633.15
W293ศ
ฉ.3

ศึกษาการขาดธาตุอาหาร และ การฟื้นตัวเมื่อได้รับธาตุอาหารที่ขาดไปในปริมาณที่แตกต่างกันของข้าวโพด

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ถนนสุขุมวิท ๒๓ พระโขนง กรุงเทพฯ ๑๑ โทร. ๒๖๑-๑๗๕, ๒๖๑-๑๗๖

ปริญญานิพนธ์

ของ

ไพฑูรย์ โพธิสาร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
กุมภาพันธ์ 2521

69068

ด้วยเดชะพระบารมี และพระมหากรุณาธิคุณ จาก
องค์พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ที่ได้พระราชทาน "ทุนภูมิพล"
อุดหนุนในการศึกษาค้นคว้า เป็นพลังผลักดันส่วนหนึ่ง
ให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ.

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้.

.....ประธานกรรมการ

.....กรรมการ

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. องอาจ ผ่องลักษณ์ และอาจารย์สุมาลี เหลืองสกุล ที่ได้ให้ความกรุณาอย่างสูงยิ่งในการศึกษาค้นคว้า ทั้งในด้านให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และให้กำลังใจ เริ่มตั้งแต่การวางแผนงาน การดำเนินงาน การแก้ไขอุปสรรคต่าง ๆ ตลอดจนการตรวจแก้ไขร่างปริญญานิพนธ์ อันเป็นผลให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมศักดิ์ แสนสุข หัวหน้าภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ที่ได้กรุณาสนับสนุนการศึกษาค้นคว้า

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสาน ยิ่งชล หัวหน้าภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้กรุณามอบเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด พันธุ์สุวรรณ 1 เพื่อใช้ในการศึกษาค้นคว้า

ในการตระเตรียมงานเพื่อดำเนินการทดลอง ผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือจากเพื่อน ๆ นิสิตปริญญาโท ชีววิทยา คือ คุณจรูญ สุขะพัฒน์ คุณจำลอง บุญศิริ และคุณอัศนีย์ ศรีสุข ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในน้ำใจไมตรี

กำลังใจสนับสนุนที่ได้รับจากคุณนิรมล โพธิสาร และ เด็กหญิง สุมาพร โพธิสาร เป็นพลังอีกส่วนหนึ่งที่ผลักดันให้ผู้วิจัยเกิดความมานะทำการศึกษาค้นคว้าจนสำเร็จ.

ไพฑูรย์ โพธิสาร

สารบาญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	คำนำ	1
	ความมุ่งหมายในการศึกษาค้นคว้า	4
	ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	5
	ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า	5
	คำนิยามศัพท์เฉพาะ	6
2	เอกสารประกอบการศึกษาค้นคว้า	9
	ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1	9
	โภชนาการที่เกี่ยวกับธาตุอาหารของพืช	10
	การศึกษาเกี่ยวกับการขาดธาตุอาหาร และการฟื้นตัวของพืช ภายหลังการแสดงอาการขาดธาตุอาหาร	25
3	วิธีดำเนินการทดลอง	31
	กลุ่มตัวอย่าง	31
	การดำเนินการทดลอง	31
	การเตรียมสถานที่ทดลอง	31
	การวางแผนการทดลอง	32
	การทดลองที่ 1 ศึกษาการผิดปกติของต้นข้าวโพดที่เนื่องมาจากการขาดธาตุอาหาร	32
	การทดลองที่ 2 ศึกษาการฟื้นตัวของต้นข้าวโพดภายหลังแสดงอาการขาดธาตุอาหาร	34

บทที่		หน้า
4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	40
	การทดลองที่ 1	41
	ลักษณะของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร	41
	การเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร	59
	การเจริญของใบข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร	69
	การทดลองที่ 2	78
	การเปลี่ยนแปลงของลักษณะที่ผิดปกติของข้าวโพดภายหลังการได้รับธาตุอาหารที่ขาดไป	78
	การเจริญของต้นข้าวโพดภายหลังการได้รับธาตุอาหารที่ขาดไป	80
	การเจริญของใบข้าวโพดภายหลังการได้รับธาตุอาหารที่ขาดไป	125
5	สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	126
	สรุปผลการทดลอง	126
	การทดลองที่ 1	126
	การทดลองที่ 2	130
	อภิปรายผล	131
	การทดลองที่ 1	131
	การทดลองที่ 2	135
	ข้อเสนอแนะ	137
บรรณานุกรม		139
ภาคผนวก		145

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	ส่วนประกอบของสารละลายธาตุอาหารชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า	7
2	ธาตุและสภาพของธาตุที่เคลื่อนย้ายเข้าไปในพืช	11
3	วิเคราะห์ส่วนของลำต้น ใบ ช่อ เมล็ด และรากของข้าวโพด	12
4	วิเคราะห์เถ้าของข้าวโพด	13
5 ก.	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของข้าวโพด เมื่อแสดงอาการขาดธาตุอาหาร (วันที่ 15) กับข้าวโพดที่ปกติ (กรัม)	59
5 ข.	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของข้าวโพด เมื่อแสดงอาการขาดธาตุอาหาร (วันที่ 22) กับข้าวโพดที่ปกติ (กรัม)	60
6 ก.	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบข้าวโพด เมื่อต้นข้าวโพดแสดงอาการขาดธาตุอาหารให้สังเกตเห็นได้ชัดเจน (เซนติเมตร)	69
6 ข.	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบข้าวโพด เมื่อต้นข้าวโพดแสดงอาการขาดธาตุอาหารให้สังเกตเห็นได้ชัดเจน (เซนติเมตร)	70
7 ก.	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบข้าวโพด เมื่อต้นข้าวโพดแสดงอาการขาดธาตุอาหารให้สังเกตเห็นได้ชัดเจน (เซนติเมตร)	72
7 ข.	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบข้าวโพด เมื่อต้นข้าวโพดแสดงอาการขาดธาตุอาหารให้สังเกตเห็นได้ชัดเจน (เซนติเมตร)	72
8	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุไนโตรเจน แล้วได้รับธาตุไนโตรเจนปริมาณต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (กรัม)	80
9	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัสแล้วได้รับธาตุฟอสฟอรัสปริมาณต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (กรัม)	82

ตาราง หน้า

10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุโปแตสเซียมแล้วได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (กรัม) 84

11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุซัลเฟอร์ แล้วได้รับธาตุซัลเฟอร์ปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (กรัม) 86

12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแมกนีเซียมแล้วได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (กรัม) 88

13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุเหล็กแล้วได้รับธาตุเหล็กปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (กรัม) 90

14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแคลเซียม แล้วได้รับธาตุแคลเซียมปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (กรัม) 92

15 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุไนโตรเจนแล้วได้รับธาตุไนโตรเจนปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร) 96

15 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุไนโตรเจน แล้วได้รับธาตุไนโตรเจนปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร) 97

16 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัส แล้วได้รับธาตุฟอสฟอรัสปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร) 99

ตาราง หน้า

16 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัส แล้วได้รับธาตุฟอสฟอรัสปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร) 100

17 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุโปแตสเซียมแล้วได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร) 103

17 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุโปแตสเซียม แล้วได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร) 105

18 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแมกนีเซียมแล้วได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร) 108

18 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแมกนีเซียมแล้วได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ 109

19 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุซัลเฟอร์แล้วได้รับธาตุซัลเฟอร์ปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร) 113

19 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุซัลเฟอร์แล้วได้รับธาตุซัลเฟอร์ปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร) 114

20 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุเหล็กแล้วได้รับธาตุเหล็กปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร) 117

ตาราง หน้า

20 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุเหล็ก แล้วได้รับธาตุเหล็กปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร) 118

21 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแคลเซียม แล้วได้รับธาตุแคลเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 3 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร) 122

21 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแคลเซียม แล้วได้รับธาตุแคลเซียมปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 3 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร) 123

บัญชีภาพ

ภาพ		หน้า
1	แผนผังกะบะทดลองทางด้านข้าง	37
2	สภาพภายในห้องทดลอง	37
3	ตำแหน่งต้นข้าวโพดที่จะเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 2 3 4 และ 5 สำหรับการทดลองที่ 1	38
4	ตำแหน่งต้นข้าวโพดที่จะเก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 2 3 4 และ 5 สำหรับการทดลองที่ 2	38
5	แผนผังการทดลอง	39
6 ก.	เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจนกับต้นปกติ (อายุ 25 วัน)	42
6 ข.	เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจนกับต้นปกติ (อายุ 25 วัน)	43
7	ลักษณะของใบข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน	43
8 ก.	เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสกับต้นปกติ (อายุ 25 วัน)	44
8 ข.	เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสกับต้นปกติ (อายุ 25 วัน)	45
9	ลักษณะใบข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส	45
10 ก.	เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม กับต้นปกติ (อายุ 32 วัน)	47
10 ข.	เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม กับต้นปกติ (อายุ 32 วัน)	48
11	ลักษณะใบข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม	48

ภาพ หน้า

12 ก. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียมกับต้นปกติ (อายุ 32 วัน) 50
12 ข. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียมกับต้นปกติ (อายุ 32 วัน) 51
13 ลักษณะใบข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียม 51
14 ก. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุซัลเฟอร์กับต้นปกติ (อายุ 32 วัน) 53
14 ข. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุซัลเฟอร์กับต้นปกติ (อายุ 32 วัน) 54
15 ลักษณะใบล่างของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุซัลเฟอร์ 54
16 ก. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็กกับต้นปกติ (อายุ 32 วัน) 55
16 ข. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็กกับต้นปกติ (อายุ 32 วัน) 56
17 ลักษณะใบบริเวณยอดของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็ก 56
18 ก. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียมกับต้นปกติ (อายุ 25 วัน) 57
18 ข. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียมกับต้นปกติ (อายุ 25 วัน) 58
19 ลักษณะใบบริเวณยอดของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียม 58
20 การเจริญของใบต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุต่าง ๆ 7 ชนิด เปรียบเทียบกับการเจริญของใบต้นปกติ 61
21 การเจริญของลำต้นต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุต่าง ๆ 7 ชนิด เปรียบเทียบกับการเจริญของลำต้นต้นปกติ 63

ภาพ หน้า

22 การเจริญของรากต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุต่าง ๆ 7 ชนิด เปรียบเทียบกับการเจริญของรากต้นปกติ 64

23 การเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุต่าง ๆ 7 ชนิด เปรียบเทียบกับการเจริญของต้นข้าวโพดที่ปกติ 66

24 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (ก) ความกว้าง (ข) ความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุอาหารให้สังเกตเห็นได้ชัดเจน (วันที่ 15 ของการทดลอง) กับต้นปกติ 71

25 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุอาหารให้สังเกตเห็นได้ชัดเจน (วันที่ 22 ของการทดลอง) กับต้นปกติ 73

25 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุอาหารให้สังเกตเห็นได้ชัดเจน (วันที่ 22 ของการทดลอง) กับต้นปกติ 74

26 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจนแล้วได้รับธาตุไนโตรเจนปริมาณต่างกัน กับต้นปกติ 81

27 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส แล้วได้รับธาตุฟอสฟอรัสปริมาณต่างกัน กับต้นปกติ 83

28 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม แล้วได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณต่างกัน กับต้นปกติ 85

29 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุซัลเฟอร์ แล้วได้รับธาตุซัลเฟอร์ปริมาณต่างกัน กับต้นปกติ 87

30 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียม แล้วได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณต่างกัน กับต้นปกติ 89

ภาพ หน้า

31 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็ก แล้วได้รับธาตุเหล็กปริมาณต่างกัน กับต้นปกติ 91

32 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียมแล้วได้รับธาตุแคลเซียมปริมาณต่างกัน กับต้นปกติ 93

33 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (ก) ความกว้าง (ข) ความยาว ของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุไนโตรเจน แล้วได้รับธาตุไนโตรเจนปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ 98

34 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (ก) ความกว้าง (ข) ความยาว ของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัส แล้วได้รับธาตุฟอสฟอรัสปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ 101

35 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุโปแตสเซียมแล้วได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ 104

35 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุโปแตสเซียมแล้วได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ 106

36 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแมกนีเซียมแล้วได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ 110

36 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบ ต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแมกนีเซียมแล้วได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ 111

ภาพ หน้า

37 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบ ต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุซัลเฟอร์ แล้วได้รับธาตุซัลเฟอร์ปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ 115

37 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบ ต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุซัลเฟอร์แล้วได้รับธาตุซัลเฟอร์ปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ 116

38 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบ ต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุเหล็ก แล้วได้รับธาตุเหล็กปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ 119

38 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบ ต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุเหล็ก แล้วได้รับธาตุเหล็กปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ 120

39 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (ก) ความกว้าง (ข) ความยาวของใบ ต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแคลเซียมแล้วได้รับธาตุแคลเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 3 สัปดาห์ กับต้นปกติ 124

บทที่ 1

บทนำ

คำนำ

ข้าวโพดเป็นพืชที่มีความสำคัญ จัดได้ว่าเป็นพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับที่สามรองลงมาจาก ข้าวสาลี และข้าว ในด้านการใช้เป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ (Edwardson, 1974)

นักพฤกษศาสตร์เชื่อว่า ข้าวโพดมีถิ่นกำเนิดอยู่ทั่ว ๆ ไปในทวีปอเมริกาเหนือ จากการศึกษาซากหินแข็ง (fossil) ของละอองเกสร (pollen grain) ของข้าวโพดที่พบในประเทศเม็กซิโก คาดว่ามีอายุถึงประมาณ 60,000 ปีมาแล้ว เมื่อมีการค้นพบทวีปอเมริกา นักสำรวจชาวยุโรปได้พบว่า ขณะนั้นชาวอเมริกันอินเดียน ซึ่งเป็นชนพื้นเมืองได้ทำการเพาะปลูกข้าวโพด เพื่อใช้เป็นอาหารอยู่แล้วในอาณาบริเวณตั้งแต่ประเทศแคนาดาไปจนจดตอนเหนือของทวีปอเมริกาใต้ (Sprague, 1975) หลังจากนั้นมาคือตั้งแต่ปี ค.ศ. 1492 ข้าวโพดก็แพร่หลายไปสู่ทวีปยุโรป แต่กรรมวิธีการเพาะปลูกตลอดจนพันธุ์ข้าวโพดยังคงเป็นเช่นเดียวกับของชาวอเมริกันอินเดียนในทวีปอเมริกาอยู่ จวบจนปี ค.ศ. 1905 เป็นต้นมา ได้มีการศึกษาและพัฒนาสายพันธุ์ตลอดจนกรรมวิธีการเพาะปลูกข้าวโพด เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น และมีคุณค่าทางอาหารมากยิ่งขึ้น

ในประเทศสหรัฐอเมริกา ข้าวโพดถือว่าเป็น 1 ใน 4 ชนิดของพืชที่ใช้เป็นอาหารหลักที่สำคัญที่สุด อันมี ข้าวสาลี ข้าว มันฝรั่ง และข้าวโพด (Sprague, 1975)

สำหรับในประเทศไทย ความสำคัญของข้าวโพดได้ทวีขึ้นทั้งในด้านการใช้เป็นอาหารและส่งเป็นสินค้าออกของประเทศ ได้จัดให้มีโครงการวิจัยเกี่ยวกับข้าวโพดขึ้น โดยกองการค้นคว้าและทดลอง กรมกสิกรรม กระทรวงเกษตรเป็นผู้รับผิดชอบงานมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494 มุ่งในด้านการผสมคัดเลือกพันธุ์ และบำรุงพันธุ์ข้าวโพดเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและเหมาะสมกับสภาพดินฟ้าอากาศของประเทศไทย (กองค้นคว้าและทดลอง, กรมกสิกรรม, 2508) ปัจจุบัน

ข้าวโพดมีความสำคัญทางเศรษฐกิจของชาติเทียบได้ใกล้เคียงกับข้าวและยางพาราแล้ว ข้าวโพดนับเป็นสินค้าออกที่สำคัญ เพราะต่างประเทศรับซื้อไปเป็นอาหารสัตว์และยังใช้เป็นอาหารประจำวันของประชาชนในประเทศเพื่อนบ้าน เช่น อินเดีย อินโดเนเซีย อเมริกาใต้ อิตาลี และญี่ปุ่น ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีการปลูกข้าวโพดเพื่อรับประทานฝักสดมากขึ้น คาดว่าต่อไปข้าวโพดจะทวีคุณค่าและความสำคัญมากขึ้นอีก เพราะคุณค่าทางอาหารของข้าวโพดเทียบได้ใกล้เคียงกับอาหารประเภทเนื้อสัตว์ สามารถที่จะใช้แทนเนื้อสัตว์เพื่อร่วมรับประทานกับข้าวก็เป็นได้ (อำพล เสนาณรงค์, 2515)

ข้าวโพดเป็นพืชล้มลุกในตระกูลหญ้า สามารถเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น คือในอาณาบริเวณตั้งแต่ละติจูดที่ 58 องศาเหนือไปจนถึงละติจูดที่ 42.5 องศาใต้ ลำต้นข้าวโพดมีขนาดสูง 3 – 15 ฟุต (1 – 4.5 เมตร) มีอายุราว 70 วันหรือมากกว่า พบว่าข้าวโพดบางชนิดที่ปลูกในเขตร้อนอาจสูงถึง 15 ฟุต (4.5 เมตร) และต้องใช้เวลาปลูกนานถึง 1 ปี ฝักข้าวโพดมีขนาดยาว 2 นิ้ว (5 เซนติเมตร) – 2 ฟุต (60 เซนติเมตร) (Edwardson, 1974) ข้าวโพดมีลำต้นแข็ง ใบโตแต่แคบยาว อาจแตกต้นออนมาจากโคนต้นของต้นเดิม เรียกต้นใหม่นี้ว่าทิลเลอร์ (tiller) มีรากเป็นชนิดรากฝอย (fibrous root) ข้าวโพดมีรากค้ำจุน (prop root) จากข้อบริเวณโคนต้นด้วย

ข้าวโพดจำแนกเป็นหลายชนิด คือ Dent corn, Flint corn, Flour corn, Pop corn, Sweet corn, Pod corn และ Waxy corn (Edwardson, 1974) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด คือสภาพลมฟ้าอากาศกับสภาพของดินที่เหมาะสมและอุดมสมบูรณ์ด้วยแร่ธาตุ

ข้าวโพดจะให้ผลผลิตสูง เมื่ออุณหภูมิระหว่าง 70 – 80 องศาฟาเรนไฮต์ และให้ผลผลิตต่ำเมื่อในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 66 องศาฟาเรนไฮต์

สภาพของดินที่ดีเหมาะต่อการปลูกข้าวโพด ต้องเป็นดินที่มีลักษณะเป็นกรดปานกลางในช่วง พี เอช (pH) 6.00 – 7.00 (อิกเนติออฟ, 2513) ดินที่เป็นด่างมากกว่านี้ก็สามารถปลูกข้าวโพดได้หากไม่มีการขาดแคลนไมโครนิวเตรียนท์ส (micronutrients) การเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ของข้าวโพดต้องการธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส และธาตุ–

โปแตสเซียมในปริมาณมาก จากผลงานวิจัยของ Edwardson (1974) พบว่าข้าวโพดที่ให้ผลผลิต 6,300 กิโลกรัมต่อพื้นที่เพาะปลูก 1 เฮกตาร์ (5 ไร่) จะต้องใช้ธาตุไนโตรเจน 40 กิโลกรัม ธาตุฟอสฟอรัส 8 กิโลกรัม และธาตุโปแตสเซียม 11 กิโลกรัม จากดิน นอกจากนี้ยังต้องการธาตุแมงกานีส ธาตุแคลเซียม ธาตุแมกนีเซียม และ ธาตุอื่น ๆ อีกหลายชนิด

ผลเสียที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดอันทำให้ผลผลิตจากข้าวโพดลดต่ำลงนั้น ปัจจุบันทราบว่าเกิดจากการขาดธาตุอาหาร (อิกเนติออฟ, 2513) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขาดธาตุไนโตรเจน (Garg, 1975)

เมื่อพืชขาดธาตุอาหาร อาจเนื่องมาจากไม่มีธาตุอาหารนั้น ๆ ในดิน หรือมีแต่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้จากดิน จะก่อให้เกิดการผิดปกติตลอดทุก ๆ ส่วนของพืช (ใบ ลำต้น และราก) โดยเฉพาะส่วนที่สังเกตเห็นได้ง่าย ๆ คือ บริเวณใบ ลำต้น และรากของพืช จะมีลักษณะผิดแผกไปจากพืชที่มีการเจริญเติบโตตามปกติ (Marinos, 1963 ; Ishizuka, 1971) อาการผิดปกติของพืชอันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหารที่สังเกตเห็นได้ ซึ่งปรากฏกับพืชแต่ละชนิดจะมีขอบเขตของความรุนแรงแตกต่างกันออกไป (Strafford, 1970) จากผลงานวิจัยเกี่ยวกับลักษณะอันเกิดจากการขาดธาตุอาหารของพืชที่สามารถสังเกตเห็นได้ (Ishizuka, 1971) พบว่า ข้าวโพดแสดงออกถึงลักษณะของการขาดธาตุอาหารแต่ละธาตุได้อย่างชัดเจนที่สุดทุก ๆ ธาตุ

การทราบถึงลักษณะอันแสดงออกถึงการขาดธาตุอาหารของพืช เป็นหนทางเบื้องต้นที่จะทำให้สามารถแก้ไขความผิดปกตินั้น ๆ ของพืช และเป็นผลดีต่อการเกษตรในด้านการป้องกันมิให้เกิดความเสียหายอันใหญ่หลวงต่อผลผลิตของพืชชนิดนั้น ๆ ได้อย่างทันท่วงที โดยรีบให้พืชได้รับธาตุอาหารที่ขาดไปในปริมาณที่พอเพียง (Ishizuka, 1971)

การขาดธาตุอาหารของพืชก่อให้เกิดการผิดปกติทางด้านการเจริญของพืช (Meyer and others, 1973) ที่เป็นเช่นนี้เพราะพืชขาดแร่ธาตุอันจำเป็นที่จะต้องใช้ในกระบวนการเมตาโบลิซึม (metabolism) การที่จะทราบว่าพืชมีการเจริญมากน้อยเพียงไร โดยเอา–

น้ำหนักแห้งของพืชที่ทำการปลูกแต่ละระยะเวลามาทำการวิเคราะห์ และถือว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของพืชแต่ละครั้งนั้น เป็นตัวบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของพืชในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ (องอาจ ผ่องลักษณ์, 2518) ดังนั้น เมื่อพืชขาดธาตุอาหารอันจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการเมตาโบลิซึม อัตราการผลิตสารอินทรีย์ในพืชก็จะผิดปกติไปด้วย นั่นคือเป็นผลทำให้น้ำหนักแห้งของพืชเปลี่ยนแปลงผิดไปจากเดิม (Mehrotra, 1974; Ledovskiĭ, 1976)

การศึกษาเกี่ยวกับลักษณะผิดปกติที่สังเกตเห็นได้และความผิดปกติของอัตราการเจริญเติบโตของพืช อันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ตลอดจนการฟื้นตัวของพืชภายหลังการขาดธาตุอาหาร ในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษากันอย่างจริงจัง ส่วนใหญ่มุ่งศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มผลผลิตของพืช โดยวิธีการให้ปุ๋ยในปริมาณและชนิดต่าง ๆ กันเท่านั้น

ผู้ทำการศึกษาค้นคว้ามีความเห็นว่า ถ้าทราบลักษณะอันผิดปกติที่สังเกตเห็นได้ของพืชอันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหาร และทราบถึงการฟื้นตัวภายหลังการขาดธาตุอาหารของพืชแล้ว จะมีผลดีต่อการศึกษาเพื่อเพิ่มผลผลิตของพืชอีกทางหนึ่งได้ จึงสนใจที่จะทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเรื่องนี้ และโดยเฉพาะกับข้าวโพด เพราะเป็นพืชชนิดหนึ่งในหลายชนิดที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจของประเทศไทยและของโลก

<u>ความมุ่งหมายในการศึกษาค้นคว้า</u>

1. ศึกษาลักษณะผิดปกติที่สามารถสังเกตเห็นได้ของข้าวโพดอันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ

2. ศึกษาเปรียบเทียบการเจริญของข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ กับการเจริญของข้าวโพดที่ปกติ

3. ศึกษาเปรียบเทียบการฟื้นตัวของข้าวโพดภายหลังการขาดธาตุอาหารเมื่อได้รับธาตุอาหารนั้น ๆ ไปในปริมาณที่แตกต่างกัน และปริมาณเท่าใดจึงจะดีที่สุด

4. ศึกษาเปรียบเทียบการฟื้นตัวของข้าวโพดภายหลังการขาดธาตุอาหารต่างชนิดกันเมื่อได้รับธาตุอาหารชนิดนั้น ๆ ไปในปริมาณที่เป็นสัดส่วนเดียวกัน

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อขยายขอบข่ายของการศึกษาเกี่ยวกับการขาดธาตุอาหารของพืช

2. เพื่อนำผลการศึกษาค้นคว้าไปวินิจฉัยลักษณะผิดปกติของข้าวโพดว่าเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหารชนิดใด ผลการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ทั้งในด้านการใช้เป็นเอกสารอ้างอิงในการเรียนการสอน และเป็นพื้นฐานในการเกษตร

3. ทำให้สามารถใช้ปุ๋ย (การให้ธาตุอาหารที่ข้าวโพดขาดแคลน) ในปริมาณที่เหมาะสมต่อการเจริญของข้าวโพด ภายหลังการแสดงลักษณะการขาดธาตุอาหาร ซึ่งเป็นผลดีในการประหยัดและลดต้นทุนการผลิต

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

1. ข้าวโพดที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า คือ ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1

2. การศึกษาครั้งนี้ ใช้วิธี solution culture [(ศึกษาโดยการทดลองปลูกข้าวโพดในสารละลายของธาตุอาหาร (nutrient solution)]

3. ธาตุอาหารที่จะทำการศึกษา จะทำการศึกษาเพียง 7 ธาตุ คือ ธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม ธาตุซัลเฟอร์ ธาตุแมกนีเซียม ธาตุแคลเซียม และธาตุเหล็ก

4. ศึกษาลักษณะผิดปกติที่สามารถสังเกตเห็นได้ของข้าวโพด อันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหารแต่ละชนิดจากส่วนต่าง ๆ คือ ใบ ลำต้น และราก ทุก ๆ สัปดาห์ โดยเปรียบเทียบกับข้าวโพดที่ไม่ขาดธาตุอาหาร

5. ศึกษาการเจริญที่ผิดปกติอันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหารแต่ละชนิดของข้าวโพด จากน้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวโพด คือ ใบ ลำต้น ราก และทั้งต้น ทุก ๆ 1 สัปดาห์

6. ศึกษาการเจริญเมื่อข้าวโพดได้รับธาตุอาหารที่ขาดไปแต่ละธาตุภายหลังการแสดงอาการขาดธาตุอาหารนั้น ๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ขนาด และขนาดใดดีที่สุด

7. การศึกษาครั้งนี้ลักษณะที่ผิดปกติ และการเจริญที่ผิดปกติของข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร จะศึกษาเปรียบเทียบกับข้าวโพดที่ได้รับธาตุอาหารครบตามปกติ

8. การศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการซึ่งควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นของบรรยากาศ ความเข้มของแสงสว่าง และช่วงเวลาที่ให้แสงสว่าง

คำนิยามศัพท์เฉพาะ

1. ธาตุอาหาร (mineral elements) หมายถึง ธาตุต่าง ๆ ที่พืชสามารถดูดซึมเข้าไปในพืช มีทั้งพวกที่เป็นประโยชน์และพวกที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญของพืช

2. ธาตุอาหารจำเป็น (essential elements) หมายถึง ธาตุที่จำเป็นของพืชซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเจริญ หากพืชขาดธาตุเหล่านี้พืชจะแสดงการเจริญที่ผิดปกติออกมาให้สังเกตได้ ซึ่งจำแนกออกเป็น 2 พวก คือ

2.1 แมคโครนิวเตรียนท์ส (macronutrients) เป็นธาตุจำเป็นที่พืชทุกชนิดต้องการใช้ในปริมาณที่มาก มี 10 ธาตุ ได้แก่ธาตุคาร์บอน ธาตุไฮโดรเจน ธาตุออกซิเจน ธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม ธาตุซัลเฟอร์ ธาตุแคลเซียม ธาตุแมกนีเซียม และธาตุเหล็ก

2.2 ไมโครนิวเตรียนท์ส (micronutrients) เป็นธาตุจำเป็นที่พืชต้องการใช้ในปริมาณที่น้อย มี 6 ธาตุ ได้แก่ ธาตุโบรอน ธาตุแมงกานีส ธาตุคลอรีน ธาตุทองแดง ธาตุสังกะสี และธาตุโมลิบดีนัม (Meyer and others, 1973)

3. การขาดธาตุอาหาร (mineral deficiency) ของต้นข้าวโพด หมายถึง ต้นข้าวโพดไม่ได้รับธาตุอาหารชนิดนั้น ๆ

4. ลักษณะที่เกิดจากการขาดธาตุอาหาร (deficient symptoms) ของต้นข้าวโพด หมายถึง ลักษณะผิดปกติที่สังเกตเห็นได้จากส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวโพดอันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหาร (Cooke, 1974) ได้แก่ ใบ ลำต้น และราก

5. สารละลายของธาตุอาหาร (nutrient solution) หมายถึง สารละลายของธาตุอาหารต่าง ๆ ของพืชในน้ำ จัดเตรียมโดยการปรับปรุงจากสูตรของ ซาค (Sach's

water culture solution) (Strafford, 1970) กับสูตรของจอห์นสันและคณะ (Johnson et. al.) (Epstein, 1972) ดังนี้.-

ตาราง 1 ส่วนประกอบของสารละลายธาตุอาหารชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

ประเภทของสารละลายธาตุอาหาร / ชื่อสารประกอบ	-Ca	-Fe	-N	-P	-S	-Mg	-K	Complete solution
(1) (กรัม) $CaSO_4.2_2O$	-	0.25	0.25	0.25	-	0.25	0.25	0.25
$Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$	-	0.25	0.25	-	0.25	0.25	0.25	0.25
$MgSO_4.7H_2O$	0.25	0.25	0.25	0.25	-	-	0.25	0.25
NaCl	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
KNO_3	0.70	0.70	-	0.70	0.70	0.70	-	0.70
$FeCl_3.6H_2O$	0.005	-	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
K_2SO_4	0.20	-	-	-	-	0.17	-	-
$Na_2HPO_4.12H_2O$	0.71	-	-	-	-	-	-	-
KCl	-	-	0.52	-	-	-	-	-
$Ca(NO_3)_2$	-	-	-	0.16	-	-	-	-
$CaCl_2$	-	-	-	-	0.16	-	-	-
$MgCl_2$	-	-	-	-	0.21	-	-	-
$NaNO_3$	-	-	-	-	-	-	0.59	-
(มิลลิลิตร) น้ำกลั่น	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
(2) (กรัม) $MnSO_4.H_2O$	0.338	ผสมรวมกันกับน้ำกลั่นได้เป็นสารละลาย 1,000 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายนี้ 1 มิลลิลิตร ไปรวมกับสารละลายใน (1) จำนวน 1,000 มิลลิลิตร						
$ZnSO_4.7H_2O$	0.575							
H_2MoO_4 (88% MoO_3)	0.081							
H_3BO_3	1.546							
$CuSO_4.5H_2O$	0.125							

6. การเจริญ (growth) ของต้นข้าวโพด หมายถึง น้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดแต่ละต้น ทุก ๆ 1 สัปดาห์

7. น้ำหนักแห้ง (dry weight) หมายถึง น้ำหนักคงที่ของต้นข้าวโพด หรือส่วนของต้นข้าวโพดที่นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

8. การฟื้นตัว (recovery) ของต้นข้าวโพด หมายถึง การที่น้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดมีอัตราเพิ่มขึ้นทุก ๆ 1 สัปดาห์ หลังจากที่ต้นข้าวโพดแสดงลักษณะการขาดธาตุอาหารแล้วได้รับธาตุอาหารนั้น ๆ อีกครั้งหนึ่ง

9. ความยาวของใบ เป็นระยะทางที่วัดจากส่วนฐานใบไปจนจดปลายใบตามแนวเส้นกลางใบ

10. ความกว้างของใบ เป็นระยะทางที่วัดจากขอบใบข้างหนึ่งไปยังขอบใบอีกข้างหนึ่ง ตรงจุดกึ่งกลางของความยาวของใบ

บทที่ 2

เอกสารประกอบการศึกษาค้นคว้า

ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1

ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 มีชื่อเรียกเดิมว่า "ไทยคอมพอซิท เบอร์ 1 ดี เอ็ม อาร์" จัดเป็นข้าวโพดพันธุ์ดีที่กำลังได้รับการส่งเสริมให้ปลูกกันอย่างแพร่หลาย ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 นี้ เป็นข้าวโพดพันธุ์ซึ่งศูนย์วิจัยข้าวโพด ข้าวฟ่าง แห่งชาติ (ภาควิชาพืชไร่, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2518) ได้ทำการผสมคัดเลือกพันธุ์ขึ้นใหม่จากข้าวโพดที่มีพันธุกรรมดีเด่นจากเขตร้อนในแถบต่าง ๆของโลก จำนวน 36 พันธุ์ มาทำการผสมรวมและผสมต่อไปจนได้ถึงชั่วที่ 4 ได้เป็นพันธุ์ใหม่ขึ้นมา เรียก "ไทยคอมพอซิท เบอร์ 1" แล้วทำการคัดเลือกเพื่อปรับปรุงผลผลิต ความสูง อายุเก็บเกี่ยว และการหักล้มจนได้สายพันธุ์ที่ดีเด่น ต่อมาในปี พ.ศ. 2514 ได้ทำการผสมข้าวโพดพันธุ์ไทยคอมพอซิท เบอร์ 1 กับข้าวโพดพันธุ์ฟิลิปปินส์ ดี เอม อาร์ เบอร์ 1 และเบอร์ 5 ซึ่งมีความต้านทานโรคราน้ำค้างดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่น ๆ แล้วนำลูกผสมที่ได้ไปผสมกับพันธุ์ไทยคอมพอซิท เบอร์ 1 อีก 3 ครั้ง จึงได้เป็นข้าวโพดพันธุ์ไทยคอมพอซิท เบอร์ 1 ดีเอ็ม อาร์ ซึ่งต่อมาได้รับการเสนอให้ใช้ชื่อเป็น "ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1"

จากผลการทดลองเกี่ยวกับผลผลิตและคุณลักษณะสำคัญของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 เปรียบเทียบกับข้าวโพดพันธุ์กัวเตมาลา และ โบกอร์ เบอร์ 2 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวโพดที่ได้รับการส่งเสริมให้มีการปลูกอย่างแพร่หลายมากก่อน พบว่าข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 ให้ผลผลิตและคุณลักษณะดีเด่นมากกว่าข้าวโพดทั้ง 2 พันธุ์ข้างต้น ดังนี้

1. มีความต้านทานโรคสูงกว่า
2. ให้ผลผลิตสูงกว่า
3. เก็บเกี่ยวได้เร็วกว่า
4. ลำต้นและตำแหน่งฝักเตี้ยกว่า

5. หักล้มน้อยกว่า (18.5 เปอร์เซ็นต์)

6. สีและลักษณะเมล็ดตรงความต้องการของกสิกรและตลาด

7. ปลูกได้ทุกฤดูและทุกท้องถิ่น

ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 มีความสูงโดยเฉลี่ยเมื่อเทียบโตเต็มที่ 235 เซนติเมตร วันออกไหม 55 วัน อายุเก็บเกี่ยวไม่เกิน 110 วัน ลักษณะเมล็ดเป็นชนิดหัวแข็งสีเหลืองอมส้ม ให้ผลผลิตเฉลี่ย 803 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาควิชาพืชไร่, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2518)

<u>โภชนาการที่เกี่ยวกับธาตุอาหารของพืช</u>

โภชนาการของพืชเกี่ยวข้องกับกระบวนการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในโลก โดยเฉพาะต่อมนุษย์ สิ่งมีชีวิตทุก ๆ ชนิดต่างก็ประกอบด้วยอะตอมของธาตุทางเคมี พืชสีเขียวและจุลินทรีย์บางชนิดเท่านั้นที่สามารถใช้สารประกอบอนินทรีย์และอิออน (ion) ของสิ่งแวดล้อมให้เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการดำรงชีวิตของตนเองได้โดยตรง นั่นคือ โดยกระบวนการดำรงชีวิตของพืช ธาตุคาร์บอน ธาตุไนโตรเจน ธาตุโปแตสเซียม ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุซัลเฟอร์ ธาตุแมกนีเซียม และธาตุจำเป็นอื่น ๆ จากสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะจากพื้นดิน ซึ่งอยู่ในสภาพสารละลาย จะถูกนำเข้าไปสะสมไว้ในเซลและเนื้อเยื่อของพืช (Epstein, 1972)

ธาตุอนินทรีย์ส่วนใหญ่นั้นพืชได้รับไปจากพื้นดิน โดยการดูดซึมผ่านรากในสภาพของสารละลาย ยกเว้นธาตุคาร์บอน ธาตุไฮโดรเจน และธาตุออกซิเจน ซึ่งพืชได้รับจากบรรยากาศ (Levitt, 1974)

การเจริญเติบโตของพืชขึ้นอยู่กับการเคลื่อนย้ายของแร่ธาตุเหล่านี้เข้าไปในพืช แล้วลำเลียงผ่านไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช (Epstein, 1972) ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์หรืออิออน ดังนี้.—

ตาราง 2 ธาตุและสภาพของธาตุที่เคลื่อนย้ายเข้าไปในพืช (Salisbury, 1969)

ชื่อธาตุ	สัญญลักษณ์	สภาพที่เคลื่อนย้ายไปสู่พืช
Molybdenum	Mo	$MoO_4^{=}$
Copper	Cu	Cu^{+}, Cu^{++}
Zinc	Zn	Zn^{++}
Manganese	Mn	Mn^{++}
Iron	Fe	Fe^{+++}, Fe^{++}
Boron	B	$Bo_3^{=}$, $B_4O_7^{=}$
Chlorine	Cl	Cl^{-}
Sulfur	S	$SO_4^{=}$
Phosphorus	P	$H_2PO_4^{-}$, $HPO_4^{=}$
Magnesium	Mg	Mg^{++}
Calcium	Ca	Ca^{++}
Potassium	K	K^{+}
Nitrogen	N	NO_3^{-} , NH_4^{+}
Oxygen	O	O_2 , H_2O
Carbon	C	CO_2
Hydrogen	H	H_2O

เนื้อเยื่อของพืชสดจะมีน้ำอยู่ปริมาณถึง 80 – 95 เปอร์เซนต์ นั่นคือ แร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของพืช จะมีธาตุไฮโดรเจน ซึ่งรวมกับออกซิเจนเป็นน้ำ กับแร่ธาตุอื่น ๆ เมื่อนำพืชมาทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 – 40 ชั่วโมง ก็จะได้เนื้อเยื่อ

ที่แห้งเหลืออยู่ประมาณ 10 – 20 เปอร์เซนต์ของเนื้อเยื่อเดิม เนื้อเยื่อพืชที่แห้งนี้พบว่าประมาณ 90 เปอร์เซนต์ ประกอบด้วยธาตุ 3 ธาตุ คือ ธาตุคาร์บอน ธาตุออกซิเจน และธาตุไฮโดรเจน ซึ่งอยู่รวมกันในรูปการ์โบไฮเดรท $[C(H_2O)]$ (Epstein, 1972) ดังตารางข้างล่างนี้.–

ตาราง 3 วิเคราะห์ส่วนของลำต้น ใบ ซัง เมล็ด และรากของข้าวโพด (Levitt, 1974 ; Bidwell, 1974)

ธาตุ	% ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด		% ของเถ้า
O	44.4		
C	43.6	94.2	
H	6.2		
N	1.46		25.9
P	0.2		3.6
K	0.92		16.4
Ca	0.23		4.0
Mg	0.18		3.2
S	0.17		3.0
Fe	0.08		1.5
Si	1.17		20.8
Al	0.11		1.9
Cl	0.11		2.5
Mn	0.035		0.6
ธาตุอื่น ๆ	0.93		16.6

การทำการวิเคราะห์เพื่อต้องการทราบว่า พืชประกอบด้วยแร่ธาตุอะไรบ้างนั้น อาจทำการวิเคราะห์ได้โดยอาศัยกระบวนการวิเคราะห์ทางเคมี วิธีการที่นิยมคือ ทำการวิเคราะห์เถ้าของพืช โดยนำพืชสดมาอบที่อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส (Devlin, 1973) ก็จะได้เถ้าของพืช นำเถ้านี้ไปวิเคราะห์ทางเคมี พบว่ามีธาตุเป็นจำนวนอย่างน้อยที่สุด 60 ธาตุ ที่พบในเถ้าของพืชแทบทุกชนิด (Meyer and others, 1973; Salisbury, 1969 ; Muller, 1974) ธาตุคาร์บอน ธาตุไฮโดรเจน และธาตุออกซิเจน จะไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้จากเถ้าของพืช เพราะสลายไปในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และก๊าซออกซิเจน ส่วนธาตุไนโตรเจน ก็ไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณที่แน่นอนได้ เพราะส่วนหนึ่งจะสลายไปในรูปของแอมโมเนียกับก๊าซไนโตรเจน (Devlin, 1973 ; Meyer and others, 1973) ธาตุอื่น ๆ ที่ได้วิเคราะห์พบจากเถ้าของพืชเป็นธาตุที่พืชได้รับมาโดยการดูดซึมผ่านรากมาจากดิน ดังผลการวิเคราะห์ต่อไปนี้.–

ตาราง 4 วิเคราะห์เถ้าข้าวโพด (Devlin, 1973)

ธาตุ	น้ำหนัก, กรัม	น้ำหนักแห้งทั้งหมด, %
N	12.2	1.459
P	1.7	0.203
K	7.7	0.921
Ca	1.9	0.227
Mg	1.5	0.179
S	1.4	0.167
Fe	0.7	0.083
Si	9.8	1.192
Al	0.9	0.107

ตาราง 4 (ต่อ)

ธาตุ	น้ำหนัก, กรัม	น้ำหนักแห้งทั้งหมด, %
Cl	1.2	0.143
Mn	0.3	0.035
ธาตุอื่น ๆ	7.8	0.933

ธาตุทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากพืช จะมีเพียง 14 ธาตุเท่านั้น คือ ธาตุคาร์บอน ธาตุออกซิเจน ธาตุไฮโดรเจน ธาตุไนโตรเจน ธาตุซัลเฟอร์ ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุแคลเซียม ธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุเหล็ก ธาตุแมงกานีส ธาตุซิลิกอน ธาตุอลูมิเนียม และ ธาตุคลอรีน ที่พบว่ามีอยู่ในปริมาณที่มากในพืชทั่ว ๆ ไป ธาตุจำนวน 60 กว่าธาตุนี้บางธาตุไม่มีความจำเป็นต่อการเจริญของพืชเลย เช่น ธาตุทองคำ (Meyer and others, 1973) และในจำนวนธาตุทั้งหมดเหล่านี้ Sach และ Knop (Devlin, 1973) ได้ทำการศึกษาพบว่าธาตุคาร์บอน ธาตุไฮโดรเจน ธาตุออกซิเจน ธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม ธาตุแคลเซียม ธาตุซัลเฟอร์ ธาตุแมกนีเซียม และธาตุเหล็ก รวม 10 ธาตุ เป็นธาตุที่พืชต้องการใช้ในปริมาณที่มาก เรียกว่า แมคโครนิวเตรียนท์ส (macronutrients) และมีธาตุอยู่อย่างน้อย 5 ธาตุในกลุ่มนี้ที่จำเป็นต่อการเจริญของพืชทุกชนิด กับพืชยังมีความต้องการธาตุแมงกานีส ธาตุสังกะสี ธาตุโบรอน ธาตุทองแดง และธาตุโมลิบดีนัม รวม 5 ธาตุ ในปริมาณที่น้อย เรียกว่า ไมโครนิวเตรียนท์ส (micronutrients) นอกจากนี้ธาตุโซเดียม ธาตุอลูมิเนียม ธาตุซิลิกอน ธาตุคลอรีน ธาตุแกลเลียม และธาตุโคบอลท์ก็พบว่ามีอิทธิพลต่อการเจริญที่เป็นปกติของพืชอีกด้วย

ธาตุที่ทำการวิเคราะห์ได้จากพืช จะมีปริมาณและชนิดแตกต่างกันออกไปตามชนิดของพืช เพราะพืชแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุอาหารแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ (Salisbury, 1969 ; Muller, 1974)

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับความต้องการธาตุอาหารของพืชมาบ้างแล้ว เริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1699 โดย Woodword (Devlin, 1973) ได้สังเกตพบว่าพืชสามารถเจริญเติบโตในน้ำของดินโคลน (muddy water) ได้ดีกว่าในน้ำฝน (rain water) แต่ไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์เช่นนี้ได้ การศึกษาค้นคว้าได้เริ่มขึ้นอย่างจริงจังในปี ค.ศ. 1804 โดย Sausure (Devlin, 1973) ซึ่งพบว่าเถ้าของพืชประกอบด้วยธาตุอนินทรีย์ (inorganic mineral elements) ที่พืชได้รับมาจากดินโดยผ่านทางราก ธาตุเหล่านี้ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ซึ่งมีส่วนในการทำให้พืชเจริญเติบโตและพัฒนา ต่อจากนั้นมาการศึกษาค้นคว้าเพื่อหาส่วนประกอบของพืชยิ่งทวีความก้าวหน้ายิ่ง ๆ ขึ้น

✓ ในปี ค.ศ. 1860 Sach และ Knop (Epstein, 1972) ได้แสดงให้เห็นว่าในดินประกอบด้วยธาตุที่พืชจำเป็นต้องนำไปใช้ในการเจริญ เขาได้เตรียมสารละลายของแร่ธาตุที่ได้จากดิน (soil solution) ขึ้น แล้วทดลองปลูกพืชในสารละลายนี้ พืชสามารถเจริญได้ดี ตั้งแต่นั้นมาเทคนิคในการศึกษาโภชนาการของพืชก็นิยมใช้สารละลายจากดิน และต่อมาเมื่อสามารถทำการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณธาตุต่าง ๆ ในสารละลายของดินได้ จึงได้ดัดแปลงมาใช้สารละลายธาตุอาหารที่เตรียมจากสารอนินทรีย์โดยตรง

การศึกษาเกี่ยวกับความต้องการธาตุอาหารของพืช Devlin (1973) แนะนำให้ใช้การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร (solution culture) โดยให้เหตุผลว่าจะป้องกันการปะปน (contamination) ของสิ่งที่ไม่ต้องการอันเนื่องมาจากฝุ่นละอองในอากาศ จากน้ำ และจากที่อื่น ๆ ได้ อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถควบคุมการปะปนได้หมดทีเดียว ภาชนะที่ใช้บรรจุสารละลายธาตุอาหารควรจะทำด้วย แก้วบอโรซิลิเกต (borosilicale glass) หรือ พลาสติก (natural polyethylene) จะดีที่สุด การทำการทดลองควรให้รากของพืชเท่านั้นจุ่มอยู่ในสารละลายธาตุอาหาร โดยตรึงลำต้นให้ติดกับฝาปิดภาชนะทดลอง และเพื่อให้รากสามารถเจริญได้ดีกับมีการดูดซึมของแร่ธาตุได้มาก ควรผ่านอากาศเข้าไปในสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลาด้วย Epstein (1972) เสนอว่า พี เอช (pH) ของสารละลายธาตุอาหารควรให้อยู่ระหว่าง 5 – 7 เพราะพืช–

ทั่ว ๆ ไปจะเจริญได้ดีในช่วงพีเอชนี้ ขณะทำการทดลอง Salisbury (1969) แนะนำว่า ควรทำการเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก ๆ 2 – 3 วัน หรือทุก ๆ วัน เพราะส่วนประกอบของสารละลายธาตุอาหารจะเปลี่ยนแปลง เนื่องมาจากธาตุบางชนิดถูกดูดซึมไปเร็วกว่าธาตุอื่น ๆ อย่างไรก็ดีหากปลูกพืชเป็นจำนวนน้อย ๆ ในสารละลายธาตุอาหารจำนวนมาก ก็ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารขณะทำการศึกษา แต่ Machlis (1956) เสนอว่า การเติมน้ำกลั่นไปในสารละลายธาตุอาหารทุก ๆ 2 – 3 วัน หรือทุก ๆ วัน เพื่อทดแทนจำนวนน้ำส่วนใหญ่ที่พืชใช้ไปในการคายน้ำ ก็เป็นการเพียงพอแล้ว

การดูดซึมเกลือแร่ของพืชจากดิน เกิดขึ้นที่รากของพืชซึ่งสัมผัสกับดิน ที่บริเวณตอนปลายของราก บริเวณนี้จะต้องเป็นบริเวณที่น้ำซึมเข้าไปได้อย่างรวดเร็วด้วย (Kramer, 1969) อิออนจะเข้าไปในรากโดยผ่านเข้าไปถึงในเนื้อเยื่อท่อน้ำ (xylem) ของราก พบว่าบริเวณที่มีการนำเข้าของอิออนอยู่ห่างจากบริเวณปลาย (apex) ของรากประมาณ 3 เซนติเมตร (Peel, 1974) ส่วนบริเวณปลายราก (apex) จะมีการสะสมของอิออนหลายชนิดเกิดขึ้นอย่างมากมาย จากการศึกษากับรากของข้าวโพด ฝ้าย และถั่ว พบว่าบริเวณที่มีการสะสมของอิออนมากจะอยู่ห่างจากปลายราก (root tip) ประมาณ 1 เซนติเมตร หรือมากกว่า และบริเวณนี้จะมีการเคลื่อนย้ายของอิออนน้อยมาก Kramer (1969) รายงานไว้ว่า บริเวณที่มีการสะสมและการนำเข้าของอิออนจะอยู่ระหว่าง 1 – 6 เซนติเมตรถัดจากบริเวณปลายราก (apex) ไป

การนำเข้าหรือดูดซึมของอิออนเกิดได้ 2 แบบ คือ โดยวิธีการแพร่ (diffusion) หรือกระบวนการทางกายภาพอื่น ๆ ซึ่งไม่ต้องใช้พลังงานของเซลของสิ่งที่มีชีวิตเข้าช่วย เรียกว่า การนำเข้าแบบ passive uptake อีกวิธีหนึ่งของการนำเข้าคือ อิออนถูกนำเข้าได้โดยอาศัยพลังงานเข้าช่วย เรียกการนำเข้าแบบ active uptake กระบวนการนำเข้าแบบ passive uptake ของอิออน อาจเกิดโดยวิธีการแพร่อย่างง่าย ๆ (simple diffusion) อาจเป็นแบบ การแลกเปลี่ยนอิออน (ion exchange) แบบสมดุลย์ของโดแนน (Donan equilibrium) หรือแบบอาศัยการคายน้ำเป็นตัวเหนี่ยวนำ

(transpiration stream) ส่วนกระบวนการนำเข้าแบบ active uptake ของอิออน เชื่อว่าต้องอาศัยตัวพา (carrier) อิออนชนิดนั้น ๆ เข้าไป (Meyer and others, 1973)

การนำเข้าของแร่ธาตุทั้งแบบ passive uptake และ active uptake เกลือแร่จะเกิดการเคลื่อนที่ผ่านจากบริเวณผิวนอกของราก ผ่านเนื้อเยื่อส่วน cortex ของราก แล้วเข้าไปสู่ช่องว่างของเนื้อเยื่อเวสเซลล์ (vessels) ของเนื้อเยื่อท่อนำของราก ต่อจากนั้นจะมีการลำเลียงส่งต่อไปยังส่วนอื่น ๆ ของพืช (Devlin, 1973) แล้วไปสะสมอยู่ในรูปของสารประกอบต่าง ๆ ของพืช ส่วนน้ำตาลและสารประกอบอื่น ๆ ที่เกิดจากการสร้างหรือนำเข้าที่บริเวณใบของพืช จะถูกเคลื่อนย้ายไปในซีบีอิลิเมนต์ (sieve elements) ของเนื้อเยื่อท่ออาหาร (phloem) พบว่ามีการเคลื่อนย้ายไปมาของอิออนระหว่างเนื้อเยื่อท่อนำกับเนื้อเยื่อท่ออาหารด้วย

การเคลื่อนย้ายของอิออนและสารต่าง ๆ ในพืชเกิดโดยกลไก 2 แบบ คือ มีการเคลื่อนย้ายผ่านโปรโตพลาสซึม (protoplasm) ของเซลหนึ่งไปยังโปรโตพลาสซึมของอีกเซลหนึ่งที่อยู่ติดต่อกันไป โดยผ่านทางพลาสโมเดสมาตา (plasmodesmata) ของเซล เรียกกลไกแบบนี้ว่า ซิมพลาสท์ (symplast) อีกแบบหนึ่ง คือมีการเคลื่อนย้ายผ่านไปทางช่องว่างระหว่างเซลหรือระหว่างพลาสมาเลมมา (plasmalemma) เรียกกลไกแบบนี้ว่า อโปพลาส (apoplast) (Peel, 1974)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมเกลือแร่ของพืช มีทั้งองค์ประกอบภายในและองค์ประกอบภายนอก (internal and external environments) ดังต่อไปนี้.- (Devlin, 1973)

1. อุณหภูมิ (temperature) การเพิ่มของอุณหภูมิเป็นผลให้เกิดการเร่งดูดซึมเข้าของเกลือแร่เร็วขึ้น แต่ไม่มากนัก กระบวนการนำเข้าทั้งแบบ passive uptake และ active aptake จะมีมากน้อยเพียงไรขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

2. ความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน (hydrogen ion concentration)

ความสามารถที่จะนำออออนมาใช้ได้จากสารละลายของดิน ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนออออน เพราะการแตกตัวและจำนวนวาเลนซีของออออนต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของพีเอช อย่างไรก็ดี ถือว่ามีผลต่อการเจริญของพืชน้อยมาก

3. ปริมาณของออกซิเจน (oxygen tension) หากไม่มีก๊าซออกซิเจน การนำเข้าแบบ active uptake จะหยุดชะงัก

4. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างออออนต่างชนิดกัน (interaction) การดูดซึมเข้าของออออนชนิดหนึ่งอาจมีผลต่อการดูดซึมเข้าของออออนชนิดอื่น ๆ ได้ เช่น จะมีการนำเข้าของโปแตสเซียม กับโบรมีนน้อยหากไม่มีแคลเซียม และอาจมีการนำเข้าของโปแตสเซียมกับโบรมีนเพิ่มขึ้น หากมีแคลเซียมเพิ่มขึ้น การนำเข้าของแมกนีเซียมก็เช่นกันขึ้นอยู่กับปริมาณของแคลเซียม

5. การเจริญ (growth) การเจริญย่อมทำให้พื้นผิวเซล จำนวนเซล และการสร้างบริเวณยึดจับ (binding sites) ใหม่ ๆ ของตัวพาเพิ่มขึ้น อีกประการหนึ่งการเพิ่มปริมาตรของเซลทำให้มีน้ำอยู่ในเซลมากขึ้น เซลที่เจริญเต็มที่จะมีความเข้มข้นของแร่ธาตุภายในเซลต่ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการเร่งให้เพิ่มการดูดซึม

การเคลื่อนย้ายของแร่ธาตุและสารภายในพืชเกิดขึ้นเมื่อแร่ธาตุต่าง ๆ ถูกดูดซึมโดยรากแล้ว ปริมาณทั้งหมดของแร่ธาตุเหล่านี้จะถูกเคลื่อนย้ายไปยังส่วนอื่น ๆ ของพืช เช่น ใบอ่อน กับส่วนที่กำลังเจริญ จะไม่มีแร่ธาตุเหลืออยู่เลย ณ บริเวณที่เริ่มมีการเคลื่อนย้าย (Meyer and others, 1973) แร่ธาตุจะถูกนำไปใช้ในการสร้างสารประกอบต่าง ๆ แล้วถูกนำกลับหมุนเวียนไปมาในร่างกายของพืช (distributed and redistributed) จำแนกแบบการหมุนเวียนของแร่ธาตุและสารภายในพืชตามชนิดของเนื้อเยื่อที่มันเคลื่อนย้ายผ่านไป ดังนี้.- (Devlin, 1973)

1. การเคลื่อนย้ายของเกลือแร่ในเนื้อเยื่อท่อน้ำ มีการสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อท่อน้ำของรากก่อนแล้วมีการเคลื่อนย้ายไปยังส่วนอื่น ๆ ของลำต้นตามการเคลื่อนที่ของน้ำซึ่งเกิดเนื่องจากการคายน้ำ (transpiration stream)

2. การเคลื่อนย้ายของเกลือแร่ในเนื้อเยื่อทออาหาร ส่วนใหญ่เป็นการเคลื่อนย้ายลงสู่เบื้องล่างของสาร เริ่มจากบริเวณใบไปสู่เนื้อเยื่ออื่น ๆ การเคลื่อนย้ายของเกลือแร่ในเนื้อเยื่อทออาหารมีน้อยมาก

3. การเคลื่อนย้ายไปทางด้านข้าง (lateral) ของร่างกายพืช ผ่านทางเนื้อเยื่อแคมเบียม (cambium tissue) เป็นการเคลื่อนย้ายของเกลือแร่ระหว่างเนื้อเยื่อท่อน้ำ กับเนื้อเยื่อทออาหาร

หากจำแนกแบบแผนของการเคลื่อนย้ายโดยอาศัยทิศทางของการเคลื่อนย้ายกับชนิดของสิ่งที่ถูกเคลื่อนย้าย จะจำแนกได้ดังนี้.- (Meyer and others, 1973)

1. การเคลื่อนย้ายลงของสารอินทรีย์ (organic solutes) จากใบไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช

2. การเคลื่อนย้ายขึ้นของสารอินทรีย์ (organic solutes) จากบริเวณที่กำลังเจริญเติบโตหรือจากบริเวณที่มีการสะสมอยู่

3. การเคลื่อนย้ายขึ้นของแร่ธาตุ (mineral elements) จากรากไปสู่อวัยวะส่วนที่อยู่เบื้องบน แร่ธาตุที่ถูกเคลื่อนย้ายในพืชจะอยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ที่ละลายได้ในน้ำเท่านั้น ปกติจะเกิดการเคลื่อนย้ายในเนื้อเยื่อท่อน้ำ แต่อาจมีการเคลื่อนย้ายได้บ้างในเนื้อเยื่อทออาหาร

4. การเคลื่อนย้ายออก (outward movement) ของแร่ธาตุ (mineral elements) จากใบและอวัยวะด้านข้าง (lateral organs) อื่น ๆ ของพืช

แร่ธาตุที่เคลื่อนย้ายเข้าไปในใบที่ยังคงมีเหลือใช้อยู่ อาจถูกเคลื่อนย้ายกลับไปยังลำต้น แล้วเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนอื่น ๆ ของพืชได้อีก

ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม ซัลเฟอร์ แมกนีเซียม และคลอรีน อาจเคลื่อนย้ายกลับจากใบไปยังส่วนอื่น ๆ ได้ แต่ธาตุแคลเซียม เหล็ก และแมงกานีส ไม่เคลื่อนย้ายกลับ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์เคลื่อนย้ายกลับในสภาพที่เป็นองค์ประกอบรวมของสารประกอบอินทรีย์ แต่ธาตุโปแตสเซียมกับคลอรีนเคลื่อนย้ายออกไปในสภาพที่เป็นอิออน

5. การเคลื่อนย้ายทางด้านข้าง (lateral or cross transfer) ของสาร (solute) ในลำต้น

จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนย้ายของแร่ธาตุและสารในพืชมีทั้งเคลื่อนย้ายในระยะทางสั้น (short distance) ซึ่งอาจวัดได้เป็นไมครอน (microns) กับการเคลื่อนย้ายในระยะทางยาวไกล (long distance) ซึ่งอาจวัดได้เป็นเซนติเมตรหรือเมตร การเคลื่อนย้ายทั้ง 2 แบบนี้มีความสำคัญเท่าเทียมกันต่อการเจริญของพืชและจะเกิดขึ้นควบคู่กันไปด้วย (Peel, 1974)

จากความรู้ในปัจจุบันสามารถวินิจฉัยได้ว่าธาตุอาหารแต่ละชนิดมีบทบาทต่อพืชในสถานะต่อไปนี้ (Strafford, 1970 ; Epstein, 1972)

1. แร่ธาตุเป็นสิ่งจำเป็นต่อพืช

2. การแสดงออกถึงความจำเป็นของแร่ธาตุต่อพืช สามารถสังเกตได้จากกระบวนการทางกายภาพของพืช

3. แร่ธาตุทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง (activators) หรือตัวควบคุม (regulators) ของเอนไซม์ (enzymes) ในกระบวนการเมตาโบลิซึมของพืช

4. รวมตัวกันเป็นสารประกอบต่าง ๆ อันเป็นผลิตผลของกระบวนการเมตาโบลิซึม (metabolites) และหรือสารโมเลกุลใหญ่

5. ใช้ในกระบวนการสมดุลย์ของอิออน (ionic balance) และกระบวนการออกซิเดชั่น – รีดักชั่น (oxidation-reduction system)

รายละเอียดหน้าที่และบทบาทของแร่ธาตุที่มีต่อกระบวนการต่าง ๆ ในการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของพืช สามารถจำแนกได้ดังนี้ – (Devlin, 1973 ; Epstein, 1972 ; Meyer and others, 1973)

ก. ธาตุอาหารในสถานะเป็นองค์ประกอบของสารเมตาโบไลท์ (metabolites) และสารประกอบอื่น ๆ

ไนโตรเจน เป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับ 4 ในพืช โปรตีนประกอบด้วยไนโตรเจน

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ถนนสุขุมวิท ๒๓ แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ ๑๑ โทร. ๒๕๕๑๕๖๐, ๒๕๑๐๐๒๒

ประมาณ 18 เปอร์เซนต์ ไนโตรเจนส่วนใหญ่ถูกพืชดูดซึมไปใช้ในสภาพที่เป็นไนเตรท ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดอะมิโน (amino acids) นิวคลีโอไทด์ (nucleotides) และโคเอนไซม์ (coenzymes) ในใบของพืชจะพบว่ามีไนโตรเจนประมาณถึง 70 เปอร์เซนต์อยู่ในคลอโรพลาสต์ (chloroplast)

ฟอสฟอรัส ส่วนใหญ่จะถูกดูดซึมในสภาพไดไฮโดรเจนฟอสเฟตออออน ($H_2PO_4^-$) มีบทบาทต่อพลังงานในกระบวนการเมตาโบลิซึม มันจะรวมตัวอยู่ในสาร เอทีพี (ATP-adenosine triphosphate) ซึ่งเป็นสารพลังงานสูง นอกจากนี้จะพบฟอสเฟตในฟอสโฟไลปิดส์ (phospholipids) น้ำตาลฟอสเฟต นิวคลีโอไทด์สชนิดต่าง ๆ และโคเอนไซม์

ซัลเฟอร์ ส่วนใหญ่พืชดูดซึมไปใช้ในสภาพที่เป็นซัลเฟตออออน เป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดอะมิโนซีสตีน (cystine) ซีสเตอีน (cystein) และเมไทโอนีน (methionine) กับโปรตีนชนิดต่าง ๆ ที่มีกรดอะมิโนเหล่านี้เป็นองค์ประกอบ ไทอามีน (thiamine) ไบโอทีน (biotin) และโคเอนไซม์เอ (coenzyme A) ต่างก็มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบด้วย

แมกนีเซียม คลอโรฟิล (chlorophyll) ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของพืช ประกอบด้วยอะตอมของแมกนีเซียม ในใบพืชจะมีแมกนีเซียมอยู่ในคลอโรฟิลถึง 10 เปอร์เซนต์ แมกนีเซียมทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและใช้พลังงานในกระบวนการเมตาโบลิซึม

เหล็ก (Iron) สารที่เป็นเมตาโบไลท์หลายชนิดมีอะตอมหรืออออนของเหล็กประกอบอยู่ในโมเลกุลของมัน เช่น ไอออน พอไฟริน (iron porphyrin) ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวกับการส่งผ่านพลังงานในกระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการหายใจของพืช และเอนไซม์หลายชนิด เช่น คาทาเลส (catalase) เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) ดีไฮโดรจีเนส (dehydrogenase) บางชนิด

แมงกานีส ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นของเอนไซม์หลายชนิด เช่น แมงกานิน (manganin)

69068

สังกะสี (Zinc) เป็นธาตุโลหะที่เป็นส่วนประกอบของเมทาลโลเอนไซม์ (metalloenzymes) คีไฮโดรจีเนสหลายชนิด เช่น แอลกอฮอล์คีไฮโดรจีเนส

ทองแดง (Copper) เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิด เช่น แอสคอบิก แอซิด (ascorbic acid) ออกซิเดส (oxidase) และอื่น ๆ และยังเป็นองค์ประกอบของไซโตโครมออกซิเดส (cytochrome oxidase) อีกด้วย

แคลเซียม พบในเอนไซม์อะไมเลส (amylase) แคลเซียมแคทไอออน (calcium cation) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของสารเชื่อมเซลระหว่างผนังเซล (calcium pectate)

โมลิบดีนัม เป็นธาตุโลหะในเมทาลโลเอนไซม์หลายชนิดที่ใช้ในการจับไนโตรเจน และการสลายไนเตรท (nitrogen fixation and nitrate reduction)

โคบอลท์ (Cobalt) เป็นองค์ประกอบของโคเอนไซม์ของวิตามินบี 12 และโคบอลท์ยังมีความจำเป็นต่อกระบวนการจับไนโตรเจนอีกด้วย

โปแตสเซียม คลอรีน และโบรอน ไม่พบเป็นองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ใด ๆ ในพืช แต่เชื่อว่าโบรอนเป็นตัวควบคุมจำเพาะ (specific regulator) ในกระบวนการเมตาโบลิซึมของการ์โบไฮเดรท

ข. ธาตุอาหารในสถานะที่เป็นตัวกระตุ้น องค์ประกอบร่วม (cofactors) หรือตัวควบคุมของเอนไซม์

ไนโตรเจน พบในเอนไซม์ชื่อ ไนเตรทรีดัคเตส (nitrate reductase)

ฟอสฟอรัส ควบคุมการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่นในกระบวนการสร้างเอดีพี (ADP) ไปเป็น เอทีพี (ATP) (phosphorylation) และยังทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นของเอนไซม์หลายชนิดอีกด้วย

ซัลเฟอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์บางชนิด

แมกนีเซียม เป็นตัวกระตุ้นของเอนไซม์มากมายหลายชนิดมากกว่าธาตุอื่น ๆ นอกจากนี้ยังเป็นโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์บางชนิดด้วย

แมงกานีส เป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์แทนแมกนีเซียมได้ในกระบวนการฟอสเฟต ทรานสเฟอริง (phosphate transfering) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์หลายชนิดในกระบวนการหายใจ (Krebs' cycle)

แคลเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง และโคบอลท์ อิออนของธาตุเหล่านี้เป็นโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์หลายชนิดแต่ไม่จำเพาะ

โมลิบดีนัม (Molybdenum) ส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบของเมทาลโลเอนไซม์มากกว่าที่จะเป็นตัวกระตุ้นของเอนไซม์ นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการเหนี่ยวนำการทำงานของเอนไซม์ ไนเตรท รีดัคเตส (nitrate reductase)

คลอรีน คลอไรด์ช่วยในการเชื่อม (binding) ของเอนไซม์ของโฟโตซีสเต็ม ทู (photosystem II) ของกระบวนการสังเคราะห์แสง

โบรอน ควบคุมกระบวนการเมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรท โดยเฉพาะการสลายกลูโคส (glucose) ในกระบวนการไกลโคไลซีส (glycolysis)

โปแตสเซียม ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นของเอนไซม์ไม่น้อยกว่า 46 ชนิด ในพืชชั้นสูง

ค. ธาตุอาหารในกระบวนการสรีรวิทยา (physiological process)

ไนโตรเจน เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของโปรตีน พิวรีน (purines) ไพริมิดีน (pyrimidines) และโคเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีน จึงมีบทบาทต่อการเจริญ

ฟอสฟอรัส จำเป็นต่อการสังเคราะห์ เอทีพี และสารประกอบฟอสเฟตอื่น ๆ อีกมาก จึงมีบทบาทต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมและการเจริญพัฒนา (development) นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมการดูดซึมโมลิบดีนัมของพืชอีกด้วย

ซัลเฟอร์ มีบทบาทต่อการสังเคราะห์สารที่เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนของโปรตีน จำเป็นหลายชนิด รวมถึงเอนไซม์ด้วย

แมกนีเซียม เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ตัวกระตุ้นของเอนไซม์มากมายที่ทำหน้าที่ในกระบวนการฟอสเฟต ทรานสเฟอร์ ซึ่งมีผลต่อเนื่องไปถึงกระบวนการเมตาโบลิซึม

เหล็ก ส่วนใหญ่มีในคลอโรพลาสท์ จึงจำเป็นต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ นอกจากนี้เหล็กยังมีบทบาทต่อการส่งถ่ายพลังงาน (energy transfer) เพราะมันเป็นองค์ประกอบของตัวพาอิเล็กตรอน (electron carrier)

แมงกานิส เป็นองค์ประกอบของสารเมตาโบไลท์หลายชนิดในกระบวนการหายใจ (Krebs' cycle) จึงมีบทบาทต่อกระบวนการหายใจ

สังกะสี เป็นองค์ประกอบของตัวกระตุ้นหลายชนิด จึงทำหน้าที่ควบคุมระดับของฮอร์โมนพืช

ทองแดง มีบทบาทต่อการสังเคราะห์โปรตีน กับการเพิ่มหรือลดปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนที่ละลายได้

โมลิบดีนัม มีบทบาทร่วมในกระบวนการ ไนเตรท รีดักชั่น หากขาดแคลนระดับของน้ำตาลในพืชจะลดต่ำลง

คลอรีน คลอไรด์ อิออน มีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนในโฟโตซีสเต็ม ทู ของกระบวนการสังเคราะห์แสง

ในพืช คลอไรด์ยังมีบทบาทต่อออสโมติก โพเทนเชียล (osmotic potential) ของเซลล์ภาย

โบรอน ควบคุมการสลายของกลูโคสทั้งในกระบวนการไกลโคไลซีสและวิถีเพนโตสชันท์ (pentose shunt pathway)

แคลเซียม ปริมาณความเข้มข้นของแคลเซียมในเนื้อเยื่อที่สมบูรณ์ของพืชหลายชนิดอยู่ระหว่างประมาณ 0.2 – หลายเปอร์เซนต์ ดูเหมือนว่าปริมาณความเข้มข้นของแคลเซียมมีผลต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมน้อยมาก

โปแตสเซียม เป็นตัวกระตุ้นของเอนไซม์หลายชนิด จึงมีผลต่อกระบวนการเมตาโบลิซึม และมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง เพราะมันส่งเสริมการลำเลียงของสารที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงไปยังส่วนอื่น ๆ ของพืช

การดูดซึมอิออน หรือโมเลกุลของเกลือแร่ของพืชนั้นไม่ได้หมายความว่า พืชจะใช้–

ธาตุทุกชนิดที่ถูกดูดซึมไปในทันที จึออนเหล่านั้นยังคงอยู่ในสภาวะเดิมชั่วระยะหนึ่งก่อน แล้วจึงถูกนำไปใช้โดยอาจไปเป็นส่วนประกอบของโมเลกุลที่ซับซ้อนซึ่งสังเคราะห์โดยพืช เช่นโปรตีน สะสม ไกลโคไซด์ (glycosides) เป็นต้น หรือเข้าไปสู่โปรโตพลาสซึมหรือผนังเซล ธาตุบางชนิดพืชไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์เลย (Meyer and others, 1973)

ปริมาณธาตุอาหารในดินมีผลต่อปริมาณการดูดซึมเข้าไปในพืชด้วย หากเพิ่มปริมาณธาตุอาหารลงไปในดิน มันจะถูกดูดซึมโดยพืชในปริมาณที่มากขึ้นกว่าปกติ แต่มิได้หมายความว่าเพิ่มไปในดินเท่าไรพืชดูดซึมไปหมดเท่านั้น ปกติพืชจะดูดซึมธาตุอาหารจากดินในปริมาณที่มากกว่าปริมาณที่พืชจะใช้ในกระบวนการเมตาโบลิซึม (Meyer and others, 1973) ธาตุบางชนิด เช่น ธาตุโปแตสเซียม ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุซัลเฟอร์ และจึออนอื่น ๆ จะถูกสะสมอยู่ในเซลในปริมาณที่มากกว่าที่จำเป็นต้องใช้

<u>การศึกษาเกี่ยวกับการขาดธาตุอาหารและการฟื้นตัวของพืชภายหลังการขาดธาตุอาหาร</u>

หากเกิดการขาดธาตุอาหารหรือสารอื่น ๆ ที่พืชต้องการในดินขึ้น ในไม่ช้าพืชจะแสดงอาการผิดปกติทางด้านการเจริญพัฒนา โดยจะปรากฏการเจริญที่ผิดปกติไป (Marinos, 1963 ; Mehrotra, 1974 ; Garg, 1975 ; Ledovskiĭ, 1976) ลักษณะอาการผิดปกติจะแตกต่างกันไปตามชนิดของธาตุนั้น ๆ (Wallace, 1961 ; Ishizuka, 1971 ; Garg, 1975) ปรากฏการณ์เช่นนี้อาจเกิดได้แม้พืชได้รับธาตุอาหารอย่างสมบูรณ์ และธาตุอาหารเหล่านั้นมีในเนื้อเยื่อของพืช แต่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ ปกติอาการที่แสดงการขาดธาตุอาหารอย่างเดียวกันของพืชแต่ละชนิดจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน (Meyer and others, 1973) อาจแตกต่างกันบ้างในด้านความรุนแรงของอาการนั้น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการธาตุอาหารนั้น ๆ ของพืชที่มีไม่เท่ากัน อย่างไรก็ดีอาการผิดปกติที่เหมือนกัน อาจเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหารที่ต่างชนิดกันก็ได้ (Strafford, 1970 ; Ishizuka, 1971 ; Leach, 1975)

การแสดงออกถึงความผิดปกติของการเจริญของพืช อันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหารนั้น

พืชแสดงในลักษณะที่สามารถสังเกตเห็นได้ ซึ่งการแสดงออกเช่นนี้ก่อให้เกิดประโยชน์แก่เกษตรกร เพราะช่วยให้สามารถตัดสินใจได้ว่าเมื่อไรจึงจำเป็นต้องให้ปุ๋ยแก่พืช และจะให้ปุ๋ยอะไร อย่างไร (Salisbury, 1969 ; Ishizuka, 1971) และอีกวิธีหนึ่งที่จะศึกษาการผิดปกติของการเจริญของพืช คือการวิเคราะห์การเจริญ การวิเคราะห์การเจริญของพืชทำโดยเอาน้ำหนักแห้งของพืชมาทำการวิเคราะห์อัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้งของพืชจะมากน้อยเพียงไรขึ้นอยู่กับความสามารถของพืชที่จะสังเคราะห์แสงได้ เพราะน้ำหนักแห้งคือผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงหักออกจากกระบวนการหายใจ แล้วนำไปสะสมไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช (องอาจ ผ่องลักษณ์, 2518) หากเกิดการขาดธาตุอาหารขึ้นย่อมมีผลกระทบกระเทือนต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงและเกี่ยวเนื่องไปถึงกระบวนการเมตาโบลิซึมในพืช (Ledovskii, 1976) ฉะนั้นผลผลิตของพืชย่อมลดลงได้ (Pankov, 1977) นั่นคือ น้ำหนักแห้งของพืชจะมีอัตราเพิ่มน้อยกว่าปกติ (Mehrotra, 1974)

ลักษณะอาการผิดปกติของพืชอันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหารที่สามารถเห็นได้นั้นได้มีผู้ทำการศึกษามานานแล้ว (Wallace, 1961) และถือเป็นหัวข้อสำคัญข้อหนึ่งในการศึกษาทางกายสรีรวิทยาของพืช (Meyer and others, 1973 ; Devlin, 1973) จนถึงกับได้จัดให้มีบทปฏิบัติการศึกษาการผิดปกติของพืช อันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหาร (Meyer, and others, 1955 ; Machlis, 1956) ขึ้น อย่างไรก็ดี การศึกษาการขาดธาตุอาหารของพืชก็ยังไม่ยุติ คงมีการขยายขอบเขตการศึกษาในพืชชนิดต่าง ๆ และโดยวิธีการต่าง ๆ ออกไปอีกมากมายจนถึงปัจจุบันก็ยังคงมีการศึกษาอยู่ และมีรายงานการศึกษาวิจัยใหม่ ๆ ออกมาทุก ๆ ขณะอีกมากมาย

รายละเอียดเกี่ยวกับอิทธิพลของการขาดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ในพืช มีผู้ทำการศึกษาไว้มาก ผลการศึกษาได้สรุปไว้ในรายงาน (Ishizuka, 1971) และตำราการศึกษาสรีรวิทยาของพืชแทบทุกเล่ม (Wallace, 1961 ; Salisbury, 1969 ; Epstein, 1972 ; Meyer and others, 1973 ; Devlin, 1973 ; Levitt, 1974) ผลการศึกษาจากพืชหลายชนิดได้ผลในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ดุก (Cooke, 1974) ได้สรุปอาการ-

ผิดปกติที่สามารถสังเกตเห็นได้ของพืชที่ขาดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ไว้ ดังนี้.–

– ใบ สีของใบเปลี่ยนไป มีรอยไหม้เกรียม ใบหยิก บางและเปราะ ใบม้วน เนื้อเยื่อตายเป็นบริเวณ แกร็น ด่าง เป็นทางหรือ ด่างเป็นจุด ๆ

– ลำต้น แกร็น ออนแอ ผอม มีจุดสีดำ

– ราก แกร็น ออนแอ ผอม มีจุดสีดำ มีสีน้ำตาล

ผลงานวิจัยศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลและลักษณะที่เกิดจากการขาดธาตุอาหารชนิดต่างๆ ของพืชในช่วงปี ค.ศ. 1974 – 1977 ที่น่าสนใจ มีดังนี้.–

Garg กับ Sinha (1975) ศึกษาการขาดธาตุอาหารในต้น gooseberry พบว่า การขาดธาตุ ไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส และธาตุโปแตสเซียม มีผลต่อความสูงของพืช จำนวนดอกและผล น้ำหนักของผล และการขาดธาตุไนโตรเจนนั้นจะมีผลเสียต่อพืชมากที่สุด

Ledovskiĭ กับ Korzun (1976) ศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยในมะเขือเทศ พบว่า การขาดธาตุไนโตรเจน และธาตุฟอสฟอรัส เป็นผลให้เกิดการลดจำนวนน้ำหนักแห้ง น้ำตาลในพืชลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Göring กับ Mardannov (1977) ที่พบว่า การขาดธาตุไนโตรเจนในต้นกล้าของ pumpkin มีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของลำต้นและราก และทำให้มีปริมาณธาตุโปแตสเซียม กับธาตุแคลเซียมในใบลดลงด้วย ส่วน Leach Friend และ Chase (1975) ได้ศึกษาลักษณะที่เกิดจากการขาดธาตุไนโตรเจน และธาตุซัลเฟอร์ในต้นกล้าของโกโก้ (cocoa) พบว่า ให้ผลคล้ายคลึงกัน คือ พืชจำนวนหนึ่งจะตายไป พวกที่เหลือจะแกร็น ใบพืชจะเหลืองและขอบของใบจะค่อย ๆ ตายไป

Pankov (1977) ศึกษาผลของการขาดธาตุฟอสฟอรัสต่อผลผลิตของหัวผักกาด (carrot) รายงานผลว่าทำให้ผลผลิตลดลง แต่กลับไปเพิ่มจำนวนน้ำหนักแห้งและน้ำตาลในพืช และ Menary กับ Staden (1976) ศึกษากับต้นกล้าของมะเขือเทศ พบว่า

จะเกิดการลดจำนวนดอกลง

Cassidy (1977) ศึกษาการขาดธาตุโปแตสเซียมในพืชไร่พืชสวนหลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล ถั่ว (bean) ส้ม มะพร้าว ปาล์มน้ำมัน (oil palm) และยางพารา พบว่า จะเกิดผลให้ใบผิดปกติไป Fregoni กับ Scienza (1977) ก็รายงานผลการศึกษาว่า การขาดธาตุโปแตสเซียมในดิน ใบและโคนใบของต้นองุ่นจะทำให้ใบมีสีแดงหรือสีเหลือง

Kudrev กับ Georieva (1977) ศึกษาการขาดธาตุแมกนีเซียมของข้าวโพด พบว่า ทำให้ปริมาณฟอสโฟไลปิดส์ (phospholipids) ในใบลดลง ซึ่งมีผลต่อเนื่องทำให้อายุของใบก็ลดลงด้วย

Neely (1977), Sakal (1977) รายงานผลสอดคล้องกันว่า การขาดธาตุเหล็กในพืชจะทำให้ใบบริเวณยอดของพืชมีสีซีดลง (chlorosis) ส่วน Mehrotra กับ Misra (1974) รายงานผลการศึกษาว่า การขาดธาตุโบรอน ธาตุเหล็ก ธาตุแมงกานีส ธาตุโมลิบดีนัม ธาตุสังกะสี หรือธาตุทองแดง จะมีผลให้เกิดการผิดปกติในด้านจำนวนของใบ น้ำหนักของใบ ของเหลวภายในใบ ขนาดของใบ

Obbink Alexander และ McE (1976) ศึกษาการขาดธาตุแคลเซียมกับต้นอ่อนของ Avocado และ Gavalas (1975) ศึกษากับต้นมะกอก (olive) รายงานผลสอดคล้องกันว่า จะทำให้ใบยอดเกิดมีสีซีดลง (chlorosis) เปราะ เหี่ยว และตอมายอดพืชก็ตาย ส่วน Simpson Pinkerton และ Lazdovski (1977) รายงานผลการศึกษาว่า จะมีผลทำให้รากผอมลง เปราะ และไม่แตกแขนงด้วย

การศึกษาเกี่ยวกับการฟื้นตัวของพืชภายหลังการขาดธาตุอาหารนั้น เป็นที่ทราบกันมานานในบรรดาเกษตรกรว่าพืชสามารถที่จะฟื้นตัวเป็นปกติได้หลังการแสดงลักษณะขาดธาตุอาหาร เมื่อได้เติมปุ๋ยลงไปในดินในแปลงปลูกพืชนั้น ๆ หรือให้ปุ๋ยไปทางใบของพืช (foliar spray) แล้วอาการผิดปกติก็จะค่อย ๆ หายไป (Fregoni, 1977) คำแนะนำการให้ปุ๋ยแก่พืชปรากฏในตำราเกษตรกรรมทั่ว ๆ ไป (อิกเนติอัฟ, 2509 ; 2513) ส่วนใหญ่เป็น–

คำแนะนำในการให้ปุ๋ยแก่พืชก่อนทำการเพาะปลูก และในช่วงที่พืชกำลังเจริญอยู่เป็นปกติ ส่วนการให้ปุ๋ยแก่พืชภายหลังการแสดงอาการผิดปกติ อันเนื่องมาจากการขาดแคลนธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ นั้น มีการศึกษากันค่อนข้างน้อย (อิกเน็ตออฟ, 2513) และไม่มีปรากฏการณ์เช่นนี้บ่อยนัก เนื่องจากเกษตรกรนิยมให้ปุ๋ยก่อนทำการเพาะปลูกพืชเสียก่อนแล้ว ปัจจุบันมีรายงานการศึกษาที่น่าสนใจดังนี้.-

Hadj-Hassan (1976) รายงานว่า การให้ธาตุไนโตรเจนจำนวนมาก ๆ กับต้น gooseberry ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณนำเข้าและใช้ธาตุฟอสฟอรัสกับธาตุแคลเซียมของพืชด้วย ส่วน Goode กับ Kyrycz (1976) ซึ่งศึกษากับต้นแอปเปิลได้รายงานว่าการให้ธาตุไนโตรเจนในจำนวนที่มากกว่าปกติ ทำให้เพิ่มปริมาณการเจริญของพืช และ Stewart กับ Porter (1969) ซึ่งศึกษากับข้าวสาลี พบว่าการให้ธาตุไนโตรเจนปริมาณมาก ๆ และเป็นอัตราส่วนกับธาตุซัลเฟอร์ 12 – 15 ต่อ 1 จะทำให้สามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งและปริมาณโปรตีนในพืชได้

Ranganathan กับ Ganesan (1977) รายงานว่าการให้ K_2O แก่ต้นชา (tea) เป็นจำนวนมาก ร่วมไปกับการให้ธาตุไนโตรเจน จะเพิ่มผลผลิตของต้นชาได้ และ Walker กับ Bergeaux (1977) กับ Savotskii (1977) ซึ่งศึกษากับต้นข้าวโพด รายงานผลสอดคล้องกันว่า การเพิ่มปริมาณปุ๋ยโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม จะทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตได้สูงกว่าการให้ธาตุเหล่านี้ในปริมาณที่น้อยกว่า

Hsiao Hageman และ Tyner (1970) พบว่าการขาดธาตุโปแตสเซียมทำให้พืชชะงักการเจริญ แต่เมื่อเติมธาตุโปแตสเซียมลงไปให้แก่พืชที่แสดงอาการขาดธาตุโปแตสเซียม จะทำให้ปริมาณโปรตีนในพืชสูงขึ้น Fregoni กับ Scienza (1977) ก็รายงานในทำนองเดียวกันว่า การให้ธาตุโปแตสเซียมจำนวนมากแก่ต้นองุ่นที่แสดงอาการขาดธาตุโปแตสเซียม ทั้งโดยวิธีให้ทางรากและทางใบ จะทำให้อาการใบสีแดงหรือเหลืองกลับกืนเป็นสีปกติได้ แต่ Cain (1975) ศึกษากับต้นแอปเปิล พบว่า การให้พืชได้รับธาตุโปแตสเซียมมากเกินไป จะทำให้เกิดการลดปริมาณธาตุแมกนีเซียมในใบพืชลงได้ ในทางที่–

กลับกัน หากพืชได้รับธาตุแมกนีเซียม หรือธาตุซัลเฟอร์มากเกินไปก็มีผลในการลดธาตุโปแตสเซียมในใบลงเช่นกัน

Worly Carter และ Johnson (1975) รายงานว่า การเพิ่มปริมาณธาตุแมกนีเซียมให้แก่พืช จะทำให้อาการที่แสดงการขาดธาตุแมกนีเซียมหายไปได้ Fankhauser Schummachur และ Stadler (1976) รายงานว่า อาการรอยด่างเป็นจุดบนใบของพืช กับอาการร่วงของใบอ่อน จะลดน้อยลงอย่างรวดเร็วเมื่อพืชได้รับธาตุแมกนีเซียมจำนวนพอเพียง และ Webb (1977) ก็รายงานผลการศึกษาที่สอดคล้องกันอีกว่า รอยด่างสีส้มบนใบอ่อยแสดงถึงการขาดธาตุแมกนีเซียมจะสามารถหายไปได้เมื่อพืชได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณที่พอเพียง

การแก้ไขอาการที่เกิดจากการขาดธาตุเหล็กของพืชนั้น Derbisher (1976) รายงานว่าการแก้ไขอาการที่ใบพืชมีสีซีด (chlorosis) และเป็นกระจุก (rosetting) ของใบอ่อนบริเวณยอด เมื่อให้ FLTs (Fe + levoglucosan + Zn) แก่พืชจะรักษาอาการนี้ได้ Smith (1976) แนะนำให้ใช้ Ferric ammonium citrate แก่ต้นโอ๊ก เมื่อใบเกิดอาการ chlorosis อันเนื่องมาจากขาดธาตุเหล็ก จะทำให้ใบมีสีเขียวขึ้น ส่วน Seeliger กับ Moss (1976) รายงานผลการแก้ไขอาการขาดธาตุเหล็กของต้นถั่ว (peas) ว่าการให้ ferrous sulphate โดยวิธีให้ทางใบในไม่ช้าอาการนั้น ๆ จะหายไป และถ้าให้ซ้ำอีก 1 ครั้ง ในช่วงเวลา 3 สัปดาห์ต่อมา จะสามารถเพิ่มน้ำหนักของผักถั่วขึ้นถึง 100 เปอร์เซนต์ก็ด้วย

Ishizuka (1971) ได้แถลงถึงวัตถุประสงค์ในการศึกษาลักษณะของพืชที่เกิดจากการขาดธาตุอาหาร ในพืชไร่หลาย ๆ ชนิดของเขากับคณะ เพื่อให้เกษตรกรสามารถใช้เป็นหลักเบื้องต้นในการวินิจฉัยอาการผิดปกติของพืชที่สังเกตเห็นได้อันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหารไดอย่างกว้าง ๆ เขาและคณะยังได้ทำการทดลองต่อมาถึงการฟื้นตัวภายหลังการขาดธาตุอาหารของพืชนั้น ๆ และรายงานให้เห็นด้วยภาพว่า ต้นข้าวในแปลงทดลองที่แสดงอาการขาดธาตุเหล็กซึ่งใบบริเวณยอด 3 – 4 ใบมีอาการเป็นสีเขียวจาง ๆ (chlorosis) นั้น เมื่อให้พืชได้รับธาตุเหล็กเพิ่มไปบริมาณหนึ่ง ใบเหล่านั้นจะกลับมีสีเขียวเป็นปกติอีกครั้งหนึ่งได้.

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

กลุ่มตัวอย่าง

1. การทดลองนี้ใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดพันธุ์ สุวรรณ 1 ของภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

2. แร่ธาตุที่จะทำการทดลองให้ขาดแคลน เป็นธาตุจำพวก macronutrient elements จำนวน 7 ธาตุ คือ ธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม ธาตุซัลเฟอร์ ธาตุแมกนีเซียม ธาตุแคลเซียม และธาตุเหล็ก

3. สารละลายธาตุอาหาร (nutrient solution) ที่ใช้ในการทดลอง เป็นสารละลายธาตุอาหารที่ดัดแปลงมาจากของ Sach's water culture solution กับสูตรสารละลายธาตุอาหารของ Johnson et al. (ดูตาราง 1)

4. สถานที่ทำการทดลอง เป็นห้องทดลองที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มของแสงสว่างได้ ณ ศึกษีวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร กรุงเทพมหานคร

5. ระยะเวลาทำการทดลอง เริ่มทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2520 จนถึงวันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2520

การดำเนินการทดลอง

1. การเตรียมสถานที่ทดลอง จัดสร้างห้องทดลองขนาด 5 x 4 ตารางเมตร สูง 2.25 เมตร บุผนังภายในและเพดานด้วยแผ่นโฟม (สีขาว) เพื่อให้สามารถสะท้อนแสงได้ เพดานติดหลอดไฟฟลูออเรสเซนส์ ชนิด Day light ขนาดกำลังสว่าง 40 วัตต์ จำนวน 60 หลอด จัดเรียงเป็น 15 แถว เว้นระยะห่างแต่ละแถวเท่า ๆ กัน แต่ละแถวมีหลอดไฟติดเรียงต่อกัน 4 หลอด ระหว่างทุก ๆ 2 แถวของหลอดฟลูออเรสเซนต์ติดไฟคาง

(incandescent lamp) ที่มีกำลังส่วาง 60 วัตต์ เป็น 8 แถว แถวละ 4 ดวง รวมจำนวน 32 ดวง เว้นระยะระหว่างดวงไฟแต่ละแถวเท่า ๆ กันโดยให้อยู่ตรงกึ่งกลางความยาวของหลอดฟลูออเรสเซนส์ในแต่ละแถว ซึ่งการติดไฟฟ้าโดยวิธีการเช่นนี้จะทำให้บริเวณพื้นห้องทดลองได้รับแสงที่มีความเข้มโดยเฉลี่ยเท่า ๆ กันตลอดทั้งห้อง

จัดทำร้านสำหรับวางกะบะทดลองสูง 50 เซนติเมตร เป็น 2 ชุด คือขนาด 4 × 2 ตารางเมตร สามารถวางกะบะทดลองขนาด 100×50 ตารางเซนติเมตรได้ 16 กะบะ กับขนาด 4 × 1 ตารางเมตร สามารถวางกะบะทดลองขนาด 100 × 50 ตารางเซนติเมตรได้ 8 กะบะ

การควบคุมความเข้มของแสงสว่าง เปิดไฟฟ้าให้ความสว่างแก่พืชเป็นเวลา 15 ชั่วโมงต่อวัน ความเข้มของแสงสว่างโดยเฉลี่ยที่ระดับแผ่นโฟมที่ปิดกะบะเป็น 3,800 ลักซ์ (lux)

การควบคุมอุณหภูมิในห้องทดลอง ใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 บี.ที.ยู. 2 เครื่อง ในขณะให้แสงสว่างแก่พืชอุณหภูมิโดยเฉลี่ยเป็น 30 องศาเซลเซียส และในช่วงเวลาที่ไม่ให้แสงสว่างอุณหภูมิโดยเฉลี่ยเป็น 25 องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดลองโดยเฉลี่ย 50 เปอร์เซนต์

2. การวางแผนการทดลอง แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอนที่ต่อเนื่องกัน (ดูแผนผังการทดลอง) การทดลองที่ 1 เป็นการทดลอง 3 ซ้ำ ส่วนการทดลองที่ 2 เป็นการทดลองเพียง 1 ซ้ำ ทั้งการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 มีตัวควบคุมการทดลอง

2.1 การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาถึงการผิดปกติของต้นข้าวโพดอันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหาร

<u>วิธีการ</u>

2.1.1 การเตรียมอุปกรณ์ (แสดงอุปกรณ์การทดลองเฉพาะ 1 กะบะทดลอง)

– กะบะปลูกพืช จัดทำเป็นกะบะไม้รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 100 × 50 ตารางเซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร บุภายในกะบะเพื่อใส่สารละลาย–

ธาตุอาหารด้วยพลาสติกใสสีขาว 2 ชั้น

– แผ่นโฟมหนา 3 เซนติเมตร ขนาด 100 × 50 ตาราง–, เซนติเมตร ใช้สำหรับปิดกะบะทดลองและเป็นที่ยึดจับของต้นข้าวโพด แผ่นโฟมเจาะเป็นรูกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ให้มีระยะห่างกันระหว่างรูเป็น 10 เซนติเมตร รวม 50 รู และตรงตำแหน่งรูที่ 50 (มุมแผ่นโฟม) เจาะเป็นช่องกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นช่องสำหรับเติมสารละลายธาตุอาหารหรือน้ำกลั่น

– สารละลายธาตุอาหาร เตรียมใส่กะบะทดลอง กะบะละ 50 ลิตร

– การควบคุมปริมาณอากาศในสารละลายธาตุอาหารที่อยู่ในกะบะทดลอง ใช้ท่อพลาสติกใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.50 เซนติเมตร เป็นท่อนำอากาศจากเครื่องอัดอากาศมาสู่สารละลายธาตุอาหารในกะบะทดลอง ให้ส่วนปลายของท่อนำอากาศอยู่ตรงบริเวณกึ่งกลางกะบะพอดี (ใช้เครื่องอัดอากาศซึ่งอัดอากาศได้ 65 ลูกบาศก์นิ้วต่อนาที จำนวน 2 เครื่อง โดยใช้ 1 เครื่องต่อพ่วงท่ออากาศไปยังกะบะทดลอง 12 กะบะ) อัดอากาศไปในสารละลายธาตุอาหารตลอดเวลาทำการทดลอง

2.1.2 การเตรียมพืช

– เพาะเมล็ดข้าวโพด โดยนำเมล็ดข้าวโพดที่มีอายุเมล็ดเท่ากันมาคัดเลือกให้มีขนาดเมล็ดเท่า ๆ กัน นำไปแช่น้ำไว้ 12 ชั่วโมง แล้วนำไปเพาะในถาดซึ่งบุพื้นถาดด้วยกระดาษซับที่ชุ่มน้ำอยู่ตลอดเวลา เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมล็ดจะงอกย้ายเมล็ดที่งอกไปปลูกในกะบะทราย ขนาด 100 × 100 × 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร กะบะละ 400 เมล็ด จำนวน 4 กะบะ รวม 1,600 เมล็ด ปล่อยให้งอกเป็นต้นอ่อนและได้รับแสงสว่างจนมีอายุ 10 วัน

– นำต้นข้าวโพดที่ปลูกไว้ในกะบะทราย มาจำนวน 49 ต้น โดยคัดเลือกเอาต้นที่มีความสมบูรณ์คล้าย ๆ กัน การถอนต้นข้าวโพดจากกะบะทรายพยายามอย่าให้รากขาดมากนัก ทำโดยวิธีรดน้ำให้ชุ่มกะบะแล้วค่อย ๆ ดึงลำต้นข้าวโพดขึ้น ล้างบริเวณ

ลำต้นและรากที่มีทรายติดอยู่ให้หมดทรายด้วยน้ำกลั่น แล้วตัดเอาส่วนที่เป็นเอ็นโดสเปอร์ม (endosperm) ออกทุก ๆ ต้น

2.1.3 การดำเนินการทดลอง

– นำต้นข้าวโพดที่ล้างทรายออกจากบริเวณโคนต้นและรากหมดแล้ว ไปปลูกในกะบะสารละลายธาตุอาหารที่เตรียมไว้ ใส่ส่วนรากและโคนต้นไปในช่องที่เจาะไว้บนแผ่นโฟมแล้วใช้สำลีหุ้มรอบโคนลำต้น เพื่อให้สามารถตั้งตรงอยู่ได้ในช่องบนแผ่นโฟมและไม่หลุดเลื่อนลงไป ให้ส่วนที่เป็นรากเท่านั้นแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหาร

2.1.4 การควบคุมการทดลอง

จัดเตรียมอุปกรณ์และพืชเช่นเดียวกับข้อ 2.1.1 และข้อ 2.1.2 แต่ใช้สารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุอาหารครบทุกธาตุ (complete nutrient solution)

ตรวจดูปริมาณของสารละลายธาตุอาหารในกะบะทุก ๆ 3 วัน และควบคุมให้มีปริมาณคงที่โดยเติมน้ำกลั่นทุกครั้ง

2.1.5 การเก็บเกี่ยวพืช

เก็บพืชมาเพื่อตรวจสอบครั้งละ 5 ต้น การเก็บพืชใช้วิธีสุ่มตัวอย่าง (random number)

2.2 การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาการฟื้นตัวของต้นข้าวโพดภายหลังจากที่แสดงออกถึงลักษณะการขาดธาตุอาหาร

วิธีการ ดำเนินการต่อจากการทดลองที่ 1 ซึ่งขณะนี้จะมีต้นข้าวโพดเหลืออยู่กะบะละ 41 ต้น (รวม 8 ชุด จำนวน 24 กะบะ)

– เตรียมสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุอาหารครบทุกชนิดเติมลงไปในกะบะทุก ๆ กะบะ (ปริมาณธาตุอาหารที่เติมลงไปเท่ากับตอนเริ่มการทดลองที่ 1)

– แต่ละชุดการทดลองที่ขาดธาตุอาหาร 1 ธาตุ จะมี 3 กะบะ, รวม 7 ชุด 21 กะบะ ดำเนินการเติมธาตุอาหารที่ขาดไป (หลังจากเติมสารละลายธาตุอาหารที่มีทุก ๆ ธาตุครบแล้ว) ดังนี้

2.2.1 ขาดธาตุไนโตรเจน

กะบะที่ 1 ไม่เพิ่มเติมธาตุ

กะบะที่ 2 เติม $NaNO_3$ 59 กรัม

กะบะที่ 3 เติม $NaNO_3$ 118 กรัม

2.2.2 ขาดธาตุฟอสฟอรัส

กะบะที่ 1 ไม่เพิ่มเติมธาตุ

กะบะที่ 2 เติม $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ 71 กรัม

กะบะที่ 3 เติม $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ 142 กรัม

2.2.3 ขาดธาตุโปแตสเซียม

กะบะที่ 1 ไม่เพิ่มเติมธาตุ

กะบะที่ 2 เติม KCl 52 กรัม

กะบะที่ 2 เติม KCl 104 กรัม

2.2.4 ขาดธาตุซัลเฟอร์

กะบะที่ 1 ไม่เพิ่มเติมธาตุ

กะบะที่ 2 เติม K_2SO_4 20 กรัม

กะบะที่ 3 เติม K_2SO_4 40 กรัม

2.2.5 ขาดธาตุเหล็ก

กะบะที่ 1 ไม่เพิ่มเติมธาตุ

กะบะที่ 2 เติม $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0.5 กรัม

กะบะที่ 3 เติม $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 1.0 กรัม

2.2.6 ขาดธาตุแมกนีเซียม

กะบะที่ 1 ไม่เพิ่มเติมธาตุ

กะบะที่ 2 เติม $MgCl_2$ 21 กรัม

กะบะที่ 3 เติม $MgCl_2$ 42 กรัม

2.2.7 ขาดธาตุแคลเซียม

กะบะที่ 1 ไม่เพิ่มเติมธาตุ

กะบะที่ 2 เติม $CaCl_2$ 16 กรัม

กะบะที่ 3 เติม $CaCl_2$ 32 กรัม

ปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มเติมลงไปเป็นพิเศษนี้ จะทำให้ในสารละลายของแต่ละกะบะทดลอง จะมีปริมาณธาตุอาหารที่เคยขาดไปเพิ่มขึ้น ดังนี้

กะบะที่ 1 ปริมาณธาตุนั้น ๆ มีความเข้มข้นเป็นปกติ

กะบะที่ 2 ปริมาณธาตุนั้น ๆ มีความเข้มข้นเป็น 3 เท่าของปกติ

กะบะที่ 3 ปริมาณธาตุนั้น ๆ มีความเข้มข้นเป็น 5 เท่าของปกติ

– เติมสารละลายธาตุอาหารที่มีธาตุอาหารครบและมีปริมาณธาตุต่าง ๆ เท่ากับตอนเริ่มต้นการทดลองที่ 1 อีก 2 ครั้ง คือทุก 2 สัปดาห์หลังจากเริ่มการทดลองที่ 2 แล้ว

– เติมน้ำกลั่นทุก ๆ 3 วัน เพื่อรักษาปริมาณของสารละลายให้คงที่

– ใส่สารฆ่าเชื้อราและบักเตรีในน้ำ โดยใช้ไดเทนเอ็ม – 45 (Dithane M-45) ซึ่งมีส่วนประกอบของสารออกฤทธิ์ (active ingredients) ดังนี้.–

1. Mn^{++} 16 เปอร์เซ็นต์

2. Zn^{++} 2 เปอร์เซนต์

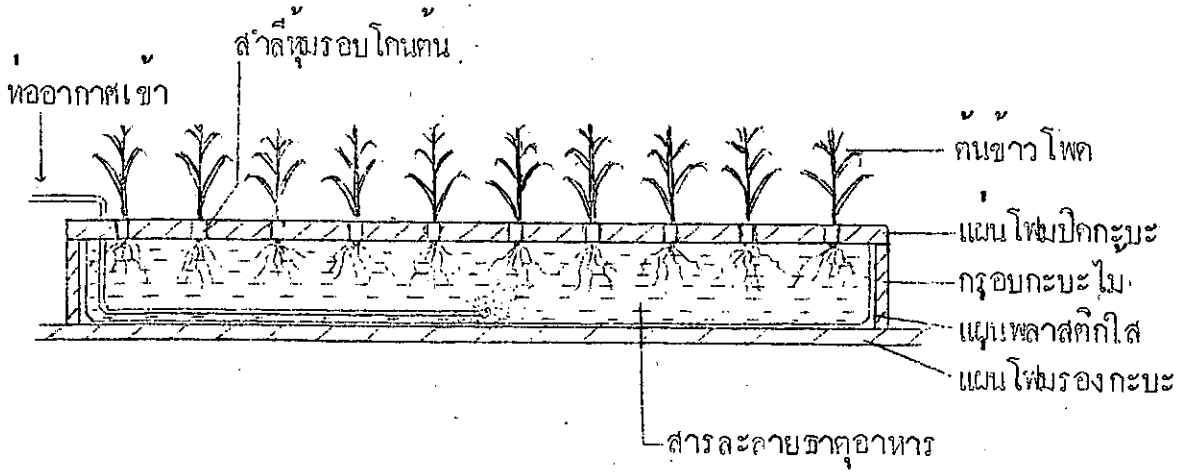
3. $C_4H_6N_2S_4$ (Ethylene bisdithiocarbamate ion)

62 เปอร์เซนต์

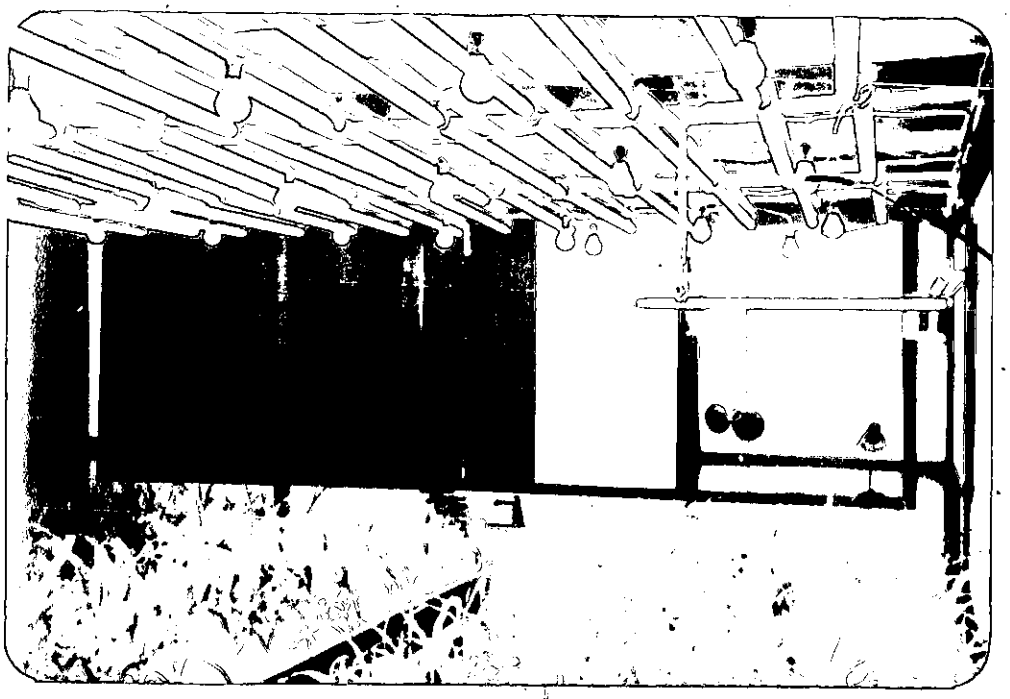
เติมสารละลายของไดเทนเอ็ม – 45 จำนวน 0.5 กรัมต่อ 1 กะบะทดลอง เมื่อเริ่มการทดลองที่ 2.

– การเก็บเกี่ยวพืช

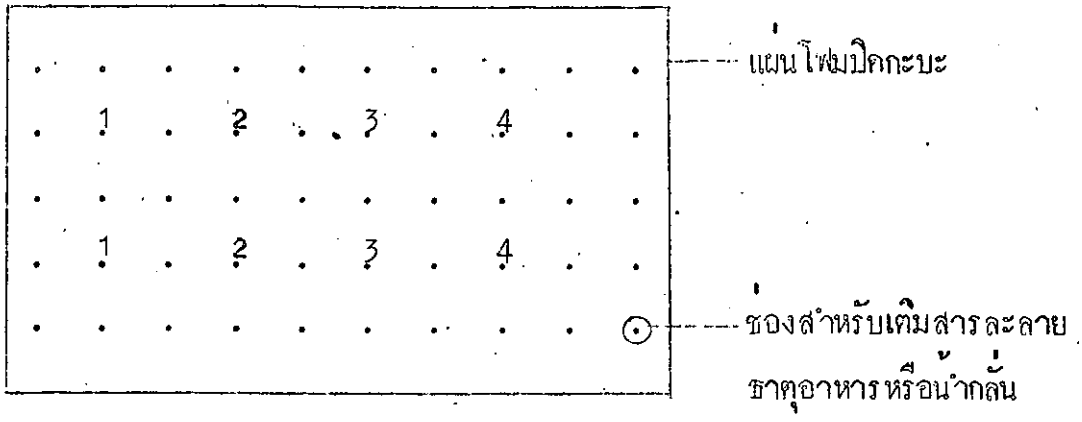
เก็บพืชมาเพื่อตรวจสอบครั้งละ 5 ต้น การเก็บพืชใช้วิธีสุ่มตัวอย่าง (random number)



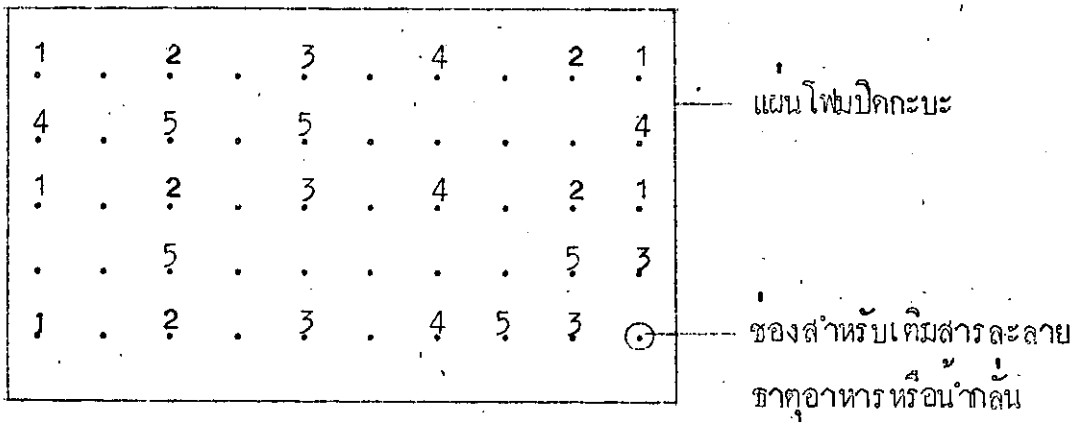
ภาพ 1 แผนผังกะบะทดลองทางด้านข้าง



ภาพ 2 สภาพภายในห้องทดลอง

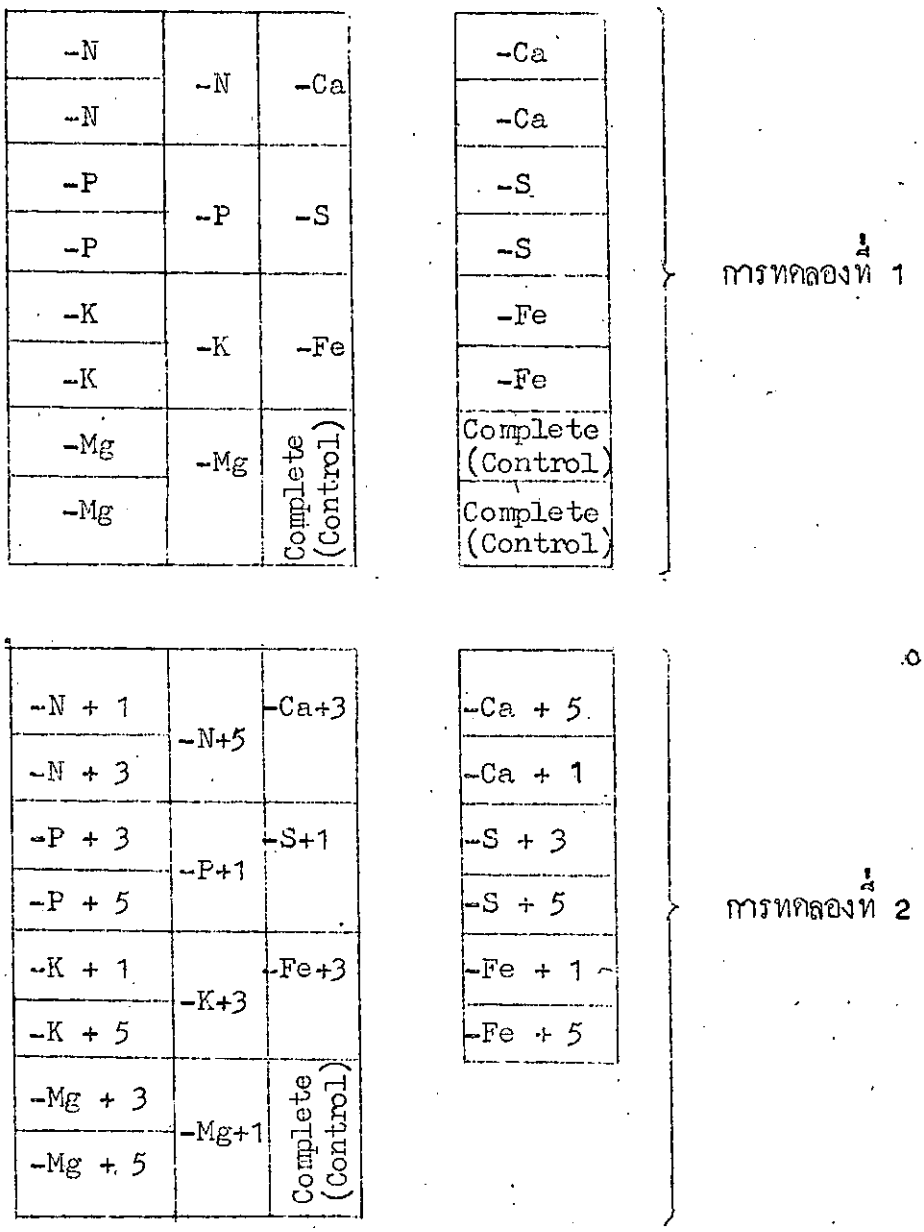


ภาพ 3 ตำแหน่งต้นข้าวโพดที่จะเก็บเกี่ยว ครั้งที่ 1, 2, 3 และ 4 สำหรับการทดลองที่ 1 (เก็บกะบะละ 2 ต้น รวม 3 กะบะ เป็น 6 ต้น คัดทิ้งเสีย 1 ต้น)



ภาพ 4 ตำแหน่งต้นข้าวโพดที่จะเก็บเกี่ยว ครั้งที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 สำหรับการทดลองที่ 2 (เก็บกะบะละ 5 ต้น)

ภาพ 5 แผนผังการทดลอง



การทดลองที่ 1 : – หมายถึง ขาด

การทดลองที่ 2 : – ข้อธาตุ หมายถึง ขาดธาตุนั้น ๆ

\+ ตัวเลข หมายถึง เพิ่มปริมาณธาตุที่ขาดไป คือ 1 = ปริมาณปกติ 3 = เป็น 3 เท่าของปกติ และ 5 = เป็น 5 เท่าของปกติ

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

การศึกษาการขาดธาตุอาหารและการฟื้นตัวของข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร เมื่อได้รับธาตุอาหารที่ขาดไปในปริมาณต่าง ๆ กันนั้น แบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาลักษณะผิดปกติที่สังเกตเห็นได้ของข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้ง และการเจริญของใบ กับการทดลองที่ 2 ซึ่งเป็นการศึกษาที่ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1 โดยเพิ่มธาตุที่ข้าวโพดขาดแคลนจนแสดงอาการผิดปกติให้สังเกตเห็นได้เป็นปริมาณที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาว่า อาการผิดปกตินั้น ๆ จะกลับเป็นปกติได้หรือไม่ เพียงไร การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้ง และการเจริญของใบ ในการศึกษาครั้งนี้ ผลการศึกษาทดลองจะใช้การเปรียบเทียบกับตัวควบคุม ซึ่งเป็นข้าวโพดที่ปลูกในสภาพแวดล้อมอื่น ๆ เช่นเดียวกันแต่ได้รับธาตุอาหารครบเป็นปกติ

<u>ผลการทดลอง</u>

1. การทดลองที่ 1

ศึกษาลักษณะผิดปกติที่สังเกตเห็นได้ของข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้ง และการเจริญของใบ

1.1 ลักษณะของต้นข้าวโพดที่ปกติและต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร

1.1.1 ข้าวโพดที่ได้รับธาตุอาหารครบทุกชนิด ซึ่งเป็นตัวควบคุมในการทดลองครั้งนี้มีลักษณะ

ก. ลำต้น อวบ แข็งแรง และมีความสูงโดยเฉลี่ยสูงกว่าต้นที่ขาดธาตุอาหารทุก ๆ ชนิด

ข. ใบ ตัวใบกว้าง ยาว และหนา ใบทุก ๆ ใบมีสีเขียวค่อนข้างแก่ตลอดตัวใบ ไม่เกิดอาการเป็นสีเหลืองและการตายของใบเกิดขึ้นเลย ใบยอดจะมีสีเขียวอ่อน ไม่มีการพริ้วของขอบใบหรือเกิดรอยหยักบนตัวใบ มุมระหว่างตัวใบกับลำต้นประมาณ 50 องศา

ค. ราก มีรากแขนงมาก มีรากขนอ่อนมาก รากมีสีขาวและยาว

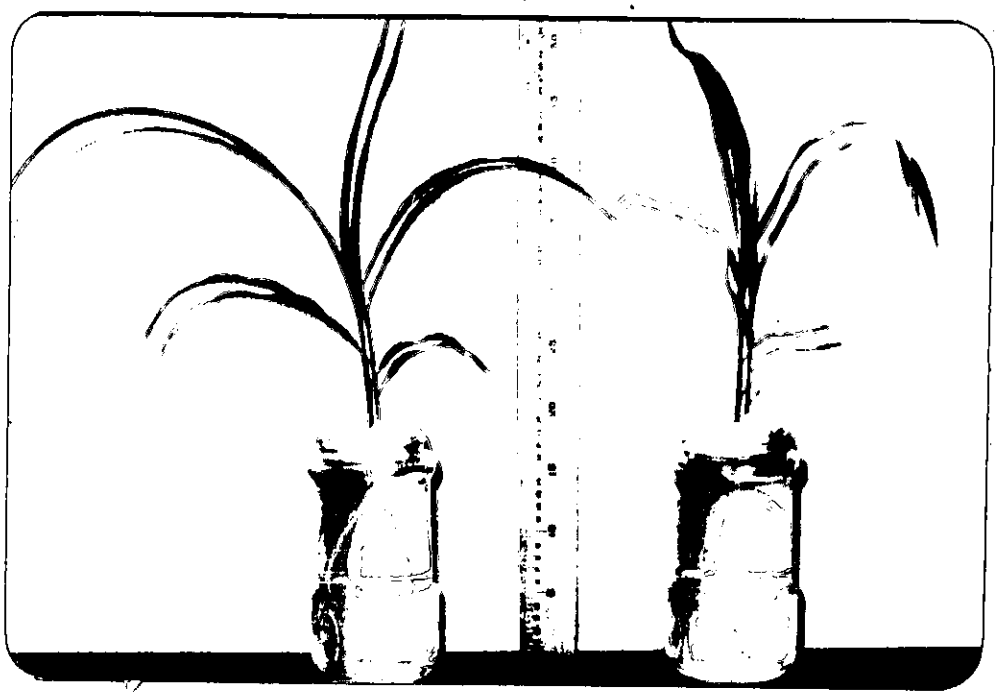
1.1.2 ข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน

ก. ลำต้น ผอม เตี้ย ไม่อวบน้ำ และค่อย ๆ เหี่ยวแห้งไปเรื่อย ๆ ส่วนยอดเจริญน้อยมากจะมีขนาดเล็ก มีสีเขียวปนเหลืองและเหี่ยว สามารถเห็นได้อย่างชัดเจน

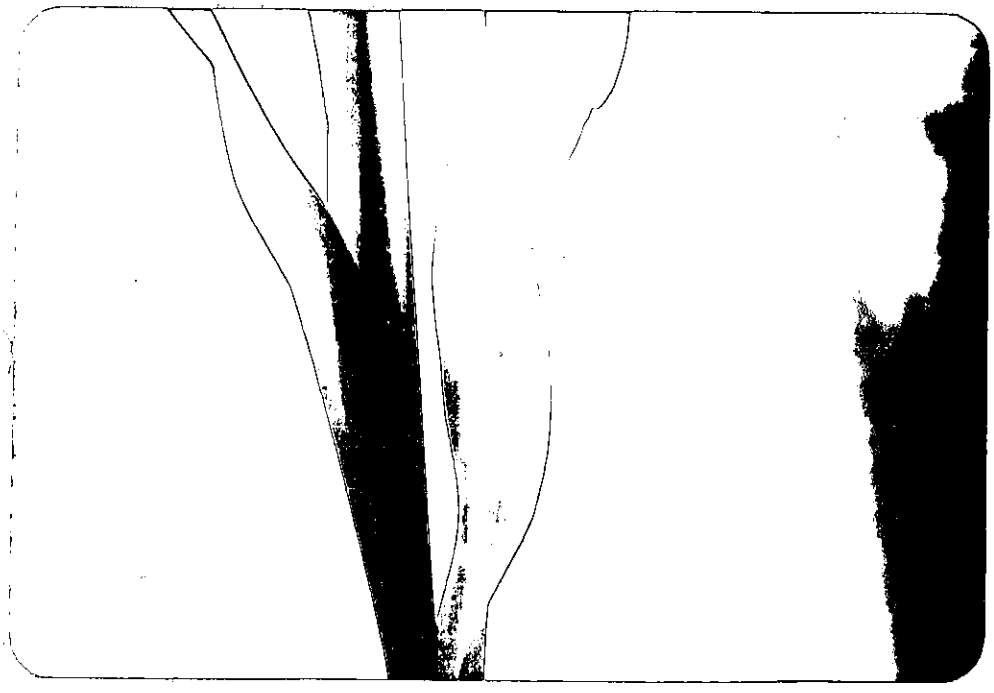
ข. ใบ เรียวแคบ มุมระหว่างตัวใบกับลำต้นเป็นมุมแหลมมาก ใบล่างจะค่อย ๆ เหลืองไปจนเป็นสีน้ำตาลปนเหลืองจนถึงสีน้ำตาลแก่และเหี่ยวแห้งตายไป เริ่มจากบริเวณปลายใบไปยังฐานใบ อาการเป็นสีเหลืองของใบเกิดกับใบล่างสุดก่อนแล้วจึงเกิดกับใบถัดขึ้นมาตามลำดับ

ค. ราก ผอม ยาวพอสมควร มีรากแขนงน้อย รากขนอ่อนน้อย รากจะค่อย ๆ เปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลอ่อน

ภาพ 6 ก. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจนกับต้นปกติ (อายุ 25 วัน)



ภาพ 6 ข. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจนกับต้นปกติ (อายุ 25 วัน)



ภาพ 7 ลักษณะของใบข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน

อาการผิดปกติที่สังเกตได้ก่อนอื่นคือ อาการเหลืองของใบที่เกิดกับใบล่างสุดก่อน-

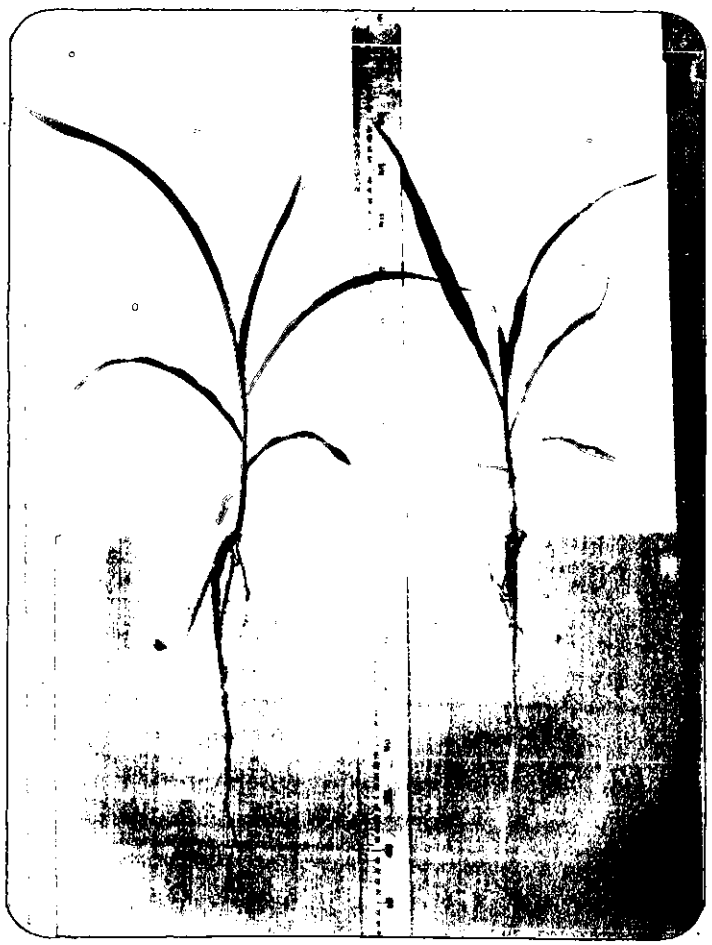
แล้วเกิดกับใบถัดขึ้นมาตามลำดับ จะเริ่มสังเกตเห็นได้ตั้งแต่วันที่ 5 – 6 เป็นต้นไป

1.1.3 ข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส

ก. ลำต้น จะค่อย ๆ เหี่ยวลง ๆ ผอมและสูงน้อยกว่าต้นปกติ ยอดจะแกร็นและมีสีเขียวเข้ม

ข. ใบ ใบล่างสุดจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลืองและตายไป อาการมีสีเหลืองจะเริ่มจากฐานใบไปสู่ปลายใบตอมาปลายใบจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มและตายก่อนใบอื่น ๆ ที่อยู่ถัดขึ้นไปจะมีสีเขียวเข้ม ใบล่างสุดที่มีสีเขียวเข้มจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีม่วง เส้นกลางใบก็เป็นสีม่วง ตอมาสีม่วงจะค่อย ๆ จางลงจนเป็นสีน้ำตาลแล้วเกิดการตายของใบจากบริเวณปลายใบไปสู่ฐานใบ ใบถัดขึ้นมาก็จะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีม่วงไปอีกตามลำดับ

ค. ราก อวบอ้วนเช่นของต้นปกติ ค่อนข้างยาวแต่มีรากแขนงและรากขนออนน้อย



ภาพ 8 ก. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส กับต้นปกติ (อายุ 25 วัน)

ภาพ 8 ข. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสกับต้นปกติ (อายุ 25 วัน)

ภาพ 9 ลักษณะใบข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส

อาการผิดปกติที่สามารถเห็นก่อนอื่นคือ ใบมีสีเขียวเข้มแล้วค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีม่วง–

เริ่มจากใบล่างสุดขึ้นไป จะเริ่มสังเกตเห็นได้ตั้งแต่วันที่ 8 – 13 เป็นต้นไป

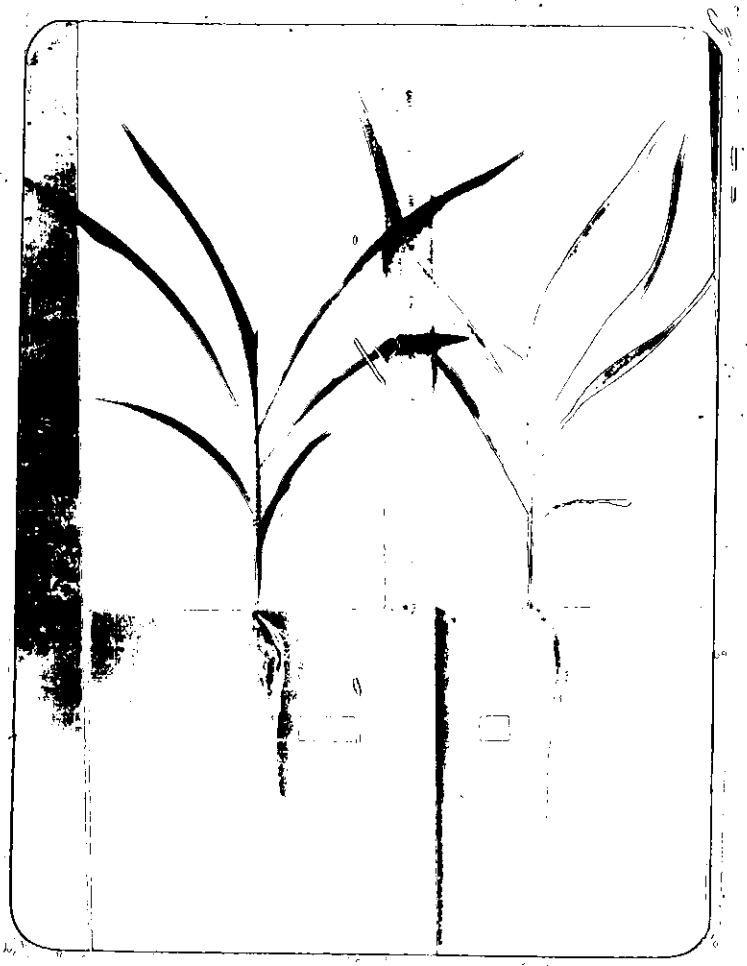
1.1.4 ข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม

ก. ลำต้น ผอมและเหี่ยว ยอดมีขนาดเล็ก

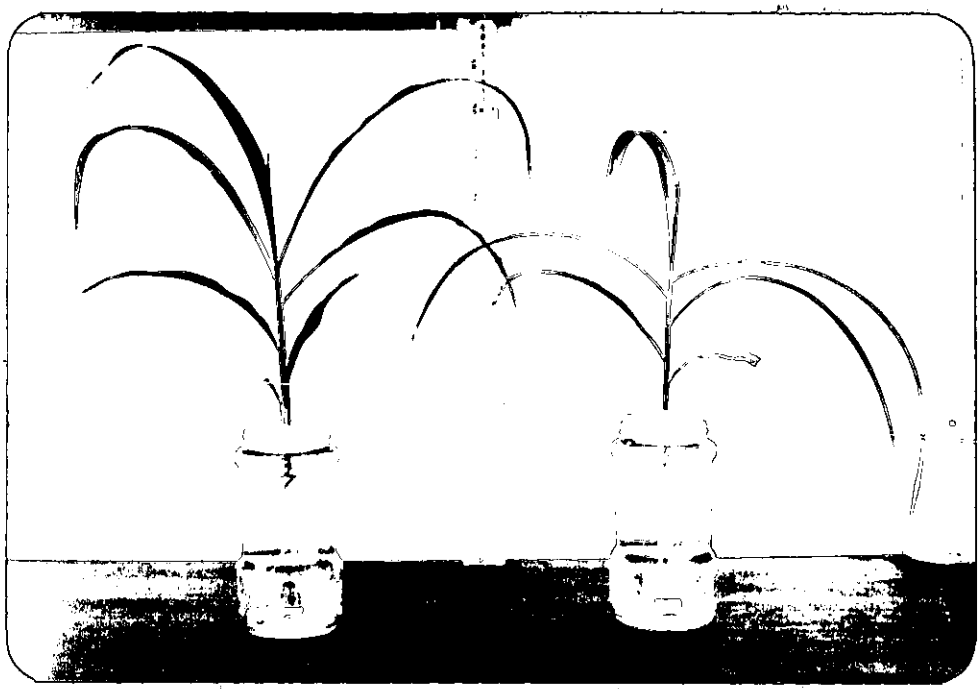
ข. ใบ ใบกว้างและก้อนข้างยาว เกิดการตายของเนื้อเยื่อเป็นบริเวณของตัวใบใบล่าง ต่อมาใบล่างจะเหี่ยวและตาย เริ่มจากปลายใบไปสู่ฐานใบ มีรอยด่างสีขาว ๆ บนตัวใบใกล้ปลายใบของใบบริเวณยอดซึ่งมีสีเขียวปนเหลืองเล็กน้อย ใบอื่น ๆ จะมีสีเขียวปนเหลือง แต่เส้นใบยังคงมีสีเขียว จะสังเกตเห็นเป็นแนวสีเหลืองสลับเขียวจากฐานใบไปสู่ปลายใบตลอดตัวใบ ต่อมาจะเกิดรอยด่างเป็นจุดสีเหลืองปนส้ม หรือน้ำตาลปนแดงตลอดทั่วตัวใบ อาการเกิดเป็นจุดเช่นนี้จะเกิดขึ้นกับใบล่างสุดก่อนแล้วจึงเกิดกับใบถัดขึ้นไปตามลำดับ

ค. ราก อวบ ก้อนข้างยาว มีรากแขนงมากเช่นเดียวกับต้นปกติ

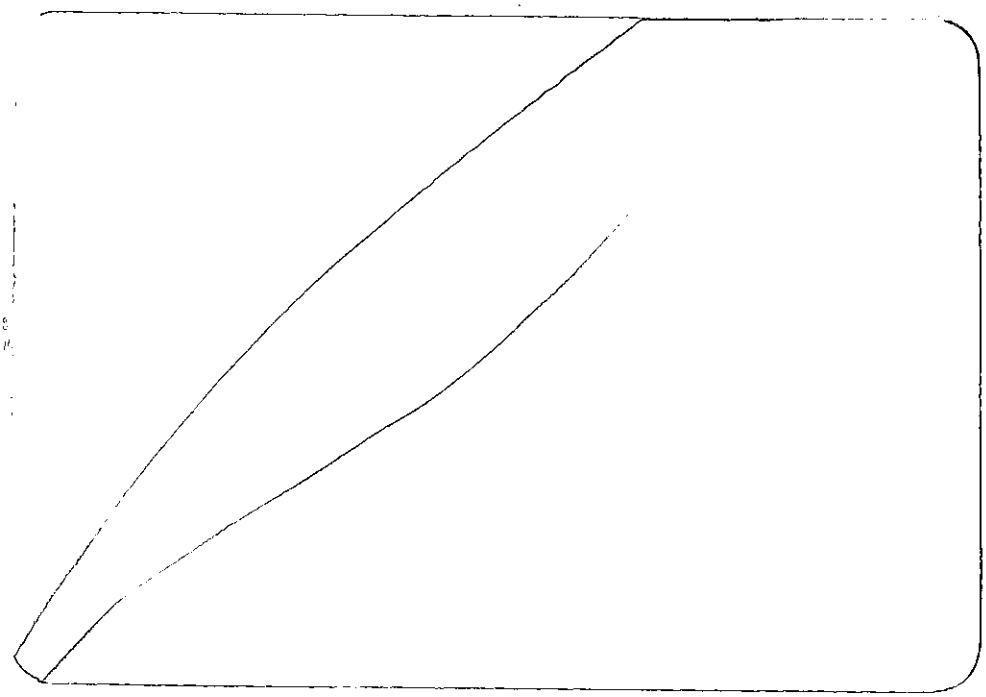
อาการผิดปกติที่สังเกตเห็นก่อนอื่นคือ ใบมีสีเขียวปนเหลือง แต่เส้นใบยังคงมีสีเขียวเป็นปกติ ต่อมาจะเกิดเป็นจุดด่างสีเหลืองปนส้ม หรือน้ำตาลปนแดง ตลอดทั่วตัวใบนั้น ๆ ซึ่งอาการเช่นนี้จะเกิดกับใบล่างก่อน สามารถสังเกตเห็นได้ตั้งแต่วันที่ 14 – 20 เป็นต้นไป



ภาพ 10 ก. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม
กับต้นปกติ (อายุ 32 วัน)



ภาพ 10 ข. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียมกับต้นปกติ (อายุ 32 วัน)



ภาพ 11 ลักษณะใบข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม

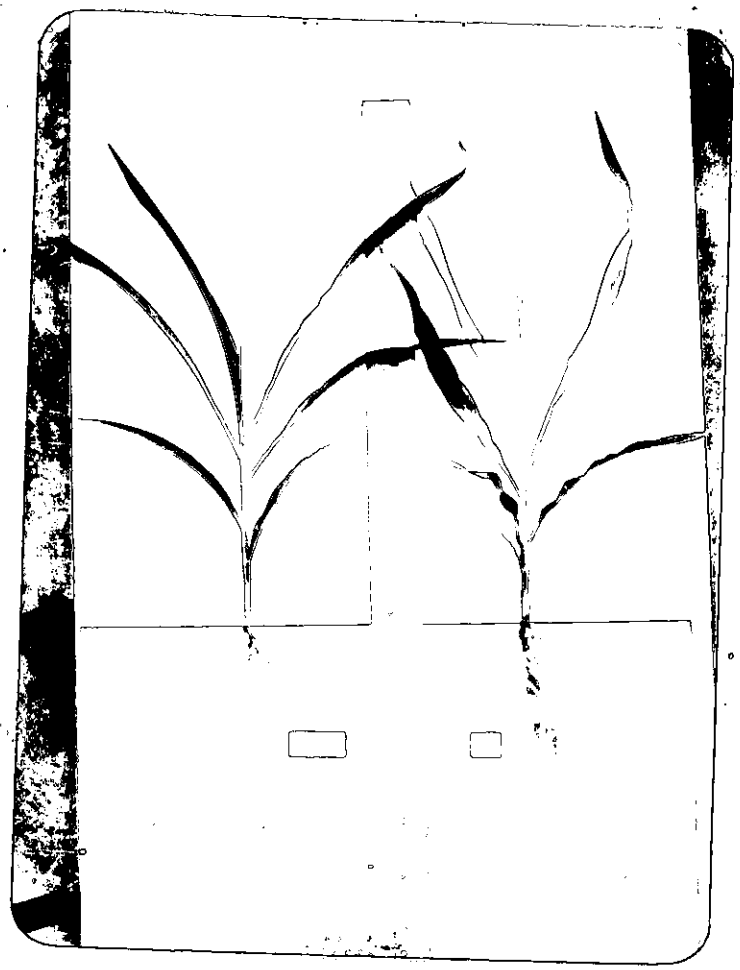
1.1.5 ข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียม

ก. ลำต้น ผอมและเตี้ย ยอดมีขนาดเล็ก

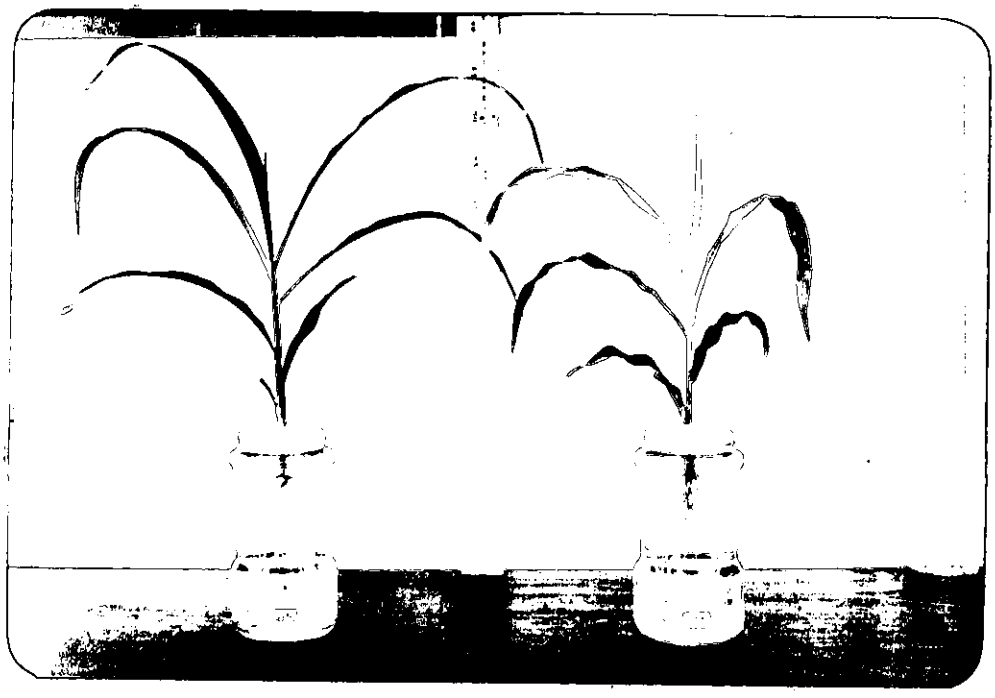
ข. ใบ ใบค่อนข้างเล็ก แคบและยาว ใบบริเวณยอดจะมีสีเขียวอ่อนกว่าใบล่างถัดมาและมีรอยด่างสีขาวเล็ก ๆ เป็นหย่อม ๆ บริเวณกลางใบ ต่อมาใบถัดลงมาจะมีสีเหลือง แต่เส้นใบยังคงมีสีเขียวอยู่ สังเกตเห็นเป็นแนวสีเหลืองสลับเขียวจากฐานใบไปสู่ปลายใบ อาการเช่นนี้จะสังเกตเห็นชัดมากขึ้น ๆ กับใบที่อยู่ล่างถัดมา ใบล่างสุดจะมีอาการมากที่สุด เกิดมีการพริ้วเป็นลอนที่บริเวณขอบใบทั้ง 2 ข้าง เริ่มจากบริเวณฐานใบไปสู่ปลายใบ อาการพริ้วเช่นนี้จะเกิดมากที่สุดกับใบล่างและค่อย ๆ น้อยลงกับใบที่อยู่เหนือขึ้นไป ต่อมาขอบใบที่มีการพริ้วจะเกิดการตายของเนื้อเยื่อขึ้น ทำให้ตัวใบบริเวณนั้นงุ้มเข้า ทั้งมีอาการม้วนของขอบใบเข้าหากันทางด้านท้องใบ (dorsal) ด้วย การหงิกเข้าของใบอันเนื่องมาจากการตายของเนื้อเยื่อของขอบใบที่พริ้วนี้ จะเริ่มจากปลายใบไปสู่ฐานใบ ปลายใบจะเกิดการตายของเนื้อเยื่อในเวลาต่อมา

ค. ราก สั้น มีรากแขนงและรากขนน้อย

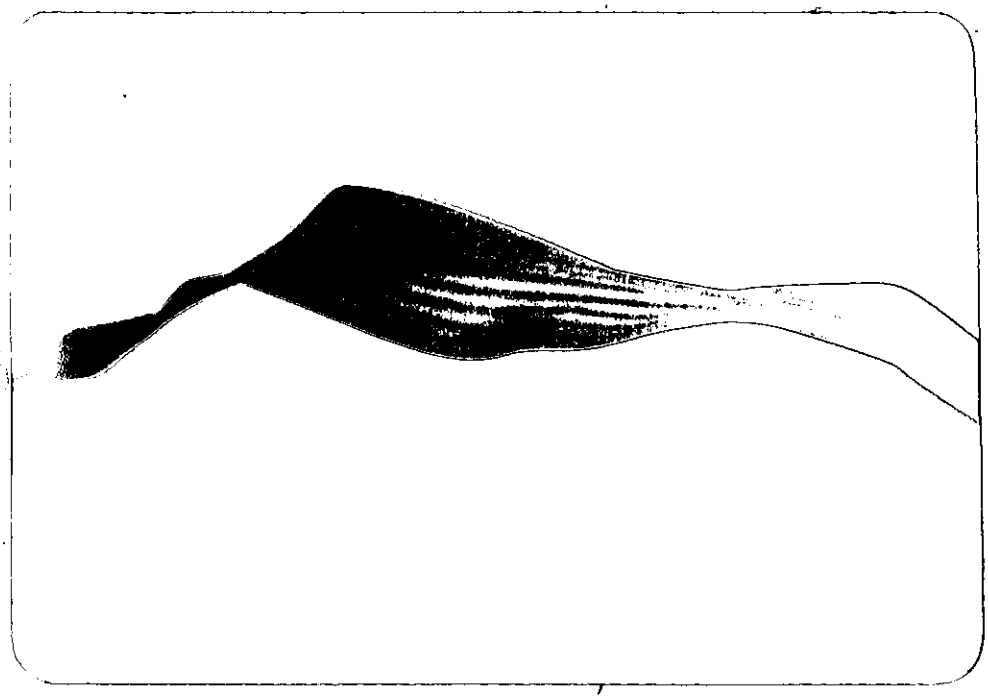
อาการผิดปกติที่สังเกตเห็นก่อนอื่นคือ มีรอยด่างเป็นสีขาว ๆ เป็นหย่อมบริเวณกลางใบยอด ใบอื่น ๆ จะมีสีเหลืองแต่เส้นใบยังคงเป็นสีเขียวอยู่ ต่อมาเกิดการพริ้วของขอบใบทั้ง 2 ข้าง เริ่มจากฐานใบไปสู่ปลายใบ ขอบใบจะม้วนเข้าหากันทางด้านท้องใบ (dorsal) สามารถสังเกตเห็นได้ตั้งแต่วันที่ 14 – 20



ภาพ 12 ก. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียม กับต้นปกติ (อายุ 32 วัน)



ภาพ 12 ข. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียมกับต้นปกติ (อายุ 32 วัน)



ภาพ 13 ลักษณะใบข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียม

1.1.6 ข้าวโพดที่ขาดธาตุซัลเฟอร์

ก. ลำต้น เตี้ย ผอม และเหี่ยว

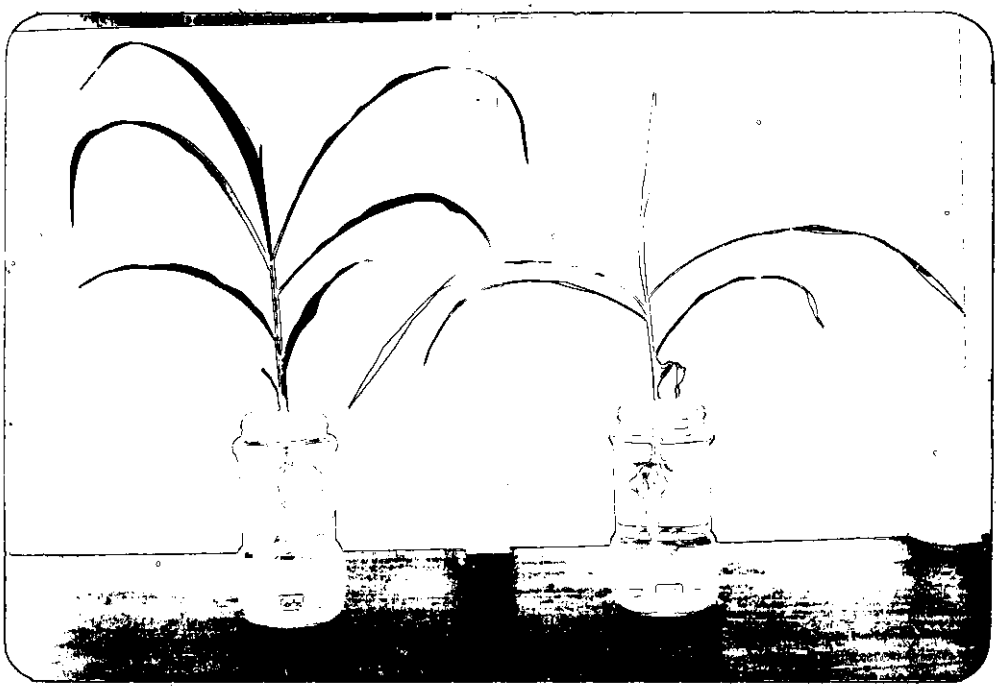
ข. ใบ ใบแคบและยาว ใบบริเวณยอดจะมีสีค่อนข้างเหลือง มีรอยไหม้สีม่วงอ่อนบนตัวใบเล็กน้อย ใบล่างลงมาจะมีสีเหลืองและค่อย ๆ มีสีเหลืองเข้มขึ้นทุกขณะของใบที่ยังอยู่ล่างถัดมา แต่บริเวณบางส่วนของใบก็ยังคงมีสีเขียวอยู่ เกิดการตายของใบบริเวณโคนต้นก่อน เริ่มจากบริเวณปลายใบไปสู่ฐานใบ

ค. ราก ผอม สั้น มีรากแขนงน้อย

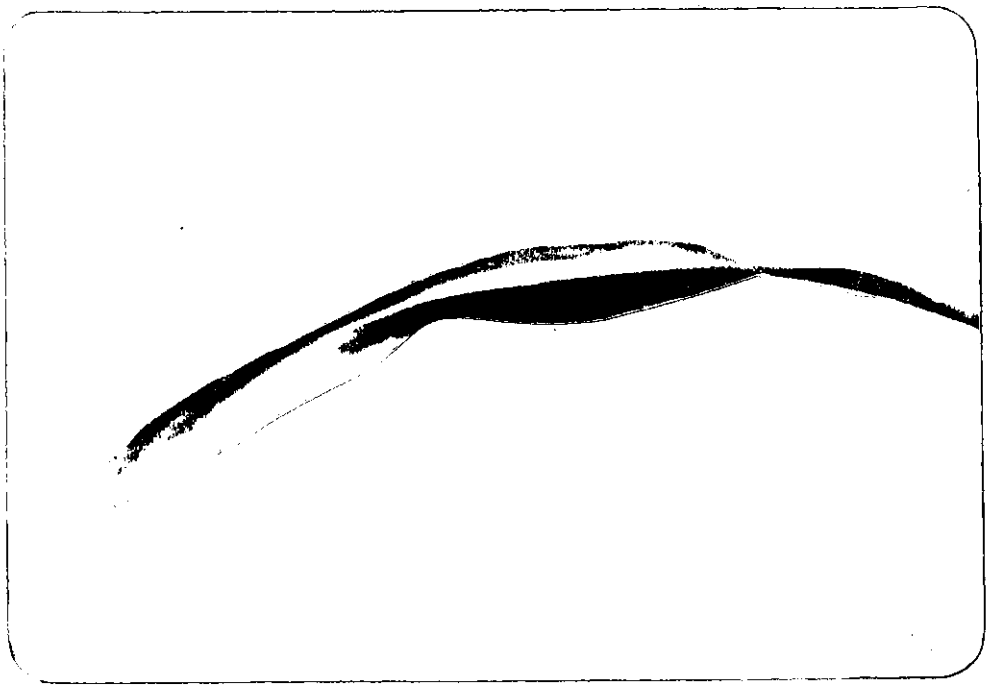
อาการผิดปกติที่สังเกตเห็นคือ จะมีใบสีเหลืองทั่วทั้งต้น แต่ใบบริเวณโคนต้นจะมีสีเหลืองเข้มกว่าและตายก่อน สามารถสังเกตเห็นได้ตั้งแต่วันที่ 16 – 20 เป็นต้นไป

เป็นที่น่าสังเกตว่าอาการผิดปกติของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจนกับต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุซัลเฟอร์นั้นจะคล้ายคลึงกัน จะแตกต่างกันตรงเฉพาะ ถ้าขาดธาตุซัลเฟอร์ใบจะเหลืองทั่วทั้งต้น แต่ถ้าขาดธาตุไนโตรเจนอาการมีสีเหลืองของใบเกิดกับใบล่าง ๆ ก่อนเท่านั้น และอาการผิดปกติของใบถ้าขาดธาตุซัลเฟอร์จะแสดงอาการให้เห็นได้ช้ากว่าเมื่อขาดธาตุไนโตรเจน

ภาพ 14 ก. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุซัลเฟอร์กับต้นปกติ (อายุ 32 วัน)



ภาพ 14 ข. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุซัลเฟอร์กับต้นปกติ (อายุ 32 วัน)



ภาพ 15 ลักษณะใบล่างของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุซัลเฟอร์

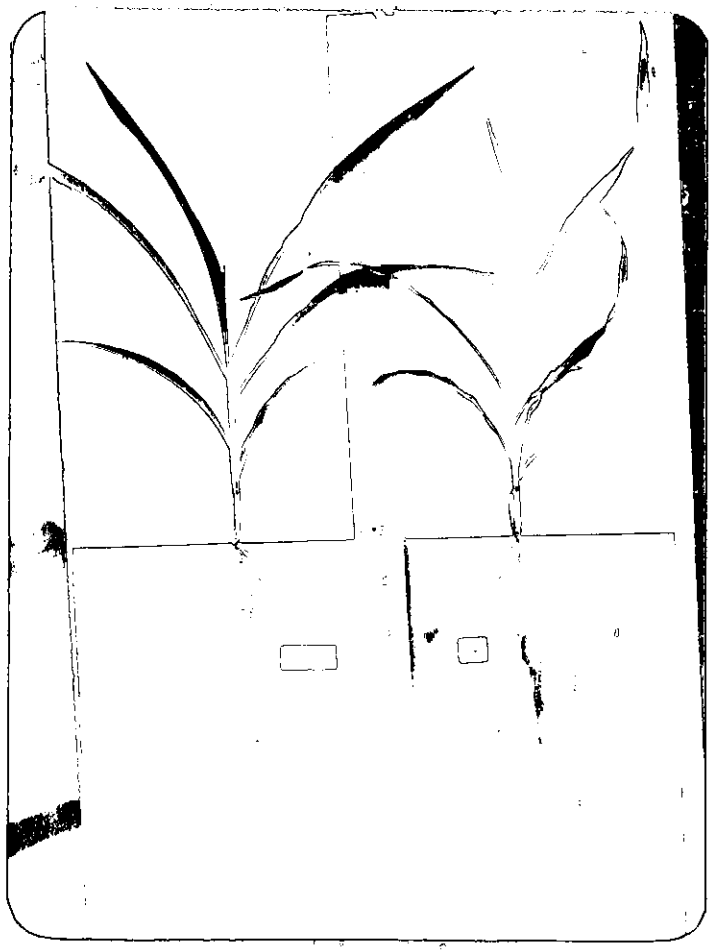
1.1.7 ข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็ก

ก. ลำต้น ผอมและเตี้ยกว่าต้นปกติเล็กน้อย

ข. ใบ ใบบริเวณยอดจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เริ่มจากฐานใบไปยังปลายใบ ใบยอดจะมีสีเหลืองตลอดใบ ใบยาว เกิดการม้วนเข้าหากันทางด้านหลังใบ (ventral) ของขอบใบ ใบทุกใบขอบใบจะพริ้ว ใบล่างถัดลงมาจะยังคงมีสีเขียวเป็นปกติ

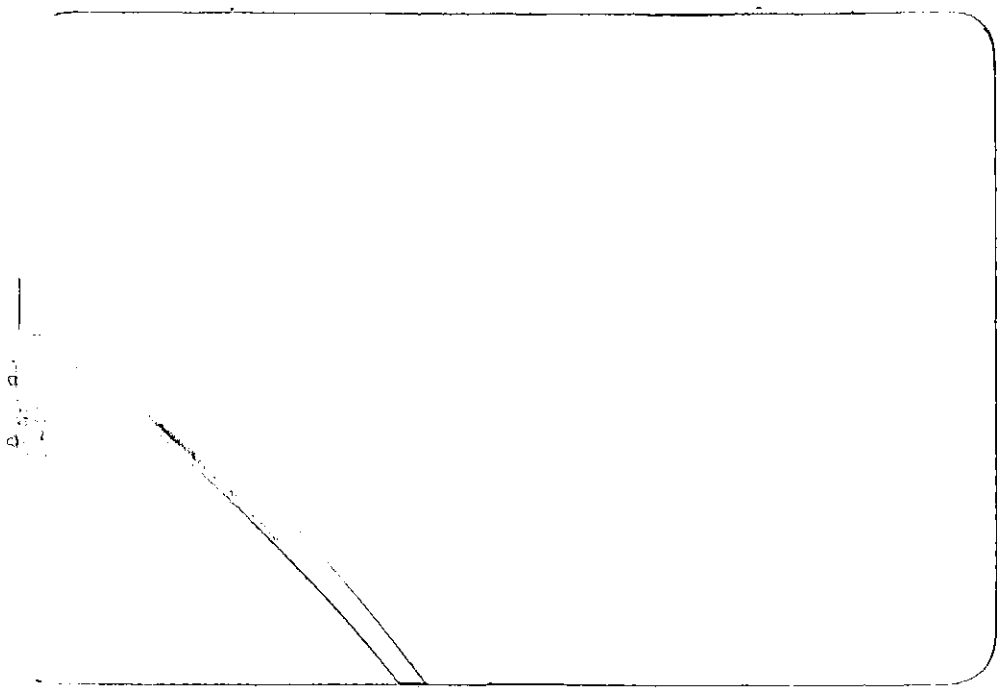
ค. ราก อวบอ้วน ค่อนข้างยาว มีรากแขนงน้อย

อาการผิดปกติที่สังเกตเห็นคือ ใบยอดและใบบริเวณยอดจะมีสีเหลือง ขอบใบม้วนเข้าหากันทางด้านหลังใบ (ventral) ขอบใบทั้ง 2 ของทุก ๆ ใบจะพริ้ว สามารถสังเกตได้ตั้งแต่วันที่ 15 – 20 เป็นต้นไป



ภาพ 16 ก. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็กกับต้นปกติ (อายุ 32 วัน)

ภาพ 16 ข. เปรียบเทียบต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็ก กับต้นปกติ (อายุ 32 วัน)



ภาพ 17 ลักษณะใบบริเวณยอดของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็ก

.1.1.8 ข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียม

ก. ลำต้น จะค่อย ๆ เหี่ยวลง ผอมเตี้ย ยอดเจริญเล็กน้อยและเปราะ

ข. ใบ ใบบริเวณยอดค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นมีสีขาวค่อนข้างเหลืองเล็กน้อย เริ่มจากบริเวณฐานใบไปสู่ปลายใบ ใบยอดจะมีสีขาวปนเหลืองเล็กน้อยเช่นกัน แต่จะมีรอยด่างสีขาวเป็นหย่อม ๆ ทั่วตัวใบ ใบจะบางและเปราะ ต่อมาใบยอดจะเปลี่ยนสีเป็นสีม่วงอ่อน ใบจะเริ่มเหี่ยวตายจากขอบใบทั้ง 2 ข้างไปสู่กลางใบ

ค. ราก ผอม สั้นและเปราะ รากแขนงจะสั้นมากทำให้เห็นเป็นกระจุก มีรากขนอ่อนน้อย

อาการผิดปกติที่สังเกตเห็นก่อนอื่นคือ ยอดมีสีค่อนข้างขาวปนเหลืองอ่อน ใบยอดจะบางและเปราะ มีรอยด่างสีขาวทั่วตัวใบยอด ต่อมาใบยอดจะเปลี่ยนสีเป็นสีม่วงอ่อน เริ่มจากขอบใบทั้ง 2 ข้างไปสู่กลางใบ แล้วเหี่ยวตายไป สามารถสังเกตได้ตั้งแต่วันที่ 10 – 15

ภาพ 18 ก. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียมกับต้นปกติ (อายุ 25 วัน)

ภาพ 18 ข. เปรียบเทียบลักษณะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียมกับต้นปกติ (อายุ 25 วัน)

ภาพ 19 ลักษณะใบบริเวณยอดของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียม

1.2 การเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร

การศึกษาการเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนกระทั่งแสดงอาการขาดธาตุอาหารออกมาให้สังเกตเห็นได้ชัดเจนนั้น วิเคราะห์การเจริญโดยใช้การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดทั้งต้น และแยกวิเคราะห์เป็นเฉพาะแต่ละส่วนของต้นข้าวโพด คือ ใบ ลำต้น และราก

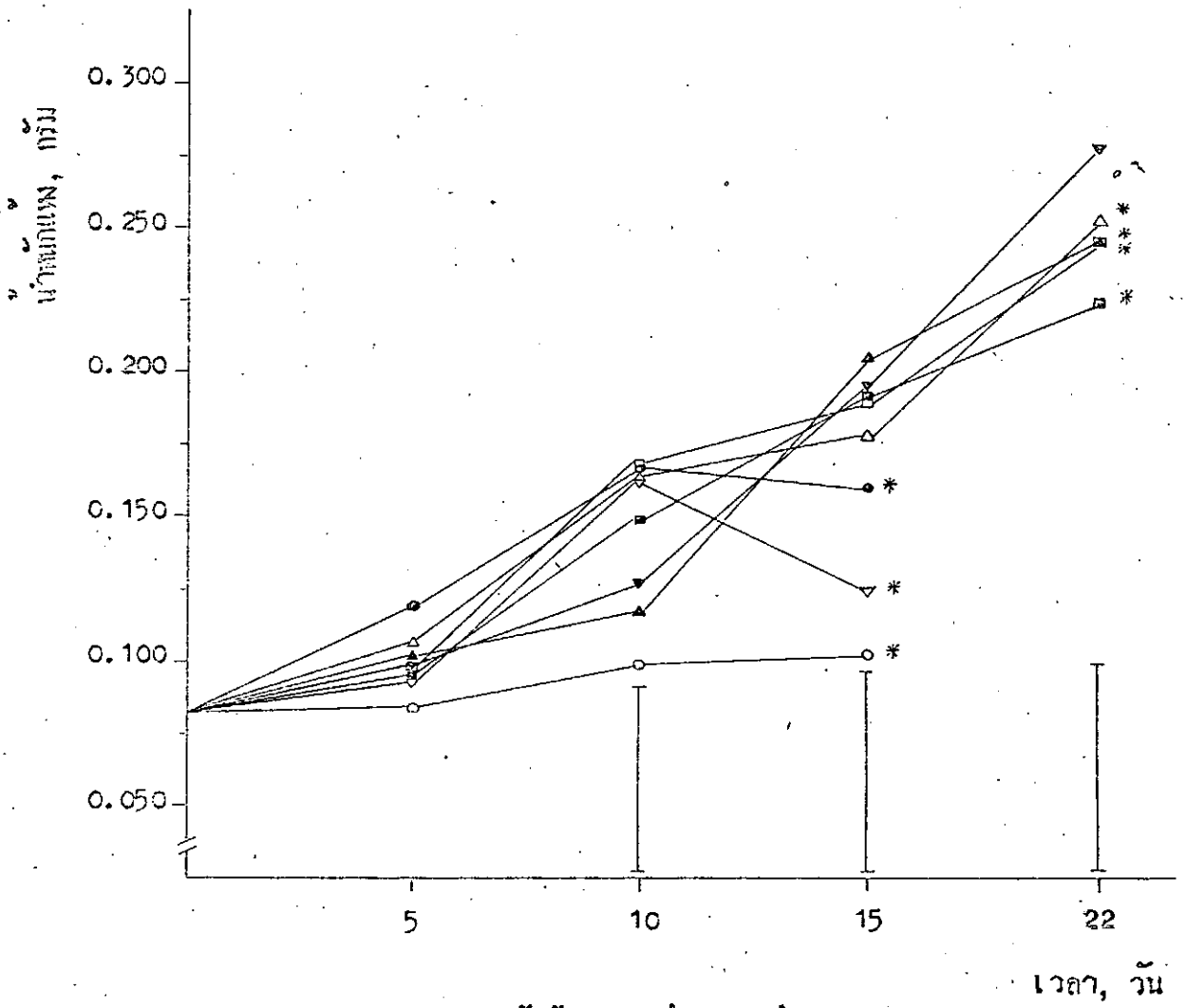
ผลการทดลองดังปรากฏในตาราง 5 ก., ข. และภาพ 20 – 23 ดังนี้

ตาราง 5 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของข้าวโพดเมื่อแสดงอาการขาดธาตุอาหาร (วันที่ 15) กับข้าวโพดที่ปกติ (กรัม)

ส่วนของพืช	-N	-P	-Ca	ปกติ	LSD(5%)
ใบ	.102 ± .017	.158 ± .012	.123 ± .017	.194 ± .031	.069
ลำต้น	.053 ± .006	.084 ± .011	.067 ± .011	.089 ± .008	.032
ราก	.081 ± .015	.107 ± .007	.084 ± .017	.101 ± .010	.040
รวมทั้งต้น	.235 ± .038	.323 ± .025	.257 ± .030	.381 ± .042	.118

ตาราง 5 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของข้าวโพด เมื่อแสดงอาการขาดธาตุอาหาร (วันที่ 22) กับข้าวโพดที่ปกติ (กรัม)

ส่วนของพืช	-K	-Mg	-S	-Fe	ปกติ	LSD(5%)
ใบ	.251±.024	.244±.037	.244±.031	.223±.034	.276±.014	.071
ลำต้น	.095±.013	.111±.020	.136±.024	.144±.027	.148±.008	.058
ราก	.122±.011	.101±.008	.123±.017	.120±.023	.135±.015	.048
รวมทั้งต้น	.469±.004	.434±.004	.502±.070	.463±.069	.559±.035	.148



ภาพ 20 การเจริญของใบต้นข้าวโพด ที่ขาดธาตุต่าง ๆ 7 ชนิด เปรียบเทียบกับการเจริญของใบต้นปกติ

* – แสดงการขาดธาตุอาหารที่เห็นได้ชัดเจน

○ – ขาดธาตุไนโตรเจน

● – ขาดธาตุฟอสฟอรัส

△ – ขาดธาตุโปแตสเซียม

▲ – ขาดธาตุแมกนีเซียม

□ – ขาดธาตุซัลเฟอร์

■ – ขาดธาตุเหล็ก

▽ – ขาดธาตุแคลเซียม

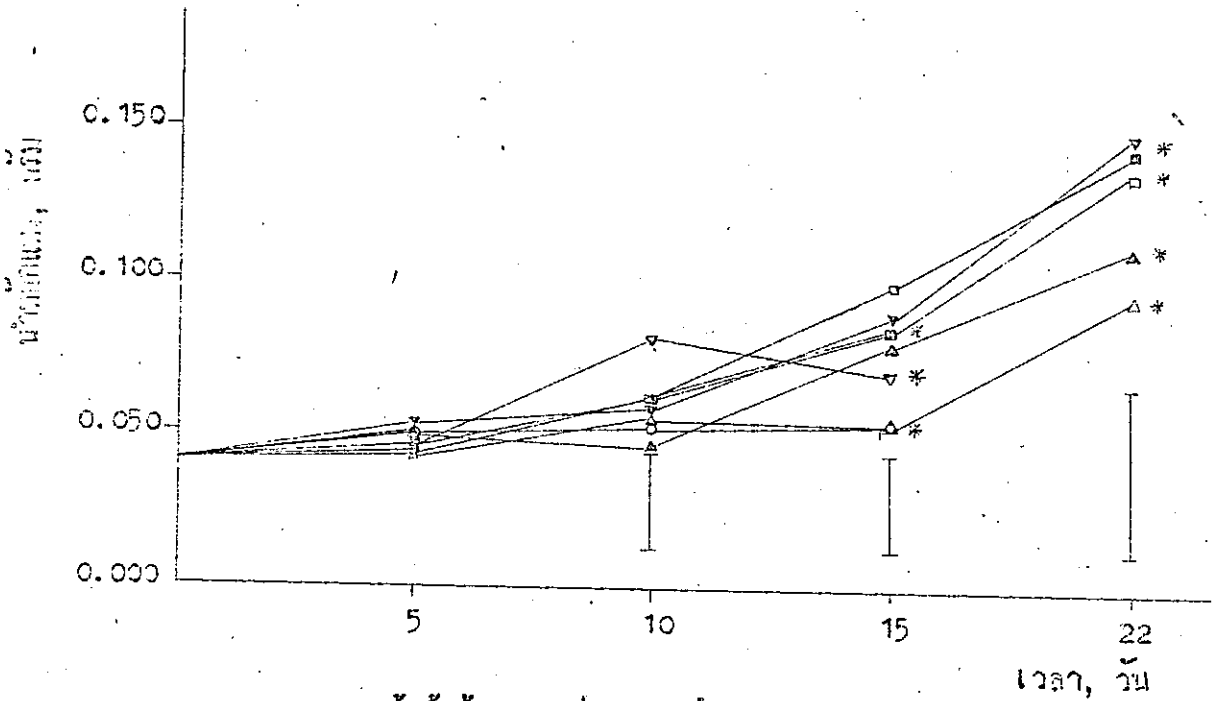
▼ – ปกติ

I – LSD 5 %

1.2.1 การเจริญของข้าวโพดเฉพาะส่วนที่เป็นใบ

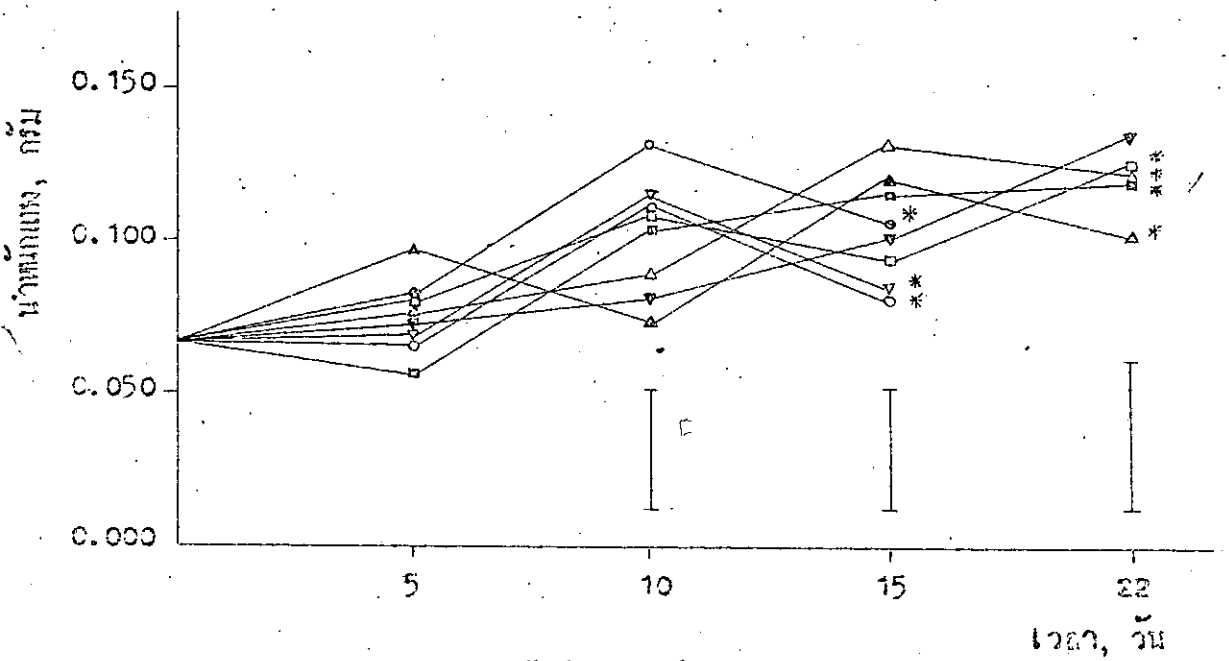
จากผลการทดลองดังภาพ 20 พบว่าน้ำหนักแห้งของใบข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ กัน กับใบของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุอาหารครบทุกชนิดตามปกติ จะมีการเพิ่มขึ้นนับตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึงวันที่ 10 ไม่แตกต่างกันเลย แต่การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของใบข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส ธาตุซัลเฟอร์ หรือธาตุโปแตสเซียม สูงกว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของใบข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน ครั้นเมื่อต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส หรือธาตุแคลเซียม แสดงลักษณะการผิดปกติให้เห็นได้ชัดเจนแล้ว ในวันที่ 15 ของการทดลองพบว่า ในต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน และธาตุแคลเซียม มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งน้อยกว่าต้นปกติ ต้นที่ขาดธาตุแมกนีเซียม ธาตุเหล็ก หรือธาตุซัลเฟอร์ แต่ไม่แตกต่างไปจากต้นที่ขาดธาตุโปแตสเซียมหรือธาตุฟอสฟอรัส ส่วนใบของต้นที่ขาดธาตุแมกนีเซียม ธาตุซัลเฟอร์ ธาตุเหล็ก ธาตุฟอสฟอรัส หรือต้นปกติ การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของใบจะไม่แตกต่างกันเลย ตอมาในวันที่ 22 ของการทดลอง เมื่อต้นที่ขาดธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุซัลเฟอร์ หรือธาตุเหล็ก แสดงอาการผิดปกติให้สังเกตได้ชัดเจนแล้ว พบว่าใบของต้นเหล่านี้มีน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกับของต้นปกติเลย

ผลการทดลองนี้แสดงว่า เมื่อต้นข้าวโพดแสดงอาการผิดปกติอันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ให้สังเกตเห็นได้ชัดเจนแล้ว ใบของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน กับใบของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียมเท่านั้นที่มีการเจริญน้อยกว่าใบของต้นปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนใบของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม ธาตุซัลเฟอร์ หรือธาตุเหล็กจะมีการเจริญไม่แตกต่างไปจากใบของต้นข้าวโพดที่ปกติ



ภาพ 21 การเจริญของลำต้นต้นข้าวโพด ที่ขาดธาตุต่าง ๆ 7 ชนิด เปรียบเทียบกับการเจริญของลำต้นต้นปกติ

* – แสดงการขาดธาตุอาหารที่เห็นโดยกเจน
○ – ขาดธาตุไนโตรเจน
◍ – ขาดธาตุฟอสฟอรัส
△ – ขาดธาตุโปแตสเซียม
▲ – ขาดธาตุแมกนีเซียม
▣ – ขาดธาตุซัลเฟอร์
◙ – ขาดธาตุเหล็ก
▽ – ขาดธาตุแคลเซียม
▼ – ปกติ
I – LSD 5 %



ภาพ 22 การเจริญของรากต้นข้าวโพด ที่ขาดธาตุต่าง ๆ 7 ชนิด เปรียบเทียบกับการเจริญของรากต้นปกติ

* – แสดงการขาดธาตุอาหารที่เหมาะไดรเจน
○ – ขาดธาตุไนโตรเจน
○ – ขาดธาตุฟอสฟอรัส
△ – ขาดธาตุโปแตสเซียม
△ – ขาดธาตุแมกนีเซียม
□ – ขาดธาตุซัลเฟอร์
■ – ขาดธาตุเหล็ก
▽ – ขาดธาตุแคลเซียม
▽ – ปกติ
I – LSD 5 %

1.2.2 การเจริญของต้นข้าวโพดเฉพาะส่วนลำต้น

จากผลการทดลองดังภาพ 21 วันที่ 10 ของการทดลอง พบว่า การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของลำต้นของข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ กับของต้นข้าวโพดที่ปกติไม่แตกต่างกัน แต่น้ำหนักแห้งของลำต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็กจะสูงกว่าของข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียม ครั้นเมื่อต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส หรือธาตุแคลเซียม แสดงอาการผิดปกติให้เห็นได้ชัดเจนในวันที่ 15 พบว่าน้ำหนักแห้งของลำต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน ธาตุโปแตสเซียมเพิ่มขึ้นน้อยกว่าของต้นที่ขาดธาตุเหล็ก และต้นปกติ ต่อมาในวันที่ 22 ของการทดลองเมื่อต้นที่ขาดธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุซัลเฟอร์ หรือธาตุเหล็ก แสดงอาการผิดปกติให้เห็นได้ชัดเจน ก็พบว่าน้ำหนักแห้งของลำต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุทั้ง 4 ชนิด ไม่แตกต่างกับของต้นปกติเลย

ผลการทดลองนี้แสดงว่า เมื่อต้นข้าวโพดขาดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ จนแสดงอาการผิดปกติให้สามารถสังเกตได้ชัดเจนแล้ว ลำต้นของข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจนจะเจริญน้อยกว่าลำต้นข้าวโพดที่ปกติ และลำต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนลำต้นของข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุซัลเฟอร์ ธาตุเหล็ก หรือธาตุแคลเซียม จะมีการเจริญไม่แตกต่างไปจากลำต้นของต้นข้าวโพดที่ปกติ

1.2.3 การเจริญของต้นข้าวโพด เฉพาะส่วนราก

จากผลการทดลองดังภาพ 22 วันที่ 10 ของการทดลอง การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของรากข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ กับของต้นข้าวโพดที่ปกตินั้น พบว่ารากของต้นที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสสูงกว่าของต้นปกติ และของข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียมกับขาดธาตุแมกนีเซียม ครั้นเมื่อต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส หรือธาตุแคลเซียม แสดงลักษณะผิดปกติให้เห็นได้ชัดเจนในวันที่ 15 ของการทดลองนั้น น้ำหนักแห้งของรากของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุทั้ง 3 ชนิดนี้ จะไม่แตกต่างไปจากของต้นปกติ แต่น้ำหนักแห้งของรากต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน กับธาตุแคลเซียมจะน้อยกว่าของต้นที่ขาดธาตุโปแตสเซียม

จะมีการเจริญไม่แตกต่างไปจากต้นข้าวโพดปกติ นอกจากนี้ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน หรือขาดธาตุแคลเซียมยังมีการเจริญน้อยกว่าต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแม็กนีเซียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย

จะเห็นได้ว่าเมื่อต้นข้าวโพดขาดธาตุอาหารเป็นเวลานานจนแสดงอาการผิดปกติให้สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนนั้น ข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจนหรือขาดธาตุแคลเซียมจะมีการเจริญน้อยกว่าปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเมื่อได้วิเคราะห์ใหลึกซึ้งลงไปอีกพบว่าเป็นเพราะเนื่องมาจากข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจนและธาตุแคลเซียมมีการเจริญของส่วนลำต้นกับใบน้อยกว่าปกติ ส่วนต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส ธาตุแมกนีเซียม ธาตุซัลเฟอร์ ธาตุโปแตสเซียม หรือธาตุเหล็ก ไม่มีผลให้การเจริญลดน้อยกว่าปกติในช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง

1.3 การเจริญของใบข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร

วิเคราะห์ความกว้างกับความยาวใบของต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะการขาดธาตุอาหาร ใบต่อใบเปรียบเทียบกับต้นปกติ จากผลการทดลองดังปรากฏในตาราง 6 ก., ข. และ 7 ก., ข. กับภาพ 24 และ 25 ก.,ข. ดังนี้

1.3.1 ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน

ก. ความกว้างของใบ ใบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 แต่ละใบจะมีความกว้างของตัวใบน้อยกว่าใบของต้นข้าวโพดปกติ โดยเฉพาะใบที่ 5 จะมีความกว้างน้อยกว่าของต้นปกติมากที่สุด

ข. ความยาวของใบ ใบที่ 4 และ 5 จะมีความยาวของใบน้อยกว่าความยาวของตัวใบต้นข้าวโพดที่ปกติ

ผลการทดลองนี้แสดงว่า ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจนจนแสดงลักษณะผิดปกติให้สังเกตได้ จะมีใบทุก ๆ ใบเตี้ยกว่าใบของต้นปกติ และใบบริเวณยอดจะมีความยาวน้อยกว่าของต้นข้าวโพดปกติ

ตาราง 6 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบข้าวโพด เมื่อต้นข้าวโพดแสดงอาการขาดธาตุอาหารให้สังเกตได้ชัดเจน* (เซนติเมตร)

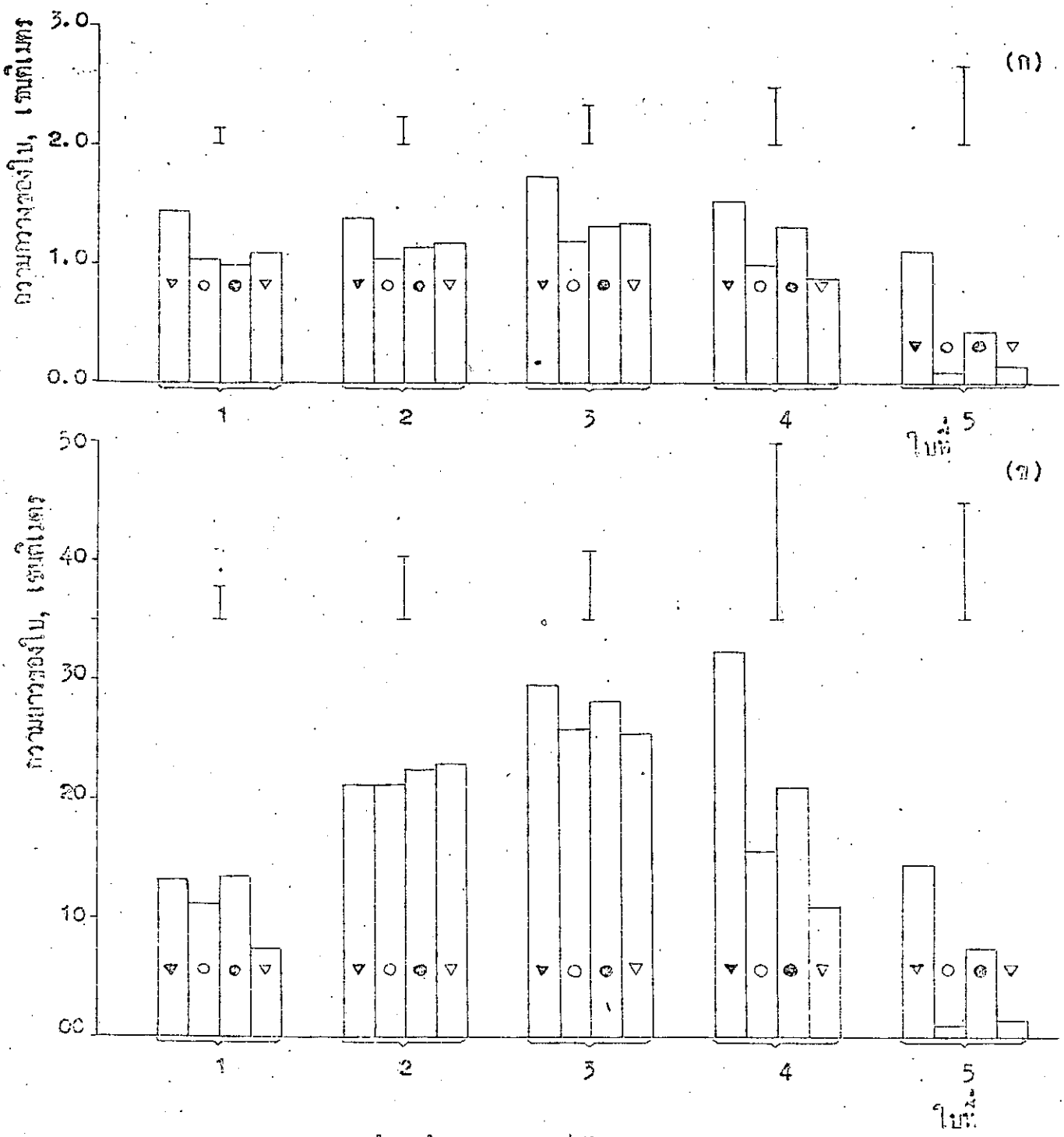
ขาดธาตุ / ใบที่	N	P	Ca	ปกติ	LSD(5%)
1	1.04±0.02	0.98±0.01	1.08±0.05	1.44±1.06	0.127
2	1.04±0.02	1.14±0.07	1.16±0.04	1.38±0.07	0.226
3	1.18±0.11	1.30±0.05	1.32±0.11	1.72±0.11	0.284
4	0.98±0.04	1.30±0.09	0.86±0.24	1.52±0.17	0.485
5	0.08±0.08	0.42±0.26	0.14±0.13	1.10±0.30	0.657

*วันที่ 15 ของการทดลอง

ตาราง 6 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบข้าวโพด เมื่อต้นข้าวโพดแสดงอาการขาดธาตุอาหารให้สังเกตได้ชัดเจน* (เซนติเมตร)

ขาดธาตุ / ใบที่	N	P	Ca	ปกติ	LSD(5%)
1	11.20±0.46	13.40±1.22	7.39±6.70	13.00±0.90	2.522
2	21.00±0.82	22.40±0.96	22.80±2.62	21.00±2.06	5.300
3	25.74±0.55	28.20±4.74	25.40±1.89	29.40±2.39	5.618
4	15.50±5.09	20.90±5.36	10.64±3.39	32.20±5.44	14.840
5	0.70±0.69	7.40±0.465	1.34±1.33	14.30±4.46	9.794

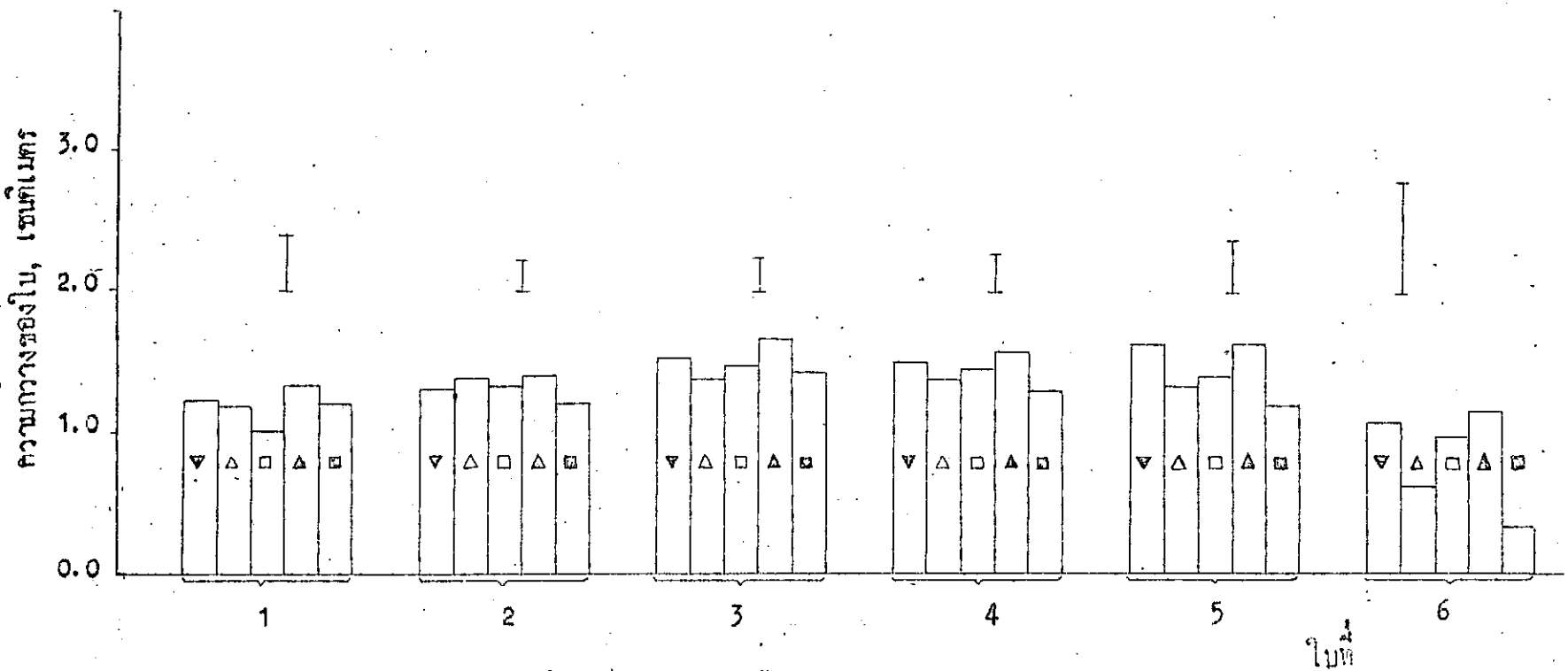
*วันที่ 15 ของการทดลอง



ภาพ 24 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (ก) ความกว้าง (ข) ความยาว ของใบต้นข้าวโพด ที่แสดงอาการขาดธาตุอาหารให้หลังเทสเซ็นโซ๊ะเรน (วันที่ 15 ของการทดลอง) ดังนี้

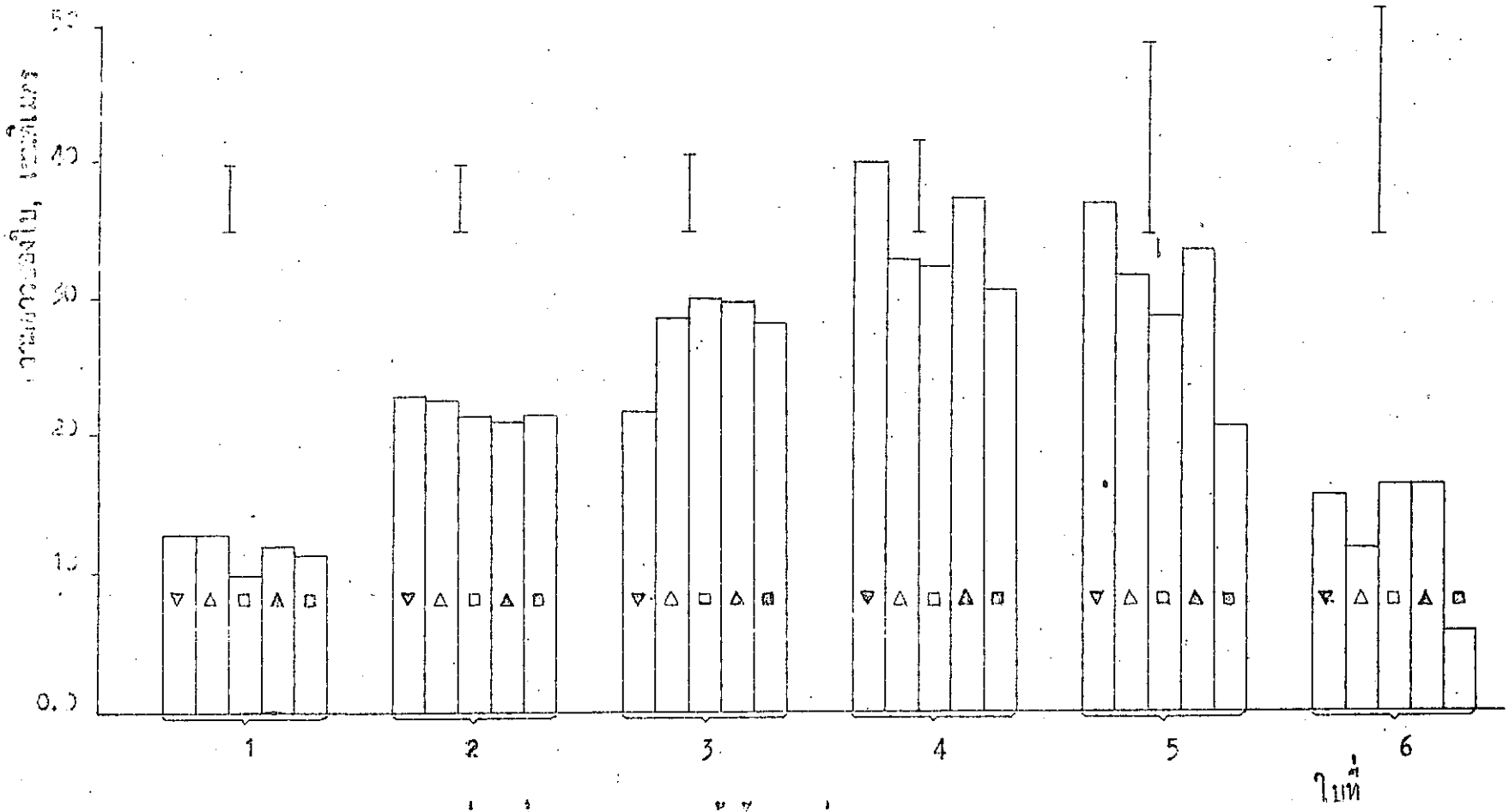
○ – ขาดธาตุในโตรเจน ▽ – ขาดธาตุแคลเซียม

◎ – ขาดธาตุฟอสฟอรัส ▼ – ปกติ I – LSD 5 %



ภาพ 25 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุอาหารให้ดังเกตเห็นได้ชัดเจน (วันที่ 22 ของการทดลอง) กับต้นปกติ

△ – ขาดธาตุโปแตสเซียม
□ – ขาดธาตุซัลเฟอร์
▽ – ปกติ
▲ – ขาดธาตุแมกนีเซียม
▣ – ขาดธาตุเหล็ก
I – LSD 5 %



ภาพ 25 ข. เปรียบเทียบความยาวของใบอ่อนลำดับที่ต่างๆ ในต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุอาหารในสารละลายโรยัล เอ (วันที่ ... ของการทดลอง) กับแบบปกติ

△ – ขาดธาตุโปแตสเซียม
□ – ขาดธาตุซัลเฟอร์
▽ – ปกติ
△ – ขาดธาตุแมกนีเซียม
▣ – ขาดธาตุเหล็ก
I – LSD 5 %

1.3.2 ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส

ก. ความกว้างของใบ ใบที่ 1, 2, 3 และ 5 จะมีความกว้างน้อยกว่าใบของต้นข้าวโพดที่ปกติ ใบที่ 5 จะมีความกว้างน้อยกว่าของต้นปกติมากที่สุด

ข. ความยาวของใบ เฉพาะใบที่ 4 เท่านั้นที่ยาวน้อยกว่าของใบต้นข้าวโพดที่ปกติ

ผลการทดลองนี้แสดงว่าต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสจนแสดงลักษณะผิดปกติให้สังเกตได้ จะมีความกว้างของใบน้อยกว่าใบต้นข้าวโพดที่ปกติ และมีเฉพาะใบยอดเท่านั้นที่สั้นกว่าใบยอดของต้นข้าวโพดที่ปกติ

1.3.3 ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียม

ก. ความกว้างของใบ ใบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 จะมีความกว้างของแต่ละใบน้อยกว่าใบของต้นข้าวโพดปกติ

ข. ความยาวของใบ เฉพาะใบที่ 1 กับ 4 และ 5 เท่านั้นที่มีความยาวน้อยกว่าของต้นปกติ โดยเฉพาะใบที่ 4 และ 5 จะยาวน้อยกว่าใบของต้นข้าวโพดที่ปกติมาก

ผลการทดลองนี้แสดงว่าต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียมจนแสดงลักษณะผิดปกติให้สังเกตได้ จะมีความกว้างของใบทุก ๆ ใบน้อยกว่าใบของต้นข้าวโพดปกติ ส่วนความยาวของใบนั้นใบบริเวณยอดจะยาวน้อยกว่าใบบริเวณยอดของต้นปกติมาก

1.3.4 ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม

ก. ความกว้างของใบ ใบทุก ๆ ใบมีความกว้างไม่แตกต่างไปจากใบของต้นข้าวโพดที่ปกติ

ข. ความยาวของใบ ใบที่ 3 จะมีความยาวมากกว่าใบของต้นข้าวโพดปกติ และใบที่ 4 จะมีความยาวน้อยกว่าใบของต้นปกติ

ผลการทดลองนี้แสดงว่าเมื่อต้นข้าวโพดขาดธาตุโปแตสเซียม จนแสดงลักษณะผิดปกติให้สังเกตได้ ความกว้างของใบทุก ๆ ใบจะไม่แตกต่างไปจากของต้นปกติ

ส่วนความยาวนั้นใบบริเวณส่วนกลางต้นจะมีความยาวแตกต่างไปจากใบของต้นข้าวโพดปกติ

1.3.5 ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุซัลเฟอร์

ก. ความกว้างของใบ ใบทุก ๆ ใบมีความกว้างไม่แตกต่างไปจากใบของต้นปกติ

ข. ความยาวของใบ เฉพาะใบที่ 3 และ 4 เท่านั้นที่แตกต่างไปจากใบของต้นข้าวโพดปกติ คือใบที่ 3 จะยาวกว่าและใบที่ 4 จะสั้นกว่าใบของต้นข้าวโพดปกติ

ผลการทดลองนี้แสดงว่า เมื่อต้นข้าวโพดขาดธาตุซัลเฟอร์จนแสดงลักษณะผิดปกติให้สังเกตได้ ความกว้างของใบทุก ๆ ใบจะไม่แตกต่างไปจากใบของต้นข้าวโพดปกติ ส่วนความยาวนั้นใบบริเวณส่วนกลางต้นจะมีความยาวแตกต่างไปจากใบของต้นข้าวโพดปกติ

1.3.6 ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียม

ก. ความกว้างของใบ ใบทุก ๆ ใบมีความกว้างไม่แตกต่างไปจากใบของต้นข้าวโพดปกติ

ข. ความยาวของใบ เฉพาะใบที่ 3 เท่านั้นที่มีความยาวมากกว่าส่วนใบอื่น ๆ มีความยาวไม่แตกต่างไปจากของใบต้นข้าวโพดปกติ

ผลการทดลองนี้แสดงว่า เมื่อต้นข้าวโพดขาดธาตุแมกนีเซียมจนแสดงลักษณะผิดปกติให้สังเกตได้ ความกว้างของทุก ๆ ใบจะไม่แตกต่างไปจากใบของต้นข้าวโพดปกติ ส่วนความยาวนั้นใบบริเวณกลางต้นจะมีความยาวมากกว่าของใบต้นข้าวโพดที่ปกติ

1.3.7 ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็ก

ก. ความกว้างของใบ ใบทุก ๆ ใบมีความกว้างไม่แตกต่างไปจากใบของต้นข้าวโพดปกติ

ข. ความยาวของใบ ใบที่ 3 จะยาวกว่าของต้นข้าวโพดปกติ กับใบที่ 4 และ 5 จะยาวน้อยกว่าใบของต้นข้าวโพดปกติ

ผลการทดลองนี้แสดงว่า เมื่อต้นข้าวโพดขาดธาตุเหล็กจนแสดงลักษณะผิดปกติให้สังเกตได้ ความกว้างของใบทุก ๆ ใบจะไม่แตกต่างไปจากใบของต้นปกติ แต่จะมีความยาวของใบบริเวณกลางต้นส่วนล่างยาวมากกว่าของต้นปกติ กับใบบริเวณใกล้ยอดจะมีความยาวมากกว่าใบของต้นข้าวโพดปกติ

เป็นที่น่าสังเกตว่า เมื่อต้นข้าวโพดขาดธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส หรือธาตุแคลเซียม ความกว้างของใบจะน้อยกว่าของต้นข้าวโพดที่ปกติ แต่เมื่อต้นข้าวโพดขาดธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุซัลเฟอร์ หรือธาตุเหล็ก ความกว้างของใบจะไม่แตกต่างไปจากปกติ ส่วนความยาวของใบนั้นต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจนหรือธาตุฟอสฟอรัสใบบริเวณโคนต้นจะยาวน้อยกว่าใบของต้นปกติ ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็กใบบริเวณใกล้ยอดและต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียมใบบริเวณยอดจะมีความยาวน้อยกว่าใบของต้นปกติ และต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม หรือธาตุซัลเฟอร์ ใบบริเวณกลางต้นจะยาวน้อยกว่าใบของต้นข้าวโพดปกติ

สรุปได้ว่าเมื่อข้าวโพดขาดธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส ใบบริเวณส่วนยอดของลำต้นจะมีการเจริญผิดปกติ มากกว่าใบบริเวณอื่น ๆ ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม หรือธาตุซัลเฟอร์ ใบบริเวณส่วนกลางต้นจะมีการเจริญผิดปกติ และต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็กหรือธาตุแคลเซียม ใบบริเวณยอดจะมีการเจริญผิดปกติ

2. การทดลองที่ 2

ศึกษาการฟื้นตัวภายหลังแสดงลักษณะการขาดธาตุอาหาร แล้วได้รับธาตุอาหารที่ขาดไปปริมาณแตกต่างกัน ในแง่การเปลี่ยนแปลงจากลักษณะที่ผิดปกติ น้ำหนักแห้ง และการเจริญของใบ

2.1 การเปลี่ยนแปลงของลักษณะที่ผิดปกติของข้าวโพดภายหลังได้รับธาตุที่ขาดไป

2.1.1 ระยะเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงสู่สภาวะปกติ

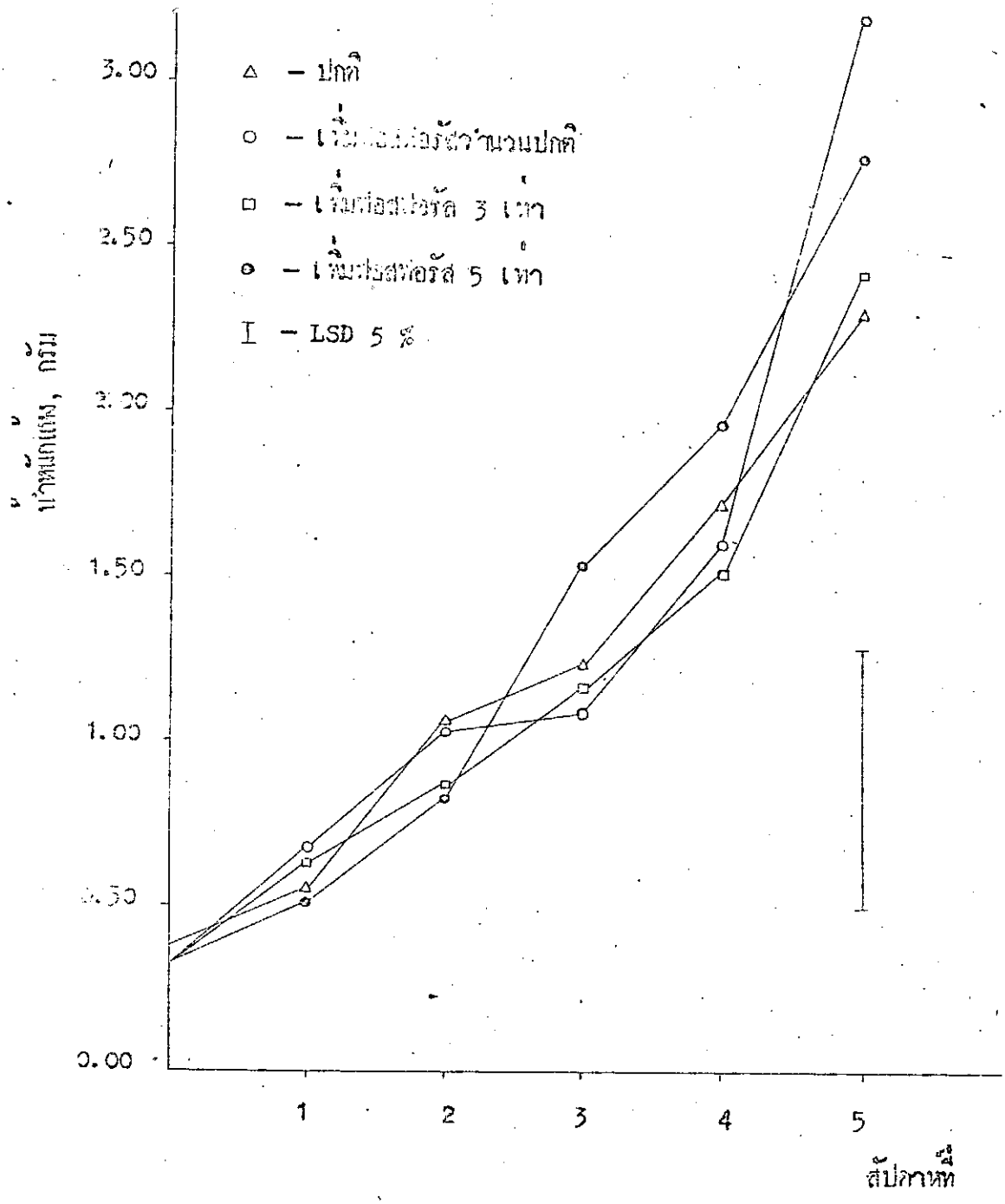
ก. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัส ลักษณะผิดปกติจะค่อย ๆ หายไป แล้วกลับมีสภาพเช่นต้นปกติ สังเกตได้ตั้งแต่วันที่ 6 – 10 (อายุ 31 – 35 วัน)

ข. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุเหล็ก หรือธาตุซัลเฟอร์ ลักษณะผิดปกติจะค่อย ๆ หายไปแล้วกลับมีสภาพเช่นต้นปกติ สังเกตได้ตั้งแต่วันที่ 15 – 20 (อายุ 47 – 52 วัน)

ค. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียม ยอดใหม่จะเจริญมีสีเขียวเช่นต้นปกติ ส่วนใบยอดเดิมจะเหี่ยวตายไป หรือค่อย ๆ กลับมีสีเขียวแต่ขนาดของใบจะเท่าเดิม สังเกตได้ในวันที่ 10 – 15 (อายุ 35 – 40 วัน) การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้สังเกตได้จากกลุ่มต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุแคลเซียมเพิ่มเป็นปริมาณ 3 เท่าของจำนวนปกติ ส่วนอีก 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ได้รับเพิ่มธาตุแคลเซียมจำนวนปกติ กับกลุ่มที่ได้รับธาตุแคลเซียมมากกว่าปกติเป็น 5 เท่า จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงกลับคืนสู่สภาวะปกติ และต้นข้าวโพดทั้ง 3 กลุ่มนี้จะมีการตายไปจำนวนหนึ่งในแต่ละกลุ่ม

2.1.2 เปอร์เซนต์การอยู่รอดของต้นข้าวโพด

ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะผิดปกติอันเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหารแต่ละชนิดเมื่อได้รับธาตุอาหารที่ขาดแคลนไปปริมาณที่แตกต่างกันแล้ว พบว่าต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส หรือธาตุโปแตสเซียม ไม่มีการตายของต้นข้าวโพดเลย ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุซัลเฟอร์ หรือธาตุแมกนีเซียม มีการตายของต้นข้าวโพดน้อย คือ



ภาพ 27 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุฟอสฟอรัส แล้วได้รับธาตุฟอสฟอรัส ปริมาณต่างกัน กับต้นปกติ

2.2.3 ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุโปแตสเซียม

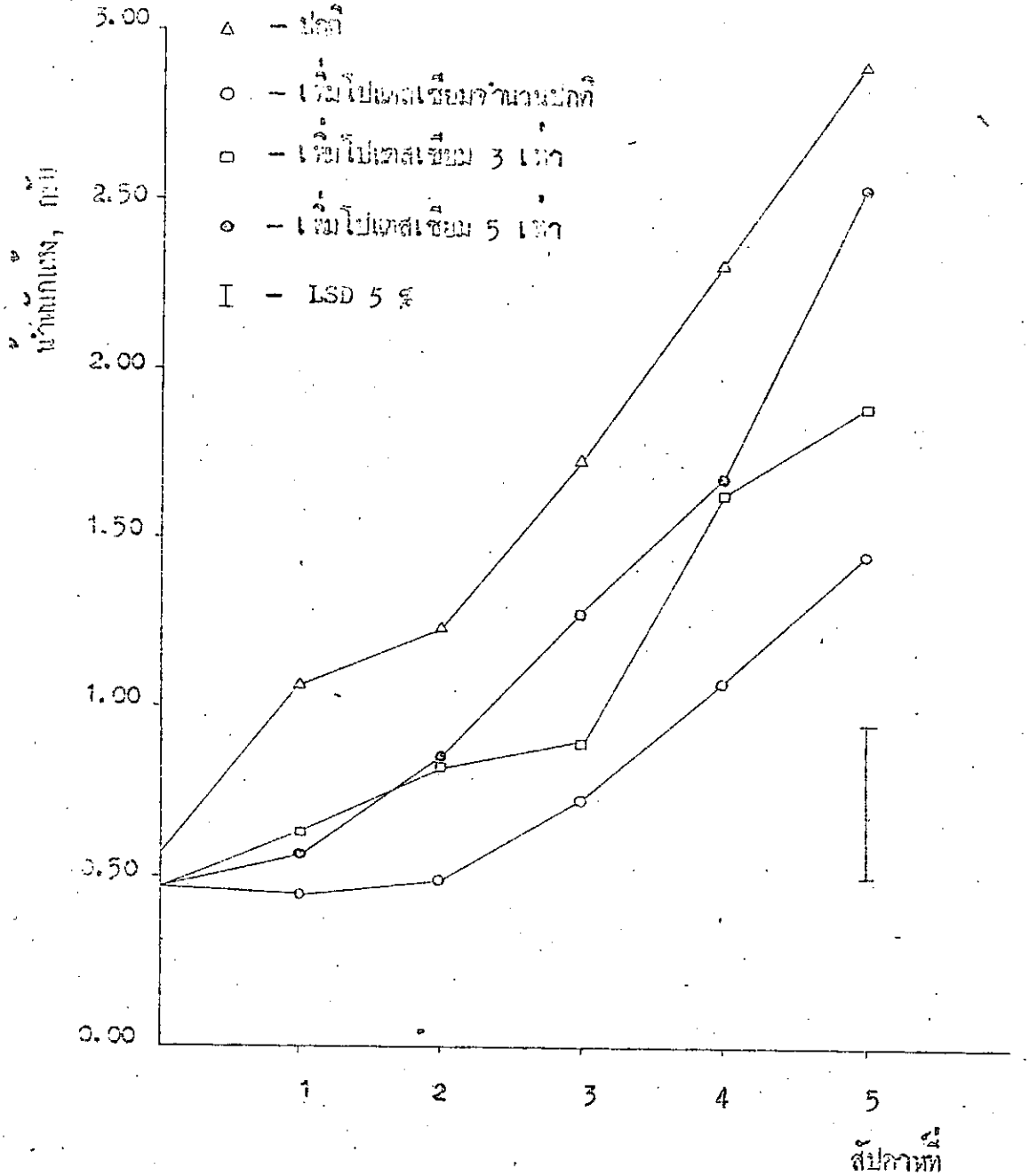
พิจารณาผลการทดลองจากตาราง 10 กับภาพ 28 ดังนี้

ตาราง 10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุโปแตสเซียม แล้วได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (กรัม)

ส่วนของพืช	ปกติ	K+1	K+3	K+5	LSD(5%)
ใบ	1.551±.162	.752±.038	1.036±.057	1.409±.105	.307
ลำต้น	.730±.077	.332±.024	.434±.045	.650±.064	.169
ราก	.617±.052	.387±.034	.419±.015	.443±.034	.110
รวมทั้งต้น	2.898±.223	1.451±.033	1.889±.094	2.503±.181	.456

ผลการทดลองดังภาพ 28 ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียมแล้วได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณต่างกัน สัปดาห์ที่ 5 หลังจากได้รับธาตุโปแตสเซียมไปแล้ว ต้นข้าวโพดกลุ่มที่ได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณ 5 เท่า จะมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวโพดปกติ และมากกว่าต้นข้าวโพดกลุ่มที่ได้รับธาตุโปแตสเซียม 3 เท่า หรือจำนวนเท่าปกติ ส่วนกลุ่มที่ได้รับธาตุโปแตสเซียมจำนวนเท่าปกติ หรือ 3 เท่า จะมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน และต่างก็น้อยกว่าต้นข้าวโพดที่ปกติ หรือกลุ่มที่ได้รับธาตุโปแตสเซียมเพิ่ม 5 เท่าด้วย

ผลการทดลองนี้ แสดงว่าต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุโปแตสเซียมจะเจริญได้เทียมเท่าต้นข้าวโพดปกติ เมื่อได้รับธาตุโปแตสเซียมเป็นจำนวนสูงถึง 5 เท่าของจำนวนปกติ และจากการทดลองครั้งนี้พบว่าปริมาณการเพิ่มธาตุโปแตสเซียมเป็นสัดส่วนตรงกับปริมาณการเจริญของต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุโปแตสเซียม



ภาพ 28 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม แล้วได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณต่างกัน กับต้นปกติ

2.2.5 ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุแมกนีเซียม

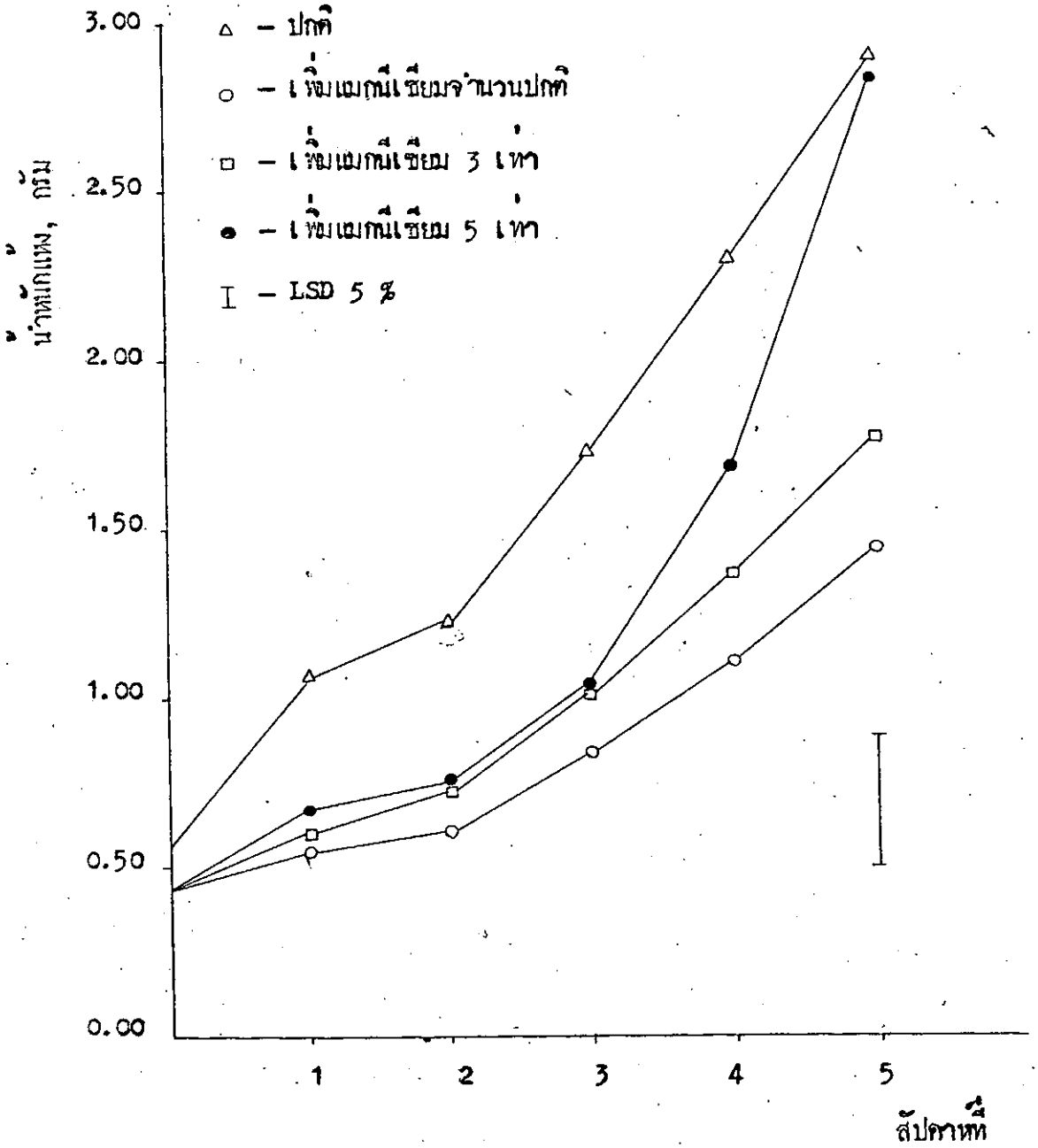
พิจารณาผลการทดลองจากตาราง 12 กับภาพ 30 ดังนี้

ตาราง 12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแมกนีเซียมแล้วได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (กรัม)

ส่วนของพืช	ปกติ	Mg+1	Mg+3	Mg+5	LSD(5%)
ใบ	1.551±.162	.797±.029	.865±.038	1.590±.105	.298
ลำต้น	.730±.077	.386±.034	.516±.036	.790±.059	.163
ราก	.617±.052	.260±.008	.392±.024	.490±.024	.095
รวมทั้งต้น	2.898±.223	1.443±.032	1.773±.052	2.828±.118	.390

ผลการทดลองดังภาพ 30 ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียมแล้วได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณต่างกัน สัปดาห์ที่ 5 หลังจากได้รับธาตุแมกนีเซียมไปแล้ว ต้นข้าวโพดกลุ่มที่ได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณ 5 เท่า จะมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวโพดที่ปกติ และมากกว่าต้นข้าวโพดกลุ่มที่ได้รับแมกนีเซียม 3 เท่า หรือจำนวนเท่าปกติ ส่วนกลุ่มที่ได้รับธาตุแมกนีเซียมจำนวนเท่าปกติหรือ 3 เท่า จะมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน และต่างก็น้อยกว่าต้นข้าวโพดที่ปกติหรือกลุ่มที่ได้รับธาตุแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น 5 เท่า

ผลการทดลองนี้แสดงว่าต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุแมกนีเซียมจะเจริญได้เทียบเท่าต้นข้าวโพดที่ปกติเมื่อได้รับธาตุแมกนีเซียมเป็นจำนวนสูงถึง 5 เท่าของจำนวนปกติ และจากการทดลองครั้งนี้พบว่าปริมาณการเพิ่มธาตุแมกนีเซียมเป็นสัดส่วนตรงกับปริมาณการเจริญของต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุแมกนีเซียม



ภาพ 30 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ได้จากธาตุแมกนีเซียม
แล้วได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณต่างกัน กับต้นปกติ

2.2.6 ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุเหล็ก

พิจารณาผลการทดลองจากตาราง 13 กับภาพ 31 ดังนี้

ตาราง 13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุเหล็กแล้วได้รับธาตุเหล็กปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (กรัม)

ส่วนของพืช	ปกติ	Fe+1	Fe+3	Fe+5	LSD(5%)
ใบ	1.551±.162	-	.831±.048	1.386±.114	.363
ลำต้น	.730±.077	-	.489±.063	.632±.060	.207
ราก	.617±.052	-	.318±.028	.564±.038	.108
รวมทั้งต้น	2.898±.223	-	1.637±.089	2.582±.191	.544

ผลการทดลองดังภาพ 31 เนื่องจากต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุเหล็ก กลุ่มที่ได้รับธาตุเหล็กเพิ่มปริมาณจำนวนปกตินั้น มีอัตราการอยู่รอดเพียง 43.90 เปอร์เซนต์ จึงไม่นำมาพิจารณาในการทดลองเปรียบเทียบการเจริญครั้งนี้ สัปดาห์ที่ 5 หลังจากได้รับธาตุเหล็กไปแล้ว ต้นข้าวโพดกลุ่มที่ได้รับธาตุเหล็กปริมาณ 5 เท่า จะมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวโพดที่ปกติทั้งยังมากกว่าต้นข้าวโพดกลุ่มที่ได้รับธาตุเหล็กจำนวน 3 เท่า และกลุ่มที่ได้รับธาตุเหล็กจำนวน 3 เท่า จะมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นน้อยกว่าต้นข้าวโพดปกติด้วย

ผลการทดลองนี้แสดงว่า ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุเหล็ก จะเจริญได้เทียมเท่าต้นข้าวโพดที่ปกติเมื่อได้รับธาตุเหล็กเป็นจำนวนสูงถึง 5 เท่าของจำนวนปกติ และจากการทดลองครั้งนี้พบว่าปริมาณการเพิ่มธาตุเหล็กเป็นสัดส่วนตรงกับปริมาณการเจริญของต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุเหล็ก ส่วนการเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กเพียงจำนวนเท่าปกตินั้น ถือว่าเป็นปริมาณที่น้อยเกินไปจนต้นข้าวโพดไม่สามารถปรับตัวให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

2.2.7 ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุแคลเซียม

พิจารณาผลการทดลองจากตาราง 14 กับภาพ 32 ดังนี้

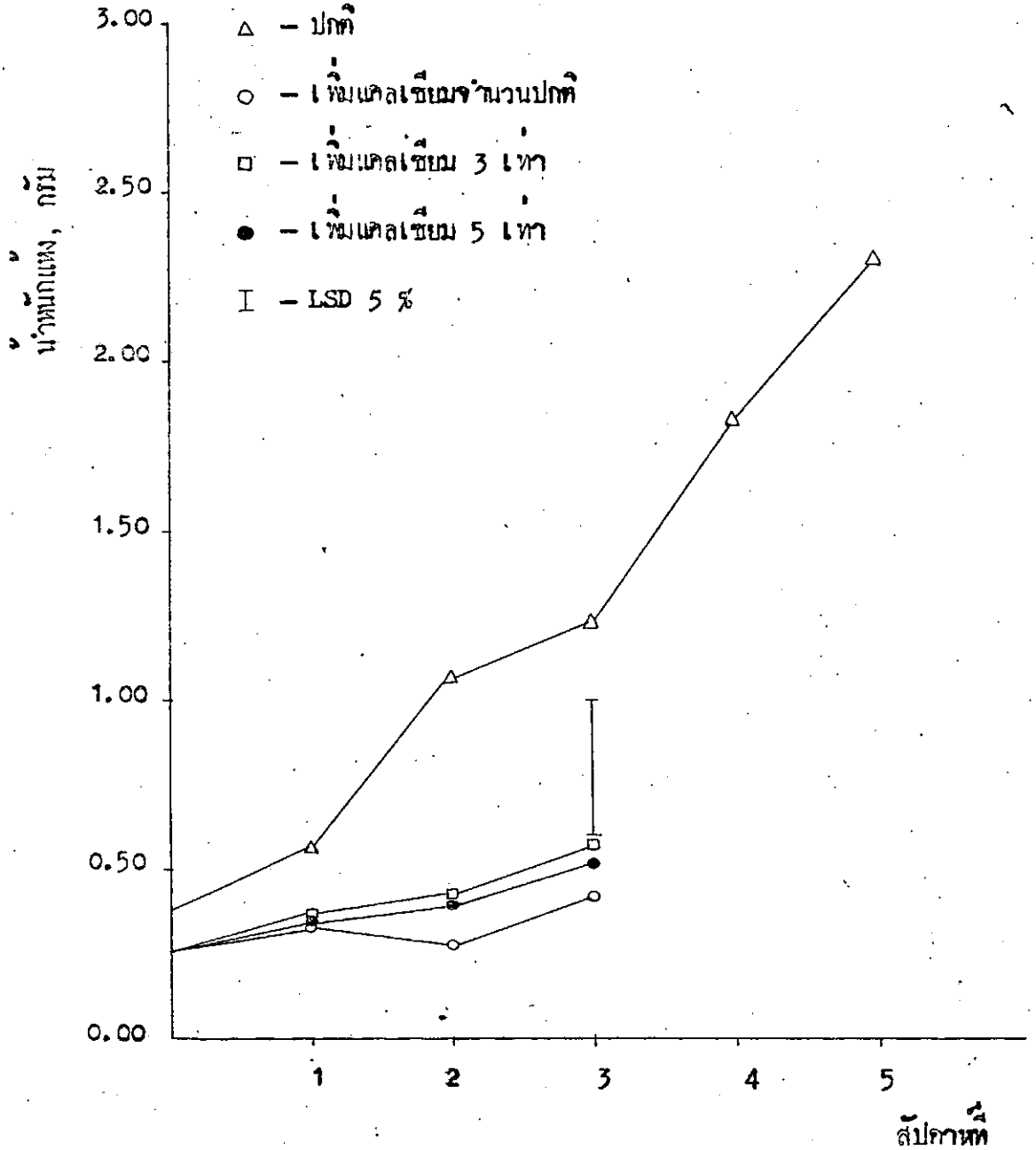
ตาราง 14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแคลเซียม แล้วได้รับธาตุแคลเซียมปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 3 สัปดาห์ กับต้นปกติ (กรัม)

ส่วนของพืช	ปกติ	Ca+1	Ca+3	Ca+5	LSD(5%)
ใบ	.679±.084	.209±.015	.281±.030	.235±.024	.044
ลำต้น	.321±.048	.089±.010	.124±.006	.104±.011	.077
ราก	.227±.024	.126±.012	.174±.016	.184±.019	.056
รวมทั้งต้น	1.227±.149	.423±.021	.579±.041	.519±.052	.405

ผลการทดลองดังภาพ 32 ภายในขอบเขตการทดลองสามารถศึกษาการเจริญของข้าวโพดที่แสดงลักษณะการขาดธาตุแคลเซียมภายหลังการเพิ่มธาตุแคลเซียมปริมาณต่าง ๆ กันได้เพียง 3 สัปดาห์เท่านั้น เพราะอัตราการอยู่รอดของต้นข้าวโพดแต่ละกลุ่มมีน้อยเพียง 43.90, 51.22 และ 39.03 เปอร์เซนต์เท่านั้น สัปดาห์ที่ 3 ของการทดลองพบว่าปริมาณการเจริญของข้าวโพดทั้ง 3 กลุ่มทดลองไม่แตกต่างกัน และต่างกันน้อยกว่าต้นข้าวโพดที่ปกติ ทั้งเมื่อพิจารณาอัตราการเพิ่มของน้ำหนักแห้งก็ต่ำมากอีกด้วย

ผลการทดลองนี้ แสดงว่า การเพิ่มธาตุแคลเซียมปริมาณต่างกันให้แก่ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุแคลเซียมภายในขอบเขตของการทดลองครั้งนี้ไม่สามารถทำให้ต้นข้าวโพดเหล่านั้นเจริญเป็นปกติได้

เมื่อต้นข้าวโพดแสดงลักษณะการขาดธาตุต่าง ๆ ให้สังเกตได้แล้ว ต่อมาให้ต้นข้าวโพดเหล่านั้นได้รับธาตุที่ขาดไปอีกครั้งหนึ่งแล้ว ภายในขอบเขตการทดลองครั้งนี้ จะพบว่า



ภาพ 32 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุแคลเซียม
แล้วได้รับธาตุแคลเซียมปริมาณต่างกัน กับต้นปกติ

1) ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุไนโตรเจน หรือธาตุฟอสฟอรัส ปริมาณการเจริญของต้นข้าวโพดเหล่านี้จะกลับเทียมเท่าต้นข้าวโพดปกติภายในระยะเวลา 5 สัปดาห์ หากได้รับธาตุที่ขาดไปปริมาณอย่างน้อยที่สุดเท่าจำนวนปกติ ทั้งการเพิ่มปริมาณธาตุที่ขาดไปให้มากยิ่งขึ้น ก็จะไม่มีผลให้เพิ่มปริมาณการเจริญอีกกว่าเดิม

2) ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม หรือ ธาตุซัลเฟอร์ ปริมาณการเจริญของต้นข้าวโพดเหล่านี้จะกลับเทียมเท่าต้นข้าวโพดปกติภายในระยะเวลา 5 สัปดาห์ หากได้รับธาตุที่ขาดไปประมาณสูงถึง 5 เท่าของปกติ และหากได้รับปริมาณน้อยกว่านี้ก็จะมีปริมาณการเจริญไม่เทียมเท่าพืชปกติ

3) ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะการขาดธาตุเหล็ก ปริมาณการเจริญของต้นข้าวโพดเหล่านี้จะกลับเทียมเท่ากับข้าวโพดปกติภายในระยะเวลา 5 สัปดาห์ หากได้รับธาตุเหล็กปริมาณสูงถึง 5 เท่าของปกติ หากได้รับปริมาณน้อยกว่านี้จะมีปริมาณการเจริญน้อยกว่าปกติ และหากได้รับน้อยเท่าจำนวนปกติอัตราการเจริญจะลดลงเรื่อย ๆ จนตายไปในที่สุด (3 สัปดาห์)

4) ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะการขาดธาตุแคลเซียม แม้ว่าจะได้รับธาตุแคลเซียมภายหลังแสดงลักษณะผิดปกติแล้วก็ตาม โอกาสที่ข้าวโพดจะกลับเจริญเพิ่มขึ้นมีน้อย ยิ่งจากการทดลองข้าวโพดจะตายภายใน 3 สัปดาห์ต่อมา

เมื่อพิจารณาดูโอกาสที่ต้นข้าวโพดจะกลับมีการเจริญเป็นปกติได้อีกครั้งหนึ่งภายหลังการแสดงลักษณะขาดธาตุอาหารแล้ว จะเห็นได้ว่าต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียมมีโอกาสน้อยที่สุด

2.3 การเจริญของใบข้าวโพดภายหลังได้รับธาตุอาหารที่ขาดไป

จากการวิเคราะห์ความกว้างกับความยาวใบของต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ภายหลังการให้ธาตุที่ข้าวโพดขาดแต่ละไปปริมาณต่างกันใบต่อใบเปรียบเทียบกับใบของต้นข้าวโพดปกติ ผลการทดลองดังปรากฏในตาราง 15 ก., ข. – 21 ก., ข. กับภาพ 33 – 39 ดังนี้

2.3.1 ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุไนโตรเจน

ผลการทดลองดังตาราง 15 ก. และ 15 ข. กับภาพ 33

ก. ความกว้างของใบ ใบที่ 3, 4, 5 และ 6 แต่ละใบจะมีความกว้างไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทั้ง 3 กลุ่ม และไม่แตกต่างไปจากของต้นปกติด้วย ส่วนใบที่ 7 กลุ่มที่ได้รับธาตุไนโตรเจนปริมาณ 5 เท่า จะกว้างกว่ากลุ่มที่ได้รับธาตุไนโตรเจน 3 เท่า แต่ไม่แตกต่างไปจากกลุ่มที่ได้รับธาตุไนโตรเจนจำนวนปกติหรือของต้นปกติ และทั้งกลุ่มที่ได้รับธาตุไนโตรเจนปกติกับกลุ่มที่ได้รับธาตุไนโตรเจน 3 เท่า จะมีความกว้างน้อยกว่าต้นปกติด้วย ส่วนใบที่ 8 กลุ่มที่ได้รับเพิ่มธาตุไนโตรเจนทั้ง 3 กลุ่มมีความกว้างของใบไม่แตกต่างกัน แต่กลุ่มที่ได้รับธาตุไนโตรเจนจำนวนปกติจะมีความกว้างของใบน้อยกว่าต้นปกติ

ข. ความยาวของใบ ใบที่ 3 – 9 ทุก ๆ กลุ่มมีความยาวไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มและไม่แตกต่างไปจากต้นข้าวโพดปกติ

เป็นที่น่าสังเกตว่าจำนวนใบของต้นข้าวโพดทั้ง 3 กลุ่ม ก็มีความแตกต่างกันด้วย กลุ่มที่ได้รับธาตุไนโตรเจนปริมาณ 5 เท่า จะมีจำนวนใบมากกว่าอีก 2 กลุ่ม และไม่แตกต่างไปจากต้นข้าวโพดปกติ และใบบริเวณโคนต้นข้าวโพดทั้ง 3 กลุ่ม จะตายไป 1 – 2 ใบด้วย

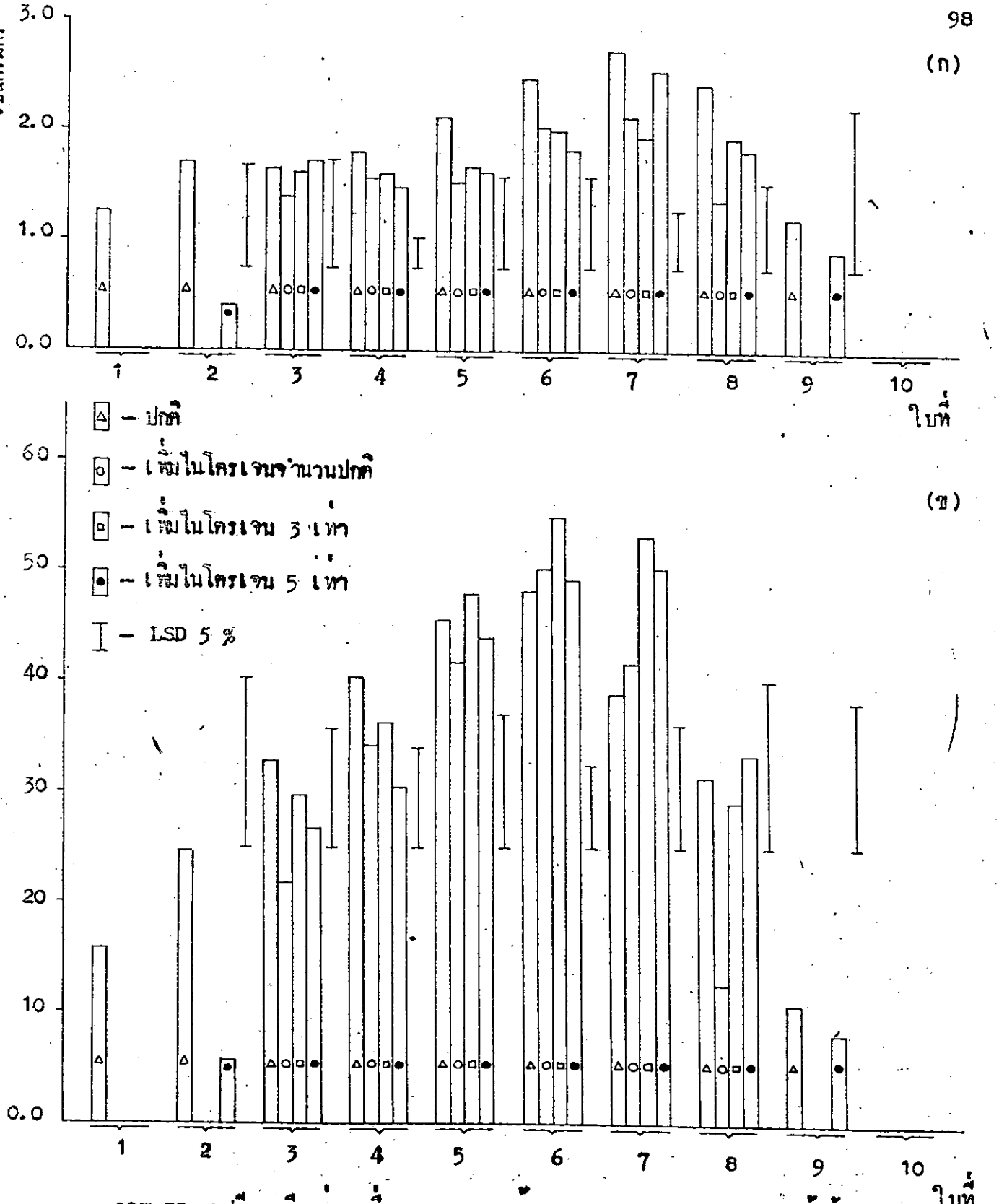
ผลการทดลองนี้ แสดงว่าต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุไนโตรเจนปริมาณ 5 เท่า จะมีความกว้าง ความยาว และจำนวนใบไม่แตกต่างไปจากต้นข้าวโพดปกติ ส่วนอีก 2 กลุ่ม ความกว้างของใบบริเวณยอดจะแตกต่างไปจากต้นปกติ

ตาราง 15 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุไนโตรเจน แล้วได้รับธาตุไนโตรเจนปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร)

ใบที่	ปกติ	N+1	N+3	N+5	LSD(5%)
1	1.26±0.33				
2	1.70±0.05			0.40±0.39	0.963
3	1.65±0.05	1.40±0.34	1.62±0.05	1.72±0.10	0.990
4	1.80±0.12	1.56±0.04	1.60±0.06	1.48±0.08	0.294
5	2.12±0.21	1.54±0.02	1.67±0.01	1.62±0.14	0.822
6	2.48±0.25	2.04±0.08	2.00±0.08	1.84±0.16	0.848
7	2.74±0.28	2.12±0.13	1.94±0.11	2.55±0.31	0.540
8	2.42±0.28	1.38±0.03	1.94±0.08	1.84±0.12	0.773
9	1.22±0.49			0.92±0.40	1.478

ตารางที่ 15 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุไนโตรเจน แล้วได้รับธาตุไนโตรเจนปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร)

ใบที่	ปกติ	N+1	N+3	N+5	LSD(5%)
1	15.80±4.12				
2	24.60±3.17			5.90±5.89	15.450
3	32.90±4.34	21.80±5.48	29.70±0.07	26.70±1.72	10.860
4	40.50±1.99	34.20±1.18	36.40±2.47	30.50±3.26	9.066
5	45.60±2.72	41.80±4.20	48.00±3.07	39.00±5.59	12.170
6	48.20±1.83	50.40±1.86	55.00±1.35	49.40±4.03	7.487
7	39.00±6.72	41.90±3.49	53.34±1.89	50.30±0.95	11.191
8	31.50±5.08	12.60±1.62	29.30±3.91	33.50±7.46	15.423
9	10.10±4.61			8.30±3.56	13.485



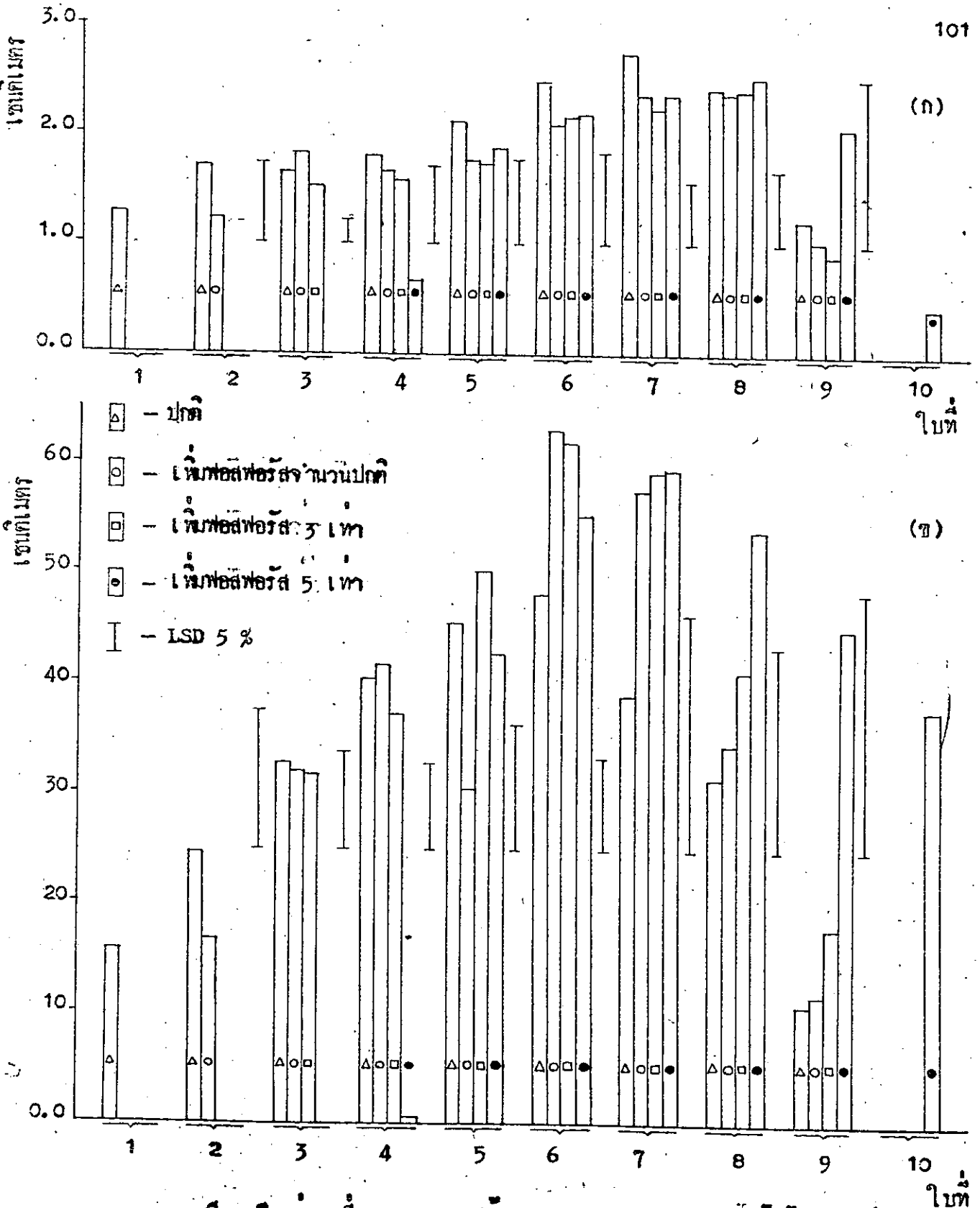
ภาพ 33 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (ก) ความกว้าง (ข) ความยาว ของใบต้นข้าวโพด ที่แสดงอาการขาดธาตุไนโตรเจน แล้วได้รับธาตุไนโตรเจนปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ

ตาราง 16 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัส และได้รับธาตุฟอสฟอรัสเพิ่มปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร)

ใบที่	ปกติ	P+1	P+3	P+5	LSD(5%)
1	1.26±0.33				
2	1.70±0.05	1.22±0.30			0.737
3	1.65±0.05	1.84±0.11	1.52±0.01		0.217
4	1.80±0.12	1.66±0.13	1.58±0.11	0.66±0.40	0.717
5	2.12±0.21	1.75±0.10	1.74±0.11	1.86±0.16	0.761
6	2.48±0.25	2.08±0.13	2.16±0.08	2.18±0.09	0.831
7	2.74±0.28	2.36±0.16	2.24±0.08	2.36±0.13	0.563
8	2.42±0.28	2.38±0.28	2.40±0.07	2.52±0.17	0.674
9	1.22±0.49	1.04±0.63	0.90±0.59	2.06±0.52	1.537
10				0.44±0.43	

ตาราง 16 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัส แล้วได้รับธาตุฟอสฟอรัสเพิ่มปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร)

ใบที่	ปกติ	P+1	P+3	P+5	LSD(5%)
1	15.80±4.12				
2	24.60±3.17	16.80±4.39			12.507
3	32.90±4.34	32.00±1.70	31.90±1.90		8.981
4	40.50±1.99	41.90±2.10	37.20±1.56	0.66±0.40	7.534
5	45.60±2.72	30.55±12.62	50.40±3.13	42.90±3.49	10.139
6	48.20±1.83	63.20±3.50	62.00±2.79	55.40±3.62	8.306
7	39.00±6.72	57.60±4.57	59.40±3.62	59.50±1.85	21.312
8	31.80±5.08	34.50±7.49	41.20±5.29	54.20±6.05	18.522
9	10.10±4.61	10.20±6.79	10.80±8.32	45.20±11.64	23.54
10				38.0 ±3.79	



ภาพ 34 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (ก) ความกว้าง (ข) ความยาว ของใบต้นข้าวโพด ที่แสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัส แล้วได้รับธาตุฟอสฟอรัสปริมาณแตกต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ

2.3.2 ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุฟอสฟอรัส

ผลการทดลองดังตาราง 16 ก. และ ข. กับภาพ 34

ก. ความกว้างของใบ ความกว้างของใบต้นข้าวโพดของทุก ๆ กลุ่ม ไม่แตกต่างกัน และต่างก็ไม่แตกต่างไปจากของใบต้นข้าวโพดปกติอีกด้วย

ข. ความยาวของใบ ใบที่ 6 ต้นข้าวโพดกลุ่มที่ได้รับธาตุฟอสฟอรัส จำนวน 3 เท่า หรือ 5 เท่า จะยาวไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างจากต้นข้าวโพดปกติด้วย แต่ยาวมากกว่ากลุ่มต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุฟอสฟอรัสจำนวนปกติ ใบที่ 6 และ 7 ก็ยาวกว่าของต้นปกติอีกด้วย ส่วนใบที่ 8 และ 9 กลุ่มที่ได้รับธาตุฟอสฟอรัสประมาณ 5 เท่า จะมีความยาวของใบมากกว่าต้นข้าวโพดปกติ และอีก 2 กลุ่ม

จำนวนใบของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุฟอสฟอรัสปริมาณ 5 เท่า จะมีมากกว่าต้นปกติและอีก 2 กลุ่ม และต้นข้าวโพดทั้ง 3 กลุ่มใบบริเวณโคนต้นจะตายไป 1 – 2 ใบ

ผลการทดลองนี้แสดงว่า ต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุฟอสฟอรัสปริมาณ 5 เท่า จะมีความยาวของใบบริเวณยอด และจำนวนของใบมากกว่าต้นข้าวโพดปกติ และต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุฟอสฟอรัสปริมาณน้อยกว่าส่วนความกว้างของใบต้นข้าวโพดทุก ๆ กลุ่มนั้นไม่แตกต่างกันเลยในแต่ละกลุ่มและกับของต้นข้าวโพดปกติ

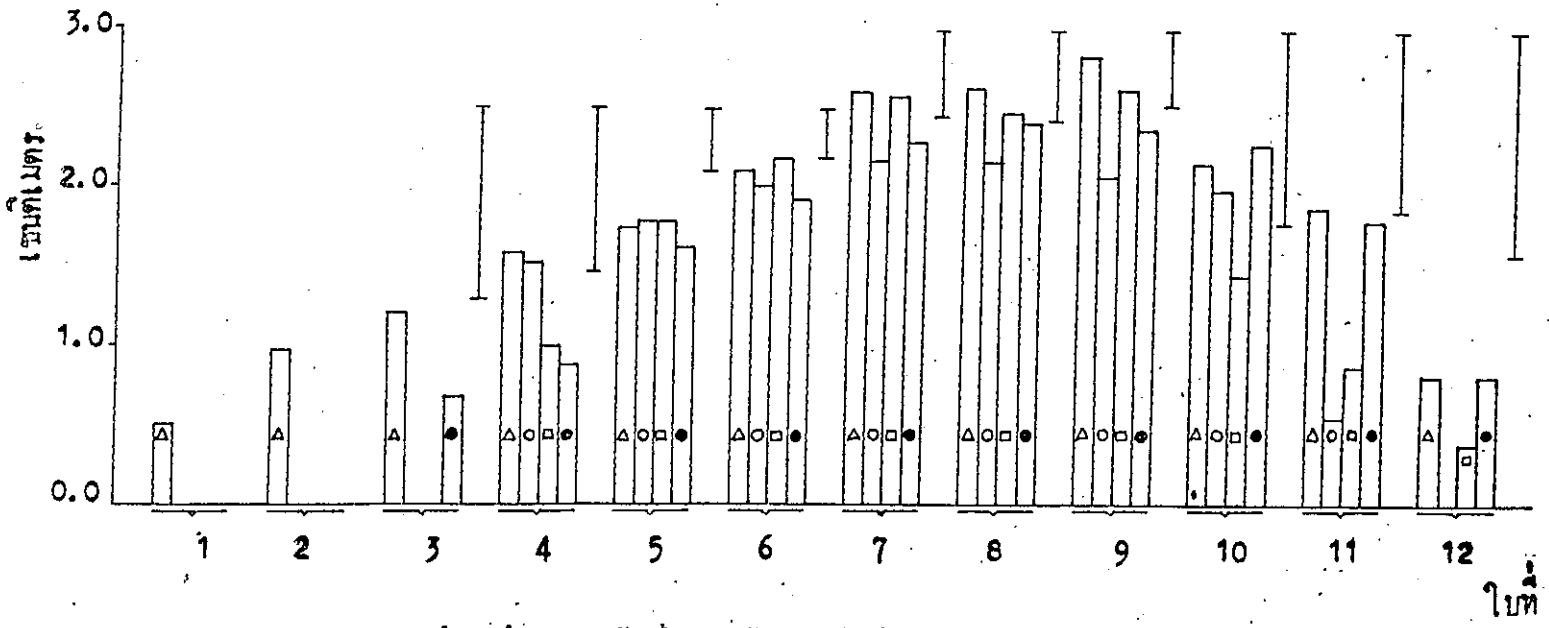
2.3.3 ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุโปแตสเซียม

ผลการทดลองดังตาราง 17 ก. และ ข. กับภาพ 35 ก. และ ข.

ก. ความกว้างของใบ ใบที่ 7, 9 และ 11 ของต้นข้าวโพดกลุ่มที่ได้รับธาตุโปแตสเซียมจำนวนปกติ จะกว้างน้อยกว่าใบต้นข้าวโพดปกติ ส่วนต้นข้าวโพดอีก 2 กลุ่มความกว้างของใบไม่แตกต่างไปจากใบของต้นข้าวโพดปกติ และความกว้างของใบของต้นข้าวโพดทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกัน ยกเว้นใบที่ 9 ของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณ 5 เท่าจะกว้างกว่าใบของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุโปแตสเซียมจำนวนปกติ

ตาราง 17 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุโปแตสเซียม แล้วได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร)

ใบที่	ปกติ	K+1	K+3	K+5	LSD(5%)
1	0.52±0.31				
2	0.98±0.40				
3	1.20±0.31			0.68±0.41	1.20
4	1.58±0.12	1.52±0.38	1.00±0.41	0.88±0.36	1.02
5	1.74±0.16	1.78±0.09	1.78±0.14	1.62±0.11	0.40
6	2.10±0.14	2.00±0.03	2.18±0.07	1.92±0.12	0.31
7	2.60±0.25	2.16±0.15	2.58±0.10	2.28±0.18	0.55
8	2.64±0.27	2.16±0.14	2.46±0.13	2.40±0.19	0.58
9	2.84±0.27	2.06±0.03	2.62±0.11	2.36±0.13	0.48
10	2.14±0.59	1.98±0.05	1.43±0.57	2.26±0.16	1.23
11	1.86±0.77	0.54±0.33	0.86±0.05	1.78±0.27	1.15
12	0.80±0.49		0.36±0.35	0.80±0.51	1.42



ภาพ 35 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุโปแตสเซียม แล้วได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ

△ – ปกติ

▫ – เพิ่มโปแตสเซียม 3 เท่า

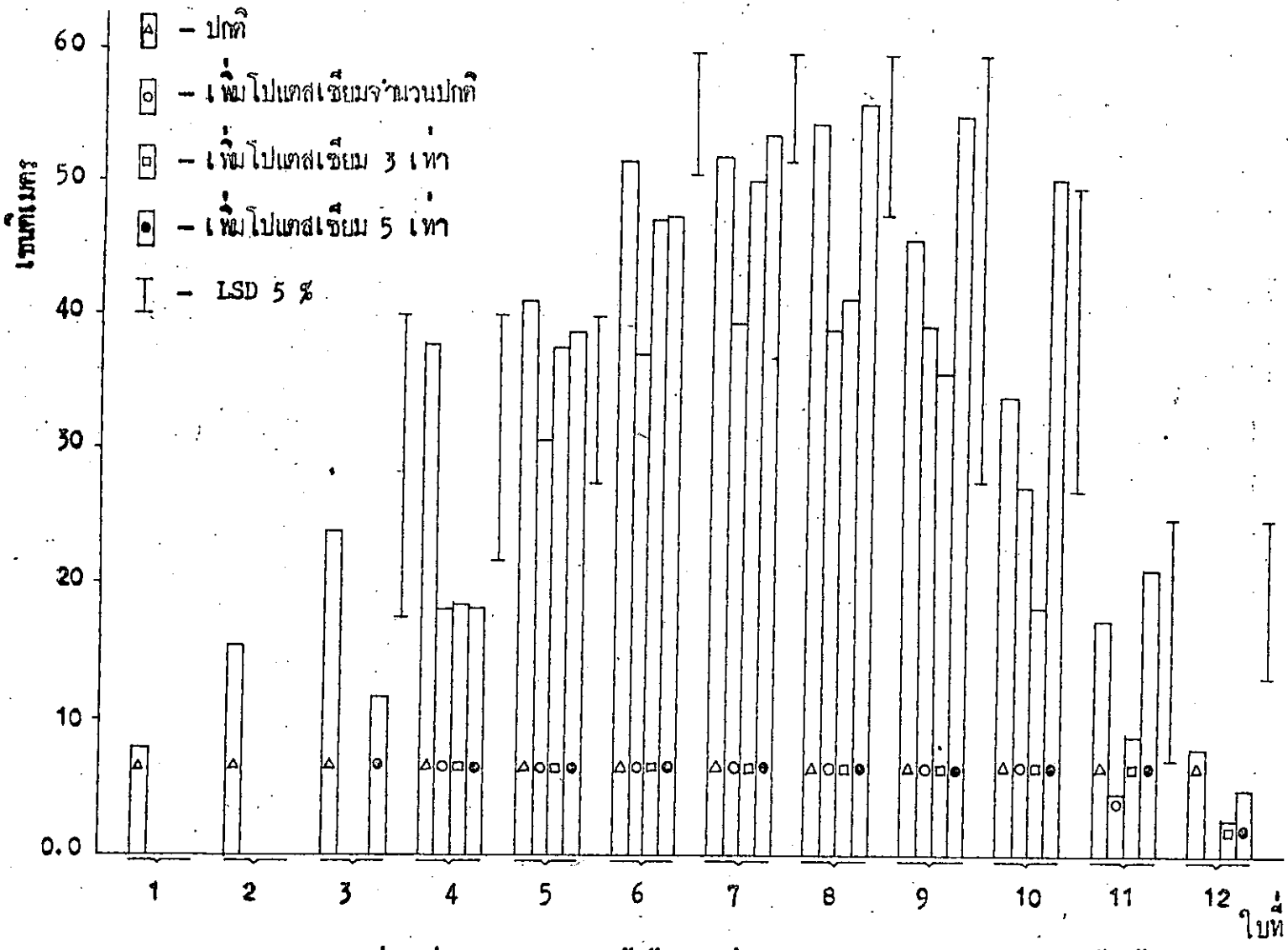
○ – เพิ่มโปแตสเซียมจำนวนปกติ

● – เพิ่มโปแตสเซียม 5 เท่า

I – LSD 5 %

ตาราง 17 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุโปแตสเซียม แล้วได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร)

ใบที่	ปกติ	K+1	K+3	K+5	LSD(5%)
1	7.70±4.76				
2	15.20±6.43				
3	23.70±6.75			11.50±7.03	22.51
4	37.80±3.32	18.00±4.82	18.40±8.15	18.20±7.63	18.97
5	41.10±5.54	30.60±3.34	37.60±0.50	38.80±1.82	12.58
6	51.70±3.71	37.20±2.51	47.40±2.69	47.50±0.89	9.27
7	52.20±2.60	39.50±4.04	50.30±2.28	53.90±1.63	8.21
8	54.60±3.54	39.00±2.38	41.40±6.56	56.20±2.08	12.16
9	45.40±8.38	39.30±4.27	35.70±6.42	55.30±2.65	30.23
10	34.00±11.55	27.40±4.95	18.20±6.70	50.60±5.51	22.90
11	17.30±7.75	4.60±2.85	8.90±6.18	21.40±5.56	17.58
12	8.00±5.14		2.60±2.59	5.00±3.16	11.83



ภาพ 35 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุโปแตสเซียม แล้วได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ

ข. ความยาวของใบ ใบที่ 6, 7 ต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณปกติจะยาวน้อยกว่าของต้นข้าวโพดปกติ และน้อยกว่าของต้นข้าวโพดอีก 2 กลุ่มด้วย ใบที่ 8 ของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุโปแตสเซียมจำนวนปกติและ 3 เท่าจะยาวไม่แตกต่างกัน แต่ต่างก็ยาวน้อยกว่าของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณ 5 เท่า กับของต้นข้าวโพดปกติ

จำนวนใบของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณปกติจะน้อยกว่าอีก 2 กลุ่ม และน้อยกว่าต้นข้าวโพดปกติ และต้นข้าวโพดทั้ง 3 กลุ่มใบบริเวณโคนต้นจะตายไป 1 – 3 ใบด้วย

ผลการทดลองนี้แสดงว่าต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณ 3 เท่า กับ 5 เท่า จะมีจำนวนใบ ความกว้าง กับความยาวของใบไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างไปจากต้นข้าวโพดปกติ แต่ต่างก็มากกว่าของใบต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณเท่าจำนวนปกติ

2.3.4 ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุแมกนีเซียม

ผลการทดลองดังตาราง 18 ก. และ ข. กับภาพ 36 ก. และ ข.

ก. ความกว้างของใบ ใบที่ 5 – 12 จะมีความกว้างแตกต่างกัน คือใบที่ 5 ของต้นข้าวโพดกลุ่มที่ได้รับธาตุแมกนีเซียม 5 เท่า จะกว้างกว่าอีก 2 กลุ่ม และกว้างกว่าใบของต้นปกติด้วย ใบที่ 6 – 12 ของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุแมกนีเซียม 5 เท่า จะกว้างกว่าใบของต้นข้าวโพดอีก 2 กลุ่ม แต่ไม่กว้างกว่าใบของต้นข้าวโพดปกติ

ข. ความยาวของใบ ใบที่ 8 และ 10 ของต้นข้าวโพดกลุ่มที่ได้รับธาตุแมกนีเซียมจำนวนเท่าปกติ และจำนวน 3 เท่า จะยาวน้อยกว่าใบของต้นข้าวโพดปกติ แต่ไม่แตกต่างจากใบของต้นข้าวโพดกลุ่มที่ได้รับธาตุแมกนีเซียมจำนวน 5 เท่าของปกติ

จำนวนใบของต้นข้าวโพดทั้ง 3 กลุ่มทดลอง ก็มีความแตกต่างกัน ต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุแมกนีเซียม 5 เท่า จะมีจำนวนใบเท่ากับต้นข้าวโพดปกติ ส่วนต้นข้าวโพดอีก 2 กลุ่ม จะมีจำนวนใบน้อยกว่า 2 ใบ และใบบริเวณโคนต้นจะตายไป 1 ใบอีกด้วย

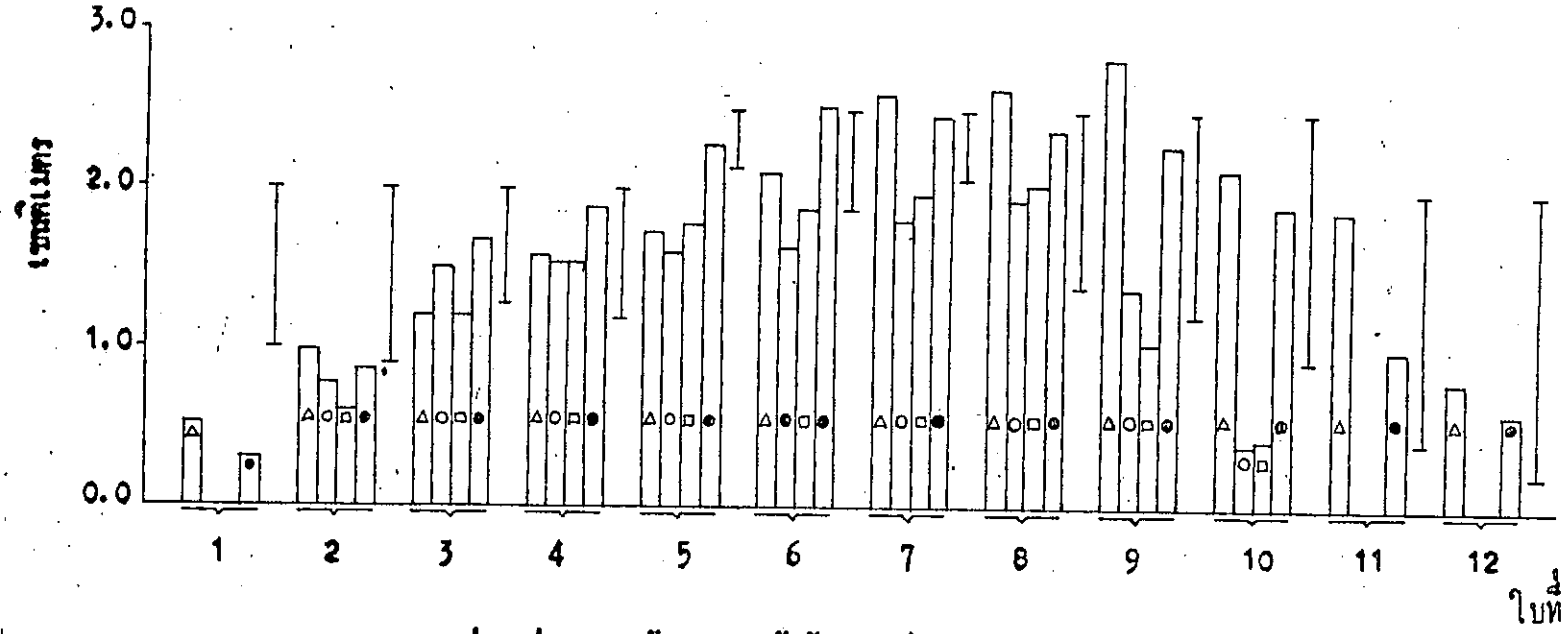
ผลการทดลองนี้แสดงว่าต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณ 5 เท่า จะมีจำนวนใบความกว้าง ยาว ของใบไม่แตกต่างไปจากต้นข้าวโพดปกติ แต่ต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณเท่าปกติหรือ 3 เท่าปกติ จะมีจำนวนใบ ความกว้างของใบ บริเวณใกล้ยอด และความยาวของใบบริเวณใกล้ยอดน้อยกว่าต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณ 5 เท่า หรือต้นข้าวโพดปกติ

ตาราง 18 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแมกนีเซียม แล้วได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร)

ใบที่	ปกติ	Mg+1	Mg+3	Mg+5	LSD(5%)
1	0.52±0.31			0.32±0.31	1.04
2	0.98±0.40	0.78±0.32	0.60±0.37	0.86±0.35	1.10
3	1.20±0.31	1.50±0.07	1.20±0.31	1.68±0.18	0.73
4	1.58±0.12	1.54±0.17	1.54±0.10	1.88±0.48	0.81
5	1.74±0.16	1.60±0.08	1.78±0.06	2.28±0.13	0.37
6	2.10±0.14	1.63±0.14	1.84±0.09	2.52±0.16	0.63
7	2.60±0.25	1.80±0.12	1.96±0.05	2.46±0.02	0.43
8	2.64±0.27	1.94±0.17	2.04±0.19	2.38±0.63	1.11
9	2.84±0.27	1.38±0.38	1.04±0.42	2.28±0.57	1.29
10	2.14±0.59	0.40±0.25	0.44±0.27	1.90±0.78	1.58
11	1.86±0.77			1.00±0.61	1.58
12	0.80±0.49			0.60±0.59	1.78

ตาราง 18 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแมกนีเซียม แล้วได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร)

ใบที่	ปกติ	Mg+1	Mg+3	Mg+5	LSD(5%)
1	7.70±4.76			4.80±4.80	15.68
2	15.20±6.43	8.12±4.67	9.20±5.66	14.50±6.30	17.43
3	23.70±6.75	27.70±2.19	22.10±5.67	33.20±4.06	14.93
4	37.80±3.32	38.60±4.08	37.60±0.97	46.30±3.05	9.24
5	41.10±5.54	42.40±4.48	45.40±1.66	54.60±3.00	11.87
6	51.70±3.71	48.00±1.26	51.90±2.39	55.00±2.46	7.96
7	52.20±2.60	41.70±5.92	45.20±5.12	51.80±6.62	12.12
8	54.60±3.54	31.20±5.66	32.00±6.01	45.70±11.77	22.34
9	45.40±8.38	17.70±6.10	11.00±5.54	36.90±10.46	34.12
10	34.00±11.55	3.20±1.98	4.40±2.71	20.50±9.47	22.96
11	17.30±7.75			11.30±7.57	24.99
12	8.00±5.14			3.40±3.39	14.22



ภาพ 36 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแมกนีเซียม แล้วได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ

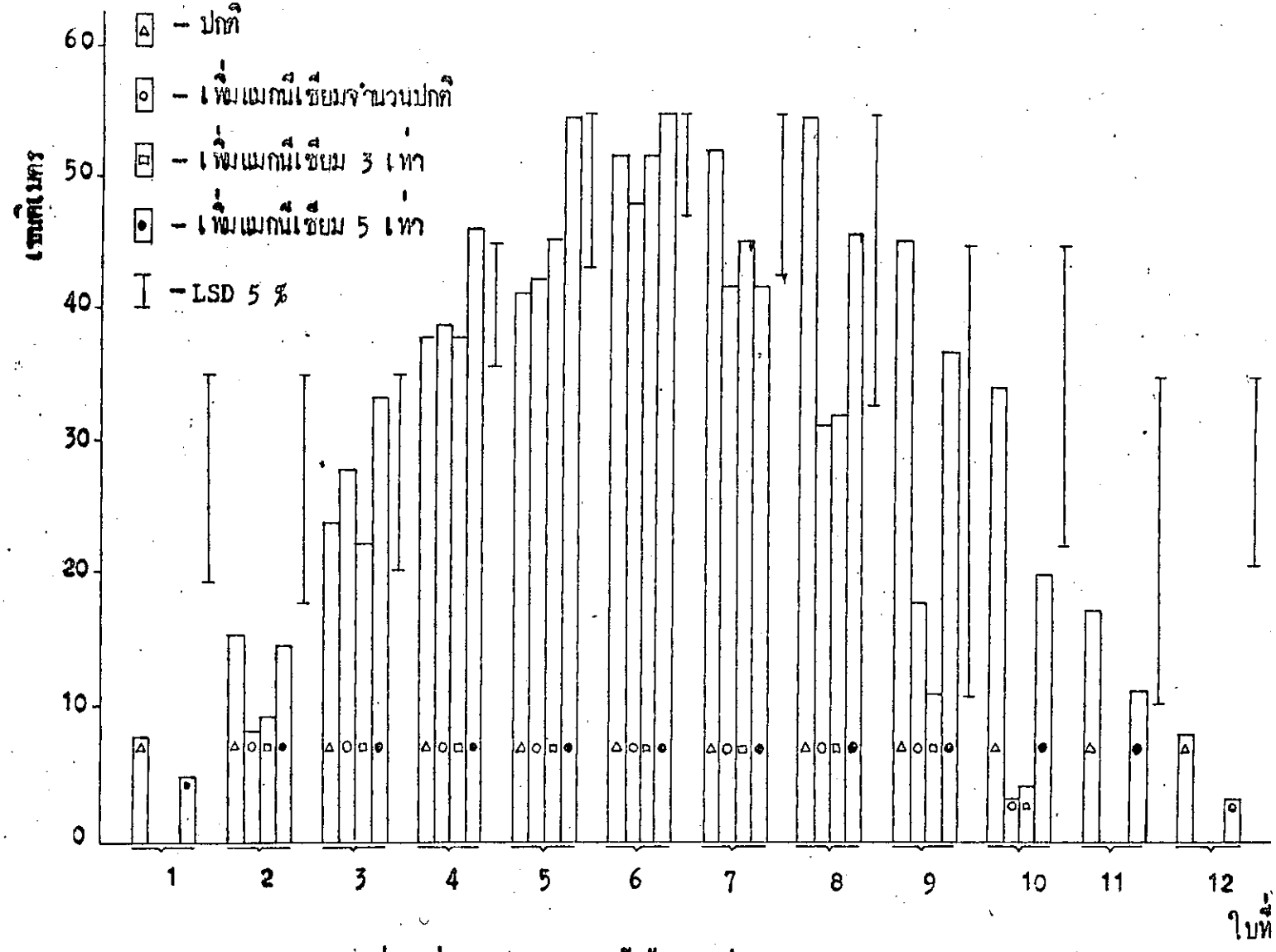
△ – ปกติ

○ – เพิ่มแมกนีเซียมจำนวนปกติ

I – LSD 5 %

□ – เพิ่มแมกนีเซียม 3 เท่า

● – เพิ่มแมกนีเซียม 5 เท่า



ภาพ 36 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแมกนีเซียม แล้วได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ

2.2.5 ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุซัลเฟอร์

ผลการทดลองดังตาราง 19 ก. และ ข. กับภาพ 37 ก. และ ข.

ก. ความกว้างของใบ ใบที่ 7 – 10 ต้นข้าวโพดกลุ่มที่ได้รับธาตุซัลเฟอร์ปริมาณเท่าจำนวนปกติ และปริมาณ 3 เท่า จะมีความกว้างของใบน้อยกว่าทั้งของต้นข้าวโพดปกติ และต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุซัลเฟอร์ปริมาณ 5 เท่า แต่ใบที่ 10 – 11 ของต้นข้าวโพดทั้ง 3 กลุ่ม มีความกว้างไม่แตกต่างกัน แต่ต่างก็มีความกว้างน้อยกว่าต้นข้าวโพดปกติ

ข. ความยาวของใบ ใบที่ 6, 7 และ 8 ต้นข้าวโพดกลุ่มที่ได้รับธาตุซัลเฟอร์ปริมาณเท่าจำนวนปกติ และปริมาณ 3 เท่า จะยาวน้อยกว่าทั้งใบของต้นข้าวโพดปกติและต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุซัลเฟอร์ปริมาณ 5 เท่า ส่วนใบที่ 10 และ 11 ต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุซัลเฟอร์จำนวนปกติจะยาวน้อยกว่าใบของต้นข้าวโพดปกติ แต่ไม่แตกต่างไปจากของใบต้นข้าวโพดอีก 2 กลุ่ม

จำนวนใบต้นข้าวโพดทั้ง 3 กลุ่มทดลอง จะมีน้อยกว่าใบของต้นข้าวโพดปกติ และใบบริเวณโคนต้นจะตายไป 1 – 3 ใบ

ผลการทดลองนี้แสดงว่า จำนวนใบของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุแมกนีเซียมทั้ง 3 กลุ่ม จะมีน้อยกว่าใบของต้นข้าวโพดปกติ ส่วนความกว้างและยาวของใบนั้นเฉพาะใบบริเวณส่วนกลางของลำต้นขึ้นมา ของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุซัลเฟอร์จำนวนปกติ และ 3 เท่า จะน้อยไปกว่าของต้นข้าวโพดปกติ และต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุซัลเฟอร์ปริมาณ 5 เท่า

2.3.6 ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุเหล็ก

ผลการทดลองดังตาราง 20 ก. และ ข. กับภาพ 38 ก. และ ข.

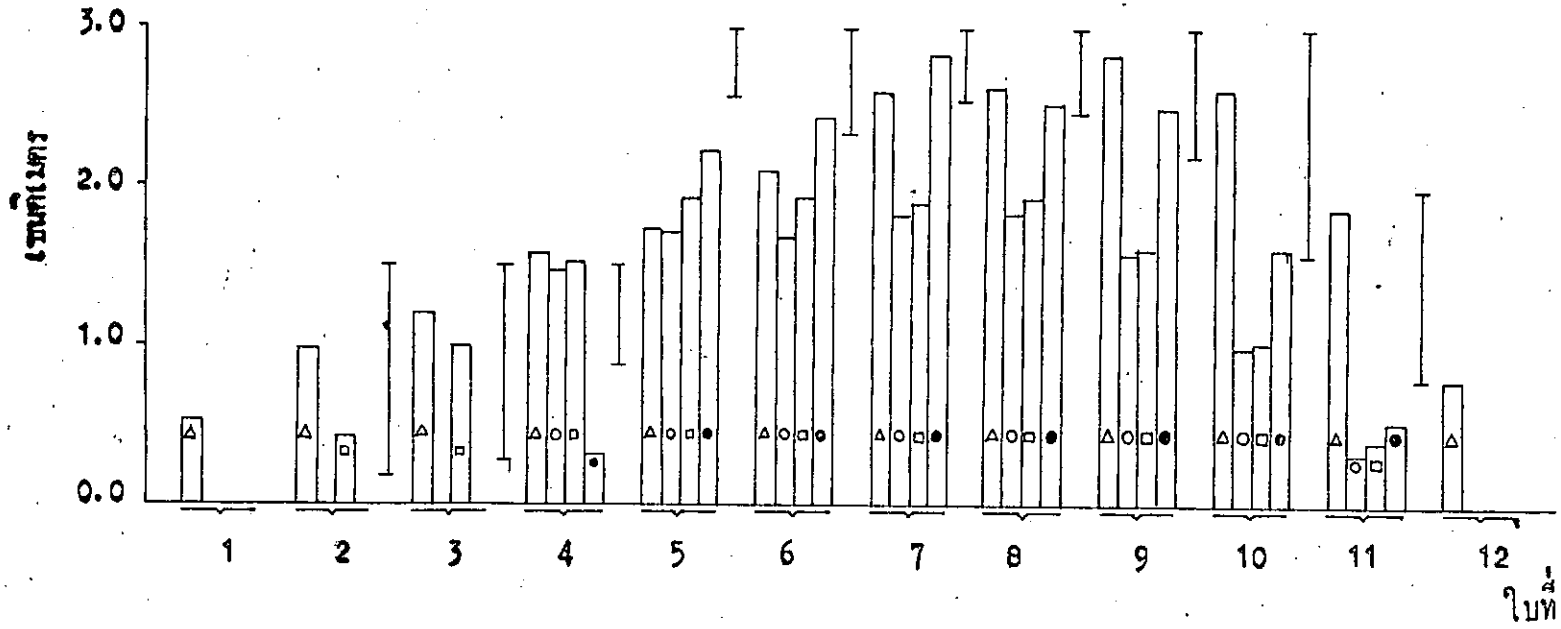
ก. ความกว้างของใบ ใบที่ 10 ของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุเหล็กปริมาณ 3 เท่า จะกว้างน้อยกว่าใบของทั้งต้นข้าวโพดปกติและต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุเหล็กปริมาณ 5 เท่า ส่วนใบของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุเหล็ก ปริมาณ 5 เท่าทุก ๆ ใบ จะมีความกว้างของใบไม่แตกต่างไปจากของใบต้นข้าวโพดปกติ

ตาราง 19 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุซัลเฟอร์ แล้วได้รับธาตุซัลเฟอร์ปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร)

ใบที่	ปกติ	S+1	S+3	S+5	LSD(5%)
1	0.52±0.31				
2	0.98±0.40		0.42±0.41		1.34
3	1.20±0.31		1.00±0.41		1.21
4	1.58±0.12	1.46±0.05	1.52±0.19	0.34±0.33	0.62
5	1.74±0.16	1.72±0.11	1.92±0.16	2.22±0.13	0.44
6	2.10±0.14	1.68±0.07	1.94±0.18	2.44±0.11	0.66
7	2.60±0.25	1.82±0.07	1.90±0.11	2.84±0.10	0.45
8	2.64±0.27	1.84±0.06	1.94±0.13	2.54±0.14	0.52
9	2.84±0.27	1.58±0.17	1.60±0.21	2.52±0.21	0.80
10	2.14±0.59	1.00±0.41	1.02±0.43	1.62±0.45	1.44
11	1.86±0.77	0.34±0.33	0.40±0.39	0.52±0.52	1.20
12	0.80±0.49				

ตาราง 19 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุซัลเฟอร์ แล้วได้รับธาตุซัลเฟอร์ปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร)

ใบที่	ปกติ	S+1	S+3	S+5	LSD(5%)
1	7.70±4.76				
2	15.20±6.43		5.00±5.00		18.79
3	23.70±6.75		16.20±6.71		21.96
4	37.80±3.32	31.10±2.68	27.60±4.87	4.40±4.39	11.74
5	41.10±5.54	35.10±2.48	37.40±4.94	41.30±2.48	12.32
6	51.70±3.71	35.00±1.72	33.90±3.74	49.00±1.81	8.69
7	52.20±2.60	30.90±2.13	33.30±3.26	50.40±2.94	8.29
8	54.60±3.54	23.90±2.87	28.00±2.30	41.90±5.30	11.04
9	45.40±8.38	16.70±3.44	22.30±6.11	34.50±5.30	30.63
10	34.00±11.55	10.00±4.27	14.70±6.94	14.20±4.52	22.26
11	17.30±7.75	2.00±1.99	4.20±4.19	4.20±4.19	14.94
12	8.00±5.14				



ภาพ 37 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุซัลเฟอร์ แล้วได้รับธาตุซัลเฟอร์ปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ

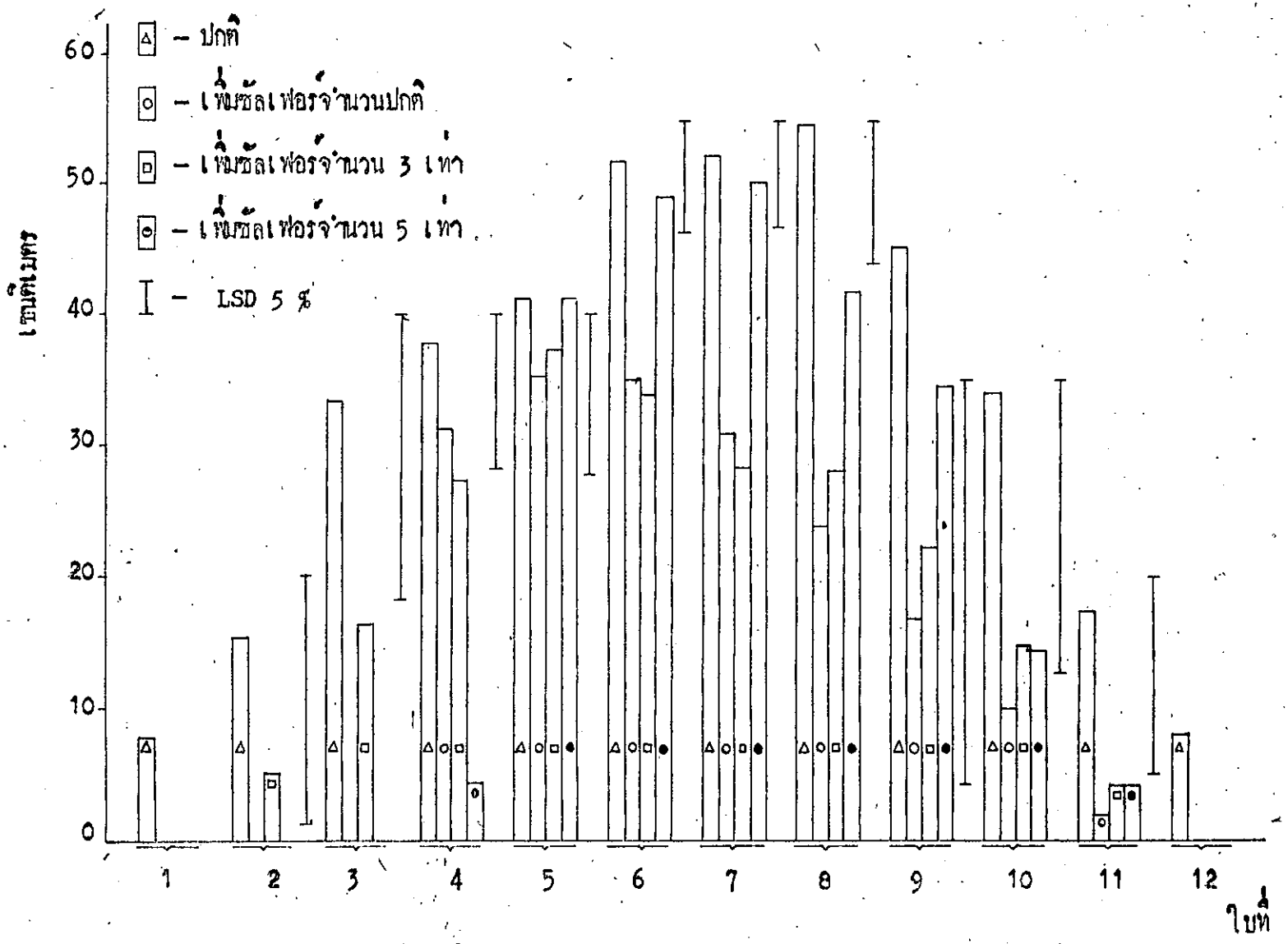
△ – ปกติ

□ – เพิ่มซัลเฟอร์จำนวน 3 เท่า

○ – เพิ่มซัลเฟอร์จำนวนปกติ

● – เพิ่มซัลเฟอร์จำนวน 5 เท่า

I – LSD 5 %



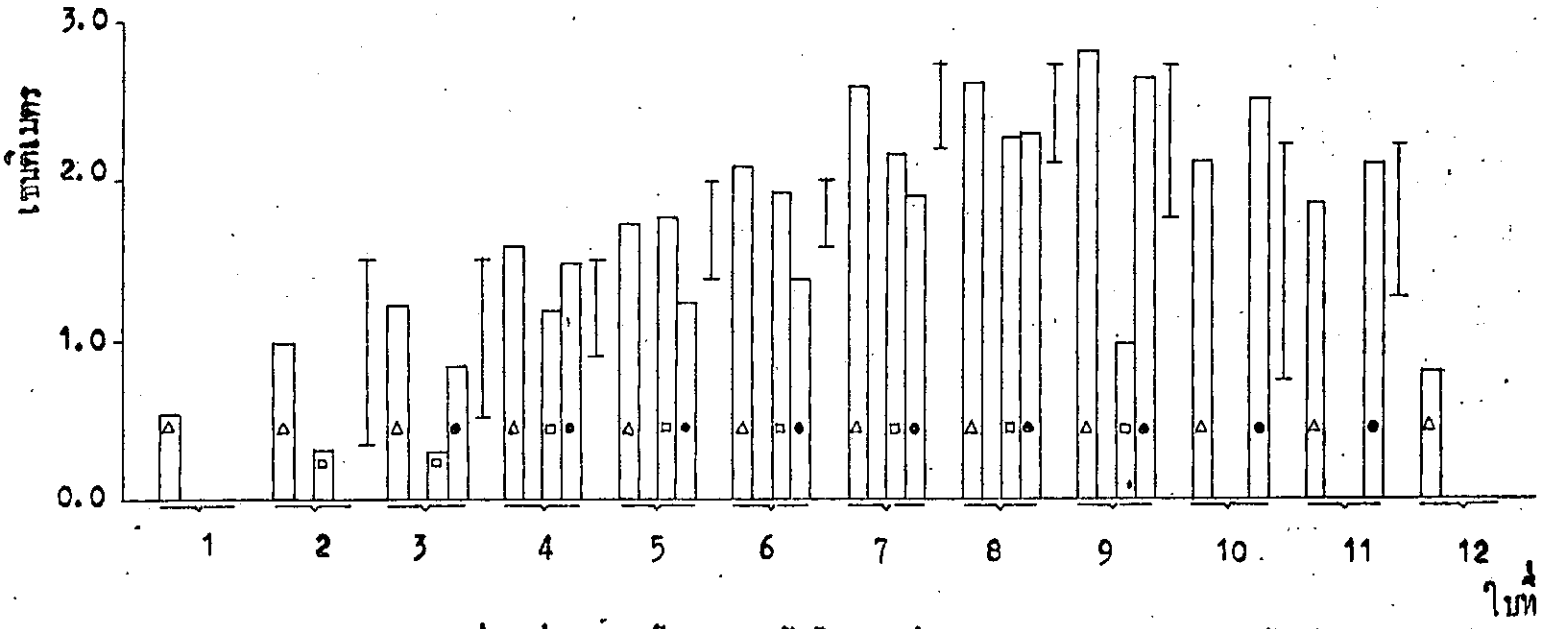
ภาพ 37 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดซาทุซัลเฟอร์ แล้วได้รับซาทุซัลเฟอร์ปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ

ตาราง 20 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุเหล็ก แล้วได้รับธาตุเหล็กปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร)

ใบที่	ปกติ	Fe+1	Fe+3	Fe+5	LSD(5%)
1	0.52±0.31				
2	0.98±0.40		0.30±0.30		1.15
3	1.20±0.31		0.30±0.30	0.84±0.35	0.99
4	1.58±0.12		1.16±0.31	1.48±0.04	0.60
5	1.74±0.16		1.76±0.08	1.22±0.30	0.63
6	2.10±0.14		1.92±0.10	1.37±0.32	0.41
7	2.60±0.25		2.16±0.10	1.90±0.12	0.53
8	2.64±0.27		2.26±0.08	2.30±0.18	0.61
9	2.84±0.27		0.96±0.42	2.66±0.22	0.98
10	2.14±0.59			2.53±0.60	1.50
11	1.86±0.77			2.13±0.53	0.99
12	0.80±0.49				

ตาราง 20 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุเหล็ก แล้วได้รับธาตุเหล็กปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร)

ใบที่	ปกติ	Fe+1	Fe+3	Fe+5	LSD(5%)
1	7.70±4.76				
2	15.20±6.43		5.20±5.19		19.08
3	23.70±6.75		5.40±5.40	14.00±6.30	19.04
4	37.80±3.32		19.60±5.06	18.33±5.04	12.37
5	41.10±5.54		35.20±3.70	19.80±5.58	15.48
6	51.70±3.71		33.20+1.46	23.20±4.78	11.09
7	52.20±2.60		41.20±2.45	34.40±4.70	10.52
8	54.60±3.54		33.40±2.24	41.58±9.83	10.47
9	45.40±8.38		8.00±3.59	57.80±4.22	14.34
10	34.00±11.55			52.1±3.15	27.62
11	17.30±7.75			26.20±2.95	19.14
12	8.00±5.14				



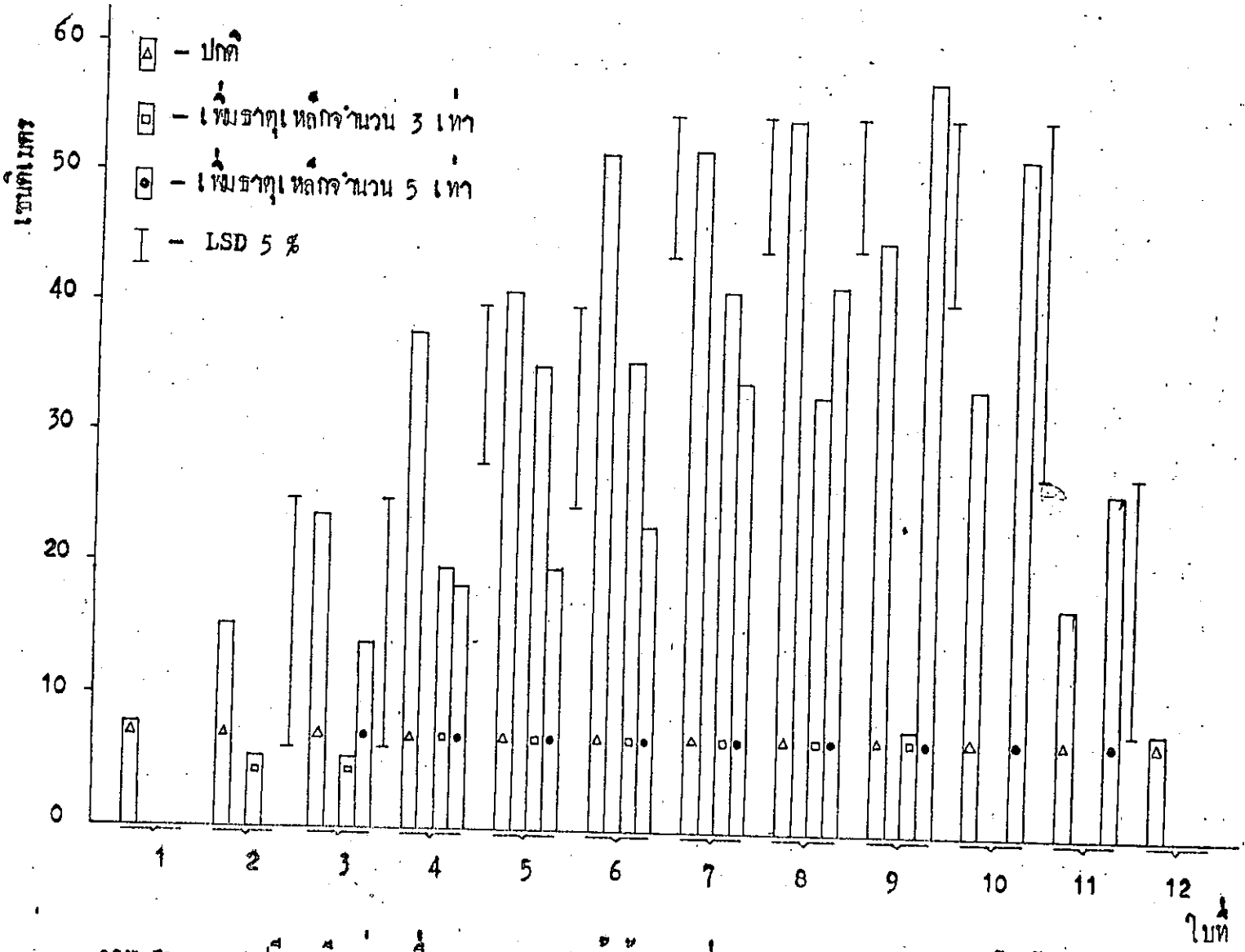
ภาพ 38 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุเหล็ก แล้วได้รับธาตุเหล็กปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ

△ – ปกติ

⊡ – เพิ่มธาตุเหล็กจำนวน 5 เท่า

□ – เพิ่มธาตุเหล็กจำนวน 3 เท่า

I – LSD 5 %



ภาพ 38 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุเหล็ก แล้วได้รับธาตุเหล็กปริมาณต่างกันเป็นเวลา 5 สัปดาห์ กับต้นปกติ

ข. ความยาวของใบ ใบที่ 4, 6, 7 และ 8 ของต้นข้าวโพดทั้ง 2 กลุ่มต่างก็ยาวน้อยกว่าใบของต้นข้าวโพดปกติ ส่วนใบที่ 5 ของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุเหล็กปริมาณ 5 เท่า จะยาวน้อยกว่าใบของทั้งต้นข้าวโพดปกติ และใบของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุเหล็กปริมาณ 3 เท่า ขณะที่ใบของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุเหล็กปริมาณ 3 เท่า ยาวไม่แตกต่างไปจากใบของต้นข้าวโพดปกติ ใบที่ 9, 10 และ 11 ใบของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุเหล็กปริมาณ 5 เท่า จะยาวไม่แตกต่างไปจากใบของต้นข้าวโพดปกติ

จำนวนใบของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุเหล็กปริมาณ 5 เท่า จะมีน้อยกว่าต้นข้าวโพดปกติ 1 ใบ ขณะที่ต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุเหล็กปริมาณ 3 เท่ามีน้อยกว่าของต้นปกติถึง 3 ใบ ส่วนใบบริเวณโคนต้นของต้นข้าวโพดทั้ง 2 กลุ่ม จะตายไป 1 – 2 ใบ

ผลการทดลองนี้แสดงว่าต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุเหล็กปริมาณ 5 เท่า จะมีความกว้างของใบ ความยาวของใบ และจำนวนใบไม่แตกต่างไปจากต้นข้าวโพดปกติ แต่ต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุเหล็กปริมาณ 3 เท่า จะมีจำนวนใบ ความกว้าง และความยาวของใบบริเวณกลางต้น และบริเวณยอดน้อยกว่าของต้นปกติ และน้อยกว่าของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุเหล็กปริมาณ 5 เท่าด้วย

2.3.7 ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุแคลเซียม

ผลการทดลองดังตาราง 21 ก. และ ข. กับภาพ 39

ความกว้างและความยาวของใบทุก ๆ ใบของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุแคลเซียมทั้ง 3 กลุ่ม จะไม่แตกต่างกัน และต่างก็น้อยกว่าใบของต้นข้าวโพดปกติ

จำนวนใบของต้นข้าวโพดทั้ง 3 กลุ่ม ต่างก็น้อยกว่าของต้นข้าวโพดปกติ และใบบริเวณโคนต้นจะตายไป 1 – 2 ใบเช่นกัน เป็นที่น่าสังเกตว่าทั้งความกว้างและความยาวของใบทุก ๆ ใบของพืชกลุ่มทดลองทั้ง 3 กลุ่ม จะน้อยกว่าของต้นข้าวโพดปกติมาก

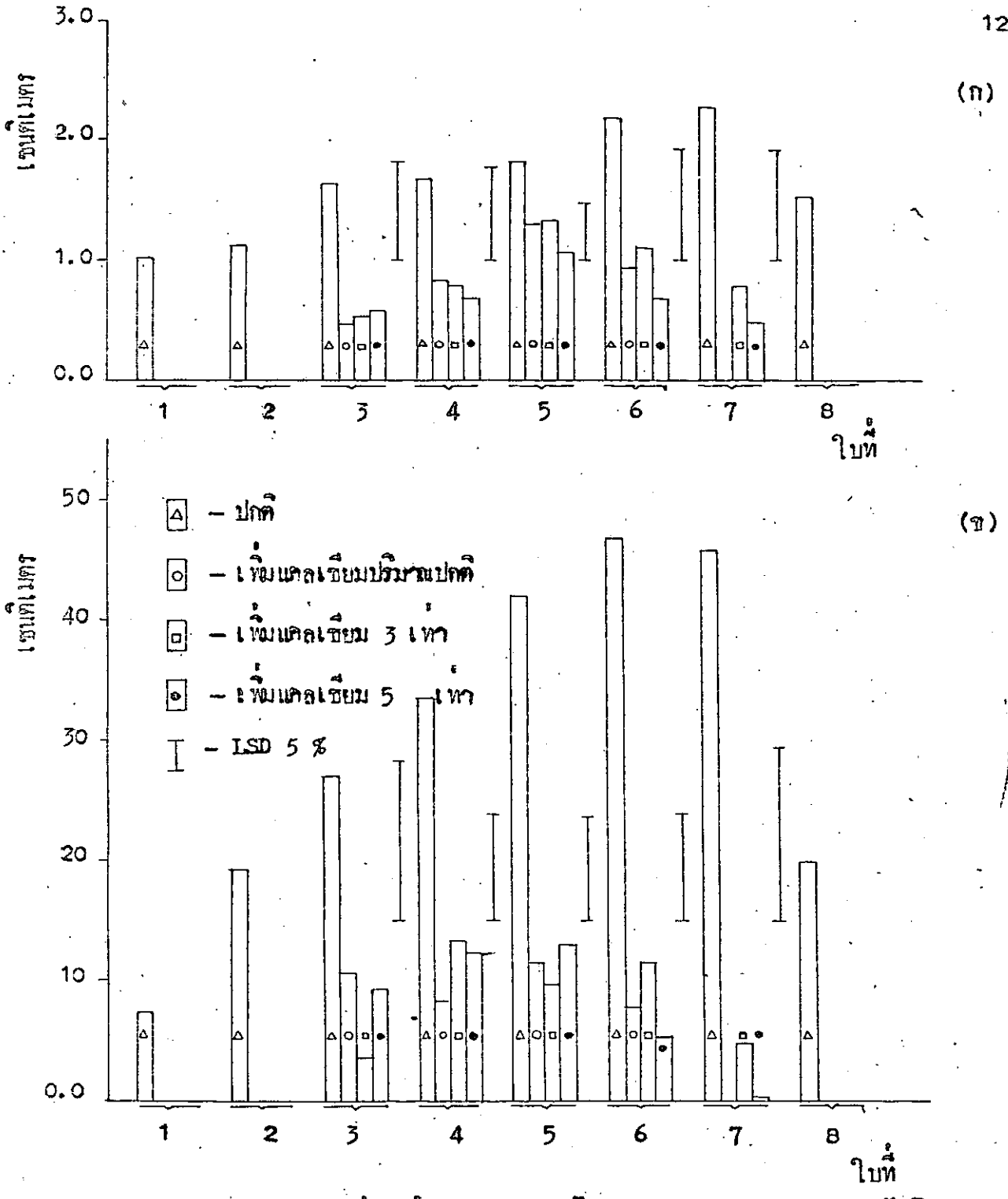
จะเห็นได้ว่าความเจริญทางด้านความกว้างและความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะขาดธาตุอาหารชนิดต่างๆ แล้วได้รับธาตุที่ขาดไปอีกครั้งหนึ่งนั้น

ตาราง 21 ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความกว้างของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแคลเซียม และได้รับธาตุแคลเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 3 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร)

ใบที่	ปกติ	Ca+1	Ca+3	Ca+5	LSD(5%)
1	1.02±0.36				
2	1.14±0.21				
3	1.64±0.08	0.46±0.28	0.52±0.38	0.58±0.24	0.818
4	1.66±0.12	0.82±0.33	0.78±0.29	0.68±0.28	0.788
5	1.84±0.12	1.30±0.07	1.34±0.12	1.06±0.27	0.496
6	2.18±0.24	0.94±0.19	1.10±0.27	0.68±0.21	0.932
7	2.28±0.20		0.79±0.85	0.48±0.29	0.928
8	1.54±0.45				

ตาราง 21 ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความยาวของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแคลเซียม แล้วได้รับธาตุแคลเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 3 สัปดาห์ กับต้นปกติ (เซนติเมตร)

ใบที่	ปกติ	Ca+1	Ca+3	Ca+5	LSD(5%)
1	7.40±2.85				
2	19.20±0.51				
3	27.00±1.23	10.60±6.56	3.56±3.20	9.40±3.91	13.262
4	33.50±1.59	8.20±3.81	13.40±3.80	12.10±5.39	8.950
5	40.20±3.80	11.50±0.74	9.64±2.12	13.00±3.77	8.713
6	46.80±3.82	7.90±0.74	11.50±4.01	5.20±1.73	8.783
7	45.70±3.79		4.80±4.99	0.26±1.59	14.344
8	19.80±6.97				



ภาพ 39 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (ก) ความกว้าง (ข) ความยาว ของใบต้นข้าวโพดที่แสดงอาการขาดธาตุแคลเซียม แล้วได้รับธาตุแคลเซียมปริมาณต่างกันเป็นเวลา 3 สัปดาห์ กับต้นปกติ

กลุ่มต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุที่ขาดแคลนไป ปริมาณสูงสุดในขอบเขตของการทดลองครั้งนี้ จะมีจำนวนใบ ความกว้าง และความยาวของใบไม่แตกต่างไปจากต้นข้าวโพดปกติ ยกเว้นกลุ่มต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุแคลเซียมเพียงกลุ่มเดียว และใบบริเวณโคนต้นของต้นข้าวโพดกลุ่มทดลองแทบทุกกลุ่มจะตายไป 1 – 3 ใบ ขณะที่ต้นข้าวโพดปกติยังคงมีใบบริเวณนี้อยู่ ข้อที่น่าสังเกตอีกประการหนึ่งคือการเจริญทางด้านความยาวและความกว้างของใบต้นข้าวโพดเหล่านี้เป็นสัดส่วนตรงกับการเจริญของต้นข้าวโพด คือ ปริมาณการเจริญของต้นข้าวโพดกลุ่มทดลองเหล่านี้ พบว่าแทบทุกกลุ่ม ยกเว้นกลุ่มที่ได้รับธาตุไนโตรเจน และกลุ่มที่ได้รับธาตุฟอสฟอรัส จะมีปริมาณการเจริญเป็นสัดส่วนตรงกับปริมาณธาตุที่ได้รับเพิ่มไป การเจริญของใบทางด้านความกว้างและความยาวตลอดจนจำนวนของใบก็เป็นเช่นเดียวกัน และเป็นเช่นนี้ทุก ๆ กลุ่มด้วย.

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ศึกษาการขาดธาตุอาหาร และการฟื้นตัวเมื่อได้รับธาตุอาหารที่ขาดไปปริมาณแตกต่างกันของข้าวโพด ได้ทำการศึกษาจากต้นข้าวโพดอายุ 10 วัน จำนวน 1,200 ต้น โดยวิธี Solution culture ในห้องทดลองที่ควบคุมอุณหภูมิความชื้น ความเข้มของแสงสว่าง และช่วงเวลาได้รับแสงสว่าง ธาตุอาหารที่ควบคุมให้ต้นข้าวโพดขาด คือ ธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุซัลเฟอร์ ธาตุเหล็ก และธาตุแคลเซียม

การทดลองจัดกระทำเป็น 2 การทดลองที่ต่อเนื่องกัน คือ การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาการขาดธาตุอาหารของต้นข้าวโพดในด้านลักษณะผิดปกติที่สังเกตเห็นได้ของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้ง และการเจริญของใบ กับการทดลองที่ 2 ซึ่งเป็นการศึกษาการฟื้นตัวภายหลังแสดงลักษณะการขาดธาตุอาหารเมื่อได้รับธาตุอาหารที่ขาดไปปริมาณแตกต่างกัน ในด้านการเปลี่ยนแปลงจากลักษณะที่ผิดปกติ การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้ง และการเจริญของใบ

1. ผลการทดลองที่ 1

1.1 ลักษณะของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร เปรียบเทียบกับต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุอาหารครบทุกชนิด ดังนี้

ชื่อธาตุอาหารที่ขาด	ระยะเวลาที่เริ่มสังเกตลักษณะผิดปกติได้(วันที่)	ลักษณะผิดปกติที่แสดงถึงการขาด
ธาตุไนโตรเจน	5 – 6	ลำต้นผอมเตี้ย ใบจะค่อย ๆ มีสีเหลือง เกิดการตายของใบเริ่มจากบริเวณปลายใบไปสู่ฐานใบ อาการเป็นสีเหลืองของใบเกิดกับใบล่างสุดก่อนแล้วเกิดกับใบถัดขึ้นมาตามลำดับ รากเป็นสีน้ำตาล
ธาตุฟอสฟอรัส	8 – 13	ลำต้นผอม ใบล่างสุดจะค่อย ๆ มีสีเขียวเข้มขึ้น แล้วเปลี่ยนเป็นสีม่วง แล้วตายไป ใบถัดขึ้นไปก็จะแสดงอาการเช่นเดียวกันตามลำดับ
ธาตุโปแตสเซียม	14 – 20	ลำต้นผอม ใบจะค่อย ๆ มีสีเขียวปนเหลือง แต่เส้นใบยังคงมีสีเขียวอยู่ ต่อมาจะเกิดรอยด่างเป็นจุดสีเหลืองปนส้ม หรือสีน้ำตาลปนแดงตลอดตัวใบ อาการเช่นนี้เกิดกับใบล่างสุดก่อนแล้วจึงเกิดกับใบถัดขึ้นไปตามลำดับ
ธาตุแมกนีเซียม	14 – 20	ลำต้นผอมเตี้ย ใบจะค่อย ๆ มีสีเหลือง แต่เส้นใบยังคงเป็นสีเขียวอยู่ ต่อมาจะเกิดการพริ้วของขอบใบทั้ง 2 ข้าง เริ่มจากฐานใบไปสู่ปลายใบ แล้วตัวใบจะเกิดคอดเป็นตอน ๆ เนื่องจากการตายของเนื้อเยื่อบริเวณขอบใบเป็นตอน ๆ อาการเช่นนี้เกิดมากที่สุดกับใบล่างและลดน้อยลง กับใบที่ถัดขึ้นไปตามลำดับ รากสั้น

ชื่อธาตุอาหารที่ขาด	ระยะเวลาที่เริ่มสังเกตลักษณะผิดปกติได้(วันที่)	ลักษณะผิดปกติที่แสดงถึงการขาด
ธาตุซัลเฟอร์	16 – 20	ลำต้นผอมเตี้ยและเหี่ยว ใบมีสีเหลืองทั่วทั้งต้น ใบล่างสุดจะมีสีเหลืองแก่และลดน้อยลงกับใบที่อยู่ถัดขึ้นไป รากผอมสั้น
ธาตุเหล็ก	15 – 20	ใบบริเวณยอดมีสีเหลือง เริ่มจากฐานใบไปสู่ปลายใบและขอบใบมีวนเข้าหากลางหลังใบ ขอบใบทุกใบจะพริ้ว ใบบริเวณส่วนกลางต้นลงมาจะยังคงมีสีเขียวเป็นปกติ
ธาตุแคลเซียม	10 – 15	ลำต้นผอมเตี้ย ยอดเจริญน้อยและเปราะ ใบยอดจะมีสีขาวปนเหลือง เกิดรอยด่างสีขาวเป็นหย่อม ๆ ทั่วตัวใบ ใบบางและเปราะ ต่อมาใบจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงอ่อน และตายไป ใบบริเวณยอดถัดจากใบยอดลงมา จะมีสีขาวปนเหลืองเช่นกัน รากผอมสั้นและเปราะ เห็นเป็นกระจุก

1.2 การเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร ผลการวิเคราะห์การเจริญจากน้ำหนักแห้ง ดังนี้

ก. ใบ ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน หรือขาดธาตุแคลเซียม มีการเจริญของใบน้อยกว่าต้นข้าวโพดที่ไม่ขาดธาตุอาหาร ส่วนต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม ธาตุซัลเฟอร์ หรือธาตุเหล็ก การเจริญของใบ ไม่แตกต่างจากของต้นข้าวโพด–

ที่ไม่ขาดธาตุอาหาร

ข. ลำต้น ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน ลำต้นจะเจริญน้อยกว่าต้นข้าวโพดที่ไม่ขาดธาตุอาหาร หรือขาดธาตุเหล็ก ส่วนต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุซัลเฟอร์ ธาตุเหล็ก หรือธาตุแคลเซียม ลำต้นจะมีการเจริญไม่แตกต่างจากต้นข้าวโพดที่ไม่ขาดธาตุอาหาร

ค. ราก รากของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหารแต่ละธาตุ จะเจริญไม่แตกต่างจากต้นข้าวโพดที่ไม่ขาดธาตุอาหาร และรากของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียมจะเจริญมากกว่ารากของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน หรือธาตุแคลเซียม

เมื่อวิเคราะห์การเจริญของต้นข้าวโพดทั้งต้นแล้ว ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน หรือขาดธาตุแคลเซียม จะเจริญน้อยกว่าต้นข้าวโพดที่ไม่ขาดธาตุอาหาร ส่วนต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุซัลเฟอร์ หรือธาตุเหล็ก จะเจริญไม่แตกต่างจากต้นข้าวโพดที่ไม่ขาดธาตุอาหาร

1.3 การเจริญของใบ วิเคราะห์ความกว้างยาวของตัวใบ ดังนี้

ก. ความกว้าง ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส หรือธาตุแคลเซียม ใบทุกใบจะกว้างน้อยกว่าใบต้นข้าวโพดที่ไม่ขาดธาตุอาหาร ส่วนต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุซัลเฟอร์ หรือธาตุเหล็ก ใบทุกใบจะกว้างไม่แตกต่างจากใบของต้นข้าวโพดที่ไม่ขาดธาตุอาหาร

ข. ความยาว ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหารจะมีความยาวของใบเฉพาะส่วนของลำต้นเท่านั้นที่น้อยกว่าของต้นข้าวโพดที่ไม่ขาดธาตุอาหาร คือ

(1) ใบส่วนโคนลำต้น – ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน หรือธาตุฟอสฟอรัส

(2) ใบส่วนกลางลำต้น – ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม หรือธาตุซัลเฟอร์

(3) ใบบริเวณยอดและยอด – ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็ก หรือธาตุแคลเซียม

2. ผลการทดลองที่ 2

2.1 การเปลี่ยนแปลงจากลักษณะที่ผิดปกติ เปรียบเทียบกับต้นข้าวโพดที่ไม่ขาดธาตุอาหาร ลักษณะผิดปกติจะกลับเป็นปกติดังเช่นต้นข้าวโพดที่ไม่ขาดธาตุอาหารได้ภายในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน ดังนี้

ก. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุเหล็ก หรือธาตุซัลเฟอร์ ใบที่แสดงลักษณะผิดปกติจะกลับเป็นปกติภายในเวลา 6 – 20 วัน

ข. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียม ใบยอดเก่าจะตายไป แล้วเกิดใบยอดใหม่ที่มีสีเขียวเป็นปกติ ภายในเวลา 10 – 15 วัน แต่โอกาสที่จะฟื้นตัวนับว่ามีค่อนข้างน้อย เพราะต้นข้าวโพดจำนวนประมาณเกือบหนึ่งของจำนวนทั้งหมดที่ทำการทดลอง (68/150 ต้น) จะตายไป

2.2 การเจริญของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุที่ขาดไปปริมาณแตกต่างกัน ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน ธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุซัลเฟอร์ หรือธาตุเหล็ก จะต้องได้รับธาตุที่ขาดไปปริมาณสูงกว่าจำนวนปกติถึง 5 เท่า จึงจะเจริญได้ไม่แตกต่างจากต้นข้าวโพดที่ไม่เคยขาดธาตุอาหารมาก่อน ส่วนต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสเพียงแต่ได้รับธาตุฟอสฟอรัสจำนวนเท่าปกติก็เจริญได้มากกว่าต้นข้าวโพดที่ไม่เคยขาดธาตุอาหารมาก่อน

ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียมนั้นไม่มีโอกาสที่จะเจริญได้เท่าเทียมต้นข้าวโพดที่ไม่เคยขาดธาตุอาหารมาก่อน.

2.3 การเจริญของใบ

การเจริญของใบของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ยกเว้นกลุ่มที่ขาดธาตุแคลเซียมทุกกลุ่มที่ได้รับธาตุที่ขาดไปปริมาณ 5 เท่า จะไม่แตกต่างไปจากต้นข้าวโพดที่ไม่เคยขาดธาตุอาหารมาก่อน ไม่ว่าในด้านความกว้าง ความยาวของใบ หรือจำนวนใบ และการเจริญของใบจะเป็นสัดส่วนตรงกับปริมาณของธาตุที่ได้รับด้วย ส่วนกลุ่ม–

ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียมนั้นทุก ๆ ปริมาณธาตุแคลเซียมที่ได้รับเพิ่มไป ความกว้าง ความยาวของใบ และจำนวนใบ จะน้อยกว่าของต้นข้าวโพดที่ไม่เคยขาดธาตุอาหารมาก่อน

อภิปรายผล

1. การทดลองที่ 1 ศึกษาการขาดธาตุอาหารของต้นข้าวโพด

1.1 ลักษณะผิดปกติของต้นข้าวโพดที่เกิดจากการขาดธาตุอาหาร

ก. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน ยอดจะมีขนาดเล็ก ลำต้นเหี่ยวในไม่ช้า เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Marinos (1963) ที่ได้ศึกษาจากข้าวบาเลย์ กับรายงานของ Cooke (1974) ใบจะมีขนาดเล็ก แคบ ดังรายงานของ Ishizuka (1971) และ Epstein (1972) ใบล่างจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลืองซีดก่อน ขอบใบจะกลายเป็นสีน้ำตาลไหม้ เริ่มจากปลายใบไปยังฐานใบสอดคล้องกับการศึกษาของ Ishizuka (1971), Epstein (1972), Devlin (1973), Meyer and others (1973), Cooke (1974) และ Leach (1975) หลังจากนั้นใบถัดขึ้นไปจึงจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลืองซีดต่อไป มุมระหว่างใบกับลำต้นจะเป็นมุมแหลมมาก ดังเช่นการศึกษาของ Ishizuka (1971)

ข. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส ลำต้นจะค่อย ๆ เหี่ยว ยอดแกร็น มีสีเขียวเข้ม ลำต้นผอมสูง ใบล่างสุดจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้มก่อนและใบถัดขึ้นมาจึงจะค่อยเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้มตามลำดับ ต่อมาใบล่างสุดจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีม่วงแล้วเนื้อเยื่อของใบจะตายไปเริ่มจากฐานใบไปสู่ปลายใบ ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Ishizuka (1971), Epstein (1972), Meyer and others (1973), Devlin (1973) และ Cooke (1974)

ค. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม ใบล่างจะมีจุดสีเหลือง, สีเหลืองปนส้ม หรือน้ำตาลปนแดงตลอดทั่วตัวใบก่อน แล้วใบถัดขึ้นไปจึงจะเกิดอาการเช่นนี้ ต่อมาขอบใบจะไหม้เกิดการตายของใบจากปลายใบไปสู่ฐานใบ ผลการศึกษาสอดคล้องกับ–

รายงานการศึกษาของ Hartt (1969), Hsiao (1970), Ishizuka (1971), Epstein (1972), Devlin (1973), Meyer and others (1973), Cooke (1974) Cassidy (1977) และ Fregoni (1977)

ง. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียม ใบล่างจะเกิดการผิดปกติก่อน โดยเนื้อเยื่อบริเวณระหว่างเส้นใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ดังเช่นรายงานการศึกษาของ Ishizuka (1971), Meyer and others (1973) และ Cooke (1974) ต่อมาขอบใบจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และตายไปเริ่มจากขอบใบบริเวณปลายใบไปสู่ฐานใบ ขอบใบจะพริ้วและม้วนเข้าหากันทางด้านท้องใบ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ishizuka (1971), Devlin (1973) และ Cooke (1974)

จ. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุซัลเฟอร์ ลำต้นผอมเล็ก ดังเช่นรายงานการศึกษาของ Epstein (1972) และ Cooke (1974) ใบบริเวณยอดจะมีสีเหลืองอ่อนก่อน ต่อมาอาการใบเป็นสีเหลืองจะค่อย ๆ เกิดกับใบถัดลงมาจนตลอดต้น แล้วใบล่างจะเริ่มตายก่อนเริ่มจากปลายใบไปสู่ฐานใบ อาการเช่นนี้สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Stewart (1969), Ishizuka (1971), Epstein (1972), Devlin (1973), Meyer and others (1973), Cooke (1974) และ Leach (1975)

ฉ. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็ก ลำต้นผอมและเตี้ยกว่าพืชปกติ ใบยอดและใบบริเวณยอดจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลือง แต่ส่วนเส้นใบยังคงเป็นสีเขียวอยู่ สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Epstein (1972), Devlin (1973) และ Meyer and others (1973) ต่อมาใบยอดและใบบริเวณยอดนั้นจะเปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองซีดทั่วทั้งใบ ดังรายงานของ Cooke (1974) แต่จากการศึกษาของ Ishizuka (1971) ซึ่งศึกษากับต้นข้าว และ Sakal (1977) รายงานว่าใบบริเวณยอดจะเปลี่ยนเป็นค่อนไปทางสีขาวมากกว่า ใบถัดจากบริเวณยอดลงมายังคงมีสีเขียวอยู่ ขอบใบทุก ๆ ใบจะม้วนเข้าหากันทางด้านหลังใบ (ventral) ดังรายงานของ Cooke (1974)

ช. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียม ลำต้นจะค่อย ๆ เหี่ยวลง ยอดและรากจะอ่อนแอและไม่เจริญ ยอดจะค่อย ๆ ตายไปในไม่ช้า สอดคล้องกับรายงาน–

การศึกษาของ Epstein (1972), Devlin (1973), Meyer and others (1973) Obbink (1976) และ Simpson (1976) ใบยอดจะบางเปราะ และมีสีเหลืองซีดค่อนไปทางขาว มีรอยด่างเป็นบริเวณทั่วตัวใบยอด ต่อมาขอบใบยอดจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงและตายไปเริ่มจากขอบใบทั้งสองเข้าสู่แนวกลางใบ เป็นไปตามรายงานการศึกษาของ Meyer and others (1973), Devlin (1973) และ Groot (1976)

เป็นที่น่าสังเกตว่า เมื่อต้นข้าวโพดขาดธาตุอาหารแล้ว ส่วนใหญ่จะเกิดลักษณะผิดปกติที่เห็นได้ชัดเจนที่สุด คือการผิดปกติของตัวใบพืช ซึ่งมักเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง เมื่อขาดธาตุอาหารแทบทุกชนิด จะแตกต่างกันก็ตรงที่มีสีเหลืองเข้มหรือจาง การตายของเนื้อเยื่อ และตำแหน่งของใบที่จะเกิดการผิดปกติ สำหรับตำแหน่งของใบที่เกิดผิดปกตินั้น ถ้าต้นข้าวโพดขาดธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม และธาตุแมกนีเซียม จะเกิดการผิดปกติของใบส่วนล่างของลำต้นก่อน แต่ถ้าต้นข้าวโพดขาดธาตุเหล็ก ธาตุแคลเซียม และธาตุซัลเฟอร์ ตำแหน่งที่เกิดผิดปกติก่อนคือใบยอดหรือใบบริเวณใกล้ยอดดังเช่นรายงานของ Devlin (1973) และ Meyer and others (1973)

1.2 การเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร

จากรายงานการศึกษาของ Marinos (1967), Garg (1975) และ Ledovskiĭ (1976) หากพืชขาดธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม ธาตุซัลเฟอร์ หรือธาตุแมกนีเซียม กับรายงานการศึกษาของ Gavalas (1977) ซึ่งศึกษาการขาดธาตุแคลเซียมของต้นมะกอก (olive) ระบุว่าจะทำให้การเจริญของพืชลดน้อยลงกว่าปกติได้ แต่จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม ธาตุซัลเฟอร์ ธาตุแมกนีเซียม หรือธาตุเหล็ก มีการเจริญน้อยกว่าต้นข้าวโพดปกติอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เฉพาะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน หรือขาดธาตุแคลเซียมเท่านั้นที่มีการเจริญน้อยกว่าต้นข้าวโพดปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งนับว่าน่าจะเป็นไปได้เช่นนี้มาก เพราะ Garg (1975) ก็รายงานไว้ว่า การขาดธาตุไนโตรเจนจะมีผลเกี่ยวเนื่องกับการเจริญมากที่สุด และ Cooke (1974) ก็รายงานในทำนองเดียวกันเกี่ยวกับการขาด-ธาตุแคลเซียมของพืช

1.3 การเจริญทางด้านความยาวและความกว้างของใบ

การศึกษาเกี่ยวกับความกว้างและยาวของใบพืชที่ขาดธาตุอาหารนั้น มีรายงานของ Ishizuka (1971) ซึ่งศึกษากับต้นข้าว รายงานไว้ว่า เมื่อต้นข้าวขาดธาตุไนโตรเจน จะมีใบแคบและใบเล็ก กับรายงานของ Meyer and others (1973) ซึ่งศึกษากับต้นมะเขือเทศ รายงานไว้ว่าเมื่อต้นมะเขือเทศขาดธาตุฟอสฟอรัส ใบจะมีความกว้างน้อยลง เมื่อเทียบกับความยาว ส่วนการศึกษาถึงความกว้าง ยาว ของใบอันเนื่องมาจากขาดธาตุอาหารอื่น ๆ ไม่ได้รายงานไว้ รายงานการศึกษาการขาดธาตุอาหารของพืชของคนอื่น ๆ ก็มิได้มีรายงานเกี่ยวกับความกว้างและยาวของใบพืชที่ขาดธาตุอาหารแต่ละชนิดไว้เลย

ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส หรือธาตุแคลเซียม ความกว้างของใบทุก ๆ ใบจะลดน้อยลง คือมีใบแคบกว่าต้นข้าวโพดปกติ ส่วนความยาวของใบนั้น เฉพาะใบบริเวณยอดเท่านั้นที่สั้นกว่าใบต้นข้าวโพดปกติ จะเห็นได้ว่าต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจนหรือขาดธาตุฟอสฟอรัสนั้น ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ishizuka (1971) และ Meyer and others (1973) ต้นข้าวโพดกลุ่มต่อมาคือต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม หรือธาตุซัลเฟอร์ ความกว้างของใบทุกใบจะไม่แตกต่างไปจากต้นข้าวโพดปกติ แต่ความยาวของใบบริเวณกลางต้นน้อยกว่าของต้นข้าวโพดปกติ และกลุ่มสุดท้ายคือ ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียมหรือธาตุเหล็ก จะมีความกว้างของใบทุกใบจะไม่แตกต่างไปจากต้นข้าวโพดปกติ แต่ใบบริเวณยอดจะมีความยาวมากกว่าต้นข้าวโพดปกติ ผลการศึกษาครั้งนี้น่าจะใช้เป็นเครื่องวินิจฉัยได้ว่า เมื่อต้นข้าวโพดขาดธาตุไนโตรเจนหรือธาตุฟอสฟอรัส หรือธาตุแคลเซียม ใบจะแคบลง และใบบริเวณยอดจะสั้นกว่าปกติด้วย ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม หรือธาตุซัลเฟอร์ เฉพาะใบบริเวณกลางต้นเท่านั้นที่สั้นกว่าปกติ และต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียม หรือธาตุเหล็ก เฉพาะใบบริเวณยอดเท่านั้นที่ยาวกว่าปกติ

2. การทดลองที่ 2 ศึกษาการฟื้นตัวภายหลังแสดงลักษณะขาดธาตุอาหาร เมื่อได้รับธาตุอาหารที่ขาดไปปริมาณต่างกัน

2.1 ลักษณะของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุอาหารที่ขาดไปปริมาณต่างกัน

ก. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน หรือขาดธาตุฟอสฟอรัส ลักษณะผิดปกติจะค่อย ๆ หายไป และต้นข้าวโพดมีการเจริญมากขึ้นต่อมา ภายในระยะเวลา 6 – 10 วัน

ข. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม ลักษณะผิดปกติจะค่อย ๆ หายไป และต้นข้าวโพดมีการเจริญมากขึ้นต่อมา ภายในระยะเวลา 15 – 20 วัน

ค. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียม Fankhauser (1976) และ Webb (1977) ต่างก็รายงานว่าลักษณะผิดปกติของใบอันเนื่องมาจากการขาดธาตุแมกนีเซียมสามารถแก้ไขให้เป็นปกติได้ เมื่อให้พืชได้รับธาตุแมกนีเซียมไปในปริมาณพอเพียง ในช่วงเวลาหนึ่ง การศึกษาครั้งนี้พบว่าต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะผิดปกติทั้ง 3 กลุ่มทดลองนั้น ลักษณะที่ผิดปกตินั้นจะค่อย ๆ หายไปในระยะเวลา 15 – 20 วัน

ง. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็ก Derbisher (1976), Seeliger (1976) และ Smith (1976) รายงานการศึกษาว่าพืชที่แสดงลักษณะผิดปกติเนื่องมาจากขาดธาตุเหล็ก ลักษณะผิดปกติจะหายไป คือใบจะกลับมีสีเขียวเมื่อให้พืชกลับได้รับธาตุเหล็กปริมาณที่เพียงพอในช่วงระยะเวลาหนึ่ง การศึกษาครั้งนี้พบว่าต้นข้าวโพดจะกลับมีลักษณะเป็นปกติในระยะเวลา 15 – 20 วัน

จ. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียม พบว่ากลุ่มต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุแคลเซียม ปริมาณ 3 เท่าของจำนวนปกติเท่านั้นที่จะแตกยอดใหม่ออกมา และมีสีเขียวเช่นต้นข้าวโพดปกติได้ ในช่วงเวลา 10 – 15 วัน ส่วนต้นข้าวโพดอีก 2 กลุ่ม ซึ่งได้รับธาตุแคลเซียมปริมาณเท่าจำนวนปกติ และปริมาณ 5 เท่าของจำนวนปกติจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงกลับสู่สภาพเช่นต้นข้าวโพดปกติได้ และค่อย ๆ ตายไปในที่สุด การที่ต้นข้าวโพดกลุ่มที่ได้รับธาตุแคลเซียมปริมาณปกติไม่สามารถกลับมีลักษณะเป็นปกติได้ น่าจะเนื่องมาจากปริมาณธาตุ–

แคลเซียมที่ได้รับไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้ทดแทนส่วนที่ขาดและเพื่อการเจริญต่อมาได้ ส่วนกลุ่มต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุแคลเซียมปริมาณ 5 เท่า แล้วไม่สามารถกลับมีลักษณะเป็นปกติ และตายในเวลาต่อมา น่าจะเป็นเพราะปริมาณแคลเซียมที่ได้รับไปมากเกินพอดีจนกลับทำให้เกิดสภาพเป็นพิษ (Toxicity) ขึ้นดังรายงานการศึกษาถึงสภาพเป็นพิษของธาตุแคลเซียมต่อพืชของ Ivanov (1977) และ Levitt (1974)

2.2 การเจริญของต้นข้าวโพดที่ได้รับธาตุอาหารที่ขาดไปปริมาณต่างกัน

Savotskii (1977) และ Walker (1977) ต่างก็รายงานการศึกษาการใช้ปุ๋ยกับต้นข้าวโพดว่า หากเพิ่มปริมาณปุ๋ยให้แก่ต้นข้าวโพดมากขึ้น โดยเฉพาะการให้ธาตุจำพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมปริมาณที่สูงกว่า จะให้ผลผลิตมากกว่าด้วย Hsiao (1970), Hadj-Hassan (1976), Goode (1976), Ranganathan (1877), Seeliger (1976) และ Worley (1976) ต่างก็รายงานผลการศึกษาการเพิ่มปริมาณธาตุต่าง ๆ แก่พืชว่า เป็นสัดส่วนตรงกับการเจริญของพืช ผลการศึกษาครั้งนี้ภายในขอบเขตของการทดลองก็พบว่าการเพิ่มปริมาณธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุซัลเฟอร์ หรือธาตุเหล็ก ให้แก่ต้นข้าวโพดที่ผิดปกติ จะสามารถทำให้ต้นข้าวโพดเหล่านั้นเพิ่มปริมาณการเจริญขึ้นได้ และปริมาณการเจริญนั้นเป็นสัดส่วนตรงกับปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มไปด้วย ยกเว้นการเพิ่มปริมาณธาตุไนโตรเจน หรือธาตุฟอสฟอรัส ซึ่งให้ผลในการเพิ่มปริมาณการเจริญของต้นข้าวโพดเช่นกัน แต่ปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มไปปริมาณต่างกัน ไม่ทำให้ปริมาณการเจริญแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลอันนี้น่าจะเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างธาตุด้วยกัน ดังเช่นรายงานการศึกษาความสัมพันธ์ของธาตุไนโตรเจนกับธาตุซัลเฟอร์ของ Stewart (1969) และความสัมพันธ์ของปริมาณธาตุไนโตรเจนกับธาตุฟอสฟอรัสจากรายงานการศึกษาของ Savotskii (1977) ส่วนการเพิ่มปริมาณธาตุแคลเซียมให้แก่ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียมนั้น ปริมาณธาตุแคลเซียมที่เพิ่มให้มากกว่ากลับทำให้ต้นข้าวโพดชะงักการเจริญแล้วค่อย ๆ ตายไป ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาถึงสภาพการเกิดเป็นพิษ (toxicity) ต่อพืชของธาตุแคลเซียม หากพืชได้รับปริมาณมากเกินไปของ-

Ivanov (1977) อย่างไรก็ดี ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียมจะมีโอกาสกลับเจริญเป็นปกติได้อีกน้อยมาก

2.3 การเจริญของใบทางด้านความกว้าง ความยาว ของต้นข้าวโพดเมื่อได้รับธาตุอาหารปริมาณต่างกันภายหลังแสดงลักษณะขาดธาตุอาหาร

ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าต้นข้าวโพดที่ต่างก็ได้รับธาตุอาหารที่ขาดไปปริมาณสูงสุดทุก ๆ กลุ่มทดลอง ซึ่งจะมีปริมาณการเจริญสูงเป็นสัดส่วนตรงกับปริมาณธาตุอาหารที่ได้รับไปนั้น จะมีจำนวนใบ ความกว้างและความยาวของใบ ใบต่อใบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับต้นข้าวโพดที่ปกติ ยกเว้นกลุ่มต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียมเพียงกลุ่มเดียวซึ่งมีจำนวนใบ ความกว้าง และความยาวของใบ ใบต่อใบ น้อยกว่าต้นข้าวโพดปกติ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าใบบริเวณโคนต้นข้าวโพด 1 – 3 ใบ ของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหารเหล่านั้นทุก ๆ กลุ่มจะตายไปขณะที่ใบบริเวณเนื้อของต้นข้าวโพดปกติยังคงมีอยู่

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาครั้งนี้กระทำเฉพาะธาตุจำนวน 7 ธาตุ คือ ธาตุไนโตรเจน ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแตสเซียม ธาตุแมกนีเซียม ธาตุซัลเฟอร์ ธาตุเหล็ก และธาตุแคลเซียม และพืชที่ใช้ศึกษาก็เป็นต้นข้าวโพดชนิดเดียวเท่านั้น น่าที่จะได้ขยายขอบเขตของการทดลองกับพืชหลาย ๆ ชนิด และศึกษาถึงธาตุอาหารชนิดอื่น ๆ อีกด้วย

2. กลุ่มตัวอย่างทดลองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้แม้จะมีถึง 1,200 ต้น และแบ่งการศึกษาเป็นจำนวน 150 ต้นต่อ 1 ธาตุนั้น ยังนับว่าน้อยอยู่ ควรที่จะได้เพิ่มกลุ่มตัวอย่างทดลองให้มากขึ้นในการทดลองต่อไป

3. การทดลองเกี่ยวกับการฟื้นตัวของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหาร ควรขยายขอบเขตการทดลองให้ละเอียดยิ่งขึ้นว่าจะต้องใช้ธาตุอาหารปริมาณน้อยที่สุดเท่าใด พืชจึงจะฟื้นตัวได้ดี ซึ่งผลการศึกษาอาจจะได้ประโยชน์มากยิ่งไปกว่าผลจากการศึกษาในครั้งนี้

4. ประสิทธิภาพของห้องทดลอง เนื่องจากห้องทดลองครั้งนี้การควบคุมและให้แสงมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำไป คือสามารถให้ความเข้มของแสงส่วางแก่พืชได้น้อย เพียงประมาณ 3,800 ลักษ์ (lux) เท่านั้น ซึ่งปริมาณความเข้มของแสงขนาดนี้พืชเจริญได้ไม่เต็มที่ ควรปรับปรุงให้สามารถให้ความเข้มของแสงที่ให้แก่พืชทดลองมากขึ้นในการทดลองครั้งต่อไป.

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กองค้นคว้าและทดลอง, กรมกสิกรรม รายงานผลการวิจัยของโครงการข้าวโพด ประจำปี 2507 กองค้นคว้าและทดลอง กรมกสิกรรม กระทรวงเกษตร 2508, 80 หน้า.

ภาควิชาพืชไร่, คณะเกษตร ข้อมูลโดยสรุปเกี่ยวกับข้าวโพดพันธุ์ไทยคอมพอซิทเบอร์ 1 ดี เอม อาร์ เสนอคณะกรรมการเพื่อพิจารณาเป็นข้าวโพดพันธุ์ดี ชื่อ "สุวรรณ 1" ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2518, 7 หน้า.

องอาจ ผ่องลักษณ์ "การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช; 1. สูตรที่ใช้วิเคราะห์การเจริญเติบโต" วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 8 : 493 – 498, 2518.

อิกเนติออฟ, วลาดิเมอร์ และ เพล, ฮาโรลด์ เจ. การใช้ปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ อรุณ ทรงมณี และ อรรถ นาครทรรพ แปล สภาวิจัยแห่งชาติ 2509, 143 หน้า.

อิกเนติออฟ, วลาดิเมอร์ และ เพล, ฮาโรลด์ เจ. การใช้ปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ ภาค 2 : การใช้ปุ๋ยกับพืชต่าง ๆ อรุณ ทรงมณี และ อรรถ นาครทรรพ แปล สภาวิจัยแห่งชาติ 2513, 259 หน้า.

อำพล เสนาณรงค์ "การปลูกข้าวโพดในประเทศไทย" เอกสารทางวิชาการที่ 4 กองค้นคว้าและทดลอง กรมกสิกรรม กระทรวงเกษตร 2515, หน้า 1 – 4.

Bidwell, R.G.S., Plant Physiology, Macmillan Publishing Co., Inc., New York, 1974, pp. 225 - 248.

Burdine, H.W., "Radish Responses to Nitrogen Source," Horticultural Abstracts 47(7) : 551, 1977.

Cain, John C., "The Effect of Potassium and Magnesium on the Absorption of Nutrients by Apple Trees in Sand Culture," Procd. Amer. Soc. Hort. Sci. 65 : 25 - 31, 1955.

Cassidy, N.G., "Plant Nutrition : Potassium," Horticaltural Abstracts 42(3) : 209, 1977.

Cooke, George W., "Fertilizer" in The Encyclopedia Americana, International Edition, Vol. 11, pp. 132 - 135, Americana Corporation, New York, 1974.

Derbisher, G.V., "New Means of Controlling Rosetting and Chlorosis," Horticultural Abstracts 46(10) : 769, 1976.

Devlin, Robert M., Plant Physiology, 2 nd ed., Affiliated East-West Press Private, Ltd., New Delhi, 1973, pp. 221 - 272.

Edwardson, John R., "Corn" in The Encyclopedia Americana, International Edition, Vol. 7, pp. 799 - 807, Americana Corporation, New York, 1974.

Epstein, Emanuel, Mineral Nutrition of Plants ; Principles and Perspective, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1972, 412 pp.

Fankhauser, F., Schummachur, R., and Stadler, W., "Foliar Sprays to Combat Premature Leaf Fall in Golden Delicious (Blättspritzungen zur Verhinderrung des Vorzeitigen Blattfalles bei Golden Delicious)," Horticultural Abstracts 46(12) : 923, 1976.

Fregoni, M, and Scienza, A., "Reddening and Browning of Grapewine Leaves due to Potassium Deficiency : Diagnosis, Effects and Therapy (Arrvssamenti ed Imbrunimenti delle Foglie di Vite da Potassio Carenza : Diagnosi, Effetti e Terapia)," Horticultural Abstracts 47(1) : 50, 1977.

Garg, R.C., and Singh, S.K., "Primary Nutrient Deficiencies in (Cape) Gooseberry (Physalis peruviana L.)," Progressive Horticulture 7(2) : 53, 1975.

Gavalas, N.A., "Calcium Deficiency in Olive : Field Observations and Reproduction of Symtoms in Water Culture," Horticultural Abstracts 47(2) : 188, 1977.

Goode, J.E., and Hyrucz, H.J., "The Effects of Nitrogen on Young, Newly-Planted Apple Rootstocks in the Presence and Absence of Grass Competition," Journal of Horticultural Science 51(3) : 321 - 327, 1976.

Goring, H., and Mardanov, A.A., "Influence of Nitrogen Deficiency on K/Ca Ratio and Cytokinin Content of Pumpkin Seedling (Einfluss von Stickstoffmangel auf das K/Ca Verhältnis and den Zytokiningehatt Junger Kürbispflanzen)," Horticultural Abstracts 47(7) : 553, 1977.

Hadj-Hassan, A., "The Effect of Nitrogen and Potassium on Gooseberries in Sand Culfure V. the Influence on Nutrient Uptake (Wirkung von Stickstoff und Kalium auf die Stachelbeere in Sandkulture V. Der Einfluss auf den Nährotoffenlzug)," Horticultural Abstracts 46(4) : 277, 1976.

Hartt, Constance F., "Effect of Potassium Deficiency upon Translocation of ^{14}C in Attached Blades and Entire Plant of Sugarcane," Plant Physiol. 44 : 1461 - 1469, 1969.

Hsiao, theodore C., Hageman, R.H., and Tyner, E.H., "Effects of Potassium Nutrition on Protein and Total Free Amino Acids in Zea mays," Crops Sci. 10 : 78 - 82, 1970.

Ishizuka, Yoshiaki, Nutrient Deficiencies of Crops, Food and Fertilizer Technology Center, ASPAC, Taiwan, 1971, 112 pp.

Ivanov, V.F., and Ivanova, A.S., "Mineral Nutrition of Fruit Trees on Saline Soil," Horticultural Abstracts 47(6) : 454, 1977.

Kramer, Paul J., Plant and Soil Water Relationships : A Modern Synthesis, Tata McGraw-Hill Publishing Company, Ltd., New Delhi, 1969, pp. 214 - 256.

Kudrev, T., and Georgieva, M., "The Inflaence of Magnesium Deficiency on the Change of Certain Phospholipids in the Leaves of Maize," Field Crop Abstracts 30(2) : 106, 1977.

Leach, B.J., Friend, D., and Chase, L.D.C., "Deficiency of Sulphur and Nitrogen in Seedling Cocoa on an Alluvial Grassland of Guadalcanal, Solomon Islands," Tropical Agriculture 52(4) : 317 - 323, 1975.

Ledovskiĭ, S. Ya, and Korzun, G.P., "The Effect of Fertilizers and Soil Moisture on the Chemical Composition of Tomatoes," Horticultural Abstracts 46(12) : 958, 1976.

Leopold, A. Carl, and Kriedemann, Paul E., Plant Growth and Development, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1975, pp. 433 - 458.

Levitt, Jacob, Introduction to Plant Physiology, 2nd ed., The C.V. Mosby Company, Saint Louis, 1974, pp. 159 - 170.

Machlis, Leonard, and Torrey, John G., Plants in Action ; A Laboratory Manual of Plant Physiology, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1956, pp. 41 - 59.

Marinos, Nicos G., "Studies on Submicroscopic Aspects of Mineral Deficiencies : II Nitrogen, Potassium, Sulfur, Phosphorus, and Magnesium Deficiencies in the Shoot Apex of Barley," Amer. J. Bot. 50(10) : 998 - 1005, 1963.

Mehrotra, O.N., and Misra, P.H., "Micronutrient Deficiencies in Cauliflower (Brassica oberacea L. Var. botrytis L.)," Progressive Horticulture 5(4) : 33 - 39, 1974.

Menary, R.C., and Staden, J. Van, "Effect of Phosphorus Nutrition and Cytokinin on Flowering in the Tomato, Lycopersicon esculentum Mill," Australian Journal of Plant Physiology 3(2) : 201 - 205, 1976.

Meyer, Bernard S., and others, Laboratory Plant Physiology, 3 rd ed., D. Van Nostrand Company, Toronto, 1955, 168 pp.

Meyer, Bernard S., and others, Introduction to Plant Physiology, D. Van Nostrand Company, New York, 1973, pp. 293 - 322, 351 - 375.

Muller, Watter H., Botany : A Functional Approach, 3 rd ed., Macmillan Publishing Co., Inc., New York, 1974, pp. 233 - 239.

Neely, D., "Iron Deficiency Chlorosis of Shade Trees," Horticultural Abstracts 47(3) : 257, 1977.

Obbink, Groot, Alexander, J., and McE, D., "Calcium Deficiency and Phytophthora cinnamomi Symtoms in Young Avocado Seedlings," Journal of the Australian Institute of Agricultural Sciences 42(2) : 131 - 134, 1976.

Pankov, V.V., "The Effect of Phosphorus on the Chemical Composition and Productivity of Carrots," Horticultural Abstracts 47(6) : 484, 1977.

Pant, P.C., Singh R., and Divakar, B.L., "Deficiency Symtoms of Major Nutrients in Apple Plants," Progressive Horticulture 8(2) : 93 - 99, 1976.

Peel, A.J., Transport of Nutrients in Plants, The Butterworth Group, London, 1974, 258 pp.

Price, C.A., Molecular Approach to Plant Physiology, McGraw-Hill Book Company, New York, 1970, pp. 201 - 266.

Ranganathan, V., and Ganesan, M., "Frequency of Potassium Application," Horticultural Abstracts 47(7) : 588, 1977.

Sakal, R., "Whitening of Paddy Leaf - A Case of Iron Deficiency," Abstracts on Tropical Agriculture 3(7) : 71, 1977.

Salisbury, Frank B., and Ross, Cleon, Plant Physiology, Wadsworth Publishing Company, Inc, California, 1969, pp. 112 - 187, 189 - 208.

Savotskii, V.V., "Effectiveness of High Rates of Fertilizers Applies to Maize on Grey Forest Soils in Northern Foothills of Dagestan," Field Crop Abstracts 30(1) : 28, 1977.

Seeliger, M.T., and Moss, D.E., "Correction of Iron Deficiency in Peas by Foliar Sprays," Australian Journal of Experimental Agricultural and Animal Husbandy 16(82) : 758 - 760, 1976.

Simpson, J.R., Pinkerton, A., and Lazdovski, J., "Effects of Subsoil Calcium on the Root Growth of Some Lucerne Genotypes (Medicago sativa L.) in Acidic Soil Profiles," Aust. J. Agric. Res. 28 : 629 - 638, 1977.

Silva, M.A. T de, Abeywardena, V., and George, G.D., "Nutritional Studies on Initial Flowering of Coconut (var. typica) I. Effect of Magnesium Deficiency and Mg-P Relationship," Horticultural Abstracts 46(12) : 988, 1976.

Smith, E.M., "Pin Oak Chlorosis - A Serious Landscape Problem," Horticultural Abstracts 46(10) : 818, 1976.

Sprague, G.F., "Corn" in The World Book Encyclopedia, Vol. 4, pp. 836 - 843, Field Enterprises Educational Corporation, Chicago, 1975.

Srivastava, H.S., Oaks, A., and Bakyta, I.L., "The Effect of Nitrate on Early Seedling Growth in Zea mays," Can. J. Bot. 54 : 923 - 929, 1976.

Stewart, B.A., and Poster, L.K., "Nitrogen - Sulfur Relationship in Wheat (Triticum aestivum L.), Corn (Zea mays), and Beans (Phaseolus vulgaris)," Agron. J. 61 : 267 - 271, 1969.

Strafford, G.A., Essentials of Plant Physiology, Heinemann Educational Books Ltd., London, 1970, pp. 120 - 129.

Walker, M.E., and Bergeaux, P.J., "Comparison of Solid and Certain Liquid Fertilizer for Corn Production," Field Crop Abstracts 30(9) : 509, 1977.

Webb, B., "Orange Freckle - Then and Now," Horticultural Abstracts 47(8) : 669, 1977.

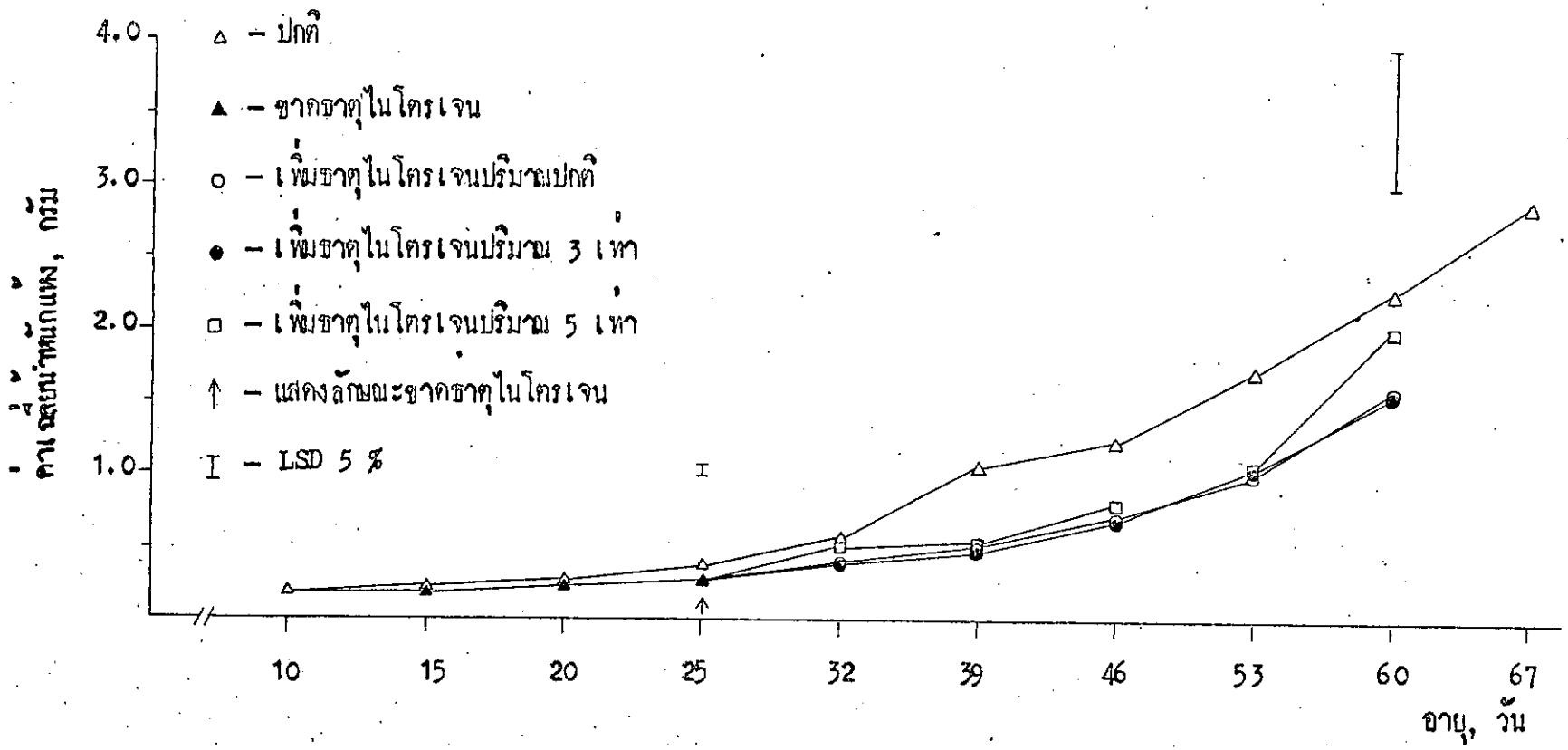
Wilkins, Malcolm B., The Physiology of Plant Growth and Development, McGraw-Hill, London, 1969, pp. 383 - 417.

Willson. K.C., "Studied on the Mineral Nutrition of Tea, IV. Calcium," Plant and Soil 43(2) : 295 - 307, 1975.

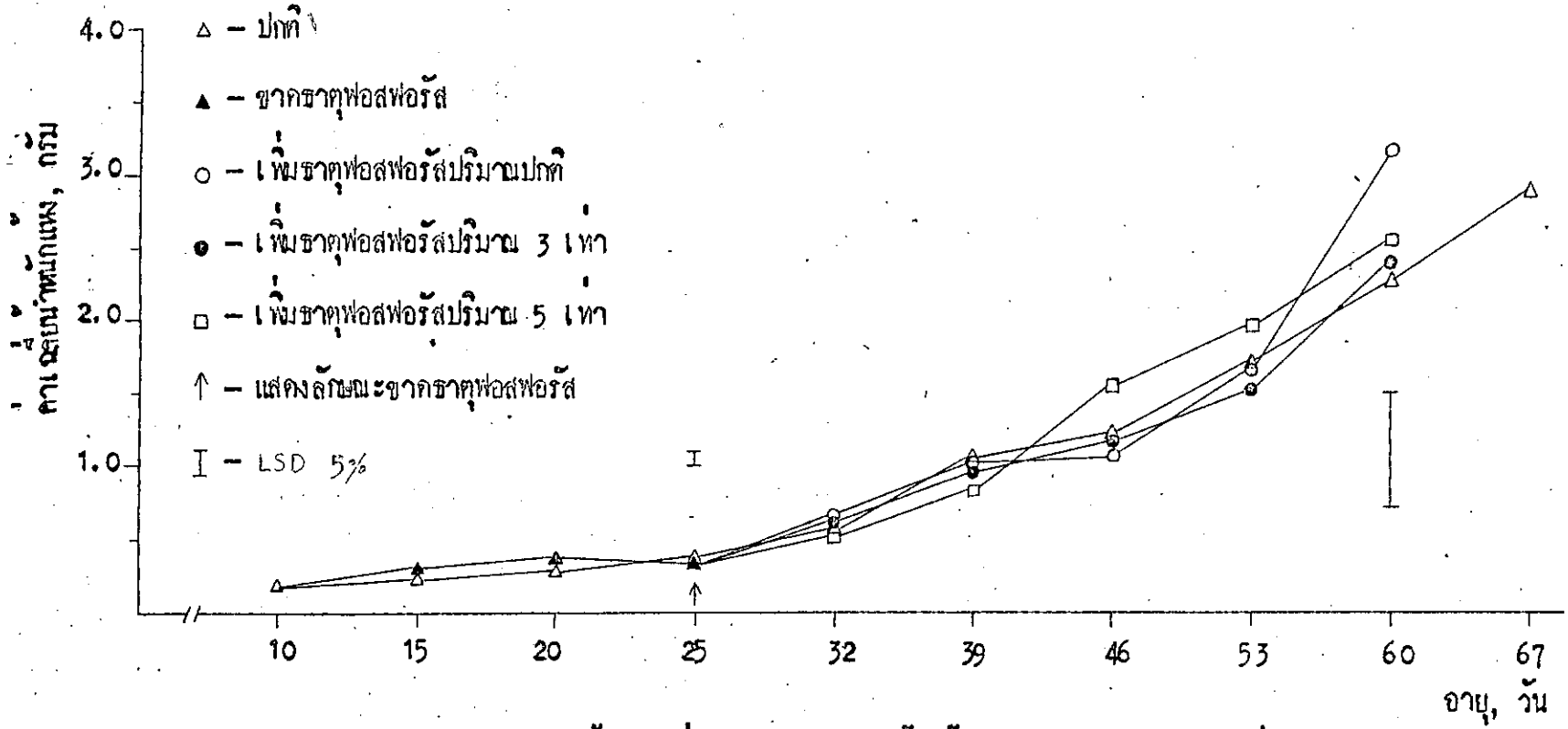
Worley, R.E., Carter, R.L., and Johnson, A.W., "Effect of Magnesium Sources and Rates on Correction of Acute Mg Deficiency of Pecan," Journal of the American Society for Horticultural Science 100(5) : 478 - 490, 1975.

ภาคผนวก

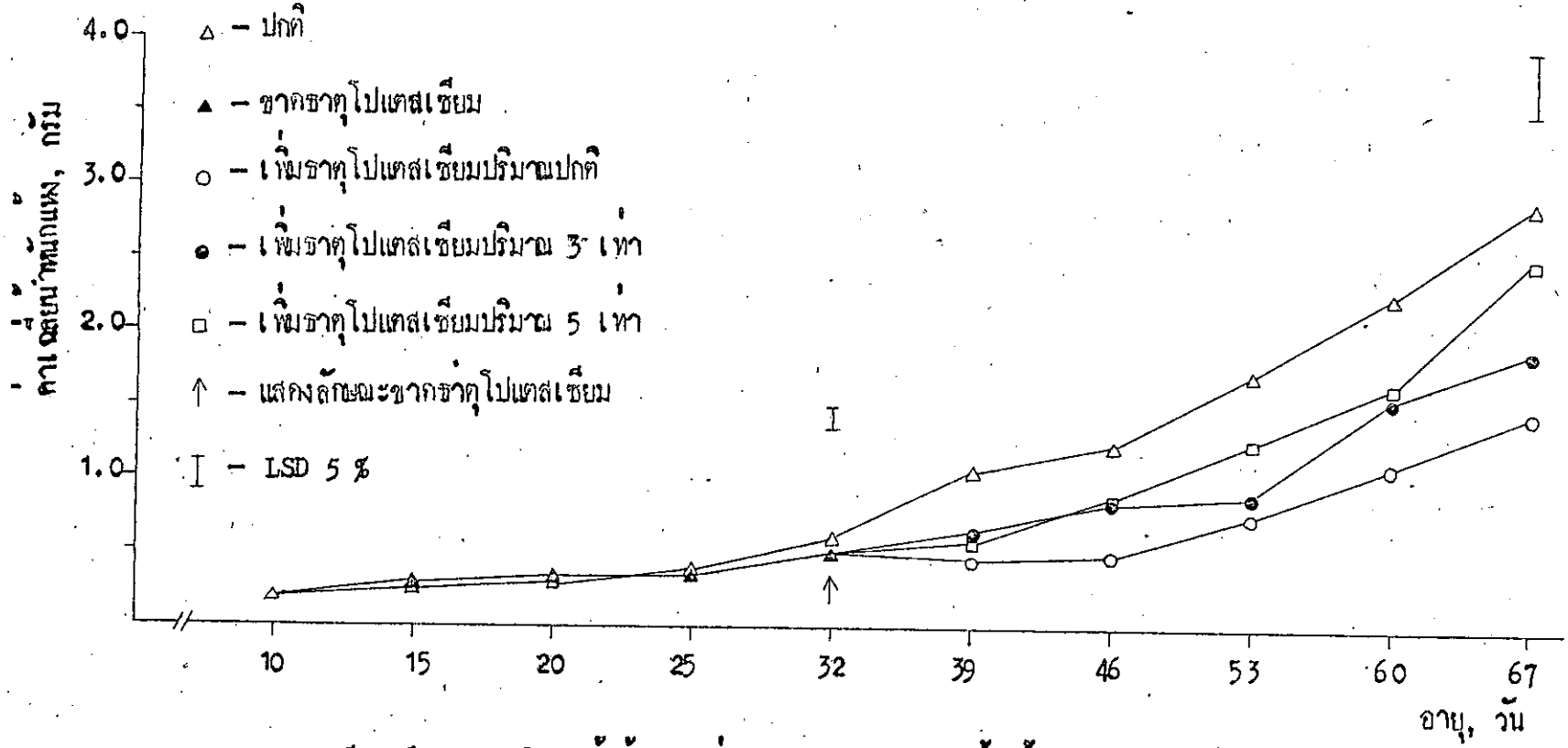
วิเคราะห์การเจริญของต้นข้าวโพดที่ปกติ กับต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหารจนแสดงอาการขาดธาตุอาหาร แล้วได้รับธาตุอาหารที่ขาดไปปริมาณแตกต่างกัน



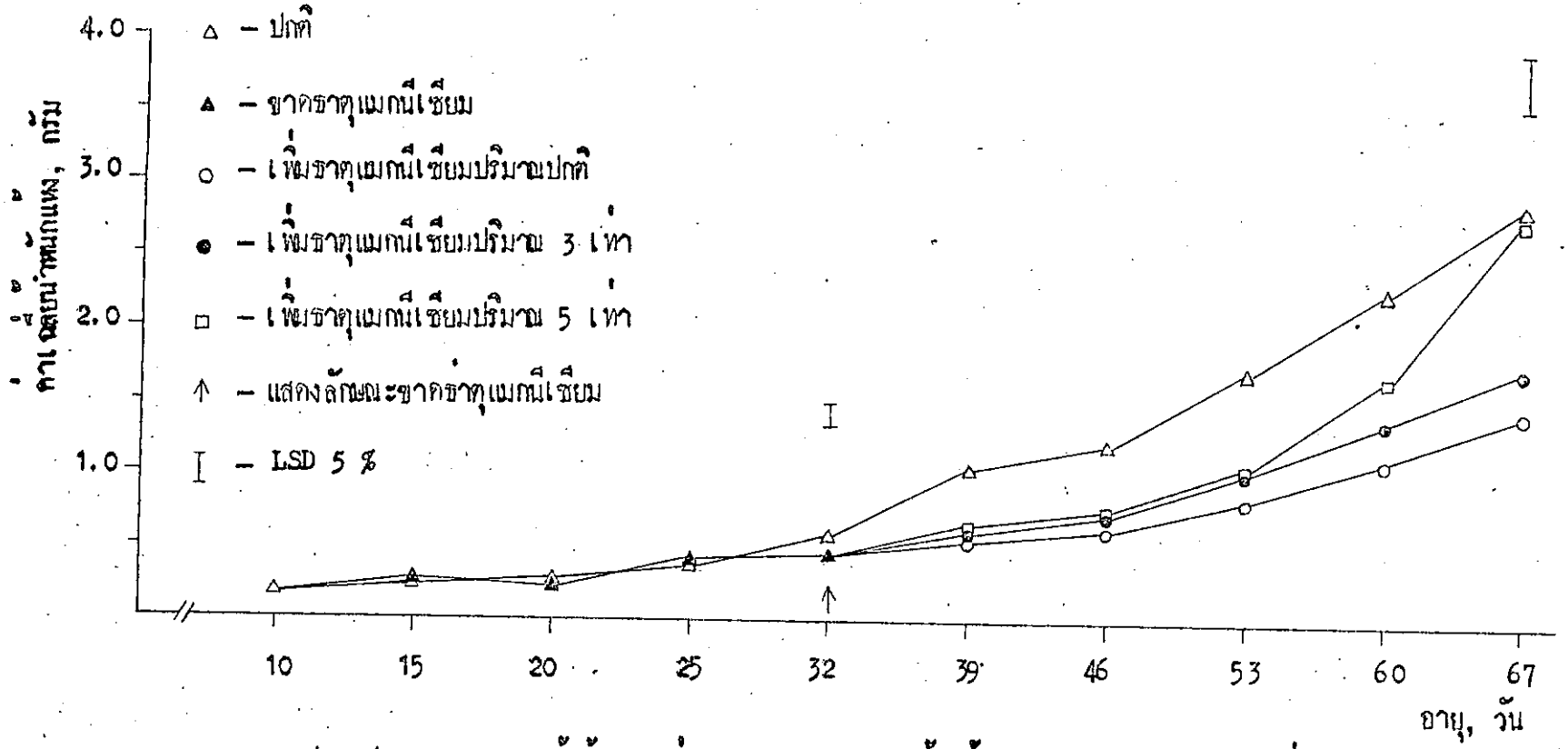
ภาพ 40 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน แล้วได้รับธาตุไนโตรเจนปริมาณแตกต่างกันภายหลังแสดงอาการขาดธาตุไนโตรเจน กับต้นข้าวโพดปกติ



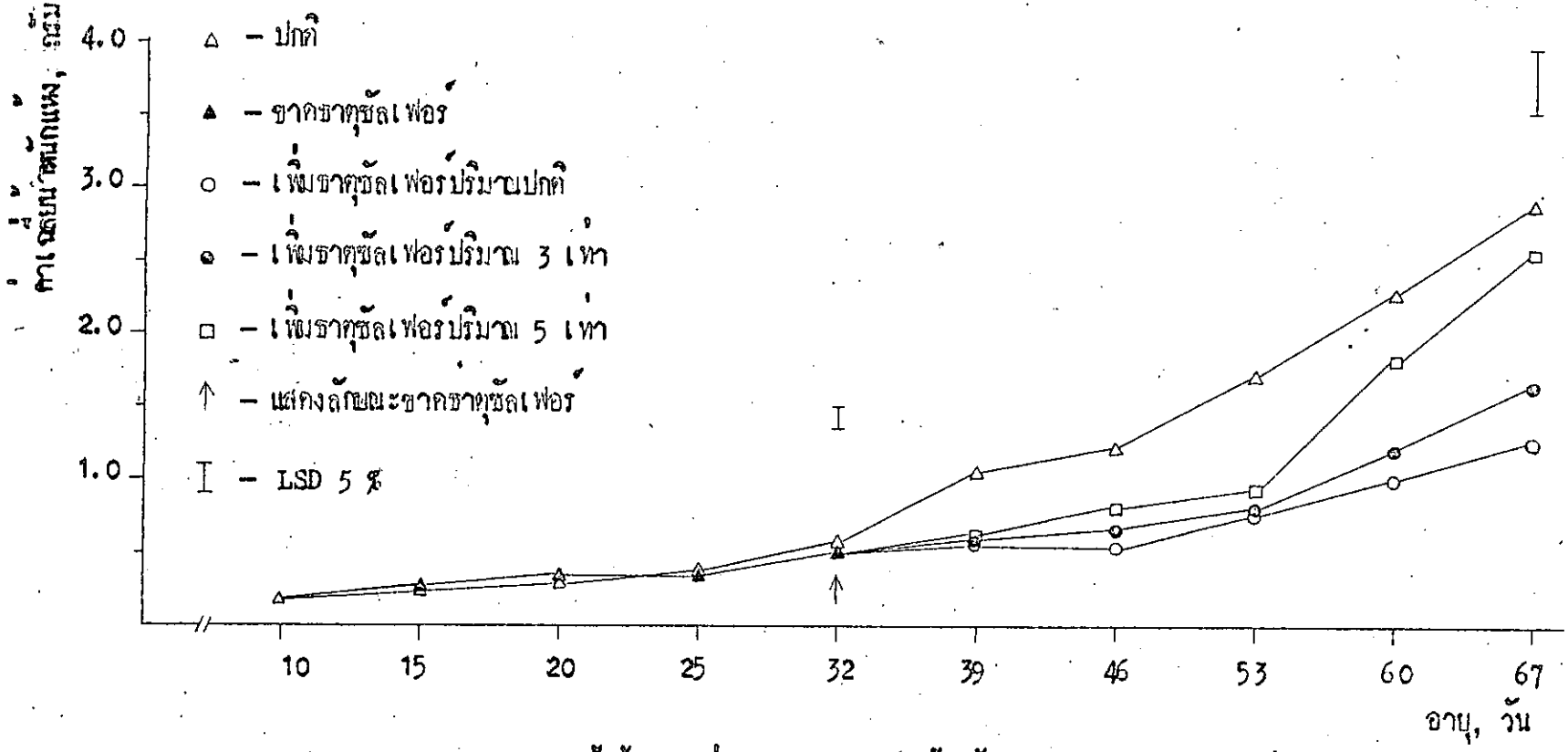
ภาพ 41 เปรียบเทียบการเจริญของข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสแล้วได้รับธาตุฟอสฟอรัสปริมาณแตกต่างกัน ภายหลังแสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัส กับต้นข้าวโพดปกติ



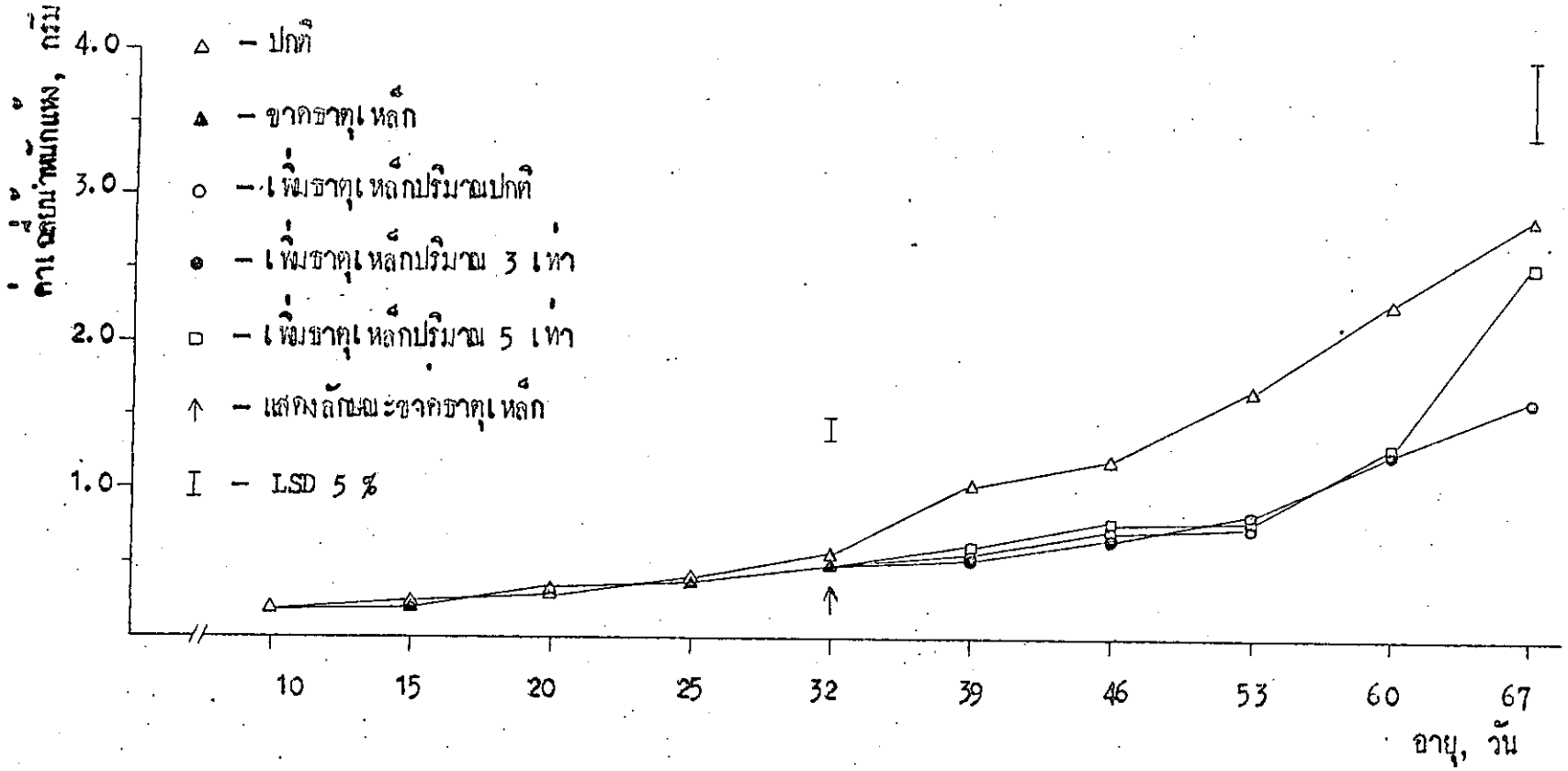
ภาพ 42 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม แล้วได้รับธาตุโปแตสเซียมปริมาณแตกต่างกันภายหลังแสดงอาการขาดธาตุโปแตสเซียม กับต้นข้าวโพดปกติ



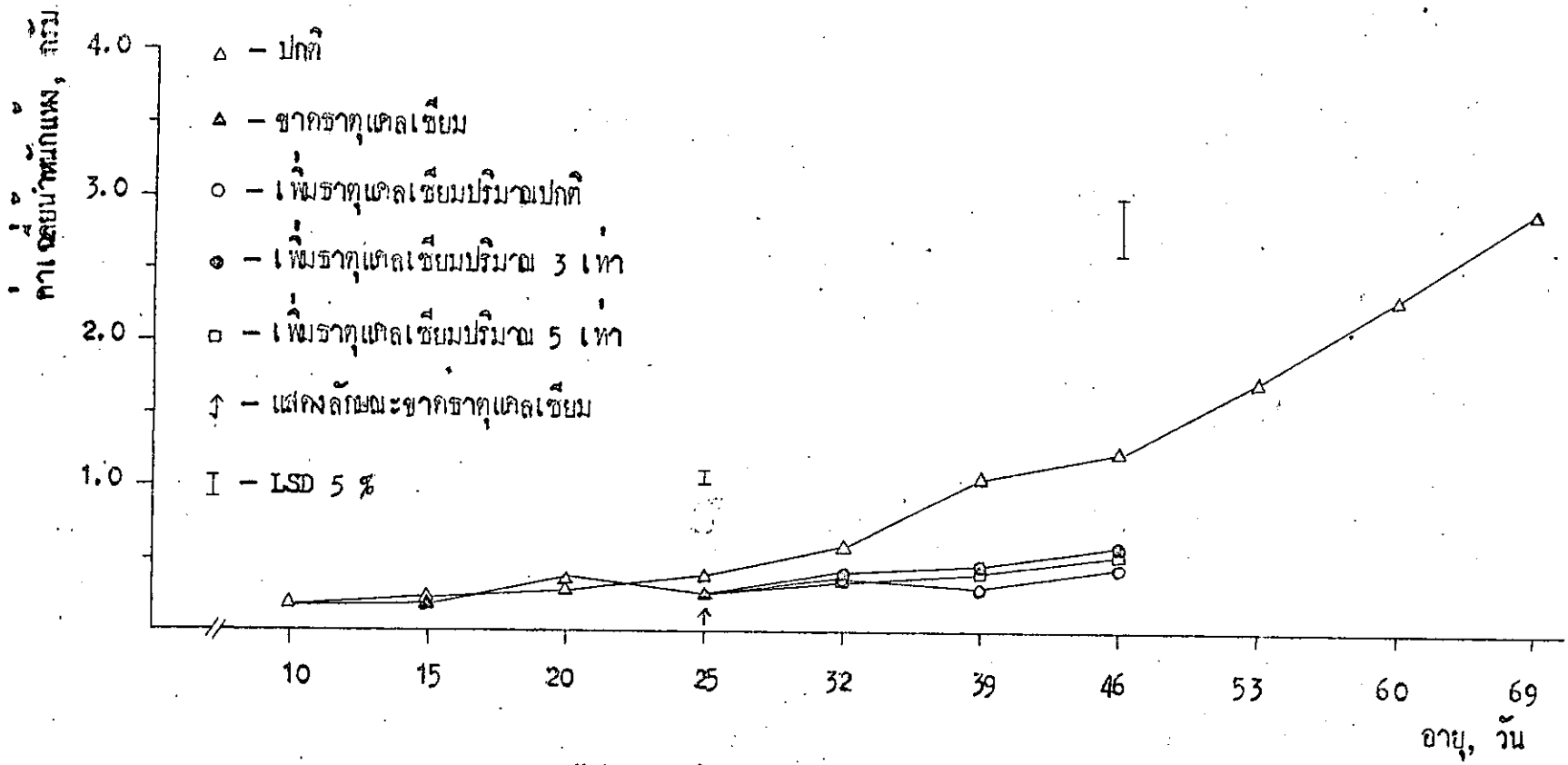
ภาพ 43 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียม แล้วได้รับธาตุแมกนีเซียมปริมาณแตกต่างกัน ภายหลังแสดงอาการขาดธาตุแมกนีเซียม กับต้นข้าวโพดปกติ



ภาพ 44 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดซาทุซัลเฟอร์ แล้วได้รับซาทุซัลเฟอร์ปริมาณแตกต่างกัน ภายหลังแสดงอาการขาดซาทุซัลเฟอร์ กับต้นข้าวโพดปกติ



ภาพ 45 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็ก แล้วได้รับธาตุเหล็กปริมาณแตกต่างกัน ภายหลังแสดงอาการขาดธาตุเหล็ก กับต้นข้าวโพดปกติ



ภาพ 46 เปรียบเทียบการเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียมแล้วได้รับธาตุแคลเซียมปริมาณแตกต่างกัน ภายหลังแสดงอาการขาดธาตุแคลเซียม กับต้นข้าวโพดปกติ

วิเคราะห์การเจริญของต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุอาหารแล้วได้รับธาตุอาหารที่ขาดไปปริมาณต่างกัน เปรียบเทียบกับการเจริญของต้นข้าวโพดปกติ ดังนี้

1. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน เมื่อแสดงลักษณะขาดธาตุไนโตรเจนให้ปรากฏ จะเจริญน้อยกว่าต้นข้าวโพดปกติ และเมื่อได้รับธาตุไนโตรเจนไปอีกครั้งหนึ่ง จะมีการเจริญไม่แตกต่างไปจากต้นข้าวโพดปกติทุก ๆ ปริมาณของธาตุไนโตรเจนที่ได้รับ

2. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุฟอสฟอรัส เมื่อแสดงลักษณะขาดธาตุฟอสฟอรัสให้ปรากฏจะเจริญไม่แตกต่างจากต้นข้าวโพดปกติ และเมื่อได้รับธาตุฟอสฟอรัสไปอีกครั้งหนึ่ง หากได้รับปริมาณเท่าปกติ จะให้การเจริญได้ดีกว่าต้นข้าวโพดปกติ แต่เมื่อได้รับปริมาณมากกว่าปกติ จะมีการเจริญไม่แตกต่างจากต้นข้าวโพดปกติ

3. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุโปแตสเซียม เมื่อแสดงลักษณะขาดธาตุโปแตสเซียมให้ปรากฏ จะเจริญไม่แตกต่างจากต้นข้าวโพดปกติ และเมื่อได้รับธาตุโปแตสเซียมไปอีกครั้งหนึ่ง จะต้องเพิ่มธาตุโปแตสเซียมปริมาณมากกว่าปกติถึง 5 เท่า จึงจะทำให้ต้นข้าวโพดที่มีลักษณะผิดปกตินี้เจริญไม่แตกต่างจากต้นข้าวโพดปกติ

4. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแมกนีเซียม เมื่อแสดงลักษณะขาดธาตุแมกนีเซียมให้ปรากฏจะเจริญไม่แตกต่างจากต้นข้าวโพดปกติ และเมื่อได้รับธาตุแมกนีเซียมไปอีกครั้งหนึ่ง จะต้องเพิ่มธาตุแมกนีเซียมปริมาณมากกว่าปกติถึง 5 เท่า จึงจะทำให้ต้นข้าวโพดที่มีลักษณะผิดปกตินี้เจริญไม่แตกต่างจากต้นข้าวโพดปกติ

5. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุซัลเฟอร์ เมื่อแสดงลักษณะขาดธาตุซัลเฟอร์ให้ปรากฏจะเจริญไม่แตกต่างจากต้นข้าวโพดปกติ และเมื่อได้รับธาตุซัลเฟอร์ไปอีกครั้งหนึ่ง จะต้องเพิ่มธาตุซัลเฟอร์ปริมาณมากกว่าปกติถึง 5 เท่า จึงจะทำให้ต้นข้าวโพดที่มีลักษณะผิดปกตินี้เจริญไม่แตกต่างจากต้นข้าวโพดปกติ

6. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็ก เมื่อแสดงลักษณะขาดธาตุเหล็กให้ปรากฏจะเจริญไม่แตกต่างจากต้นข้าวโพดปกติ และเมื่อได้รับธาตุเหล็กไปอีกครั้งหนึ่ง จะต้องเพิ่มธาตุเหล็กปริมาณมากกว่าปกติถึง 5 เท่า จึงจะทำให้ต้นข้าวโพดที่มีลักษณะผิดปกตินี้เจริญ–

ไม่แตกต่างจากต้นข้าวโพดปกติ

7. ต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุแคลเซียม เมื่อแสดงลักษณะขาดธาตุแคลเซียมให้ปรากฏจะเจริญน้อยกว่าต้นข้าวโพดปกติ และเมื่อได้รับธาตุแคลเซียมไปอีกครั้งหนึ่ง ไม่ว่าจะเพิ่มธาตุแคลเซียมปริมาณมากเท่าใด (ภายในขอบเขตของการทดลอง) จะไม่ทำให้ต้นข้าวโพดที่แสดงลักษณะผิดปกติเหล่านี้เจริญได้เทียมเท่าต้นข้าวโพดปกติเลย

จากผลการทดลองนี้ ต้นข้าวโพดเมื่อขาดธาตุอาหารเป็นเวลาประมาณ 15 – 22 วัน เฉพาะต้นข้าวโพดที่ขาดธาตุไนโตรเจน หรือธาตุแคลเซียมเท่านั้น ที่มีการเจริญน้อยกว่าต้นข้าวโพดที่ไม่ขาดธาตุอาหาร และหากให้ได้รับธาตุอาหารที่ขาดไปปริมาณมากกว่าปกติหลาย ๆ เท่าแล้ว ต้นข้าวโพดเหล่านี้ต่างก็จะมีการเจริญไม่ต่างไปจากต้นข้าวโพดที่ไม่ขาดอาหารมากนัก.

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ นายไพฑูรย์ โพธิสาร

ภูมิลำเนา ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

การศึกษา

ปีการศึกษา 2497 ประถมปีที่ 4 โรงเรียนสงเคราะห์ประชา
อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

ปีการศึกษา 2503 มัธยมปีที่ 6 โรงเรียนมหาวชิราวุธ
จังหวัดสงขลา

ปีการศึกษา 2507 ประกาศนียบัตรวิชาการศึกษาชั้นสูง
วิทยาลัยครูสงขลา จังหวัดสงขลา

ปีการศึกษา 2509 ประกาศนียบัตรครูพิเศษมัธยม

ปีการศึกษา 2517 การศึกษาบัณฑิตเกียรตินิยมอันดับ 1
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

ปีการศึกษา 2520 การศึกษามหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

หน้าที่ราชการ

ปี พ.ศ. 2508 – ปัจจุบัน อาจารย์ 1 โรงเรียนตลาดพิมาน
(วันครู 2503) อำเภอเมือง
จังหวัดสตูล