



วิทยานิพนธ์

การประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยวิธีการวิเคราะห์ดิน
ทางเคมีและการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสของข้าวโพดที่ปลูกใน
ชุดดินองครักษ์ โคราช ลี้ ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซ็อน

EVALUATION OF AVAILABLE PHOSPHORUS IN SOIL BY
CHEMICAL SOIL TEST METHODS AND RESPONSE TO
PHOSPHORUS FERTILIZER OF MAIZE GROWN ON
ONGKHARAK, KHORAT, LI, PAK CHONG, CHAI BADAN
AND HIN SON SOIL SERIES

นางสาวศิริขวัญ ภู่นา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยวิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมีและการตอบสนอง
ต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินองครักษ์ โคราช ลี้ ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซัน

Evaluation of Available Phosphorus in Soil by Chemical Soil Test Methods and Response to
Phosphorus Fertilizer of Maize Grown on Ongkharak, Khorat, Li, Pak Chong, Chai Badan and
Hin Son Soil Series

โดย

นางสาวศิริขวัญ ภู่นา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

พ.ศ. 2551

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร. จงรักษ์ จันทรเจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในเรื่องการเรียน การทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์และถูกต้อง ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ ทองแพ และดร. พิชิต พงษ์สกุล ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรทุกท่านในภาควิชาปรัชญา ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และพี่น้องชาวสโมสรบัณฑิตปรัชญา ที่ได้คอยให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในการเรียนและทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณวิทยา คุณบุญสม และคุณวิศรา ภู่นา ที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือในการศึกษาและเป็นกำลังใจที่ดีแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ คุณค่าและความดีอันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่บุพการี ครู อาจารย์ ญาติ และมิตรที่มีพระคุณต่อข้าพเจ้า

ศิริขวัญ ภู่นา
กุมภาพันธ์ 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	20
อุปกรณ์	20
วิธีการ	23
ผลและวิจารณ์	33
สรุปและข้อเสนอแนะ	100
สรุป	100
ข้อเสนอแนะ	101
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	102
ภาคผนวก	111
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	119

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับชุดดินที่เป็นตัวแทนในการศึกษา	20
2	แสดงค่าวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของดินที่นำมาศึกษา 6 ชุดดิน	34
3	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อความสูงของข้าวโพดที่อายุ 20 วัน ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	41
4	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อความสูงของข้าวโพดต้นที่อายุ 40 วัน ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	43
5	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อน้ำหนักตอซังแห้งของข้าวโพดต้นที่ 1 ที่อายุ 14 วัน ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	45
6	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อน้ำหนักตอซังแห้งของข้าวโพดต้นที่ 2 ที่อายุ 28 วัน ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	47
7	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อน้ำหนักตอซังแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	49
8	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อน้ำหนักฝักแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	51
9	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อน้ำหนักเมล็ดแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	53
10	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อน้ำหนักแห้งตอซังรวมเมล็ดของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	55
11	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อความเข้มข้นฟอสฟอรัสในตอซังของข้าวโพดต้นที่ 1 ที่อายุ 14 วัน ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	58
12	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อความเข้มข้นฟอสฟอรัสในตอซังของข้าวโพดต้นที่ 2 ที่อายุ 28 วัน ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	60
13	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อความเข้มข้นฟอสฟอรัสในตอซังของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อความเข้มข้นฟอสฟอรัสในเมล็ดของข้าวโพดคัน ที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	64
15	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในตอ ซังคันที่ 1 ที่อายุ 14 วัน ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	67
16	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในตอ ซังคันที่ 2 ที่อายุ 28 วัน ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	69
17	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในตอซังคันที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	71
18	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในเมล็ดคันที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	73
19	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในตอ ซังรวมเมล็ดคันที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	75
20	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อเปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ด ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน	78
21	ผลของการใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียมฟอสเฟตที่มีต่อ ประสิทธิภาพการดึงดูปุ๋ยมาใช้ประโยชน์ของข้าวโพด	79
22	ปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดโดยน้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen	81
23	สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่ สกัดได้โดยน้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen และค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	82
24	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับความสูงของข้าวโพด	85
25	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับน้ำหนักแห้งของข้าวโพด	90
26	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
1 ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสในดิน โดยน้ำยาสกัด Bray	2
ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดิน	112
2 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ ที่	
ปลูกใน 6 ชุดดิน	113
3 ผลของการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อร้อยละผลผลิตน้ำหนักฝักแห้งของข้าวโพด	
ที่เพิ่มขึ้นจากตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส	114
4 ผลของการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อร้อยละผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งของ	
ข้าวโพดที่เพิ่มขึ้นจากตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส	114
5 ข้อจำกัดของสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	115
6 แสดงการเปลี่ยนแปลง non SI unit เป็น SI unit	118

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	เปอร์เซ็นต์ค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสของดินที่นำมาศึกษา 36
2	ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูป MCP และ DCP ที่ใส่ในอัตรา 100 mg P kg ⁻¹ ในชุดดินองครักษ์ โคราช ลี้ ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซ้อน โดยการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ด้วยน้ำยาสกัด Bray 2 ที่ระยะเวลาของการบ่มดิน 1 3 5 และ 7 สัปดาห์ 39
3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen 83
4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่อายุ 20 วันและ 40 วัน 86
5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับน้ำหนักรากต่อชั่งแห้งของข้าวโพดต้นที่ 1 และน้ำหนักรากต่อชั่งแห้งของข้าวโพดต้นที่ 2 91
6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับน้ำหนักรากต่อชั่งแห้งและน้ำหนักฝักแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 92
7	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับน้ำหนักเมล็ดแห้งและน้ำหนักแห้งรวม (ต่อชั่งและเมล็ด) ของข้าวโพดต้นที่ 3 93
8	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อชั่งต้นที่ 1 และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อชั่งต้นที่ 2 97
9	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อชั่งและปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในเมล็ดต้นที่ 3 98

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

- 10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงรวมเมล็ดต้นที่ 3

99

**การประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยวิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมีและการ
ตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินองครักษ์ โคราช ลี ปากช่อง
ชัยบาดาล และหินซ็อน**

**Evaluation of Available Phosphorus in Soil by Chemical Soil Test Methods and
Response to Phosphorus Fertilizer of Maize Grown on Ongkharak, Khorat, Li,
Pak Chong, Chai Badan and Hin Son Soil Series**

คำนำ

ข้าวโพดเป็นธัญพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับ 3 ของโลก รองจากข้าวสาลีและข้าว (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2542; FAOSTAT, 2005) ผลผลิตของข้าวโพดนำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารของมนุษย์ อาหารเลี้ยงสัตว์ ทำสบู่ น้ำมันใส่ผม น้ำหอม กระดาษ ยารักษาโรค ผ้า ป้าย และเชื้อเพลิงในการหุงต้ม ในปี 2548 ประเทศไทยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวข้าวโพดประมาณ 6.4 ล้านไร่ มีผลผลิตรวม 3.8 ล้านตัน และมีผลผลิตต่อไร่เฉลี่ย 602 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548) ปัจจุบันข้าวโพดจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย รัฐบาลจึงมีการส่งเสริมการเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ของข้าวโพดให้สูงขึ้น โดยการใช้เทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัย การปรับปรุงและคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดที่สามารถให้ผลผลิตสูง การใส่ปุ๋ย และการควบคุมโรคและแมลง เพื่อให้พื้นที่ทางการเกษตรมีศักยภาพสูงสุดในการผลิตพืช

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารมหัพภาคที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช โดยเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ในพืช โดยทั่วไปพืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อให้การเจริญเติบโตในระยะพัฒนา (vegetative stage) เป็นไปตามปกติ ดินที่ใช้ในทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ค่อนข้างต่ำ ถ้าพืชขาดธาตุฟอสฟอรัสจะมีผลต่อการเจริญพันธุ์เป็นอย่างมาก เช่น ออกดอกช้า จำนวนดอก ผล และเมล็ดน้อยลง การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในพื้นที่ที่ทำการเกษตรจะช่วยเพิ่มผลผลิตของพืช ซึ่งความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสนั้นจะถูกควบคุมโดยปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ชนิดของสารประกอบปุ๋ยฟอสฟอรัส สมบัติและองค์ประกอบบางประการของดินที่สำคัญคือ ปฏิกริยาดิน อุณหภูมิ ชนิดและปริมาณของแคตไอออนในดิน ชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว และอินทรีย์วัตถุ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มี

ผลต่อสมบัติในเรื่องความจุในการตรึงธาตุฟอสฟอรัสของดิน โดยเฉพาะจากปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไป
 ในดินทำให้สูญเสียความเป็นประโยชน์สำหรับพืช นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้มี
 ประสิทธิภาพสูงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ดินทางเคมี เพื่อประเมินความเป็นประโยชน์ของ
 ฟอสฟอรัสในดิน ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ปฏิบัติกันทั่วไปคือ
 การใช้น้ำยาสกัด Bray² Mehlich³ และ Olsen นอกจากนั้นการศึกษการตอบสนองต่อปุ๋ย
 ฟอสฟอรัสของพืชก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนในเรื่องนี้ จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึง
 ได้ทำการศึกษการประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยวิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมีและ
 การตอบสนองต่อปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียมฟอสเฟตของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ
 4452 ที่ปลูกในชุดดินองครักษ์ โคราช ลี ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซื่อน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความรู้ในการตรึงฟอสฟอรัสของดินในชุดดินองครักษ์ โคราช ลี้ ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซื่อน
2. เพื่อศึกษาความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสในดิน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมีที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดิน ในชุดดินองครักษ์ โคราช ลี้ ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซื่อน
3. เพื่อศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินองครักษ์ โคราช ลี้ ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซื่อน
4. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen ในการประเมินปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อข้าวโพดในชุดดินองครักษ์ โคราช ลี้ ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซื่อน

การตรวจเอกสาร

1. ความสำคัญของฟอสฟอรัสที่มีต่อพืช

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารมหัพภาค (macronutrient) เช่นเดียวกับไนโตรเจนและโพแทสเซียม ในดินมีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยกว่าไนโตรเจนและโพแทสเซียม โดยมีฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.005-0.15 เปอร์เซ็นต์ (Havlin *et al.*, 2005) ซึ่งพืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อให้การเจริญเติบโตในระยะวัฏฏะ (vegetative stage) เป็นไปตามปกติ เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์สารที่สำคัญในพืช เช่น น้ำตาลฟอสเฟต นิวคลีโอไทด์ กรดนิวคลีอิก ฟอสโฟลิปิด สารพลังงานสูง (adenosine triphosphate, ATP) โคเอนไซม์ และมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช ฟอสฟอรัสในสารละลายดินเป็นแอนไอออนของกรดออร์โทฟอสฟอริก (H_3PO_4) โดยส่วนใหญ่พืชจะดูดไปใช้ประโยชน์ในรูปโมโนฟอสเฟตไอออน (H_2PO_4^-) มากกว่าไดฟอสเฟตไอออน (HPO_4^{2-}) และไตรฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-}) (ยงยุทธ, 2546)

เมื่อพืชขาดฟอสฟอรัสมักมีลักษณะแคระแกร็น การเจริญเติบโตของลำต้นหยุดชะงัก ใบจะมีสีเขียวเข้มหรือสีม่วงคล้ำ แต่ถ้าพืชขาดฟอสฟอรัสในระดับที่รุนแรงใบจะมีสีเหลืองและเหี่ยวอย่างรวดเร็ว ออกดอกช้า ไม่มีการสร้างตัวของเมล็ด และเมล็ดมีคุณภาพต่ำ (Brady and Weil, 2002) การขาดฟอสฟอรัสของพืชมีผลทำให้ใบขยายขนาดช้าและจำนวนใบน้อย สาเหตุที่แผ่นใบมีการขยายขนาดช้าก็เพราะเซลล์ชั้นผิวไม่ค่อยขยายตัว แต่ปริมาณโปรตีนและคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยพื้นที่ใบลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากขนาดใบลดมากแต่คลอโรฟิลล์ลดน้อยกว่าทำให้ใบพืชที่ขาดฟอสฟอรัสในระยะแรกมีสีเขียวเข้มขึ้น แต่อัตราการสังเคราะห์แสงต่อหน่วยของคลอโรฟิลล์มีค่าลดลง ทำให้การเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินและรากลดลง (ยงยุทธ, 2546)

2. รูปของฟอสฟอรัสในดิน

ฟอสฟอรัสในดินแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ อินทรีย์ฟอสฟอรัสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัส อินทรีย์ฟอสฟอรัสได้แก่ ไฟติน ฟอสโฟลิปิด กรดนิวคลีอิก และซูการ์ฟอสเฟต (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ส่วนอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่สำคัญได้แก่ aluminum phosphate (Al-P) iron phosphate (Fe-P) calcium phosphate (Ca-P) และ reductant soluble phosphate (Re-P)

(Chang and Jackson, 1957) โดยปริมาณของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาดิน (pH) เป็นสำคัญ ซึ่งในดินกรดมักพบในรูป Fe-P และ Al-P ส่วนในดินที่เป็นกลางและด่างมักพบในรูป Ca-P (Havlin *et al.*, 2005)

นฤมล (2531) ได้ศึกษาปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในชุดดินยโสธร ชุดดินบ้านบึง ชุดดินโคราช ชุดดินสัตหีบ ชุดดินพังงา ชุดดินห้วยโป่ง ชุดดินวาริน ชุดดินกำแพงแสน ชุดดินปากช่อง และชุดดินตาคี พบว่า อนินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่อยู่ในรูป Re-P รองลงมาคือ Al-P, Ca-P และ Fe-P ตามลำดับ

นิตยา (2532) ศึกษาปริมาณของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินนา 4 ชุดดิน คือ ชุดดินบางกอก ชุดดินรังสิตกรดจัด ชุดดินรังสิต และชุดดินเสนา พบว่าทั้ง 4 ชุดดินมีสารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูป Fe-P มากที่สุด ชุดดินรังสิตและชุดดินรังสิตกรดจัดมี Al-P มากเป็นอันดับสอง ส่วนชุดดินบางกอกและชุดดินเสนามี Ca-P และ Re-P มากเป็นอันดับสอง ตามลำดับ

ถัมฤทธิ์ (2544) ศึกษาปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสรูปแบบต่างๆ ในดิน พบว่า ชุดดินรังสิตกรดจัดและชุดดินรังสิตซึ่งเป็นดินเปรี้ยวจัดมีปริมาณ $\text{Fe-P} \gg \text{Re-P} > \text{Al-P} > \text{Ca-P}$ ชุดดินมโนรมย์ซึ่งเป็นดินกรดมีปริมาณ $\text{Fe-P} \gg \text{Al-P} \approx \text{Ca-P} > \text{Re-P}$ และชุดดินบ้านหมี่ซึ่งเป็นดินเนื้อปูนมีปริมาณ $\text{Ca-P} \gg \text{Fe-P} \approx \text{Al-P} > \text{Re-P}$ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ในดินทั้ง 4 ชุดดิน พบว่า ชุดดินบ้านหมี่มีปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสมากที่สุด รองลงมาคือ ชุดดินรังสิต ชุดดินรังสิตกรดจัด และชุดดินมโนรมย์ ตามลำดับ

Adhami *et al.* (2006) ทำการศึกษาปริมาณของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสรูปแบบต่างๆ ในดินเนื้อปูนของประเทศอิหร่านจำนวน 18 ตัวอย่าง ซึ่งแต่ละตัวอย่างมีค่า calcium carbonate equivalent (CCE) สูงกว่า 650 g kg^{-1} และมีสมบัติทางเคมีฟิสิกส์เป็นช่วงกว้าง พบว่า อนินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่อยู่ในรูป Ca-P รองลงมาคือ Al-P และ Fe-P ตามลำดับ

3. การตรึงฟอสฟอรัสในดิน

การตรึงฟอสฟอรัสในดินเป็นการเปลี่ยนฟอสฟอรัสจากรูปที่ละลายได้ง่ายไปอยู่ในรูปที่ละลายได้ยากขึ้น การใส่ปุ๋ยเคมีที่มีธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบลงไปในดิน ปุ๋ยเคมีจะ

ปลดปล่อยฟอสเฟตไอออนที่ละลายง่ายออกมาอยู่ในสารละลายดิน ซึ่งปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยแค่ไหน ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งกระบวนการตรึงฟอสฟอรัสในดินที่สำคัญมีดังนี้

3.1 การตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation)

เป็นการทำปฏิกิริยากันระหว่างฟอสเฟตไอออนในสารละลายดินกับแคตไอออนของเหล็ก อะลูมิเนียม แมงกานีส แคลเซียม และแมกนีเซียม แล้วตกตะกอนเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ในดินกรดฟอสเฟตไอออนทำปฏิกิริยากับไอออนของเหล็ก อะลูมิเนียม และแมงกานีส ส่วนในดินด่างฟอสเฟตไอออนทำปฏิกิริยากับไอออนของแคลเซียมและแมกนีเซียม (Brady and Weil, 1999)

3.2 ปรากฏการณ์การดูดซับ (adsorption phenomena)

เป็นปรากฏการณ์ที่ฟอสเฟตไอออนถูกดูดซับที่ผิวของแร่ดินเหนียว หรือ sesquioxide ด้วยแรง electrostatic bonding เมื่อดินเหล่านี้เป็นกรดและเกิดการเติมโปรตอน (protonation) ทำให้ประจุลบของฟอสเฟตไอออนถูกดูดซับกับประจุบวกของแร่ดินเหนียว หรือ sesquioxide ซึ่งไม่สามารถสกัดได้ด้วยสารละลายเกลือที่เป็นด่าง (Haseman *et al.*, 1950)

3.3 ปฏิกิริยาแทนที่ด้วยไอออนที่มีขนาดไอออนเท่ากัน (isomorphous replacement reaction)

ไอออนฟอสเฟตในสารละลายดินทำปฏิกิริยาแทนที่ hydroxyl หรือ silicate ที่ผลึกของแร่ดินเหนียว ทำให้โครงสร้างของผลึกไม่คงที่อยู่อีกต่อไป เพราะขนาดของไอออนฟอสเฟตกับไอออนที่มันแทนที่ไม่เท่ากัน ต้องมีการจัดเรียงตัวใหม่เพื่อให้ได้โครงสร้างและรูปร่างของผลึกที่คงที่ ไอออนฟอสเฟตจึงถูกจับติดแน่นเป็นองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวชนิดใหม่อย่างถาวร ดังนั้นฟอสเฟตจำนวนนี้ ก็จะถูกตรึงโดยที่ไม่มีโอกาสหลุดออกมาอยู่ในสารละลายดินอีก นอกจากแร่ดินเหนียวชนิดใหม่นี้จะถูกทำให้สลายตัว (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

4. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรึงฟอสฟอรัสในดิน

4.1 ปฏิกริยาในดิน

ฟอสฟอรัสในดินที่เป็นประโยชน์ส่วนใหญ่อยู่ในสภาพที่ดินมีค่า pH ประมาณ 6-7 ถ้าดินมีค่า pH ต่ำกว่า 6 ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะถูกตรึงด้วย Fe/Al oxides เกิดการตกตะกอนเป็น FePO_4 และ AlPO_4 ส่วนดินที่มีค่า pH สูงกว่า 7 ฟอสฟอรัสจะตกตะกอนกับ Ca^{2+} เกิดเป็นแร่ที่มีแคลเซียมและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ และถูกตรึงโดย CaCO_3 (Havlin *et al.*, 2005)

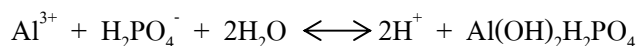
สัมฤทธิ์ (2544) ศึกษาค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสของดินในชุดดินรังสิตกรดจัด ชุดดินรังสิต ชุดดินมโนรมย์ และชุดดินบ้านหมี่ โดยใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 0 50 150 และ 300 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราสูงขึ้นเป็นผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสถูกตรึงสูงขึ้น แต่เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การตรึงแต่ละอัตราจะมีเปอร์เซ็นต์ต่ำลง โดยชุดดินรังสิตกรดจัดตรึงฟอสฟอรัสได้มากที่สุด รองลงมาคือชุดดินรังสิต ชุดดินมโนรมย์ และชุดดินบ้านหมี่ ตามลำดับ ซึ่งชุดดินรังสิตกรดจัดและชุดดินรังสิตมีความเป็นกรดรุนแรงมาก มีปริมาณเหล็กและอะลูมินัมสูง ชุดดินมโนรมย์มีความเป็นกรดจัด มีปริมาณเหล็กและอะลูมินัมปานกลาง ส่วนชุดดินบ้านหมี่มีความเป็นด่างปานกลาง มีปริมาณเหล็กและอะลูมินัมค่อนข้างต่ำ

4.2 อุณหภูมิ

การตรึงฟอสฟอรัสในดินจะเกิดได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางเคมี Havlin *et al.* (2005) รายงานว่าโดยทั่วไปดินในเขตร้อนจะมีการตรึงฟอสฟอรัสได้มากกว่าดินในเขตอบอุ่น เนื่องจากอุณหภูมิในเขตร้อนทำให้ดินมีปริมาณไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอะลูมินัมเพิ่มขึ้น

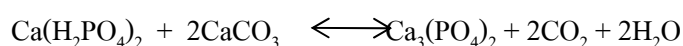
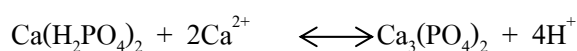
4.3 ชนิดและปริมาณของแคตไอออนในดิน

ไอออนเหล็กและอะลูมินัมที่ละลายอยู่ในดินจะทำปฏิกิริยากับไอออนฟอสเฟตเกิดเป็นสารประกอบ hydroxy phosphate ที่ไม่ละลายน้ำและมีผลทำให้ความเป็นประโยชน์ของไอออนฟอสเฟตในดินลดต่ำลง (Brady and Weil, 2002) ดังสมการ



ปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Al) เป็นปัจจัยสำคัญในการตรึงฟอสฟอรัส เนื่องจาก 1 meq ของอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่อดิน 100 กรัม สามารถตกตะกอนกับฟอสฟอรัสได้มากถึง 100 mg P L^{-1} ในสารละลาย (Havlin *et al.*, 2005)

ไฮดรอกซีฟอสเฟตจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียม (Ca^{2+}) และแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เกิดเป็นสารประกอบ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ที่ไม่ละลายน้ำ (Brady and Weil, 2002)



Sree Ramulu *et al.* (1967) ศึกษาการตรึงฟอสฟอรัสในดินกรด 12 ชนิด ที่มีปริมาณเหล็กออกไซด์อิสระแตกต่างกัน พบว่า การตรึงฟอสฟอรัสในดินมีสหสัมพันธ์กับปริมาณเหล็กออกไซด์ที่สกัดด้วยไดไธไธโอนท์ (dithionite) คือ $r = 0.77$ และปริมาณเหล็กที่สกัดได้ด้วยออกซาลेट (oxalate) มีสหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกตรึง คือ $r = 0.95$

4.4 ชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว

Havlin *et al.* (2005) กล่าวว่า ดินที่มีแร่ดินเหนียวชนิด 1:1 เช่น kaolinite สามารถตรึงฟอสฟอรัสได้เป็นปริมาณมากกว่าดินที่มีแร่ดินเหนียวชนิด 2:1 เช่น montmorillonite เนื่องจากแร่ kaolinite มีหมู่ OH^- ในชั้น Al interlayer มาก จึงสามารถแลกเปลี่ยนกับไฮดรอกซีฟอสเฟตได้ แร่ชนิดนี้พบมากในดินที่มีการผุพังสลายตัวสูง นอกจากนี้แร่ kaolinite ยังมีประจุที่ขอบผิวของแร่เปลี่ยนแปลงไปตามค่า pH ดิน (pH dependent charge) ทำให้สามารถตรึงฟอสฟอรัสได้ ส่วนแร่ montmorillonite มักเกิดจากไฮดรอกซีฟอสเฟตในสารละลายดินทำปฏิกิริยากับธาตุแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Ca) ที่ดูดซับอยู่กับประจุลบที่ผิวของอนุภาคแร่ดินเหนียวแล้วเกิดเป็นสารประกอบที่เรียกว่า clay-Ca-phosphate linkage วิกิซันและคณะ (2518) รายงานว่า ดินที่มีแร่ดินเหนียวมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ จะตรึงฟอสฟอรัสจากสารละลายดินได้เกือบทั้งหมดภายใน 2

ล้าพาห์ ส่วนดินที่มีแร่ดินเหนียวต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถตรึงฟอสฟอรัสได้หมด แม้ดินจะอยู่ในสภาพน้ำขังนานเกือบ 30 วัน

4.5 อินทรีย์วัตถุ

อินทรีย์วัตถุมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยกลุ่มที่สามารถแยกตัวเป็นแอนไอออนเป็นจำนวนมาก ผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ เช่น กรดอินทรีย์และชีวโมลสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยา chelation กับ Fe/Al oxides ดังนั้นจึงเป็นการป้องกันมิให้ Fe/Al oxides ไปทำปฏิกิริยากับ ไอออนฟอสเฟต กรณีนี้ก็จะเป็นการลดการตรึงฟอสฟอรัสให้น้อยลง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

Tuivavalagi and Silva (1996) พบว่าการใส่มูลไก่อ่วมกับปุ๋ยเคมีช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัส ทั้งนี้คงเป็นเพราะการสลายตัวของมูลไก่อ่วมทำให้เกิดกรดอินทรีย์ซึ่งสามารถดูดยึดกับเหล็กและอะลูมิเนียมในดิน ทำให้ลดการตรึงฟอสฟอรัสของเหล็กและอะลูมิเนียม ได้ฟอสฟอรัสในดินที่เป็นประโยชน์กับพืชมากขึ้น

5. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินทางเคมี

การประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีอยู่หลายวิธี ซึ่งวิธีการต่างๆ ที่ใช้จะให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาสกัด อัตราส่วนระหว่างดินกับน้ำยาสกัด และเวลาที่ใช้ในการสกัด (Kuo, 1996) โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่ม ดังนี้

5.1 สารละลายที่เป็นกรดแก่

Troug method น้ำยาสกัดที่ใช้เป็นกรดแก่ที่เจือจางมากประกอบด้วย 0.001 M H_2SO_4 และ $(NH_4)_2SO_4$ 3.0 กรัม ในน้ำยาสกัด 1 ลิตร การสกัดใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 1:100 เวลาสกัด 30 นาที อนุโมลกรดจะสกัดฟอสฟอรัสให้ละลายออกมา (Trough, 1930)

Mehlich 1 method น้ำยาสกัดประกอบด้วย 0.05 M HCl และ 0.0125 M H_2SO_4 ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 1:4 เวลาสกัด 5 นาที โดยวิธี Mehlich 1 นิยมใช้ทางตะวันตกเฉียงใต้

ของสหรัฐอเมริกา ซึ่งสามารถสกัดได้หลายธาตุได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี เนื่องจากน้ำยาสกัดนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำยาสกัดที่มีกรด H_2SO_4 หรือ HCl เพียงอย่างเดียว (Mehlich, 1953)

5.2 สารละลายที่เป็นกรดแก่ผสมกับอนุมูลฟลูออไรด์(F^-)ที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน

น้ำยาสกัดที่เป็นสารละลายเจือจางของกรดและเพิ่มอนุมูล F^- เข้าไป สารละลายนี้จะสามารถสกัดฟอสเฟตประเภทที่ละลายในกรดได้ง่าย ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป Ca-P และสามารถสกัด Al-P และ Fe-P ออกมาได้บางส่วน โดยอนุมูล F^- ทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมและเหล็กในดิน เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (จรัญ, 2541) นอกจากนี้อนุมูล F^- ยังช่วยยับยั้งไม่ให้ฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาถูกดูดซับกลับไปที่อีกครั้งด้วยคอลลอยด์ดิน น้ำยานี้เหมาะสมกับการสกัดฟอสฟอรัสในดินกรด แต่ในดินด่างอาจเกิดปฏิกิริยาสะเทินกรดขึ้นโดย $CaCO_3$ และเกิด CaF_2 จากปฏิกิริยา Ca^{2+} ในดินกับอนุมูล F^- ซึ่งทำให้ฟอสฟอรัสตกตะกอน ค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง (Sims, 2000)

Bray 1 method น้ำยาสกัดประกอบด้วย $0.03\ M\ NH_4F + 0.025\ M\ HCl$ ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 1:7 เวลาสกัด 60 วินาที (Bray and Kurtz, 1945)

Bray 2 method น้ำยาสกัดประกอบด้วย $0.03\ M\ NH_4F + 0.1\ M\ HCl$ ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 1:7 เวลาสกัด 40 วินาที ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้จะสูงกว่าวิธี Bray 1 เนื่องจากน้ำยามีความเข้มข้นของกรดสูงกว่า (Bray and Kurtz, 1945)

5.3 สารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์

สารละลายชนิดนี้เป็นสารละลายเจือจางของกรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดแลกติก และกรดอะซิติก บางครั้งอาจมีการผสมเกลือของกรดเหล่านี้ อนุมูลกรดเหล่านี้จะละลายฟอสฟอรัสออกจากดินได้ 2 ทาง คือ ความเป็นกรดช่วยละลายอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้ออกมาอยู่ในสารละลายดิน และอนุมูลกรดจะทำปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับอนุมูลของเหล็กและอะลูมิเนียมเกิดเป็นสารประกอบที่เล็ดซึ่งป้องกันการตกตะกอนครั้งที่สอง ทำให้ปลดปล่อยอนุมูลฟอสเฟตออกมาในสารละลายได้

Morgan method น้ำยาสกัดประกอบด้วย $0.54\text{ M CH}_3\text{COOH} + 0.7\text{ M Na}_2\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ ปรับ pH เท่ากับ 4.8 การสกัดใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 1:2 เวลาสกัด 30 นาที (Morgan, 1941)

5.4 สารละลายที่เป็นด่าง

Olsen method เป็นวิธีการสกัดดินโดยใช้สารละลาย 0.5 N NaHCO_3 ปรับ pH เท่ากับ 8.5 ด้วย NaOH ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 1:10 เวลาสกัด 5 นาที โดยอนุมูล CO_3^{2-} และ OH^- จะไปลดอิทธิพลของอนุมูล Ca^{2+} และ Al^{3+} ทำให้ฟอสฟอรัสถูกปลดปล่อยออกมา น้ำยาสกัดนี้ใช้ได้ทั้งในดินกรดจนถึงดินด่าง ในดินที่เป็นดินด่างซึ่งมี Ca-phosphate มาก อนุมูล Ca^{2+} จะถูกตกตะกอนด้วยอนุมูล CO_3^{2-} กลายเป็น CaCO_3 ทำให้ฟอสฟอรัสละลายออกมา ขณะที่ในดินกรดหรือดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกลาง ซึ่งมี Al-phosphate และ Fe-phosphate มาก อนุมูล OH^- จะทำหน้าที่รวมตัวกับอนุมูล Al^{3+} และ Fe^{3+} กลายเป็นสารประกอบออกไซด์ของ Al และ Fe ทำให้ฟอสฟอรัสละลายออกมามากขึ้น (Olsen *et al*, 1954)

5.5 สารละลายที่เป็นสารคีเลต

สารคีเลตสามารถรวมตัวได้ดีกับไอออนของโลหะ ทำให้สามารถสกัดอนุมูลฟอสเฟตจากสารประกอบเหล็กและอะลูมิเนียม

Ammonium bicarbonate-DTPA หรือ AB-DTPA method น้ำยาสกัดประกอบด้วย $1\text{ M NH}_4\text{HCO}_3$ และ 0.005 M DTPA ปรับ pH เท่ากับ 7.3 ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 1:2 เวลาสกัด 15 นาที โดย DTPA สกัดจุลธาตุ ส่วนอนุมูล NH_4^+ สกัดโพแทสเซียม ขณะที่อนุมูล OH^- และ HCO_3^{2-} สกัดฟอสฟอรัส (Soltanpour and Schwab, 1997)

Mehlich 3 method น้ำยาสกัดประกอบด้วย $0.2\text{ M CH}_3\text{COOH}$ $0.25\text{ M NH}_4\text{NO}_3$ $0.015\text{ M NH}_4\text{F}$ 0.013 M HNO_3 และ 0.001 M EDTA ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำยาสกัด 1:10 เวลาสกัด 5 นาที (Mehlich, 1984) Walton and Alle (2004) พบว่าการวิเคราะห์ดินโดยวิธี Mehlich 3 ให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วและประหยัด เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ธาตุอาหารได้มากถึง 13 ชนิด (B, Ca, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, P, S และ Zn) ด้วยการสกัดเพียงครั้งเดียว

5.6 น้ำหรือสารละลายเกลือ

การสกัดโดยน้ำและสารละลาย 0.01 M CaCl_2 ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำยาสกัดเท่ากับ 1:10 การสกัดโดยสารละลาย 0.01 M CaCl_2 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยกว่าการสกัดโดยน้ำ (Olsen and Watanabe, 1970) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ Ca^{2+} มีผลต่อการตกตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟต

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าน้ำยาที่ใช้สกัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีมากมายหลายชนิด การเลือกใช้น้ำยาสกัดควรพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้กับการตอบสนองของพืชซึ่งอาจพิจารณาจากการเจริญเติบโตของพืช ผลผลิตพืช หรือฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พืชดูดใช้

6. การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำยาสกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

การประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินโดยใช้น้ำยาสกัด ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีต่างๆ นั้นโดยตัวของมันเองแล้วจะไม่มี ความหมายแต่อย่างใด เว้นเสียแต่ว่าจะนำค่าเหล่านี้ มาหาความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืช ผลผลิต หรือปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พืชดูดใช้ในสภาพการทดลองจริงในไร่นา ซึ่งค่าของการวิเคราะห์ดินวิธีใดที่ให้ค่าสัมพันธ์ที่ สหสัมพันธ์ที่สูงกว่าย่อมต้องเป็นวิธีที่ดีและเหมาะสมกว่าในการนำมาใช้ประเมินระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินและการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ย (สรสิทธิ์ และ พงนิย, 2507)

दानุ (2544) ทำการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกข้าวโพด โดยใช้น้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 1 และ sodium lactate พบว่าน้ำยาสกัดทั้ง 3 ชนิดสามารถใช้ในการประเมินความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินได้เป็นอย่างดี โดยน้ำยาสกัด Bray 2 มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อชั่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าสหสัมพันธ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.792** (แปลงที่เคยมีการไถกลบตอชั่ง) และ 0.827** (แปลงที่เคยมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์)

นฤมล (2531) ได้ทำการศึกษาวิธีวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินที่ใช้ปลูกมันสำปะหลัง โดยเลือกวิธีการสกัด 9 วิธี คือ การสกัดด้วยน้ำ Olsen Bray 2 Modified Bray 2 Saunder Nelson อินทรีย์

ฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสทั้งหมด และวิธีวิเคราะห์ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสแบบลำดับส่วน พบว่าวิธี Modified Bray 2 ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พืชดูดใช้สูงสุด ($r = 0.93$) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างวิธีการสกัดกับผลผลิตมันสำปะหลังนั้นวิธี Olsen จะมีค่าสูงสุด ($r = 0.96$) และผู้ทดลองยังได้ให้ข้อคิดเห็นไว้ว่าถึงแม้วิธี Modified Bray 2 จะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พืชดูดใช้สูงสุด แต่เมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสม ความสะดวก รวดเร็ว และประหยัด การเลือกใช้วิธีสกัดด้วย Bray 2 น่าจะเหมาะสมกับดินที่ใช้ปลูกมันสำปะหลังมากกว่า

พิสมัย (2544) ทำการศึกษาวิธีวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในชุดดินสตึก ก่อนปลูกถั่วเหลือง โดยใช้น้ำยาสกัด 3 ชนิด คือ Bray 2 Mehlich 1 และ Sodium lactate พบว่าน้ำยาสกัดทั้ง 3 ชนิดสามารถนำมาใช้ประเมินปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสำหรับการปลูกถั่วเหลืองได้เป็นอย่างดี โดยน้ำยาสกัด Mehlich 1 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสของถั่วเหลืองสูงสุด คือ $r = 0.799^{**}$ (แปลงที่เคยมีการไถกลบตอซัง) และน้ำยาสกัด Bray 2 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสของถั่วเหลืองสูงสุด คือ $r = 0.813^{**}$ (แปลงที่เคยมีการไถปุ๋ยอินทรีย์)

อัญธิชา (2546) ศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดได้จากน้ำยาสกัด 4 ชนิด คือ Bray 1 Bray 2 Mehlich 1 และ Olsen กับ relative yield และ relative total P uptake ในส่วนเหนือดินของถั่วเหลือง พบว่า น้ำยาสกัดทั้ง 4 ชนิดสามารถใช้วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในชุดดินอุษุยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนชุดดินปากช่องน้ำยาสกัด Bray 1 น่าจะเหมาะสมที่สุด สำหรับชุดดินน้ำพองไม่สามารถระบุถึงชนิดของสารละลายสกัดที่เหมาะสมได้ เนื่องจากปัญหาการควบคุมความชื้นที่เป็นประโยชน์ได้ของดินส่งผลต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

ศุรเชษฐ์ (2550) ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยาสกัด Mehlich 3 AB-DTPA Bray 2 และ Olsen กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ ใน 8 ชุดดิน ซึ่งส่วนใหญ่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว มีค่า pH อยู่ในช่วง 4.5-7.8 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยวิธี Bray 2 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้สูงสุด ($r = 0.898^{**}$) รองลงมาคือวิธี Mehlich 3 Olsen และ AB-DTPA ($r = 0.863^{**}$, $r = 0.803^{*}$ และ $r = 0.754^{*}$ ตามลำดับ)

Vacharotayan *et al.* (1964) ทำการทดลองเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ฟอสฟอรัส 5 วิธี คือ Bray 1 Bray 2 Olsen Troug Mehlich 1 โดยใช้ข้าวโพดเป็นพืชทดสอบ พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ด้วยวิธี Bray 2 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้สูงสุด ($r = 0.746^{**}$) รองลงมาคือวิธี Olsen ($r = 0.701^{**}$) นอกจากนี้ยังรายงานอีกว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พืชดูดใช้เป็นตัวบ่งชี้ระดับของฟอสฟอรัสในดินได้ดีกว่าการเจริญเติบโตของพืช

Enwezor (1977) ศึกษาเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ฟอสฟอรัส 7 วิธี คือ Anion exchange resin (AER) Bray 1 Bray 2 10%NaOAc ใน 3%HOAc, pH 4.8 Troug Olsen และ 0.1 M NaOH ในดิน 30 ชนิดของประเทศไนจีเรีย ซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วงระหว่าง 4.9-6.0 โดยใช้ข้าวโพดเป็นพืชทดสอบ พบว่าวิธี Bray 2 ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับ percentage yield สูงสุด ($r = 0.74^{**}$) รองลงมาได้แก่ AER และวิธี Olsen ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.72** และ 0.64** ตามลำดับ

Menon *et al.* (1989) ศึกษาการตอบสนองต่อฟอสฟอรัสของข้าวโพดที่ปลูกใน 4 ชุดดิน ซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วงระหว่าง 4.5 ถึง 8.2 โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธี Pi-test Bray 1 Bray 2 Mehlich 1 Olsen น้ำ และ Anion exchange resin (AER) พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยวิธี Olsen มีสหสัมพันธ์กับผลผลิตน้ำหนักแห้งและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พืชดูดใช้อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($r = 0.78^{***}$ และ 0.81^{***} ตามลำดับ)

7. การตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสของพืช

ชัยฤกษ์ (2515) เปรียบเทียบการตอบสนองและประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยในโตรเจนและฟอสฟอรัสในอัตรา 0-0 30-30 60-60 90-90 120-120 และ 180-180 กิโลกรัม N-P₂O₅ ต่อเฮกตาร์ ที่มีต่อผลผลิตและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พืชดูดใช้ โดยใช้ข้าวโพด 3 พันธุ์เป็นพืชทดสอบ ที่ปลูกบนชุดดินปากช่อง มีค่าปฏิกิริยาดินเท่ากับ 5.8 อินทรีย์วัตถุ 2.06 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี Walkley and Black และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 4.3 mg P kg⁻¹ โดยวิธี Bray 1 พบว่า ข้าวโพดตอบสนองต่อปุ๋ยที่ใช้ทั้ง 6 อัตรา โดยปุ๋ยอัตรา 60-60 กิโลกรัม N-P₂O₅ ต่อเฮกตาร์ ให้ผลผลิตของเมล็ดข้าวโพดที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์สูงสุด คือ 5,789.3 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และปุ๋ยอัตรา 180-180 กิโลกรัม N-P₂O₅ ต่อเฮกตาร์ มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้สูงสุด คือ 0.329 เปอร์เซ็นต์ การทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า อัตราปุ๋ย 60-60 กิโลกรัม N-P₂O₅ ต่อเฮกตาร์ ก็เพียงพอสำหรับข้าวโพด และการใส่ปุ๋ยเป็นสิ่งจำเป็นมากสำหรับพืช

น้อย และคณะ (2525) ศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสหรือปุ๋ยฟอสเฟตของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ในดินจังหวัดลำปาง เนื้อดินเป็นดินร่วน มีค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 4 mg P kg^{-1} สกัดโดยวิธี Bray 2 โดยใช้ปุ๋ยฟอสเฟต 4 ระดับคือ 0 9 18 และ 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ พบว่าถั่วเหลืองมีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในอัตรา 18 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จะทำให้ผลผลิตของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นจากที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยคือ 111 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 386 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตอัตราสูงกว่า 18 กิโลกรัม P_2O_5 จะไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

มนัญญา (2536) ศึกษาบทบาทของฟอสฟอรัสที่มีต่อผลผลิตและปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวโพดพันธุ์ลูกผสมสุวรรณ 2602 ที่ปลูกในชุดดินบ้านบึง ชุดดินสติก และชุดดินหุบกะพง พบว่าค่ารับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสร่วมกับปุ๋ยหมักทำให้ผลผลิตน้ำหนักรากและปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวโพดสูงกว่าในค่ารับการทดลองที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและปุ๋ยหมัก แสดงให้เห็นว่าข้าวโพดมีการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปดิน

दानุ (2544) ศึกษาผลตกค้างระยะยาวของปุ๋ยฟอสเฟตที่มีต่อผลผลิตของข้าวโพดที่ปลูกบนชุดดินสติก พบว่าแปลงในกลุ่มที่เคยมีการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) ให้ผลผลิตสูงที่สุด รองลงมาได้แก่แปลงในกลุ่มที่เคยใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (RP+MAP) และแปลงในกลุ่มที่เคยใส่ปุ๋ยโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (MAP) ตามลำดับ ในขณะที่แปลงในกลุ่มที่ไม่เคยมีการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเลย (P_0) ให้ค่าน้ำหนักผลผลิตต่ำสุด

นันทพร (2547) ศึกษาผลการใส่ฟอสฟอรัสในรูปปุ๋ยเคมี มูลไก่ และปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลไก่ต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่อง มีปฏิกิริยาดินเป็นกรด (pH 5.0) ค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 9.5 mg P kg^{-1} สกัดโดยวิธี Bray 2 พบว่า การเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าวโพดที่ได้รับการใส่ฟอสฟอรัสสูงกว่าที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างเด่นชัด ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าชุดดินปากช่องขาดฟอสฟอรัส ข้าวโพดจึงตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

Aitken and Hughes (1980) ทำการทดลองปลูกมะเขือเทศในดิน krasnozem ของประเทศออสเตรเลีย มีค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 12 mg P kg^{-1} โดยใช้ปุ๋ยฟอสเฟต 3 ชนิดคือ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต และไดแอมโมเนียมฟอสเฟต พบว่า

ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งและปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชดูดใช้สูงสุด นอกจากนี้ยังรายงานอีกว่าการใส่ซัลเฟตในรูปไดโทเทสเสริมซัลเฟตร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟต จะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชดูดใช้สูงกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว

Alam *et al.* (2005) ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อผลผลิตน้ำหนักรากแห้งและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พืชดูดใช้ โดยนำกากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรม มูลไก่ และไดแคลเซียมฟอสเฟต (DCP) มาผสมกันให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 75 mg P kg^{-1} เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ย single super phosphate (SSP) โดยใช้ข้าวโพดเป็นพืชทดสอบ พบว่าข้าวโพดตอบสนองต่อปุ๋ยผสม โดยการใช้ปุ๋ยผสมของมูลไก่กับ DCP อัตรา 2:1 ให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พืชดูดใช้สูงสุด การใช้ปุ๋ยผสมของกากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรม มูลไก่ และ DCP อัตรา 1:1:1 ให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พืชดูดใช้เท่ากับ 95 และ 93 เปอร์เซ็นต์ของค่าสูงสุด และการใช้ปุ๋ย SSP เพียงอย่างเดียว ให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พืชดูดใช้ต่ำสุด คือ 79 และ 61 เปอร์เซ็นต์ของค่าสูงสุด

8. ลักษณะของดิน การเกิด และการจำแนกดินที่ใช้ในการศึกษา

จากรายงานของกองสำรวจและจัดจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน (2548ก, 2548ข) ได้อธิบายรายละเอียดของดินที่ใช้ในการทดลองไว้ดังนี้

8.1 ชุดดินองครักษ์ (Ongkharak series: Ok)

ชุดดินองครักษ์จัดอยู่ใน Very-fine, mixed, semiactive, isohyperthermic Sulfic Endoaquepts เป็นดินที่มีวัตถุต้นกำเนิดเกิดจากตะกอนน้ำกร่อยพามาทับถมอยู่บนที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง สภาพพื้นที่เป็นแบบราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดชัน 0-2 เปอร์เซ็นต์ เป็นดินลึก มีการระบายน้ำเร็ว น้ำซึมผ่านได้ช้า การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า เนื้อดินเป็นดินเหนียวตลอด ดินบนมีสีน้ำตาลหรือสีเทาเข้ม มีจุดประสีแดงปนเหลืองหรือสีน้ำตาลแก่ ดินล่างมีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทาและเป็นดินเลนสีเทาเข้ม ในดินล่างลึกลงไปมีจุดสีแดง สีน้ำตาลแก่ และภายในความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดินจะพบจุดประสีเหลืองฟางข้าว เป็นแท่งยาวๆ จะพบรอยอุกในดินล่าง ฤดูแล้งหน้าดินจะแตกกระแหง มี pH ของดินบนอยู่ในช่วง 4.0-4.5 ดินล่างมี pH น้อยกว่า 4.5

8.2 ชุดดินโคราช (Khorat series: Kt)

ชุดดินโคราชจัดอยู่ใน Fine-Loamy, siliceous, isohyperthermic Typic (Oxyaquic) Kandiusults เป็นดินที่มีวัตถุต้นกำเนิดเกิดจากตะกอนของหินตะกอนเนื้อหยาบชะมาทับถมบนพื้นผิวของการเกลี่ยผิวแผ่นดิน สภาพพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดชัน 2-5 เปอร์เซ็นต์ เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดีปานกลาง น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย มีสีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาล ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ส่วนใหญ่มีอนุภาคดินเหนียวไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลือง พบจุดประสีน้ำตาลแก่หรือสีเหลืองปนแดง ภายใต้อายุมากกว่า 100 เซนติเมตรจากผิวดิน มี pH ของดินบนอยู่ในช่วง 5.5-6.5 ดินล่างมี pH อยู่ในช่วง 4.5-5.0

8.3 ชุดดินลี (Li series: Li)

ชุดดินลีจัดอยู่ใน Clayey-skeletal, mixed, semiactive, shallow, isohyperthermic Ultic Haplustalfs เป็นดินที่มีวัตถุต้นกำเนิดเกิดจากการผุพังของหินตะกอนเนื้อละเอียดและหินที่แปรสภาพ เช่น หินดินดาน หินทรายแป้ง หินโคลน หินชนวน หินฟอสเฟต บริเวณพื้นที่ภูเขา และรวมถึงที่เกิดจากวัสดุหินหรือหินที่เคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไกลๆ โดยแรงโน้มถ่วงบริเวณเชิงเขา สภาพพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงเป็นเนินเขา มีความลาดชัน 4-35 เปอร์เซ็นต์ เป็นดินตื้นหรือตื้นมากถึงชั้นเศษหินหนาแน่น มีการระบายน้ำดี น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลางถึงเร็ว ดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทรายแป้งหรือดินร่วนปนดินเหนียวปนเศษหิน มีสีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาลปนแดงเข้ม ดินล่างเป็นดินเหนียวปนเศษหินหนาแน่นมาก สีแดงหรือสีแดงปนเหลือง มี pH ของดินบนอยู่ในช่วง 6.0-7.0 ดินล่างมี pH อยู่ในช่วง 5.5-6.5

8.4 ชุดดินปากช่อง (Pak Chong series: Pc)

ชุดดินปากช่องจัดอยู่ใน Very-fine, kaolinitic, isohyperthermic Rhodic Kandistox เป็นดินที่มีวัตถุต้นกำเนิดเป็นพอกสลายตัวอยู่กับที่ (residuum) หรือเศษหินเชิงเขาของหินดินดานที่แทรกกับหินปูนในสภาพภูมิประเทศแบบคาสต์ สภาพพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดชัน 2-8 เปอร์เซ็นต์ เป็นดินลึกมาก มีการระบายน้ำดี น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง ดินบนเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สี

น้ำตาลปนแดงเข้ม ดินล่างเป็นดินเหนียว สีน้ำตาลปนแดงเข้ม สีแดง อาจพบก้อนเหล็กและแมงกานีสสะสมในดินล่าง pH ของดินบนอยู่ในช่วง 6.0-7.0 ดินล่างมี pH อยู่ในช่วง 4.5-5.5

8.5 ชุดดินชัยบาดาล (Chai Badan series: Cd)

ชุดดินชัยบาดาลจัดอยู่ใน Fine, smectitic, isohyperthermic Leptic Haplusterts เป็นดินที่มีวัตถุต้นกำเนิดเกิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่ และ/หรือเคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางใกล้ๆ โดยแรงโน้มถ่วงของโลกของหินบะซอลท์ หินแอนดิไซค์ หรือหินไรโอไลต์ สภาพพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดชัน 2-8 เปอร์เซ็นต์ เป็นดินลึกปานกลาง พบชั้นหินผุที่ความลึกระหว่าง 50-100 เซนติเมตร มีการระบายน้ำดีปานกลาง น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง เนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้งตลอด ดินบนมีสีน้ำตาลปนเทาหรือสีเทา ดินล่างมีสีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาล มีรอยไหลที่เอียงจากแนวระดับหลายๆ รอย หน้าดินจะแตกกระแหว่งเป็นร่องลึกในฤดูแล้ง อาจพบก้อนหินปูนสะสมในดินล่าง pH ของดินบนอยู่ในช่วง 6.5-8.0 ดินล่างมี pH อยู่ในช่วง 7.0-8.0

8.6 ชุดดินหินซ้อน (Hin Son series: Hs)

ชุดดินหินซ้อนจัดอยู่ใน Fine, mixed, isohyperthermic Lithic Haplustalfs เป็นดินที่มีวัตถุต้นกำเนิดเกิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่ และ/หรือเคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางใกล้ๆ โดยแรงโน้มถ่วงของโลกของหินดินดานหรือหินทรายที่มีปูนปนอยู่บนพื้นผิว สภาพพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดชัน 2-16 เปอร์เซ็นต์ เป็นดินตื้น มีการระบายน้ำดี น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง เป็นดินร่วนปนดินเหนียวถึงดินเหนียวตลอด ดินบนมีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนแดง ดินล่างมีสีน้ำตาลปนแดงถึงสีน้ำตาลปนแดงเข้มและมีเม็ดปูนสีขาวปนอยู่ตลอด จะพบชั้นของหินดินดานและหินทรายที่กำลังสลายตัวอยู่ช่วงความลึกไม่เกิน 50 เซนติเมตรจากผิวดิน อาจพบหินปูนที่สลายตัวไปบางส่วนอยู่บนผิวดินด้วย มี pH ของดินบนอยู่ในช่วง 6.5-8.0 ดินล่างมี pH อยู่ในช่วง 6.5-8.0

9. ความสำคัญของข้าวโพด

ข้าวโพด (*Zea mays* L.) เป็นธัญพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับ 3 ของโลกรองจากข้าวสาลีและข้าว (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2542; FAOSTAT, 2005) ผลผลิตของข้าวโพดนำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารของมนุษย์ อาหารเลี้ยงสัตว์ ทำสบู่ น้ำมันใส่ผม น้ำหอม กระดาษ ยารักษาโรค ผ้า ป้าย และเชื้อเพลิงในการหุงต้ม ในปี พ.ศ. 2548 พื้นที่เก็บเกี่ยวข้าวโพดทั่วโลกมีประมาณ 915.4 ล้านไร่ มีผลผลิตรวม 691.1 ล้านตัน ประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุดของโลก คือ สหรัฐอเมริกา รองลงมาได้แก่ จีน บราซิล เม็กซิโก ฝรั่งเศส อินเดีย โรมานี อาร์เจนตินา อินโดนีเซีย อิตาลี ไทย ตามลำดับ ประเทศไทยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวข้าวโพดประมาณ 6.4 ล้านไร่ มีผลผลิตรวม 3.8 ล้านตัน และมีผลผลิตต่อไร่เฉลี่ย 602 กิโลกรัมต่อไร่ โดยพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดสามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทยและปลูกปีละ 4-5 ครั้ง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548)

10. ลักษณะข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452 เป็นพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวที่ได้จากการนำสายพันธุ์แท้ เกษตรศาสตร์ 47 ผสมกับสายพันธุ์แท้ Kei 0102 ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ และผลผลิตรวมของประเทศไทย เพื่อให้มีปริมาณเพียงพอในการใช้ภายในประเทศและการส่งออก การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมเดี่ยวให้มีผลผลิตสูงกว่าพันธุ์สุวรรณ 3851 อย่างน้อย 10 เปอร์เซ็นต์ และมีเสถียรภาพ (stability) สูงในการให้ผลผลิตในแหล่งปลูกข้าวโพดต่างๆ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452 มีแนวโน้มสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เลวถึงดี พันธุ์สุวรรณ 4452 มีอายุวันสลัดละอองเกสร 50 เปอร์เซ็นต์ 54 วัน วันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ 54 วัน ความสูงต้น 217 เซนติเมตร ความสูงฝัก 130 เซนติเมตร และให้ลักษณะทางเกษตรบางอย่างดีกว่าพันธุ์สุวรรณ 3851 ได้แก่ ด้านทานการหักล้ม ด้านทานโรคราน้ำค้าง โรคทางใบ โดยเฉพาะโรคราสนิม เปลือกหุ้มฝักมิดชิด ลักษณะต้นและฝักดีกว่า ฝักแน่นน้อยกว่า จำนวนฝักต่อต้นสูงกว่า และมีเปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ดสูงกว่าถึง 81.9 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้พันธุ์สุวรรณ 4452 ยังมีเมล็ดสีส้มเหลืองหัวแข็ง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ดินที่เป็นตัวแทนในการศึกษาประกอบด้วย 6 ชุดดิน คือ ชุดดินองครักษ์ โคราช ลี้ ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซ็อน เก็บจากแปลงเกษตรกรที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรจากผิวดิน นำมาผึ่งลมให้แห้ง ทำการย่อยให้มีขนาดเล็กสำหรับปลุกพืชทดสอบ ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร สำหรับวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับชุดดินที่นำมาศึกษาแสดงอยู่ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับชุดดินที่เป็นตัวแทนในการศึกษา

ชุดดินที่	ชื่อชุดดิน	สัญลักษณ์	สถานที่เก็บดิน	พิกัดกริด UTM
1	องครักษ์	Ok	อ.องครักษ์ จ.นครนายก	47P 0717317 UTH 1561749
2	โคราช	Kt	อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา	47P 0795765 UTH 1648110
3	ลี้	Li	อ.วังม่วง จ.ลพบุรี	47P 0747872 UTH 1639224
4	ปากช่อง	Pc	อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี	47P 0706119 UTH 1635160
5	ชัยบาดาล	Cd	อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี	47P 0705546 UTH 1643616
6	หินซ็อน	Hs	อ.อุทุมพร จ.สุพรรณบุรี	47P 0590907 UTH 1584858

2. เมล็ดข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452

3. กระถางพลาสติกสำหรับปลูกข้าวโพด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร สูง 22 เซนติเมตร

4. ปุ๋ยเคมี ได้แก่

4.1 ปุ๋ยยูเรีย ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

4.2 ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟต ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$); ปุ๋ยฟอสฟอรัสละลายง่าย

4.3 ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟต ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); ปุ๋ยฟอสฟอรัสละลายยาก

4.4 ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)

4.5 ปุ๋ยสังกะสีซัลเฟต ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

4.6 ปุ๋ย Fe-DTPA (11.3%Fe)

5. สารเคมีที่ใช้สำหรับป้องกันกำจัดโรคและแมลง

6. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินและพืช

7. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี

7.1 เครื่องบดดิน

7.2 ตะแกรงร่อนดินมาตรฐานขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร

7.3 เครื่องบดตัวอย่างพืช

7.4 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ

7.5 เครื่องชั่ง 3 และ 4 ตำแหน่ง

7.6 pH meter

7.7 Electrical conductivity meter

7.8 Digestion apparatus

7.9 Fume hood

7.10 Automatic pipette

7.11 Spectrophotometer

7.12 Atomic absorption spectrophotometer

7.13 Centrifuge apparatus

7.14 อุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็นในห้องปฏิบัติการ และการปลูกพืชทดสอบในเรือนทดลอง

8. สารเคมีชนิด analytical grade ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินและพืช

วิธีการ

1. การทดลองในห้องปฏิบัติการ

ในห้องปฏิบัติการได้ทำการศึกษาถึงการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสรูปแบบต่างๆ ค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสของดิน ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสในดิน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมีที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดิน และการวิเคราะห์พืช

1.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินทั้ง 6 ชุดดินที่เก็บมาจากแปลงเกษตรกร ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรจากผิวดิน นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม คลุกเคล้าให้เข้ากัน บดละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

นำตัวอย่างดินของชุดดินองค์กรักษ์ ไคราช ลี ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซ็อน มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดังนี้

1.2.1 การกระจายของอนุภาคดิน (soil particle size distribution) โดยวิธี pipette method (Kilmer and Alexander, 1949; Day, 1965) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาแจกแจงประเภทของดิน (soil textural class) โดยการเปรียบเทียบกับชั้นเนื้อดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (Soil Survey Division Staff, 1993)

1.2.2 ปฏิกริยาของดิน (pH) วัดโดยใช้ pH meter อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (ทศนิยม และจรงค์, 2542)

1.2.3 สภาพการนำไฟฟ้าของดิน (electrical conductivity, EC) โดยการเตรียม saturation extract และวิเคราะห์ค่าโดยใช้ electrical conductivity meter (ทศนิยม และจรงค์, 2542)

1.2.4 ค่าความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange capacity, CEC) โดยวิธี NH_4OAc pH 7.0 saturation (ทัศนีย์ และจรงักษ์, 2542)

1.2.5 ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) โดยวิธี Walkley and Black Titration (ทัศนีย์ และจรงักษ์, 2542; Walkley and Black, 1934)

1.2.6 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate, CaCO_3) วิเคราะห์โดยใช้ hydrochloric acid 1 *N* เป็นตัวสกัด แล้วไทเทรตด้วย 0.5 *N* NaOH (Black *et al.*, 1965)

1.2.7 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย HNO_3 – HClO_4 acid mixture digestion และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี Vanado - molybdate yellow color (ทัศนีย์ และจรงักษ์, 2542)

1.2.8 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) ทำการสกัดดินโดยวิธี Bray 2 (Bray and Kurtz, 1945), Mehlich 3 (Mehlich, 1984), Olsen (Olsen *et al.*, 1954) และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี molybdate ascorbic acid (ทัศนีย์ และจรงักษ์, 2542; Kuo, 1996)

1.2.9 ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด (total K, Ca, Mg) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย HNO_3 – HClO_4 acid mixture digestion และวิเคราะห์ปริมาณโดยใช้ atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงักษ์, 2542)

1.2.10 ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ (available K, Ca, Mg) ทำการสกัดด้วยสารละลาย 1 *N* NH_4OAc pH 7.0 และวิเคราะห์ปริมาณโดยใช้ atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงักษ์, 2542)

1.2.11 ปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงทั้งหมด (total Fe, Mn, Zn, Cu) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย HNO_3 – H_2SO_4 – HClO_4 acid mixture digestion และวิเคราะห์ปริมาณโดยใช้ atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงักษ์, 2542)

1.2.12 ปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (available Fe, Mn, Zn, Cu) ทำการสกัดด้วยสารละลาย 0.005 M DTPA pH 7.3 และวิเคราะห์ปริมาณโดยใช้ atomic absorption spectrophotometer (ทักษิณีย์ และจรงักษ์, 2542)

1.2.13 ปริมาณอะลูมิเนียมทั้งหมด (total Al) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย $\text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{HClO}_4$ acid mixture digestion และวิเคราะห์ปริมาณโดยใช้ atomic absorption spectrophotometer (ทักษิณีย์ และจรงักษ์, 2542)

1.2.14 ปริมาณอะลูมิเนียมที่เป็นประโยชน์ (available Al) ทำการสกัดด้วยสารละลาย 1 N KCl และวิเคราะห์ปริมาณโดยใช้ atomic absorption spectrophotometer (ทักษิณีย์ และจรงักษ์, 2542)

1.3 วิธีการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

การประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยการเปรียบเทียบค่าวิเคราะห์ดินทางเคมี 3 วิธีดังนี้

1.3.1 Bray 2 (Bray and Kurtz, 1945) ประกอบด้วย 0.03 M NH_4F + 0.1 M HCl เตรียมโดยทำ stock solution ของ 1 M NH_4F (ละลาย NH_4F 37 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร) และ 0.5 M HCl (เจือจาง conc. HCl 20.8 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร) จากนั้นตวง 1 M NH_4F 15 มิลลิลิตร ผสมกับ 0.5 M HCl 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ใช้ในอัตราส่วนดินต่อน้ำยาสกัดเท่ากับ 1:7 เวลาในการสกัด 40 วินาที กรองด้วยกระดาษกรอง นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยวิธี molybdate-ascorbic acid

1.3.2 Mehlich 3 (Mehlich, 1984) ประกอบด้วย 0.2 M CH_3COOH , 0.25 M NH_4NO_3 , 0.015 M NH_4F , 0.013 M HNO_3 และ 0.001 M EDTA เตรียมโดยตวง conc. CH_3COOH 11.49 มิลลิลิตร, conc. HNO_3 0.84 มิลลิลิตร, ชั่ง NH_4NO_3 20 กรัม, NH_4F 0.56 กรัม และ EDTA 0.29 กรัม ผสมส่วนประกอบทั้งหมดใน volumetric flask ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ใช้ในอัตราส่วนดินต่อน้ำยาสกัดเท่ากับ 1:10 เวลาในการสกัด 5 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยวิธี molybdate-ascorbic acid

1.3.3 Olsen (Olsen *et al.*, 1954) ประกอบด้วย 0.5 N NaHCO_3 pH = 8.5 เตรียมโดยชั่ง NaHCO_3 42 กรัม ใส่ใน volumetric flask ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น 950 มิลลิลิตร ปรับ pH เป็น 8.5 ด้วย 1 M NaOH (ละลาย NaOH 40 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร) จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ใช้ในอัตราส่วนดินต่อน้ำยาสกัดเท่ากับ 1:20 เวลาในการสกัด 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยวิธี molybdate-ascorbic acid

1.4 การศึกษาปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสรูปต่างๆ ในดิน

การวิเคราะห์อนินทรีย์ฟอสฟอรัสรูป aluminum phosphate (Al-P) iron phosphate (Fe-P) และ calcium phosphate (Ca-P) ในดินตามวิธีของ Zhang (2000) และวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายโดยวิธี molybdate ascorbic acid ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ในหลอดเหวี่ยงหนีศูนย์กลางขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 1 M NH_4Cl จำนวน 50 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องเขย่าด้วยไฟฟ้าเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที รินส่วนที่เป็นสารละลายใส ซึ่งละลายฟอสฟอรัสที่เกาะกับดินอย่างหลวมๆ ออกมาจนหมด ลงใน volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตร

เติม 0.5 M NH_4F , pH 8.2 จำนวน 50 มิลลิลิตรลงในหลอดเหวี่ยง นำไปเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แยกสารละลายใสลงใน volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณ Al-P

ล้างดินที่ค้างในหลอดเหวี่ยงด้วยสารละลายเกลือแกงที่อุณหภูมิ 2 ครั้งๆ ละ 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนของสารละลายทิ้งไป แล้วเติม 0.1 M NaOH จำนวน 50 มิลลิลิตรลงในหลอดเหวี่ยง นำไปเขย่าเป็นเวลา 17 ชั่วโมง แล้วนำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แยกสารละลายใสลงใน volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณ Fe-P

ล้างดินที่ค้างในหลอดเหวี่ยงด้วยสารละลายเกลือแกงที่อุณหภูมิ 2 ครั้งๆ ละ 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนของสารละลายทิ้งไป แล้วเติม 0.25 M H_2SO_4 จำนวน 50 มิลลิลิตรลงในหลอดเหวี่ยง นำไปเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แยกสารละลายใสลงใน volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณ Ca-P

การวิเคราะห์ปริมาณ Al-P ในสารละลายดิน

นำสารละลายดินที่สกัดได้มาจำนวน 1-10 มิลลิลิตร ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 0.8 M H_3BO_3 จำนวน 7.5 มิลลิลิตร เติม reagent B (สารละลาย ammonium molybdate ผสมกับสารละลาย antimony potassium tartrate รีดิวซ์ด้วย ascorbic acid) จำนวน 4 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร นำไปวัด %T ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542; Kuo, 1996)

การวิเคราะห์ปริมาณ Fe-P ในสารละลายดิน

เติม conc. H_2SO_4 จำนวน 3 หยด ลงในสารละลายที่สกัดได้เพื่อตกตะกอนอินทรีย์วัตถุ นำสารละลายดินที่สกัดได้มาจำนวน 1-10 มิลลิลิตร ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร เติม reagent B จำนวน 4 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร นำไปวัด %T ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542; Kuo, 1996)

การวิเคราะห์ปริมาณ Ca-P ในสารละลายดิน

นำสารละลายดินที่สกัดได้มาจำนวน 1-10 มิลลิลิตร ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร เติม reagent B จำนวน 4 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร นำไปวัด %T ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542; Kuo, 1996)

1.5 การศึกษาค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสของดิน

การวิเคราะห์ค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสของดินตามวิธีของ Fox and Kamprath (1970) แต่ได้มีการดัดแปลงวิธีการวิเคราะห์ และวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในสารละลายโดยวิธี molybdate ascorbic acid ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ ซึ่งตัวอย่างดินขนาด 2 มิลลิเมตร จำนวน 5 กรัม ใส่ในขวดพลาสติกขนาด 240 มิลลิตร เติมสารละลาย 0.01 M CaCl_2 ที่ประกอบด้วย $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ อัตรา 0 และ 100 mg P kg^{-1} จำนวน 200 มิลลิตร ทำ 3 ซ้ำ เติมโทลูอินลงไปในขวดละ 2 หยด ปิดฝาขวด บ่มสารละลายดินไว้ 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เขย่าทุกวันๆ ละ 2 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที เมื่อครบกำหนด แยกส่วนที่ละลายใน 0.01 M CaCl_2 ออกจากดิน โดยนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที กรองสารละลายผ่านกระดาษกรอง นำสารละลายใสที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธี molybdate-ascorbic acid ปริมาณฟอสฟอรัสที่หายไปจะถือว่าถูกตรึงอยู่ในดิน (fixed P)

คำนวณค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสของดิน จากการหาค่าเปอร์เซ็นต์การตรึงฟอสฟอรัสของดิน โดยหาได้จากผลต่างระหว่างปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เหลือในสารละลาย โดยใช้สูตรดังนี้

สูตร ค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสของดิน

$$\% \text{ fixed P} = \frac{A - (B - C) \times 100}{A}$$

โดยที่ % fixed P = เปอร์เซ็นต์การตรึงฟอสฟอรัสของดิน

A = ความเข้มข้นของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปในดินอัตรา
100 mg P kg^{-1} (หน่วย mg P kg^{-1})

B = ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายใสในตำรับที่ใส่ปุ๋ย
(หน่วย mg P kg^{-1})

C = ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายใสในตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ย
(หน่วย mg P kg^{-1})

1.6 การศึกษาความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสในดิน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมีที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดิน

ซังตัวอย่างดินทั้ง 6 ชุดดิน จำนวน 5 กรัม ผสมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 3 คำรับ ได้แก่ ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟต (MCP) อัตรา 100 mg P kg^{-1} และใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟต (DCP) อัตรา 100 mg P kg^{-1} ใส่ในน้ำกรองโดยทำให้ดินมีความชื้นที่ระดับความจุความชื้นสนาม (field moisture capacity) ในกระป๋องพลาสติก เติมน้ำกลั่นลงไปกระป๋องละ 2 หยด แล้วทำการปิดฝา จากนั้นทำการบ่ม (incubation) ในสภาพ aeration ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาในการบ่มดิน 1 3 5 และ 7 สัปดาห์ ตามลำดับ เมื่อครบกำหนด ทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน โดยวิธี Bray 2

1.7 การวิเคราะห์พืช

การนำตัวอย่างพืชที่เก็บมาได้จากการทดลองปลูกพืชในกระถาง มาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างพืชแห้ง (มีน้ำหนักคงที่) แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดพืช จนละเอียดขนาดที่ผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานขนาด 40 เมช แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย $\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$ acid mixture digestion และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี Vanado - molybdate yellow color (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542)

2. การทดลองในเรือนทดลอง

เป็นการศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองต่อปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟต; ปุ๋ยฟอสฟอรัสละลายง่าย และปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟต; ปุ๋ยฟอสฟอรัสละลายยากของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินองครักษ์ โคราช ลี ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซื่อน

2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 6×3 Factorial experiment in completely randomized design จำนวน 4 ซ้ำ มีหน่วยการทดลองทั้งหมด 72 กระถาง โดยกำหนดให้ชนิดดินเป็นปัจจัยแรก

ประกอบด้วย 6 ชุดดินคือ ชุดดินองครักษ์ โคราซ ลี้ ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซ็อน ปัจจัยที่สอง เป็นการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ประกอบด้วย 3 ดำรับการทดลองดังนี้

- | | |
|------------|---|
| ดำรับที่ 1 | ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส |
| ดำรับที่ 2 | ใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟต ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) อัตรา 100 mgP kg^{-1} |
| ดำรับที่ 3 | ใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟต ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) อัตรา 100 mgP kg^{-1} |

2.2 การเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินที่เก็บมาจากแปลงเกษตรกร ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรจากผิวดิน นามาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แล้วย่อยให้มีขนาดเล็กลง คลุกเคล้าให้เข้ากัน ซึ่งดินจำนวน 5 กิโลกรัมต่อ กระถางผสมกับปุ๋ยตามดำรับการทดลอง แล้วรดน้ำ โดยทำให้ดินมีความชื้นที่ระดับความจุความชื้น สนาม (field moisture capacity) จากนั้นทำการบ่มดินเป็นเวลา 3 วัน

2.3 การปลูกพืชทดสอบ

หยอดเมล็ดข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 กระถางละ 5 เมล็ด เมื่อข้าวโพดอายุได้ 7 วัน หลังงอก ถอนแยกให้เหลือ 3 ต้นต่อกระถาง โดยอัตราปุ๋ยที่ใช้คือไนโตรเจน 250 mg N kg^{-1} ในรูป ปุ๋ยยูเรีย และโพแทสเซียม $200 \text{ mg K}_2\text{O kg}^{-1}$ ในรูปปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์

การดูแลรักษา ควบคุมระดับความชื้นของดินในกระถางทดลอง โดยรดน้ำลงไปดิน ประมาณวันละ 2 ครั้ง คือเช้าและเย็น โดยคำนึงถึงการรักษาความชื้นของดินให้อยู่ใกล้ระดับความจุ ความชื้นสนาม (field moisture capacity)

การป้องกันกำจัดศัตรูพืช ทำโดยการใช้ยาฉีดป้องกันโรคและแมลงเป็นระยะๆ และ กำจัดวัชพืชโดยการถอนด้วยมือ

ทำการเก็บเกี่ยวข้าวโพด 3 ครั้ง ครั้งละ 1 ต้น ตัดต้นที่ 1 ที่อายุ 14 วัน ต้นที่ 2 ที่อายุ 28 วันและต้นที่ 3 ที่อายุ 95 วัน การเก็บเกี่ยวตอซังข้าวโพดทำการตัดที่โคนต้น การเก็บเกี่ยวฝักข้าวโพดทำการปอกเปลือกแล้วนำมากะเทาะเมล็ด นำไปอบให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก แล้วบดให้ละเอียด เพื่อนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืชต่อไป

2.4 การเก็บข้อมูล

2.4.1 บันทึกความสูงของข้าวโพด

2.4.2 น้ำหนักแห้งของตอซังและฝัก

2.4.3 น้ำหนักของเมล็ดข้าวโพดที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ สามารถคำนวณหาได้โดยใช้

สูตร

$$\text{น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์} = \frac{a \times (100-b)}{(100-15)}$$

a = น้ำหนักของเมล็ดข้าวโพดที่ความชื้น b (กรัม)

b = เปอร์เซ็นต์ความชื้นระดับต่างๆ กันของเมล็ดข้าวโพดที่หาได้จากเครื่องวัด

ความชื้น

2.4.4 เปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ด (shelling percentage) สามารถคำนวณหาได้โดยใช้สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ด (\%)} = \frac{a}{b} \times 100$$

a = น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้นระดับต่างๆ ของแต่ละกระถาง

b = น้ำหนักทั้งฝักที่ความชื้นระดับต่างๆ ของแต่ละกระถาง

2.4.5 ประสิทธิภาพของการดึงดูดยูมาใช้ประโยชน์ (recovery) ในชุดดินต่างๆ สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร (ชัยฤกษ์, 2515)

$$\text{ประสิทธิภาพของการดึงปุ๋ยมาใช้ประโยชน์ (\%)} = \frac{(C - P) + (D - Q) \times 100}{M}$$

C = ปริมาณการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสในเมล็ดที่ใส่ปุ๋ย

D = ปริมาณการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสในตอซังที่ใส่ปุ๋ย

P = ปริมาณการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสในเมล็ดที่ไม่ใส่ปุ๋ย

Q = ปริมาณการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสในตอซังที่ไม่ใส่ปุ๋ย

M = อัตราปุ๋ยที่ใส่ เช่น การใส่ปุ๋ย MCP อัตรา 100 mg P kg⁻¹ ค่า M จะเท่ากับ 500

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลความสูง น้ำหนักแห้ง และปริมาณการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสของพืชทดสอบ นำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อหาค่า F-value และค่าทางสถิติอื่นๆ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan's multiple range test) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

นำค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในชุดดินต่างๆ ซึ่งสกัดโดยวิธีที่ใช้น้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 3 Olsen และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน มาหาสหสัมพันธ์กับผลผลิต และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ (correlation analysis) และประเมินค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r)

สถานที่และระยะเวลาในการศึกษา

สถานที่ศึกษา

เรือนทดลองและห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาในการศึกษา

เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549 – เดือนมกราคม พ.ศ. 2551

ผลและวิจารณ์

1. สมบัติของดินที่นำมาศึกษา

สมบัติบางประการของชุดดินองครักษ์ โคราช ลี ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซ็อนที่นำมาศึกษาแสดงอยู่ในตารางที่ 2 พบว่ามีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายจนถึงดินเหนียว ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากจนถึงค่างปานกลางมี pH อยู่ในช่วง 3.6-8.4 (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973) สภาพการนำไฟฟ้า (EC) ของทุกชุดดินอยู่ในระดับต่ำ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) อยู่ในช่วง 3-57 cmol(+)kg⁻¹ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำจนถึงค่อนข้างสูง มีปริมาณสมมูลแคลเซียมคาร์บอเนต (CCE) อยู่ในช่วง 0-5 g kg⁻¹ ดิน 4 ชุดดินคือ ชุดดินองครักษ์ โคราช ลี และหินซ็อนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ ส่วนชุดดินชัยบาดาลมีอยู่ในระดับปานกลาง และชุดดินปากช่องมีอยู่ในระดับสูง ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 120-346 mg K kg⁻¹ 245-8,522 mg Ca kg⁻¹ และ 76-777 mg Mg kg⁻¹ ตามลำดับ ปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และอะลูมิเนียมที่เป็นประโยชน์ในดิน อยู่ในช่วง 3-89 mg Fe kg⁻¹ 3-26 mg Mn kg⁻¹ 0.2-1.1 mg Zn kg⁻¹ 0.1-0.9 mg Cu kg⁻¹ และ 23-411 mg Al kg⁻¹ ตามลำดับ มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 538-1,546 mg P kg⁻¹ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 274-6,680 mg K kg⁻¹ 69-3,841 mg Ca kg⁻¹ และ 337-16,225 mg Mg kg⁻¹ ตามลำดับ ปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และอะลูมิเนียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 7,540-53,533 mg Fe kg⁻¹ 94-1,726 mg Mn kg⁻¹ 9-80 mg Zn kg⁻¹ 3-53 mg Cu kg⁻¹ และ 10,400-140,367 mg Al kg⁻¹ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสรูปแบบต่างๆ ในดินพบว่า ในชุดดินองครักษ์ โคราช และลี้มีปริมาณ Fe-P>Al-P>Ca-P ชุดดินปากช่องมีปริมาณ Fe-P>Ca-P>Al-P ส่วนชุดดินชัยบาดาลและหินซ็อนมีปริมาณ Ca-P>Fe-P>Al-P

จากผลการทดลองพบว่าชุดดินองครักษ์ โคราช ลี และหินซ็อนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของกรมพัฒนาที่ดิน (2548ก, 2548ข) รายงานว่าชุดดินองครักษ์ โคราช ลี และหินซ็อนในชั้นดินบนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ ส่วนชุดดินชัยบาดาลมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลางและชุดดินปากช่องมีอยู่ในระดับสูง ทั้งนี้เนื่องจากทั้ง 2 ชุดดินมีผลตกค้างของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เคยใส่ให้กับ

ข้าวโพดที่ปลูกติดต่อกันมาเป็นเวลานาน ทำให้ค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีการสะสมมากในชุดดินปากช่องและชัยบาดาล

ตารางที่ 2 แสดงค่าวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของดินที่นำมาศึกษา 6 ชุดดิน

คุณสมบัติของดิน	ชุดดิน					
	องครักษ์	โคราช	ลี้	ปากช่อง	ชัยบาดาล	หินซื่อน
Texture ^{1/}	Silty clay	Sandy loam	Silty clay loam	Clay	Clay	Clay loam
sand (g kg ⁻¹)	50	770	180	80	220	330
silt (g kg ⁻¹)	400	100	500	150	180	300
clay (g kg ⁻¹)	550	130	320	770	600	370
pH ^{2/}	3.6	5.1	5.2	6.6	7	8.4
EC _e ^{3/} (dS m ⁻¹)	5.4	0.3	0.3	0.3	0.9	0.4
CEC ^{4/} (cmol(+)kg ⁻¹)	30	3	11	21	57	16
OM ^{5/} (g kg ⁻¹)	3.4	0.6	1.3	1.9	2.2	1.1
CCE ^{6/} (g kg ⁻¹)	0	0	0	0	3	5
Avail.P ^{7/} (mg P kg ⁻¹)	4	6	7	33	17	6
Avail.K ^{8/} (mg K kg ⁻¹)	203	131	120	217	176	346
Avail.Ca ^{8/} (mg Ca kg ⁻¹)	456	285	687	1,387	8,522	3,455
Avail.Mg ^{8/} (mg Mg kg ⁻¹)	496	76	106	129	777	110
Avail.Fe ^{9/} (mg Fe kg ⁻¹)	89	23	52	5	13	3
Avail.Mn ^{9/} (mg Mn kg ⁻¹)	10	3	26	9	13	3
Avail.Zn ^{9/} (mg Zn kg ⁻¹)	1.1	0.2	0.5	0.7	0.7	0.2
Avail.Cu ^{9/} (mg Cu kg ⁻¹)	0.7	0.1	0.7	0.8	0.9	0.4
Avail.Al ^{10/} (mg Al kg ⁻¹)	411	57	64	39	30	23
Total P ^{11/} (mg P kg ⁻¹)	621	724	794	1,546	1,103	538

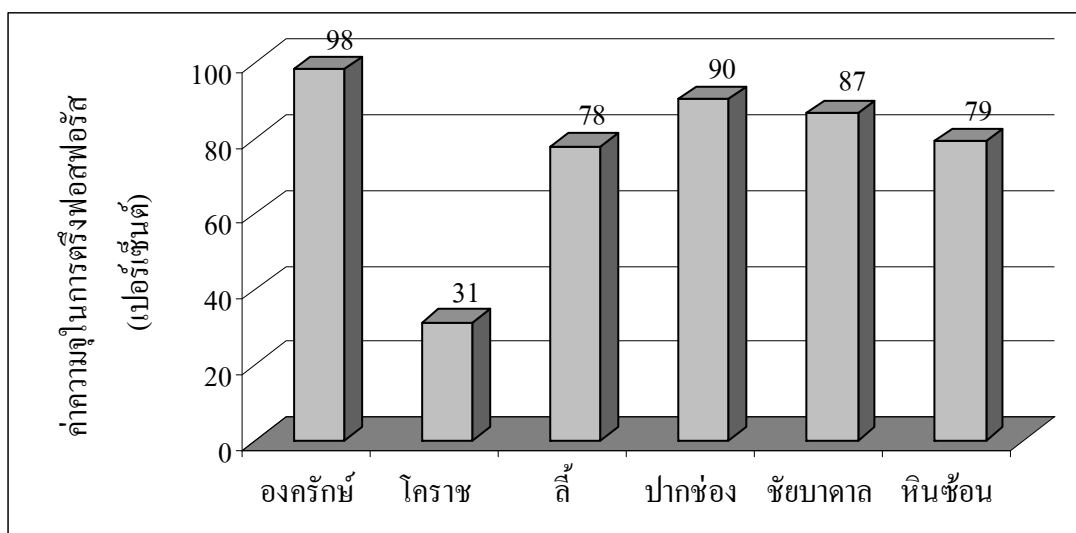
คุณสมบัติของดิน	ชุดดิน					
	องครักษ์	โคราล	ลี้	ปากช่อง	ชัยบาดาล	หินซื่อน
Total K ^{11/} (mg K kg ⁻¹)	6,680	617	5,230	663	274	3,239
Total Ca ^{11/} (mg Ca kg ⁻¹)	150	69	185	155	3,841	916
Total Mg ^{11/} (mg Mg kg ⁻¹)	2,496	337	1,031	886	16,225	1,532
Total Fe ^{12/} (mg Fe kg ⁻¹)	19,425	7,540	16,300	53,533	41,897	30,165
Total Mn ^{12/} (mg Mn kg ⁻¹)	94	104	363	774	1,726	635
Total Zn ^{12/} (mg Zn kg ⁻¹)	41	9	54	80	56	58
Total Cu ^{12/} (mg Cu kg ⁻¹)	22	3	17	53	39	24
Total Al ^{12/} (mg Al kg ⁻¹)	65,192	10,400	33,630	140,367	60,508	54,433
Al-P ^{13/} (mg kg ⁻¹)	8.04	8.62	12.04	47.25	15.78	12
Fe-P ^{13/} (mg kg ⁻¹)	72.47	24.26	69.08	150.23	34.24	26.97
Ca-P ^{13/} (mg kg ⁻¹)	2.13	0.84	9.42	75.9	79.92	41.41

หมายเหตุ

^{11/} Pipette method^{12/} pH meter (soil : water; 1:1)^{13/} Electric conductometer^{4/} NH₄OAc pH 7.0 replacement method^{5/} Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934)^{6/} HCl 1 N (Black *et al.*, 1965)^{7/} Bray 2 method (Bray and Kurtz, 1945)^{8/} Ammonium acetate method (Brown and Warnke, 1988)^{9/} DTPA pH 7.3 (Lindsay and Norvell, 1978)^{10/} KCl (Thomas, 1982)^{11/} HNO₃-HClO₄ acid mixture digestion^{12/} H₂SO₄-HNO₃-HClO₄ acid mixture digestion^{13/} P-fractionation method (Zhang, 2000)

2. ค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสของดิน

การศึกษาค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสของดิน โดยการใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟต ลงไปในดินอัตรา 100 mg P kg^{-1} เติมน้ำละลาย 0.01 M CaCl_2 บ่มสารละลายดินเป็นระยะเวลา 7 วัน ทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธี molybdate ascorbic acid พบว่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสของดินทั้ง 6 ชุดดิน อยู่ในช่วงระหว่าง 31-98 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไป โดยชุดดินองครักษ์เป็นดินที่มีความจุในการตรึงฟอสฟอรัสในปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 98 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ชุดดินปากช่อง ชัยบาดาล หินซ้อน ลี้ และโคราช เท่ากับ 90 87 79 78 และ 31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 เปอร์เซ็นต์ค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสของดินที่นำมาศึกษา

ความจุในการตรึงฟอสฟอรัสของดินจะมากขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ปฏิกริยาดิน อุณหภูมิ ปริมาณเหล็ก อะลูมินัมและแคลเซียมในดิน ชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว และ อินทรีย์วัตถุ เป็นต้น (Brady and Weil, 2002; Havlin *et al.*, 2005; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่า ชุดดินองครักษ์เป็นดินที่มีความจุในการตรึงฟอสฟอรัสในปริมาณมากที่สุด เนื่องจากมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว มีปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก มีปริมาณเหล็กและอะลูมินัมที่เป็นประโยชน์มากกว่าชุดดินอื่นๆ ในขณะที่ชุดดินโคราชเป็นดินที่มีค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสในปริมาณน้อยที่สุด เนื่องจากมีสมบัติต่างๆ ดังกล่าวที่เป็นปัจจัยใน

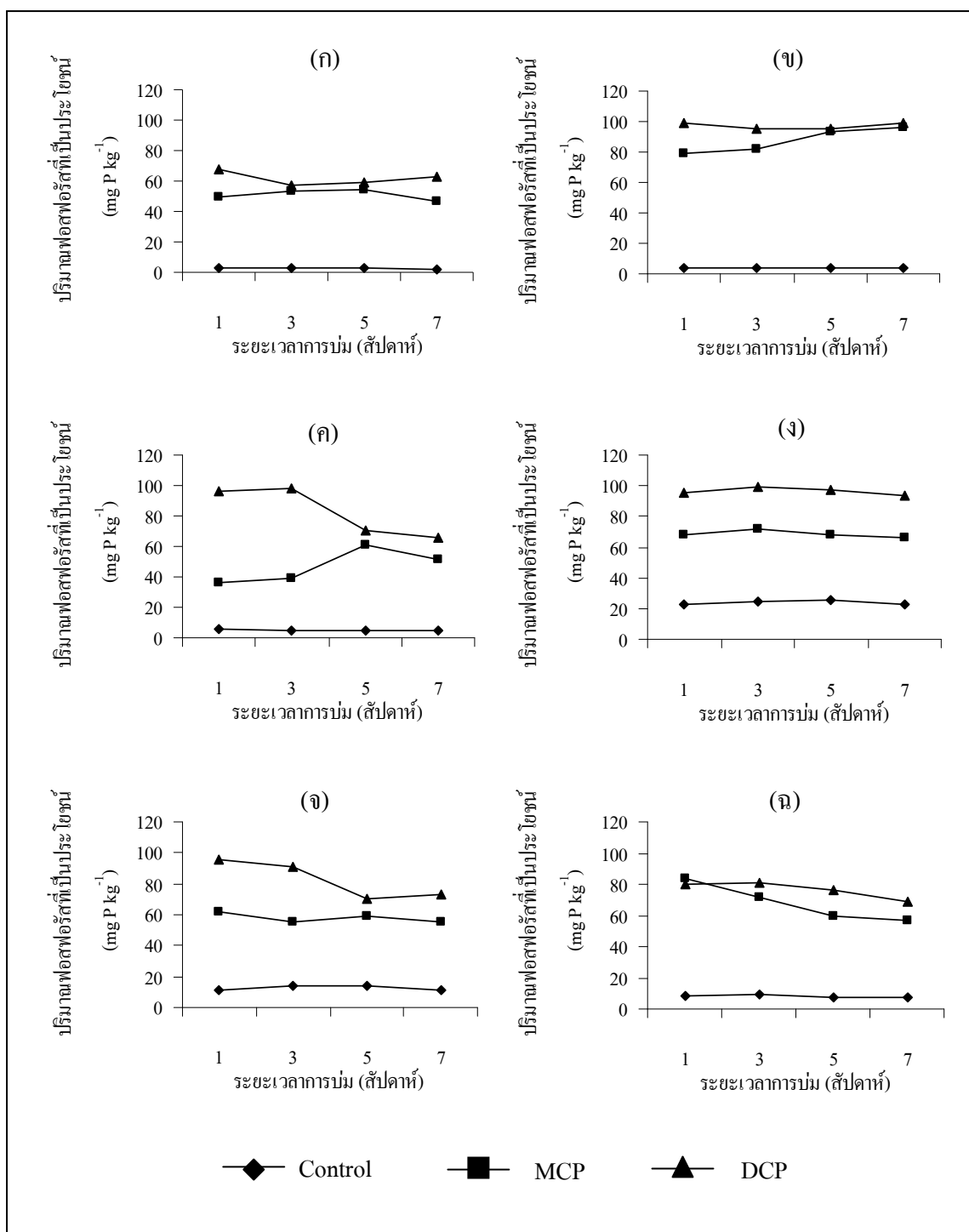
การตรึงฟอสฟอรัสไม่รุนแรง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของสัมฤทธิ์ (2544) ที่ได้ศึกษาดินนา 4 ชุด คือชุดดินรังสิตกรดจัด รังสิต มโนรมย์ และบ้านหมี่ พบว่าชุดดินรังสิตกรดจัดเป็นดินที่มีค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสในปริมาณมากที่สุด เนื่องจากมีปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก มีปริมาณเหล็กและอะลูมิเนียมสูงที่สุด และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Suwannarat (1980) ที่ทำการทดลองใน 9 ชุดดินของประเทศมาเลเซีย เอธิโอเปีย อินเดีย และไทย (ชุดดินองครักษ์และเลข) พบว่าชุดดินองครักษ์เป็นดินที่มีค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสในปริมาณมากที่สุด เนื่องจากมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวและมีปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก

3. ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสในดิน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมีที่ระยะเวลาต่างๆ ของการบ่มดิน

การศึกษาความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟต (MCP) และไดแคลเซียมฟอสเฟต (DCP) ที่ใส่ในอัตรา 100 mg P kg^{-1} ในดินทั้ง 6 ชุดดิน โดยทำการทดลองบ่มดินที่ระยะเวลา 1 3 5 และ 7 สัปดาห์ ทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินด้วยน้ำยาสกัด Bray 2 ซึ่งเป็นวิธีที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินในประเทศไทยส่วนใหญ่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 2 และตารางผนวกที่ 1 พบว่า ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 6 ชุดดินลดลง ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ของการบ่มดิน เมื่อระยะเวลาในการบ่มดินนานขึ้นจาก 1 เป็น 3 5 และ 7 สัปดาห์ การใส่ปุ๋ย MCP พบว่าในชุดดินองครักษ์และปากช่องมีค่าวิเคราะห์ Bray 2 ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ชุดดินโคราชและลี้มีค่าวิเคราะห์ Bray 2 เพิ่มขึ้น ส่วนชุดดินชัยบาดาลและหินซ้อณมีค่าวิเคราะห์ Bray 2 ลดลง การใส่ปุ๋ย DCP พบว่าในชุดดินโคราชและปากช่องมีค่าวิเคราะห์ Bray 2 ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ชุดดินองครักษ์ ลี้ ชัยบาดาล และหินซ้อณมีค่าวิเคราะห์ Bray 2 ลดลง โดยชุดดินโคราชมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดได้น้ำยา Bray 2 สูงสุด ในขณะที่ชุดดินปากช่อง ชัยบาดาล หินซ้อณ และลี้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ใกล้เคียงกัน ส่วนชุดดินองครักษ์มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดได้ต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Hernandez *et al.* (2005) ที่ทำการทดลองบ่มดินที่ระยะเวลา 0 3 7 14 28 56 และ 90 วัน พบว่าความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มดินนานขึ้น นอกจากนั้นผลการทดลองในชุดดินโคราชและในชุดดินองครักษ์สอดคล้องกับการทดลองในส่วนของการศึกษาค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสของดิน โดยชุดดินโคราชเป็นดินที่มีค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุดจะมีค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสเป็นปริมาณน้อยที่สุด ส่วนชุดดินองครักษ์เป็นดินที่มีค่า

วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำสุดจะมีค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสเป็นปริมาณมากที่สุด แต่ค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่ทุกระยะเวลาของการบ่มดินของทั้ง 6 ชุดดินมีปริมาณที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด สอดคล้องกับรายงานของ Benton Jones (2001) ที่กล่าวว่าค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่สกัดโดยน้ำยา Bray 2 เท่ากับ 15 mg P kg^{-1} เป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืช

สำหรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ย DCP มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดได้เป็นปริมาณสูงสุดตลอดระยะเวลาการบ่มดิน เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ย MCP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ย DCP เป็นปุ๋ยละลายช้ากว่าปุ๋ย MCP จึงทำให้คงสภาพความเป็นประโยชน์ได้เป็นปริมาณมากกว่าปุ๋ย MCP เมื่อเปรียบเทียบความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปในชุดดินองครักษ์และโคราชเป็นดินที่มีค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสในปริมาณมากที่สุดและน้อยที่สุด พบว่ามีความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยทั้ง 2 รูปแตกต่างกันน้อยกว่าชุดดินที่มีค่าความจุในการตรึงฟอสฟอรัสในปริมาณปานกลางถึงค่อนข้างสูง โดยชุดดินลี้ ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซ้อนมีความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยทั้ง 2 รูปแตกต่างกันอย่างชัดเจน



ภาพที่ 2 ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูป MCP และ DCP ที่ใส่ในอัตรา 100 mg P kg⁻¹ ในชุดดิน (ก) อกรักษ์ (ข) โคราช (ค) ลี (ง) ปากช่อง (จ) ชัยบาดาลและ (ฉ) หินซ้น โดย การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ด้วยน้ำยาสกัด Bray 2 ที่ระยะเวลาของ การบ่มดิน 1 3 5 และ 7 สัปดาห์

4. การตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสของข้าวโพดที่ปลูกในกระถาง

4.1 ความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่อายุ 20 วัน

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 6 ชุดดิน โดยการใส่ปุ๋ย DCP และ MCP ทำให้ข้าวโพดมีความสูงเฉลี่ยที่อายุ 20 วันสูงใกล้เคียงกัน คือ 41.76 และ 41.16 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสข้าวโพดมีความสูงเฉลี่ยต่ำสุดคือ 26.03 เซนติเมตร

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินที่ ปากช่อง และ โคราซมีความสูงเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 41.07 40.94 และ 40.25 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือชุดดินชัยบาดาลเท่ากับ 38.08 เซนติเมตร และกลุ่มที่มีความสูงเฉลี่ยต่ำสุดคือชุดดินหินซ้อนและ องค์กรักษ์เท่ากับ 28.98 และ 28.59 เซนติเมตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดดินโคราซที่ ปากช่อง และชัยบาดาลการใส่ปุ๋ย DCP และ MCP ทำให้ข้าวโพดมีความสูงที่อายุ 20 วันสูงใกล้เคียงกัน ขณะที่ในชุดดินองค์กรักษ์การใส่ปุ๋ย DCP ทำให้ข้าวโพดมีความสูงเฉลี่ยสูงกว่าการใส่ปุ๋ย MCP ส่วนชุดดินหินซ้อนการใส่ปุ๋ย MCP ทำให้ข้าวโพดมีความสูงเฉลี่ยสูงกว่า DCP (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อความสูงของข้าวโพดที่อายุ 20 วัน (เซนติเมตร) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ได้รับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	18.5d C	28.2d B	39.1b A	28.6c
โคราช ^{2/}	25.5b B	47.7a A	47.6a A	40.3a
สี ^{2/}	33.6a B	44.3ab A	45.3a A	41.1a
ปากช่อง ^{2/}	34.6a B	43.3b A	45.0a A	40.9a
ชัยบาดาล ^{2/}	23.1bc B	47.0ab A	44.2a A	38.1b
หินร่อง ^{2/}	21.0cd C	36.6c A	29.3c B	29.0c
F-MEAN ^{2/}	26.0B	41.2A	41.8A	36.3
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	7.2			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์
^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT
^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส
MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹
DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

4.2 ความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่อายุ 40 วัน

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 6 ชุดดิน โดยการใส่ปุ๋ย MCP ทำให้ข้าวโพดมีความสูงเฉลี่ยที่อายุ 40 วันสูงสุดคือ 86.31 เซนติเมตร รองลงมาคือการใส่ปุ๋ย DCP ทำให้ข้าวโพดมีความสูงเฉลี่ยคือ 81.58 เซนติเมตร ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสข้าวโพดมีความสูงเฉลี่ยต่ำสุดคือ 39.47 เซนติเมตร

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่องและชัยบาดาลมีความสูงเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 86.50 และ 86.28 เซนติเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือชุดดินลี้โคราช และหินซ็อนเท่ากับ 68.69 64.99 และ 60.17 เซนติเมตร ตามลำดับ และกลุ่มที่มีความสูงเฉลี่ยต่ำสุดคือชุดดินองครักษ์เท่ากับ 48.07 เซนติเมตร

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติคือชุดดินองครักษ์ ลี้ และปากช่องการใส่ปุ๋ย DCP และ MCP ทำให้ข้าวโพดมีความสูงเฉลี่ยที่อายุ 40 วัน สูงใกล้เคียงกัน ขณะที่ในชุดดินโคราช ชัยบาดาล และหินซ็อนการใส่ปุ๋ย MCP ทำให้ข้าวโพดมีความสูงเฉลี่ยสูงกว่าการใส่ปุ๋ย DCP (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อความสูงของข้าวโพดที่อายุ 40 วัน (เซนติเมตร) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ได้รับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	10.7d B	65.4d A	68.1d A	48.1d
โคราช ^{2/}	23.8c C	91.9b A	79.3c B	65.0bc
ลี้ ^{2/}	43.9b B	79.1c A	83.1bc A	68.7b
ปากช่อง ^{2/}	79.6a B	87.8bc AB	92.2ab A	86.5a
ชัยบาดาล ^{2/}	50.5b C	109.0a A	99.4a B	86.3a
หินร่อง ^{2/}	28.4c C	84.8bc A	67.4d B	60.2c
F-MEAN ^{2/}	39.5C	86.3A	81.6B	69.1
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	9.4			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์
^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT
^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส
MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹
DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

จากผลการทดลองพบว่า ความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่อายุ 20 วันและ 40 วันที่ปลูกในชุดดินองครักษ์ โคราช ลี ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซ็อน พบว่าการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้ข้าวโพดมีความสูงเฉลี่ยสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าดินทั้ง 6 ชุดดินมีธาตุฟอสฟอรัสไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวโพด ข้าวโพดที่ปลูกในดินทั้ง 6 ชุดดินดังกล่าวจึงตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส สอดคล้องกับการศึกษาของ Akande *et al.* (2006) ที่ทำการปลูกข้าวโพดในดินของประเทศไนจีเรีย พบว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้ข้าวโพดมีความสูงโดยเฉลี่ยสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างเด่นชัด

4.3 น้ำหนักตอซังแห้งของข้าวโพดต้นที่ 1 ที่อายุ 14 วัน

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 6 ชุดดิน โดยการใส่ปุ๋ย MCP ทำให้ข้าวโพดที่อายุ 14 วันมีน้ำหนักตอซังแห้งเฉลี่ยสูงสุดคือ 1.42 กรัม รองลงมาคือการใส่ปุ๋ย DCP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสคือ 1.36 และ 0.58 กรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินโคราชและชัยบาดาลมีน้ำหนักตอซังแห้งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.53 และ 1.38 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินลี ปากช่อง และหินซ็อนเท่ากับ 1.31 1.13 และ 0.74 กรัม ตามลำดับ ส่วนข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินองครักษ์มีน้ำหนักตอซังแห้งเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.50 กรัม

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินองครักษ์ ลี ปากช่องและหินซ็อนการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP มีน้ำหนักตอซังแห้งสูงใกล้เคียงกัน ขณะที่ในชุดดินโคราชและชัยบาดาล การใส่ปุ๋ย MCP มีผลผลิตน้ำหนักตอซังแห้งของข้าวโพดสูงกว่าการใส่ปุ๋ย DCP (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อน้ำหนักต่อซังแห้งของข้าวโพดต้นที่ 1 ที่อายุ 14 วัน (กรัมต่อต้น) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ดำรับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	0.36c B	0.46c AB	0.67c A	0.50e
โคราช ^{2/}	0.59abc C	2.22a A	1.77a B	1.53a
ลี้ ^{2/}	0.82a B	1.57c A	1.55ab A	1.31b
ปากช่อง ^{2/}	0.71ab B	1.31c A	1.39b A	1.13c
ชัยบาดาล ^{2/}	0.55abc C	1.94b A	1.66ab B	1.38ab
หินร่อง ^{2/}	0.45bc B	0.99d A	0.78c A	0.74d
F-MEAN ^{2/}	0.58C	1.42A	1.30B	1.10
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	17.1			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์
^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT
^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส
MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹
DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

4.4 น้ำหนักต่อชั่งแห้งของข้าวโพดต้นที่ 2 ที่อายุ 28 วัน

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 6 ชุดดิน โดยการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้ข้าวโพดที่อายุ 28 วันมีน้ำหนักต่อชั่งแห้งเฉลี่ยสูงใกล้เคียงกันคือ 12.17 และ 11.82 กรัม ตามลำดับ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีน้ำหนักต่อชั่งแห้งเฉลี่ยต่ำสุดคือ 3.14 กรัม

เมื่อเปรียบเทียบกันในระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่อง ชัยบาดาล และถีมีน้ำหนักต่อชั่งแห้งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 12.72 11.45 และ 11.38 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินโคราชเท่ากับ 9.49 กรัม ส่วนข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินหินซ้อน และองครักษ์มีน้ำหนักต่อชั่งแห้งเฉลี่ยต่ำสุดคือ 5.10 และ 4.12 กรัม ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินโคราช ถี และปากช่องการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP มีน้ำหนักต่อชั่งแห้งสูงใกล้เคียงกัน ขณะที่ในชุดดินองครักษ์การใส่ปุ๋ย DCP มีน้ำหนักต่อชั่งแห้งสูงกว่าการใส่ปุ๋ย MCP ส่วนชุดดินชัยบาดาลและหินซ้อนการใส่ปุ๋ย MCP มีน้ำหนักต่อชั่งแห้งสูงกว่าการใส่ปุ๋ย DCP (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อน้ำหนักต่อซังแห้งของข้าวโพดคันที่ 2 ที่อายุ 28 วัน (กรัมต่อต้น) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ดำรับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	0.58c B	2.78d B	9.00b A	4.12c
โคราซ ^{2/}	2.27c B	13.09b A	13.10a A	9.49b
ลี้ ^{2/}	4.91b B	14.87b A	14.36a A	11.38a
ปากช่อง ^{2/}	7.92a B	15.41ab A	14.85a A	12.72a
ชัยบาดาล ^{2/}	1.97c C	17.87a A	14.51a B	11.45a
หินซื่อน ^{2/}	1.17c C	8.99c A	5.13c B	5.10c
F-MEAN ^{2/}	3.14B	12.17A	11.82A	9.042
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	19.2			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

4.5 น้ำหนักต่อชั่งแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 6 ชุดดิน โดยการใส่ปุ๋ย MCP ทำให้ข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยวมีน้ำหนักต่อชั่งแห้งเฉลี่ยสูงสุดคือ 72.98 กรัม รองลงมาคือการใส่ปุ๋ย DCP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสคือ 66.18 และ 34.93 กรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินชัยบาดาลและปากช่องมีน้ำหนักต่อชั่งแห้งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 73.27 และ 72.28 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินสีและหินซ้อนเท่ากับ 56.07 และ 54.61 กรัม ตามลำดับ ส่วนข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินโคราชและองครักษ์มีน้ำหนักต่อชั่งแห้งเฉลี่ยต่ำสุด คือ 48.80 และ 43.16 กรัม ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินองครักษ์ สี และหินซ้อนการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP มีน้ำหนักต่อชั่งแห้งสูงใกล้เคียงกัน ขณะที่ในชุดดินโคราช ปากช่อง และชัยบาดาลการใส่ปุ๋ย MCP มีน้ำหนักต่อชั่งแห้งสูงกว่าการใส่ปุ๋ย DCP (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อน้ำหนักต่อช่วงแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว (กรัมต่อต้น) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ดำรับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	3.56e B	61.87c A	64.04bc A	43.16d
โคราช ^{2/}	14.00d C	74.05b A	58.36c B	48.80c
ลี้ ^{2/}	41.40b B	61.71c A	65.08bc A	56.07b
ปากช่อง ^{2/}	63.50a B	84.61a A	68.73ab B	72.28a
ชัยบาดาล ^{2/}	57.56a C	88.95a A	73.30a B	73.27a
หินร่อง ^{2/}	29.57c B	66.71c A	67.55ab A	54.61b
F-MEAN ^{2/}	34.93C	72.98A	66.18B	58.03
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	8.1			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์
^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT
^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส
MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹
DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

4.6 น้ำหนักฝักแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 5 ชุดดิน ยกเว้นชุดดินปากช่อง โดยการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักฝักแห้งเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 62.26 และ 60.35 กรัม ตามลำดับ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักฝักแห้งเฉลี่ยต่ำสุดเพียง 18.21 กรัม

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินองครักษ์และชัยบาดาลมีน้ำหนักฝักแห้งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 55.46 และ 55.29 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่องเท่ากับ 51.00 กรัม ส่วนข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินสี โคราชและหินซอมนมีน้ำหนักฝักแห้งเฉลี่ยต่ำสุด คือ 43.20 40.51 และ 40.16 กรัม ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและ ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่องการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีน้ำหนักฝักแห้งของข้าวโพดสูงกว่าการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ขณะที่ในชุดดินโคราชและสีการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP มีน้ำหนักฝักแห้งของข้าวโพดสูงใกล้เคียงกัน ส่วนชุดดินองครักษ์และหินซอมนการใส่ปุ๋ย MCP มีน้ำหนักฝักแห้งของข้าวโพดสูงกว่าการใส่ปุ๋ย DCP และชุดดินชัยบาดาลการใส่ปุ๋ย DCP มีน้ำหนักฝักแห้งของข้าวโพดสูงกว่าการใส่ปุ๋ย MCP (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อน้ำหนักฝักแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว (กรัมต่อต้น) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ได้รับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	0.25c C	86.94a A	79.20a B	55.46a
โคราช ^{2/}	1.03c B	60.78b A	59.74cd A	40.51c
ลี้ ^{2/}	4.03c B	61.80b A	63.78bc A	43.20c
ปากช่อง ^{2/}	61.65a A	43.32c B	48.04e B	51.00b
ชัยบาดาล ^{2/}	39.04b C	58.43b B	68.39b A	55.29a
หินร่อง ^{2/}	3.23c C	62.31b A	54.95d B	40.16c
F-MEAN ^{2/}	18.21B	62.26A	60.35A	47.61
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	9.6			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์
^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT
^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส
MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹
DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

4.7 น้ำหนักเมล็ดแห้งหรือน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 5 ชุดดิน ยกเว้นชุดดินปากช่อง โดยการใส่ปุ๋ย DCP และ MCP ทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักเมล็ดแห้งเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 50.51 และ 49.29 กรัม ตามลำดับ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักเมล็ดแห้งเฉลี่ยต่ำสุดเพียง 13.80 กรัม

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินองครักษ์มีน้ำหนักเมล็ดแห้งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 47.14 กรัม รองลงมาคือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินชัยบาดาลและปากช่องเท่ากับ 43.36 และ 37.89 กรัม ตามลำดับ ส่วนกลุ่มที่มีน้ำหนักเมล็ดแห้งเฉลี่ยต่ำสุดคือชุดดินลี หินซ้อน และโคราชเท่ากับ 33.94 32.53 และ 32.32 กรัม ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและ ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่องการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีน้ำหนักเมล็ดแห้งของข้าวโพดสูงกว่าการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ขณะที่ในชุดดินโคราช ลี และหินซ้อนการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP มีน้ำหนักเมล็ดแห้งของข้าวโพดสูงใกล้เคียงกัน ส่วนชุดดินองครักษ์การใส่ปุ๋ย MCP มีน้ำหนักเมล็ดแห้งของข้าวโพดสูงกว่าการใส่ปุ๋ย DCP และชุดดินชัยบาดาลการใส่ปุ๋ย DCP มีน้ำหนักเมล็ดแห้งของข้าวโพดสูงกว่าการใส่ปุ๋ย MCP (ตารางที่ 9 และตารางผนวกที่ 2)

ตารางที่ 9 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อน้ำหนักเมล็ดแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว (กรัมต่อต้น) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ดำรับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	0.10c C	73.76a A	67.58a B	47.14a
โคราช ^{2/}	0.10c B	48.03b A	48.82bc A	32.32d
ลี้ ^{2/}	1.17c B	49.53b A	51.14bc A	33.94d
ปากช่อง ^{2/}	49.72a A	28.51c C	35.45d B	37.89c
ชัยบาดาล ^{2/}	30.77b C	45.41b B	53.91b A	43.36b
หินร่อง ^{2/}	0.95c B	50.49b A	46.15c A	32.53d
F-MEAN ^{2/}	13.80B	49.29A	50.51A	37.87
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	9.6			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

4.8 น้ำหนักแห้งต่อช่วงรวมเมล็ดของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 5 ชุดดิน ยกเว้นชุดดินปากช่อง โดยการใส่ปุ๋ย MCP ทำให้ข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยวมีน้ำหนักแห้งต่อช่วงรวมเมล็ดสูงสุดคือ 135.25 กรัม รองลงมาคือการใช้ปุ๋ย DCP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสคือ 126.54 และ 53.13 กรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินชัยบาดาลและปากช่องมีน้ำหนักแห้งต่อช่วงรวมเมล็ดสูงสุดเท่ากับ 128.56 และ 123.28 กรัม ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินสี้องครักษ์ และหินซ้อนเท่ากับ 97.62 96.29 และ 94.75 กรัม ตามลำดับ ส่วนข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินโคราชมีน้ำหนักแห้งต่อช่วงรวมเมล็ดของข้าวโพดต่ำสุดเท่ากับ 89.32 กรัม

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและ ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่องการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและการใส่ MCP ทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งต่อช่วงรวมเมล็ดสูงกว่าการใช้ปุ๋ย DCP ขณะที่ในชุดดินสี้องครักษ์ ชัยบาดาล และหินซ้อนการใช้ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งต่อช่วงรวมเมล็ดสูงใกล้เคียงกัน ส่วนชุดดินองครักษ์และโคราชการใช้ปุ๋ย MCP ทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งต่อช่วงรวมเมล็ดสูงกว่าการใช้ปุ๋ย DCP (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อน้ำหนักแห้งต่อช่วงรวมเมล็ดของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว (กรัมต่อต้น) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	การใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	3.81f C	148.81a A	136.26a B	96.29b
โคราช ^{2/}	15.03e C	134.83b A	118.09b B	89.32c
ลี้ ^{2/}	45.44c B	123.52b A	123.92b A	97.62b
ปากช่อง ^{2/}	125.15a AB	127.93b A	116.78b B	123.28a
ชัยบาดาล ^{2/}	96.60b B	147.38a A	141.70a A	128.56a
หินร่อง ^{2/}	32.75d B	129.02b A	122.50b A	94.75bc
F-MEAN ^{2/}	53.13C	135.25A	126.54B	104.97
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	7.3			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์
^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT
^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส
MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹
DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

จากผลการทดลองพบว่า ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 5 ชุดดิน ยกเว้นชุดดินปากช่อง ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินปากช่องเป็นดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวโพด (ค่าวิเคราะห์ Bray 2-P ของดินก่อนปลูกพืชเท่ากับ 33 mg P kg^{-1}) จากที่ชุดดินองครักษ์เป็นดินที่มีความจุในการตรึงฟอสฟอรัสในปริมาณมากที่สุดและมีค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำสุด (ค่าวิเคราะห์ Bray 2-P ของดินก่อนปลูกพืชเท่ากับ 4 mg P kg^{-1}) ทำให้ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสสูงสุด โดยการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ให้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งเพิ่มขึ้นจากค่ารับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสคิดเป็นร้อยละ 73,660 และ 67,480 ตามลำดับ สำหรับชุดดินที่ข้าวโพดมีการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสสูงรองลงมาคือ ชุดดินโคราชมีค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ การใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ข้าวโพดให้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งเพิ่มขึ้นจากค่ารับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสคิดเป็นร้อยละ 47,930 และ 48,720 ตามลำดับ ในขณะที่ชุดดินหินซ้อนและลี้มีค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ การใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ข้าวโพดให้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งเพิ่มขึ้นจากค่ารับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสคิดเป็นร้อยละ 5,215 4,758 4,133 และ 4,271 ตามลำดับ ส่วนในชุดดินชัยบาดาลมีค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง ข้าวโพดจึงตอบสนองต่ำกว่าชุดดินที่มีค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในระดับต่ำ โดยให้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งเพิ่มขึ้นจากค่ารับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสคิดเป็นร้อยละ 48 และ 75 ตามลำดับ ในขณะที่ชุดดินปากช่องข้าวโพดไม่ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเกิดความไม่สมดุลของธาตุฟอสฟอรัสกับจุลธาตุในดิน โดยให้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งลดลงจากค่ารับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสคิดเป็นร้อยละ 43 และ 29 ตามลำดับ (ตารางที่ผนวกที่ 3 และ 4) โดยการใส่ปุ๋ย MCP ทำให้ข้าวโพดที่ระยะเก็บเกี่ยวมีน้ำหนักฝักและเมล็ดแห้งโดยเฉลี่ยสูงกว่าการใส่ปุ๋ย DCP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Aitken and Hughes (1980) ที่ทำการทดลองในดิน krasnozem ของประเทศออสเตรเลียที่มีค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 12 mg P kg^{-1} พบว่าการใส่ปุ๋ย MCP ทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งสูงสุด และสอดคล้องกับการศึกษาของชัยฤกษ์ (2515) ที่ทดลองในชุดดินปากช่อง และदानุ (2544) ที่ทดลองในชุดดินสตึก รายงานว่าค่ารับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้น้ำหนักเมล็ดแห้งสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างเด่นชัด และให้ผลเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการศึกษาของ Suwannarat (1980) ที่ทำการทดลองปลูกข้าวโอ๊ตใน 9 ชุดดินที่มีสมบัติบางประการแตกต่างกันไปของประเทศมาเลเซีย เอธิโอเปีย อินเดีย และไทย (ชุดดินองครักษ์และเลย) พบว่าการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้น้ำหนักฝักและเมล็ดแห้งสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างเด่นชัด

4.9 ความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังของข้าวโพดต้นที่ 1 ที่อายุ 14 วัน

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 6 ชุดดิน โดยการใส่ปุ๋ย MCP ทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังที่อายุ 14 วัน โดยเฉลี่ยมีค่าสูงสุดคือ 0.21 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือการใช้ปุ๋ย DCP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสคือ 0.18 และ 0.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินโคราชมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.24 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือชุดดินสี ปากช่อง และชัยบาดาลเท่ากับ 1.78 0.16 และ 0.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และกลุ่มชุดดินที่มีค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังของข้าวโพดเฉลี่ยต่ำสุดคือชุดดินองครักษ์ และหินซ้อนเท่ากับ 0.14 และ 0.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือชุดดินองครักษ์ สี ชัยบาดาล และหินซ้อนการใช้ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังสูงใกล้เคียงกัน ขณะที่ในชุดดินโคราชและปากช่องการใช้ปุ๋ย MCP ทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังสูงกว่าการใช้ปุ๋ย DCP (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อความเข้มข้นฟอสฟอรัสในตอซังของข้าวโพดต้นที่ 1 ที่อายุ 14 วัน (เปอร์เซ็นต์) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ได้รับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	0.09ab B	0.15d A	0.17c A	0.14d
โคราช ^{2/}	0.07bc C	0.39a A	0.28a B	0.24a
ลี้ ^{2/}	0.11a B	0.20bc A	0.23b A	1.78b
ปากช่อง ^{2/}	0.08abc C	0.22b A	0.18c B	0.16bc
ชัยบาดาล ^{2/}	0.10ab B	0.19c A	0.16c A	0.15cd
หินร่อง ^{2/}	0.05c B	0.09e A	0.06d AB	0.07e
F-MEAN ^{2/}	0.08C	0.21A	0.18B	0.16
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	15.4			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

4.10 ความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังของข้าวโพดต้นที่ 2 ที่อายุ 28 วัน

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 4 ชุดดิน ยกเว้นชุดดินปากช่อง และชัยบาดาล โดยการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังที่อายุ 28 วัน โดยเฉลี่ยมีค่าสูงใกล้เคียงกันคือ 0.17 และ 0.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ย ฟอสฟอรัสมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังเฉลี่ยมีค่าต่ำสุดคือ 0.11 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินโคราช องครักษ์ และปากช่องมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.17 0.16 และ 0.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินลี้เท่ากับ 0.14 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มชุดดินที่มีค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังของข้าวโพดเฉลี่ยต่ำสุดคือชุดดินหินซ้อนและชัยบาดาลเท่ากับ 0.14 และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและ ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือชุดดินปากช่องและชัยบาดาลการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส การใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังสูงใกล้เคียงกัน ขณะที่ในชุดดินองครักษ์และลี้การใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังสูงใกล้เคียงกัน ส่วนชุดดินโคราชการใส่ปุ๋ย MCP ทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังสูงกว่าการใส่ปุ๋ย DCP และชุดดินหินซ้อนการใส่ปุ๋ย DCP ทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังสูงกว่าการใส่ปุ๋ย MCP (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อความเข้มข้นฟอสฟอรัสในตอซังของข้าวโพดต้นที่ 2 ที่อายุ 28 วัน (เปอร์เซ็นต์) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	การใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	0.08c B	0.20a A	0.20a A	0.16a
โคราช ^{2/}	0.11b C	0.21a A	0.18b B	0.17a
สี ^{2/}	0.12b B	0.15b A	0.16bc A	0.14bc
ปากช่อง ^{2/}	0.16a A	0.15b A	0.15c A	0.15ab
ชัยบาดาล ^{2/}	0.12b A	0.14b A	0.12d A	0.13d
หินร่อง ^{2/}	0.08c C	0.15b B	0.18b A	0.14cd
F-MEAN ^{2/}	0.11B	0.17A	0.17A	0.15
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	10.5			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

4.11 ความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว

การใส่และไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังที่ระยะเก็บเกี่ยวโดยเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินหินซ้อนมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.14 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่อง ถั่ว ชัยบาดาล และโคราชเท่ากับ 0.11 0.09 0.08 และ 0.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินองครักษ์มีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 0.07 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือชุดดินองครักษ์และหินซ้อน การไม่ใส่ปุ๋ยและการใส่ปุ๋ย DCP ทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังสูงกว่าการใส่ปุ๋ย MCP ขณะที่ในชุดดินโคราชการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังสูงกว่าการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ในชุดดินถั่วการใส่ปุ๋ย MCP ทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยและการใส่ปุ๋ย DCP ส่วนชุดดินปากช่องการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังสูงใกล้เคียงกัน และชุดดินชัยบาดาลการไม่ใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในต่อซังสูงใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อความเข้มข้นฟอสฟอรัสในตอซังของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว (เปอร์เซ็นต์) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ดำรับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	0.09b A	0.04c B	0.08cd A	0.07d
โคราช ^{2/}	0.13a A	0.05bc B	0.06d B	0.08cd
สี ^{2/}	0.08b B	0.12a A	0.07cd B	0.09c
ปากช่อง ^{2/}	0.09b B	0.13a A	0.11b AB	0.11b
ชัยบาดาล ^{2/}	0.08b A	0.07b A	0.09bc A	0.08cd
หินร่อง ^{2/}	0.14a AB	0.13a B	0.16a A	0.14a
F-MEAN ^{2/}	0.10A	0.09A	0.10A	0.10
F-test (S)	**			
F-test (F)	ns			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	19.3			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์
 ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

4.12 ความเข้มข้นฟอสฟอรัสในเมล็ดของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส โดยการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้มีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในเมล็ดของข้าวโพดเฉลี่ยสูงใกล้เคียงกันคือ 0.22 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในเมล็ดเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.16 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่องมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในเมล็ดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.26 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินชัยบาดาล ลี และองครักษ์เท่ากับ 0.22 0.21 และ 0.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และกลุ่มชุดดินที่ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในเมล็ดต่ำสุดคือชุดดินโคราชและหินซ็อนเท่ากับ 0.18 และ 0.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดดินลีและหินซ็อนการไม่ใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในเมล็ดสูงใกล้เคียงกัน ขณะที่ในชุดดินองครักษ์ โคราช ปากช่อง และชัยบาดาลการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในเมล็ดสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อความเข้มข้นฟอสฟอรัสในเมล็ดของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว (เปอร์เซ็นต์) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ค่ารับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	0.15b B	0.22b A	0.22ab A	0.19bc
โคราช ^{2/}	0.13b B	0.20b A	0.23ab A	0.18c
สี ^{2/}	0.21a A	0.20b A	0.20b A	0.21bc
ปากช่อง ^{2/}	0.22a B	0.28a A	0.26a AB	0.26a
ชัยบาดาล ^{2/}	0.13b B	0.28a A	0.26a A	0.22b
หินซื่อน ^{2/}	0.13b A	0.14c A	0.15c A	0.14d
F-MEAN ^{2/}	0.16B	0.22A	0.22A	0.20
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	17.2			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์
^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT
^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส
MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹
DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

จากผลการทดลองพบว่า ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 6 ชุดดิน โดยการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในตอซังที่ระยะเก็บเกี่ยวโดยเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้ข้าวโพดดูดดึงธาตุฟอสฟอรัสขึ้นมาใช้ประโยชน์มากขึ้น มีผลทำให้น้ำหนักแห้งของข้าวโพดสูงกว่าตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างชัดเจน แต่สัดส่วนของธาตุฟอสฟอรัสต่อน้ำหนักแห้งของข้าวโพดในตำรับที่ได้รับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่แตกต่างจากตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (dilution effect) ส่วนการใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียมฟอสเฟตทำให้ข้าวโพดมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสในเมล็ดที่ระยะเก็บเกี่ยวโดยเฉลี่ยสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากข้าวโพดดูดดึงธาตุฟอสฟอรัสขึ้นมาและนำไปสะสมในส่วน of เมล็ดเป็นปริมาณมากกว่าในส่วน of ตอซัง ทำให้เห็นความแตกต่างได้ชัดเจนกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับในส่วน of ตอซัง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสัมฤทธิ์ (2544) ที่รายงานว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้ความเข้มข้นฟอสฟอรัสและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่พืชดูดใช้มากกว่าตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

4.13 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงต้นที่ 1 ที่อายุ 14 วัน

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 6 ชุดดิน โดยการใส่ปุ๋ย MCP มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงที่อายุ 14 วันโดยเฉลี่ยสูงสุดคือ 3.30 มิลลิกรัมต่อกระถาง รองลงมาคือการใส่ปุ๋ย DCP และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสคือ 2.50 และ 0.48 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินโคราชมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงโดยเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.60 มิลลิกรัมต่อกระถาง รองลงมาคือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินลี้ ชัยบาดาล และปากช่องเท่ากับ 2.49 2.24 และ 1.98 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ และกลุ่มชุดดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงโดยเฉลี่ยต่ำสุดคือชุดดินองครักษ์และหินซื่อนเท่ากับ 0.71 และ 0.54 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือชุดดินองครักษ์ ลี้ ปากช่อง และหินซื่อนการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงสูงใกล้เคียงกัน ขณะที่ในชุดดินโคราชและชัยบาดาลการใส่ปุ๋ย MCP มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงสูงกว่าการใส่ปุ๋ย DCP (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในตอซังต้นที่ 1 ที่อายุ 14 วัน (มิลลิกรัมต่อกระถาง) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ดำรับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	0.33ab B	0.69d AB	1.11d A	0.71d
โคราช ^{2/}	0.38ab C	8.54a A	4.88a B	4.60a
สี ^{2/}	0.87a B	3.13bc A	3.47b A	2.49b
ปากช่อง ^{2/}	0.56ab B	2.89c A	2.48c A	1.98c
ชัยบาดาล ^{2/}	0.52ab C	3.60b A	2.59c B	2.24bc
หินร่อง ^{2/}	0.22b B	0.94d A	0.48e AB	0.54d
F-MEAN ^{2/}	0.48C	3.30A	2.50B	2.09
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	17.3			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์
^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT
^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส
MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹
DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

4.14 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงต้นที่ 2 ที่อายุ 28 วัน

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 6 ชุดดิน โดยการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงที่อายุ 28 วัน โดยเฉลี่ยสูงใกล้เคียงกันคือ 18.90 และ 18.86 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงโดยเฉลี่ยต่ำสุดคือ 4.15 มิลลิกรัมต่อกระถาง

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่องและโคราชมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงโดยเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 19.17 และ 17.40 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินสีและชัยบาดาลเท่ากับ 16.99 และ 14.35 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ และกลุ่มชุดดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงโดยเฉลี่ยต่ำสุดคือชุดดินองครักษ์และหินซ้อณเท่ากับ 8.11 และ 7.80 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดดินสีและปากช่องการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงสูงใกล้เคียงกัน ขณะที่ในชุดดินองครักษ์การใส่ปุ๋ย DCP มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงสูงกว่าการใส่ปุ๋ย MCP และชุดดินโคราช ชัยบาดาล และหินซ้อณการใส่ปุ๋ย MCP มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงสูงกว่าการใส่ปุ๋ย DCP (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดคั่วใช้ในต่อช่วงต้นที่ 2 ที่อายุ 28 วัน (มิลลิกรัมต่อกระถาง) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ดำรับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	0.44c C	5.60d B	18.30b A	8.11d
โคราช ^{2/}	2.61bc C	26.66a A	22.93a B	17.40ab
สี ^{2/}	5.66b B	22.46b A	22.86a A	16.99b
ปากช่อง ^{2/}	12.94a B	22.30b A	22.28a A	19.17a
ชัยบาดาล ^{2/}	2.39bc C	22.90b A	17.74b B	14.35c
หินร่อง ^{2/}	0.87c C	13.50c A	9.05c B	7.80d
F-MEAN ^{2/}	4.15B	18.90A	18.86A	13.97
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	17.7			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

4.15 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในตอซังต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 6 ชุดดิน โดยการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในตอซังที่ระยะเก็บเกี่ยวโดยเฉลี่ยสูงใกล้เคียงกันคือ 66.32 และ 63.69 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในตอซังโดยเฉลี่ยต่ำสุดคือ 32.78 มิลลิกรัมต่อกระถาง

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่องและหินช้อนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในตอซังโดยเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 79.79 และ 78.42 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินชัยบาดาลและลี้เท่ากับ 58.21 และ 51.89 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ และกลุ่มชุดดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในตอซังโดยเฉลี่ยต่ำสุดคือชุดดินโคราชและองครักษ์เท่ากับ 30.61 และ 26.66 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดดินโคราชและชัยบาดาลการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในตอซังสูงใกล้เคียงกัน ขณะที่ชุดดินองครักษ์และหินช้อนการใส่ปุ๋ย DCP มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในตอซังสูงกว่าการใส่ปุ๋ย MCP ส่วนชุดดินลี้และปากช่องการใส่ปุ๋ย MCP มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในตอซังสูงกว่าการใส่ปุ๋ย DCP (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว (มิลลิกรัมต่อกระถาง) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	คำรับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	3.01c C	26.36d B	50.62c A	26.66c
โคราช ^{2/}	17.70c B	39.99d A	34.15d A	30.61c
สี ^{2/}	34.55b B	73.99bc A	47.15cd B	51.89b
ปากช่อง ^{2/}	55.26a C	110.87a A	73.22b B	79.79a
ชัยบาดาล ^{2/}	44.29ab B	62.93c A	67.42b A	58.21b
หินร่อง ^{2/}	41.87ab C	83.78b B	109.61a A	78.42a
F-MEAN ^{2/}	32.78B	66.32A	63.694 A	54.26
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	19.3			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

4.16 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในเมล็ดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 5 ชุดดิน ยกเว้นชุดดินปากช่อง โดยการใส่ปุ๋ย DCP และ MCP มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในเมล็ดที่ระยะเก็บเกี่ยวโดยเฉลี่ยสูงใกล้เคียงกันคือ 109.79 และ 105.99 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในเมล็ดโดยเฉลี่ยต่ำสุดคือ 25.67 มิลลิกรัมต่อกระถาง

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินองครักษ์ ชัยบาดาล และปากช่องมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในเมล็ดโดยเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 101.89 101.51 และ 94.91 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินสีและโคราชเท่ากับ 69.02 และ 68.39 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ส่วนชุดดินหินซ้อนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในเมล็ดโดยเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 47.19 มิลลิกรัมต่อกระถาง

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือชุดดินปากช่องการไม่ใส่ปุ๋ยและการใส่ปุ๋ย DCP มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในเมล็ดสูงกว่าการใส่ปุ๋ย MCP ในขณะที่ชุดดินองครักษ์ โคราช สี ชัยบาดาล และหินซ้อนการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในเมล็ดสูงใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในเมล็ดพันธุ์ที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว (มิลลิกรัมต่อกระถาง) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ได้รับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	0.15c B	160.42a A	145.10a A	101.89a
โคราช ^{2/}	0.13c B	94.71cd A	110.34b A	68.39b
สี ^{2/}	2.35c B	100.45c A	104.26b A	69.02b
ปากช่อง ^{2/}	110.57a A	81.75cd B	92.40bc AB	94.91a
ชัยบาดาล ^{2/}	39.56b B	126.11b A	138.88a A	101.51a
หินร่อง ^{2/}	1.29c B	72.50d A	67.78c A	47.19c
F-MEAN ^{2/}	25.67B	105.99A	109.79A	80.48
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	22.3			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

4.17 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงรวมเมล็ดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 5 ชุดดิน ยกเว้นชุดดินปากช่อง โดยการใส่ปุ๋ย DCP และ MCP มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงรวมเมล็ดที่ระยะเก็บเกี่ยวโดยเฉลี่ยสูงใกล้เคียงกันคือ 173.49 และ 172.31 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้โดยเฉลี่ยต่ำสุดคือ 58.45 มิลลิกรัมต่อกระถาง

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่องและชัยบาดาลมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้โดยเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 174.69 และ 159.72 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินองครักษ์ หินซ้อน และดีเท่ากับ 128.55 และ 125.61 มิลลิกรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ส่วนชุดดินโคราชมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้โดยเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 99.00 มิลลิกรัมต่อกระถาง

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือชุดดินปากช่องการไม่ใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ย MCP และ DCP มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้สูงใกล้เคียงกัน ในขณะที่ชุดดินองครักษ์ โคราช ดี ชัยบาดาล และหินซ้อนการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้สูงใกล้เคียงกันและสูงกว่าข้าวโพดที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (ตารางที่ 19)

ตารางที่ 19 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดปลูกใช้ในต่อช่วงรวมเมล็ดต้นที่ 3 ที่ระยะเก็บเกี่ยว (มิลลิกรัมต่อกระถาง) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ได้รับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	3.150d B	186.78ab A	195.72ab A	128.55b
โคราช ^{2/}	17.82cd B	134.70c A	144.49d A	99.00c
ลี้ ^{2/}	36.90c B	174.43ab A	151.41cd A	120.91b
ปากช่อง ^{2/}	165.83a A	192.62a A	165.63bcd A	174.69a
ชัยบาดาล ^{2/}	83.84b B	189.04a A	206.30a A	159.72a
หินร่อง ^{2/}	43.16c B	156.28bc A	177.39abc A	125.61b
F-MEAN ^{2/}	58.45B	172.31A	173.49A	134.75
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	15.7			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์
^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT
^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส
MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹
DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

จากผลการทดลองพบว่า ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 5 ชุดดิน ยกเว้นชุดดินปากช่อง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าชุดดินปากช่องมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวโพด โดยการใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียมฟอสเฟตทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อชั่งและเมล็ดที่ระยะเก็บเกี่ยวโดยเฉลี่ยสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Alam *et al.* (2005) ที่พบว่าการใช้ปุ๋ยผสมของมูลไก่กับ DCP ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้สูงสุด และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Aitken and Hughes (1980) ที่รายงานว่า การใช้ปุ๋ย MCP ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชดูดใช้สูงสุด

4.18 เปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ด

ข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินทั้ง 4 ชุดดิน ยกเว้นชุดดินปากช่อง และชัยบาดาล โดยการใส่ปุ๋ย DCP และ MCP ทำให้ข้าวโพดมีเปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ดโดยเฉลี่ยสูงใกล้เคียงกันคือ 80.98 และ 78.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีเปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ดโดยเฉลี่ยต่ำสุดคือ 43.14 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบกันในระหว่าง 6 ชุดดิน พบว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินชัยบาดาลและปากช่องมีเปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ดโดยเฉลี่ยสูงเท่ากับ 78.45 และ 73.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รองลงมาคือข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินองครักษ์ ลี และหินซ็อนเท่ากับ 70.87 64.25 และ 60.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินโคราชมีเปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ดโดยเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 56.84 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินทั้ง 6 ชุดดินกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปและการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือชุดดินปากช่องการไม่ใส่ปุ๋ยและการใส่ปุ๋ย DCP ทำให้ข้าวโพดมีเปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ดสูงกว่าการใส่ปุ๋ย MCP ในขณะที่ชุดดินชัยบาดาลการไม่ใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้ข้าวโพดมีเปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ดสูงใกล้เคียงกัน ส่วนชุดดินองครักษ์ โคราช ลี และหินซ็อนการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้ข้าวโพดมีเปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ดสูงใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 20 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อเปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ดำรับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	41.6b B	85.6a A	85.4a A	70.9b
โคราช ^{2/}	9.8d B	79.0a A	81.7a A	56.8d
ลี้ ^{2/}	30.6c B	80.0a A	82.2a A	64.3c
ปากช่อง ^{2/}	80.5a A	65.2b B	73.8a AB	73.2ab
ชัยบาดาล ^{2/}	78.8a A	77.7a A	78.9a A	78.5a
หินร่อง ^{2/}	17.5d B	81.2a A	83.9a A	60.9cd
F-MEAN ^{2/}	43.1B	78.1A	81.0A	67.4
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	11.1			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

4.19 ประสิทธิภาพการดึงดูปุ๋ยฟอสฟอรัสมาใช้ประโยชน์ของข้าวโพด

ผลของการใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียมฟอสเฟตที่มีต่อประสิทธิภาพการดึงดูปุ๋ยมาใช้ประโยชน์ของข้าวโพด แสดงในตารางที่ 21 พบว่า ประสิทธิภาพของการดึงดูปุ๋ยฟอสฟอรัสมาใช้ประโยชน์ของข้าวโพดในชุดดินต่างๆ มีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน โดยการใส่ปุ๋ย MCP ในชุดดินองครักษ์มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือชุดดินลี้ โคราช หินซื่อน และชัยบาดาล ส่วนชุดดินปากช่องมีประสิทธิภาพต่ำสุด สำหรับการใส่ปุ๋ย DCP ในชุดดินองครักษ์มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือชุดดินหินซื่อน ชัยบาดาล โคราช และลี้ ส่วนชุดดินปากช่องมีประสิทธิภาพต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินก่อนปลูก ที่พบว่าชุดดินองครักษ์มีค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสโดยน้ำยาสกัด Bray 2 อยู่ในระดับต่ำ ข้าวโพดจะใช้ฟอสฟอรัสจากปุ๋ยมาก ในขณะที่ชุดดินปากช่องมีค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสโดยน้ำยาสกัด Bray 2 อยู่ในระดับสูง ซึ่งเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวโพด จึงไม่จำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้กับข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่อง

ตารางที่ 21 ผลของการใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียมฟอสเฟตที่มีต่อประสิทธิภาพการดึงดูปุ๋ยมาใช้ประโยชน์ของข้าวโพด

ชุดดิน	Percent recovery (%)	
	MCP	DCP
องครักษ์	30.6	32.1
โคราช	19.5	21.1
ลี้	22.9	19.1
ปากช่อง	4.5	0.0
ชัยบาดาล	17.5	20.4
หินซื่อน	18.9	22.4

หมายเหตุ MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹
 DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

5. การประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินโดยวิธีสกัดด้วยน้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen

5.1 ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen

ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้จากดินทั้ง 6 ชุดดินคือ ชุดดินองครักษ์ โคราซ ลี ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซ้อน โดยน้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen แสดงอยู่ในตารางที่ 22 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้แตกต่างกันในแต่ละน้ำยาสกัด โดยพิสัยของปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยาสกัด Bray 2 อยู่ในช่วง $4.3\text{--}33.5 \text{ mg P kg}^{-1}$ ในขณะที่น้ำยาสกัด Mehlich 3 อยู่ในช่วง $1.7\text{--}23.9 \text{ mg P kg}^{-1}$ และน้ำยาสกัด Olsen อยู่ในช่วง $0.7\text{--}9.3 \text{ mg P kg}^{-1}$ ซึ่งค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen เท่ากับ 12.3 7.9 และ 3.1 mg P kg^{-1} ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากพิสัยและค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ พบว่าน้ำยาสกัด Bray 2 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงสุด รองลงมาคือ Mehlich 3 และ Olsen ตามลำดับ

น้ำยาสกัด Bray 2 และ Mehlich 3 มีสมบัติเป็นกรด ในขณะที่น้ำยาสกัด Olsen มีสมบัติเป็นด่าง (Fixen and Grove, 1990) การที่น้ำยาสกัด Bray 2 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงกว่า Mehlich 3 ทั้งนี้คงเป็นเพราะน้ำยาสกัด Bray 2 มีความเข้มข้นของกรดแก่ (HCl) และอนุมูลฟลูออไรด์ (NH_4F) (Bray and Kurtz, 1945) สูงกว่าในน้ำยาสกัด Mehlich 3 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wang *et al.* (2004) ที่พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน 317 ตัวอย่างของมลรัฐ Louisiana ที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Bray 2 สูงกว่าที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Mehlich 3 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 122 และ 74 mg P kg^{-1} ตามลำดับ ส่วนน้ำยาสกัด Olsen มี NaHCO_3 เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งให้อนุมูล OH^- และ CO_3^{2-} ในการสกัดฟอสฟอรัสในดิน (Olsen *et al.*, 1954) ซึ่งประสิทธิภาพของอนุมูล CO_3^{2-} ในน้ำยาสกัด Olsen น่าจะสกัดฟอสฟอรัสในดินได้น้อยกว่าอนุมูลฟลูออไรด์ในน้ำยาสกัด Bray 2 และ Mehlich 3 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Indiaty *et al.* (2002) ที่พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ในดิน 2 บริเวณของประเทศ Hungary ที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Bray 2 สูงกว่าที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Mehlich 3 และ Olsen ตามลำดับ

ตารางที่ 22 ปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดโดยน้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen

ชุดดิน	ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (mg P kg ⁻¹)		
	Bray 2	Mehlich 3	Olsen
องครักษ์	4.3	1.7	0.7
โคราช	5.7	4.8	1.5
ลี้	6.8	6.6	2.4
ปากช่อง	33.5	23.9	9.3
ชัยบาดาล	17.4	6.0	3.0
หินซื่อน	6.3	4.1	1.6
พิสัย	4.3-33.5	1.7-23.9	0.7-9.3
ค่าเฉลี่ย	12.3	7.9	3.1

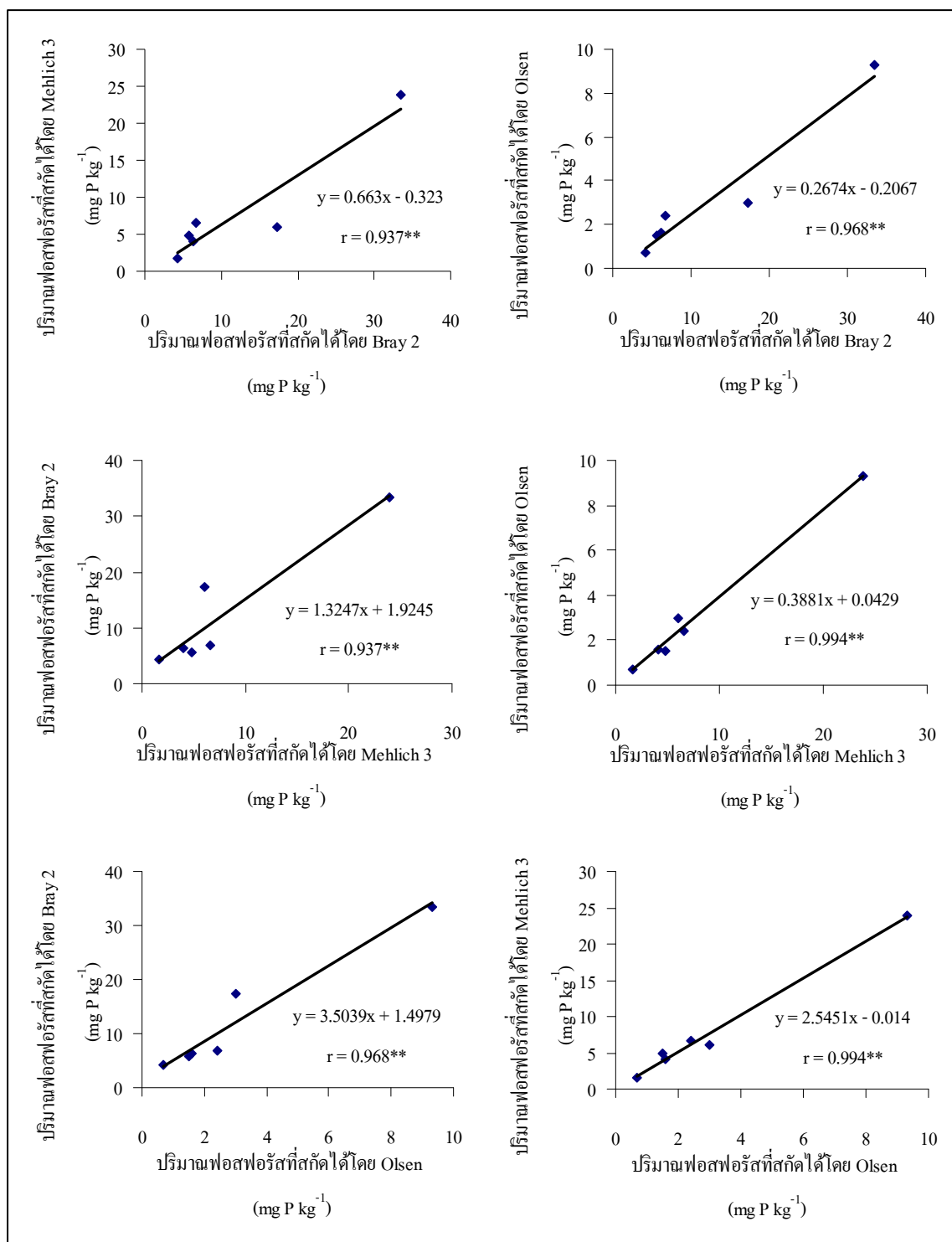
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดิน โดยน้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มาหาความสัมพันธ์กัน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยา Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 23 และภาพที่ 3 โดยน้ำยาสกัด Bray 2 เทียบกับ Mehlich 3 Bray 2 เทียบกับ Olsen และ Mehlich 3 เทียบกับ Olsen ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือค่า r เท่ากับ 0.937** 0.968** และ 0.994** ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของสุรเชษฐ์ (2550) ที่ทำการทดลองในดิน 8 ชุดดินของประเทศไทย พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยน้ำยา Bray 2 กับ Mehlich 3 มีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Elrashidi *et al.* (2003) ที่ทำการทดลองในดินต่าง 20 ดินของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยา Mehlich 3 กับ Olsen มีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และให้ผลเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการศึกษาของ Selassie *et al.* (2003) ทำการทดลองในดิน 20 ตัวอย่างของประเทศเอธิโอเปีย ซึ่งพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยา Bray 2 กับ Olsen มีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Indiaty *et al.* (2002) ซึ่งรายงานว่าการสกัดฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยา Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 23 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

น้ำยาสกัด	สมการถดถอย	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)
Bray 2 (X) เทียบกับ Mehlich 3 (Y)	$Y = 0.66X - 0.32$	0.937**
Bray 2 (X) เทียบกับ Olsen (Y)	$Y = 0.27X - 0.21$	0.968**
Mehlich 3 (X) เทียบกับ Bray 2 (Y)	$Y = 1.32X + 0.21$	0.937**
Mehlich 3 (X) เทียบกับ Olsen (Y)	$Y = 0.39X + 0.04$	0.994**
Olsen (X) เทียบกับ Bray 2 (Y)	$Y = 3.50X - 1.50$	0.968**
Olsen (X) เทียบกับ Mehlich 3 (Y)	$Y = 2.55X - 0.01$	0.994**

หมายเหตุ ** = มีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen

6. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับการเจริญเติบโตของข้าวโพด

6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับความสูงของข้าวโพด

6.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่อายุ 20 วัน

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มาหาสหสัมพันธ์กับความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่อายุ 20 วันที่ปลูกในตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen ไม่มีสหสัมพันธ์กับความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่อายุ 20 วัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.575^{ns} 0.746^{ns} และ 0.710^{ns} ตามลำดับ (ตารางที่ 24 และภาพที่ 4) เนื่องจากในช่วงแรกของการเจริญเติบโตข้าวโพดยังต้องการฟอสฟอรัสไม่มาก

6.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่อายุ 40 วัน

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มาหาสหสัมพันธ์กับความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่อายุ 40 วันที่ปลูกในตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มีสหสัมพันธ์กับความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่อายุ 40 วันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.927** 0.905** และ 0.930** ตามลำดับ (ตารางที่ 24 และภาพที่ 4) ข้าวโพดต้องการใช้ฟอสฟอรัสมากขึ้น ดังนั้นค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยน้ำยาสกัด Bray 2 หรือน้ำยาสกัดอีก 2 ชนิดในชุดดินที่มีปริมาณน้อย จึงไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวโพด

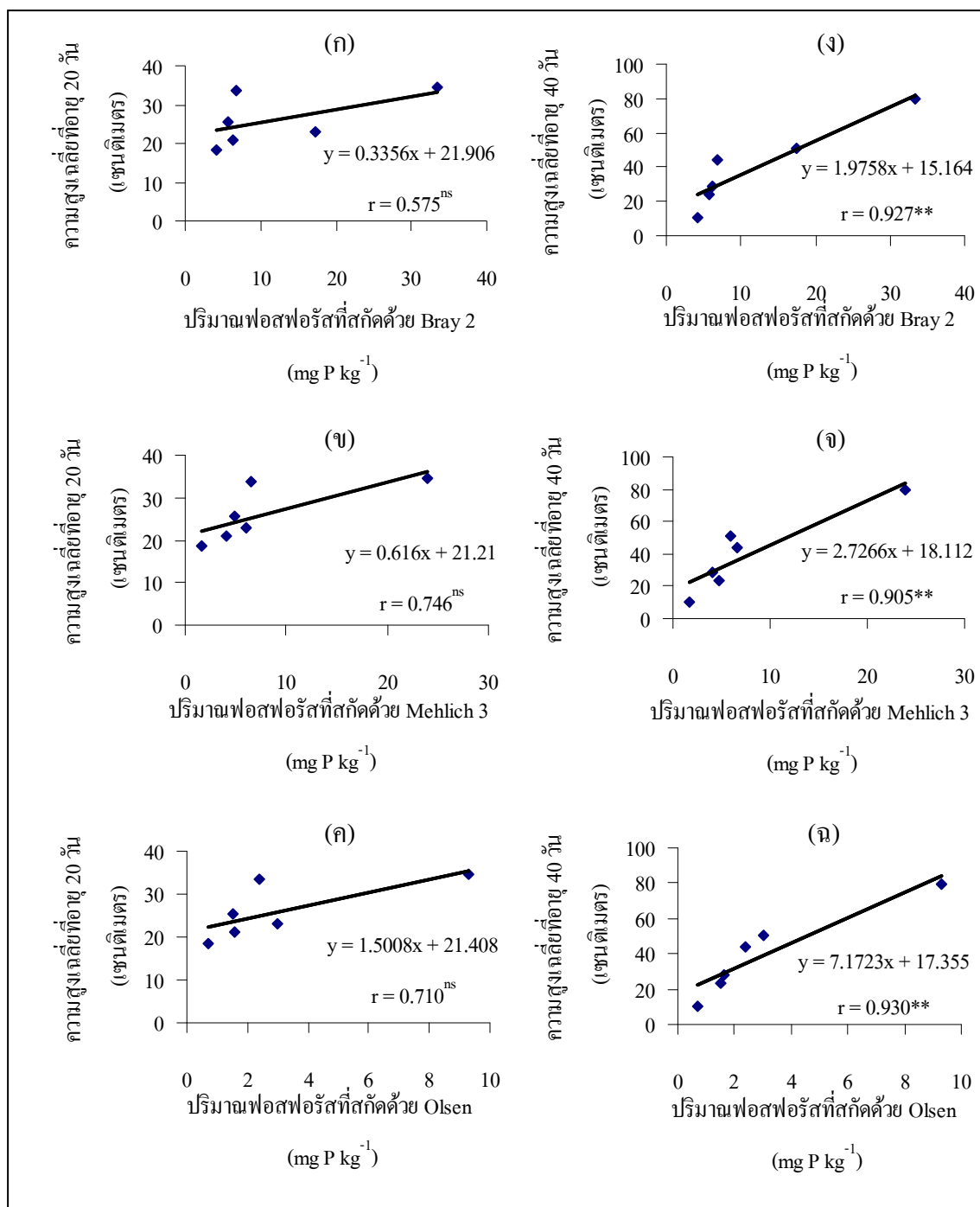
ตารางที่ 24 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดิน โดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับความสูงของข้าวโพด

น้ำยาสกัด	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้กับ	
	ความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่อายุ 20 วัน (cm)	ความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่อายุ 40 วัน (cm)
Bray 2	0.575 ^{ns}	0.927**
Mehlich 3	0.746 ^{ns}	0.905**
Olsen	0.710 ^{ns}	0.930**

หมายเหตุ ** = มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* = มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{ns} = ไม่มีสหสัมพันธ์กันทางสถิติ



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย (ก และ ง) Bray 2 (ข และ จ) Mehlich 3 และ (ค และ ฉ) Olsen กับความสูงเฉลี่ยของข้าวโพดที่อายุ 20 วันและ 40 วัน

6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพด

6.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับน้ำหนักต่อซังแห้งของข้าวโพดต้นที่ 1

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มาหา สหสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อซังแห้งของข้าวโพดต้นที่ 1 ที่ปลูกในตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen ไม่มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อซังแห้งของข้าวโพดต้นที่ 1 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.383^{ns} 0.535^{ns} และ 0.503^{ns} ตามลำดับ (ตารางที่ 25 และภาพที่ 5) เนื่องจากในช่วงแรกของการเจริญเติบโต ข้าวโพดต้องการ ฟอสฟอรัสในปริมาณน้อย

6.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับน้ำหนักต่อซังแห้งของข้าวโพดต้นที่ 2

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มาหา สหสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อซังแห้งของข้าวโพดต้นที่ 2 ที่ปลูกในตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Mehlich 3 และ Olsen มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อซังแห้งของ ข้าวโพดต้นที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.917** และ 0.893** ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อซัง แห้งของข้าวโพดต้นที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.782* (ตารางที่ 25 และภาพที่ 5)

6.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับน้ำหนักต่อซังแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มาหา สหสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อซังแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ปลูกในตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 และ Olsen มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อซังแห้งของข้าวโพด

ต้นที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.818* และ 0.768* ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Mehlich 3 ไม่มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อชั่งแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.717^{ns} (ตารางที่ 25 และภาพที่ 6) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของดานู (2544) ที่ทำการทดลองปลูกข้าวโพดในชุดดินสติก พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยา Bray 2 มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อชั่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

6.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับน้ำหนักฝักแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มาหาสหสัมพันธ์กับน้ำหนักฝักแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ปลูกในดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 และ Olsen มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักฝักแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.983** และ 0.907** ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Mehlich 3 มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักฝักแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.858* (ตารางที่ 25 และภาพที่ 6)

6.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับน้ำหนักเมล็ดแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มาหาสหสัมพันธ์กับน้ำหนักเมล็ดแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ปลูกในดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 และ Olsen มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักเมล็ดแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.982** และ 0.905** ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Mehlich 3 มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักเมล็ดแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.856* (ตารางที่ 25 และภาพที่ 7) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของดานู (2544) ที่ทำการทดลองปลูกข้าวโพดในชุดดินสติก พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยา Bray 2 มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14% อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

6.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับน้ำหนักแห้งต่อชั่งรวมเมล็ดของข้าวโพดต้นที่ 3

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มาหา สหสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งต่อชั่งรวมเมล็ดของข้าวโพดต้นที่ 3 ที่ปลูกในดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ย ฟอสฟอรัส พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 และ Olsen มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งต่อ ชั่งรวมเมล็ดของข้าวโพดต้นที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.939** และ 0.874** ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Mehlich 3 มี สหสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งต่อชั่งรวมเมล็ดของข้าวโพดต้นที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.822* (ตารางที่ 25 และภาพที่ 7) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา ของสุรเชษฐ์ (2550) ที่ศึกษาในดินบางชุดดินของประเทศไทย พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย น้ำยา Bray 2 มีสหสัมพันธ์กับผลผลิตน้ำหนักแห้งของข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยา Mehlich 3 และ Olsen มีสหสัมพันธ์กับผลผลิตน้ำหนักแห้งของ ข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Menon *et al.* (1989) ที่ทำการ ทดลองปลูกข้าวโพดใน 4 ชุดดิน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยน้ำยา Olsen มีสหสัมพันธ์ กับผลผลิตน้ำหนักแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

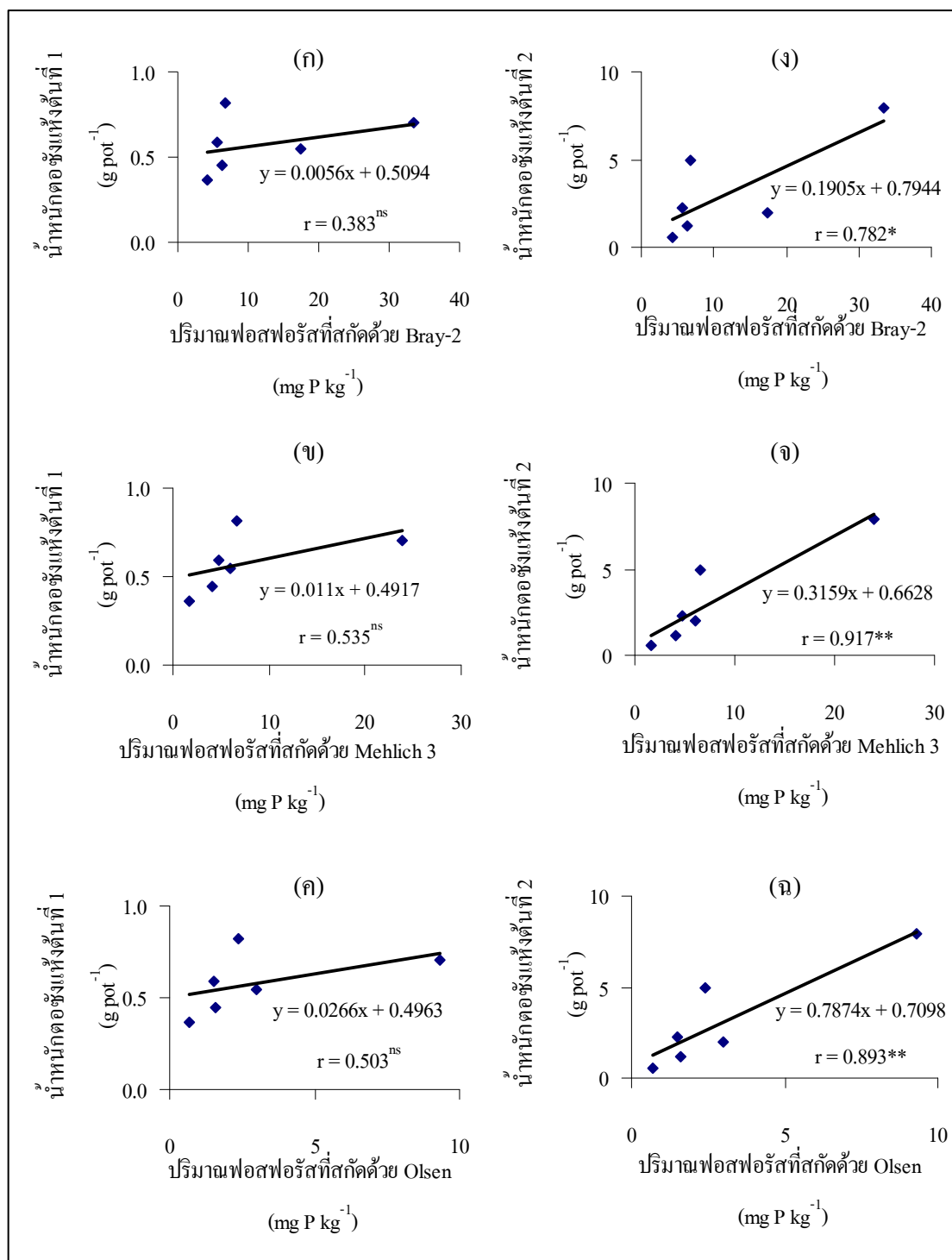
ตารางที่ 25 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับน้ำหนักแห้งของข้าวโพด

น้ำยาสกัด	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้กับน้ำหนักแห้งข้าวโพด					
	ตอซัง	ตอซัง	ตอซัง	ฝัก	เมล็ด	ตอซังรวมเมล็ด
	ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 3	ต้นที่ 3	ต้นที่ 3
	(g pot ⁻¹)	(g pot ⁻¹)	(g pot ⁻¹)	(g pot ⁻¹)	(g pot ⁻¹)	(g pot ⁻¹)
Bray 2	0.383 ^{ns}	0.782*	0.818*	0.983**	0.982**	0.939**
Mehlich 3	0.535 ^{ns}	0.917**	0.717 ^{ns}	0.858*	0.856*	0.822*
Olsen	0.503 ^{ns}	0.893**	0.768*	0.907**	0.905**	0.874**

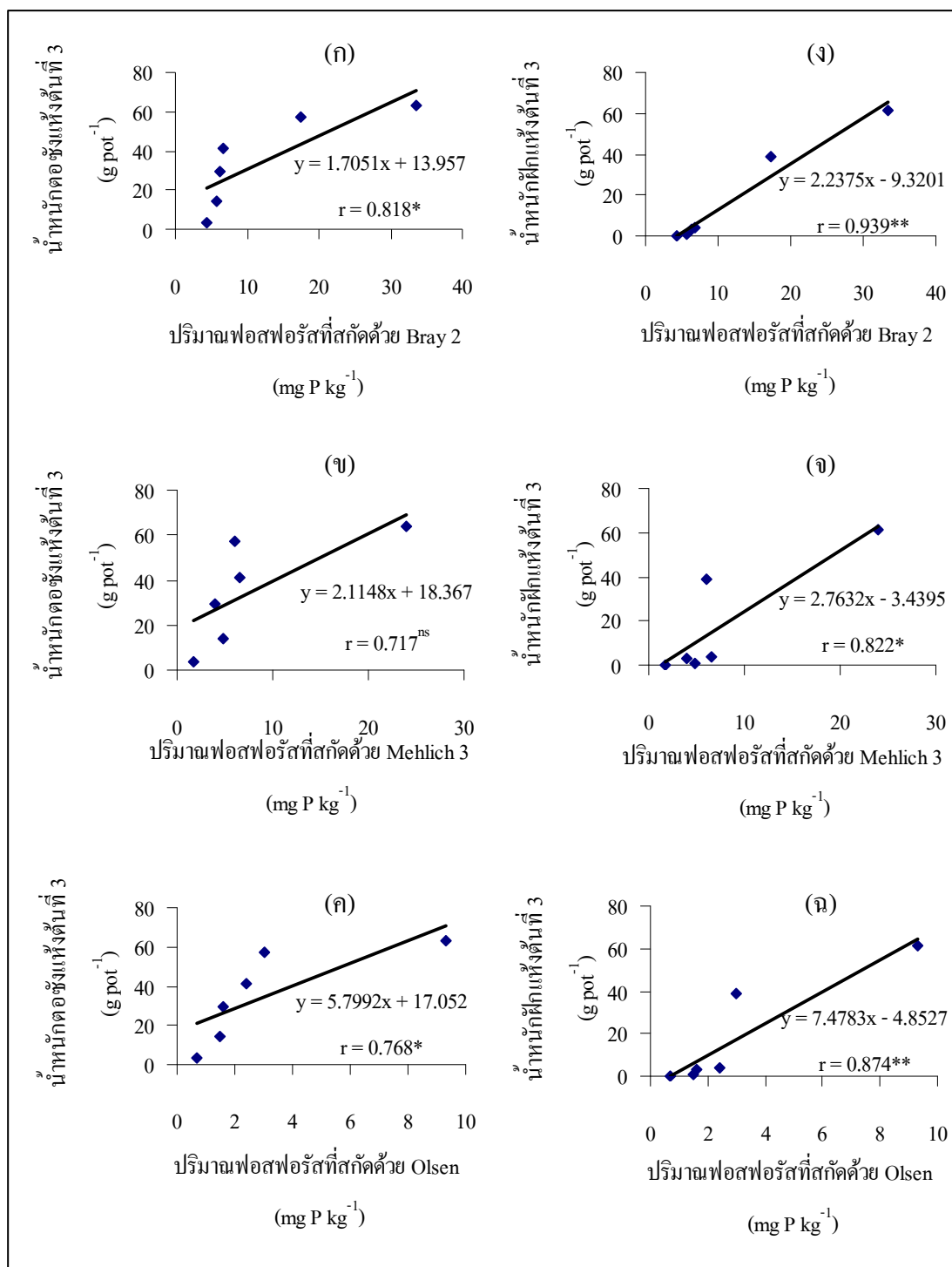
หมายเหตุ ** = มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* = มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

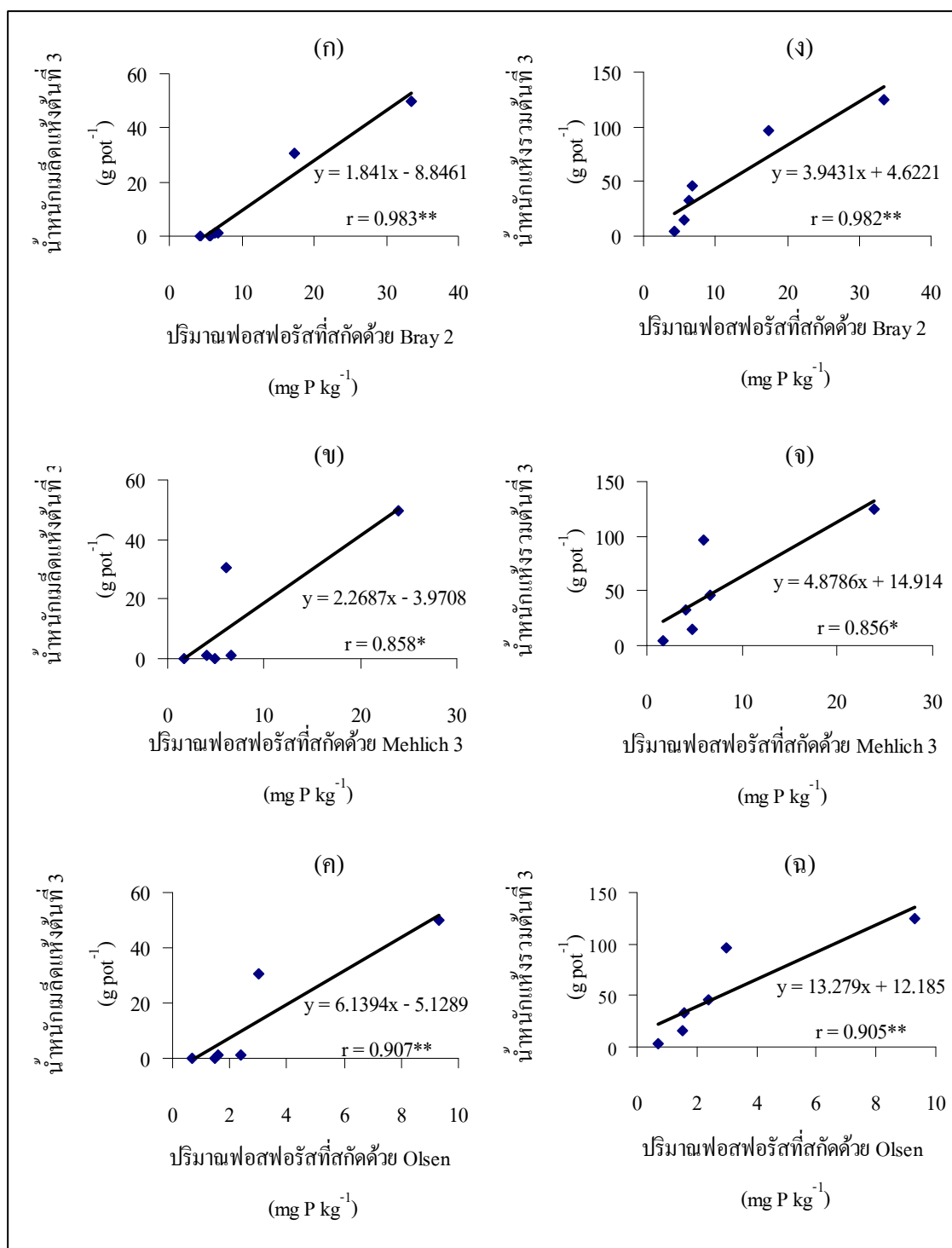
^{ns} = ไม่มีสหสัมพันธ์กันทางสถิติ



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย (ก และ ข) Bray 2 (ค และ ง) Mehlich 3 และ (ฉ และ จ) Olsen กับน้ำหนักต่อชั่งแห้งของข้าวโพดดำนที่ 1 และ น้ำหนักต่อชั่งแห้งของข้าวโพดดำนที่ 2



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย (ก และ ง) Bray 2 (ข และ จ) Mehlich 3 และ (ค และ ฉ) Olsen กับน้ำหนักต่อชั่งแห้งและน้ำหนักฝักแห้งของข้าวโพดต้นที่ 3



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย (ก และ ง) Bray 2 (ข และ จ) Mehlich 3 และ (ค และ ฉ) Olsen กับน้ำหนักเมล็ดแห้งและน้ำหนักแห้งรวม (ต่อซังและเมล็ด) ของข้าวโพดต้นที่ 3

6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดยน้ำยาสกัด 3 ชนิด Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้

6.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงต้นที่ 1

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มาหา สหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงต้นที่ 1 ที่ปลูกในดำรับที่ไม่ใส่ ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen ไม่มีสหสัมพันธ์ กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงต้นที่ 1 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.251^{ns} , 0.327^{ns} และ 0.322^{ns} ตามลำดับ (ตารางที่ 26 และภาพที่ 8) เนื่องจากในช่วงแรกของการเจริญเติบโต ข้าวโพดต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณน้อย

6.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงต้นที่ 2

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มาหา สหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงต้นที่ 2 ที่ปลูกในดำรับที่ไม่ใส่ ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Mehlich 3 และ Olsen มีสหสัมพันธ์กับปริมาณ ฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงต้นที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.968^{**} และ 0.949^{**} ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัด โดย Bray 2 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงต้นที่ 2 อย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.857^{*} (ตารางที่ 26 และภาพที่ 8) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Tran *et al.* (1990) ที่ศึกษาในดินส่วนใหญ่ของ Quebec ประเทศ แคนาดา พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยา Mehlich 3 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัส ทั้งหมดที่พืชดูดใช้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Menon *et al.* (1989) และ Vanlauwe *et al.* (2000) ซึ่ง รายงานว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยน้ำยา Olsen มีสหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ที่ข้าวโพดดูดใช้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงต้นที่ 3

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มาหา สหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงต้นที่ 3 ที่ปลูกในดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ย ฟอสฟอรัส พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen ไม่มีสหสัมพันธ์กับ ปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงต้นที่ 3 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.740^{ns} , 0.690^{ns} และ 0.726^{ns} ตามลำดับ (ตารางที่ 26 และภาพที่ 9)

6.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในเมล็ดต้นที่ 3

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มาหา สหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในเมล็ดต้นที่ 3 ที่ปลูกในดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ย ฟอสฟอรัส พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มีสหสัมพันธ์กับ ปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในเมล็ดต้นที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.996^{**} , 0.948^{**} และ 0.974^{**} ตามลำดับ (ตารางที่ 26 และภาพ ที่ 9) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของคานู (2544) ซึ่งรายงานว่ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยา Bray 2 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (แปลงที่เคยมีการไถกลบต่อช่วง)

6.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงรวมเมล็ดต้นที่ 3

เมื่อนำปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มาหา สหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงรวมเมล็ดต้นที่ 3 ที่ปลูกในดำรับ ที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มี สหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงรวมเมล็ดต้นที่ 3 อย่างมี นัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.985^{**} , 0.932^{**} และ 0.964^{**} ตามลำดับ (ตารางที่ 26 และภาพที่ 10) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสุรเชษฐ์ (2550) ในการศึกษา

ถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยาสกัดกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ รายงานว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดโดยน้ำยา Bray 2 และ Mehlich 3 มีสหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Enwezor (1977); Menon *et al.* (1989) และ Vanlauwe *et al.* (2000) ซึ่งรายงานว่ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยน้ำยา Olsen มีสหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

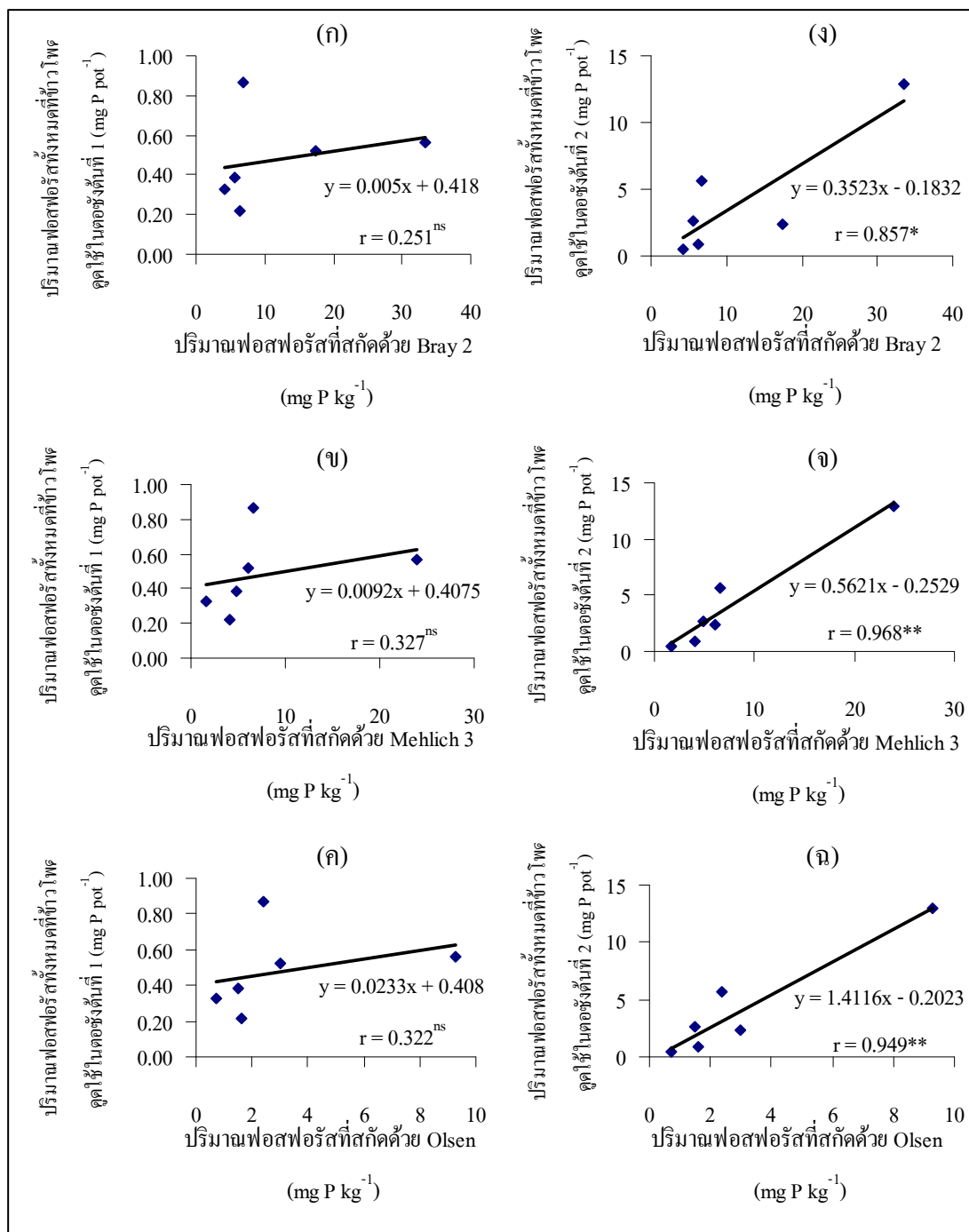
ตารางที่ 26 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้

น้ำยาสกัด	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้				
	ดอซัง	ดอซัง	ดอซัง	เมลลิด	ดอซังรวมเมลลิด
	ต้นที่ 1 (mg P pot ⁻¹)	ต้นที่ 2 (mg P pot ⁻¹)	ต้นที่ 3 (mg P pot ⁻¹)	ต้นที่ 3 (mg P pot ⁻¹)	ต้นที่ 3 (mg P pot ⁻¹)
Bray 2	0.251 ^{ns}	0.857*	0.740 ^{ns}	0.996**	0.985**
Mehlich 3	0.327 ^{ns}	0.968**	0.690 ^{ns}	0.948**	0.932**
Olsen	0.322 ^{ns}	0.949**	0.726 ^{ns}	0.974**	0.964**

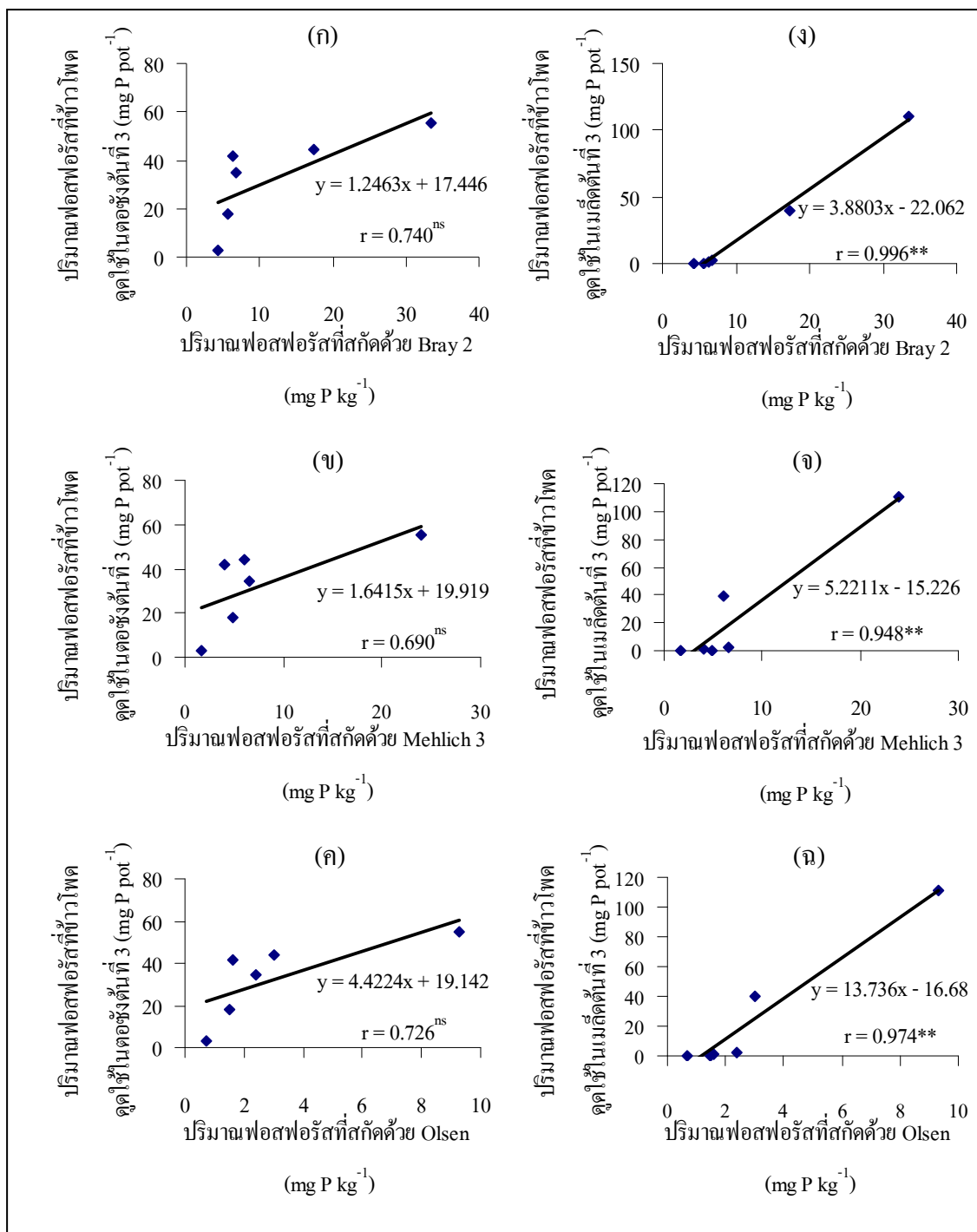
หมายเหตุ ** = มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* = มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

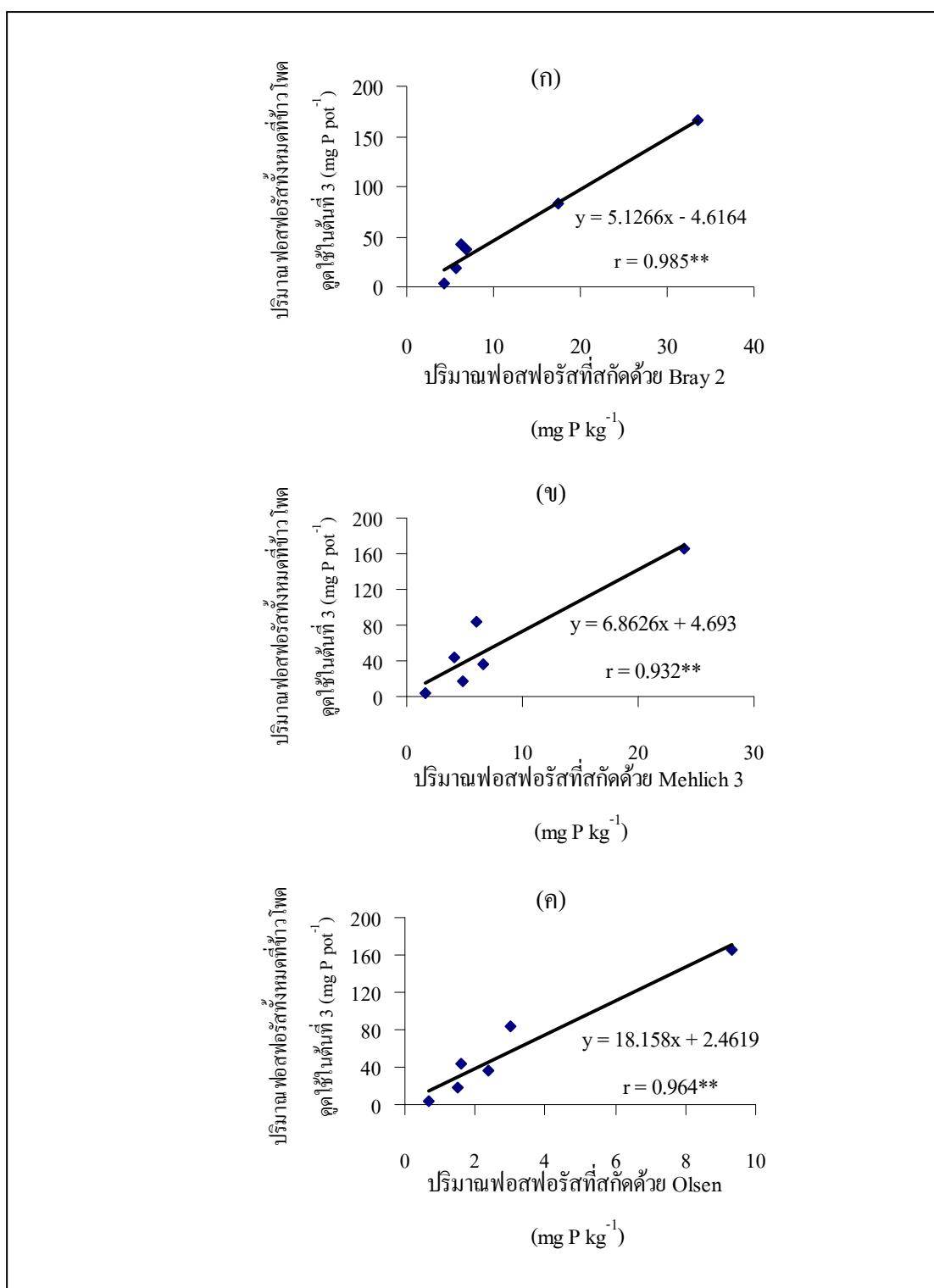
^{ns} = ไม่มีสหสัมพันธ์กันทางสถิติ



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย (ก และ ง) Bray 2 (ข และ จ) Mehlich 3 และ (ค และ ฉ) Olsen กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดคั่วใช้ในตอซังคันที่ 1 และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดคั่วใช้ในตอซังคันที่ 2



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย (ก และ ง) Bray 2 (ข และ จ) Mehlich 3 และ (ค และ ฉ) Olsen กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในตอซัง และปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดใช้ในเมล็ดต้นที่ 3



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใน 6 ชุดดินโดย (ก) Bray 2 (ข) Mehlich 3 และ (ค) Olsen กับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ในต่อช่วงรวมเมล็ดต้นที่ 3

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาการประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยวิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมีและการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินองครักษ์ โคราช ลี ปากช่อง ชัยบาดาล และหินซ้อน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ดินที่นำมาศึกษาทั้ง 6 ชุดดินมีสมบัติที่แตกต่างกัน โดยมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย จนถึงดินเหนียว ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากจนถึงด่างปานกลางมี pH อยู่ในช่วง 3.6-8.4 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) อยู่ในช่วง 3-57 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ จนถึงค่อนข้างสูง ในชุดดินองครักษ์ โคราช ลี และหินซ้อนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ ส่วนชุดดินชัยบาดาลมีอยู่ในระดับปานกลาง และชุดดินปากช่องมีอยู่ในระดับสูง

2. ชุดดินองครักษ์เป็นดินที่มีความจุในการตรึงฟอสฟอรัสได้มากที่สุด รองลงมาคือ ชุดดินปากช่อง ชัยบาดาล หินซ้อน และลี ตามลำดับ ส่วนชุดดินโคราชเป็นดินที่มีความจุในการตรึงฟอสฟอรัสได้น้อยที่สุด

3. ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยเฉลี่ยในดินทั้ง 6 ชุดดินลดลง เมื่อระยะเวลาในการบ่มดินนานขึ้น ซึ่งการใส่ปุ๋ย DCP ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าการใส่ปุ๋ย MCP ตลอดระยะเวลาการบ่มดินในทั้ง 6 ชุดดิน โดยชุดดินโคราชมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดโดยน้ำยาสกัด Bray 2 สูงสุด ส่วนชุดดินองครักษ์มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดได้ต่ำสุด

4. ข้าวโพดไม่ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในชุดดินปากช่อง แต่ตอบสนองทางบวกในชุดดินองครักษ์ โคราช ลี ชัยบาดาล และหินซ้อน ซึ่งการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้ง 2 รูปมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้ง ความเข้มข้นฟอสฟอรัส และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้สูงขึ้น โดยการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ทำให้ผลผลิตน้ำหนักรากแห้งและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้ใกล้เคียงกัน

5. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดโดยน้ำยาสกัด Bray 2 Mehlich 3 และ Olsen มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินของน้ำยาสกัดทั้ง 3 ชนิดมีสหสัมพันธ์กับผลผลิตน้ำหนักแห้งและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดใช้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสามารถใช้ประเมินความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินที่นำมาศึกษาได้ โดยน้ำยาสกัด Bray 2 ให้ความแม่นยำสูงสุด

6. ชุดดินองค์กรกษมีค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวโพด โดยข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินองค์กรกษตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ย MCP มากที่สุด ในขณะที่ชุดดินโคราช ลี และหินซ้อนมีค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ ข้าวโพดที่ปลูกใน 3 ชุดดินนี้ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ย MCP และ DCP ใกล้เคียงกัน ส่วนชุดดินชัยบาดาลมีค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง ข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินชัยบาดาลตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ย DCP มากที่สุด และชุดดินปากช่องมีค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง ซึ่งเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวโพด จึงไม่จำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้กับข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่อง

ข้อเสนอแนะ

การเลือกชุดดินที่นำมาศึกษาในการประเมินความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจากปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียมฟอสเฟต โดยวิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมีและการปลูกข้าวโพดนั้น ได้ทำการเลือกชุดดินที่มีสมบัติเกี่ยวข้องกับเรื่องความจุในการตรึงธาตุฟอสฟอรัสของดิน ได้แก่ เนื้อดิน ปฏิกริยาดิน ชนิดและปริมาณของแคตไอออนในดิน ชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว และอินทรีย์วัตถุ ซึ่งผลการทดลองนี้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในชุดดินอื่นๆ ที่มีสมบัติแตกต่างจากชุดดินที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ นอกจากนี้ควรมีการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมีในการประเมินฟอสฟอรัสที่มีประสิทธิภาพและต้องมีการทดลองศึกษาในภาคสนามต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548ก. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่ม
ชุดดิน เล่ม1 ดินบนพื้นที่ราบต่ำ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2548ข. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่ม ชุดดิน
เล่ม2 ดินบนพื้นที่ดอน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ครั้งที่ 10. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา. 2542. พืชเศรษฐกิจ. ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

จรงักษ์ จันทรเจริญสุข. 2541. การวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2515. การเปรียบเทียบผลตอบสนองและประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยของ
ข้าวโพดที่คัดเลือกแล้ว 3 พันธุ์ ที่มีต่อปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอัตราต่างๆ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

दानุ ราษฎร. 2544. ผลตกค้างระยะยาวของปุ๋ยฟอสเฟตที่มีต่อผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหาร
ของข้าวโพดที่ปลูกบนชุดดินสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และ จรงักษ์ จันทรเจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือการปฏิบัติการวิเคราะห์
ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นฤมล ชันติสมบูรณ์. 2531. การศึกษาวิธีการประเมินความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินที่
ใช้ปลูกมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

น้อย เจริญนันท, วิโรจน์ วจนนาวัช, สาหัส ศสสันเทียะ และ สมศักดิ์ เชื้อวสมุท. 2525. การ
ตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟตและโปแตสของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.5 ในฤดูแล้ง, น. 27 ใน
รายงานผลการวิจัยดินและปุ๋ยพืชไร่ ฉบับย่อ พ.ศ. 2525. สาขาดินและปุ๋ยพืชไร่ กอง
ปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

นันทพร แสงเดช. 2547. ผลการใส่ฟอสฟอรัสในรูปมูลไก่ ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัส
ร่วมกับซิลิกอนต่อผลผลิต และการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่อง.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิตยา สุ่มังคะโยธิน. 2532. การเปลี่ยนรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสและความเป็นประโยชน์ต่อข้าว
ที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พิสมัย โพธิ์ศรี. 2544. ผลตกค้างระยะยาวของปุ๋ยฟอสเฟตที่มีต่อผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหาร
ของถั่วเหลืองที่ปลูกบนชุดดินสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

มณัญญา อุ่นศิริพันธ์. 2536. การเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสฟอรัสจากปุ๋ยเคมีโดยใช้ร่วมกับปุ๋ย
หมักในดินเนื้อหยาบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ขงยุทธ โอสดสภา. 2546. ธาตุอาหารพืช. ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

วิชัย พันธนะหิรัญ. 2525. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินโดยวิธีเคมีต่างๆ กับ
การเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดดูดจากดินชนิดต่างๆ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- วิศิษฐ์ โชติสกุล, มะลิวัลย์ เทพพุดผล และ นิลประไพ จันทนภาพ. 2518. การศึกษาการดูดซับ ฟอสฟอรัสในดินนาชนิดต่างๆ. รายงานผลการทดลองและวิจัยประจำปี 2518. กองเกษตร เคมี กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- สรสิทธิ์ วัชรโรชยาน และ พงนิษฐ์ เหล่าไพโรจน์. 2507. การศึกษาสัมพันธ์ระหว่างผลการ วิเคราะห์ฟอสฟอรัสของดินบางวิธีกับปริมาณฟอสฟอรัสซึ่งพืชดูดซับขึ้นมาจากดิน, น. 114-116. ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุรเชษฐ์ อร่ามรักษ์. 2550. ประสิทธิภาพของน้ำยากัดเมล็ดสามและแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตดี ที่พื่อในการประเมินฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในบางชุดดินของ ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ถัมฤทธิ์ ภู่อึ้งเรือง. 2544. ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรีที่ปลูก ในดินเปรี้ยวจัดและดินเหนียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2548. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2546-2548. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- อัญธิชา พรหมเมืองคุก. 2546. การหาชนิดของสารละลายสกัดที่เหมาะสมสำหรับการหาดัชนี ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนาและดินไร่บางชุดดินในเขตลุ่มน้ำแม่กลอง ใหญ่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Adhami, E., M. Maftoun, A. Ronaghi, N. Karimian, J. Yasrebi and M.T. Assad. 2006. Inorganic phosphorus fractionation of highly calcareous soils of Iran. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 37: 1877-1888.

- Aitken, R.L. and J.D. Hughes. 1980. The effect of method of application and presence of sulphate on phosphate fixation from three phosphate fertilizers applied to a krasnozem soil. **Aus. J. Exp. Agr.** 20: 486-491.
- Akande, M.O., F.I. Oluwatoyinbo, C.O. Kayode and F.A. Olowokere. 2006. Response of maize (*Zea mays*) and Okra (*Abelmoschus esculentus*) intercrop relayed with cowpea (*Vigna unguiculata*) to different levels of cow dung amended phosphate rock. **World Journal of Agricultural Sciences**. 2(1): 119-122.
- Alam, S.M., S.A. Shah, S. Ali and M.M. Iqbal. 2005. Yield and phosphorus-uptake by crops as influenced by chemical fertilizer and integrated use of industrial by-products. **Songklanakarin J. Sci. Technol.** 27: 9-16.
- Benton Jones, J. 2001. **Labaratory guide for conducting soil tests and plant analysis**. CRC Press, Washington, D.C.
- Black, C.A., D.D. Evans, L.E. Ensminger, J.L. White, F.E. Clark and R.S. Dinaber. 1965. **Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties**. American Society of Agronomy Inc., Wisconsin, USA.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 1999. **Elements of the Nature and Properties of Soils**. 12th ed. The Macmillan Co., New York.
- _____. 2002. **The Nature and Properties of Soils**. 13th ed. The Macmillan Co., New York.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. **Soil Sci.** 59: 39-45.

- Brown, J.R. and D. Warnke. 1988. Recommended cation tests and measures of cation exchange capacity. *In* W.C. Dahnke (ed). **Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region**. North Dakota Agric. Exp. Stn. Bull. 499.
- Chang, S.C. and M.L. Jackson. 1957. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Sci.** 84: 133-144.
- Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis, pp. 545-567. *In* C.A. Black (ed.). **Methods of Soil Analysis Part I**. Agronomy, No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Elrashidi, M.A., M.D. Mays and C.W. Lee. 2003. Assessment of Mehlich 3 and ammonium bicarbonate-DTPA extraction for simultaneous measurement of fifteen elements in soils. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 34(19-20): 2817-2838.
- Enwezor, W.O. 1977. Soil testing for phosphorus in some Nigerian soils. Comparison of methods of determining available phosphorus in soils of Southeastern Nigeria. **Soil Sci.** 123: 48-53.
- FAOSTAT. 2005. **Annual world cereal harvest (3 year average 2002-2004)**. Cereal statistics. Available Source: <http://faostat.fao.org>, July 3, 2007.
- Fixen, P.E. and J.H. Groove. 1990. Testing soils for phosphorus, pp. 141-180. *In* R.L. Westerman, ed. **Soil Testing and Plant Analysis**. Soil Science Society of America, Inc. Madison Third Edition, Wisconsin, USA.
- Fox, R.L. and E.J. Kamprath. 1970. Phosphorus sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 34: 902-907.
- Haseman, J.F., E.H. Brown and C.D. White. 1950. Some reaction of phosphate with clays and hydrous oxides of iron and aluminum. **Soil Sci.** 70: 257-271.

- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers: an Introduction to Nutrient Management**. 7th ed. Pearson Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Hernandez, V.E., M. Akhtar, A.B. Reyes, A.M. Qazi and R.N. Escobar. 2005. Effect of incubation period on phosphate sorption from three P source in Morelos soil. **P. J. Bio. Sci.** 8(1): 61-64.
- Indiati, R., U. Neri, M. Magyar and P. Csathó. 2002. Effect of time, fertilizer phosphorus sources, and fertilization systems on phosphorus extractability of two soils from Hungary. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 33(3&4): 545-560.
- Kilmer, V.J. and L.T. Alexander. 1949. Method of making mechanical analysis of Soils. **Soil Sci.** 68: 15-24.
- Kuo, S. 1996. Phosphorus, pp. 869-919. In D.L. Sparks, ed. **Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods**. SSSA Inc., ASA Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. **Soil Interpretation Handbook for Thailand**. Dept. of Land Development, Min. of Agri. And Coop., Bangkok.
- Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 42: 421-428.
- Mehlich, A. 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH_4 . Pub. No. 1-53, N. C. Soil Testing Div., Raleigh, NC.
- _____. 1984. Mehlich 3 soil test extractant : A modification of Mehlich 2 extractant. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 15: 1407-1416.

- Menon, R.G., L.L. Hammond and H.A. Sissingh. 1989. Determination of plant-available phosphorus by iron hydroxide-impregnated filter paper (Pi) soil test. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 52: 110-115.
- Morgan, M.F. 1941. Chemical soil diagnosis by the universal testing system. Connecticut Agricultural soils exp. Stn. Bull.
- Olsen, S.R., C.V. Cloe, F.S. Watanabe and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939. USDA, Washington, DC.
- Olsen, S.R. and F.S. Watanabe. 1970. Diffusive supply of phosphorus in relation to soil textural variation. **Soil Sci.** 110:318-327.
- Selassie, Y.G., A. Suwanarit, C. Suwannarat and E. Sarobol. 2003. Equations for estimating phosphorus fertilizer requirements from soil analysis for maize (*Zea mays* L.) grown on Alfisols of northwestern Ethiopia. **Kasetsart J. (Nat. Sci.)** 37: 284-295.
- Sims, J.T. 2000. Soil test phosphorus: Bray and Kurtz P-1. **Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals and Waters.** North Carolina State University, USA.
- Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil Survey Manual.** U.S. Dep. Of Agr. Handbook No. 18 U.S. Government Printing Office. Washington D.C.
- Soltanpour, P.N. and A.P. Schwab. 1997. A new soil test of macro- and micro- nutrients in alkaline soils. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 8: 195-207.
- Sree Ramulu, U.S., P.F. Pratt and A.L. Page. 1967. Phosphorus fixation by soils in relation to extractable iron oxides and mineralogical composition. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 31: 193-196.

- Suwannarat, C. 1980. **Untersuchungen über die wirkung von phosphatdüüngung verschiedener löslichkeit auf die P-verfügbarkeit für die pflanze und die phophatdynamik in tropischen böden.** Angewandte Biologie und Umweltsicherung, Justus-Liebig-Universität, Gießen.
- Thomas, G.W. 1982. Exchange cations, pp. 159-165. In A.L. Page ed. **Methods of Soil Analysis.** 2nd ed. Part 2, Amer. Soc. of Agron., Inc., Madison, U.S.A.
- Tisdale, S.L. and W.L. Nelson. 1975. **Soil Fertility and Fertilizers.** 3rd ed. Macmillan Publ. Co. Inc., New York.
- Tran, T.S., M. Giroux., J. Guilbeault and P. Audesse. 1990. Evaluation of Mehlich-III extractant to estimate the available P in Quebec soils. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 21: 1-28.
- Troug, E. 1930. Determination of readily available phosphorus in soils. **J. Am. Soc. Agron.** 22: 874-882
- Tuivavalagi, N.S. and J.A. Silva. 1996. The effect of chicken manure and inorganic fertilizers on soil properties and the growth and yield of maize (*Zea mays*) grown on a Hawaiian Oxisol. **J. of South Pacific Agric.** 3: 1-2.
- Vacharotayan, S., P. Laoparroj, S. Chantawat and Y. Vacharacoop. 1964. Preliminary evaluation of different chemical soil testing method for available phosphorus through correlation with green house test. **Kasetsart. J.** 4: 97-109.
- Vanlauwe B., K. Aihou, S. Aman, B.K. Tossah, J. Diels, O. Lyasse, S. Hauser, N. Saginga and R. Merckx. 2000. Nitrogen and phosphorus uptake by maize as affected by particulate organic matter quality, soil characteristics, and land-use history for soils from the West African moist savanna zone. **Biol. Fertil. Soils.** 30: 440-449.

- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. **Soil Sci.** 37:29-38.
- Walton, K. and D. Alle. 2004. Mehlich No. 3 Soil Test – The Western Australian Experience. *In* **3rd Australian New Zealand Soils Conference, 5-9 December 2004.** University of Sydney, Australian.
- Wang, J.J., D.L. Harrell, R.E. Hederson and P.F. Bell. 2004. Comparison of Soil-test extractants for phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, zinc, copper, manganese, and iron in Louisiana Soils. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 35(1-2): 145-160.
- Zhang, H. and J.L. Kovar. 2000. Phosphorus Fractionation, pp. 50-59. *In* G.M. Pierzynski, ed. **Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals and Waters.** North Carolina State University, USA.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสฟอรัสในดิน โดยน้ำยาสกัด Bray 2 ที่ระยะเวลา
ต่างๆ ของการบ่มดิน

ตำรับการทดลอง	ระยะเวลาของการบ่มดิน (สัปดาห์)			
	1	3	5	7
	mg P kg ⁻¹			
Ok, Control	2.71	2.57	2.78	2.37
Ok, MCP	49.81	53.13	54.48	46.77
Ok, DCP	67.34	57.28	59.21	62.79
Kt, Control	3.47	3.39	3.91	3.56
Kt, MCP	78.77	81.91	92.98	96.02
Kt, DCP	99.06	95.12	95.41	98.92
Li, Control	5.36	5.10	5.11	4.87
Li, MCP	36.39	39.41	61.39	51.13
Li, DCP	96.61	97.79	70.64	65.82
Pc, Control	22.42	24.40	25.89	22.48
Pc, MCP	67.88	72.25	68.38	66.18
Pc, DCP	95.80	99.46	96.97	93.41
Cd, Control	11.24	13.66	13.71	11.56
Cd, MCP	62.11	55.77	58.91	55.25
Cd, DCP	96.06	90.89	70.65	73.11
Hs, Control	8.70	8.85	7.14	7.33
Hs, MCP	83.59	71.80	59.93	57.05
Hs, DCP	79.69	81.10	76.29	68.85

ตารางผนวกที่ 2 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ (กรัม ต่อดัน) ที่ปลูกใน 6 ชุดดิน

ชุดดิน (S)	ดำรับการใส่ปุ๋ย (F)			S-MEAN ^{1/}
	Control ^{1/}	MCP ^{1/}	DCP ^{1/}	
องครักษ์ ^{2/}	0.1c C	86.8a A	79.5a B	55.5a
โคราช ^{2/}	0.1c B	56.5b A	57.4bc A	38.0d
สี ^{2/}	1.4c B	58.3b A	61.6b A	40.4d
ปากช่อง ^{2/}	58.5a A	33.5c C	41.7d B	44.6c
ชัยบาดาล ^{2/}	36.2b C	53.4b B	63.4b A	51.0b
หินร่อง ^{2/}	1.1c B	59.4b A	54.3c A	38.3d
F-MEAN ^{2/}	16.2B	58.0A	59.7A	44.6
F-test (S)	**			
F-test (F)	**			
F-test (SxF)	**			
CV (%)	9.6			

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

^{1/} ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

^{2/} ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

Control คือ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

MCP คือ การใส่ปุ๋ยโมโนแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

DCP คือ การใส่ปุ๋ยไดแคลเซียมฟอสเฟตอัตรา 100 mg P kg⁻¹

ตารางผนวกที่ 3 ผลของการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อร้อยละผลผลิตน้ำหนักฝักแห้งของข้าวโพดที่เพิ่มขึ้นจากดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

ชุดดิน	ร้อยละผลผลิตที่เพิ่มจากดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ย	
	การใส่ปุ๋ย MCP	การใส่ปุ๋ย DCP
องครักษ์	34,676	31,580
โคราช	5,801	5,700
ลี้	1,433	1,483
ปากช่อง	-30	-22
ชัยบาดาล	50	75
หินร่อง	1,829	1,601

ตารางผนวกที่ 4 ผลของการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มีต่อร้อยละผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งของข้าวโพดที่เพิ่มขึ้นจากดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

ชุดดิน	ร้อยละผลผลิตที่เพิ่มจากดำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ย	
	การใส่ปุ๋ย MCP	การใส่ปุ๋ย DCP
องครักษ์	73,660	67,480
โคราช	47,930	48,720
ลี้	4,133	4,271
ปากช่อง	-43	-29
ชัยบาดาล	48	75
หินร่อง	5,215	4,758

ตารางผนวกที่ 5 ข้อจำกัดของสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973)

1. ปฏิกริยาดิน (Soils reation), pH (ดินต่อน้ำ = 1:1)

ระดับ (rating)		พิสัย (range)
กรดจัดมาก	Extremely acid	< 4.5
กรดจัด	Very strong acid	4.5-5.0
กรดแก่	Strongly acid	5.1-5.5
กรดปานกลาง	Moderately acid	5.6-6.0
กรดเล็กน้อย	Slightly acid	6.1-6.5
กลาง	Neutral	6.6-7.3
ด่างอ่อน	Mildly alkaline	7.4-7.8
ด่างปานกลาง	Moderately alkaline	7.9-8.4
ด่างแก่	Strong alkaline	8.5-9.0
ด่างจัด	Extremely alkaline	> 9.0

2. อินทรียวัตถุ (Organic matter) (% organic carbon x 1.724)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 5
ต่ำ	(L)	5-10
ค่อนข้างต่ำ	(ML)	10-15
ปานกลาง	(M)	15-25
ค่อนข้างสูง	(MH)	25-35
สูง	(H)	35-45
สูงมาก	(VH)	> 45

3. ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total nitrogen)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 0.25
ต่ำ	(L)	0.50-0.75
ปานกลาง	(M)	0.75-1.25
สูง	(H)	1.25-1.75
สูงมาก	(VH)	> 2.25

4. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) (Bray 2)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (mg kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 3
ต่ำ	(L)	3-6
ค่อนข้างต่ำ	(ML)	6-10
ปานกลาง	(M)	10-15
ค่อนข้างสูง	(MH)	15-25
สูง	(H)	25-45
สูงมาก	(VH)	> 45

5. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K) (NH₄OAc)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (mg kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 30
ต่ำ	(L)	30-60
ปานกลาง	(M)	60-90
สูง	(H)	90-120
สูงมาก	(VH)	> 120

6. ค่าที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable base) (NH_4OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย (range) (cmol (+) kg^{-1})			
	Exch. Ca	Exch. Mg	Exch. K	Exch. Na
ต่ำมาก (VL)	< 2	< 0.3	< 0.2	< 0.1
ต่ำ (L)	2-5	0.3-1.0	0.2-0.3	0.1-0.3
ปานกลาง (M)	5-10	1.0-3.0	0.3-0.6	0.3-0.7
สูง (H)	10-20	3.0-8.0	0.6-1.2	0.7-2.0
สูงมาก (VH)	> 20	> 8.0	> 1.2	> 2.0

7. ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity)

ระดับ (rating)	พิสัย (range) (cmol (+) kg^{-1})
ต่ำมาก	(VL) < 3
ต่ำ	(L) 3-5
ค่อนข้างต่ำ	(ML) 5-10
ปานกลาง	(M) 10-15
ค่อนข้างสูง	(MH) 15-20
สูง	(H) 20-30
สูงมาก	(VH) > 30

หมายเหตุ	VL = ต่ำมาก (Very low)
	V = ต่ำ (Low)
	ML = ค่อนข้างต่ำ (Moderately low)
	M = ปานกลาง (Moderately)
	MH = ค่อนข้างสูง (Moderately high)
	H = สูง (High)
	VH = สูงมาก (Very high)

ตารางผนวกที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลง non SI unit เป็น SI unit

Quantity	SI unit	Conversion equation
Electrical conductivity	dS m ⁻¹	1 mS/cm = dS m ⁻¹ 1 μ / cm = 0.001 dS m ⁻¹
Cation exchange capacity	cmol (+) kg ⁻¹	1 meq/100g = cmol (+) kg ⁻¹
Anion exchange capacity	cmol (-) kg ⁻¹	1 meq/100g = cmol (-) kg ⁻¹
Exchange cation	cmol (+) kg ⁻¹	1 meq/100g = cmol (+) kg ⁻¹
Mass ratio	g kg ⁻¹	1% = 10 mg kg ⁻¹
	mg kg ⁻¹	1 ppm = 1 mg kg ⁻¹
		1 mg/100g = 10 mg kg ⁻¹
	μg kg ⁻¹	1 ppb = 1 μg kg ⁻¹
	ng kg ⁻¹	1 ppt = 1 ng kg ⁻¹
Mass concentration	g L ⁻¹	1% = 10 g L ⁻¹
	mg L ⁻¹	1 ppm = 1 mg L ⁻¹
	μg L ⁻¹	1 ppb = 1 μg L ⁻¹
Density	Mg m ⁻³	1g/cm ³ = 1 Mg m ⁻³
Specific surface	m ² kg ⁻¹	1 m ² /g = 1000 m ² kg ⁻¹
Pressure	kPa, Mpa	1 bar = 0.1 Mpa
Radioactivity	Bq	1 Ci = 3.7 x 10 ¹⁰
Rate, Yield	kg ha ⁻¹	1 kg/10a = 10 kg ha ⁻¹
	Mg ha ⁻¹	1t/10a = 10 Mg ha ⁻¹

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล

นางสาวศิริขวัญ ภู่นา

วัน เดือน ปี ที่เกิด

วันที่ 10 พฤษภาคม 2527

สถานที่เกิด

อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร

ประวัติการศึกษา

วท.บ. (เคมีเกษตร)