

# สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฅ
สารบัญตารางประกอบ	ซ
สารบัญภาพประกอบ	ฌ
สารบัญตารางผนวก	ฎ
บทนำ	1
การตรวจเอกสาร	3
1- การละลายของอะลูมิเนียม	3
2- ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดหรือรูปแบบ (Species) ของอะลูมิเนียมต่อการเจริญของพืช	6
3- ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมต่อการเจริญเติบโตของพืช	8
4- ผลของอะลูมิเนียมต่อการดูดใช้ (uptake) และการเคลื่อนย้าย (translocation) ของธาตุอาหารอื่น ๆ ของพืช	14
อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย	19
ผลการทดลองและวิจารณ์	25
1. การทดลองในสารละลายธาตุอาหาร (Nutrient Solution)	25
1.1 ลักษณะการเป็นพิษของอะลูมิเนียม ในถั่วเหลือง	25
1.2 อิทธิพลของอะลูมิเนียมต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของถั่วเหลือง	25
1.3 อิทธิพลของอะลูมิเนียมต่อความเป็นประโยชน์ของอาหารธาตุต่าง ๆ	30

	หน้า
2. การทดลองในดิน (กระถาง)	32
2.1 อิทธิพลของระดับ pH ของดิน	32
2.1.1 อิทธิพลของระดับ pH ดินต่อการละลายตัวของ อะลูมิเนียม และ แมงกานีส	32
2.1.2 อิทธิพลของ pH ดินต่อการเจริญเติบโต และ ผลผลิตถั่วเหลือง	33
2.1.3 อิทธิพลของ pH ดินต่อความเป็นประโยชน์ ของอาหารธาตุต่าง ๆ	33
2.1.4 ลักษณะอาการเป็นพิษของอะลูมิเนียม ในถั่วเหลือง	36
2.2 อิทธิพลของอะลูมิเนียมในดิน	40
2.2.1 อิทธิพลของอะลูมิเนียมต่อ pH และการละลายตัวของ แมงกานีสในดิน	40
2.2.2 อิทธิพลของอะลูมิเนียมในดินต่อการเจริญเติบโตและ ผลผลิตถั่วเหลือง	41
2.2.3 อิทธิพลของอะลูมิเนียมในดินต่อความเป็นประโยชน์ ของอาหารธาตุต่าง ๆ	41
2.2.4 ลักษณะอาการเป็นพิษของ อะลูมิเนียม ในถั่วเหลือง	45
บทสรุป	47
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	56
ประวัติผู้เขียน	105



## สารบัญตารางประกอบ

ตาราง		หน้า
1	แสดงปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารในสารละลาย	20
2	แสดงข้อมูลพื้นฐานของดินที่ใช้ในการทดลอง	22
3	ความยาวและอัตราการยืดยาวโดยเฉลี่ยของรากแก้วถั่วเหลือง ในระยะ 10 วันแรกที่ย้ายลงปลูกในสารละลายที่มีการเติม Al ระดับต่าง ๆ กัน	26
4	ความสัมพันธ์ของราก และน้ำหนักแห้งสัมพันธ์ของต้น และราก ถั่วเหลือง (30 วันหลังย้ายกล้า) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กันของ Al ในสารละลายโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ย เปรียบ เทียบกับต้นถั่วในกระถางที่มีความยาวราก และน้ำหนักแห้งสูง สุดตามลำดับ	28
5	ค่าเฉลี่ยความสูง ความยาวราก จำนวนใบแท้ จำนวนกิ่ง และ น้ำหนักแห้งของทั้งต้นและราก เมื่อปลูกในสารละลายที่มีการ เติม Al ระดับต่าง ๆ กัน 30 วัน	29
6	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นธาตุต่าง ๆ ในใบถั่วเหลืองที่ปลูกในสาร ละลายที่มีการเติม Al ในระดับต่าง ๆ กัน หลังการย้ายกล้า 30 วัน	31
7	ปริมาณ Al ที่สกัดได้ และแมงกานีสที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่มี ระดับ pH ต่าง ๆ กัน	32
8	ค่าเฉลี่ยของจำนวนฝัก จำนวนเมล็ด และน้ำหนักเมล็ด ต่อ กระถางของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่มี pH ต่างกัน	35
9	ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นธาตุต่าง ๆ ในใบถั่วเหลืองเมื่ออายุ 8 สัปดาห์ ในดินที่มี pH ต่างกัน	36
10	ค่า pH และประมาณ Mn ที่สกัดได้ในดินที่มีการเติม Al ระดับต่าง ๆ กัน ก่อนปลูกถั่วเหลือง	40

ตาราง	หน้า
11	44
ผลผลิตเฉลี่ยจำนวนฝัก จำนวนเมล็ด และน้ำหนักเมล็ด ต่อ กระจ่างของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่มีการเติม A1 ในระดับต่าง กัน	
12	44
ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ในใบถั่วเหลือง อายุ 8 สัปดาห์ ที่ปลูกในดินที่มีการเติม A1 ต่าง ๆ กัน	



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright© by Chiang Mai University  
 All rights reserved



## สารบัญภาพประกอบ

รูป		หน้า
1	การเจริญเติบโตของรากถั่วเหลือง เมื่อปลูกได้ 30 วันใน สารละลายที่มีการเติม Al ระดับต่าง ๆ กัน	27
2	น้ำหนักแห้งของต้นถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่มีระดับ pH ต่าง ๆ กัน เมื่ออายุ 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์	34
3	น้ำหนักแห้งของรากถั่วเหลือง ที่ปลูกในดินที่มีระดับ pH ต่าง ๆ กัน เมื่ออายุ 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์	34
4	แสดงความยาวของรากถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่มี pH ต่างกัน	37
5	แสดงอาการรากอ้วนสั้น ขรุขระ ของถั่วเหลืองที่ปลูกใน Tr <sub>1</sub> (pH 4.1)	37
6	อาการเหลืองระหว่างเส้นใบ และอาการเซลล์เนื้อเยื่อตาย เป็นจุด ๆ ของถั่วเหลือง ในดิน pH 4.4 เป็นเวลา 2 สัปดาห์	39
7	อาการใบย่นหยิก ม้วนงอ ในใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่มี pH 4.0 เป็นเวลา 8 สัปดาห์	39
8	น้ำหนักแห้งของต้นถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่เติม Al ระดับ ต่าง ๆ กัน เมื่ออายุ 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์	42
9	น้ำหนักแห้งของรากถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่เติม Al ระดับต่าง ๆ กัน เมื่ออายุ 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์	42
10	รูปร่างและลักษณะของต้นถั่วเหลือง (อายุ 8 สัปดาห์) ที่ มีการเติม Al ในระดับต่าง ๆ กัน	46
11	ลักษณะของรากถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่มีการเติม Al ในระดับ ต่าง ๆ กัน	46

## สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวก		หน้า
1	แสดงความยาวและอัตราการยืดยาวของรากแก้วเมื่อปลูกใน สารละลายที่มีความเข้มข้นของ Al ต่างกันเป็นเวลา 10 วัน	56
2	ปริมาณความสูง ความยาวราก จำใบแท้ จำนวนกิ่ง และ น้ำหนักแห้งของต้น และรากแก้วเหลืองที่ปลูกในสารละลาย อาหารธาตุที่มีการเติม Al ระดับต่าง ๆ กัน ใน 30 วัน	58
3	ความเข้มข้นธาตุต่าง ๆ ในใบแก้วเหลืองที่ปลูกในสารละลาย อาหารธาตุที่ระดับความเข้มข้นของ Al ต่าง ๆ กัน	60
4	ค่า pH ของดินที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะการปลูกแก้วเหลือง ดินที่มี pH ต่างกัน	62
5	ปริมาณธาตุต่าง ๆ ของดินที่มี pH ต่างกันหลังปลูกแก้วเหลือง ได้ 12 สัปดาห์	63
6	น้ำหนักแห้งของต้นแก้วเหลืองอายุ 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์ ในดินที่มี pH ต่าง ๆ กัน	64
7	น้ำหนักแห้งของรากแก้วเหลืองอายุ 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์ ในดินที่มี pH ต่าง ๆ กัน	65
8	จำนวนฝัก จำนวนเมล็ด และน้ำหนักเมล็ด ต่อกะเถาของ แก้วเหลืองที่ปลูกในดินที่มี pH ต่าง ๆ กัน	66
9	ความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ในส่วนต้นของแก้วเหลือง ที่ปลูก ในดินที่มี pH ต่าง ๆ กัน อายุ 12 สัปดาห์	67
10	ปริมาณการดูดใช้ทั้งหมด (total uptake) ของธาตุต่าง ๆ ในต้นแก้วเหลืองเมื่ออายุ 12 สัปดาห์ ที่ปลูกในดินที่ระดับ pH ต่าง ๆ กัน	68
11	ความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ในใบแก้วเหลือง เมื่ออายุ 8 สัปดาห์ ที่ปลูกในดินที่มี pH ต่าง ๆ กัน	69



ตารางผนวก	หน้า	
12	ค่า pH ที่เปลี่ยนไปตามระยะเวลาปลูกถั่วเหลืองในดินที่เติม Al ในระดับต่าง ๆ กัน	70
13	น้ำหนักแห้งต้นถั่วเหลืองอายุ 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์ ในดินที่เติม Al ในระดับต่าง ๆ กัน	71
14	น้ำหนักแห้งรากถั่วเหลืองอายุ 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์ ที่ปลูกในดินที่มีการเติม Al ในระดับต่าง ๆ กัน	72
15	จำนวนฝัก จำนวนเมล็ด และน้ำหนักเมล็ด ต่อกระถางของ ถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่มีการเติม Al ในระดับต่าง ๆ กัน	73
16	ความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ในต้นถั่วเหลือง ที่ปลูกในดินที่ เติม Al ในระดับต่าง ๆ กัน เมื่อมีอายุ 12 สัปดาห์	74
17	ปริมาณการดูดใช้ทั้งหมด (total uptake) ธาตุต่าง ๆ ในต้นถั่วเหลือง เมื่ออายุได้ 12 สัปดาห์ ที่ปลูกในดินที่มีการ เติม Al ในระดับต่าง ๆ กัน	75
18	ความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ในใบของถั่วเหลือง เมื่ออายุ 8 สัปดาห์ ที่ปลูกในดินที่มีการเติม Al ในระดับต่าง ๆ กัน	76
19	ปริมาณธาตุต่าง ๆ ของดินที่มีการเติม Al ในระดับต่างกัน หลังปลูกถั่วเหลืองได้ 12 สัปดาห์	77
20	ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุต่าง ๆ ในดินที่มี pH ต่างกัน หลังปลูก ได้ 12 สัปดาห์	78
21	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของต้นถั่วเหลืองในระยะเวลา 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์ ในดินที่มี pH ต่างกัน	78
22	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากถั่วเหลืองในระยะเวลา 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์ ในดินที่มี pH ต่างกัน	79
23	ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นธาตุต่าง ๆ ในส่วนต้นถั่วเหลือง เมื่ออายุ 12 สัปดาห์ ที่ปลูกในดินที่มี pH ต่างกัน	79

ตารางผนวก	หน้า	
24	ค่าเฉลี่ยการดูดใช้ทั้งหมด (total uptake) ธาตุต่าง ๆ ในส่วนต้นแก้วเหลือง เมื่ออายุ 12 สัปดาห์ ที่ปลูกในดินที่มี pH ต่างกัน	80
25	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งต้นแก้วเหลืองในระยะเวลา 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์ ในดินที่มีการเติม Al ต่างกัน	80
26	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากแก้วเหลืองในระยะเวลา 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์ ในดินที่มีการเติม Al ต่างกัน	81
27	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ในส่วนต้นของแก้วเหลือง อายุ 12 สัปดาห์ ที่ปลูกในดินที่มีการเติม Al ต่าง ๆ กัน	81
28	ค่าเฉลี่ยการดูดใช้ทั้งหมด (total uptake) ธาตุต่าง ๆ ในส่วนต้นแก้วเหลือง เมื่ออายุ 12 สัปดาห์ ที่ปลูกในดินที่มีการเติม Al ต่างกัน	82
29	Analysis of variance ของความยาวรากแก้ว และ อัตราการยืดยาวของแก้วเหลืองที่ปลูกในสารละลายที่มี Al ระดับต่างกันเป็นเวลา 10 วัน	82
30	Analysis of variance ของความสูงของต้น ความยาว ราก จำนวนใบแท้ จำนวนกิ่ง น้ำหนักแห้งของต้นและราก ของแก้วเหลือง ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร เมื่อเติม Al ในระดับต่างกัน ได้ 30 วัน	83
31	Analysis of variance ของความเข้มข้นธาตุ N, P, K Ca, Mg, Mn และ Al ในใบแก้วเหลืองที่ปลูกในสารละลาย ธาตุอาหารที่มีระดับ Al ต่าง ๆ กัน	84
32	Analysis of variance ของปริมาณธาตุ N, P, K, Ca, Mg, Mn และ Al ในดินที่มี pH ต่างกัน หลังปลูก แก้วเหลือง ได้ 12 สัปดาห์	86



ตารางผนวก	หน้า
33 Analysis of variance ของน้ำหนักรากถั่วเหลืองที่ปลูก ในดินที่มี pH ต่างกัน ในระยะเวลา 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์	88
34 Analysis of variance ของน้ำหนักรากถั่วเหลืองที่ปลูก ในดินที่มี pH ต่างกัน ในระยะเวลา 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์	89
35 Analysis of variance ของจำนวนฝัก จำนวนเมล็ด และน้ำหนักเมล็ดถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่มี pH ต่าง ๆ กัน	90
36 Analysis of variance ของความเข้มข้นธาตุ N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn และ Al ในส่วนต้นของถั่วเหลือง อายุ 12 สัปดาห์ ที่ปลูกในดินที่มี pH ต่าง ๆ กัน	91
37 Analysis of variance ของ total uptake ธาตุ ต่าง ๆ ในต้นถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่มี pH ต่างกัน	93
38 Analysis of variance ของความเข้มข้นธาตุต่าง ๆ ใน ใบถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่มี pH ต่างกัน เป็นเวลา 8 สัปดาห์	95
39 Analysis of variance ของปริมาณธาตุต่าง ๆ ในดินที่ มีการเติม Al ในระดับต่าง ๆ กัน หลังปลูกถั่วเหลือง 12 สัปดาห์	96
40 Analysis of variance ของน้ำหนักรากถั่วเหลืองที่ ปลูกในดินที่มีการเติม Al ต่างระดับกัน ในระยะเวลา 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์	97
41 Analysis of variance ของน้ำหนักรากถั่วเหลืองที่ ปลูกในดินที่มีการเติม Al ต่างระดับกัน ในระยะเวลา 2, 4, 8 และ 12 สัปดาห์	98
42 Analysis of variance ของจำนวนฝัก จำนวนเมล็ด ต่อกระถางของถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่เติม Al ต่างระดับกัน	99

ตารางผนวก	หน้า
43      Analysis of variance ของความเข้มข้นธาตุ N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn และ Al ในต้นถั่วเหลือง อายุ 12 สัปดาห์ ที่ปลูกในดินที่เติม Al ต่างกัน	100
44      Analysis of variance ของ total uptake ของธาตุ N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn และ Al ในต้นถั่วเหลือง อายุ 12 สัปดาห์ ที่ปลูกในดินที่เติม Al ระดับต่างกัน	102
45      Analysis of variance ของความเข้มข้นธาตุ P, K, Ca, Mg, Mn และ Al ในใบถั่วเหลือง อายุ 8 สัปดาห์ ที่ปลูกในดินที่เติม Al ระดับต่างกัน	104