

ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

เรื่อง ผลของธาตุเหล็กต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกใน
ระบบปลูกพืชไร้ดินแบบ deep flow techniques
Effects of iron on growth of amazon martii (*Echinodorus martii*) in
deep flow techniques

ชื่อนักศึกษา นาย ธีรพล แสงเนตร

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นงนุช เลาหะวิสุทธิ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นงนุช เลาหะวิสุทธิ)

ภาควิชารับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ)

หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

วันที่ 7 เดือน W.O. พ.ศ. 50...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ผลของธาตุเหล็กต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในระบบปลูก
พีชไรต์ดินแบบ deep flow techniques

Effects of iron on growth of amazon martii (*Echinodorus martii*) in
deep flow techniques



T099246

รพ.
562201
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....99246.....
วันเดือนปี.....17/11/2549.....

b. 11881253
i.

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ผลของธาตุเหล็กต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในระบบปลูกพืชไร่น้ำแบบ deep flow techniques

Effects of iron on growth of amazon martii (*Echinodorus martii*) in deep flow techniques

การทดลองได้ศึกษาถึงผลของธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ ได้แก่ Fe-EDDHA, Fe-DTPA, Fe-EDTA และ FeSO_4 ที่มีต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตี โดยใช้ธาตุเหล็ก รูปแบบต่างๆ นี้ผสมกับสารละลายธาตุอาหาร แล้วนำไปปลูกพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในระบบปลูกพืชไร่น้ำแบบ deep flow techniques (DFT) ทำการวัดการเจริญเติบโตโดยวัดจากความยาวใบ ความกว้างใบ ความสูงลำต้น และจำนวนใบของพรรณไม้น้ำ ทุกๆ 2 สัปดาห์ หลังจากสิ้นสุดการทดลองพบว่าพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีในกลุ่มที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด โดยดูจากมีความยาวใบมากที่สุด (7.63 ± 0.16) มีความกว้างใบมากที่สุด (2.04 ± 7.79) มีความสูงของลำต้นมากที่สุด (7.91 ± 0.16) และมีจำนวนใบมากที่สุด (16.67 ± 0.42) และปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในพรรณไม้น้ำ พบว่าปริมาณไนโตรเจน แคลเซียม และแมกนีเซียม ในพรรณไม้น้ำมีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในพรรณไม้น้ำที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ FeSO_4 มากที่สุด ปริมาณเหล็กในพรรณไม้น้ำที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีปริมาณมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. นงนุช เลาหะวิสุทธิ และ ดร. อัจฉรี เรืองเดช ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ อาจารย์สมเกียรติ สีตนอง ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำที่ดีสำหรับข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง ที่ได้วิชาความรู้ในด้านต่างๆ ทางการประมง และคำแนะนำที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณบุปผา จงพัฒน์ คุณนภาพล เผ่ามโนัส และคุณแสงที่ดูแลอำนวยความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์ในการทดลอง และช่วยให้คำแนะนำ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ประมงรุ่น 10 ทุกๆ คนที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา และขอขอบพระคุณพ่อคุณแม่เป็นอย่างสูงที่คอยอบรม สั่งสอน ให้ความรักให้กำลังใจจนข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการศึกษา

นายธีรุต แสงเนตร

เมษายน 2550



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	III
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	2
อุปกรณ์และวิธีการ	10
ผลการทดลองและวิจารณ์	13
สรุปและข้อเสนอแนะ	20
เอกสารอ้างอิง	21
ภาคผนวก	22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คำย่อของสารประกอบ chelate agent	6
2	ความยาวใบของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีเมื่อได้รับธาตุเหล็ก รูปแบบต่างๆ กัน	14
3	ความกว้างใบของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีเมื่อได้รับธาตุเหล็ก รูปแบบต่างๆ กัน	14
4	ความสูงของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีเมื่อได้รับธาตุเหล็กรูปแบบ ต่างๆ กัน	16
5	จำนวนใบของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีเมื่อได้รับธาตุเหล็กรูปแบบ ต่างๆ กัน	17
6	ปริมาณธาตุอาหารในพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตี	18
ตารางผนวกที่		หน้า
1	ความยาวใบของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ได้รับธาตุเหล็กรูปแบบ ต่างๆ กัน	22
2	ความกว้างใบของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ได้รับธาตุเหล็ก รูปแบบต่างๆ กัน	23
3	ความสูงลำต้นของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ได้รับธาตุเหล็ก รูปแบบต่างๆ กัน	24
4	จำนวนใบของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ได้รับธาตุเหล็กรูปแบบ ต่างๆ กัน	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	พรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตี (<i>Echinodorus martii</i>)	2
2	ระดับ peroxidase ในใบข้าวที่ปลูกใน 10 mM FeSO ₄ และ น้ำ	9
3	ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และเหล็กใน พรรณไม้้ำอเมซอนมาร์ตี	18
4	ปริมาณธาตุอาหารแมกนีเซียม แคลเซียม และแมงกานีสใน พรรณไม้้ำอเมซอนมาร์ตี	19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นการปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูกและพืชจะเจริญเติบโตได้จากการได้รับสารละลายธาตุอาหาร การปลูกพืชวิธีนี้จึงสามารถทำได้ทุกที่ที่แม้ในที่ที่ไม่มีดินซึ่งการปลูกพืชวิธีนี้ก็มีข้อดีหลายประการ เช่น สามารถปลูกได้อย่างต่อเนื่องตลอดปี สามารถปลูกพืชได้แม้ในที่ที่ไม่มีพื้นที่สำหรับปลูกพืช พืชเจริญเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตสูง ผลผลิตมีความสม่ำเสมอ สะอาด และคุณภาพดีลดการใช้สารเคมี แต่วิธีนี้ก็มีข้อจำกัด เช่น ต้องมีการลงทุนสูง ต้องใช้เทคนิคขั้นสูง ผู้ปลูกต้องมีความรู้ความเข้าใจในเทคนิคที่เลือกใช้เป็นอย่างดี มีโอกาสเกิดโรคได้ง่ายโดยมากับน้ำและแพร่กระจายได้ง่าย

เหล็กเป็นธาตุอาหารรองสำหรับพืชโดยทั่วไป พืชจึงมีความต้องการในปริมาณน้อยคืออยู่ในช่วงประมาณ 2.0-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตรแต่ก็ขาดไม่ได้ ซึ่งธาตุเหล็กมีความสำคัญต่อพืชได้แก่ ช่วยเสริมสร้างความเขียวหรือสารคลอโรฟิลล์ในใบพืชแต่ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของคลอโรฟิลล์ ช่วยในการสังเคราะห์แสงในใบพืชได้ดี เพื่อสร้างแป้งและน้ำตาล ช่วยเสริมสร้างเอนไซม์ในพืชเพื่อช่วยในระบบการหายใจของพืชทำให้พืชเจริญเติบโต ทำหน้าที่ช่วยเหลือในการแบ่งเซลล์ของพืชเพื่อการเจริญเติบโต ถ้าหากว่าพืชขาดธาตุเหล็กก็จะทำให้ระบบของรากพืชไม่พัฒนา ใบพืชจะมีสีเขียวจางไม่เขียว แสดงอาการของสารคลอโรฟิลล์ พืชเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ ถ้าพืชขาดธาตุเหล็กในปริมาณมากจะทำให้ผลผลิตลดลง

ดังนั้นการศึกษาถึงผลของธาตุเหล็กในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ Fe-EDDHA, Fe-DTPA, Fe-EDTA และ FeSO_4 ที่เหมาะสมต่ออัตราการเจริญเติบโตของพรรณไม้ในน้ำ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงพืชและพรรณไม้น้ำในระบบปลูกแบบไร้ดิน

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาถึงรูปแบบของธาตุอาหารเหล็กชนิดต่างๆ ที่เหมาะสมต่ออัตราการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตี (*Echinodorus martii*)
2. ศึกษาถึงการสะสมของธาตุอาหารในพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีหลังจากการเติมธาตุเหล็กในรูปแบบต่างๆ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาสูตรสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสม และเพิ่มผลผลิตพรรณไม้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสาร

พรรณไม้น้ำ

พรรณไม้น้ำ หมายถึง พืชที่อาศัยและเจริญเติบโตในน้ำ ซึ่งจะอยู่ในลักษณะที่จมอยู่ในน้ำ ทุกส่วนของต้น หรือ บางส่วนของต้นโผล่ขึ้นมาเหนือน้ำ

พรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตี (*Echinodorus martii*) มีแหล่งกำเนิดในประเทศบราซิล เป็นพรรณไม้น้ำที่เจริญในน้ำและดำเนินชีวิตแบบมีบางส่วนโผล่พ้นน้ำ เป็นพรรณไม้น้ำกลุ่มที่มีใบแตก ออกจากรอบๆ โคนต้น มีรากแข็งแรง มีใบยาวประมาณ 30 – 50 เซนติเมตร และกว้าง 2.5 – 7.5 เซนติเมตร เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 20 – 25 องศาเซลเซียส สภาพที่มีแสงเข้ม ความเป็นกรด-ด่าง 6.5 – 7.2 ขยายพันธุ์โดยใช้ต้นอ่อนหรือเมล็ดที่เกิดจากเนื้อเยื่อเจริญ (ภาพที่ 1) (Eu Tian Han, 2001)



ภาพที่ 1 พรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตี (*Echinodorus martii*)

ที่มา : www.nicaonline.com

ระบบการปลูกแบบไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินหรือไฮโดรโปนิคส์ คือวิธีการใดก็ตามที่ทำให้การปลูกพืชได้โดยไม่ต้องใช้ดิน แต่จะใช้วัสดุอื่นๆ แทน เช่น การปลูกพืชให้รากลอยอยู่ในอากาศ การปลูกพืชในสารละลาย หรือการปลูกพืชในวัสดุปลูกเช่นทราย แกลบ และวัสดุอื่นๆ โดยให้สารละลายธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตแก่รากโดยตรง ในปริมาณที่เหมาะสมแทนธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการปลูกในส่วนที่เกี่ยวข้องกับดิน เช่นดินมีคุณภาพต่ำ มีความเค็มสูง หรือมีโรคระบาด อีกทั้งการปลูกพืชไร้ดินนี้ยังสามารถควบคุมคุณภาพและปริมาณของผลผลิตให้ได้ตามต้องการเป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาพื้นที่ทำการเกษตรลดลง หรือพื้นที่ที่มีอยู่ไม่เหมาะสมต่อการทำการเกษตร ซึ่งมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ สามารถปลูกพืชได้ต่อเนื่องตลอดปี สามารถปลูกพืชได้แม้ในที่ที่ไม่มีพื้นที่สำหรับปลูกพืช สามารถปลูกพืชในที่ที่ดินไม่เหมาะสม พืชเจริญเติบโตได้เร็วและให้ผลผลิตสูง ผลผลิตมีความสม่ำเสมอ สะอาดและคุณภาพดี ลดการใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมี เนื่องจากมีการควบคุมสภาพแวดล้อม ควบคุมศัตรูพืชได้ง่าย ปลูกพืชได้ทุกฤดูกาลและทุกสภาพอากาศ อย่างไรก็ตามการปลูกพืชด้วยเทคนิคนี้ก็มีข้อจำกัด ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนครั้งแรกค่อนข้างสูง ทำให้ผลผลิตที่ได้มีราคาแพง ต้องเลือกปลูกพืชที่มีราคา นอกจากนี้ยังต้องมีความรู้ในเรื่องธาตุอาหารพืช ต้องใช้เทคนิคขั้นสูง ผู้ปลูกต้องมีความรู้ความเข้าใจในเทคนิคที่เลือกใช้เป็นอย่างดี มีโอกาสเกิดโรคที่มาจากน้ำได้ง่ายและยากต่อการควบคุม

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช

1. พันธุกรรม เป็นปัจจัยภายในตัวพืชเองเพราะเกี่ยวข้องกับยีนซึ่งอยู่ในโครโมโซมของพืช ยีนเป็นตัวกำหนดลักษณะต่างๆ เช่น ความสูง รูปร่าง สี นอกจากนี้ยังเป็นตัวกำหนดว่าพืชจะเจริญเติบโตดี ให้ผลผลิตสูงหรือสามารถต้านทานศัตรูพืชได้ดีเพียงใด ปัจจัยทางพันธุกรรมจะมีอิทธิพลร่วมกับสภาพแวดล้อมตั้งนั้นในการปรับปรุงพันธุ์พืชให้ได้ลักษณะตามต้องการ จะต้องแยกความแตกต่างทางพันธุกรรมออกจากความแตกต่างทางสภาพแวดล้อมให้ได้

2. สารควบคุมการเจริญเติบโต ไม่ว่าจะเป็นการปลูกพืชด้วยวิธีดั้งเดิมหรือปลูกด้วยวิธีไฮโดรโปนิคส์ พืชมีสารควบคุมการเจริญเติบโตและการพัฒนาของส่วนต่างๆ อยู่ตลอดเวลา สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเป็นสารอินทรีย์ซึ่งไม่จำกัดว่าพืชสร้างขึ้นเองหรือมนุษย์สังเคราะห์ขึ้น โดยสารควบคุมการเจริญเติบโตจะไปควบคุมการทำงานของเงินในการสร้างโปรตีน กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ หรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันเยื่อหุ้มทั้งหลาย

3. สภาพแวดล้อม สภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งการตอบสนองต่อปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ไม่ได้แตกต่างกันไม่ว่าจะปลูกพืชด้วยวิธีดั้งเดิมหรือด้วยวิธีไฮโดรโปนิคส์ ปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชมีอยู่หลายปัจจัย แต่มีปัจจัยที่สำคัญดังต่อไปนี้

3.1 อุณหภูมิ อุณหภูมิควบคุมอัตราการเจริญเติบโตของพืช โดยมีผลโดยตรงต่อการสังเคราะห์แสง การหายใจ การดูดธาตุอาหาร การคายน้ำและกิจกรรมของเอนไซม์ต่างๆ โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลในการเร่งกระบวนการทางเคมีต่างๆ ในพืช ขบวนการเหล่านี้ควบคุมโดยเอนไซม์ ซึ่งจะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิแคบๆ อุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมจะทำให้เอนไซม์ทำงานลดลง มีผลให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในพืชลดลงหรือหยุดไปด้วย เมื่อถึงจุดนี้ พืชจะอยู่ในภาวะเครียดและหยุดเจริญเติบโต และอาจตายได้ในที่สุด การควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชจึงเป็นเรื่องสำคัญ

3.2 แสง เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช เพราะแสงเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างอาหารหรือการสังเคราะห์แสงของพืช โดยมีคลอโรฟิลล์เป็นตัวรับแสงไปใช้เป็นพลังงานในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นคาร์โบไฮเดรตและออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 คุณภาพน้ำ คุณภาพน้ำมีความสำคัญมากในการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิคส์ เนื่องจากพืชที่ปลูกได้รับธาตุอาหารต่างๆจากสารละลายธาตุอาหารซึ่งต้องใช้น้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญ ถ้าน้ำมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคต่างๆ โรคจะแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว

4. ความต้องการธาตุอาหารของพืช

4.1 ธาตุอาหารมหภาค เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก ซึ่งแบ่งได้เป็นธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และ ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และ กำมะถัน

4.1.1 ธาตุอาหารหลัก เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากจึงจะเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ธาตุอาหารหลักมี 3 ธาตุ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

4.1.2 ธาตุอาหารรอง เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณที่ลดน้อยลงมาธาตุอาหารรองมี 3 ธาตุ คือ แคลเซียม แมกนีเซียม และ กำมะถัน

4.2 ธาตุอาหารจุลภาค หรือธาตุอาหารเสริมประกอบด้วย 7 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โมลิบดีนัม โบรอนและคลอรีน พืชต้องการใช้ธาตุอาหารเหล่านี้ในปริมาณน้อยแต่ก็ขาดไม่ได้ เนื่องจากมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช

ธาตุเหล็ก

ธาตุเหล็ก จะพบในดินมากโดยทั่วไป แต่จะเป็นธาตุเหล็กที่ไม่ได้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเป็นส่วนมาก ปัญหาการขาดธาตุเหล็กของพืชไม่ใช่เกี่ยวกับปริมาณของธาตุเหล็กในดิน ปัญหาเกิดจากการไม่ละลายและความเป็นประโยชน์ต่อพืชของธาตุเหล็ก ดินที่มีความเป็นกรดมากจะทำให้ธาตุเหล็กไม่เกิดประโยชน์ต่อพืช และดินที่มีความเป็นด่างมากก็จะทำให้ธาตุเหล็กไม่เกิดประโยชน์ต่อพืชเช่นกัน ส่วนในดินที่มีน้ำขังจะทำให้ธาตุเหล็กมีประโยชน์ต่อพืชสูงขึ้น

1. หน้าที่ของธาตุเหล็ก คือ ช่วยเสริมสร้างความเขียวหรือสารคลอโรฟิลล์ในใบพืชแต่ไม่ได้เป็นส่วนของคลอโรฟิลล์ ช่วยในการสังเคราะห์แสงในใบพืชได้ดี เพื่อสร้างแป้งและน้ำตาล ช่วยเสริมสร้างเอนไซม์ในพืชเพื่อช่วยในระบบการหายใจของพืชทำให้พืชเจริญเติบโต ทำหน้าที่ช่วยเหลือในการแบ่งเซลล์ของพืชเพื่อการเจริญเติบโต พืชต้องการเหล็กในปริมาณน้อยประมาณหนึ่งในร้อยส่วนเมื่อเทียบกับธาตุไนโตรเจน นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการดูดธาตุอาหารอื่นๆ

2. รูปแบบของเหล็ก Clemens et al. (1990) ได้กล่าวว่ารูปแบบของธาตุเหล็กที่ใช้ในการเกษตรโดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้ในรูปของเหล็กคีเลตที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเหล็กไอออนกับสารคีเลตธรรมชาติที่เรียกว่า chelate agent ซึ่งทำให้มีความเสถียรมากกว่าในธาตุเหล็กที่ไม่มีคีเลตโดย chelate agent ที่ศึกษาสำหรับเป็นธาตุอาหารแก่พืชมี 2 ประเภท ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

aminopolycarboxylate และ hydroxycarboxylate ในส่วนของ carboxylate เป็นสารประกอบกรดอินทรีย์ กลุ่มของ aminopolycarboxylate ประกอบด้วย EDTA, HEEDTA, EDDHA และ DTPA ส่วนกลุ่มของ hydroxycarboxylate ประกอบด้วย citric, gluconic acid และ glucoheptonic acid (ตารางที่ 1) โดยเหล็กคีเลตรูปแบบต่างๆ ใช้เสริมธาตุเหล็กแก่พืชโดยการฉีดพ่นที่ใบ หรือใส่ลงในดินโดยตรง โดยรูปแบบของเหล็กที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้แก่ เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}), เฟอริกไอออน (Fe^{3+}) และ เหล็กคีเลตซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเหล็กไอออนกับสารคีเลตธรรมชาติซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ เหล็กคีเลต เป็นสารประกอบเชิงซ้อน สามารถคงตัวอยู่ในรูปสารละลายธาตุอาหารพืชและพืชดูดกินได้เหล็กคีเลตที่นิยมใช้กันอยู่ในรูปของ EDTA หรือ EDDHA และยังมีเฟอร์ริกออกไซด์ เช่น $Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_3$ และ $Fe(OH)_4$ แต่เป็นรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ยากโดยพืชมักใช้ธาตุเหล็กในรูปของเฟอร์รัสไอออนได้มากกว่าเฟอริกไอออน ตัวอย่างของรูปแบบของธาตุเหล็ก ได้แก่ Alvarez-Fernandez et al. (2005) ได้ทำการทดลองโดยใช้ Fe(III)chelate ได้แก่ ferric-ethylenediamine di(o-hydroxyphenylacetic) acid (EDDHA/ Fe^{3+}), ferric-ethylenediaminedi(2-hydroxy-4-methylphenylacetic)acid (EDDHMA/ Fe^{3+}) และ ferric-ethylenediamine di(2-hydroxy-5sulfophenylacetic) acid (EDDHSA/ Fe^{3+}) ในการแก้ไขอาการขาดธาตุเหล็กของทานตะวันและลูกท้อ ในทานตะวันที่ได้รับ Fe(III)chelate ทุกรูปแบบในปริมาณที่เพียงพอ ($7.2 \mu M$) ทำให้อาการขาดธาตุเหล็กลดลงโดยดูได้จากใบของทานตะวันมีสีเขียวมากขึ้น ซึ่งต่างจากกลุ่มควบคุมที่แสดงอาการขาดธาตุเหล็กคือมีใบสีเหลืองจนจบการทดลอง ในลูกท้อพบว่า ในกลุ่มที่ได้รับ Fe(III) chelate ในเรื่องการแก้ไขอาการขาดธาตุเหล็กแสดงความสำคัญสูงกว่าใบของลูกท้อกลุ่มควบคุม

3. ผลของธาตุเหล็กต่อการเจริญเติบโตของพืช Lucena et al. (1988) ได้ศึกษาถึงการเสริมธาตุเหล็กในรูปของคีเลตรูปแบบที่ต่างกันแก่ *Lolium multiflorum* โดยศึกษาประสิทธิภาพของเหล็กคีเลตในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ Fe-EDTA, Fe-DTPA, Fe-EDDHA และผลิตภัณฑ์ทางการค้า (Rexene) ในสารละลายเหล็กของ *Lolium multiflorum* ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ที่ pH 8 และมีปริมาณธาตุเหล็กในสารละลายธาตุอาหารประมาณ 0.5 mg l^{-1} พบว่า ในเหล็กคีเลตรูปแบบ Fe-EDDHA มีปริมาณธาตุเหล็กในสารละลายธาตุอาหารมากที่สุดและมีความคงตัวมากที่สุด รองลงมาคือ Fe-DTPA และไม่มี ความแตกต่างกันระหว่าง Fe-EDTA₁ (ใช้ Fe-EDTA ส่วน) และ Rexene ส่วน Fe-EDTA₂ (ใส่ Fe-EDTA 4 ส่วน) มีปริมาณธาตุเหล็กในสารละลายธาตุอาหารน้อยที่สุด ส่วนเรื่องปริมาณธาตุเหล็กในเนื้อเยื่อพืชมีแนวโน้มเท่าๆ กัน และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของพืชกลุ่มที่ปลูกใน Fe-EDTA₂ มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่า Fe-EDTA₁ ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของพืชกลุ่มที่ปลูกใน Fe-DTPA มีปริมาณใกล้เคียงกับ Rexene ซึ่งมีค่าสูง ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของพืชกลุ่มที่ปลูกใน Fe-EDDHA มีปริมาณเท่ากับ Fe-EDTA₁

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์นี้เป็นสิ่งที่ใช้ตรวจการขาดธาตุเหล็ก สรุปแล้วคือ การใช้เหล็ก คีเลตที่มีความคงตัวสูงอย่าง Fe-EDDHA ไม่เหมาะสมที่จะใช้กับ *Lolium multiflorum* ได้ และ Lucena et al. (1990) ยังได้ศึกษาถึงการใช้อาตุเหล็กสำหรับปลูกสตรอเบอร์รี่ในระบบไฮโดรโปนิคส์ โดยการใช้เหล็กคีเลตรูปแบบต่างๆ ได้แก่ Fe-EDTA, Fe-EDDHA และ Fe-polyflavonoid โดยวัดความเข้มข้นของธาตุเหล็กในใบพืชจาก atomic absorption spectrophotometry (A.A) พบว่า ความเข้มข้นของธาตุเหล็กในสตรอเบอร์รี่ที่ปลูกใน Fe-EDDHA ทำให้ได้ผลผลิตสูงสุด รองลงมาคือ สตรอเบอร์รี่ที่ปลูกใน Fe-EDTA และ สตรอเบอร์รี่ที่ปลูกใน Fe-polyflavonoid มีผลผลิตต่ำที่สุด และยังพบอาการขาดธาตุเหล็กอีกด้วย ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของสตรอเบอร์รี่ที่ปลูกใน Fe-EDTA มีปริมาณมากที่สุดคือ 1.27 mg l^{-1} รองลงมาคือ ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของสตรอเบอร์รี่ที่ปลูกใน Fe-EDDHA 1.38 mg l^{-1} และ สตรอเบอร์รี่ที่ปลูกใน Fe-polyflavonoid มีปริมาณน้อยที่สุด คือ 0.27 mg l^{-1} โดยอัตราส่วนระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์กับความเข้มข้นของธาตุเหล็กบอกได้ถึงประสิทธิภาพของการใช้อาตุเหล็ก ซึ่งก็พบว่าในสตรอเบอร์รี่ที่ปลูกใน Fe-EDDHA มีการใช้อาตุเหล็กได้ดีกว่าสตรอเบอร์รี่ที่ปลูกใน Fe-polyflavonoid สรุปแล้วก็คือ การใช้ Fe-EDDHA เป็นเหล็กคีเลตที่ดีที่สุดในการเสริมธาตุเหล็กให้กับสตรอเบอร์รี่ส่วนการใช้ Fe-polyflavonoid ก่อให้เกิดอาการขาดธาตุเหล็กใน สตรอเบอร์รี่เนื่องจากมีความคงตัวต่ำ

ตารางที่ 1 ค่าย่อของสารประกอบ chelate agent

ค่าย่อ	ชื่อเคมี
EDTA	Ethylenediamine tetraacetic acid
EDDHA	Ethylenediamine di(<i>o</i> -hydroxyphenylacetic) acid
HEEDTA	Hydroxyethyl ethylenediamine triacetic acid
DTPA	Diethylenetriamine pentaacetic acid
Gluconate (GL)	The salt of gluconic acid
Glucoheptonate	The salt of glucoheptonic acid

ที่มา : Clemens et al. (1990)

4. ผลของธาตุเหล็กร่วมกับธาตุอาหารอื่น John and Youngblood (1991) ได้ทำการทดลองถึงผลของการตรึงไนโตรเจนและการเสริมไนเตรทของถั่วที่ปลูกด้วยเหล็กคีเลตในการปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์โดยศึกษาถึงผลของเหล็กคีเลต 2 รูปแบบคือ Fe-EDDHA และ Fe-HEEDTA ต่อการเจริญเติบโตของพืชตระกูลถั่ว (*Medicago sativa*L.) ที่มีการตรึงไนโตรเจนและมีการเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนเตรทในระบบไฮโดรโปนิคส์ที่มีการควบคุม pH ที่ 7.5 โดยการเพิ่ม CaCO_3 พบว่า ในถั่วที่ปลูกด้วย Fe-EDDHA ที่ความเข้มข้น 2, 10 และ 20 μM มีอาการขาดธาตุเหล็กในใบอ่อนของถั่วที่มีการตรึงไนโตรเจนและเมื่อเสริมไนเตรทเข้าไปที่ความเข้มข้น 2 และ 20 μM Fe-EDDHA ก็ยังมีอาการขาดธาตุเหล็กอยู่ แต่ที่ความเข้มข้น 33 – 100 μM Fe-EDDHA ไม่พบเห็นอาการขาดธาตุเหล็ก ผลแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของ Fe-EDDHA 20 μM เป็นความเข้มข้นที่ไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของต้นถั่วและที่ ความเข้มข้น 33 – 100 μM เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของต้นถั่ว ส่วนถั่วที่ปลูกด้วย Fe-HEDTA ที่ความเข้มข้น 3.3 μM ในถั่วที่มีการตรึงไนโตรเจนพบอาการขาดธาตุเหล็กในใบอ่อนแต่ที่ความเข้มข้น 10 μM ไม่พบอาการขาดธาตุเหล็กและมีใบสีเขียวผลเป็นเช่นเดียวกันกับถั่วที่ปลูกด้วยเสริมไนเตรท ส่วนที่ความเข้มข้น 200 μM เป็นความเข้มข้นที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นถั่ว และอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของถั่วที่มีการตรึงไนโตรเจน คือถั่วที่ปลูกด้วย Fe-HEDTA ที่ความเข้มข้น 10 μM และ อัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของถั่วที่มีการเสริมไนเตรท คือถั่วที่ปลูกด้วย Fe-HEDTA ที่ความเข้มข้น 10 – 100 μM และ Assimakopoulou (2006) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของการเสริมธาตุเหล็กและไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของผักขมในการปลูกในสารละลายธาตุอาหาร โดยได้ศึกษาถึงผลกระทบของไนโตรเจน 2 รูปแบบ คือ 100% NO_3^- และ 80% NO_3^- : 20% NH_4^+ -N และเหล็ก 3 ระดับ คือ 0 μM Fe, 20 μM Fe-EDDHA และ 3 μM Fe-EDDHA + 10 mM NaHCO_3 ต่อการเจริญเติบโตของผักขมที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ ซึ่งพบว่าหลังจากผ่านไป 42 วัน อัตราการเจริญเติบโตของผักขมที่เจริญใน 0 μM Fe และ 100% NO_3^- มีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าผักขมที่เจริญใน 0 μM Fe และ 80% NO_3^- : 20% NH_4^+ -N ส่วนอัตราการเจริญเติบโตของผักขมที่เจริญใน 0 μM Fe และ 80% NO_3^- : 20% NH_4^+ -N และ 20 μM Fe-EDDHA ไม่มีความแตกต่างกัน และหลังจาก 61 วันผักขมที่เจริญใน 20 μM Fe-EDDHA และ 100% NO_3^- มีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าผักขมที่เจริญใน 20 μM Fe-EDDHA และ 80% NO_3^- : 20% NH_4^+ -N ส่วนผักขมที่เจริญเติบโตที่ความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตสูง อัตราการเจริญเติบโตของผักขมที่เจริญใน 3 μM Fe-EDDHA + 10 mM NaHCO_3 กับไนโตรเจนรูปแบบใดก็ตามมีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำที่สุด สรุปแล้วคือ รูปแบบของไนโตรเจนมีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของต้นผักขมที่เจริญในเหล็กระดับต่างๆ ในระบบไฮโดรโปนิคส์ในสภาวะที่มีเหล็กเพียงพอกับ 80% NO_3^- : 20% NH_4^+ -N มีแนวโน้มทำให้ผักขมมีผลผลิตสูงสุด

5. การขาดธาตุเหล็กพืชทั่วไปมีระดับการขาดแคลนเหล็กในใบ ระหว่าง 50 – 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พืชแห้ง) หากว่าต่ำกว่านี้พืชจะแสดงอาการขาดธาตุเหล็กส่วนใหญ่แล้วจะเกิดในที่ที่มี HCO_3^- สูงซึ่งจะมีผลต่อการดูดซึม การเคลื่อนย้าย การใช้เหล็กโดยตรงและโดยอ้อม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้แก่ สารละลายดินมี pH สูงการละลายของเหล็กจึงต่ำ การรีดิวซ์เฟอร์ริกได้เฉพาะที่ผิวเยื่อหุ้มเซลล์เนื่องจากขาดสารรีดิวซ์เหล็กในดิน รากปล่อยฟีนอลออกมาในอณูลง รากที่มี HCO_3^- สูงทำให้การยึดตัวของรากลดลงและแรงดันภายในรากลดลง โดยสภาพแวดล้อมที่พืชขาดธาตุเหล็ก ได้แก่ ในดินที่มีค่าของความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ตั้งแต่ 6.0 ขึ้นไป ในดินที่ขาดการให้ธาตุเหล็กที่เป็นประโยชน์ เช่น เหล็กคีเลต ในดินที่มีการไถลึก และดินที่ถูกน้ำกัดเซาะในดินที่มีความชื้นสูงและมีอุณหภูมิในดินต่ำกว่าก่อนและหลังปลูกพืชในดินที่แน่นมาก เช่น ดินเหนียวในดินที่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตมาก ธาตุเหล็กไม่เคลื่อนย้ายจากใบเก่าสู่ใบใหม่ ดังนั้นเมื่อมีใบใหม่ออกมาต้องธาตุเหล็กเสมอ เพื่อให้พืชขาดธาตุเหล็ก ในช่วงที่มีอากาศเย็น ดินเย็น พืชจะดูดธาตุเหล็กได้น้อยมาก การฉีดพ่นธาตุเหล็กคีเลตทางใบพืชจะให้ประโยชน์แก่พืชมากกว่าให้ทางดิน Assimakopoulou (2006) กล่าวว่า การขาดธาตุเหล็กของพืชวัดได้จากการหาค่าเฉลี่ยจากใบพืชทั้งหมดในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 (1 ใบเขียวปกติ ต่อ 5 ใบที่มีอาการขาดธาตุเหล็กดูจากมีจุดที่มีเนื้อเยื่อตาย) โดยได้ศึกษาถึงการขาดธาตุเหล็กของผักขมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร พบว่า ในใบอ่อนของผักขมที่เจริญในที่ที่มีไนโตรเจนสูงและ 80% NO_3^- -N : 20% NH_4^+ -N พบอาการขาดธาตุเหล็กและผักขมที่เจริญในที่ที่มีไนโตรเจนสูง และ 100% NO_3^- มีค่าการขาดธาตุเหล็กมากที่สุดจนจบการทดลอง ส่วนในผักขมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีเหล็ก ($0 \mu\text{M Fe}$) และ ไนโตรเจนรูปแบบใดก็ตามไม่มีอาการขาดธาตุเหล็กให้เห็น แต่ผักขมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีเหล็ก ($0 \mu\text{M Fe}$) และ 100% NO_3^- มีค่าการขาดธาตุเหล็กสูงกว่าผักขมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็ก $20 \mu\text{M Fe-EDDHA}$

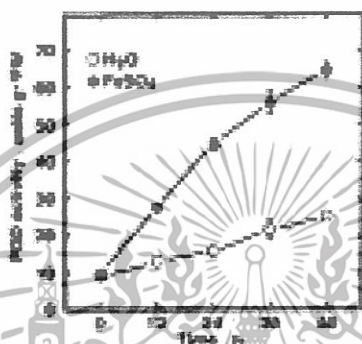
6. อาการของพืชที่ขาดธาตุเหล็ก ได้แก่ ใบพืชจะมีสีเขียวซีดจางไม่เขียว แสดงอาการขาดสารคลอโรฟิลล์ ทำให้ระบบของรากพืชไม่พัฒนา รากสั้นลง ขนาดปลายรากโตขึ้น พืชเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ เส้นกลางใบพืชจะมีสีเขียวซีดจาง (interveinal chlorosis) โดยจะเกิดที่ใบอ่อนก่อน ลูกกลมไปยังใบแก่ ถ้าพืชขาดธาตุเหล็กในปริมาณมากจะทำให้ผลผลิตลดลง

7. การได้รับธาตุเหล็กมากเกินไป ธาตุเหล็กเป็นธาตุอาหารรองที่สำคัญต่อพืช แต่ถ้าพืชได้รับธาตุเหล็กมากเกินไปก็จะเป็นอันตรายแก่พืชได้ โดย Fang and Kao (2000) ได้ทำการทดลองถึงผลของการได้รับธาตุเหล็กมากเกินไปทำให้เกิด peroxidase ในใบข้าวที่เลี้ยงในระบบไฮโดรโปนิกส์ซึ่ง peroxidase เป็นเอนไซม์ที่จะออกซิไดส์เป็น H_2O_2 ซึ่งจะทำให้เป็นพิษต่อพืช ธาตุเหล็กที่ใช้คือ FeSO_4 โดยเปรียบเทียบระหว่างการเกิด peroxidase ในใบข้าวที่ปลูกในน้ำ และ 10 mM FeSO_4 พบว่า ในใบข้าวที่ปลูกในสารละลาย 10 mM FeSO_4 เกิด peroxidase สูงกว่าในใบข้าวที่ปลูกในน้ำ 3 เท่า (ภาพที่ 2)

8. การดูดซึมธาตุเหล็กของพืช โดยปกติแล้วปริมาณธาตุเหล็กในเนื้อเยื่อพืชมีประมาณ $50 - 300 \text{ mg/kg (ppm)}$ ในพืชแห้ง (Zuang, 1982) ซึ่งปริมาณของเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ในดินมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณมากกว่าธาตุเหล็กรูปแบบอื่นและปัญหาคือเหล็กในรูปของไอออนมีการละลายต่ำพืชจึงมีวิธีการดูดซึมธาตุเหล็กในดินไปใช้โดยในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว และพืชใบเลี้ยงคู่สามารถดูดซึมธาตุเหล็กได้ใน pH ต่ำโดย เยื่อหุ้มเซลล์ของพืชสามารถดูดซึมเฟอริกไอออนและกระตุ้นให้เป็นเฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) ทำให้สามารถดูดซึมธาตุเหล็กไปใช้มากขึ้น และเหล็กที่เซลล์รากพืชดูดมาแล้วจะเคลื่อนย้ายทางไซเลมในรูปของสารประกอบเฟอริกเชิงซ้อน เช่น เฟอริกซิเตรต เหล็กที่เข้าสู่พืชแล้วไม่เหมาะที่จะอยู่ในรูปของไอออนอีกจึงเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์ (Chen y Barak, 1982, Olsen *et al.*, 1981)



ภาพที่ 2 ระดับ peroxidase ในใบข้าวที่ปลูกใน 10 mM FeSO₄ และ น้ำ
ที่มา : Fang and Kao (2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ระบบปลูกพรรณไม้แบบ Deep flow technique (DFT)
2. พรรณไม้ที่ใช้ในการทดลอง คือ อเมซอนมาร์ตี (*Echinodorus martii*)
3. ถังพลาสติกขนาด 36 ลิตรจำนวน 12 ถัง
4. บำน้ำจำนวน 12 ตัว
5. สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ HNO_3 , NaOH , FeSO_4 , ZnSO_4 , MnSO_4 , MgSO_4 , KNO_3 , ferric-ethylenediamine di(*o*-hydroxyphenylacetic) acid (Fe-EDDHA), KH_2PO_4 , CuSO_4 , ferric-diethylenetriamine pentaacetic acid (Fe-DTPA), $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, Ferric-ethylenediamine tetraacetic acid (Fe-EDTA), H_3BO_3 และ $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$
6. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
7. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (conductivity meter)

วิธีการ

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ (Completely Randomized Design : CRD) โดยใช้ธาตุเหล็ก 4 รูปแบบคือ Fe-EDDHA, Fe-EDTA, Fe-DTPA และ FeSO_4 โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA

ชุดการทดลองที่ 2 ใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA

ชุดการทดลองที่ 3 ใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDTA

ชุดการทดลองที่ 4 ใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ FeSO_4

วิธีการทดลอง

1. ขั้นตอนการเตรียมปุ๋ย

1.1 ชุดการทดลองที่ 1 สารละลายธาตุอาหารถึง A ชั่ง $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 470.875 กรัม และ Fe-EDDHA 22.0375 กรัม นำมาผสมรวมกันโดยผสม $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ กับน้ำจนละลายหมดก่อนแล้วจึงใส่ Fe-EDDHA ตาม หลังจากนั้นคนจนละลายหมดและเติมน้ำให้ครบ 5 ลิตร

1.2 ชุดการทดลองที่ 2 สารละลายธาตุอาหารถึง A ชั่ง $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 470.875 กรัม และ Fe-DTPA 12.725 กรัม นำมาผสมรวมกันโดยผสม $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ กับน้ำจนละลายหมดก่อนแล้วจึงใส่ Fe-DTPA ตาม หลังจากนั้นคนจนละลายหมดและเติมน้ำให้ครบ 5 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ชุดการทดลองที่ 3 สารละลายธาตุอาหารถึง A ชั่ง $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 470.875 กรัม และ Fe-EDTA 11.8125 กรัม นำมาผสมรวมกันโดยผสม $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ กับน้ำจนละลายหมดก่อนแล้วจึงใส่ Fe-EDTA ตาม หลังจากนั้นคนจนละลายหมดและเติมน้ำให้ครบ 5 ลิตร

1.4 ชุดการทดลองที่ 4 สารละลายธาตุอาหารถึง A ชั่ง $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 470.875 กรัม และ FeSO_4 7.3875 กรัม นำมาผสมรวมกันโดยผสม $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ กับน้ำจนละลายหมดก่อนแล้วจึงใส่ FeSO_4 ตาม หลังจากนั้นคนจนละลายหมดและเติมน้ำให้ครบ 5 ลิตร

1.5 สารละลายธาตุอาหารถึง B สำหรับใช้ในทุกการทดลองประกอบด้วย KNO_3 449 กรัม, KH_2PO_4 163.25 กรัม, MgSO_4 262 กรัม, ZnSO_4 1.18915 กรัม, CuSO_4 0.254 กรัม, MnSO_4 3.5484 กรัม, H_3BO_3 2.2235 กรัม และ $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ 0.08575 กรัม เริ่มผสมโดยใช้สารเคมีแต่ละชนิดลงในน้ำที่ละชนิดคนให้ละลายก่อนแล้วจึงใส่สารเคมีอีกชนิดหนึ่งลงไปจนละลายหมดและเติมน้ำจนครบ 10 ลิตร

หลังจากนั้นนำสารละลายธาตุอาหารถึง A มาผสมกับสารละลายธาตุอาหารถึง B โดยแบ่งผสมสารละลายธาตุอาหารถึง A แต่ละชนิดผสมกับสารละลายธาตุอาหารถึง B

2. ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมระบบเลี้ยงแบบ DFT จำนวน 12 ราง

2. ผสมสารละลายธาตุอาหารลงในถังพลาสติกที่ใช้เลี้ยงพรรณไม้ น้ำ 1 ถึงต่อ 1 ราง โดยแต่ละถังผสมสารละลายธาตุอาหารถึง A ชนิดที่ 1-4 ชนิดละ 3 ถึงผสมกับสารละลายธาตุอาหารถึง B ปรับค่า Electrical conductivity (EC) ให้เป็น 0.7 mS/cm ทุกถัง และปรับค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารในแต่ละถังให้เป็น 6.5 โดยใช้ HNO_3 และ NaOH

3. นำพรรณไม้ลงไปเลี้ยงในรางปลูก วัดความยาวใบ ความกว้างใบ ความสูงของลำต้น และนับจำนวนใบ

4. หลังจากเลี้ยงเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ ทำการปรับค่า EC ให้เป็น 1.0 mS/cm จนสิ้นสุดการทดลอง

5. จัดบันทึกผล ความยาวใบ ความกว้างใบ ความสูงของลำต้นและจำนวนใบในทุกๆ 2 สัปดาห์

6. หลังจากสิ้นสุดการทดลองนำพรรณไม้ที่ปลูกไว้ในแต่ละรางปลูกมาล้างให้สะอาดแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำพรรณไม้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้วนำออกมาใส่ในโถดูดความชื้น จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำพรรณไม้ที่อบแห้งแล้วไปชั่งน้ำหนักแล้วนำไปบดให้ละเอียด

7. นำพรรณไม้ที่บดละเอียดแล้วมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม เหล็ก แมงกานีส และแมกนีเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบันทึกข้อมูล

วัดความยาวใบ ความกว้างของใบ ความสูงของลำต้น และจำนวนใบทุกๆ 2 สัปดาห์

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลความยาวใบ ความกว้างของใบ ความสูงของลำต้น และจำนวนใบที่ได้จากการวิเคราะห์และปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กและแมงกานีส แต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทางสถิติโดยใช้ Duncan ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS for window version 10.0

สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ระยะเวลาในการทดลอง

เดือนธันวาคม 2549 ถึงเดือนมีนาคม 2550



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์

ความยาวใบของอเมซอนมาร์ตี้

ความยาวใบของอเมซอนมาร์ตี้ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 1)

ในสัปดาห์ที่ 2 อเมซอนมาร์ตี้ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีความยาวใบมากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) จากอเมซอนมาร์ตี้ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA, Fe-EDTA และ FeSO_4 แต่ความยาวใบของอเมซอนมาร์ตี้ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กทั้ง 3 รูปแบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ในสัปดาห์ที่ 4 อเมซอนมาร์ตี้ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีความยาวใบแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับอเมซอนมาร์ตี้ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA, Fe-EDTA และ FeSO_4 แต่ความยาวใบของ อเมซอนมาร์ตี้ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDTA และ FeSO_4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ในสัปดาห์ที่ 6 อเมซอนมาร์ตี้ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยความยาวใบของอเมซอนมาร์ตี้ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีความยาวใบมากที่สุด รองลงมาคือ Fe-DTPA, Fe-EDTA และ FeSO_4 ตามลำดับ

ในสัปดาห์ที่ 8 อเมซอนมาร์ตี้ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีความยาวใบมากกว่าอเมซอนมาร์ตี้ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA แต่ความยาวใบของอเมซอนมาร์ตี้ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารทั้ง 2 รูปแบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และพรรณไม้ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDTA และ FeSO_4 มีความยาวใบมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

ความกว้างใบของอเมซอนมาร์ตี้

ความกว้างใบของพรรณไม้ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 6 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสัปดาห์ที่ 6 อเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ มีความกว้างใบแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีความกว้างใบมากที่สุด รองลงมาคือ Fe-DTPA, Fe-EDTA และ FeSO_4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ความยาวใบของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีเมื่อได้รับธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ กัน

ระยะเวลา (สัปดาห์)	รูปแบบของธาตุเหล็ก			
	Fe-EDDHA	Fe-DTPA	Fe-EDTA	FeSO_4
0	1.93±0.19 ^a	2.52±0.13 ^a	2.09±0.13 ^a	2.25±0.15 ^a
2	4.55±0.23 ^b	3.99±0.18 ^a	3.91±0.13 ^a	3.99±0.16 ^a
4	6.95±0.18 ^c	5.17±0.21 ^b	3.84±0.20 ^a	3.39±0.20 ^a
6	7.41±0.19 ^d	6.09±0.36 ^c	4.91±0.29 ^b	2.41±0.24 ^a
8	7.63±0.16 ^c	7.21±0.44 ^c	6.11±0.55 ^b	1.69±0.24 ^a

*อักษรที่ไม่ต่างกันในแต่ละแถวนี้ หมายถึงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 3 ความกว้างใบของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีเมื่อได้รับธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ กัน

ระยะเวลา (สัปดาห์)	รูปแบบของธาตุเหล็ก			
	Fe-EDDHA	Fe-DTPA	Fe-EDTA	FeSO_4
0	0.72±5.89 ^a	0.79±5.81 ^a	0.80±5.02 ^a	0.89±8.75 ^a
2	1.31±6.58 ^a	1.29±5.89 ^a	1.27±4.10 ^a	1.36±4.55 ^a
4	1.92±5.70 ^a	1.53±4.52 ^a	1.27±4.41 ^a	1.83±0.51 ^a
6	2.29±6.38 ^d	1.73±8.70 ^c	1.44±0.11 ^b	1.02±9.67 ^a
8	2.04±7.79 ^c	1.89±0.10 ^{bc}	1.62±0.14 ^b	0.64±8.71 ^a

*อักษรที่ไม่ต่างกันในแต่ละแถวนี้ หมายถึงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ในสัปดาห์ที่ 8 อเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ FeSO_4 มีความกว้างใบแตกต่างจากอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA, Fe-DTPA และ Fe-EDTA และ ความกว้างใบของอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีความกว้างใบมากกว่า อเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และความกว้างใบของอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fe-DTPA มีความกว้างใบมากกว่าอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็ก รูปแบบ Fe-EDTA แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ความสูงของอเมซอนมาร์ตี

ความสูงของอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 3)

ในสัปดาห์ที่ 2 อเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีความสูงมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) จากชุดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA, Fe-EDTA และ FeSO_4 แต่อเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารทั้ง 3 รูปแบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ในสัปดาห์ที่ 4 อเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีความสูงมากกว่าชุดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA, Fe-EDTA และ FeSO_4 แต่ความสูงของอเมซอนมาร์ตีกลุ่มที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDTA และ FeSO_4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ในสัปดาห์ที่ 6 อเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ มีความแตกต่างกันทุกรูปแบบโดยอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีความสูงมากที่สุด รองลงมาคือ Fe-DTPA, Fe-EDTA และ FeSO_4 ตามลำดับ

ในสัปดาห์ที่ 8 อเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีความสูงมากกว่าชุดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA แต่อเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารทั้ง 2 รูปแบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และความสูงของพรรณไม้ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDTA และ FeSO_4 มีความสูงแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

จำนวนใบของอเมซอนมาร์ตี

จำนวนใบของอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ความสูงของพรรณไม้เนื้ออ่อนเมซอนมาร์ตีเมื่อได้รับธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ กัน

ระยะเวลา (สัปดาห์)	รูปแบบของธาตุเหล็ก			
	Fe-EDDHA	Fe-DTPA	Fe-EDTA	FeSO ₄
0	2.21±0.20 ^a	2.61±0.13 ^a	2.34±0.14 ^a	2.50±0.15 ^a
2	4.85±0.24 ^b	4.24±0.18 ^a	3.93±0.22 ^a	4.25±0.15 ^a
4	7.05±0.69 ^a	5.47±0.21 ^b	4.11±0.21 ^{ab}	4.10±0.53 ^{ab}
6	7.71±0.19 ^d	6.34±0.36 ^c	5.15±0.29 ^b	2.63±0.23 ^a
8	7.91±0.16 ^c	7.52±0.43 ^c	6.39±0.55 ^b	1.93±0.24 ^a

*อักษรที่ไม่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ในสัปดาห์ที่ 2 อเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีจำนวนใบมากกว่าอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDTA และ FeSO₄ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) และจำนวนใบของอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) จากอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDTA และ FeSO₄

ในสัปดาห์ที่ 4 อเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีจำนวนใบมากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) จากอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA, Fe-EDTA และ FeSO₄ แต่จำนวนใบของอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กทั้ง 3 รูปแบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ในสัปดาห์ที่ 6 อเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีจำนวนใบมากกว่าอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA, Fe-EDTA และ FeSO₄ แต่อเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDTA และ FeSO₄ มีจำนวนใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

ในสัปดาห์ที่ 8 อเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีจำนวนใบมากกว่าอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-DTPA แต่อเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กทั้ง 2 รูปแบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และพรรณไม้เนื้ออ่อนเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDTA และ FeSO₄ มีความยาวใบแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 จำนวนใบของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีเมื่อได้รับธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ กัน

ระยะเวลา (สัปดาห์)	รูปแบบของธาตุเหล็ก			
	Fe-EDDHA	Fe-DTPA	Fe-EDTA	FeSO ₄
0	9.28±0.52 ^a	8.67±0.64 ^a	8.27±0.64 ^a	8.20±0.33 ^a
2	10.33±0.41 ^b	8.93±0.47 ^a	9.33±0.37 ^{ab}	9.20±0.42 ^{ab}
4	12.80±0.49 ^b	10.80±0.65 ^a	9.93±0.62 ^a	10.47±0.35 ^a
6	14.47±0.51 ^c	12.80±0.44 ^b	11.13±0.57 ^a	10.64±0.35 ^a
8	16.67±0.42 ^c	15.33±0.78 ^c	10.80±0.96 ^b	8.00±0.56 ^a

*อักษรที่ไม่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ปริมาณธาตุอาหาร

ปริมาณธาตุอาหารในพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ พบว่า ปริมาณไนโตรเจน และเหล็กในพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ส่วนปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ FeSO₄ มีปริมาณมากที่สุดแต่ไม่มีความแตกต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมใน พรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA และ Fe-EDTA (ตารางที่ 6 และ ภาพที่ 3) ส่วนปริมาณธาตุแคลเซียม และแมกนีเซียมในพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ปริมาณแมงกานีสในพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ FeSO₄ มีปริมาณมากที่สุดและมีความแตกต่างจากปริมาณแมงกานีสในพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA, Fe-DTPA และ Fe-EDTA (P<0.05) (ตารางที่ 6 และ ภาพที่ 4)

จากผลการทดลอง เรื่องความยาวของใบ ความกว้างของใบ ความสูงของลำต้น และจำนวนใบของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตี พบว่าพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีอัตราการเจริญสูงสุดโดยดูได้จากความยาวของใบ ความกว้างของใบ ความสูงของลำต้น และจำนวนใบของพรรณไม้น้ำอเมซอนมาร์ตีที่มีมากที่สุด ซึ่งผลการทดลองนี้ก็สอดคล้องกับ Lucena et al. (1990) ได้ทำการทดลองปลูกสตรอเบอรี่ด้วยเหล็กคีเลตรูปแบบต่างๆ ในระบบไฮโดรโปนิคส์พบว่า การใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีเหล็กคีเลตรูปแบบ Fe-EDDHA ให้กับสตรอเบอรี่ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโต และได้ผลผลิตสูงสุด แต่ไม่สอดคล้องกับ Lucena et al. (1988) เสริมธาตุเหล็กในรูปของคีเลตรูปแบบที่ต่างกันแก่ *Lolium*

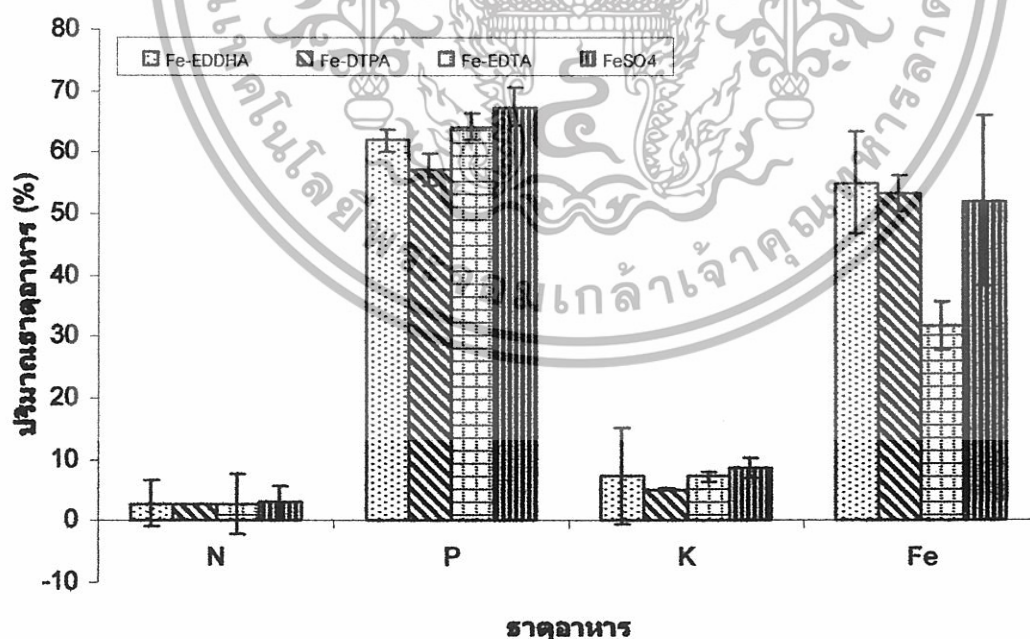
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

multiflorum โดยศึกษาประสิทธิภาพของเหล็กคีเลตในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ Fe-EDTA, Fe-DTPA, Fe-EDDHA และผลิตภัณฑ์ทางการค้า (Rexene) ในสารละลายเหล็กของ *Lolium multiflorum* ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่า การใช้เหล็กคีเลตที่มีความเสถียรสูงอย่าง Fe-EDDHA ไม่เหมาะสมที่จะใช้กับ *Lolium multiflorum* ได้

ตารางที่ 6 ปริมาณธาตุอาหารในพรรณไม้ น้ำอเมซอนมาร์ตี

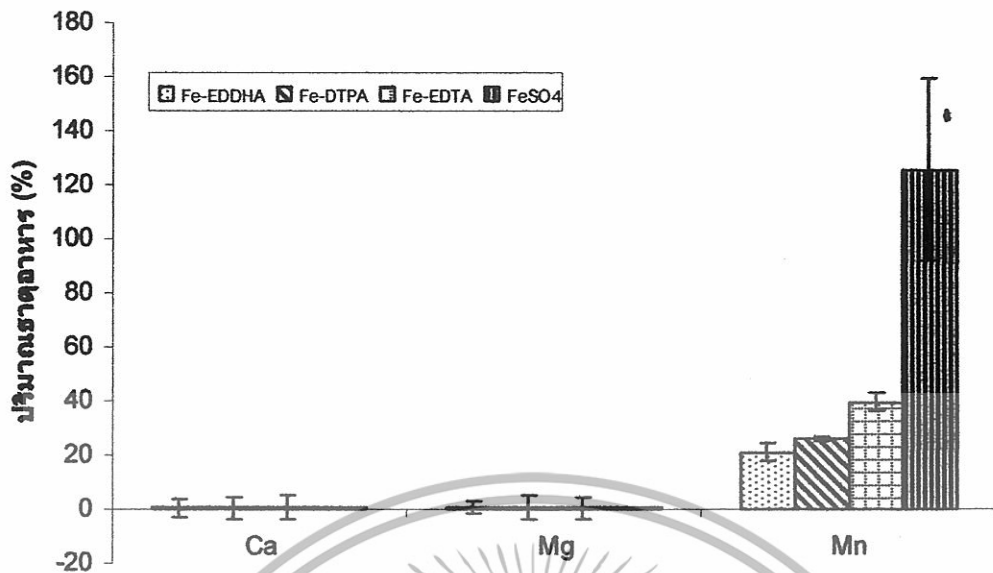
ปริมาณธาตุอาหาร (%)	รูปแบบของธาตุเหล็ก			
	Fe-EDDHA	Fe-DTPA	Fe-EDTA	FeSO ₄
ไนโตรเจน	2.82±3.71 ^a	2.70±0.11 ^a	2.85±4.91 ^a	2.93±2.66 ^a
ฟอสฟอรัส	61.98±1.76 ^{ab}	57.11±2.56 ^a	64.11±2.18 ^{ab}	67.43±3.22 ^b
โพแทสเซียม	7.36±7.91 ^{ab}	5.12±0.10 ^a	7.15±0.77 ^{ab}	8.67±1.61 ^b
แคลเซียม	0.52±3.23 ^a	0.56±4.18 ^a	0.63±4.51 ^a	0.71±0.15 ^a
แมกนีเซียม	0.47±2.32 ^a	0.62±4.37 ^a	0.54±4.01 ^a	0.66±0.15 ^a
เหล็ก	55.00±8.32 ^a	53.34±2.91 ^a	31.67±3.97 ^a	52.08±13.81 ^a
แมงกานีส	20.84±3.34 ^a	26.25±0.72 ^a	39.58±3.41 ^a	125.41±33.55 ^b

*อักษรที่ไม่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

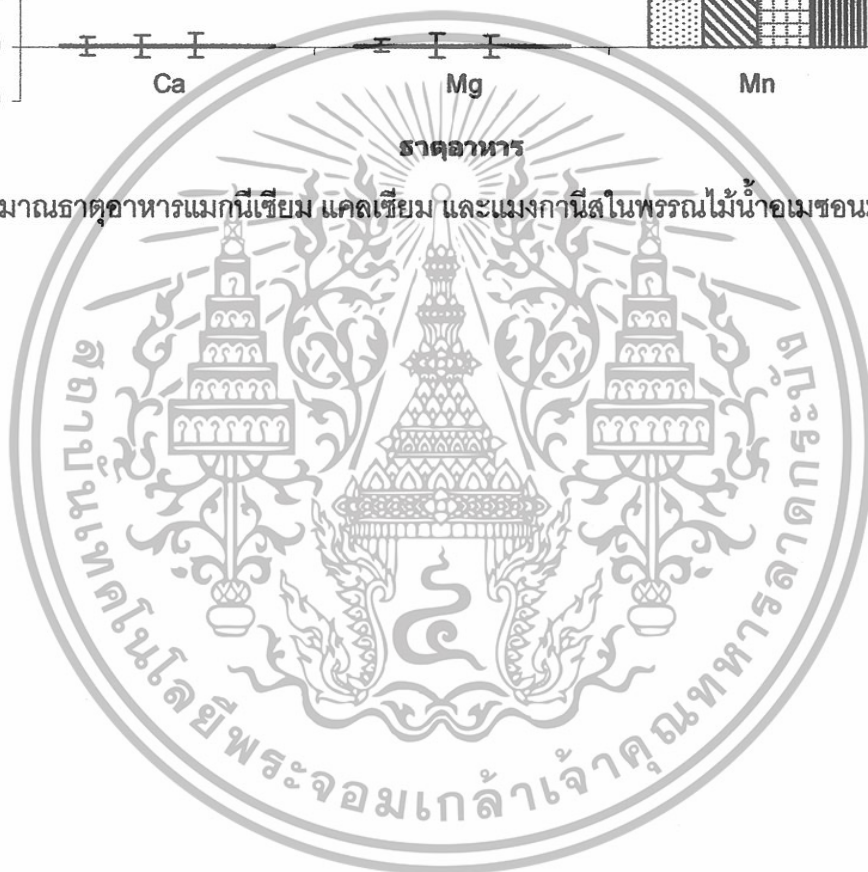


ภาพที่ 3 ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และเหล็กในพรรณไม้ น้ำอเมซอนมาร์ตี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 ปริมาณธาตุอาหารแมกนีเซียม แคลเซียม และแมงกานีสในพรวนไม้้ำอเมซอนมารตี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

จากการทดลองใช้ธาตุเหล็กในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ Fe-EDTA, Fe-EDDHA, Fe-DTPA และ FeSO₄ ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้เนื้ออ่อนเขตร้อนที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT พบว่า การใช้ธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA ทำให้พรรณไม้เนื้ออ่อนเขตร้อนมีการเจริญเติบโตมากที่สุดโดยดูจากความยาวใบ ความกว้างใบ ความสูงของลำต้น และจำนวนใบของพรรณไม้เนื้ออ่อนที่มากที่สุด ส่วนปริมาณธาตุอาหารของพรรณไม้เนื้ออ่อนเขตร้อนที่พบว่ามีปริมาณไนโตรเจน แคลเซียม และแมกนีเซียม ในพรรณไม้เนื้ออ่อนที่มีปริมาณไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมงกานีสในพรรณไม้เนื้ออ่อนที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ FeSO₄ มากที่สุด ปริมาณเหล็กในพรรณไม้เนื้ออ่อนที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุเหล็กรูปแบบ Fe-EDDHA มีปริมาณมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการใช้ธาตุเหล็กในรูปแบบต่างๆ ในการปลูกพรรณไม้เนื้ออ่อนในระบบปลูกพืชไร้ดินเพื่อหาว่าธาตุเหล็กในรูปแบบใดเหมาะสมสำหรับพืชและพรรณไม้เนื้ออ่อนแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- ดิเรก ทองอร่าม. 2549. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. หลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- ยงยุทธ โอสถสภา. ธาตุอาหารพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Assimakopoulou, A. 2006. Effect of iron supply and nitrogen form on growth, nutritional status and ferric reducing activity of spinach in nutrient solution culture. *Scientia Horticulture*. 21-29
- Clemens, D. F., B. M. Whitehurst and G. B. Whitehurst. 1990. Chelates in agriculture. *Fertilizer Research*. 25:127-131.
- Eu, T. H. 2001. *The aquarium plant. Handbook*.
- Fang, W. C. and C. H. Kao. 2000. Enhanced peroxidase activity in rice leaves in responses to excess iron, copper and Zinc. *Plant Science*. 158:71-76.
- Fernandes, A. A., S. G. Marco and J. J. Lucena. 2005. Evaluation of synthetic iron(III)-chelates (EDDHA/Fe³⁺, EDDHMA/Fe³⁺ and the novel EDDHSA/Fe³⁺) to correct iron chlorosis. *Europ. J. Agronomy*. 22:119-130.
- 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.
- Lucena, J. J., A. Garate, A. M. Ramon and M. Mazanaves. 1990. 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 synthesis chelates. *Plant and Soil*. 112:23-28.

www.nicaonline.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ความยาวใบของพรรณไม้เนื้ออ่อนเมซอนมาร์ตีที่ได้รับธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ กัน

รูปแบบธาตุเหล็ก	ซ้ำ	ระยะเวลา (สัปดาห์)				
		0	2	4	6	8
Fe-EDDHA	1	1.9	4.58	7.06	7.12	7.16
	2	2.24	4.66	7.04	7.36	6.8
	3	1.64	4.5	6.74	7.86	7.68
	เฉลี่ย	1.92	4.58	6.94	7.41	7.51
SE		0.17	0.04	0.10	0.24	0.25
Fe-DTPA	1	1.74	3.98	4.46	4.84	5.18
	2	2.06	3.96	5.96	7.04	7.3
	3	1.92	4.14	5.08	6.04	7.94
	เฉลี่ย	1.90	4.02	5.16	5.97	6.80
SE		0.09	0.05	0.43	0.63	0.83
Fe-EDTA	1	1.76	3.74	3.48	4.84	6.52
	2	1.92	3.88	4.32	5.88	7.94
	3	2.12	4.12	3.72	4.02	3.94
	เฉลี่ย	1.93	3.91	3.84	4.91	6.13
SE		0.10	0.11	0.24	0.53	1.11
FeSO ₄	1	2.08	4.4	3.58	2.96	2.34
	2	2.16	4.02	3.78	2.8	1.6
	3	1.88	3.58	2.8	1.48	0.9
	เฉลี่ย	2.04	4.00	3.38	2.41	1.61
SE		0.08	0.23	0.29	0.46	0.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2 ความกว้างใบของพรรณไม้หน้าอเมซอนมาร์ตีที่ได้รับธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ กัน

รูปแบบธาตุเหล็ก	ซ้ำ	ระยะเวลา (สัปดาห์)				
		0	2	4	6	8
Fe-EDDHA	1	0.71	1.3	1.9	2.22	2.06
	2	0.76	1.38	2	2.14	1.72
	3	0.72	1.24	1.86	2.44	7.68
	เฉลี่ย	0.73	1.30	1.92	2.26	2.04
SE		0.01	0.04	0.04	0.08	0.17
Fe-DTPA	1	0.7	1.24	1.42	1.42	1.54
	2	0.72	1.16	1.6	2.08	2.22
	3	0.96	1.42	1.56	1.68	1.62
	เฉลี่ย	0.79	1.27	1.52	1.72	1.79
SE		0.08	0.07	0.05	0.19	0.21
Fe-EDTA	1	0.88	1.24	1.2	1.34	1.72
	2	0.86	1.22	1.36	1.8	1.1
	3	0.68	1.34	1.26	1.18	1.62
	เฉลี่ย	0.80	1.26	1.27	1.44	1.48
SE		0.06	0.03	0.04	0.18	0.49
FeSO ₄	1	1.1	1.48	1.3	1	0.84
	2	0.82	1.3	1.4	1.24	0.76
	3	0.68	1.28	1.5	0.62	0.32
	เฉลี่ย	0.86	1.35	1.33	0.95	0.64
SE		0.12	0.06	0.03	0.18	0.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 ความสูงลำต้นของพรรณไม้ในน้ำอเมซอนมารตีที่ได้รับธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ กัน

รูปแบบธาตุเหล็ก	ซ้ำ	ระยะเวลา (สัปดาห์)				
		0	2	4	6	8
Fe-EDDHA	1	2.26	4.82	7.38	7.66	7.72
	2	2.42	4.94	7.3	7.42	7.58
	3	1.94	4.8	7.08	8.16	8.21
	เฉลี่ย	2.20	4.85	7.25	7.71	7.83
SE		0.14	0.04	0.08	0.24	0.25
Fe-DTPA	1	2.01	4.12	4.74	5.1	6.5
	2	2.23	4.2	6.24	7.64	7.52
	3	2.18	4.4	5.42	6.3	8.2
	เฉลี่ย	2.14	4.24	5.46	6.34	7.40
SE		0.06	0.08	0.42	0.73	0.49
Fe-EDTA	1	1.99	3.92	3.72	5.08	6.76
	2	2.15	4.1	4.6	6.12	8.2
	3	2.34	4.38	4.0	4.26	4.2
	เฉลี่ย	2.16	4.13	4.10	5.15	6.38
SE		0.10	0.13	0.25	0.93	1.1
FeSO ₄	1	2.22	4.64	3.86	3.18	2.56
	2	2.29	4.28	4.02	3.04	1.86
	3	2.04	3.86	3.06	1.68	1.38
	เฉลี่ย	2.18	4.26	3.64	2.63	1.93
SE		0.07	0.22	0.29	0.47	0.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 จำนวนใบของพรรณไม้หน้าเมซอนมารีตี้ที่ได้รับธาตุเหล็กรูปแบบต่างๆ กัน

รูปแบบธาตุเหล็ก	ซ้ำ	ระยะเวลา (สัปดาห์)				
		0	2	4	6	8
Fe-EDDHA	1	9.8	10	12.2	14.2	16.4
	2	8.8	10.8	12.8	12.2	17.2
	3	9.2	10.2	13.4	14	16.4
เฉลี่ย		9.26	10.33	12.8	13.46	16.66
SE		0.29	0.24	0.34	0.63	0.26
Fe-DTPA	1	7.4	8	9	11.4	10.6
	2	8.8	8.8	12.2	13.8	16.6
	3	7.1	10	11.2	13.2	16.8
เฉลี่ย		7.76	8.93	10.8	12.8	14.66
SE		0.52	0.58	0.94	0.72	2.03
Fe-EDTA	1	9.4	9.4	9.2	10.6	10.8
	2	7.2	8.6	8.8	10.6	11.8
	3	8.2	10	11.8	12.2	11
เฉลี่ย		8.26	9.33	9.93	11.13	11.2
SE		0.63	0.40	0.94	0.53	0.30
FeSO ₄	1	8	10.4	10	11.4	9.6
	2	8.2	8.2	9.4	9.8	8.8
	3	8.4	9	10.2	10.2	5.6
เฉลี่ย		8.2	9.2	9.86	10.46	8
SE		0.11	0.44	0.24	0.48	1.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้