ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอสฟอรัสของดินบนที่สูงใน จ.เชียงใหม่ และ จ.เชียงราย

ผลของไอโซเทอร์มการดูดฟอสฟอรัสจากดิน 4 แหล่งได้แก่ ดินแม่สาใหม่ ดินแม่สะลอง ดินแม่แฮ้ง และดินดอยตุง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินที่มีลักษณะร่วนเหนียวเกิดจากการผุพังของหินแกรนิต มีปริมาณออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัมสูง และความเป็นกรด-ด่างของดินต่ำประมาณ 5 ดังปรากฏข้อมูลในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่า ดินแต่ละชนิดมีปริมาณแร่ธาตุที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปฏิกริยาการดูดซับฟอสฟอรัสในดิน คือปริมาณเหล็กและอลูมินัมออกไซด์ อนุมูล เหล็กและอลูมินัม และแคลเซียม โดยส่วนใหญ่ดินแม่สะลองจะมีปริมาณแร่ธาตุเหล่านี้มากที่สุด ในขณะที่ดินดอยตุงและดินแม่แฮ้งจะมีปริมาณพอ ๆ กัน สำหรับดินแม่สาใหม่จะมีปริมาณค่อนข้างต่ำกว่าดินอื่น ๆ เมื่อนำดินเหล่านี้มาศึกษาไอโซเทอร์มการดูดฟอสฟอรัสตามสมการของแลงเมียร์และฟลอยดลิชแล้ว ปรากฏผลดังที่แสดงไว้ภาพที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ทฤษฎีของแลงเมียร์ใช้อธิบายผลได้ในช่วงความเข้มข้นของ c ต่ำระหว่าง 0-1.50 ug/ml. ลักษณะของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง c/x กับ c ในภาพที่ 4 เป็นเส้นตรงเหมือนกับสมการแลงเมียร์ ในขณะที่ความเข้มข้นของ c เกิน 1.50 ug/ml ผลการทดลองจะเบี่ยงเบนออกไปจากเส้นตรง

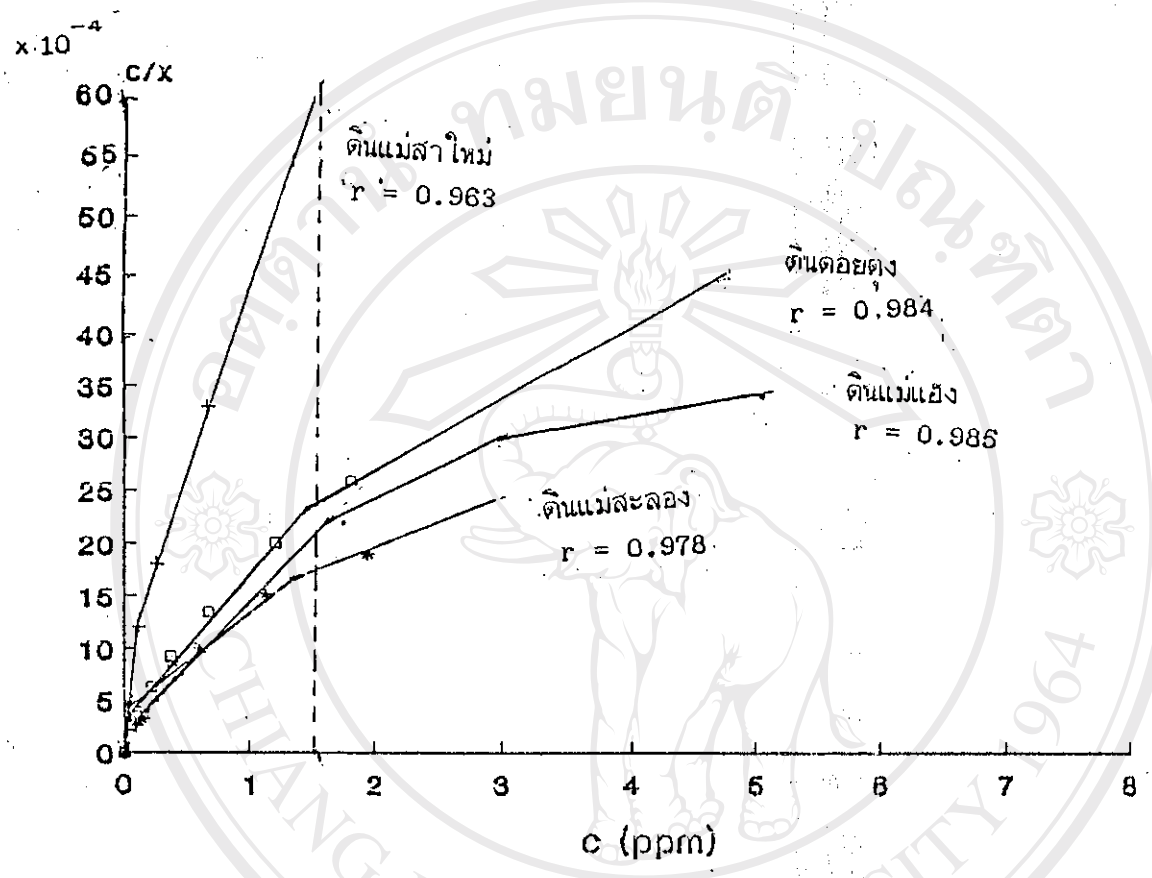
สำหรับการทดลองสร้างกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับฟอสฟอรัสตามทฤษฎีของฟลอยดลิช ดังที่ปรากฏในภาพที่ 5 ซึ่งได้กราฟสอดคล้องกับสมการฟรอยดลิชทุกระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดิน โดยไม่มีการยกเว้นว่าจะเป็นดินประเภทใด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2 ลักษณะสมบัติดิน 4 ชนิดที่ใช้ในการทดลอง

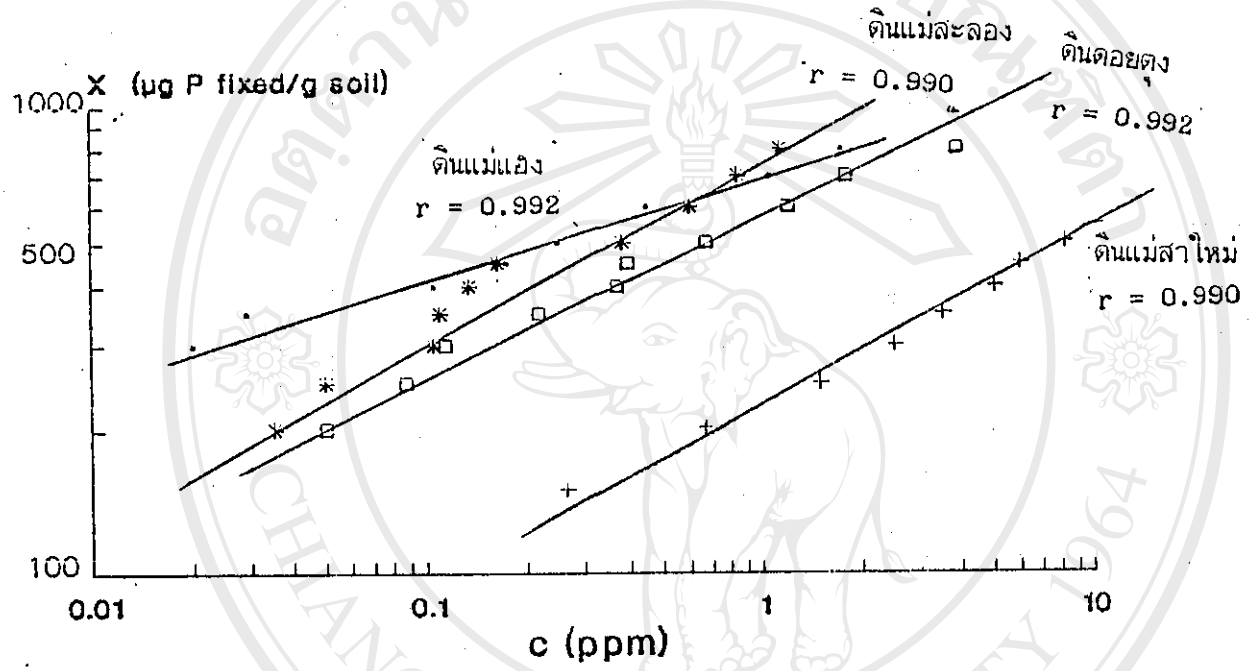
สมบัติดิน	ชนิดดิน			
	แม่สาใหม่	แม่สะลอง	แม่แฮ้ง	ดอยตุง
ความเป็นกรด – ด่าง	5.5	5.1	5.0	5.1
อินทรียวัตถุ (%)	2.9	6.7	4.0	3.9
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.12	0.30	0.13	0.15
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (ppm)	199.0	991.0	458.0	779.0
ฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (ppm)	7.2	12.4	13.2	1.1
โปตัสเซียมที่สกัดได้ (ppm)	104.0	289.0	212.0	108.0
แคลเซียมที่สกัดได้ (ppm)	261.0	442.0	149.0	312.0
แมกนีเซียมที่สกัดได้ (ppm)	111.0	152.0	72.0	154.0
เหล็กออกไซด์อิสระ (ppm)	5,481	60,584	23,389	29,961
เหล็กที่สกัดได้ (ppm)	45.0	43.0	85.0	58.0
อลูมินัมออกไซด์ (ppm)	2,191	9,582	6,665	5,789
อลูมินัมที่สกัดได้ (ppm)	20.0	36.0	104.0	25.0
เนื้อดิน	clay loam	clay loam	clay	clay loam
% clay	38.0	37.0	39.0	40.0
% silt	34.0	35.0	32.0	21.0
% sand	28.0	28.0	29.0	39.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4 ไอโซเทอร์มการดูดฟอสฟอรัสตามสมการแลงเมียร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 5 ไอโซเทอร์มการดูดฟอสฟอรัสตามสมการฟลอยดลิช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างไรก็ตาม จากลักษณะไอโซเทอร์มการดูดฟอสฟอรัสพอสรุปได้ว่า ดินแต่ละชนิดมีความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ดินแม่สะลองมีความสามารถในการดูดตรึงฟอสฟอรัสได้สูงสุด รองลงมาได้แก่ ดินแม่แฮ้ง ดินดอยตุง และดินแม่สาใหม่ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากว่า ดินแต่ละชนิดประกอบด้วยปริมาณแร่ธาตุที่มีอิทธิพลต่อการดูดตรึงฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันดังที่ได้กล่าวมา ในดินแม่สะลองจะมีปริมาณสูงสุดแต่ดินแม่สาใหม่มีปริมาณต่ำสุด ในขณะที่ดินแม่แฮ้งและดอยตุงโดยส่วนใหญ่จะมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นปริมาณอนุมูลอลูมินัมและเหล็กในดินแม่แฮ้งจะมีปริมาณมากกว่าดินดอยตุงและดินอื่น ๆ อย่างชัดเจน และด้วยเหตุนี้จะเห็นว่าในช่วงต้นของไอโซเทอร์มการดูดฟอสฟอรัส ดินแม่แฮ้งจะดูดตรึงฟอสฟอรัสได้มากกว่าดินแม่สะลองทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าปริมาณอลูมินัมและเหล็กที่สกัดได้ในดินแม่แฮ้งมีปริมาณมากทำให้เกิดปฏิกริยาตรึงฟอสฟอรัสได้ดีและเร็ว อย่างไรก็ดีปริมาณของเหล็กและอลูมินัมออกไซด์ของดินแม่แฮ้งต่ำกว่าดินแม่สะลอง ทำให้ลักษณะในการดูดตรึงฟอสฟอรัสในช่วงหลังปฏิกริยาการดูดซับฟอสฟอรัสเกิดขึ้นน้อยกว่าเดิม และต่ำกว่าแม่สะลอง ซึ่งกลุ่มของสารประกอบออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัมอาจจะอยู่ในรูปที่เป็นผลึกหรืออสัณฐาน ที่มีความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสสูงโดยเกิดปฏิกริยาดูดซับแบบลิแกนด์ (Sanchez, 1976., Sanchez and Uehara, 1980)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. อิทธิพลของความเป็นกรด-ด่างและการเติมฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณและสัดส่วนอนินทรีย์ฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ

นำตัวอย่างดิน แม่สะลอง แม่แฮ้ง ดอยตุง และดินแม่สาใหม่ มาปรับความเป็นกรด-ด่างให้ได้ระดับ 4.5,5.5,6.5 และ7.5 ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการเติมฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 ปริมาณ 0,15,40 ug/g ทำการบ่มไว้ 45 วัน ผลสืบเนื่องมาจากอิทธิพลของความเป็นกรด-ด่าง และการเติมฟอสฟอรัส ปรากฏดังต่อไปนี้

2.1 อิทธิพลของความเป็นกรด-ด่าง ต่อปริมาณฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ

กล่าวโดยทั่วไปปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ในดินที่นำมาทดลองทั้ง 4 ชนิดมีปริมาณแตกต่างกันออกไป (ตารางที่ 3) เมื่อพิจารณาสัดส่วนฟอสฟอรัสที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 5.5 เป็นบรรทัดฐาน เนื่องจากความเป็นกรด-ด่างของดินระดับนี้มีความใกล้เคียงกับความเป็นกรด-ด่างดั้งเดิมในดินทั้ง 4 ชนิด พบว่าดินแม่สะลองจะให้ปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ค่อนข้างสูงกว่าดินอื่น ๆ โดยเฉพาะในกรณีของ Reductant soluble iron phosphate (290 ppm) Ca-P (104 ppm) และ Al-P (84 ppm) ส่วนในกรณีของ Fe-P (37 ppm) มีปริมาณใกล้เคียงกับดินดอยตุง รองลงมาคือ ดินแม่แฮ้งจะมีปริมาณ Reductant soluble iron phosphate (80 ppm) Ca-P (39 ppm) และ Al-P (25 ppm) ในขณะที่ Fe-P มีสูงถึง 58 ppm ดินดอยตุงจะมีปริมาณ Reductant soluble iron phosphate ใกล้เคียงกับดินแม่แฮ้งประมาณ 68 ppm แต่ในกรณีของ Ca-P และ Al-P มีปริมาณลดลงไปอย่างมาก คือมีประมาณ 15 และ 4 ppm ตามลำดับ สำหรับดินแม่สาใหม่ พบว่ามีปริมาณ Reductant soluble iron phosphate ใกล้เคียงดินดอยตุงคือประมาณ 70 ppm Ca-P ประมาณ 12 ppm Al-P และ Fe-P ประมาณ 11 และ 21 ppm ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3 ผลกระทบของความเป็นกรด-ด่างต่อปริมาณฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ในดิน 4 ชนิด

ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัส			
	Ca-P (ppm)	Al-P (ppm)	Fe-P (ppm)	Reductant soluble-Fe-P (ppm)
			ดินแม่สาใหม่	
4.5	12.4	12.9	23.9	51.2
5.5	12.1	11.5	21.1	70.3
6.5	12.9	11.7	23.9	62.8
7.5	13.1	10.8	24.3	55.8
			ดินแม่สะลอง	
4.5	98.9	86.1	40.9	313.0
5.5	104.2	83.8	37.0	296.0
6.5	109.4	66.9	35.2	286.0
7.5	106.6	66.3	28.5	268.0
			ดินแม่แฮ้ง	
4.5	34.1	28.5	64.1	88.1
5.5	39.2	27.2	58.2	79.3
6.5	38.9	25.4	58.4	77.9
7.5	48.2	24.3	57.1	72.5
			ดินดอยตุง	
4.5	14.5	6.5	43.1	72.1
5.5	14.7	4.0	39.0	68.5
6.5	14.9	3.9	36.5	73.6
7.5	22.5	3.8	31.2	96.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การปรับความเป็นกรด-ด่างของดินจากเดิม ประมาณ 5.0 ยกเว้นดินแม่สาใหม่ที่มีประมาณ 5.5 ไปอยู่ที่ระดับ 4.5,5.5,6.5 และ 7.5 ตามลำดับนั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสในรูป Ca-P มีปริมาณเพิ่มขึ้นโดยทั่วไปตามระดับความเป็นกรด-ด่าง ที่เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่มากนัก ยกตัวอย่างเช่นดินดอยตุงจะมีปริมาณ Ca-P เพิ่มขึ้นจาก 14.5 ppm เป็น 14.7,14.9 และ 22.5 ppm ตามระดับความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้น

สำหรับกรณีของปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปอื่น ได้แก่ Al-P,Fe-P และ Reductant soluble iron phosphate แสดงแนวโน้มลดลงโดยทั่วไปตามระดับความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้น ปริมาณการลดลงที่เห็นเด่นชัด ได้แก่ Fe-P ในดินแม่สะลองที่ลดลงจาก 40.9 ppm ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5 เป็น 37.0,35.2 และ 28.5 ppm เมื่อความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเป็น 5.5,6.5 และ 7.5 ตามลำดับ หรืออย่างในกรณีของ Reductant soluble iron phosphate ในดินแม่สะลองเช่นกันลดลงจากปริมาณ 313.0 ppm เป็น 296.0,286.0 และ 268.0 ppm ตามลำดับ สำหรับกรณีของดินอื่น ๆ ปริมาณที่ลดลงของสัดส่วนฟอสฟอรัสจะมากหรือน้อยเป็นไปตามลักษณะสมบัติทางเคมีดั้งเดิมของดิน

2.2 ผลของการเติมฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ

การเพิ่มเติมฟอสฟอรัสให้กับดินแม่สาใหม่ แม่สะลอง แม่แฮ่งและดินดอยตุงมีผลต่อการเพิ่มปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสในรูปต่าง ๆ ดังปรากฏอยู่ในตารางที่ 4,5,6 และ 7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.1 ดินแม่สาใหม่ จากข้อมูลในตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าการใส่ฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 ทำให้ปริมาณ Ca-P เพิ่มขึ้นทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างที่ใช้ในการทดลอง ยกตัวอย่างเช่น ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5 จะมีปริมาณ Ca-P 12.4 ppm ที่ระดับ การเติมฟอสฟอรัส 0 ug/g ในขณะที่ระดับ 15 และ 40 ug/g ปริมาณ Ca-P ที่สกัดได้จะเป็น 14.3 และ 16.3 ppm ตามลำดับ อิทธิพลดังกล่าวยังคงแสดงให้เห็นเด่นชัดที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 7.5 Ca-P เพิ่มจาก 13.1 ppm ไปเป็น 15.5 และ 17.2 ppm ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงที่เห็นเด่นชัดเกิดขึ้นกับ Al-P ในดินแม่สาใหม่ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5 จะเพิ่มจาก 12.9 ppm ที่ระดับการเติมฟอสฟอรัส 0 ug/g ไปเป็น 21.25 และ 37.1 ppm ตามลำดับ และที่ความเป็นกรด-ด่าง 7.5 Al-P เพิ่มขึ้นจาก 10.8 ppm เป็น 16.6 และ 30.9 ppm

ส่วนในกรณี Fe-P ปริมาณเพิ่มขึ้นจะเด่นชัดที่ความเป็นกรด-ด่าง 4.5 และ 5.5 เมื่อความเป็นกรด-ด่างมากขึ้น คือ 6.5 และ 7.5 อิทธิพลดังกล่าวจะลดน้อยลง จนเกือบมองไม่เห็นความแตกต่าง กรณีนี้เกิดขึ้นกับดินแม่สะลองเช่นกัน ทำนองเดียวกันการเพิ่มขึ้นของ Reductant soluble iron phosphate จะเห็นเด่นชัดเมื่อความเป็นกรด-ด่างต่ำคือที่ระดับ 4.5 และ 5.5 ผลดังกล่าวเป็นไปทำนองเดียวกับในดินแม่สะลองและดินดอยตุง

2.2.2 ดินแม่สะลอง จากข้อมูลในตารางที่ 5 แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของ Ca-P เมื่อมีการเพิ่มเติมปริมาณฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 เช่นเดียวกันกับที่เกิดขึ้นในดินแม่สาใหม่ ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5 จะมีปริมาณ Ca-P 98.9 ppm ในตำรับการเติมฟอสฟอรัส 0 ug/g ปริมาณ Ca-P เพิ่มขึ้นเป็น 103.4 และ 121.1 ppm ที่ระดับ 15 และ 40 ug/g ตามลำดับ ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 7.5 ปริมาณ Ca-P จะเพิ่มขึ้นจาก 106.6 ppm เป็น 112.1 และ 121.6 ppm การเพิ่มขึ้นของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4 ผลของการเติมฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 ที่มีต่อปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ในดินแม่สาใหม่

ความเป็นกรด-ด่าง	ระดับฟอสฟอรัส ug/g	ปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ			
		Ca-P (ppm)	Al-P (ppm)	Fe-P (ppm)	Reductant soluble-Fe-P (ppm)
4.5	0	12.4	12.9	23.9	51.2
	15	14.3	21.3	30.0	70.6
	40	16.3	37.1	36.2	106.3
5.5	0	12.1	11.5	21.0	70.3
	15	13.1	18.4	29.7	85.2
	40	14.3	30.8	36.2	96.2
6.5	0	12.9	11.7	23.9	62.8
	15	14.5	17.9	26.5	95.8
	40	16.6	32.8	27.1	94.6
7.5	0	13.1	10.8	24.3	67.7
	15	15.5	16.6	24.9	67.7
	40	17.2	30.9	25.0	67.8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 5 ผลของการเติมฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 ที่มีต่อปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ในดินแม่สะลอง

ความเป็นกรด-ด่าง	ระดับฟอสฟอรัส ug/g	ปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ			
		Ca-P (ppm)	Al-P (ppm)	Fe-P (ppm)	Reductant soluble-Fe-P (ppm)
4.5	0	98.9	86.1	40.9	313.0
	15	103.4	88.0	43.6	338.0
	40	121.0	98.5	44.6	347.0
5.5	0	104.2	83.8	37.0	296.0
	15	106.5	76.9	41.8	329.0
	40	112.3	92.7	42.1	330.0
6.5	0	109.4	66.8	35.2	286.0
	15	107.6	72.6	37.3	328.0
	40	117.7	89.3	37.6	333.0
7.5	0	106.5	66.3	28.5	268.0
	15	112.0	67.2	26.9	320.0
	40	121.6	77.0	31.8	272.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Al-P ปรากฏเด่นชัดเมื่อมีการเพิ่มเติมฟอสฟอรัสจาก 15 ug/g ไปสู่ 40 ug/g ในขณะที่การเพิ่มของ Al-P จากระดับการเติมฟอสฟอรัส 0 ug/g ไปสู่ 15 ug/g ค่อนข้างไม่เห็นเด่นชัด

2.2.3 ดินแม่แฮ้ง ในกรณีดินแฮ้งปริมาณการเพิ่มของ Ca-P ตามปริมาณการเพิ่มเติมฟอสฟอรัสไม่เด่นชัด (ตารางที่ 6) ข้อมูลดังกล่าวจะแตกต่างไปจากดินแม่สาใหม่ แม่สะลอง และดินดอยตุง ในขณะที่ Al-P มีปริมาณการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ยกตัวอย่างเช่นที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5 ปริมาณ Al-P เพิ่มจาก 28.5 ppm ที่ระดับ การเติมฟอสฟอรัส 0 ug/g เป็น 34.3 และ 38.8 ที่ระดับ 15 และ 40 ug/g ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของ Al-P เกิดทุกระดับความเป็นกรด-ด่าง อิทธิพลของ KH_2PO_4 ที่เพิ่มให้กับดินแม่แฮ้งยังคงมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ Al-P แม้ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 7.5 คือเพิ่มจาก 24.3 ppm ที่ระดับการเติมฟอสฟอรัส 0 ug/g เป็น 28.9 และ 36.5 ppm ในระดับ 15 และ 40 ug/g ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงในเรื่องของปริมาณ Fe-P ปรากฏให้เห็นเช่นเดียวกันกับกรณีที่เกิดขึ้นกับดิน แม่สาใหม่ แม่สะลอง และดินดอยตุง ยกเว้นที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 7.5 ปริมาณการเพิ่มขึ้นของ Fe-P ไม่เด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับดินอื่น สำหรับปริมาณ Reductant soluble iron phosphate มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระดับความเป็นกรด-ด่างแต่ไม่มากนัก

2.2.4 ดินดอยตุง ปริมาณ Ca-P เพิ่มขึ้นทุกระดับความเป็นกรด-ด่าง (ตารางที่ 7) ยกตัวอย่างเช่น ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5 ปริมาณ Ca-P ประมาณ 14.5 ppm ที่ระดับการเติมฟอสฟอรัส 0 ug/g เพิ่มเป็น 17.1 และ 22.7 ppm ที่ระดับ 15 และ 40 ug/g ตามลำดับ และที่ความเป็นกรด-ด่าง 7.5 ปริมาณ Ca-P เพิ่มขึ้นจาก 22.5 ppm ที่ระดับการเติมฟอสฟอรัส 0 ug/g เป็น 26.8 และ 36.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 6 ผลของการเติมฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 ที่มีต่อปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ในดินแม่แฮ้ง

ความเป็นกรด-ด่าง	ระดับฟอสฟอรัส ug/g	ปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ			
		Ca-P (ppm)	Al-P (ppm)	Fe-P (ppm)	Reductant soluble-Fe-P (ppm)
4.5	0	34.1	28.5	64.1	88.1
	15	37.4	34.3	69.6	95.5
	40	39.4	38.8	84.6	97.2
5.5	0	39.2	27.2	58.2	79.2
	15	50.8	32.4	65.7	88.7
	40	51.2	38.4	71.2	95.1
6.5	0	38.9	25.4	58.4	77.9
	15	40.5	27.0	67.0	72.0
	40	43.9	38.5	71.2	88.1
7.5	0	48.2	24.3	57.1	72.5
	15	52.0	28.9	57.7	74.0
	40	53.6	36.5	63.6	85.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 7 ผลของการเติมฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 ที่มีต่อปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ในดินดอยตุง

ความเป็นกรด-ด่าง	ระดับฟอสฟอรัส ug/g	ปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ			
		Ca-P (ppm)	Al-P (ppm)	Fe-P (ppm)	Reductant soluble-Fe-P (ppm)
4.5	0	14.5	6.5	43.1	72.1
	15	17.1	9.3	48.3	99.7
	40	22.7	14.9	64.0	99.7
5.5	0	14.7	4.0	39.0	68.5
	15	17.8	6.0	38.3	87.0
	40	21.5	10.3	52.4	96.1
6.5	0	14.8	6.0	36.5	73.6
	15	17.6	5.8	48.0	96.7
	40	22.4	9.5	49.1	97.4
7.5	0	22.5	3.9	31.2	95.1
	15	26.8	5.2	44.0	93.7
	40	36.2	10.0	46.9	98.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ppm ที่ระดับ 15 และ 40 ug/g การเพิ่มขึ้นของ Al-P เป็นไปทำนองเดียวกันกับดินทั้ง 3 ที่กล่าวมาแล้ว ส่วน Fe-P จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นมาก ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5 และ 5.5 หลังจากนั้น การเพิ่มขึ้นลดน้อยลง ปริมาณการเพิ่มขึ้นของ Reductant soluble iron phosphate ค่อนข้างจะน้อยกว่าดินแม่สาใหม่ แม่สะลอง แต่ใกล้เคียงกับดิน แม่แฮ้ง

2.3 ปริมาณผลรวมของสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ

การปรับความเป็นกรด-ด่างของดิน จาก 4.5 ไปเป็น 5.5,6.5 และ 7.5 ตามลำดับ มีผลกระทบต่อปริมาณรวมของสัดส่วนฟอสฟอรัส โดยทำให้ปริมาณผลรวมสัดส่วนฟอสฟอรัสลดลง แม้ว่าปริมาณ Ca-P เพิ่มขึ้นตามระดับความเป็นกรด-ด่างก็ตาม แต่ปริมาณที่เพิ่มขึ้นน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับฟอสฟอรัสรูปอื่น ๆ ที่ลดลง ได้แก่ Al-P, Fe-P และ Reductant soluble iron phosphate จึงทำให้ปริมาณผลรวมของสัดส่วนฟอสฟอรัสลดลง ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 8

การเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 ให้กับดิน 4 ชนิด นอกจากจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ดังที่ได้อธิบายในข้อ 2.2 ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลรวมของสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ปริมาณผลรวมของสัดส่วนฟอสฟอรัสจะเพิ่มขึ้นจากเดิมตามระดับฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นให้ ดังกรณีที่ความเป็นกรด-ด่าง 5.5 ดินแม่สาใหม่จะมีปริมาณผลรวมสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ เพิ่มจาก 115 ppm ที่ระดับการเติมฟอสฟอรัส 0 ug/g ไปเป็น 146 และ 177 ppm ที่ระดับ 15 และ 40 ug/g ตามลำดับ ดินแม่สะลองเพิ่มจาก 521 ppm ไปเป็น 554 และ 557 ppm ดินแม่แฮ้งเพิ่มจาก 204 ppm ไปเป็น 238 และ 256 ppm ในขณะที่ดินดอยดุง เพิ่มจาก 126 ppm ไปเป็น 149 และ 180 ppm ตามลำดับ อย่างไรก็ดี ระดับความเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 8 ผลของความเป็นกรด-ด่างและการเติมฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 ต่อผลรวมของปริมาณฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ในดิน แม่สาใหม่ แม่สะลอง แม่แฮ้ง และดินดอยตุง

ความเป็นกรด-ด่าง	ระดับการเติมฟอสฟอรัส (ug/g) 0	15	40	Total-P (ppm)
	ปริมาณผลรวมของฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ (ppm)			
		ดินแม่สาใหม่		199
4.5	100	136	196	
5.5	115	147	178	
6.5	111	155	171	
7.5	104	116	161	
		ดินแม่สะลอง		991
4.5	539	573	611	
5.5	521	554	577	
6.5	498	546	578	
7.5	469	526	502	
		ดินแม่แฮ้ง		458
4.5	215	237	260	
5.5	204	238	256	
6.5	201	207	242	
7.5	202	213	239	
		ดินดอยตุง		779
4.5	136	174	201	
5.5	126	149	180	
6.5	131	168	179	
7.5	153	170	191	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรด-ด่างที่เปลี่ยนแปลงจาก 4.5 ไปเป็น 5.5,6.5 และ 7.5 ตามลำดับ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ และอาจทำให้ปริมาณผลรวมของสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ในดินทั้ง 4 ชนิดลดลงเป็นส่วนใหญ่ ตามเหตุผลที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น

มีข้อน่าสังเกต คือ ผลต่างของสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้นจากเดิมมีมากกว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ใส่ให้กับดินแต่ละชนิด เป็นไปได้ที่สารประกอบ KH_2PO_4 เมื่อใส่ให้ดินแล้ว อาจจะทำปฏิกริยากับดินในลักษณะการเข้าแทนที่ฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ที่มีอยู่เดิม โดยอิทธิพลของอนุมูลโปตัสเซียมเกิดปฏิกริยาเข้าแทนที่อนุมูลบวก (Ionic substitution) ในโครงสร้างของแร่ที่มีอยู่ในดิน (Bohn et al.1979) อาจเป็นเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากต่อรูปต่าง ๆ ของฟอสฟอรัสในดิน

3. อิทธิพลของความเป็นกรด-ด่างและการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในรูป $Ca(H_2PO_4)_2$ ต่อน้ำหนักแห้งและปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสของข้าวโพด

ความเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ปลูกในกระถางบรรจุดิน 5 กิโลกรัมในดินที่ปรับระดับความเป็นกรด-ด่างต่างกันคือ 4.5,5.5,6.5 และ 7.5 และมีปริมาณการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในรูป $Ca(H_2PO_4)_2$ 3 ระดับคือ 0,15 และ 40 ug/g ให้ผลปรากฏผลอยู่ในตารางที่ 9

3.1 น้ำหนักแห้งของข้าวโพด จากข้อมูลในตารางที่ 9 พบว่า ปริมาณความเจริญเติบโตของข้าวโพดจะเพิ่มขึ้นจากระดับความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกรดจัด 4.5 ไปสู่ระดับที่เป็นกรดเจือจาง 5.5 อย่างชัดเจนในดินที่นำมาศึกษาทุกประเภท ปริมาณการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 9 ผลกระทบของความเป็นกรด-ด่าง และการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตต่อน้ำหนักแห้งและปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสของข้าวโพดที่ปลูกในกระถางที่บรรจุดิน 5 กิโลกรัม

ความเป็นกรด-ด่าง	ระดับฟอสฟอรัส (ug/g)	น้ำหนักแห้งของข้าวโพด (กรัมต่อกระถาง)				การสะสมฟอสฟอรัสของข้าวโพด (มิลลิกรัมต่อกระถาง)			
		แม่สาใหม่	แม่สะลอง	แม่แฮ้ง	ดอยตุง	แม่สาใหม่	แม่สะลอง	แม่แฮ้ง	ดอยตุง
4.5	0	7.4	7.0	2.2	1.3	10.7	14.9	1.9	1.8
	15	17.0	17.0	8.7	6.7	17.2	22.7	7.9	8.3
	40	25.8	20.2	13.7	12.3	17.7	24.8	13.5	8.3
	เฉลี่ย	16.7	14.7	8.2	6.8	15.2	20.8	7.8	6.1
5.5	0	11.5	10.9	15.5	1.6	9.4	10.5	9.0	2.2
	15	21.3	21.8	21.3	8.3	19.4	40.2	18.7	9.2
	40	26.4	22.7	25.7	23.6	27.8	28.9	22.4	24.1
	เฉลี่ย	19.7	18.5	20.9	11.1	18.9	26.5	16.7	11.8
6.5	0	10.1	13.7	8.8	1.5	11.7	15.0	12.6	2.2
	15	21.0	23.0	16.4	7.4	21.2	32.4	14.6	7.8
	40	28.1	28.0	17.7	11.0	28.7	32.3	14.3	15.7
	เฉลี่ย	19.7	21.6	14.3	6.6	20.5	26.6	13.8	8.6
7.5	0	5.2	9.4	2.7	0.2	4.4	13.6	2.4	0.2
	15	15.3	18.7	4.5	0.4	12.4	25.4	12.2	0.6
	40	19.0	19.9	4.6	0.7	14.3	29.3	15.4	0.6
	เฉลี่ย	13.2	16.0	3.9	0.4	10.4	22.8	10.0	0.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เจริญเติบโตนี้จะคงอยู่ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างใกล้เป็นกลางคือ 6.5 ในดินแม่สาใหม่ และ แม่สะลอง ส่วนข้าวโพดที่ปลูกในดินแม่แฮ้งและดอยตุง แสดงอัตราการเจริญเติบโตลดลงและลดลงอย่างมากในดินดอยตุง ปริมาณค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของข้าวโพดที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5 ในดินแม่สาใหม่ แม่สะลอง แม่แฮ้ง และดอยตุง 16.7, 14.7 8.2 และ 6.8 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ในขณะที่ความเป็นกรด-ด่าง 5.5 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของข้าวโพด 19.7,18.5,20.9 และ 11.1 กรัมต่อกระถาง สำหรับที่ความเป็นกรด-ด่าง 6.5 นั้นค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของข้าวโพดในดินแม่สาใหม่และแม่สะลองจะมีน้ำหนักแห้งของข้าวโพด 19.7 และ 21.6 กรัมต่อกระถาง ในขณะที่ดินแม่แฮ้งและดอยตุงมีเพียง 14.3 และ 6.6 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ เมื่อระดับความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเป็น 7.5 ปริมาณการเจริญเติบโตของข้าวโพดลดลงทั้ง 4 ดินและลดลงอย่างมากในดิน แม่แฮ้ง และ ดอยตุง ปริมาณน้ำหนักแห้งที่ได้รับคือ 13.2,16.0,3.9 และ 0.4 กรัมต่อกระถาง ในดินแม่สาใหม่ แม่สะลอง แม่แฮ้ง และดอยตุง ตามลำดับ การที่ปริมาณการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5 น้อยกว่า 5.5 น่าจะสืบเนื่องมาจากความเป็นพิษของเหล็ก อลูมินัมและแมงกานีส ที่มีอยู่ในดินที่ระดับความเป็นกรด-ด่างต่างกันธาตุเหล่านี้สามารถละลายน้ำได้ดี อย่างไรก็ดี ดินแม่แฮ้ง ถึงแม้จะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงที่สุดแต่เมื่อพิจารณาปริมาณ อลูมินัมและเหล็กที่เป็นประโยชน์จะมีมากกว่าดินอื่น ๆ จึงมีเหตุผลว่าทำไมข้าวโพดที่ปลูกในดินแม่แฮ้งที่ความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกรดจัดจะมีค่าเฉลี่ยผลผลิตต่ำกว่าดินแม่สาใหม่ และดินแม่สะลอง สำหรับดินดอยตุงมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งต่ำสุด อาจจะสืบเนื่องมาจากปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้เพียง 1.1 ppm เมื่อความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเป็น 5.5 ความเป็นพิษของสารเหล่านั้นลดน้อยลง ทำให้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้งในดินแม่แฮ้งเพิ่มขึ้นมาใกล้เคียงกับดินแม่สาใหม่ และแม่สะลอง ปัญหาการขาดฟอสฟอรัสในดินดอยตุงมองเห็นอย่างเด่นชัดถ้าหากมีการเพิ่มเติมฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอ ดินดอยตุงสามารถให้ผลผลิตดีได้ เช่นกัน กล่าวคือมีปริมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำหนักแห้งของผลผลิต ที่ระดับการเติมปุ๋ยฟอสเฟต 40 ug/g ถึง 23.6 กรัมต่อกระถาง การเพิ่มขึ้นของความเป็นกรด-ด่างได้เริ่มสร้างปัญหา ทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอื่น ๆ ลดน้อยลงเป็นไปได้ที่ปริมาณ Zn ในดินบนที่สูงซึ่งมีอยู่น้อยโดยทั่วไป เป็นตัวกำหนดปริมาณผลผลิตของข้าวโพด ทำให้ปริมาณผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดที่ปลูกในดินแม่แฮ้งและดอยตุง ลดลงมาดังที่กล่าวไว้ ในขณะที่ข้าวโพดที่ปลูกในดินแม่สาใหม่ แม่สะลอง อาจจะมีปริมาณ Zn เพียงพอจึงไม่ได้รับผลกระทบดังกล่าว ผลของความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้นทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุต่าง ๆ ลดน้อยลงและทำให้ผลผลิตของข้าวโพดที่ปลูกในระดับความเป็นกรด-ด่าง 7.5 กลับลดลงมาอีก ความเสียหายที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรงในดินแม่แฮ้งและดอยตุง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ปัทมา (2533) เมื่อความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นความเป็นประโยชน์ของ Zn Cu Mn จะลดลงและการศึกษาที่เกี่ยวกับปฏิกริยาร่วม (Interaction) ของ Zn กับ P โดยที่ถ้าใส่ฟอสฟอรัสลงในดินที่มี Zn น้อยจะทำให้เกิดการขาด Zn ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดได้

ในการพิจารณาผลของการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตต่อผลผลิตของข้าวโพด ที่สามารถตรวจสอบได้ที่ความเป็นกรด-ด่าง 5.5 ซึ่งถือว่าเป็นระดับความเป็นกรด-ด่างที่ใกล้เคียงกับความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของข้าวโพดประมาณ 5.7-6.0 (Tisdale et al.,1985) ที่ระดับการเติมปุ๋ยฟอสเฟต 0 ug/g พบว่า ข้าวโพดที่ปลูกในดินแม่แฮ้งจะให้น้ำหนักผลผลิตสูงสุด 15.5 กรัมต่อกระถาง เปรียบเทียบกับดินแม่สาใหม่ แม่สะลอง และดินดอยตุง ซึ่งมีน้ำหนักผลผลิต 11.5,10.9 และ 1.6 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ การที่ดินแม่แฮ้งให้น้ำหนักผลผลิตสูงสุด น่าจะมาจากดินแม่แฮ้งมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้เริ่มต้นสูงกว่าดินอื่น ๆ ประมาณ 13.2 ppm ส่วนดินดอยตุงมีปริมาณผลผลิตต่ำสุด ก็เพราะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้เริ่มต้นเพียง 1.1 ppm การเพิ่มปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตให้กับดินที่ระดับ 15 และ 40 ug/g สามารถเพิ่มผลผลิตให้กับข้าวโพดได้ นั่นคือปริมาณผลผลิตของข้าวโพดเฉลี่ยรวม ในดินแม่สาใหม่ แม่สะลอง และแม่แฮ้ง ประมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

21.5 กรัมต่อกระถาง ในขณะที่ดินดอยตุงยังมีความต้องการฟอสฟอรัสเพิ่มเติมอีกมากให้ผลผลิตเพียง 8.3 กรัมต่อกระถาง สำหรับอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ 40 ug/g มีแนวโน้มที่จะเพิ่มผลผลิตให้กับข้าวโพดแต่ไม่มากนัก เฉลี่ย 25.0 กรัมต่อกระถาง ที่ระดับการเติมปุ๋ยฟอสเฟตเดียวกันนี้ข้าวโพดที่ปลูกในดินดอยตุงสามารถผลิตน้ำหนักแห้งได้ถึง 23.6 กรัมต่อกระถาง สรุปโดยทั่วไปว่า ดินดอยตุงจะเป็นดินที่มีปัญหาการขาดธาตุฟอสฟอรัสมากที่สุด จำเป็นต้องเพิ่มเติมปุ๋ยฟอสฟอรัสในระดับที่สูงจึงจะเพียงพอต่อความต้องการ ในขณะที่ดินแม่สาใหม่ แม้จะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้เพียง 7.2 ppm และต่ำกว่าที่พบในดินแม่แฮ้งและแม่สะลอง ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ 13.2 และ 12.4 ppm ตามลำดับ ยังคงสามารถให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดในระดับที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้คงสืบเนื่องมาจากดินแม่สาใหม่ไม่ค่อยดูดตรึงฟอสฟอรัสมากเหมือนกับดินแม่แฮ้งและแม่สะลอง ตามผลการทดลองที่ปรากฏแล้วในข้อที่ 1

ในการที่ไม่นำเอาผลผลิตของข้าวโพดที่ความเป็นกรด-ด่าง 6.5 เข้ามาร่วมพิจารณาในครั้งนี้เป็นเพราะปัญหาการขาดของธาตุบางตัว ในดินแม่แฮ้ง และดอยตุง เมื่อมีการยกระดับความเป็นกรด-ด่างไปอยู่ที่ความเป็นกรด-ด่างดังกล่าว อย่างไรก็ดีในดินแม่สาใหม่ และแม่สะรอง ได้แสดงถึงการตอบสนองของข้าวโพด ซึ่งมีต่อการเพิ่มปุ๋ยฟอสเฟต ในลักษณะที่ใกล้เคียงกันกับระดับความเป็นกรด-ด่าง 5.5

3.2 การสะสมฟอสฟอรัส โดยทั่วไปปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสของข้าวโพด จะเป็นไปตามปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เพิ่มเติมให้กับดินทุกระดับความเป็นกรด-ด่าง เพียงแต่ว่าที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5 และ 7.5 อัตราการสะสมฟอสฟอรัสของข้าวโพดที่ระดับการเติมปุ๋ยฟอสเฟต 40 ug/g มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากระดับ 15 ug/g ไม่มากนัก สาเหตุใหญ่น่าจะมาจากที่ระดับความเป็นกรด-ด่างดังกล่าว มีปัญหาสืบเนื่องมาจากความเป็นพิษของสาร และความสามารถในการใช้ประโยชน์ฟอสฟอรัสของข้าวโพด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลดลง ปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสของข้าวโพดปรากฏสูงสุดในดินแม่สะลองที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 5.5 ข้าวโพดที่ปลูกที่ระดับปุ๋ยฟอสฟอรัส 0,15 และ 40 ug/g สามารถสะสมฟอสฟอรัสได้ 10.5,40.2 และ 28.2 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ในขณะที่ความเป็นกรด-ด่าง 6.5 ข้าวโพดที่ปลูกอยู่ในดินดังกล่าวมีปริมาณฟอสฟอรัสสะสม 15.2 32.4 และ 32.3 มิลลิกรัมต่อกระถาง ดินแม่สาใหม่มีความสามารถในการสะสมฟอสฟอรัสในต้นข้าวโพดสูงเป็นอันดับ 2 ทั้ง ๆ ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้เริ่มต้นเพียง 7.2 ppm ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 5.5 ข้าวโพดที่ปลูกในดินแม่สาใหม่สามารถสะสมฟอสฟอรัสที่ระดับการเติมปุ๋ยฟอสเฟต 0,15 และ 40 ug/g ได้ 9.4,19.4 และ 27.8 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ในขณะที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 6.5 สามารถสะสมฟอสฟอรัสได้ 11.7,21.2 และ 28.7 มิลลิกรัมต่อกระถาง ในกรณีดินแม่แฮ้ง แม้ว่าจะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงสุดถึง 13.2 ppm ก็ตามแต่กลับมีปัญหาในการที่จะใช้ประโยชน์ฟอสฟอรัสและทำให้การสะสมฟอสฟอรัสต่ำกว่าดินที่กล่าวมาข้างต้น ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 5.5 ข้าวโพดที่ปลูกในดินแม่แฮ้งสามารถสะสมปริมาณฟอสฟอรัสได้ 9.0,18.7 และ 22.4 มิลลิกรัมต่อกระถาง ที่ระดับการเติมปุ๋ยฟอสเฟต 0,15 และ 40 ug/g ตามลำดับ เมื่อความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเป็น 6.5 ปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสที่ปลูกในดินแม่แฮ้งตกต่ำลงมาอย่างมาก โดยเฉพาะที่ระดับ 15 และ 40 ug/g มีปริมาณสะสมฟอสฟอรัสเพียง 14.6 และ 14.3 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าความเจริญเติบโตของข้าวโพดในดินแม่แฮ้งโดยเฉพาะที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 6.5 ไม่ได้ต่ำกว่าผลผลิตของข้าวโพดที่ปลูกในดินแม่สะลองและแม่สาใหม่มากนัก สำหรับข้าวโพดที่ปลูกในดินดอยตุงมีการสะสมปริมาณฟอสฟอรัสต่ำสุด ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 5.5 มีปริมาณฟอสฟอรัสในข้าวโพด 2.2,9.2 และ 24.1 มิลลิกรัมต่อกระถาง ที่ระดับปุ๋ยฟอสเฟต 0, 15 และ 40 ug/g ตามลำดับ ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 6.5 ข้าวโพดที่ปลูกในดินดอยตุงจะพบปัญหาในการเจริญเติบโตและการสะสมฟอสฟอรัสเช่นเดียวกันกับข้าวโพดที่ปลูก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในดินแม่แฮง กล่าวคือมีปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสเพียง 2.2,7.8 และ 15.7 มิลลิกรัมต่อกระถางเท่านั้น จะเห็นได้ว่าข้าวโพดที่ปลูกในดินดอยตุงจะมีการสะสมฟอสฟอรัสที่ดีใกล้เคียงกับดินอื่น ๆ ต่อเมื่อมีการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตสูงที่ระดับ 40 ug/g และระดับความเป็นกรด-ด่างของดินควรจะต้องเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดประมาณ 5.7-6.0

ปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสของข้าวโพด ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5 และ 7.5 นั้น ได้แสดงให้เห็นถึงปัญหาอื่น ๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้องนอกเหนือจากระดับความเป็นกรด-ด่างที่ไม่เหมาะสม ข้าวโพดที่ปลูกในดินแม่สะลองยังคงนำหน้าในการสะสมฟอสฟอรัส ติดตามมาด้วยดินแม่สาใหม่ แม่แฮง และดอยตุง ตามลำดับ แต่ปริมาณการสะสมลดน้อยลงไปกว่าที่ปรากฏอยู่ในระดับความเป็นกรด-ด่าง 5.5 และ 6.5 เหตุผลเป็นไปในทำนองเดียวกันกับที่ไว้แล้วในข้อ 3.1

3.3 รูปของสัดส่วนฟอสฟอรัสที่จะเป็นประโยชน์ต่อข้าวโพดพันธุ์ F_1 7x8

การพิจารณาถึงฟอสฟอรัสที่ถูกดูดตรึงอยู่ในดินรูปใด จะถูกปลดปล่อยออกมาให้เป็นประโยชน์ต่อข้าวโพด กระทำได้โดยการนำผลการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างดินที่ทดลองในห้องปฏิบัติการและในกระถาง มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัส เมื่อพบว่ามีการสูญหายของฟอสฟอรัสที่ถูกดูดตรึงรูปใดรูปหนึ่งเกิดขึ้นในดิน ก็คาดว่าบางส่วนพืชน่าจะนำไปดูดใช้เพื่อการเจริญเติบโต

3.3.1 ดินแม่สาใหม่ ตัวอย่างดินที่นำมาวิเคราะห์หาปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ภายหลังสิ้นสุดการทดลองกระถางระยะเวลา 45 วันแล้ว พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงในปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ จากปริมาณดั้งเดิมที่เคยทำไว้ในห้องปฏิบัติการก่อนการปลูกข้าวโพด (ตารางที่ 10) โดยเฉพาะฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 10 ผลกระทบของความเป็นกรด-ด่าง ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ในดินแม่สาใหม่ภายหลังการปลูกข้าวโพดแล้ว 45 วัน

ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณเฉลี่ยสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ							
	Ca-P		Al-P		Fe-P		Reductant soluble-Fe-P	
	(ppm)							
	pot	lab	pot	lab	pot	lab	pot	lab
4.5	9.4	14.3	23.5	23.7	36.5	30.0	71.0	76.0
5.5	10.0	13.2	18.0	20.2	35.9	29.0	80.8	83.9
6.5	10.2	14.7	21.2	20.8	34.0	25.8	77.9	84.4
7.5	11.9	15.3	20.9	19.4	33.8	24.7	68.0	67.0

ตารางที่ 11 ผลกระทบของความเป็นกรด-ด่าง ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ในดินแม่สะลองภายหลังการปลูกข้าวโพดแล้ว 45 วัน

ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณเฉลี่ยสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ							
	Ca-P		Al-P		Fe-P		Reductant soluble-Fe-P	
	(ppm)							
	pot	lab	pot	lab	pot	lab	pot	lab
4.5	100.0	107.8	83.1	90.8	81.7	43.0	229.0	333.0
5.5	97.9	107.7	74.0	84.5	79.3	40.3	197.0	318.0
6.5	101.9	111.6	76.3	76.3	77.0	36.7	178.0	316.0
7.5	108.1	113.4	71.9	70.2	61.9	29.0	192.0	287.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Ca-P และ Fe-P ปริมาณ Ca-P ลดลงทุกระดับความเป็นกรด-ด่าง มีปริมาณเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูป Ca-P ที่ระดับ 4.5,5.5,6.5 และ 7.5 คือ 9.4,10.0 ,10.2 และ 11.9 ppm เปรียบเทียบกับปริมาณดั้งเดิม 14.3,13.2,14.7 และ 15.3 ppm ตามลำดับ ในกรณีฟอสฟอรัสในรูป Fe-P กลับเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณเฉลี่ยที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5,5.5,6.5 และ 7.5 คือ 36.5,36.0,34.0 และ 33.8 ppm เปรียบเทียบกับปริมาณดั้งเดิม 30.0,28.9,25.8 และ 24.7 ppm ตามลำดับ สำหรับปริมาณ Al-P และ Reductant soluble iron phosphate ค่อนข้างไม่เปลี่ยนแปลง

3.3.2 ดินแม่สะลอง ปริมาณสัดส่วนฟอสฟอรัสในดินแม่สะลอง ปรากฏในตารางที่ 11 แสดงให้เห็นถึงการลดลงของปริมาณ Ca-P ภายหลังการปลูกข้าวโพด กล่าวคือ ที่ความเป็นกรด-ด่าง 4.5,5.5,6.5 และ 7.5 จะมีค่าเฉลี่ยของ Ca-P คือ 100.0,97.9,101.9 และ 108.1 ppm เปรียบเทียบกับ Ca-P ดั้งเดิมในห้องปฏิบัติการ คือ 107.8,107.7,111.6 และ 113.4 ppm ตามลำดับ เช่นเดียวกัน ปริมาณ Fe-P เพิ่มขึ้นมากกว่าที่พบในห้องปฏิบัติการ ปริมาณการเพิ่มขึ้นสูงอย่างเด่นชัดกว่าที่พบในดินแม่สาใหม่ ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5,5.5,6.5 และ 7.5 มีปริมาณ Fe-P ภายหลังเสร็จสิ้นการทดลองกระถาง เฉลี่ย 81.7,79.3,77.0 และ 61.9 ppm ตามลำดับเปรียบเทียบกับปริมาณเฉลี่ยในห้องปฏิบัติการ คือ 43.0,40.3,36.7,29.0 ppm ปริมาณ Fe-P ที่เพิ่มขึ้นมากมายเช่นนี้ประมาณ 2 เท่า น่าจะมาจากการที่ปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลงไปในรูป $Ca(H_2PO_4)_2$ ทำปฏิกริยากับสารประกอบ Fe_2O_3 ที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในดินแม่สะลองถึง 60,584 ppm ในขณะที่ดินแม่สาใหม่มีปริมาณ 5,481 ppm และเป็นไปตามลักษณะการตรึงฟอสฟอรัสที่มากกว่าของดินแม่สะลอง ปริมาณของ Al-P จะเปลี่ยนแปลงลดลงที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5 และ 5.5 เท่านั้น แต่ปริมาณ Reductant soluble iron phospate มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าเฉลี่ยของ Reductant soluble iron phosphate ภายหลังสิ้นสุดการทดลอง กระถางที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5,5.5,6.5 และ 7.5 คือ 229,197,178 และ 192 ppm เปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้นในห้องปฏิบัติการ คือ 333,318,316 และ 287 ppm

3.3.3 ดินแม่แฮ้ง ปริมาณ Ca-P ภายหลังการปลูกข้าวโพดเสร็จสิ้นแล้ว ลดลงเช่นเดียวกับในดินแม่สาใหม่ แม่สะลอง (ตารางที่ 12) ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5,6.5,7.5 มีปริมาณ Ca-P เฉลี่ย 28.2,35.6,29.7 และ 38.3 ppm ตามลำดับ เปรียบเทียบกับปริมาณดั้งเดิมที่ได้จากห้องปฏิบัติการ 36.9,47.1,41.1 และ 51.3 ppm สำหรับ Fe-P เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับที่พบในดิน แม่สะลอง และแม่สาใหม่ ปริมาณเพิ่มขึ้นของ Fe-P เป็นอัตราที่ใกล้เคียงกันกับแม่สาใหม่ แต่น้อยกว่าดินแม่สะลอง สำหรับปริมาณ Al-P ลดลงเล็กน้อย และค่อนข้างไม่มีความสำคัญ ในขณะที่ Reductant soluble iron phosphate ลดลงอย่างมาก (75 %) และค่อนข้างที่จะมากกว่าดินแม่สาใหม่

3.3.4 ดินดอยตุง ปริมาณ Ca-P ที่พบภายหลังเสร็จสิ้นการทดลองกระถาง ลดลงเช่นกัน (ตารางที่ 13) ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5,5.5,6.5 และ 7.5 จะมีปริมาณ Ca-P 17.1,17.6,17.2 และ 21.9 ppm ตามลำดับ เปรียบเทียบกับ Ca-P ดั้งเดิมคือ 18.1,18.0,18.3 และ 28.5 ppm ในกรณีของ Fe-P นั้น เป็นปรากฏการณ์ที่แตกต่างจากดินอื่น ๆ กล่าวคือ ค่อนข้างไม่เปลี่ยนแปลงจากปริมาณดั้งเดิมของ Fe-P แต่อย่างใด ปริมาณ Al-P ก็เปลี่ยนแปลงน้อยมากเช่นกัน สำหรับสัดส่วนของฟอสฟอรัสในรูป Reductant soluble iron phosphate จะมีปริมาณการลดลงที่เด่นชัดกว่า Al-P และ Fe-P คือมีปริมาณเฉลี่ยที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 4.5, 5.5 6.5 และ 7.5 คือ 64.6,72.6,58.7 และ 58.8 ppm ตามลำดับ เปรียบเทียบกับปริมาณดั้งเดิมคือ 90.5,83.9,89.2 และ 95.7 ppm

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 12 ผลกระทบของความเป็นกรด-ด่าง ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ในดินแม่แฮ้งภายหลังการปลูกข้าวโพดแล้ว 45 วัน

ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณเฉลี่ยสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ (ppm)							
	Ca-P		Al-P		Fe-P		Reductant soluble-Fe-P	
	pot	lab	pot	lab	pot	lab	pot	lab
4.5	28.2	36.9	29.2	33.9	77.3	72.8	74.3	93.6
5.5	35.6	47.1	31.0	32.7	71.3	65.0	56.0	87.7
6.5	29.7	41.1	28.4	30.3	74.6	65.5	62.2	79.3
7.5	38.3	51.3	30.9	29.9	73.3	59.5	63.7	77.2

ตารางที่ 13 ผลกระทบของความเป็นกรด-ด่าง ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ ในดินดอยตุงภายหลังการปลูกข้าวโพดแล้ว 45 วัน

ความเป็นกรด-ด่าง	ปริมาณเฉลี่ยสัดส่วนฟอสฟอรัสรูปต่าง ๆ (ppm)							
	Ca-P		Al-P		Fe-P		Reductant soluble-Fe-P	
	pot	lab	pot	lab	pot	lab	pot	lab
4.5	17.1	18.1	8.7	10.2	49.1	51.8	64.6	90.5
5.5	17.6	18.0	5.6	6.7	45.4	43.2	72.6	83.9
6.5	17.2	18.3	5.9	7.1	48.2	44.5	58.7	89.2
7.5	21.9	28.5	6.0	6.3	44.7	40.7	58.8	95.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สรุปโดยทั่วไปดินทุกชนิดที่นำมาศึกษาทดลองจะมีปริมาณ Ca-P ลดน้อยลงภายหลังปลูกข้าวโพดไปแล้วทุกระดับความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณ Ca-P จะลดลงแม้แต่ในกรณีการเพิ่มเติมปุ๋ย $Ca(H_2PO_4)_2$ แสดงให้เห็นว่านอกจากข้าวโพดจะนำเอา Ca-P ที่ใส่ให้ในรูปของปุ๋ยไปใช้แล้ว ฟอสฟอรัสในรูป Ca-P ยังถูกเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปของสภาวะอื่น ๆ รูปของฟอสฟอรัสที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดในเชิงลดลงก็คือ Reductant soluble iron phosphate ซึ่งฟอสฟอรัสรูปนี้จะลดลงอย่างมากโดยเฉพาะในดิน แม่สะลอง และดินแม่แฮ้ง รองลงมาคือ ดินดอยตุง สำหรับดินแม่สาใหม่ปริมาณการลดลงมีไม่มากนัก หรืออาจจะกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงในลักษณะเช่นนี้พอจะกล่าวได้ว่า ข้าวโพดน่าจะอาศัยฟอสฟอรัสในรูป Ca-P และ Reductant soluble iron phosphate เป็นแหล่งสนับสนุนของฟอสฟอรัส โดยเฉพาะข้าวโพดที่ปลูกในดินแม่สาใหม่ ใช้ฟอสฟอรัส ในรูป Ca-P เป็นส่วนใหญ่เนื่องจากดินแม่สาใหม่มีปริมาณการตรึงฟอสฟอรัสน้อยกว่าดินอื่น ๆ มาก ในขณะที่ปริมาณ Fe-P เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ในดินแม่สะลอง แม่สาใหม่ และดินแม่แฮ้ง แต่ปรากฏว่า ดินดอยตุงค่อนข้างไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นสาเหตุเป็นเช่นไรไม่อธิบายได้แต่ดินดอยตุงเป็นดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้น้อยที่สุด 1.1 ppm

สำหรับสัดส่วนฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูป Al-P ในดินทั้ง 4 ชนิด ค่อนข้างไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือถ้าหากว่ามีการเปลี่ยนแปลงก็มีปริมาณน้อยมากจนหมดความสำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved