1175
14380

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Fe-EDTA 2 ชนิด และ
ระดับความเข้มข้นของเหล็กที่ต่างกัน ในการปลูกพืชไร้ดิน

Study on Comparison of Two Fe-EDTA Sources
and Different Iron Concentrations in Soiless Culture

T099825

โดย

นายกวิน สันติเกษมวงศ์

.....5..... 31/5/35

(ผศ.ดร.ศิทธิพูนทร ทันหกิจ)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

ปพ.
ก323ก
2534

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

ภาควิชารับรองแล้ว

.....

(ผศ.ดร.ลุมิตรา ภู่วโรดม)

หัวหน้าภาควิชาเกษตรศาสตร์

วันที่...1...เดือน...มิถุนายน.....พ.ศ.35

6 มิ.ย. 2541

ปพ.
ก323ก
2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การทำปัญหาพิเศษของข้าพเจ้าในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ก็ด้วยความอนุเคราะห์ และการให้คำแนะนำ ปรึกษาวิชาความรู้ การจัดหาวัสดุอุปกรณ์ ตลอดจนความดูแลเอาใจใส่ ตลอดระยะเวลาที่ได้ทำการศึกษาทดลอง ทำให้ข้าพเจ้าเข้าใจถึงวิธีการและปัญหาในระหว่างการศึกษาทดลอง ซึ่งทำให้ข้าพเจ้ารู้สึกเป็นพระคุณอย่างยิ่ง จากอาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้า คือ ท่านอาจารย์ ผศ.ดร.อิทธิสุนทร นันทกิจ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สำหรับในส่วนที่เกี่ยวข้องกับห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา ข้าพเจ้าก็ขอขอบพระคุณ คุณนุจรี บุญแปลง ผู้ซึ่งให้ความดูแลเอาใจใส่ แนะนำ ตักเตือนข้าพเจ้าจนสามารถปฏิบัติงานนี้ได้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

บรรดาเพื่อนๆ ในภาควิชา ข้าพเจ้าก็ขอขอบคุณเป็นอย่างมากที่ช่วยส่งกำลังใจ และให้คำแนะนำต่างๆ จนงานชิ้นนี้สำเร็จเรียบร้อย

ท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาปฐพีวิทยา ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า จนสามารถทำการศึกษาทดลองในครั้งนี้ได้สำเร็จเรียบร้อย

กวิน สันติเกษมวงศ์

มีนาคม 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Fe-EDTA 2 ชนิด และ
ระดับความเข้มข้นของธาตุเหล็กต่างๆ ในการปลูกพืชไร้ดิน

Study on Comparison of Two Fe-EDTA Sources
and Different Iron Concentrations in Soiless Culture

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Fe-EDTA ที่เตรียมขึ้นจาก $FeSO_4$ + EDTA ชนิดที่ใช้ในทางการค้า กับ Fe-EDTA ชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้ในระบบการปลูกพืชไร้ดิน โดยทำการปลูกพริกยักษ์ (Capsicum annuum L.) ในการทดลอง ผลการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพริกยักษ์ทั้งน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และการดูดใช้ธาตุอาหาร ในการทดลองของ Fe-EDTA ทั้ง 2 ชนิด พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในการทดลองที่ไม่ได้ใส่ธาตุเหล็กซึ่งจะพบว่าพริกยักษ์แสดงอาการขาดธาตุเหล็กคือ chlorosis ที่บริเวณใบยอด จากการทดลองนี้แสดงว่า Fe-EDTA ทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพเท่าเทียมกัน

ส่วนการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันคือ 0, 0.5, 1.0, 5.0 และ 10.0 กรัมของ Fe ต่อลูกบาศก์เมตร โดยทำการปลูกพริกหยวก (C. annuum var. grossum Sendt.) ในการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่จะมีความแตกต่างกันในด้านการดูดใช้ธาตุอาหารของพริกหยวก และจะแสดงอาการขาดธาตุเหล็กตลอดทั้งต้นของพริกหยวก ในการทดลองที่ไม่ใส่ธาตุเหล็ก จากการทดลองนี้แสดงว่า พริกหยวกสามารถตอบสนองต่อระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA ตั้งแต่ระดับ 0.5 ถึง 10.0 กรัมของ Fe ต่อลูกบาศก์เมตร โดยไม่แสดงอาการขาดและเป็นพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง	(ก)
สารบัญภาพ	(ข)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
1) การปลูกพืชไร้ดิน	3
2) คุณสมบัติบางประการของธาตุเหล็ก	10
3) บทบาทของธาตุเหล็กต่อพืช	11
4) ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพริกยักษ์และพริกหยวก	13
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	15
ผลการทดลอง	22
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	24
ข้อเสนอแนะ	26
เอกสารอ้างอิง	27
ภาคผนวก	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สูตรของธาตุอาหารที่ใช้สำหรับเตรียมน้ำยาเลี้ยงต้นพืช	6
2	สูตรสารละลายจุลธาตุอาหารพืช	7
3	องค์ประกอบของสารละลาย 'Coic-Lesaint' pH 5.8	17
4	แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักสด ส่วนของพืชเหนือดิน ในการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด	31
5	แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักแห้ง ส่วนของพืชเหนือดิน ในการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด	32
6	แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักสด ส่วนของราก ในการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด	33
7	แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักแห้ง ส่วนของราก ในการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด	34
8	แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักสด ส่วนของพืชเหนือดิน ในการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	45
9	แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักแห้ง ส่วนของพืชเหนือดิน ในการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	46
10	แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักสด ส่วนของราก ในการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	47
11	แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักแห้ง ส่วนของราก ในการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สูตรโครงสร้างของ Fe-EDTA	10
2	แสดงการเตรียม Fe-EDTA	19
3	แสดงการทดลองปลูกพืชในระบบ Hydroponic	20
4	แสดงน้ำหนักสดของพืชในการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด	35
5	แสดงน้ำหนักแห้งของพืชในการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด	36
6	แสดงการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด8	37
7	แสดงร้อยละของธาตุไนโตรเจนในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด	38
8	แสดงการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด	39
9	แสดงร้อยละของธาตุฟอสฟอรัสในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด	40
10	แสดงการดูดใช้ธาตุโปแตสเซียมในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด	41
11	แสดงร้อยละของธาตุโปแตสเซียมในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด	42
12	แสดงการดูดใช้ธาตุเหล็กในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด	43
13	แสดงร้อยละของธาตุเหล็กในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด	44
14	แสดงน้ำหนักสดของพืชในการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	แสดงน้ำหนักแห้งของพืช ในการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	50
16	แสดงการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	51
17	แสดงร้อยละของธาตุไนโตรเจนในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	52
18	แสดงการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	53
19	แสดงร้อยละของธาตุฟอสฟอรัสในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	54
20	แสดงการดูดใช้ธาตุโปแตสเซียมในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	55
21	แสดงร้อยละของธาตุโปแตสเซียมในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	56
22	แสดงการดูดใช้ธาตุเหล็กในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	57
23	แสดงร้อยละของธาตุเหล็กในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	58
24	การเปรียบเทียบต้นของพริกยักษ์ ในการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด	59
25	การเปรียบเทียบต้นของพริกหยวก ในการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	การเปรียบเทียบรากของพริกยักษ์ ในการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด	61
27	การเปรียบเทียบรากของพริกหยวก ในการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA	62
28	แสดงรากของพริกยักษ์ที่ขาดธาตุเหล็ก	63
29	แสดงรากพริกยักษ์ปกติ	64
30	แสดงรากพริกหยวกที่ขาดธาตุเหล็ก	65
31	แสดงรากพริกหยวกปกติ	66
32	แสดงอาการ chlorosis ของใบพริกหยวก	67
33	แสดงผลของพริกยักษ์ในการทดลองเปรียบเทียบ	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ในการพัฒนาระบบการปลูกพืชไร้ดิน ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านค่าใช้จ่าย ในการจัดซื้อสารเคมีมาใช้ในการเตรียมสารละลาย เนื่องจากสารเคมีบางชนิดยังต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศและมีราคาแพงมาก จึงส่งผลให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปลูกพืชระบบนี้สูงกว่าที่ควรจะเป็น เราจึงควรที่จะต้องทำการค้นคว้าและทดสอบสารเคมีที่พอจะเตรียมขึ้นมาได้จากวัตถุดิบที่มีอยู่แล้วในประเทศ มาใช้สำหรับการเตรียมสารละลายธาตุอาหารนี้

ธาตุเหล็กเป็นธาตุหนึ่งในบรรดาจุลธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชและต้องการใช้มากที่สุด ธาตุเหล็กที่ใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชนี้จะใช้อยู่ในรูปสารคีเลต ซึ่งสามารถป้องกันการตกตะกอนของเหล็กในสารละลายได้ พืชจึงสามารถนำเอาไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ เหล็กคีเลตที่ใช้กันโดยทั่วไปมีอยู่หลายชนิด เช่น Fe-EDDHA, Fe-DTPA, Fe-EDTA เป็นต้น ส่วนที่นิยมใช้กันมากอยู่ในรูปของ Fe-EDTA ซึ่งยังต้องอาศัยการสั่งซื้อมาจากต่างประเทศ ทำให้มีราคาสูงมาก ฉะนั้นการทดสอบ Fe-EDTA ที่เตรียมขึ้นมาจากสารที่เป็นองค์ประกอบของเหล็กคีเลตนี้ และมีอยู่ในประเทศแล้ว จึงเป็นสิ่งที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง ดังจะได้กล่าวต่อไป

ในด้านการศึกษาขอบเขตของปริมาณการใช้เหล็กในสารละลายธาตุอาหาร ก็เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปลูกพืชในระบบนี้ และเป็นการป้องกันมิให้เกิดอาการขาดหรือเป็นพิษจากธาตุเหล็กที่อาจจะเกิดขึ้นมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Fe-EDTA ที่เตรียมขึ้นมาจาก $FeSO_4$ + EDTA ชนิดที่ใช้ในทางการค้า กับ Fe-EDTA ชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

2. เพื่อศึกษาถึงระดับความเข้มข้นของธาตุเหล็ก ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพริกยักษ์ และพริกหยวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจเอกสาร

1. การปลูกพืชไร้ดิน (Soiless Culture)

ระบบการปลูกพืชไร้ดิน เป็นวิทยาการสมัยใหม่ที่ใช้ในการปลูกพืช โดยให้สารละลายธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชแก่รากพืชโดยตรง ในปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมแทนการใช้ดินในการปลูกพืช ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการปลูกพืชในส่วนที่เกี่ยวข้องกับดิน เช่น ปัญหาของดินมีคุณภาพต่ำ มีโรคระบาด เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังเป็นการควบคุมคุณภาพ ปริมาณ และระยะเวลาในการผลิตของผลผลิตของพืช (มนตรี, 2531)

แต่อย่างไรก็ตาม จากหลักฐานการบันทึกทางประวัติศาสตร์ตั้งแต่สมัยโบราณ ก็ได้มีการกล่าวอ้างถึงการปลูกพืชไร้ดินมาบ้างแล้ว เช่น การทำสวนลอยฟ้า (Hanging gardens) ของชาวบาบิโลน, ชาวเอซเทคในเม็กซิโก, ชาวจีน และชาวตะวันออกไกลเป็นต้น และการปลูกพืชในน้ำของชาวอียิปต์ (พรชัย และวิบูลย์, 2531) ในสมัยต่อมาได้มีการทดลองทางวิทยาศาสตร์เพื่อหาปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชของนักวิทยาศาสตร์ต่างๆ เช่น John Woodward ซึ่งเป็นการทดลองปลูกพืชไร้ดินโดยบังเอิญ ส่วนผู้ที่ริเริ่มทำการศึกษาทดลองการปลูกพืชไร้ดินด้วยหลักวิทยาศาสตร์สมัยใหม่อย่างแท้จริงคือ Sachs and Knop ในปี ค.ศ.1859 ต่อมาในช่วงปี ค.ศ.1920-1930 Dr. William F. Gericke จึงได้ตั้งชื่อวิธีการเพาะปลูกแบบนี้ว่า 'Hydroponic' (ถวัลย์, 2534)

Hydroponic มาจากภาษากรีก 2 คำ คือ 'Hydor' ซึ่งแปลว่า น้ำ และคำว่า 'Ponos' ซึ่งแปลว่า การทำงาน ดังนั้นเมื่อคำทั้งสองนี้มารวมกันจึงควรจะมีความหมายว่า 'การทำงานด้วยน้ำ'

ระบบการปลูกพืชไร้ดิน แบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ (มนตรี, 2531)

1. การปลูกโดยให้รากลอยในอากาศ ระบบนี้สารละลายธาตุอาหารจะถูกพ่นออกไปให้แก่รากพืชที่ลอยอยู่ในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การปลูกโดยให้รากยึดกับวัสดุปลูก ระบบนี้อาศัยวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ เป็นเครื่องช่วยค้ำจุนให้พืชเจริญเติบโตได้เท่านั้น ส่วนสารละลายธาตุอาหารจะนิยมให้โดยระบบน้ำหยด

3. การปลูกโดยให้รากจมอยู่ในสารละลายธาตุอาหาร ซึ่งสามารถแบ่งออกได้อีก 2 ระบบคือ

3.1 การปลูกพืชโดยให้สารละลายธาตุอาหารอยู่นิ่ง ไม่ไหลเวียน ซึ่งจะใช้ปั๊มลมช่วยในการเพิ่มออกซิเจนให้แก่รากพืช

3.2 การปลูกโดยให้สารละลายธาตุอาหารไหลเวียนอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะมีทั้งแบบที่ปล่อยให้สารละลายธาตุอาหารไหลทิ้งไป กับแบบที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

ในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ Hydroponic เป็นระบบที่ใช้วิธีการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารที่อยู่นิ่งๆ แล้วให้ออกซิเจนเติมลงไป ถ้าเป็นต้นขนาดเล็กก็จะใช้หลอดเป่าลมลงไป แต่ถ้าปลูกมากก็ควรจะมีอุปกรณ์ขนาดใหญ่ เช่น พวกปั๊มลมรถจักรยานยนต์ (มนตรี, 2531) เพื่อให้รากพืชได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ มิฉะนั้นจะทำให้รากพืชเน่าได้ (พรชัย และ วิบูลย์, 2531)

สารละลายธาตุอาหารที่ใช้ในระบบพืชปลูกพืชไร้ดิน ได้รับการพัฒนามาจากสูตรของ Sachs and Knop ซึ่งในขณะนั้นยังมิได้คำนึงถึงจุลธาตุอาหารพืชมากนัก ในสมัยต่อมานักสรีรวิทยาของพืช เช่น John Shive, W.R. Robbins, D.R. Hoagland, Daniel Arnon, A. L. Sommer, Perry Staut และ E.J. Hewitt ได้พัฒนาสูตรของสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้นของธาตุอาหาร ที่มีความเข้มข้นของธาตุต่างๆ เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชได้ดียิ่งขึ้น (มนัส, 2525) สำหรับสูตรของสารละลายธาตุอาหารที่เตรียมขึ้นตามวิธีของ Coic-Lesaint ซึ่งมีความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน 14.4 meq/l และมี pH = 5.8 นั้น จะมีความเหมาะสมต่อการปลูกพืชผัก และไม้ดอกไม้ประดับทั่วๆ ไป (อิทธิสุนทร, 2533)

จากสูตรสารละลายธาตุอาหารต่างๆ ของนักสรีรวิทยาของพืชในอดีต (ตารางที่ 1) เราจะพบว่าในแต่ละสูตรธาตุอาหารพืชต่างๆ จะมีธาตุเหล็กอยู่เพียงธาตุเดียวที่ได้รับการเติมลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปในสารละลายธาตุอาหาร ส่วนจุลธาตุอาหารพืชอื่นๆ คือ แมงกานีส (Mn), โบรอน (B), สังกะสี (Zn), ทองแดง (Cu), โมลิบดีนั่ม (Mo) และคลอรีน (Cl) ซึ่งไม่ได้รักการเติมลงไปนั้น เนื่องจากสาเหตุที่มีการปนเปื้อนธาตุเหล่านี้อยู่ในสารเคมีต่างๆ และน้ำ ที่นำมาใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร และธาตุเหล่านี้ก็มีอยู่ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช แต่อย่างไรก็ตาม หากเราคิดว่าพืชจะได้รับจุลธาตุอาหารพืชเหล่านี้ไม่เพียงพอ ในกรณีสูตรของ Hoagland 2 เราก็จะเติมสารละลายที่เรียกว่า 'A-Z solution' (ตารางที่ 2) 1 ซีซี. ต่อสารละลายธาตุอาหาร 1 ลิตร (มนัส, 2525)

สำหรับธาตุเหล็กที่จำเป็นต้องเติมลงไปนั้น เนื่องมาจากการที่พืชต้องการใช้ในปริมาณที่มากกว่าจุลธาตุอาหารพืชอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้ว (ตารางที่ 1) และการปนเปื้อนของธาตุเหล็กก็ยังมีอยู่ในปริมาณที่น้อยกว่าความต้องการของพืช ความเข้มข้นของธาตุเหล็กในสารละลายธาตุอาหารที่พืชต้องการจะอยู่ในช่วง 0.6 - 2 mg/l (Zuang and Musard, 1984)

ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร (Conductivity) เราสามารถทราบได้โดยการวัดสารละลายในรูปของการนำไฟฟ้า ซึ่งมีหน่วยเป็น mS/cm สำหรับการปลูกมะเขือเทศและแตงกวา โดยทั่วไปแล้วเราจะรักษาระดับความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ระดับ 2 mS/cm (Benoit amd Ceustermans, 1985) การวัดค่าการนำไฟฟ้า เราควรจะทำการวัดอย่างน้อย 2 ครั้งต่อสัปดาห์ (Schwarz, 1968) เนื่องจากว่าเมื่อเราปลูกพืชไปได้ช่วงระยะเวลาหนึ่งแล้ว ค่าความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหารอาจจะลดลง ซึ่งเราต้องทำการปรับให้อยู่ที่ระดับเดิมเสมอ โดยการเติมสารละลายธาตุอาหารจาก Stock Solution เพิ่มเข้าไป (Benoit and Ceustermans, 1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 สูตรของธาตุอาหารที่ใช้สำหรับเตรียมน้ำยาเลี้ยงต้นพืช

Knop's 1860		Pfeffer's 1900		Crones' 1902	
	g/l		g/l		g/l
$Ca(No_3)_2.4H_2O$	0.8	$Ca(NO_3)_2$	0.8	KNO_3	1.0
KNO_3	0.2	KNO_3	0.2	$FePO_4$	0.25
KH_2PO_4	0.2	$MgSO_4$	0.2	$CaSO_4$	0.25
$MgSO_4.7H_2O$	0.2	KH_2PO_4	0.2	$MgSO_4.7H_2O$	0.25
$FePO_4$	Trace	KCl	0.2	$Ca_3(PO_4)_2$	0.25
		$FeCl_3$	Trace		

Shive's, 1915			One of Duggar's, 1920		Knudson's B, 1922	
	Next					
	Best	best		app.		
	g/l			g/l		g/l
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	1.228	1.842	$Ca_3(PO_4)_2$	1.0	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	1.0
KH_2PO_4	2.45	1.47	$CaSO_4.2H_2O$	0.5	KH_2PO_4	0.25
$MgSO_4.7H_2O$	3.70	0.49	"soluble ferric		$MgSO_4.7H_2O$	0.25
Fe 1 ml of 0.5%			phosphate"	1.0	$(NH_4)_2SO_4$	0.50
"soluble ferric phosphate"			$Mg_3(PO_4)_2.8H_2O$	0.5	$FePO_4$	0.05
			KNO_3	1.5	(insoluble)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Hoagland's, 1920		Hoagland's solution 2	
	g/l		g/l
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	1.18	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	0.95
KNO_3	0.51	KNO_3	0.61
$MgSO_4.7H_2O$	0.49	$MgSO_4.7H_2O$	0.49
KH_2PO_4	0.14	$NH_4H_2PO_4$	0.12
Ferric tratrate	0.005	Ferric tratrate	0.005

ตารางที่ 2 สูตรสาระละลายจุลธาตุอาหารพืช

Hass and Reed's A-Z Solution			
	g/l		g/l
H_3BO_3	0.6	KBr	0.03
$MnCL_2.4H_2O$	0.4	$Co(NO_3)_2.6H_2O$	0.05
$ZnSO_4$	0.05	LiCl	0.03
$CuSo_4.5H_2O$	0.05	TiO_2	0.03
$Al_2(SO_4)_3$	0.05	$SnCl_2.2H_2O$	0.03
Kl	0.03	$NiSO_4.6H_2O$	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับ pH ของสารละลายธาตุอาหารโดยทั่วไปแล้วเราจะปรับให้อยู่ในช่วง 5.5 - 6.5 และที่เหมาะสมที่สุดก็จะอยู่ใกล้เคียง 6.0 เนื่องจากว่าพืชส่วนใหญ่จะเจริญได้ดีในสภาพที่เป็นกรดอ่อน (ทัศนีย์และสรสิทธิ์, 2531) เมื่อรากพืชดูดธาตุที่มีประจุเข้าไปใช้ก็จะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ pH ของสารละลายธาตุอาหารเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ รากจะปลดปล่อย H^+ เมื่อมีการดูดธาตุอาหารประจุบวก ทำให้ pH ลดลงและจะปลดปล่อย OH^-, HCO_3^- เมื่อดูดธาตุอาหารพวกประจุลบทำให้ pH เพิ่มขึ้น (มนัส, 2525) ดังนั้นเพื่อเป็นการคงระดับ pH ให้คงที่อยู่เสมอ เราจะทำการเติม KOH ในกรณีที่ต้องการเพิ่มค่า pH ขึ้น (Anonymus, 1978) หรือเติม Phosphoric acid เพื่อลดค่า pH ลง (Cooper, 1976) แต่ถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไปก็จะทำให้เกิด Phosphoric สูงขึ้น ดังนั้นจึงได้นำเอา Nitric acid มาใช้ร่วมกับ Phosphoric acid ในอัตราส่วน 3:1 เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ (Anonymus, 1978)

อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารที่ได้ทำการศึกษาทดลองมา พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 22 องศาเซลเซียส รากจะมีสีขาวขนาดเล็ก และมีจำนวนรากขนน้อยมาก ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ผลผลิตที่ได้จะสูงมากกว่าที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส 70 % และที่ 14 องศาเซลเซียสถึง 100 % (Anonymus, 1978) จากการทดลองปลูกมะเขือเทศในสารละลายธาตุอาหารที่มีอุณหภูมิ 15-30 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะกระตุ้นการดูดใช้ธาตุอาหารและอัตราการเจริญเติบโตทางลำต้นและราก แต่กลับมีผลน้อยมากต่อผลผลิตรวม (Pack Chong Chong and Tadashi Ito, 1982)

ชนิดของน้ำที่ใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารที่เหมาะสมก็คือน้ำดื่ม เพราะว่าเป็นน้ำที่มีสารต่างๆ ละลายเจือปนอยู่น้อย แต่ถ้าเป็นงานทดลองเพื่อศึกษาพวกจุลธาตุอาหารพืชน้ำที่ใช้เพื่อละลายสารต่างก็ควรจะต้องบริสุทธิ์ ปราศจากสิ่งเจือปนใดๆ จึงควรใช้น้ำกลั่นแทน หรืออาจจะใช้น้ำธรรมดาที่ไหลผ่านสาร Ion exchange resine มาแล้ว ซึ่งสารนี้จะทำหน้าที่ดูดซับสารต่างๆ ที่มีประจุเอาไว้ ทำให้น้ำนั้นเป็นน้ำที่บริสุทธิ์ (มนัส, 2525)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุปลูกที่ใช้ในระบบการปลูกพืชไร้ดินมีอยู่หลายชนิด ซึ่งจะเป็นของแข็งโดยส่วนใหญ่ การเลือกใช้ชนิดของวัสดุปลูกขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการหามาใช้ ราคาแพงมากน้อยเท่าไร การถ่ายเทอากาศ การอุ้มน้ำ ความสามารถในการค้ำจุนต้นพืชได้ดีเพียงใด วัสดุปลูกไม่จำเป็นต้องมีธาตุอาหารพืชในตัวมันเอง ฉะนั้นการทดลองส่วนใหญ่จึงเน้นถึงการใช้วัสดุปลูกที่ดี หาง่าย และราคาถูก (ทัศนีย์และสรสิทธิ์, 2531)

การจำแนกชนิดของวัสดุปลูกซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ :-

1. วัสดุที่เป็นสารอนินทรีย์ แบ่งออกได้ 3 พวกคือ

1.1 พวกที่เป็นอนุภาค เช่น กรวด ทราย Vermiculite, Perlite

1.2 พวกที่เป็น Foam ซึ่งเป็นวัสดุสังเคราะห์เช่น PE, PF, UF culture

1.3 พวกที่เป็นเส้นใยเช่น Rockwool culture เป็นวัสดุที่มีรูพรุน คล้ายฟองน้ำ มีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย มีความหนาแน่นรวมต่ำ มีรูพรุนมาก อุ้มน้ำได้ดี และมีความสามารถในการถ่ายเทอากาศได้ดีอีกด้วย จึงเป็นวัสดุปลูกที่นิยมใช้กันมาก

2. วัสดุปลูกที่เป็นสารอินทรีย์ ที่นิยมใช้กันมากเป็นพวก Peatmoss, ขี้เลื่อย, ขี้เถ้าแกลบ

การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารเป็นวิธีที่เหมาะสมในการทดลองศึกษาความต้องการธาตุอาหารของพืชได้เป็นอย่างดี กล่าวคือ เราสามารถควบคุมปริมาณของธาตุต่างๆ ที่พืชต้องการได้ และยังสามารถควบคุมความเข้มข้นของธาตุที่ศึกษา ตลอดจน pH ของสารละลายได้ นอกจากนี้เมื่อเราต้องการเปลี่ยนสารละลายและล้างรากพืชก็สามารถทำได้ง่าย ข้อสำคัญคือสามารถลดการปนเปื้อนของธาตุที่ใช้ปริมาณน้อยได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกพืชในทราย (Hewitt, 1966) แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาธาตุพวกจุลธาตุอาหารเราก็อาจจะพบปัญหา การปนเปื้อนจากบางสิ่งบางอย่างได้ เช่น ฝุ่นละอองในอากาศ, ความไม่บริสุทธิ์ของสารเคมีที่ใช้, การสะสมของจุลธาตุอาหารบางชนิดในเมล็ดพืชนั้นอยู่แล้ว เช่นทองแดง, สังกะสี, โมลิบดีนัม ภาชนะที่ใช้ เช่น แก้วพวก borosilicate จะปลดปล่อยธาตุโบรอนออกมา พลาสติกพวก polyethylene ก็จะมีสารพวกสังกะสี ในกรณีของภาชนะที่ใช้นี้ที่เหมาะสมที่สุดได้แก่ Pyrex glass (มนัส, 2525)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

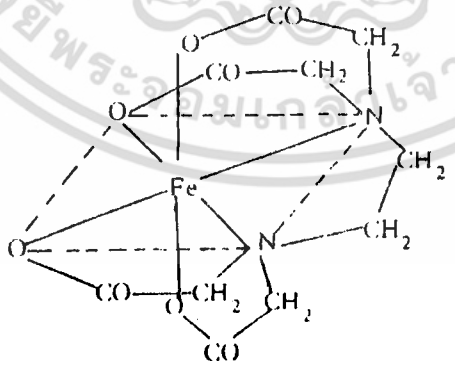
2. สมบัติบางประการของธาตุเหล็ก

ธาตุเหล็กเป็นธาตุพวกจุลธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวกและละลายได้ค่อนข้างยากในสารละลายธาตุอาหาร เมื่อใส่ลงไปในรูปของเกลืออนินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสารละลายที่มี pH สูงกว่า 5 เนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง ประจุบวกของธาตุเหล็กกับประจุลบของ hydroxy ions แล้วตกตะกอนออกมาในรูปของ hydrous metal oxide เป็นตะกอนสี redish - brown oxide (มนัส, 2525)

$$2Fe^{+3} + 6OH^{-} \longrightarrow 2Fe(OH)_3 \longrightarrow Fe_2O_3.3H_2O$$

(redish - brown oxide)

เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาการตกตะกอนของธาตุเหล็กนี้ จึงได้มีการนำเอาธาตุเหล็กในรูปของ Chelate มาใช้ ซึ่ง Chelate ก็คือสารอินทรีย์เคมีที่สามารถจะรวมและคุ้มกันไม่ให้มีการตกตะกอนของธาตุประจุบวกบางชนิด รวมทั้งจุลธาตุอาหารพืชสี่ชนิด คือ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ความเป็นประโยชน์ของ Chelate เกิดขึ้นจากความสามารถในการห้อมล้อมธาตุประจุบวกที่เป็นโลหะเข้าไว้จนไม่เปิดโอกาส ให้อนุมูลอื่นๆ เข้าไปเกาะกับโลหะธาตุที่เป็นประจุบวกนั้นได้ (รูปที่ 1) ทำให้การตกตะกอนเป็น hydrous metal oxide เกิดได้ยากขึ้น ธาตุเหล็กจึงเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น (ไพบูลย์, 2519)



ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างของ Fe-EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธาตุเหล็กในรูปของ Chelate เท่าที่ได้มีการศึกษาและสังเคราะห์ขึ้นมา พบว่ามีอยู่หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม เช่น Fe-EDDHA (iron - Ethylene diamine di-o- hydroxyphenylacetic acid) จะเหมาะกับสภาพที่เป็นด่าง

Fe-DTPA (iron - Diethylene diamine pentaacetic acid) จะเหมาะกับสภาพที่เป็นกลาง

Fe-EDTA (iron - Ethylene diamine tetraacetic acid) จะเหมาะกับสภาพที่เป็นกรด (ยงยุทธ, 2524 ; Follett et al., 1981)

3. บทบาทของธาตุเหล็กต่อพืช

ธาตุเหล็กเป็นธาตุแรกในบรรดาจุลธาตุอาหารพืชที่พบว่า มีความสำคัญและจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ธาตุเหล็กมีหน้าที่สำคัญหลายอย่างในขบวนการเมตาโบลิซึม กล่าวคือมีส่วนเกี่ยวข้องกับขบวนการสังเคราะห์ chlorophyll (Nason and McElroy, 1963), การสังเคราะห์โปรตีนในส่วนของ chloroplast (Gauch, 1957), เป็นองค์ประกอบของ cytochrome ซึ่งเป็นสารตัวกลางในการถ่ายทอดอิเลคตรอน ทั้งในขบวนการสังเคราะห์แสงและขบวนการหายใจ ใน mitochondria จะเป็นส่วนประกอบของสาร ferredoxin ซึ่งเป็นสารสำคัญในการเคลื่อนย้ายอิเลคตรอนของขบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้แล้วยังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิดเช่น catalase และ peridoxidase เป็นต้น และยังเป็น catalyst ของปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และรีดักชั่น ในพืชอีกด้วย (ไพบูลย์, 2519)

ปริมาณของ chlorophyll ในพืชจะมีความสัมพันธ์อยู่กับปริมาณของธาตุเหล็กที่พืชได้รับ กล่าวคือ เมื่อพืชได้รับธาตุเหล็กในปริมาณที่เพียงพอแล้ว ขบวนการสังเคราะห์ chlorophyll ของพืชก็จะเป็นไปตามปกติ (Chen and Barak, 1982) แต่ถ้าพืชได้รับธาตุเหล็กไม่เพียงพอใบของพืชก็จะหยุดสร้าง chlorophyll ทำให้เกิดอาการผิดปกติในใบพืชที่เรียกว่า chlorosis ซึ่งมีลักษณะคือ ใบพืชจะมีสีเหลืองซีดหรือขาวซีด และจะแสดงออกมาอย่างชัดเจนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณยอดอ่อน หรือใบอ่อน ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่าธาตุเหล็กเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนย้ายในพืช บริเวณยอดอ่อนหรือใบอ่อนจึงไม่สามารถดึงเอาธาตุเหล็กจากส่วนที่สะสมอยู่ในใบแก่ออกมาใช้ได้ (Tisdal and Helson, 1963) แต่อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจพบว่าในพืชที่เป็น chlorosis กลับมีธาตุเหล็กอยู่มากกว่าในพืชปกติก็ได้ (Iljin, 1952)

จากการทดลองใน Euglena grasilis พบว่า การขาดธาตุเหล็กจะมีผลกระทบโดยตรงต่อขบวนการเมตาโบลิซึมของ RNA ใน chloroplast กล่าวว่าคือ chloroplast RNA และchloroplast ribosome ของเซลที่ขาดธาตุเหล็ก จะมีอยู่เพียงครึ่งหนึ่งของเซลปกติเท่านั้น (Price et al., 1972)

ธาตุเหล็กที่มีอยู่มากเกินไปจะไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ ดังที่ได้มีรายงานจากบริเวณที่ดินมีเหล็กอยู่ในปริมาณสูง (Needham, 1973) ในบางครั้งการพ่นน้ำบาดาลที่มีเหล็กละลายอยู่มากจะทำให้ใบมะเขือเทศเป็นจุดเล็กๆสีน้ำตาล หรือเป็นจุดดำใหญ่ของเนื้อเยื่อที่ตาย แต่ก็ยังไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต บางทีอาจจะมีจุดสีน้ำตาลที่เห็นไม่ค่อยชัดติดอยู่บนผล (Needham, 1973)

อาการขาดธาตุเหล็กของพืชจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปบ้างตามชนิดของพืช แต่โดยส่วนใหญ่แล้วอาการผิดปกติจะแสดงออกที่ใบพืช กล่าวคือส่วนของใบนอกจากเส้นใบแล้ว จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองแล้วกลายเป็นสีขาวซีด ต่อมาจะเกิดเนื้อเยื่อตายตามบริเวณขอบใบลุกลามเข้ามาเรื่อยๆ จนในที่สุดใบพืชก็จะตาย (Cox et al., 1982) โดยเริ่มตายจากส่วนยอดลงมา พืชชะงักการเจริญเติบโต ส่วนใบล่างยังคงเขียวอยู่ (ไพบูลย์, 2519) สำหรับอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นกับรากของพืชนั้นโดยทั่วไปจะมีลักษณะแคระแกรน กล่าวคือรากพืชจะมีลักษณะสั้น อ้วน ปลายรากบวมพอง และมีสีน้ำตาล (Alloush and Sanders, 1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพริกยักษ์และพริกหยวก

พริกจัดอยู่ในตระกูลเดียวกับพืชพวกมะเขือ ยาสูบ คือ Solanaceae พริกยักษ์มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ Capsicum annuum L. ส่วนพริกหยวกคือ C. annuum var. grossum Sendt. ทั้งสองมีลักษณะเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก ทรงพุ่มสูงประมาณ 45-100 ซม. ลำต้นตั้งตรง แตกกิ่งก้านสาขามาก ส่วนใหญ่มีระบบรากเป็นแบบรากฝอย เนื่องมาจากระบบรากแก้วถูกทำลายในระหว่างการย้ายปลูก แต่อย่างไรก็ตาม รากฝอยก็สามารถแพร่กระจายลงได้ถึงระดับความลึก 1 เมตร มักจะปลูกเป็นพืชฤดูเดียว

ในระยะแรกของการเจริญเติบโตจะมีการแตกกิ่งข้าง 2 กิ่งบนข้อแต่ละข้อของลำต้น แต่ในระยะต่อมาการเจริญเติบโตบนแต่ละข้อจะมีเพียง 1 กิ่ง ส่วนอีกกิ่งหนึ่งจะไม่พัฒนา

ใบเป็นแบบใบเดี่ยว บาง รูปร่างแบบ Lanceolate หรือ Ovate ปลายใบแหลม ขนาดไม่แน่นอน อยู่ระหว่าง 0.5-7.5 x 1.5-12.0 ซม. ก้านใบยาว 0.5-2.5 ซม.

ดอกจะเกิดที่ยอดของกิ่ง ก้านดอกอาจชี้ขึ้นหรือโค้งลงก็ได้ ขนาดยาวประมาณ 1.5 ซม. กลีบเลี้ยงติดกันเป็นรูประฆัง ปลายแยกเป็น 5 แฉก ยาวประมาณ 2 ซม. และจะเจริญติดอยู่กับผลจนผลแก่ กลีบดอกมี 5-6 กลีบ แยกเป็นอิสระจากกัน สีขาว ยาว 5-11 มม. เกสรตัวผู้มี 5-6 อัน สีน้ำเงินหรือแดงม่วง

ผลเป็นแบบ indehiscent berry ภายในมีเมล็ดมากมาย รูปร่างของผลคล้ายรูปกรวย ขนาดของผลกว้าง 2.5-3.5 ซม. ยาว 7-10 ซม. สำหรับพริกหยวก และมีสีเขียวอมเหลือง ส่วนพริกยักษ์สีเขียวเข้ม ขนาดผลกว้าง 6-7 ซม. ยาว 6-10 ซม.

เมล็ดเป็นรูปไต แบน เส้นผ่าศูนย์กลาง 3-5 มม. มีสีเหลืองซีด

ความต้องการสภาพภูมิอากาศ พริกมีแนวโน้มว่าจะชอบอากาศที่เย็น แต่ไม่ทนสภาพอากาศเย็นจัดจนเป็นน้ำค้างแข็ง กล่าวคือช่วงอุณหภูมิประมาณ 24 องศาเซลเซียล จะเจริญเติบโตได้ดี และจะไม่เจริญเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงและความชื้นในอากาศต่ำจะทำให้ดอกร่วง การติดผลน้อยลง (Doswell et al., 1964) พริกสามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตเส้นศูนย์สูตรตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับความสูงมากกว่า 2,000 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี 600 - 1,250 มม. จะเจริญเติบโตได้ดีแม้ว่าจะไม่มีการให้น้ำ ถ้าฝนตกมากเกินไปการติดผลจะน้อย และมีปัญหาเกี่ยวกับผลเน่า พริกจะไม่ทนต่อสภาพดินขังน้ำแม้ในช่วงสั้นๆ ก็จะทำให้ใบร่วง จนถึงตายในที่สุด จึงต้องทำให้ดินมีการระบายน้ำที่ดี สภาพความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมคือ pH 6-6.5 (พิทยา, 2519)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. อ่างพลาสติกทรงลูง สีดำ ขนาด 25 ลิตร (เส้นผ่าศูนย์กลาง 40 ซม. สูง 20 ซม.)
2. แผ่นโฟม
3. ไม้อัด
4. ขวดน้ำสีชา ขนาด 2.5 ลิตร
5. ผ้าพลาสติกสีขาว
6. สายยางท่ออากาศ
7. ลูกกระจายอากาศ
8. ปั๊มลม
9. ปลั๊กไฟ
10. เชือกไนลอน
11. วัสดุปลูกใยหิน (Rockwool)
12. สารเคมีตามสูตรสารละลายธาตุอาหาร
13. น้ำกลั่น
14. ต้นกล้าพริกหยวก, พริกยักษ์
15. pH meter
16. Conductivity meter

2. วิธีการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ได้ศึกษาปฏิบัติการที่เรียนทดลอง และห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

การศึกษาทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลองคือ การทดลองที่ 1 ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเหล็ก Fe-EDTA ที่เตรียมขึ้นจาก $FeSO_4$ + EDTA ชนิดที่ใช้ในทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การค้า (KMITL) กับ Fe-EDTA ชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (Fluka) โดยนำมาทดลองปลูกกับพริกยักษ์ ที่ระดับความเข้มข้นของ Fe 0, 1.0, 2.0 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในสารละลายธาตุอาหารพืชตามสูตรของ Coic-Lesaint ในช่วงวันที่ 20 ธ.ค. 2533 - 22 ก.พ. 2534 การทดลองที่ 2 จะทำการศึกษาเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0 กรัมของ Fe ต่อลูกบาศก์เมตร โดยทดลองปลูกกับพริกหยวกในสารละลายธาตุอาหารพืชตามสูตรของ Coic-Lesaint เช่นกัน ในช่วงวันที่ 5 ส.ค. 2534 - 6 ต.ค. 2534

วิธีการปลูก จะทำการเพาะต้นกล้าในแท่งใยหิน (Rockwool) ทรงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว สูง 2 นิ้ว ในที่ๆมีความชื้นสูง และมีแสงเล็กน้อย จนกระทั่งต้นกล้ามีอายุได้ 10 วัน จึงทำการย้ายลงปลูกในเรือนทดลองปลูก โดยปลูกอยู่ในอ่างพลาสติกสีดำ ที่บรรจุสารละลายธาตุอาหารพืชจำนวน 20 ลิตร และยึดติดอยู่ที่ตรงกลางแผ่นโฟมปิดฝาอ่าง แล้วจึงหุ้มด้วยผ้าพลาสติกสีดำอีกชั้นเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ นำขวดน้ำเปล่ามาบรรจุสารละลายธาตุอาหารดังกล่าวแล้วให้เต็ม ควั่วขวดให้ปากขวดอยู่ที่ผิวของสารละลายในอ่าง โดยมีแผ่นไม้อัดช่วยพยุงขวดไว้ เพื่อใช้สำหรับรักษาระดับของสารละลายในอ่างให้คงที่ตลอดเวลา และใช้วัดปริมาณการใช้น้ำของพืชด้วย การให้อากาศแก่รากของพืชจะใช้ปั๊มลมที่ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง โดยผ่านลูกกระจายอากาศที่จุ่มอยู่ในสารละลายในอ่าง

การเตรียมสารละลายธาตุอาหาร จะใช้น้ำกลั่นในการเตรียม มีองค์ประกอบทางเคมีของสารละลายธาตุอาหารพืช ตามสูตรของ Coic-Lesaint ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 3 pH ของสารละลายเท่ากับ 5.8 ค่า Conductivity เท่ากับ 1.80 ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารนี้จะเตรียมไว้ในรูปสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ในอัตราส่วน 1:200 โดยแยกเก็บสารละลายออกเป็น 2 ถัง เพื่อป้องกันการตกตะกอนของสารเคมีที่ระดับความเข้มข้นสูงในถังที่ 1 จะบรรจุด้วยสารต่างๆ รวมทั้งจุลธาตุอาหาร ยกเว้นธาตุเหล็กและสารที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบซึ่งจะนำไปบรรจุในถังที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของสารละลาย "Coic - Lesaint" pH 5.8

อิออน	ความเข้มข้น (meq/l)	ธาตุ	ปริมาณธาตุหรือออกไซด์ (mg/l)
NO_3^-	12.2	N	170.8
NH_4^+	2.2	N	30.8
HPO_4^{2-}	2.2	P	34.1 (P_2O_5 78.1)
K^+	5.2	K	202.8 (K_2O 244.4)
Ca^{++}	6.2	Ca	124.0 (CaO 173.6)
Mg^{++}	1.5-3	Mg	18-36 (MgO 30-60)
$SO_4^=$	1.5	S	24.0

อัตราส่วนของ N : P_2O_5 : K_2O = 1 : 0.4 : 1.2

อัตราส่วนร้อยละของ K : Ca : Mg = 39.6 : 47.6 : 12.8

ปริมาณจุลธาตุอาหาร ในการเตรียม 10 ลบ.ม. ใช้ปริมาณดังนี้

Ammonium molybdate	$(NH_4)_2MoO_4$	(49% Mo)	0.5	gm
Boric acid	H_3BO_3	(17% B)	15	gm
Manganese Sulfate	$MnSO_4.4H_2O$	(24% Mn)	20	gm
Zinc sulfate	$ZnSO_4.7H_2O$	(22% Zn)	10	gm
Copper sulfate	$CuSO_4.5H_2O$	(25% Cu)	2.5	gm
Fe (EDTA หรือ ดีเลต ชนิดอื่น)			6-20	gm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

99825

การเตรียมสารละลาย Fe-EDTA ซึ่งเตรียมขึ้นมาจาก $FeSO_4$ + EDTA ชนิดที่ใช้ในทางการค้า โดยเริ่มจากละลาย $FeSO_4.7H_2O$ 24.9 กรัม ในกรด H_2SO_4 1 N จำนวน 4 มิลลิลิตร + น้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร อุ่นให้ร้อนประมาณ 70 องศาเซลเซียส ในขวดที่ 1 ส่วนในขวดที่ 2 จะละลาย EDTA 52.4 กรัม ใน NaOH 5 กรัม + น้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร อุ่นให้ร้อนประมาณ 70 องศาเซลเซียส เช่นกัน แล้วจึงนำสารละลายในขวดที่ 1 และ 2 มาผสมกัน เก็บไว้ในที่มืด และผ่นอากาศลงไปเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จึงนำมาปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่ได้ในขวดสีชา ซึ่งในสารละลาย Fe-EDTA ที่เตรียมขึ้นนี้จะมีธาตุเหล็กอยู่ 6 กรัม/ลิตร (ตังภาพที่ 2)

วิธีการให้สารละลายจะให้สารละลายธาตุอาหารอยู่นิ่งตลอดเวลาในอ่างพลาสติก อ่างละ 20 ลิตร และมีขวดน้ำสีชาบรรจุสารละลายธาตุอาหาร จำนวน 2.5 ลิตร คว่ำไว้ที่ผิวของสารละลายในอ่าง เพื่อทดแทนสารละลายธาตุอาหารในอ่างที่ถูกพืชใช้ไป และจะเติมสารละลายลงในขวดนี้เมื่อสารละลายในขวดถูกใช้จนหมดลง (ตังภาพที่ 3)

การวางแผนทดลองนี้ ทำแบบ CRD (Completely Randomized Design) โดยในการทดลองที่ 1 จะแบ่งออกเป็น 4 ตำรับการทดลอง 3 ซ้ำ คือ

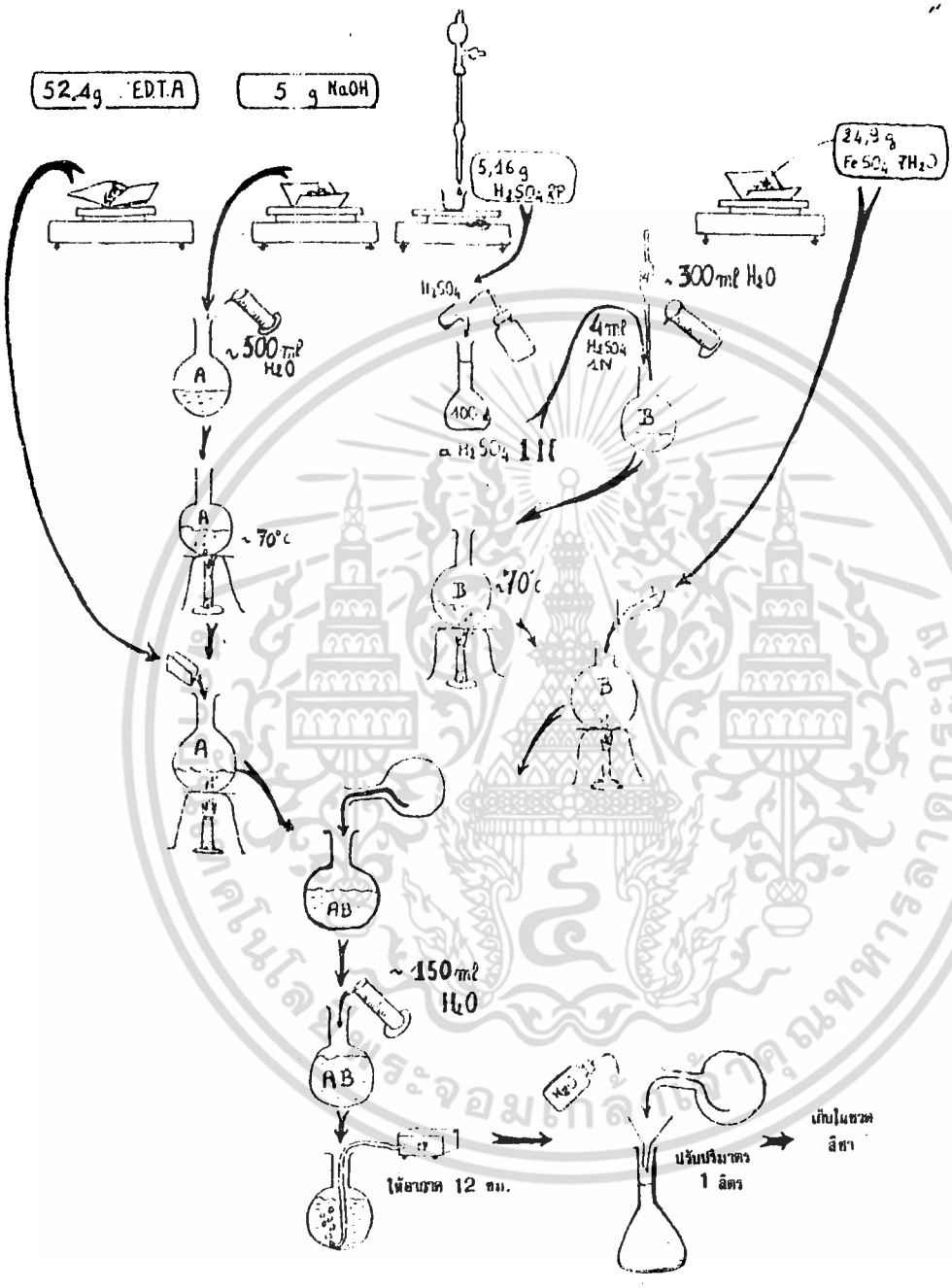
ตำรับทดลอง 1 ใช้เหล็กที่เตรียมขึ้นความเข้มข้น 1 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (KMITL 1)

ตำรับทดลอง 2 ใช้เหล็กชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (FLUKA 1)

ตำรับทดลอง 3 ใช้เหล็กที่เตรียมขึ้น ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (KMITL2)

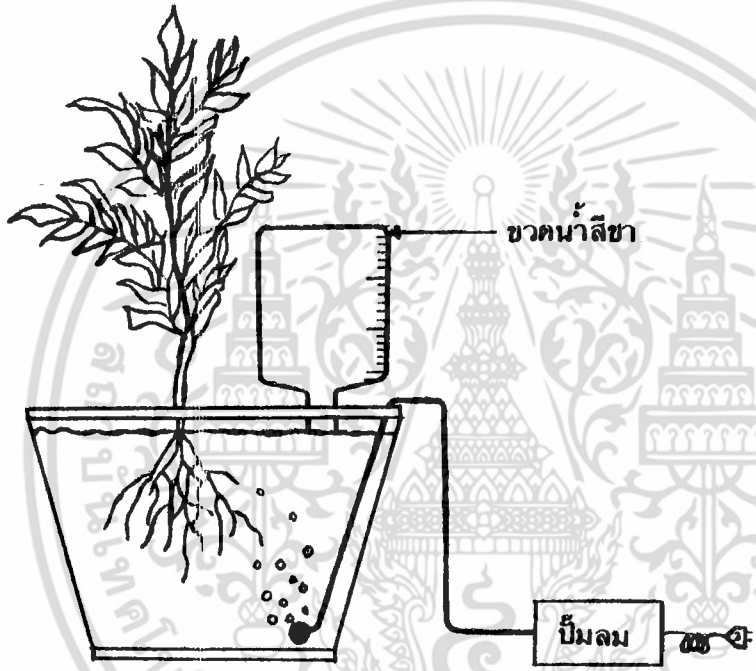
ตำรับทดลอง 4 ไม่ใส่ธาตุเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2 แสดงการเตรียม Fe-EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 แสดงการทดลองปลูกพืชในระบบ Hydroponic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในการทดลองที่ 2 จะแบ่งออกเป็น 5 ตำรับทดลอง 3 ซ้ำคือ

ตำรับทดลอง 1 ความเข้มข้นของเหล็ก 1 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (KMITL1)

ตำรับทดลอง 2 ความเข้มข้นของเหล็ก 0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (KMITL 0.5)

ตำรับทดลอง 3 ความเข้มข้นของเหล็ก 10 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (FLUKA 10)

ตำรับทดลอง 4 ความเข้มข้นของเหล็ก 5 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (FLUKA 5)

ตำรับทดลอง 5 ไม่ใส่ธาตุเหล็ก

การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย จะใช้แบบ LSD (Least Significant Difference)

การเก็บข้อมูล จะเก็บหลังทำการปลูกโดยการชั่งน้ำหนักสด, น้ำหนักแห้ง ของส่วนของพืชเหนือดินกับส่วนของราก ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โปแตสเซียม และเหล็ก ของส่วนของพืชเหนือดินกับส่วนของราก โดยทำการย่อยสลายชิ้นส่วนของพืชด้วย $H_2SO_4 + H_2O_2 + LiSO_4 + Se$ ซึ่งการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุไนโตรเจน จะใช้วิธี Kjldahl, ฟอสฟอรัส ใช้วิธี Vanadomolylidate, โปแตสเซียม และเหล็กใช้วิธี Atomic absorption

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลการทดลอง

ในการทดลองที่ 1 ทำการศึกษา การเปรียบเทียบชนิดของ Fe-EDTA ทั้งสองชนิด โดยการปลูกต้นพริกยักษ์ จะพบว่า

น้ำหนักสดของส่วนของพืชเหนือดิน เมื่อได้ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละตำรับทดลองจะพบว่า ในตำรับทดลองที่มีการใส่ธาตุเหล็กทุกตำรับทดลองมีความแตกต่างจากตำรับที่ไม่ใส่ธาตุเหล็ก ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และตำรับทดลองที่ 1 (KMITL1) จะให้ค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4 (ภาคผนวก)

น้ำหนักแห้งของส่วนของพืชเหนือดิน จะให้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% และความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตำรับทดลองที่ไม่ใส่ธาตุเหล็กกับตำรับทดลองที่ 2 (FLUKA 1) จะแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับตำรับทดลองที่ 1 และ 3 (KMITL 1 และ 2) จะแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยที่ตำรับทดลองที่ 1 (KMITL 1) จะให้ค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5 (ภาคผนวก)

ส่วนของรากทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง จะให้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่เหมือนกัน คือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตำรับทดลองที่ไม่ใส่ธาตุเหล็กกับตำรับทดลองทุกตำรับที่ใส่ธาตุเหล็ก จะแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยที่ตำรับทดลองที่ 3 (KMITL 2) จะให้ค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 6,7 (ภาคผนวก)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร N, P, K และ Fe แสดงอยู่ในภาพที่ 6-13 (ภาคผนวก) ซึ่งทั้งหมดจะให้ผลในลักษณะเดียวกันคือ ตำรับทดลองที่ไม่ใส่ธาตุเหล็กพืชจะมีการดูดใช้ธาตุต่างเหล่านี้ในปริมาณที่น้อยกว่าตำรับทดลองที่ใส่ธาตุเหล็ก ทั้งส่วนของพืชเหนือดินและส่วนของราก และถ้าเปรียบเทียบเป็นร้อยละของปริมาณธาตุเหล่านี้ก็จะให้ผลในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตำรับการทดลองที่ใส่ธาตุเหล็กทั้งสามตำรับ จะแสดงผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกัน

ส่วนในการทดลองที่ 2 ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของธาตุเหล็กในสารละลายธาตุอาหาร โดยการปลูกต้นพริกหยวก พบว่าในการวิเคราะห์ผลทางสถิติของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งทั้งส่วนของพืชเหนือดินและส่วนของราก จะแสดงผลในลักษณะเดียวกัน คือ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 8-11 (ภาคผนวก)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร N, P, K และ Fe ในพืช แสดงอยู่ในภาพที่ 16-23 (ภาคผนวก) ในส่วนของธาตุ N, P และ K จะมีอยู่ในพืชในลักษณะเดียวกันคือ แต่ละตำรับทดลอง แสดงค่าการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกันทั้งส่วนของพืชเหนือดินและส่วนของราก

สำหรับส่วนของธาตุ Fe เมื่อวิเคราะห์ผลออกมาเป็นร้อยละของปริมาณธาตุนี้ ในส่วนของรากจะแสดงผลออกมาเรียงตามลำดับของความเข้มข้นของธาตุเหล็กที่ใช้คือ ตำรับทดลองที่ 3 (FLUKA 10) สูงสุด คือ 0.0463% รองลงมาตำรับทดลองที่ 4 (FLUKA 5), 1(KMITL 1), 2 (KMITL 0.5) คือ 0.0379%, 0.0188%, 0.0164% ตามลำดับ ส่วนตำรับทดลองที่ 5 ซึ่งไม่ใส่ธาตุเหล็ก จะแสดงผลน้อยที่สุดคือ 0.0156% สำหรับในส่วนของพืชเหนือดิน ตำรับทดลองที่ 5 ยังคงแสดงค่าออกมาน้อยที่สุด แต่ตำรับทดลองอื่นๆ ที่ใส่ธาตุเหล็กจะแสดงค่าออกมาใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ 1 พริกยักษ์ จะแสดงการตอบสนองต่อ Fe-EDTA ทั้งสองชนิด ในระดับที่ใกล้เคียงกัน โดยที่ Fe-EDTA ที่เตรียมขึ้นมาจาก $FeSO_4$ + EDTA (KMITL 1 และ 2) มีแนวโน้มว่าให้การตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของพริกยักษ์ได้ดีกว่า Fe-EDTA ชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

การเจริญเติบโตของรากพริกยักษ์มีแนวโน้มว่าดีขึ้นเมื่อความเข้มข้นของธาตุเหล็กเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันตำรับทดลองที่ไม่ใส่ธาตุเหล็ก พบว่า รากของพริกยักษ์เกือบจะไม่เจริญเติบโตออกมาเลย ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแท่งสั้นและอ้วน ปลายรากบวมพอง มีสีน้ำตาล ดังภาพที่ 28 ส่วนการเจริญเติบโตของส่วนที่อยู่เหนือดินจะเจริญไม่ต็มที่ ใบมีอาการ chlorosis ระหว่างเส้นใบ โดยเฉพาะที่ใบยอดซึ่งเป็นอาการของพืชที่ขาดธาตุเหล็ก แต่จากการวิเคราะห์พืชพบว่า พืชยังมีการดูดใช้ธาตุเหล็กได้อยู่ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการปนเปื้อนของธาตุเหล็กจากสารเคมีต่างๆ ที่ใช้เตรียมสารละลาย, ฝุ่นละอองปะปน ในขณะที่ทำการเปลี่ยน - เติมสารละลาย, วัสดุปลูก ซึ่งมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย และการสะสมอยู่ในเมล็ดพันธุ์พริกยักษ์ซึ่งมีอยู่ตามปกติแล้ว

สำหรับในการทดลองที่ 2 จะแสดงให้เห็นว่า พริกหยวกมีการเจริญเติบโตที่ตอบสนองต่อความเข้มข้นต่างๆ ของธาตุเหล็กในสารละลายธาตุอาหารได้ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งเป็นการแสดงว่า พริกหยวกสามารถตอบสนองต่อช่วงระดับความเข้มข้นของธาตุเหล็กนี้ได้ดี

สำหรับตำรับการทดลองที่ไม่ใส่ธาตุเหล็กนั้น จะพบว่า พริกหยวกยังสามารถเจริญเติบโตได้ดี ทั้งส่วนของพืชเหนือดินและส่วนของราก จากการวิเคราะห์พืชเพื่อหาปริมาณธาตุเหล็กก็จะพบว่า มีอยู่ในอัตราร้อยละที่ต่ำกว่าตำรับทดลองอื่นๆ ทั้งยังต่ำกว่า พริกยักษ์ในการทดลองที่ 1 อีกด้วย ซึ่งผลอันนี้อาจแสดงได้ว่าพริกหยวกสามารถทนต่อสภาวะที่ขาดธาตุเหล็ก หรือมีปริมาณธาตุเหล็กอยู่น้อยนิดได้ดี แต่อย่างไรก็ตาม เรายังพบว่า พริกหยวกแสดงอาการขาดธาตุเหล็กอยู่ โดยเฉพาะที่ใบอ่อน จะแสดงอาการ chlorosis ระหว่างเส้นใบ (ดังภาพที่ 32) ส่วนรากนั้นยังสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติเฉพาะแต่รากแขนง, รากแก้ว เท่านั้น รากขนอ่อนจะเจริญได้น้อยมาก ซึ่งเราจะพบลักษณะของรากที่สั้นและอ้วน มีสีน้ำตาล แตกแขนงออกมาจากรากแขนงอีกที (ดังภาพที่ 30) ทั้งหมดนี้เราอาจกล่าวได้ว่า พริกหยวกสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีธาตุเหล็กอยู่น้อยมาก แต่ก็ยังเจริญเติบโตไม่สมบูรณ์ตามปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พริกหยวกจะแสดงผลการตอบสนองต่อระดับความเข้มข้นของธาตุเหล็กที่ต่างกันได้ชัดเจนที่สุด ในส่วนของผลการวิเคราะห์รากหาปริมาณธาตุเหล็ก โดยที่รากจะบรรจุธาตุเหล็กได้มากน้อยแตกต่างกันตามระดับความเข้มข้นของธาตุเหล็กในสารละลายธาตุอาหาร ในลักษณะของการแปรผันตามกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองนี้จำเป็นต้องควบคุมการปนเปื้อนของจุลธาตุอาหารที่ทดสอบอย่างเข้มงวด และระมัดระวังทั้งในด้านสารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

2. การเลือกชนิดของพืชควรจะให้การตอบสนองที่ใกล้เคียงกัน หรือให้ดีที่สุดควรจะเป็นพืชชนิดเดียวกัน

3. อุณหภูมิในโรงเรือน ควรอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อความต้องการของพืชชนิดนั้น ซึ่งการทดลองในครั้งนี้ไม่สามารถควบคุมได้ตามที่ควรจะเป็น ทำให้ดอกของพริกร่วงหล่นลงเกือบหมด

4. การควบคุมโรคและแมลง ควรจะมีการเตรียมพร้อมไว้ก่อนการทดลอง

5. การตรวจสอบระบบการให้อากาศแก่รากพืชจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดูแลทุกวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

เอกสารวิชาการ เล่มที่ 3. 2523. รายชื่อพืชทั่วไป. ลาขามาตรฐานพันธุ์พืช กองพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์. จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข, สุรเดช อินตกานนท์. 2532. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และสรสิทธิ์ วัชโรทยาน. 2531. อนาคตการปลูกพืชไร้ดิน. วารสารดินและปุ๋ย. 10 (1) ; 59-66.

พรชัย จุฑามาศ และวิบูลย์ บุณยงศรี. 2531. การปลูกพืชปราศจากดิน. วารสารดินและปุ๋ย 10 (2);92-96.

มนตรี ต้ำชู. 2531. อนาคตการปลูกพืชไร้ดิน. เอกสารประกอบการสัมนาทางวิชาการดินและปุ๋ย ครั้งที่ 6 วันที่ 20 พฤษภาคม 2531 ณ ห้องประชุมชั้น 2 ตึกดาวเทียม สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กรุงเทพฯ.

มนัส สุจวิพันธ์. 2525. ธาตุอาหารของพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2524. เอกสารสอนวิชาปุ๋ย. ภาควิชาปฐพีวิยาม คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิทยา สรวมศิริ. 2529. พืชเศรษฐกิจ. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม. 2519. จุลธาตุอาหาร. ปฐพีวิยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: 431-439.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. วิธีการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า ปีที่ 8 ฉบับที่ 1.

ถวัลย์ พัฒนเสถียรพงศ์. 2534. ปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. พรานนกการพิมพ์. กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Alloush, G.A. and F.E. Sanders. 1990. Responses of chickpea (Cicer arietinum) to iron stress measured using a computer - controlled continuous - flow hydroponic system. Plant nutrition physiology and applications. 41 : 197-206.

Anonymus. 1979. Comercial Application of NFT. Grower books, London. 98p.

Benoit, F. and N. Ceustermans. 1985. Basic Principles of Nutrient Film Technique (NFT) for Grasshouse Vegetable. 13p.

Chen, Y. and P. Barak. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soil. Ad V. Agron. 35 : 217-241 p.

Cooper, A. 1982. Nutrient Film Technique. Grower books, London. 93p.

Cose, F.R., F.Adams and B.B. Tucker. 1982. Liming fertilization and mineral nutrition. In H.E. Pattee (ed.) Peanut Science and Technology Texas : American Peanut Research and Education Society, Inc.

Follett, R.H., L.S. Murphy and R.L. Donahue. 1981. Fertilizer and Soil Amendment. New Jersey. Prentice - Hall, Inc.

Gauch, H.G. 1957. Mineral nutrition of plants. Ann. Rev. Plant physiol. 8:31.

Herwitt, E.J. 1966. Sand and Water culture methods uses in the study of plant nutrient. Common-wealth Bureau Hort. and plantation Crop Tech. Communication No.22 (Reviswd) Common - wealth Agric. Bureau, East Malling, Kent. U.K.

Iljin, W.S. 1952. Metabolism of plants affected with limeiduced chlorosis (calciose) III Mineral elements. Plant Soil. 4:11

Nason, A. and W.D. McElroy. 1963. Modes of action of the essential mineral elements. In F.C. Steward, ed., Plant physiology New York : Academic Press.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Needham, P. 1973. Nutritional Disorders, The U.K. Tomato Manual. Grower Books London. 214-215 p.

Pak Chong Chong and Tadashi Ito. 1982. Growth Fruit Yield and Nutrient Absorption of Tomato Plant as Influenced by Solution Temperation in NFT. J. Japan.Sci. 51(1).

Price, C.A., H.E. Clark and E.A. Funkhauser. 1972. Functions of micronutrients in plant In : Micronutrients in Agriculture. Mortvedt et al (eds). SSSA, Madison Wisconsin, USA.

Schwarz, M. 1968. Guide to commercial hydroponic Israel University.

Tesdale, S.L. and W.L. Helson. 1963. Soil Fertility and Fertilizer. New York.

Zuang, H. and M. Musard. 1984. Cultures legumieres sur substrats. Ctiff, Paris.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักสดส่วนของพืชเหนือดิน ในการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด

ANOVA

SOV	df	SS	MS	F-ratio
Treatment	3	217200.909	72400.303	7.059*
Error	8	82048.093	10256.012	
Total	11	299249.003		

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

CV. = 20.85%

LSD 0.05 = 190.679

ตำรับทดลอง	ค่าเฉลี่ย	การจัดกลุ่มคล้ายกัน
No-Fe	282.700	*
FLUKA 1	449.233	**
KMITL 2	579.600	*
KMITL 1	630.767	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักแห้งส่วนของพืชเหนือดิน ในการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA ลองชนิด

ANOVA

SOV	df	SS	MS	F-ratio
Treatment	3	2691.363	897.121	8.626**
Error	8	832.007	104.001	
Total	11	3523.369		

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

CV. = 20.28%

LSD 0.05 = 19.201

0.01 = 27.936

ตำรับทดลอง	ค่าเฉลี่ย	การจัดกลุ่มคล้ายกัน
No-Fe	27.633	*
FLUKA 1	46.267	**
KMITL 2	61.233	**
KMITL 1	66.033	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักสดส่วนของราก ในการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด

ANOVA

SOV	df	SS	MS	F-ratio
Treatment	3	25774.963	8571.654	7.492*
Error	8	9174.547	1156.818	
Total	11	34949.510		

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

CV. = 26.75%

LSD 0.05 = 63.762

ตำรับทดลอง	ค่าเฉลี่ย	การจัดกลุ่มคล้ายกัน
No-Fe	52.533	*
FLUKA 1	122.167	*
KMITL 2	162.533	*
KMITL 1	168.967	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักแห้งส่วนของราก ในการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด

ANOVA

SOV	df	SS	MS	F-ratio
Treatment	3	43.289	14.430	5.914*
Error	8	19.620	2.440	
Total	11	62.509		

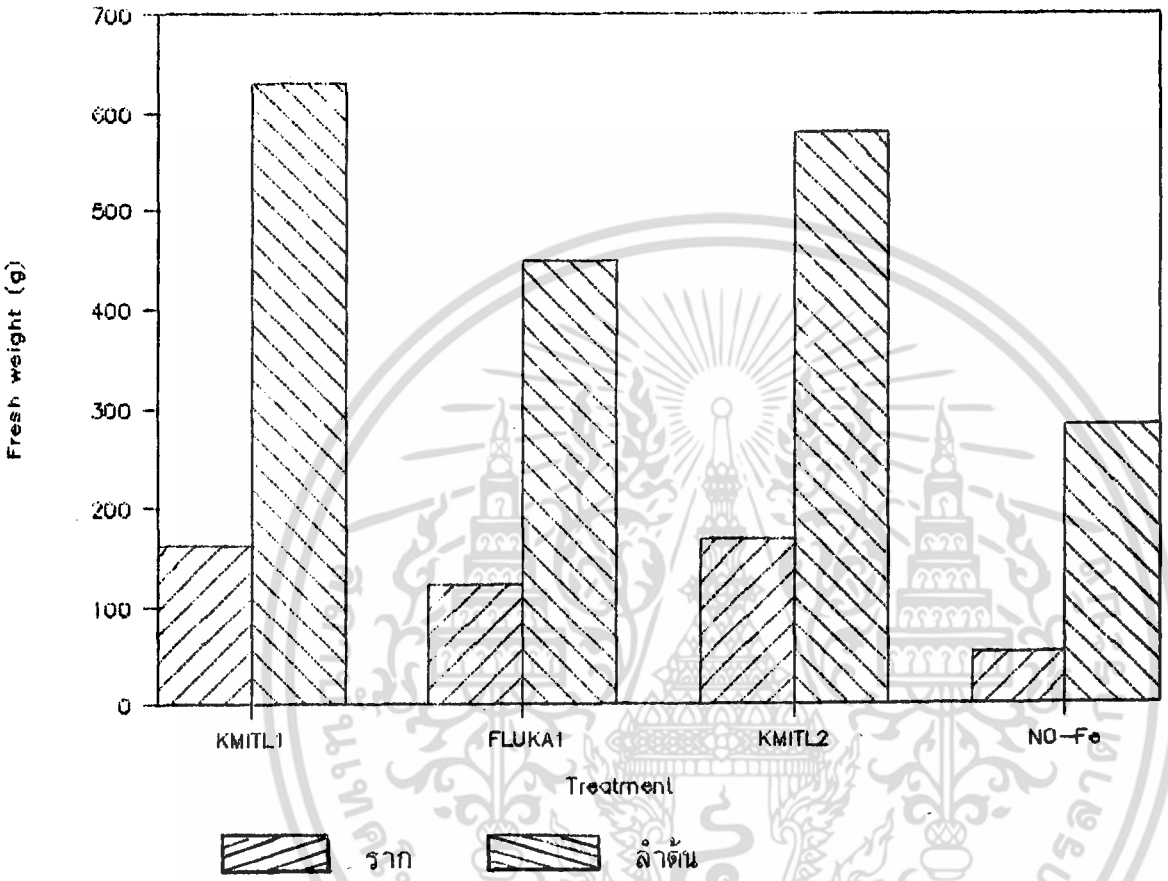
* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

CV. = 9.25%

LSD 0.05 = 2.941

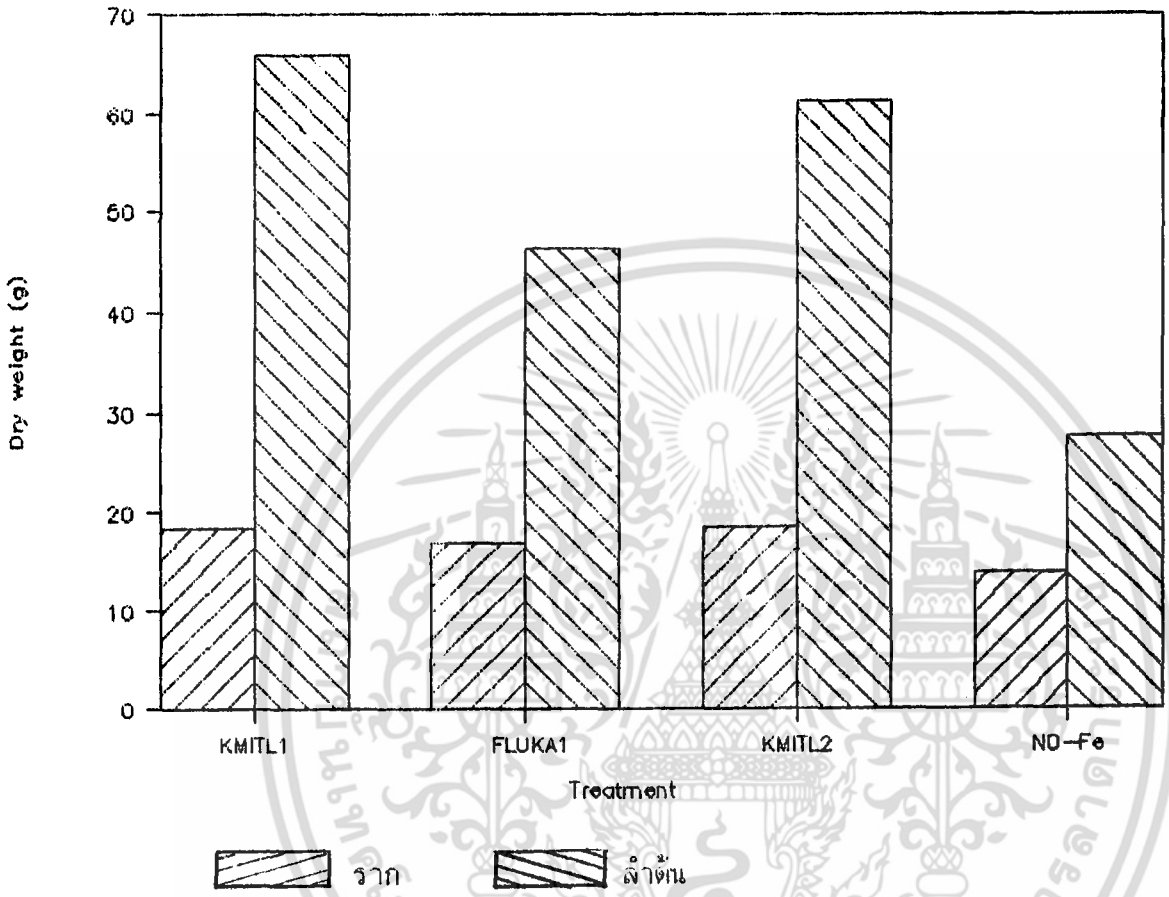
ตำรับทดลอง	ค่าเฉลี่ย	การจัดกลุ่มคล้ายกัน
No-Fe	13.800	*
FLUKA 1	16.867	*
KMITL 2	18.367	*
KMITL 1	18.633	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



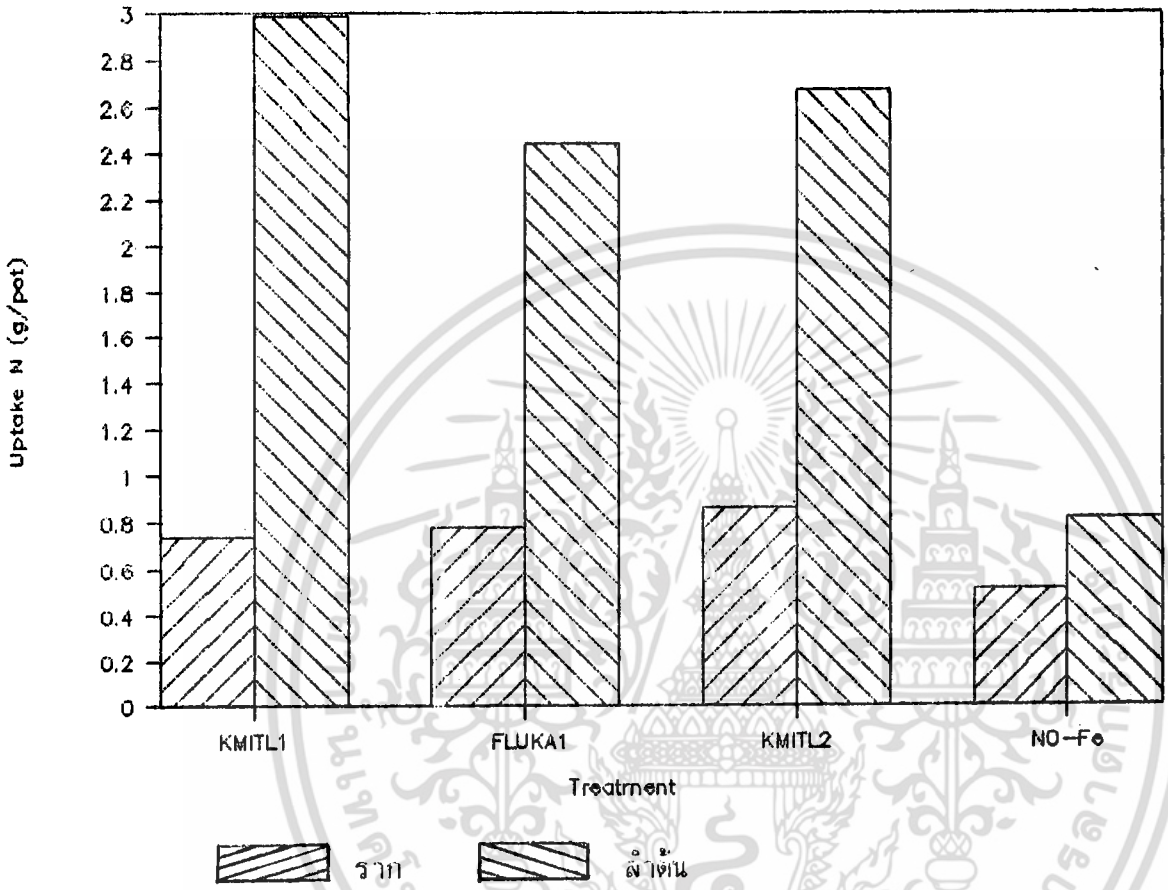
ภาพที่ 4 แสดงน้ำหนักสดของพืชในการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



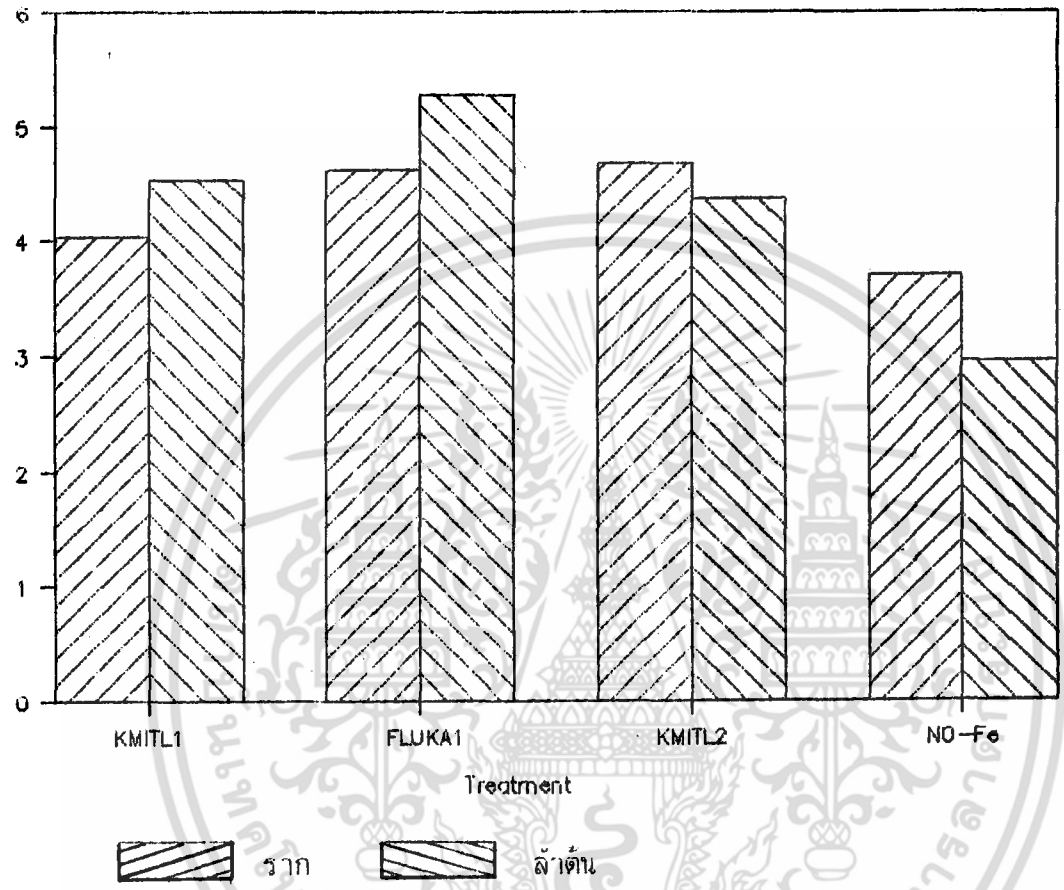
ภาพที่ 5 แสดงน้ำหนักแห้งของพืชในการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



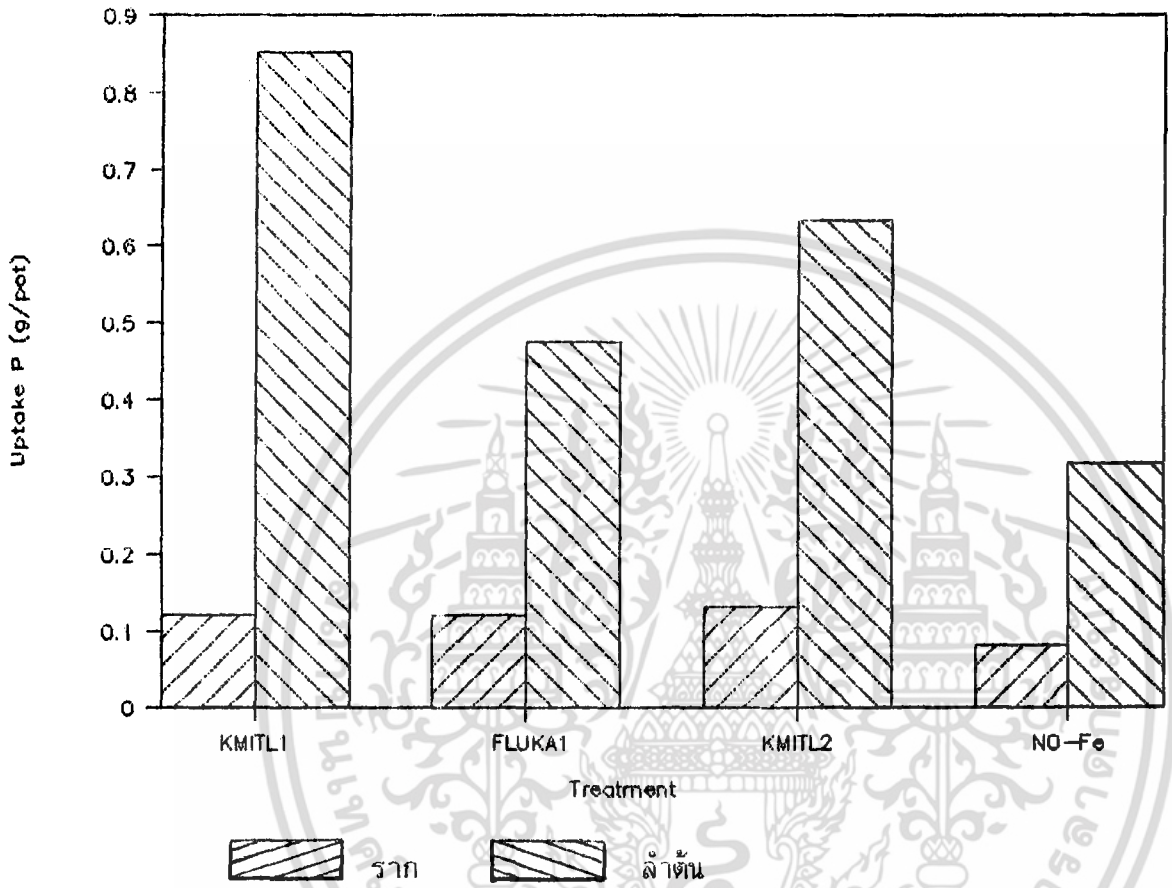
ภาพที่ 6 แสดงการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนในพืชของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



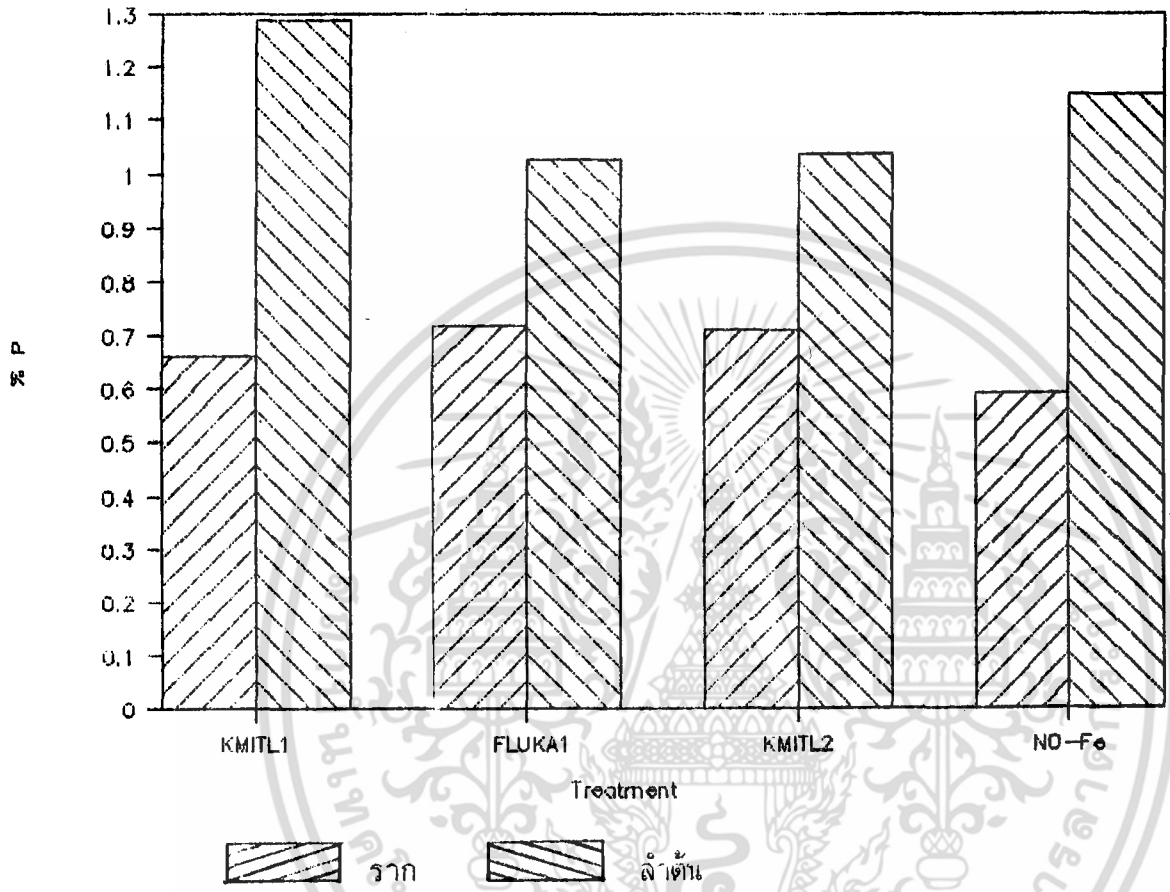
ภาพที่ 7 แสดงร้อยละของธาตุไนโตรเจนในพืชของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



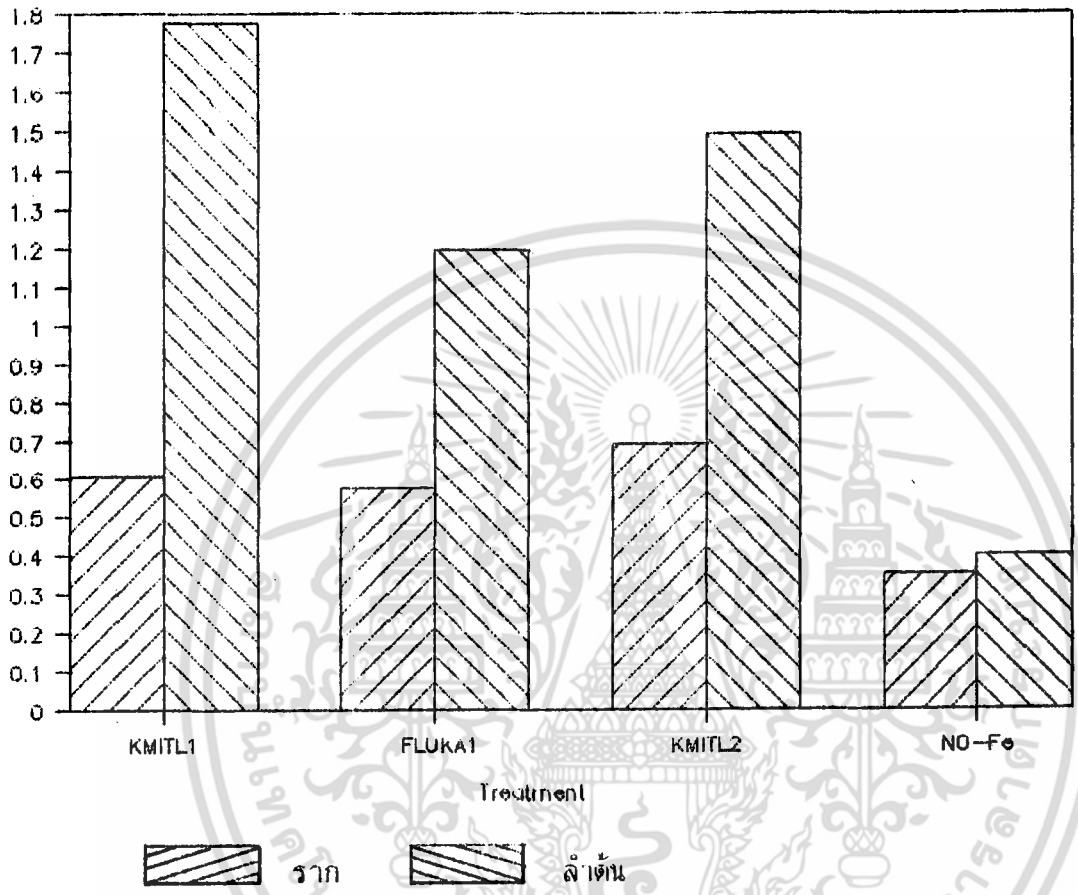
ภาพที่ 8 แสดงการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสในพืชของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



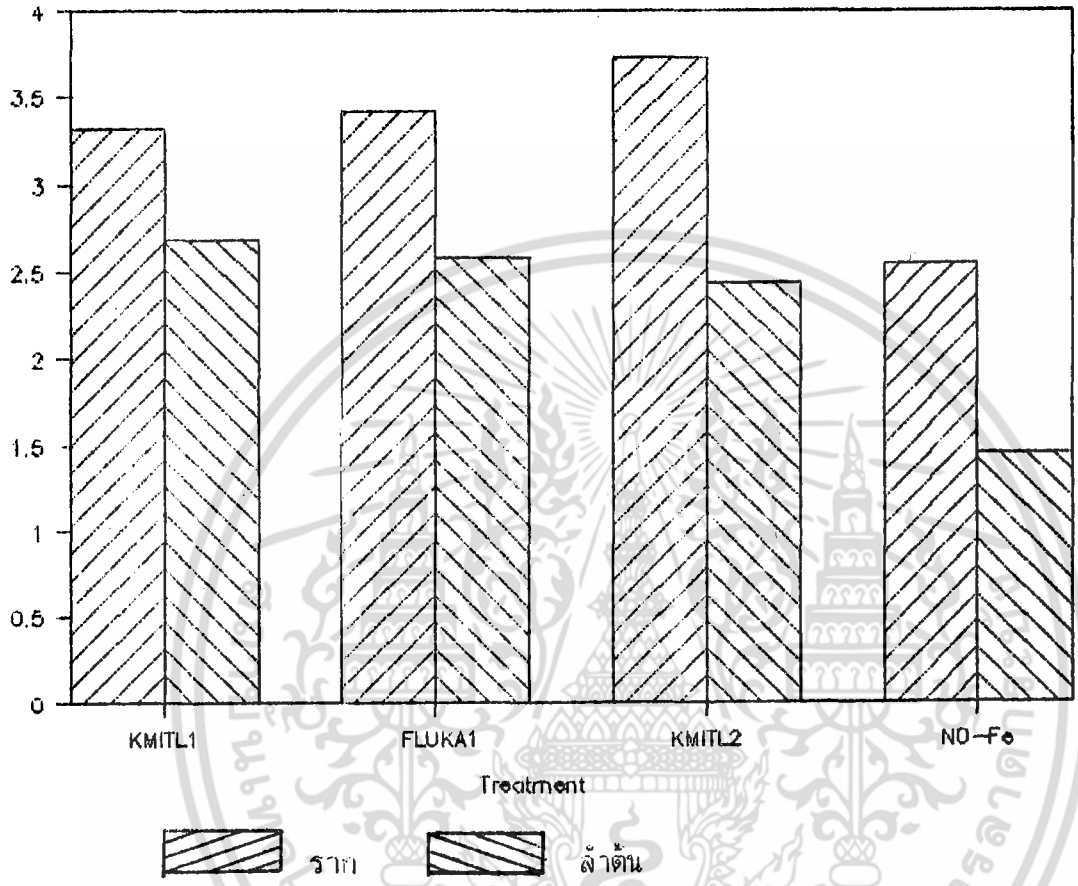
ภาพที่ 9 แสดงร้อยละของธาตุฟอสฟอรัสในพืชของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



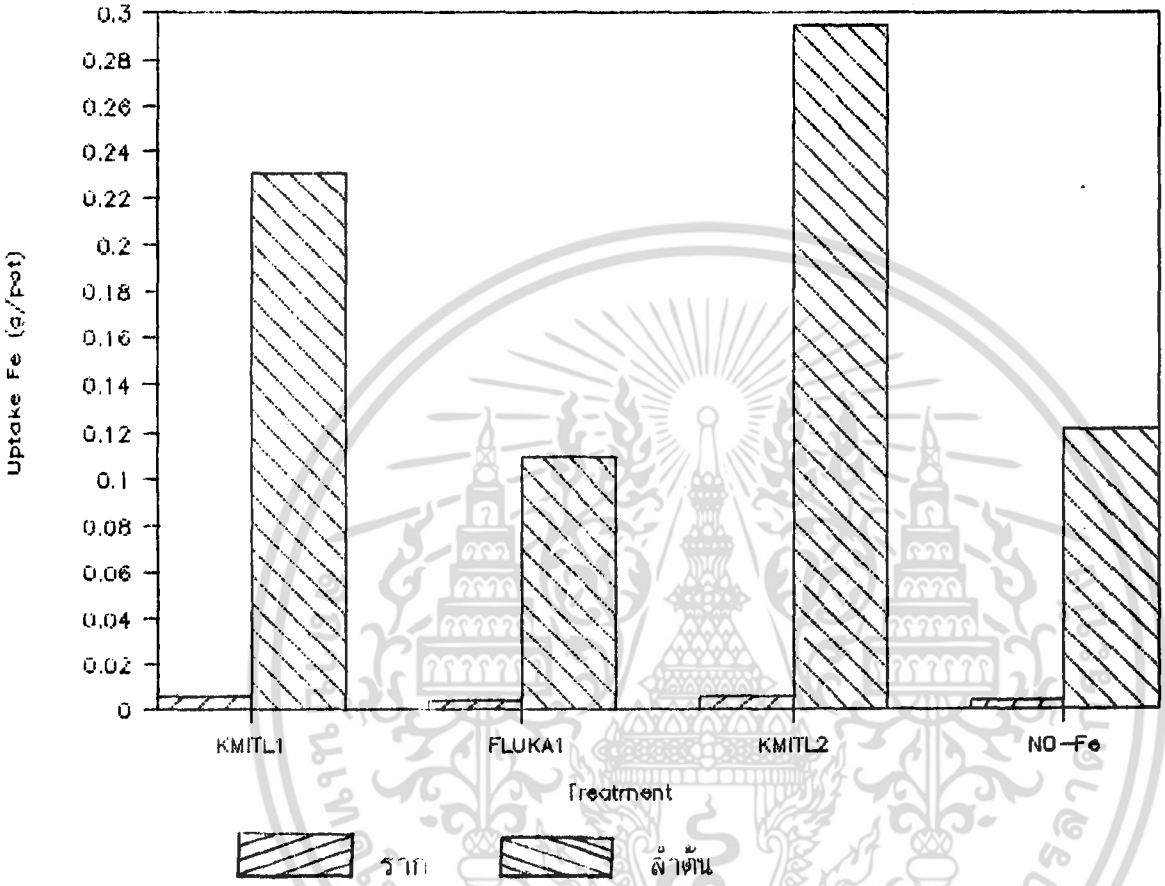
ภาพที่ 10 แสดงการดูดใช้ธาตุโปแตสเซียมในพืชของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 11 แสดงร้อยละของธาตุโปแตสเซียมในพืชของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 12 แสดงการดูดใช้ธาตุเหล็กในพืชของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 13 แสดงร้อยละของธาตุเหล็กในพืชของการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักสด ส่วนของพืชเหนือดิน ในการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA

ANOVA

SOV	df	SS	MS	F-ratio
Treatment	4	54895.067	13723.767	0.358^{ns}
Error	10	383716.667	38371.667	
Total	14	438611.733		

ns = ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

CV. = 40.01%

ตำรับทดลอง	ค่าเฉลี่ย
KMITL 1	566.667
KMITL 0.5	459.000
KMITL 10	435.333
FLUKA 5	558.333
No-Fe	428.333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักแห้งส่วนของพืชเหนือดิน ในการทดลองเปรียบเทียบ ระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA

ANOVA

SOV	df	SS	MS	F-ratio
Treatment	4	903.333	225.833	0.395^{ns}
Error	10	5722.500	572.250	
Total	14	6625.833		

ns = ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

CV. = 37.87%

ตำรับทดลอง	ค่าเฉลี่ย
KMITL 1	73.333
KMITL 0.5	61.500
KMITL 10	54.667
FLUKA 5	71.000
No-Fe	55.333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักสดส่วนของราก ในการทดลองเปรียบเทียบ ระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA

ANOVA

SOV	df	SS	MS	F-ratio
Treatment	4	6462.263	1615.566	1.726^{ns}
Error	10	9378.667	937.867	
Total	14	15840.933		

ns = ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

CV. = 17.63%

ตำรับทดลอง	ค่าเฉลี่ย
KMITL 1	188.333
KMITL 0.5	188.667
KMITL 10	139.333
FLUKA 5	192.333
No-Fe	160.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของน้ำหนักแห้งส่วนของราก ในการทดลองเปรียบเทียบ ระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA

ANOVA

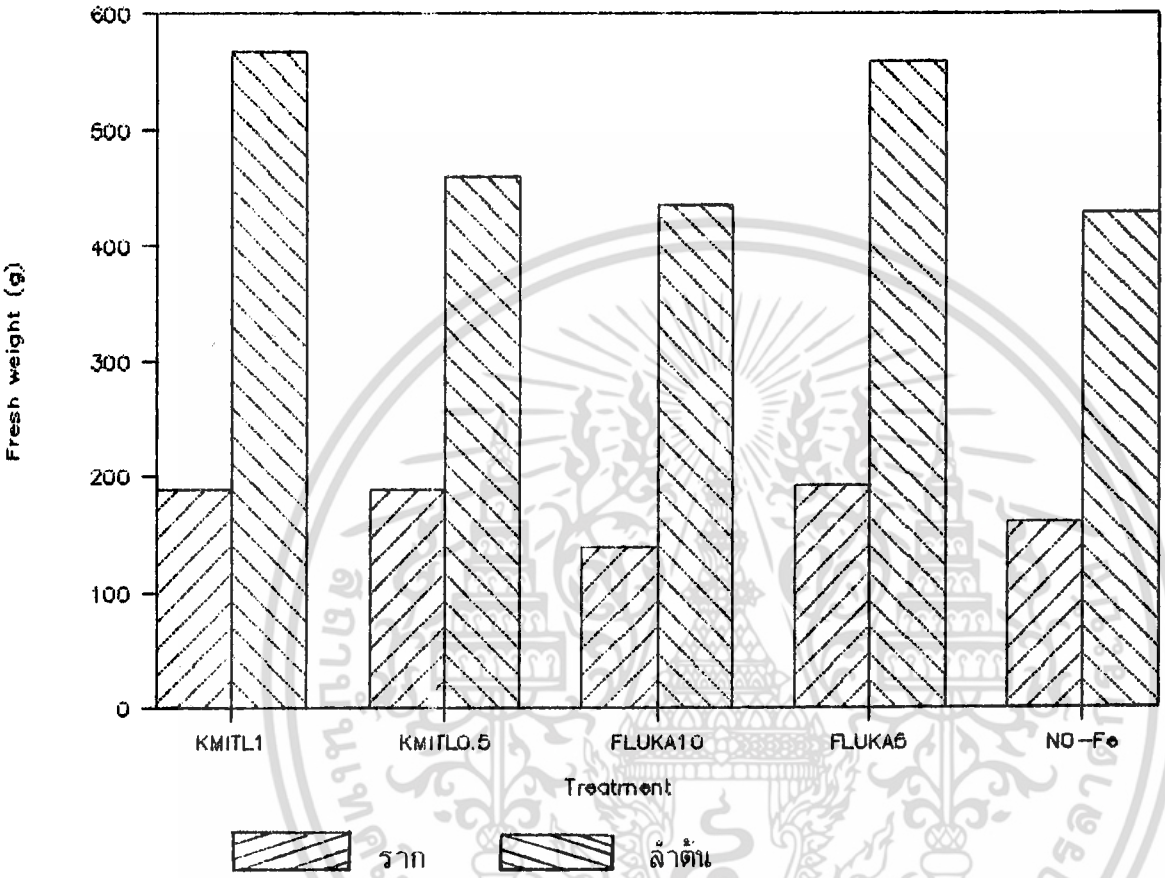
SOV	df	SS	MS	F-ratio
Treatment	4	49.567	12.392	1.690^{ns}
Error	10	73.333	7.333	
Total	14	122.900		

ns = ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ

CV. = 15.75%

ตำรับทดลอง	ค่าเฉลี่ย
KMITL 1	17.000
KMITL 0.5	18.500
KMITL 10	13.800
FLUKA 5	19.000
No-Fe	17.667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

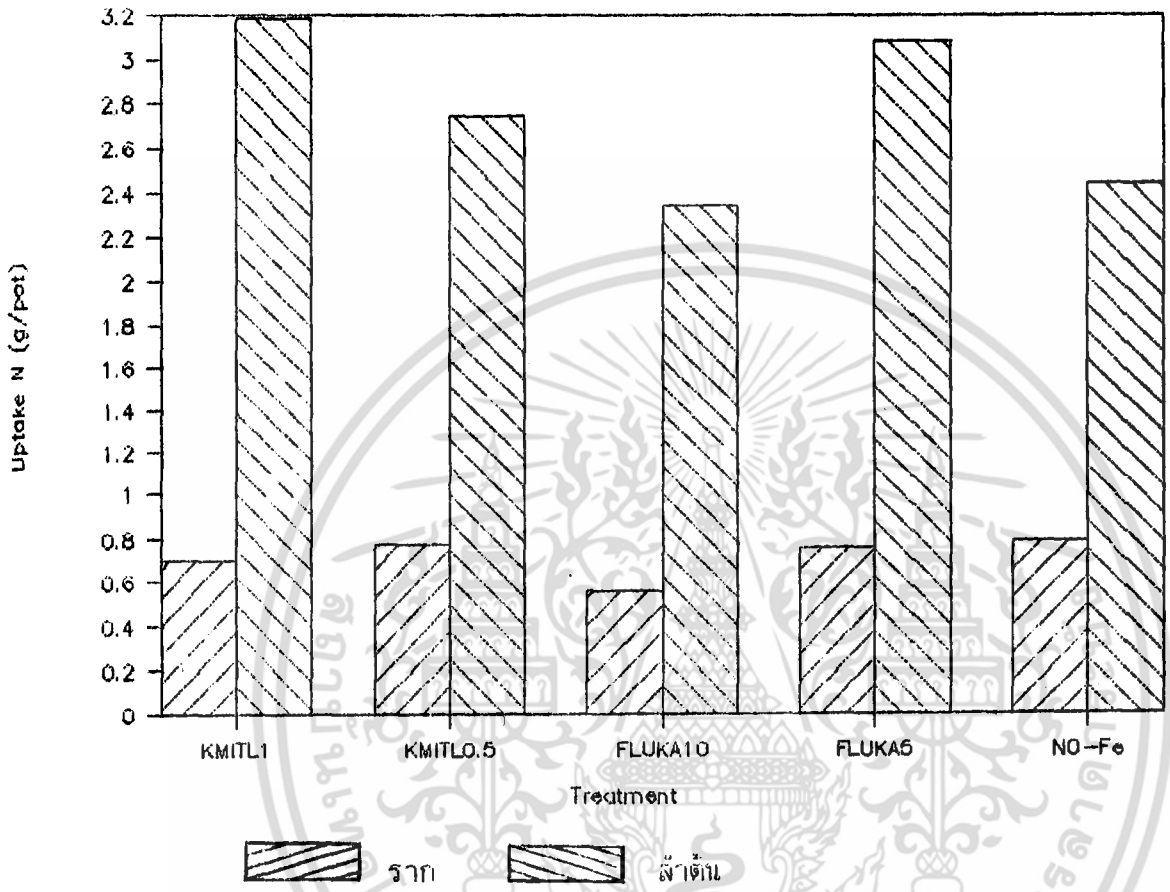


ภาพที่ 14 แสดงน้ำหนักสดของพืช ของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

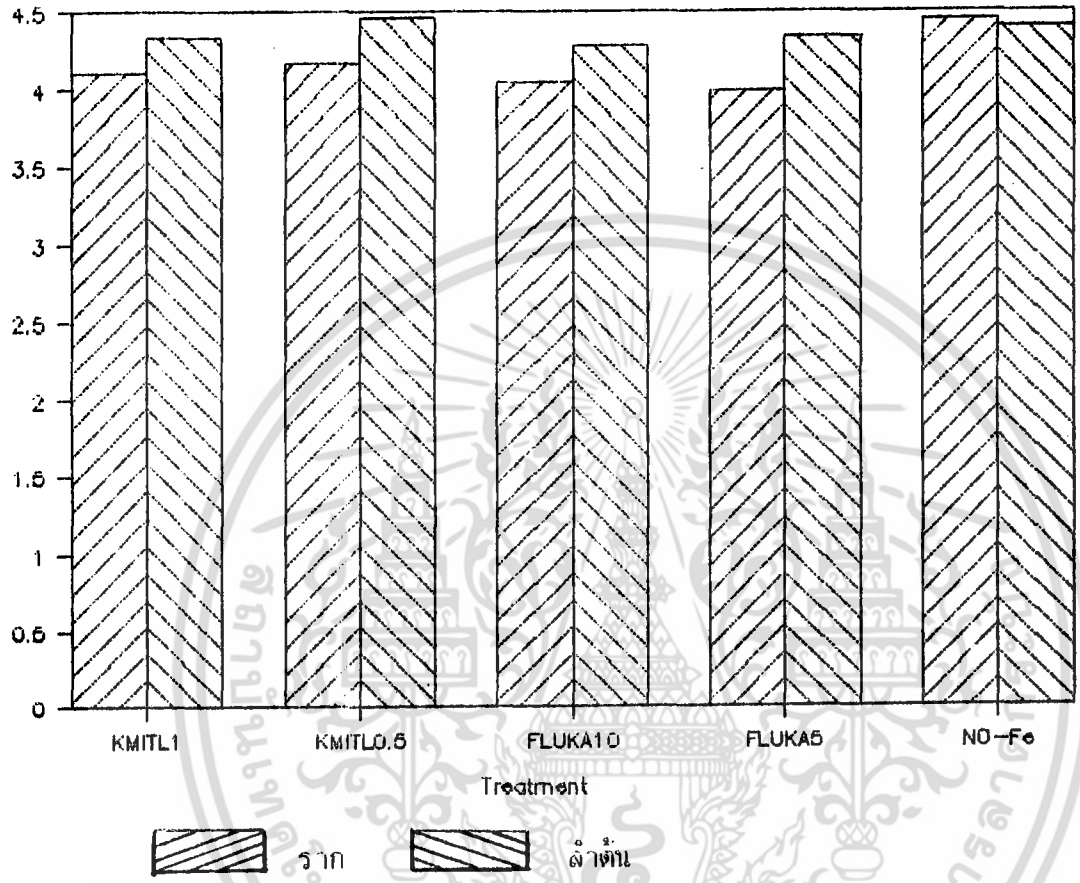
ภาพที่ 15 แสดงน้ำหนักแห้งของพืช ของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



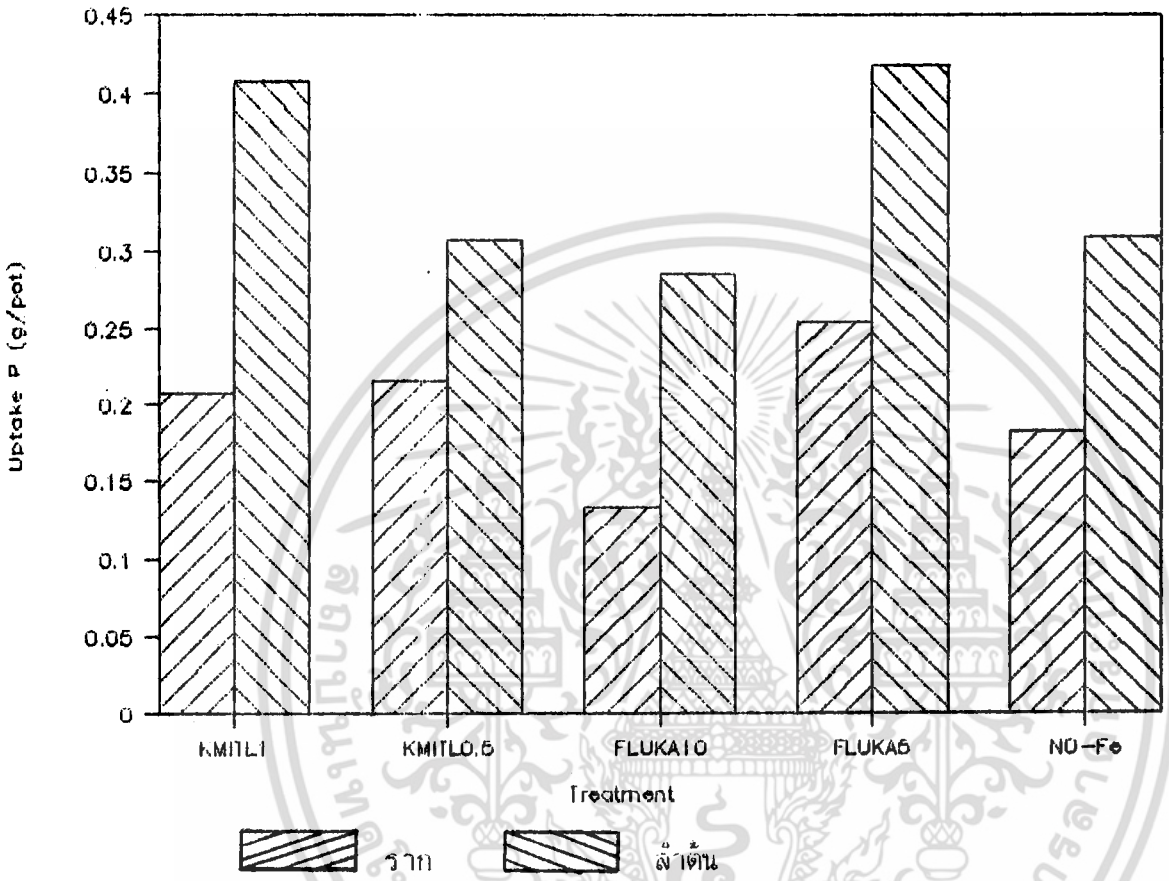
ภาพที่ 16 แสดงการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



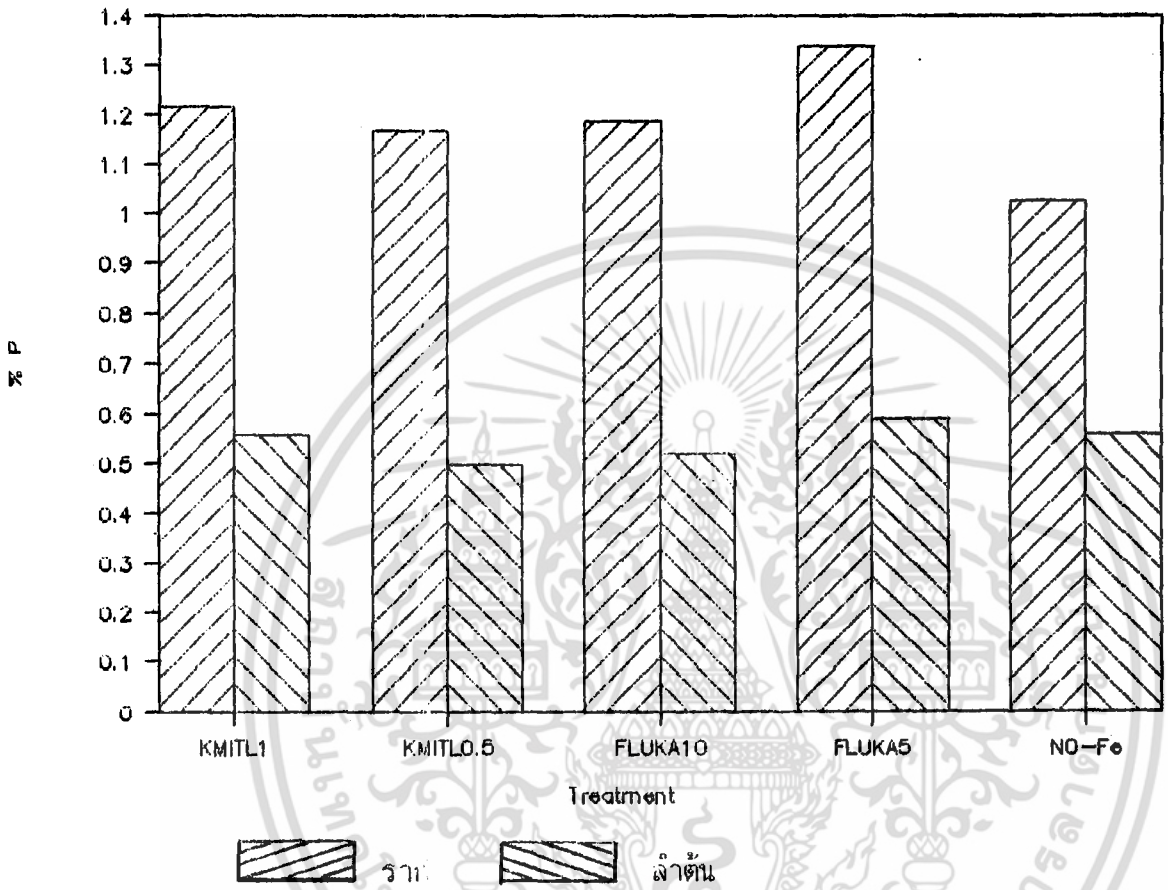
ภาพที่ 17 แสดงร้อยละของธาตุไนโตรเจนในพืชของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



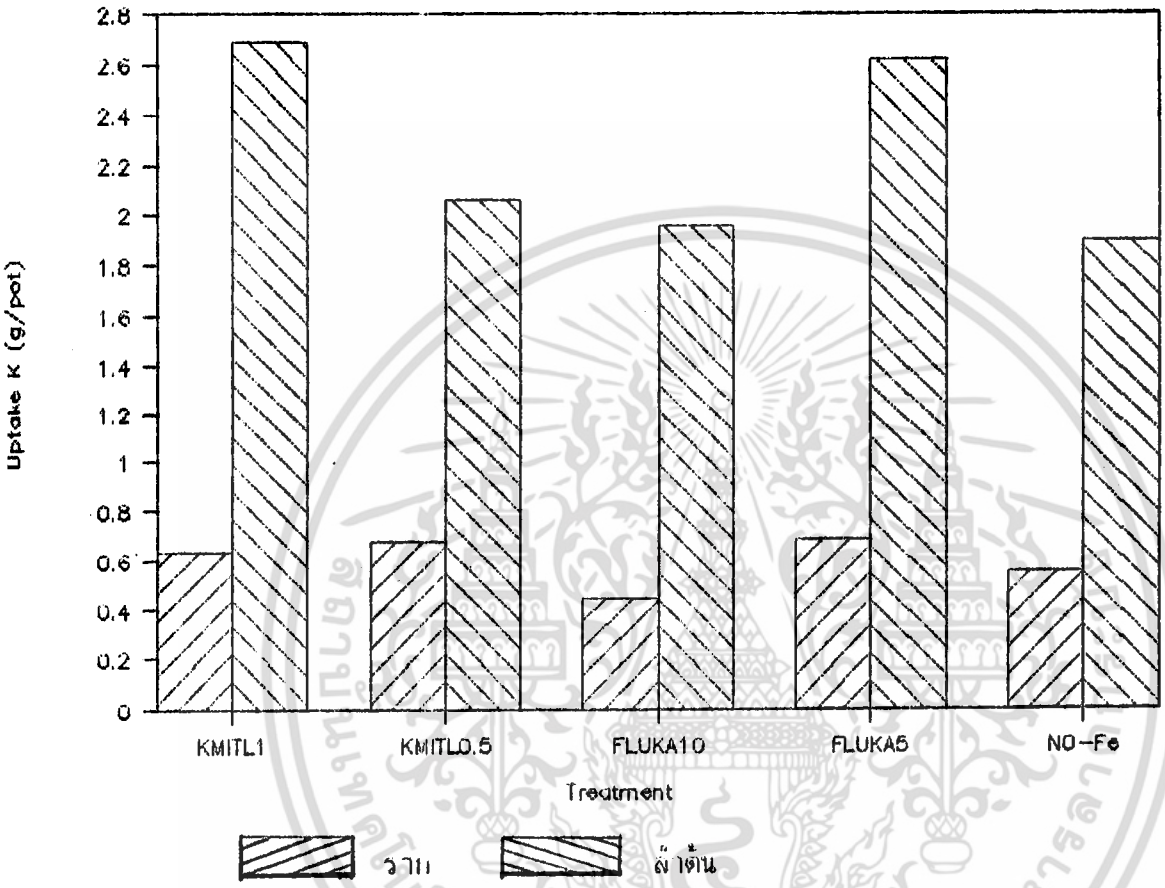
ภาพที่ 18 แสดงการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



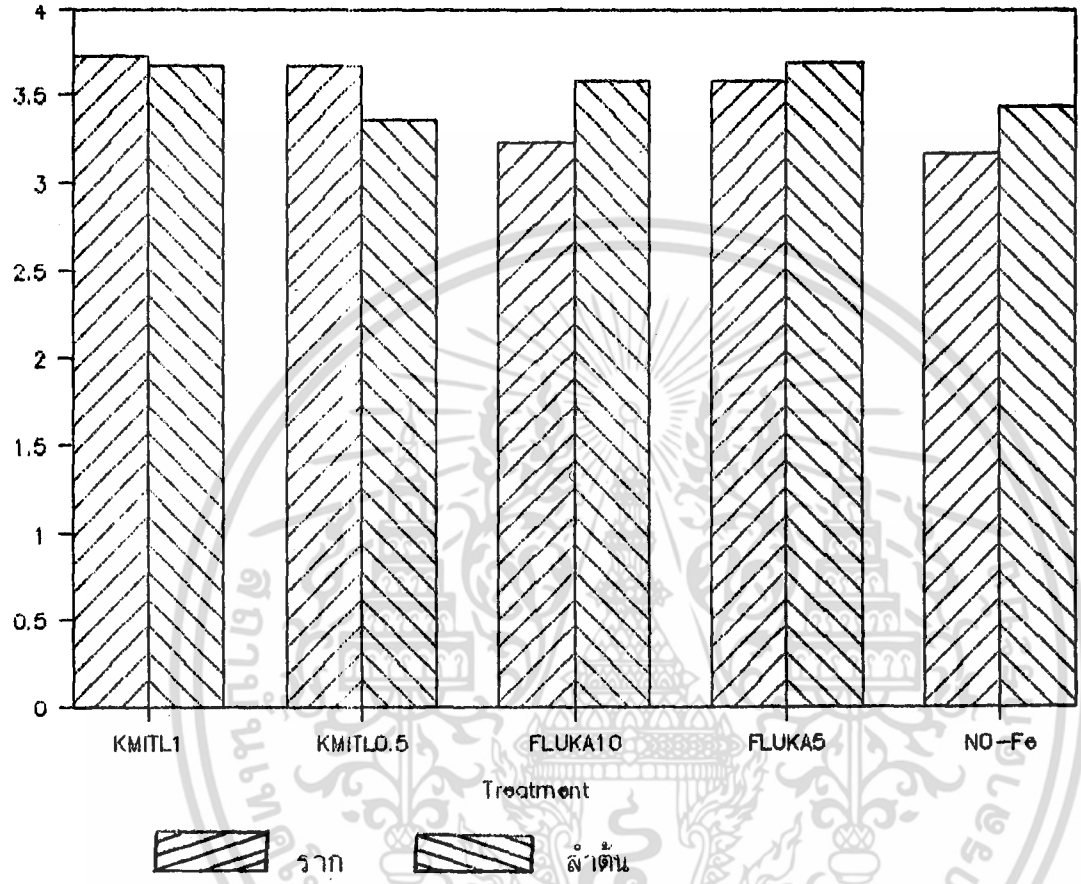
ภาพที่ 19 แสดงร้อยละของธาตุฟอสฟอรัสในพืชของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



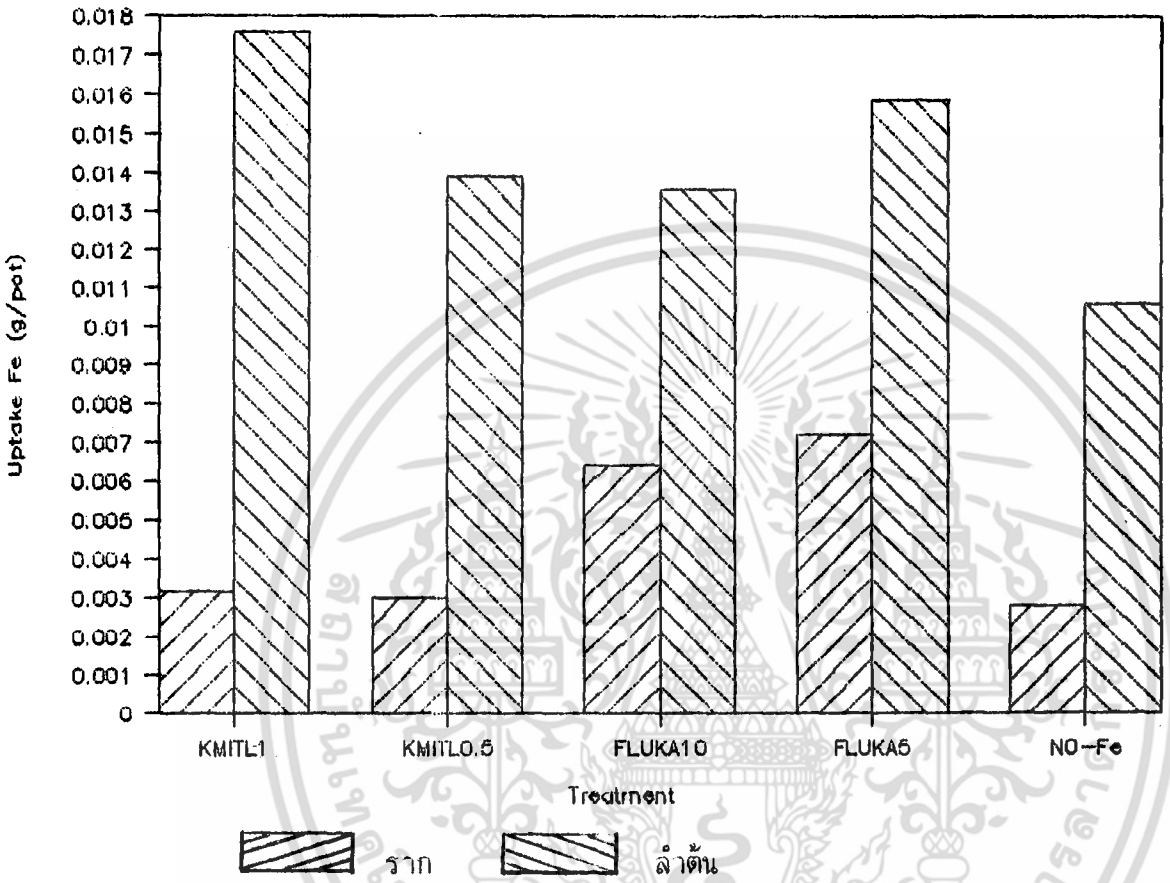
ภาพที่ 20 แสดงการดูดใช้ธาตุโปแตสเซียมในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



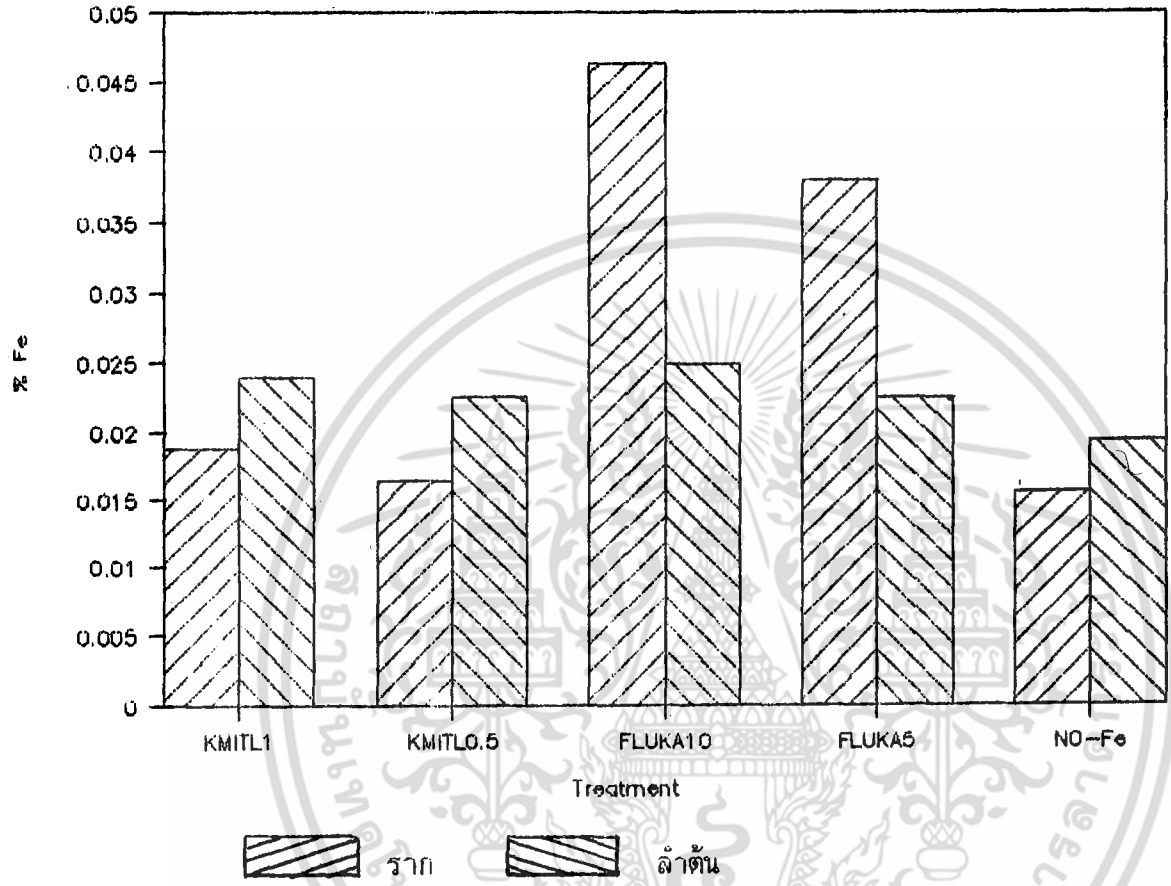
ภาพที่ 21 แสดงร้อยละของธาตุโปแตสเซียมในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 22 แสดงการดูดใช้ธาตุเหล็กในพืช ของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 23 แสดงร้อยละของธาตุเหล็กในพืชของการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 24 การเปรียบเทียบต้นพริกยักษ์ ในการทดลองเปรียบเทียบ Fe–EDTA สองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 25 การเปรียบเทียบต้นของพริกหยวก ในการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของ Fe-EDTA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 26 การเปรียบเทียบรากของพริกยักษ์ ในการทดลองเปรียบเทียบ Fe-EDTA สองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 25 ลักษณะการเจริญเติบโตของพริกเหยี่ยว ในการทดลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของสารละลาย Fe-EDTA

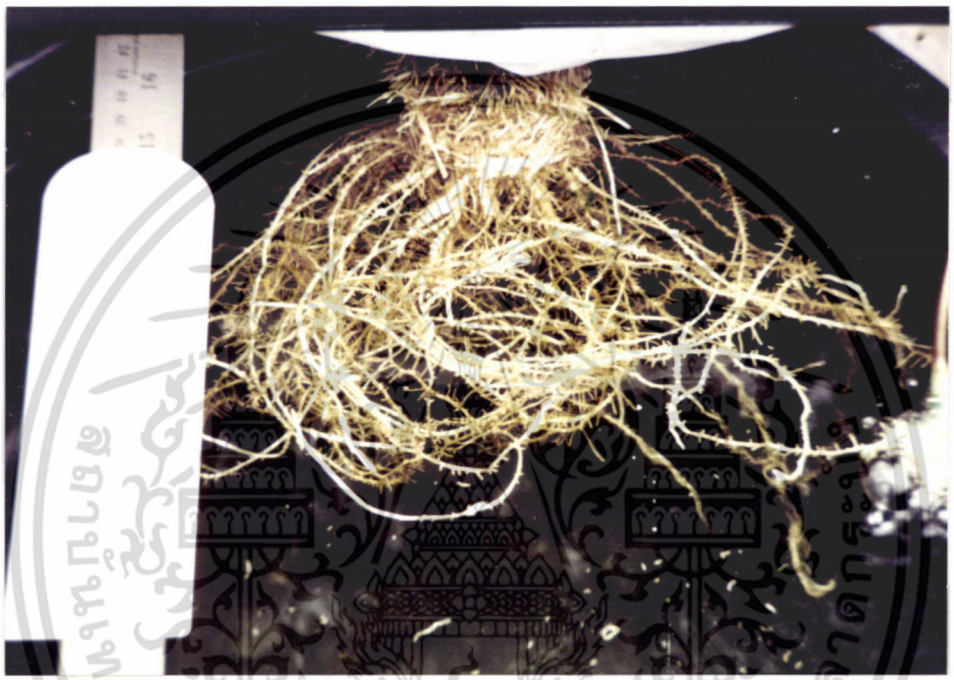
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 22 [illegible]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 29 แสดงลำต้นและใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 30 แสดงการเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพของราก

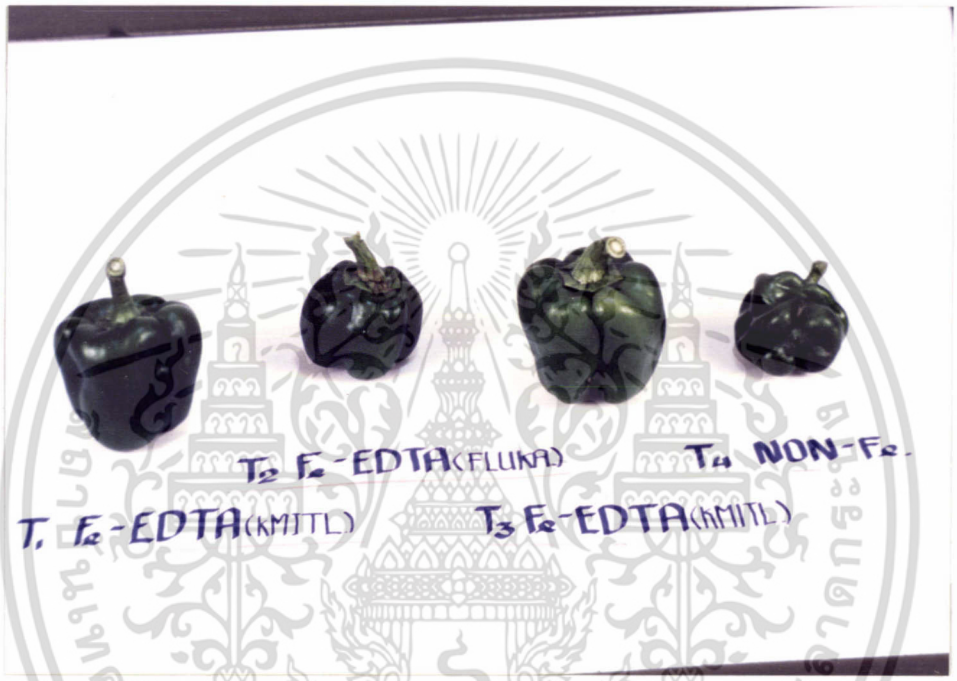
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 31 แสดงการทดสอบการเกิดสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 32 แสดงอาการ chlorosis ของใบพริกพันธุ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 33 แสดงการเจริญเติบโตในการทดลองเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้