ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

เรื่อง

การศึกษาวิธีการสกัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินด้วยวิธี Bray II

Study of Bray II Extraction for Evaluating Plant Available Phosphorus from Soils

โดย

นางสาวเกศสุดา ฉัตรเท

เสนอ

สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช

หลักสูตรปฐพีวิทยา

คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษปริญญาตรี

สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช

หลักสูตรปฐพีวิทยา

เรื่อง

การศึกษาวิธีการสกัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินด้วยวิธี Bray II

Study of Bray II Extraction for Evaluating Plant Available Phosphorus from Soils

โดย

นางสาวเกศสุดา ฉัตรเท

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

.....

(ดร.สุกัญญา แย้มประชา)

อาจารย์ที่ปรึกษา

หลักสูตรปฐพีวิทยา รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม)

ประธานบริหารหลักสูตรปฐพีวิทยา

วันที่ 25 พ.ค. 2554 เดือน.....พ.ศ. .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง	การศึกษาวิธีการสกัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินด้วยวิธี Bray II
โดย	นางสาวเกศสุดา ฉัตรเท
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ปฐพีวิทยา)
หลักสูตร	ปฐพีวิทยา
สาขา	เทคโนโลยีการผลิตพืช
คณะ	เทคโนโลยีการเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สุกัญญา แย้มประชา

บทคัดย่อ

เนื่องจากฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินมีหลายรูป ค่าที่ได้จากการสกัดโดยใช้สารเคมีต่างชนิดกันจึงมีผลต่างกัน และเพื่อมั่นใจว่าการสกัดฟอสฟอรัสด้วยวิธี Bray II คือ วิธีที่เหมาะสมแก่การสกัดฟอสฟอรัสที่เป็นโยชน์สำหรับข้าวอย่างแท้จริง จึงศึกษาการสกัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II เมื่อข้าวมีอายุ 50 และ 120 วันกับผลผลิตข้าว น้ำหนักแห้งตอซัง ฟอสฟอรัสในตอซังและเมล็ดข้าว การดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังและเมล็ดข้าว และการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมในตอซังและเมล็ดข้าว ศึกษาจากชุดดินองครักษ์ โดยมีการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต (Rock Phosphate, RP) และปุ๋ยเคมีฟอสเฟต (Diammonium Phosphate, DAP) เป็นแหล่งของปุ๋ยฟอสฟอรัส พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดเมื่อข้าวมีอายุ 50 วัน ให้ค่าสัมประสิทธิ์เชิงถดถอยสูงกว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดเมื่อข้าวมีอายุ 120 วัน กับองค์ประกอบผลผลิตของข้าว ดังนี้ ความเข้มข้นฟอสฟอรัสในเมล็ด (R^2=0.456) การดูดใช้ฟอสฟอรัสโดยเมล็ด (R^2=0.525) และการดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมดของข้าว (R^2=0.546) อาจเนื่องมาจากว่าในขณะที่ตัวอย่างดินซึ่งเก็บเมื่อข้าวอายุ 50 วัน เป็นระยะที่ข้าวอยู่ในช่วงตั้งท้อง ซึ่งข้าวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในปริมาณสูง ทำให้ฟอสฟอรัสที่สกัดได้ด้วยน้ำยาสกัด Bray II มีค่าสัมประสิทธิ์เชิงถดถอยค่อนข้างสูงกับองค์ประกอบของผลผลิตดังกล่าว ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้จากการเก็บตัวอย่างดินทั้งสองครั้งมีสัมประสิทธิ์เชิงถดถอยค่อนข้างต่ำกับผลผลิตและน้ำหนักแห้งตอซัง อย่างไรก็ตามฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Bray II มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเข้มข้นของ P ในเมล็ดและการดูดใช้ ดังนั้นจึงสามารถสกัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสำหรับข้าวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

การทำปัญหาพิเศษของนักศึกษาปริญญาตรี ถือได้ว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นสิ่งที่ทำให้นักศึกษาได้ฝึกฝนสติปัญญา ฝึกความรับผิดชอบ และยังนำความรู้ที่ได้ศึกษามาตลอดระยะเวลา 4 ปี มาปรับใช้และปรับปรุงกระบวนการทางด้านความคิด รู้จักแก้ปัญหาสถานการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตต่อไป

ขอขอบพระคุณ ดร.สุกัญญา แย้มประชา ที่กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาช่วยตักเตือนให้มีความรอบคอบในการทำงาน และยังตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องของปัญหาพิเศษเล่มนี้ จนถูกต้องครบถ้วนสมบูรณ์ อีกทั้งได้ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ต่างๆที่เป็นประโยชน์อย่างมาก และขอขอบพระคุณ คุณนุจรี บุญแปลง คุณนารี พันธุ์จินดาวรรณ ที่อนุเคราะห์ ให้คำแนะนำต่างๆ และช่วยอำนวยความสะดวกในการยืมอุปกรณ์ต่างๆในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณเพื่อนทั้งในและนอกหลักสูตรทุกคน ที่ร่วมทำงานต่างๆ คอยเป็นกำลังใจ ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้อง ที่ให้กำลังใจ คำแนะนำ และความช่วยเหลือในด้านทุนทรัพย์

สุดท้ายนี้ หากมีผู้สนใจและมีความต้องการจะศึกษาในเนื้อหาและความรู้ที่มีในปัญหาพิเศษเล่มนี้ ข้าพเจ้า หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะมีประโยชน์ต่อท่านที่สนใจไม่มากก็น้อย หากมีข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้าขออภัยในข้อผิดพลาดดังกล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวเกศสุดา ฉัตรเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	8
ผลการทดลอง	12
สรุปผลการทดลอง	18
เอกสารอ้างอิง	19
ภาคผนวก	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติบางประการของชุดดินองครักษ์ที่ใช้ในการทดลอง	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II	12
2	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งตอซังกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II	13
3	ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสในตอซังกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II	14
4	ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II	15
5	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II	16
6	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II	17
7	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมในเมล็ดข้าวและตอซังกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ฟอสฟอรัส (Phosphorus) เป็นธาตุอาหารหลักชนิดหนึ่งที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่พบปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับไนโตรเจนและโพแทสเซียม (Tisdale and Nelson (1975) อ้างโดย นัจภัค, 2550) แต่มีความสำคัญต่อพืชเป็นอันดับสองรองจากไนโตรเจน (Brady (1974) อ้างโดย นัจภัค, 2550) เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของอินทรียสารที่สำคัญมากมายหลายชนิด เช่น กรดนิวคลีอิก ฟอสโฟลิพิด ATP และเอนไซม์ ซึ่งเกี่ยวข้องในกระบวนการเมทาบอลิซึ่มของพืช โดยพืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อให้การเจริญเติบโตในระยะวัฒนภาค (vegetative stage) เป็นไปตามปกติ (ยงยุทธ, 2546) ส่วนใหญ่จะทำปฏิกิริยากับ divalent และ trivalent cations เช่น Ca, Mg, Fe, Al และตกตะกอนอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายดิน ซึ่งเป็นส่วนที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้มีน้อยมาก ฟอสฟอรัสในสารละลายดินนี้จะอยู่ในสภาพสมดุลย์กับฟอสฟอรัสในรูปของแข็งและฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในรูปฟอสเฟต การที่ฟอสฟอรัสจะถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในสารละลายดินมากน้อยเพียงใด ขึ้นกับชนิดและรูปฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงไว้ (สุมิตรา, 2546) การขาดฟอสฟอรัสของพืช สีเขียวของพืชจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้ม สีเขียวเข้มแกมน้ำเงินและมีผลกระทบต่อการเจริญพันธุ์อย่างมาก เช่น ออกดอกช้า จำนวนดอกและเมล็ดน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากฟอสฟอรัสช่วยส่งเสริมการพัฒนาดอก

ฟอสฟอรัสในดินได้มาจาก 2 แหล่ง คือ การย่อยสลายของอินทรียวัตถุ และการสลายตัวของหินและแร่ เมื่อพืชดูดนำไปใช้ ก็ทำให้เสียสมดุล ส่วนของฟอสฟอรัสที่เกาะติดอยู่ในดิน ก็จะถูกปลดปล่อยออกมาแทนเพื่อรักษาสมดุล การที่ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสถูกควบคุมโดยปัจจัยหลายอย่าง จึงได้มีความพยายามที่จะหาสารเคมีเพื่อนำมาสกัดเอาฟอสฟอรัสส่วนที่พืชจะสามารถดูดไปใช้ออกมา แต่เนื่องจากฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินมีหลายรูป ค่าที่ได้จากการสกัดโดยใช้สารเคมีต่างชนิดกันจึงมีผลต่างกัน และเพื่อมั่นใจว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้นี้ พืชสามารถนำไปใช้ได้จริง จึงต้องนำค่าที่ได้ไปหาค่าสหสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต การดูดฟอสฟอรัส (uptake) และผลผลิตของพืชเสียก่อน หลังจากนั้นจึงสามารถนำค่าที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการใส่ปุ๋ยแก่พืช (สุมิตรา, 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II เมื่อข้าวมีอายุ 50 และ 120 วัน กับผลผลิตข้าว น้ำหนักแห้งตอซัง ฟอสฟอรัสในตอซังและเมล็ดข้าว การดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังและเมล็ดข้าว และการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมในตอซังและเมล็ดข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจเอกสาร

การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

1. การสกัดเพื่อให้ฟอสฟอรัสละลายออกมาอยู่ในสารละลายดิน
2. การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายที่ได้จากการสกัด

การสกัด

รูปของฟอสฟอรัสที่ถูกสกัดด้วยไอออนในน้ำยาสกัด

ไอออนที่ใช้ในการสกัดฟอสฟอรัสมีหลายชนิด ไอออนที่นิยมใช้สกัดฟอสฟอรัสได้แก่ Hydrogen ions (H^+), Hydroxide ions (OH^-), Fluoride ions (F^-), Bicarbonate ions (HCO_3^-) และ Sulfate ions (SO_4^{2-}) ซึ่งแต่ละรูปมีความแตกต่างกัน (สุมิตรา, 2546) ดังนี้

1. Hydrogen ions จะทำให้ฟอสฟอรัสในรูป Ca-P ทั้งหมดรวมทั้ง basic Ca-P เช่น hydroxylapatite ละลายได้มากขึ้น นอกจากนั้น H^+ ยังสกัด Al-P และ Fe-P ได้ด้วย โดยอัตราการละลายของ Al-P จะช้ากว่า Ca-P ส่วน Fe-P ละลายช้ามาก ในดินที่มี Ca-P, Al-P และ Fe-P ความสามารถในการสกัดของ H^+ มีลำดับ ดังนี้ Ca>Al>Fe

2. Hydroxide ions ละลาย Fe-P และ Al-P ได้ดีแต่สกัด basic Ca-P ได้น้อยมาก นอกจากนั้น OH^- ยังทำปฏิกิริยากับอินทรียวัตถุทำให้อินทรีย์ฟอสฟอรัสบางส่วนถูกปลดปล่อยออกมา จึงไม่นิยมใช้ในดินที่มีอินทรียวัตถุสูง

3. Fluoride ions จะตกตะกอนกับ soluble Ca เป็น CaF_2 ดังนั้นจึงสกัด Ca-P ที่ละลายได้ดี เช่น $CaHPO_4$ ออกจากดินได้มาก นอกจากนั้น fluoride ยังทำปฏิกิริยา complex กับ Al ทำให้ฟอสเฟต ที่ทำปฏิกิริยากับ Al ถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่าย

4. Bicarbonate ions จะตกตะกอนกับ Ca เป็น $CaCO_3$ ทำให้มี Ca ในสารละลายดินน้อยลง จึงสกัด Ca-P ออกมาได้มากขึ้น นอกจากนั้น HCO_3^- ยังสกัด Al-Bound phosphate โดยเข้าแทนที่ Al และ Al จะตกตะกอนกับ OH^- แต่ HCO_3^- ไม่สามารถสกัด basic Ca-P และ Al-P หรือ Fe-P ที่มี oxide เคลือบอยู่ โดยทั่วไปแล้ว HCO_3^- และ F^- จะสกัดสารประกอบชนิดเดียวกัน แต่ปฏิกิริยาที่เกิดจาก F^- จะรุนแรงกว่าและ F^- สามารถสกัดส่วนประกอบบางชนิดที่ HCO_3^- ไม่สามารถสกัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Acetate ions สามารถทำปฏิกิริยากับ polyvalent metal cations ในดินเกิดเป็นสารประกอบ complexes ที่ไม่ค่อยแข็งแรง เมื่อไม่มี H ions ความสามารถในการสกัด P ของ acetate จะน้อย การใช้ acetate มีจุดประสงค์สำคัญในการป้องกันไม่ให้เกิด re-adsorption ของฟอสเฟตที่สกัดโดย ions อื่น

6. Sulfate ions ปฏิกิริยาของ SO_4^- คล้ายกับ acetate ดังนั้นจึงใช้ในการป้องกันการเกิด re-adsorption เช่นเดียวกับ acetate

สารสกัดที่ใช้สกัดฟอสฟอรัส

สารละลายที่ใช้สกัดฟอสฟอรัสมีหลายชนิด (Thomas และ Peaslec (1973) อ้างโดย สุมิตรา, 2546) แบ่งสารละลายที่ใช้สกัดออกเป็นกลุ่มดังนี้

1. สารละลายกรดแก่ (strong mineral acids)
2. สารละลาย buffer ของกรดอ่อน (buffered solutions of weak acids)
3. สารละลาย buffer ของกรดด่าง (buffered solutions of weak bases)
4. สารละลายของเกลือที่เป็นกลาง (solution of neutral salts)
5. น้ำหรือกรดหรือเกลือเจือจาง (water or other dilute salts or acids)

สารละลายสกัดที่ใช้กันแพร่หลายในประเทศไทยได้แก่ Bray I, Bray II และ Olsen

<u>สารสกัด Bray</u>

เป็นวิธีสกัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่นิยมใช้กันแพร่หลาย หลักการสำคัญคือใช้ HCl ร่วมกับ NH_4F เป็นตัวสกัดฟอสฟอรัสที่ละลายได้ง่ายในกรด ซึ่งได้แก่ แคลเซียมฟอสเฟต และบางส่วนของเหล็กและอลูมินั่มฟอสเฟต NH_4F จะละลายเหล็กและอลูมินั่มฟอสเฟต โดยจะทำปฏิกิริยากับ metal ions เกิดเป็น complex ion ในสารละลายที่เป็นกรด วิธีนี้ใช้ได้กับดินกรด (Smith et al. (1957) อ้างโดย สุมิตรา, 2546) พบว่า ในดิน calcareous การใช้ดินต่อสารละลายกรดในอัตรา 1:50 จะดีกว่าอัตราส่วน 1:7 ที่ใช้ในวิธี Bray I มิฉะนั้นค่าที่ได้จากการสกัดโดยสารละลาย Bray I จะต่ำมาก เนื่องจาก $CaCO_3$ ในดินทำปฏิกิริยา neutralization กับกรดอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นยังมีผลการทดลองอื่นๆที่แสดงให้เห็นว่า Ca จาก calcite อาจทำปฏิกิริยากับ fluoride เกิดเป็น CaF_2 ซึ่งจะทำปฏิกิริยาทำให้เกิด immobilize ของฟอสฟอรัส (Similie and Syers (1972) อ้างโดย สุมิตรา, 2546) วิธี Bray ที่ใช้กันแพร่หลายมี 2 วิธีคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bray I (0.025 N HCl + 0.03 N NH_4F) : ใช้ NH_4F 1.0 N 15 ml ผสมกับ 0.5 N HCl 25 ml ปรับปริมาตรให้เป็น 500 ml ด้วยน้ำกลั่น

Bray II (0.1 N HCl + NH_4F) : ใช้ NH_4F 1.0 N 15 ml ผสมกับ 0.5 N HCl 100 ml ปรับปริมาตรให้เป็น 500 ml ด้วยน้ำกลั่น

สารสกัด Olsen

วิธี Olsen ใช้สารละลาย 0.5 M $NaHCO_3$ pH 8.5 เป็นตัวสกัดฟอสฟอรัส วิธีนี้ใช้ได้ดีกับดินด่าง ดิน calcareous หรือดินที่มี pH ค่อนข้างเป็นกลาง ทั้งนี้เพราะดินเหล่านี้มักจะมี Ca-phosphate ในปริมาณมาก $NaHCO_3$ จะทำปฏิกิริยากับ Ca และตกตะกอนในรูป $CaCO_3$ ทำให้สามารถสกัดฟอสฟอรัสออกมาในรูปสารละลายได้มากขึ้น ส่วนในดินกรดที่มี Al และ Fe phosphate เช่น variscite และ strengite ฟอสฟอรัสจะถูกสกัดออกมามากขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น ปัญหาเรื่องการตกตะกอนของฟอสฟอรัสที่ถูกสกัดออกมาในสารละลายจะไม่เกิดขึ้น เพราะความเข้มข้นของ Al, Ca และ Fe ในสารละลายค่อนข้างต่ำ

สำหรับการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในประเทศไทย (อนนท์, 2547) รายงานว่า ดินเขตร้อนชื้นอย่างประเทศไทยนั้น จากผลการวิจัยในหลายๆประเทศให้ความเห็นว่า วิธีการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชดูดไปใช้ คือ วิธี Olsen ซึ่งเป็นการสกัดฟอสฟอรัสในดินด้วยสารละลายที่เป็นด่าง (pH 8.5) และวิธี Bray II ซึ่งเป็นสารละลายที่สกัดฟอสฟอรัสในดินด้วยสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด ประเทศไทยนิยมใช้วิธี Bray II เป็นวิธีวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินสำหรับงานบริการวิเคราะห์ทั่วๆไป เนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัดและรวดเร็วกว่าวิธีอื่น (Vacharotayan et al. (1964) อ้างโดย นัจภัค, 2550) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินประเทศไทย 5 วิธี ได้แก่ Bray I, Bray II, Olsen, Troug และ Mehlich I ผลการทดลองพบว่า วิธี Bray II ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุด (r=0.746) กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดนำไปใช้ (total P uptake) รองลงมาคือวิธี Olsen (r=0.701)

อย่างไรก็ตาม วิธีวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่ไม่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำยาสกัดได้ถูกคิดค้นขึ้นโดย Amer et al. (1955) เรียกว่า Anion exchange resin (AER) ซึ่งเป็นการจำลองการดูดฟอสฟอรัสไปใช้ของรากพืช โดยให้ไอออนประจุลบที่เกาะอยู่บนผิวของ resin เช่น Cl^- และ CO_3^{2-} ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนกับไอออนฟอสเฟตจากดินเท่านั้น ไม่ขึ้นกับคุณสมบัติของ resin (วิชัย (2525) อ้างโดย นัจภัค, 2550) ได้ทดลองนำวิธี AER มาใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินระหว่างวิธี Bray II, Olsen และ AER การใช้น้ำสกัด การใช้การค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินร่วมกับ Phosphorus buffer capacity ในดิน ไร่ 12 ชุดดิน ในประเทศไทย พบว่า การใช้ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินร่วมกับ Phosphorus buffer capacity ให้ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชดูดใช้สูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รองลงมาคือ AER, Olsen, Bray II และการใช้น้ำสกัด แต่การใช้ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินร่วมกับ Phosphorus buffer capacity ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดิน และ AER นั้นมีขั้นตอนการปฏิบัติยุ่งยาก จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในงานประจำ ในขณะที่วิธี Olsen และ Bray II ปฏิบัติได้ง่ายกว่าและยังให้ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์สูงพอที่จะเชื่อถือได้

การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลายที่ได้จากการสกัด

การวิเคราะห์หาฟอสฟอรัสในสารละลายที่ได้จากการสกัดดิน นิยมใช้วิธี molybdenum blue ซึ่งเป็นวิธีที่ sensitive มาก ทำให้นิยมใช้กันแพร่หลายที่สุด หลักการของวิธี molybdenum blue คือ สารละลาย acid molybdate ทำปฏิกิริยากับ orthophosphate จะเกิดสารประกอบ phosphatemolybdate complez และเมื่อ reduce สารประกอบนี้จะเกิดเป็นสีน้ำเงิน

สารประกอบที่ใช้เป็น reducing agent มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีผลต่อการเกิดสี ความเข้มของสี (intensity) และความคงทน (stability) ของสี การตอบสนองหรือทำปฏิกิริยากับ interfering substances ต่างกัน นอกจากนั้นยังต้องการเวลาในการ develop สีต่างกันด้วย reducing agent ที่นิยมใช้กันแพร่หลายได้แก่

1. Ascorbic acid : sensitivity ตั้งแต่ 0.2-2 ppm ต้องการ potassium antimony tratrate ($KsbO.C_4H_4O_6$) เป็น catalyst ใช้เวลาเกิดสี 10 นาที และ stable นาน 24 ชั่วโมง มีปัญหาเรื่อง interference น้อย จึงนิยมใช้กันแพร่หลาย
2. Stanous chloride : เป็น reducing agent ที่ sensitive ที่สุด (วัดความเข้มข้น 0.02-0.2 ppm) ใช้เวลา 5 นาทีในการเกิดสี แต่สีที่เกิด stable เพียง 20 นาที interference ได้แก่ Si > 200 ppm, Fe^{++} > 100 ppm, Fe^{+3} > 2 ppm
3. Sulfonic acid : sensitivity 0.1-5 ppm ใช้เวลาในการเกิดสี 12 นาที แต่ stable เพียง 10 นาที จึงไม่นิยมใช้

ข้อควรระวัง

ในการ develop สีด้วยวิธี molybdenum blue นี้จะต้องควบคุมปริมาณกรดให้ดี เพราะถ้าความเป็นกรดอ่อนเกินไป molybdate เองจะทำให้เกิดสีถึงแม้ว่าจะไม่มีฟอสฟอรัส

Interference ที่สำคัญได้แก่ silicate และ arsenate เพราะจะให้สีใกล้เคียงกับฟอสเฟต ในสภาพธรรมชาติ asenate มักไม่มีปัญหา ส่วน silicate แก้ไขโดยการปรับ pH ให้ต่ำลง ถ้ามี Fe^{+3} มากกว่า 10 ppm จะทำให้ความเข้มของสีลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินนา

Miyaki (1978) ได้ศึกษาวิธีการสกัดปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนา โดยใช้วิธี Anion Exchange resin, Equilibrated aqueous solution, Bray II และ Olsen ($NaHCO_3$) เขาพบว่า วิธี Bray II ใช้ได้ดีกับดินนา (submerged incubated soil) หลายชนิดยกเว้นพวกที่มีแคลเซียมฟอสเฟตสูง ส่วนวิธี Olsen ใช้ได้ดีกับดินที่มีแคลเซียมฟอสเฟตสูง แต่มีปัญหาในการประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ จะให้ค่าสูงกว่าที่เป็นจริง ซึ่งเขาได้แก้ปัญหาโดยการเติม EDTA ลงไปในสารละลาย $NaHCO_3$ ทำให้ค่าที่ได้ดีขึ้น ประพิศและวิศิษฐ์ (2532) พบว่า การสกัดฟอสฟอรัสในดินนาโดยวิธี Olsen-EDTA สหสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงกว่าวิธี Bray II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์การทดลอง

1. ตัวอย่างดิน
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดิน (Soil tube, ถุงพลาสติก, ตะแกรงร่อนขนาด 2 mm ฯลฯ)
3. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (Test tube, Beaker, Volumetric flask, กระดาษกรอง ฯลฯ)
4. เครื่อง Spectrophotometer
5. เครื่องเขย่า (Reciprocating shaker)
6. เครื่อง pH meter
7. เครื่อง Conductivity meter
8. เครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)
9. ตู้อบลมร้อน
10. เครื่อง Wiley cutting mill

วิธีการทดลอง

ศึกษาดินที่ใช้ปลูกข้าวก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวจากการทำปัญหาพิเศษของนายพิพัฒน์ ชัยพฤกษ์ ซึ่งเป็นดินเหนียว มีสีดำหรือสีเทาเข้ม มีจุดประสีแดงปนเหลืองหรือสีน้ำตาลแก่ เก็บจากพื้นที่ที่เป็นดินกรดจัด ชุดดินองครักษ์ ตำบลทรายมูล อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก โดยมีการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต (Rock Phosphate, RP) และปุ๋ยเคมีฟอสเฟต (Diammonium Phosphate, DAP) เป็นแหล่งของปุ๋ยฟอสฟอรัส จำนวน 10 ตำรับการทดลอง (ตำรับการทดลองละ 3 ซ้ำ) ซึ่งแต่ละตำรับการทดลองมีการใส่ปุ๋ยดังนี้

- ตำรับการทดลองที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย ฟอสฟอรัส
- ตำรับการทดลองที่ 2 ใส่ปุ๋ย DAP 0.9 kg P ต่อไร่ : 0.21 g/9 kg soil
- ตำรับการทดลองที่ 3 ใส่ปุ๋ย DAP 1.81 kg P ต่อไร่ : 0.41 g/9 kg soil
- ตำรับการทดลองที่ 4 ใส่ปุ๋ย DAP 3.62 kg P ต่อไร่ : 0.82 g/9 kg soil
- ตำรับการทดลองที่ 5 ใส่ปุ๋ย DAP 5.43 kg P ต่อไร่ : 1.23 g/9 kg soil
- ตำรับการทดลองที่ 6 ใส่ปุ๋ย RP 64 kg RP ต่อไร่ : 3 g/9 kg soil
- ตำรับการทดลองที่ 7 ใส่ปุ๋ย RP 128 kg RP ต่อไร่ : 6 g/9 kg soil
- ตำรับการทดลองที่ 8 ใส่ปุ๋ย RP 256 kg RP ต่อไร่ : 12 g/9 kg soil
- ตำรับการทดลองที่ 9 ใส่ปุ๋ย RP 512 kg RP ต่อไร่ : 24 g/9 kg soil
- ตำรับการทดลองที่ 10 ใส่ปุ๋ย RP 1024 kg RP ต่อไร่ : 48 g/9 kg soil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตำรับที่ 6-10 ใส่ RP และขังน้ำทุกตำรับเป็นเวลา 14 วัน ใส่ปูนในแต่ละตำรับจำนวน 19 g เพื่อยกระดับ pH ให้เท่ากับ 5 ก่อนปักดำ 2 สัปดาห์ ทุกตำรับใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปยูเรียในอัตรา 24 kg N ต่อไร่ แบ่งใส่เมื่อข้าวอายุ 35 วันและ 55 วัน ไม่ใส่ปุ๋ย K เนื่องจากดินมีปริมาณ K สูง (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สมบัติบางประการของชุดดินองครักษ์ที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติดิน	ผลวิเคราะห์
pH	3.53
P(mg/kg)	7.44
K(mg/kg)	170
Ca(mg/kg)	1710
Mg(mg/kg)	210
Fe(ppm)	66.4
Mn(ppm)	11.5
Cu(ppm)	0.35
Zn(ppm)	671

การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดิน 2 ครั้ง คือ เมื่อข้าวมีอายุ 50 (ก่อนเก็บเกี่ยว) และ 120 วัน (หลังเก็บเกี่ยว) โดยใช้ soil tube ที่ความลึกประมาณ 10 cm แยกแต่ละตัวอย่างใส่ในถุงพลาสติก และผึ่งให้แห้ง จากนั้นบดดินและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm

การวิเคราะห์ดิน

นำตัวอย่างดินไปตากให้แห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm ทำการวัดค่าต่างๆ โดย

- วัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter ในอัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1
- วัดค่า EC โดยใช้เครื่อง Conductivity meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิเคราะห์ฟอสฟอรัส สกัดโดยน้ำยา Bray II ในอัตราส่วนดิน:Bray II เท่ากับ 1:10 แล้ว develop สีด้วย Reagent B จากนั้นหา % Transmittance โดยใช้ spectrophotometer ความยาวคลื่น 882 nm
- วัด Exchangeable base ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ซึ่ง K, Ca, Mg สกัดโดย NH_4OAc และ Fe, Mn, Cu, Zn สกัดโดย DTPA

การสกัดฟอสฟอรัสในดินด้วยวิธี Bray II

1. **การเตรียมสารเคมี**

- **Bray II** ใช้ NH_4F 1.0 N 60 ml ผสมกับ 0.5 N HCl 400 ml ปรับปริมาตรให้เป็น 2 L ด้วยน้ำกลั่น
- **Ammonium paramolybdate** $[(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O]$ ละลาย ammonium molybdate 12 g ในน้ำ 250 ml ใน beaker อีก 1 ใบ ละลาย antimony potassium tratrate 0.2908 g ในน้ำ 100 ml เอาสารละลายทั้ง 2 นี้ ใส่ลงใน 5 N H_2SO_4 จำนวน 1 L (เจือจางกรด H_2SO_4 141 ml ด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 L) ผสมให้เข้ากันและปรับปริมาตรเป็น 2 L เก็บไว้ในขวดแก้วในสภาพที่มืดและเย็น (Reagent A)
- **Ascorbic acid** ละลาย ascorbic acid 2.112 g ใน Reagent A 400 ml ผสมให้เข้ากัน สารละลายนี้ (Reagent B) จะต้องใช้ทันทีและเก็บไว้ได้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง
- **Standard phosphorus 100 ppm** ละลาย potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4) 0.4393 g แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 L เก็บสารละลายนี้ไว้ในตู้เย็น

2. **การสกัดดิน**

ชั่งดิน 2.5 g เติม Bray II จำนวน 25 ml เขย่าด้วย Vortex 1 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษ Whatman เบอร์ 5

3. **การ develop สี**

- ไปเปต aliquot ที่ได้จากการสกัดดิน 1-10 ml (ขึ้นกับปริมาณ P ใน aliquot ถ้า develop สีแล้วมีสีเข้มหรือจางเกินให้ลดหรือเพิ่มปริมาณ aliquot ตามความเหมาะสม) ในลงในขนาดทดลองขนาด 75 ml
- เติมน้ำกลั่น 20 ml แล้วเติม Reagent B (molybdate – ascorbic acid) 4 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที วัดค่า % Transmittance ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ wavelength 882 nm แล้วอ่านค่าความเข้มข้นของ P ในสารละลายจาก standard curve

4. **การทำ standard curve ของ P**

- เตรียม standard phosphate 5 ppm P โดยใช้ standard phosphate 100 ppm P มาทำให้เจือจางลง 20 เท่า
- ไปเปต standard phosphorus 5 ppm จำนวน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ml. ใส่ใน volumetric flask ขนาด 25 ml เติมสารละลายที่ใช้สกัด (extracting solution) จำนวนเท่ากับที่ใช้ในตัวอย่าง เขย่าให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เติม Reagent B ลงไป 4 ml แล้วเติมน้ำลงไป และปรับปริมาตรเป็น 25 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที (สารละลายที่ได้มีความเข้มข้นของ P เท่ากับ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 ppm)

- Plot กราฟระหว่างค่าของ % T ที่อ่านจาก Spectrophotometer กับความเข้มข้นของ P โดยใช้กระดาษกราฟแบบ semi – logarithmic

5. <u>การแปรผลการวิเคราะห์</u>

ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยสารละลาย Bray II แปรผลได้ดังนี้

< 3 ppm = ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำมาก

3-7 ppm = ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ

7-20 ppm = ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ปานกลาง

> 20 ppm = ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูง

นำผลการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินทั้ง 2 ช่วง การเจริญเติบโต ไปหาความสัมพันธ์กับผลผลิต น้ำหนักแห้งตอซัง ความเข้มข้นฟอสฟอรัสในตอซังและเมล็ด การดูดใช้ฟอสฟอรัสโดยตอซัง เมล็ด และการดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมดของข้าว

<u>การวิเคราะห์พืช</u>

วิเคราะห์ความเข้มข้นฟอสฟอรัสในเมล็ดและตอซังโดยการบดด้วยเครื่อง Wiley cutting mill แล้วนำไปใส่หลอด digest 0.5 g เติม Mix Acid (HNO_3:H_2SO_4:$HClO_4$ = 10:1:2) จำนวน 10 ml แล้วนำไป digest ที่อุณหภูมิ 190-210 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส และปรับปริมาตรเป็น 50 ml วิเคราะห์ฟอสฟอรัสโดยนำ aliquot มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย molybdate-vanadate ซึ่งจะมีสีเหลือง จากนั้นนำไปวัด % transmittance ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ wavelength 440 nm นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในตัวอย่างเมล็ดและตอซัง

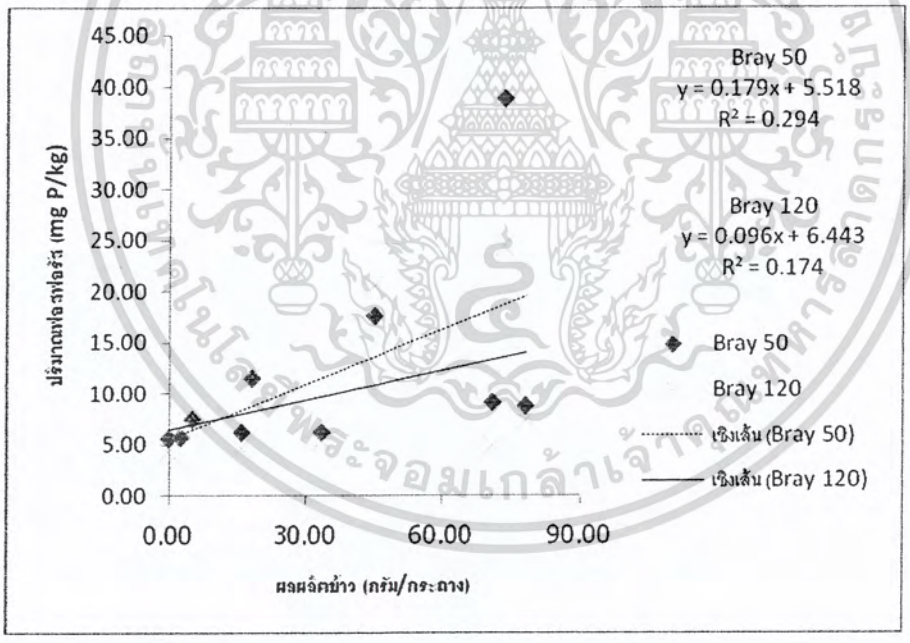
การเตรียม Standard P solution โดยไปเปต strock 40 mg PL^{-1} จำนวน 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ลงใน test tube เติมน้ำกลั่น blank 3 ml จากนั้นเติม 5% ammonium molybdate และ 25% ammonium metavanadate อย่างละ 1 ml เขย่าทิ้งไว้ 20 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยใช้ wavelength 440 nm นำค่าที่ได้ plot ลงในกระดาษกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ผลผลิตข้าว

เมื่อนำผลผลิตข้าวมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II เมื่อข้าวมีอายุ 50 และ 120 วัน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในดินทั้งสองระยะการเจริญเติบโต มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับผลผลิตข้าว โดยผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1) อย่างไรก็ตามสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่าต่ำ (R^2) คือ 0.294 และ 0.174 ตามลำดับ โดยฟอสฟอรัสในดินเมื่อข้าวอายุ 50 วัน ให้สัมประสิทธิ์การการถดถอยสูงกว่าเมื่อข้าวมีอายุ 120 วัน อาจเนื่องมาจากว่าเมื่อข้าวอายุ 120 วัน เป็นระยะการเก็บเกี่ยวข้าว ข้าวได้ดูดใช้ฟอสฟอรัสไปจากดินแล้วจึงทำให้ฟอสฟอรัสที่เหลือตกค้างอยู่ในดินมีปริมาณต่ำ จึงมีความสัมพันธ์กับผลผลิตข้าวต่ำด้วย ในขณะที่ตัวอย่างดินซึ่งเก็บเมื่อข้าวอายุ 50 วัน เป็นระยะที่ข้าวอยู่ในช่วงตั้งท้อง ซึ่งข้าวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในปริมาณสูง ทำให้สามารถคาดคะเนผลผลิตข้าวด้วยการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินเมื่อข้าวอายุ 50 วัน ได้ดีกว่า การเก็บตัวอย่างดินเมื่อข้าวมีอายุ 120 วัน โดยสามารถคาดคะเนได้เพียงร้อยละ 29.4 และ 17.4 ตามลำดับ

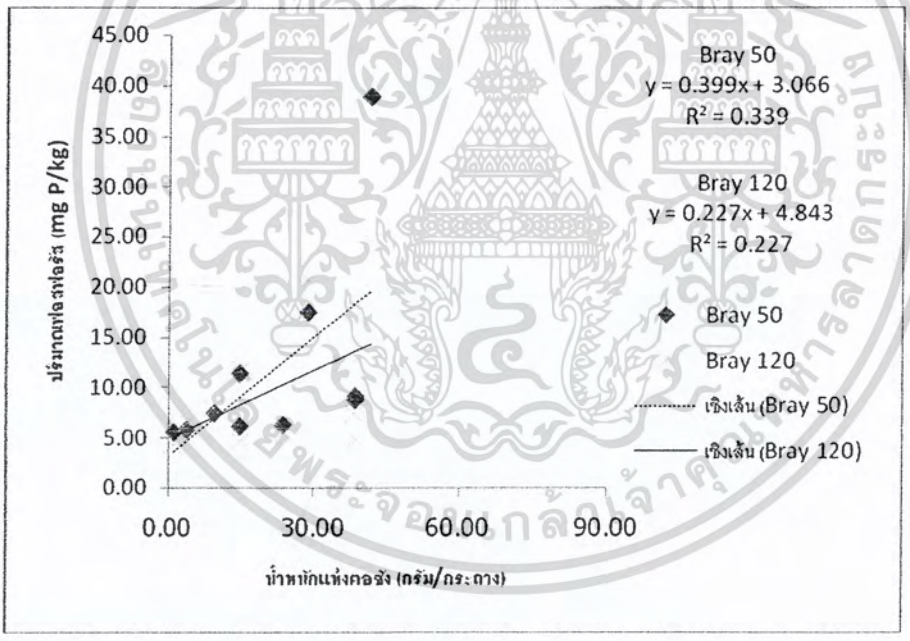


ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักแห้งตอซัง

เมื่อนำน้ำหนักแห้งตอซังมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II เมื่อข้าวมีอายุ 50 และ 120 วัน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในดินทั้งสองระยะการเจริญเติบโต มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับน้ำหนักแห้งตอซัง โดยน้ำหนักแห้งตอซังเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2) อย่างไรก็ตามสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่าต่ำ (R^2) คือ 0.339 และ 0.227 ตามลำดับ โดยฟอสฟอรัสในดินเมื่อข้าวอายุ 50 วัน ให้สัมประสิทธิ์การการถดถอยสูงกว่าเมื่อข้าวมีอายุ 120 วัน อาจเนื่องมาจากว่าเมื่อข้าวอายุ 120 วัน เป็นระยะการเก็บเกี่ยวข้าว ข้าวได้ดูดใช้ฟอสฟอรัสไปจากดินแล้วจึงทำให้ฟอสฟอรัสที่เหลือตกค้างอยู่ในดิน มีปริมาณต่ำ จึงมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งตอซังต่ำด้วย ในขณะที่ตัวอย่างดินซึ่งเก็บเมื่อข้าวอายุ 50 วัน เป็นระยะที่ข้าวอยู่ในช่วงตั้งท้อง ซึ่งข้าวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในปริมาณสูง ทำให้สามารถคาดคะเนน้ำหนักแห้งตอซังด้วยการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินเมื่อข้าวอายุ 50 วัน ได้ดีกว่า การเก็บตัวอย่างดินเมื่อข้าวมีอายุ 120 วัน โดยสามารถคาดคะเนได้เพียงร้อยละ 33.9 และ 22.7 ตามลำดับ

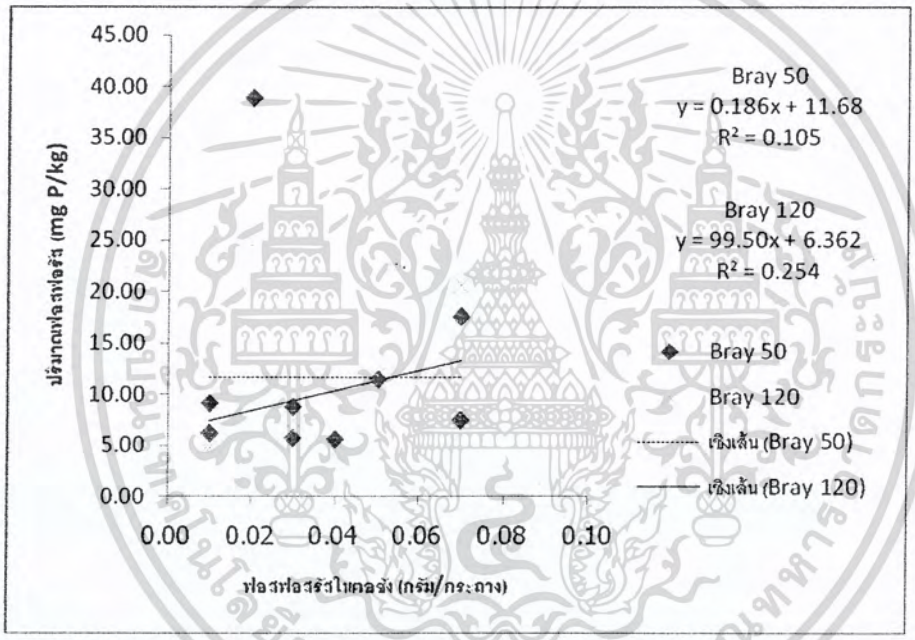


ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งตอซังกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอสฟอรัสในตอซังและเมล็ดข้าว

เมื่อนำฟอสฟอรัสในตอซังมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II เมื่อข้าวมีอายุ 50 และ 120 วัน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในดินทั้งสองระยะการเจริญเติบโต ไม่มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับฟอสฟอรัสในตอซัง โดยฟอสฟอรัสในตอซังไม่ได้เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะตัวอย่างดินที่เก็บเมื่อข้าวอายุ 50 วัน (ภาพที่ 3) โดยมีสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่า (R^2) เท่ากับ 0.254 และ 0.105 ตามลำดับ โดยฟอสฟอรัสในดินเมื่อข้าวอายุ 50 วัน ให้สัมประสิทธิ์การการถดถอยต่ำกว่าเมื่อข้าวมีอายุ 120 วัน สามารถคาดคะเนฟอสฟอรัสในตอซังด้วยการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินเมื่อข้าวอายุ 120 วัน ได้ดีกว่า การเก็บตัวอย่างดินเมื่อข้าวมีอายุ 50 วัน โดยสามารถคาดคะเนได้เพียงร้อยละ 25.4 และ 10.5 ตามลำดับ

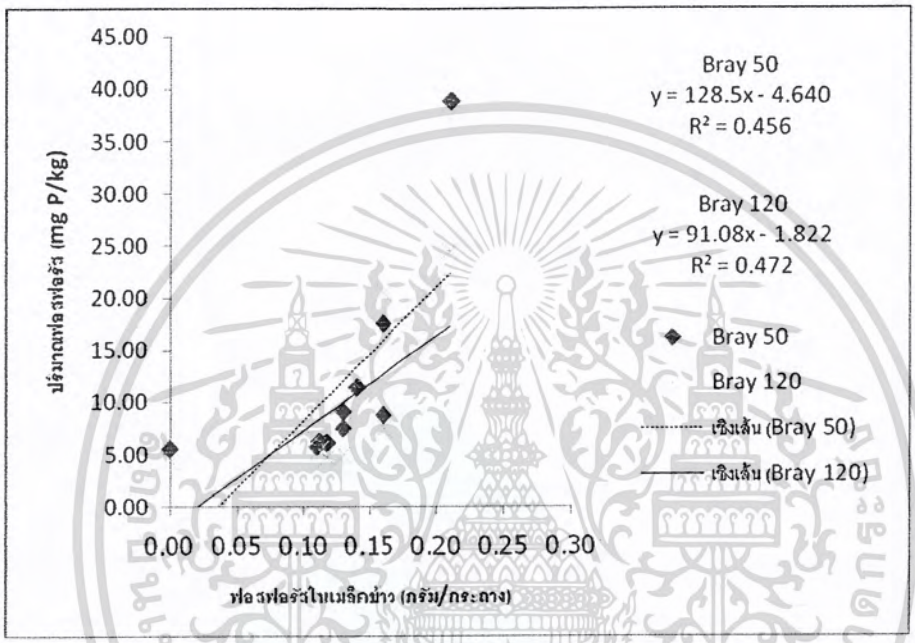


ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสในตอซังกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II

เมื่อนำฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II เมื่อข้าวมีอายุ 50 และ 120 วัน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในดินทั้งสองระยะการเจริญเติบโต มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าว โดยฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (R^2) เท่ากับ 0.472 และ 0.456 ตามลำดับ โดยฟอสฟอรัสในดินเมื่อข้าวอายุ 50 วัน ให้สัมประสิทธิ์การการถดถอยต่ำกว่าเมื่อข้าวมีอายุ 120 วัน สามารถคาดคะเนฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวด้วยการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินเมื่อข้าวอายุ 120 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใกล้เคียงกับ การเก็บตัวอย่างดินเมื่อข้าวมีอายุ 50 วัน โดยสามารถคาดคะเนได้ร้อยละ 47.2 และ 45.6 ตามลำดับ เห็นได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสในดินมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงค่อนข้างสูงกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินจากการเก็บตัวอย่างทั้งสองช่วง อาจเนื่องจากว่าข้าวดูดใช้ฟอสฟอรัสและมีการเคลื่อนย้ายไปสะสมยังส่วนที่เป็นเมล็ดข้าวจึงทำให้เห็นอิทธิพลของอัตราปุ๋ยฟอฟอรัส ต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินและความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวอย่างชัดเจน



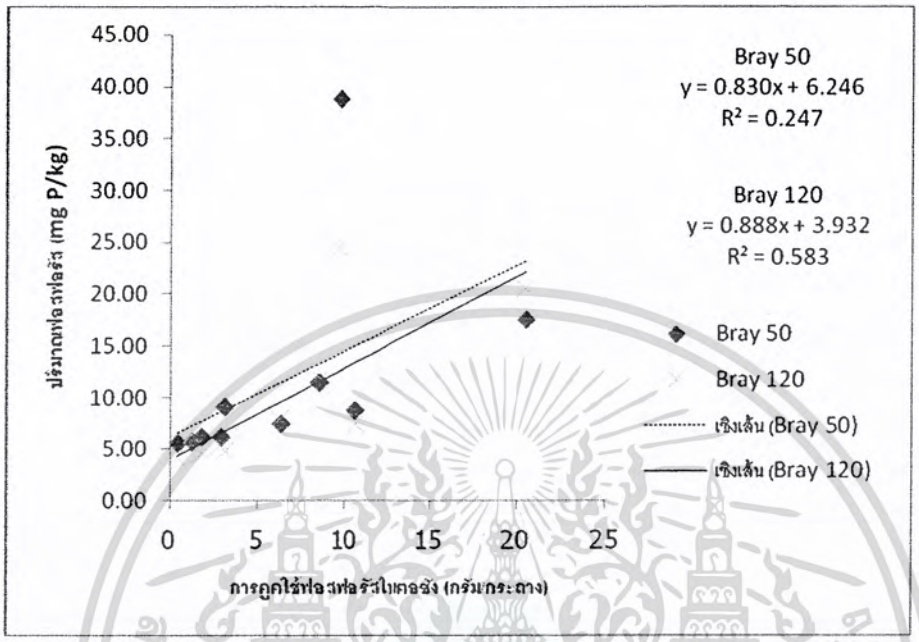
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II

การดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังและเมล็ดข้าว

เมื่อนำการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II เมื่อข้าวมีอายุ 50 และ 120 วัน(ภาพที่ 5) พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในดินทั้งสองระยะการเจริญเติบโต มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซัง โดยเฉพาะตัวอย่างดินที่เก็บเมื่ออายุ 120 วัน แต่ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เมื่อเก็บตัวอย่างดินตอนข้าวอายุ 50 วัน มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ($R^2 = 0.247$) ต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เมื่อเก็บตัวอย่างดินตอนข้าวอายุ 120 วัน ค่อนข้างมาก($R^2 = 0.583$) โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถคาดคะเนการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังด้วยการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินเมื่อข้าวอายุ 120 วัน ได้ดีกว่า การเก็บตัวอย่างดินเมื่อข้าวมีอายุ 50 วัน สามารถคาดคะเนได้ร้อยละ 58.3 และ 24.7 ตามลำดับ

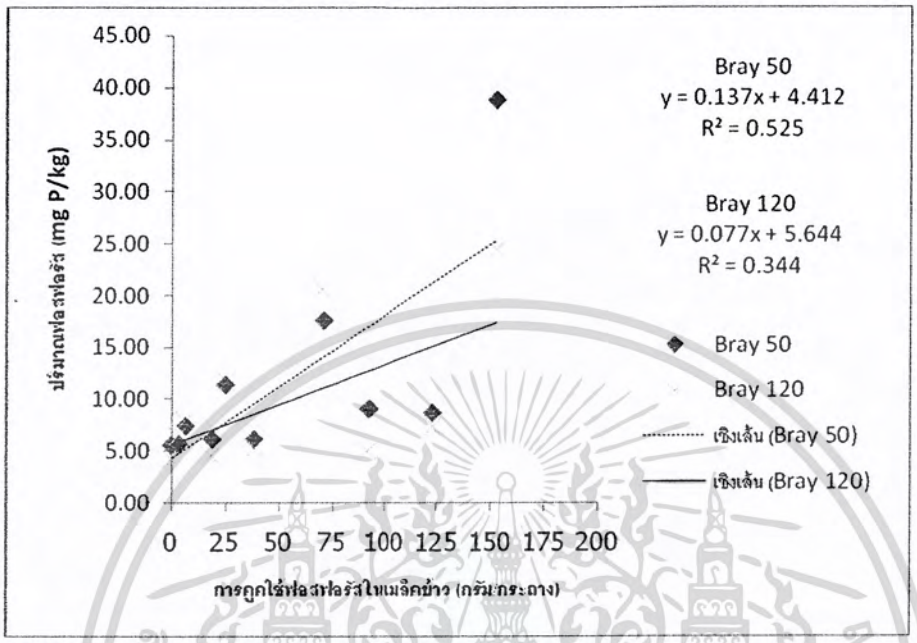


ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซังกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II

เมื่อนำการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II เมื่อข้าวมีอายุ 50 และ 120 วัน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในดินทั้งสองระยะการเจริญเติบโต มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าว โดยการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 6) อย่างไรก็ตามสัมประสิทธิ์การถดถอย(R^2) มีค่า เท่ากับ 0.525 และ 0.344 ตามลำดับ โดยฟอสฟอรัสในดินเมื่อข้าวอายุ 50 วัน ให้สัมประสิทธิ์การการถดถอยสูงกว่าเมื่อข้าวมีอายุ 120 วัน อาจเนื่องมาจากว่าเมื่อข้าวอายุ 120 วัน เป็นระยะการเก็บเกี่ยวข้าว ข้าวได้ดูดใช้ฟอสฟอรัสไปจากดินแล้วจึงทำให้ฟอสฟอรัสที่เหลือตกค้างอยู่ในดิน มีปริมาณต่ำ จึงมีความสัมพันธ์กับการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวต่ำด้วย ในขณะที่ตัวอย่างดินซึ่งเก็บเมื่อข้าวอายุ 50 วัน เป็นระยะที่ข้าวอยู่ในช่วงตั้งท้อง ซึ่งข้าวมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในปริมาณสูง ทำให้สามารถคาดคะเนการดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวด้วยการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินเมื่อข้าวอายุ 50 วัน ได้ดีกว่า การเก็บตัวอย่างดินเมื่อข้าวมีอายุ 120 วัน โดยสามารถคาดคะเนได้ร้อยละ 52.5 และ 34.4 ตามลำดับ

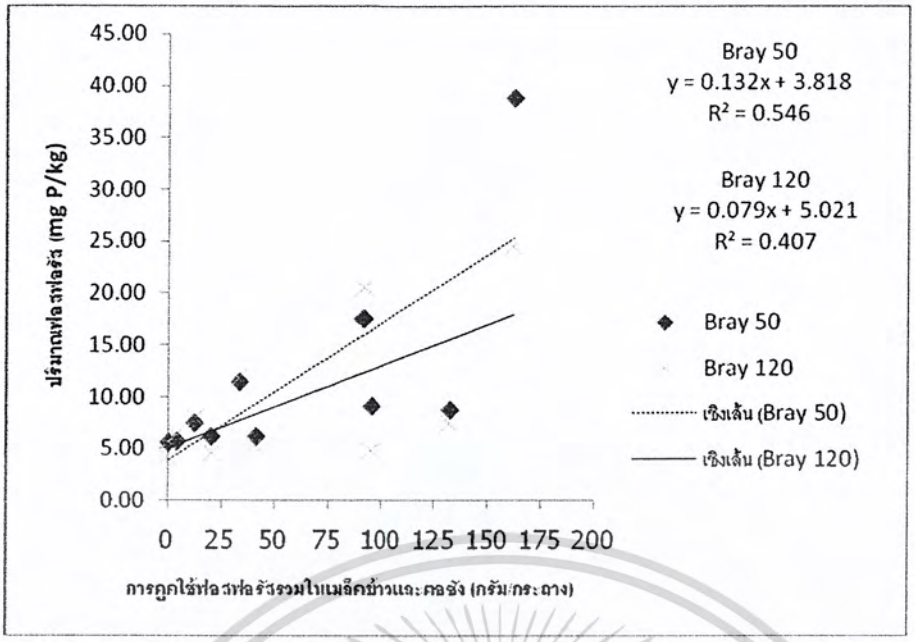


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II

การดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมดของข้าว(ตอซัง+เมล็ด)

เมื่อนำการดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II เมื่อข้าวมีอายุ 50 และ 120 วัน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในดินทั้งสองระยะการเจริญเติบโตมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมในเมล็ดข้าวและตอซัง โดยการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมในเมล็ดข้าวและตอซังเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 7) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (R^2) เท่ากับ 0.546 และ 0.407 ตามลำดับ โดยฟอสฟอรัสในดินเมื่อข้าวอายุ 50 วัน ให้สัมประสิทธิ์การการถดถอยใกล้เคียงกับเมื่อข้าวมีอายุ 120 วัน ทำให้สามารถคาดคะเนการดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมดของข้าว ด้วยการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินเมื่อข้าวอายุ 50 วัน ได้ดีกว่า การเก็บตัวอย่างดินเมื่อข้าวมีอายุ 120 วัน โดยสามารถคาดคะเนได้ร้อยละ 54.6 และ 40.7 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมในเมล็ดข้าวและตอซังกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II

สรุปผลการทดลอง

เมื่อนำผลผลิตข้าว น้ำหนักแห้งตอซัง ฟอสฟอรัสในตอซัง ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าว การดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซัง การดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าว และการดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมดของข้าวมาหาสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Bray II เมื่อข้าวมีอายุ 50 และ 120 วัน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดเมื่อข้าวมีอายุ 50 วัน ให้สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงสูงกว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดเมื่อข้าวมีอายุ 120 วัน ได้แก่ ผลผลิตข้าว น้ำหนักแห้งตอซัง การดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าว และการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมในเมล็ดข้าวและตอซัง ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดเมื่อข้าวมีอายุ 120 วัน ให้สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงสูงกว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดเมื่อข้าวมีอายุ 50 วัน ได้แก่ ฟอสฟอรัสในตอซัง ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าว และการดูดใช้ฟอสฟอรัสในตอซัง เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสในดินเพิ่มสูงขึ้น มีผลให้ผลผลิตข้าว น้ำหนักแห้งตอซัง การดูดใช้ฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าว และการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมในเมล็ดข้าวและตอซังเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

นัจภัค หงษ์ธนัต. 2550. การศึกษาการดูดซับและการคาดคะเนคำแนะนำปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินนาน้ำขังโดยใช้สมการความต้องการฟอสฟอรัสในโปรแกรม PDSS ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา, 71 หน้า.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. ธาตุอาหารพืช. ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

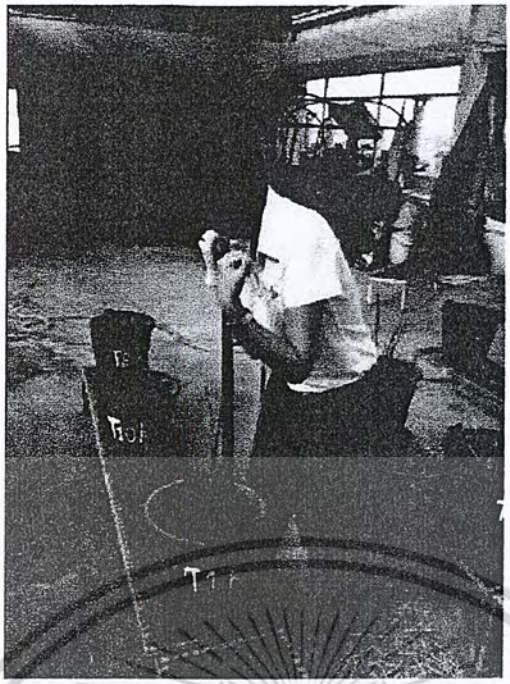
สุมิตรา ภู่วโรดม. 2546. เอกสารประกอบการสอนวิชาการวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี. ภาควิชา ปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, กรุงเทพฯ

อนนท์ สุขสวัสดิ์. 2547. การประเมินความสมบูรณ์ของดินนา. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

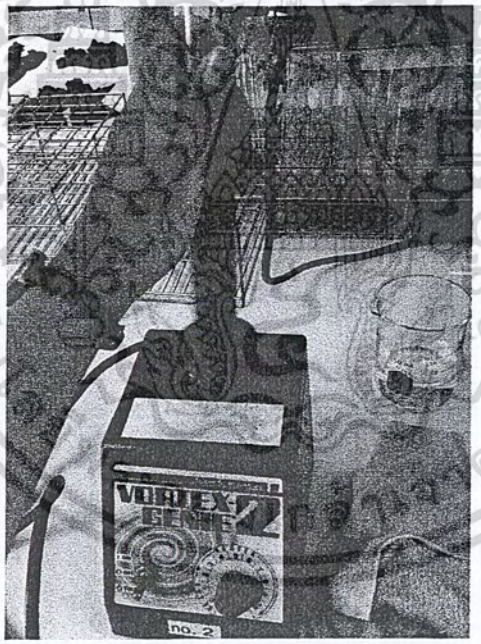


ภาพผนวกที่ 1 การเก็บตัวอย่างดินด้วย Soil tube

ภาพผนวกที่ 2 การบดตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

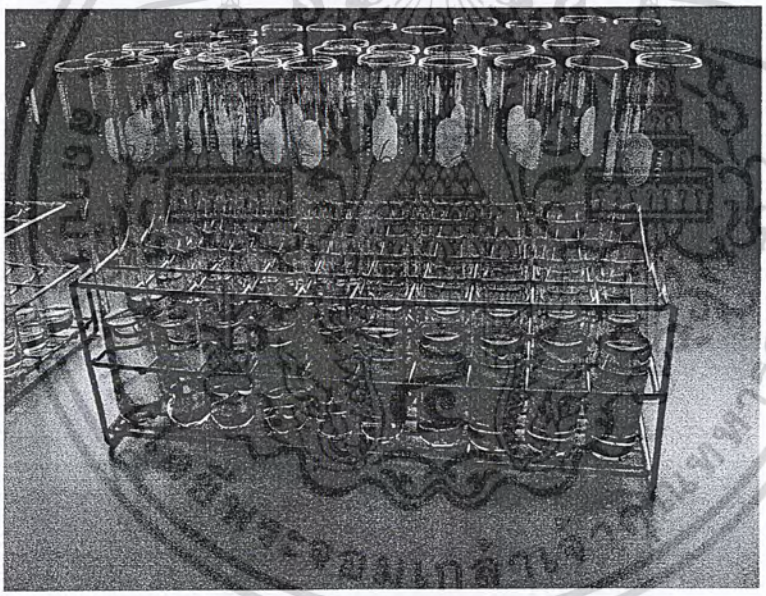
ภาพผนวกที่ 3 การร่อนตัวอย่างดินผ่านตะแกรงขนาด 2 mm



ภาพผนวกที่ 4 การเขย่าตัวอย่างดินกับสารสกัด Bray II

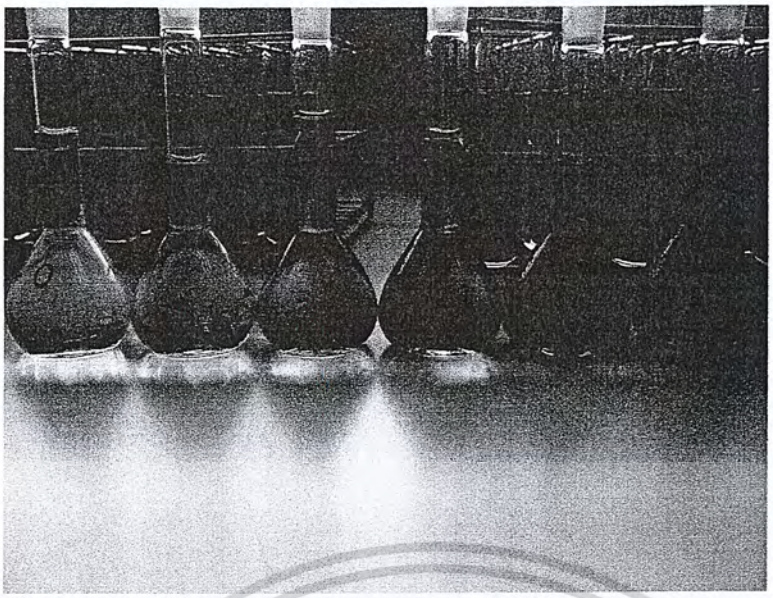
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวกที่ 5 การกรองตัวอย่างดินด้วยกระดาษ Whatman เบอร์ 5



ภาพผนวกที่ 6 การ develop สีด้วย Reagent B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 7 การทำ standard P

ภาพผนวกที่ 8 การวัด % T ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้