพืชสามารถดูดซึมฟอสฟอรัสได้มากกว่าระดับเหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืช (Gerloff and Krombholz, 1966 อ้างโดย จุรีพร, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. พรรณไม้น้ำจำนวน 200 ต้น
2. ปุ๋ยสูตร 25-5-5
3. ถังพลาสติกขนาด 30 x 40 cm. จำนวน 24 ใบ
4. หัวทราย จำนวน 24 หัว
5. สายออกซิเจน จำนวน 24 เส้น
6. แผ่นโฟมตัดขนาด 30 x 40 cm. จำนวน 24 แผ่น
7. ถุงพลาสติกสีดำ
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง
10. เครื่องวัดออกซิเจน
11. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC meter)
12. เครื่องวัดแสง
13. เครื่องชั่งน้ำหนัก
14. กระบอกฉีดน้ำ
15. สารเคมี กรดไนตริก (HNO_3) สำหรับปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
16. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ แอมโมเนียม (NH_3) ไนไตร์ท (NO_2) ไนเตรท (NO_3) และ ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (SRP)
17. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในพืช

วิธีการ

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ปัจจัยคือระดับความเข้มข้นของปุ๋ย 6 ระดับ ได้แก่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ppm ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 การปลูกอเมซอนใบยาวที่ความเข้มข้นของปุ๋ย 5 ppm

ชุดการทดลองที่ 2 การปลูกอเมซอนใบยาวที่ความเข้มข้นของปุ๋ย 10 ppm

ชุดการทดลองที่ 3 การปลูกอเมซอนใบยาวที่ความเข้มข้นของปุ๋ย 15 ppm

ชุดการทดลองที่ 4 การปลูกอเมซอนใบยาวที่ความเข้มข้นของปุ๋ย 20 ppm

ชุดการทดลองที่ 5 การปลูกอเมซอนใบยาวที่ความเข้มข้นของปุ๋ย 25 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดการทดลองที่ 6 การปลูกอเมซอนใบยาวที่ความเข้มข้นของปุ๋ย 30 ppm

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายปุ๋ย

   ชั่งปุ๋ยสูตร 25-5-5 จำนวน 40 กรัม ละลายน้ำ 1 ลิตร ได้สารละลายปุ๋ยมีความเข้มข้น 40 ppt

2. การเตรียมน้ำ

   2.1 เตรียมน้ำที่มีความเข้มข้นของปุ๋ยระดับต่างๆ ปริมาณ 16 ลิตรต่อถัง

   2.2 เติมจุลธาตุปริมาณ 5 มิลลิลิตรต่อถัง

   2.3 เก็บน้ำตัวอย่างวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ แอมโมเนียม (NH_3) ไนไตร์ท (NO_2) ไนเตรท (NO_3) และ ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (SRP) ก่อนการปลูกพรรณไม้น้ำ และก่อนการเปลี่ยนน้ำทุกครั้ง

3. การปลูกพรรณไม้น้ำ

   3.1 นำพรรณไม้น้ำมาชั่งน้ำหนัก บันทึกข้อมูล

   3.2 นำพรรณไม้น้ำพันด้วยฟองน้ำและนำมาใส่ถ้วย ปลูกในแผ่นโฟมที่ลอยอยู่ในน้ำที่เตรียมไว้ จำนวน 5 ต้นต่อ 1 ซ้ำ มีการให้ออกซิเจนในถัง

   3.3 เปลี่ยนน้ำทุก 14 วัน

   3.4 วัดค่าการนำไฟฟ้า (ค่า EC) ก่อนการเปลี่ยนน้ำและหลังการเปลี่ยนน้ำ

   3.5 วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และปรับให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.0 –7.0 โดยใช้กรดไนตริก (HNO_3) บันทึกปริมาตรกรดที่ใช้

   3.6 วัดอุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน และปริมาณแสง โดยแสงวัดที่เวลา 8.00 10.00 12.00 14.00 16.00 และ 18.00 น. ทุก 14 วัน

   3.7 ชั่งน้ำหนักพรรณไม้น้ำแต่ละต้นทุก 14 วัน บันทึกผล

   3.8 เมื่อสิ้นสุดการทดลองชั่งน้ำหนักรวมของพรรณไม้น้ำ บันทึกผล

4. การหาปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในพรรณไม้น้ำ

   4.1 นำพรรณไม้น้ำมาหาน้ำหนักแห้ง โดยชั่งน้ำหนักกระดาษฟอยล์ และชั่งน้ำหนักกระดาษฟอยล์รวมกับพรรณไม้น้ำในแต่ละซ้ำการทดลอง

   4.2 นำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

   4.3 รอให้เย็นที่อุณหภูมิห้องโดยเก็บไว้ในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

   4.4 นำพรรณไม้น้ำที่อบแห้งไปวิเคราะห์ไนโตรเจนในพืช ตามวิธีของเคลดาล (ปรีดา และคณะ, 2536) และฟอสฟอรัสที่สะสมในพืช (ดังแสดงในภาคผนวกที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบันทึกข้อมูล

1. บันทึกค่า แอมโมเนียม (NH_3) ไนไตร์ท (NO_2) ไนเตรท (NO_3) และ ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (SRP) ที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำ
2. บันทึกค่า อุณหภูมิของน้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณแสง และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ
3. บันทึกค่าการนำไฟฟ้า (ค่า EC) ก่อนการเปลี่ยนน้ำและหลังการเปลี่ยนน้ำ
4. บันทึกน้ำหนักของพรรณไม้น้ำที่เพิ่มขึ้นในแต่ละซ้ำการทดลองทุก 2 สัปดาห์
5. บันทึกปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่สะสมในพรรณไม้น้ำ

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลอง ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในพรรณไม้น้ำ มาวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS for window version 11.5

สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

ระยะเวลาในการทดลอง

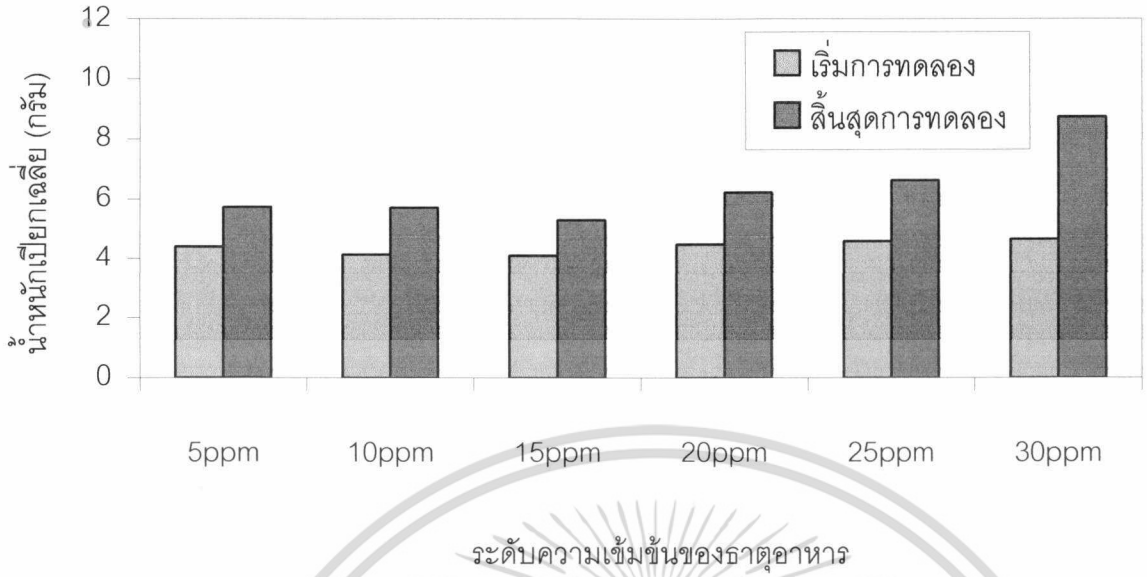
เดือนกุมภาพันธ์ 2547 ถึง เดือนพฤษภาคม 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

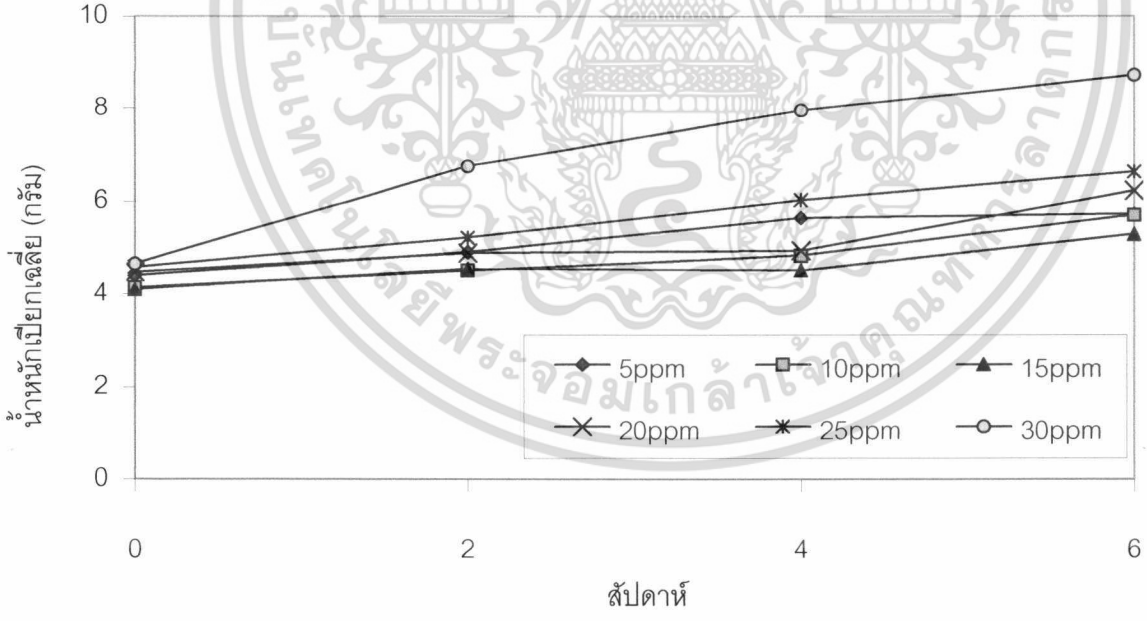
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาระดับธาตุอาหารที่เหมาะสม ต่อการเจริญเติบโตของต้นอเมซอนใบยาวในระบบการปลูกแบบไร้ดินที่ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร (N-P-K) สูตร 25-5-5 ระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตรทำให้ต้นอเมซอนใบยาวเจริญเติบโตดีที่สุดซึ่งมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4.09 $\pm$ 0.55 กรัม รองลงมาที่ระดับความเข้มข้น 25, 20, 10, 5 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักเพิ่ม 2.04 $\pm$ 0.63 , 1.76 $\pm$ 0.28, 1.57 $\pm$ 0.59, 1.33 $\pm$ 0.41 และ 1.19 $\pm$ 0.28 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 2) และเมื่อนำน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยของต้นอเมซอนใบยาวในแต่ละชุดการทดลองมาเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยของต้นอเมซอนใบยาวที่ปลูกในธาตุอาหารระดับความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตรมีความแตกต่างจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยของชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ส่วนชุดการทดลองที่ใช้ระดับความเข้มข้นธาตุอาหาร 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของต้นอเมซอนใบยาวมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 2 และภาพที่ 3) เมื่อนำต้นอเมซอนใบยาวมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าต้นอเมซอนใบยาวมีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 12.89 $\pm$ 0.21, 13.35 $\pm$ 0.46, 13.64 $\pm$ 0.29, 12.96 $\pm$ 0.46, 13.25 $\pm$ 0.35 และ 13.11 $\pm$ 0.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อนำน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นอเมซอนใบยาวในแต่ละชุดการทดลองมาเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของต้นอเมซอนใบยาว มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 2) ต่างจากการทดลองของ มณีรัตน์ และคณะ (2540) ซึ่งทดลองปลูกต้นดาวกระจายด้วยปุ๋ย NPK สูตร 25-5-5 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของปุ๋ย 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ต้นดาวกระจายเจริญเติบโตได้ดีที่สุด โดยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจาก 150 กรัมเป็น 1,185 กรัม รองลงมาได้แก่ ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็น 1,090 และ 1,080 กรัมตามลำดับส่วนบ่อที่ไม่ใส่ปุ๋ยจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเพียง 650 กรัม นอกจากนี้ อัมพร (2540) ได้ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำสกุล *Echinodorus amazonicus* (อเมซอนใบยาว) โดยใช้วัสดุปลูกและให้ปุ๋ยแตกต่างกัน 4 แบบ คือ ชุดการทดลองที่ 1 ทรายหยาบ ร่วมกับปุ๋ยวิทยาศาสตร์ ชุดการทดลองที่ 2 ดินร่วน ร่วมกับปุ๋ยวิทยาศาสตร์ ชุดการทดลองที่ 3 ดินร่วน ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ด ชุดการทดลองที่ 4 ดินร่วน ร่วมกับปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ดและปุ๋ยวิทยาศาสตร์ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าอเมซอนใบยาวมีการเจริญเติบโตดีที่สุดในชุดการทดลองที่ 4 รองลงมาคือ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2 น้ำหนักเริ่มต้น และน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (กรัม) ของต้นอเมซอนใบยาว ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์



ภาพที่ 3 การเจริญเติบโตของต้นอเมซอนใบยาวที่ปลูกในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยในสัปดาห์ที่ 2 สัปดาห์ที่ 4 สัปดาห์ที่ 6 และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของต้นอเมซอนใบยาวที่ปลูกในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย ± SE	น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย ± SE	น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสัปดาห์ที่ 2 ± SE	น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสัปดาห์ที่ 4 ± SE	น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสัปดาห์ที่ 6 ± SE	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ย ± SE
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	4.40 ± 0.04[a]	5.73 ± 0.45[a]	0.51 ± 0.28[a]	1.25 ± 0.18[a]	1.33 ± 0.41[a]	12.89 ± 0.21[a]
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	4.14 ± 0.37[a]	5.71 ± 0.78[a]	0.37 ± 0.10[a]	0.70 ± 0.45[a]	1.57 ± 0.59[a]	13.35 ± 0.46[a]
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	4.10 ± 0.27[a]	5.29 ± 0.32[a]	0.45 ± 0.29[a]	0.42 ± 0.50[a]	1.19 ± 0.28[a]	13.64 ± 0.29[a]
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	4.47 ± 0.45[a]	6.23 ± 0.59[a]	0.42 ± 0.10[a]	0.47 ± 0.07[a]	1.76 ± 0.28[a]	12.96 ± 0.46[a]
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	4.59 ± 0.18[a]	6.63 ± 0.50[a]	0.63 ± 0.30[a]	1.45 ± 0.56[a]	2.04 ± 0.63[a]	13.25 ± 0.35[a]
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	4.66 ± 0.19[a]	8.74 ± 0.58[b]	2.09 ± 0.63[b]	3.30 ± 0.37[b]	4.09 ± 0.55[b]	13.11 ± 0.18[a]

* อักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

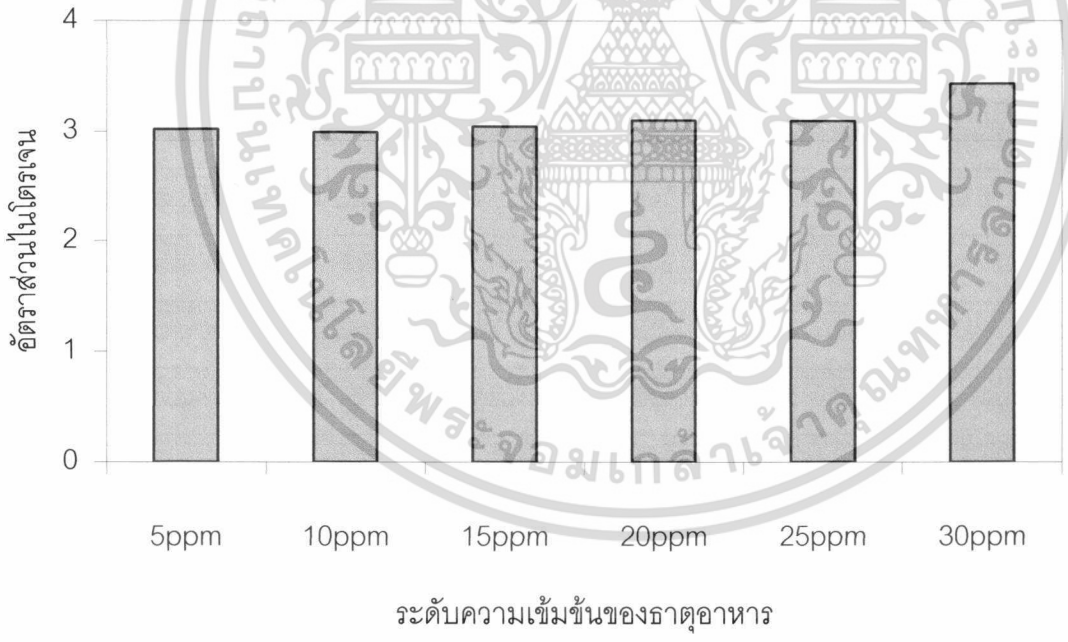
จากการวิเคราะห์หาอัตราส่วนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในต้นอเมซอนใบยาวพบว่า ต้นอเมซอนใบยาวที่ปลูกในระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร 30 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราส่วนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสะสมอยู่สูงที่สุดคือ 3.43 $\pm$ 0.05 และ 3.74 $\pm$ 0.13 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อัตราส่วนไนโตรเจนที่สะสมในต้นอเมซอนใบยาวที่ปลูกในธาตุอาหารระดับความเข้มข้น 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีอัตราส่วนไนโตรเจน 3.02 $\pm$ 0.10, 2.99 $\pm$ 0.05, 3.05 $\pm$ 0.15, 3.10 $\pm$ 0.15 และ 3.10 $\pm$ 0.06 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อนำอัตราส่วนไนโตรเจนที่สะสมในต้นอเมซอนใบยาวในแต่ละชุดการทดลองมาเปรียบเทียบทางสถิติพบว่า อัตราส่วนไนโตรเจนที่สะสมในต้นอเมซอนใบยาว ในชุดการทดลองที่ใช้ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร 30 มิลลิกรัมต่อลิตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ ส่วนในชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าอัตราส่วนไนโตรเจนที่สะสมในต้นอเมซอนใบยาวมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 3 และภาพที่ 4) อัตราส่วนฟอสฟอรัสที่สะสมในต้นอเมซอนใบยาวที่ปลูกในระดับธาตุอาหาร 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีอัตราส่วนฟอสฟอรัส 2.78 $\pm$ 0.27, 3.35 $\pm$ 0.19, 3.34 $\pm$ 0.20, 3.43 $\pm$ 0.11 และ 3.46 $\pm$ 0.13 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อนำอัตราส่วนฟอสฟอรัสที่สะสมในต้นอเมซอนใบยาวในแต่ละชุดการทดลองมาเปรียบเทียบทางสถิติพบว่า อัตราส่วนฟอสฟอรัสที่สะสมในต้นอเมซอนใบยาวในชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร 5 มิลลิกรัม มีความแตกต่างกันกับชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ส่วนชุดการทดลองที่ใช้ระดับความเข้มข้นธาตุอาหาร 10, 15, 20, 25 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าอัตราส่วนฟอสฟอรัสที่สะสมในต้นอเมซอนใบยาวมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 3 และภาพที่ 5) สุมิตรา (2542) กล่าวว่าพืชจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 0.5 – 5 เปอร์เซ็นต์ และมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบประมาณ 0.1-0.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะพบน้อยกว่าไนโตรเจนถึง 10 เท่า แต่พรรณไม้น้ำหลายชนิดมีการสะสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อที่ระดับเหมาะสมอยู่ที่ 1.3 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจน และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ ของฟอสฟอรัส และยังมีการศึกษาไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในพรรณไม้น้ำ 13 ชนิด เทียบกับค่าระดับเหมาะสมพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าระดับเหมาะสม แต่ไนโตรเจนอยู่ในระดับเหมาะสม สรุปได้ว่าพืชสามารถดูดซึมฟอสฟอรัสได้มากกว่าระดับเหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืช (Gerloff and Krombholz, 1966 อ้างโดย จุรีพร, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในต้นอเมซอนใบยาว ที่ปลูกในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

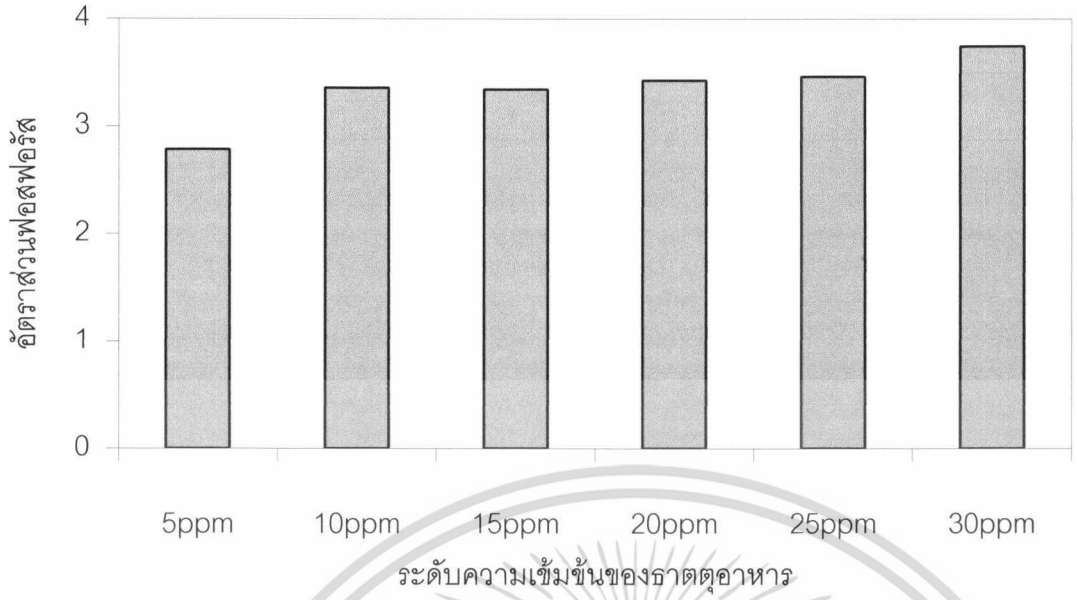
ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน ± SE	เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส ± SE
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	3.02 ± 0.10^{b}	2.78 ± 0.27^{b}
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	2.99 ± 0.05^{b}	3.35 ± 0.19^{a}
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	3.05 ± 0.15^{b}	3.34 ± 0.20^{a}
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	3.10 ± 0.15^{b}	3.43 ± 0.11^{a}
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	3.10 ± 0.06^{b}	3.46 ± 0.13^{a}
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	3.43 ± 0.05^{a}	$3.74 \pm .013^{a}$

* อักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 4 อัตราส่วนไนโตรเจนที่สะสมในอเมซอนใบยาว ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
99254



ภาพที่ 5 อัตราส่วนฟอสฟอรัสที่สะสมในอเมซอนใบยาว ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

ค่าคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ได้ ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในชุดการทดลองที่ธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันมีค่าเฉลี่ย 0.15 $\pm$ 0.04, 0.10 $\pm$ 0.02, 0.13 $\pm$ 0.01, 0.12 $\pm$ 0.03, 0.13 $\pm$ 0.05 และ 0.10 $\pm$ 0.02 ตามลำดับ เมื่อนำค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 4) ค่าไนไตร์ท-ไนโตรเจน ในชุดการทดลองที่ธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันมีค่าเฉลี่ย 0.0122 $\pm$ 0.0010, 0.0142 $\pm$ 0.0028, 0.0121 $\pm$ 0.0004, 0.0164 $\pm$ 0.0014, 0.0501 $\pm$ 0.0273 และ 0.0440 $\pm$ 0.0258 ตามลำดับ เมื่อนำค่าไนไตร์ท-ไนโตรเจนมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 4) ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ในชุดการทดลองที่ธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันมีค่าเฉลี่ย 18.73 $\pm$ 1.31, 15.98 $\pm$ 1.33, 18.93 $\pm$ 0.30, 18.21 $\pm$ 0.98, 19.09 $\pm$ 0.92 และ 21.18 $\pm$ 0.47 ตามลำดับ เมื่อนำค่าไนเตรท-ไนโตรเจนมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร แตกต่างจากชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ 15, 25 และ 30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ (ตารางที่ 4) ค่าฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ ในชุดการทดลองที่ธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันมีค่าเฉลี่ย 0.0802 $\pm$ 0.0083, 0.1388 $\pm$ 0.0090, 0.2123 $\pm$ 0.0098, 0.3257 $\pm$ 0.0169, 0.4609 $\pm$ 0.0205 และ 0.5616 $\pm$ 0.0395 ตามลำดับ เมื่อนำค่าฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธาตุอาหารที่ 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P <0.05) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับชุดการทดลองอื่น และในชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ 15, 20, 25 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตร์ท-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ ที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

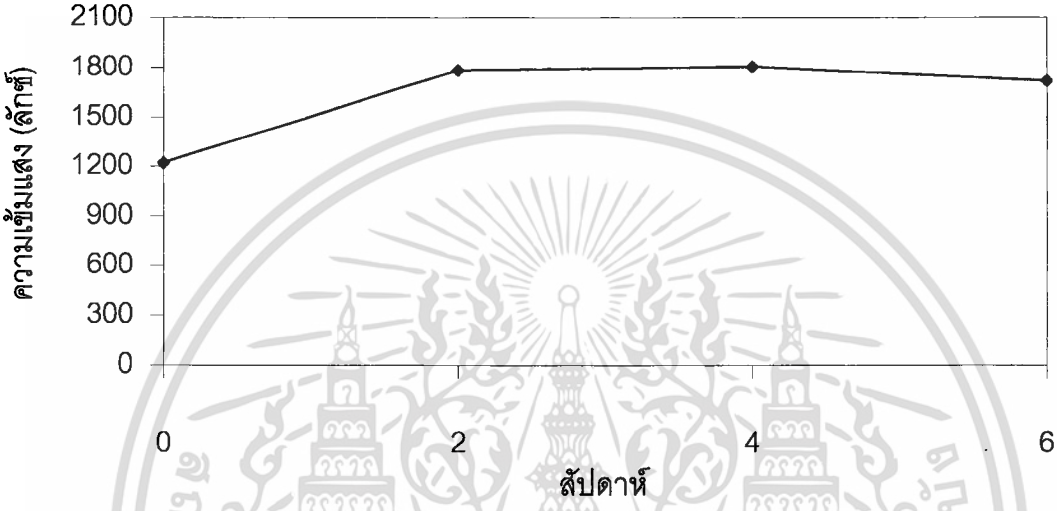
ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ±SE	ไนไตร์ท-ไนโตรเจน ± SE	ไนเตรท-ไนโตรเจน ±SE	ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ ± SE
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.15 ± 0.04^{a}	0.0122 ± 0.0010^{a}	18.73 ± 1.31^{ab}	0.0802 ± 0.0083^{a}
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.10 ± 0.02^{a}	0.0142 ± 0.0028^{a}	15.98 ± 1.33^{a}	0.1388 ± 0.0090^{a}
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.13 ± 0.01^{a}	0.0121 ± 0.0004^{a}	18.93 ± 0.30^{b}	0.2123 ± 0.0098^{b}
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.12 ± 0.03^{a}	0.0164 ± 0.0014^{a}	18.21 ± 0.98^{a}	0.3257 ± 0.0169^{c}
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.13 ± 0.05^{a}	0.0501 ± 0.0273^{a}	19.09 ± 0.92^{b}	0.4609 ± 0.0205^{d}
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.10 ± 0.02^{a}	0.0440 ± 0.0258^{a}	21.18 ± 0.47^{b}	0.5616 ± 0.0395^{e}

* อักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

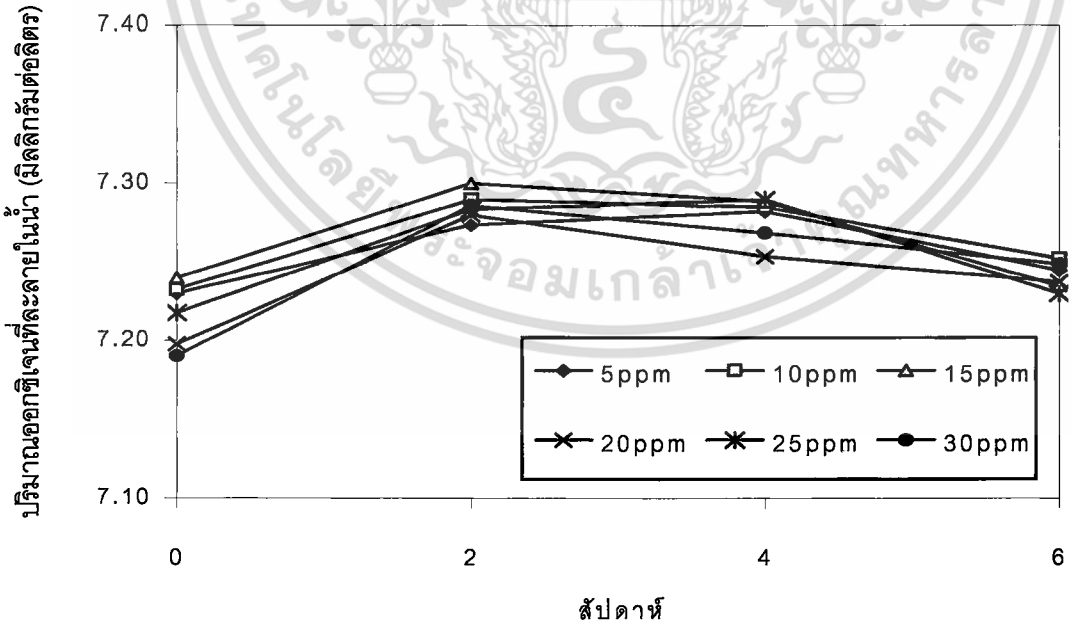
ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต จากการทดลองพบว่าความเข้มแสงตลอดการทดลองมีค่าเฉลี่ย 1,633.18 ± 138.87 ลักซ์ (ตารางที่ 5 และภาพที่ 6) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในชุดการทดลองที่ธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันมีค่าเฉลี่ย 7.26 ± 0.01, 7.27 ± 0.01, 7.27 ± 0.02, 7.24 ± 0.02, 7.26 ± 0.02 และ 7.25 ± 0.02 ตามลำดับ เมื่อนำปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 5 และภาพที่ 7) อุณหภูมิของน้ำในการทดลองมีค่าเฉลี่ย 30.54 ± 1.13, 30.56 ± 1.11, 30.53 ± 1.11, 30.54 ± 1.11, 30.54 ± 1.11 และ 30.56 ± 1.12 ตามลำดับ เมื่อนำอุณหภูมิมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 5 และภาพที่ 8) ความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าเฉลี่ย 7.15 ± 0.16, 7.16 ± 0.16, 7.12 ± 0.16, 7.05 ± 0.19, 7.09 ± 0.17 และ 7.01 ± 0.21 ตามลำดับ ซึ่งในช่วงการทดลอง 4 สัปดาห์แรกรักษาค่าความเป็นกรดเป็นด่างไว้ที่ 6.5-7.0 เพื่อป้องกันการตกตะกอนของเหล็ก แต่พบว่าอเมซอนใบยาวเกิดอาการรากเน่าเปื่อยจึงปรับมาอยู่ที่ระดับ 7.0-7.5 และมีการเติมธาตุเหล็กเป็นระยะเพื่อป้องกันการขาดธาตุเหล็ก พบว่าอเมซอนใบยาวมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น เมื่อนำค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นกรดเป็นด่างมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 5 และภาพที่ 9) ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย มีค่าเฉลี่ย 0.35 ± 0.02, 0.35 ± 0.02, 0.36 ± 0.02, 0.36 ± 0.02, 0.36 ± 0.02 และ 0.36 ± 0.02 ตามลำดับ เมื่อนำค่าการนำไฟฟ้ามาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 5 และภาพที่ 10)



ภาพที่ 6 ปริมาณความเข้มแสงบริเวณที่ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์



ภาพที่ 7 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

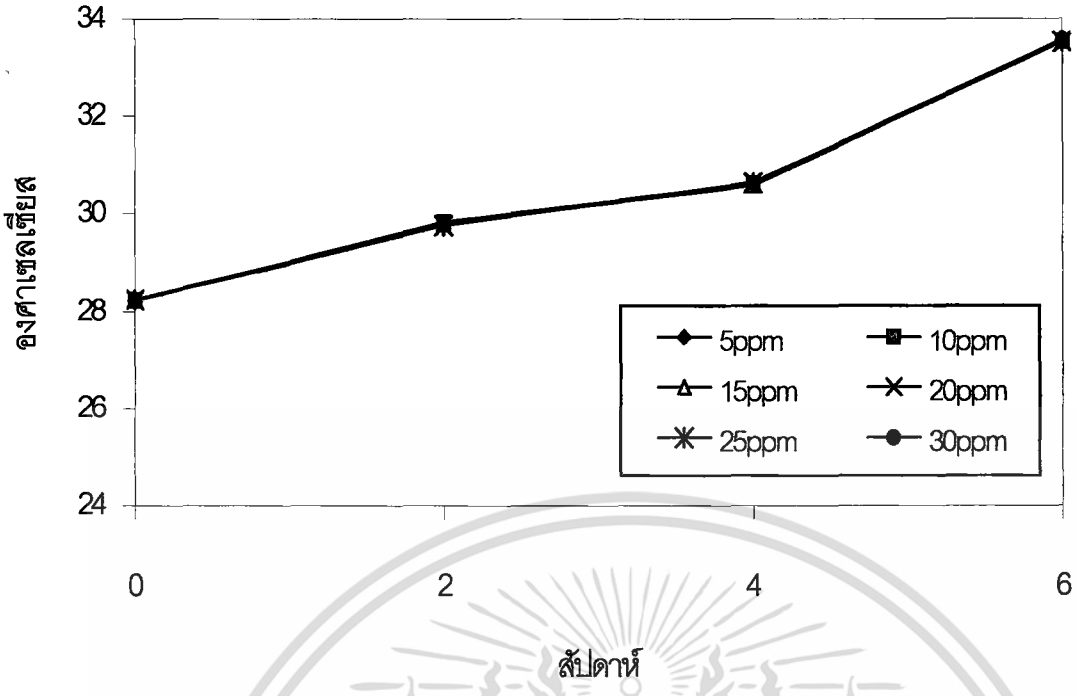
ตารางที่ 5 คุณสมบัติของน้ำ ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	ความเข้มแสง ± SE	ปริมาณออกซิเจน ± SE	อุณหภูมิของน้ำ ± SE	ความเป็นกรดเป็นด่าง ± SE	ค่าการนำไฟฟ้า ± SE
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	1633.18 ± 138.87	7.26 ± 0.01[a]	30.54 ± 1.13[a]	7.15 ± 0.16[a]	0.35 ± 0.02[a]
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	1633.18 ± 138.87	7.27 ± 0.01[a]	30.56 ± 1.11[a]	7.16 ± 0.16[a]	0.35 ± 0.02[a]
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	1633.18 ± 138.87	7.27 ± 0.02[a]	30.53 ± 1.11[a]	7.12 ± 0.16[a]	0.36 ± 0.02[a]
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	1633.18 ± 138.87	7.24 ± 0.02[a]	30.54 ± 1.11[a]	7.05 ± 0.19[a]	0.36 ± 0.02[a]
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	1633.18 ± 138.87	7.26 ± 0.02[a]	30.54 ± 1.11[a]	7.09 ± 0.17[a]	0.36 ± 0.02[a]
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	1633.18 ± 138.87	7.25 ± 0.02[a]	30.56 ± 1.12[a]	7.01 ± 0.21[a]	0.36 ± 0.02[a]

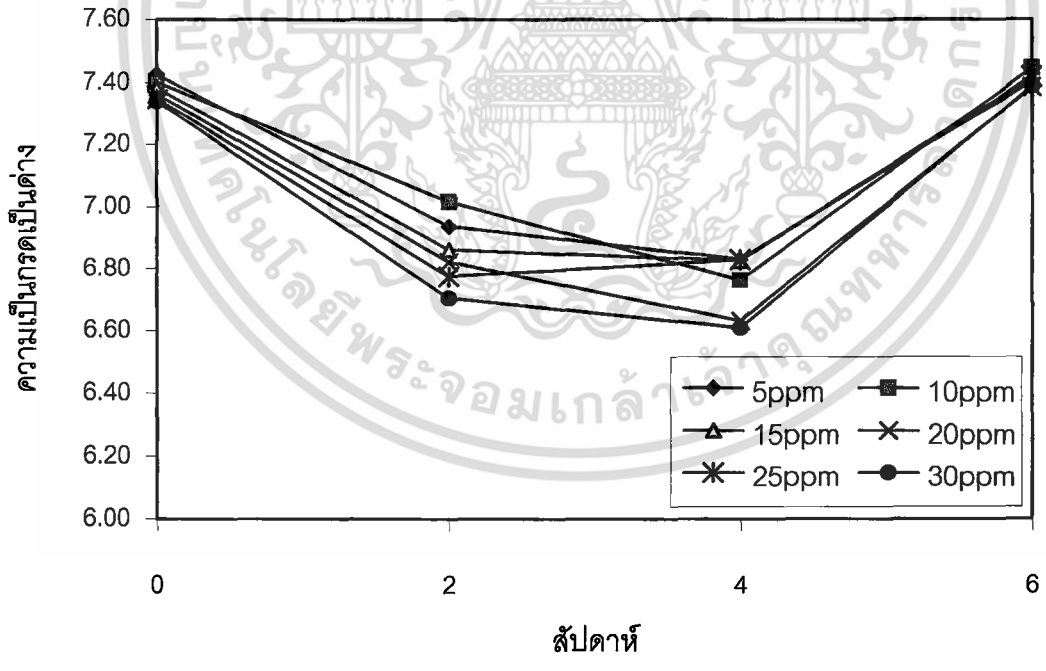
* อักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ห้องสมุดกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

20503

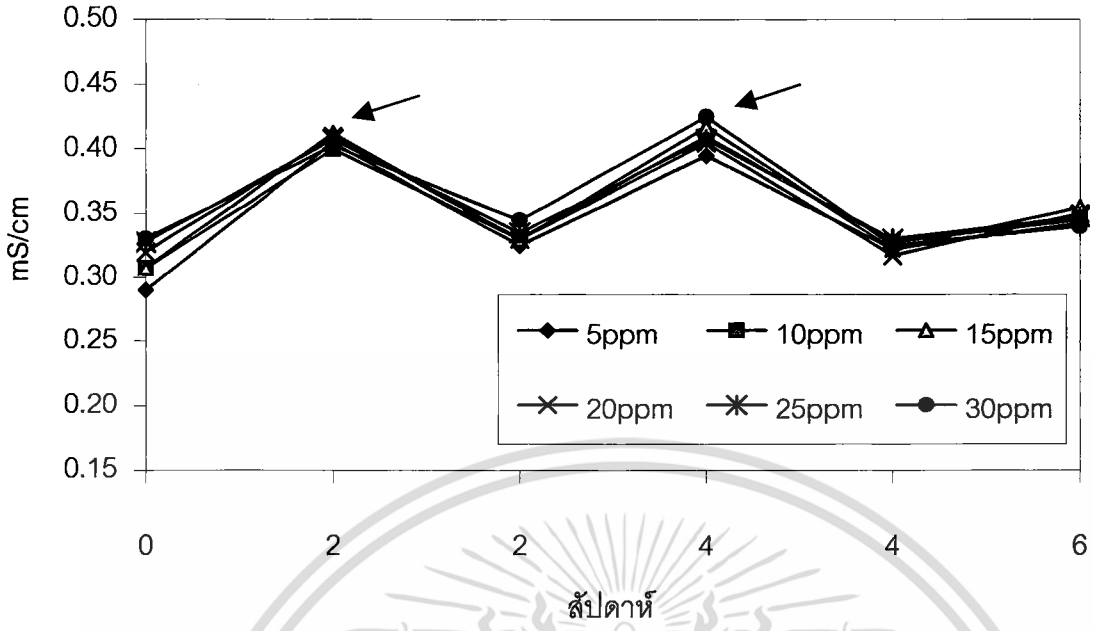


ภาพที่ 8 อุณหภูมิของน้ำ ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์



ภาพที่ 9 ความเป็นกรดเป็นด่าง ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 10 การนำไฟฟ้า ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

หมายเหตุ ◄— ก่อนเปลี่ยนสารละลายใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

จากการทดลองปลูกต้นอเมซอนใบยาวแบบไร้ดิน ที่ระดับธาตุอาหารความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าชุดการทดลองที่ใช้ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร 30 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการเจริญเติบโตดีที่สุด มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4.09 $\pm$ 0.55 กรัม รองลงมาที่ระดับความเข้มข้น 25, 20, 10, 5 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.04 $\pm$ 0.63 , 1.76 $\pm$ 0.28, 1.57 $\pm$ 0.59, 1.33 $\pm$ 0.41 และ 1.19 $\pm$ 0.28 กรัม ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์หาอัตราส่วนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในต้นอเมซอนใบยาวพบว่า ต้นอเมซอนใบยาวที่ปลูกในระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร 30 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราส่วนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสะสมอยู่สูงที่สุดคือ 3.43 $\pm$ 0.05 และ 3.74 $\pm$ 0.13 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อัตราส่วนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สะสมในต้นอเมซอนใบยาวที่ปลูกในธาตุอาหารระดับความเข้มข้น 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีอัตราส่วนไนโตรเจน 3.02 $\pm$ 0.1, 2.99 $\pm$ 0.05, 3.05 $\pm$ 0.15, 3.10 $\pm$ 0.15 และ 3.10 $\pm$ 0.06 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ อัตราส่วนฟอสฟอรัส 2.78 $\pm$ 0.27, 3.35 $\pm$ 0.19, 3.34 $\pm$ 0.20, 3.43 $\pm$ 0.11 และ 3.46 $\pm$ 0.13 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการทดลองใช้ธาตุอาหารระดับความเข้มข้นมากกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นที่สามารถทำให้ต้นอเมซอนใบยาวเจริญเติบโตได้ดีที่สุด

2. ควรทำการทดลองกับธาตุอาหารหลายๆ สูตรเพื่อหาชนิดของธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นอเมซอนใบยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

จตุรงค์ จันทร์สี่ทิศ. 2543. การปลูกพืชไม่ใช้ดิน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, อ. กำแพงแสน, จ. นครปฐม.

จุรีพร อัศวรัตนภักดี. 2543. ผลของการดูดซึมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีต่อคุณภาพน้ำและการเจริญเติบโตพรรฯไม้น้ำ. ปัญหาพิเศษ ปริญญาตรี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.

ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์. 2534. ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. พรานนกการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 127 น.

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

ปฐมาพร ปานคล้ำ. 2544. ปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมอสชวา (*Vesicularia dubyana).* ปัญหาพิเศษ ปริญญาตรี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.

ปรีดา พากเพียร พิชิต พงษ์สกุล และวิศิษฐ์ โชลิตกุล. 2536. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 45 น.

มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ วันเพ็ญ มีนกาญจน์ และศิริ วัดสว่าง. 2540. ปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวกระจาย *Hygrophila difformis.* สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด, กรมประมง. 24 น.

รจนี เหลืองเจริญ. 2546. ระดับความเข้มข้นปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของการปลูกอนูเบียสแบบไร้ดิน. ปัญหาพิเศษ ปริญญาตรี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันเพ็ญ มีนกาญจน์ นงนุช เลาหะวิสุทธิ์ และสุภาพ พรหมยศ. 2535. พรรณไม้น้ำประดับตู้ปลา. สถาบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 44 น.

วันเพ็ญ มีนกาญจน์ และกาญจนรี พงษ์ฉวี. 2543. พรรณไม้น้ำสวยงาม. กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 122 น.

วิกานดา แก้วหลวง. 2543. ปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นขาไก่ด่าง. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.

สุชาดา ศรีเพ็ญ. 2530. พรรณไม้น้ำ. ภาควิชาพฤกษศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 233 น.

สุชาดา ศรีเพ็ญ. 2542. พรรณไม้น้ำในประเทศไทย. อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ. 312 น.

สุมิตรา ภู่วโรดม. 2542. ปัจจัยที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของพืช. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินรุ่นที่ 2, ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. น. 1-13.

อัมพร ภิญโญวิทย์. 2540. อัตราการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ. http://www.rb.ac.th/research/project/rsaggie10.html.

อินธิสุนทร นันทกิจ. 2538. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 143 น.

Anon. 2003. "Hydroponics system" 2003, August 4. http// www.bangsaiagro.com./hydroponics system.htm

Anon. 2004. Plant statistics. http://badmanstropicalfish.com/stats/plants/stats_plants7e. html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bar – Tal, A., A. Feigin, S. Sheinfeld, R. Rosenberg, B. ternbaum, I. Rylski and E. Pressman. 1995. Root restriction and N-NO_3 sollution concentration effect on nutrient uptake,transpiration and dry metter production of tomato. Scientia Hoticulturae. 63 :195 -208.

Han, E. T. 2001. The Aquarium Plant Handbook. 183 pp.

Jones, J.B.Jr. 1997. Hydroponics : A Practical Guide for the soilless Grower. St. Lucie Press, Boca Raton, Florida. 230 pp.

Rhett, A. B. 2002. Plants. Http://www.mongabay.com /fish/plants/Echinodorus amazonicus.htm

Shigenobu, A. 2002. Echinodorus amazonicus. http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/…/HTMLs/amazon-sord.html

Tan, X. W., H. Ikeda and M. Oda. 2000a. 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.

Tan, X. W., H. Ikeda and M. Oda. 2000b. Effect of nikel concentration in the nutrient solution on the nitrogen assimilation and growth of tomato seeding in hydroponics culture supplied with urea or nitrate as the sole nitrogen source. Scientia Horticulturae. 84 : 265 -273.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 1

การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน

สารเคมี

1. กรดกำมะถันเข้มข้น (H_2SO_4 98%)
2. สารเร่งปฏิกิริยา (mixed catalyst)
3. Boric Acid Indicator
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH 4 N)
5. กรดกำมะถัน (H_2SO_4 0.02 N)

วิธีการย่อยสลายตัวอย่าง

ตัวอย่างพืช

↓ - อบที่อุณหภูมิ 65-80 องศาเซลเซียส

↓ - บดให้ละเอียด

ชั่งตัวอย่างพืช 0.2000 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยตัวอย่าง ทำ blank 2 หลอดไม่ใส่ตัวอย่างพืช

↓ - เติมกรดกำมะถัน 98% 4 มิลลิลิตร

↓ - เติมสารเร่งปฏิกิริยา 1.1 กรัม

ย่อยสลายโดยใช้ block ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

↓ - ใช้เวลา 45 นาที จะร้อนได้อุณหภูมิตามต้องการ

↓ - เขย่าหลอดเป็นบางครั้ง

เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง สารละลายในหลอดใสไม่มีสี

ย่อยสลายตัวอย่างต่ออีกจนกระทั่งสารละลายมีสีเขียวใส ใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง

↓ - นำหลอดย่อยตัวอย่างออกจากเตา วางทิ้งให้เย็นในตู้ดูดควัน 30 นาที

↓ - เติมน้ำกลั่นในหลอดช้าๆ เขย่าเบาๆ ให้สารผสมกัน วางทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

↓ - ปรับปริมาตรเป็น 75 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

↓ - ปิดหลอดด้วยแผ่นพาราฟิล์ม

↓ - ทิ้งไว้ค้างคืนเพื่อให้ซิลิก้าตกตะกอน

เทสารละลายเฉพาะส่วนใสจากหลอดเก็บในขวดเก็บสารละลาย 30-40 มิลลิลิตร

เพื่อนำไปกลั่นหาปริมาณไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการกลั่น

เปิดเครื่องกลั่น และล้างเครื่องด้วยการกลั่นน้ำกลั่น 1 ครั้ง

↓

ใส่ boric acid indicator 5 มิลลิลิตร ใน erlenmeyer flask ขนาด 50 มิลลิลิตร
วางในที่รองรับของเครื่องกลั่น โดยปลายก้านอยู่เหนือน้ำยา boric เพียงเล็กน้อย

↓

ปิเปตสารละลายตัวอย่างพืช 15 มิลลิลิตร เติมลงใน distillation flask

↓ - เติม NaOH 4 N 15-20 มิลลิลิตร

เริ่มกลั่นและจับไนโตรเจน ซึ่งอยู่ในรูปของ แอมโมเนียม (NH_4)
ได้ปริมาตรใน erlenmeyer flask ประมาณ 30-35 มิลลิลิตร จึงปิดเครื่องกลั่น

↓

นำ distillation flask ที่ใช้แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้งก่อนจะปิเปตตัวอย่างพืชต่อไป

วิธีการไทเทรต

นำสารละลายใน erlenmeyer flask ของแต่ละตัวอย่าง

↓ - ไทเทรตด้วยกรดกำมะถัน (0.02 N)

สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง
จดบันทึกปริมาตรกรดที่ใช้คำนวณหาปริมาณไนโตรเจน

สูตรการคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{(A - B) \times C \times \frac{14\ \text{gm N}}{1{,}000\ \text{meq}} \times \frac{1{,}000\ \text{mg}}{\text{g}} \times \frac{75\ \text{ml}}{15\ \text{ml}} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างพืช (mg)}}$$

A = มิลลิลิตรของกรดกำมะถัน ที่ใช้ไทเทรต

B = มิลลิลิตรของกรดที่ใช้ไทเทรต blank

C = ความเข้มข้นของกรดกำมะถัน = 0.02 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส

สารเคมี

1. กรดเกลือ (HCl 6 – 6.5 N)
2. กรดไนตริคเข้มข้น (HNO_3)
3. Vanadate reagent
4. Molybdate reagent
5. Stock standard solution (1,000 ppm P)
6. Working Standards
7. กรดเปอร์คลอริคเข้มข้น ($HClO_4$, 70%)

วิธีการย่อยสลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างพืชที่อบแห้ง 0.2000 กรัม ใส่ลงใน crucible

เผาในเตาเผาโดยใช้อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่งโมง

- เมื่อเย็นเติมกรดเกลือ 5 มิลลิลิตร
- ปิดด้วยกระจกนาฬิกา

อุ่นบน hot plate ประมาณ 15 นาที จนเถ้าละลายหมด ถ้ายังละลายไม่หมดเติม กรดไนตริค เข้มข้น 1 มิลลิลิตร แล้วระเหยจนแห้งก่อนที่จะให้ความร้อนต่อไปอีก 1 ชั่วโมง

- เติมกรดเกลืออีกเล็กน้อยละลายตะกอนส่วนที่เหลือ
- เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร
- นำขึ้นอุ่นต่อไปจนตะกอนละลายหมด

กรองสารละลายที่ได้ลงใน volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร

ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เตรียม blank ด้วยวิธีการดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการวัดหาปริมาณฟอสฟอรัส

ปิเปตสารละลายตัวอย่างพืช และ standards (0, 5, 10, 15, 20, ppm P)

อย่างละ 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

- เติม Vanadate reagent 5 **มิลลิลิตร ผสมเข้า**
  ด้วยกัน
- เติม Molybdate reagent 5 **มิลลิลิตร เขย่า**
  ผสมกัน

↓

วางหลอดทิ้งไว้อย่างน้อย 30นาที

วัดความเข้มของสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 420 nm.

สูตรการคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส} = \frac{\text{ppm reading} \times \text{dilution factor} \times 75 \times 10^{-6} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างพืช (กรัม)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 น้ำหนักพรรณไม้น้ำในสัปดาห์ที่ 0

ระดับความเข้มข้นธาตุอาหาร	1	2	3	4	5	รวม 5 ต้น	เฉลี่ย ± SE
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.82	0.96	1.08	0.52	1.04	4.42	4.40 ± 0.04[a]
	0.87	0.69	1.29	0.86	0.72	4.43	
	1.2	0.79	0.86	0.87	0.57	4.29	
	1.32	0.67	0.53	0.88	1.07	4.47	
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.92	1.36	0.59	0.66	1.49	5.02	4.14 ± 0.37[a]
	0.81	0.45	1.12	0.51	0.74	3.63	
	0.52	0.49	0.81	0.57	1.03	3.42	
	0.72	0.84	0.7	1.35	0.87	4.48	
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.69	0.85	0.53	0.93	1.88	4.88	4.10 ± 0.27[a]
	0.87	0.67	1.08	0.44	0.55	3.61	
	0.32	0.77	0.48	1.77	0.68	4.02	
	0.51	0.69	0.96	0.62	1.11	3.89	
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.14	0.46	1.16	0.57	1.22	4.55	4.47 ± 0.45[a]
	0.54	1.05	0.57	0.96	0.63	3.75	
	1.02	0.56	0.94	0.81	0.54	3.87	
	1.75	1.29	0.57	1.39	0.72	5.72	
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.91	0.78	1.02	0.41	1.24	4.36	4.59 ± 0.18[a]
	1.15	1	0.79	0.41	0.85	4.2	
	1.07	0.74	0.86	1.18	1.1	4.95	
	0.83	0.93	0.85	1.15	1.07	4.83	
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.12	0.7	0.8	0.96	1.17	4.75	4.66 ± 0.19[a]
	0.6	1.09	0.54	1.04	1.27	4.54	
	0.64	1.07	0.87	0.68	0.95	4.21	
	0.89	1.01	1.14	1	1.08	5.12	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2 น้ำหนักพรรณไม้น้ำในสัปดาห์ที่ 2

ระดับความเข้มข้นธาตุอาหาร	1	2	3	4	5	รวม 5 ต้น	เฉลี่ย ± SE
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.65	1.33	1.81	0.35	1.45	5.59	4.91 ± 0.30
	0.89	0.83	1.54	0.91	1	5.17	
	1.2	0.85	0.78	0.82	0.54	4.19	
	1.31	0.61	0.9	0.54	1.32	4.68	
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.94	1.45	0.69	0.46	1.68	5.22	4.51 ± 0.31
	0.83	0.49	1.06	0.64	0.89	3.91	
	0.93	0.61	0.6	0.61	1.31	4.06	
	0.77	1.11	0.65	1.36	0.96	4.85	
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.77	1.06	0.43	0.91	1.72	4.89	4.55 ± 0.30
	0.74	0.7	1.34	0.54	0.58	3.9	
	0.41	0.88	0.54	1.7	0.68	4.21	
	0.54	0.74	1.77	0.75	1.4	5.2	
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.33	0.43	1.16	0.71	1.25	4.88	4.89 ± 0.54
	0.69	1.26	0.48	1.14	0.58	4.15	
	0.96	0.56	1.05	0.91	0.63	4.11	
	2.02	1.54	0.65	1.29	0.91	6.41	
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.06	0.94	0.96	0.55	2.19	5.7	5.22 ± 0.34
	1.44	0.96	0.76	0.75	0.35	4.26	
	1.57	0.7	0.7	1.18	1.02	5.17	
	0.87	1.25	0.93	1.4	1.28	5.73	
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.09	0.69	0.76	1.47	1.58	5.59	6.75 ± 0.70
	0.87	2.17	0.81	1.63	2.64	8.12	
	0.68	1.47	1.23	0.86	1.27	5.51	
	1.4	1.3	2.38	1.4	1.29	7.77	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 น้ำหนักพรรณไม้น้ำในสัปดาห์ที่ 4

ระดับความเข้มข้นธาตุอาหาร	1	2	3	4	5	รวม 5 ต้น	เฉลี่ย ± SE
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.55	1.01	1.62	0.28	1.93	5.39	5.65 ± 0.21
	1.22	1.01	2.35	0.89	0.34	5.81	
	1.72	1.18	0.81	0.9	0.61	5.22	
	1.62	1.76	0.98	0.56	1.25	6.17	
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.92	1.59	0.76	1.81	1.71	6.79	4.83 ± 0.66
	0.78	0.76	0.94	0.46	0.9	3.84	
	1.15	0.73	0.65	0.62	1.35	4.5	
	0.73	0.78	0.45	1.34	0.92	4.22	
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.71	0.94	0.44	0.84	1.54	4.47	4.52 ± 0.42
	0.72	0.69	1.44	0.52	0.61	3.98	
	0.43	1.02	0.66	1.14	0.65	3.9	
	1.2	0.61	1.59	0.78	1.53	5.71	
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.12	1.41	1.13	0.46	1	5.12	4.94 ± 0.44
	0.96	1.31	0.35	1.19	0.52	4.33	
	1.02	0.47	1.19	0.81	0.69	4.18	
	1.89	1.58	0.47	1.36	0.82	6.12	
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.3	1.44	1.02	0.65	2.68	7.09	6.03 ± 0.41
	1.65	0.94	0.74	1.33	1.47	6.13	
	1.57	0.8	0.7	1.31	0.73	5.11	
	1.02	1.36	1	1.49	0.92	5.79	
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.15	0.69	1.1	1.96	2.18	7.08	7.96 ± 0.42
	1.18	1.42	0.9	1.88	3.25	8.63	
	0.69	1.69	1.18	2.66	1.19	7.41	
	1.42	1.21	2.92	1.74	1.41	8.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 น้ำหนักพรรณไม้น้ำในสัปดาห์ที่ 6

ระดับความเข้มข้นธาตุอาหาร	1	2	3	4	5	รวม 5 ต้น	เฉลี่ย ± SE
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.58	1.2	1.96	0.33	1.87	5.94	5.73 ± 0.45
	1.02	0.95	2.26	1.4	0.41	6.04	
	0.71	1.13	0.87	0.91	0.81	4.43	
	1.57	1.57	1.12	0.52	1.72	6.5	
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.2	1.76	0.96	2	2.08	8	5.71 ± 0.78
	1.12	1.02	1.23	0.69	1.19	5.25	
	1.35	0.8	0.75	0.74	1.39	5.03	
	0.81	0.96	0.57	1.29	0.93	4.56	
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.86	1.12	0.55	0.94	2.24	5.71	5.29 ± 0.32
	0.69	0.89	1.68	0.56	0.78	4.6	
	0.56	1.13	0.75	1.63	0.86	4.93	
	1.2	0.71	1.72	1.02	1.28	5.93	
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.54	2.31	1.22	0.87	1.14	7.08	6.23 ± 0.59
	1.15	1.34	0.5	1.64	0.7	5.33	
	1.03	0.64	1.53	1.1	0.8	5.1	
	2.07	1.88	0.79	1.75	0.92	7.41	
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.62	1.34	1.28	0.72	2.7	7.66	6.63 ± 0.45
	1.64	1.22	0.7	1.21	1.97	6.74	
	1.53	0.93	0.7	1.34	0.76	5.26	
	1.21	1.42	1.34	1.77	1.1	6.84	
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.46	0.78	1.18	1.97	2.07	7.46	8.74 ± 0.58
	1.17	2.83	1.04	1.99	2.85	9.88	
	0.83	1.4	1.5	3.04	1.32	8.09	
	1.56	1.53	3.27	1.75	1.42	9.53	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 อัตราส่วนไนโตรเจนที่สะสมในอเมซอนใบยาว ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

	ระดับความเข้มข้นธาตุอาหาร					
	5 มิลลิกรัมต่อลิตร	10 มิลลิกรัมต่อลิตร	15 มิลลิกรัมต่อลิตร	20 มิลลิกรัมติอลิตร	25 มิลลิกรัมต่อลิตร	30 มิลลิกรัมต่อลิตร
	3.09	2.98	3.05	3.03	3.02	3.45
	2.94	2.93	2.96	3.53	2.99	3.39
	3.25	2.94	3.45	2.80	3.17	3.56
	2.80	3.13	2.72	3.04	3.22	3.31
เฉลี่ย ± SE	3.02 ± 0.10	2.99 ± 0.05	3.05 ± 0.15	3.10 ± 0.15	3.10 ± 0.06	3.43 ± 0.05

ตารางผนวกที่ 6 อัตราส่วนฟอสฟอรัสที่สะสมในอเมซอนใบยาว ในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

	ระดับความเข้มข้นธาตุอาหาร					
	5 มิลลิกรัมต่อลิตร	10 มิลลิกรัมต่อลิตร	15 มิลลิกรัมต่อลิตร	20 มิลลิกรัมติอลิตร	25 มิลลิกรัมต่อลิตร	30 มิลลิกรัมต่อลิตร
	2.13	3.12	2.98	3.46	3.65	3.58
	2.72	2.95	3.30	3.31	3.42	4.10
	2.84	3.59	3.90	3.72	3.68	3.75
	3.45	3.75	3.17	3.21	3.11	3.54
เฉลี่ย ± SE	2.78 ± 0.27	3.35 ± 0.19	3.34 ± 0.20	3.43 ± 0.11	3.46 ± 0.13	3.74 ± .013

ตารางผนวกที่ 7 น้ำหนักพรรณไม้น้ำ(กรัม) หลังการทดลอง ที่ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	% น้ำหนักแห้ง	% ความชื้น
	5.94	0.77	13.02	86.98
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	6.04	0.75	12.43	87.57
	4.43	0.56	12.71	87.29
	6.5	0.87	13.42	86.58
เฉลี่ย	5.73	0.74	12.89	87.11
	8	1.18	14.72	85.28
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	5.25	0.68	12.93	87.07
	5.03	0.65	13.02	86.98
	4.56	0.58	12.73	87.27
เฉลี่ย	5.71	0.77	13.35	86.65
	5.71	0.77	13.44	86.56
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	4.6	0.65	14.15	85.85
	4.93	0.69	14.08	85.92
	5.93	0.77	12.92	87.08
เฉลี่ย	5.29	0.72	13.64	86.36
	7.08	0.93	13.07	86.93
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	5.33	0.69	12.97	87.03
	5.1	0.60	11.79	88.21
	7.41	1.04	14.01	85.99
เฉลี่ย	6.23	0.81	12.96	87.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 7 น้ำหนักพรรณไม้น้ำ(กรัม) หลังการทดลอง ที่ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ (ต่อ)

ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	% น้ำหนักแห้ง	% ความชื้น
	7.66	1.04	13.55	86.45
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	6.74	0.90	13.35	86.65
	5.26	0.64	12.26	87.74
	6.84	0.95	13.84	86.16
เฉลี่ย	6.63	0.88	13.25	86.75
	7.46	1.01	13.48	86.52
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	9.88	1.26	12.74	87.26
	8.09	1.08	13.34	86.66
	9.53	1.23	12.87	87.13
เฉลี่ย	8.74	1.14	13.11	86.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 8 แอมโมเนียม- ไนโตรเจน(ppm)ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 2 สัปดาห์

ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	สัปดาห์ที่			
	0	2	4	6
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.1688	0.0733	0.2996	0.0419
	2.2035	0.0000	0.1149	0.0471
	1.5507	0.0000	0.5993	0.0786
	1.3910	0.0000	0.1248	0.0733
เฉลี่ย	1.5785	0.0183	0.2846	0.0602
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.6063	0.4242	0.1748	0.1362
	1.8146	0.0000	0.1099	0.1100
	2.0577	0.0000	0.1099	0.1257
	1.8354	0.0000	0.0899	0.1362
เฉลี่ย	1.8285	0.1060	0.1211	0.1270
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	2.0646	0.0419	0.1049	0.0733
	2.6201	0.0838	0.1748	0.0995
	2.5368	0.0000	0.1149	0.1309
	2.4535	0.0052	0.0649	0.1204
เฉลี่ย	2.4188	0.0327	0.1149	0.1060
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	2.6340	0.1152	0.1149	0.1414
	2.7868	0.0367	0.2397	0.1047
	2.7451	0.0209	0.1498	0.1519
	2.6757	0.0000	0.0499	0.1466
เฉลี่ย	2.7104	0.0432	0.1386	0.1362

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 8 แอมโมเนียม- ไนโตรเจน(ppm)ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 2 สัปดาห์ (ต่อ)

ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	สัปดาห์ที่			
	2.8701	0.0367	0.3096	0.1152
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	2.8146	0.0890	0.2896	0.1414
	2.8563	0.2042	0.5194	0.1047
	2.6757	0.0943	0.0999	0.1204
เฉลี่ย	2.8042	0.1060	0.3046	0.1204
	3.3146	0.0628	0.1848	0.1309
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	3.0924	0.0901	0.1099	0.1362
	3.5368	0.0943	0.0999	0.1047
	3.6201	0.1833	0.1898	0.0943
เฉลี่ย	3.3910	0.1076	0.1461	0.1165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 9 ไนไตร์ท- ไนโตรเจน(ppm)ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 2 สัปดาห์

ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	สัปดาห์ที่			
	0	2	4	6
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.0045	0.0049	0.0310	0.0043
	0.0045	0.0032	0.0231	0.0067
	0.0060	0.0000	0.0243	0.0057
	0.0058	0.0062	0.0255	0.0118
เฉลี่ย	0.0052	0.0036	0.0259	0.0071
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.0045	0.0030	0.0245	0.0091
	0.0037	0.0000	0.0247	0.0060
	0.0045	0.0000	0.0271	0.0089
	0.0040	0.0303	0.0259	0.0115
เฉลี่ย	0.0042	0.0083	0.0255	0.0089
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.0063	0.0019	0.0259	0.0074
	0.0063	0.0014	0.0245	0.0089
	0.0050	0.0016	0.0241	0.0140
	0.0040	0.0000	0.0251	0.0106
เฉลี่ย	0.0054	0.0012	0.0249	0.0102
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.0045	0.0000	0.0295	0.0142
	0.0068	0.0059	0.0316	0.0224
	0.0042	0.0073	0.0295	0.0149
	0.0047	0.0062	0.0245	0.0111
เฉลี่ย	0.0051	0.0049	0.0288	0.0157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 9 ไนไตร์ท- ไนโตรเจน(ppm)ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 2 สัปดาห์ (ต่อ)

ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	สัปดาห์ที่			
	0	2	4	6
	0.0078	0.0570	0.0287	0.0065
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.0076	0.3511	0.0285	0.0147
	0.0037	0.0119	0.0299	0.0111
	0.0045	0.0292	0.0245	0.0077
เฉลี่ย	0.0059	0.1123	0.0279	0.0100
	0.0042	0.0000	0.0352	0.0094
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.0045	0.0540	0.0336	0.0072
	0.0055	0.0000	0.0227	0.0053
	0.0045	0.3106	0.0308	0.0190
เฉลี่ย	0.0047	0.0912	0.0305	0.0102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 10 ไนแตรท - ไนโตรเจน(ppm)ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 2 สัปดาห์

ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	สัปดาห์ที่			
	0	2	4	6
	25.70	27.12	14.53	13.33
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	23.34	18.83	8.74	5.84
	20.08	27.61	8.43	5.52
	18.90	23.17	8.28	5.84
เฉลี่ย	22.01	24.18	10.00	7.63
	18.36	20.38	8.13	6.76
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	14.64	30.32	9.42	6.86
	3.58	24.65	8.85	5.90
	20.96	23.38	9.15	5.90
เฉลี่ย	14.39	24.67	8.89	6.36
	20.99	25.88	8.85	7.62
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	22.07	26.87	9.34	8.26
	22.07	23.17	9.53	8.37
	22.08	26.70	9.57	6.76
เฉลี่ย	21.80	25.66	9.32	7.75
	22.80	13.85	9.23	7.51
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	25.70	21.12	9.98	9.12
	19.71	23.50	14.06	8.75
	22.25	25.80	10.49	8.58
เฉลี่ย	22.62	21.07	10.94	8.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 10 ไนแตรท- ไนโตรเจน(ppm)ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 2 สัปดาห์ (ต่อ)

ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	สัปดาห์ที่			
	0	2	4	6
	23.83	25.55	12.13	8.75
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	24.08	21.36	11.78	10.47
	17.44	20.79	11.25	9.07
	23.50	25.06	12.35	9.39
เฉลี่ย	22.21	23.19	11.88	9.42
	26.79	25.54	12.16	9.88
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	26.01	27.02	12.43	4.60
	23.89	22.93	12.59	10.96
	26.12	26.04	12.69	8.64
เฉลี่ย	25.70	25.38	12.47	8.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 11 ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (ppm)ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 2 สัปดาห์

ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	สัปดาห์ที่			
	0	2	4	6
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.4187	0.0804	0.0321	0.1167
	0.4040	0.0596	0.0432	0.1194
	0.3951	0.0447	0.0321	0.1220
	0.4217	0.0924	0.0877	0.1325
เฉลี่ย	0.4099	0.0693	0.0488	0.1227
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.5280	0.1341	0.0794	0.1483
	0.5162	0.1549	0.1017	0.1588
	0.5191	0.1460	0.1017	0.1509
	0.5191	0.1698	0.1379	0.1825
เฉลี่ย	0.5206	0.1512	0.1051	0.1601
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.6343	0.2592	0.1518	0.1799
	0.6372	0.2741	0.1629	0.1641
	0.6402	0.2979	0.1713	0.1667
	0.6402	0.2771	0.2158	0.2272
เฉลี่ย	0.6379	0.2771	0.1754	0.1845
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.7494	0.3843	0.2381	0.2798
	0.7701	0.5512	0.3272	0.2483
	0.7376	0.4261	0.2882	0.2325
	0.7287	0.3992	0.2464	0.2877
เฉลี่ย	0.7465	0.4402	0.2750	0.2621

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 11 ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (ppm)ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ โดยเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 2 สัปดาห์ (ต่อ)

ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	สัปดาห์ที่			
	0	2	4	6
	0.8321	0.7449	0.3021	0.3403
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.8468	0.8372	0.3327	0.3482
	0.8321	0.7657	0.3049	0.3351
	0.8468	0.5512	0.3550	0.3140
เฉลี่ย	0.8395	0.7247	0.3237	0.3344
	0.9502	0.7061	0.3383	0.4061
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.9797	0.7270	0.4496	0.4087
	1.2277	0.8253	0.4524	0.4193
	0.9620	1.0517	0.5276	0.4272
เฉลี่ย	1.0299	0.8275	0.4420	0.4153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 12 ความเข้มแสงตลอดการทดลอง เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

		ปริมาณความเข้มแสง (ลักซ์)										
	เวลา											เฉลี่ย
	8.00 น.	768	634	621	410	846	672	613	460	762	645	1220.30
		563	670	810	680	670	689	673	504	795	798	
	10.00 น.	2700	1840	1248	1009	3050	2100	1405	1061	2720	2200	
		1207	1129	3040	1980	2250	2490	2390	1790	3160	3580	
ครั้งที่ 1	12.00 น.	2810	1670	1119	640	2200	1518	1040	792	2200	1528	
		1120	1020	2800	1960	1454	1205	2620	1639	1130	1523	
	14.00 น.	2080	1380	924	639	2350	1465	940	603	2160	1460	
		944	732	2680	1455	1005	790	2540	1623	1215	974	
	16.00 น.	2600	1620	1060	738	2380	1526	946	730	2120	1543	
		1122	717	2820	1739	1145	872	2400	804	578	436	
	18.00 น.	106	150	134	140	120	108	190	198	148	167	
		145	182	164	130	122	165	175	164	133	120	

ตารางผนวกที่ 12 ความเข้มแสงตลอดการทดลอง เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ (ต่อ)

		ปริมาณความเข้มแสง (ลักซ์)										
	เวลา											เฉลี่ย
	8.00 น.	1980	1654	1389	1371	2130	1341	1198	1290	2209	1906	1784.98
		1645	1897	2309	1961	1905	1808	1709	1082	1246	1592	
	10.00 น.	3050	2105	1302	1000	1986	1304	1165	2608	2897	3152	
		1980	1877	2208	2160	1990	2310	2810	2400	1980	2100	
ครั้งที่ 2	12.00 น.	3420	2900	2340	1980	2860	2910	2160	1930	3400	2760	
		2130	1706	3420	2410	2060	1873	3100	2900	1640	1056	
	14.00 น.	2670	1970	1640	987	2490	2100	1970	986	2640	2340	
		1960	1210	2980	2100	1643	1020	2320	2120	1970	1202	
	16.00 น.	2810	2640	2320	1680	2240	1980	1760	1200	2340	1960	
		1650	1140	2160	1840	1750	1090	1840	1650	1430	1970	
	18.00 น.	654	582	762	940	482	846	734	615	548	671	
		640	726	843	406	762	709	634	682	643	589	

ตารางผนวกที่ 12 ความเข้มแสงตลอดการทดลอง เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ (ต่อ)

		ปริมาณความเข้มแสง (ลักซ์)										
	เวลา											เฉลี่ย
	8.00 น.	3190	2050	1424	1055	2770	2040	1500	1784	2450	2040	1807.53
		1683	1658	2410	1860	1440	1465	2190	1492	1256	1149	
	10.00 น.	3660	2230	1438	1097	2140	1493	1060	3030	2510	1980	
		1504	1128	3370	2140	1950	2260	3400	2160	1930	2260	
ครั้งที่ 3	12.00 น.	3860	2980	2640	1560	3240	2640	2310	1900	3400	2640	
		2110	1970	3160	2730	2300	1964	3410	2760	2160	1697	
	14.00 น.	3100	2450	1970	1150	2970	2150	1860	1410	2740	2050	
		1640	1200	2670	2400	1650	1330	2540	1670	1090	910	
	16.00 น.	2940	2160	1800	970	2670	1980	1060	950	2190	1850	
		1240	680	2450	1680	1090	930	2070	1120	998	460	
	18.00 น.	1123	832	625	443	1003	795	580	439	1078	830	
		620	473	1192	860	716	591	1130	912	733	614	

ตารางผนวกที่ 12 ความเข้มแสงตลอดการทดลอง เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ (ต่อ)

		ปริมาณความเข้มแสง (ลักซ์)										
	เวลา											เฉลี่ย
	8.00 น.	2720	1930	1235	973	264	1809	1359	1280	2310	1800	1719.91
		1400	1381	2250	1615	1349	1340	2140	1618	1272	1093	
	10.00 น.	3010	2400	1781	1390	2520	2010	1488	1183	2390	1920	
		1708	1747	2530	2050	1990	3900	2200	1920	1706	1693	
ครั้งที่ 4	12.00 น.	3540	2983	2460	1154	3260	2300	1580	1250	3290	2234	
		1899	1875	3450	2220	2154	4380	3452	2640	2700	4680	
	14.00 น.	2700	2130	1567	1100	2640	1960	1417	1185	2840	2180	
		1550	1279	2910	2160	1749	1568	3340	2490	2550	4290	
	16.00 น.	1451	1117	828	6710	1317	1124	888	733	1363	1111	
		868	760	1542	1139	925	814	1648	1318	1129	998	
	18.00 น.	615	414	354	306	649	463	371	331	603	509	
		406	334	667	515	344	324	329	513	412	367	

ตารางผนวกที่ 13 การนำไฟฟ้าของสารละลายในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นเวลา 6 สัปดาห์

ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	สัปดาห์ที่ 0 เริ่มการทดลอง	2 ก่อนเปลี่ยนน้ำ	2 หลังเปลี่ยนน้ำ	4 ก่อนเปลี่ยนน้ำ	4 หลังเปลี่ยนน้ำ	6 สิ้นสุดการทดลอง
	0.26	0.38	0.33	0.37	0.32	0.34
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.3	0.42	0.32	0.39	0.33	0.34
	0.3	0.39	0.32	0.42	0.32	0.35
	0.3	0.43	0.33	0.4	0.32	0.34
เฉลี่ย	0.29	0.41	0.33	0.40	0.32	0.34
	0.31	0.39	0.33	0.38	0.33	0.34
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.31	0.42	0.33	0.41	0.33	0.34
	0.3	0.41	0.33	0.43	0.32	0.35
	0.31	0.38	0.33	0.42	0.33	0.35
เฉลี่ย	0.31	0.40	0.33	0.41	0.33	0.35
	0.29	0.37	0.31	0.41	0.32	0.35
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.31	0.44	0.33	0.41	0.32	0.36
	0.31	0.43	0.34	0.43	0.33	0.36
	0.32	0.41	0.34	0.42	0.32	0.35
เฉลี่ย	0.31	0.41	0.33	0.42	0.32	0.36
	0.32	0.41	0.31	0.37	0.31	0.35
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.32	0.43	0.34	0.44	0.32	0.34
	0.32	0.43	0.33	0.42	0.32	0.36
	0.32	0.37	0.34	0.39	0.32	0.35
เฉลี่ย	0.32	0.41	0.33	0.41	0.32	0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 13 การนำไฟฟ้าของสารละลายในธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นเวลา 6 สัปดาห์ (ต่อ)

ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร	สัปดาห์ที่					
	0 เริ่มการทดลอง	2 ก่อนเปลี่ยนน้ำ	2 หลังเปลี่ยนน้ำ	4 ก่อนเปลี่ยนน้ำ	4 หลังเปลี่ยนน้ำ	6 สิ้นสุดการทดลอง
	0.32	0.43	0.33	0.38	0.34	0.34
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.33	0.41	0.32	0.41	0.33	0.34
	0.33	0.39	0.34	0.41	0.33	0.35
	0.33	0.4	0.35	0.43	0.32	0.36
เฉลี่ย	0.33	0.41	0.34	0.41	0.33	0.35
	0.32	0.39	0.35	0.42	0.33	0.33
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.33	0.42	0.35	0.44	0.33	0.34
	0.34	0.41	0.35	0.42	0.32	0.34
	0.33	0.39	0.33	0.42	0.32	0.35
เฉลี่ย	0.33	0.40	0.35	0.43	0.33	0.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 14 อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน เป็นเวลา 6 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหาร					
	5 มล./ล.	10 มล./ล.	15 มล./ล.	20 มล./ล.	25 มล./ล.	30 มล./ล.
	28.30	28.30	28.20	28.30	28.30	28.20
0	28.20	28.30	28.20	28.20	28.30	28.20
	28.20	28.20	28.20	28.20	28.20	28.30
	28.20	28.20	28.30	28.30	28.20	28.20
เฉลี่ย	28.23	28.25	28.23	28.25	28.25	28.23
	29.80	29.80	29.80	29.80	29.70	29.80
2	29.80	29.90	29.90	29.80	29.70	29.80
	29.70	29.80	29.80	29.70	29.80	29.80
	29.70	29.80	29.70	29.70	29.80	29.80
เฉลี่ย	29.75	29.83	29.80	29.75	29.75	29.80
	30.60	30.50	30.60	30.60	30.70	30.70
4	30.70	30.70	30.60	30.60	30.70	30.60
	30.60	30.70	30.50	30.70	30.60	30.60
	30.60	30.60	30.60	30.70	30.50	30.60
เฉลี่ย	30.63	30.63	30.58	30.65	30.63	30.63
	33.60	33.50	33.40	33.40	33.60	33.60
6	33.60	33.40	33.60	33.60	33.50	33.60
	33.60	33.60	33.50	33.70	33.60	33.60
	33.50	33.60	33.60	33.40	33.40	33.50
เฉลี่ย	33.58	33.53	33.53	33.53	33.53	33.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 15 ความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ยตลอดการทดลอง เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

ระดับความเข้มข้นธาตุอาหาร	สัปดาห์ที่ 0	2	4	6	เฉลี่ย ± SE
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	7.43	6.94	6.83	7.41	7.15 ± 0.16
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	7.40	7.02	6.76	7.45	7.16 ± 0.16
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	7.38	6.86	6.83	7.42	7.12 ± 0.16
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	7.36	6.82	6.63	7.39	7.05 ± 0.19
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	7.35	6.77	6.83	7.42	7.09 ± 0.17
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	7.34	6.70	6.61	7.39	7.01 ± 0.21

ตารางผนวกที่ 16 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลอง เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

ระดับความเข้มข้นธาตุอาหาร	สัปดาห์ที่ 0	2	4	6	เฉลี่ย ± SE
5 มิลลิกรัมต่อลิตร	7.23	7.27	7.28	7.25	7.26 ± 0.01
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	7.23	7.29	7.29	7.25	7.27 ± 0.01
15 มิลลิกรัมต่อลิตร	7.24	7.30	7.29	7.24	7.27 ± 0.02
20 มิลลิกรัมต่อลิตร	7.20	7.28	7.25	7.24	7.24 ± 0.02
25 มิลลิกรัมต่อลิตร	7.22	7.28	7.29	7.23	7.26 ± 0.02
30 มิลลิกรัมต่อลิตร	7.19	7.29	7.27	7.25	7.25 ± 0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้