

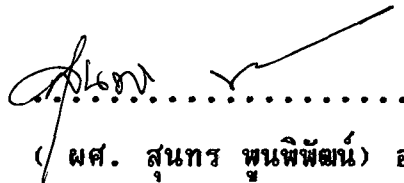


การเปรียบเทียบระดับความทนทานของปุ๋ยพืชสด เขตร้อนต่อ  
 ความเป็นพิษของอลูมิเนียมในดินกรดจัด  
 Comparative tolerance of tropical green manures  
 to Al toxicity in acid sulfate soils

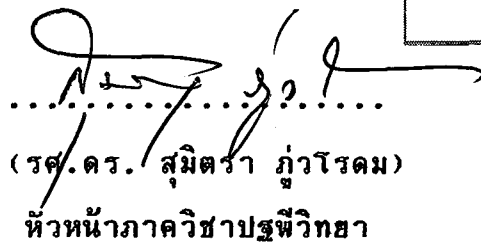
โดย

นางสาว วนิดา โนบรรเทา

นางสาว อุษษา เกลาฉัด

  
 ( ผศ. สุนทร พุนพิพัฒน์ ) อาจารย์ที่ปรึกษา

ภาควิชารับรองแล้ว

  
 ( รศ.ดร. สุมิตรา กุ้วโรดม )  
 หัวหน้าภาควิชาปฐพีวิทยา

วันที่ .17. เดือน .1๔๐. พ.ศ. 36.

รพ.  
 ๐1747  
 ๒535

14372



การเปรียบเทียบระดับความทนทานของปุ๋ยพืชสดเขตร้อนต่อ

ความเป็นพิษของอลูมิเนียมในดินกรดจัด

Comparative tolerance of tropical green manures  
to Al toxicity in acid sulfate soils



T099735

โดย

นางสาว วนิดา โนบรรเทา  
นางสาว อุษา เกลาฉัด

เสนอ

plan.

ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

2144 ก เพื่อความสมบูรณ์แห่งวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

2536

พ.ศ. 2536

นางทพญ.....

เลขทะเบียน 99735

วันเดือนปี.....

## คำนิชม

ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงด้วยความสมบูรณ์ เนื่องจากความร่วมมือเป็นอย่างดีจากทุกฝ่าย ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผศ. สุนทร พูนพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำตลอดจนช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ขอขอบพระคุณอาจารย์ อภิศักดิ์ โพธิ์ปิ่น สำหรับความช่วยเหลือในเรื่องการเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำมาทำการทดลอง ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยาทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจจนปัญหาพิเศษสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณนุจรี บุญแปลง คุณสำราญ ช้างน้อย เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา ที่ได้ให้ความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาปฐพีวิทยาทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่าง ๆ และต้องขอขอบคุณ คุณอรุณ กำเหนิดนนท์ ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องการพิมพ์

สุดท้าย ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนด้านการศึกษาด้วยดีตลอดมา

Comparative tolerance of tropical green manures to Al  
toxicity in acid sulfate soils

ABSTRACT

To determine the growth rates and tolerance of four green manures to Al toxicity, a greenhouse study was conducted. Two acid sulfate soils (Bg : Typic Sulfaquepts; Ra: Sulfic Tropaquepts), high in "aluminum", was adjusted to four different pH level : 3.8 and 4.0 (original soil pH), 4.5, 5.5 and 6.5 (amended with lime). Top dry weight was determined at the 49 day growth stage . Nitrogen, P, K, Ca, Mg, Al, Mn, and Fe concentrations were also determined in top samples.

Soil pH levels affected the dry weight production significantly ( $p < 0.01$ ) of each green manures. Tolerant species showed a higher or similar dry weight yield at unamended soil pH or pH 4.5 compared to pH 6.5. The best dry weight yields at all level of pH 6.5 were obtained with those species that were the most acid tolerance with *Cajanus cajan* and *Sesbania aculeata*, whereas *Sesbania rostrata* and *Sesbania speciosa* were the poorest.

Top analysis was used to determine total nutrient uptake and tolerances of a range of some green manures to excess Al. For all combinations of two soils, poor growth could largely be attributed to problem with Al and Ca uptake. However, high levels of tissue Al were probably the principal limitation to green manure growth at  $pH < 4.5$ . Some of the sensitive species at pH 4.5 showed severe chlorosis of young leaf symptoms as a result of Al toxicity. Tolerance, based on the critical Al concentration at 90 % of maximum growth (parenthesis in  $mg\ kg^{-1}$ ) was of the order in Bg soil: *C. cajan* (60) > *S. aculeata* (45) > *S.*

*rostrata* (39) > *S. speciosa* (29); and in Ra soil : *C. cajan* (63) > *S. aculeata* (54) > *S. rostrata* (49) > *S. speciosa* (40). These results are discussed in terms of current understanding of the nature and potential of Al tolerance in various green manure species.

## การเปรียบเทียบระดับความทนทานของปุ๋ยพืชสด เขตไร่

### ต่อความเป็นพิษของอลูมิเนียมในดินกรดจัด

#### บทคัดย่อ

การวัดอัตราการเจริญเติบโตและระดับความทนทานของปุ๋ยพืชสด 4 ชนิดต่อความเป็นพิษของอลูมิเนียม ได้กระทำในเรือนทดลอง ชุดดิน 2 ประเภทที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้มีลักษณะเป็นดินกรดจัด (acid sulfate soils) คือ บางปะกง (Bg) : Typic Sulfaquepts และ รังสิต (Ra) : Sulfic Tropaquepts ซึ่งปรากฏอลูมิเนียมอยู่ในปริมาณที่สูงและทำการปรับ pH ให้แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 3.8 (Bg) และ 4.0 (Ra) เป็นค่า pH ดั้งเดิมของดินก่อนเริ่มต้นใส่ปุ๋ย และ pH 4.5, 5.5, และ 6.5 (โดยการใส่ปุ๋ย) เมื่อพืชเจริญเติบโตได้ 49 วัน ทำการเก็บเกี่ยวและวัดน้ำหนักแห้งในส่วนยอดทั้งหมดรวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบธาตุอาหารหลัก เช่น N, P, Ca รวมถึง Al, Fe และ Mn ที่ปรากฏอยู่ในส่วนยอดของต้นพืช

ระดับ pH ของดินมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.01$ ) ต่อการสร้างน้ำหนักแห้งของปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิดเป็นประการสำคัญ สำหรับชนิดที่ทนทานต่อความเป็นกรดหรือความเป็นพิษของอลูมิเนียมนั้นแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนโดยการให้ผลผลิตของน้ำหนักแห้งที่สูงกว่าหรือใกล้เคียงกันในตำรับของดินที่ยังไม่ได้ปรับ pH หรือดินที่มีการปรับ pH เป็น 4.5 การสร้างน้ำหนักแห้งดีที่สุดในปุ๋ยพืชสดแทบทุกชนิดพบที่ระดับ pH 6.5 โดยเฉพาะปุ๋ยพืชสดชนิดที่แสดงลักษณะของความทนกรดมากที่สุด คือ ถั่วมะแฉะ (*Cajanus cajan*) และ โสนคางคก (*Sesbania aculeata*) ส่วนโสนพันธุ์อื่น ๆ เช่น โสนอัฟริกัน (*Sesbania rostrata*) และโสนอินเดีย (*Sesbania speciosa*) มีความทนทานในระดับที่น้อยที่สุด

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการดึงดูดปริมาณธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ขึ้นไปสะสมในส่วนยอด รวมถึงระดับความทนทานของปุ๋ยพืชสดต่อปริมาณอลูมิเนียมที่สะสมอยู่มากเกินไปภายในดินกรด เมื่อพิจารณาโดยส่วนรวมทั้ง 2 ชุดดินพบว่าลักษณะการเจริญเติบโตที่ไม่ดีนั้นเป็นผลสืบเนื่องมาจากปัญหาของความเป็นพิษของอลูมิเนียมอย่างชัดเจนรวมถึงการขาดแคลนธาตุแคลเซียม เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของอลูมิเนียมที่สูงภายในส่วนเนื้อเยื่อพืชเป็นสาเหตุที่สำคัญของการควบคุมการเจริญเติบโตของปุ๋ยพืชสดโดยเฉพาะที่ระดับ pH ของดินน้อยกว่า 4.5 สำหรับปุ๋ยพืชสดบางชนิดที่ไม่ทนทานนั้น ที่ระดับ pH 4.5 แสดงอาการเป็นรอยด่างเหลือง (chlorosis) ขึ้นที่ใบอ่อน ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากอิทธิพลของความ

เป็นพิษของอลูมิเนียมโดยตรง เมื่อคำนึงถึงลักษณะของความทนทานดังกล่าว โดยยึดถือจากระดับวิกฤตที่พืชแสดงความทนทานต่อความเข้มข้นของอลูมิเนียม (กล่าวคือ ที่ระดับ 90 % ของการสร้ารงน้ำหนักแห้งได้สูงสุด) โดยค่าดังกล่าวสามารถเรียงกันตามลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ ในดินชุดบางปะกง : *C. cajan* (60) > *S. aculeata* (45) > *S. rostrata* (39) > *S. speciosa* (29) และ ในดินชุดรังสิต : *C. cajan* (63) > *S. aculeata* (54) > *S. rostrata* (49) > *S. speciosa* (40) (จำนวนตัวเลขในวงเล็บแสดงระดับวิกฤตของความเข้มข้นอลูมิเนียมที่มีหน่วยเป็น มก/กก) จากผลการทดลองและรายละเอียดต่าง ๆ ได้แสดงให้เห็นถึงธรรมชาติและศักยภาพของปุ๋ยพืชสด ชนิดต่าง ๆ ที่มีความทนทานต่อความเป็นพิษของอลูมิเนียมภายในดินกรดจัดได้เป็นอย่างดี

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	(ก)
สารบัญภาพ	(ข)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	11
ผลการทดลองและวิจารณ์	15
สรุป	37
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวก	47

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของดินกรดจัด 2 ชุดที่ใช้ในการศึกษา	18
2	อิทธิพลของการปรับระดับ pH ต่อการสร้าวงน้ำหนักแห้งของปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด ในดินชุดบางปะกง (Bg) และ รังสิต (Ra)	22
3	อิทธิพลของการปรับระดับ pH ต่อปริมาณการสะสม N ของปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด ในดินชุดบางปะกง (Bg) และ รังสิต (Ra)	25
4	อิทธิพลของการปรับระดับ pH และชนิดของปุ๋ยพืชสดต่อปริมาณความเข้มข้น ของธาตุอาหารภายในต้นพืช (ปริมาณเฉลี่ยทั้ง 2 ชุดดิน)	28
5	อิทธิพลของการปรับระดับ pH และชนิดของปุ๋ยพืชสดต่อปริมาณความเข้มข้น ของ Al, Mn และ Fe ภายในต้นพืช	30
6	สมการ Quadratic regression ( $Y=a+b_1X+b_2X^2$ ) ค่าพารามิเตอร์ และ $r^2$ ระหว่างการสร้าวงน้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ (Y) และความเข้มข้นของ Al ( X ) ที่พบในปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิด รวมถึงค่าเฉลี่ยของระดับวิกฤติของ ความเป็นพิษของ Al ที่ควบคุม 90 % ผลผลิตสัมพัทธ์	32

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 อัตราการเจริญเติบโตในส่วนยอดของ <i>C. cajuput</i> ที่ปลูกในดินกรดจัดชุด a)Bg b)Ra โดยได้รับอิทธิพลของการปรับ pH ให้แตกต่างกัน 4 ระดับ	19
2 อัตราการเจริญเติบโตในส่วนยอดของ <i>S. aculeata</i> ที่ปลูกในดินกรดจัดชุด a)Bg b)Ra โดยได้รับอิทธิพลของการปรับ pH ให้แตกต่างกัน 4 ระดับ	20
3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Al ที่อยู่ในส่วนยอด (X) ของปืษพีชสด 4 ชนิด และการสร้างน้ำหนักแห้งสัมพันธ์ (Y) ของดินชุด Bg	34
4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Al ที่อยู่ในส่วนยอด (X) ของปืษพีชสด 4 ชนิด และการสร้างน้ำหนักแห้งสัมพันธ์ (Y) ของดินชุด Ra	35

## คำนำ

ในปัจจุบัน ได้มีความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างมากต่อการนำปุ๋ยพืชสดมาใช้ประโยชน์เพื่อวัตถุประสงค์หลายประการภายใต้สภาพความเป็นกรดของดินเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน (Yost and Evans, 1987) นอกจากนี้เป็นที่ทราบกันเป็นอย่างดีว่า พืชพันธุ์ชนิดต่าง ๆ บางสายพันธุ์นั้นมีความแตกต่างเป็นอย่างมากในการเจริญเติบโตภายใต้สภาพของดินกรด (Marschner 1986) ดังนั้นลักษณะความทนกรด (acid tolerance) จึงนับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของพืชแต่ละชนิด (Munns, 1986) โดยทั่ว ๆ ไปปุ๋ยพืชสดที่ปรากฏอยู่ในเขตร้อนพบกันอย่างแพร่หลายแต่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดีบนดินกรด เพราะฉะนั้นจึงได้มีความพยายามที่จะคัดเลือกชนิดของปุ๋ยพืชสดที่แสดงความทนทานต่อดินกรด (Hutton, 1989) ซึ่งความต้องการเหล่านี้ดูเหมือนจะรวมไปถึงพืชชนิดอื่น ๆ ที่มีลักษณะเฉพาะของความทนทานต่อสภาพดินกรดด้วย

ปุ๋ยพืชสดเขตร้อนบางชนิดได้เริ่มนำมาปลูกเป็นพืชหมุนเวียนฤดูเดียวบนพื้นที่ดินกรดจัดในเขตรอบลุ่มกรุงเทพฯ ของประเทศไทย ดินเหล่านี้มีสภาพเป็นกรดจัดและความเป็นพิษของอลูมิเนียมปรากฏอยู่เมื่อเกิดการระบาศอากาศดี โดยปฏิกิริยา oxidation ของแร่ jarosite ในระดับความลึก 30-70 เซนติเมตรจากชั้นหน้าตัดดิน (van Breemen, 1982 ; Parkpian et al. 1991) นอกจากนี้ปุ๋ยพืชสดยังมีความสำคัญในหลายพื้นที่ที่มีสภาพไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก ซึ่งผลผลิตจะถูกจำกัดโดยความเป็นกรด เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีการสรุปถึงพืชที่มีความทนทานต่อดินกรด โดยโสนอัฟริกัน (*S. rostrata*) นับเป็นพืชตระกูลถั่วเขตร้อนเพียงชนิดเดียวที่มีรายงาน (Joshua et al., 1989) ความทนทานของถั่วมะแฉะ (*C. cajan*) ได้มีการศึกษาบ้างเช่นกัน (Thai, 1990 ; Ker-ridge, 1991) สำหรับโสนคางคก (*S. aculeata*) นั้นก็มีรายงานพอสมควรในเรื่องของความทนทานต่อดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (Arunin et al., 1989) แต่ก็ยังไม่รายละเอียดดังกล่าวสำหรับดินกรดจัด

ในพื้นที่ดินกรดจัดที่กว้างใหญ่เหล่านี้สามารถทำให้ระดับผลผลิตของพืชที่ปลูกเพิ่มขึ้นได้ถ้ามีการลดความเป็นพิษของอลูมิเนียมโดยตรง ซึ่งเกิดขึ้นจากการปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปของสารละลายและอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้เป็นประการสำคัญ การใส่ปูนนับเป็นวิธีปฏิบัติกันอยู่โดยทั่ว ๆ ไปสำหรับการบรรเทาหรือลดความเป็นพิษของอลูมิเนียม แต่อย่างไรก็ตาม ผลกระทบจากดินกรดต่อการเจริญเติบโตของพืชซึ่งทำการแก้ไขโดยการใส่ปูนนั้นได้เคยมีผู้รายงานให้เห็นผลถึงความแตกต่างเป็นอย่างมากภายใต้สภาพการจัดการที่ต่างกันอย่างชัดเจน

ตัวอย่าง เช่น ภาษีที่ดินที่ลุ่มที่พืชพวกถั่วจะเจริญเติบโตโดยการใส่ปุ๋ยนั้นได้มีการศึกษาโดย Barnard and Folscher (1988) กระทบกับดินกรด sand clay loam สำหรับดินอันดับ Oxisols ผลปรากฏว่า การใส่ปุ๋ยสามารถให้ประสิทธิผลที่ดีก็ต่อเมื่อค่า pH ของดินมากกว่า 6.0 และมีประสิทธิภาพคงอยู่เป็นผลอย่างชั่วคราวเท่านั้น เมื่อใดก็ตามที่มีการปลูกพืชลงไปเป็นช่วงระยะเวลาที่ยาวนานแล้ว ย่อมปรากฏอย่างชัดเจนถึงความแตกต่างในการตอบสนองต่อปุ๋ยของพืชตระกูลถั่ว โดยเฉพาะในรายงานที่แสดงให้เห็นโดย Holford (1985) สำหรับพืชตระกูลถั่วที่ปลูกอยู่บนดินกรดทั้ง 15 ชนิด

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมที่ทนทานต่อความเป็นพิษของอลูมิเนียมส่วนใหญ่จะปรากฏภายในต้นพืช ดังนั้นการแก้ไขปัญหาคือที่สุดสำหรับความเป็นพิษของอลูมิเนียมจึงต้องรวมถึงวิธีการใส่ปุ๋ยร่วมกับการคัดเลือกชนิดของปุ๋ยพืชสดที่มีความทนทานต่อความเป็นพิษของอลูมิเนียมได้เป็นอย่างดี

### วัตถุประสงค์

การคัดเลือกและเปรียบเทียบชนิดของปุ๋ยพืชสด เพื่อหาศักยภาพของการเจริญเติบโตและระดับของความทนทานต่อความเป็นพิษของอลูมิเนียมทั้งหมดที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากดินกรดจัด

## การตรวจเอกสาร

### 1. ระดับความทนทานและลักษณะอาการความเป็นพิษของ Al ที่ปรากฏแก่พืชภายในดินกรด

#### 1.1 ผลกระทบทางสรีรวิทยาและชีวเคมีจากความเป็นพิษของ Al

ความเป็นพิษของ Al นับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการจำกัดการเจริญเติบโตของพืชในดินกรดจัด (Foy, 1988) ปัญหานี้จะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงที่ค่า pH ต่ำกว่า 5.0 และเคยมีรายงานปรากฏในสภาพ pH ที่สูงกว่า 5.5 ภายใต้อินดินกรดจัด (Cate and Sukhai, 1964) จุดวิกฤติของ pH ของดินที่ทำให้ Al ละลายออกมาหรืออยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ในความเข้มข้นที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดและประเภทของแร่ดินเหนียว ระดับอินทรีย์วัตถุ ความเข้มข้นของไอออนบวก (cation) และไอออนลบ (anion) ที่อยู่ในสารละลายดิน ปริมาณเกลือทั้งหมดที่ละลายได้และที่สำคัญ คือ ชนิดหรือพันธุ์ของพืชที่เพาะปลูก เป็นต้น (Kamprath and Foy, 1985)

ถึงแม้ว่ามีรายงานถึงลักษณะความเป็นพิษของ Al และความทนทานของพืชต่อความเป็นพิษปรากฏอยู่อย่างแพร่หลาย แต่รายละเอียดที่เกี่ยวข้อกับผลกระทบดังกล่าวต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชยังคงกล่าวไว้ไม่ชัดเจน และบางครั้งมีลักษณะข้อความที่คลุมเคลือ (Fageria et al. 1988 ; Marschner, 1991) ลักษณะความเป็นพิษของ Al ปรากฏขึ้นมาจากผลปฏิกริยาร่วมกันหลาย ๆ ปัจจัยและยังไม่มีข้อตกลงใด ๆ ที่บอกว่ากลไก (mechanism) หนึ่งกลไกใดนับเป็นสาเหตุของความเป็นพิษของ Al ที่แสดงผลกระทบต่อพืชขั้นสูงอย่างแท้จริง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อกล่าวโดยรวมถึงลักษณะความเป็นพิษของ Al ที่ปรากฏออกมานั้นมีผลกระทบทางด้านสรีระของพืชหลายประการ เช่น มีส่วนทำให้พืชไม่สามารรถดึงดูด P ไปใช้ประโยชน์ได้ (Foy and Campbell, 1984) ซึ่งคาดว่าเกิดจาก Al รวมตัวกับ P และเกิดเป็นสารประกอบ Al phosphate ขึ้นภายในเนื้อเยื่อพืช นอกจากนี้ Al ยังยังมีผลทำให้การสะสม Mn และ Ca ภายในเนื้อเยื่อลดระดับลงด้วย ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะแสดงผลให้เห็นถึงความแตกต่างได้ในข้าวไร่ โดยที่ระดับของธาตุอาหารทั้งสองลดต่ำลงจนถึงจุดวิกฤติสำหรับพืชที่จะมีชีวิตรอดอยู่รอดได้ (Fageria and Carvalho, 1982) และมีผลกระทบต่อ การดึงดูด Ca ลดต่ำลงมากกว่า 90 % (Fageria, 1985) ความเป็นพิษของ Al นั้นยังมีสมมุติฐานมาจากการเข้าไปทำลายเนื้อเยื่อในส่วนรากให้เกิดการแตกกระจาย ผลกระทบทางชีวเคมีหลายอย่างล้วนก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างและหน้าที่ของ cell plasmalemma ภายในส่วนราก (Hecht-Buchholz and

Foy, 1981) Al สามารถจับตัวกับเนื้อเยื่อโปรตีนและไขมันได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับ pH เป็นประการสำคัญ (Foy and Campbell, 1984) Al ยังมีส่วนร่วมในขบวนการสร้างโปรตีนและ pectins ภายในผนังเซลล์และทำให้เซลล์ดังกล่าวมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ปฏิกิริยานี้โดยทั่ว ๆ ไปปรากฏเป็นผลเสียหลายต่อเซลล์พืชมากกว่าผลดี แต่อย่างไรก็ตามลักษณะของรากของข้าวสาลีแสดงอาการเป็นพิษของ Al ออกมาหลายประการและมีการขับโปรตอน ( $H^+$ ) ออกมาซึ่งชักนำให้เนื้อเยื่อไม่เป็นอันตรายและมีการสังเคราะห์ ATP ขึ้นอย่างเพียงพอเพื่อนำไปใช้ในขบวนการสังเคราะห์ ATPases (Kinraide, 1988) นอกจากนี้มีรายงานที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตที่ผิดปกติของราก ซึ่งเป็นผลกระทบมาจากขบวนการสร้างเซลล์ที่ผิดปกติ (Marshner, 1986) ความเข้มข้นของ Al ส่วนใหญ่ปรากฏอยู่ในนิวเคลียส (Foy et al., 1978) การยับยั้งวัฏจักรของการเติบโตของเซลล์คาดว่า เป็นผลมาจากระดับการสังเคราะห์ DNA ซึ่ง Al นับเป็นสาเหตุสำคัญในการยับยั้งการสังเคราะห์ DNA (Foy, 1974 ; 1983) Kinraide and Parker (1987) ได้แนะนำลักษณะความเป็นพิษของ Al ที่ปรากฏแก่พืชออกเป็น 2 ระดับคือ

1. Al รวมตัวหรือตกตะกอนร่วมบนผิวหน้าของเซลล์ที่มีชีวิต ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้หน้าที่ของเนื้อเยื่อในแต่ละส่วนเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว

2. Al สามารถรวมตัวกับ ligands ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต เช่น DAN เป็นต้น

ผลกระทบของความเป็นพิษของ Al ทั้งหมดแสดงให้เห็นได้จากการยับยั้งการเจริญเติบโตของรากและหน้าที่ที่เปลี่ยนไป (Foy, 1983 ; Taylor, 1988) อัตราการขยายตัวของรากสามารถใช้เป็นดัชนีที่ดีสำหรับพืชที่มีการตอบสนองต่อ Al (Hue et al., 1986) ลักษณะความอ่อนแอต่อความเป็นพิษของ Al ปรากฏชัดเจนเมื่อพืชยังเป็นต้นกล้าอ่อน และลดระดับลงเรื่อย ๆ เมื่อพืชเติบโตมากขึ้น ในส่วนรากข้าว (Thawornwong and Diest, 1974) และอัลฟิลฟ่า (Kapland and Estes, 1985) โดยที่ต้นกล้าอ่อนแสดงให้เห็นถึงความไม่ทนทานต่อ Al มากกว่ารากของพืชที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ที่ระดับของสารละลายธาตุอาหาร 2 มก/ลิตร Al สามารถเข้าทำลายต้นกล้าข้าวที่กำลังขึ้นแต่ไม่มีผลกระทบต่อการสร้างผลผลิตหรือเพิ่ม Al ให้กับต้นกล้าข้าวเมื่อปลูกอยู่ได้ 18 วัน (Thawornwong and Diest, 1974)

## 1.2 กลไกของการปรับตัวและระดับความทนทานต่อ Al ของพืชภายในดินกรด

ความเข้มข้นของ Al ที่ปรากฏในระดับที่สูงของดินกรดนั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการ

จำกัดผลผลิตของพืชที่ปลูกซึ่งจากความสำเร็จในขั้นนี้ทำให้ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับกลไกต่าง ๆ ของพืชที่แสดงความทนทานต่อ Al จากรายงานหลาย ๆ การทดลองได้พิสูจน์ให้เห็นถึงชนิดของพืชและพันธุกรรมภายในพืชแต่ละชนิดนั้น มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระดับความทนทานต่อความเป็นพิษของ Al (Foy, 1988 ; Wrigh, 1989 ; Foy, 1991) ลักษณะพันธุกรรมที่ควบคุมความทนทานต่อ Al เคยมีรายงานในพืชหลายชนิดเช่นข้าวโพด (*Zea maize L.*) ข้าวสาลี (*Triticum aestivum L.*), ข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor L. Moench*) และในข้าว (*Oryza sativa L.*) เป็นต้น (Fageria et al., 1988) ซึ่งความทนทานดังกล่าวนี้ สามารถแสดงให้เห็นผลได้อย่างชัดเจนโดยก่อให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของราก และประสิทธิภาพที่ดีสำหรับการดึงดูดธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์

ในปัจจุบันรายงานสำหรับลักษณะทางสรีระและชีวเคมีของพืชที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับความทนทานต่อความเป็นพิษของ Al นั้นยังไม่มีหลักฐานที่แน่นอนและเด่นชัด การศึกษาส่วนใหญ่กระทำโดยการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร (solution culture) ซึ่งอาการความเป็นพิษปรากฏอย่างชัดเจนที่บริเวณรอบ ๆ ราก กลไกของความทนทานดังกล่าวสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ด้วยกัน (กลไกภายใน และ ภายนอก) ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งของความเป็นพิษหรือลดความเป็นพิษ และหรือสถานที่ที่เกิดการปรับตัวต่อต้านต่อความเป็นพิษของ Al โดยตรง (Marschner, 1991) ลักษณะของกลไกภายนอกหรือการกีดกันไม่ให้ Al เข้าไปในราก ส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายในส่วน apoplasm ของราก (เป็นส่วนเนื้อเยื่อที่ปรากฏอยู่ถัดออกมาข้างนอกจากบริเวณผนังเซลล์) ซึ่งทำหน้าที่ขัดขวาง Al ไม่ให้เข้าไปจากจุดเริ่มต้นที่ symplasm ( ส่วนเนื้อเยื่อภายในผนังเซลล์โดยไม่ได้พิจารณาารวมส่วนของ vacuoles เข้าไปด้วย) ไปจนถึงส่วนเนื้อเยื่อที่สำคัญ ๆ ภายในราก พืช สำหรับลักษณะกลไกภายในของความทนทานต่อ Al มักเริ่มต้นจากการที่ Al ได้แทรกซึมผ่านเข้าไปในส่วน symplasm แล้วแต่ต้นพืชมีกลไกบางอย่างที่ก่อให้เกิดการลดระดับความเป็นพิษ (detoxification) หรือรวมถึงการเกิดการเปลี่ยนแปลงในส่วน immobilization ของ Al เกิดขึ้นตรงตำแหน่งนั้น ๆ (Marschner, 1991)

ในระยะเวลาต่อมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับกลไกการกีดกัน Al ภายในต้นพืชซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ : การเกิด immobilization ของ Al ที่ผนังเซลล์ การยินยอมให้ Al สามารถเคลื่อนย้ายเข้าไปภายในเซลล์ ผ่านทาง plasma membrane พืชยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ pH ภายในบริเวณรอบราก ตลอดจนจนถึงการปลดปล่อยสารบางชนิด (exudation) ออกมาจากรากโดยตรง (Marschner, 1991) ความสำคัญของ Al

ในรากมีขอบเขตเข้าไปถึงการรวมตัวของ Al เข้ากับผนังเซลล์ (Schaedle et al., 1986) การที่พืชสามารถชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง pH ภายในรากพืชนั้น ส่วนใหญ่ไม่มีความสัมพันธ์กับระดับของความทนทานต่อ Al (Taylor, 1988) สารอินทรีย์คีเลต (chelating agent organic) ที่รากพืชขับออกมาหรือจากสารเมือกที่หุ้มรากสามารถแก้ไขลดระดับของความเป็นพิษของ Al ได้ (Marshner, 1991) การเกิดการรวมตัวของ Al เข้ากับกรดอินทรีย์หรือโปรตีนที่อยู่ใน cytosol หรือรวมถึงการสะสม Al ใน vacuole ล้วนเป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้พืชทั้งหลายแสดงความทนทานต่อ Al ซึ่งกลไกดังกล่าวเกิดขึ้นภายในต้นพืช (Marshner, 1991) นอกจากนี้ลักษณะความทนทานต่อ Al ของพืชคาดว่าเกิดจากการผลิตสารอินทรีย์ที่แตกต่างกันขึ้นมา โดยเฉพาะจะก่อให้เกิดการสร้างสารประกอบโลหะเชิงซ้อนซึ่งไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปภายในต้นพืชได้ ด้วยเหตุนี้จึงไม่ต้องสงสัยว่าทำไมพืชที่แสดงความทนทานต่อความเป็นของ Al ได้ดีสามารถผลิตกรดอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก (Mengel and Kirby, 1982) ยกตัวอย่างเช่น ข้าวบาเลย์รักษาระดับความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ภายในรากให้สูงและทำให้มีความทนทานต่อ Al เป็นอย่างดี (Foy et al., 1987) ในรากข้าวโพดมีการสร้างกรดอินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกรด malate, citrate และ trans-aconitate (Suhayda and Haug, 1986) การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารก็เช่นเดียวกัน ผลกระทบจากความเป็นพิษของ Al ลดลงภายหลังจากมีการเติมกรดอินทรีย์ลงไปเพียงเล็กน้อย ความทนทานของเซลล์จะเกิดจากความแตกต่างของกรดอินทรีย์ 4 ประเภทที่เพิ่มเติมเข้าไปและปรากฏยิ่งกว่านั้นก็คือ ผลกระทบจากความความเป็นพิษของ Al สามารถทำให้ลดลงโดยการเพิ่มกรด citric หรือ malic เข้าไปภายในเซลล์ เพราะฉะนั้นความทนทานต่อ Al ภายในระดับเซลล์ย่อมเกิดขึ้น และมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับปริมาณการผลิต และปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาจากเซลล์โดยตรง (Ojima et al., 1984)

ความทนทานต่อ Al ในพืชชนิดต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กับการผลิตกรดอินทรีย์อย่างมาก การผลิตกรดอินทรีย์จะเข้าไปมีบทบาทเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีระและชีวเคมีภายในเซลล์และมีผลกระทบต่อ การรวมตัวของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อต้นพืช เพราะฉะนั้นลักษณะผลกระทบทางสรีรวิทยาและชีวเคมีดังกล่าวที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของ Al ล้วนมีส่วนสำคัญและเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ภายในต้นพืชแทบทั้งสิ้น และแสดงผลต่อความทนทานต่อความเป็นพิษของ Al ในพืชหลายๆ ชนิด (Bennett and Breen, 1991)

## 2. ลักษณะความทนทานของปุ๋ยพืชสดต่อสภาพดินกรด

พืชตระกูลถั่วสามารถใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยพืชสดได้ดีกว่าพวกที่ไม่ใช่ตระกูลถั่ว และสามารถปลูกขึ้นได้ในสภาพธรรมชาติ หรืออาจนำมาจากที่อื่นโดยการตัดมาจากพวกที่เป็นทรงต้นหรือพุ่มเตี้ย เป็นต้น ต่อมาได้มีการใช้ปุ๋ยพืชสดชนิดที่ให้ใบซึ่งเรียกว่า green leaf manuring (GLM) ในรายงานครั้งนี้ขอบเขตของการใช้พืชตระกูลถั่วเป็นปุ๋ยพืชสดจะพิจารณาจากพวกที่สามารถขึ้นได้ในธรรมชาติ หรือพวกที่ให้ใบ (GLM) เป็นประการสำคัญ เพราะว่ามีการใช้กันอย่างแพร่หลายอยู่แล้วในประเทศไทย

### 2.1 ชนิดของปุ๋ยพืชสดที่ใช้สำหรับการปรับปรุงดิน

เป็นที่รู้จักกันดีว่าปุ๋ยพืชสดจากพืชตระกูลถั่วมีคุณสมบัติที่เหมาะสม สำหรับใช้เป็นพืชปรับปรุงดินสาเหตุเพราะมีปริมาณไนโตรเจนสูง (2.5-4.5 % ของน้ำหนักแห้ง) และมีลักษณะพิเศษที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีบนสภาพดินไม่ดี มีอินทรียวต์ต่ำ pH สูงหรือต่ำ หรือสามารถช่วยแก้ไขปัญหากับระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินให้สูงขึ้นได้ (Singh et al., 1991)

ในระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีการทดลองหลาย ๆ ครั้งเกี่ยวกับการใช้ปุ๋ยพืชสดในประเทศไทย (Thawornmas et al., 1977; Donsae et al., 1981; Sukthumrong et al., 1986) ลักษณะที่สำคัญที่สามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยพืชสดได้ดีควรประกอบด้วยหลายปัจจัย เช่น การเจริญเติบโตรวดเร็ว, ให้มวลชีวะสูง, มีการพัฒนาระบบรากที่ดีและแข็งแรง ทนสภาพความแห้งแล้ง ดินเค็มหรือดินกรด ง่ายสะดวกในการเก็บเกี่ยวและสามารถตัดสับไถกลบลงไปในดิน รวมถึงสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว พร้อมทั้งปลดปล่อยธาตุอาหารต่าง ๆ ออกมาอย่างเพียงพอแก่ต้นพืชที่ปลูก (Chinapun, 1982) ปุ๋ยพืชสดหลายชนิด เช่น Sunn hemp (*Crotalaria juncea*), green gram (*Vigna radiate*), cowpea (*Vigna unguiculata*), pigeonpea (*Cajanus cajan*), minosa (*Minosa invisa*), stylo (*Stylosanthes humiles*), leucaena (*Leucaena leucocephala*) sesbania (*Sesbania spp.*) นิยมปลูกเป็นปุ๋ยพืชสดกันอย่างกว้างขวางในประเทศไทย

Sunn hemp นับเป็นปุ๋ยพืชสดที่มีการสร้างปมที่ราก สามารถปลูกได้ในเขตที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยและพื้นที่แห้งแล้งแต่ไม่มีลักษณะของความทนเค็มหรือกรด (Sratongkam, 1976) Cowpea ในปัจจุบันไม่ใช่ปุ๋ยพืชสดชนิดหลักแต่สามารถปลูกได้ดีในฤดูปลูกสั้น ๆ มีความทนแล้งได้ดีกว่าถั่วเขียวหรือถั่วลิสง เป็นต้น สำหรับช่วงระยะเวลาก่อนถึงฤดูมรสุมในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือนั้นเมล็ดของพืชทั้งสอง สามารถนำมาใช้เป็นอาหารและปุ๋ยพืชสดได้ โดยเฉพาะสามารถให้ไนโตรเจนได้อย่างเพียงพอกับดินที่เพาะปลูก (Wallis and Byht, 1988)

โสนคางคก (*Sesbania aculeata*) สามารถขึ้นได้ดีในดินน้ำขังและดินเค็ม ปกติชอบดินเหนียว ในสภาพที่เหมาะสมขึ้นได้งอกงามจนอาจถือได้ว่าเป็นวัชพืชในนาข้าว (พรหมและคณะ, 2532ก) ในการศึกษาการเจริญเติบโตของปุ๋ยพืชสด พบว่าโสนคางคกเป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่งที่มีความสามารถขึ้นได้ในระดับความเค็มประมาณ 4-8 มิลลิโมลต์/ซม. (Selvara, 1983)

โสนอินเดีย (*Sesbania speciosa*) ขึ้นได้ดีในดินเหนียว ดินที่มีการระบายน้ำไม่ดีและเจริญเติบโตดีพอสมควรในดินเค็ม อายุออกดอกประมาณ 90 วัน ระบบรากลึก ส่วนของลำต้น กิ่งก้านพุ่มงสาวยาวตัวข้าวและถ้าไกลอบอายุมากกว่า 90 วัน ให้ผลผลิตน้ำหนัสดกดีประมาณ 1.5-6 ตัน/ไร่ (พรหมและคณะ, 2532ข)

โสนอัฟริกัน (*Sesbania rostrata*) จัดเป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่งที่สามารถเจริญได้ในสภาพดินเค็ม (Dreyfus et al., 1983) ให้น้ำหนักสดสูง เพิ่มการสะสมธาตุไนโตรเจน จากการทดลองของ Gines et al., (1985) พบว่าโสนอัฟริกันที่อายุ 54 วัน สามารถให้น้ำหนักสดถึง 12-17 ตัน /เฮกตาร์ และสะสมปริมาณไนโตรเจนอยู่มากถึง 62-88 กก /เฮกตาร์

ถั่วมะแฉะ (*Cajanus cajan*) เป็นพืชอายุสั้นปลูกได้หลายฤดู มีลักษณะเป็นไม้พุ่มเตี้ย ระบบรากลึก ปรับตัวได้ดีในเขตกึ่งแห้งแล้งและร้อนชื้น ซึ่งปริมาณฝนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 600-1000 มิลลิเมตร สามารถปลูกได้ในพื้นที่ทั่ว ๆ ไป มีความทนทานต่อสภาพน้ำท่วมขังและตอบสนองต่อสภาพต่าง ๆ ที่จัดการให้ ถั่วมะแฉะต้องการความชื้นอย่างเพียงพอระหว่าง 2-3 เดือนของการเจริญเติบโต แต่ภายหลังมีความสามารถในการทนต่อความแห้งแล้งได้เป็นอย่างดี

*Sesbania rostrata* และ *S. cannabina* กำลังเป็นที่สนใจในปัจจุบันนี้ เพราะเป็นพืชตระกูลถั่วที่สามารถสร้างปมที่ลำต้นได้ ลักษณะของปมที่ลำต้นโตเร็วกว่าปมที่

ราก *S. rostrata* แสดงลักษณะพิเศษ 2 ประการ คือ มีศักยภาพในการตรึงไนโตรเจนสูง (วัดการตรึงได้ 200 kg N<sub>2</sub>/เฮกตาร์) ในระยะ 50 วัน (ของการเพาะปลูก) และมีความสามารถในการสร้างปมได้ดีถึงแม้ว่าในดินมีไนโตรเจนอยู่ในปริมาณที่สูง ปมที่ลำต้นของพืชตระกูลถั่วมีความไวต่อลักษณะภูมิอากาศที่เปลี่ยนไป โดยเฉพาะอุณหภูมิและช่วงแสง (Rinaudo et al., 1988) นอกจากสามารถนำมาเป็นปุ๋ยพืชสดแล้ว *sesbania* ยังใช้ประโยชน์เพื่อปลูกเป็นพืชอาหารสัตว์และอาหารมนุษย์ได้เช่น ดอกของ *S. grandiflora* และ *S. roxburghii* สามารถใช้เป็นผักได้ (Arunin et al., 1988)

ปุ๋ยพืชสดหลาย ๆ ประเภทดังกล่าว ได้ถูกเสนอให้มีการนำมาใช้เป็นปุ๋ยพืชสดมากขึ้น โดยเฉพาะภายในพื้นที่ดินซึ่งมีปัญหาปลูกพืชไม่ได้ผลผลิต นอกจากนี้ยังเป็นกลุ่มพืชที่ปลูกกันอย่างกว้างขวางเพื่อใช้เป็นอาหารและเป็นปุ๋ยพืชสดชนิดที่สำคัญ *leucaena* เป็นอีกชนิดหนึ่งที่ประสบความสำเร็จเพราะมีระบบรากลึก ถึงแม้ว่าจะงอกช้าและเจริญเติบโตได้ไม่ดีในดินกรด จากรายงานพบว่าศักยภาพของ *leucaena* กับพื้นที่ปลูกข้าวในประเทศไทยมีข้อจำกัด เพราะไม่มีความทนทานต่อสภาพน้ำขังและต้องหลีกเลี่ยงการปลูกในที่ร่ม (Arunin et al., 1988)

## 2.2 ความทนกรดของพืชพวกโสน

การนำปุ๋ยพืชสดมาใช้ปรับปรุงดินที่มีปัญหา เพื่อให้มีระดับความอุดมสมบูรณ์สูงขึ้นนั้น พืชพวกโสนนับว่าสามารถปลูกได้ในพื้นที่ที่แตกต่างกัน เนื่องจากความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพสิ่งแวดล้อมและมีประโยชน์มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วชนิดอื่น ๆ

พืชพวกโสนเป็นที่รู้จักกันว่ามีความทนทานต่อดินเค็มและสภาพน้ำท่วมขัง แต่บางครั้งก็ปลูกได้ดีในดินกรด *Sesbania cannabina* และ *S. bispinosa* สามารถเติบโตได้ดีในดินเค็มของประเทศอินเดีย และมีความทนทานต่อดินกรดด้วย โดยเฉพาะเมื่อใช้ปลูกลงบนพื้นที่ที่มีการปลูกข้าว ซึ่งดินมีลักษณะเป็นดินกรดในรัฐอัสสัม (Patel, 1966) รายงานจากประเทศเวียดนาม กล่าวว่า *S. sesban* ประสบความสำเร็จในการปลูกบนดินกรดแต่ไม่มีหลักฐานและรายละเอียดยืนยันทางวิทยาศาสตร์ กล่าวคือ ดินเหล่านี้มี pH ประมาณ 6.5 เมื่ออยู่ในสภาพน้ำขังและจะลดลงเหลือประมาณ 4.0 เมื่ออยู่ในสภาพดินแห้ง Tran phuoc Duong แห่ง Cantho Agricultural College ในประเทศ Viet Nam ได้เสนอข้อมูลดังกล่าว และกล่าวสรุปทั่ว ๆ ไปเกี่ยวกับการใช้โสนเพื่อปลูกลงบนสภาพของดินกรดอย่างแท้จริง (Evans and Rotar, 1987) สำหรับในประเทศไทยนั้นไม่มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับความทนกรดของโสนประเภทต่าง ๆ แต่อย่างใด

ความแตกต่างของความทนทานของโสนต่อสภาพความเป็นกรดของดินได้ถูกจำแนก โดย Yost et al. (1985) รายงานว่าการปลูก *S. grandiflora* ในดินชุด manga-niferous Oxisol ของรัฐฮาวายโดยปรับระดับ pH ของดินให้แตกต่างกันด้วยการใส่ปูน นั้น ในหนึ่งฤดูปลูก สายพันธุ์ของโสนที่นำมาปลูกมีความทนทานต่อระดับ pH ของดินที่ต่ำเพิ่มขึ้นและมีความสัมพันธ์กับระดับ Mn ที่เป็นประโยชน์ซึ่งปรากฏสะสมอยู่ค่อนข้างสูงภายในดิน *S. cannabina* หรือ *S. bispinosa* (Evans, 1983) เป็นสายพันธุ์ที่มีลักษณะแตกต่างไปจากสายพันธุ์อื่น ๆ และเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นจากผลการทดลองดังกล่าว จึงได้มีการนำพืชพวก *S. cannabina* มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุในการปรับปรุงดิน การสะสมไนโตรเจนของ *S. grandiflora* อยู่ในระดับต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ การเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกแต่ *S. grandiflora* มีความทนทานต่อระดับ pH ที่ต่ำได้ดีกว่า *Crotalaria juncea* เป็นต้น

กลุ่มของโสนที่นำมาทดสอบผลของการตอบสนองต่อการใส่ปูนในดินกรด 2 ชุด ได้ศึกษาโดย Evans (1986) ภายใต้อการปลูกในกระถาง มีโสน 28 ชนิด ที่แสดงให้เห็นถึงผลของการตอบสนองในช่วงที่กว้างต่อดินชุด aluminous Ultisol ซึ่งมี pH 3.8 และ 5.0 และดินชุด manga-niferous Oxisol ซึ่งมี pH 5.2 และ 6.0 ตามลำดับ การใส่ปูนในดินทั้ง 2 ชนิด ทำให้ผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากดินที่ยังไม่มีการใส่ปูนมากกว่า 80 % ความแตกต่างของผลผลิตขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของ Mn ที่มีอยู่ในดิน ความผันแปรนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยของ Mn ที่ระดับ pH ทั้งสอง ดังนั้นจากผลการทดลองจึงสมควรมีการปลูกโสนเพื่อคัดเลือกนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินกรดและสามารถเพิ่มผลผลิตของพืชที่ปลูกให้สูงขึ้น

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การคัดเลือกพืชจากการสำรวจในภาคสนาม

การศึกษาในช่วงแรกเป็นการสำรวจพื้นที่ภายในเขตที่ราบลุ่มกรุงเทพฯ รวมทั้งตรวจสอบหาชนิดพืชและดินที่จะมีปฏิสัมพันธ์กับพืชตระกูลถั่วเขตร้อน ที่มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นปุ๋ยพืชสดสำหรับการทดลองต่อไป พืชที่สำรวจประกอบด้วยพวก ถั่วมะแฮะ, ปอเทือง (*Crotalaria*), *Desmodium*, กระถินยักษ์ (*Leucaena*), *Vigna* และ โสนชนิดอื่น ๆ (*Sesbania*) เป็นต้น การออกไปในภาคสนามแต่ละครั้งทำการสอบถามเกษตรกรเกี่ยวกับพฤติกรรมและการเจริญเติบโต การสร้างน้ำหนักชีวมวล (biomass) ทั้งหมดและความสามารถในการอยู่รอดภายใต้สภาพของดินกรด ภายหลังได้รับข้อมูลเพียงพอแล้ว นำพืชที่มีลักษณะที่ดีของแต่ละชนิดมาทำการปลูกคัดเลือกอีกครั้งภายในเรือนทดลอง สำหรับชนิดตัวแทนของปุ๋ยพืชสดที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ *S. rostrata*, *S. aculeata*, *S. speciosa* และ *C. cajan* เป็นต้น

### การสุ่มเก็บตัวอย่างดินและการวิเคราะห์ทางเคมี

ชุดดินทั้ง 2 ที่นำมาศึกษาได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างมาจากพื้นที่ดินนา และปัจจุบันใช้ในการปลูกข้าวและไม้ผลเมืองร้อน ดินกรดจัดทั้ง 2 ชุดได้แก่ บางปะกง (Bg) และ รังสิต (Ra) ดินชุดบางปะกงมีลักษณะเป็นกรดแฝงที่สามารถปลดปล่อยความเป็นกรดออกมาได้ตลอดเวลา (Typic Sulfaquepts) และดินชุดรังสิตเป็นดินกรดจัดอย่างแท้จริง (Sulfic Trophaquepts) การคัดเลือกตัวอย่างดินอาศัยการศึกษาจากแผนที่ดินกรดจัดประเทศไทยเป็นหลัก โดยการจำแนกของ van der Kevie and Yenmanus (1972)

ตัวอย่างดินที่นำมาทดลองในกระถางนั้นเป็นตัวแทนของชั้นดินบน (Ap) และมีแร่-จอร์ไรต์ปรากฏอยู่ด้วย นำตัวอย่างดินทั้ง 2 มาตากแห้ง, บด, ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตรและเก็บไว้สำหรับวิเคราะห์ทางเคมี คุณสมบัติของดินที่ศึกษาในครั้งนี้ได้นำเสนอรายละเอียดที่สำคัญบางประการแล้วดังในตารางที่ 1

ค่า pH (1:1) ทั้งตัวอย่างดินเปียกและแห้งได้ทำการวัดภายหลังจากผสมดินกับน้ำในอัตรา 1:1 และเขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ค่าสัมประสิทธิ์การนำไฟฟ้า (EC) ของดินแห้งวัดจากส่วนของสารละลายดินในอัตราส่วน 1:1 ภายหลังจากเขย่าตัวอย่างดินและตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกทั้งหมดของดิน (CEC) ประเมินโดย

วิธี buffered  $\text{NH}_4\text{OAc}$  ที่ pH 7.0 (Chapman, 1965) ระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส (Available P) ภายใตดินโดยตรงทำการสกัดด้วยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) ปริมาณ Ca และ Mg ที่สกัดได้จากสารละลาย  $\text{NH}_4\text{OAc}$  ทำการประเมินค่าโดยการใช Atomic Absorbtion Spectrophotometry สำหรับ K และ Na ถูวัดโดยตรงโดยใช้ Flame Photometry ปริมาณอลูมิเนียมที่อยู่ภายใตดินทั้งหมดถูกสกัดโดย M KCl และวัดโดยวิธี colorimetrically (Barnhisel and Bertsch, 1982) ปริมาณเหล็กในรูปอิสระ (Free iron) ทำการวัดโดยตรง โดยวิธีของ Mehra and Jackson (1960) รูปกำมะถันที่ละลายน้ำได้ ( water-soluble sulfate-S ) ทำการสกัดโดยชั่งดินแห้ง 10 กรัม เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปเหวี่ยงด้วย centrifuge ใช้ระดับความเร็วที่ 1600 รอบต่อนาที (RPM) เป็นเวลา 5 นาที นำสารละลายที่ใสไปกรองแล้ววิเคราะห์หาค่าต่อไป สำหรับรูปกำมะถันที่แลกเปลี่ยนได้ (Extractable  $\text{SO}_4^{2-}$ ) สกัดโดยสารละลาย 0.01 M  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  ตามวิธีที่รายงานโดย Hue et al. (1985) ปริมาณซิลิเกตที่ได้ในสารสกัดทั้งสองถูกนำมาวัดโดยวิธี turbidimetrically โดยใช้ Spectrophotometer ที่ความยาวช่วงคลื่น 420 nm ตามวิธีของ Freeney (1986) สำหรับการวิเคราะห์หาเนื้อดินนั้นประเมินโดยวิธี pipette ตามรายงานของ Gee and Bauder (1982)

#### การทดลองในกระถาง

การทดลองในครั้งนี้ได้วางแผนแบบ Factorial in RCBD (Factorial in Randoized Complete Block Desige) ซึ่งประกอบด้วยตัวรับการทดลองดังนี้ ปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด และปรับ pH ของดินให้เป็น 4 ระดับ คือ ไม้ใส่ปูน, 4.5, 5.5, และ 6.5 ตามลำดับ ในการทดลองทั้งหมดประกอบด้วย 16 คำรับ และแต่ละคำรับกระทำ 3 ซ้ำ การปรับ pH ของดินอาศัยปูนขาว ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ซึ่งปริมาณปูนขาวที่ใช้ยึดถือจากหลักการวิเคราะห์ด้วย titration curve จนกระทั่งถึง pH ที่ต้องการ สำหรับชนิดธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ได้มีการใส่เพิ่มลงไปใตดินทั้ง 2 ชุด เพื่อให้แน่ใจว่าพืชสามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ โดยไม่แสดงอาการขาดธาตุอาหารออกมาให้เห็นในระยะภายหลัง สำหรับ basic nutrient ให้ในรูปสารละลาย ( มก/กก ดิน) ซึ่งประกอบด้วย :  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  0.67;  $\text{H}_3\text{BO}$  0.83;  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  5;  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  10;  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  15 และ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  176 ซึ่งค่าของสารเหล่านี้ได้มาจากการคำนวณร่วมกับผลของการวิเคราะห์

ดินก่อนที่จะมีการเติมสารละลายธาตุอาหาร (ดูตารางที่ 1 ประกอบ) ปริมาณ N ทั้งหมดที่ให้เพื่อใช้เป็นตัวกระตุ้น (Starter) สำหรับการเจริญเติบโตสำหรับพืชที่ปลูกโดยให้ในรูปแบบของ  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  ในอัตรา 24 มก N/กก ระดับ P ที่ใส่จะพิจารณาจากการทดลองในครั้งที่ผ่านมาโดยสามารถชักนำให้ได้ผลผลิต 90 % ของอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดในดินแต่ละชนิด โดยทั้งนี้ไม่มีส่วนก่อให้เกิดความเป็นพิษของอลูมิเนียมเกิดขึ้นอย่างรุนแรง (Jugsujinda et al., 1978) นำสารละลายธาตุอาหารทั้งหมดมาผสมคลุกเคล้าเข้ากับดินทั้งสอง หลังจากนั้นบ่มดินไว้เป็นเวลา 14 วัน ที่ระดับความจุความชื้นในสนาม (field capacity) ก่อนเริ่มต้นปลูกพืชทดลอง นอกจากนี้ นำเมล็ดพืชตระกูลถั่วแต่ละชนิดมาคลุกเชื้อ ไรโซเบียม ในอัตราที่เหมาะสมก่อนเริ่มต้นทำการทดลองเช่นเดียวกัน

ในแต่ละตำหรับเริ่มต้นปลูกพืชปุ๋ยสดกระถางละ 5 เมล็ด หลังจากที่ยกเป็นต้นกล้าแล้วถอนให้เหลือกระถางละ 2 ต้น รดน้ำด้วยน้ำกลั่นทุกวันในระยะแรกเพื่อให้ถึงระดับความชื้นที่ 80 % ของความจุความชื้นในสนาม ในระยะภายหลังค่อยเพิ่มเติมให้ความชื้นจนถึงระดับความจุความชื้นในสนาม การทดลองเริ่มต้นในเรือนทดลองที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ เริ่มต้นตั้งแต่ สิงหาคม-ธันวาคม 2535 ช่วงอุณหภูมิในระยะกลางวัน 30-35 องศาเซลเซียส และ กลางคืน 20 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ภายหลังจากปลูกได้ 49 วัน ทำการเก็บเกี่ยวตัวอย่างพืชที่ปรากฏในส่วนเหนือดินทั้งหมด ซึ่งน้ำหนักแห้งโดยนำตัวอย่างมาอบที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตัวอย่างของปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิดผ่านการบดและย่อยสลายโดย perchoric acid mixture และทำการวิเคราะห์หาปริมาณ K, Ca, Mg โดยวิธี Flame Atomic Absorption Spectrophotometry และ P โดยวิธี Vanado molybdate ความเข้มข้นของ N (%) ในลำต้นพืชวิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl digestion ปริมาณ Al, Mn และ Fe ภายใต้น้ำตัวอย่างพืชทั้งหมดทำการวัดโดยใช้ Atomic Absorption Spectroscopy

ความแตกต่างในส่วนความแปรปรวน (Analysis of variance) จะใช้เป็นดัชนีชี้บ่งแสดงให้เห็นถึงผลของตำรับการทดลองต่าง ๆ ที่มีผลกระทบโดยตรงต่อการสร้างน้ำหนักแห้งของต้นพืช รวมถึงปริมาณธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวที่ดึงคูดึงไปใช้ประโยชน์จากดินโดยตรง ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ (relative dry weight) และอลูมิเนียมที่ปรากฏภายในเนื้อเยื่อพืชสามารถประเมินได้โดยสมการเชิงเส้นถดถอย (sim-

ple regression analysis) ทั้งนี้เพื่อให้ประโยชน์สำหรับการประเมินหาระดับวิกฤต  
ของความเข้มข้นอลูมิเนียม (critical Al concentration) ที่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิด  
ความเป็นพิษของอลูมิเนียม ปรากฏขึ้นมาได้อย่างแท้จริงภายใต้สภาพดินกรดจัดทั้ง 2 ชุด

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. คุณสมบัติทางเคมีโดยทั่ว ๆ ไปของชุดดินที่นำมาศึกษา

ลักษณะของดินกรดจัดทั้ง 2 ชุดที่คัดเลือกมาใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นถึงปัญหาโดยทั่ว ๆ ไป ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถคาดคะเนได้จากข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินเป็นประการสำคัญ จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ดินชุด Bg มี pH ค่อนข้างที่ต่ำ กล่าวคือ 3.8 และมีลักษณะเป็นกรดแฝงสามารถที่จะปลดปล่อยความเป็นกรดออกมาได้ตลอดเวลา ส่วนดินชุด Ra มีค่า pH ที่สูงกว่าดินชุด Bg กล่าวคือ 4.0 มีลักษณะของความเป็นกรดอย่างแท้จริง การสะสมอินทรีย์วัตถุ(% O.M) นั้น ในดินชุด Bg มีการสะสมปริมาณของอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับที่สูงกว่าดินชุด Ra สำหรับความเป็นประโยชน์ของ P ในดินทั้งสองชุดอยู่ในเกณฑ์ต่ำอาจไม่พอเพียงกับการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งปัญหาการขาดแคลน P นี้เกิดขึ้นเสมอภายในดินกรดจัด แต่ในการทดลองครั้งนี้ไม่พบลักษณะดังกล่าว เนื่องจากได้มีการใส่ปริมาณ P ให้อย่างเพียงพอก่อนเริ่มทำการทดลอง จากข้อมูลการวิเคราะห์ดินทางเคมีย่อมเห็นได้อย่างเด่นชัดเช่นกันว่า ปริมาณของ Exchangeable Ca, Mg, Na ในดินชุด Bg มีปริมาณ basic cation ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าในดินชุด Ra โดยเฉพาะ Na สะสมอยู่ในปริมาณที่มากเกินไป สาเหตุทั้งนี้เนื่องจาก Bg เป็นชุดดินที่เกิดจากอิทธิพลของการสะสมของตะกอนน้ำทะเล ส่วนดินชุดรังสิตเกิดจาก alluvial sediment จึงมีปริมาณของ Na ที่ต่ำกว่า ปริมาณ Na ที่มีอยู่สูงในดินชุด Bg มีผลกระทบเช่นเดียวกันในการทำให้ดินชุดนี้มีค่า EC สูงตามไปด้วย Exchangeable K ในดินชุด Ra มีระดับที่มากกว่าในดินชุด Bg ทั้งนี้เนื่องจากดินชุด Ra มีเนื้อดินที่เป็นดินเหนียวมากกว่าและเกิดจากการสะสมของตะกอนที่แตกต่างกัน

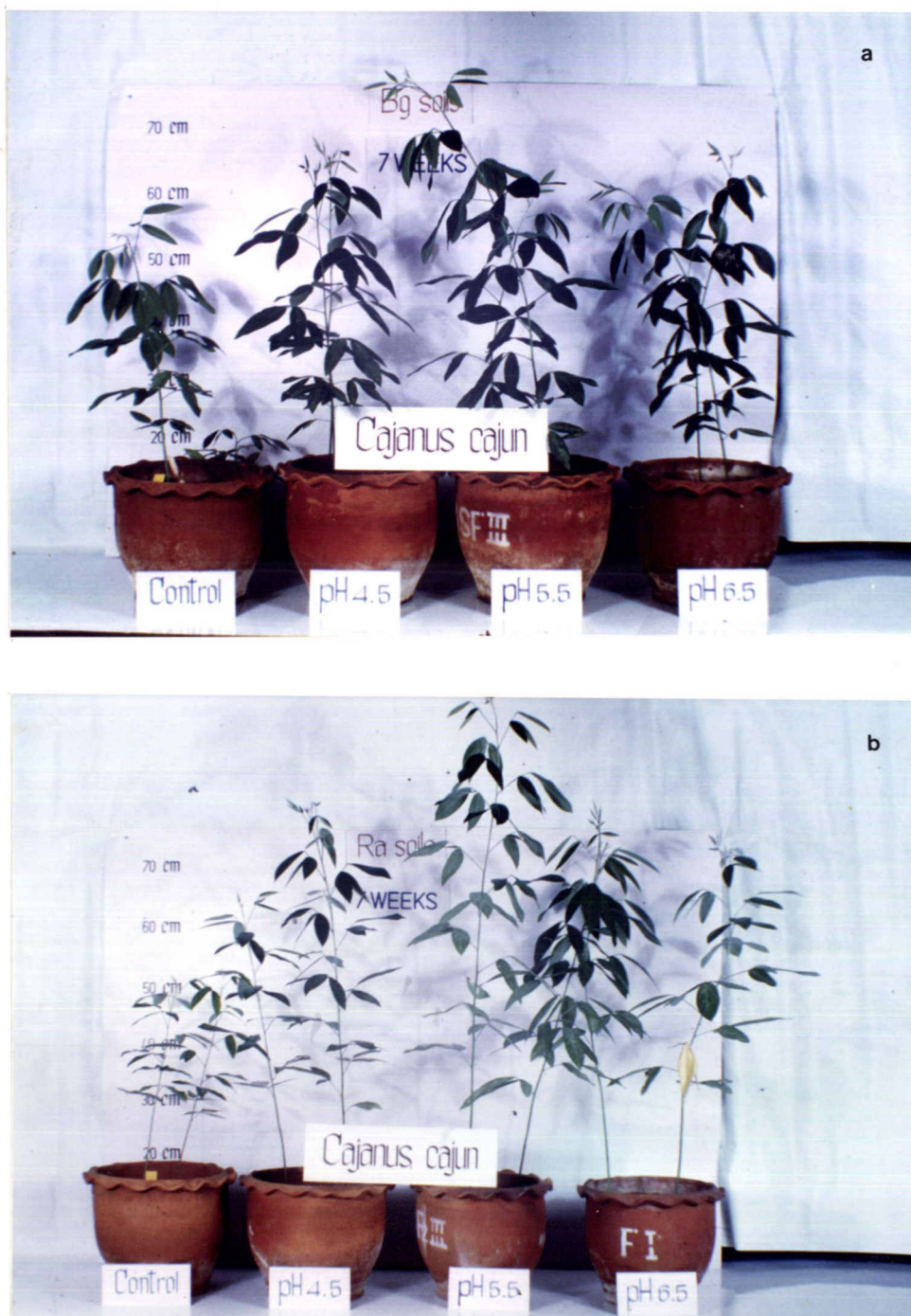
ปัญหาที่สำคัญที่พบในดินกรดคือ ความเป็นพิษของ Al, Fe, Mn และการขาดแคลน Ca โดยตรง จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 1 ดังกล่าวได้แสดงให้เห็นว่าในดินทั้ง 2 ชุดจะมีปริมาณของ Ca อยู่ต่ำจนอาจก่อให้เกิดการขาดแคลนต่อการปลูกพืชได้สำหรับข้อมูลของปริมาณ Al และ Fe ที่สกัดได้เป็นตัวชี้บ่งถึงลักษณะความสำคัญและอาจก่อให้เกิดปัญหาความเป็นพิษสำหรับธาตุทั้งสองภายในดินกรดจัดได้เช่นกัน จากผลการวิเคราะห์สามารถพบและสกัดปริมาณ Al และ Fe จากดินชุดบางปะกง (Bg) ได้มากกว่าชุดดินรังสิตกรดจัด (Ra) ถึง 2 เท่า สำหรับระดับ Exchangeable Mn พบอยู่สูงซึ่งจากการศึกษาในครั้งก่อนของ Satawatananont et al. (1991) ได้รายงานว่า ในดินชุดบางปะกง (Bg) นั้น ความเป็นพิษของ Mn อาจปรากฏขึ้นได้เมื่อ pH ของดินอยู่ในช่วงต่ำ ๆ ซึ่งสืบเนื่องมาจากการปลดปล่อยของ Mn ออกมาจากสภาพการ Oxidation ของ MnS ในช่วงระหว่างที่ดินเกิดการแห้ง และเร่งขบวนการ oxidation ให้เกิดขึ้นอย่างรุนแรงและต่อเนื่อง



## 2. การสร้างน้ำหนักแห้งและปริมาณการสะสม N ภายในส่วนต้นพืช

### 2.1 การสร้างน้ำหนักแห้ง

จากรูปที่ 1 และ 2 ได้แสดงให้เห็นถึงอัตราการเจริญเติบโตของปุยพืษสดแต่ละชนิดที่ปลูกอยู่ในชุดดินบางปะกงและรังสิตที่ได้รับอิทธิพลจากการปรับระดับ pH ให้แตกต่างกัน



รูปที่ 1 อัตราการเจริญเติบโตในส่วนยอดของ *C. cajan* ที่ปลูกอยู่ในดินกรดจัดชุด

a) Bg b) Ra โดยได้รับอิทธิพลของการปรับ pH ให้แตกต่างกัน 4 ระดับ



รูปที่ 2 อัตราการเจริญเติบโตในส่วนยอดของ *S. aculeata* ที่ปลูกอยู่ในดินกรดจัดชุด  
 a) Bg และ b) Ra โดยได้รับอิทธิพลของการปรับ pH ให้แตกต่างกัน 4 ระดับ

ในตารางที่ 2 ได้แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้ง (กรัม/กระถาง) ของปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด ซึ่งการสร้างน้ำหนักแห้งนั้น ระดับ pH มีอิทธิพลและก่อให้เกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเชิงทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) กล่าวคือในดินชุด Bg ถ้า pH อยู่ในระดับต่ำ การสร้างน้ำหนักแห้งก็เป็นไปได้น้อย เช่นที่ระดับ pH 3.8 (ดินที่ไม่ได้รับการใส่ปูน) *S. rostrata* มีการสร้างน้ำหนักแห้งเพียง 1.27 (กรัม/กระถาง) *S. aculeata* 1.56, *S. speciosa* 0.93 และ *C. cajan* 1.64 แต่ถ้ามีการปรับระดับ pH ให้สูงขึ้นจนถึงระดับ pH 6.5 การสร้างน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นตามลำดับ เช่นที่ระดับ pH 6.5 *S. rostrata* มีการสร้างน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 4.50 ; *S. aculeata* 4.61 ; *S. speciosa* 2.64 และ *C. cajan* 5.55 (กรัม/กระถาง)

ตารางที่ 2 อิทธิพลของการปรับระดับ pH ต่อการสร้างน้ำหนักแห้งของปุ๋ยพืชสด  
4 ชนิดในดินชุดบางปะกง (Bg) และ รังสิต (Ra)

ชุดดิน	pH	น้ำหนักแห้ง (กรัม/กระถาง) <sup>1/</sup>			
		SRO <sup>2/</sup>	SAC	SSP	CCA
Bg	3.8	1.27 <sup>d</sup>	1.56 <sup>d</sup>	0.93 <sup>d</sup>	1.64 <sup>d</sup>
	4.5	2.40 <sup>c</sup>	2.61 <sup>c</sup>	1.95 <sup>c</sup>	3.08 <sup>c</sup>
	5.5	3.29 <sup>b</sup>	3.96 <sup>b</sup>	2.36 <sup>b</sup>	4.99 <sup>b</sup>
	6.5	4.50 <sup>a</sup>	4.61 <sup>a</sup>	2.64 <sup>b</sup>	5.55 <sup>b</sup>
Ra	4.0	1.70 <sup>c-d</sup>	1.86 <sup>d</sup>	1.17 <sup>d</sup>	1.97 <sup>d</sup>
	4.5	2.31 <sup>c</sup>	2.77 <sup>c</sup>	2.32 <sup>b-c</sup>	5.56 <sup>b</sup>
	5.5	4.17 <sup>a</sup>	4.55 <sup>a-b</sup>	3.54 <sup>a</sup>	6.82 <sup>a</sup>
	6.5	4.18 <sup>a</sup>	4.76 <sup>a</sup>	3.00 <sup>a-b</sup>	6.58 <sup>a</sup>

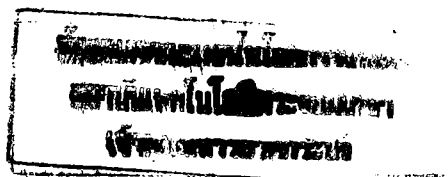
หมายเหตุ

<sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยของจำนวน 3 ซ้ำ โดยสัญลักษณ์ที่เหมือนกันในคอลัมน์ จะแสดงความไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับ P=0.05

<sup>2/</sup> ชนิดปุ๋ยพืชสดที่ใช้ตัวอักษรย่อ

SRO = *S. rostrata* ; SAC = *S. aculeata*

SSP = *S. speciosa* ; CCA = *C. cajan*



ในดินชุดรังสิต (Ra) การสร้างน้ำหนักแห้งมีลักษณะเช่นเดียวกับดินชุดบางปะกง แต่ดินชุดรังสิตการสร้างน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นในอัตราที่มากกว่าดินชุดบางปะกง กล่าวคือ ถ้า pH อยู่ในระดับต่ำ การสร้างน้ำหนักแห้งของปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิดก็มีน้อย เช่นที่ระดับ pH 4.0 *S. rostrata* มีการสร้างน้ำหนักแห้งเพียง 1.70 ; *S. aculeata* 1.86 ; *S. speciosa* 1.17 และ *C. cajan* 1.97 ( กรัม/กระถาง ) แต่ถ้ามีการปรับระดับ pH ให้สูงขึ้นจนถึงระดับ pH 6.5 การสร้างน้ำหนักแห้งก็เพิ่มขึ้นตามลำดับ เช่นที่ pH 6.5 *S. rostrata* มีการสร้างน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นถึง 4.18 *S. aculeata* 4.76 ; *S. speciosa* 3.00 และ *C. cajan* 6.58 ( กรัม/กระถาง )

ถ้าพิจารณาถึงชนิดของปุ๋ยพืชสดในลักษณะของการตอบสนองต่อระดับ pH ย่อมเป็นไปในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ชนิดของปุ๋ยพืชสดที่ทนทานต่อระดับ pH ต่ำ ๆ ได้แก่ *S. aculeata* และ *C. cajan* การสร้างน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อมีการปรับระดับ pH ของดินให้เพิ่มขึ้นจาก 3.8 และ 4.0 ( pH ดั้งเดิมของดิน Bg และ Ra ) เป็น 4.5 , 5.5 และ 6.5 ส่วน *S. rostrata* และ *S. speciosa* การสร้างน้ำหนักแห้งก็มีลักษณะเช่นเดียวกันเมื่อมีการปรับ pH เพิ่มขึ้น แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งน้อยกว่า *S. aculeata* และ *C. cajan* สำหรับชนิดของปุ๋ยพืชสดที่แสดงความทนทานต่อความเป็นกรดได้ดีจะมีการสร้างน้ำหนักแห้งที่สูงที่สุดในทุก ๆ ระดับของการปรับ pH ซึ่งได้แก่ *C. cajan* และ *S. aculeata*

นอกจากนี้การสร้างน้ำหนักแห้งมีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดของปุ๋ยพืชสด และการปรับระดับ pH ให้แตกต่างกันออกไป รวมถึงค่าปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยทั้ง 2 ประเภทนี้จากข้อมูลนี้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างเป็นอย่างมาก ระหว่างชนิดของปุ๋ยพืชสดที่สามารถเจริญได้ภายใต้ pH 3.8-4.0 (ดินที่ไม่ได้รับการใส่ปูน) ปุ๋ยพืชสดชนิด *S. speciosa* และ *S. rostrata* มีการสร้างน้ำหนักแห้งได้สูงสุด ทั้งนี้เนื่องมาจากมีการเจริญเติบโตดีที่สุดทำให้มีการสร้างน้ำหนักแห้งได้ดีเช่นกัน การปรับระดับ pH ให้สูงขึ้นตามลำดับจนถึงช่วง pH 6.5 มีผลต่อการทำให้ปุ๋ยพืชสดมีการเจริญเติบโตดีขึ้น การเจริญเติบโตจะไม่ดีในดินที่ไม่มีการใส่ปูน นอกจากนี้อัตราการสร้างน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นเป็นหลายเท่าเมื่อมีการใส่ปูนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะปุ๋ยพืชสดที่ทนทานต่อความเป็นกรดได้ดี การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งมากขึ้นถึง 2-3 เท่า เป็นต้น (Yost et al., 1983)

## 2.2 ปริมาณการสะสม N ภายในส่วนต้นพืช

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าการปรับระดับ pH มีผลต่อปริมาณการดูด N ขึ้นมาใช้ประโยชน์ของปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิด การดูด N ขึ้นมาใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้นและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.01$ ) ตลอดช่วง pH ต่าง ๆ ของดินทั้ง 2 ชุดในดินชุดบางปะกงที่ระดับ pH ต่ำ ๆ คือ 3.8 การสะสม N มีอยู่ในปริมาณที่ต่ำในทุก ๆ ชนิดของปุ๋ยพืชสด โดยเฉพาะ *S. speciosa* มีการสะสม N เป็นปริมาณที่ต่ำสุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีการเจริญเติบโตที่ช้าที่สุด ที่ระดับ pH 4.5, 5.5 นั้น *S. aculeata* สะสม N ในส่วนยอดได้สูงกว่า *S. speciosa* แต่ปริมาณการสะสมก็ยังน้อยกว่า *C. cajan* ในขณะที่ pH 6.5 *C. cajan* และ *S. aculeata* ก็ยังเป็นพืชตระกูลปุ๋ยพืชสดที่สามารถสะสม N ได้ดีกว่า *S. speciosa* นอกจากนี้ยังพบว่า การเปลี่ยนแปลงของ pH ของดินมีผลกระทบอย่างสำคัญต่อการสะสม N มากกว่าต่อการสร้างผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง

ตารางที่ 3 อิทธิพลของการปรับระดับ pH ต่อปริมาณการสะสม N ของปุ๋ยพืชสด  
4 ชนิด ในดินชุดบางปะกง (Bg) และ รังสิต (Ra)

ชุดดิน	pH	ความเข้มข้น N (%) <sup>1/</sup>			
		SRO <sup>2/</sup>	SAC	SSP	CCA
Bg	3.8	1.81 <sup>b</sup>	2.15 <sup>b</sup>	1.38 <sup>c</sup>	1.82 <sup>c</sup>
	4.5	2.55 <sup>a</sup>	3.27 <sup>a</sup>	1.78 <sup>bc</sup>	3.18 <sup>ab</sup>
	5.5	2.90 <sup>a</sup>	3.45 <sup>a</sup>	2.19 <sup>b</sup>	3.51 <sup>a</sup>
	6.5	3.04 <sup>a</sup>	3.38 <sup>a</sup>	2.43 <sup>ab</sup>	3.67 <sup>a</sup>
Ra	4.0	2.50 <sup>ab</sup>	2.34 <sup>b</sup>	1.99 <sup>b</sup>	2.52 <sup>bc</sup>
	4.5	2.58 <sup>a</sup>	3.61 <sup>a</sup>	2.05 <sup>b</sup>	3.76 <sup>a</sup>
	5.5	3.13 <sup>a</sup>	3.65 <sup>a</sup>	2.79 <sup>a</sup>	3.59 <sup>a</sup>
	6.5	3.11 <sup>a</sup>	3.77 <sup>a</sup>	3.06 <sup>a</sup>	3.73 <sup>a</sup>

หมายเหตุ

<sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยของจำนวน 3 ซ้ำ โดยสัญลักษณ์ที่เหมือนกันแต่ละคอลัมน์จะแสดงความไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับ P=0.05

<sup>2/</sup> ชนิดของปุ๋ยพืชสดที่ใช้ตัวอักษรย่อ

SRO = *S. rostrata* ; SAC = *S. aculeata*

SSP = *S. speciosa* ; CCA = *C. cajan*

ดินชุดรังสิต (Ra) นั้น การปรับระดับ pH ให้สูงขึ้นมีผลต่อปริมาณการดูด N ขึ้นมาใช้ประโยชน์เช่นเดียวกับดินชุดบางปะกง แต่ที่ระดับ pH 4.0 ปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิดมีปริมาณการสะสม N ที่สูงกว่าในดินชุดบางปะกง เมื่อมีการปรับระดับ pH ให้สูงขึ้นจาก 4.0 เป็น 4.5, 5.5 และ 6.5 การสะสม N ก็สูงขึ้นแต่มีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ที่ระดับ pH 4.5 และ 5.5 *S. aculeata* สะสม N ได้สูงกว่า *S. rostrata* และ *S. speciosa* แต่ปริมาณการสะสม N ก็ยังน้อยกว่า *C. cajan* ในขณะที่ pH 6.5 *C. cajan* และ *S. aculeata* ก็ยังสะสม N ได้ดีที่สุด ซึ่งเห็นได้ว่าการปรับระดับ pH ให้สูงขึ้นทำให้ปริมาณการสะสม N เพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารเพิ่มขึ้นทำให้พืชการเจริญเติบโตได้เร็วสามารถดูด N ขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้นตามไปด้วย

สำหรับชนิดของปุ๋ยพืชสดมีผลตอบสนองต่อการสะสมของ N เป็นปริมาณที่แตกต่างกัน ดังจากตารางที่ 3 นั้นเห็นได้ว่าในดินทั้ง 2 ชุด *C. cajan* มีปริมาณการสะสม N ในปริมาณที่มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยพืชสดอีก 3 ชนิด การที่ *C. cajan* มีปริมาณการสะสม N ในส่วนยอดมาก สืบเนื่องมาจาก *C. cajan* มีการสร้างปมที่รากเป็นจำนวนมากซึ่งปมเหล่านี้สามารถตรึง N จากอากาศโดยอาศัยจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในปม ส่วน *S. speciosa* มีการสะสม N ได้น้อยที่สุดทั้ง ๆ ที่พืชชนิดนี้ไม่มีความไวต่อช่วงแสง ดังนั้นจึงไม่ปรากฏความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าในส่วนยอดของ *S. rostrata* มีการสะสม N ได้ดีที่สุดและมีผลทำให้เกิดการสะสม N ต่อต้นนับเป็นปริมาณที่สูงสุดเช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกับบรรดาพืชตระกูล *Sesbania* ทั้งหมด สาเหตุอาจเป็นเพราะว่า *S. rostrata* มีการพัฒนาในการเกิดปมที่รากในช่วงแรกของการเจริญเติบโตและมีการสร้างปมขึ้นที่ลำต้น ในช่วงระยะต่อมาตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การเปลี่ยนแปลงของ pH ของดินมีผลต่อการสะสม N ข้อมูลที่เกิดขึ้นเช่นนี้อาจเป็นผลมาจากมีการใช้เชื้อไรโซเบียม คลุกให้กับเมล็ดปุ๋ยพืชสดก่อนเริ่มต้นการทดลอง และมีส่วนทำให้พืชตอบสนองต่อดินที่ระดับ pH สูง ๆ ได้อย่างชัดเจนดีกว่าอิทธิพลที่เกิดขึ้นจากตัวต้นพืชเอง ลักษณะการเพิ่มขึ้นของการสะสม N สะท้อนให้เห็นผลอย่างต่อเนื่องมาจากความสัมพันธ์ร่วมกัน ( symbiosis ) ที่ดีระหว่างพืชและไรโซเบียมที่เกิดขึ้นภายในดินกรดจัด ( ราชละเอียดติดต่อเป็นการส่วนตัวกับ ดร.ไพบูลย์ ประพฤทธิ์ธรรม ) และอีกประการหนึ่งคือปุ๋ยพืชสดชนิดที่มีความทนทานต่อดินกรด และสามารถเจริญเติบโตได้ดีภายใต้สภาพดินกรดก็จะส่งผลให้ปริมาณการสะสม N เพิ่มขึ้นเช่นกัน

### 2.3 ระดับและปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ภายใต้น้ำพืช

จากตารางที่ 4 นั้น ตัวอย่างพืชจากตารับต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้นำมาวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารประเภทต่าง ๆ โดยตรง นอกจากนี้ได้ทำการเสนอข้อมูลเหล่านี้เป็นเพียงค่าเฉลี่ยในดินแต่ละตารับเท่านั้น เพื่อหลีกเลี่ยงปริมาณข้อมูลที่มากเกินไป ซึ่งลักษณะการปรากฏของข้อมูลมีแนวโน้มแสดงออกมาให้เห็นอย่างชัดเจน ในลักษณะที่คล้ายคลึงกันทั้ง 2 ชุดดิน ข้อมูลนี้สามารถใช้อธิบายถึงลักษณะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันของปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิดภายใต้สภาพดินกรด ลักษณะที่ศึกษา คือความสัมพันธ์ร่วมโดยตรงระหว่างผลผลิตของน้ำหนักรากและองค์ประกอบทางธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ภายในส่วนของยอดของปุ๋ยพืชสด

ตารางที่ 4 อิทธิพลของการปรับระดับ pH และชนิดของปุ๋ยพืชสดต่อปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารภายในต้นพืช (ปริมาณเฉลี่ยทั้ง 2 ชุดดิน)

ค่ารับทดลอง	P <sup>1/</sup>	K	Ca	Mg
(%)				
<b>ระดับ pH</b>				
3.8	0.16	1.81	0.23	0.45
4.5	0.21	1.96	0.68	0.70
5.5	0.18	1.93	1.05	0.97
6.5	0.31	2.04	1.18	1.17
<b>ชนิดปุ๋ยพืชสด</b>				
<i>S. rostrata</i>	0.23	1.94	0.58	0.80
<i>S. aculeata</i>	0.25	2.12	0.94	0.93
<i>S. speciosa</i>	0.23	1.56	0.48	0.55
<i>C. cajan</i>	0.26	2.13	1.14	1.01
LSD (P=0.05)	0.06	0.48	0.30	0.27

หมายเหตุ

<sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยของจำนวน 3 ซ้ำ

โดยทั่วไปปัญหาความสามารถในการดึงดูดธาตุอาหารของพืช ภายใต้อสภาพดินกรดจัดนั้นเกิดขึ้นเนื่องมาจากการขาดแคลน Ca และ P โดยตรงแต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการดึงดูดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งขึ้นอยู่กับพัฒนาทางด้านการเจริญเติบโตของปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิดเป็นประการสำคัญ นอกจากนี้ยังมีปฏิกริยาสัมพันธ์ร่วมกับระดับ pH ที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือเมื่อมีการปรับระดับ pH ให้สูงขึ้นการดึงดูดธาตุอาหารนำไปใช้ประโยชน์ก็จะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ pH 6.5 เพิ่มความสามารถในการดึงดูดธาตุ P, K, Ca, และ Mg ได้มากกว่าที่ระดับ pH ดั้งเดิมของดิน *C. cajan* และ *S. aculeata* จะตอบสนองอย่างเด่นชัดต่อการปรับระดับ pH ได้ดีที่สุด เพราะว่าเมื่อระดับ pH สูงขึ้นสามารถดึงดูดธาตุ Ca, Mg, K และ P ขึ้นไปใช้ประโยชน์มากที่สุด รองลงมาคือ *S. rostrata* ส่วน *S. speciosa* มีปริมาณความเข้มข้นของธาตุ Ca, Mg, K และ P ในเนื้อเยื่อน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากพืชชนิดนี้มีการพัฒนาทางด้านการเจริญเติบโตที่ช้ากว่า *C. cajan* และ *S. aculeata* หรือ *S. rostrata* จากผลการทดลองในครั้งนี้นำมาใช้ในการดึงดูดปริมาณธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ไปใช้ประโยชน์มีอยู่อย่างเพียงพอกับการเจริญเติบโตของพืช ทั้งนี้เนื่องจากก่อนการทดลองได้มีการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ให้อย่างเพียงพอ

#### 2.4 ระดับ Al ภายในส่วนต้นพืช

จากตารางที่ 5 ปริมาณการสะสม Al, Mn และ Fe ในส่วนยอดลดลงเมื่อเพิ่มระดับ pH ให้สูงขึ้นจากการวินิจฉัยเห็นได้ว่าอิทธิพลของการปรับระดับ pH มีผลต่อการลดลงของปริมาณ Al ภายในส่วนยอดของปุ๋ยพืชสด และมีผลกระทบทำให้เกิดความแตกต่างอย่างนัยสำคัญเชิงทางสถิติ ( $P=0.05$ ) โดยเฉพาะเมื่อปรับระดับ pH ของดินให้สูงมากกว่า 6.5 จากผลการทดลองของ *C. cajan* และ *S. aculeata* มีปริมาณการสะสมของ Al Fe และ Mn อยู่ในเนื้อเยื่อสูง แต่ปริมาณการสะสมลดลงเมื่อมีการปรับระดับ pH ให้สูงขึ้น จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า *C. cajan* และ *S. aculeata* มีความทนทานต่อความเป็นพิษของ Al และสามารถเจริญเติบโตได้ดีภายใต้อสภาพดินกรด โดยพิจารณาจากอัตราของการสร้างน้ำหนักแห้งและปริมาณการสะสมของ N มีอยู่สูงในปุ๋ยพืชสดทั้ง 2 ชนิด

ตารางที่ 5 อิทธิพลของการปรับระดับ pH และชนิดของปุ๋ยพืชสดต่อปริมาณความเข้มข้นของ Al, Mn, และ Fe ภายใต้นพืช

ตัวรับทดลอง	Al <sup>1/</sup>	Mn	Fe
	(มก/กก)		
ระดับ pH			
3.8	155	199	443
4.5	114	172	356
5.5	68	149	246
6.5	53	116	133
ชนิดของปุ๋ยพืชสด			
<i>S. rostrata</i>	101	168	376
<i>S. aculeata</i>	100	131	271
<i>S. speciosa</i>	76	224	378
<i>C. cajan</i>	114	113	152
LSD (P=0.05)	24	29	58

หมายเหตุ

<sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยของจำนวน 3 ซ้ำ

การลดลงในส่วนของการดึงดูดปริมาณธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ได้เป็นสิ่งชี้บ่งว่าความเป็นพิษของ AI นั้นย่อมส่งผลกระทบต่อทั้งส่วนยอดและรากพืช Barber (1985) ได้สาธิตให้เห็นถึงแนวความคิดด้าน mechanistic model เพื่ออธิบายถึงลักษณะการดึงดูดธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะช่วงการเจริญเติบโตของรากจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการควบคุมพฤติกรรมการดึงดูดธาตุอาหารของต้นพืช เพราะฉะนั้นถ้ามีปัจจัยใด ๆ มาขัดแย้ง และควบคุมการเจริญเติบโตของรากแล้วย่อมส่งผลกระทบต่ออาการดึงดูดธาตุอาหารในส่วนอื่น ๆ ด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ทำการวัดการเจริญเติบโตของราก แต่จากรายงานบางฉบับได้ชี้ให้เห็นว่าความเป็นพิษของ AI มีส่วนทำให้รากเสื่อมประสิทธิภาพ (Foy, 1988)

### 3. การประเมินระดับวิกฤติสำหรับความเป็นพิษของ AI ในเนื้อเยื่อพืชสด

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สมการเชิงเส้นถดถอยหรือ regression analysis เป็นวิธีการที่มีประโยชน์มาก ในการประมาณค่าระดับวิกฤติของความเข้มข้นของธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ภายในเนื้อเยื่อพืช (Macnicol and Beckett, 1985) จากสมการดังกล่าว ถ้ามีการสร้างเส้นขึ้นระหว่างจุดที่เป็นตัวแทนของอัตราการเจริญเติบโตต่ำสุดและสูงสุดแล้ว ย่อมกำหนดขอบเขตของระดับวิกฤติสำหรับธาตุอาหารชนิดนั้น ๆ ที่แสดงลักษณะความเป็นพิษได้เป็นอย่างดี ความสัมพันธ์ในลักษณะเช่นนี้ได้มีการนำมาประเมินหาระดับของ AI ที่มากเกินไปซึ่งควบคุมและจำกัดการเจริญเติบโต และการตรึง N ของพืชตระกูลถั่วเหลือง (Munn, 1981) ตลอดจนจนถึงปริมาณที่มากเกินไป สำหรับ Mn ที่มีผลกระทบต่อ Cowpea เป็นต้น (Kang and Fox, 1980)

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของ AI กับการสร้างน้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ (Relative dry matter yield) ที่ปรากฏอยู่ในส่วนยอดสำหรับพืชสดแต่ละชนิดที่ปลูกอยู่ในดินกรดทั้ง 2 ชุด สามารถบรรยายและประยุกต์เข้ากับต้นแบบ (model) ที่มีลักษณะเป็นฟังก์ชันด้าน quadratic polynomial

ตารางที่ 6 สมการ Quadratic regression ( $Y=a+b_1x+b_2x^2$ ) ค่าพารามิเตอร์ และ  $r^2$  ระหว่าง การสร้างน้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ (Y)<sup>1</sup> และ ความเข้มข้นของ Al (X) ที่พบอยู่ในปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิด รวมถึงค่าเฉลี่ยของระดับวิกฤติของความเป็นพิษของ Al ที่ควบคุม 90 % ผลผลิตสัมพัทธ์

ชุดดิน	ชนิดปุ๋ยพืชสด	ค่าพารามิเตอร์			$r^2$ 2/ (n=12)	ระดับวิกฤติ ของ Al <sup>3/</sup> (มก/กก)
		a	$b_1$	$b_2$		
Bg	<i>S. rostrata</i>	104.43	-0.3647	-0.00034	0.97**	39
	<i>S. aculeata</i>	114.47	-0.4979	-0.00087	0.98**	45
	<i>S. speciosa</i>	99.82	-0.3275	-0.00060	0.98**	29
	<i>C. cajan</i>	114.18	-0.3513	-0.00079	0.97**	60
Ra	<i>S. rostrata</i>	125.36	-0.7411	-0.00062	0.98**	49
	<i>S. aculeata</i>	107.15	-0.2413	-0.00143	0.98**	54
	<i>S. speciosa</i>	111.65	-0.5058	-0.00099	0.97**	40
	<i>C. cajan</i>	103.58	-0.0832	-0.00208	0.97**	63

#### หมายเหตุ

<sup>1/</sup> น้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ = (น้ำหนักแห้งที่สำหรับ pH ใด ๆ ของการทดลอง/น้ำหนักแห้งสูงสุด) \* 100

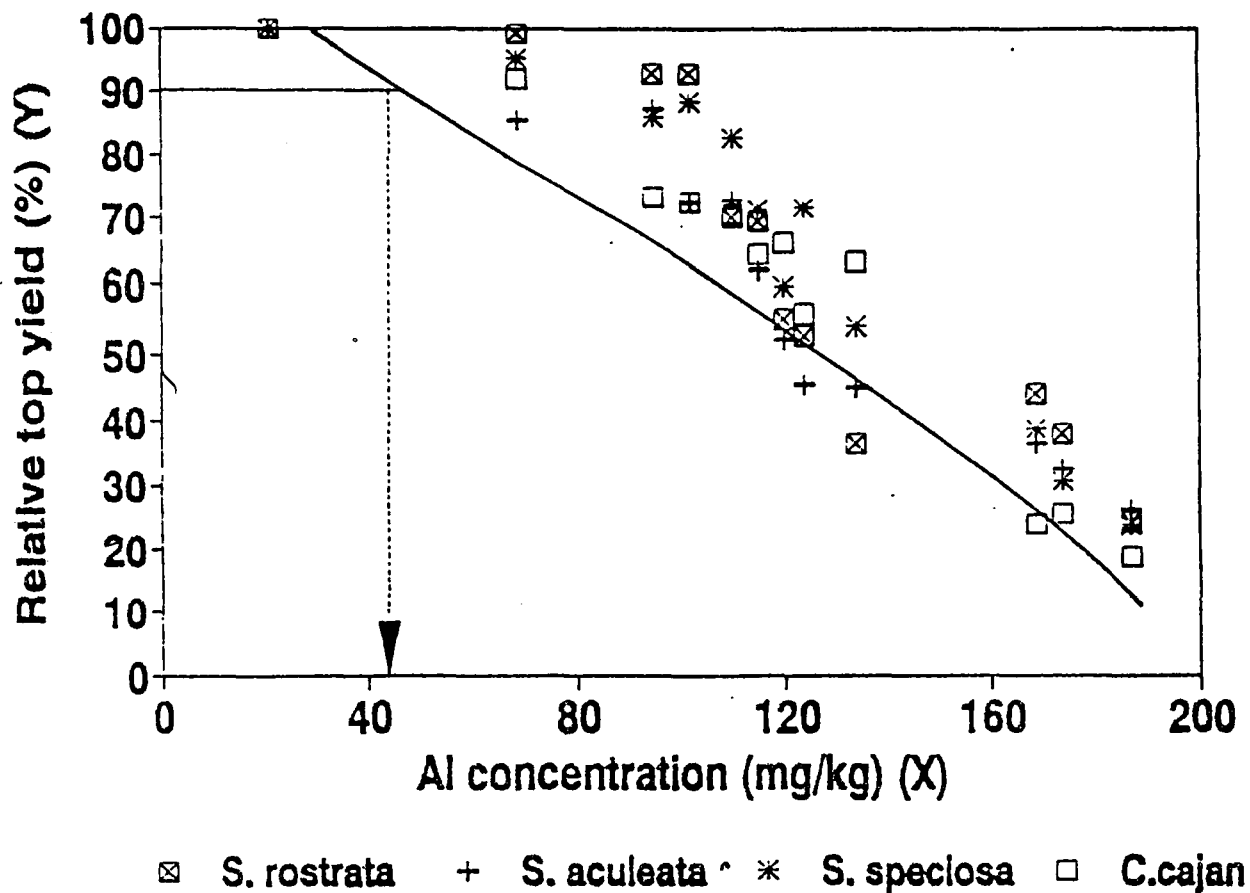
<sup>2/\*\*</sup> ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเชิงทางสถิติที่ระดับ P = 0.01

<sup>3/</sup> ระดับวิกฤติของความเป็นพิษ Al พิจารณาจากส่วนยอดของต้นพืชเท่านั้น

ลักษณะของรูปที่ 3 และ 4 ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวเช่นกันในการประเมินระดับความเข้มข้นของ Al ที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษขึ้นได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยปริมาณความเข้มข้นของ Al ที่พืชตอบสนอง และมีส่วนทำให้การสร้างน้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ลดต่ำลงมาในระดับที่ต่ำกว่า 90 % ความเข้มข้นของ Al ในลักษณะเช่นเดียวกันนี้ สามารถใช้เป็นดัชนีชี้บ่งถึงระดับความเป็นพิษของ Al ที่พืชสามารถทนทานอยู่ได้ ในชุดดินบางปะกง (Bg) ระดับวิกฤติดังกล่าวสำหรับปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิดเป็นดังนี้ *C. cajan* 60 , *S. aculeata* 45, *S. rostrata* 39, และ *S. speciosa* 29 มก/กก ตามลำดับ (ตารางที่ 6) ในชุดดินวังสีต (Ra) ระดับวิกฤติของ Al ในเนื้อเยื่อพืชก็สามารถประเมินได้เช่นเดียวกันกับชุดดินบางปะกง (Bg) (ตารางที่ 6) การลากเส้นแบบง่าย ๆ เพื่อกำหนดระดับวิกฤติของ Al ที่สัมพันธ์กับการสร้างน้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ที่ 90 % จากรูปที่ 3 และ 4 นั้นย่อมบ่งบอกให้ทราบว่าอัตราการเจริญเติบโตของ *C. cajan* ในส่วนยอดลดลงอย่างต่อเนื่อง ถ้าอลูมิเนียมสะสมอยู่มากกว่า 60 มก/กก ซึ่งในลักษณะเช่นนี้สามารถที่แสดงให้เห็นถึงระดับความทนทานสูงสุดต่อ Al สำหรับปุ๋ยพืชสดชนิดนี้ ในลักษณะเช่นเดียวกันระดับวิกฤติของ Al ใน *S. rostrata* และ *S. speciosa* เป็น 40 และ 30 มก/กก ตามลำดับ (ระดับของ Al ในช่วงปานกลางที่คาดว่าจะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของปุ๋ยพืชสดได้) สำหรับปุ๋ยพืชสดชนิดที่ไม่มี ความทนทานต่อความเป็นพิษของ Al สามารถประเมินได้เช่นเดียวกันใน *S. speciosa* ภายใต้สภาพการทดลองครั้งนี้



*Critical Al levels of 4 green manures  
in Ra soil as 46 mg/kg Al*



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Al ที่อยู่ในส่วนยอด (X) ของปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด และการสร้างน้ำหนักแห้งสัมพันธ์ (Y) ของดินชุด Ra ค่าประเมิณของสมการคือ  $Y = 111.66 - 0.4526X - 0.00034X^2$ ,  $r^2 = 0.08$ ,  $n = 48$ ,  $P = 0.01$

ระดับวิกฤติสำหรับความเข้มข้นของ Al ภายใตดินที่แตกต่างกันสามารถอธิบายได้จากความแตกต่างของปริมาณ Al ทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ภายในดินดั้งเดิมก่อนเริ่มต้นทำการทดลอง จากรายงานของ Wornanutwatanakul (1986) ได้กล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มข้น Al ภายใตดินเนื้อเชื้อพืชต่อหน่วยปริมาณ Al ที่สกัดได้จากดินชุดบางปะกง (Bg) มีมากกว่าในดินชุดรังสิต (Ra) สาเหตุทั้งนี้สืบเนื่องมาจากลักษณะความแตกต่างในการดูดซับ Al ของดินชุดบางปะกง (Bg) มีมากกว่าการดูดซับ Al ในดินชุดรังสิต (Ra) นอกจากนี้ระดับ Al ที่สกัดได้โดยใช้สารสกัด KCl ในชุดดินบางปะกง (Bg) ให้ค่า extractable Al สูงถึง 7.5 cmol(+)/กก และในที่สุดมีผลทำให้การสร้างน้ำหนักแห้งภายในปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิดลดลงเป็นอย่างมาก

ระดับความเข้มข้นของ Al ที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษสำหรับปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิดยังไม่มีรายงานให้ทราบอย่างแน่นอนแม้แต่พืชที่นำมาใช้ทำการทดลองในครั้งนี้ แต่อย่างไรก็ตามจากการรายงานของพืชชนิดอื่น ๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับปุ๋ยพืชสด เช่น ถั่วเหลืองและ Cowpea (*Vigna spp.*) เป็นต้น สามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้บ่งและสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของ Al ภายใตดินเนื้อเชื้อพืชได้ ซึ่งคาดว่าในการทดลองครั้งนี้ระดับความเข้มข้น Al ภายใตดินเนื้อเชื้อพืชอาจอยู่ในระดับที่ปรากฏให้เห็นถึงความเป็นพิษอย่างแท้จริง ยกตัวอย่างเช่น Hilyar (1978) ได้รายงานว่าระดับความเข้มข้นของ Al ที่มากกว่า 40 มก/กก สามารถชักนำให้เกิดอาการเป็นพิษของ Al สำหรับถั่วเหลืองที่มีอายุการปลูกได้ 43 วัน ซึ่งระดับความเข้มข้นของ Al สำหรับรายงานครั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงที่ต่ำกว่าความเข้มข้นของ Al ที่ปรากฏอยู่ภายในแต่ละตำรับของการทดลองครั้งนี้ ถ้าพิจารณาลงไปรายละเอียดกลับยิ่งเห็นได้ว่าระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ Al ภายใตดินเนื้อเชื้อพืชในดินทั้ง 2 ชุด มีมากกว่า 60 มก/กก ซึ่งเป็นสิ่งที่เน้นให้เห็นอย่างชัดเจนว่าระดับวิกฤติของ Al สำหรับปุ๋ยพืชสดนั้นอยู่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพืชตระกูลถั่วอื่น ๆ จากผลที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้เมื่อมาพิจารณาร่วมกับข้อมูลที่มีรายงานโดย Ghai et al. (1984) ช่อมบ่งบอกอย่างเด่นชัดว่าปุ๋ยพืชสดพวกโสน หรือ *Sesbania* ตอบสนองต่อความเป็นพิษของ Al ได้รวดเร็วกว่าพวก *C. cajan*

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ย่อมเป็นเครื่องสนับสนุนและยืนยันให้เห็นถึงลักษณะความแตกต่างในการทนทานต่อระดับความเป็นกรด รวมถึงความเป็นพิษของ AI สำหรับปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิด ความสัมพันธ์ดังกล่าวประเมินสามารถดูได้จากความแตกต่างของการสร้างผลผลิตของน้ำหนักแห้ง และความสามารถในการดึงดูด AI ขึ้นไปสะสมในส่วนลำต้นเป็นประการสำคัญ นอกจากนี้จากผลการทดลองครั้งนี้คาดว่าองค์ประกอบของ AI โดยเฉพาะอย่างยิ่งระดับวิกฤตของความเข้มข้นของ AI สามารถใช้ประโยชน์เป็นดัชนีที่ดีสำหรับควบคุมอัตราการเจริญเติบโตของปุ๋ยพืชสด โดยเฉพาะเมื่อค่า pH อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 4.5 แต่อย่างไรก็ตามยังไม่ทราบแน่ชัดว่าลักษณะความสัมพันธ์เช่นนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับดินชุดอื่นๆ ( นอกเหนือจากดินกรดจัด ) ได้หรือไม่ ในเมื่อสภาพสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไป ไม่ว่าจะเป็นระดับความชื้นภายในดิน หรือการจัดการธาตุอาหารต่าง ๆ ภายในดิน เป็นต้น

## สรุป

การทดลองครั้งนี้เป็นการคัดเลือกหาปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด ที่มีความทนทานต่อความเป็นกรด และสามารถให้การสร้างผลผลิตของน้ำหมักแห้งเป็นไปได้อย่างดีสำหรับดินกรดจัด 2 ชุดดิน ซึ่งปัจจัยที่ควบคุม คือ ค่า pH ที่ต่ำและความเป็นพิษของ Al เป็นต้น การปรับระดับ pH ของดินให้สูงขึ้นจาก 3.8 , 4.0 (pH ดั้งเดิมของดิน) ไปถึง 6.5 (ด้วยการเติมปูนขาวในตำรับต่าง ๆ ) มีผลต่อการสร้างน้ำหมักแห้งของปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิดและก่อให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ สำหรับปุ๋ยพืชสดชนิดที่ทนทานต่อความเป็นกรด คือ *C. cajan* และ *S. aculeata* นั้นสามารถแสดงให้เห็นได้จากผลผลิตน้ำหมักแห้งที่สูงกว่าหรือใกล้เคียงกันที่ระดับ pH 4.5 เมื่อเปรียบเทียบกับค่า pH 6.5 สำหรับปุ๋ยพืชสดที่อ่อนแอต่อความเป็นพิษของ Al เช่น *S. speciosa* ให้การสร้างน้ำหมักแห้งที่ระดับ pH 4.5 ในลักษณะที่ต่ำกว่าค่า pH 6.5 เป็นต้น

ผลของการศึกษาในดินกรดทั้ง 2 ชุดนี้ย่อมแสดงให้เห็นถึงความเป็นพิษของ Al นับเป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตของปุ๋ยพืชสดโดยตรง นอกจากนี้มีข้อที่ควรพิจารณาเพิ่มเติม 2 ประการ คือ

ประการที่ 1 ชนิดของปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิด นั้นอัตราการเจริญเติบโตย่อมถูกควบคุมโดยปริมาณของ Al ที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืช โดยทั่วไปที่ระดับ pH ดั้งเดิมของดินหรือน้อยกว่า 4.5 ปริมาณ Al สะสมอยู่สูงสุดและมากกว่าที่ระดับ pH 6.5 ปุ๋ยพืชสดบางชนิดที่ตอบสนองต่อความเป็นพิษได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อ pH ของดินน้อยกว่า 4.5 เกิดอาการ chlorosis ที่ใบอ่อน ซึ่งเป็นผลมาจากความเป็นพิษของ Al โดยตรง

ประการที่ 2 ได้มีความพยายามในการนำเอาแนวคิดในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับระดับวิกฤตของ Al ที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการสร้างระดับผลผลิตสัมพันธ์ที่ 90 % ของน้ำหมักแห้งสูงสุด มาใช้อธิบายถึงระดับความทนทานของปุ๋ยพืชสดแต่ละชนิด โดยเฉพาะจากข้อมูลในการศึกษานี้ย่อมแสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดว่า *C. cajan* และ *S. aculeata* เป็นปุ๋ยพืชสดที่มีลักษณะความทนทานต่อความเป็นพิษของ Al ภายในช่วงระดับวิกฤตของ Al ตั้งแต่ 60 ถึง 45 มก/กก สำหรับดินกรดจัดทั้ง 2 ชุดดิน ในขณะที่ *S. speciosa* และ *S. rostrata* กลับไม่มีความทนทานต่อความเป็นพิษของ Al ดังกล่าวและมีระดับวิกฤตอยู่ในช่วงที่ต่ำมากตั้งแต่ 30 ถึง 40 มก/กก เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- พรรมณี รุ่งแสงจันทร์ ชัยนาม ดิสถาพร อรุณี ชูวะนิยม อนงค์ สุกชวาวัส 2532ก.ผลของปุ๋ยพืชสดที่มีต่อผลผลิตข้าวพันธุ์ไวแสงและไม่วางแสงในดินเค็ม . รายงานการค้นคว้าวิจัย ปี 2532. ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 134-142.
- พรรมณี รุ่งแสงจันทร์ สมศรี อรุณินท์ ชัยนาม ดิสถาพร อรุณี ชูวะนิยม อนงค์ สุกชวาวัส 2532ข. ผลของปุ๋ยพืชสดต่อการปรับปรุงดินเค็ม. รายงานผลการค้นคว้าวิจัยปี 2532 ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 153-159.
- Arunin, S., C. Dissataporn, Y. Anuluxtipan, and D. Nana. 1988. Potential of sesbania as a green manure in saline rice soils in Thailand. *In* Green Manure in Rice Farming, pp. 83-95. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Philippines.
- Arunin, S., A. Youvaniyom, and P. Rungsangchan. 1989. Comparative salt tolerance of some tropical Sesbania in Northeast Thailand. *J. Agric. Sci.* 20(4):237-250 (in Thailand)
- Barber, S.A. 1985. Soil nutrient bioavailability : a mechanic approach. John Wiley and Sons, NY.
- Barnard, R.O., and W.J. Folscher. 1988. Growth of legumes at different levels of liming. *Tro. Agric.* 62(2):113-116
- Barnhisel, R., and P.M. Bertsch. 1982. Aluminum. *In* A.L. Page et al. (eds.) *Methods of Soil Analysis, Part 2, chemical and Microbiology Properties*, pp. 275-300. Agron. Monog. No. 9 (2nd ed.). ASA-SSSA. Madison, WI.
- Bennet, R.J., and C.M. Breen. 1991. The aluminum signal : New dimensions to mechanisms of aluminum tolerance. *Plant Soil* 134 : 153-166.

- Black, C.A. 1965. Methods of soil analysis. Part 2. Am. Soc. Agron. Inc. Pub., Madison, WI.
- Bray, R.H., and L.T. Kuetz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59 : 39-45.
- Cate, R.B. Jr., and A.P. Sukhai. 1964. A study of aluminum in rice soil. Soil Sci. 98 : 85-93.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In C.A. Black (ed) Methods of Soil Analysis, Part 2. Am. Soc. Agron. Inc. Pub., Madison, WI.
- Chinapan, W. 1982. Technical report on use of green manure. Department of Land Development. Bangkok. 19 p.
- Donsae, M., C. Thongyai, K. Thapbunhan, and D. Thawornmas. 1981. Comparative study on the use of green manure to increase cassava yield. Research Report. Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. Bangkok. pp. 22-25
- Dreyfus, B., G. Rinaudo, and Y. Dommergues. 1993. Use of *Sesbania rostrata* as green manure in paddy field. 25 p.
- Evans, D.O. 1983. *Sesbania* flowering observation. Nitrogen Fixing Tree Research Report 1 : 42.
- Evans, D.O. 1986. *Sesbania* research in Hawaii : Summary of a project. Nitrogen Fixing Tree Research Report 4 : 57-58.
- Evans, D.O., and P.P. Rotar. 1987. *Sesbania* in Agriculture. Westview Tropical Agriculture Series, No. 8. Westview Press. Boulder, Colorado. 189 p.
- Fageria, N.K. 1985 Influence of aluminum in nutrient solution on chemical composition in two rice cultivars at different growth stages. Plant Soil 85 : 423-429.

- Fageria, N.K., V.C. Baliger, and R.J. Wright. 1988. Aluminum toxicity in crop plants. *J. Plant Nutr.* 11 : 303-319.
- Fageria, N.K., and J.R.P. Carvalho. 1982. Influence of aluminum in nutrient solutions chemical composition in upland rice cultivars. *Plant Soil* 69 : 31-44.
- Foy, C.D. 1974. Effects of aluminum on plant growth. *In* E.W. Carson (ed.) *The Plant Root and Its Environment*, pp. 601-642. Univ. Press of VA. Charlottesville, VA.
- Foy, C.D. 1983. Plant adaptation to mineral stress in problem soils. *Iowa J. Res.* 57 : 339-354.
- Foy, C.D. 1988. Plant adaptation to acidic, aluminum toxic soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19 : 959-987.
- Foy, C.D. 1991. Soil chemical factors limiting plant root growth. *In* *Adv. in Soil Sci.* Springer-Verlag, New York.
- Foy, C.D., and T.A. Campbell. 1984. Differential tolerances of amaranthus strains to high levels of aluminum and manganese in acid soils. *J. Plant Nutr.* 7 : 1365-1388.
- Foy, C.D., R.L. Chaney, and M.C. White. 1978. The physiology of metal toxicity in plant. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 29:511-566.
- Foy, C.D. 1988. Plant adaptation to acid, aluminum toxic soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19 : 959-987.
- Foy, C.D., E.H. Lee, and S.B. Wilding. 1987. Differential aluminum tolerance of wheat and barley varieties in acid soils. *J. Plant Nutr.* 10 : 1089-1101.
- Freeney, J.R. 1986. Analytical methods for determining sulfur in soils and plants. *In* Sam Portch and Ghulam Hussain (eds.) *Proc. Int. Symp. on Sulfur in Agric.*, pp. 67-84. Bangladesh Agricultural council and Sulfur Institute.

- Gee, G.W., and J.W. Bauder. 1982. Particle size analysis. *In* A.L. Page et al (eds.) *Methods of Soil Analysis, Part 1*, pp. 383-412. Agron. Monog. No. 9 (2nd ed.) ASA-SSSA. Madison, WI.
- Ghai, S.K., D.L.N. Rao, and L. Batra. 1985. Comparative study of the potential of *Sesbania* for green manuring. *Trop. Agric.* 62(1) : 52-56.
- Gines, H.C., R.E. Furoc, O.P. Meelu, M.A Dizon, and R.A. Morris. 1985. The International Rice Research Institute.
- Hecht-Bucholz, C., and Foy. 1981. Effect of aluminum toxicity on root morphology of barley. *In* R. Brouwer et al. (eds.) *Structure and Fuction of Plant Roots*, pp. 343-345. Martin Nijhoff/Publishers. Netherlands.
- Hilyar, K.R. 1978. Effects of aluminum and manganese toxicities on legume growth. *In* C.S. Andrew and E.J. Kampart (eds.) *Mineral Nutrition of Legumes in Tropical and Subtropical Soil*-CSIRO, Australia.
- Holford, I.C.R. 1985. Effects of lime on yield and phosphate uptake by clover in relation to changes in soil phosphate and related characteristics. *Aus. J. Soil Res.* 23 : 75-83.
- Hue, N.V., F. Adams, and C.E. Evans. 1985. Sulfur retention by an acid BE horizon of an Ultisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1196-1200.
- Hue, N.V., G.R. Craddock, and F. Adams. 1986. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. *Soil Sci. Am. J.* 50 : 28-34.
- Hutton, E.M. 1989. Field selection of acid-tolerant leucaena from *L. leucocephala* *L. diversifolia* crosses in a tropical Oxisol. *Trop. Agric.* 67: 1-8.

- Joshua, D.C., S.B. Anjali, J.D. Gadgil, and C.R. Bhatia. 1989. *Sesbania rostrata* Brem. : A stem nodulating legume-its potential as green manure crop. Proc. Internl. Symp. Biological Nitrogen Fixation Associated with Rice Production. CRRI. Cuttack, India.
- Jugsujinda, A., Y. Tadashi, and N. van Breemen. 1987. Aluminum toxicity and phosphorus deficiency in acid sulfate soils of Thailand. IRRI Int. rice Res. Newsl. 3:1.
- Kamprath, E.J., and C.C. Foy. 1985. Lime and fertilizer-plant interactions in acid soils. In O.P. Engelstad (ed.) Fertilizer Technology and Use, 3rd edition, pp. 91-151. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.
- Kang, B.T., and R.L. Fox. 1980. A methodology for evaluating the manganese tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata*) and some preliminary results of field trials. Field Crops Res. 13: 199-210
- Kapland, D.I., and G.O. Estes. 1985. Organic matter relationship to soil nutrient status and aluminum toxicity in alfalfa. Agron. J. 77: 735-738.
- Kerridge, P.C. 1991. Adaptation of shrub legumes to acid soils. In R.J. Wright (eds.) Plant- Soil Interaction at Low pH, pp. 977-987. Proceeding of the Second International Symposium on Plant-Soil Interactions at low pH. Beckley, West Virginia.
- Kinraide, T.B. 1988. Proton extrusion by wheat roots exhibiting severe aluminum toxicity symptoms. Plant Physiol. 88:418-423.
- Kinraide, T.B. and D.R. Parker 1987. Nonphytoxicity of the aluminum sulfate ion,  $AlSO_4^+$ . Plant physiol. 71: 207-212.
- Macnicol, R.D., and P.H.T. Beckett. 1985. Critical concentrations of potentially toxic elements. Plant Soil. 85: 107-129.

- Marschner, 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London. 686p.
- Marschner, H. 1991. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. *Plant Soil* 134: 1-20.
- Mehra, O.P., and M.L. Jackson. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system with bicarbonate buffer. *Clays Clay Miner.* 7: 317-327.
- Mengel, K., and E.A. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. 3rd ed. Int. Potash Inst. Bern, Switzerland.
- Munns, D.N. 1986. Acid soil tolerance in legumes and rhizobia. *In* P.B. Tinker and A. Lauchli (eds.) *Advances in Plant Nutrition*. Praeger Publishers, NY.
- Munns, D.N., J.S. Hohenberg, T.L. Righetti, and D.J. Lanter. 1981. Soil acidity tolerance of symbiotic and nitrogen-fertilized soybeans. *Agron. J.* 73: 138-145.
- Ojima, K., H. Abe, and K. Ohira. 1984. Effect of non-metabolic conditions on the uptake of aluminum by plant roots. *Plant. Cell Physiol.* 25: 855-858.
- Parkpian, P., P. Pongsakul, and P. Sangtong. 1991. Characteristics of acid soils in Thailand: A review. *In* R.J. Wright (eds.) *Plant-Soil Interaction at Low pH*, pp. 397-405. Proceeding of the Second International Symposium on Plant-Soil Interactions at Low pH. Beckley, West Virginia.
- Patel, S. 1966. Indian field crops. Agul prakashan, Gujarat, India.
- Ramani, S., M.S. Shaikh, and D.C. Joshua. 1990. Nodulation, biomass and nitrogen content in *Sesbania* species. *Plant and Soil* 128: 221-223.

- Rinaudo, G., D. Alazard., and A. Moudiongui. 1988. Stem nodulating legumes as green manure for rice in West Africa. *In* Green Manure in Rice Farming, pp. 97-109. Int. Rice. Res. Inst., Los Banos, Philippines.
- Satawatananont, S., W.H. Patrick Jr., and P.A. Moore Jr. 1991. Effect of controlled redox conditions on metal solubility in acid sulfate soils. *Plant and Soil* 133: 281-290.
- Schaedle, M., F.C. Thornton, and D.J. Raynal. 1986. Nonmetabolic binding of aluminum to roots of loblolly pine and honeylocust. *J. Plant Nutr.* 9: 1227-1238.
- Selvara, J.A., and K.R. Ramaswany. Seed Technological Strains in *Sesbania aculeata* Poirs (daincha) New letter, Tamil Nadu Agricultural University (1983) 13 (12) 1-2 (Eh) Dept. of Seed Tech., Tech Tamil Nadu Agric. Univ. Coimbatore 641,003, Tamil Nadu, India (Field Crop Abstract, 1983) Vol.36 No.12 Legumes, general.
- Singh, Y., C.S. Khind, and B. Singh. 1991. Efficient management of leguminous green manures in wetland rice. *Adv. Agron.* 45: 135-189.
- Sratongkam, S. 1976. Technical report on green manure and soil improving crops. *In* Proceedings of the National Seminar on Cropping Systems. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University.
- Suhayda, C.G., and A. Haug. 1986. Organic acids reduce aluminum toxicity in maize root membranes. *Physiol. Plant* 68: 189-195.

- Sukthumrong, A., S. Chotechaungmanirat, J. Chanchaoensook, and V. Verasan. 1986. Effect of green manure-chemical fertilizer combinations on soil fertility and yield of Corn. Paper presented at the International Seminar on Yield Maximization of Feed Grains Through Soil and Fertilizer Management. Bangkok.
- Taylor, G.J. 1988. The physiology of aluminum phytotoxicity *In* H. Sigel (ed.) Metal Ions in Biological Systems, Vol.24. Marcel Dekker, Inc.
- Thai, V.C. 1990 Research on recovery of the fertility of degraded red brown feral soils on basalt by green manure plants. *In* RAPA Report, 1991/7 FAO. Bangkok. Thailand.
- Thawornmas, D., C. Tharatapan, and P. Chimayo. 1977. Studies on the effects of green manure on grain sorghum. Annual Research Report. Dep. of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. Bangkok. pp. 129-132.
- Thawornwong, N., and A. Van Diest. 1974. Influences of high acidity and aluminum on the growth of lowland rice. *Plant Soil* 41: 141-159.
- Van der Kevie, W., and B. Yenmanus. 1972. Detailed reconnaissance soil survey of Southern Central Plain Area. Report SSR-89. Soil Survey Division, Dept. of Land Development, Ministry of Nation Development. Bangkok, Thailand.
- Wallis, E.S., and D.E. Byth. 1988. ACIAR-sponsored legume research. *In* Green Manure in Rice Farming, pp. 239-274. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Philippines.

- Wornanutwatanakul, K. 1986. Effect of pH on the chemical kinetics of ferrous, manganous, aluminum, sulfate, phosphate and the yield of rice grown on Rangsit very acid soil. M.Sc. Thesis. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai).
- Wright, R.J. 1989. Soil aluminum toxicity and plant growth. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 20: 1479-1497.
- Yost, R.S., D.O. Evans, and N.A. Saidy. 1985. Tropical legumes for N production: growth and N content in relation to soil pH. *Tropical Agric.* 62: 20-24.
- Yost, R.S., and D.O. Evans. 1987. Green manures and legume covers in the tropics. Hawaii Institute of Tropical Agriculture and Human Resources. Research Series 055. 40 p.
- Yost, R.S., D.O. Evans, and N.A. Saidy. 1983. Tropical legumes for N production, growth and N content in relation to soil pH. *Trop. Agric.* 62(1): 20-24.

**ภาคผนวก**

**ภาคผนวกที่ 1** อิทธิพลของการปรับระดับ pH ต่อการสร้างน้ำหนักแห้ง (กรัม/กระถาง) ของปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด ในดินชุดบางปะกง (Bg) และรังสิต (Ra) เมื่ออายุได้ 7 สัปดาห์

Soil	pH	GM	Replication			Trt Total	Trt Avg
			1	2	3		
S1 (Bg)	control (3.8)	GM1	1.27	1.49	1.05	3.81	1.27
		GM2	1.16	1.86	1.66	4.68	1.56
		GM3	0.65	1.28	0.87	2.8	0.933333
		GM4	1.51	1.53	1.89	4.93	1.643333
	4.5	GM1	2.08	2.17	2.94	7.19	2.396666
		GM2	2.31	2.57	2.96	7.84	2.613333
		GM3	1.96	1.83	2.06	5.85	1.95
		GM4	3.39	2.86	2.99	9.24	3.08
	5.5	GM1	3.68	3.27	2.92	9.87	3.29
		GM2	3.63	5.13	3.11	11.87	3.956666
		GM3	2.06	2.42	2.06	6.54	2.18
		GM4	5.14	4.88	4.94	14.96	4.986666
	6.5	GM1	4.92	4.51	4.06	13.49	4.496666
		GM2	4.73	4.14	4.96	13.83	4.61
		GM3	2.72	2.87	2.34	7.93	2.643333
		GM4	5.95	5.61	5.09	16.65	5.55
S2 (Ra)	control (4.0)	GM1	2.11	1.82	1.16	5.09	1.696666
		GM2	1.9	1.53	2.14	5.57	1.856666
		GM3	1.46	1.15	0.89	3.5	1.166666
		GM4	2.21	2.07	1.64	5.92	1.973333
	4.5	GM1	2.64	2.53	1.76	6.93	2.31
		GM2	3.04	2.62	2.65	8.31	2.77
		GM3	2.69	2.24	2.03	6.96	2.32
		GM4	4.85	5.56	6.26	16.67	5.556666
	5.5	GM1	4.43	4.73	3.35	12.51	4.17
		GM2	5.07	3.62	4.96	13.65	4.55
		GM3	3.75	3.56	3.31	10.62	3.54
		GM4	6.34	8.56	5.48	20.38	6.793333
	6.5	GM1	3.32	4.43	4.78	12.53	4.176666
		GM2	4.23	4.22	5.82	14.27	4.756666
		GM3	3.22	3.1	2.68	9	3
		GM4	5.72	7.94	6.09	19.75	6.583333
Total			104.14	108.1	100.9	313.14	
Avg			3.254375	3.378125	3.153125	3.261875	3.261875

ผลผลิตสูงสุด (Bg) : ผลผลิตสูงสุด (Ra) : คำย่อ :

GM1 = 4.92      GM1 = 4.78      GM1 = *S. rostrata*

GM2 = 5.13      GM2 = 5.82      GM2 = *S. aculeata*

GM3 = 2.87      GM3 = 3.75      GM3 = *S. speciosa*

GM4 = 5.95      GM4 = 8.64      GM4 = *C. cajan*

ภาคผนวกที่ 1.1 ค่าวิเคราะห์ความแปรปรวนของการสร้างน้ำหนักร้าง ในปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด (อายุ 7 สัปดาห์) เมื่อมีการปรับระดับ pH ที่แตกต่างกันของดินกรดจัดทั้งสองชุดดิน

SOV	df	SS	MS	F-test	F-test	
					0.05	0.01
Block	2	0.72	0.36	1.05	19.47	99.48
Trt	31	234.69	7.57	22.20	1.76	2.24
S	1	9.20	9.20	26.99	252	6302
pH	3	134.02	44.67	131.03	8.58	26.35
GM	3	65.43	21.81	63.97	8.58	26.35
S*pH	3	2.71	0.90	2.65	8.58	26.35
S*GM	3	5.42	1.81	5.30	8.58	26.35
pH*GM	9	14.33	1.59	4.67	2.80	4.51
S*pH*GM	9	3.56	0.40	1.16	2.80	4.51
Error	62	21.14	0.34			
Total	95	256.54				

CV = 17.87

LSD 0.05 = 0.95 when  $t_{0.05}=2.00$ ;  $r=3$

LSD 0.05 = 0.67 when  $t_{0.05}=2.00$ ;  $r=6$

**ภาคผนวกที่ 2** อิทธิพลของการปรับระดับ pH ต่อปริมาณการสะสม N (% น้ำหนักแห้ง)  
ในปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด เมื่ออายุ 7 สัปดาห์ ในดินชุดบางปะกง (Bg) และวังสีด (Ra)

Soil	pH	GM	Replication			Total	Avg
			1	2	3		
S1 (Bg)	control (3.8)	GM1	1.74	1.83	1.87	5.44	1.813333
		GM2	1.77	2.53	2.17	6.47	2.156666
		GM3	1.04	1.63	1.49	4.16	1.386666
		GM4	1.52	1.95	1.99	5.46	1.82
	4.5	GM1	2.19	2.82	2.64	7.65	2.55
		GM2	3.24	2.6	3.99	9.83	3.276666
		GM3	1.66	1.84	1.86	5.36	1.786666
		GM4	3.63	2.96	2.97	9.56	3.186666
	5.5	GM1	3.28	2.81	2.62	8.71	2.903333
		GM2	2.81	3.93	3.61	10.35	3.45
		GM3	2.66	2.15	1.76	6.57	2.19
		GM4	2.92	3.88	3.74	10.54	3.513333
	6.5	GM1	3.31	2.35	3.46	9.12	3.04
		GM2	3.15	3.71	3.29	10.15	3.383333
		GM3	2.7	2.87	1.73	7.3	2.433333
		GM4	3.58	3.86	3.59	11.03	3.676666
S2 (Ra)	control (4.0)	GM1	2.29	2.32	2.91	7.52	2.506666
		GM2	1.67	2.65	2.71	7.03	2.343333
		GM3	1.18	2.31	2.48	5.97	1.99
		GM4	2.22	2.8	2.54	7.56	2.52
	4.5	GM1	2.04	2.85	2.86	7.75	2.583333
		GM2	3.73	3.56	3.56	10.85	3.616666
		GM3	2.18	2.54	1.43	6.15	2.05
		GM4	4.13	3.35	3.8	11.28	3.76
	5.5	GM1	3.02	3.53	2.85	9.4	3.133333
		GM2	4.77	3.1	3.09	10.96	3.653333
		GM3	2.92	2.66	2.81	8.39	2.796666
		GM4	4.15	3.66	2.96	10.77	3.59
	6.5	GM1	2.87	3.31	3.17	9.35	3.116666
		GM2	4.12	3.32	3.88	11.32	3.773333
		GM3	3.22	2.61	3.36	9.19	3.063333
		GM4	4.28	3.59	3.33	11.2	3.733333
Total		89.99	91.88	90.52	272.39		
Avg		2.812187	2.87125	2.82875	2.837395	2.837395	

คำย่อ :

GM1 = *S. rostrata*

GM2 = *S. aculeata*

GM3 = *S. speciosa*

GM4 = *C. cajan*

ภาคผนวกที่ 2.1 ค่าวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน ในปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด (อายุ 7 สัปดาห์) เมื่อมีการปรับระดับ pH ที่แตกต่างกันของดินกรดจัดทั้งสองชุดดิน

SOV	df	SS	MS	F-test		
				0.05	0.01	
Block	2	0.059	0.029	0.139	19.47	99.48
Trt	31	45.180	1.457	6.835	1.76	2.24
S	1	3.006	3.006	14.103	252	6302
pH	3	21.296	7.098	33.295	8.58	26.35
GM	3	16.678	5.559	26.075	8.58	26.35
S*pH	3	0.296	0.098	0.463	8.58	26.35
S*GM	3	0.264	0.088	0.414	8.58	26.35
pH*GM	9	2.840	0.315	1.480	2.80	4.51
S*pH*GM	9	0.797	0.088	0.415	2.80	4.51
Error	62	13.218	0.213			
Total	95	58.458				

CV = 16.27

LSD 0.05 = 0.754019 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=3$

LSD 0.05 = 0.533172 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=6$

**ภาคผนวกที่ 3** อิทธิพลของการปรับระดับ pH ต่อปริมาณการสะสม P ในปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด  
เมื่ออายุ 7 สัปดาห์ ในดินชุดบางปะกง (Bg) และรังสิต (Ra)

Soil	pH	GM	Replication			Trt Total	Trt Avg
			1	2	3		
S1 (Bg)	control (3.8)	GM1	0.17	0.18	0.15	0.5	0.166666
		GM2	0.17	0.14	0.1	0.41	0.136666
		GM3	0.15	0.1	0.09	0.34	0.113333
		GM4	0.23	0.17	0.15	0.55	0.183333
	4.5	GM1	0.16	0.24	0.18	0.58	0.193333
		GM2	0.22	0.23	0.31	0.76	0.253333
		GM3	0.18	0.22	0.23	0.63	0.21
		GM4	0.31	0.15	0.16	0.62	0.206666
	5.5	GM1	0.26	0.28	0.34	0.88	0.293333
		GM2	0.29	0.35	0.24	0.88	0.293333
		GM3	0.32	0.28	0.22	0.82	0.273333
		GM4	0.32	0.24	0.27	0.83	0.276666
	6.5	GM1	0.22	0.37	0.24	0.83	0.276666
		GM2	0.37	0.29	0.26	0.92	0.306666
		GM3	0.27	0.19	0.36	0.82	0.273333
		GM4	0.37	0.43	0.26	1.06	0.353333
S2 (Ra)	control (4.0)	GM1	0.19	0.16	0.16	0.51	0.17
		GM2	0.21	0.15	0.18	0.54	0.18
		GM3	0.17	0.16	0.28	0.61	0.203333
		GM4	0.17	0.18	0.25	0.6	0.2
	4.5	GM1	0.15	0.18	0.27	0.6	0.2
		GM2	0.24	0.18	0.28	0.7	0.233333
		GM3	0.18	0.15	0.32	0.65	0.216666
		GM4	0.22	0.23	0.18	0.63	0.21
	5.5	GM1	0.29	0.2	0.33	0.82	0.273333
		GM2	0.29	0.28	0.35	0.92	0.306666
		GM3	0.21	0.29	0.29	0.79	0.263333
		GM4	0.22	0.28	0.45	0.95	0.316666
	6.5	GM1	0.29	0.38	0.27	0.94	0.313333
		GM2	0.32	0.24	0.35	0.91	0.303333
		GM3	0.36	0.29	0.29	0.94	0.313333
		GM4	0.4	0.26	0.43	1.09	0.363333
Total			7.92	7.47	8.24	23.63	
Avg			0.2475	0.233437	0.2575	0.246145	0.246145

คำย่อ :

GM1 = *S. rostrata*

GM2 = *S. aculeata*

GM3 = *S. speciosa*

GM4 = *C. cajan*

ภาคผนวกที่ 3.1 ค่าวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณการสะสม P ในปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด (อายุ 7 สัปดาห์) เมื่อมีการปรับระดับ pH ที่แตกต่างกันของดินกรดจัดทั้งสองชุดดิน

SOV	df	SS	MS	F-test	F-test	
					0.05	0.01
Block	2	0.009	0.0046	1.347	19.47	99.48
Trt	31	0.368	0.0118	3.425	1.76	2.24
S	1	0.006	0.0061	1.779	252	6302
pH	3	0.312	0.1040	29.975	8.58	26.35
GM	3	0.014	0.0048	1.408	8.58	26.35
S*pH	3	0.005	0.0018	0.523	8.58	26.35
S*GM	3	0.002	0.0007	0.226	8.58	26.35
pH*GM	9	0.017	0.0019	0.564	2.80	4.51
S*pH*GM	9	0.010	0.0011	0.325	2.80	4.51
Error	62	0.215	0.0034			
Total	95	0.593				

CV = 23.93

LSD 0.05 = 0.096203 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=3$

LSD 0.05 = 0.068026 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=6$

**ภาคผนวกที่ 4** อิทธิพลของการปรับระดับ pH ต่อปริมาณการสะสม K (% น้ำหนักแห้ง)  
**ในปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด เมื่ออายุ 7 สัปดาห์ ในดินชุดบางปะกง (Bg) และรังสิต (Ra)**

Soil	pH	GM	Replication			Trt Total	Trt Avg
			1	2	3		
S1 (Bg)	control (3.8)	GM1	1.81	2.31	1.35	5.47	1.823333
		GM2	1.44	1.78	1.89	5.11	1.703333
		GM3	1.34	1.79	1.53	4.66	1.553333
		GM4	1.57	1.94	1.68	5.19	1.73
	4.5	GM1	1.7	1.5	2.61	5.81	1.936666
		GM2	1.53	2.76	1.98	6.27	2.09
		GM3	1.92	1.12	1.54	4.58	1.526666
		GM4	1.39	1.55	2.26	5.2	1.733333
	5.5	GM1	2.44	1.49	1.95	5.88	1.96
		GM2	2.05	1.82	1.47	5.34	1.78
		GM3	1.52	1.96	1.33	4.81	1.603333
		GM4	3.11	1.96	1.34	6.41	2.136666
	6.5	GM1	1.44	2.08	1.86	5.38	1.793333
		GM2	2.06	2.48	2.32	6.86	2.286666
		GM3	1.17	1.55	1.33	4.05	1.35
		GM4	2.63	1.81	1.94	6.38	2.126666
S2 (Ra)	control (4.0)	GM1	1.81	1.85	2.29	5.95	1.983333
		GM2	1.73	1.81	2.38	5.92	1.973333
		GM3	1.89	1.54	1.72	5.15	1.716666
		GM4	1.74	2.38	1.89	6.01	2.003333
	4.5	GM1	1.44	2.73	1.94	6.11	2.036666
		GM2	2.64	2.71	2.91	8.26	2.753333
		GM3	1.49	1.39	1.57	4.45	1.483333
		GM4	1.53	2.68	2.78	6.99	2.33
	5.5	GM1	1.72	1.88	2.13	5.73	1.91
		GM2	1.92	2.31	1.79	6.02	2.006666
		GM3	2.01	1.32	1.79	5.12	1.706666
		GM4	1.99	2.32	2.74	7.05	2.35
	6.5	GM1	1.85	1.94	2.66	6.45	2.15
		GM2	2.67	2.35	2.26	7.28	2.426666
		GM3	1.94	1.17	1.56	4.67	1.556666
		GM4	2.81	1.94	3.15	7.9	2.633333
Total			60.3	62.22	63.94	186.46	
Avg			1.884375	1.944375	1.998125	1.942291	1.942291

คำย่อ :

GM1 = *S. rostrata*

GM2 = *S. aculeata*

GM3 = *S. speciosa*

GM4 = *C. cajan*

ภาคผนวกที่ 4.1 ค่าวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณการสะสม K ในปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด (อายุ 7 สัปดาห์) เมื่อมีการปรับระดับ pH ที่แตกต่างกันของดินกรดจัดทั้งสองชุดดิน

SOV	df	SS	MS	F-test		
				0.05	0.01	
Block	2	0.21	0.10	0.602	19.47	99.48
Trt	31	10.25	0.33	1.893	1.76	2.24
S	1	1.42	1.42	8.144	252	6302
pH	3	0.70	0.23	1.336	8.58	26.35
GM	3	5.12	1.70	9.765	8.58	26.35
S*pH	3	0.15	0.05	0.300	8.58	26.35
S*GM	3	0.35	0.11	0.669	8.58	26.35
pH*GM	9	2.08	0.23	1.324	2.80	4.15
S*pH*GM	9	0.14	0.04	0.266	2.80	4.15
Error	62	10.83	0.17			
Total	95	21.30				

CV = 21.52

LSD 0.05 = 0.682706 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=3$

LSD 0.05 = 0.482746 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=6$

ภาคผนวกที่ 5 อิทธิพลของการปรับระดับ pH ต่อปริมาณการสะสม Ca (% น้ำหนักแห้ง)  
ในพืชพืชสด 4 ชนิด เมื่ออายุ 7 สัปดาห์ ในดินชุดบางปะกง (Bg) และรังสิต (Ra)

Soil	pH	GM	Replication			Trt Total	Trt Avg
			1	2	3		
S1 (Bg)	control (3.8)	GM1	0.12	0.09	0.16	0.37	0.123333
		GM2	0.38	0.28	0.16	0.82	0.273333
		GM3	0.07	0.09	0.12	0.28	0.093333
		GM4	0.35	0.21	0.14	0.7	0.233333
	4.5	GM1	0.28	0.41	0.37	1.06	0.353333
		GM2	1.08	0.71	0.54	2.33	0.776666
		GM3	0.14	0.28	0.41	0.83	0.276666
		GM4	0.47	0.52	0.83	1.82	0.606666
	5.5	GM1	0.58	0.45	0.49	1.52	0.506666
		GM2	1.3	0.65	0.96	2.91	0.97
		GM3	0.81	0.78	0.66	2.25	0.75
		GM4	0.81	1.08	1.88	3.77	1.256666
	6.5	GM1	0.66	0.69	0.78	2.13	0.71
		GM2	0.78	1.08	1.03	2.89	0.963333
		GM3	0.38	0.33	0.55	1.26	0.42
		GM4	1.84	1.94	2.47	6.25	2.083333
S2 (Ra)	control (4.0)	GM1	0.16	0.14	0.25	0.55	0.183333
		GM2	0.58	0.35	0.12	1.05	0.35
		GM3	0.14	0.12	0.29	0.55	0.183333
		GM4	0.69	0.35	0.2	1.24	0.413333
	4.5	GM1	0.54	0.62	0.83	1.99	0.663333
		GM2	1.88	0.94	1.03	3.85	1.283333
		GM3	0.78	0.62	0.41	1.81	0.603333
		GM4	1.03	0.69	1.08	2.8	0.933333
	5.5	GM1	1.08	1.3	0.91	3.29	1.096666
		GM2	1.03	1.88	1.27	4.18	1.393333
		GM3	0.78	1.3	0.92	3	1
		GM4	1.07	1.88	1.38	4.33	1.443333
	6.5	GM1	1.55	0.55	1.07	3.17	1.056666
		GM2	1.07	1.58	1.95	4.6	1.533333
		GM3	0.45	0.58	0.55	1.58	0.526666
		GM4	1.96	2.07	2.52	6.55	2.183333
Total			24.84	24.56	26.33	75.73	
Avg			0.77625	0.7675	0.822812	0.788854	0.788854

คำย่อ :

GM1 = *S. rostrata*

GM2 = *S. aculeata*

GM3 = *S. speciosa*

GM4 = *C. cajan*

ภาคผนวกที่ 5.1 ค่าวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณการสะสม Ca ในพืชพืชสด 4 ชนิด (อายุ 7 สัปดาห์) เมื่อมีการปรับระดับ pH ที่แตกต่างกันของดินกรดจัดทั้งสองชุดดิน

SOV	df	SS	MS	F-test		
				0.05	0.01	
Block	2	0.05	0.02	0.394	19.47	99.48
Trt	31	27.36	0.88	12.302	1.76	2.24
S	1	1.85	1.85	25.871	252	6302
pH	3	13.12	4.37	60.950	8.58	26.35
GM	3	6.84	2.28	31.798	8.58	26.35
S*pH	3	0.27	0.09	1.289	8.58	26.35
S*GM	3	0.17	0.05	0.818	8.58	26.35
pH*GM	9	4.83	0.53	7.494	2.80	4.15
S*pH*GM	9	0.25	0.02	0.388	2.80	4.15
Error	62	4.44	0.07			
Total	95	31.87				

CV = 33.95

LSD 0.05 = 0.437439 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=3$

LSD 0.05 = 0.309316 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=6$

**ภาคผนวกที่ 6** อิทธิพลของการปรับระดับ pH ต่อปริมาณการสะสม Mg (% น้ำหนักแห้ง)  
**ในปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด เมื่ออายุ 7 สัปดาห์ ในดินชุดบางปะกง (Bg) และรังสิต (Ra)**

Soil	pH	GM	Replication			Trt Total	Trt Avg
			1	2	3		
S1 (Bg)	control (3.8)	GM1	0.43	0.31	0.44	1.18	0.393333
		GM2	0.38	0.45	0.55	1.38	0.46
		GM3	0.13	0.25	0.38	0.76	0.253333
		GM4	0.3	0.38	0.45	1.13	0.376666
	4.5	GM1	0.92	0.45	0.45	1.82	0.606666
		GM2	0.33	0.69	0.66	1.68	0.56
		GM3	0.6	0.53	0.43	1.56	0.52
		GM4	0.84	0.69	0.49	2.02	0.673333
	5.5	GM1	0.84	0.66	1.07	2.57	0.856666
		GM2	0.92	1.37	0.55	2.84	0.946666
		GM3	0.79	0.45	0.43	1.67	0.556666
		GM4	1.03	1.07	1.38	3.48	1.16
	6.5	GM1	0.83	1.16	0.78	2.77	0.923333
		GM2	1.45	1.86	1.69	5	1.666666
		GM3	0.48	0.51	0.66	1.65	0.55
		GM4	1.27	0.78	1.62	3.67	1.223333
S2 (Ra)	control (4.0)	GM1	0.61	0.44	0.38	1.43	0.476666
		GM2	0.58	0.66	0.69	1.93	0.643333
		GM3	0.44	0.38	0.69	1.51	0.503333
		GM4	0.49	0.69	0.49	1.67	0.556666
	4.5	GM1	0.6	0.84	1.07	2.51	0.836666
		GM2	0.92	0.45	0.78	2.15	0.716666
		GM3	0.6	0.78	0.41	1.79	0.596666
		GM4	1.36	1.27	0.84	3.47	1.156666
	5.5	GM1	1.05	1.27	1.34	3.66	1.22
		GM2	0.83	0.78	1.45	3.06	1.02
		GM3	1.05	0.69	0.55	2.29	0.763333
		GM4	1.55	1.05	1.22	3.82	1.273333
	6.5	GM1	1.22	1.3	0.91	3.43	1.143333
		GM2	1.05	1.55	1.87	4.47	1.49
		GM3	0.84	0.6	0.58	2.02	0.673333
		GM4	1.22	1.92	1.98	5.12	1.706666
Total			25.95	26.28	27.28	79.51	
Avg			0.810937	0.82125	0.8525	0.828229	0.828229

คำย่อ :

GM1 = *S. rostrata*

GM2 = *S. aculeata*

GM3 = *S. speciosa*

GM4 = *C. cajan*

ภาคผนวกที่ 6.1 ค่าวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณการสะสม Mg ในปัสสาวะ 4 ชนิด (อายุ 7 สัปดาห์) เมื่อมีการปรับระดับ pH ที่แตกต่างกันของดินกรดจัดทั้งสองชุดดิน

SOV	df	SS	MS	F-test		
				0.05	0.01	
Block	2	0.02	0.01	0.270	19.47	99.48
Trt	31	13.43	0.43	7.812	1.76	2.24
S	1	0.87	0.87	15.716	252	6302
pH	3	6.98	2.32	41.976	8.58	26.35
GM	3	2.97	0.99	17.866	8.58	26.35
S*pH	3	0.01	0.00	0.114	8.58	26.35
S*GM	3	0.20	0.06	1.246	8.58	26.35
pH*GM	9	2.01	0.22	4.038	2.80	4.15
S*pH*GM	9	0.36	0.04	0.724	2.80	4.15
Error	62	3.44	0.05			
Total	95	16.91				

CV = 28.44

LSD 0.05 = 0.384675 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=3$

LSD 0.05 = 0.272007 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=6$

**ภาคผนวกที่ 7** อิทธิพลของการปรับระดับ pH ต่อปริมาณความเข้มข้นของ Al (มก/กก)  
**ในปฐพีชนิด 4 ชนิด เมื่ออายุ 7 สัปดาห์ ในดินชุดบางปะกง (Bg) และวังสิต (Ra)**

Soil	pH	GM	Replication			Trt Total	Trt Avg
			1	2	3		
S1 (Bg)	control (3.8)	GM1	175	185	186	546	182
		GM2	152	125	129	406	135.3333
		GM3	182	131	155	468	156
		GM4	188	178	153	519	173
	4.5	GM1	135	159	109	403	134.3333
		GM2	113	107	99	319	106.3333
		GM3	80	98	90	268	89.33333
		GM4	133	145	130	408	136
	5.5	GM1	78	102	117	297	99
		GM2	87	25	89	201	67
		GM3	78	40	25	143	47.66666
		GM4	71	89	80	240	80
	6.5	GM1	15	32	52	99	33
		GM2	35	62	43	140	46.66666
		GM3	15	11	36	62	20.66666
		GM4	30	53	67	150	50
S2 (Ra)	control (4.0)	GM1	128	131	158	417	139
		GM2	160	169	149	478	159.3333
		GM3	110	128	139	377	125.6666
		GM4	174	169	187	530	176.6666
	4.5	GM1	107	111	125	343	114.3333
		GM2	127	145	135	407	135.6666
		GM3	86	82	93	261	87
		GM4	124	115	102	341	113.6666
	5.5	GM1	50	42	69	161	53.66666
		GM2	73	115	64	252	84
		GM3	25	28	49	102	34
		GM4	95	21	134	250	83.33333
	6.5	GM1	85	45	32	162	54
		GM2	92	86	23	201	67
		GM3	42	52	66	160	53.33333
		GM4	120	69	110	299	99.66666
Total		3165	3050	3195	9410		
Avg		98.90625	95.3125	99.84375	98.02083	98.02083	

คำย่อ :

GM1 = *S. rostrata*

GM2 = *S. aculeata*

GM3 = *S. speciosa*

GM4 = *C. cajan*

ภาคผนวกที่ 7.1 ค่าวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความเข้มข้นของ Al ในปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด (อายุ 7 สัปดาห์) เมื่อมีการปรับระดับ pH ที่แตกต่างกันของดินกรดจัดทั้งสองชุดดิน

SOV	df	SS	MS	F-test		
				0.05	0.01	
Block	2	366.14	183.07	0.406	19.47	99.48
Trt	31	195382.60	6302.66	13.995	1.76	2.24
S	1	54.00	54.00	0.119	252	6302
pH	3	156266.70	52088.90	115.665	8.58	26.35
GM	3	17409.38	5803.12	12.886	8.58	26.35
S*pH	3	7111.91	2307.63	5.264	8.58	26.35
S*GM	3	6400.91	2133.63	4.737	8.58	26.35
pH*GM	9	3626.20	402.91	0.894	2.80	4.15
S*pH*GM	9	4513.50	501.50	1.113	2.80	4.15
Error	62	27921.19	450.34			
Total	95	223670				

CV = 21.64

LSD 0.05 = 34.65417 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=3$

LSD 0.05 = 24.5042 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=6$

**ภาคผนวกที่ 8** อิทธิพลของการปรับระดับ pH ต่อปริมาณความเข้มข้นของ Mn (มก/กก) ในปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด เมื่ออายุ 7 สัปดาห์ ในดินชุดบางปะกง (Bg) และรังสิต (Ra)

Soil	pH	GM	Replication			Trt Total	Trt Avg
			1	2	3		
S1 (Bg)	control (3.8)	GM1	227	209	259	695	231.6666
		GM2	173	167	230	570	190
		GM3	255	367	280	902	300.6666
		GM4	155	145	172	472	157.3333
	4.5	GM1	214	193	181	588	196
		GM2	136	185	141	462	154
		GM3	310	207	229	746	248.6666
		GM4	125	85	110	320	106.6666
	5.5	GM1	159	170	180	509	169.6666
		GM2	154	136	141	431	143.6666
		GM3	285	260	230	775	258.3333
		GM4	100	115	125	340	113.3333
	6.5	GM1	140	154	165	459	153
		GM2	92	67	37	196	65.333333
		GM3	164	145	173	482	160.6666
		GM4	105	115	141	361	120.3333
S2 (Ra)	control (4.0)	GM1	193	181	175	549	183
		GM2	141	171	155	467	155.6666
		GM3	261	251	218	730	243.3333
		GM4	155	135	115	405	135
	4.5	GM1	151	128	174	453	151
		GM2	129	143	155	427	142.3333
		GM3	187	244	280	711	237
		GM4	167	141	128	436	145.3333
	5.5	GM1	136	92	167	395	131.6666
		GM2	128	141	96	365	121.6666
		GM3	197	191	174	562	187.3333
		GM4	79	59	81	219	73
	6.5	GM1	136	141	128	405	135
		GM2	79	92	60	231	77
		GM3	166	143	179	488	162.6666
		GM4	54	36	77	167	55.66666
Total			5153	5009	5156	15318	
Avg			161.0312	156.5312	161.125	159.5625	159.5625

คำย่อ :

GM1 = *S. rostrata*

GM2 = *S. aculeata*

GM3 = *S. speciosa*

GM4 = *C. cajan*

ภาคผนวกที่ 8.1 ค่าวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความเข้มข้นของ Mn ในปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด (อายุ 7 สัปดาห์) เมื่อมีการปรับระดับ pH ที่แตกต่างกันของดินกรดจัดทั้งสองชุดดิน

SOV	df	SS	MS	F-test	F-test	F-test
					0.05	0.01
Block	2	441.18	220.59	0.341	19.47	99.48
Trt	31	312911.60	10093.92	15.631	1.76	2.24
S	1	17550.04	17550.04	27.177	252	6302
pH	3	89916.88	29972.29	46.414	8.58	26.35
GM	3	174914.40	58304.79	90.289	8.58	26.35
S*pH	3	5496.20	1832.06	2.837	8.58	26.35
S*GM	3	2129.70	709.90	1.099	8.58	26.35
pH*GM	9	11529.71	1281.07	1.983	2.80	4.15
S*pH*GM	9	11374.71	1263.85	1.957	2.80	4.15
Error	62	40036.81	645.75			
Total	95	353389.60				

CV = 15.92

LSD 0.05 = 41.49715 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=3$

LSD 0.05 = 29.34292 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=6$

**ภาคผนวกที่ 9** อิทธิพลของการปรับระดับ pH ต่อปริมาณความเข้มข้นของ Fe (มก/กก)  
 ในปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด เมื่ออายุ 7 สัปดาห์ ในดินชุดบางปะกง (Bg) และรังสิต (Ra)

Soil	pH	GM	Replication			Trt Total	Trt Avg
			1	2	3		
S1 (Bg)	control (3.8)	GM1	520	599	513	1632	544
		GM2	409	440	520	1369	456.3333
		GM3	670	548	657	1875	625
		GM4	282	245	193	720	240
	4.5	GM1	522	536	490	1548	516
		GM2	374	278	270	922	307.3333
		GM3	587	554	430	1571	523.6666
		GM4	166	155	114	435	145
	5.5	GM1	475	428	445	1348	449.3333
		GM2	269	253	214	736	245.3333
		GM3	377	204	246	827	275.6666
		GM4	115	171	118	404	134.6666
	6.5	GM1	145	193	115	453	151
		GM2	153	118	161	432	144
		GM3	190	205	137	532	177.3333
		GM4	118	63	92	273	91
S2 (Ra)	control (4.0)	GM1	564	409	475	1448	482.6666
		GM2	246	487	350	1083	361
		GM3	551	656	611	1818	606
		GM4	271	190	232	693	231
	4.5	GM1	447	466	321	1234	411.3333
		GM2	310	316	382	1008	336
		GM3	450	444	477	1371	457
		GM4	150	160	163	473	157.6666
	5.5	GM1	267	314	297	878	292.6666
		GM2	267	204	161	632	210.6666
		GM3	193	158	288	639	213
		GM4	156	162	135	453	151
	6.5	GM1	149	211	136	496	165.3333
		GM2	90	102	153	345	115
		GM3	177	135	148	460	153.3333
		GM4	81	71	58	210	70
Total			9741	9475	9102	28318	
Avg			304.4062	296.0937	284.4375	294.9791	294.9791

คำย่อ :

GM1 = *S. rostrata*

GM2 = *S. aculeata*

GM3 = *S. speciosa*

GM4 = *C. cajan*

ภาคผนวกที่ 9.1 ค่าวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความเข้มข้นของ Fe ในปุ๋ยพืชสด 4 ชนิด (อายุ 7 สัปดาห์) เมื่อมีการปรับระดับ pH ที่แตกต่างกันของดินกรดจัดทั้งสองชุดดิน

SOV	df	SS	MS	F-test		
				0.05	0.01	
Block	2	6439.64	3219.82	1.253	19.47	99.48
Trt	31	2490890.00	80351.29	31.277	1.76	2.24
S	1	35113.50	35113.50	13.668	252	6302
pH	3	1302287.00	434095.80	168.976	8.58	26.35
GM	3	828224.50	276074.80	107.465	8.58	26.35
S*pH	3	6529.25	2176.41	0.847	8.58	26.35
S*GM	3	18045.00	6015.00	2.341	8.58	26.35
pH*GM	9	267861.80	29762.42	11.585	2.80	4.15
S*pH*GM	9	32828.58	3647.62	1.419	2.80	4.15
Error	62	159276.40	2568.97			
Total	95	2656606				

CV = 17.18

LSD 0.05 = 82.76833 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=3$

LSD 0.05 = 58.52604 when  $t_{0.05} = 2.00$ ;  $r=6$