สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

# ผลของรูปแบบธาตุเหล็กต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว

Effect iron chelates on aquatic plant growth (*Microsorium pteropus*)

T104554

โดย

นายจักรพันธุ์ ไพรดี

สบ.
จ 225ผ
2550
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....104554
วัน,เดือน,ปี.....- 5 พ.ย. 2552

b.....12159244
i.....

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ใบรับรองปัญหาพิเศษ**
**ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง**

**เรื่อง** **ผลของรูปแบบธาตุเหล็กต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว**
Effect of iron chelates on aquatic plant growth (*Microsorium pteropus*)

**ชื่อนักศึกษา** นายจักรพันธุ์ ไพรดี
**ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงนุช เลาหะวิสุทธิ์

**ได้พิจารณาเห็นชอบโดย**

**อาจารย์ที่ปรึกษา**.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นงนุช เลาหะวิสุทธิ์)

**ภาควิชารับรองแล้ว**

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา ทวีกิจการ)
**หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง**
**วันที่** 21 **เดือน** พ.ค. **พ.ศ.** 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บทคัดย่อปัญหาพิเศษ**

**เรื่อง**

# ผลของรูปแบบธาตุเหล็กต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว

Effect of iron chelates on aquatic plant growth (*Microsorium pteropus*)


การทดลองได้ศึกษาผลของรูปแบบธาตุเหล็กที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในระบบปลูกพืชไร้ดินแบบมีการให้สารละลายธาตุอาหารไปพร้อมกับการให้ระบบน้ำหยด แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง คือ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe- DTPA, สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA และ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe- EDTA ชุดละ 4 ซ้ำ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยทำการวัดการเจริญเติบโต โดยที่วัดจากน้ำหนัก ความสูงลำต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ และ จำนวนใบของพรรณไม้น้ำทุกๆ 2 สัปดาห์ หลังจากสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีการเจริญเติบโตดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีน้ำหนักสดเฉลี่ยสิ้นสุดเท่ากับ 24.95±0.10 กรัม ความสูงเฉลี่ยสิ้นสุดเท่ากับ 22.63±0.19 เซนติเมตร ความยาวใบเฉลี่ยสิ้นสุด 18.22±0.08 เซนติเมตร ความกว้างใบเฉลี่ยสิ้นสุด 3.42±0.06 เซนติเมตร และ จำนวนใบเฉลี่ยสิ้นสุด 32.75±0.48 ใบ มากที่สุดตามลำดับ รองลงมาคือ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA และ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe- EDTA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำนิยม

ปัญหาพิเศษในครั้งนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้เลย ถ้าไม่ได้ความอนุเคราะห์จากผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่านที่คอยให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นขณะทำงาน ผู้เขียนจึงขอขอบคุณอย่างสูงต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นงนุช เลาหะวิสุทธิ์ และ ดร. อัจฉรี เรืองเดช ผู้ที่ให้ความสนับสนุนในทุกด้าน รวมทั้งคอยช่วยแก้ไขข้อบกพร่องตั้งแต่เริ่มแรกของการทำปัญหาพิเศษจนกระทั่งเสร็จเรียบร้อยและปัญหาพิเศษนี้จะไม่สมบูรณ์เลย หากขาดบุคคลสำคัญเหล่านี้ได้แก่

ขอขอบคุณพี่ๆ เจ้าหน้าที่ภาคทุกท่าน พี่แสง, พี่มอญ, พี่โก๋และพี่กิ๊บ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์พร้อมคำแนะนำที่ดี

ขอบคุณเพื่อนๆ รุ่น 11 ทุกคน โดยเฉพาะน้ำ โจ ปลาและปาล์ม ที่ให้ความช่วยเหลือคำปรึกษาและช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นให้ผ่านพ้นไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพ่อและคุณแม่ที่ให้กำลังใจที่ดีมาโดยตลอดและขอขอบพระคุณทุกๆ คน อีกครั้งที่ทำให้มีการแก้ปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายจักรพันธุ์ ไพรดี

เมษายน พ.ศ. 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| สารบัญ | I |
| สารบัญตาราง | II |
| สารบัญภาพ | III |
| คำนำ | 1 |
| ตรวจเอกสาร | 3 |
| อุปกรณ์และวิธีการ | 14 |
| ผลการทดลองและวิจารณ์ | 17 |
| สรุปและข้อเสนอแนะ | 25 |
| เอกสารอ้างอิง | 26 |
| ภาคผนวก | 28 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | น้ำหนักเฉลี่ยพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน | 17 |
| 2 | ความสูงของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน | 18 |
| 3 | ความยาวใบพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน | 20 |
| 4 | ขนาดความกว้างใบพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน | 21 |
| 5 | จำนวนใบเฉลี่ยของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน | 23 |

| ตารางผนวกที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | น้ำหนักเฉลี่ยของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน | 30 |
| 2 | ความสูงของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน | 31 |
| 3 | ความยาวใบพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน | 32 |
| 4 | ขนาดความกว้างใบพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน | 33 |
| 5 | จำนวนใบเฉลี่ยของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน | 34 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | พรรณไม้น้ำรากดำใบยาว (*M. pteropus*) | 3 |
| 2 | ระบบการให้สารละลายธาตุอาหารไปพร้อมกับการให้ระบบน้ำหยด (Fertigation) | 4 |
| 3 | ระบบการปลูกแบบรากลอย (Deep flow technique) | 4 |
| 4 | ระบบการปลูกแบบรากลอยในอากาศ (Aeroponic) | 5 |
| 5 | ระบบ NFT (Nutrient film technique) | 5 |
| 6 | เครื่อง pH meter | 7 |
| 7 | เครื่อง EC meter | 8 |
| 8 | ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุเหล็กที่มีในสารละลาย | 10 |
| 9 | การอ่านค่าด้วยวิธีการ SPAD ในใบต้นมะนาวอิตาเลียนที่ขาดธาตุหล็ก | 12 |
| 10 | ความสูงของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน | 19 |
| 11 | ความยาวใบพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน | 20 |
| 12 | ขนาดความกว้างใบพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน | 22 |
| 13 | จำนวนใบเฉลี่ยของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน | 23 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำนำ

พรรณไม้น้ำ หมายถึง พืชที่อยู่ในน้ำ โดยอาจจะจมอยู่ใต้น้ำทั้งหมดหรือโผล่บางส่วนขึ้นมาอยู่เหนือน้ำหรือเป็นพืชที่ขึ้นอยู่ตามริมน้ำ ชายตลิ่ง พรรณไม้น้ำเป็นผู้ผลิตขั้นต้น ซึ่งมีความสำคัญในระบบแหล่งน้ำ เนื่องจากเป็นแหล่งกำเนิดอาหารสำหรับสิ่งมีชีวิต เป็นแหล่งผลิตก๊าซออกซิเจนและสามารถหมุนเวียนธาตุอาหารต่างๆ ในแหล่งน้ำ ซึ่งอยู่ในรูปอนินทรีย์สารให้กลับมาอยู่ในรูปอินทรีย์สาร ปัจจุบันพรรณไม้น้ำพื้นเมืองของไทยกำลังได้รับความนิยมอย่างสูงในตลาดต่างประเทศ ซึ่งแต่ละปีมีมูลค่าส่งออกสูงถึงกว่า 200 ล้านบาท และยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นทุกปี ในขณะเดียวกันประเทศไทยยังถือเป็นประเทศที่มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านการเพาะ และ ขยายพันธุ์พรรณไม้น้ำมากที่สุดในภูมิภาคเอเชีย โดยพรรณไม้น้ำชนิดที่มีปริมาณความต้องการสูงในการส่งออก ได้แก่ พรรณไม้น้ำรากดำใบยาว (*Microsorium pteropus*) เป็นเฟิร์นชนิดหนึ่งอยู่ในวงศ์ Polypodiaceae เป็นพรรณไม้น้ำพื้นเมืองของไทย ในธรรมชาติพบขึ้นเกาะอยู่กับขอกก้อนหินบริเวณลำธารหรือน้ำตก โดยมีลำต้นและใบชูขึ้นเหนือน้ำ แต่สามารถเจริญงอกงามใต้น้ำได้ ลำต้นเป็นเหง้าเลื้อยทอดไปตามก้อนหินหรือขอนไม้ โดยมีรากยึดใบใต้น้ำเป็นรูปหอกยาว 10 - 25 เซนติเมตร กว้าง 3 เซนติเมตร สีเขียว ใบเหนือน้ำปลายแตกเป็นแฉกเป็นพืชที่เจริญเติบโตช้าและไม่ชอบแสงมาก

การปลูกพืชไร้ดินเป็นการปลูกพืชแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างมากในปัจจุบัน สามารถปลูกพืชได้ในทุกสถานที่ โดยไม่มีขอบเขตจำกัด สามารถใช้เทคนิคการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินกับพืชได้แทบทุกชนิด การปลูกพืชไร้ดินสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างถูกต้องและแน่นอน พืชสามารถเจริญเติบโตได้โดยอาศัยธาตุอาหารต่างๆ ที่ละลายลงในน้ำ เพื่อทดแทนธาตุอาหารที่มีในดิน พืชเจริญเติบโตได้รวดเร็วและให้ผลผลิตสูง มีความสม่ำเสมอ สะอาดและมีคุณภาพดี สามารถกำหนดปริมาณธาตุอาหารให้ตรงกับความต้องการของพืช พืชได้รับสารอาหารในรูปอนินทรีย์ โดยตรงทำให้การใช้ปุ๋ยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำให้ผลผลิตและคุณภาพของพืชที่ปลูกแบบไร้ดินสูงกว่าการปลูกพืชในดิน

ธาตุเหล็กเป็นธาตุอาหารรองสำหรับพืชโดยทั่วไป พืชจึงมีความต้องการในปริมาณน้อย คือ อยู่ในช่วงประมาณ 2.0-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ก็ขาดไม่ได้ ซึ่งธาตุเหล็กมีความสำคัญต่อพืช ได้แก่ ช่วยเสริมสร้างสารคลอโรฟิลล์ในใบพืชแต่ไม่ได้เป็นส่วนของคลอโรฟิลล์ ช่วยในการสังเคราะห์แสงในใบพืชได้ดีเพื่อสร้างแป้งและน้ำตาล ช่วยเสริมสร้างเอนไซม์ในพืชเพื่อช่วยในระบบการหายใจของพืชทำให้พืชเจริญเติบโต ทำหน้าที่ช่วยเหลือในการแบ่งเซลล์ของพืชเพื่อการเจริญเติบโต ถ้าหากพืชขาดธาตุเหล็กก็จะทำให้ระบบของรากพืชไม่พัฒนา ใบพืชจะมีสีซีดจางไม่เขียว แสดงอาการขาดสารคลอโรฟิลล์ พืชเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ ถ้าพืชขาดธาตุเหล็กในปริมาณมากจะทำให้ผลผลิตลดลง

ดังนั้น การศึกษาถึงรูปแบบของธาตุเหล็กในสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว จะเป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิตพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วัตถุประสงค์**

ศึกษาถึงรูปแบบของธาตุเหล็กที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว

**ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

นำความรู้ที่ได้ไปใช้พัฒนาสูตรสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมและเพิ่มผลผลิตพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ตรวจเอกสาร

## พรรณไม้น้ำ

พรรณไม้น้ำหรือพืชน้ำ หมายถึง พืชที่อยู่ในน้ำ โดยอาจจะจมอยู่ใต้น้ำทั้งหมดหรือโผล่บางส่วนขึ้นมาอยู่เหนือน้ำหรือเป็นพืชที่ขึ้นอยู่ตามริมน้ำ ชายตลิ่ง นอกจากนี้ก็ยังรวมถึงพืชที่เจริญเติบโตอยู่ในบริเวณที่ลุ่มน้ำขังหรือที่ชื้นแฉะอีกด้วย (กาญจนรี, 2543)

พรรณไม้น้ำรากดำใบยาว (*M. pteropus*) เป็นเฟิร์นชนิดหนึ่งที่อยู่ในวงศ์ Polypodiaceae เป็นพรรณไม้น้ำพื้นเมืองของไทย ในธรรมชาติพบขึ้นเกาะอยู่ตามซอกก้อนหินบริเวณลำธารหรือน้ำตก โดยลำต้นและใบชูขึ้นเหนือน้ำ แต่สามารถเจริญงอกงามใต้น้ำได้ ลำต้นเป็นเหง้าเลื้อยทอดไปตามก้อนหินหรือขอนไม้โดยมีรากยึด ใบใต้น้ำมีลักษณะเป็นรูปหอก ยาว 10 - 25 เซนติเมตร กว้าง 3 เซนติเมตร มีสีเขียว เป็นพืชที่เจริญเติบโตช้าและไม่ชอบแสงมาก (www.trangpets.com)

**ภาพที่ 1** พรรณไม้น้ำรากดำใบยาว (*M. pteropus*)
**ที่มา** : http://en.wikipedia.org

## ระบบปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดิน

การปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดิน คือ การปลูกพรรณไม้น้ำในน้ำที่ผสมสารละลายธาตุอาหารหรือการปลูกพรรณไม้น้ำไม่ใช้ดิน โดยผสมสารละลายธาตุอาหารที่พืชต้องการ เติมอากาศในสัดส่วนที่เหมาะสม ปรับความเป็นกรด - ด่าง (pH) ของสารละลายภายในให้เหมาะสมกับความต้องการของพืช (เหมือนชนก, 2548) แบ่งออกเป็น 2 ระบบใหญ่ๆ คือ

1.การปลูกแบบไม่นำสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

1.1 การรดสารละลายธาตุอาหารด้วยมือ

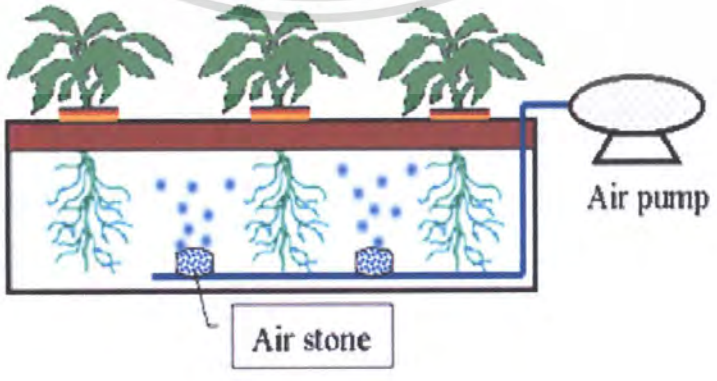
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การให้สารละลายธาตุอาหารไปพร้อมกับการให้ระบบน้ำหยด (Fertigation) เป็นวิธีการปลูกแบบใช้วัสดุปลูก เช่น หินภูเขาไฟ ทราย หรือเม็ดดินเผา ใส่ลงในกระถางพลาสติกหรือกระบะปลูก ปลูกพรรณไม้น้ำในวัสดุเพาะ แล้วให้น้ำที่มีส่วนผสมของสารละลายธาตุอาหารพืชที่โคนต้น เพื่อปล่อยน้ำหยด (Drip irrigation) ตลอดเวลาหรือปล่อยน้ำเป็นช่วงๆ โดยการตั้งเวลาก็ได้ ระบบนี้มีข้อดี คือ ถ้ามีโรคระบาดที่ระบบรากพืชก็จะไม่แพร่กระจายไปต้นอื่น

**ภาพที่** 2 ระบบการให้สารละลายธาตุอาหารไปพร้อมกับการให้ระบบน้ำหยด (Fertigation)
**ที่มา** : http://chemicalland21.com

2. การปลูกแบบนำสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

2.1 การปลูกแบบรากลอย (Deep flow technique) เป็นการปลูกบนโฟมและมีรากลอยอยู่ในสารละลายธาตุอาหาร มีการเติมอากาศหรือหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหารกลับมาใช้

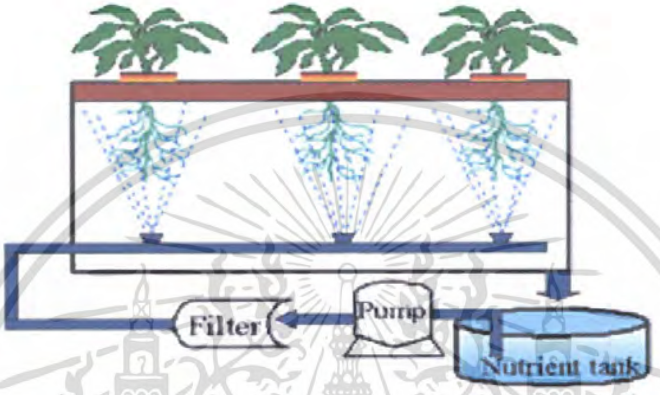



**ภาพที่** 3 ระบบการปลูกแบบรากลอย (Deep flow technique)
**ที่มา** : http://webhost.wu.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

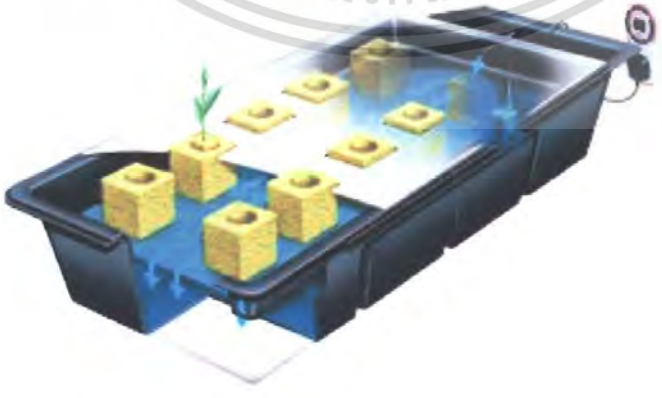
2.2 การปลูกแบบท่วมระบาย (Flood and drain technique) เป็นการปลูกแบบใช้วัสดุปลูก โดยปล่อยสารละลายธาตุอาหารท่วมวัสดุปลูกและระบายสารละลายธาตุอาหารออก โดยการตั้งเวลาเป็นช่วงๆ ให้สารละลายสารละลายธาตุอาหารหมุนเวียนวันละ 3 - 7 ครั้ง

2.3 การปลูกแบบรากลอยในอากาศ (Aeroponic) เป็นการใช้สารละลายธาตุอาหารฉีดพ่นใส่ราก




**ภาพที่ 4** ระบบการปลูกแบบรากลอยในอากาศ (Aeroponic)
**ที่มา** : http://webhost.wu.ac.th

2.4 การปลูกแบบ NFT (Nutrient film technique) เป็นการปลูกแบบใช้สารละลายเป็นฟิลม์บางๆ ไหลผ่านราก



**ภาพที่ 5** ระบบ NFT (Nutrient film technique)
**ที่มา** : http:// hydroponicfarm.blogspot.com

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ**

1. อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน ควรจะศึกษาความต้องการของพืชแต่ละชนิด การปลูกพืชในโรงเรือน เมื่อพืชได้รับแสงผ่านหลังคาพลาสติก อุณหภูมิที่ผิวใบจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 30 องศาเซลเซียส พืชมีอัตราการคายน้ำที่สูง รากจะดูดน้ำขึ้นมาทดแทน ในกรณีที่มีความชื้นพอเพียง พืชจะสามารถเจริญเติบโตได้ แต่ในกรณีที่พืชขาดน้ำ ส่วนยอดจะเหี่ยว เพื่อลดการคายน้ำ หลังจากนั้นจะเหี่ยวทั้งต้นและตาย

ในกรณีที่อุณหภูมิสูงกว่า 32 องศาเซลเซียส พืชจะมีอัตราการคายน้ำสูง รากพืชไม่สามารถดูดน้ำขึ้นไปทดแทนส่วนที่พืชสูญเสียไป ถึงแม้จะมีความชื้นพอเพียง จะทำให้ใบไหม้ คล้ายกับน้ำร้อนลวก (อิทธิสุนทร, 2538)

2. แสง (Light) แสงจัดเป็นปัจจัยภายนอกที่สำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่ง ซึ่งมีผลกับการเจริญเติบโตของพืช เกษตรกรจึงต้องให้ความสนใจ เพื่อสามารถควบคุมให้เกิดประโยชน์กับพืชที่ปลูกให้มากที่สุด แสงมีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช เพราะ แสงเป็นปัจจัยสำคัญในการสังเคราะห์แสงของพืช โดยมีคลอโรฟิลล์เป็นตัวรับแสง ไปใช้เป็นพลังงานในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ให้เป็นคาร์โบไฮเดรตและออกซิเจน คุณภาพของแสง ซึ่งหมายถึง ความยาวคลื่น ความเข้มของแสง และระยะเวลาที่พืชได้รับแสง การออกดอกจะสัมพันธ์กับช่วงระยะเวลา ความสั้นยาวของแสงในแต่ละวัน หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่า พืชไวต่อแสง ในขณะที่พืชบางชนิด จัดเป็นพวกไม่ไวต่อแสง

ความเข้มของแสง ก็มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของต้นพืช เพราะหากว่าแสงมีความเข้มน้อยเกินไปจะทำให้ต้นพืชอ่อนแอหรือ การยืดของข้อต้น การสังเคราะห์แสงจะไม่สมบูรณ์เต็มที่ เป็นผลให้พืชโตช้ากว่าปกติ ดังนั้นการเลือกใช้ตาข่ายเพื่อพรางแสง (ซาแรน) จะต้องเลือกที่มีความหนาและมีสีที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยระบบการปลูกพืชไร้ดินมากที่สุด (อิทธิสุนทร, 2538)

3. การรักษาค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) และ EC (Electrical conductivity) ของสารละลายธาตุอาหารพรรณไม้น้ำ

ดิเรก (2548) กล่าวว่า การรักษาความเป็นกรด– ด่าง (pH) และ EC (Electrical conductivity) ของสารละลายธาตุอาหารพรรณไม้น้ำ เพื่อให้พรรณไม้น้ำสามารถดูดใช้ปุ๋ยหรือสารละลายธาตุอาหารพรรณไม้น้ำได้ดี

3.1 การรักษาความเป็นกรด - ด่าง (pH) ของสารละลายธาตุอาหารพรรณไม้น้ำ

ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารแต่ละธาตุอาหาร (ปุ๋ย) ที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารจะเป็นประโยชน์ต่อการที่รากพรรณไม้น้ำจะดูดเพื่อนำไปใช้ได้นั้น จะขึ้นอยู่กับความเป็นกรด - ด่าง (pH) ที่แตกต่างกันไป ดังนั้นค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) สารละลายธาตุอาหารจะเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงความสามารถของรากที่จะดูดธาตุอาหารต่างๆ ที่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารพรรณไม้น้ำได้ ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) จึงสำคัญต่อการปลูกพรรณไม้น้ำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรักษาค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ของพรรณไม้น้ำแต่ละชนิดนั้นต้องการค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ที่แตกต่างกันไป แต่ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ที่ 4.0 จะเป็นค่าที่ต่ำสุดและสูงสุดที่ 7.0 เพราะ ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ที่สูงกว่านี้เพียง 2-3 วัน พรรณไม้น้ำจะดูดธาตุแมงกานีส เหล็ก และฟอสเฟต ไปใช้ได้อย่างลำบาก การปรับเพื่อลดหรือเพิ่มค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) นั้นสามารถทำได้โดยเติมสารลงไปในสารละลายธาตุอาหารพรรณไม้น้ำโดยตรง

3.1.1 การปรับเพื่อเพิ่มค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)

การปรับเพื่อเพิ่มค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) โดยการเติมสารใดสารหนึ่งดังต่อไปนี้ ลงไปในสารละลายธาตุอาหารพรรณไม้น้ำ เช่น Potassium hydroxide (KOH) หรือ Sodium hydroxide (NaOH) หรือ Sodium bicarbonate หรือ Bicarbonate of soda ($NaHCO_3$)

**ภาพที่ 6** เครื่อง pH meter
**ที่มา**: www.tcs-hydroponics.com

3.1.2 การปรับเพื่อลดค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)

การปรับเพื่อลดค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) โดยการเติมสารใดสารหนึ่งดังต่อไปนี้ ลงไปในสารละลายธาตุอาหารพรรณไม้น้ำ เช่น Sunfuric acid ($H_2HO_4$) หรือ Nitric acid ($HNO_3$) หรือ Hydrochlonic acid (HCl) หรือ Acetic acid ($CH_3COOH$)

สำหรับการปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ที่สูงขึ้น ในระยะที่พรรณไม้น้ำอยู่ในช่วงเจริญเติบโต มีการปรับให้ค่าลดลงโดยใช้แอมโมเนียม ($NH_4^+$) ซึ่งแคตไอออน เพื่อให้รากพรรณไม้น้ำใช้แล้วปลดปล่อย $H^+$ ออกมา แล้วมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ของสารละลายลดลงตามหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่กล่าวมา มีข้อพึงระวังว่าปริมาณของแอมโมเนียม ($NH_4^+$) ไม่ควรมากจนเกิน 15 % ของปริมาณไนตรัส ($NO_3^-$) เพราะถ้ามีในปริมาณมากอาจจะเป็นอันตรายต่อพรรณไม้น้ำ

3.2 การรักษาEC (Electrical conductivity) ของสารละลายธาตุอาหารพรรณไม้น้ำ

เนื่องจากปุ๋ยที่ละลายในน้ำมีค่าของอิออน (ion) ที่สามารถให้กระแสไฟฟ้า ที่มีการวัดค่าการนำไฟฟ้า (โดยใช้ Electrical Conductivity Meter) ทีวัดได้ มีหน่วยเป็นโมห์หรือสิเมน ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของปุ๋ย (เกลือ) หรือความเข้มข้นของสารละลายที่มีในสารอาหาร และ อุณหภูมิ แต่ค่าของการนำกระแสไฟฟ้าในสารอาหารนี้ค่อนข้างน้อยมาก จึงมีการวัดเป็นค่าที่มีหน่วยเป็นมิลลิโมห์ / เซนติเมตร อันเป็นค่าที่ได้จากการวัดการนำกระแสไฟฟ้าจากพื้นที่หนึ่งคิวบิกเซนติเมตรของสารอาหาร

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้ามีหลายอย่าง เช่น ชนิดของพรรณไม้น้ำ ระยะการเจริญเติบโตและความเข้มของแสง ขนาดของถังที่บรรจุ

**ภาพที่ 7** เครื่อง EC meter

**ที่มา**: www.tcs-hydroponics.com

4. ธาตุอาหารของพรรณไม้น้ำ

ธาตุอาหารของพรรณไม้น้ำที่มีความจำเป็นในการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท (ดิเรก, 2548) คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการใช้ในปริมาณมากและธาตุอาหารที่พืชต้องการใช้ในปริมาณน้อย

4.1 ธาตุอาหารหลัก

เป็นธาตุอาหารที่พรรณไม้น้ำต้องการเป็นจำนวนมาก เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg) และ กำมะถัน (S) ธาตุอาหารหลักเหล่านี้มีความสำคัญต่อพรรณไม้น้ำมาก (ยงยุทธ, 2546) โดยเฉพาะไนโตรเจน อาการขาด การเจริญเติบโตจะหยุดชะงักและใบมีสีเหลืองซีดจากการขาดคลอโรฟิลล์ ฟอสฟอรัส อาการขาดพืชจะแคระแกร็นและมีสีเขียวเข้ม และ โพแทสเซียม อาการขาด ในเบื้องต้นสังเกตได้ที่ใบแก่ในพืชใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลี้ยงคู่ ใบจะมีสีซีด ในระยะต่อมาจะพบจุดสีเข้มที่เนื้อใบตายกระจายเป็นจุด ในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวหลายชนิดบริเวณปลายใบและเส้นใบจะตายก่อน (โสระยา, 2544)

4.2 ธาตุอาหารรอง

เป็นธาตุอาหารที่พรรณไม้น้ำมีความต้องในปริมาณที่น้อย แต่ธาตุเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำและขบวนการทางเคมีของธาตุอื่นด้วย จึงเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นและขาดไม่ได้ ได้แก่ คลอรีน (Cl), เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn), สังกะสี (Zn), ทองแดง (Cu), โมลิบดินัม (Mo) และ โบรอน (B) ธาตุอาหารรองที่สำคัญก็คือ เหล็ก (Fe) ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่ช่วยให้ใบมีสีเขียว แต่ถ้าพรรณไม้น้ำได้รับธาตุเหล่านี้มากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อพรรณไม้น้ำได้ โดยปกติแหล่งน้ำตามธรรมชาติมักจะมีธาตุรองชนิดต่างๆ เพียงพอกับความต้องการ (ยงยุทธ, 2546)

**ธาตุเหล็ก**

ธาตุเหล็ก จะพบในดินมากโดยทั่วไป แต่จะเป็นธาตุเหล็กที่ไม่ได้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเป็นส่วนมาก ปัญหาการขาดธาตุเหล็กของพืชไม่ใช่เกี่ยวกับปริมาณของธาตุเหล็กที่มีในดิน ปัญหาเกิดจากการไม่ละลายและความเป็นประโยชน์ต่อพืชของธาตุเหล็กเอง ดินที่มีความเป็นกรดมากจะทำให้ธาตุเหล็กไม่เกิดประโยชน์ต่อพืชและดินที่มีความเป็นด่างมาก ก็จะทำให้ธาตุเหล็กไม่เกิดประโยชน์ต่อพืชเช่นกัน ส่วนในดินที่มีน้ำขังจะทำให้ธาตุเหล็กมีประโยชน์ต่อพืชสูงขึ้น

1. หน้าที่ของธาตุเหล็ก

คือ ช่วยเสริมสร้างความเขียวหรือสารคลอโรฟิลล์ในใบแก่พืช แต่ไม่ได้เป็นส่วนของคลอโรฟิลล์ ช่วยในการสังเคราะห์แสงในใบพืชได้ดี เพื่อสร้างแป้งและน้ำตาล ช่วยเสริมสร้างเอนไซม์ในพืช เพื่อช่วยในระบบการหายใจของพืชทำให้พืชเจริญเติบโต ทำหน้าที่ช่วยเหลือในการแบ่งเซลล์ของพืช เพื่อการเจริญเติบโต พืชต้องการเหล็กในปริมาณที่น้อย ประมาณหนึ่งส่วนในร้อยส่วน เมื่อเทียบกับไนโตรเจน นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการดูดธาตุอาหารอื่นๆ

2. รูปแบบของธาตุเหล็ก

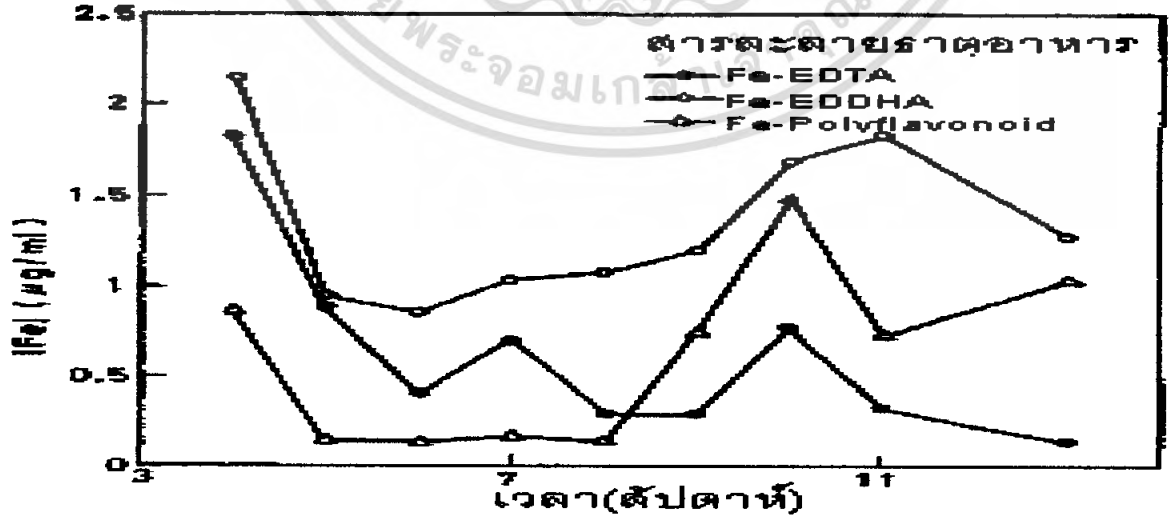
Clemens et al. (1990) ได้กล่าวว่ารูปแบบของธาตุเหล็กที่ใช้ในการเกษตร โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้อยู่ในรูปของเหล็กคีเลตที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเหล็กไอออนกับสารคีเลตธรรมชาติมีชื่อเรียกว่า chelate agent ซึ่งทำให้เกิดความเสถียรมากกว่าในธาตุเหล็กที่ไม่มีคีเลต โดย chelate agent ที่ศึกษาสำหรับเป็นธาตุอาหารแก่พืชมีอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ aminopolycaboxylate และ hydroxycarboxylate ในส่วนของ caboxylate เป็นสารประกอบกรดอินทรีย์ กลุ่มของ aminopolycaboxylate ประกอบด้วย EDTA, HEEDTA, EDDHA และ DTPA ส่วนกลุ่มของ hydroxycarboxylate จะประกอบด้วย citric, gluconic acid และ glucoheptonic acid โดยเหล็กคีเลตในรูปแบบต่างๆ ใช้เสริมธาตุเหล็กแก่พืชโดยการฉีดพ่นที่ใบหรือใส่ลงในดินโดยตรง โดยรูปแบบของเหล็กที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ เฟอรัสไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟอริกอิออน และ เหล็กคีเลตซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเหล็กไอออนกับสารคีเลตธรรมชาติ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ เหล็กคีเลตเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน สามารถที่จะคงตัวในรูปของสารละลายธาตุอาหารพืชและพืชสามารถดูดกินได้ เหล็กคีเลตที่นิยมใช้กันอยู่ในรูปของ EDTA หรือ EDDHA และยังมีเฟอริกออกไซด์แต่เป็นรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ยากโดยพืชมักใช้ธาตุเหล็กในรูปเฟอรัสไอออนได้มากกว่าเฟอริกไอออน

3. รูปแบบของธาตุเหล็กที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

Lucena et al. (1998) ทำการทดลองหาสารประกอบธาตุเหล็กที่เหมาะสมต่อการให้ธาตุเหล็กในการเพาะปลูก Strawberry ในระบบปลูกพืชไร้ดิน ได้แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 ให้ Fe-EDDHA ชุดการทดลองที่ 2 ให้ Fe – EDTA และ ชุดการทดลองที่ 3 ให้ Fe-polyflavonoid โดยการเติมสารละลายธาตุอาหาร แต่ละชุดการทดลองลงไป 1.2 ลิตร ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ที่ 6.8 พบว่า strawberry ที่เลี้ยงในสารละลายซึ่งมีธาตุเหล็กอยู่ในรูป Fe-EDDHA ดีที่สุด ซึ่ง Fe-EDDHA สามารถรักษาระดับของธาตุเหล็กในสารละลายได้มากกว่าชุดการทดลองอื่นทั้งหมด ส่วน Fe- EDTA ในสัปดาห์แรกจะให้ธาตุเหล็กได้มากกว่า Fe-polyflavonoids แต่หลังสัปดาห์ที่ 7 Fe-polyflavonoids จะให้ธาตุเหล็กได้มากกว่า Fe- EDTA ธาตุเหล็กที่หายไปอาจเกิดจากการตกตะกอนกับความไม่มั่นคงของธาตุเหล็กเอง (ภาพที่ 8) ซึ่ง Fe-EDDHA จะมีธาตุเหล็กไปปรากฏที่ใบพืชมากที่สุด ทำให้พืชมีการเจริญเติบโต โดยดูได้จากผลผลิตของ Biomass ส่วน Fe- EDTA ผลผลิตจะน้อยกว่า Fe-EDDHA แต่พืชจะไม่แสดงอาการขาดธาตุเหล็กให้เห็นและสำหรับ Fe-polyflavonoids จะให้ผลผลิตที่ต่ำสุด พืชจะแสดงอาการขาดธาตุเหล็กให้เห็น สรุปก็คือ Fe-EDDHA จะเป็นสารประกอบธาตุเหล็กที่ดีที่สุดที่ใช้เป็นสารละลายในระบบปลูกพืชไร้ดิน




**ภาพที่ 8 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุเหล็กที่มีในสารละลาย**

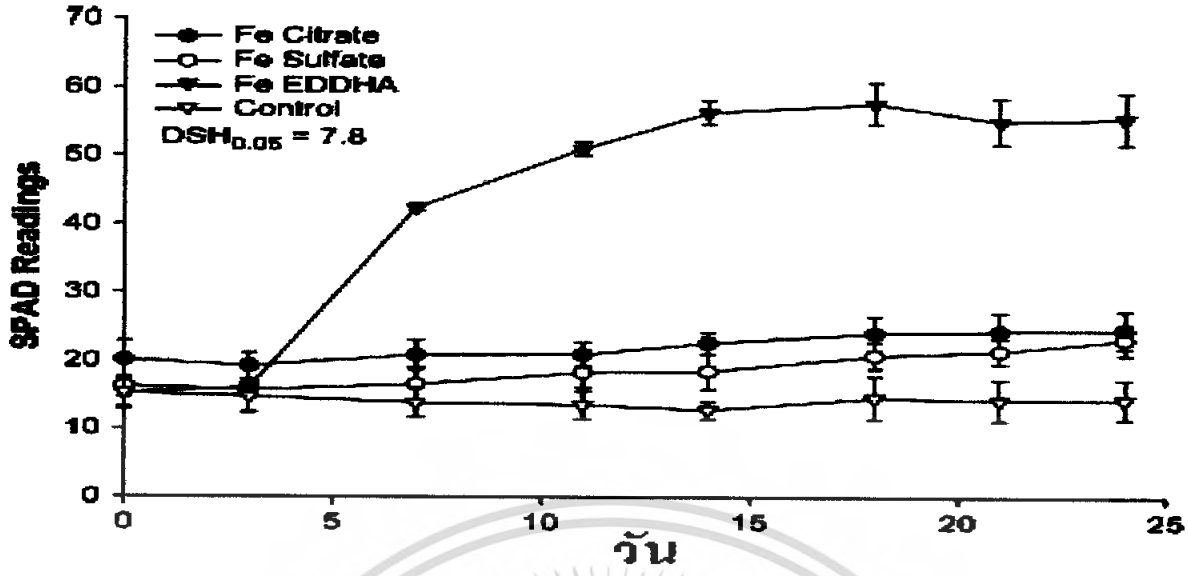
**ที่มา :** Lucena et al. (1989)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lucena et al. (1998) ทำการทดลองหาสารประกอบธาตุเหล็กที่เหมาะสมต่อการให้ธาตุเหล็กในการเพาะปลูก *Lolium multiflorum* ในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบ่งได้เป็น 5 ชุดการทดลองได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 ให้ Fe-EDTA แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Fe- $EDTA_1$ (เติมสารละลายธาตุอาหารสัปดาห์ละ 1 ครั้ง) Fe-$EDTA_2$ (เติมสารละลาธาตุอาหารในวันที่ 1, 3, 5, 7 ของสัปดาห์) ชุดการทดลองที่ 2 ให้ Fe – DTPA ชุดการทดลองที่ 3 ให้ Fe – EDDHA ชุดการทดลองที่ 4 ให้ Rexene และ ชุดการทดลองที่ 5 เป็นชุดการควบคุม โดยเติมสารละลายธาตุอาหารของแต่ละชุดการทดลองลงไป 1.2 ลิตร ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ที่ 8 พบว่า *Lolium multiflorum* ที่เลี้ยงในสารละลายที่มีธาตุเหล็กอยู่ในรูป Fe-EDTA ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายธาตุอาหารตัวอื่น เช่น Fe-DTPA, Fe- EDDHA, Rexene อาจทำให้ผลผลิตบางอย่างมากกว่าหรือน้อยกว่ากันบ้าง แต่ก็ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งสามารถใช้แทนกันได้ แต่เหตุที่ใช้ Fe-DTPA เพราะมีการสลายตัวง่ายให้ธาตุเหล็กที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้เร็วและข้อสำคัญคือ มีราคาถูกกว่าสารละลายธาตุอาหารตัวอื่นๆ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง Fe- $EDTA_1$ กับ Fe-$EDTA_2$ จะเห็นว่าอัตราส่วนของคลอโรฟิลต่อธาตุเหล็กของ Fe-$EDTA_2$ จะสูงกว่า Fe- $EDTA_1$ ทั้งนี้เพราะ อัตราส่วนของคลอโรฟิลต่อธาตุเหล็กเป็นตัวชี้วัดถึงการใช้ประโยชน์ธาตุเหล็กในการสังเคราะห์คลอโรฟิล ซึ่งมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืชเพื่อสร้างความเจริญเติบโตของพืชต่อไป ดังนั้น เราจึงใช้ Fe-$EDTA_2$ ดีกว่าการใช้ Fe- $EDTA_1$ คือการให้ Fe-EDTA บ่อยๆ ดีกว่าการให้นานครั้ง

Ortiz et al. (2007) ได้ทำการทดลองประเมินการตอบสนองของต้นมะนาวอิตาเลียน ที่มีการขาดธาตุเหล็กต่อการให้สารประกอบธาตุเหล็ก ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ชุด การทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 ให้ Fe-Citrate ชุดการทดลองที่ 2 ให้ Fe-sulphate ชุดการทดลองที่ 3 ให้ Fe-EDDHA และ ชุดการทดลองที่ 4 เป็นชุดควบคุม โดยเติมสารละลายธาตุอาหารของแต่ละชุดการทดลองลงไป 20% ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ที่ 8.1 พบว่า ต้นมะนาวอิตาเลียนที่ได้มีการเลี้ยงในสารละลายซึ่งมีเหล็กอยู่ในรูป Fe-EDDHA เป็นสารละลายที่แก้ไขการขาดธาตุเหล็กในพืชที่ได้ผลสมบูรณ์ที่สุด โดยจะมีผลต่อการดูดของรากพืช รวมทั้งการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารไปสู่ใบทำให้พืชมีสีเขียวเต็มใบภายใน 1 สัปดาห์ ในขณะที่ Fe-citrate และ Fe-sulphate ไม่ได้แก้ปัญหานี้ ใบของต้นมะนาวอิตาเลียนที่ได้รับ Fe-citrate และ Fe-sulphate จะไม่กลับมามีสีเขียวอีกและรักษาสภาพเป็นสีเหลืองตลอดไป (ภาพที่ 9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 9** การอ่านค่าด้วยวิธีการ SPAD ในใบต้นมะนาวอิตาเลียนที่ขาดธาตุเหล็ก
**ที่มา** : Ortiz et al. (2007)

4. กลไกของธาตุเหล็กเข้าสู่พืช

Crowley et al. (1991) ได้ลงมือทำการทดลองเพื่อจะตรวจสอบว่าสิ่งมีชีวิตที่อยู่ที่รากพืชพวก *microbialsiderophores* และ *phytosiderophores* ซึ่งสามารถจับธาตุเหล็กได้ จะมีผลต่อการดูดธาตุเหล็กเข้าสู่ลำต้นพืชได้พวกไหนจะดีที่สุด ทดลองด้วยการใส่ธาตุเหล็ก คือ ferrioxamine B (FOB) ให้กับ *microbial siderophore* หรือ ให้ epi-hydroxymugenic acid (HMA) กับ *phytosiderophore* โดยทดลองกับพืชที่ (เมล็ด) ไม่ได้ฆ่าเชื้อ คือ เพาะเมล็ดข้าวโพดหรือเพาะเมล็ดข้าวโอ๊ตด้วยดินที่มีจุลินทรีย์และ ในธาตุอาหารมี sucrose อยู่ด้วย ในระบบปลูกพืชไร้ดิน พบว่า ผลการทดลองเพาะเมล็ดข้าวโพดใน FOB การดูดธาตุเหล็กเพิ่มถึง 8 ส่วน กับการเพาะกล้าข้าวโอ๊ตด้วย FOB มีอัตราเพิ่มธาตุเหล็กถึง 150 ส่วน แต่จะไม่มีผลต่อพืชที่มีธาตุเหล็กพอเพียงแล้ว ซึ่งในทางกลับกันต้นข้าวโพดและต้นข้าวโอ๊ตที่ขาดแคลนธาตุเหล็กหากว่าใส่ HMA เข้าไปขณะเพาะกล้าไม้การดูดและการลำเลียงธาตุเหล็กจะลดลง จึงพอสรุปได้ว่า ความสามารถของรากพืชในการดูดและลำเลียงธาตุเหล็ก *microbial siderophores* จะเป็นกลุ่มที่ดีที่สุด

5. ปริมาณธาตุเหล็กที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

Goransson and McDonald (1993) ทำการทดลองหาการเจริญเติบโตของ *Betula pendula* ขนาดเล็กที่สัมพันธ์กับการให้ธาตุเหล็กในอัตราส่วนที่แตกต่างกันในระบบปลูกพืชไร้ดิน แบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 ให้ธาตุเหล็กที่ระดับ 0.05 ต่อวัน ชุดการทดลองที่ 2 ให้ธาตุเหล็กที่ระดับ 0.10 ต่อวัน ชุดการทดลองที่ 3 ให้ธาตุเหล็กที่ระดับ 0.15 ต่อวัน ชุดการทดลองที่ 4 ให้ธาตุเหล็กที่ระดับ 0.20 ต่อวัน พบว่า อัตราการให้ธาตุเหล็กที่ระดับ 0.05 ต่อวัน ในพืชจะเหลืองมีจุดประสีขาว ใน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบแก่เนื้อเยื่อจะตายเป็นจุดๆ รากมีสีเหมือนผล apricoy บางต้นความเจริญเติบโตที่ยอดจะลดลง ถ้าให้ธาตุเหล็กในอัตรา 0.10 ต่อวัน ใบทั้งหมดมีสีเขียวอ่อน ภาวะขาดแคลนธาตุเหล็กจะมองไม่เห็นหรือเห็นน้อยมากกับอัตรา 0.15 ต่อวันหรือที่สูงกว่านี้ก็เป็นเช่นเดียวกัน

Johnson and Youngblood (1991) ได้ทำการทดลองหาความเข้มข้นสารประกอบธาตุเหล็กที่มีผลตอบสนองต่อการจับไนโตรเจนและการให้สารไนเตรทกับต้นอัลฟัลฟา สำหรับการเจริญเติบโตในระบบปลูกพืชไร้ดินแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 ให้ Fe –EDDHA ชุดการทดลองที่ 2 ให้ Fe-HEDTA ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ที่ 7.5 พบว่า ต้นอัลฟัลฟาที่เลี้ยงในสารละลายที่มีเหล็กอยู่ในรูป Fe –EDDHA มีผลตอบสนองต่อการจับไนโตรเจนดีที่สุด มีความเข้มข้นระหว่าง 33-200 ไมโครโมล ส่วนที่มีตอบสนองต่อไนเตรทดีที่สุดมีความเข้มข้นที่ 100 ไมโครโมล ซึ่งทั้งสองกรณีมีผลต่อการสร้างปมราก อันจะช่วยสร้างความเจริญเติบโตแก่อัลฟัลฟา ส่วนต้นอัลฟัลฟาที่เลี้ยงในสารละลายที่มีเหล็กอยู่ในรูป Fe-HEDTA จะมีผลตอบสนองต่อการจับไนโตรเจนและมีผลตอบสนองต่อไนเตรทดีที่สุด มีความเข้มข้นที่ 3.3-10 ไมโครโมล

Crowley et al. (2002) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองของธาตุเหล็กที่มีอยู่อย่างจำกัด ถูกตรวจสอบด้วยข้าวบาร์เล่ย์ที่ใช้ปลูกทั้ง 3 ชนิด คือ สเตปโต, โมเร็ก และ ดิกทู ให้เจริญเติบโตในที่ที่มีธาตุเหล็ก 5 ระดับ (pFe 16.5, 17, 17.5, 18, 19) ในสารละลายธาตุอาหาร ระหว่างข้าวบาร์เล่ย์ที่เพาะปลูก 3 ชนิด พบว่า ข้าวบาร์เล่ย์ชนิดสเตปโตจะผลิตชีวมวลให้สูงที่สุดและยังคงรักษาไว้ซึ่งปริมาณของความจุคลอโรฟิลในใบที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุด ตามมาด้วยข้าวบาร์เล่ย์ชนิดดิกทูและข้าวบาร์เล่ย์ชนิดโมเร็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### อุปกรณ์

1. พรรณไม้น้ำรากดำใบยาว (*M. pteropus*) จำนวน 60 ต้น

2. ระบบปลูกพืชไร้ดินแบบมีการให้สารละลายธาตุอาหารไปพร้อมกับการให้ระบบน้ำหยด ซึ่งมีกระบะปลูก 12 กระบะ แต่ละกระบะปลูกมีช่องสำหรับใส่สารละลายธาตุอาหาร 1 ช่อง

3. เครื่องให้ความชื้นในโรงเรือน

4. ปั๊มน้ำที่ใช้ในการดึงธาตุเหล็กจากช่องสำหรับใส่สารละลายธาตุอาหาร สู่กระบะปลูก 12 ตัว

5. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH meter) และ เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity Meter)

6. สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ $HNO_3$, NaoH, $ZnSO_4$, $MnSO_4$, $MgSO_4$, $KNO_3$, $KH2PO_4$, $CuSO_4$, ferric-ethylendiamine di (o-hydroxyphenylacetic) acid (Fe-EDDHA), ferric-diethylenetriamine pentaacetic acid (Fe-DTPA), ferric-ethylendiamine tetraacetic acid (Fe-EDTA), $(NH_4)_6MO_7O_{24}$ $H_3BO_3$ และ $Ca(NO_3)_2$

7. เครื่องชั่งน้ำหนัก

8. อุปกรณ์อื่นๆ เช่น บีกเกอร์, กระบอกตวง, แท่งแก้ว, ไม้บรรทัด และ อื่นๆ

### วิธีการ

#### แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดสมบูรณ์ (Complete randomized design ; CRD) โดยใช้ธาตุเหล็ก 3 รูปแบบ คือ Fe-DTPA, Fe-EDDHA, Fe-EDTA โดยมีการแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ในแต่ละชุดการทดลองมี 4 ซ้ำ คือ

ชุดการทดลองที่ 1 พรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่เลี้ยงอยู่ในสารละลายธาตุอาหารซึ่งมีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA

ชุดการทดลองที่ 2 พรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่เลี้ยงอยู่ในสารละลายธาตุอาหารซึ่งมีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA

ชุดการทดลองที่ 3 พรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่เลี้ยงอยู่ในสารละลายธาตุอาหารซึ่งมีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe- EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วิธีการทดลอง**

1. ขั้นตอนการเตรียม

1.1 จัดเตรียมระบบการปลูกพืชไร้ดิน คือ ระบบปลูกแบบมีการให้สารละลายธาตุอาหารไปพร้อมกับการให้ระบบน้ำหยด ซึ่งมีกระบะปลูกทั้งหมด 12 กระบะ แต่ละกระบะปลูกจะมีช่องสำหรับใส่สารละลายธาตุอาหาร 1 ช่อง

1.2 จัดตั้งสเปรย์น้ำอัตโนมัติ

1.3 จัดเตรียมธาตุเหล็กสำหรับพรรณไม้น้ำ

1.4 พรรณไม้น้ำ 1 ชนิด คือ พรรณไม้น้ำรากดำใบยาวจำนวน 60 ต้น นำมาชั่งน้ำหนัก วัดความสูงของต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ และนับจำนวนใบ เพื่อเป็นการบันทึกข้อมูลเริ่มต้น

2. ขั้นตอนการดำเนินการ

2.1 เมื่อจัดตั้งระบบเรียบร้อยแล้ว จะทำการทดสอบระบบ

2.2 นำพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวจำนวน 60 ต้น มาปลูกในกระบะปลูก 12 กระบะ แต่ละกระบะปลูกได้ 5 ต้น

2.3 ผสมธาตุเหล็กแต่ละสูตร ทั้ง 3 สูตร ลงในช่องใส่สารละลายธาตุอาหาร โดยทำสูตรละ 4 ซ้ำ ในแต่ละชุดการทดลอง

2.4 ปรับให้มีค่าEC (Electrical conductivity) ประมาณ 0.5 mS/cm 10 สัปดาห์ แล้วปรับเป็น 1.0 mS/cm

2.5 ปรับค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) เป็น 6.5-7.0

2.6 มีการสเปรย์น้ำให้แก่พรรณไม้น้ำเพื่อรักษาความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือน

**การบันทึกข้อมูล**

1. นำพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว จำนวน 60 ต้น มาทำการชั่งน้ำหนัก วัดความสูงของต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ และ นับจำนวนใบ เพื่อเป็นการบันทึกข้อมูลเริ่มต้นและจะทำการวัดความสูงของต้น ความยาวใบ ความกว้างใบ และ นับจำนวนใบ ทุกๆ 2 สัปดาห์ จนสิ้นสุดการทดลอง

2. วัดค่าEC (Electrical conductivity) และ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) สัปดาห์ละ 3 ครั้ง โดยค่าEC (Electrical conductivity) เท่ากับ 0.5 mS/cm ประมาณ 10 สัปดาห์ แล้วจึงทำการปรับเป็น 1.0 mS/cm และ ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) 6.5-7.0 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

นำข้อมูลที่ได้ นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ โดยโปรแกรม SPSS for Window version 15.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สถานที่ทำการทดลอง**

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

**ระยะเวลาในการทดลอง**

เดือนมกราคม 2551– มีนาคม 2551



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองหารูปแบบธาตุเหล็กที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว ได้ผลการทดลองดังนี้

**ผลของรูปแบบธาตุเหล็กต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว**

ผลของรูปแบบธาตุเหล็ก ได้แก่ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe- DTPA, สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA และ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe- EDTA ต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว เมื่อสิ้นสุดการทดลอง12 สัปดาห์ พบว่า พรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA จะมีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด โดยมีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย, ความสูงเฉลี่ย, ความยาวใบเฉลี่ย, ความกว้างใบเฉลี่ย และจำนวนใบเฉลี่ยที่มากที่สุด ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) กับ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA, และ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDTA

ผลของรูปแบบธาตุเหล็กต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบมีการให้สารละลายธาตุอาหารไปพร้อมกับการให้ระบบน้ำหยด เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า น้ำหนักสดสิ้นสุดเฉลี่ยของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ได้ทำปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA (24.95±0.10) มีน้ำหนักที่มากที่สุด รองลงมาก็คือ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA (21.97±0.12) และ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDTA (20.80±0.14) ตามลำดับ และ มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) พรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีน้ำหนักมากกว่าพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ทำการปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA และ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe- EDTA ($P<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ได้ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA และ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe- EDTA ($P>0.05$) (ตารางที่1)

**ตารางที่** 1 น้ำหนักเฉลี่ยของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน

| | น้ำหนักของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว (กรัม/ต้น) | |
|---|---|---|
| รูปแบบของธาตุเหล็ก | น้ำหนักเริ่มต้น | น้ำหนักสุดท้าย |
| Fe-DTPA | 10.88±0.03[a] | 21.97±0.12[a] |
| Fe-EDDHA | 10.94±0.05[a] | 24.95±0.10[b] |
| Fe-EDTA | 10.74±0.02[a] | 20.80±0.14[a] |

*อักษรที่แสดงต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

104554

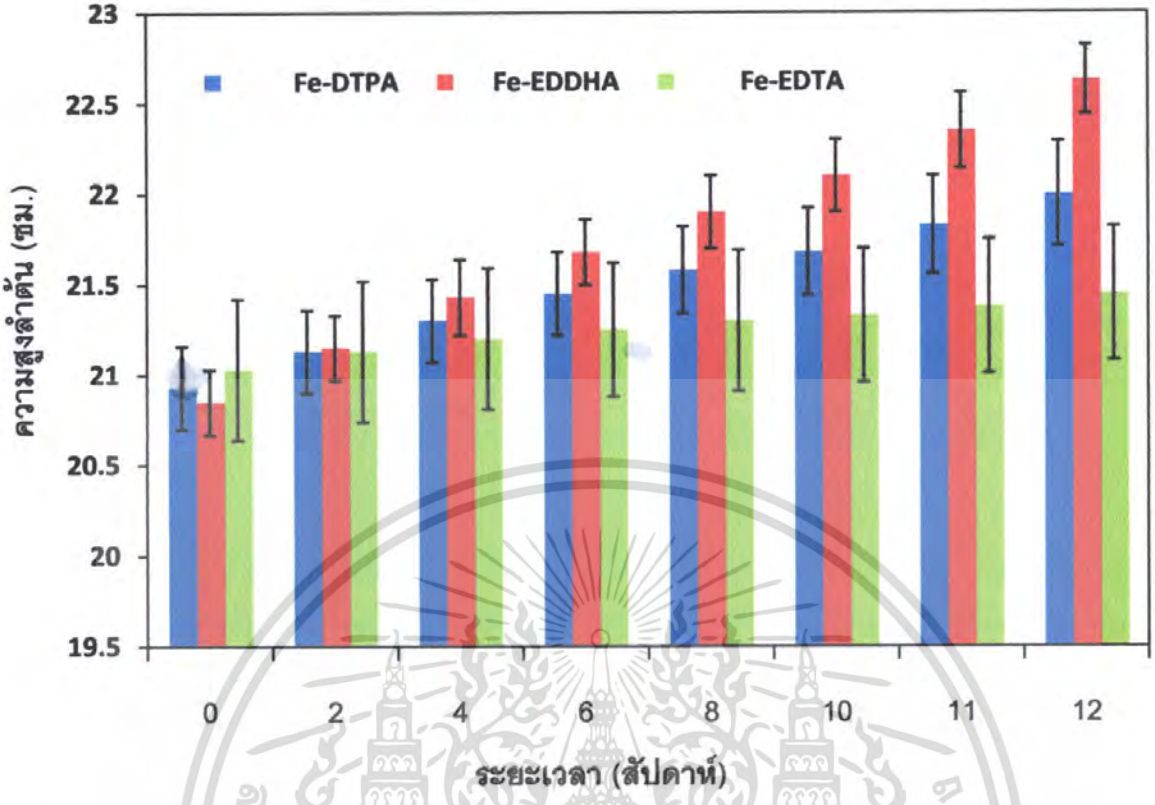
ความสูงสิ้นสุดเฉลี่ยของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA (22.63±0.19) มีความสูงที่มากที่สุด รองลงมา คือ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA (22.00±0.29) และ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe- EDTA (21.45±0.37) ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ทำการปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีความสูงมากกว่าพรรณไม้รากดำใบยาวที่ทำการปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และ พรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ทำการปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe –DTPA จะมีความสูงมากกว่าพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe- EDTA แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 10)

**ตารางที่ 2** ความสูงของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน

| ระยะเวลา (สัปดาห์) | รูปแบบของธาตุเหล็ก | | |
|---|---|---|---|
| | Fe-DTPA | Fe-EDDHA | Fe-EDTA |
| 0 | 20.93±0.23[a] | 20.85±0.18[a] | 21.03±0.39[a] |
| 2 | 21.13±0.23[a] | 21.15±0.18[a] | 21.13±0.39[a] |
| 4 | 21.30±0.23[a] | 21.43±0.21[a] | 21.20±0.39[a] |
| 6 | 21.45±0.23[a] | 21.68±0.18[a] | 21.25±0.37[a] |
| 8 | 21.58±0.24[a] | 21.90±0.20[a] | 21.30±0.39[a] |
| 10 | 21.68±0.24[a] | 22.10±0.20[a] | 21.33±0.37[a] |
| 11 | 21.83±0.27[ab] | 22.35±0.21[b] | 21.38±0.37[a] |
| 12 | 22.00±0.29[ab] | 22.63±0.19[b] | 21.45±0.37[a] |

*อักษรที่แสดงต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่** 10 ความสูงของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน

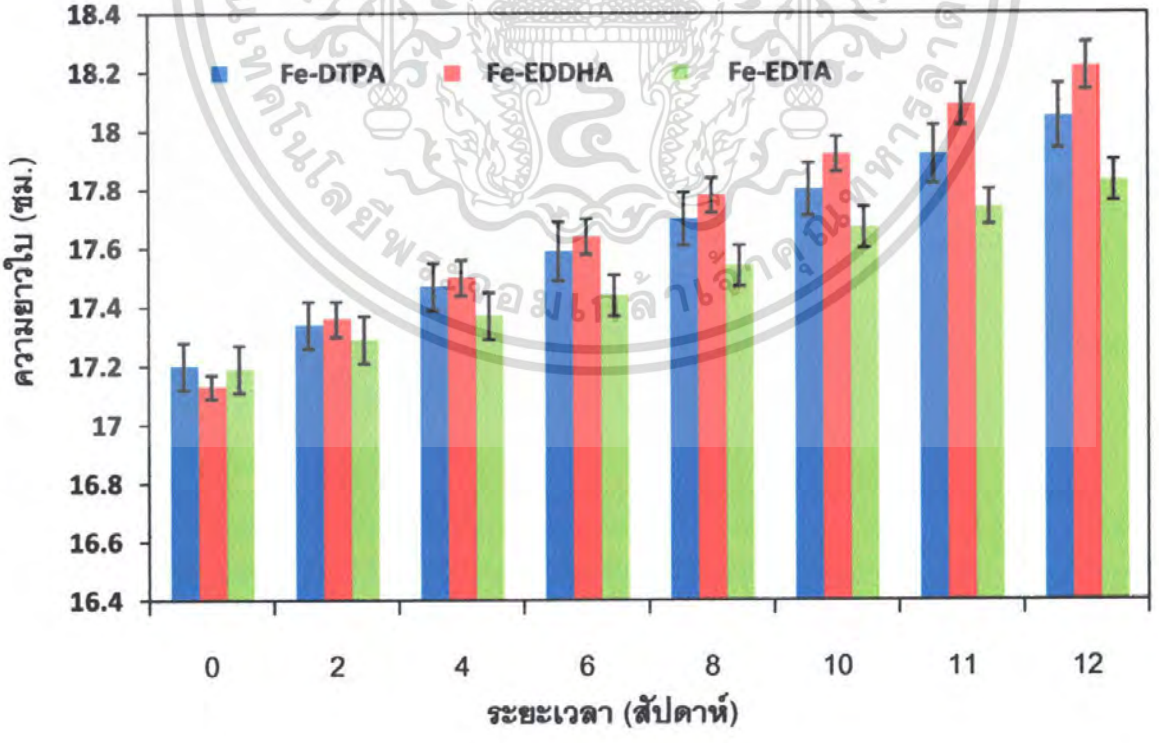
ขนาดความยาวใบสิ้นสุดของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA (18.22±0.08) มีความยาวใบมากที่สุด รองลงมาคือ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA (18.05±0.11) และ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDTA (17.83±0.07) ตามลำดับ และ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA จะมีขนาดความยาวใบมากกว่าพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และ พรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ทำการปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe- DTPA จะมีขนาดความยาวใบมากกว่าพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ทำการปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe- EDTA แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 3 และ ภาพที่ 11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่** 3 ความยาวใบพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน

| ระยะเวลา (สัปดาห์) | รูปแบบของธาตุเหล็ก | | |
|---|---|---|---|
| | Fe-DTPA | Fe-EDDHA | Fe-EDTA |
| 0 | 17.20±0.08 [a] | 17.13±0.04 [a] | 17.19±0.08 [a] |
| 2 | 17.34±0.08 [a] | 17.36±0.06 [a] | 17.29±0.08 [a] |
| 4 | 17.47±0.08 [a] | 17.50±0.06 [a] | 17.37±0.08 [a] |
| 6 | 17.59±0.10 [a] | 17.64±0.06 [a] | 17.44±0.07 [a] |
| 8 | 17.70±0.09 [a] | 17.78±0.06 [a] | 17.54±0.07 [a] |
| 10 | 17.80±0.09 [a] | 17.92±0.06 [a] | 17.67±0.07 [a] |
| 11 | 17.92±0.10 [ab] | 18.09±0.07 [b] | 17.74±0.06 [a] |
| 12 | 18.05±0.11 [ab] | 18.22±0.08 [b] | 17.83±0.07 [a] |

*อักษรที่แสดงต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)




**ภาพที่** 11 ความยาวใบพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

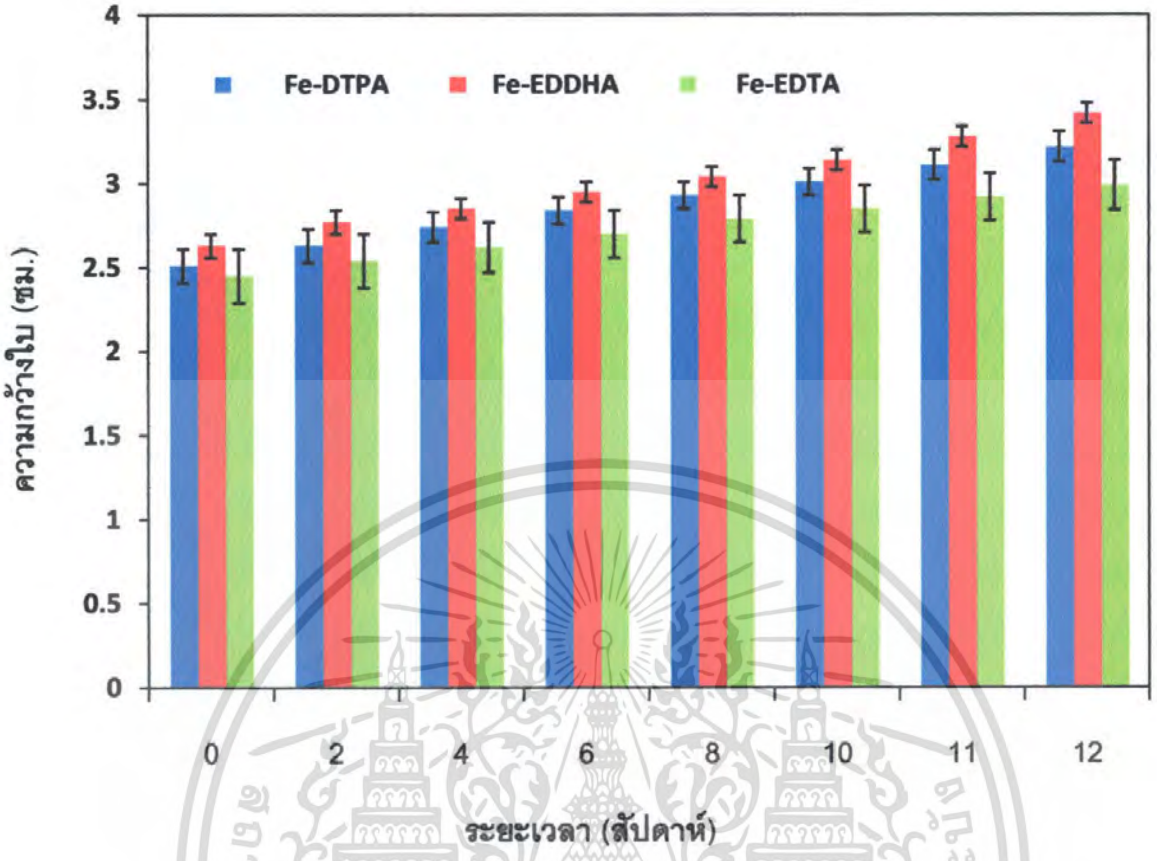
**ขนาดความกว้างใบสิ้นสุดของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารมีธาตุเหล็กรูปแบบ** Fe-EDDHA (3.42±0.06) **มีความกว้างใบมากที่สุด รองลงมา คือ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ** Fe-DTPA (3.22±0.09) **และ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ** Fe-EDTA (2.99±0.15) **ตามลำดับ และ มีความแตกต่างทางสถิติ** ($P<0.05$) **ซึ่งพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ** Fe-EDDHA **มีขนาดของความกว้างใบมากกว่าพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ** Fe-DTPA **แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ** ($P>0.05$) **และ พรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ** Fe- DTPA **มีขนาดความกว้างใบมากกว่าพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ** Fe- EDTA **แต่ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ** ($P>0.05$) **(ตารางที่** 4 **และ ภาพที่** 12)

**ตารางที่** 4 **ขนาดความกว้างใบพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน**

| ระยะเวลา (สัปดาห์) | รูปแบบของธาตุเหล็ก | | |
|---|---|---|---|
| | Fe-DTPA | Fe-EDDHA | Fe-EDTA |
| 0 | 2.51±0.10[a] | 2.63±0.07[a] | 2.45±0.16[a] |
| 2 | 2.63±0.10[a] | 2.77±0.07[a] | 2.54±0.16[a] |
| 4 | 2.74±0.09[a] | 2.85±0.06[a] | 2.62±0.15[a] |
| 6 | 2.84±0.08[a] | 2.95±0.06[a] | 2.70±0.14[a] |
| 8 | 2.93±0.08[a] | 3.04±0.06[a] | 2.79±0.14[a] |
| 10 | 3.01±0.08[a] | 3.14±0.06[a] | 2.85±0.14[a] |
| 11 | 3.11±0.09[ab] | 3.28±0.06[b] | 2.92±0.14[a] |
| 12 | 3.22±0.09[ab] | 3.42±0.06[b] | 2.99±0.15[a] |

*อักษรที่แสดงต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่** 12 ขนาดความกว้างใบพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน

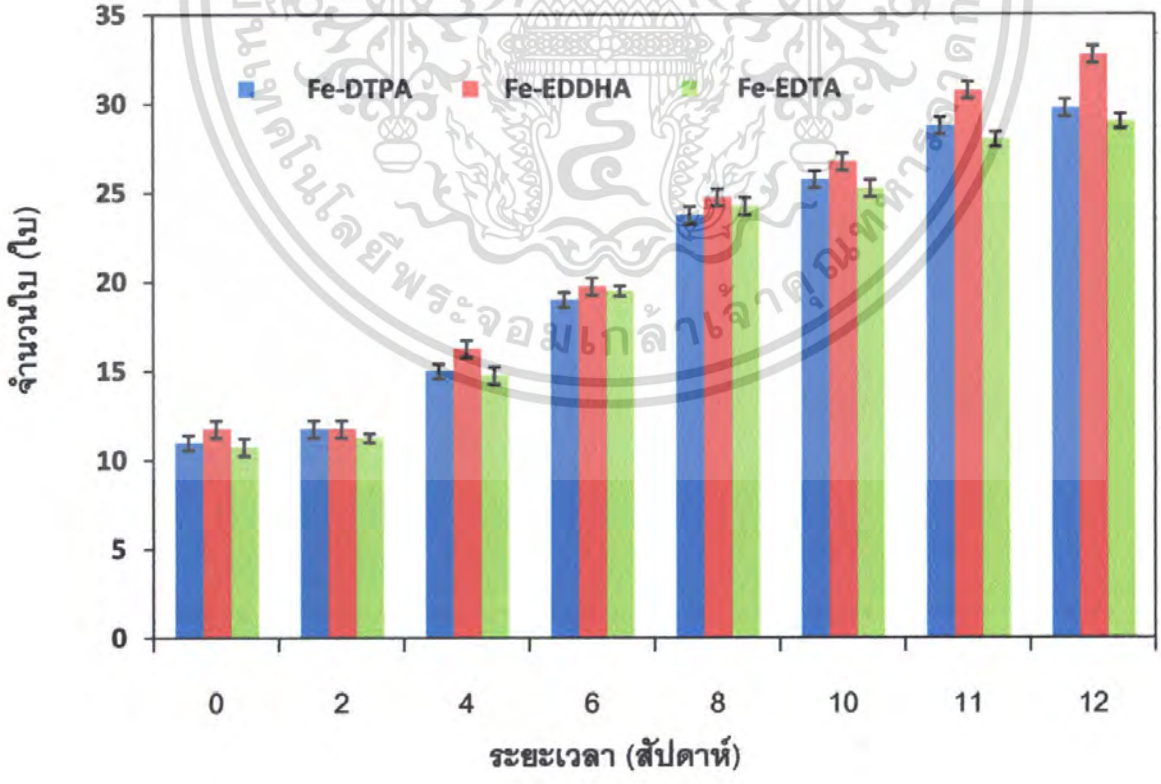
จำนวนใบเฉลี่ยสิ้นสุดของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ทำการปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA (32.75±0.48) มีจำนวนใบมากที่สุด รองมาคือ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA (29.75±0.48) และ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDTA (29.00±0.41) ตามลำดับ และ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งพรรณไม้รากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีจำนวนใบมากกว่าพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA และ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe- EDTA ($P<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างระหว่างพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA และ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe- EDTA ($P>0.05$) (ตารางที่ 5 และ ภาพที่ 13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5** จำนวนใบเฉลี่ยของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน

| ระยะเวลา (สัปดาห์) | รูปแบบของธาตุเหล็ก | | |
|---|---|---|---|
| | Fe-DTPA | Fe-EDDHA | Fe-EDTA |
| 0 | 11.00±0.41 [a] | 11.75±0.48 [a] | 10.75±0.48 [a] |
| 2 | 11.75±0.48 [a] | 11.75±0.48 [a] | 11.25±0.25 [a] |
| 4 | 15.00±0.41 [a] | 16.25±0.48 [a] | 14.75±0.48 [a] |
| 6 | 19.00±0.41 [a] | 19.75±0.48 [a] | 19.50±0.29 [a] |
| 8 | 23.75±0.48 [a] | 24.75±0.48 [a] | 24.25±0.48 [a] |
| 10 | 25.75±0.48 [a] | 26.75±0.48 [a] | 25.25±0.48 [a] |
| 11 | 28.75±0.48 [a] | 30.75±0.48 [b] | 28.00±0.41 [a] |
| 12 | 29.75±0.48 [a] | 32.75±0.48 [b] | 29.00±0.41 [a] |

*อักษรที่แสดงต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)




**ภาพที่ 13** จำนวนใบเฉลี่ยของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองเรื่องน้ำหนัก ความยาวใบ ความกว้างใบ ความสูงของลำต้น และจำนวนใบของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว พบว่า พรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ทำการปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีอัตราจริญเติบโตสูงสุด โดยสังเกตจากน้ำหนัก ความยาวใบ ความกว้างใบ ความสูงของลำต้นและจำนวนของใบของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่มากที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองก็สอดคล้องกับ Lucena et al. (1998) ทำการทดลองปลูก Strawberry ด้วยเหล็กคีเลตรูปแบบต่างๆ ในระบบปลูกพืชไร้ดิน พบว่า การใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กคีเลตรูปแบบ Fe-EDDHA ให้กับ Strawberry ทำให้ Strawberry มีอัตราการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุด แต่ไม่สอดคล้องกับ Lucena et al. (1998) ได้ทดลองเสริมธาตุเหล็กในรูปของคีเลตรูปแบบต่างกันแก่ *Lolium multiflorum* โดยศึกษาประสิทธิภาพของเหล็กคีเลตในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ Fe-EDTA, Fe-DTPA, Fe-EDDHA และผลิตภัณฑ์ทางการค้า (Rexene) ในสารละลายธาตุเหล็กของ *Lolium multiflorum* ที่ปลูกในระบบปลูกพืชไร้ดิน พบว่า การใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กคีเลตรูปแบบ Fe-EDDHA ไม่เหมาะสมที่จะใช้กับ *Lolium multiflorum*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุป

จากการศึกษารูปแบบธาตุเหล็กที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาว เป็นเวลา 14 สัปดาห์ พบว่า พรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีการเจริญเติบโตดีที่สุด รองลงมาคือ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA และ สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe- EDTA ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีน้ำหนักสดเฉลี่ยสิ้นสุดเท่ากับ 24.95±0.10, 21.97±0.12 และ 20.80±0.14 กรัม ตามลำดับ ความสูงเฉลี่ยสิ้นสุดเท่ากับ 22.63±0.19, 22.00±0.29 และ 21.45±0.37 เซนติเมตร ตามลำดับ ขนาดความยาวใบเฉลี่ยเท่ากับ 18.22±0.08, 18.05±0.11 และ 17.83±0.07 เซนติเมตร ตามลำดับ ขนาดความกว้างใบเฉลี่ยสิ้นสุดเท่ากับ 3.42±0.06, 3.22±0.09 และ 2.99±0.15 เซนติเมตร ตามลำดับ และจำนวนใบเฉลี่ยสิ้นสุดเท่ากับ 32.75±0.48, 29.75±0.48 และ 29.00±0.41 ใบ ตามลำดับ

## ข้อเสนอแนะ

ควรมีการใช้ธาตุเหล็กในรูปแบบต่างๆ ในการปลูกพรรณไม้น้ำชนิดอื่นในระบบปลูกพืชไร้ดิน เพื่อหาว่าธาตุเหล็กในรูปแบบใดเหมาะสมสำหรับพืชและพรรณไม้น้ำแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง


กาญจนรี พงษ์ฉวี. 2543. พรรณไม้น้ำสวยงาม. กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 233 น.

ดิเรก ทองอร่าม. 2548. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 724 น.

ดิเรก ทองอร่าม, อิทธิสุนทร นันทกิจ, เปรมปรี ณ สงขลา, พหมมาศ ฉัตรตระกูล, มนีรัตน์ หวังวิบูลย์กิจ และเรไร นันทนาวัฒน์. 2548. เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตร "ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน" รุ่นที่ 6, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังร่วมกับวารสารเคหการเกษตร, หน้าที่ 8-9.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. ธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 416 น.

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

เหมือนชนก บุณยเกียรติ. 2548. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. สวัสดีการ์เด้น, กรุงเทพฯ. 1 น.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2538. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Hydroponics). ภาควิชาปฐพีศาสตร์, คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 146 น.

Clemens, D. F., B. M. Whitehurst and G. B. Whitehurst. 1990. Chelates in agriculture. Fertilizer Research. 25:127-131.

Crowley, D. E., C. L. Wu, D. Gries, S. Brunn and D. R. Parker. 2002. Quantitative traits associated with adaptation of three barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars to suboptimal iron supply. Plant and Soil. 241:57-65

Crowley, D. E., V. Romheld, H. Marschner and P. J. Szaniszlo. 1992. Root-microbial effects on plant iron uptake form siderophores and phytosiderophores. Plant and Soil. 142:1-7

Goransson, A. and A. J. S. McDonald. 1993. Growth and nutrition of small *Betula pendula* plants at different relative addition rates of iron. Plant and soil. 155/156:469-472

Johnson, G. V., and G. J. Youngblood. 1991. Responses of nitrogen fixing and nitrate supplied alfalfa (*Medicago Sativa* L.) to iron chelates in a alkaline hydroponic medium. Plant and Soil. 130:219-224


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lucena, J. J., A. Garate, A. M. Romon and M. Manzanares. 1998. Iron nutrition of a hydroponic strawberry culture (*Fragaria vesca* L.) supplied with different Fe chelates. Plant and Soil. 123:9-15

Lucena, J. J., A. Garate and O. Carpena. 1988. Lolium multiflorum uptake of iron supplied as different synthetic chelates. Plant and Soil. 112:23-28

Ortiz, P. R, B. I. Castro Meza, F. R. de la Garza Requena, G. M. Flores, J. D. Etchever Barra. 2007. Evaluation of different iron compounds in chlorotic Italian lemon trees (*Citrus lemon*). Plant Physiology and Biochemistry. 45:330-334

www.trangpets.com/Aquatic Plants Zone/*Microsorium pteropus*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

## ภาคผนวกที่ 1 สูตรของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลอง

### 1. สารละลายธาตุอาหารสูตรซึ่งมีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA

1.1 สารละลาย A

| | | |
|---|---|---|
| 1.1.1 Calcium Nitrate ($Ca(NO_3)_2.4H_2O$ | 250 | กรัม |
| 1.1.2 Iron Chelate | 7.1 | กรัม |

1.2 สารละลาย B

| | | |
|---|---|---|
| 1.2.1 Potassium Nitrate ($KNO_3$) | 354 | กรัม |
| 1.2.2 Potassium phosphate ($KH_2PO_4$) | 365 | กรัม |
| 1.2.3 Ammonium Phosphate ($NH_4H_2PO_4$) | 665 | กรัม |
| 1.2.4 Mangnesium Sulphate ($MgSO_4.7H_2O$) | 175 | กรัม |
| 1.2.5 Zinc Sulphate ($ZnSO_4$ 40%) | 0.833 | กรัม |
| 1.2.6 Copper Sulphate ($CuSO_4.5H_2O$) | 0.178 | กรัม |
| 1.2.7 Manganese Sulphate ($MnSO_4.H_2O$) | 2.484 | กรัม |
| 1.2.8 Boric Acid ($H_3BO_3$) | 1.556 | กรัม |
| 1.2.9 Ammonium Molybdate $(NH_4)_2MoO_4$ | 0.060 | กรัม |

### 2. สารละลายธาตุอาหารสูตรซึ่งมีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA

2.1 สารละลาย A

| | | |
|---|---|---|
| 2.1.1 Calcium Nitrate ($Ca(NO_3)_2.4H_2O$ | 250 | กรัม |
| 2.1.2 Iron Chelate | 12.3 | กรัม |

2.2 สารละลาย B

| | | |
|---|---|---|
| 2.2.1 Potassium Nitrate ($KNO_3$) | 354 | กรัม |
| 2.2.2 Potassium phosphate ($KH_2PO_4$) | 365 | กรัม |
| 2.2.3 Ammonium Phosphate ($NH_4H_2PO_4$) | 665 | กรัม |
| 2.2.4 Mangnesium Sulphate ($MgSO_4.7H_2O$) | 175 | กรัม |
| 2.2.5 Zinc Sulphate ($ZnSO_4$ 40%) | 0.833 | กรัม |
| 2.2.6 Copper Sulphate ($CuSO_4.5H_2O$) | 0.178 | กรัม |
| 2.2.7 Manganese Sulphate ($MnSO_4.H_2O$) | 2.484 | กรัม |
| 2.2.8 Boric Acid ($H_3BO_3$) | 1.556 | กรัม |
| 2.2.9 Ammonium Molybdate $(NH_4)_2MoO_4$ | 0.060 | กรัม |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3. สารละลายธาตุอาหารสูตรซึ่งมีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDTA**

3.1 สารละลาย A

| | | |
|---|---|---|
| 3.1.1 Calcium Nitrate ($Ca(NO_3)_2.4H_2O$ | 250 | กรัม |
| 3.1.2 Iron Chelate | 6.6 | กรัม |

3.2 สารละลาย B

| | | |
|---|---|---|
| 3.2.1 Potassium Nitrate ($KNO_3$) | 354 | กรัม |
| 3.2.2 Potassium phosphate ($KH_2PO_4$) | 365 | กรัม |
| 3.2.3 Ammonium Phosphate ($NH_4H_2PO_4$) | 665 | กรัม |
| 3.2.4 Mangnesium Sulphate ($MgSO_4.7H_2O$) | 175 | กรัม |
| 3.2.5 Zinc Sulphate ($ZnSO_4$ 40%) | 0.833 | กรัม |
| 3.2.6 Copper Sulphate ($CuSO_4.5H_2O$) | 0.178 | กรัม |
| 3.2.7 Manganese Sulphate ($MnSO_4.H_2O$) | 2.484 | กรัม |
| 3.2.8 Boric Acid ($H_3BO_3$) | 1.556 | กรัม |
| 3.2.9 Ammonium Molybdate $(NH_4)_2MoO_4$ | 0.060 | กรัม |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางผนวกที่ 1** น้ำหนักเฉลี่ยพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน

| รูปแบบธาตุเหล็ก | ซ้ำ | น้ำหนักเริ่มต้น | น้ำหนักสุดท้าย |
|---|---|---|---|
| Fe-DTPA | 1 | 10.83 | 21.89 |
| | 2 | 10.87 | 21.77 |
| | 3 | 10.93 | 22.25 |
| | 4 | 10.79 | 22.11 |
| เฉลี่ย | | 10.88 | 21.97 |
| SE | | 0.03 | 0.12 |
| Fe-EDDHA | 1 | 10.88 | 25.11 |
| | 2 | 10.93 | 25.01 |
| | 3 | 11.00 | 24.74 |
| | 4 | 10.80 | 24.79 |
| เฉลี่ย | | 10.94 | 24.95 |
| SE | | 0.05 | 0.10 |
| Fe-EDTA | 1 | 10.72 | 21.11 |
| | 2 | 10.77 | 20.69 |
| | 3 | 10.72 | 20.61 |
| | 4 | 10.76 | 20.97 |
| เฉลี่ย | | 10.74 | 20.80 |
| SE | | 0.02 | 0.14 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางผนวกที่ 2** ความสูงของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน

| รูปแบบธาตุเหล็ก | ซ้ำ | ระยะเวลา (สัปดาห์) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 |
| Fe-DTPA | 1 | 21.00 | 21.20 | 21.40 | 21.60 | 21.80 | 21.90 | 22.10 | 22.30 |
| | 2 | 20.40 | 20.60 | 20.80 | 20.90 | 21.00 | 21.10 | 21.20 | 21.30 |
| | 3 | 21.50 | 21.70 | 21.90 | 22.00 | 22.10 | 22.20 | 22.40 | 22.60 |
| | 4 | 20.80 | 21.00 | 21.10 | 21.30 | 21.40 | 21.50 | 21.60 | 21.80 |
| **เฉลี่ย** | | 20.93 | 21.13 | 21.30 | 21.45 | 21.58 | 21.68 | 21.83 | 22.00 |
| SE | | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.24 | 0.24 | 0.27 | 0.29 |
| Fe-EDDHA | 1 | 21.20 | 21.50 | 21.80 | 22.00 | 22.30 | 22.50 | 22.80 | 23.00 |
| | 2 | 21.10 | 21.40 | 21.70 | 21.90 | 22.10 | 22.30 | 22.50 | 22.80 |
| | 3 | 20.70 | 21.00 | 21.30 | 21.60 | 21.80 | 22.00 | 22.30 | 22.60 |
| | 4 | 20.40 | 20.70 | 20.90 | 21.20 | 21.40 | 21.60 | 21.80 | 22.10 |
| **เฉลี่ย** | | 20.85 | 21.15 | 21.43 | 21.68 | 21.90 | 22.10 | 22.35 | 22.63 |
| SE | | 0.18 | 0.18 | 0.21 | 0.18 | 0.20 | 0.20 | 0.21 | 0.19 |
| Fe-EDTA | 1 | 21.40 | 21.50 | 21.60 | 21.60 | 21.70 | 21.70 | 21.80 | 21.80 |
| | 2 | 21.80 | 21.90 | 22.00 | 22.00 | 22.10 | 22.10 | 22.10 | 22.20 |
| | 3 | 20.00 | 20.10 | 20.20 | 20.30 | 20.30 | 20.40 | 20.40 | 20.50 |
| | 4 | 20.90 | 21.00 | 21.00 | 21.10 | 21.10 | 21.10 | 21.20 | 21.30 |
| **เฉลี่ย** | | 21.03 | 21.13 | 21.20 | 21.25 | 21.30 | 21.33 | 21.38 | 21.45 |
| SE | | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.37 | 0.39 | 0.37 | 0.37 | 0.37 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางผนวกที่ 3** ความยาวใบพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน

| รูปแบบธาตุเหล็ก | ซ้ำ | ระยะเวลา (สัปดาห์) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 |
| Fe-DTPA | 1 | 17.20 | 17.34 | 17.48 | 17.62 | 17.72 | 17.82 | 17.96 | 18.10 |
| | 2 | 17.06 | 17.20 | 17.34 | 17.44 | 17.58 | 17.68 | 17.78 | 17.88 |
| | 3 | 17.42 | 17.56 | 17.70 | 17.84 | 17.94 | 18.04 | 18.18 | 18.32 |
| | 4 | 17.10 | 17.24 | 17.34 | 17.44 | 17.54 | 17.64 | 17.74 | 17.88 |
| **เฉลี่ย** | | 17.20 | 17.34 | 17.47 | 17.59 | 17.70 | 17.80 | 17.92 | 18.05 |
| SE | | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.11 |
| Fe-EDDHA | 1 | 17.20 | 17.50 | 17.64 | 17.78 | 17.92 | 18.06 | 18.26 | 18.46 |
| | 2 | 17.20 | 17.40 | 17.54 | 17.68 | 17.82 | 17.96 | 18.10 | 18.14 |
| | 3 | 17.08 | 17.28 | 17.42 | 17.56 | 17.70 | 17.84 | 18.04 | 18.18 |
| | 4 | 17.04 | 17.24 | 17.38 | 17.52 | 17.66 | 17.80 | 17.94 | 18.08 |
| **เฉลี่ย** | | 17.13 | 17.36 | 17.50 | 17.64 | 17.78 | 17.92 | 18.09 | 18.22 |
| SE | | 0.04 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.08 |
| Fe-EDTA | 1 | 17.38 | 17.48 | 17.58 | 17.62 | 17.72 | 17.85 | 17.89 | 17.99 |
| | 2 | 17.22 | 17.32 | 17.42 | 17.46 | 17.56 | 17.69 | 17.79 | 17.89 |
| | 3 | 17.00 | 17.10 | 17.20 | 17.30 | 17.40 | 17.53 | 17.63 | 17.73 |
| | 4 | 17.14 | 17.24 | 17.28 | 17.38 | 17.48 | 17.61 | 17.65 | 17.69 |
| **เฉลี่ย** | | 17.19 | 17.29 | 17.37 | 17.44 | 17.54 | 17.67 | 17.74 | 17.83 |
| SE | | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.07 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางผนวกที่ 4** ขนาดความกว้างใบพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน

| รูปแบบธาตุเหล็ก | ซ้ำ | ระยะเวลา (สัปดาห์) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 |
| Fe-DTPA | 1 | 2.80 | 2.92 | 3.00 | 3.08 | 3.16 | 3.24 | 3.36 | 3.48 |
| | 2 | 2.40 | 2.52 | 2.64 | 2.76 | 2.84 | 2.92 | 3.00 | 3.12 |
| | 3 | 2.42 | 2.54 | 2.66 | 2.74 | 2.86 | 2.94 | 3.06 | 3.18 |
| | 4 | 2.40 | 2.52 | 2.64 | 2.76 | 2.84 | 2.92 | 3.00 | 3.08 |
| **เฉลี่ย** | | 2.51 | 2.63 | 2.74 | 2.84 | 2.93 | 3.01 | 3.11 | 3.22 |
| SE | | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.09 |
| Fe-EDDHA | 1 | 2.60 | 2.74 | 2.84 | 2.94 | 3.04 | 3.14 | 3.28 | 3.42 |
| | 2 | 2.82 | 2.96 | 3.00 | 3.10 | 3.20 | 3.30 | 3.44 | 3.58 |
| | 3 | 2.46 | 2.60 | 2.70 | 2.80 | 2.90 | 3.00 | 3.14 | 3.28 |
| | 4 | 2.62 | 2.76 | 2.86 | 2.96 | 3.00 | 3.10 | 3.24 | 3.38 |
| **เฉลี่ย** | | 2.63 | 2.77 | 2.85 | 2.95 | 3.04 | 3.14 | 3.28 | 3.42 |
| SE | | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| Fe-EDTA | 1 | 2.16 | 2.25 | 2.34 | 2.43 | 2.52 | 2.58 | 2.67 | 2.73 |
| | 2 | 2.72 | 2.81 | 2.90 | 2.96 | 3.05 | 3.11 | 3.17 | 3.26 |
| | 3 | 2.72 | 2.81 | 2.87 | 2.93 | 3.02 | 3.08 | 3.14 | 3.23 |
| | 4 | 2.20 | 2.29 | 2.38 | 2.48 | 2.57 | 2.63 | 2.69 | 2.75 |
| **เฉลี่ย** | | 2.45 | 2.54 | 2.62 | 2.70 | 2.79 | 2.85 | 2.92 | 2.99 |
| SE | | 0.16 | 0.16 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.15 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางผนวกที่ 5** จำนวนใบเฉลี่ยของพรรณไม้น้ำรากดำใบยาวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างกัน

| รูปแบบธาตุเหล็ก | ซ้ำ | ระยะเวลา (สัปดาห์) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 11 | 12 |
| Fe-DTPA | 1 | 11.00 | 11.00 | 15.00 | 19.00 | 23.00 | 26.00 | 29.00 | 30.00 |
| | 2 | 10.00 | 12.00 | 14.00 | 19.00 | 24.00 | 27.00 | 28.00 | 29.00 |
| | 3 | 12.00 | 13.00 | 16.00 | 20.00 | 25.00 | 25.00 | 30.00 | 31.00 |
| | 4 | 11.00 | 11.00 | 15.00 | 18.00 | 23.00 | 25.00 | 28.00 | 29.00 |
| **เฉลี่ย** | | 11.00 | 11.75 | 15.00 | 19.00 | 23.75 | 25.75 | 28.75 | 29.75 |
| SE | | 0.41 | 0.48 | 0.41 | 0.41 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 |
| Fe-EDDHA | 1 | 13.00 | 13.00 | 17.00 | 20.00 | 26.00 | 28.00 | 32.00 | 34.00 |
| | 2 | 12.00 | 12.00 | 17.00 | 19.00 | 24.00 | 26.00 | 30.00 | 32.00 |
| | 3 | 11.00 | 11.00 | 15.00 | 19.00 | 24.00 | 27.00 | 31.00 | 33.00 |
| | 4 | 11.00 | 11.00 | 16.00 | 21.00 | 25.00 | 26.00 | 30.00 | 32.00 |
| **เฉลี่ย** | | 11.75 | 11.75 | 16.25 | 19.75 | 24.75 | 26.75 | 30.75 | 32.75 |
| SE | | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 |
| Fe-EDTA | 1 | 11.00 | 11.00 | 14.00 | 20.00 | 25.00 | 26.00 | 29.00 | 30.00 |
| | 2 | 12.00 | 12.00 | 16.00 | 20.00 | 25.00 | 26.00 | 28.00 | 29.00 |
| | 3 | 10.00 | 11.00 | 14.00 | 19.00 | 24.00 | 25.00 | 27.00 | 29.00 |
| | 4 | 10.00 | 11.00 | 15.00 | 19.00 | 23.00 | 24.00 | 28.00 | 28.00 |
| **เฉลี่ย** | | 10.75 | 11.25 | 14.75 | 19.50 | 24.25 | 25.25 | 28.00 | 29.00 |
| SE | | 0.48 | 0.25 | 0.48 | 0.29 | 0.48 | 0.48 | 0.41 | 0.41 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้