

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ
อเมซอนแอฟริกา (*Echinodorus africanus* K. Retz) ที่ปลูกใน
ระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DEEP FLOW TECHNIQUE

TISSUE CULTURE AND FACTORS AFFECTING GROWTH OF AFRICAN
SWORDPLANT (*Echinodorus africanus* K. Retz) IN DEEP FLOW
TECHNIQUE SYSTEM

มัลลิกา มิครนอย
MALLIKHA MITRNOI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ
อเมซอนแอฟริกา (*Echinodorus africanus* K. Rataj) ที่ปลูกใน
ระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DEEP FLOW TECHNIQUE

TISSUE CULTURE AND FACTORS AFFECTING GROWTH OF AFRICAN
SWORDPLANT (*Echinodorus africanus* K. Rataj) IN DEEP FLOW
TECHNIQUE SYSTEM



มัลลิกา มิตรน้อย

MALLIKHA MITRNOI

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

74436

28 ก.ย. 2550

b. 11779718
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

**TISSUE CULTURE AND FACTORS AFFECTING GROWTH OF AFRICAN
SWORDPLANT (*Echinodorus africanus* K. Rataj) IN DEEP FLOW
TECHNIQUE SYSTEM**

MALLIKHA MOTRNOI

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FISHERIES SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต
ของอเมซอนแอฟริกา (*Echinodorus africanus* K.Rataj) ที่
ปลูกในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ deep flow technique

นักศึกษา

นางสาวมัลลิกา มิตรน้อย

รหัสประจำตัว

47062804

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์การประมง

พ.ศ.

2550

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.นงนุช เล่าหะวิสุทธิ

บทคัดย่อ

การทดลองขยายพันธุ์พรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกา (*Echinodorus africanus* K. Rataj) โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและชักนำให้เกิดต้นอ่อนในอาหารสังเคราะห์สูตรของ Murashige & Skoog (1962) ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต 2 ชนิด คือ ∞ -naphthaleneacetic acid (NAA) ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 1, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร กับ 6-benzyladenine (BA) ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 1, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าชิ้นเนื้อเยื่อส่วนยอดของอเมซอนแอฟริกาที่นำมาเลี้ยงในอาหารที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA 3 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว สามารถชักนำให้ชิ้นเนื้อเยื่อเกิดต้นอ่อนในปริมาณมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คือ 9 ต้นต่อชิ้นเนื้อเยื่อ จากนั้นนำพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาปลูกในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าอเมซอนแอฟริกามีการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร จากนั้นเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร พบว่าค่าการนำไฟฟ้า 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ทำให้อเมซอนแอฟริกามีการเจริญเติบโตดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และสุดท้ายเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT 3 ระดับคือ 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 ในสารละลายธาตุอาหารมีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 1.2

มิลลิโมลต่อลิตร มีค่าการนำไฟฟ้า 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร พบว่าเมซอนแอฟริกามีการเจริญเติบโตดีที่สุด เมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 7.0-7.5

Thesis	Tissue culture and factors affecting growth of african sword plant (<i>Echinodorus africanus</i> K. Rataj) in deep flow technique system.
Student	Miss Mallikha Mitmoi
Student ID	47062804
Degree	Master Degree of Science
Program	Fisheries Science
Year	2550
Thesis Advisor	Assist. Prof. Nongnuch Laohavisuti

ABSTRACT

The micropropagation of african sword plant, *Echinodorus africanus* K. Rataj , was studied by using the combination of NAA at 0, 1, 2, 3 mg/L and BA at 0, 1, 2, 3 mg/L in MS media (Murashige& Skoog, 1962). After 6 weeks, it was found that the shoot proliferation from the apical bud explants were significantly enhanced by the addition of 3 mg/L BA in MS media ($P<0.05$). The comparison of *Echinodorus africanus* growth performance from tissue culture to hydroponic system (DFT) in four different concentrations of ammonium-nitrogen (0, 0.4, 0.8 and 1.2 mmol/l) for 10 weeks, and showed that *Echinodorus africanus* in nutrient solution with 1.2 mmol/l ammonium-nitrogen provided a higher growth performance than other treatments. Furthermore, the comparison of *Echinodorus africanus* growth performance in nutrient solution with 1.2 mmol/l ammonium-nitrogen and four-electrical conductivity (0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 mS/cm) for 10 weeks were conducted and found that *Echinodorus africanus* in nutrient solution with EC at 2.0 mS/cm was significantly ($P<0.05$) better than other treatments. Finally, the comparison of *Echinodorus africanus* growth performance in nutrient solution with 1.2 mmol/l ammonium-nitrogen, EC at 2.0 mS/cm and different pH levels (5.0-5.5, 6.0-6.5 and 7.0-7.5) for 10 weeks were conducted and found that *Echinodorus africanus* in nutrient solution with pH 7.0-7.5 was significantly ($P<0.05$) better than other treatments.

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. นงนุช เลหาะวิสุทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้าเป็นอย่างยิ่ง ที่ให้คำแนะนำที่ดีมากมายและคำปรึกษาต่างๆ รวมไปถึงแนวทางในการดำเนินการทดลอง แนวทางในการแก้ไขปัญหา และชี้ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการทดลองอย่างใกล้ชิดจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์อติวิสุนทร นันทกิจ และอาจารย์สมเกียรติ สีสนอง ภาควิชาปฐพีวิทยา ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำเทคนิคเกี่ยวกับการปลูกพืชไม่ใช้ดินและการวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช

ขอขอบคุณ คุณบุปผา จงพัฒน์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านคำแนะนำต่างๆ สารเคมี และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ พี่วราภรณ์ กาซั่ม ที่คอยช่วยเหลือ แนะนำความรู้และเทคนิคในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำ รวมทั้งการตรวจทานรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณภววรรณตรี สมบุญโต และคุณปริตตา สมบูรณ์ลักษณ์ ที่คอยช่วยเหลือในทุกๆ เรื่อง และเป็นกำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณอดิชาต ทิพนันท์ ที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมาและช่วยเหลืองานทุกอย่างเท่าที่จะทำได้ รวมทั้งน้องๆ ประมงรุ่น 10 ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านงานช่างและงานหนักๆ

ขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จครั้งนี้

และสุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว และญาติพี่น้องทุกๆ ท่าน ที่คอยเป็นกำลังใจ คอยสนับสนุน และเป็นแรงผลักดันอยู่เบื้องหลัง ให้ข้าพเจ้าขยันและเอาใจใส่ในการศึกษา

มัลลิกา มิตรน้อย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 อเมซอนแอฟริกา (<i>Echinodorus africanus</i> K. Rataj).....	4
2.2 หลักการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำ.....	4
2.3 สารควบคุมการเจริญเติบโต.....	5
2.3.1 กลุ่มออกซิน (auxins).....	5
2.3.2 กลุ่มไซโตไคนิน (cytokinins).....	5
2.4 ระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ deep flow technique (DFT).....	8
2.5 ปุ๋ยหรือธาตุอาหารพืช.....	9
2.5.1 ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก (macronutrient elements)...	9
2.5.2 ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยหรือจุลธาตุ (micronutrient elements).....	12
2.6 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในสารละลายธาตุอาหาร.....	12
2.7 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในสารละลายธาตุอาหาร.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	15
3.1 พรรณไม้น้ำทดลอง.....	15
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	15
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	17
3.3.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA (α -naphthaleneacetic acid) ร่วมกับ BA (6-benzyladenine) ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวนต้นอ่อนของอเมซอนแอฟริกา.....	17
3.3.2 การทดลองที่ 2 การทดลองหาความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูป ของแอมโมเนียม ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอน แอฟริกา ในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT.....	18
3.3.3 การทดลองที่ 3 การทดลองหาระดับของค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสม ต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา ในระบบการปลูกพืช ไร้ดินแบบ DFT.....	19
3.3.4 การทดลองที่ 4 การทดลองหาระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา ในระบบการ ปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT.....	20
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	22
3.5 สถานที่ทำการวิจัย.....	22
3.6 ระยะเวลาในการทำวิจัย.....	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	23
4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA (α -naphthaleneacetic acid) ร่วมกับ BA (6-benzyladenine) ที่เหมาะสม ต่อการเพิ่มจำนวนต้นอ่อนของ อเมซอนแอฟริกา.....	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.1 การเพิ่มจำนวนต้นอ่อนของพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกา.....	23
4.1.2 อัตราการเกิดขาค่อน และอัตราการตายของพรรณไม้น้ำอเมซอน แอฟริกา.....	26
4.2 การทดลองที่ 2 การทดลองหาความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของ แอมโมเนียมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกาในระบบ การปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT.....	27
4.2.1 การเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา.....	27
4.2.2 คุณภาพน้ำในถังสารละลายธาตุอาหาร.....	29
4.2.3 ปริมาณธาตุอาหารสะสมในพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกา.....	33
4.3 การทดลองที่ 3 การทดลองหาระดับของค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อ การเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกาในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT	36
4.3.1 การเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา.....	36
4.3.2 คุณภาพน้ำในถังสารละลายธาตุอาหาร.....	38
4.3.3 ปริมาณธาตุอาหารสะสมในพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกา.....	42
4.4 การทดลองที่ 4 การทดลองหาระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสม ต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา ในระบบการปลูกพืชไร้ดิน แบบ DFT.....	45
4.4.1 การเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา.....	45
4.4.2 คุณภาพน้ำในถังสารละลายธาตุอาหาร.....	46
4.4.3 ปริมาณธาตุอาหารสะสมในพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกา.....	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	54
บรรณานุกรม.....	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	60
ภาคผนวก ก. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำ.....	61
ภาคผนวก ข. สารละลายธาตุอาหาร.....	64
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	67
ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช.....	70
ประวัติผู้เขียน.....	75

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 จำนวนดินอ่อนที่เกิดจากชั้นเนื้อเยื่อส่วนยอดของอเมซอนแอฟริกาในอาหารสังเคราะห์ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตความเข้มข้นต่างกัน.....	24
4.2 ผลของการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต NAA และ BA ต่อการเกิดยอดของชั้นเนื้อเยื่ออเมซอนแอฟริกา เมื่อสิ้นสุดการทดลอง.....	27
4.3 น้ำหนัก ความยาวลำต้นและความยาวใบที่เพิ่มขึ้นของอเมซอนแอฟริกาที่ได้รับสารละลายธาตุอาหาร ที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน.....	28
4.4 คุณภาพน้ำในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์.....	31
4.5 ปริมาณของธาตุอาหารที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมแตกต่างกัน.....	35
4.6 ปริมาณของธาตุอาหารที่สะสมในลำต้นของอเมซอนแอฟริกา ที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมแตกต่างกัน.....	36
4.7 น้ำหนัก ความยาวลำต้นและความยาวใบที่เพิ่มขึ้นของอเมซอนแอฟริกาที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีระดับของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ที่แตกต่างกัน.....	37
4.8 คุณภาพน้ำในถังสารละลายธาตุอาหาร ที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์.....	39
4.9 ปริมาณของธาตุอาหารที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกา ที่มีค่าการนำไฟฟ้าแตกต่างกัน.....	44
4.10 ปริมาณของธาตุอาหารที่สะสมในลำต้นของอเมซอนแอฟริกา ที่มีค่าการนำไฟฟ้าแตกต่างกัน.....	44

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.11	น้ำหนัก ความยาวลำต้น และความยาวใบที่เพิ่มขึ้นของเมซอนแอฟริกา ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน.....	46
4.12	คุณภาพน้ำในถังสารละลายธาตุอาหาร ที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์.....	48
4.13	ปริมาณของธาตุอาหารที่สะสมในรากของเมซอนแอฟริกา ที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างแตกต่างกัน.....	53
4.14	ปริมาณของธาตุอาหารที่สะสมในลำต้นของเมซอนแอฟริกา ที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างแตกต่างกัน.....	53

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 อเมซอนแอฟริกา (<i>Echinodorus africanus</i>).....	4
2.2 ระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ deep flow technique (DFT).....	8
3.1 พรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกาอายุ 6 สัปดาห์ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ..	16
3.2 ชุดรางปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT.....	16
4.1 ชิ้นเนื้อเยื่อส่วนยอดของอเมซอนแอฟริกาที่เลี้ยงในอาหารเหลวสังเคราะห์ ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงอย่างเดียว.....	25
4.2 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA และ BA ที่ชักนำให้เกิดต้นอ่อน ของเนื้อเยื่ออเมซอนแอฟริกา.....	25
4.3 การเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มี ความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน.....	29
4.4 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น ของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน.....	31
4.5 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น ของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน.....	32
4.6 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น ของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน.....	32
4.7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น ของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน.....	33
4.8 การเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกาที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า การนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน.....	37
4.9 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำ ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน.....	40
4.10 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้า ที่แตกต่างกัน.....	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.11 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน.....	41
4.12 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน.....	41
4.13 การเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกาที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน.....	46
4.14 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน.....	49
4.15 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน.....	49
4.16 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน.....	50
4.17 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ ในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน.....	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันพรรณไม้น้ำสวยงามถือเป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่มีความนิยมนำมาปลูกจากกลุ่มผู้เลี้ยงปลาสวยงามและกลุ่มที่จัดตู้พรรณไม้น้ำ อีกทั้งยังเป็นสินค้าส่งออกที่นำรายได้เข้าประเทศปีละกว่าร้อยล้านบาท และมีแนวโน้มที่จะขยายตัวได้อีกมากในอนาคต (มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ. 2545) นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีศักยภาพและได้เปรียบหลายประเทศในการเพาะเลี้ยงและขยายพันธุ์พรรณไม้น้ำสูง เพราะมีสภาพภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม รวมทั้งมีชนิดของพรรณไม้น้ำที่หลากหลายและยังสามารถเพาะเลี้ยงเพื่อจำหน่ายได้ทั้งในประเทศและต่างประเทศ (วันเพ็ญ มินกาญจน์และกาญจน์วี พงษ์ฉวี. 2543)

พรรณไม้น้ำในกลุ่มอเมซอน (*Echinodorus* sp.) เป็นพรรณไม้น้ำที่มีความหลากหลายของสายพันธุ์ และแต่ละสายพันธุ์ยังมีความแตกต่างกันของรูปร่างลักษณะอีกด้วย มีถิ่นกำเนิดในทางตอนใต้ของอเมริกากลางจนถึงอาเจนตินา พบมีอยู่มากกว่า 50 ชนิด ประเทศไทยได้มีการนำเข้ามาเพาะขยายพันธุ์จนกระทั่งส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ (อานนท์ เสงี่ยมารูญ. 2546) โดยเฉพาะอเมซอนแอฟริกาเป็นพรรณไม้น้ำชนิดใหม่ในตระกูลอเมซอนที่นิยมใช้ประดับตู้ปลา ตลอดจนใช้ในการตกแต่งสวนหรือสระน้ำ เนื่องจากเป็นพรรณไม้น้ำประเภทครึ่งบกครึ่งน้ำ จึงสามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ทั้งใต้น้ำและบนบก ส่วนการขยายพันธุ์ของอเมซอนชนิดนี้ทำได้โดยใช้วิธีการตัดต้นอ่อนบนก้านช่อดอก แต่เนื่องจากการขยายพันธุ์ด้วยวิธีนี้จะได้จำนวนของต้นพันธุ์น้อย และใช้เวลานาน ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด วิธีการเพาะขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสามารถเพิ่มผลผลิตให้ได้จำนวนมากในระยะเวลาอันสั้น นอกจากนี้ผลผลิตที่ได้ยังสะอาดปราศจากโรค ทำให้ได้ต้นพันธุ์ที่แข็งแรง และมีคุณภาพดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ขั้นตอนที่สำคัญในการขยายพันธุ์ด้วยวิธีเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อให้ได้จำนวนต้นพันธุ์ตามที่ต้องการก็คือขั้นตอนการชักนำให้เกิดยอดใหม่ แต่การใช้สูตรอาหารพื้นฐานอย่างเดียวไม่สามารถเพิ่มจำนวนตามที่ต้องการได้ จึงจำเป็นต้องนำสารควบคุมการเจริญเติบโต (growth regulator) มาใช้เพื่อชักนำให้ต้นพันธุ์เกิดยอดได้จำนวนมากและรวดเร็ว (มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ. 2545) และเมื่อนำพรรณไม้น้ำออกปลูกภายนอกห้องปฏิบัติการในระบบการปลูกพืชไร้ดินที่มีการพัฒนาสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ ยิ่งทำให้ต้นพันธุ์ที่ได้มีคุณภาพและมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยการเติมสารละลายธาตุอาหารหรือปุ๋ยที่มีอัตราส่วนของธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในสัดส่วนที่เหมาะสม และรวมถึงธาตุอาหารรองที่ต้องการเพียง

เล็กน้อย โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ และความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารแสดงในรูปของค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (EC : electrical conductivity) ที่แสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นของสารละลาย ถ้าค่า EC สูงแสดงว่า สารละลายมีความเข้มข้นสูง คือมีธาตุอาหารต่างๆ ละลายอยู่มาก (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2538) นอกจากนี้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารแต่ละธาตุที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ที่แตกต่างกันไป ค่าของ pH ในสารละลายธาตุอาหารเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงความสามารถของรากพืชที่จะดูดธาตุอาหารต่างๆ ที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืชได้ (ดิเรก ทองอร่าม. 2548)

ดังนั้นการศึกษาประสิทธิภาพของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่เติมลงไปในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ และรวมไปถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมในการกระตุ้นให้ชั้นเนื้อเยื่อเกิดยอดอ่อนในอาหารสูตรพื้นฐาน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาหาอัตราส่วนของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+-N) ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (EC) และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ deep flow technique (DFT) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งเป็นการเพิ่มศักยภาพในการผลิตพรรณไม้น้ำให้ได้คุณภาพและทำให้สามารถเพิ่มมูลค่าของผลผลิตได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA (α -naphthaleneacetic acid) ร่วมกับ BA (6-benzyladenine) ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวนต้นอ่อนของอเมซอนแอฟริกา
2. เพื่อศึกษาระดับไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมในสารละลายธาตุอาหาร ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกาในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT
3. เพื่อศึกษาระดับของค่าการนำไฟฟ้าในสารละลายธาตุอาหาร ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกาในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT
4. เพื่อศึกษาระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่างในสารละลายธาตุอาหาร ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกาในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

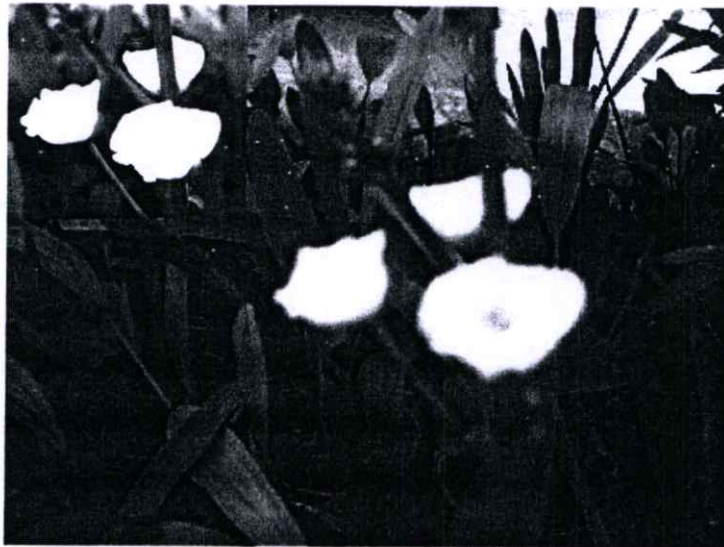
1. สามารถนำข้อมูลอัตราการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตที่เหมาะสมกับการขยายพันธุ์พรรณไม้น้ำ การขยายพันธุ์ได้น้อยและใช้เวลานาน อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลด้านการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมในการปลูกพรรณไม้น้ำในระบบการปลูกพืชไร้ดิน (hydroponic) และยังเป็นข้อมูลพื้นฐานในการขยายพันธุ์พรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกาให้ได้จำนวนมากและลดระยะเวลาในการขยายพันธุ์พรรณไม้น้ำ
2. สามารถนำข้อมูลวิธีการขยายพันธุ์รวมถึงการใช้สารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมไปเผยแพร่แก่เกษตรกร และผู้ที่สนใจให้มีความรู้ไปใช้ในการเพิ่มผลผลิตพรรณไม้น้ำได้อย่างถูกต้อง

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อเมซอนแอฟริกา (*Echinodorus africanus* K. Rataj)

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



ภาพที่ 2.1 อเมซอนแอฟริกา (*Echinodorus africanus*)

2.2 หลักการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำ

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำ เป็นวิธีการขยายพันธุ์พรรณไม้น้ำที่นำชิ้นส่วนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ตา ยอด ใบ ดอก หรือเมล็ด มาเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ในสภาพปลอดเชื้อจุลินทรีย์ ให้มี

จำนวนของต้นพันธุ์ตามที่ต้องการภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว โดยการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และแสงสว่าง นอกจากนี้ต้นพันธุ์ที่ได้ยังปราศจากโรคอีกด้วย (มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ. 2545)

2.3 สารควบคุมการเจริญเติบโต

ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำนอกจากอาหารสังเคราะห์ที่ใช้เลี้ยงแล้ว สารควบคุมการเจริญเติบโตยังเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้พรรณไม้น้ำสามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วและมีปริมาณที่มากเพียงพอตามความต้องการ สารควบคุมการเจริญเติบโต ได้แก่ สารควบคุมการเจริญเติบโตที่ใช้เติมในอาหารเพื่อชักนำให้มีการพัฒนาการเจริญเติบโตของพืชตามต้องการ ซึ่งสารเร่งการเจริญเติบโตหรือสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีความสำคัญและนิยมนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ได้แก่

2.3.1 กลุ่มออกซิน (auxins)

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

2.3.2 กลุ่มไซโตไคนิน (cytokinins)

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

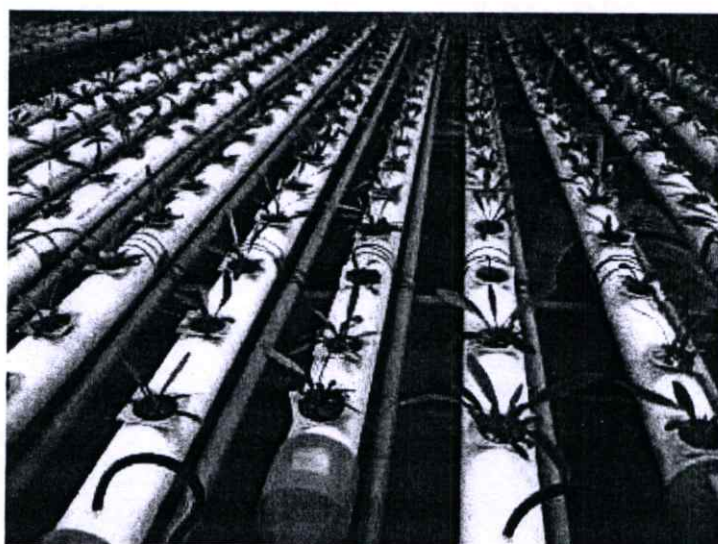
อัตราส่วนของออกซินและไซโตไคนินมีผลต่อการเจริญพัฒนาของเนื้อเยื่อนำมาเพาะเลี้ยง โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้เนื้อเยื่อมีการพัฒนาเป็นต้นและรากได้อย่างปกติ (รังสฤษฎ์ กาวิต๊ะ. 2541) Miller and Skoog (1953) รายงานว่า อัตราส่วนของออกซินและไซโตไคนินที่สูงกว่า

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

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

2.4 ระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ deep flow technique (DFT)

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



ภาพที่ 2.2 ระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ deep flow technique (DFT)

2.5 ปุ๋ยหรือธาตุอาหารพืช

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

2.5.1 ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก (macronutrient elements)

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

2.5.1.1 ไนโตรเจน (nitrogen)

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

หว่านย่นนี้ไม่แตกต่างจากการได้รับไนโตรเจนที่ระดับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และ Kim, T. et.al. (2002) ศึกษาการปลูกของไนโตรเจนที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการนำสารอาหารไปใช้ของผลไม้เปลือกแข็งพีแคน ปลูกในระบบการปลูกแบบไร้ดิน แต่ละกลุ่มได้รับอัตราส่วนของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (NH_4^+-N) ต่อ ไนเตรท-ไนโตรเจน (NO_3^--N) 3 อัตราส่วน ได้แก่ 25:75, 50:50 และ 75:25 จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน จะขัดขวางการเจริญเติบโตของเมล็ดพีแคน โดยกลุ่มที่ได้รับอัตราส่วนของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ต่อ ไนเตรท-ไนโตรเจน 75:25 มีน้ำหนักน้อยกว่า อัตราส่วนของรากต่อยอดลดลง และน้ำหนักใบจำเพาะต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ และการเจริญเติบโตของรากจะสูงที่สุดในกลุ่มที่ได้รับอัตราส่วนของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ต่อ ไนเตรท-ไนโตรเจน 50:50 และพืชสามารถนำไนโตรเจนจากแหล่งต่างๆ ไปใช้ในการเจริญเติบโต แต่โดยปกติแล้วไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมจะถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้มากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของยูทริชา เกียร์ดิส (2547) ที่ทดลองหาสัดส่วนของแอมโมเนียมต่อไนเตรทที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของใบพายเขาใหญ่ (*Cryptocoryne crispata*) ในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT พบว่าการเจริญเติบโตของใบพายเขาใหญ่ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีสัดส่วนของแอมโมเนียมต่อไนเตรท 10 ต่อ 90 ดีที่สุด คือมีน้ำหนักสดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากที่สุด นอกจากนี้ Romero, J.A. et.al. (1999) ได้ศึกษาผลของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (NH_4^+-N) 3 ระดับ (50, 500 และ 1,000 ไมโครโมลต่อลิตร) และฟอสฟอรัส 2 ระดับ (15 และ 50 ไมโครโมลต่อลิตร) ต่อการเจริญเติบโตของต้นอ้อ (*Phragmites australis*) ที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบไร้ดิน พบว่าระดับของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารจะมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของพืช โดยที่อัตราการเจริญเติบโตจะต่ำสุดในกลุ่มที่ได้รับไนโตรเจนต่ำ (0.026 ต่อวัน) ส่วนในกลุ่มที่ได้รับไนโตรเจน 500 ไมโครโมลต่อลิตร จะมีอัตราการเจริญเติบโต 0.035 ต่อวัน และกลุ่มที่ได้รับไนโตรเจนสูงสุด (0.037 ต่อวัน)

2.5.1.2 ฟอสฟอรัส (phosphorus)

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

2.5.1.2 โพแทสเซียม (potassium)

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

2.5.1.3 แคลเซียม (calcium)

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

2.5.1.4 แมกนีเซียม (magnesium)

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

2.5.1.5 กำมะถัน (Sulfur)

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

2.5.2 ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยหรือจุลธาตุ (micronutrient elements)

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

2.6 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในสารละลายธาตุอาหาร

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

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

2.7 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในสารละลายธาตุอาหาร

ค่า pH หมายถึงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายธาตุอาหารพืช ดังนั้นการปลูกพืชในระบบไร้ดินจำเป็นต้องมีการควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เนื่องจากธาตุอาหารพืชแต่ละธาตุที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารนั้น รากพืชจะดูดนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับค่าของ pH ที่แตกต่างกันไป ดังนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างในสารละลายเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงความสามารถของรากที่จะดูดธาตุอาหารต่างๆ ที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืชได้ นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายที่ค่าจะทำให้พืชดูดธาตุอาหารหลัก เช่น ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) และธาตุอาหารรอง เช่น แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ได้น้อยลง ในขณะที่เดียวกันถ้าค่าความเป็นกรดเป็นด่างในสารละลายสูง จะทำให้พืชดูดธาตุอาหารรอง เช่น เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn) ได้น้อยลงเช่นกัน ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปควรรักษาค่าของ pH ที่ 5.8 – 7.0 เป็นช่วงที่ธาตุอาหารพืชต่างๆ สามารถจลรูปในสารละลายที่พืชส่วนมากนำไปใช้ได้ดี แต่ปกติแล้วค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมในการปลูกพืชแบบไร้ดินคือ 6 แต่แตกต่างกันไปตามชนิดของพืชที่ปลูก (ดิเรก ทองอร่าม. 2548) สารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพรรณไม้จำเป็นต้องมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.5-7.4 (วันเพ็ญ มินกาญจน์ และกาญจนา พงษ์จวี. 2543)

ปริชาติ ดิษฐกิจ และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ (2548) ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร และระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสที่ปลูกในโรงเรือนปิดที่มีระบบลดอุณหภูมิ (evaporative-cooling greenhouse) พบว่าการใช้ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (ค่าการนำไฟฟ้า) ที่ 1.5 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ร่วมกับ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ 5.8 ให้การเจริญเติบโตที่ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบอาการขอบไหม้ในผักกาดหอมคอสเกิดขึ้นรุนแรงมากขึ้นเมื่อปลูกในสารละลายที่มีความเข้มข้น และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง pH สูงขึ้น นอกจากนี้ Arduini, I. et.al. (1998) ได้ศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ที่มีต่อการเจริญเติบโตของราก และการนำสารอาหารไปใช้ของต้น *Pinus pinaster* นำดินอ่อนของ

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

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 พรรณไม้ที่ทดลอง

ชั้นเนื้อเยื่อส่วนยอดของพรรณไม้เนื้อเมซอนแอฟริกาที่ผ่านการฟอกฆ่าเชื้อแล้ว จำนวน 64 ยอด และพรรณไม้เนื้อเมซอนแอฟริกาอายุ 6 สัปดาห์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ จำนวน 720 ต้น (ภาพที่ 3.1)

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้

3.2.2 โรงเรือนพรรณไม้แบบกึ่งปิดขนาด 6×12 เมตร

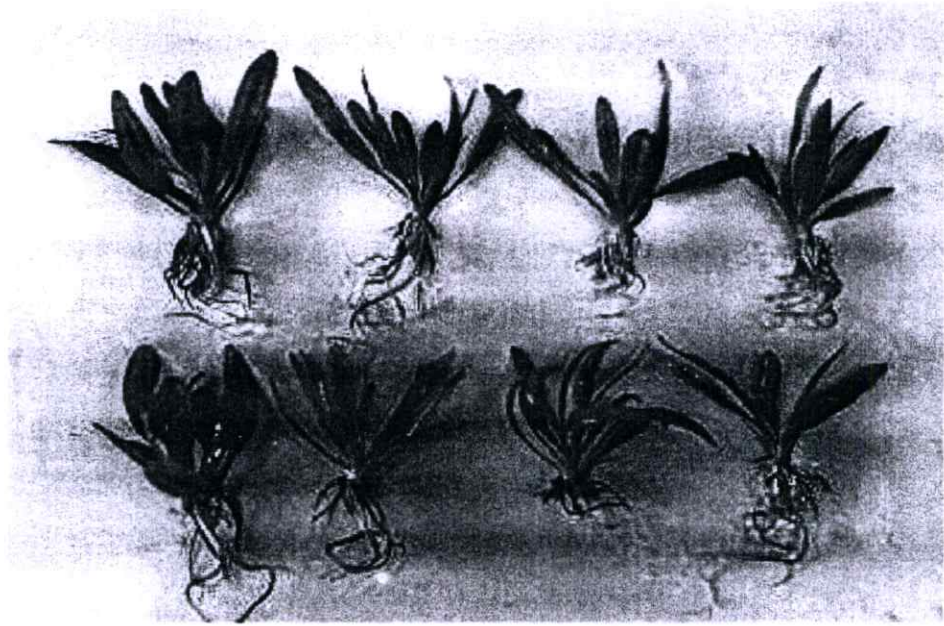
3.2.3 ชุดเครื่องมือและอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (ภาคผนวก ก.)

3.2.4 ชุดรางปลูกแบบ DFT ยาว 3 เมตร จำนวน 12 ราง ทำจากท่อ PVC สีขาว ขนาด 2 นิ้ว เจาะช่องปลูกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว จำนวน 20 ช่อง โดยมีระบบหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร (ภาพที่ 3.2)

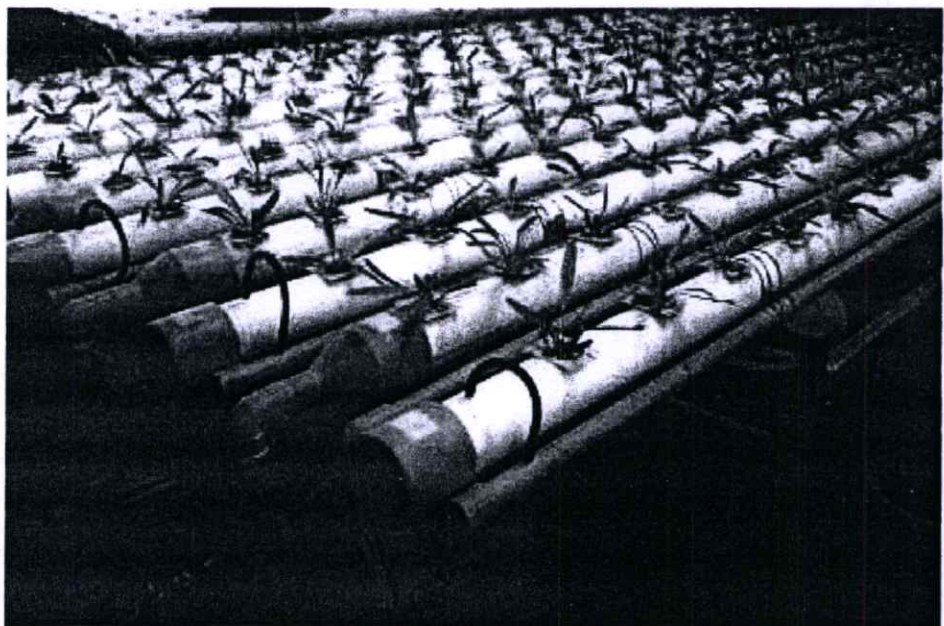
3.2.5 สารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร (ภาคผนวก ข.)

3.2.6 ชุดเครื่องมือและสารเคมีสำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (ภาคผนวก ค.1)

3.2.7 ชุดเครื่องมือและสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชตามวิธีของปรีดา พากเพียร และคณะ (2536) (ภาคผนวก ง.)



ภาพที่ 3.1 พรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกา อายุ 6 สัปดาห์ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ



ภาพที่ 3.2 ชุดรางปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT

3.3 วิธีดำเนินการ

3.3.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA (α -naphthaleneacetic acid) ร่วมกับ BA (6-benzyladenine) ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวนต้นอ่อนของอเมซอนแอฟริกา

3.3.1.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 4x4 factorial in CRD โดยมีปัจจัยศึกษา (factors) 2 ปัจจัย คือ สารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 1, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารควบคุมการเจริญเติบโต BA ความเข้มข้น 4 ระดับ ได้แก่ 0, 1, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอาหารเหลวสูตรพื้นฐาน (MS) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 16 ชุดการทดลองๆ ละ 4 ซ้ำ ดังนี้

- ชุดการทดลองที่ 1 ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต (ชุดควบคุม)
- ชุดการทดลองที่ 2 เติม BA 1 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว
- ชุดการทดลองที่ 3 เติม BA 2 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว
- ชุดการทดลองที่ 4 เติม BA 3 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว
- ชุดการทดลองที่ 5 เติม NAA 1 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว
- ชุดการทดลองที่ 6 เติม NAA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ BA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ชุดการทดลองที่ 7 เติม NAA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ BA 2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ชุดการทดลองที่ 8 เติม NAA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ BA 3 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ชุดการทดลองที่ 9 เติม NAA 2 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว
- ชุดการทดลองที่ 10 เติม NAA 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ BA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ชุดการทดลองที่ 11 เติม NAA 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ BA 2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ชุดการทดลองที่ 12 เติม NAA 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ BA 3 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ชุดการทดลองที่ 13 เติม NAA 3 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว
- ชุดการทดลองที่ 14 เติม NAA 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ BA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ชุดการทดลองที่ 15 เติม NAA 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ BA 2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ชุดการทดลองที่ 16 เติม NAA 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ BA 3 มิลลิกรัมต่อลิตร

โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

3.3.1.2 วิธีการทดลอง

1. นำชิ้นส่วนยอดของต้นอเมซอนแอฟริกา ที่ผ่านการฟอกฆ่าเชื้อแล้ว (ภาคผนวก ก.1) มาปลูกในอาหารสูตรพื้นฐาน (Murashige and Skoog, 1962) (ตารางผนวกที่ ก. 1) เลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์

ความเข้มแสง 1,100-1,300 ลักซ์ วันละ 12 ชั่วโมง (6.00 น.-18.00 น.) เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ จึงนำมาใช้ในการทดลองต่อไป

2. นำต้นอ่อนปลอดเชื้อของอเมซอนแอฟริกาอายุ 4 สัปดาห์ มาตัดแยกชิ้นส่วนยอดลงเลี้ยงในอาหารเหลวสูตรพื้นฐาน ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA ระดับความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ NAA ระดับความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใส่ขวดละ 1 ชิ้น ระดับละ 4 ซ้ำ

3. นำไปเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสง 1,100-1,300 ลักซ์ วันละ 12 ชั่วโมง (6.00 น.-18.00 น.) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

3.3.1.3 การเก็บข้อมูล

1. นับจำนวนต้นอ่อนที่เกิดใหม่ทุกสัปดาห์ และบันทึกผล
2. บันทึกความสูงของต้นพรรณไม้น้ำ เปอร์เซ็นต์การเกิดยอดใหม่ เปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนที่มีชีวิตแต่ไม่เกิดยอดใหม่ และเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนที่ตาย เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

3.3.2 การทดลองที่ 2 การทดลองหาระดับของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา ในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT

3.3.2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design) โดยมีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 4 ระดับ เป็นปัจจัยในการทดลอง ได้แก่ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร (ภาคผนวก ข.1-ข.4) ระดับละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ความเข้มข้นของแอมโมเนียม 0 มิลลิโมลต่อลิตร

ชุดการทดลองที่ 2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียม 0.4 มิลลิโมลต่อลิตร

ชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของแอมโมเนียม 0.8 มิลลิโมลต่อลิตร

ชุดการทดลองที่ 4 ความเข้มข้นของแอมโมเนียม 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร

โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์

3.3.2.2 วิธีการทดลอง

1. นำพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากการทดลองที่ 1 (อายุ 6 สัปดาห์) ตัดแยกเป็นต้นเดี่ยวล้างอาหารเลี้ยงเชื้อให้หมด ตักรากและใบออกบางส่วนเพื่อเร่งให้รากใหม่งอกเร็วขึ้น พันด้วยฟองน้ำ ใส่ในถ้วยปลูก อนุบาลบนโฟมที่ลอยน้ำ กลุมด้วยพลาสติกใส เพื่อควบคุมความชื้น หลังจากนั้นลดความชื้นลงโดยการเปิดพลาสติกคลุมเพียงบางส่วน เพื่อให้พรรณไม้น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีความชื้นปกติ เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์

2. นำพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกาที่มีความยาวของลำต้นและจำนวนของใบที่ใกล้เคียงกันจำนวน 240 ต้นไปทดลองเลี้ยงในระบบ DFT ซึ่งมีสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกันทั้ง 4 ระดับๆ ละ 3 ซ้ำ จำนวนพรรณไม้น้ำจ้ำละ 20 ต้น โดยปรับให้มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเท่ากับ 1.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร และค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.0 – 7.5 ในทุกซ้ำ ซึ่งในระหว่างการทดลองจะมีการรักษาระดับของความ เป็นกรดเป็นด่างในสารละลายธาตุอาหารให้คงที่ โดยใช้สารละลายกรดไนตริก 10 เปอร์เซ็นต์ และ สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ และมีการเติมน้ำเมื่อน้ำในถังสารละลายลดลง พร้อมทั้งปรับค่าการนำไฟฟ้าให้เท่ากับก่อนเติมน้ำ

3. วิเคราะห์คุณภาพน้ำทุกสัปดาห์ โดยพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร ความเป็นกรดเป็นด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ไนไตรท์-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) ไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) และ ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (orthophosphate) (ภาคผนวก ก.2)

4. วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในรากและลำต้นของพรรณไม้น้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลองตามวิธีของปรีดา พากเพียร และคณะ (2536) (ภาคผนวก ง.) จ้ำละ 10 ต้น

3.3.2.3 การเก็บข้อมูล

1. ตรวจสอบการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำทั้งก่อนและระหว่างการทดลองทุกๆ 2 สัปดาห์ ได้แก่ น้ำหนักต้น ความยาวใบ และความยาวลำต้น จ้ำละ 4 ต้น

2. บันทึกปริมาณธาตุอาหารในพรรณไม้น้ำเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองด้วยวิธีการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช

3.3.3 การทดลองที่ 3 การทดลองหาระดับของการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา ในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT

3.3.3.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design) โดยมีระดับของค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ เป็นปัจจัยในการทดลอง ได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ระดับละ 3 ซ้ำ โดยมีวิธีการดำเนินการดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ระดับของค่าการนำไฟฟ้า 0.5 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร

ชุดการทดลองที่ 2 ระดับของค่าการนำไฟฟ้า 1.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร

ชุดการทดลองที่ 3 ระดับของค่าการนำไฟฟ้า 1.5 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร

ชุดการทดลองที่ 4 ระดับของค่าการนำไฟฟ้า 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร

โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์

3.3.3.2 วิธีการทดลอง

1. นำพรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากการทดลองที่ 1 (อายุ 6 สัปดาห์) ตัดแยกเป็นต้นเดี่ยวล้างอาหารเลี้ยงเชื้อให้หมด ตักรากและใบออกบางส่วนเพื่อเร่งให้รากใหม่งอกเร็วขึ้น พันด้วยฟองน้ำใส่ในถ้วยปลูก อนุบาลบนโฟมที่ลอยน้ำ คลุมด้วยพลาสติกใสเพื่อควบคุมความชื้น หลังจากนั้นลดความชื้นลงโดยการเปิดพลาสติกคลุมเพียงบางส่วน เพื่อให้พรณไม้น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ในสถานะที่มีความชื้นปกติ เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์

2. นำพรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกาที่มีความยาวของลำต้นและจำนวนของใบที่ใกล้เคียงกันจำนวน 240 ต้นไปทดลองเลี้ยงในระบบ DFT ซึ่งมีสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตจากการทดลองที่ 2 โดยปรับให้มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน 4 ระดับๆ ละ 3 ชั่วโมง จำนวนพรณไม้น้ำข้าละ 20 ต้น และปรับความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.0 – 7.5 ในทุกชั่วโมง ซึ่งในระหว่างการทดลองจะมีการรักษาระดับของความเป็นกรดเป็นด่างในสารละลายธาตุอาหารให้คงที่ โดยใช้สารละลายกรดไนตริก 10 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ และมีการเติมน้ำเมื่อระดับน้ำลดลงและเติมสารละลายธาตุอาหารให้มีระดับที่กำหนดไว้ตลอดการทดลอง

3. วิเคราะห์คุณภาพน้ำทุกสัปดาห์ โดยพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร ความเป็นกรดเป็นด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ไนไตรท์-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) ไนเตรต-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) และ ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (orthophosphate) (ภาคผนวก ก.2)

4. วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในรากและลำต้นของพรณไม้น้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลองตามวิธีของปรีดา พากเพียร และคณะ (2536) (ภาคผนวก ง.) ข้าละ 10 ต้น

3.3.3.3 การเก็บข้อมูล

1. ตรวจสอบการเจริญเติบโตของพรณไม้น้ำทั้งก่อนและระหว่างการทดลองทุกๆ 2 สัปดาห์ ได้แก่ น้ำหนักต้น ความยาวใบ และความยาวลำต้น ข้าละ 4 ต้น

2. บันทึกบันทึกปริมาณธาตุอาหารในพรณไม้น้ำเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองด้วยวิธีการวิเคราะห์ธาตุอาหาร

3.3.4 การทดลองที่ 4 การทดลองหาระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา ในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT

3.3.4.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design) โดยมีระดับของความเป็นกรดเป็นด่าง ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ เป็นปัจจัยในการทดลอง ได้แก่ 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 ระดับๆ ละ 4 ชั่วโมง โดยมีวิธีการดำเนินการดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0-5.5

ชุดการทดลองที่ 2 ระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.0-6.5

ชุดการทดลองที่ 3 ระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 7.0-7.5

โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์

3.3.4.2 วิธีการทดลอง

1. นำพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากการทดลองที่ 1 ตัดแยกเป็นต้นเดี่ยวล้างอาหารเลี้ยงออกให้หมด ตัดรากและใบออกบางส่วนเพื่อเร่งให้รากใหม่งอกเร็วขึ้น พันด้วยฟองน้ำใส่ในถ้วยปลูก อนุบาลบนโฟมที่ลอยน้ำ กลุ่มด้วยพลาสติกใส เพื่อควบคุมความชื้น หลังจากนั้นลดความชื้นลงโดยการเปิดพลาสติกคลุมเพียงบางส่วน เพื่อให้พรรณไม้น้ำสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีความชื้นปกติ เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์

2. นำพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกามีความยาวของลำต้นและจำนวนของใบที่ใกล้เคียงกันจำนวน 240 ต้นไปทดลองเลี้ยงในระบบ DFT ซึ่งมีสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตจากการทดลองที่ 2 และค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3 โดยปรับให้มีความเป็นกรดเป็นด่างในสารละลายธาตุอาหารให้มีระดับที่แตกต่างกัน 3 ระดับๆ ละ 4 ชั่วโมง จำนวนพรรณไม้น้ำซ้ำละ 20 ต้น ซึ่งในระหว่างการทดลองจะมีการรักษาระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่างในสารละลายธาตุอาหารให้คงที่ โดยใช้สารละลายกรดไนตริก 10 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ และมีการเติมน้ำเมื่อระดับน้ำลดลงและเติมสารละลายธาตุอาหารให้มีระดับที่กำหนดไว้ตลอดการทดลอง

3. วิเคราะห์คุณภาพน้ำทุกสัปดาห์ โดยพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ไนไตรท์-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) ไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) และ ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (orthophosphate) (ภาคผนวก ก.2)

4. วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในรากและลำต้นของพรรณไม้น้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลองตามวิธีของปรีดา พากเพียร และคณะ (2536) (ภาคผนวก ง.) ซ้ำละ 10 ต้น

3.3.4.2 การเก็บข้อมูล

1. บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำทั้งก่อนและระหว่างการทดลองทุกๆ 2 สัปดาห์ ได้แก่ น้ำหนักต้น ความยาวใบ และความยาวลำต้น ซ้ำละ 4 ต้น

2. บันทึกปริมาณธาตุอาหารในพรรณไม้น้ำเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองด้วยวิธีการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี LSD จากโปรแกรม SPSS 11.0 for windows

3.5 สถานที่ทำการวิจัย

1. ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำ โรงเรียนพรรณไม้น้ำ และห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.6 ระยะเวลาในการทำวิจัย

เดือนตุลาคม 2548 – เดือนมกราคม 2550

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA (α -naphthaleneacetic acid) ร่วมกับ BA (6-benzyladenine) ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวนต้นอ่อนของอเมซอนแอฟริกา

4.1.1 การเพิ่มจำนวนต้นอ่อนของพรรณไม้เนื้ออเมซอนแอฟริกา

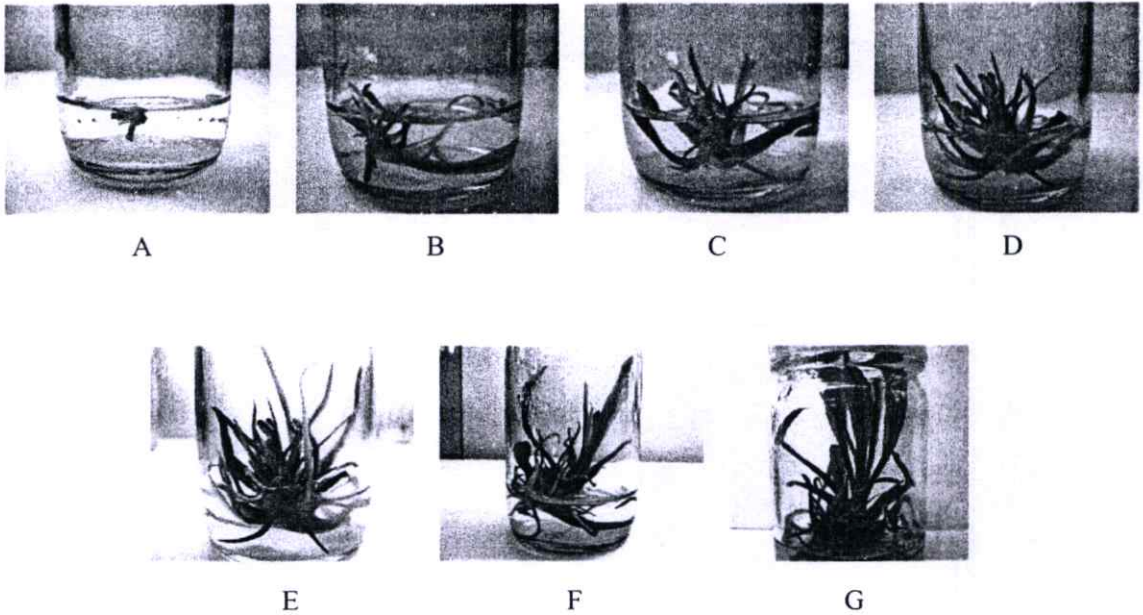
จากการทดลองนำชิ้นส่วนยอดอ่อนของต้นอเมซอนแอฟริกา มาเลี้ยงในอาหารเหลวสังเคราะห์สูตรพื้นฐาน (MS) ที่มีการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารควบคุมการเจริญเติบโต BA ความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าการเจริญเติบโตและการพัฒนาของชิ้นเนื้อเยื่อมีความแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและปริมาณของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่เติมลงไป ในอาหาร ในช่วงสัปดาห์แรกที่ทำการศึกษาพบว่ายอดอ่อนมีการเจริญเติบโตในด้านของความยาว มีใบใหม่เกิดขึ้น และมีการงอกของรากน้อยมาก ในช่วงสัปดาห์ที่ 2-4 เริ่มแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของจำนวนต้นอ่อนที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะในชุดการทดลองที่ 4 เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA ที่ระดับความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว มีการเพิ่มจำนวนของต้นอ่อนได้มากกว่าในชุดการทดลองอื่นๆ (ตารางที่ 4.1) สำหรับการทดลองในอาหารเหลวสังเคราะห์สูตรพื้นฐานที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ร่วมกับ BA ในอัตราส่วนต่างๆ กันดังข้างต้น พบว่าอาหารเหลวสูตรพื้นฐาน (MS) ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA 3 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว สามารถชักนำให้ชิ้นเนื้อเยื่ออเมซอนแอฟริกาเกิดต้นอ่อนได้เร็วในปริมาณมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีต้นอ่อนเกิดใหม่เฉลี่ย 9 ต้นต่อชิ้นเนื้อเยื่อ (ภาพที่ 4.1) ซึ่งไม่สอดคล้องกับรายงานของฉนุกร ประดิษฐ์สรรพ และกาญจน์ พงษ์ฉวี (2547) ที่รายงานว่าเมื่อใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต BA ที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร การเกิดต้นอ่อนของชบ่าน้ำ (*Aponogeton madagascariensis*) มีแนวโน้มลดลง โดยการใช้ BA ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้เกิดต้นอ่อนได้ดีกว่าการใช้ BA ระดับความเข้มข้น 0 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีจำนวนต้นอ่อนใกล้เคียงกับการใช้ BA ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่สอดคล้องกับรายงานการทดลองของมนิรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ และอรุณี รอดลอย (2542) ในการทดลองเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อใบพายศรีลังกาในอาหารสูตรพื้นฐานที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ความเข้มข้น 0, 0.2, และ 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ BA ความเข้มข้น 0, 1 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าอาหารสูตร

พื้นฐานที่เดิมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA 3 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว สามารถชักนำให้ชั้นเนื้อเยื่อเกิดคันอ่อนได้มากที่สุด คือ 20 ต้นต่อชั้นเนื้อเยื่อ ในทางตรงกันข้าม การเกิดคันอ่อนจากชั้นเนื้อเยื่อส่วนยอดของอเมซอนแอฟริกา ในชุดการทดลองที่เดิมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ที่ระดับความเข้มข้น 1, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว พบว่ามีจำนวนคันอ่อนเกิดใหม่เฉลี่ยน้อยมาก คือ 1, 1 และ 1 ต้นตามลำดับ และจำนวนของคันอ่อนอเมซอนแอฟริกาที่เกิดขึ้นจากอาหารสังเคราะห์ที่เดิมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ร่วมกับ BA ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าปริมาณของสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้จำนวนของคันอ่อนที่เกิดใหม่ลดจำนวนลงในทุกชุดการทดลอง (ภาพที่ 4.2) ซึ่งอัตราส่วนของออกซินและไซโตไคนินมีผลต่อการเจริญพัฒนาของเนื้อเยื่อนำมาเพาะเลี้ยง โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้เนื้อเยื่อมีการพัฒนาเป็นต้นและรากได้อย่างปกติ (รังสฤษฎ์ กาวีตะ. 2541) แต่ถ้าอัตราส่วนของออกซินและไซโตไคนินที่สูงกว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมจะมีผลให้เนื้อเยื่อเจริญเป็นรากและแคลลัส (Miller and Skoog. 1953) และพบว่าสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA และ BA ไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน (interaction) ระหว่าง 2 ปัจจัย คือไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดคันอ่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กล่าวคือการเติม BA ในอาหารสังเคราะห์สูตร MS มีผลชักนำให้ชั้นเนื้อเยื่อส่วนยอดเจริญพัฒนาเป็นคันอ่อนได้มากกว่าการไม่เติม BA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

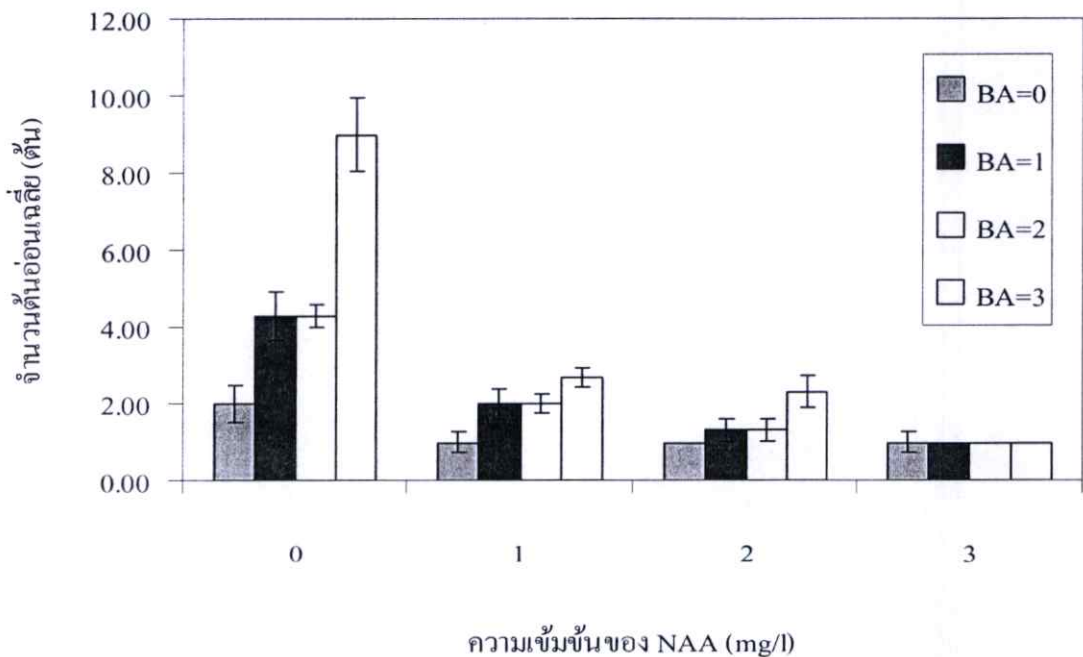
ตารางที่ 4.1 จำนวนคันอ่อนที่เกิดจากชั้นเนื้อเยื่อส่วนยอดของอเมซอนแอฟริกาในอาหารสังเคราะห์ที่เดิมสารควบคุมการเจริญเติบโต ความเข้มข้นต่างกัน

BA (mg/l)	NAA (mg/l)				Mean $\pm$ SE
	0	1	2	3	
0	2.0 $\pm$ 0.48	1.0 $\pm$ 0.25	1.0 $\pm$ 0.00	1.0 $\pm$ 0.25	1.3 $\pm$ 0.15 ^a
1	4.3 $\pm$ 0.63	2.0 $\pm$ 0.41	1.3 $\pm$ 0.25	1.0 $\pm$ 0.00	2.1 $\pm$ 0.38 ^b
2	4.3 $\pm$ 0.29	2.0 $\pm$ 0.25	1.3 $\pm$ 0.29	1.0 $\pm$ 0.00	2.3 $\pm$ 0.37 ^b
3	9.0 $\pm$ 0.96	2.7 $\pm$ 0.25	2.3 $\pm$ 0.41	1.0 $\pm$ 0.00	3.8 $\pm$ 0.90 ^c
Mean $\pm$ SE	5.0 $\pm$ 0.78 ^a	2.0 $\pm$ 0.20 ^b	1.4 $\pm$ 0.16 ^c	1.1 $\pm$ 0.06 ^c	

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 4.1 ชิ้นเนื้อเยื่อส่วนยอดของอเมซอนแอฟริกาที่เลี้ยงในอาหารเหลวสังเคราะห์ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงอย่างเดียว (A) ยอดเริ่มต้น (B) สัปดาห์ที่ 1 (C) สัปดาห์ที่ 2 (D) สัปดาห์ที่ 3 (E) สัปดาห์ที่ 4 (F) สัปดาห์ที่ 5 และ (G) สัปดาห์ที่ 6



ภาพที่ 4.2 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA และ BA ที่ชักนำให้เกิดต้นอ่อนของเนื้อเยื่ออเมซอนแอฟริกา

4.1.2 อัตราการเกิดยอดและอัตราการตายของอเมซอนแอฟริกา

เมื่อสิ้นสุดการทดลองการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออเมซอนแอฟริกา พบว่าอาหารสูตรพื้นฐาน MS ที่มีการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ร่วมกับ BA ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันนั้นมีเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนที่เกิดยอดใหม่มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นชุดการทดลองที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA เพียงอย่างเดียว เนื่องจาก NAA เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มของออกซิน ซึ่งเป็นกลุ่มที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการขยายขนาดของเซลล์ ขั้วยังการเกิดยอด มีคุณสมบัติตรงข้ามกับสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มไซโตไคนิน เช่น BA ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ และส่งเสริมการเกิดยอด (รังสฤษฎ์ กาวิจ๊ะ. 2541) โดย Bird, K.T. et.al. (1998) รายงานว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตออกซินทั้ง IBA และ NAA สามารถไปยับยั้งการเกิดต้นอ่อนในทุกความเข้มข้นที่ทำการทดลอง และ IAA ที่ความเข้มข้น 1.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่สามารถกระตุ้นการเกิดต้นอ่อนได้เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต และ IAA ที่ความเข้มข้น 8.70 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Halophila decipiens* ส่วนเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนที่มีชีวิตแต่ไม่เกิดยอดใหม่มากถึง 100 เปอร์เซ็นต์ในชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนของ NAA มากกว่า BA (ตารางที่ 4.2) และในชุดการทดลองที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA เพียงอย่างเดียวในอัตราส่วนต่างๆ กัน มีเปอร์เซ็นต์ที่ไม่เกิดยอด 0 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ไม่พบเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนที่ตายในทุกชุดการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการทดลองของกาญจนาธิพนธ์วี และณฐกร ประดิษฐ์สรรพ (2547) ในการศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออนุเบียส ในอาหารกึ่งแข็งสูตร MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ร่วมกับ BA เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าชิ้นเนื้อเยื่อในทุกชุดการทดลองมีอัตราการรอด 100% และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าความสูงของลำต้นอเมซอนแอฟริกาเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.76 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.2) ในทางตรงกันข้ามชิ้นเนื้อเยื่อส่วนยอดของพรรณไม้น้ำโลบีเลีย (*Lobelia cardinalis*) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์มีความสูงของยอดเฉลี่ยเพียง 3.02 เซนติเมตร (กาญจนาธิพนธ์วี และคณะ. 2543)

ตารางที่ 4.2 ผลของการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต NAA และ BA ต่อการเกิดยอดของชำ
เนื้อเยื่ออเมซอนแอฟริกา เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

อัตราส่วนของ NAA : BA (mg/l)	% ชำส่วนที่ เกิดยอดใหม่	% ชำส่วนที่มี ชีวิตแต่ไม่เกิด ยอดใหม่	% ชำส่วน ที่ตาย	ความสูงของ ลำต้น (cm)
0:0	50	50	0	7.57
0:1	100	0	0	7.70
0:2	100	0	0	6.43
0:3	100	0	0	7.77
1:0	25	75	0	6.50
1:1	75	25	0	0.43
1:2	75	25	0	7.00
1:3	100	0	0	6.37
2:0	0	100	0	7.53
2:1	25	75	0	7.10
2:2	50	50	0	6.97
2:3	75	25	0	7.40
3:0	25	75	0	7.43
3:1	0	100	0	7.17
3:2	0	100	0	7.37
3:3	0	100	0	7.43

4.2 การทดลองที่ 2 การทดลองหาความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่
เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา ในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT

4.2.1 การเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกา

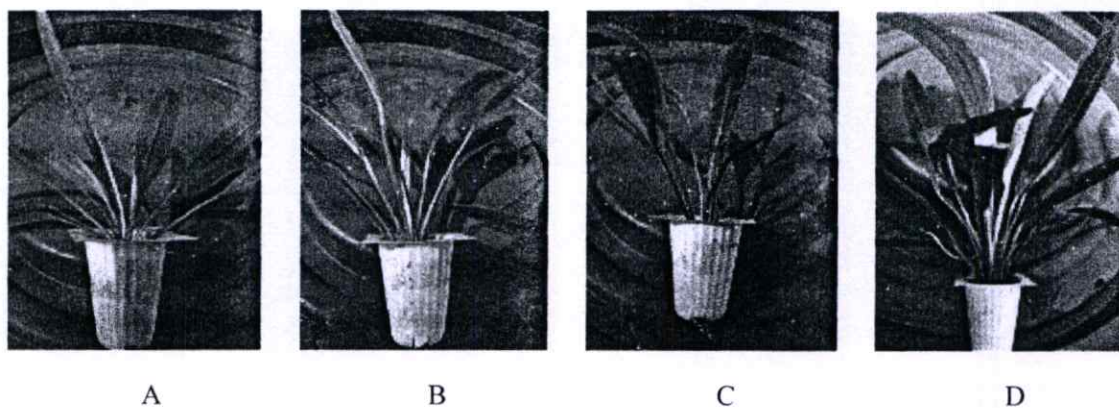
จากการทดลองศึกษาความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่เหมาะสมต่อการ
เจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกา ทั้ง 4 ระดับ ได้แก่ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อ
ลิตร ในระบบ DFT เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่า ในแต่ละชุดการทดลองมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น
เฉลี่ย 8.72, 6.89, 7.72 และ 8.96 กรัมต่อต้น ตามลำดับ มีความยาวของลำต้นที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 11.60,
8.73, 9.97 และ 10.13 เซนติเมตรต่อต้น ตามลำดับ และมีความยาวใบที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 5.87, 5.43,

6.53 และ 0.40 เซนติเมตรต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) โดยในแต่ละชุดการทดลองมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย ความยาวของลำต้นที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย และความยาวใบที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร มีน้ำหนักและความยาวใบที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยมากที่สุด แต่มีความยาวลำต้นเพิ่มขึ้นเฉลี่ยมากที่สุด ในชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 0 มิลลิโมลต่อลิตร ในขณะที่มะเขือเทศ (*Solanum tuberosum* L.) ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีไนเตรท-ไนโตรเจนและแอมโมเนียม-ไนโตรเจนเป็นแหล่งของไนโตรเจน ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 2, 4, 8 และ 12 มิลลิโมลต่อลิตร สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีแอมโมเนียม-ไนโตรเจนความเข้มข้น 2 และ 4 มิลลิโมลต่อลิตร (Cao and Tibbitts. 1998) ซึ่งไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้มีอยู่ 3 รูป คือ ไนเตรทอออน แอมโมเนียมอออน และยูเรีย โดยเมื่อไนเตรทเข้าสู่เซลล์พืชจะถูกรีดิวซ์จนได้แอมโมเนียมแล้วจึงเข้าร่วมกับอินทรีย์สารบางชนิดสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนและเอไมด์ ในขณะที่เดียวกันถ้าพืชดูดแอมโมเนียมเข้าไปในเซลล์ก็สามารถนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนและเอไมด์ทันที (ขงยุทธ โอสดสภา. 2543) นอกจากนี้ Romero, J.A. et.al. (1999) ได้ศึกษาผลของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) 3 ระดับ (50, 500 และ 1,000 ไมโครโมลต่อลิตร) และฟอสฟอรัส 2 ระดับ (15 และ 50 ไมโครโมลต่อลิตร) ต่อการเจริญเติบโตของต้นอ้อ (*Phragmites australis*) ที่ปลูกในระบบการปลูกพืชแบบไร้ดิน พบว่าระดับของไนโตรเจนในสารละลายธาตุอาหารจะมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของพืช โดยที่อัตราการเจริญเติบโตจะต่ำสุดในกลุ่มที่ได้รับไนโตรเจนต่ำ (0.026 ต่อวัน) ส่วนในกลุ่มที่ได้รับไนโตรเจน 500 ไมโครโมลต่อลิตร จะมีอัตราการเจริญเติบโต 0.035 ต่อวัน และกลุ่มที่ได้รับไนโตรเจนสูงสุด (0.037 ต่อวัน)

ตารางที่ 4.3 น้ำหนัก ความยาวลำต้น และความยาวใบที่เพิ่มขึ้นของมะเขือเทศที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน

N ในรูปของ NH_4^+ (ppm)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ต้น)	ความยาวลำต้น ที่เพิ่มขึ้น (ซม./ต้น)	ความยาวใบที่ เพิ่มขึ้น (ซม./ต้น)
0	8.72 ± 1.77^a	11.60 ± 1.46^a	5.87 ± 0.57^a
0.4	6.89 ± 0.85^a	8.73 ± 0.87^a	5.43 ± 0.65^a
0.8	7.72 ± 0.85^a	9.97 ± 0.37^a	6.53 ± 0.32^a
1.2	8.96 ± 0.86^a	10.13 ± 1.77^a	0.40 ± 0.92^a

*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่ง หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)



ภาพที่ 4.3 การเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน (A) 0 mmol/l, (B) 0.4 mmol/l, (C) 0.8 mmol/l และ (D) 1.2 mmol/l

4.2.2 คุณภาพน้ำในถังสารละลายธาตุอาหาร

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในถังสารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกาที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์

ค่าการนำไฟฟ้าในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 1.00, 0.97, 0.96 และ 1.01 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละถังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 4.4) เนื่องจากมีการควบคุมค่าการนำไฟฟ้าให้เท่ากันทุกถังประมาณ 1.00 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ย 7.50, 7.42, 7.38 และ 7.04 (ตารางที่ 4.4) โดยชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และอยู่ในระดับที่เหมาะสมเนื่องจากเมื่อมีอนุพลของแอมโมเนียมไอออนอยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืชอยู่มากกว่าชุดการทดลองอื่น ทำให้น้ำมีการดูดใช้แอมโมเนียมไอออน รากพรรณไม้น้ำมีการปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมาในสารละลายด้วย ทำให้สารละลายธาตุอาหารมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างน้อย ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถังสารละลายธาตุอาหารเกิดจากการดูดใช้ในตรพไอออน

ของพรรณไม้น้ำ และมีการปล่อยอนุมูลของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ออกมาจำนวนเท่ากันมีผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายเพิ่มขึ้น (อิทธิสุนทร นันทกิจ, 2548)

อุณหภูมิในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 26.76, 26.71, 26.73 และ 26.68 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในแต่ละถังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.4)

ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 0.64, 0.70, 1.10 และ 2.27 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในแต่ละถังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.4) จากภาพที่ 4.4 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนลดลงอย่างต่อเนื่องและเพิ่มสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 4 เนื่องจากการเติมสารละลายธาตุอาหารลงไป หลังจากนั้นลดลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง จากการดูค่าของพรรณไม้น้ำและจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) คือ เปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมเป็นไนเตรท (Boyd, 1990)

ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 0.01, 0.18, 0.36 และ 0.69 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในแต่ละถังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.4) จากภาพที่ 4.5 พบว่าแนวโน้มของปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 1 และมีปริมาณสูงสุดในสัปดาห์ที่ 2 จากการออกซิเดชัน (oxidation) แอมโมเนียมเป็นไนไตรท์โดยแบคทีเรีย (Boyd, 1990)

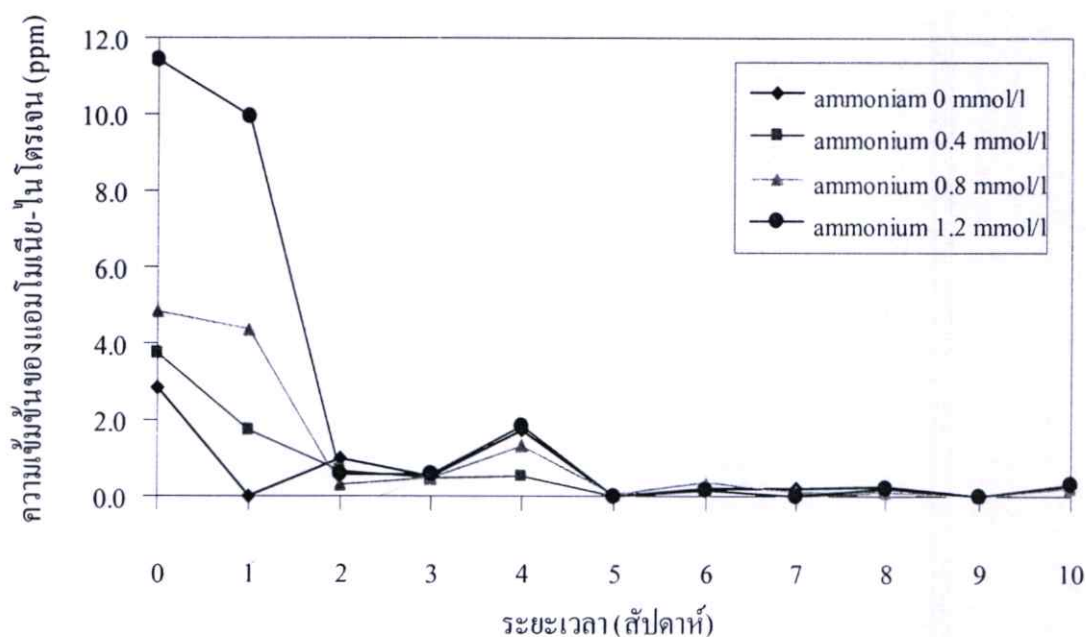
ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 68.32, 66.82, 62.60 และ 73.41 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในแต่ละถังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.4) จากภาพที่ 4.6 ปริมาณไนเตรทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 1 และลดลงเล็กน้อยจนถึงสัปดาห์ที่ 3 และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการทดลอง ถึงแม้ว่าพรรณไม้น้ำจะดูดไนเตรทไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต แต่ปริมาณไนเตรทไม่ลดลงมากนัก เป็นไปได้ว่าปริมาณแอมโมเนียมจากปุ๋ยถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทโดยแบคทีเรียในถังสารละลายธาตุอาหารจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน และนอกจากนี้ปริมาณแอมโมเนียมในปุ๋ยซึ่งเป็นรูปที่พรรณไม้น้ำนำไปใช้ประโยชน์ได้มีเพียงพอในถังสารละลายอยู่แล้ว ยกเว้นในกลุ่มที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 0 มิลลิโมลต่อลิตร

ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 33.86, 33.09, 34.06 และ 40.94 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในแต่ละถังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.7)

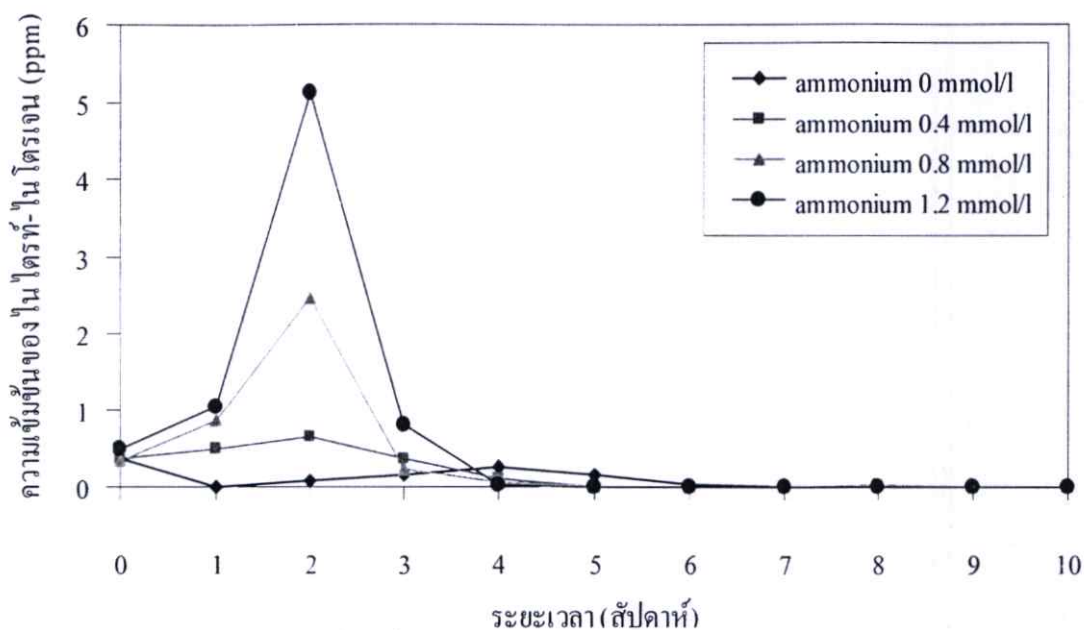
ตารางที่ 4.4 คุณภาพน้ำในถังสารละลายธาตุอาหาร ที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์

คุณภาพน้ำ	ความเข้มข้นของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (mmol/l)			
	0	0.4	0.8	1.2
ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	1.00±0.00 ^a	0.97±0.00 ^a	0.96±0.00 ^a	1.01±0.00 ^a
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	7.50±0.01 ^a	7.42±0.01 ^a	7.38±0.11 ^a	7.04±0.13 ^b
อุณหภูมิ (C°)	26.76±0.64 ^a	26.71±0.71 ^a	26.73±0.70 ^a	26.68±0.71 ^a
แอมโมเนีย (ppm)	0.64±0.27 ^a	0.70±0.33 ^a	1.10±0.53 ^a	2.27±1.26 ^a
ไนไตรท์ (ppm)	0.01±0.00 ^a	0.18±0.01 ^a	0.36±0.22 ^a	0.69±0.46 ^a
ไนเตรท (ppm)	68.32±2.70 ^a	66.82±2.44 ^a	62.60±2.21 ^a	73.41±3.50 ^a
ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (ppm)	33.86±0.48 ^a	33.09±7.31 ^a	34.06±7.78 ^a	40.94±8.39 ^a

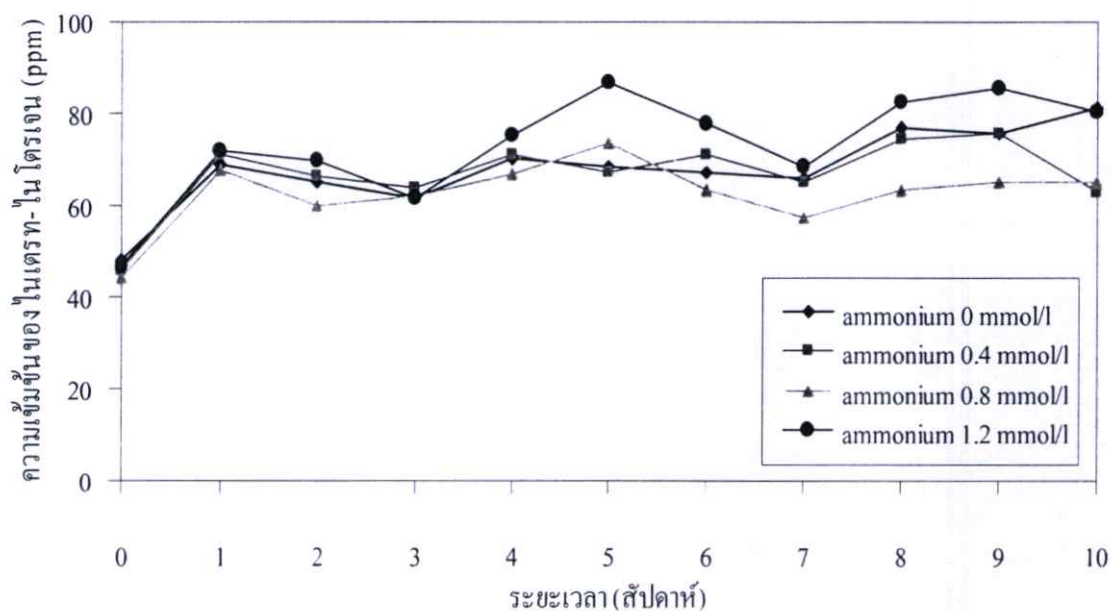
*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)



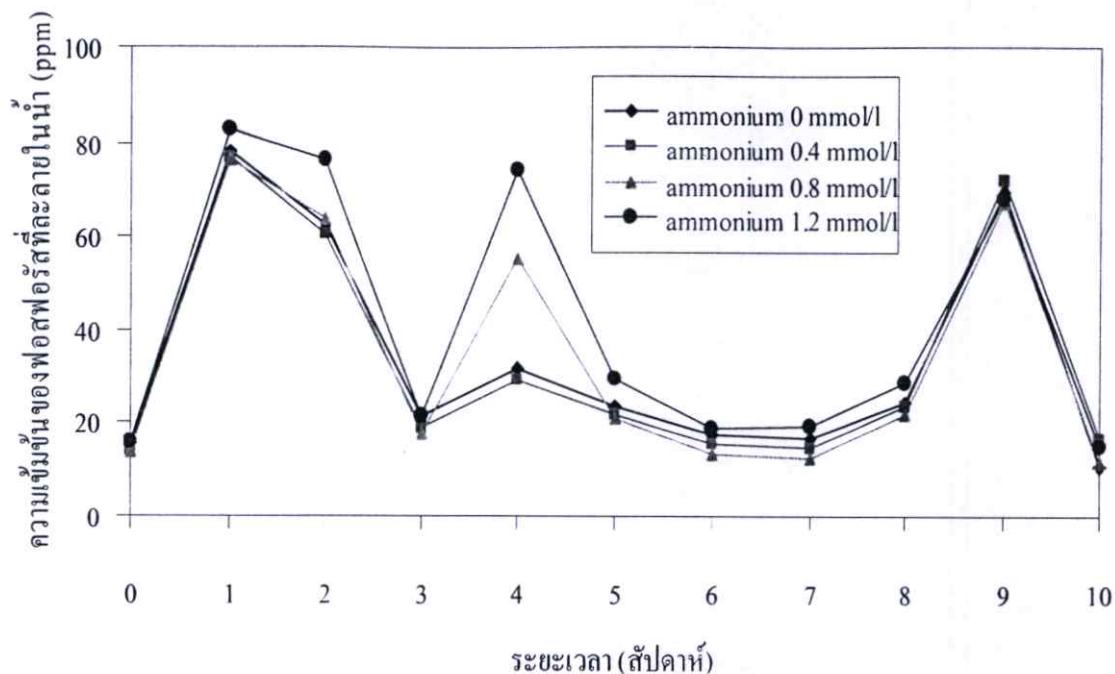
ภาพที่ 4.4 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.5 ปริมาณไนโตรท-ไนโตรเจน ในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจน ในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.6 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจน ในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในถังสารละลายธาตุอาหาร ที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน

4.2.3 ปริมาณธาตุอาหารสะสมในอมซอนแอฟริกา

จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในรากและลำต้นของอมซอนแอฟริกาที่ปลูกในระบบ DFT ที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร โดยทำการวิเคราะห์ธาตุอาหาร 9 ธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีสและสังกะสี

ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในรากของอมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร คือ 2.78, 3.51, 3.71 และ 3.75 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ส่วนในลำต้นมีปริมาณไนโตรเจนสะสม 4.50, 4.45, 4.70 และ 4.82 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) โดยอมซอนแอฟริกาในชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร มีปริมาณไนโตรเจนสะสมทั้งในรากและลำต้นมากที่สุด ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการทดลองของ Dai, T. et.al. (2002) ในการศึกษาธาตุอาหารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวสาลีโดยใช้ธาตุอาหารไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยในตรงเพียงอย่างเดียวในระบบการปลูกพืชไร่ดิน พบว่ากลุ่มที่ได้รับปุ๋ยแอมโมเนียมมีการสะสมธาตุไนโตรเจนในทุกส่วนของพืชทดลองเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการสะสมธาตุอาหารในราก ซึ่งจากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการให้ปุ๋ยแอมโมเนียม สามารถส่งเสริมให้พืชมีการดูดซึมธาตุไนโตรเจนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร คือ 1.22, 1.17, 1.27 และ 1.30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ส่วนในลำต้นมีปริมาณฟอสฟอรัสสะสม 0.62, 0.63, 0.63 และ 0.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) โดยเมื่อนำมาเปรียบเทียบทางสถิติแล้ว พบว่าปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสฟอสฟอรัสทั้งในรากและลำต้นไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$)

ปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตรคือ 6.06, 6.20, 6.01 และ 6.43 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ส่วนในลำต้นมีปริมาณโพแทสเซียมสะสม 4.75, 5.68, 5.67 และ 5.99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมโพแทสเซียม พบว่าปริมาณการสะสมโพแทสเซียมทั้งในรากและลำต้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณแคลเซียมที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร คือ 1.03, 1.26, 1.52 และ 1.56 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ส่วนในลำต้นมีปริมาณแคลเซียมสะสม 2.19, 2.43, 1.99 และ 2.57 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมแคลเซียม พบว่าปริมาณการสะสมแคลเซียมทั้งในรากและลำต้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณแมกนีเซียมที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตรคือ 0.56, 0.58, 0.58 และ 0.67 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ส่วนในลำต้นมีปริมาณแมกนีเซียมสะสม 0.60, 0.63, 0.63 และ 0.76 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) และเมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าปริมาณการสะสมในรากไม่แตกต่างกัน และปริมาณการสะสมธาตุแมกนีเซียมในลำต้นอเมซอนแอฟริกาในกลุ่มที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีระดับของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 1.2 มิลลิโมลต่อลิตรมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ปริมาณทองแดงที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร คือ 52.42, 61.83, 60.83 และ 60.83 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ส่วนในลำต้นมีปริมาณทองแดงสะสม 36.087, 37.33, 46.08 และ 46.00 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) และปริมาณการสะสมแคลเซียมทั้งในรากและลำต้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณเหล็กที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิ

โมลต่อลิตร คือ 174.28, 228.33, 229.25 และ 425.83 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ส่วนในลำต้น มีปริมาณเหล็กสะสม 153.33, 357.50, 443.50 และ 466.67 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) ในกลุ่มที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร มีปริมาณการสะสมเหล็กทั้งในรากและลำต้นมากกว่าในกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ปริมาณแมงกานีสที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร คือ 29.17, 30.33, 32.50 และ 50.83 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ส่วนในลำต้น มีปริมาณแมงกานีสสะสม 10.00, 13.33, 11.67 และ 22.83 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) ในกลุ่มที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม 1.2 มิลลิโมลต่อลิตรมีปริมาณการสะสมแมงกานีสทั้งในรากและลำต้นมากกว่าในกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ปริมาณสังกะสีที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร คือ 254.67, 281.58, 299.67 และ 323.83 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนในลำต้นมีปริมาณสังกะสีสะสม 67.67, 78.83, 107.17 และ 134.25 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) ในกลุ่มที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม 1.2 มิลลิโมลต่อลิตรมีปริมาณการสะสมสังกะสีในลำต้นมากกว่าในกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.5 ปริมาณของธาตุอาหารที่สะสมในรากอเมซอนแอฟริกา ที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียม-ไนโตรเจนแตกต่างกัน

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้นของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (mmol/l)			
	0	0.4	0.8	1.2
ไนโตรเจน (%N)	2.87±0.24 ^a	2.87±0.24 ^a	2.87±0.24 ^a	2.87±0.24 ^a
ฟอสฟอรัส (%P)	1.22±0.00 ^a	1.22±0.00 ^a	1.22±0.00 ^a	1.22±0.00 ^a
โพแทสเซียม (%K)	6.06±0.48 ^a	6.06±0.48 ^a	6.06±0.48 ^a	6.06±0.48 ^a
แคลเซียม (%)	1.03±0.00 ^a	1.26±0.26 ^a	1.52±0.45 ^a	1.56±0.16 ^a
แมกนีเซียม (%)	0.56±0.00 ^a	0.58±0.00 ^{ab}	0.58±0.00 ^{ab}	0.67±0.00 ^a
ทองแดง (ppm)	52.42±8.16 ^a	61.83±1.36 ^a	60.83±4.86 ^a	60.83±5.46 ^a
เหล็ก (ppm)	153.33±1.45 ^a	228.33±2.80 ^{ab}	229.25±1.70 ^{ab}	425.83±1.25 ^b
แมงกานีส (ppm)	29.16±5.83 ^a	30.33±2.91 ^a	32.50±1.44 ^a	50.83±4.41 ^b
สังกะสี (ppm)	254.67±1.88 ^a	281.58±3.94 ^a	299.67±8.86 ^a	323.83±3.17 ^a

*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณของธาตุอาหารที่สะสมในลำต้นอเมซอนแอฟริกา ที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียม-ไนโตรเจนแตกต่างกัน

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้นของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (mmol/l)			
	0	0.4	0.8	1.2
ไนโตรเจน (%N)	4.50±0.01 ^a	4.50±0.01 ^a	4.50±0.01 ^a	4.50±0.01 ^a
ฟอสฟอรัส (%P)	0.62±0.00 ^a	0.62±0.00 ^a	0.62±0.00 ^a	0.62±0.00 ^a
โพแทสเซียม (%K)	5.75±0.44 ^a	5.75±0.44 ^a	5.75±0.44 ^a	5.75±0.44 ^a
แคลเซียม (%)	2.19±0.17 ^a	2.43±0.15 ^a	1.99±0.24 ^a	2.57±0.15 ^a
แมกนีเซียม (%)	0.60±0.00 ^a	0.63±0.00 ^a	0.63±0.00 ^a	0.76±0.00 ^b
ทองแดง (ppm)	36.08±4.77 ^a	37.33±1.12 ^a	46.08±3.77 ^a	46.00±4.54 ^a
เหล็ก (ppm)	153.33±1.45 ^a	357.50±3.21 ^{ab}	443.50±4.16 ^b	466.67±1.15 ^b
แมงกานีส (ppm)	10.00±2.88 ^a	13.33±1.66 ^{ab}	11.66±3.63 ^a	22.83±3.17 ^b
สังกะสี (ppm)	67.67±3.36 ^a	78.83±2.41 ^{ab}	107.16±1.27 ^{ab}	134.25±1.91 ^b

*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

4.3 การทดลองที่ 3 การทดลองหาระดับของค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา ในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT

4.3.1 การเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกา

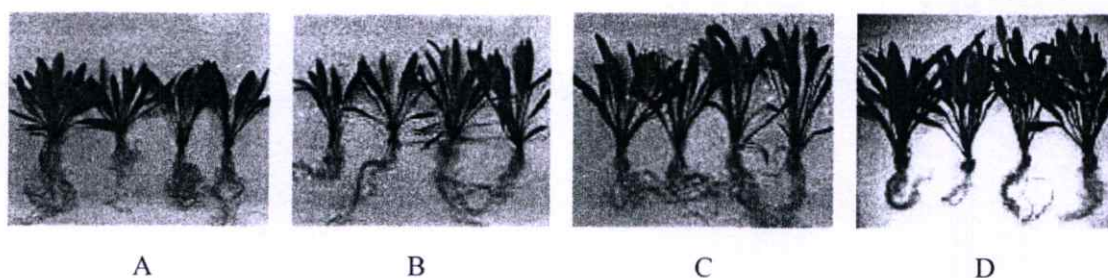
จากการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกา ในระบบการปลูกแบบไร้ดินแบบ DFT ที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 คือความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 1.2 มิลลิโมลต่อลิตรที่มีระดับของค่าการนำไฟฟ้า 4 ระดับที่แตกต่างกัน คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์พบว่า ต้นอเมซอนแอฟริกา มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4.34, 3.24, 4.63 และ 15.26 กรัมต่อต้น ตามลำดับ มีความยาวลำต้นที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 5.80, 8.03, 8.60 และ 19.37 เซนติเมตรต่อต้น ตามลำดับ และมีความยาวใบที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.67, 4.07, 3.77 และ 9.03 เซนติเมตรต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.8) และพบว่า ต้นอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้า 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ความยาวลำต้น และความยาวใบมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) เช่นเดียวกับอเมซอนโอซีลอต (*Echinodorus ozelot*) ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร (สมเกียรติ สีสอนง. 2548) ในทางตรงกันข้ามกับรายงานการทดลองของนาซีเราะห์ วาโคร์ และปิยะกาญจน์ บุญสุวรรณ (2547)

ในการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารสูตร Coic-Lesaint ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของใบพวยศรีลังกาในระบบการปลูกแบบไร้ดิน ที่ระดับความเข้มข้น 0, 1, 2, 3 และ 4 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร 1 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ส่งผลให้พรรณไม้น้ำใบพวยศรีลังกามีการเจริญเติบโตมากที่สุด คือมีน้ำหนักต้นเฉลี่ย 2.99 กรัมต่อต้น ความสูงเฉลี่ย 11.45 เซนติเมตรต่อต้น และจำนวนใบเฉลี่ย 11 ใบต่อต้น นอกจากนี้พรรณไม้น้ำใบพวยเขาใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อได้รับสารละลายธาตุอาหารที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร (มณีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ. 2546) ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอยู่ในช่วง 0.5-1.5 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร (นงนุช เลหาะวิสุทธิ. 2549)

ตารางที่ 4.7 น้ำหนัก ความยาวลำต้น และความยาวใบที่เพิ่มขึ้นของอเมซอนแอฟริกา ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีระดับของค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

ระดับ EC (mS/cm)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ต้น)	ความยาวลำต้น ที่เพิ่มขึ้น (ซม./ต้น)	ความยาวใบที่เพิ่มขึ้น (ซม./ต้น)
0.5	4.34±0.14 ^a	5.80±0.61 ^a	2.67±0.18 ^a
1.0	3.42±0.64 ^a	8.03±0.12 ^a	4.07±0.45 ^a
1.5	4.63±0.73 ^a	8.60±0.47 ^a	3.77±0.27 ^a
2.0	15.26±4.25 ^b	19.37±2.70 ^b	9.03±1.04 ^b

*ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 4.8 การเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกาที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารมีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน (A) EC = 0.5 mS/cm, (B) EC = 1.0 mS/cm, (C) EC = 1.5 mS/cm และ (D) EC = 2.0 mS/cm

4.3.2 คุณภาพน้ำในถึงสารละลายธาตุอาหาร

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในถึงสารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพรรณไม้น้ำอเมซอน แอฟริกาที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 คือ ระดับของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 1.2 มิลลิโมลต่อลิตรและมีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่า

ค่าการนำไฟฟ้าในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 0.52, 1.01, 1.52 และ 1.92 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละถังมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 4.8) เนื่องจากมีการควบคุมค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละชุดการทดลองให้มีความแตกต่างกันตามแผนการทดลอง

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คือ 7.90, 7.42, 6.68 และ 6.15 (ตารางที่ 4.8) โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างในสารละลายธาตุอาหารสามารถเปลี่ยนแปลงได้หลายสาเหตุ เช่นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากรากพืชดูดธาตุอาหารที่เป็นประจุบวก (cations) ในสารละลายธาตุอาหารแล้วปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมา ส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากรากพืชดูดธาตุอาหารที่เป็นประจุลบ (anions) ในสารละลายธาตุอาหารแล้วปลดปล่อยไฮดรอกซิลไอออนออกมา ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้น (ดิเรก ทองอร่าม. 2548) ซึ่งในการทดลองนี้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงเมื่อค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากการเติมสารละลายธาตุอาหาร

อุณหภูมิในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 26.77, 26.71, 26.73 และ 26.69 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในแต่ละถังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 4.8)

ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) คือ 0.82, 0.66, 0.54 และ 1.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) จากภาพที่ 4.9 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงสุดในสัปดาห์แรกของการทดลองและลดลงอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 2 และเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 3 จากการเติมสารละลายธาตุอาหารหลังจากนั้นลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงสัปดาห์ที่ 8 เพิ่มขึ้นจากการเติมสารละลายธาตุอาหาร

ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) คือ 0.00, 0.22, 0.21 และ 0.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) จาก

ภาพที่ 4.10 ปริมาณของไนโตรเจน-ไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 2 และหลังจากนั้นจะลดลงจนเกือบหมดตลอดการทดลอง

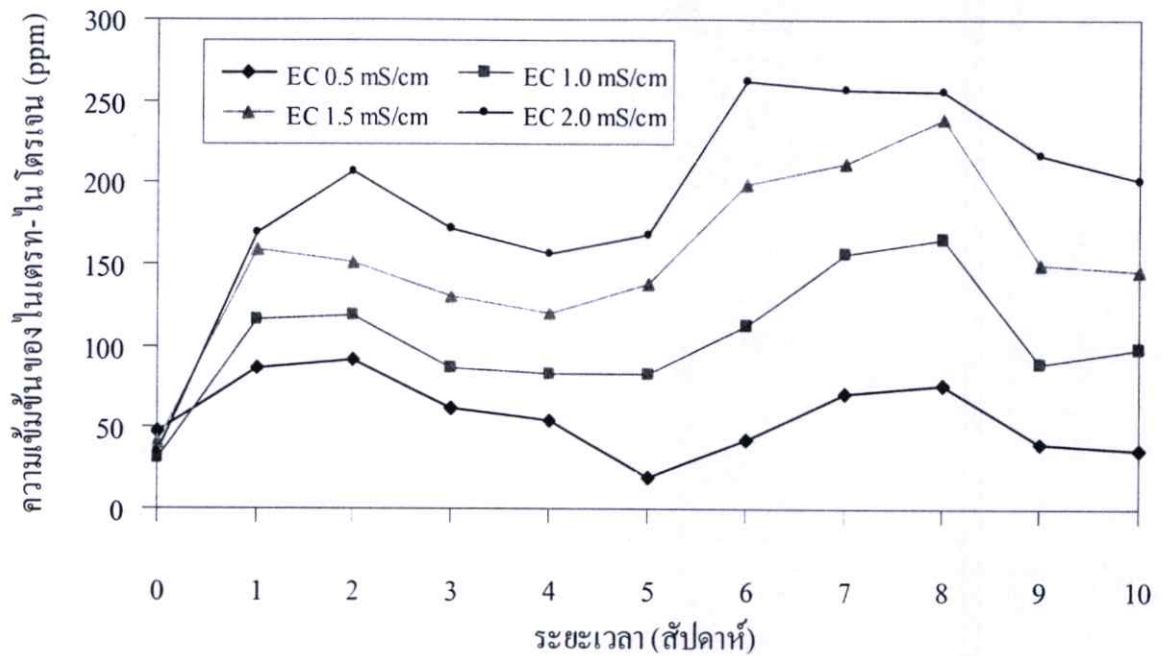
ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คือ 57.15, 103.79, 153.51 และ 191.19 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) จากภาพที่ 4.11 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 2 หลังจากนั้นลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงสัปดาห์ที่ 4 เพิ่มขึ้นอีกในสัปดาห์ที่ 5 และลดลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งปริมาณไนเตรทที่มีอยู่ในสารละลายธาตุอาหารเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน เปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมเป็นไนเตรท (Boyd, 1990)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) คือ 6.78, 17.85, 32.98 และ 43.94 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) จากภาพที่ 4.12) ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำค่อยๆ เพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นสูงสุดในสัปดาห์ที่ 4 และหลังจากนั้นค่าค่อนข้างคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง ขงยุทธ โอสดสภา (2543) รายงานว่าฟอสฟอรัสในสารละลายเป็นแอนไอออนของกรดอโทฟอสฟอริก (H_3PO_4) รูปของแอนไอออนจึงมีได้ 3 แบบ ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลาย เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 6.8 รูปที่เป็นประโยชน์และมีอยู่มากคือ $H_2PO_4^-$ ซึ่งพืชดูดไปใช้ได้ง่ายที่สุด เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.8-7.2 จะมีอยู่ในรูป HPO_4^{2-} มาก ซึ่งพืชดูดได้ช้ากว่ารูปแรก และหากค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 7.2 จะมี PO_4^{3-} เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งพืชดูดใช้ได้ยาก

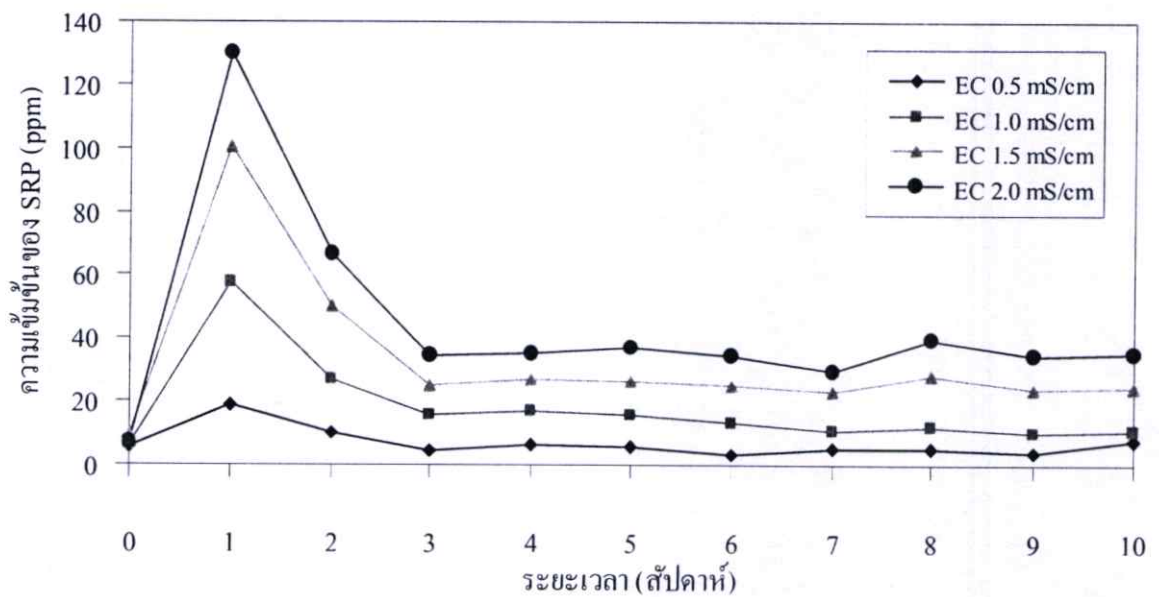
ตารางที่ 4.8 คุณภาพน้ำในถังสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกันตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์

คุณภาพน้ำ	ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	0.52±0.00 ^a	1.01±0.00 ^b	1.52±0.00 ^c	1.92±0.00 ^d
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	7.90±0.01 ^a	7.42±0.00 ^b	6.68±0.01 ^c	6.15±0.13 ^d
อุณหภูมิ (C°)	26.77±0.65 ^a	26.71±0.72 ^a	26.73±0.70 ^a	26.69±0.72 ^a
แอมโมเนีย (ppm)	0.82±0.38 ^a	0.66±0.35 ^a	0.54±0.32 ^a	1.25±0.80 ^a
ไนโตรเจน (ppm)	0.00±0.00 ^a	0.22±0.22 ^a	0.21±0.20 ^a	0.35±0.34 ^a
ไนเตรท (ppm)	57.15±1.99 ^a	103.79±1.39 ^b	153.51±1.39 ^c	191.19±3.51 ^d
ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (ppm)	6.78±1.29 ^a	17.85±4.33 ^a	32.98±2.55 ^b	43.94±6.98 ^b

*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)



ภาพที่ 4.11 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.12 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ ในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

4.3.3 ปริมาณธาตุอาหารสะสมในพรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกา

จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในรากและลำต้นของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในระบบ DFT ที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 คือความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร และมีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร โดยทำการวิเคราะห์ธาตุอาหาร 9 ธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีสและสังกะสี พบว่า

ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตรคือ 3.38, 3.37, 3.78 และ 3.84 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) ส่วนในลำต้นมีปริมาณไนโตรเจนสะสม 3.93, 4.09, 4.14 และ 4.05 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) และปริมาณไนโตรเจนที่สะสมทั้งในรากและลำต้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร คือ 1.07, 1.28, 1.54 และ 2.54 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) ส่วนในลำต้นมีปริมาณฟอสฟอรัสสะสม 0.67, 0.72, 0.74 และ 1.01 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมฟอสฟอรัส พบว่ามีปริมาณการสะสมทั้งในรากและลำต้นในชุดการทดลองที่มีค่าการนำไฟฟ้า 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตรมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตรคือ 6.38, 6.45, 6.86 และ 6.87 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) ส่วนในลำต้นจะมีปริมาณโพแทสเซียมสะสม 5.36, 5.43, 5.30 และ 5.86 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมโพแทสเซียม พบว่ามีปริมาณการสะสมทั้งในรากและลำต้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณแคลเซียมที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร 1.82, 2.38, 2.75 และ 4.79 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) ส่วนในลำต้นจะมีปริมาณแคลเซียมสะสม 3.57, 3.89, 3.81 และ 4.20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมแคลเซียม พบว่าปริมาณการสะสมแคลเซียมทั้งในรากและลำต้นของชุดการทดลองที่มีค่าการนำไฟฟ้า 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตรมากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ปริมาณแมกนีเซียมที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร 0.60, 0.63, 0.64 และ 0.70 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) ส่วนในลำต้นมีปริมาณแมกนีเซียมสะสม 0.46,

0.56, 0.57 และ 0.75 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมแมกนีเซียม พบว่าปริมาณการสะสมแมกนีเซียมทั้งในรากและลำต้นของชุดการทดลองที่มีค่าการนำไฟฟ้า 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตรมากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ปริมาณทองแดงที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร 50.25, 46.33, 62.08 และ 79.67 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) ส่วนในลำต้นมีปริมาณทองแดงสะสม 25.20, 32.17, 30.58 และ 36.67 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) และปริมาณการสะสมทองแดงทั้งในรากและลำต้นของชุดการทดลองที่มีค่าการนำไฟฟ้า 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตรมากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ปริมาณเหล็กที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร 672.50, 551.88, 944.17 และ 1653.75 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) โดยการสะสมเหล็กในรากของอเมซอนแอฟริกาในชุดการทดลองที่มีค่าการนำไฟฟ้า 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตรมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนในลำต้นจะมีปริมาณเหล็กสะสม 421.83, 401.25, 537.50 และ 580.00 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) ปริมาณการสะสมเหล็กในลำต้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณแมงกานีสที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร 32.50, 45.00, 50.00 และ 81.67 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) ส่วนในลำต้นจะมีปริมาณแมงกานีสสะสม 10.83, 11.67, 11.67 และ 22.50 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) ในกลุ่มที่มีระดับของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีปริมาณการสะสมแมงกานีสทั้งในรากและลำต้นมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ปริมาณสังกะสีที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร 9.04, 15.25, 10.42 และ 23.49 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนในลำต้นจะมีปริมาณสังกะสีสะสม 133.75, 174.33, 188.92 และ 282.00 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) ในกลุ่มที่มีระดับของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีปริมาณการสะสมสังกะสีในลำต้นมากกว่าในกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณของธาตุอาหารที่สะสมในรากอมซอนแอฟริกา ที่มีค่าการนำไฟฟ้าแตกต่างกัน

ธาตุอาหาร	ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
ไนโตรเจน (%N)	3.38±0.01 ^a	3.38±0.01 ^a	3.38±0.01 ^a	3.38±0.01 ^a
ฟอสฟอรัส (%P)	1.07±0.00 ^a	1.07±0.00 ^a	1.07±0.00 ^a	1.07±0.00 ^a
โพแทสเซียม (%K)	6.38±0.19 ^a	6.38±0.19 ^a	6.38±0.19 ^a	6.38±0.19 ^a
แคลเซียม (%)	1.82±0.10 ^a	2.38±0.21 ^a	2.75±0.00 ^a	4.79±0.73 ^b
แมกนีเซียม (%)	0.60±0.00 ^a	0.63±0.00 ^a	0.64±0.00 ^a	0.70±0.00 ^a
ทองแดง (ppm)	50.25±5.75 ^{ac}	46.33±3.70 ^a	62.08±3.70 ^c	79.67±4.29 ^b
เหล็ก (ppm)	672.50±1.41 ^a	551.88±1.20 ^a	944.17±1.05 ^a	1653.75±2.06 ^b
แมงกานีส (ppm)	32.50±4.33 ^a	45.00±5.20 ^a	50.00±1.47 ^a	81.67±9.46 ^b
สังกะสี (ppm)	9.04±1.58 ^a	15.25±0.45 ^b	10.42±1.09 ^b	23.49±2.22 ^c

*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 4.10 ปริมาณของธาตุอาหารที่สะสมในลำต้นอมซอนแอฟริกา ที่มีค่าการนำไฟฟ้าแตกต่างกัน

ธาตุอาหาร	ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
ไนโตรเจน (%N)	3.93±0.26 ^a	3.93±0.26 ^a	3.93±0.26 ^a	3.93±0.26 ^a
ฟอสฟอรัส (%P)	0.67±0.00 ^a	0.67±0.00 ^a	0.67±0.00 ^a	0.67±0.00 ^a
โพแทสเซียม (%K)	5.36±0.25 ^a	5.36±0.25 ^a	5.36±0.25 ^a	5.36±0.25 ^a
แคลเซียม (%)	3.57±0.16 ^a	3.89±0.01 ^{ab}	3.81±0.17 ^{ab}	4.20±0.01 ^b
แมกนีเซียม (%)	0.46±0.01 ^a	0.56±0.01 ^a	0.57±0.01 ^a	0.75±0.00 ^b
ทองแดง (ppm)	25.20±1.89 ^a	32.17±1.21 ^{ab}	30.58±3.39 ^a	36.67±3.92 ^b
เหล็ก (ppm)	421.83±4.84 ^a	401.25±7.96 ^a	537.50±5.75 ^a	580.00±5.00 ^a
แมงกานีส (ppm)	10.83±3.33 ^a	11.76±0.83 ^a	11.67±0.83 ^a	22.50±3.82 ^b
สังกะสี (ppm)	133.75±8.95 ^a	174.33±4.12 ^a	188.91±1.63 ^a	282.00±4.27 ^b

*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

4.4 การทดลองที่ 4 การทดลองหาระดับของความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกา ในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT

4.4.1 การเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกา

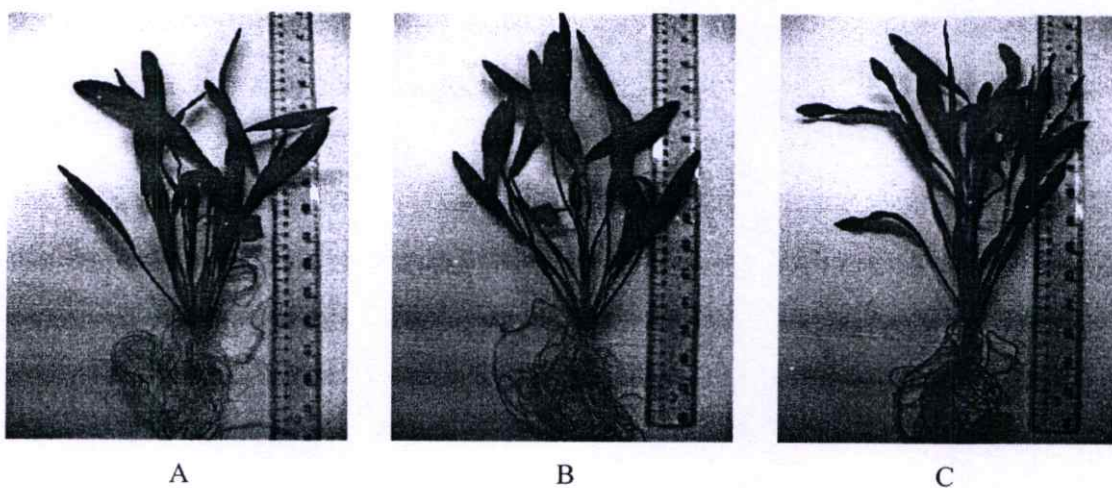
จากการศึกษาหาค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกาในระบบการปลูกแบบไร้ดินแบบ DFT ที่มีระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่างระดับที่แตกต่างกัน คือ 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์พบว่าอเมซอนแอฟริกามีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง คือ 8.25, 10.86 และ 13.95 กรัมต่อต้น มีความยาวลำต้นเฉลี่ย 21.93, 22.53 และ 25.48 เซนติเมตรต่อต้น และมีความยาวใบเฉลี่ย 8.23, 8.20 และ 9.48 เซนติเมตรต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.13) ในชุดการทดลองที่ 3 คือปลูกในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 7.0-7.5 มีน้ำหนักเฉลี่ย ความยาวลำต้นเฉลี่ย และความยาวใบเฉลี่ย มากกว่าชุดการทดลองที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างในสารละลายธาตุอาหาร เป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงความสามารถของรากที่จะดูดธาตุอาหารต่างๆ ที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืชได้ โดยทั่วไปควรรักษาค่าของ pH ที่ 5.8 – 7.0 เป็นช่วงที่ธาตุอาหารพืชต่างๆ สามารถรูปในสารละลายที่พืชส่วนมากนำไปใช้ได้ดี แต่ปกติแล้วค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมในการปลูกพืชแบบไร้ดิน คือ 6 แต่จะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชที่ปลูก (ศิริก ทองอร่าม, 2548) เมื่อสารละลายธาตุอาหารมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 4 จะเป็นอันตรายแก่รากพืช ในทางกลับกันถ้าค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 7 เป็นเวลาติดต่อกัน 2-3 วัน จะทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัส เหล็ก และแมงกานีส ไม่เป็นปกติ (อิทธิสุนทร นันทกิจ, 2548) สารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการปลูกพรรณไม้น้ำต้องมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.5-7.4 (วันเพ็ญ มินกาญจน์ และกาญจน์ พงษ์ฉวี, 2543) จากรายงานการทดลองของปรีชาติ ดิษฐกิจ และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ (2548) ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร และระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมคอสที่ปลูกในโรงเรือนปิดที่มีระบบลดอุณหภูมิ พบว่าการใช้ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ 1.5 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ร่วมกับ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ 5.8 ให้การเจริญเติบโตที่ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบอาการขอบไหม้ในผักกาดหอมคอสเกิดขึ้นเมื่อปลูกในสารละลายที่มีความเข้มข้น และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง pH สูงขึ้น นอกจากนี้ Zieslin and Snir. (1989) ทดสอบการตอบสนองของต้นกุหลาบ (*Rosa indica major*) ต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เปลี่ยนแปลงในระบบการปลูกพืชไร้ดิน โดยปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 3 ระดับ คือ 4.0, 6.0 และ 8.0 โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ารากของต้นกุหลาบกลุ่มที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 8.0 และ 4.0 จะถูกยับยั้งการเจริญเติบโต เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มี

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.0 นอกจากนี้สารละลายธาตุอาหารที่มี ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 4.0 จะไม่ส่งผลต่อขนาดของใบและปริมาณการสะสมคลอโรฟิลล์ ในขณะที่ขนาดของใบและปริมาณการสะสมคลอโรฟิลล์จะลดลงในกลุ่มที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 8.0 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.0

ตารางที่ 4.11 น้ำหนัก ความยาวลำต้น และความยาวใบที่เพิ่มขึ้นของต้นอเมซอนแอฟริกา ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน

ระดับ pH	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ต้น)	ความยาวลำต้น ที่เพิ่มขึ้น (ซม./ต้น)	ความยาวใบที่ เพิ่มขึ้น (ซม./ต้น)
5.0-5.5	8.25±0.30 ^a	21.93±0.36 ^a	8.23±0.24 ^a
6.0-6.5	10.86±0.26 ^b	22.53±0.51 ^a	8.20±0.17 ^a
7.0-7.5	13.95±0.16 ^c	25.48±0.29 ^b	9.48±0.11 ^b

*ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดัง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 4.13 การเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา ที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน (A) pH 5.0-5.5, (B) pH 6.0-6.5 และ (C) pH 7.0-7.5

4.4.2 คุณภาพน้ำในถังสารละลายธาตุอาหาร

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในถังสารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกาที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 คือความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร มีค่าการนำไฟฟ้าที่

เหมาะสมจากการทดลองที่ 3 คือ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่า

ค่าการนำไฟฟ้าในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 มีค่าเฉลี่ย 2.01, 2.01, 2.01 และ 2.01 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละถังไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.12) เนื่องจากการควบคุมค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละชุดการทดลองให้เท่ากันตามแผนการทดลอง

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 มีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 5.23, 6.21, และ 0.40 (ตารางที่ 4.12) เนื่องจากการควบคุมค่าความเป็นกรดเป็นด่างในแต่ละชุดการทดลองให้แตกต่างกันตามแผนการทดลอง

อุณหภูมิในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 มีค่าเฉลี่ย 30.62, 30.45, และ 30.41 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) ซึ่งค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในแต่ละถังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) คือ 5.18, 3.30, และ 0.98 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างในช่วง 6.5-7.4 เป็นช่วงที่พืชม้วนน้ำสามารถดูดใช้ธาตุอาหารและเจริญเติบโตได้อย่างปกติ (วันเพ็ญ มินกาญจน์ และกาญจนา พงษ์ฉวี. 2543) จากภาพที่ 4.14 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง จากการดูดใช้ของพืชและกระบวนการของแบคทีเรียที่เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรท (Boyd. 1990)

ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือ 0.01, 0.14, และ 0.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) จากภาพที่ 4.15 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนลดลงอย่างรวดเร็วในสัปดาห์แรกจนเกือบหมด จากการออกซิเดชันไนไตรท์ไปเป็นไนเตรทของแบคทีเรีย (Boyd. 1990) ในถึงสารละลายธาตุอาหาร

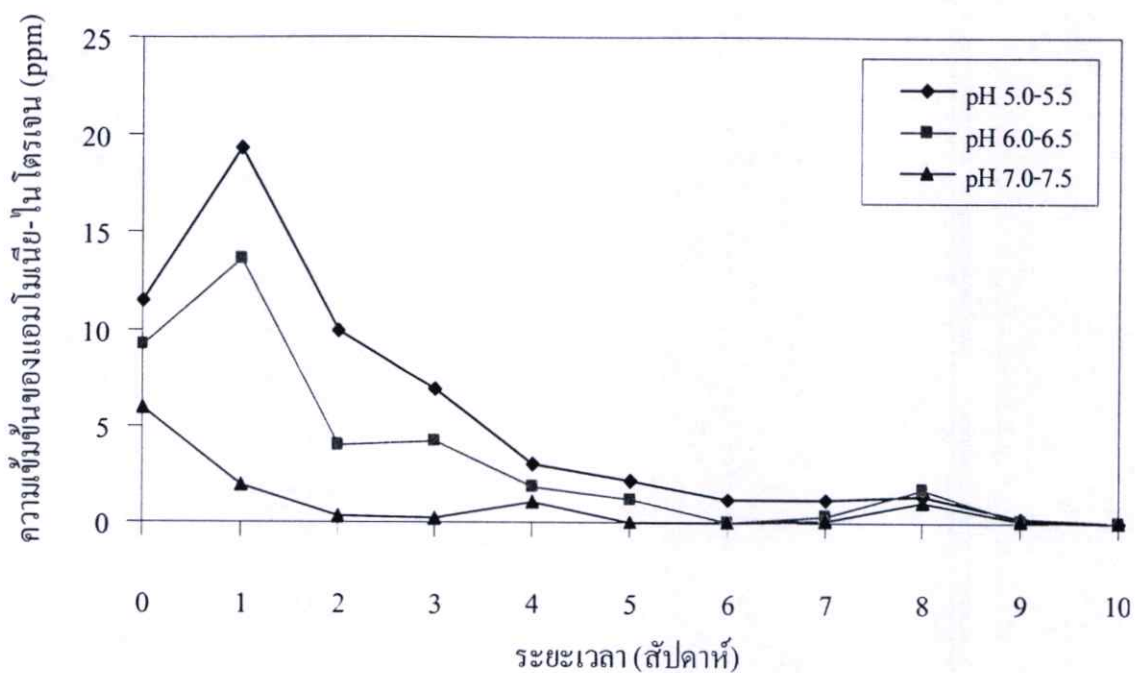
ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือ 210.80, 213.56, และ 216.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) จากภาพที่ 4.16 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งปริมาณไนเตรทในถึงสารละลายธาตุอาหารได้มาจากการกระบวนการไนตริฟิเคชันเปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนเตรทของแบคทีเรีย (Boyd. 1990) ในถึงสารละลาย

ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) คือ 54.91, 41.90, และ 26.86 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) ซึ่งฟอสฟอรัสในสารละลายเป็นแอนไอออนของกรดอโทฟอสฟอริก (H_3PO_4) รูปของแอนไอออนจึงมีได้ 3 แบบ ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลาย เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 6.8 รูปที่เป็นประโยชน์และมีอยู่มากคือ $H_2PO_4^-$ ซึ่งพืชดูดไปใช้ได้ง่ายที่สุด เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.8-7.2 จะมีอยู่ในรูป HPO_4^{2-} มาก ซึ่งพืชดูดได้ช้ากว่ารูปแรก และหากค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 7.2 จะมี PO_4^{3-} เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งพืชดูดใช้ได้ยาก (ยงยุทธ โอสดสภ. 2543) จากภาพที่ 4.17 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำมากที่สุดที่สุดในสัปดาห์ที่ 4 และหลังจากนั้นค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงสิ้นสุดการทดลอง

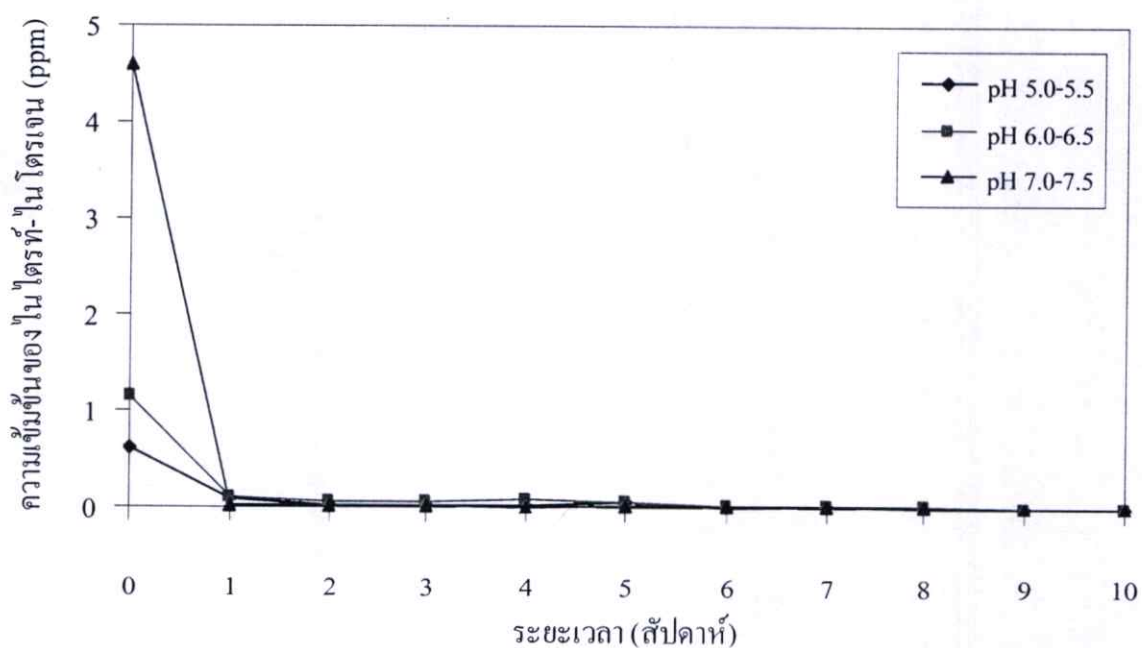
ตารางที่ 4.12 คุณภาพน้ำในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน ตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์

คุณภาพน้ำ	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง		
	5.0-5.5	6.0-6.5	7.0-7.5
ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	2.01±0.00 ^a	2.01±0.00 ^a	2.01±0.00 ^a
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	5.23±0.00 ^a	6.21±0.00 ^b	0.40±0.00 ^c
อุณหภูมิ (C°)	30.62±0.49 ^a	30.45±0.49 ^a	30.41±0.47 ^a
แอมโมเนีย (ppm)	5.18±1.85 ^a	3.30±1.32 ^{ab}	0.98±0.53 ^b
ไนไตรท์ (ppm)	0.01±0.01 ^a	0.14±0.10 ^a	0.43±0.42 ^a
ไนเตรท (ppm)	210.80±3.71 ^a	213.56±7.57 ^a	216.08±8.61 ^a
ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (ppm)	54.91±5.62 ^a	41.90±5.57 ^{ab}	26.86±6.41 ^b

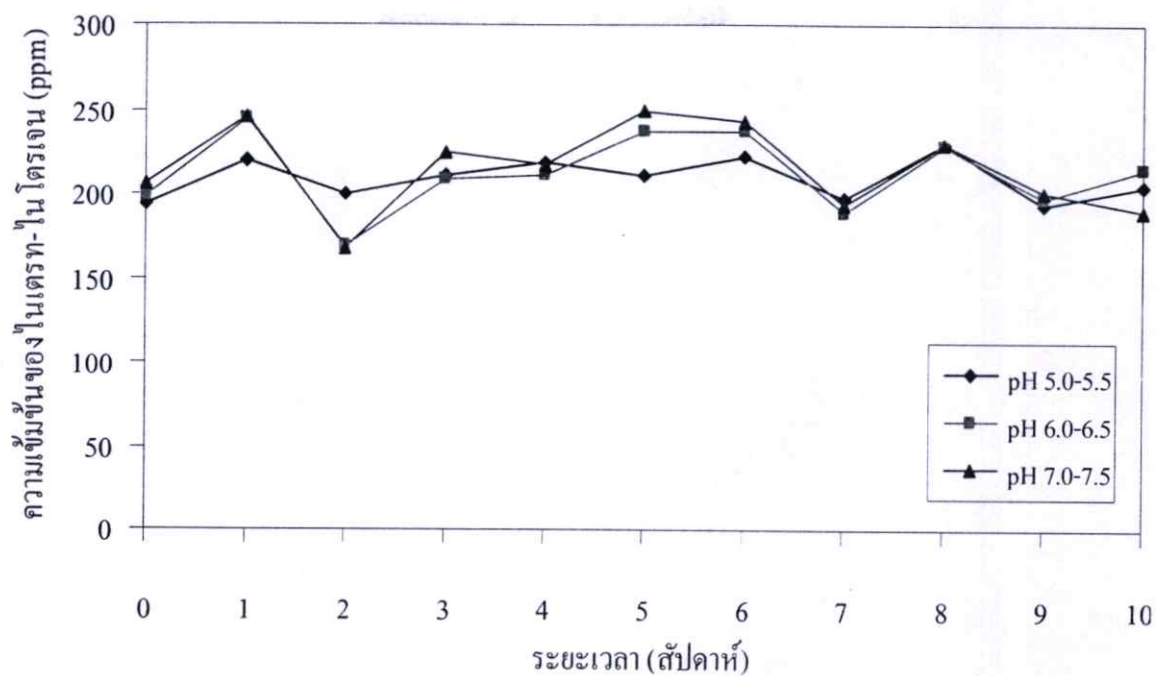
*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)



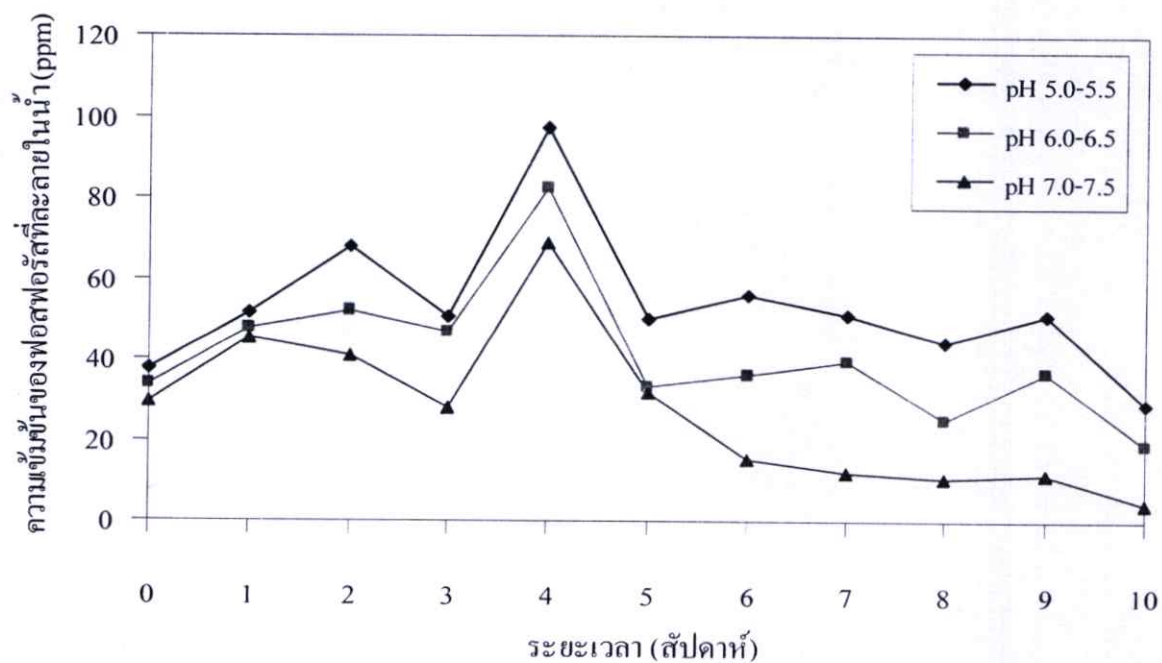
ภาพที่ 4.14 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.15 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.16 ปริมาณเตรท-ไนโตรเจน ในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.17 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ ในถึงสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน

4.4.3 ปริมาณธาตุอาหารสะสมในพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกา

จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในรากและลำต้นของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในระบบ DFT ที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 คือความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 1.2 มิลลิโมลต่อลิตร มีค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3 คือ 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 โดยทำการวิเคราะห์ธาตุอาหาร 9 ธาตุ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีสและสังกะสี

ปริมาณธาตุไนโตรเจนที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 คือ 3.44, 3.73 และ 4.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) ส่วนในลำต้นมีปริมาณธาตุไนโตรเจนสะสม 4.23, 4.49 และ 4.66 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) พรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกาในทุกชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยการสะสมไนโตรเจนทั้งในรากและลำต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และพบว่าในชุดการทดลองที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างในช่วง 7.0-7.5 มีปริมาณการสะสมไนโตรเจนทั้งในรากและลำต้นมากที่สุด

ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 คือ 1.00, 1.26 และ 1.49 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) ส่วนในลำต้นมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสสะสม 0.53, 0.57 และ 0.62 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) โดยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสถิติแล้ว พบว่าในชุดการทดลองที่มีของค่าความเป็นกรดเป็นด่างในช่วง 7.0-7.5 มีเปอร์เซ็นต์การสะสมฟอสฟอรัสทั้งในรากและลำต้นมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 คือ 5.04, 5.44, และ 5.86 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) ส่วนในลำต้นจะมีปริมาณโพแทสเซียมสะสม 4.71, 5.07 และ 0.62 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมโพแทสเซียมในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าในรากไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนในชุดการทดลองที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 7.0-7.5 มีการสะสมโพแทสเซียมในลำต้นมากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ปริมาณแคลเซียมที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 คือ 2.19, 1.71 และ 2.40 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) ส่วนในลำต้นจะมีปริมาณแคลเซียมสะสม 3.34, 3.20 และ 3.52 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมแคลเซียมในพรรณไม้น้ำ

น้ำแล้ว พบว่าทั้งในรากและลำต้นของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณแมกนีเซียมที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 คือ 0.24, 0.44 และ 0.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) ส่วนในลำต้นมีปริมาณแมกนีเซียมสะสม 0.43, 0.56 และ 0.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการสะสมแมกนีเซียมในพรรณไม้แล้ว พบว่าทั้งในรากและลำต้นของชุดการทดลองที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างในช่วง 7.0-7.5 มีเปอร์เซ็นต์การสะสมแมกนีเซียมมากกว่าชุดการทดลองที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างในช่วง 5.0-5.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และมีเปอร์เซ็นต์การสะสมใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างในช่วง 6.0-6.5

ปริมาณทองแดงที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 คือ 31.16, 44.75 และ 59.38 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) ส่วนในลำต้นจะมีปริมาณทองแดงสะสม 24.19, 22.56 และ 25.81 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) ปริมาณการสะสมทองแดงในรากของชุดการทดลองที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 7.0-7.5 มากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และลำต้นจะมีปริมาณการสะสมทองแดงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณเหล็กที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 คือ 579.94, 1591.25 และ 2450.62 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) ส่วนในลำต้นจะมีปริมาณเหล็กสะสม 155.63, 168.00 และ 249.25 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) โดยการสะสมเหล็กทั้งในรากและลำต้นของชุดการทดลองที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 7.0-7.5 จะมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ปริมาณแมงกานีสที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 คือ 146.25, 225.00 และ 538.75 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) ส่วนในลำต้นจะมีปริมาณแมงกานีสสะสม 21.25, 51.25 และ 98.75 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) ปริมาณการสะสมแมงกานีสทั้งในรากและลำต้นของชุดการทดลองที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 7.0-7.5 มากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ปริมาณสังกะสีที่สะสมในรากของอเมซอนแอฟริกาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0-5.5, 6.0-6.5 และ 7.0-7.5 คือ 9.11, 23.66 และ 285.38 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13) ส่วนในลำต้นมีปริมาณสังกะสีสะสม 92.75, 123.00 และ 182.63 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) ปริมาณการสะสมสังกะสีทั้งในรากและลำต้นของชุดการทดลองที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 7.0-7.5 มากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.13 ปริมาณของธาตุอาหารที่สะสมในรากอมซอนแอฟริกา ที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างแตกต่างกัน

ธาตุอาหาร	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง		
	5.0-5.5	6.0-6.5	7.0-7.5
ไนโตรเจน (%N)	3.44±0.01 ^a	3.44±0.01 ^a	3.44±0.01 ^a
ฟอสฟอรัส (%P)	1.00±0.12 ^a	1.00±0.12 ^a	1.00±0.12 ^a
โพแทสเซียม (%K)	5.04±0.20 ^a	5.04±0.20 ^a	5.04±0.20 ^a
แคลเซียม (%)	2.19±0.87 ^a	1.71±0.26 ^a	2.40±0.27 ^a
แมกนีเซียม (%)	0.24±0.00 ^a	0.44±0.01 ^b	0.59±0.00 ^b
ทองแดง (ppm)	31.16±3.59 ^a	44.75±3.51 ^{ab}	59.38±6.30 ^b
เหล็ก (ppm)	579.94±3.26 ^a	1591.25±2.50 ^b	2450.62±1.25 ^c
แมงกานีส (ppm)	146.25±1.80 ^a	225.00±1.64 ^a	538.75±1.11 ^b
สังกะสี (ppm)	9.11±0.85 ^a	23.66±1.54 ^a	285.38±2.78 ^b

*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 4.14 ปริมาณของธาตุอาหารที่สะสมในลำต้นอมซอนแอฟริกาที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างแตกต่างกัน

ธาตุอาหาร	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง		
	5.0-5.5	6.0-6.5	7.0-7.5
ไนโตรเจน (%N)	4.23±0.01 ^a	4.23±0.01 ^a	4.23±0.01 ^a
ฟอสฟอรัส (%P)	0.53±0.00 ^a	0.53±0.00 ^a	0.53±0.00 ^a
โพแทสเซียม (%K)	4.71±0.19 ^a	4.71±0.19 ^a	4.71±0.19 ^a
แคลเซียม (%)	3.44±0.16 ^a	3.20±0.11 ^a	3.52±0.26 ^a
แมกนีเซียม (%)	0.43±0.00 ^a	0.56±0.00 ^a	0.63±0.00 ^b
ทองแดง (ppm)	24.19±1.72 ^a	22.56±0.72 ^a	25.81±0.70 ^a
เหล็ก (ppm)	155.63±1.62 ^a	168.00±1.64 ^a	249.25±2.42 ^b
แมงกานีส (ppm)	21.25±2.98 ^a	51.25±8.75 ^b	98.75±7.39 ^c
สังกะสี (ppm)	92.75±5.77 ^a	123.00±1.32 ^a	182.63±2.46 ^b

*ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวนอน หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA และ BA ในอาหารสังเคราะห์สูตรพื้นฐาน (MS) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ที่มีผลต่อการเพิ่มจำนวนต้นอ่อนของอเมซอนแอฟริกา โดยเติม NAA ความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับการเติม BA ความเข้มข้น 0, 1, 2 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าในอาหารสูตรพื้นฐานที่มีการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต BA 3 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว สามารถชักนำให้ชิ้นส่วนของอเมซอนแอฟริกาเกิดยอดได้รวดเร็วและมากที่สุดเฉลี่ย 9 ต้นต่อชิ้นเนื้อเยื่อ

การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพรรณไม้เนื้ออ่อนอเมซอนแอฟริกาในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT ทั้ง 3 การทดลอง เป็นระยะเวลาการทดลองละ 10 สัปดาห์ คือ การทดลองที่ 2 ศึกษาหาความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา การทดลองที่ 3 ศึกษาหาระดับของค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา และการทดลองที่ 4 ศึกษาหาระดับของความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกา สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมทั้ง 4 ระดับคือ 0.0, 0.4, 0.8 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้การเจริญเติบโตของอเมซอนแอฟริกาที่ไม่แตกต่างจากชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจน 1.2 ppm ให้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่มากที่สุด คือ 8.96 กรัมต่อต้น

2. ชุดการทดลองที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้า 2.0 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร มีน้ำหนัก ความยาวลำต้น และความยาวใบที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย มากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คือ 15.26 กรัมต่อต้น 19.37 เซนติเมตรต่อต้น และ 9.03 เซนติเมตรต่อต้น ตามลำดับ

3. ชุดการทดลองที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 7.0-7.5 มีน้ำหนัก ความยาวลำต้น และความยาวใบที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยมากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คือ 13.95 กรัมต่อต้น 25.48 เซนติเมตรต่อต้น และ 9.84 เซนติเมตรต่อต้น ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโต NAA ร่วมกับ BA พบว่าที่ระดับของ BA 3 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว สามารถชักนำให้ขึ้นเนื้อเยื่อเมซอนแอฟริกาเกิดยอดมากที่สุด ซึ่งในการศึกษาต่อไปควรมีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของ BA มากขึ้น
2. ในการศึกษาหาความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกา พบว่าการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำไม่ได้เกิดจากการดูคใช้แอมโมเนียมไนโตรเจนจากสารละลายธาตุอาหารเพียงอย่างเดียว แต่ได้แหล่งไนโตรเจนจากไนเตรทที่มีอยู่ในสารละลายธาตุอาหารร่วมด้วย แต่เนื่องจากถ้าในสารละลายธาตุอาหารมีแหล่งไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมเพียงอย่างเดียวทำให้พรรณไม้น้ำได้รับไนโตรเจนไม่เพียงพอกับความต้องการของพรรณไม้น้ำเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต จึงต้องมีการเติมไนโตรเจนในรูปอื่นลงไปด้วย ในที่นี้จะเติมไนโตรเจนที่เป็นรูปของไนเตรทลงไปด้วย เพื่อป้องกันมิให้พรรณไม้น้ำขาดธาตุไนโตรเจน
3. ควรมีการศึกษาอัตราส่วนของแอมโมเนียมต่อไนเตรทที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเมซอนแอฟริกา
4. จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าอเมซอนแอฟริกาสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อมีความเข้มข้นของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรดเป็นด่างในระดับที่สูงที่สุด จึงควรมีการศึกษาในระดับที่สูงกว่า เพื่อให้ทราบได้ว่าระดับที่สูงกว่าจะสามารถทำให้พรรณไม้น้ำอเมซอนแอฟริกามีการเจริญเติบโตมากขึ้นหรือลดลง

บรรณานุกรม

- กาญจนาрі พงษ์ฉวี, บั๋งอร โชติพ่วง, ณัฐนันท์ คงจำ และวิจารณ์ ทองมีเอียด. 2543. “ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อโอบิเลีย.” หน้า 1-15 ใน เอกสารวิชาการฉบับที่ 9. กรุงเทพฯ : กรมประมง.
- กาญจนาрі พงษ์ฉวี และณัฐกร ประดิษฐ์สรรพ. 2547. “ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออนุเบียส.” หน้า 1-31 ใน เอกสารวิชาการฉบับที่ 13. กรุงเทพฯ : กรมประมง.
- ณัฐกร ประดิษฐ์สรรพ และกาญจนาрі พงษ์ฉวี. 2547. “การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อชบาหน้า.” หน้า 1-25 ใน เอกสารวิชาการฉบับที่ 33. กรุงเทพฯ : กรมประมง.
- ดิเรก ทองอร่าม. 2548. “ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.” หน้า 1-49. ใน เอกสารประกอบการอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน รุ่นที่ 6. กรุงเทพฯ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นงนุช เลาหะวิสุทธิ, อธิธิสุนทร นันทกิจ และมณีนรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ. 2544. “การขยายพันธุ์พรรณไม้น้ำอะเมซอนใบแดง *Echinodorus barthii* เพื่อการส่งออกโดยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ.” รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ. สำนักงานปลัดทบวงมหาวิทยาลัย.
- นงนุช เลาหะวิสุทธิ และอธิธิสุนทร นันทกิจ. 2547. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน รุ่นที่ 5. กรุงเทพฯ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นงนุช เลาหะวิสุทธิ และมัลลิกา มิตรน้อย. 2548. “การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำอะโกลนีมา (*Aglaonema symplex*).” หน้า 267-274. ใน เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43. สาขาประมง. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นงนุช เลาหะวิสุทธิ. 2549. “ระบบการปลูกพรรณไม้น้ำ.” หน้า 22-30. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมการเพาะเลี้ยงพรรณไม้น้ำ. กรุงเทพฯ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นาซีเราะห์ วาโคร์ และปิยะกาญจน์ บุญสุวรรณ. 2547. “ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของใบพายศรีลังกา (*Cryptocoryne wendtii* de Wit.) ที่ปลูกแบบไร้ดิน.” ปริญญานิพนธ์ สาขาวิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.
- ปรีดา พากเพียร, พิชิต พงษ์สกุล และวิศิษฐ์ โชติสกุล. 2536. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.

- ปรีชาดิ คิชฐกิจ และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. 2548. “ผลของความเข้มข้น และระดับ pH ของ สารละลายธาตุอาหาร ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณไนเตรท และวิตามินซีของผักกาดหอม คอส ที่ปลูกในโรงเรือนปิดที่มีระบบลดอุณหภูมิ.” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่ 36 (5-6) พิเศษ : 1110-1113.
- มนีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ และอรุณี รอดลอย. 2542. “ผลของ ∞ -naphthaleneacetic acid (NAA) และ 6-benzylaminopurine (BA) ต่อการเกิดต้นอ่อนใบพายศรีลังกา *Cryptocoryne wendtii*.” หน้า 1-15. ใน เอกสารวิชาการฉบับที่ 2. กรุงเทพฯ : กรมประมง.
- มนีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ. 2545. “การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำ.” หน้า 1-20. ใน เอกสาร ประกอบการฝึกอบรมการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำ. กรุงเทพฯ : คณะ เทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- มนีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ. 2546. “การขยายพันธุ์ใบพายเขาใหญ่โดยวิธีเลี้ยงเนื้อเยื่อ.” หน้า 1-22. ใน เอกสารวิชาการฉบับที่ 16. กรุงเทพฯ : กรมประมง.
- ชงบุทร โอสธสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บุทรนา เกียรติธร. 2547. “ผลของสารละลายธาตุอาหารและระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ ต่างๆที่มีต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำชนิดใบพายเขาใหญ่ (*Cryptocoryne crispatula* var. balansae).” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีวิทยา บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์, สยาม สีนสวัสดิ์, ศิริธรรม สิงโต และประธาน โพธิ์สวัสดิ์. 2548. เทคโนโลยีการปลูกพืชไร้ดิน (Soiless Culture). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ. สถาบันวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- รังสฤษฎ์ กาวิด๊ะ. 2541. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เรไร นันทนาวัฒน์. 2548. “การปลูกพืชระบบ Deep flow technique (DFT) ในถาดโฟม.” หน้า 1-11. ใน เอกสารประกอบการอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน รุ่นที่ 6. กรุงเทพฯ : คณะ เทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วันเพ็ญ มินกาญจน์ และกาญจน์ พงษ์ฉวี. 2543. พรรณไม้น้ำสวยงาม. กรุงเทพฯ : กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- วันเพ็ญ มินกาญจน์. 2547. “การขยายพันธุ์บอนแดง (*Cryptocoryne blassii* De Wit, 1960) โดย วิธีเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ.” วารสารประมง. (57)2: 148-159.
- วรรณดา พิพัฒน์เจริญชัย. 2548. “การพัฒนาสูตรอาหารขยายโคลนอนุเบียส (*Anubias barteri* Engler, 1979).” หน้า 1-22. ใน เอกสารวิชาการฉบับที่ 46. กรุงเทพฯ : กรมประมง.

- สมเกียรติ สีสอนง. 2548. “การผลิตพรรณไม้น้ำ *Echinodorus ozelot* เพื่อการค้าด้วยการปลูกรูฟฟิชโดยไม่ใช้ดิน.” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่ 36 (5-6) พิเศษ : 779-781.
- โสระขาร่วมรังสี, ชีรพล พรสวัสดิ์ชัย, อัมเรศ ใจดี และ พิมพิใจ อาภาวัชรุทธิ์. “ผลของระดับไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้สกุลหวายชนิดนี้.” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่ 36 (5-6) พิเศษ : 790-793.
- อานนท์ เชษฐาญ. 2546. ปลูกรูฟฟิชไม้น้ำเพื่อการส่งออก. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์พงษ์สาสน์.
- อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2538. การปลูกรูฟฟิชโดยไม่ใช้ดิน (Hydroponics). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Anonymous. 2007. Taxonomy of *Echinodorus africanus*. [Online]. Available : http://www.zipcodezoo.com/Plants/E/Echinodorus_africanus.asp
- Arduini, I. Kettner, C. Goodbold, D.L. Onnis A. and Stefani, A. 1998. pH Influence on Root Growth and Nutrient Uptake of *Pinus pinaster* Seedling.” *Chemosphere*. 36(4-5) : 733-738.
- Bird, K.T. Johnson, J.R. and Smith, J.J. 1998. “In vitro Culture of the Seagrass *Halophila decipiens*.” *Aquatic Botany*. 60 : 377-387.
- Boyd, C.E. 1990. *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Alabama : Birmingham Publishing Co.
- Cao, W. and Tibbitts T.W. 1998. “Response of Potato to Nitrogen Concentrations Differ with Nitrogen Forms.” *Journal of Plant Nutrition*. 21(4) : 615-623.
- Dai, T. Cao, W. and Sun, C. 2002. “Effect of Enhanced Ammonium Nutrition on Content and Accumulation of Nitrogen and Mineral Nutrients in Wheat Plant.” *Ying Tong Sheng Tai Xue Bao*. 13(3) : 382-384.
- Huang, L.C. Chang, Y.H. and Chang, Y.L. 1994. “Rapid in vitro Multiplication of the Aquatic Angiosperm, *Aubias barteri* var. *undulata*.” *Aquatic Botany*. 47(1) : 77-83.
- Jez, R. 2004. Introduction of *Echinodorus africanus*. [Online]. Available : <http://www.capg.spitfire.com.au/africanus.htm>.
- Kim, T. Mill, H.A. and Wetzstein, H.Y. 2002. “Study on Effect of Nitrogen Form on Growth, Development, and Nutrient Uptake in Pecan.” *Journal of Plant Nutrition*. 25(3) : 497-508.
- Kunisaki, J.T. 1980. “In Vitro Propagation of *Anthurium andreanum* Lind.” *HortScience*. 15(4) : 508-509.

- Lasa, B. Frechilla, S. Lamsfus, C. and Aparicio-Tejo, P.M. 2001. "The Sensitivity to Ammonium Nutrient is Related to Nitrogen Accumulation." **Scientia Horticulturae**. 91 : 143-152.
- Michael, E.K and Albert, L.S. 1989. "Comparative shoot and root regeneration from juvenile and adult Aerial Leaf explants of Variable-Leaf Milfoil." **Aquatic plant management**. 27 : 1-10.
- Michael, E.K. E.F. Gilman, M.A. Jenks, and T.J. Sheehan. 1990. "Micropropagation of the aquatic plant *Cryptocoryne lucens*." **HortScience**. 25(6) : 687-689.
- Michael, E.K. Davis, G.L. McConnell, D.B. and Gargiulo, J.A. 1999. "In vitro propagation of *Cryptocoryne wendtii*." **Aquatic Botany**. 63 : 197-202.
- Miller, C.O. and Skoog, F. 1953. "Chemical control of bud formation in tobacco stem segment." **Ames. J. Bot.** 40 : 768-773.
- Murashige, T. and Skoog, F. 1962. "A resived medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture." **Physiol. Pl.** 15 : 473-497.
- Romero, J.A. Brix, H. and Comin, F.A. 1999. "Interactive Effect of N and P on Growth, Nutrient Allocation and NH_4^+ Uptake Kinetics by *Phragmites australis*." **Aquatic Botany**. 64 : 369-380.
- Weerasena, S.L. Mankotte, K. and Kudagamage, C. 2004. Hydroponics. [online]. Available : http://www.agridept.gov.lk/Techinformations/Hponics/H_text.htm#DFT.
- Zieslin, N. and Snir, P. 1989. "Responses of Rose Plant Cultivar 'Sona' and *Rosa indica major* to Change in pH and Aeration of Root Environment in Hydroponic Culture." **Scientia Horticulturae**. 37(4) : 339-349.

ภาคผนวก ก.
การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำ

ก.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดและฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำ

สิ่งสำคัญในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำ นอกจากอาหารและสารควบคุมการเจริญเติบโตที่เหมาะสมแล้ว การทำความสะอาดและการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนของพรรณไม้น้ำ นับเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญ เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนของพรรณไม้น้ำที่ปราศจากเชื้อโรค เชื้อรา โดยขั้นตอนการทำความสะอาดและการฟอกฆ่าเชื้อมีดังนี้

ก.1.1 ขั้นตอนการจัดสิ่งปนเปื้อนพรรณไม้น้ำ

1. ล้างสิ่งสกปรก ดินหรือทรายที่ติดมากับพรรณไม้น้ำออกด้วยน้ำไหล และอาจใช้แปรงสีฟันขนนุ่มๆ ขัดเบาๆ เพื่อขจัดสิ่งสกปรกออกให้ได้มากที่สุด
2. นำพรรณไม้น้ำวางบนจานแก้ว ใช้ใบมีดที่สะอาดและคมตัดเนื้อเยื่อส่วนที่แก่และไม่สะอาดทิ้ง ล้างด้วยน้ำยาล้างผักและน้ำสะอาดอีกครั้ง

ก.1.2 ขั้นตอนการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนเนื้อเยื่อพรรณไม้น้ำในตู้ปลอดเชื้อ

1. นำชิ้นส่วนเนื้อเยื่อจุ่มลงในแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ นาน 20 วินาที แล้ววางทิ้งไว้ให้แห้งบนจานแก้วที่รองด้วยกระดาษกรองที่นิ่งฆ่าเชื้อแล้ว
2. ฟอกฆ่าเชื้อด้วยน้ำยาคลอโรกซ์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ผสมสารจับใบ 2 หยด เขย่านาน 15-20 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่นที่นิ่งฆ่าเชื้อแล้ว 3 ครั้ง ครั้งละ 2 นาที
3. ใช้มีดที่คมและผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ตัดแยกชิ้นส่วนพรรณไม้น้ำ แล้วฟอกฆ่าเชื้อด้วยน้ำยาคลอโรกซ์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ผสมสารจับใบ 2 หยด แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่นที่นิ่งฆ่าเชื้อแล้ว 3 ครั้ง ครั้งละ 2 นาที
4. ใช้มีดที่คมและผ่านการฟอกฆ่าเชื้อแล้ว ตัดผิวและรอยแผลที่สัมผัสกับน้ำยาคลอโรกซ์ทิ้ง หลังจากนั้นตัดชิ้นส่วนพรรณไม้น้ำบนจานแก้วให้เป็นชิ้นขนาดตามต้องการ เพื่อเลี้ยงในอาหารวิทยาศาสตร์ต่อไป

ตารางผนวกที่ ก.1 องค์ประกอบของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร MS (Murashige and Skoog, 1962)

สารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
NH_4NO_3	1,650
KNO_3	1,900
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	440
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	370
KH_2PO_4	170
H_3BO_3	6.2
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	22.3
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	8.6
KI	0.83
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.25
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.025
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.025
Na_2EDTA	37.25
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	27.85
Glycine	2.0
Nicotinic Acid	0.5
Pyridoxine-HCl	0.5
Thiamine-HCl	0.1
Myo-inositol	100
Sucrose	30,000

ภาคผนวก ข.

สารละลายธาตุอาหาร

ข.1 สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ 1 ความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 0 มิลลิโมลต่อลิตร

ข.1.1 สารละลาย A

- | | |
|---|----------------|
| 1. Calcium Nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) | 1.487 กิโลกรัม |
| 2. Iron Chelate (Fe-EDTA) | 0.122 กิโลกรัม |

ข.1.2 สารละลาย B

- | | |
|---|----------------|
| 1. Potassium Nitrate (KNO_3) | 1.192 กิโลกรัม |
| 2. Potassium Dihydrogenphosphate (KH_2PO_4) | 0.354 กิโลกรัม |
| 3. Magnesium Sulphate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) | 0.350 กิโลกรัม |
| 4. Zinc Sulphate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) | 2.378 กรัม |
| 5. Copper Sulphate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) | 0.508 กรัม |
| 6. Manganese Sulphate ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) | 7.452 กรัม |
| 7. Boric Acid (H_3BO_3) | 6.226 กรัม |

ข.2 สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ 2 ความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม 0.4 มิลลิโมลต่อลิตร

ข.2.1 สารละลาย A

- | | |
|---|----------------|
| 1. Calcium Nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) | 1.487 กิโลกรัม |
| 2. Iron Chelate (Fe-EDTA) | 0.122 กิโลกรัม |

ข.2.2 สารละลาย B

- | | |
|---|----------------|
| 1. Potassium Nitrate (KNO_3) | 1.192 กิโลกรัม |
| 2. Potassium Dihydrogenphosphate (KH_2PO_4) | 0.354 กิโลกรัม |
| 3. Ammonium Sulphate ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) | 0.053 กิโลกรัม |
| 4. Magnesium Sulphate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) | 0.350 กิโลกรัม |
| 5. Zinc Sulphate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) | 2.378 กรัม |
| 6. Copper Sulphate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) | 0.508 กรัม |
| 7. Manganese Sulphate ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) | 7.452 กรัม |
| 8. Boric Acid (H_3BO_3) | 6.226 กรัม |

ข.3 สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ 3 ความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม

0.8 มิลลิโมลต่อลิตร

ข.3.1 สารละลาย A

- | | |
|---|----------------|
| 1. Calcium Nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) | 1.487 กิโลกรัม |
| 2. Iron Chelate (Fe-EDTA) | 0.122 กิโลกรัม |

ข.2.2 สารละลาย B

- | | |
|---|----------------|
| 1. Potassium Nitrate (KNO_3) | 1.192 กิโลกรัม |
| 2. Potassium Dihydrogenphosphate (KH_2PO_4) | 0.354 กิโลกรัม |
| 3. Ammonium Sulphate ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) | 0.106 กิโลกรัม |
| 4. Magnesium Sulphate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) | 0.350 กิโลกรัม |
| 5. Zinc Sulphate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) | 2.378 กรัม |
| 6. Copper Sulphate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) | 0.508 กรัม |
| 7. Manganese Sulphate ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) | 7.452 กรัม |
| 8. Boric Acid (H_3BO_3) | 6.226 กรัม |

ข.4 สารละลายธาตุอาหารสูตรที่ 4 ความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม

1.2 มิลลิโมลต่อลิตร

ข.4.1 สารละลาย A

- | | |
|---|----------------|
| 1. Calcium Nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) | 1.487 กิโลกรัม |
| 2. Iron Chelate (Fe-EDTA) | 0.122 กิโลกรัม |

ข.2.2 สารละลาย B

- | | |
|---|----------------|
| 1. Potassium Nitrate (KNO_3) | 1.192 กิโลกรัม |
| 2. Potassium Dihydrogenphosphate (KH_2PO_4) | 0.354 กิโลกรัม |
| 3. Ammonium Sulphate ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) | 0.158 กิโลกรัม |
| 4. Magnesium Sulphate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) | 0.350 กิโลกรัม |
| 5. Zinc Sulphate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) | 2.378 กรัม |
| 6. Copper Sulphate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) | 0.508 กรัม |
| 7. Manganese Sulphate ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) | 7.452 กรัม |
| 8. Boric Acid (H_3BO_3) | 6.226 กรัม |

ภาคผนวก ค.
การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ก.1 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ก.1.1 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

1. standard ammonia 100 ppm
2. สารละลาย $MgSO_4$
3. hypochlorous acid solution
4. phenate solution

ก.1.2 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ไนไตรท์-ไนโตรเจน

1. standard nitrite 100 ppm
2. diazotizing reagent
3. NNED (N-(1-naphthyl)-ethylenediamine-dihydrochloride)

ก.1.3 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ไนเตรท-ไนโตรเจน

1. standard nitrate 200 ppm
2. buffer solution I (NH_4Cl , Disodiumtetraborate และ EDTA)
3. diazotizing reagent
4. NNED (N-(1-naphthyl)-ethylenediamine-dihydrochloride)

ก.1.4 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ

1. standard SRP
2. combine reagent (H_2SO_4 5N, potassium antimonyl tertrate, ammonium molybdate และ ascorbic acid)

ก.2 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ก.2.1 การวัดอุณหภูมิ

โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์

ก.2.2 การวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

โดยใช้เครื่อง pH meter (HANNA Instruments รุ่น HI 8424)

ก.2.3 การวัดค่าการนำไฟฟ้า

โดยใช้เครื่องวัด EC แบบปากกา (HANNA Instruments pH/EC/TDS รุ่น HI 98129)

ค.2.4 การวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

นำน้ำตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติม MnSO_4 1 หยด และเติม hypochlorous acid solution 0.5 มิลลิลิตร เขย่า และเติม phenate solution 0.6 มิลลิลิตร เขย่า ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน

ค.2.5 การวิเคราะห์ไนไตรท์-ไนโตรเจน

นำน้ำตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติม diazotizing reagent 0.2 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 2 นาที แต่ไม่เกิน 8 นาที เติม NNED 0.2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน

ค.2.6 การวิเคราะห์ไนเตรท-ไนโตรเจน

นำน้ำตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานปริมาตร 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายบัฟเฟอร์ I 5 มิลลิลิตร นำไปผ่าน column ครั้งที่ 1 จำนวน 25 มิลลิลิตร (ทิ้งน้ำตัวอย่างที่ผ่าน column ครั้งที่ 1) นำน้ำตัวอย่างที่เหลืออีก 25 มิลลิลิตรไปผ่าน column (เก็บน้ำตัวอย่างที่ผ่าน column ครั้งที่ 2) จากนั้นเติม diazotizing reagent 2 มิลลิลิตร เขย่า ทิ้งไว้ 2 นาที แต่ไม่เกิน 8 นาที เติม NNED 2 มิลลิลิตร เขย่า ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน

ค.2.7 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ

นำน้ำตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติม สารละลาย combine reagent 1.6 มิลลิลิตร เขย่า ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน

ภาคผนวก ง.
การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช

ง.1 การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในพืช

ง.1.1 การย่อยสลายตัวอย่างพืช

สารเคมีที่ใช้สำหรับย่อยสลายตัวอย่างพืชเพื่อวิเคราะห์ไนโตรเจน ประกอบด้วย

1. กรดกำมะถันเข้มข้น (H_2SO_4 98%)
2. สารเร่งปฏิกิริยา (mixed catalyst) เตรียมโดย ผสม K_2SO_4 100 กรัม, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 10 กรัม และ Se 1 กรัม บดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน

ง.1.1.1 ขั้นตอนการย่อยสลาย

1. ชั่งตัวอย่างพืชที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 105°C 3 ชั่วโมง ประมาณ 0.5000 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยตัวอย่าง (digestion tube) และ blank 1 หลอด
2. เติมกรดกำมะถัน 15 มิลลิลิตรและสารเร่งปฏิกิริยาประมาณ กรัม
3. เปิดเครื่อง digest ไปที่อุณหภูมิ 300°C วางหลอดย่อยตัวอย่างลงในเครื่องย่อย
4. เขย่าหลอดเป็นบางครั้ง เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง จะสังเกตพบว่าสารละลายในหลอดใสไม่มีสี
5. ย่อยสลายต่อไปอีกประมาณ 3-4 ชั่วโมงจนกระทั่งสารละลายมีสีเขียวใส
6. นำหลอดย่อยตัวอย่างออกจากเตา วางทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดควันอีกประมาณ 30 นาที
7. เติมน้ำกลั่นลงในหลอดอย่างช้าๆ พร้อมทั้งเขย่าเบาๆ ให้สารผสมกัน วางทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
8. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 75 มิลลิลิตร
9. เทสารละลายแต่ละหลอดเก็บไว้ในขวดเก็บสารละลาย เพื่อนำไปกลั่นหาปริมาณไนโตรเจนต่อไป

ง.1.2 การกลั่นหาปริมาณไนโตรเจนจากตัวอย่างพืชที่ย่อยสลายแล้ว

สารเคมีที่ใช้สำหรับกลั่นไนโตรเจน ประกอบด้วย

1. boric acid indicator
2. 4 N NaOH
3. 0.02 N H_2SO_4

ง.1.2.1 ขั้นตอนการกลั่นไนโตรเจน

1. เปิดเครื่องกลั่นและล้างเครื่อง 2 ครั้ง ด้วยการกลั่นน้ำกลั่นผ่านเครื่อง
2. เติมน้ำยา boric acid indicator ประมาณ 15 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร นำไปวางไว้ที่รองรับของเครื่องกลั่น
3. pipette สารละลายของตัวอย่างพืช 15 มิลลิลิตร เติมลงใน distillation flask
4. เติมสารละลาย 4 N NaOH ประมาณ 15 มิลลิลิตร ลงใน distillation flask

5. เริ่มกลั่นและจับในโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม ร่อนเครื่องกลั่นหยุดทำงาน แล้วจึงนำ distillation flask ออกจากเครื่องกลั่น

6. นำ distillation flask ที่ใช้แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ก่อนที่จะ pipette ตัวอย่างใส่เพื่อกลั่นต่อไป รวมทั้ง blank โดยใช้ขั้นตอน 2-5

ง.1.2.2 การไทเตรต (titration)

นำสารละลายใน Erlenmeyer flask (จากข้อ 5) ของแต่ละตัวอย่างที่กลั่นได้ มาไทเตรตด้วยกรดกำมะถัน 0.02 N จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง จดบันทึกปริมาตรกรดที่ใช้เพื่อคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน ซึ่งคำนวณได้จากสูตรดังนี้

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

A = ปริมาตรของกรดกำมะถันที่ใช้ไทเตรตตัวอย่าง (ml)

B = ปริมาตรของกรดกำมะถันที่ใช้ไทเตรต blank (ml)

C = ความเข้มข้นของกรดกำมะถัน (0.02 N)

ง.2 การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดงและสังกะสี

ง.2.1 การย่อยสลายตัวอย่างพืชด้วยเตาไฟฟ้า

สารเคมีที่ใช้สำหรับย่อยสลายตัวอย่างพืช ประกอบด้วย

1. กรดเกลือ (HCl) 6 N
2. กรดไนตริกเข้มข้น (HNO₃)

ง.2.1.1 ขั้นตอนการย่อยสลาย

1. ชั่งตัวอย่างพืชที่อบแห้งและบดละเอียดแล้วประมาณ 0.2000 กรัม ใส่ลงใน crucible
2. วางบน hot plate เพื่อเผาให้ควันหมดก่อนที่จะเผาในเตาเผา
3. เผาตัวอย่างในเตาเผาโดยใช้อุณหภูมิ 500° C นาน 3 ชั่วโมง
4. เมื่อเย็นแล้วเติมกรดเกลือ (HCl 6 N) 5 มิลลิลิตร
5. ปิดด้วยกระบอกนาฬิกา และอุ่นบน hot plate ประมาณ 15 นาที
6. ถ้ายังละลายไม่หมด เติมกรดไนตริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร แล้วระเหยจนแห้งก่อนที่จะให้ความร้อนต่อไปอีก 1 ชั่วโมง

7. เติมกรดเกลือ 6 N อีกเล็กน้อยเพื่อละลายตะกอนส่วนที่เหลือ พร้อมทั้งเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร นำขึ้นอุ่นต่อไปจนตะกอนละลายหมด
8. กรองสารละลายที่ได้ลงใน volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
9. นำสารละลายตัวอย่างพืชที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี

ง.2.1 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในพืช

ง.2.1.1 สารเคมีที่ใช้ทำให้เกิดสีเพื่อวัด P

1. vanadate reagent
2. molybdate reagent
3. stock standard solution (1,000 ppm P)

ง.2.1.2 วิธีทำให้เกิดสี

1. pipette สารละลายตัวอย่างพืช 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
2. pipette สารละลายมาตรฐาน (0, 5, 10, 15 และ 20 ppm P) อย่างละ 5 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลองเช่นกัน
3. เติม vanadate reagent 5 มิลลิลิตร เขย่า และเติม molybdate reagent อีก 5 มิลลิลิตร เขย่า ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที
4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน ซึ่งสามารถคำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

$$\% P = \frac{\text{ppm (reading)} \times \text{dilution factor} \times 50 \times 10^{-6} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างพืช (g)}} \quad (2)$$

ง.2.1 การวิเคราะห์โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดงและสังกะสีในพืช

การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดงและสังกะสีในพืช โดยนำสารละลายตัวอย่างพืชไปวัดค่าได้โดยตรงด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AA) เปรียบเทียบความเข้มข้นกับสารละลายมาตรฐาน ซึ่งสามารถคำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

$$\%K = \frac{\text{ppm (reading)} \times \text{dilution factor} \times 50 \times 10^{-6} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างพืช (g)}} \quad (3)$$

$$\% \text{Ca, Mg} = \frac{\text{ppm (reading)} \times \text{dilution factor} \times 50}{\text{น้ำหนักตัวอย่างพืช (g)} \times 10,000} \quad (4)$$

$$\text{ppm Fe, Mn และ Cu} = \frac{\text{ppm (reading)} \times \text{dilution factor} \times 50}{\text{น้ำหนักตัวอย่างพืช (g)}} \quad (5)$$

$$\text{ppm Zn} = \frac{\text{ppm (reading)} \times 50}{\text{น้ำหนักตัวอย่างพืช (g)}} \quad (6)$$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล

นางสาวมัลลิกา มิตรน้อย

วัน เดือน ปีเกิด

21 มีนาคม 2524 ที่กรุงเทพมหานคร

ที่อยู่

23 ซอยอารีณี 1 ถนนริมคลองแสนแสบ แขวงบางกะปิ เขตห้วยขวาง
กรุงเทพฯ 10310 โทร. 0-2319-4092

ประวัติการศึกษา

2547 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง