ใบรับรองปัญหาพิเศษปริญญาตรี
หลักสูตรปฐพีวิทยา

เรื่อง

ผลของระยะเวลาในการบ่มหินฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในชุดดินบางกอก

Effect of Rock Phosphate Incubation Periods to Growth and Yield of Rice (PathumThani 80) on Bangkok Soil Series.

โดย

นายชิตพล สุดจิต
นางสาวนุสรา เพ็งสวัสดิ์

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นุกูล ถวิลถึง)
อาจารย์ที่ปรึกษา

หลักสูตรรับรองแล้ว

.....

(รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม)
ประธานบริการหลักสูตรปฐพีวิทยา

23 มี.ค. 2555
...../...../.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

เรื่อง

ผลของระยะเวลาในการบ่มหินฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในชุดดินบางกอก

Effect of Rock Phosphate Incubation Periods to Growth and Yield of Rice (PathumThani 80) on Bangkok Soil Series.

โดย

นายชิตพล สุดจิต
นางสาวนุสรา เพ็งสวัสดิ์

เสนอ
หลักสูตรปฐพีวิทยา
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช
คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
ปีการศึกษา 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง	ผลของระยะเวลาในการบ่มหินฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในชุดดินบางกอก
ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ	Effect of Rock Phosphate Incubation Periods to Growth and Yield of Rice (PathumThani 80) on Bangkok Soil Series
โดย	นายชิตพล สุดจิต นางสาวนุสรา เพ็งสวัสดิ์
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการผลิตพืช
หลักสูตร	ปฐพีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นุกูล ถวิลถึง

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของระยะเวลาในการบ่มหินฟอสเฟตต่อคุณสมบัติของดิน ผลผลิตและการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในชุดดินบางกอก โดยทำการทดลองในกระถาง มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย 7 ตำรับการทดลอง โดยบ่มหินฟอสเฟต อัตรา 30 กรัม/กระถาง โดยใช้ดินชุดดินบางกอกบริเวณคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระยะเวลาการบ่มเริ่มตั้งแต่ 0 สัปดาห์ ถึง 6 สัปดาห์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ปักดำข้าวโดยใช้กล้าอายุ 1 เดือน โดยใช้ต้นกล้า 4 ต้นต่อจับ หลังจาการปักดำ มีการใส่ปุ๋ย Urea (45%N) 2 ครั้ง ใส่ในอัตราครั้งละ 2.429 กรัม และมีการใส่ปุ๋ย KCl (60%N) 0.911 กรัม รักษาระดับน้ำในกระถางให้อยู่ในระดับ 5 เซนติเมตร มีการนับจำนวนกอข้าวและวัดคลอโรฟิลล์ ทุกสัปดาห์ ทำการเก็บเกี่ยวข้าวเมื่ออายุครบ 118 วัน เพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโต องค์ประกอบของผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ และความเข้มข้นและการดูดดึงธาตุอาหาร ทำการเก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลองเพื่อนำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟตไม่ส่งผล โดยพบว่า ความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของดิน ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) มีความแตกต่างกัน แต่จะส่งผลต่อฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (Available P) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) โดยพบว่าตำรับที่ไม่มีการบ่มหินฟอสเฟต ให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชสูงสุด (163 mg/kg^{-1}) ในขณะที่ตำรับที่บ่มหินฟอสเฟต 1 สัปดาห์ ให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงสุด (0.45%) นอกจากนี้ยังพบว่า องค์ประกอบผลผลิตของข้าว ผลผลิตของข้าว ความเข้มข้นและการดูดดึงธาตุอาหารพืช โดยพบว่า โดยพบว่ามีความสูงของต้นข้าวเฉลี่ย 125 เซนติเมตร จำนวนรวงต่อกระถางเฉลี่ย 42.9 รวงต่อกระถาง น้ำหนัก 1000 เมล็ดเฉลี่ย 24.3 กรัม และ% เมล็ดเต็ม 85.7 % ผลผลิตเฉลี่ยของเมล็ดข้าว 1701.7 kg/ไร่ ผลผลิตเฉลี่ยของฟางข้าว 1542.4 kg/ไร่ และสัดส่วนระหว่างเมล็ดต่อฟางเฉลี่ย 0.89 ส่วนความเข้มข้นของธาตุอาหารและการดูดดึง พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียมเฉลี่ย 0.77%, 2.61% ,0.45% สำหรับเมล็ด และ 0.29% , 3.01%, 2.03% สำหรับฟางข้าว ส่วนการดูดดึงของไนโตรเจน,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียมเฉลี่ย 11.1 kg/ไร่ ,37.1 kg/ไร่, 6.65 kg/ไร่ สำหรับเมล็ด และ 5.16 kg/ไร่, 51.2 kg/ไร่, 34.6 kg/ไร่ สำหรับฟางข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

การจัดทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร. นุกูล ถวิลถึง อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ปรึกษา ชี้แนะ ติดตามความก้าวหน้าในการจัดทำปัญหาพิเศษ ให้ความช่วยเหลือหลายสิ่งหลายอย่างจนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของอาจารย์ที่ปรึกษาท่านนี้เป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยาทุกท่าน ที่ให้ความรู้ ให้คำแนะนำให้กำลังใจตลอดการศึกษาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยาทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำในการทดลอง และอำนวยความสะดวกด้านวัสดุ อุปกรณ์ ในการทดลองเป็นอย่างดี

ขอบคุณและขอบใจ พี่ เพื่อน และน้องภาควิชาปฐพีวิทยาทุกคน ที่คอยถามไถ่ด้วยความห่วงไย และเป็นกำลังใจตลอดเวลา

ประโยชน์และคุณค่าอันพึงเกิดขึ้นจากการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ ขอน้อมบูชาพระคุณบิดา มารดา บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอนให้เกิดความรู้ สติปัญญา ตลอดจนชี้นำคุณธรรม จริยธรรม วางรากฐานในการดำเนินชีวิตที่ดีแก่ผู้จัดทำ

ชิตพล สุดจิต และ นุสรา เพ็งสวัสดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญเรื่อง	ก
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
สารบัญภาคผนวก	ง
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	28
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	38
สรุปผลการทดลอง	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ชื่อและสูตรทางเคมีของแร่อะพาไทต์ที่พบได้ทั่วไป	5
1.2 ปริมาณสำรองของฟอสเฟตจากแหล่งต่างๆของโลก	8
1.3 ปริมาณแร่สำรองและปริมาณฟอสเฟตของแหล่งแร่ฟอสเฟตในประเทศไทย	10
1.4 แร่ที่เป็นองค์ประกอบหลักในหินฟอสเฟตจากแหล่งต่างๆที่ศึกษาโดยวิธีการหักเหของรังสีเอ็กซ์	11
1.5 ปริมาณธาตุต่างๆที่พบในหินฟอสเฟตจากแหล่งต่างๆ	12
1.6 ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดและฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ในหินฟอสเฟตจากแหล่งต่างๆ	12
1.7 ลักษณะและคุณสมบัติของชุดดินบางกอก	25
1.8 อัตราการใส่ปุ๋ยสำหรับพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง	26
2.1 ค่า pH ของดินในน้ำ (ระดับความรุนแรงของความเป็นกรด-ด่างของดิน)	35
2.2 ค่าการนำไฟฟ้าและระดับความเค็มของดิน (EC) ที่สัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืช	36
2.3 ระดับอินทรียวัตถุ (Organic Matter)	36
2.4 ระดับปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity)	37
2.5 ระดับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (USDA)	3
3.1 สมบัติของหินฟอสเฟต	38
3.2 สมบัติทางเคมีของดิน	38
3.3 ความเขียว (SPAD Unit) และจำนวนกอของข้าว	39
3.4 จำนวนรวงต่อกระถาง	41
3.5 น้ำหนักเมล็ด,น้ำหนักฟางและสัดส่วนระหว่างเมล็ด/ฟาง	42
3.6 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเมล็ดและฟางข้าวปทุมธานี 80	44
3.7 การดูดดึงของธาตุอาหาร	45
3.8 สมบัติดินหลังการปลูก	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ระยะการใส่ปุ๋ยเคมีที่แนะนำสำหรับข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาคผนวก

ตารางผนวก	หน้า
ตารางผนวกที่ 1 แสดงข้อมูลของผลผลิตของฟางข้าวและเมล็ดข้าว	54
ตารางผนวกที่ 2 แสดงข้อมูลของการวิเคราะห์ดิน	56
ตารางผนวกที่ 3 แสดงข้อมูลของความเข้มข้นของธาตุอาหาร	58
ตารางผนวกที่ 4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยใช้วิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version20.0 ของผลผลิตของพืช	61
ตารางผนวกที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยใช้วิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version20.0 ของการวิเคราะห์ดิน	74
ตารางผนวกที่ 6 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยใช้วิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version20.0 ของความเข้มข้นของธาตุอาหาร	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่จำกัดการเจริญเติบโตของพืช (Igual et. al., 2001) โดยฟอสฟอรัสจะทำให้พืชมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง กระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแป้ง กระบวนการถ่ายทอดพันธุกรรม การตรึงไนโตรเจน การออกดอก การออกผลและเมล็ด และการสุกของผล (Brady and Weil, 2008; Mehrvarz et. al., 2008) พืชที่ขาดฟอสฟอรัสจะทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงัก ลำต้นแคระแกร็น ผอม สูง ใบมีขนาดเล็ก จำนวนใบลดลง และเป็นสีเขียวเข้มออกน้ำเงิน (Brady and Weil, 2008) ดินในประเทศไทยโดยภาพรวมพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ (Chinabut, 2003) การใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสซึ่งเป็นสิ่งจำเป็น การขาดธาตุฟอสฟอรัสในดินเป็นปัจจัยทางด้านเคมีที่สำคัญในการกำหนดผลผลิต การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายได้ (soluble phosphate fertilizer) เช่น ซุปเปอร์ฟอสเฟต เป็นการทดแทนปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในปริมาณน้อยในดิน แต่อย่างไรก็ตามปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายได้ที่ใส่จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับไอออนในดินและปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายได้จะถูกเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Stevenson, 1986; Mclaughlin et. al., 1988)

ปุ๋ยเคมีที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสมีอยู่มากมายหลายชนิด และฟอสฟอรัสในปุ๋ยต่างก็เป็นสารประกอบฟอสเฟต จึงมักเรียกปุ๋ยที่ให้ธาตุนี้ว่า ปุ๋ยฟอสเฟต สำหรับฟอสเฟตที่พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย มี2 รูป คือ $H_2PO^-_4$ (dihydrogen phosphate ion) กับ $HPO^{=}_4$ (monohydrogen phosphate ion) ซึ่งอยู่ในสารละลายของดิน ดังนั้นปุ๋ยจะมีคุณค่ามากน้อยเพียงใดจึงขึ้นอยู่กับปริมาณของฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์แก่พืชนั่นเองหินฟอสเฟตอันเป็นทรัพยากรธรรมชาตินั้น มีการกระจัดกระจายอยู่ในประเทศต่างๆหลายประเทศ เมื่อขุดขึ้นมาและขจัดสิ่งเจือปนแล้ว ก็มีฟอสเฟตทั้งหมด 20-30% P_2O_5 แต่เนื่องจากฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์มีเพียงเล็กน้อย ราคาจึงต่ำ หากนำมาใช้โดยตรงก็มีข้อจำกัดหลายประการ

การผลิตปุ๋ยฟอสเฟตในปัจจุบัน จึงมุ่งไปสู่การแปรสภาพฟอสฟอรัสในหินฟอสเฟตจากธรรมชาติให้มีส่วนประโยชน์มากที่สุดปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตต่อพืช ประกอบด้วยกันหลายประการ ดังนี้ (i) ปริมาณฟลูออไรด์ในแร่ ยิ่งมีฟลูออไรด์สูงเท่าใดก็ยิ่งละลายน้ำยาก เนื่องจากอนุมูลฟลูออไรด์มี electronegativity สูงนั่นเอง (ii) ความสามารถของพืชที่ดึงดูดธาตุอาหารมาจากหินฟอสเฟตซึ่งแต่ละชนิดมีความสามารถในการใช้ฟอสเฟตจากปุ๋ยนี้แตกต่างกัน (iii) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินหรือปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ช่วยให้พืชได้รับประโยชน์จากหินฟอสเฟตมากขึ้น เนื่องจาก คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ จะละลายน้ำได้กรดคาร์บอน (iv) ความละเอียดของปุ๋ยโดยปกติหินฟอสเฟตบดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมักมีขนาดของอนุภาคที่ผ่านตะแกรง 100 เมชแล้วประมาณร้อยละ 90 ซึ่งเหมาะแก่การใช้ (v) ความเป็นกรดเป็นด่างของดินการใช้หินฟอสเฟตบดจะได้ผลดีต่อเมื่อใช้ในดินที่มีปฏิกิริยาค่อนข้างเป็นกรด จากข้อมูลที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าหินฟอสเฟตมีความสามารถที่จะละลายให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชค่อนข้างยาก เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้องรวมถึงระยะเวลาที่หินฟอสเฟตจะปลดปล่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชด้วย ดังนั้นถ้าหากมีการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบ่มหินฟอสเฟต ก็จะสามารถเพิ่มฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์แก่พืชและเพิ่มผลผลิตของพืชได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการบ่มหินฟอสเฟตต่อคุณสมบัติของดิน ผลผลิตและการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในชุดดินบางกอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) ตรวจเอกสาร

1.1 หินฟอสเฟต

หินฟอสเฟต (Rock Phosphate) หมายถึง หินที่มีแคลเซียมฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบหลักใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยฟอสเฟต กรดฟอสฟอริก และธาตุฟอสฟอรัส ในการจำหน่ายหินฟอสเฟตใช้ %BPL (bone phosphate of lime) หรือ %TPL (triphosphate of lime) เป็นหน่วยบอกความเข้มข้นของฟอสเฟตในหิน พวกที่จัดเป็นหินชั้นดีควรมี 72-76 %BPL ค่าดังกล่าวอาจเปลี่ยนแปลงไปเป็นหน่วยอื่นดังนี้ BPL = P_2O_5 x 2.1852 และ P_2O_5 = BPL x 0.4576

หินฟอสเฟตมีอยู่ 2 ประเภท คือหินตะกอนและหินอัคนี ซึ่งแตกต่างกันในแง่ของการกำเนิดแต่ก็มีแคลเซียมฟอสเฟตเจือฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบสำคัญเหมือนกัน นักธรณีวิทยาบางท่านเรียกชื่อแร่ในหิน 2 ประเภทนี้ต่างกัน คือ แร่ที่มีในพวกหินตะกอนเรียกว่า francolite และแร่ในพวกหินอัคนีว่า apatite สัดส่วนของฟลูออรีนกับฟอสเฟต (F: P_2O_5) มีอยู่ราว 1:10 หรือถ้าหินฟอสเฟตมี 30% P_2O_5 จะมีฟลูออรีนประมาณ 3% หินฟอสเฟตในตลาดโลกปัจจุบันนี้ ร้อยละ 85 มาจากแหล่งที่เป็นหินตะกอน อีกร้อยละ 15 เท่านั้นที่ขุดจากแหล่งหินอัคนี

หินฟอสเฟตในประเทศไทยกรมทรัพยากรธรณีได้ดำเนินการสำรวจแหล่งหินฟอสเฟตเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยอย่างจริงจังระหว่าง พ.ศ. 2508-2514 ตามโครงสร้างการสำรวจแร่เป็นปุ๋ยในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 2 โดยพยายามสำรวจแหล่งฟอสเฟตที่มีกำเนิดจากทะเลในชุดดินต่างๆ ข้อมูลพื้นฐานได้มาจากการศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยา ผลการเจาะน้ำบาดาล ตลอดจนสำรวจหินฟอสเฟตภาคสนามแล้วทดสอบทางเคมี แต่ยังไม่พบแหล่งที่กำเนิดจากทะเล ที่พบส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณเทือกเขาหินปูน แต่ก็มีปริมาณไม่มากนัก จึงไม่อาจพัฒนามาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับโรงงานปุ๋ยเคมีขนาดใหญ่ได้

จากการศึกษา สุขุม โชติช่วงมณีรัตน์และปวีณา ทองเหลือง พบว่าหินฟอสเฟตสามารถเป็นแหล่งธาตุฟอสฟอรัส ถึงแม้ความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสในหินฟอสเฟตจะต่ำกว่าปุ๋ยเคมีทริปเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต สำหรับการเพาะปลูกข้าวโพดแบบอินทรีย์ การนำพืชตระกูลถั่วเพื่อปลูกพืชปุ๋ยสด และไถกลบแทนปุ๋ยพืชสด เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสจากหินฟอสเฟต ซึ่งจะช่วยลดปริมาณการใช้ลดลง

จากการศึกษา สุภาพร จันรุ่งเรืองและคณะ พบว่าในการศึกษาการแยกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟตในรูปไตรแคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$ เฟอร์ริกฟอสเฟต ($FePO_4$) และอลูมินัมพอสเฟต ($AlPO_4$) ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ และผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 จากการคัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตจากดินนากรดกำมะถัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Alexander (1961) ได้กล่าวว่าสารประกอบอนินทรีย์ของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่ละลายไม่ได้ และส่วนใหญ่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้นั้น มีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมากที่สามารถเปลี่ยนสารประกอบนี้ให้อยู่ในรูปที่ละลายได้ ขบวนการที่จุลินทรีย์เปลี่ยนรูปฟอสเฟตที่ละลายไม่ได้ไปอยู่ในรูปที่ละลายได้นี้ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ขึ้น กรดอินทรีย์นี้จะไปเปลี่ยนรูปแคลเซียมฟอสเฟต [$ca_3(PO_4)_2$] ให้เป็นรูปไดและโมโนเบสิคฟอสเฟต ($HPO^{=}_4$และ $H2PO^{-}_4$) ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ แบคทีเรียและเชื้อราที่สามารถเปลี่ยนรูปฟอสเฟตที่ละลายไม่ได้ให้เป็นรูปที่ละลายได้ ได้แก่พวก Pseudomonas, Mycobacterium, Micrococcus, Flavobacterium, Penicilium, Sclerotium, Aspergillus, และอื่นๆจุลินทรีย์เหล่านี้ในอาหารที่มีแคลเซียมฟอสเฟต, อพาไตท์ หรือสารอื่นๆกันที่ประกอบด้วยฟอสเฟตที่ละลายไม่ได้ พบว่าไม่เพียงที่จุลินทรีย์จะดูดย่อยฟอสเฟตเป็นอาหารเป็นประโยชน์ต่อตนเองแล้ว จุลินทรีย์ยังทำให้เกิดการละลายของฟอสเฟตเป็นจำนวนมากและปลดปล่อยจำนวนที่เหลือจากที่ใช้เป็นอาหารแล้วออกมา ซึ่งอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้

Singh, et al. (1976) ได้ทดลองผสมดินที่มี pH7.5 กับหินฟอสเฟตจาก Udaipur,Mussuorie, และ Laccadive โดยใส่ซูเปอร์ฟอสเฟตเป็นแหล่งธาตุอาหารของฟอสฟอรัส และ ใส่จุลินทรีย์พวก *Pseudomonas striata, Bacillus polymaxa,*และ *Aspergillusawamri* ลงไปด้วยแล้วบ่มของผสมนี้ไว้เป็นเวลา 165 วัน การทดลองพบว่าในระยะ 75 วันแรกของการบ่ม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้จากหินฟอสเฟตทุกๆแหล่งจะลดลง หลังจากนั้นฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ได้ก็จะเพิ่มขึ้นเหตุที่เป็นเช่นนี้เชื่อว่าเนื่องมาจากจุลินทรีย์ดังกล่าวนั้นเอง

1.1.1 หินฟอสเฟตและการกำเนิด

หินฟอสเฟตเป็นสินแร่ธรรมชาติที่นำมาใช้เป็นปุ๋ย แหล่งกำเนิดที่สำคัญมีหลายแหล่ง แต่ละแหล่งมีคุณภาพที่แตกต่างออกกันไป หินฟอสเฟตเป็นหินที่มีแคลเซียมฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ในธรรมชาติส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแร่อะพาไทต์ (apatite) ซึ่งมีอยู่ 5 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ชื่อและสูตรทางเคมีของแร่อะพาไทต์ที่พบได้ทั่วไป

ชื่อ	สูตรทางเคมี
Carbonate apatite	$(Ca_3(PO_4)_2)_3 . CaCO_3$
Fluorapatite	$(Ca_3(PO_4)_2)_3 . CaF_2$
Chloroapatite	$(Ca_3(PO_4)_2)_3 . CaCl_2$
Hydroxy apatite	$(Ca_3(PO_4)_2)_3 . Ca(OH)_2$
Sulfate apatite	$(Ca_3(PO_4)_2)_3 . CaSO_4$

ที่มา : คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาพบว่าหินฟอสเฟตเกิดขึ้นในเกือบทุกยุค ตั้งแต่ก่อนมหายุคแคมเบรียน (pre-cambrianeras,อายุมากกว่า 600 ล้านปี) จนถึงปัจจุบัน และเกิดอยู่ในหลายลักษณะ ซึ่งสามารถจำแนกหินฟอสเฟตออกตามลักษณะการเกิดได้ 3 ประเภท คือ

(1) หินฟอสเฟตในหินอัคนี (igneous apatite deposite) เรียกพวกนี้ว่าอะพาไทต์อัคนี เป็นต้นกำเนิดของแร่ฟอสเฟตชนิดอื่นๆ ถือว่าเป็นต้นกำเนิดของแร่ฟอสเฟตชนิดต่างๆ เกิดอยู่ตามธรรมชาติได้หลายแบบเช่น เป็นมวลแทรกดัน (intrusive mass) หรือแบบ pegmatite-apatite deposite ในแหล่งใหญ่ๆมักพบอยู่ในลักษณะของการสะสมของมวลแทรกดัน มีความเกี่ยวข้องกับหินอัคนีสีคล้ำ (basic igneous rock complex) ได้แก่ คาร์บอเนไทต์ (carbonatite) ไอโจไลต์ (ijolite) เนฟิลีนไซไนต์ (nepheline-syenite) และไพรอกซีไนต์ (pyroxenite) หินพวกนี้มักเกิดในโครงสร้างแบบวงแหวน (ring-like structure) โดยมีคาร์บอไทต์อยู่ในบริเวณใจกลาง และมีอะพาไทต์หรืออะพาไทต์-แมกนีไทต์ (apatite-magnetite) เกิดอยู่รอบนอกในลักษณะแผ่นเอียงตัว (inclined sheet) แต่ในสภาพธรรมชาติจะพบอะพาไทต์อัคนีได้ทั้งในหินอัคนีสีคล้ำจนถึงหินอัคนีสีจาง ส่วนใหญ่จะพบชนิดที่เป็นฟลูออร์อะพาไทต์ ละมีบ่อยครั้งที่พบว่ามีอนุมูลไฮดรอกซีลเกี่ยวข้องอยู่ด้วย จงเกิดอะพาไทต์ชนิด ไฮดรอกซี-ฟลูออร์อะพาไทต์ (hydroxy-fluor-apatite) ได้

(2) หินฟอสเฟตที่เกิดจากการสะสมของฟอสเฟตในทะเล (marine phosphate deposits) น้ำทะเลโดยทั่วไปจะมีฟอสเฟตสะสมอยู่ แต่จะมีความเข้มข้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของบริเวณนั้นๆ ฟอสเฟตที่สะสมนี้เกิดจากการที่หินฟอสเฟตหรือแร่ที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ตามธรรมชาติในหินอัคนี หินชั้น หินแปร ถูกทำลายให้ผุกร่อนลง บางส่วนละลายไปกับน้ำ ปกติแล้วหินฟอสเฟตละลายได้ดีในน้ำที่มีปฏิกิริยาเป็นกรด และสามารถละลายได้น้อยในน้ำที่เป็นกลางหรือด่าง น้ำที่มีฟอสเฟตละลายอยู่นี้จะไปรวมกันอยู่ในทะเล หรือตามบึง ในบริเวณที่ผิวน้ำอุ่นจะมีฟอสเฟตละลายอยู่เพียง 0.01 ppm หรืออาจน้อยกว่านี้ ส่วนใหญ่ในระดับน้ำลึกที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีฟอสเฟตละลายอยู่มากถึง 0.3 ppm จากการไหลเวียนของกระแสน้ำที่มีการไหลขึ้นสู่ผิวน้ำ น้ำทะเลที่มีฟอสเฟตอยู่มากก็จะขึ้นสู่ผิวน้ำในณะที่มีน้ำที่มีฟอสเฟตความเข้มข้นสูงนี้ขึ้นมาสู่ผิวน้ำ สภาพความเป็นกรดจะลดลง (มี pH สูงขึ้น) และอุณหภูมิจะสูงขึ้น ทำให้ฟอสเฟตที่ผสมอยู่ตกผลึก และตกตะกอนสะสมอยู่ตามไหล่ทวีป หรือลุ่มต่ำของรอยโค้งประทุนหงายที่เกิดในอนุยุคไมโอซีน (Miocene epoch) จึงเกิดแหล่งฟอสเฟตนี้ขึ้น มักจะครอบคลุมเนื้อที่กว้างขวางและอาจมีความหนาหลายเมตร มีเปอร์เซ็นต์ฟอสเฟตไม่แน่นอน อาจสูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่า เมื่อหินฟอสเฟตเหล่านี้ถูกดันด้วยแรงกดหรือการเคลื่อนที่ของเปลือกโลกกลายเป็นแผ่นดินและเทือกเขาในยุคต่อมา หินฟอสเฟตเหล่านี้ก็จะเกิดอยู่เป็นชั้น (bedded phosphate) รวมกับหินชั้นอื่นๆบางส่วนจะถูกทำลายผุพังไปเป็นตะกอนทับถมฟอสเฟตทุติยภูมิ (secondary phosphate deposits) เช่นตะกอนทับถมกรวดฟอสเฟต (pebble phosphate deposits) ในมลรัฐฟอริดา และบางส่วนจะถูกชะล้างละลายไปกับน้ำไปสะสมอยู่ในทะเลตกตะกอนใหม่เป็นวัฏจักรฟอสเฟตที่เกิดใหม่การทับถมของอิทธิพลของน้ำทะเลนี้จะมีการสะสมอยู่เพียงบางบริเวณของโลกโดยเฉพาะในแถบของทวีปด้านตะวันตกที่มีลมพัดผ่าน ทำให้เกิดกระแสน้ำที่ไหลขึ้นสู่ผิวน้ำ และมักจะอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างเส้นรุ้ง 40 องศาเหนือ ถึง 40 องศาใต้เท่านั้น เช่นในไหล่ทวีปด้านตะวันตกของทวีปอเมริกาเหนือ ทวีปอเมริกาใต้และทวีปอัฟริกาเป็นส่วนใหญ่

เนื่องจากฟอสเฟตละลายน้ำได้ดีเมื่ออุณหภูมิต่ำและมีสภาพความเป็นกรดอยู่มาก ทำให้ฟอสเฟตมีความเข้มข้นมากในบริเวณน้ำลึก การหมุนเวียนของน้ำในบริเวณน้ำลึกขึ้นมาสู่ผิวน้ำโดยกระแสน้ำไหลขึ้นสู่ผิวน้ำ จะทำให้ฟอสเฟตตกตะกอน ความลึกที่ทำให้ฟอสเฟตตกตะกอนอยู่ระหว่าง 100 ถึง 200 เมตร ตกตะกอนกับอินทรีบวัตถุ ตะกอนทรายแป้ง และดินเหนียว เมื่อสิ่งเหล่านี้สะสมตัว จะเกิดเป็นชั้นของเชิร์ต (chert beds) และหินดินดานสีดำ (black shale) ดังนั้นจึงใช้ชั้นของเชิร์ตและหินดินดานสีดำในการติดตามชั้นฟอสเฟตในหินชั้นยุคเก่าๆ

(3) หินฟอสเฟตที่เกิดจากการสะสมตัวของมูลนกและมูลค้างคาว (guano deposits) การสะสมตัวของมูลนก มูลค้างคาว และซากกระดูกสัตว์ในทะเลต่างๆแยกออกได้เป็น 2 ชนิด คือ กัวโนมูลนก (bibd guano) และกัวโนมูลค้างคาว (bat guano)

(3.1) กัวโนมูลนก ได้จากการสะสมตัวของมูลนกและซากนกกินปลาส่วนใหญ่จะสะสมอยู่บนเกาะใกล้บริเวณที่มีน้ำทะเลขึ้นถึง หรือฝนตกชุก น้ำจะเยอะเอามูลนกและซากนกต่างๆ ละลายฟอสเฟตที่มีขนาดใหญ่และมีเปอร์เซ็นฟอสเฟตสูงได้ เช่น กัวโนมูลนกที่เกาะนาอูรู และเกาะคริสต์มาส ซึ่งเป็นฟอสเฟตที่มีคุณภาพดีอาจมีฟอสเฟตสูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ คุณสมบัติของฟอสเฟตจะผันแปรไปตามคุณสมบัติของหินที่รองรับถ้าหินที่รองรับอยู่เป็นหินปูนก็ได้ฟอสเฟตในรูปอะพาไทต์ ถ้าเป็นหินอัคนีฟอสเฟตจะเกิดอยู่ในลักษณะของอลูมินัมฟอสเฟต เหล็กฟอสเฟต หรือเหล็ก-อลูมินัมฟอสเฟต แต่ส่วนมากจะพบอยู่ในบริเวณเกาะหินปูนต่างๆ

(3.2) กัวโนมูลค้างคาว ได้จากการสะสมตัวของมูลค้างคาวภายในถ้ำหินปูน มักจะมีขนาดเล็กกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปตามถ้ำหินปูนในบริเวณที่มีฝนตกชุก เช่นหมู่เกาะนิวกินี เกาะนิวไอร์แลนด์ เกาะบอร์เนียว หมู่เกาะฟิลิปปินส์ เกาะชวา เกาะสุมาตรา ประเทศเมียนม่า ประเทศมาเลเซีย และประเทศไทย มูลค้างคาวทั่วไปมีฟอสเฟตอยูประมาณ 10.20 เปอร์เซ็นต์ ถ้ามีน้ำมาชะล้าง ฟอสเฟตในมูลค้างคาวก็จะละลายและไปสะสมหรือไปแทนที่หินปูนอยู่ตามพื้นถ้ำ เกิดเป็นแหล่งฟอสเฟตที่มีฟอสเฟตสูงถึง 34 เป็นเซ็นต์หรือมากกว่าได้

ในกรณีของหินฟอสเฟตที่เกิดในลักษณะทับถม สามารถแยกลักษณะการทับถมออกได้เป็น 3 ลักษณะคือ

(1) ตะกอนทับถมปฐมภูมิ (primary deposite) ได้แก่ฟอสฟอไรต์ (phophorites) หินดินดานฟอสเฟต (phosphatic shales) หินปูนฟอสเฟต (phosphatic limestones) และหินทรายฟอสเฟต (phosphatic sandstones)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ตะกอนทับถมทุติยภูมิ (secondary deposits) หมายถึงตะกอนฟอสเฟตเข้าไปแทนที่ในหินปูน

(3. ตะกอนทับถมเข้มข้น (concentrated deposits) หมายถึงตะกอนที่มีฟอสเฟตสะสมกันมากๆเกิดเป็นสารเม็ดกลมฟอสเฟต (phosphate nodules) ในกรวดที่พบในแม่น้ำ และลักษณะการทับถมอื่นๆ ที่คล้ายคลึงกัน

1.1.2 แหล่งฟอสเฟตของโลก

ฟอสเฟตที่พบเป็นปริมาณมากในโลกแสดงในตารางที่ 1.2 สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 แหล่งด้วยกันคือ

ตารางที่ 1.2 ปริมาณสำรองของฟอสเฟตจากแหล่งต่างๆของโลก

แหล่งฟอสเฟต	ปริมาณที่พบแล้ว (ล้านตัน)	ปริมาณที่คาดว่าจะพบอีก (ล้านตัน)
สหรัฐอเมริกา	1,400	2,700
อาฟริกา		
จากหินอัคนี	15	15
จากหินชั้น	3,500	6,000
ตะวันออกกลาง	130	600
อเมริกาใต้		
จากหินอัคนี	13	10
จากหินชั้น	80	0.2
กัวโน	5	-
เอเชีย		
จากหินอัคนี	200	200
จากหินชั้น	200	200
ออสเตรเลีย	200	200
หมู่เกาะแปซิฟิค	6	6
รวม	6,000	9,000

ที่มา : สมบูรณ์,(2517);lewis และ Stowasser,(1971)

(1) แหล่งทวีปอเมริกาเหนือ พบแหล่งแร่ฟอสเฟตใหญ่ๆหลายแหล่ง ส่วนใหญ่เป็นแหล่งฟอสเฟตที่เกิดจากการตกตะกอนทับถม (sedimentary phosphorite) คือพวกที่เกิดจากน้ำทะเล แหล่งใหญ่ที่สุดได้แก่ แหล่งฟอสเฟตที่มลรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา บริเวณที่พบแหล่งแร่เริ่มตั้งแต่ตอนกลางของฟอริดาจนถึงมลรัฐนอร์ทคาโรไลนา เป็นฟอสเฟตที่พบในทราย (sandy phosphorite) และคาร์บอเนตเกิดอยู่ในชั้นหินยุคครีเตเชียสตอนปลาย (upper Cretaceous period) อายุน้อยกว่า 70 ล้านปีและยุคเทอร์เชียรี (tertiary period) อายุประมาณ 1 ถึง 70 ล้านปี มีปริมาณแร่สำรองไม่ต่ำกว่า 4,500 ล้านตัน ส่วนทางด้วนตะวันตกของสหรัฐอเมริกาพบแหล่งใหญ่เกิดในชุดหินที่เรียกว่า phosphoria formation ในมลรัฐไอดาโฮ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอนทานา ยูทาห์ เนวาดา และ เคลิฟอร์เนีย มีปริมาณแหล่งแร่สำรองรวมกันประมาณ 6,000 ล้านตัน มีปริมาณฟอสเฟตตั้งแต่ 10 เปอร์เซนต์ ถึงมากกว่า 24 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบแหล่งแร่ฟอสเฟตอีกมากในมลรัฐอลาสกา คาดว่าปริมาณแร่สำรองของฟอสเฟตที่มีฟอสเฟตสูงกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ มีไม่ต่ำกว่าพันล้านตัน

(2) **แหล่งทวีปอเมริกาใต้** พบแหล่งแร่ฟอสเฟตในยุคหินยุคครีเตเชียส อายุประมาณ 70 ถึง 135 ล้านปี ในประเทศเปรู และโคลัมเบีย หินฟอสเฟตผสมอยู่นี้กระจายตัวอยู่อย่างกว้างขวาง ตั้งแต่ประเทศเปรูผ่านประเทศโบลิเวีย เอกวาดอร์ จนถึงโคลัมเบีย นอกจากนี้ยังพบหินฟอสเฟสอยู่ในหินอนุยุคไมโอซีน อายุประมาณ 11 ถึง 25 ล้านปีอีกด้วย

(3) **แหล่งทวีปอาฟริกา** มีฟอสเฟตทั้งชนิดที่เกิดในหินตะกอน แหล่งใหญ่พบในตอนเหนือของอาฟริกาตะวันตกและอัฟริกาเหนือ ตลอดจนบางส่วนของตะวันออกของทวีปซึ่งประกอบด้วย พื้นที่แอ่งต่ำ (basin) ขนาดใหญ่ ประเทศที่พบแหล่งฟอสเฟตมากได้แก่ มอร็อคโค ตูนีเซีย และอัจจีเรีย ฟอสเฟตบริเวณนี้เกิดจากน้ำทะเลร่วมกับชั้นหินปูน ดินมาร์ล และหินเชิร์ท ในยุคเตเชียสจนถึงอนุยุคอีโอซีน (Eocene epoch) อายุประมาณ 40 ถึง 60 ล้านปี

(4) **แหล่งทวีปออสเตรเลีย** พบแหล่งฟอสเฟตอยู่ในยุคแคมเบรียน (Cambrian period) อายุประมาณ 500 ถึง 600 ล้านปี ในบริเวณตอนกลางของทวีป นอกจากนี้ยังพบแหล่งกัวโนอยู่ทั่วไปตามเกาะหินปูนในหมู่เกาะมหาสมุทรแปซิฟิค เช่น เกาะนาอูดู เกาะไอซีนา และเกาะคริสต์มาส ซึ่งอยู่ระหว่างประเทศอินโดนีเซีย และทวีปออสเตรเลีย มีปริมาณแร่สำรองไม่ต่ำกว่า 200 ล้านตัน

(5) **แหล่งทวีปเอเชีย** พบแหล่งฟอสเฟตที่เกิดจากการทับถมของทะเลอยู่ในรัฐราชฐานประเทศอินเดีย มีปริมาณแหล่งสำรองประมาณ 40 ล้านตัน พบแหล่งแร่ฟอสเฟตอีกหลายแหล่งซึ่งเป็นกัวโนและอะพาไทต์ เช่น ที่อิสราเอล เวียดนาม จีน และเกาหลีเหนือ ประเทศเหล่านี้สามารถผลิตฟอสเฟตรวมกันได้ไม่ต่ำกว่า ปีละ 1 ล้านตัน

1.1.3 แหล่งฟอสเฟตในประเทศไทย

ประเทศไทยสำรวจหาแหล่งฟอสเฟตเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยมานานแล้ว การสำรวจอย่างจริงจังเริ่มขึ้นภายใต้โครงการสำรวจแร่ที่ใช้เป็นปุ๋ยตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 2 ระหว่างปี 2508 ถึง 2514 โดยพยายามสำรวจหาแหล่งฟอสเฟตที่ทับถมโดยอิทธิพลของทะเล ในหินชั้นยุคต่างๆแต่ยังไม่พบ พบแต่แหล่งกัวโนเท่านั้น ส่วนใหญ่จะอยู่ในเทือกเขาหินปูน และปริมาณน้อย (ตารางที่ 1.3) ไม่สามารถจะพัฒนามาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเคมีในโรงงานผลิตปุ๋ยขยาดใหญ่ได้ ส่วนใหญ่ได้ขุดมาเพื่อใช้ในโรงงานปุ๋ยขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 ปริมาณแร่สำรองและปริมาณฟอสเฟตของแหล่งแร่ฟอสเฟตในประเทศไทย

ลำดับ	ที่ตั้งแหล่งแร่	ปริมาณแร่สำรอง (ตัน)	ปริมาณฟอสเฟต ($\%P_2O_5$)
1	เขาพักม้า อ.เมือง จ.ราชบุรี	4,000	10-40
2	เขาพริก อ.เมือง จ.ราชบุรี	200	20-33
3	เขาถ้ำกลอย อ.เมือง จ.ราชบุรี	100	16-38
4	เขาทะลุ อ.จอมบึง จ.ราชบุรี	100	24-31
5	เขากระโจม อ.โพธาราม จ.ราชบุรี	50	23
6	เขาคลองวาฬ อ.เมือง จ.ประจวบคีรีขันธ์	100	18
7	บ้านนากาญจน์ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี	ประมาณ 100,000	30-40
8	เขาเป้ง อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี	ประมาณ 50,000	25-30
9	บ้านหนองตาหลวง อ.วัดสิงห์ จ.ชัยนาท	100	20-25
10	เขาชะโงก อพชนแดน จ.เพชรบูรณ์	10,000	10-30
11	บ้านสบเมย อ.แม่ทา จ.ลำพูน	50,000	30-40
12	บ้านหาดปู่ด้าย อ.เกาะคา จ.ลำปาง	100	30
13	เขาหนองงิ้ว อ.วังสะพุง จ.เลย	-	12
14	บ้านโคกสูง อ.เมือง จ.ร้อยเอ็ด	125,000	10-20
15	บ้านเหล่านาขาม อ.เมือง จ.ร้อยเอ็ด	80,000	10-20
16	เขารักเกียรติ์ อ.รัตภูมิ จ.สงขลา	900	15-30

ที่มา : สุธรรม, (2521)

หินฟอสเฟตในประเทศไทยพบแทรกอยู่ตามรอยแตกและตามแอ่งของหินปูนหรือในถ้ำ ถ้ามีลักษณะเป็นกระเปาะตามรอยต่อระหว่างฟอสเฟตกับหินปูน โดยหินฟอสเฟตมีลักษณะเป็นแผ่นกว้าง มากบ้าง น้อยบ้าง เช่นแหล่งฟอสเฟตเขาคลองวาฬ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ บ้านเขาพักม้า อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี บางครั้งอาจพบในลักษณะเป็นหินโผล่ (outcrop) อยู่กลางที่ราบลุ่มน้ำ เช่น บ้านสบเมย อำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน หรือในลักษณะที่ฟอสเฟตโผล่เป็นก้อนขนาด 1 ถึง 2 เมตร โดยเกิดปนอยู่กับหินทรายในบริเวณที่ราบหรือเนินเล็กๆ เช่นที่บ้านโคกสูง และบ้านเหล่าขาม อำเภอเมืองจังหวัดร้อยเอ็ด

หินฟอสเฟตมีลักษณะที่แตกต่างกันหลายลักษณะ แต่ลักษณะเด่นๆ ได้แก่ สี ความพรุน และระดับการสลายตัวซึ่งเกี่ยวข้องกับความแข็ง หินฟอสเฟตในแหล่งเดียวกันอาจมีลักษณะแตกต่างกันได้บ้าง แต่ส่วนใหญ่จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน เพราะมีการกำเนิดที่คล้ายกัน จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของหินฟอสเฟต สรุปได้ดังนี้

(1) หินฟอสเฟตจากแหล่งหินฟอสเฟตบ้านนากาญจน์ มีตั้งแต่สีจางคือเหลืองซีดจนถึงสีเข้มคือสีดำ หินที่มีสีจางจะมีระดับการสลายตัวและความพรุนสูงกว่าหินที่มีสีเข้มซึ่งมีความแข็งมาก หินสีจางพบแร่แคลไซต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ/หรือฟอสเฟตตกผลึกอยู่ตามรุพรุนเป็นหย่อมๆ หินมีสีที่เข้มพบแร่ฟอสเฟตแทรกกระจายอยู่ในเนื้อหินทั่วไป มองดูคล้ายลายดอกเล็กละเอียด

(2) หินฟอสเฟตจากแหล่งหินฟอสเฟตเขาคันหอกโมกขธรรม มีตั้งแต่สีเหลืองปนเทาหรือปนน้ำตาลจนถึงน้ำตาลไหม้และดำปนเทา มีความพรุนตั้งแต่ต่ำถึงสูง และมีระดับการสลายตัวสูงกว่าแหล่งอื่นๆ หลายตัวอย่างมีลักษณะคล้ายก้อนดินแข็ง

(3) หินฟอสเฟตเขางู ส่วนใหญ่มีสีเทาดำ มีความพรุนต่ำและมีระดับการสลายตัวปานกลาง แต่น้อยกว่าแหล่งบ้านนากาญจน์และเขาคันหอกโมกขธรรม พบแหล่งแคลเซียมและ/หรือแร่ฟอสเฟตแทรกในเนื้อหินเป็นลายๆและพบอยู่ตามรูพรุนของหินด้วย

(4) หินฟอสเฟตจากแหล่งฟอสเฟตเพริก ส่วนใหญ่มีสีน้ำตาลเทาถึงเทาดำ มีความพรุนต่ำและมีระดับการสลายตัวค่อนข้างต่ำ พบแร่แคลไซต์ และ/หรือแร่ฟอสเฟตตามรูพรุนของหินด้วย

(5) หินฟอสเฟตจากแหล่งหินฟอสเฟตเขาทะลุ มีตั้งแต่สีจางคือเหลืองออกเขียวซีดและน้ำตาลเทาซีดจนถึงสีเข้มคือเทาดำ แต่ส่วนใหญ่มีสีเข้ม ตัวอย่างที่มีสีจางมีระดับการสลายตัวและความพรุนปานกลางค่อนข้างมาก ส่วนตัวอย่างที่มีสีเข้มมีระดับการสลายตัว และความพรุนต่ำ

พบว่าหินฟอสเฟตในประเทศไทยทั้ง 5 แหล่ง ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่แคลไซต์และแร่ฟอสเฟตในรูปวิทลอกไคต์ (whitlockite) อาจมีแร่ควอร์ตปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ปริมาณแร่ทั้ง 3 ชนิด จะมากหรือน้อยแตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 แร่ที่เป็นองค์ประกอบหลักในหินฟอสเฟตจากแหล่งต่างๆที่ศึกษาโดยวิธีการหักเหของรังสีเอ็กซ์

แหล่งหินฟอสเฟต	แร่ที่มีปริมาณมาก	แร่ที่มีปริมาณรองลงไป
บ้านนากาญจน์	$(Ca,Mg)_3(PO_4)_2$	$Ca_3(PO_4)_2$
เขาคันหอกโมกขธรรม	$CaCO_3$	$Ca_3(PO_4)_2$ และ SiO_2
เขางู	$CaCO_3$	$Ca_3(PO_4)_2$ และ SiO_2
เขาพริก	$CaCO_3$	$Ca_3(PO_4)_2$ และ SiO_2
เขาทะลุ	$Ca_3(PO_4)_2$	$CaCO_3$ เล็กน้อย

ที่มา จันทร์จิรา (2528)

หินฟอสเฟตทั้ง 5 แหล่ง ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญคือ ฟอสฟอรัส 0.8 ถึง 14.3 เปอร์เซ็นต์ (มี P_2O_5 1.83 ถึง 32.75 เปอร์เซ็นต์) แคลเซียม 22.6 ถึง 36.4 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม ตั้งแต่ต่ำกว่า 0.01 ถึง 8.80 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียมตั้งแต่ต่ำกว่า 0.01 ถึง 1.47 เปอร์เซ็นต์ และกำมะถันตั้งแต่ต่ำกว่า 0.01 ถึง 0.15 เปอร์เซ็นต์ โดยแต่ละแหล่งจะมีธาตุต่างๆแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.5 ปริมาณธาตุต่างๆที่พบในหินฟอสเฟตจากแหล่งต่างๆ

แหล่งฟอสเฟต	% P	% Ca	% Mg	% K	% S
บ้านนากาญจน์	3.2-14.3	23.6-33.0	0.14-1.11	0.04-0.48	0.02-0.15
เขาคันหอกโมกขธรรม	3.4-11.5	22.6-36.4	0.03-0.15	0.16-0.71	<0.01-0.02
เขางู	3.5-7.7	25.2-35.8	<0.01-0.01	0.10-1.47	<0.01-0.10
เขาพริก	0.8-13.13.6	28.3-34.2	0.38-0.53	0.04-0.22	<0.01-0.09
เขาทะลุ	1.6-11.6	26.4-30.5	0.10-8.80	<0.01-0.11	0.01-0.06

ที่มา : จันทร์จิรา (2528)

นอกจากนี้หินฟอสเฟสทั้ง 5 แหล่งยังมีธาตุอื่นๆ เป็นองค์ประกอบอีก เช่น ซิลิกอน อลูมิเนียม เหล็ก ไททาเนียม โซเดียม คลอรีน แมงกานีส โมลิบดินัม โครเมียม และแบเรียม ในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป ปริมาณฟอสเฟตในหินฟอสเฟตจากแหล่งต่างๆมีความแตกต่างกัน ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดโดยเฉลี่ย (average total P2O5) มีประมาณ 18.20 ถึง 38.19 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (average available P2O5) มีประมาณ 2.46 ถึง 5.49 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาณฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ของทุกแหล่งจะน้อยมากจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้

ตารางที่ 1.6 ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดและฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ในหินฟอสเฟตจากแหล่งต่างๆ

แหล่งฟอสเฟต	% total P_2O_5	% available P_2O_5
บ้านนากาญจน์	35.06-43.57	0.89-9.05
เขาคันหอกโมกขธรรม	10.67-34.00	0.37-5.28
เขางู	15.42-23.21	1.00-3.95
เขาพริก	1.11-36.85	0.47-9.47
เขาทะลุ	3.63-35.65	0.54-6.01

ที่มา : จันทร์จิรา (2528)

1.1.4 คุณภาพของหินฟอสเฟต

หินฟอสเฟตที่สำรวจพบในประเทศไทยมีปริมาณฟอสเฟตแตกต่างกันเป็นอย่างมากตามแหล่งที่พบ โดยมีปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด (total phosphate) อยู่ในช่วง 10 ถึง 40% P_2O_5 ส่วนใหญ่มีฟอสฟอรัสทั้งทั้งหมดประมาณ 30% P_2O_5 เมื่อใส่หินฟอสเฟตบดละเอียดเป็นปุ๋ยลงไปในดิน อัตราการละลายของฟอสฟอรัสออกมาจากปุ๋ยหินฟอสเฟตนั้นค่อนข้างช้าและมีปริมาณต่ำทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช และเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยฟอสเฟตประเภทที่เป็นประโยชน์ง่าย เช่น ดับเบิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (double superphosphate – มีฟอสเฟสที่เป็นประโยชน์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 40 ของน้ำหนักปุ๋ย) เมื่อใส่ในดินระยะแรกๆ ปุ๋ยหินฟอสเฟตจะให้ผลิตน้อย แต่ในระยะแรกๆ ปุ๋ยหินฟอสเฟตจะให้ผลิตเพิ่มขึ้นมากว่าในปีแรกในพืชหลายชนิด เช่น พืชตระกูลถั่ว ข้าว ข้าโพด และข้างฟ่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.5 ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟต

การนำหินฟอสเฟตมาใช้เพื่อเป็นปุ๋ยโดยตรงให้กับพืชนั้น ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตต่อพืชจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายประการ ได้

(1) ธรรมชาติของหินฟอสเฟต หินฟอสเฟตมีองค์ประกอบทางธรณีเคมี (geochemistry) แตกต่างกันไปในแต่ละแหล่งกำเนิด ซึ่งจะมีปริมาณแคลเซียมฟอสเฟตไม่แน่นอน แต่โดยทั่วๆ ไปแล้วจะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 10 ถึง 40% P_2O_5 ปริมาณของฟลูออรีนในหินฟอสเฟตมีความสำคัญต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟต หากมีฟลูออรีนมากจะทำให้หินฟอสเฟตมีความเสถียรต่อการสลายตัวเพื่อให้ฟอสเฟตอิออนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ยากขึ้น หินฟอสเฟตจากแหล่งธรณี (geographical source) ต่างกันจะมีประสิทธิภาพแตกต่างกันหินฟอสเฟตที่เกิดจากหินอัคนีจะสลายตัวให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไม่น้อยกว่าหินฟอสเฟตที่เกิดจากหินชั้น นอกจากนี้พืชต่างชนิดกันจะดูดฟอสฟอรัสจากหินฟอสเฟตไปใช้ประโยชน์ได้ต่างกัน และพบว่าหินฟอสเฟตที่มีปริมาณคาร์บอเนตสูงกว่าจะมีคุณภาพที่ดีกว่า

(2) ขนาดของอนุภาค (partical size) ของหินฟอสเฟต หินฟอสเฟตสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยให้แก่พืชชนิดต่างๆ ได้โดยไม่จำเป็นต้องนำมาผ่านกระบวนการทางเคมีใดๆ เพียงแต่นำหินฟอสเฟตมาบดให้ละเอียดเป็นผง แล้วนำไปใส่โดยตรงในดินที่ปลูกพืชความละเอียดของปุ๋ยหินฟอสเฟตขนาด 100 เมช (mesh) เพียงพอที่จะทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุดแม้ว่าบดให้ละเอียดมากกว่านี้ก็ไม่ทำให้ความเป็นประโยชน์ของหิยฟอสเฟตเพิ่มขึ้น

(3) ชนิดของดิน ดินต่างชนิดกันจะทำให้หินฟอสเฟตละลายได้ต่างกัน การใช้หินฟอสเฟตในดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างกัน การใช้หินฟอสเฟตในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นด่าง ให้ผลต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่มากเท่ากับการใช้ในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรด กล่าวคือหินฟอสเฟตจะมีประสิทธิภาพดีในดินกรด แต่ในดินที่เป็นกลางและดินที่เป็นด่าง หินฟอสเฟตไม่ช่วยให้น้ำหนักแห้งของพืชเพิ่มขึ้น ในการศึกษาหลายกรณีพบว่าในสภาพที่เป็นกรดนั้นหินฟอสเฟตจะมีประสิทธิภาพดีทัดเทียมกับปุ๋ยเคมีฟอสเฟตและปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต แต่ในดินที่เป็นกลางหินฟอสเฟตจะมีประสิทธิภาพต่ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของการใส่ปุ๋ย แต่สำหรับดินที่เป็นกรดปานกลาง (pH5.4) นั้น หินฟอสเฟตจะให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำกว่าปุ๋ยเคมีฟอสเฟตและปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตในระยะแรก แต่หากไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้นในปีต่อๆไปไม่ต่างกับซุปเปอร์ฟอสเฟต นอกจากนี้ยังพบว่าหินฟอสเฟตที่มีแร่อะพาไทต์อยู่มากส่วนใหญ่จะละลายได้ดี และเป็นประโยชน์ต่อพืชในดินสภาพเป็นกรด แต่หินฟอสเฟตพวกที่มีเหล็กฟอสเฟตและอะลูมิเนียมฟอสเฟตเป็นแร่หลักสามารถนำไปใช้ได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นด่าง (pH) สูง อย่างไรก็ตาม สาเหตุที่หินฟอสเฟตละลายได้ต่างกันในดินต่างชนิด ในบางกรณีมิใช่เนื่องมาจากความเป็นกรด-ด่างของดินเพียงปัจจัยเดียว แต่จะยังขึ้นอยู่กับดัชนีของการดูดซับฟอสฟอรัส (index of P-adsorption) ของดินด้วย เมื่อเปรียบเทียบหินฟอสเฟตกับปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตในดินกรด 4 ชนิด พบว่าในดิน 3 ชนิด ประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตขึ้นกับเปอร์เซ็นต์การละลายของหินฟอสเฟต แต่ในดินอีกชนิดหนึ่งหินฟอสเฟตกลับมีประสิทธิภาพทัดเทียมกันกับซุปเปอร์ฟอสเฟต ความแตกต่างนี้ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพันธ์กับความเป็นกรด-ด่างของดิน แต่สัมพันธ์กับค่าดัชนีของการดูดซับฟอสฟอรัส ดังนั้นที่มีค่าบัฟเฟอร์ (buffer capacity) ของแคลเซียม(Ca^{++}) และฟอสเฟต ($PO_4^{=}$) สูงจะมีผลทำให้หินฟอสเฟตละลายได้ดีขึ้น และมีการปลดปล่อยฟอสเฟตจากดินออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น

(4) ชนิดของพืช พืชต่างชนิดกันมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากหินฟอสเฟตแตกต่างกันไป พืชที่มีระยะการเจริญเติบโต เช่น ไม้ผลทุ่งหญ้า จะใช้ประโยชน์จากหินฟอสเฟตได้ดีกว่า ทั้งนี้เพราะปุ๋ยหินฟอสเฟตมีผลตกค้างในดินนาน ส่วนพืชฤดูเดียว (annual crop) ใช้ประโยชน์จากหินฟอสเฟตได้น้อยกว่าโดยเฉพาะในช่วงแรกของการใส่ปุ๋ย อย่างไรก็ตามความสามารถในการใช้หินฟอสเฟตของพืชฤดูเดียวก็ต่างกันไป เช่นข้าวฟ่างสามารถใช้หินฟอสเฟตได้ดีกว่าถั่วลิสงโดยเฉพาะในปีแรกที่ใส่ปุ๋ยมันฝรั่งสามารถใช้ประโยชน์จากหินฟอสเฟตได้ดีกว่าถั่ว นอกจากนี้ยังพบว่ารากของพืชหลายชนิดสามารถปลดปล่อยกรดอินทรีย์ต่างๆ ออกมาละลายหินฟอสเฟตให้เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น โดยมีตัวอย่างจากการศึกษาของ International Institute of Tropical Agriculture (IITA) ที่ทำการทดลองในประเทศไนจีเรีย พบว่า รากของมูคูน่า (Mucuna) ซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่ว สามารถหลั่งกรดอินทรีย์ ที่ละลายหินฟอสเฟตได้ทำให้สามารถใช้หินฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตในการปลูกพืชชนิดนี้ได้ดีเป็นอย่างดี

(5) อิทธิพลของสารที่ใส่ลงไปในดินต่อความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟต สารที่ใส่ลงไปในดินเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ มีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตต่อพืชได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น

(5.1) การใส่ปูนมีผลทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินเพิ่มขึ้นและมักมีผลในทางลบต่อความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟต โดยทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตลดลงและมีผลต่อพืชหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี เมื่อเติมปูนลงไปในดิน

(5.2) การเติมกรด ความเป็นกรดมีอิทธิพลโดยช่วยให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น ไม่ว่าจะเป็นกรดอินทรีย์หรือกรดอนินทรีย์ การเติมกรดซัลฟูรัส (H_2PO_4) ลงไปในดิน ทำให้การละลายของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้กรดฮิวมิกก็ทำให้หินฟอสเฟตทั้งประเภทที่ผ่านการเผาและไม่ผ่านการเผาด้วยความร้อนละลายได้ดีขึ้นเช่นกัน หากกรดฮิวมิคมีกลุ่มที่ทำปฏิกิริยา (functional group) มากก็จะทำให้การละลายของหินฟอสเฟตดีขึ้นทั้งนี้จะขึ้นกับชนิดของหินฟอสเฟตด้วย

(5.3) การใส่กรดกำมะถัน โดยที่กำมะถันเป็นธาตุที่มีผลกระทบต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลง จึงมีผลต่อการละลายของหินฟอสเฟตและการดูดซึมฟอสฟอรัสของพืช การใส่กำมะถันลงไปในดินที่ค่อนข้างเป็นกลาง (pH 6.7) ในสภาพที่ความชื้นจะทำให้การดูดซึมฟอสฟอรัสดีขึ้นในพืชหลายชนิด เช่น ข้าวฟ่างและถั่วลิสง ในดินที่มีความเป็นกรด-ด่างสูงจะให้ผลทำนองเดียวกัน ทั้งนี้การใส่กำมะถันจะต้องใส่ในอัตราที่เหมาะสม ถั่วเหลืองจะมีการตอบสนองต่อการใส่กำมะถันร่วมกับหินฟอสเฟต แต่พวกหญ้าสไตโล จะไม่ตอบสนองต่อการใส่กำมะถัน นอกจากการใช้กำมะถันโดยตรงแล้วแร่ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แร่ไพไรท์ ก็พบว่ามีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟต โดยทำให้หินฟอสเฟตเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกพืชในดินด่าง เช่นถั่วเหลือง มันฝรั่ง และข้าวโพด

(5.4) การใส่อินทรียวัตถุ การใส่อินทรียวัตถุลงไปในดินจะช่วยทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของอินทรียวัตถุด้วย หากเป็นอินทรียวัตถุที่สลายตัวง่าย เช่น น้ำตาลซูโครสและกลูโคส เมื่ออินทรียวัตถุเหล่านี้เกิดการสลายตัวในดิน จะก่อให้เกิดกรดอินทรีย์ต่างๆ ทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่ปุ๋ยคอกช่วยให้การละลายของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้นเช่นกัน

(5.5) การใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีบางชนิด เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต และโพแทสเซียมคลอไรด์ลงไปในดินมีผลทำให้หินฟอสเฟตเป็นประโยชน์ต่อข้าวมากขึ้น ส่วนการใช้ปุ๋ยยูเรียนั้นช่วยให้หินฟอสเฟตละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากยูเรียช่วยย่อย (hydrolyse) อินทรียวัตถุในดินก่อให้เกิดสารประกอบที่ไปเกาะกับแคลเซียมทำให้การละลายของหินฟอสเฟตดีขึ้น นอกจากนี้ปุ๋ยยูเรียเมื่อใส่ลงไปในดินจะทำให้ดินมีฤทธิ์เป็นด่างในระยะแรกแล้วเปลี่ยนเป็นกรดในภายหลังจึงมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตด้วย

1.1.6 การใช้หินฟอสเฟสเป็นปุ๋ย

หินฟอสเฟตสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยหินฟอสเฟตและใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตอื่นๆ ได้ แต่หินฟอสเฟตนั้นควรมีปริมาณมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ (หรือ 8.6 เปอร์เซ็นต์ P) และควรมีปริมาณฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (คิดในรูป P_2O_5) ตั้งแต่ 3 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป (1.29 เปอร์เซ็นต์ P) จึงจะเหมาะสมและใช้ทำเป็นปุ๋ยหินฟอสเฟตได้ดี ปุ๋ยหินฟอสเฟตนี้ นอกจากจะให้ธาตุฟอสฟอรัสแล้ว ยังให้ธาตุอาหารพืชอื่นๆ ได้แก่ ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอีกด้วย

การนำหินฟอสเฟตมาทำปุ๋ยหินฟอสเฟตนั้นจะต้องแปรสภาพหินให้เหมาะสมเสียก่อน การแปรสภาพทางฟิสิกส์เป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้หินฟอสเฟตเหมาะสมต่อการใช้มากขึ้นได้แก่วิธีการ 2 วิธีต่อไปนี้

(1) การบดหินฟอสเฟต การบดให้เป็นผงละเอียด เช่น บดให้มีขนาดของอนุภาค 100 เมช (mesh) แล้วจึงนำไปใช้เป็นปุ๋ย เรียกว่าหินฟอสเฟตบด

(2) การเผาหินฟอสเฟต การนำหินฟอสเฟตไปเผาที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 1,100 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำไปใช้เป็นปุ๋ย เช่น ปุ๋ย rhenamia phosphate ที่ผลิตขึ้นใช้ในออสเตรเรีย

การนำหินฟอสเฟตมาใช้โดยตรงนั้น ความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตที่มีต่อพืชนั้นจะขึ้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ

(2.1) ธรรมชาติของหินฟอสเฟต หินฟอสเฟตที่เกิดจากแหล่งต่างๆกัน จะมีปริมาณฟอสเฟตที่ละลายออกมาให้พืชใช้ได้แตกต่างกัน อรุณ และคณะ (2513) พบว่าหินฟอสเฟตที่เกิดจากหินอัคนี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีคุณภาพต่ำกว่าหินฟอสเฟตที่เกิดจากหินชั้น ส่วน Gomez และคณะ (1980) ได้สรุปว่า หินฟอสเฟตที่มีคาร์บอเนตสูงสุดจะมีคุณภาพที่ดีที่สุด

(2.2) ชนิดและสภาพของดิน ดินที่มีสภาพเป็นกรด–ด่างที่แตกต่างกัน จะมีผลมีผลทำให้การละลายของหินฟอสเฟตแตกต่างกันด้วย โดยปกติแล้วความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตจะมีประสิทธิภาพดีในดินกรด สูงกว่าดินที่เป็นกลางและเป็นด่างตามลำดับ นอกจากนี้ ความมากน้อยของการละลายของหินฟอสเฟตยังขึ้นอยู่กับค่าดัชนีการดูดซับฟอสฟอรัส (index of P-adsorption) ของดินด้วย

(2.3) ขนาดของอนุภาคของหินฟอสเฟต หินฟอสเฟตที่ใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงจะเป็นประโยชน์ต่อพืชมากยิ่งขึ้นเมื่อขนาดของอนุภาคเล็ก Cook (1980) รายงานว่า การบดหินฟอสเฟตให้มีขนาด 100 เมช ก็เพียงพอ การบดให้ละเอียดมากกว่านี้ ไม่มีความจำเป็นเพราะทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่มีต้นทุนสูงอีก

(2.4) การใส่ปูน การใส่ปูนจะทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตลดลง sidik และคณะ (1978) รายงานว่าการใส่แคลเซียมคาร์บอเนตลงไปทำให้อิทธิพลของกรดฮิวมิคที่ช่วยให้หินฟอสเฟตละลายได้ดีขึ้นนั้นหมดไป จึงทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตลดลงได้

(2.5) การเติมกรด กรดช่วยให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น การเติมกรดซัลฟูรัส (H_2SO_3) ลงไปในดินจะทำให้การละลายของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น (Collins และ Laver, 1976) Sadik และคณะ (1978) รายงานว่ากรดฮิวมิคมีอิทธิพลทำให้หินฟอสเฟสทั้งประเภทที่ผ่านการเผาด้วยความร้อนและไม่ผ่านการเผา ละลายได้ดีเช่นกัน และถ้าหากกว่ากรดอิวมิคมี functional group มาก ก็จะทำให้การละลายของหินฟอสเฟตดีขึ้น นอกจากนี้แล้ว Marwaha และคณะ (1981) รายงานว่าการใส่กรดฟอสฟอรัสลงไปจะทำให้ประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตดีขึ้น และพบว่าการเติมกรดนี้จะทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้นมากกว่าการเติมกรดออกซาลิค

(2.6) การใส่กำมะถัน กำมะถันเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญโตของพืชและมีผลกระทบต่อความเป็นกรดเป็นด่างของดิน การใส่กำมะถันลงไปในดินที่มี pH ประมาณ 6.7 ในสภาพความจุความชื้นสนามจะทำให้หินฟอสเฟตละลายออกมาได้ดี การใส่กำมะถันในอัตราที่เหมาะสมลงไปในดินที่มี pH สูง จะทำให้หินฟอสเฟตละลายออกมาได้มากขึ้น แต่ถ้าหากใส่กำมะถันในอัตราที่ต่ำเกินไปจะมีผลทำให้การละลายของหินฟอสเฟตและปริมาณฟอสเฟตที่พืชดูดไปใช้ลดลง Jone และ Bromfield (1974) รายงานว่าการใส่กำมะถันในอัตรส่วน P:S เท่ากับ 1 : 0.7 จะทำให้พืชตอบสนองต่อหินฟอสเฟตทัดเทียมกับการใช้ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต Ahmed และคณะ (1969) รายงายว่าการใส่กำมะถันลงในดินนาน้ำขัง ไม่ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชดูดมาใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้นแต่ในบางกรณีการใช้กำมะถันผงร่วมกับเชื้อ *Thiobacillus* จะทำให้หินฟอสเฟตละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.7) การใส่อินทรียวัตถุ การใส่อินทรียวัตถุบางชนิดลงไปในดินจะช่วยให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟสเพิ่มขึ้น อินทรียวัตถุที่สลายตัวได้ง่าย เช่น กลูโคส และซูโคส จะทำให้ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตสูงขึ้น เช่นเดียวกันกับปุ๋ยคอกซึ่งทำให้การละลายของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น แต่การใส่แป้งไม่ทำให้การเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น

(2.8) การใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ปุ๋ยเคมีบางชนิด เช่น แอมโมเนียมซัลเฟส และโพแทสเซียมคลอไรด์ ลงไปในดิน จะทำให้หินฟอสเฟตเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น แต่บางโอกาสก็ทำให้การละลายของหินฟอสเฟตลดลงได้ เพราะปุ๋ยดังกล่าวมีผลทำให้ความจุในการดูดซับฟอสฟอรัสของดินเพิ่มขึ้น ฟอสฟอรัสที่ละลายได้ในดินจึงลดลง สาเหตุที่พืชดูดฟอสฟอรัสได้เพิ่มขึ้นนั้นเนื่องจากปุ๋ยที่ใส่ลงไปจะกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ทำให้พืชดูดฟอสฟอรัสได้มากขึ้นด้วย อาจไม่ใช่เป็นสาเหตุจากหินฟอสเฟตละลายออกมามากขึ้นโดยตรง แต่ในกรณีของปุ๋ยยูเรียนั้นพบว่าทำให้ฟอสฟอรัสละลายออกมามากขึ้น เนื่องจากปุ๋ยยูเรียจะเร่งสลายการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ เกิดสารอินทรีย์ที่สามารถเกิดคีเลตกับแคลเซียม ส่งผลให้การละลายของหินฟอสเฟตดีขึ้นได้

(2.9) การขังน้ำ การขังน้ำจะทำให้หินฟอสเฟตเป็นประโยชน์ต่อข้าวมากขึ้น เนื่องจากมีธาตุอาหารอื่นที่มีประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี สามารถดูดฟอสฟอรัสมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

(2.10) ชนิดของพืช พืชต่างชนิดกันมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากหินฟอสเฟตได้แตกต่างกัน หินฟอสเฟตมักมีผลตกค้างในระยะยาวจึงใช้ได้ผลดีสำหรับพืชที่มีระยะการเจริญเติบโต เช่นไม้ผล ทุ่งหญ้า อย่างไรก็ตาม พืชฤดูเดียว เช่นข้าวโพด ข้าวฟ่าง และถั่วต่างๆ ก็ตอบสนองต่อการใช้หินฟอสเฟตได้ดีเช่นกัน

1.1.7 การใช้หินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยโดยตรง

เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นหนึ่งในธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช ถึงแม้ว่าปริมาณที่พบในดินพืชจะน้อยกว่าไนโตรเจนก็ตาม แต่ฟอสฟอรัสก็เป็นธาตุที่จำเป็นในการสร้างพลังงานเพื่อให้ผลผลิต ทำให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว โดยทั่วไปแล้วดินในแถบเอเชียจะมีฟอสฟอรัสทั้งหมด และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ การใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในการผลิตพืชจึงเป็นสิ่งจำเป็น

ฟอสฟอรัสที่ใช้ใส่ปุ๋ยเคมีในปัจจุบัน ได้มาจากหินฟอสเฟตเพียงแหล่งเดียวเท่านั้น โดยต้องผ่านกระบวนการต่างๆ ในการผลิตหลายขั้นตอน จึงทำให้ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสมีราคาค่อนข้างสูง โดยเฉพาะปุ๋ยที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ง่ายดังนั้นจึงเกิดความสนใจนำหินฟอสเฟตมาใช้โดยตรงมากขึ้น โดยเฉพาะในประเทศด้อยพัฒนาซึ่งมีแหล่งหินฟอสเฟตสะสมอยู่มาก ในบางประเทศเกษตรกรมีการใช้หินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยโดยตรงมานานแล้ว เนื่องจากการใช้หินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยโดยตรงเป็นการลดต้นทุนค่าปุ๋ยลงไปมาก เนื่องจากไม่ต้องผ่านกระบวนการผลิตหลายขั้นตอนเพียงนำหินฟอสเฟตมาบด ให้ได้ขนาดตามต้องการก็สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้ว การนำหินฟอสเฟตในท้องถิ่นมาใช้เพื่อเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสสำหรับพืชที่ปลูกในดินกรดเป็นการลดต้นทุนค่าปุ๋ยลงไปได้หลายประเทศในทวีปเอเชีย เช่น ประเทศไทย กัมพูชา ศรีลังกา และเวียดนาม มีการใช้หินฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสโดยตรงและกว่าร้อยละ 60 ของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ในการเกษตรกรรม ในประเทศมาเลเซียได้มาจากหินฟอสเฟต นอกจากนี้ประเทศมาเลเซียเองยังมีโครงการวิจัยและพัฒนาระดับชาติร่วมกับหลายๆประเทศด้านการใช้ประโยชน์จากหินฟอสเฟตเพื่อการเกษตรอีกด้วย

หินฟอสเฟตที่นำมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงอาจไม่เหมาะสำหรับการเกษตรที่ต้องทำอย่างประณีตและต้องการผลิตสูง เนื่องจากหินฟอสเฟตไม่สามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสให้กับพืชในดินปลูกที่ขาดแคลนฟอสฟอรัสและต้องการฟอสฟอรัสสูงได้อย่างเพียงพอ แต่การบดหินฟอสเฟตให้ละเอียดมีความเหมาะสมสำหรับเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสในดินที่เป็นกรด โดยเฉพาะในแถบร้อนพื้นที่ที่ผลผลิตยังไม่สูงและไม่ขาดแคลนกำมะถันเพราะหินฟอสเฟสเป็นฟอสฟอรัสที่ราคาถูกที่สุด

การใช้ปุ๋ยฟอสเฟตเป็นปุ๋ยโดยตรงนั้นผลที่ได้มักจะไม่มีความแน่นอนขึ้นกับปัจจัยต่างๆมากมายของหินฟอสเฟต เช่น ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ ชนิด และองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละแหล่งของหินฟอสเฟตรวมทั้งอิทธิอื่นๆ เช่น คุณสมบัติของดิน ชนิดของพืชปลูก สภาพแวดล้อมและปัจจัยในการจัดการด้วย ซึ่งความเป็นประโยชน์ของพืชต่อหินฟอสเฟตขึ้นอยู่กับสมดุลของฟอสฟอรัสเมื่ออยู่ในดิน เมื่อมีหินฟอสเฟตในดินมาก สมดุลจะเคลื่อนมาทางขวา การละลายของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้นพืชจึงมีโอกาสได้ประโยชน์มากขึ้น แม้จะข้อจำกัดในการปลูกในการใช้หินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยโดยตรงอยู่บ้าง แต่การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตในการเพาะปลูกพืชก็มีประโยชน์หลายประการดังนี้

(1) หินฟอสเฟตเป็นแร่ธรรมชาติที่ต้องใช้กระบวนการทำเป็นปุ๋ยหินฟอสเฟตเพื่อการเพาะปลูกโดยตรงเพียงเล็กน้อยด้วยการบด การลดหรือการเลี่ยงการใส่ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตที่ละลายได้ดี ซึ่งผ่านกระบวนการละลายด้วยกรดโดยการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตแทนจะเป็นการอนุรักษ์พลังงานและลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่นการเกิดแก๊สเรือนกระจกซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ของโลกศตวรรษนี้ เป็นต้น

(2) เนื่องจากเป็นสารประกอบธรรมชาติ การใช้หินฟอสเฟตในการเพาะปลูก จึงจัดเป็นการทำเกษตรอินทรีย์ ซึ่งเป็นความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ

(3) เป็นการใช้ประโยชน์หินฟอสเฟตมีปริมารสะสมน้อยหรือมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมซึ่งไม่สามารถในการใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยเคมีและกรดฟอริกได้

(4) หินฟอสเฟตมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยธาตุอาหารฟอสฟอรัสให้กับพืชได้ดีกว่าปุ๋ยฟอสฟอรัสละลายน้ำ เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาและความต่อเนื่องของการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในดิน

(5) เมื่อเทียบราคาต่อหน่อยของธาตุฟอสฟอรัสแล้ว หินฟอสเฟตมีราคาถูกที่สุดเมื่อกับปุ๋ยเคมีทุกชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) เนื่องจากหินฟอสเฟตมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างหลายหลายทำให้หินฟอสเฟตเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชชนิดอื่นนอกจากฟอสฟอรัสซึ่งธาตุอาหารเหล่านั้นล้วนส่งผลต่อการเจริญเติบโตของและการสร้างผลผลิตของพืชผ่านกระบวนการต่างๆในดิน เช่น เพิ่มกระบวนการแลกเปลี่ยนแคลเซียมอิออน ลดความเป็นของอลูมิเนียม ส่งผลให้ทั้งผลผลิตพืชและซากพืชที่เหลือมีคุณค่าทางอาหารที่ดีขึ้น ทั้งยังพบซากพืชที่เหลือในพื้นที่เพาะปลูกจะช่วยส่งเสริมกรรมทางชีวภาพในดินที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตต่างๆก่อให้เกิดการสะสมคาร์บอนซึ่งนำไปสู่การฟื้นฟูหรือปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินจะเห็นว่าหินฟอสเฟตมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินและควบคุมการย่อยสลายธาตุอาหารต่างๆ ภายในดินทางอ้อม

สำหรับข้อสังเกตในการใช้หินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยแก่พืชโดยตรง ได้แก่

(1) หินฟอสเฟตจากบางแหล่งไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรง จึงจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายก่อนโดยกระบวนการชีวภาพหรือเคมีกายภาพ โดยใช้เทคโนโลยีเข้าช่วย จึงจำเป็นต้องมีการประเมินคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นรายกรณีไป

(2) หินฟอสเฟตที่แตกต่างกันจะมีความเหมาะสมและให้ผลต่อดินและระบบการเพาะปลูกพืชที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดคุณสมบัติด้านมาตรฐาน คุณภาพเพื่อเป็นแนวทางของการเลือกใช้

(3) ปัจจุบันข้อมูลด้านปัจจัยหลักและสภาวะที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการใช้หินฟอสเฟตในการเพาะปลูกยังมีไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถคาดเดาสถานการณ์ประสิทธิภาพของการใช้หินฟอสเฟตที่จะมีผลต่อผลิตได้ ตลอดจนยังขาดการประเมินข้อมูลด้านปัจจัยทางเศรษฐกิจสังคม ความคุ้มค่าทางการเงิน รวมทั้งความชัดเจนของนโยบายรัฐบาล ขณะนี้ได้มีโครงการความร่วมมือระหว่างประเทศในทวีปต่างๆ ในการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจใช้ปุ๋ยฟอสเฟตเป็นปุ๋ยโดยตรง โดยการสร้างฐานข้อมุลซึ่งรวบรวมปัจจัยทั้งหมดที่มีอิทธิพลต่อการใช้และการนำเทคโนโลยีปุ๋ยหินฟอสเฟตไปใช้

(4) หากนำหินฟอสเฟตคุณภาพต่ำมาใช้จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสคุณภาพสูง จึงควรมีการวิเคราะห์คุณภาพหินฟอสเฟต และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ก่อนนำหินฟอสเฟตจากแต่ละแหล่งมาใช้

(5) หินฟอสเฟตที่ได้จากการตกตะกอนทางเคมี โดยเฉพาะการตกตะกอนในทะเล มีองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างที่ซับซ้อนหลากหลาย ซึ่งบางแหล่งอาจมีโลหะหนัก เช่น แคดเมียม หรือแม้แต่สารกัมมันตรังสีเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ดังนั้นการนำหินฟอสเฟตจากแหล่งดังกล่าวมาใช้ในการเกษตรจึงอาจก่อให้เกิดอันตรายได้หากมีการละลายของสารพิษดังกล่าวในดินจนถึงระดับความเข้มข้นหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.8 งานวิจัยการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตระดับนานาชาติ

ด้วยคุณประโยชน์และความสำคัญของหินฟอสเฟตต่อการเพิ่มผลผลิตการเกษตรโดยการใช้ทรัพยากรหินฟอสเฟตที่มีเพื่อการพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะสำหรับประเทศด้อยพัฒนาและประเทศกำลังพัฒนาจึงมีหน่วยงานระดับนานาชาติ คือ Internation Center for Soil Fertility and Agricultural Development (IFDC) ที่ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้หินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยโดยตรง โดยการปรับปรุงคุณภาพหินฟอสเฟตด้วยการเพิ่มแคลเซียม ย่อยสลายบางส่วนด้วยกรด หรืออัดเม็ดร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ดี ตลอดจนการปรับปรุงคุณภาพหินฟอสเฟตด้วยการเพิ่มแคลเซียม ย่อยสลายบางส่วนด้วยกรด หรืออัดเม็ดร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ดี ตลอดจนการปรับปรุงประสิทธิภาพการดูดซึมของพืชโดยการใช้เทคโนโลยีชีวภาพ IFDC ได้ทำการวิจัยและประเมินผลการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตดังกล่าวในหลายประเทศ ได้แก่ ตูนิเซีย จอร์แดน อัลจีเรีย อินเดีย จีน ออสเตรเลีย และเซเนกัล นอกจากการวิจัยและประเมินผลดังกล่าวแล้ว IFDC ยังได้พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจใช้หินฟอสเฟต (Phosphate Rock Decision Support System, PRDSS) โดยการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้พยากรณ์ประสิทธิภาพการใช้หินฟอสเฟตพร้อมทั้งสร้างฐานข้อมูลหินฟอสเฟตประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ เช่น ปริมาณฟอสฟอรัส ความสามารถในการละลายของหินฟอสเฟต จากตัวอย่างทั้งที่บดและไม่บด 76 ตัวอย่าง ที่มีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกันอย่างกว้างขวางในส่วนของข้อมูลผลวิเคราะห์การละลายของหินฟอสเฟต นี้ IFDC ได้พัฒนาวิธีการมาตราฐานขึ้นมาใหม่เป็นการเฉพาะเพื่อให้สามารถใช้ในการเปรียบเทียบหินฟอสเฟตจากแหล่งต่างๆได้อย่างเหมาะสม IFDC ยังได้ทำการทดสอบในเรือนทดลอง เพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมถึงประสิทธิภาพการทดลองของPRDSS นอกจากนี้ IFDC ยังได้ออกแบบและอยู่ระหว่างทำการทดสอบในภาคสนามเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของ PRDSS ในทวีปต่างๆ ได้แก่ แอฟริกา เอเชีย และอเมริกาใต้ โดยในแอฟริกาทำการทดสอบในประเทศโตโก มาลี และแทนซาเนีย ทวีปเอเชียทำการทดสอบในประเทศไทย มาเลเซีย และเวียดนาม ส่วนอเมริกาใต้ทำการทดสอบในประเทศบราซิล และอาร์เจนตินา

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าประเทศต่างๆ ให้ความสำคัญต่อการนำหินฟอสเฟตมาใช้เพิ่มผลผลิตการเกษตรเพียงใด

จากการเล็งเห็นความสำคัญของการใช้หินฟอสเฟตเป็นแหล่งธาตุฟอสฟอรัสราคาถูกเพื่อการผลิตทางการเกษตร หลายประเทศทั่วโลกจึงมีความพยายามที่จะปรับปรุงคุณภาพหินฟอสเฟตให้เป็นประโยชน์และมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นด้วยวิธีต่างๆ เช่น การทำปฏิบัติกับกรด การทำให้แตกสลายด้วยความร้อน เป็นต้น

ในปัจจุบันผลของการสั่งสมองค์ความรู้ด้านจุลินทรีย์ดิน ประกอบเข้ากับความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีชีวภาพ ทำให้ทราบถึงบทบาทของกลุ่มจุลินทรีย์ดินที่มีความพิเศษ เนื่องจากสามารถเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินให้แก่พืช ทั้งจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ฟอสเฟต และกระบวนการละลายอนินทรีย์ฟอสเฟต โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่เรียกว่า กลุ่มจุลินทรีย์พีเอสเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตหรือกลุ่มจุลินทรีย์พีเอสเอ็ม (Phosphate Solubilizing Microorganisms,PSM)

พีเอสเอ็ม เป็นกลุ่มของจุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรียและราที่มีความสามารถในการละลายฟอสฟอรัส โดยการเปลี่ยนรูปจากสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำให้ไปอยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำได้ โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้นอกจากจะละลายฟอสเฟตและดูดดึงไปใช้แล้วปลดปล่อยฟอสเฟตที่เกินความต้องการให้แก่ดินแล้ว ยังละลายฟอสเฟตจากที่ถูกตรึงในดิน รวมทั้งจากหินฟอสเฟตที่ใส่ลงไปจึงช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์แก่พืชในดินให้สูงขึ้น เราสามารถแยกจุลินทรีย์พีแอสอ็มได้จากแหล่งหินฟอสเฟต และบริเวณรากพืชโดยเฉพาะพืชตระกูลถั่ว

จุลินทรีย์พีเอสเอ็มที่เติมให้แก่หินฟอสเฟตมีบทบาทอย่างสูงในการปรับปรุงหินฟอสเฟตคุณภาพต่ำที่ไม่สามารถนำไปใช้ผลิตปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสได้ของประเทศอินเดีย ให้สามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยฟอสเฟตในดินที่เป็นกลางและเป็นด่างได้

จากประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นจึงมีการนำจุลินทรีย์พีเอสเอ็มมาผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพที่ให้ธาตุอาหารฟอสฟอรัสแก่พืช ซึ่งเป็นกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพที่ใช้ต้นทุนต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.1.9 ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตต่อพืช

ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตต่อพืชประกอบด้วยกันหลายประการ ดังนี้

(1) ปริมาณฟลูออไรด์ในแร่ ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตที่มีฟลุออ-อะพาไทต์ [$Ca_{10}F_2(PO_4)_6$] เป็นองค์ประกอบต่อพืช จะมากน้อยเพียงใดขึ้นกับปริมาณของฟลูออไรด์ในแร่นั้น ยิ่งมีฟลูออไรด์สูงเท่าใดก็ยิ่งละลายน้ำยาก เนื่องจากอนุมูลฟลูออไรด์มี electronegativity สูงนั่นเอง จากการทดลองใช้หินฟอสเฟตบดที่มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ต่างๆกัน ใส่ให้แก่หญ้าซูดานปรากฏว่าพืชที่ได้รับหินฟอสเฟตซึ่งมีฟลูออไรด์ต่ำสุดให้ผลผลิตสูงสุด

(2) ความสามารถของพืชที่ดึงดูดธาตุอาหารมาจากหินฟอสเฟต ซึ่งแต่ละชนิดมีความสามารถในการใช้ฟอสเฟตจากปุ๋ยนี้แตกต่างกัน พืชตระกูลถั่วมีแนวโน้มที่จะใช้ได้ดีกว่าพืชตระกูลหญ้า นอกจากนั้นพืชซึ่งมีไมคอไรซา (mycorrhiza) จะมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากหินฟอสเฟตสูงขึ้นด้วย

(3) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน อินทรีย์วัตถุในดินหรือปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ ช่วยให้พืชได้รับประโยชน์จากหินฟอสเฟตมากขึ้น เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ จะละลายน้ำได้กรดคาร์บอน ถ้ากรดนี้มีมากพอจะช่วยละลายอะพาไทต์ได้ ดังสมการ

$$Ca_{10}(PO_4)_6CO_3 + 6H_2CO_3 \longrightarrow 3Ca(H_2PO_4)_2 + 7CaCo_3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และขณะอินทรีย์วัตถุในดินสลายตัว ธาตุอาหารที่เคยอยู่ในรูปอินทรีย์สารจะเปลี่ยนสภาพมาเป็นอนินทรีย์สาร กล้าพืชอาจใช้ธาตุอาหารส่วนนี้ในระยะแรก และขยายพื้นที่ผิวรากได้มาก จากนั้นก็สามารถใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในหินฟอสเฟตได้ดีขึ้น จากแนวความคิดนี้เองจึงมีผู้ทำปุ๋ยพืชสด หลังจากหว่านปุ๋ยหินฟอสเฟต โดยใช้สวีทโคลเวอร์ ซึ่งเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์จากหินฟอสเฟตได้ดีเสียก่อน เพื่อให้ฟอสเฟตจากปุ๋ยมาอยู่ในปุ๋ยพืชสด แล้วสลายจากปุ๋ยพืชสดไปเป็นประโยชน์กับพืชหลัก

(4) ความละเอียดของปุ๋ย โดยปกติหินฟอสเฟตบดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมักมีขนาดของอนุภาคที่ผ่านตะแกรง 100 เมชแล้วประมาณร้อยละ 90 ซึ่งเหมาะแก่การใช้ การบดให้ละเอียดกว่านี้ แม้จะเพิ่มความเป็นประโยชน์แก่พืช แต่ก็มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอีกมาก

(5) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน การใช้หินฟอสเฟตบดจะได้ผลดีต่อเมื่อใช้ในดินที่มีปฏิกิริยาค่อนข้างเป็นกรด เนื่องจากกรดในดินจะช่วยละลายได้ดีขึ้น หินฟอสเฟตสามารถใช้เป็นปุ๋ยข้าวได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินนาที่เป็นกรดจัด ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

1. ชื่อพันธุ์ข้าว : กข31 - RD31 (ปทุมธานี 80)

2. ชนิดของข้าว : ข้าวเจ้า

3. ประวัติพันธุ์ข้าว : จากการผสมพันธุ์ระหว่าง สายพันธุ์ SPR85163-5-1-1-2 กับสายพันธุ์ IR54017-131-1-3-2 ที่ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี เมื่อ พ.ศ. 2536 ปลูกคัดเลือก ตั้งแต่ พ.ศ. 2537 ถึง พ.ศ. 2539 ได้สายพันธุ์ SPR93049-PTT-30-4-1-2 ศึกษาพันธุ์ ประเมินลักษณะประจำพันธุ์และลักษณะทางการเกษตร ทดสอบความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูข้าวที่สำคัญ วิเคราะห์คุณภาพเมล็ดทางกายภาพและเคมีที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ประเมินผลผลิตและทดสอบการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน ในศูนย์วิจัยข้าวภาคกลาง และปลูกเปรียบเทียบผลผลิตในนาเกษตรกร 8 จังหวัดในภาคกลาง จนถึง พ.ศ. 2549

4. การรับรองพันธุ์ข้าว : โดยคณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ กรมการข้าว มีมติให้เป็นพันธุ์รับรอง ชื่อ กข31 (ปทุมธานี 80) เพื่อแนะนำให้เกษตรกรปลูก เมื่อวันที่ 6 มีนาคม 2550

5. ลักษณะประจำพันธุ์ :

- เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง กอตั้ง ต้นแข็งไม่ล้มง่าย ต้นสูงเฉลี่ย 117 เซนติเมตร
- อายุเก็บเกี่ยว 118 วัน เมื่อปลูกโดยวิธีปักดำ และ 111 วัน เมื่อปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตม
- ใบสีเขียว กาบใบสีเขียว ใบธงตั้ง
- คอรวงยาว รวงยาว 29.9 เซนติเมตร ติดเมล็ด 90 เปอร์เซ็นต์
- จำนวนเมล็ดดีต่อรวง 130 เมล็ด นวดง่าย เปลือกเมล็ดสีฟาง เมล็ดไม่มีหา
- น้ำหนักข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด 30.35 กรัม
- ข้าวกล้องสีขาว เป็นท้องไข่น้อย รูปร่างเรียว ยาว 7.39 มิลลิเมตร กว้าง 2.13 มิลลิเมตร หนา 1.84 มิลลิเมตร
- คุณภาพการสีดี ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว 47.5 เปอร์เซ็นต์
- ปริมาณแอมิโลส 27.3 – 29.8 เปอร์เซ็นต์
- อุณหภูมิแป้งสุกระดับปานกลาง แป้งสุกอ่อน ข้าวสุกค่อนข้างแข็ง ไม่หอม

ระยะพักตัวของเมล็ด 5 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ผลผลิต : เฉลี่ย 745 กิโลกรัม/ไร่ (ปักดำ) เฉลี่ย 738 กิโลกรัม/ไร่ (นาหว่านน้ำตม)

7. ลักษณะเด่นของข้าวปทุมธานี 80 :

(1) คุณภาพเมล็ดทางกายภาพสม่ำเสมอกว่าพันธุ์สุพรรณบุรี 1

(2) ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาว ค่อนข้างต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โรคขอบใบแห้ง โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคเมล็ดด่าง

(3) กอตั้ง ต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย ผลผลิตสูง ปลูกโดยวิธีปักดำให้ผลผลิต 745 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าผลผลิตของพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ และปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตมให้ผลผลิตเฉลี่ย 738 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าผลผลิตของพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์

8. ข้อควรระวัง : กข31 (ปทุมธานี 80) อ่อนแอต่อโรคไหม้ โรคใบหงิก และโรคใบสีส้ม

9. พื้นที่แนะนำในการปลูก : นาชลประทานในพื้นที่ภาคกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ชุดดินบางกอก (Bangkok Series: Bk)

- กลุ่มชุดดินที่ 3
- การจำแนกดิน Very-fine, smectitic, nonacid, isohyperthermic Vertic Endoaquepts
- การกำเนิด ตะกอนน้ำทะเลผสมกับตะกอนลำน้ำ ซึ่งพัฒนาในสภาพน้ำกร่อย
- สภาพพื้นที่ ราบเรียบ มีความลาดชัน 0-1 %
- การระบายน้ำ เลว
- การไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน ช้า
- การซึมผ่านน้ำ ช้า
- พืชพรรณธรรมชาติและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำนา
- การแพร่กระจาย พบมากบริเวณภาคกลางตอนใต้ และพบบ้างในภาคใต้
- การจัดเรียงชั้นดิน Ap-Bssg-Bg-BCg-Cg
- ลักษณะและสมบัติของดิน เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินเหนียว สีดำ มักพบจุดประสีน้ำตาล ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 6.0-6.5) ดินบนตอนล่างเนื้อดินเป็นดินเหนียว สีเทาเข้มหรือสีเทาปนน้ำตาล ปฏิกิริยาดินเป็นกลาง (pH 7.0) ดินล่างตอนล่างในระดับความลึก 1-1.5 เมตร จะพบดินเลนสีน้ำเงินที่มีปริมาณกำมะถันต่ำ มีเปลือกหอยปะปนตลอด จะพบรอยไถลในดินล่าง ปฏิกิริยาดินเป็นด่างเล็กน้อยถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 8.0)

ตารางที่ 1.7 ลักษณะและคุณสมบัติของชุดดินบางกอก

ความลึก (ซม.)	อินทรียวัตถุ	ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน	ความอิ่มตัวเบส	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์	ความอุดมสมบูรณ์
0-25	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	ปานกลาง
25-50	ต่ำ	สูง	สูง	ต่ำ	สูง	ปานกลาง
50-100	ต่ำ	สูง	สูง	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน

- ชุดดินที่คล้ายคลึงกัน ชุดดินสมุทรปราการ และชุดดินบางเลน
- ข้อจำกัดการใช้ประโยชน์ มีน้ำท่วมขังในฤดูฝน ลึก 20-30 ซม. นาน 3-4 เดือน
- ข้อเสนอแนะในการใช้ประโยชน์ ทำนา ควรใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้นทั้งยังเพิ่มแร่ธาตุอาหารในดินให้แก่พืชอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 การใส่ปุ๋ย

กรมวิชาการเกษตรแนะนำให้ใส่ปุ๋ย สำหรับพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง ดังตารางที่ 1.8

ตารางที่ 1.8 อัตราการใส่ปุ๋ยสำหรับพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง

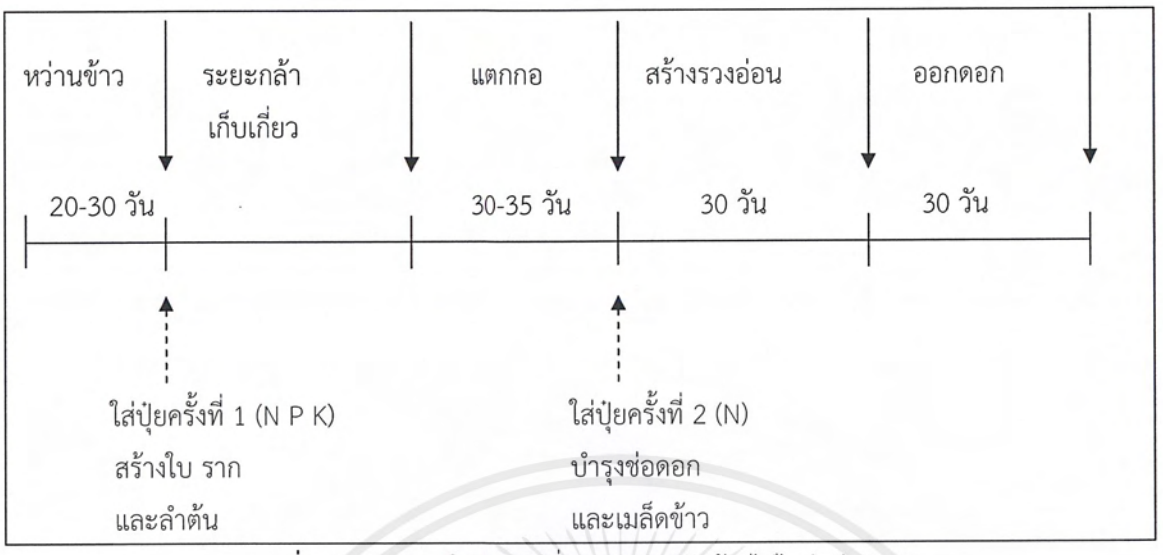
ชนิดเนื้อดิน	การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1		ชนิดของปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2			หมายเหตุ (ชนิดของการทำนา)
	สูตรปุ๋ยที่แนะนำ*	อัตราการใส่ปุ๋ย	แอมโมเนียมซัลเฟต	หรือยูเรีย	หรือปุ๋ยสูตรต่างๆ**	
ประเภทดินเหนียว	16-20-0 หรือ 18-22-0 หรือ 20-20-0	กิโลกรัมต่อไร่ 25-35	20-30	10-15	25-35	นาดำ นาหยอด นาหว่านข้าวแห้ง นาหว่านน้ำตม นาข้าวขึ้นน้ำ
ประเภทดินร่วนและดินทราย	16-16-8 หรือ 18-12-6 หรือ 15-15-15	25-35	20-30	10-15	25-35	นาดำ นาหว่านข้าวแห้ง นาหยอด
	13-13-21	30-45	20-30	10-15	30-45	

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร

* ต้องเป็นสูตรปุ๋ยที่มี N อยู่ในรูป NH_4^+-N
*ในกรณีที่ไม่สามารถหาปุ๋ยไนโตรเจนอื่น เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต หรือยูเรียได้ก็ให้ใช้ปุ๋ยเชิงประกอบ หรือ ปุ๋ยเชิงผสมสูตรที่ใส่ครั้งที่ 1 แทนในอัตราเท่ากัน

หมายเหตุ
1. การใส่ปุ๋ยแต่ละครั้งให้เลือกใช้ปุ๋ยเพียงสูตรเดียวเท่านั้น
2. อัตราที่ใส่ทั้งครั้งที่ 1 และที่ 2 ตัวเลขตัวหน้าเป็นอัตราปกติ ส่วนตัวเลขตัวหลังเป็นอัตราที่ต้องการผลผลิตเพิ่มมากกว่าอัตราปกติ **ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1** ที่ระยะปักดำหรือก่อนปักดำแล้วคราดกลบหรือหลังปักดำ 15 – 20 วัน และ **ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2** ที่ระยะกำเนิดช่อดอก (ประมาณ 35 – 50 วันหลังปักดำหรือ 25 – 30 วันก่อนข้าวออกดอก) หรือใส่หลังใส่ปุ๋ยครั้งแรกแล้ว 30 วัน
3. สำหรับ นาหยอด นาหว่านข้าวแห้ง นาหว่านน้ำตมและนาข้าวขึ้นน้ำใส่ปุ๋ย
ครั้งที่ 1 ที่ระยะ 20 – 30 วันหลังข้าวงอก ส่วนปุ๋ย
ครั้งที่ 2 ใส่เหมือนข้อ 2 (ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2) เฉพาะนาข้าวขึ้นน้ำอาจจะใส่ที่ระยะน้ำในนาลึกประมาณ 30 เซ็นติเมตร หรือก่อนที่น้ำจะลึกเกินกว่า 30 เซ็นติเมตร ก็ได้
4. แอมโมเนียมซัลเฟต (20-0-0) และยูเรีย (45-0-0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 ระยะการใส่ปุ๋ยเคมีที่แนะนำสำหรับข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง

ที่มา : สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว กรมการข้าว (2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

2.1.1 เครื่องมือวิทยาศาสตร์

1. Atomic Absorption Spectrophotometer (Model Hitachi Z8200)
2. Chlorophyll Meter (Minolta รุ่น SPAD-502)
3. EC meter (Model HI 8733)
4. Hood ISO 9002
5. pH meter (Model HI 9025)
6. Spectrophotometer
7. Vortex
8. เครื่องกลั่นไนโตรเจน
9. เครื่องเขย่า (Sheker NO.8315)
10. เครื่องชั่ง (DENVER INSTRUMENT TB-214,TB-202)
11. เครื่องบดตัวอย่างพืชThomas-wiley Laboratory Mill Modal 4 Thomas Scientfic™

2.1.2 เครื่องแก้วและอุปกรณ์ใช้ในการทดลอง

1. Auto Pipet
2. Beaker
3. Digestion tube
4. Erlenmeyer flask
5. Pipet
7. Volumetric flask
8. กระดาษกรองเบอร์ 1
9. กระดาษกรองเบอร์ 42
10. กระป๋องพลาสติก
11. กรวยกรอง
12. ขาตั้งบิวเร็ต
13. จุกยาง
14. บิวเร็ต
15. แท่งแก้วคนสาร
16. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บดินและเตรียมตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. Ammonium acetate (Na_4OAc)
2. Ammonium fluoride (NH_4F)
3. Ammonium molybdate
4. Antimony potassium tartrate
5. Ascorbic acid
6. Bromocresol grean
7. Boric acid (H_3BO_3)
8. Copper sulfate ($CuSO_4.5H_2O$)
9. Distillation water
10. Ethyl alcohol 95 %
11. ferrous sulfate heptahydrate ($FeSO_4.7H_2O$)
12. Hydrochloric acid (HCl)
13. Metallic selenium
14. Methyl red
15. O - phenanthroline – ferrous complex Indicator
16. Perchloric acid ($HClO_4$)
17. Phosphoric acid (H_3PO_4)
18. Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$)
19. Potassium sulfate (K_2SO_4)
20. Sodium hydroxide (NaOH)
21. Strontium chloride ($SrCl_2$)
22. Stock standard solution 100 ppm K
23. Stock standard solution 100 ppm Ca
24. Stock standard solution 100 ppm Mg
25. Stock standard solution 100 ppm Na
26. Stock standard solution 100 ppm P
27. Stock standard solution 100 ppm Cu
28. Stock standard solution 100 ppm Zn
29. Sulfuric acid (H_2SO_4)
30. rock phosphate ($3\%P_2O_5$)
31. Urea (45%N)
32. KCl ($60\%K_2O$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย 7 ตำรับการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ รวมกระถางทั้งหมด 21 กระถางดังนี้

ตำรับ	ระยะการบ่ม Phosphate Rock (วัน)	ใส่ปุ๋ยครั้งที่1			ใส่ปุ๋ยครั้งที่2		
		อัตราปุ๋ย/กระถาง(g/ดิน15กก.)			อัตราปุ๋ย/กระถาง(g/ดิน15กก.)		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1	0	2.429	30	0.911	2.429	-	-
2	7	2.429	30	0.911	2.429	-	-
3	14	2.429	30	0.911	2.429	-	-
4	21	2.429	30	0.911	2.429	-	-
5	28	2.429	30	0.911	2.429	-	-
6	35	2.429	30	0.911	2.429	-	-
7	42	2.429	30	0.911	2.429	-	-

2.2.2 สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลองในเรือนทดลองชั้น 5 คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช ชั้น 4 ห้องวิจัยปฐพีวิทยา1 (B425) อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 วิธีเก็บตัวอย่างดินและวิธีการทดลอง

1) เก็บตัวอย่างดินจากชุดดินบางกอกบริเวณคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร ทั้งหมด 315 กิโลกรัม

2) เตรียมกระถางทดลอง โดยตากดินให้แห้ง หลังจากผสมดินให้เข้ากันดีแล้ว ชั่งดินใส่กระถางทดลองกระถางละ 15 กิโลกรัม จำนวน 21 กระถาง

3) ทำดินให้เป็นโคลน หลังจากนั้นบ่มหินฟอสเฟตแต่ละตำรับตามระยะเวลาที่กำหนดไว้

4) ทำการปักดำข้าวปทุมธานี 80 อายุ 1 เดือน โดยใช้ต้นกล้า 4 ต้นต่อจับ

5) ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 หลังจากปักดำ 7 วัน (วันที่ 20 กันยายน 2554)

- ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 โดยใส่ปุ๋ยUrea (45%N) 2.429 กรัม และ KCl (60%K_2O) 0.911 กรัม

- ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 หลังปักดำ 25 วัน (วันที่ 14 ตุลาคม 2554) โดยใส่ปุ๋ย Urea (45%N) 2.429 กรัม

6) รักษาระดับน้ำในกระถางให้อยู่ในระดับ 5 เซนติเมตร ในทุกตำรับการทดลอง

7) การป้องกันกำจัดแมลงและโรคของข้าว โดยยาฆ่าแมลง

8) เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อข้าวอายุครบ 118 วัน

2.2.4 การเก็บข้อมูลผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

1) นับจำนวนกอข้าวและวัดคลอโรฟิลล์ด้วย Chlorophyll Meter (Minolta รุ่น SPAD-502) ทุกสัปดาห์

2) วัดความสูงของต้นข้าวในระยะที่ข้าวมีอายุเก็บเกี่ยว โดยวัดตั้งแต่ผิวดินจนถึงปลายของรวงข้าวที่ยาวที่สุด

3) เก็บข้อมูลองค์ประกอบของผลผลิต เช่น จำนวนรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม และน้ำหนัก 1000 เมล็ด

4) ผลผลิตเมล็ดข้าวและฟางข้าว ทำการแยกเมล็ดและฟางข้าว โดยคำนวณผลผลิตเมล็ดต่อกระถางที่ระดับความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ (การคำนวณ) ในขณะที่ฟางข้าวคำนวณโดยใช้น้ำหนักแห้ง (dry weight) สำหรับสัดส่วนระหว่างเมล็ดต่อฟางข้าวคำนวณที่น้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินในแต่ละกระถางทดลอง โดยใช้ soil tube จำนวน 4 จุด นำตัวอย่างทั้งหมดผึ่งในที่ร่มบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทางเคมีโดย

1) การวิเคราะห์ความเป็นกรดด่างของดิน pH (ดิน:น้ำ = 1:1)

1.1 ชั่งดิน 10 กรัม ใส่ลงใน beaker

1.2 เติมน้ำ 10 มล. (ในกรณีที่ต้องการวัด pH ที่อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:2 หรือ 1:5 ให้เพิ่มปริมาณน้ำตามสัดส่วน) คนให้เข้ากัน และคนเป็นครั้งคราวระหว่างที่ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที วัดค่า pH ด้วย pH meter ที่ standardize แล้ว

2) การวัดความนำไฟฟ้าจากสารละลายดิน (EC) (ดิน:น้ำ = 1:5)

2.1 ชั่งดิน 10 กรัม ใส่ใน beaker 100 มล. เติมน้ำกลั่น 50 มล.

2.2 เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 1 ชม. ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าความนำไฟฟ้า

3) การวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Organic matter) โดยวิธี Walkley and Black

3.1 ชั่งดิน 2 กรัม ลงใน Erlenmeyer flask

3.2 เติม $K_2Cr_2O_7$ 1 N 5 มล. โดยใช้ pipet แกว่ง flask เบา ๆ ให้ดินผสมกับสารละลาย

3.3 เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้นจำนวน 10 มล. โดยเร็ว ให้กรดผสมกับ soil suspension โดยตรง แกว่ง flask ไปรอบๆ เบาๆ จนดินและสารละลายผสมกันดี หลังจากนั้นเขย่าแรงขึ้นเป็นเวลา 1 นาที

3.4 ตั้ง flask ไว้ให้ทำปฏิกิริยา 30 นาที

3.5 เติมน้ำ 15-20 มล. และหยด O - phenanthroline indicator 3-5 หยด

3.6 Titrate soil suspension กับ 0.5 N $FeSO_4$ เมื่อใกล้ถึง end point สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวเข้ม ที่จุดนี้ค่อยๆเติม $FeSO_4$ ลงไปช้าๆ จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวอมน้ำเงินเป็นสีแดง (ควรดูสีในบริเวณที่สว่าง และใช้ back ground สีขาว เพื่อจะได้เห็นสีชัดเจนยิ่งขึ้น) ถ้า end point ที่ได้ไม่ชัดเจน ควรกรองสารละลายก่อนการ titrate

3.7 ทำ blank (ไม่ใส่ตัวอย่างดิน) โดยวิธีเดียวกัน เพื่อเป็นตัว standardize $K_2Cr_2O_7$ และเป็นตัวเปรียบเทียบปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ที่ถูก reduced โดยดินตัวอย่าง

3.8 ในกรณีที่พบว่า สารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้ถูก reduced โดยตัวอย่างดินมากกว่า 75% ให้ทำการวิเคราะห์ใหม่โดยลดปริมาณดินลง

3.9 นำค่าอินทรีย์คาร์บอนที่ได้คูณด้วย 1.724

4) การวิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้ (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+) ในดิน

4.1) การเตรียม Standard solution (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+)

4.1.1 การเตรียม Standard K ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm จาก Stock Std. 100 ppm โดยการดูด Stock Std. มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มล. ใส่ลงในแต่ละ Volumetric flask ขนาด 50 มล. แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การเตรียม Standard Na ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ppm จาก Stock Std. 100 ppm โดยการดูด Stock Std มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มล. ใส่ลงในแต่ละ Volumetric flask ขนาด 50 มล. และใส่ $SrCl_2$ 12.5 มล.แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มล.

4.1.3 การเตรียม Standard Ca ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm จาก Stock Std. 100 ppm โดยการดูด Stock Std มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มล. ใส่ลงในแต่ละ Volumetric flask ขนาด 50 มล. และใส่ SrCl2 12.5 มล.แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มล.

4.1.4 การเตรียม Standard Mg ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 และ 1.5 ppm จาก Stock Std. 100 ppm โดยการดูด Stock Std. มา 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 และ 7.5 มล. ใส่ลงในแต่ละ Volumetric flask ขนาด 50 มล. แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มล.

4.2) วิธีสกัดดินด้วย Na_4OAc

- ชั่งตัวอย่างดิน 2.5 g (2 mm.) ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 ml เติมน้ำยาสกัด NH_4OAc ลงไป 25 ml เขย่าติดต่อกันนาน 30 นาที (180 รอบต่อนาที) กรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 สารละลายนี้ใช้วัด K โดยวิธี atomic absorption (สารละลายที่ได้ถ้ายังไม่สามารถวัดในวันนั้น ให้เก็บไว้ในตู้เย็น)

5) การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

5.1) ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณของฟอสฟอรัส

5.1.2 ไปเปต aliquot ที่ได้จากการสกัดดิน1-10 มล. ขึ้นกับปริมาณP ใน aliquot ถ้า developสีแล้วสีเข้มหรือจางเกินให้ลดหรือเพิ่มปริมาณ aliquot ตามความเหมาะสมใส่ในหลอดทดลองขนาด 75 มล.

5.1.2 ถ้าใช้ aliquot ที่ได้จากการสกัดโดยวิธี Olsen ต้องปรับ pH ของ aliquot ให้เป็น 5 ซึ่งทำได้โดยไปเปตสารละลาย $NaHCO_3$ 0.5 M pH 8.5 มา 5 มล. แล้วหยด H_2SO_4 5 N ลงไปทำปฏิกิริยาโดยใช้ p-nitrophenol เป็น indicator (มีสีเหลืองในด่าง ในกรดไม่มีสี) วัดปริมาตรกรด H_2SO_4 5 N ที่ใช้เติมกรด H_2SO_4 นี้ใน unknown ทุกตัว

5.1.3 เติมน้ำกลั่น 20 มล.แล้วเติม reagent B (molybdate-ascorbic acid) 4 มล. เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 10 นาที วัดค่า% Transmittance ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ wavelength 882 nm แล้วอ่านค่าความเข้มข้นของ P ในสารละลายจาก Standard curve

5.2) การทำ Standard curve ของ P

5.2.1 เตรียม Standard phosphate 5 ppm P โดยใช้ Standard phosphate 100 ppm P มาทำให้เจือจางลง 20 เท่า

5.2.2 ไปเปต Standard phosphorous 5 ppm จำนวน 0,1,2,3,4 และ 5 มล. ใส่ใน volumetric flask ขนาด 25 มล.เติมสารละลายที่ใช้สกัด (extracting solution) จำนวนเท่ากับที่ใช้ในตัวอย่าง เขย่าให้เข้ากัน เติม reagent B ลงไป 4 มล. แล้วเติมน้ำลงไปและปรับปริมาตรเป็น 25 มล. เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที (สารละลายที่ได้มีความเข้มข้นของ P เท่ากับ 0,0.2,0.4,0.6,0.8,และ 1.0 ppm)

5.2.3 plot กราฟระหว่างค่าของ % T ที่อ่านได้จาก spectrophotometer กับความเข้มข้นของ P โดยใช้กระดาษกราฟแบบ semi-logarithmic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 การวิเคราะห์พืช

เก็บตัวอย่างพืช ได้แก่ ฟาง และเมล็ด นำตัวอย่างไปอบพร้อมทั้งบดตัวอย่าง เพื่อนำตัวอย่างมาวิเคราะห์พืช

1) การวิเคราะห์ไนโตรเจนในพืช โดยวิธี conventional Kjeldahl

1.1 ชั่งตัวอย่างพืชจำนวน 0.25 กรัม ใส่ใน digestion tube ขนาด 100 มล.

1.2 เติม salt mixture ปริมาณใกล้เคียงกับน้ำหนักพืชที่ใช้

1.3 เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น 4 มล.

1.4 นำไปย่อยสลายบนเตาด้วยความร้อนต่ำๆ หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งถึง 380°C เมื่อได้สารละลายใส digest ต่อไปอีก 1 ชั่วโมง แล้วยกลงตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปกลั่นหาไนโตรเจน

2) การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในพืช

- ชั่งตัวอย่างพืช ประมาณ 0.25 กรัม ใส่ใน crucible นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ใน muffle furnace เมื่อตัวอย่างที่เผาเย็นลง เติม HCl 1 N จำนวน 10 มล. ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น จำนวน 10 มล. ทิ้งไว้ 1 คืน กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ทำ blank โดยไม่ใส่ตัวอย่างด้วยวิธีเดียวกันเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความถี่ 420 nm.

3) การวิเคราะห์โพแทสเซียมในพืช

- ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.25 กรัม ใส่ใน crucible นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง ใน muffle furnace เมื่อตัวอย่างที่เผาเย็นลง เติม HCl 1 N จำนวน 10 มล. ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น จำนวน 10 มล. ทิ้งไว้ 1 คืน กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ทำ blank โดยไม่ใส่ตัวอย่างด้วยวิธีเดียวกันเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Model Hitachi Z8200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 การแปลความหมายผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดิน

1. ความเป็นกรดด่างของดิน (Soil pH)

ตารางที่ 2.1 ค่า pH ของดินในน้ำ (ระดับความรุนแรงของความเป็นกรด-ด่างของดิน)

ระดับ (rating)	ช่วง pH (water, 1:1)
เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)	<3.5
เป็นกรดรุนแรงมาก (extremely acid)	3.5-4.5
เป็นกรดจัดมาก (very strongly acid)	4.6-5.0
เป็นกรดจัด (strongly acid)	5.1-5.5
เป็นกรดปานกลาง (moderately acid)	5.6-6.0
เป็นกรดเล็กน้อย (slightly alkaline)	6.1-6.5
เป็นกลาง (neutral)	6.6-7.3
เป็นด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)	7.4-7.8
เป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9-8.4
เป็นด่างจัด (strongly alkaline)	8.5-9.0
เป็นด่างจัดมาก (very strongly alkaline)	>9.0

ที่มา : กองวิเคราะห์ดิน, (2540) คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา (2541),คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าการนำไฟฟ้าและระดับความเค็มของดิน (Electrical Conductivity; EC)

วัดโดยวิธีการสกัดดินด้วยดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่ 25C° แล้ววัดสารละลายที่สกัดได้ เรียกว่า EC extract (ECe)

ตารางที่ 2.2 ค่าการนำไฟฟ้าและระดับความเค็มของดิน (EC) ที่สัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืช

ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu S\ cm^{-1}$)	ระดับความเค็ม	ความสัมพันธ์กับพืช
0 -2	ไม่เค็ม	ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช
2 - 4	เค็มน้อยมาก	อาจมีผลกระทบกระเทือนต่อผลผลิตของพืชที่sensitive ต่อความเค็ม
4 - 8	เค็มปานกลาง	เป็นอุปสรรคต่อพืชหลายชนิด
8 – 16	เค็มจัด	เป็นอุปสรรคต่อพืชส่วนมาก เฉพาะพืชทนเค็มที่เติบโตได้
>16	เค็มจัดมาก	เป็นอันตรายต่อพืชทุกชนิด ยกเว้นพืชบางชนิด เช่นหญ้าทนเค็ม เป็นต้น

ที่มา : Beck, (1999); Bower และ และ Wilcox , (1965); Jackson, (1958)

3. ระดับอินทรียวัตถุ (Organic Matter; OM)

ตารางที่ 2.3 ระดับอินทรียวัตถุ (Organic Matter) (% Organic Carbon x 1.724)

ระดับ (rating)	พิสัย (ร้อยละ)
ต่ำมาก (VL)	< 0.5
ต่ำ (L)	0.5-1.0
ค่อนข้างต่ำ (ML)	1.0-1.5
ปานกลาง (M)	1.5-2.5
ค่อนข้างสูง (HM)	2.5-3.5
สูง (H)	3.5-4.5
สูงมาก (VH)	> 4.5

ที่มา : สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (Cation Exchange Capacity: CEC)

หน่วยที่ใช้คือ meq/100 g ซึ่งมีค่าเท่ากับ cmol/kg

ตารางที่ 2.4 ระดับปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity)

CEC, cmol/kg	ระดับ
< 5	ต่ำมาก
5 – 15	ต่ำ
15 – 25	ปานกลาง
25 – 40	สูง
> 40	สูงมาก

ที่มา : กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดินกรุงเทพฯ (2540)

5. ระดับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง

ตารางที่ 2.5 ระดับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (USDA)

ธาตุอาหารพืช	ระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืช (mg kg^{-1})				
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
ฟอสฟอรัส (P)	<3	3-10	11-15	15-45	>45
โพแทสเซียม(K)	<30	30-60	61-90	91-120	>120
แคลเซียม (Ca)	<400	400-1000	1001-2000	2001-4000	>4000
แมกนีเซียม(Mg)	<36	36-120	121-365	366-975	>975
กำมะถัน (S)*	<5	5-10	11-20	21-30	>30

* สำหรับค่ามาตรฐานของกำมะถันในดินไม่ค่อยจะมีผู้ศึกษามากนัก ส่วนใหญ่จะศึกษาวิจัยกำมะถันในพืชมากกว่า ดังนั้น จึงนำค่ามาตรฐานของห้องปฏิบัติการของ Albion Labpratories, Inc. มาใช้ในการจัดระดับกำมะถันที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน

ที่มา : บรรเจิด (2543)

2.2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) Version 20.0 บนระบบปฏิบัติการ windows 7 ultimate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1) สมบัติของหินฟอสเฟต

จากการวิเคราะห์หินฟอสเฟต ดังแสดงตารางที่ 3.1 พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH 1:1) อยู่ในระดับเป็นกลาง (pH 6.70) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC 1:5) อยู่ในระดับไม่เค็ม (114 µS/cm) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน อยู่ในระดับต่ำมาก (%0.13) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช อยู่ในระดับต่ำมาก (9.23 mg/kg) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (1.791%) และด่างที่แลกเปลี่ยนได้พบว่า แคลเซียมอยู่ในระดับสูงมาก (4625 mg/kg) Mg อยู่ในระดับต่ำมาก (20 mg/kg) และ K อยู่ในระดับต่ำมาก (42.5 mg/kg)

ตารางที่ 3.1 สมบัติของหินฟอสเฟต

หินฟอสเฟต (30 กรัม)	pH 1:1	EC 1:5 (µS/cm)	Avail. P (mg/Kg)	Total P (%)	OM (%)	Exchangeable base (mg/kg)		
						K	Ca	Mg
	6.70	114	9.23	1.791	0.13	42.5	4625	20

3.2) ดินก่อนการทดลอง

จากการวิเคราะห์ดินก่อนปลูก ดังแสดงตารางที่ 3.2 พบว่าดินมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH 1:1) อยู่ในระดับเป็นกลาง (pH 6.13) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC 1:5) อยู่ในระดับไม่เค็ม (1488 µs/cm) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน อยู่ในระดับต่ำ (%0.85) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช อยู่ในระดับสูง (30.87 mg/kg) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (0.072%) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) อยู่ในระดับสูงมาก (41.89 me/100g) ด่างที่แลกเปลี่ยนได้พบว่า แคลเซียมอยู่ในระดับสูง (2955 mg/kg) แมกนีเซียมอยู่ในระดับปานกลาง (225 mg/kg) โพแทสเซียมอยู่ในระดับสูงมาก (413 mg/kg) และร้อยละความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (%BS) อยู่ระดับสูง (87.23%)

ตารางที่ 3.2 สมบัติทางเคมีของดิน

soil	ความลึก (cm)	pH 1:1	EC1:5 (µs/cm)	Available P (mg/kg)	Total P (%)	OM (%)	Exchangeable base (mg/kg)			CEC (me/100g)	BS (%)
							K	Ca	Mg		
1	0-15	6.13	1448	30.87	0.072	0.85	413	2955	225	41.89	87.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2) การเจริญเติบโตของข้าว

3.2.1) ความเขียว (SPAD) และจำนวนกอ (ต้นต่อกระถาง)

จากผลการวิเคราะห์ค่าความเขียว (SPAD) และจำนวนกอ (ต้นต่อกระถาง) ดังแสดงตารางที่ 3.3 พบว่า ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้ความเขียวและจำนวนกอ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าตำรับที่ 3 (บ่มหินฟอสเฟต 2 สัปดาห์) มีแนวโน้มที่จะให้ความเขียวมากที่สุด ส่วนตำรับที่ 6 (บ่มหินฟอสเฟต 5 สัปดาห์) มีแนวโน้มที่จะให้ความเขียวต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าสัปดาห์ที่ 1 ถึง 3 มีค่าความเขียวเพิ่มขึ้น ส่วนสัปดาห์ที่ 3 ถึง 5 มีค่าคงที่ และพบว่าตำรับที่ 5 (บ่มหินฟอสเฟต 4 สัปดาห์) มีแนวโน้มที่จะให้จำนวนกอมากที่สุด ส่วนตำหรับที่ 6 (ระยะบ่มหินฟอสเฟต 5 สัปดาห์) มีแนวโน้มที่จะมีจำนวนกอต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าจากสัปดาห์ที่ 1 ถึง 3 มีค่าความเขียวเพิ่มขึ้น ส่วนสัปดาห์ที่ 3 ถึง 5 มีค่าคงที่

ตารางที่ 3.3 ความเขียว (SPAD Unit) และจำนวนกอของข้าว

ตำรับ	สัปดาห์ 1		สัปดาห์ที่ 2		สัปดาห์ที่ 3		สัปดาห์ที่ 4		สัปดาห์ที่ 5	
	ความเขียว	จำนวนกอ	ความเขียว	จำนวนกอ	ความเขียว	จำนวนกอ	ความเขียว	จำนวนกอ	ความเขียว	จำนวนกอ
1 (0 สัปดาห์)	33.4a	12.0a	40.2a	16.3a	37.0a	62.0a	39.9a	67.0a	33.2a	67.6a
2 (1 สัปดาห์)	39.8a	12.3a	41.0a	21.0a	36.7a	60.0a	34.7a	69.6a	34.8a	66.0a
3 (2สัปดาห์)	36.9a	12.0a	41.3a	18.3a	37.1a	65.3a	34.0a	67.3a	34.4a	65.6a
4 (3 สัปดาห์)	35.6a	8.33a	41.0a	11.6a	38.1a	59.6a	35.4a	67.0a	35.8a	64.3a
5 (4 สัปดาห์)	36.9a	17.6a	41.3a	22.0a	38.1a	56.6a	35.4a	68.6a	35.4a	64.6a
6 (5 สัปดาห์)	37.2a	12.0a	39.7a	14.3a	36.8a	53.0a	34.5a	65.6a	34.0a	66.3a
7 (6 สัปดาห์)	33.0a	15.0a	40.5a	15.6a	38.5a	49.3a	35.3a	66.0a	35.1a	62.6a
เฉลี่ย	36.1	12.7	40.7	17.0	37.4	57.9	35.6	67.3	34.6	65.2
	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3) องค์ประกอบผลผลิตของข้าว

3.3.1) ความสูงของต้นข้าว

จากผลการวัดความสูงของต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ดังแสดงตารางที่ 3.3 พบว่าระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้ความสูงขอต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าตำรับที่ 3 (ระยะบ่มหินฟอสเฟต 2 สัปดาห์) มีแนวโน้มที่จะให้ความสูงมากที่สุด (130 เซนติเมตร) ส่วนตำหรับที่ 1 (ไม่บ่มหินฟอสเฟต) มีแนวโน้มที่จะให้ความสูงต่ำที่สุด (120 เซนติเมตร) นอกจากนี้ยังพบว่าความสูงของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 (125 เซนติเมตร) สูงกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 โดยทั่วไปเฉลี่ยของการทดลอง (117 เซนติเมตร) ที่รายงานโดยกรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

3.3.2) จำนวนรวงต่อกระถาง

จากผลการนับจำนวนรวงต่อกระถางของข้าวปทุมธานี 80 ดังแสดงตารางที่ 3.3 พบว่า ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้จำนวนรวงต่อกระถางของข้าวปทุมธานี 80 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าตำรับที่ 1 (ไม่มีการบ่มหินฟอสเฟต) มีแนวโน้มที่จะให้จำนวนรวงต่อกระถางสูงมากที่สุด (47.6 รวงต่อกระถาง) ส่วนตำรับที่ 6 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 5 สัปดาห์) มีแนวโน้มที่จะให้จำนวนรวงต่อกระถางต่ำที่สุด (39.3 รวงต่อกระถาง) นอกจากนี้ยังพบว่าทุกตำรับการทดลองมีจำนวนรวงต่อกระถางลดลง ยกเว้นในตำรับที่ 5 ที่มีจำนวนรวงต่อกระถางเพิ่มขึ้น

3.3.3) น้ำหนัก1000เมล็ด

จากผลของน้ำหนัก 1000 เมล็ดของข้าวปทุมธานี 80 ดังแสดงตารางที่ 3.3 พบว่า ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้น้ำหนัก 1000 เมล็ดของข้าวปทุมธานี 80 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าตำรับที่ 3 (ระยะบ่มหินฟอสเฟต 2 สัปดาห์) มีแนวโน้มที่จะให้น้ำหนัก 1000 เมล็ดมากที่สุด (25.9 กรัม) ส่วนตำรับที่ 1 (ไม่บ่มหินฟอสเฟต) มีแนวโน้มที่จะให้น้ำหนัก 1000 เมล็ดต่ำที่สุด (23.4 กรัม) นอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่1 ถึง 3 มีน้ำหนัก 1000 เมล็ดเพิ่มขึ้น ส่วนตำรับที่ 5 ถึง 7 มีค่าคงที่ และเมื่อนำน้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 มาเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี80โดยทั่วไป พบว่าน้ำหนัก 1000 เมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 (24.3 g) ต่ำกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 โดยทั่วไปเฉลี่ยของการทดลอง (30.35 กรัม) ที่รายงานโดยกรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

3.3.4) เปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็ม

จากผลจำนวนเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มของข้าวปทุมธานี 80 ดังแสดงตารางที่ 3.3 พบว่า ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้จำนวนเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มของข้าวปทุมธานี 80 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าตำรับที่ 1 (ไม่มีการบ่มหินฟอสเฟต) มีแนวโน้มที่จะให้จำนวนเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มมากที่สุด (9.16 %) ส่วนตำรับที่ 6 (ระยะบ่มหินฟอสเฟต 5 สัปดาห์) มีแนวโน้มที่จะให้จำนวนเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มต่ำที่สุด (80.3%) นอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่ 4 ถึง 6 มีจำนวนเปอร์เซ็นต์เมล็ดเต็มลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 จำนวนรวงต่อกระถาง

ตำรับ	ความสูง (cm)	จำนวนรวงต่อกระถาง	น้ำหนัก 1000 เมล็ด(g)	%เมล็ดเต็ม
1 (0 สัปดาห์)	120a	47.6a	23.4a	91.6a
2 (1 สัปดาห์)	124a	47.0a	24.1a	85.6a
3 (2 สัปดาห์)	130a	41.0a	25.9a	82.6a
4 (3 สัปดาห์)	126a	39.6a	23.6a	89.3a
5 (4 สัปดาห์)	124a	45.6a	24.4a	84.0a
6 (5 สัปดาห์)	126a	40.3a	24.5a	80.3a
7 (6 สัปดาห์)	127a	39.3a	24.5a	86.6a
เฉลี่ย	125	42.9	24.3	85.7
	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

3.4) ผลผลิต

3.4.1) น้ำหนักเมล็ดข้าว

จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้น้ำหนักของเมล็ดข้าวปทุมธานี 80 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$) ดังแสดงตารางที่ 3.5 โดยพบว่าตำรับที่ 2 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 1 สัปดาห์) มีแนวโน้มที่จะให้น้ำหนักของเมล็ดข้าวสูงสุด (1839 kg/ไร่) ส่วนตำรับที่ 1 (ไม่มีการบ่มหินฟอสเฟต) มีแนวโน้มจะให้น้ำหนักของเมล็ดข้าวน้อยต่ำสุด (1592 kg/ไร่) เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักเมล็ดข้าว พบว่าผลผลิตเมล็ดข้าวเฉลี่ย 1701.7 kg/ไร่ สูงกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่รายงานโดยกรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 745 kg/ไร่ ประมาณ 2.28 เท่า

3.4.2) น้ำหนักฟางข้าว

จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้น้ำหนักของฟางข้าวปทุมธานี 80 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงตารางที่ 3.5 โดยพบว่าตำรับที่ 5 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 4 สัปดาห์) มีแนวโน้มที่จะให้ผลผลิตน้ำหนักของฟางข้าวสูงสุด (1859kg/ไร่) ส่วนตำรับที่ 1 (ไม่มีการบ่มหินฟอสเฟต) มีแนวโน้มที่จะให้ผลผลิตน้ำหนักของฟางข้าวต่ำสุด (1414 kg/ไร่) และนอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่ 5,6,7 น้ำหนักของฟางข้าวมีแนวโน้มลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3) สัดส่วนระหว่างเมล็ดต่อฟางข้าว

จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้น้ำหนักของเมล็ดข้าวปทุมธานี 80 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงตารางที่ 3.5 โดยพบว่าตำรับที่ 5 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 4 สัปดาห์) มีแนวโน้มจะให้สัดส่วนระหว่างเมล็ดต่อฟางข้าวสูงสุด (1.06) ส่วนตำรับที่ 2 ที่มีการบ่มหินฟอสเฟต 1 สัปดาห์ มีแนวโน้มจะให้สัดส่วนระหว่างเมล็ดต่อฟางข้าวต่ำสุด (0.77) และนอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่ 5,6,7 สัดส่วนระหว่างเมล็ดต่อฟางข้าวมีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 3.5 น้ำหนักเมล็ด,น้ำหนักฟางและสัดส่วนระหว่างเมล็ด/ฟาง

ตำรับ	น้ำหนักเมล็ด (kg/กระถาง)	น้ำหนักเมล็ด (kg/ไร่)	น้ำหนักฟาง (kg/กระถาง)	น้ำหนักฟาง (kg/ไร่)	สัดส่วนระหว่างเมล็ดต่อฟาง
1 (0 สัปดาห์)	85.8a	1592a	96.6a	1414a	0.89a
2 (1 สัปดาห์)	85.8a	1839a	111a	1415a	0.77a
3 (2 สัปดาห์)	90.0a	1735a	105a	1484a	0.86a
4 (3 สัปดาห์)	88.9a	1650a	100a	1465a	0.89a
5 (4 สัปดาห์)	112a	1739a	105a	1859a	1.06a
6 (5 สัปดาห์)	95.1a	1698a	103a	1567a	0.90a
7 (6 สัปดาห์)	96.6a	1722a	104a	1593a	0.92a
เฉลี่ย	93.4	1701.7	103	1542.4	0.89
	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5) ความเข้มข้นของธาตุอาหารและการดูดดึงของธาตุอาหาร

3.5.1) ความเข้มข้นของธาตุอาหาร

(1) ไนโตรเจน (N)

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจน (N) ในเมล็ดและฟางข้าว ดังแสดงตารางที่ 3.6 พบว่าระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดและฟางข้าว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าตำรับที่มี 7 (ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต 6 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดข้าวสูงสุด (0.88%) ส่วนตำรับที่ 4 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 3 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดข้าวต่ำสุด (0.67%) นอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่ 5 ถึง 7 ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดอยู่ในช่วง 0.67-0.88 % ส่วนตำรับที่มีไนโตรเจนในฟางข้าวสูงสุด คือ ตำรับที่ 1 ที่ไม่มีการบ่มหินฟอสเฟต มีแนวโน้มให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในฟางข้าวสูงสุด (3.85%) ส่วนตำรับที่ 2 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 1 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในฟางข้าวต่ำสุด (2.21%) นอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่ 5 ถึง 7 ความเข้มข้นของไนโตรเจนในฟางข้าวอยู่ในช่วง 0.12-0.34 %

(2) ฟอสฟอรัส (P)

ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดและฟางข้าว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงตารางที่ 3.6 โดยพบว่าตำรับที่ 6 (ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต 5 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวสูงสุด (3.34%) ส่วนตำรับที่ 7 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 6 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวต่ำสุด (1.87%) นอกจากนี้ยังพบว่าตำหรับที่ 5ถึง7 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดอยู่ในช่วง 1.87-3.34 % ส่วนตำรับที่1 (ไม่มีการบ่มหินฟอสเฟต) มีแนวโน้มให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในฟางข้าวสูงสุด (3.85%) ส่วนตำรับที่ 2 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 1 สัปดาห์) มีแนวโน้มความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในฟางข้าวต่ำสุด (2.21%) นอกจากนี้ยังพบว่าตำหรับที่ 5 ถึง7 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในฟางข้าวอยู่ในช่วง 2.34-3.34 %

(3) โพแทสเซียม (%K)

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโพแทสเซียม (K) ในเมล็ดและฟางข้าว ดังแสดงตารางที่ 3.6 พบว่าระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเมล็ดและฟางข้าว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าตำรับที่ 4 (ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต 3 สัปดาห์) แนวโน้มให้โพแทสเซียมในเมล็ดข้าวสูงสุด (0.53%) ส่วนตำรับที่ 6 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 5 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเมล็ดข้าวต่ำสุด (0.40%) นอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่ 5 ถึง7 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเมล็ดอยู่ในช่วง 0.40-0.49 % ส่วนตำรับที่ 1 (ไม่มีการบ่มหินฟอสเฟต) มีแนวโน้มให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในฟางข้าวสูงสุด (3.85%) ส่วนตำรับที่ 2 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 1 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในฟางข้าวต่ำสุด (2.21%) นอกจากนี้ยังพบว่าตำหรับที่ 5 ถึง 7 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในฟางข้าวอยู่ในช่วง 1.97-2.08%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเมล็ดและฟางข้าวปทุมธานี 80

ตำรับ	N(%)		P(%)		K(%)	
	เมล็ด	ฟาง	เมล็ด	ฟาง	เมล็ด	ฟาง
1 (0 สัปดาห์)	0.81a	0.34a	2.29a	3.85a	0.46a	2.23a
2 (1 สัปดาห์)	0.77a	0.36a	2.41a	2.21a	0.44a	2.03a
3 (2 สัปดาห์)	0.82a	0.37a	2.85a	3.73a	0.45a	1.90a
4 (3 สัปดาห์)	0.64a	0.28a	3.21a	2.85a	0.53a	1.98a
5 (4 สัปดาห์)	0.67a	0.34a	2.44a	2.75a	0.49a	2.02a
6 (5 สัปดาห์)	0.82a	0.27a	3.24a	3.34a	0.40a	1.97a
7 (6 สัปดาห์)	0.88a	0.12a	1.87a	2.34a	0.43a	2.08a
เฉลี่ย	0.77	0.29	2.61	3.01	0.45	2.03
	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

3.5.2) การดูดดึงของธาตุอาหาร

(1) ไนโตรเจน (Uptake N)

ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้การดูดดึงไนโตรเจนในเมล็ดและฟางข้าว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงตารางที่ 3.5 โดยพบว่าตำรับที่ 5 (ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต 4 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้การดูดดึงไนโตรเจนในเมล็ดข้าวสูงสุด (13.2 kg/ไร่) ส่วนตำรับที่ 4 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 3 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้การดูดดึงไนโตรเจนในเมล็ดข้าวต่ำสุด (8.41 kg/ไร่) นอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่ 5ถึง7 การดูดดึงไนโตรเจนในเมล็ดอยู่ในช่วง 8.95-13.2 kg/ไร่ ส่วนตำรับที่ 2 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 1 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้การดูดดึงไนโตรเจนในฟางข้าวสูงสุด (6.81 kg/ไร่) ส่วนตำรับที่ 6 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 5 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้การดูดดึงไนโตรเจนในฟางข้าวต่ำสุด (4.41 kg/ไร่) นอกจากนี้ยังพบว่าตำหรับที่ 5ถึง7 การดูดดึงไนโตรเจน (N) ในฟางข้าวอยู่ในช่วง 2.07-6.10 kg/ไร่

(2) ฟอสฟอรัส (Uptake P)

จากการวิเคราะห์การดูดดึงฟอสฟอรัสในเมล็ดและฟางข้าว (Uptake P) ดังแสดงตารางที่ 3.5 พบว่าระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้การดูดดึงฟอสฟอรัสในเมล็ดและฟางข้าว มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$) โดยพบว่าตำรับที่ 6 (ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต 5 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้การดูดดึงฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวสูงสุด (45.6 kg/ไร่) ส่วนตำรับที่ 3 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 2 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้การดูดดึงฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวต่ำสุด (26.2 kg/ไร่) นอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่ 5ถึง7 การดูดดึงฟอสฟอรัสในเมล็ดอยู่ในช่วง 26.2-45.9 kg/ไร่ ส่วนตำรับที่ 3 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 2 สัปดาห์) มีแนวโน้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้การดูดดึงฟอสฟอรัสในฟางข้าวสูงสุด (64.6 kg/ไร่) ส่วนตำรับที่2 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 1 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้การดูดดึงฟอสฟอรัสในฟางข้าวต่ำสุด (39.8 kg/ไร่) นอกจากนี้ยังพบว่าตำหรับที่ 5ถึง7 การดูดดึงฟอสฟอรัสในฟางข้าวอยู่ในช่วง 40.2-57.0 kg/ไร่

(3) โพแทสเซียม (Uptake K)

ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้การดูดดึงโพแทสเซียมในเมล็ดและฟางข้าว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงตารางที่ 3.5 โดยพบว่าตำรับที่ 5 (ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต 4 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้การดูดดึงโพแทสเซียมในเมล็ดข้าวสูงสุด (8.03 kg/ไร่) ส่วนตำรับที่ 6 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 5 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้การดูดดึงโพแทสเซียมในเมล็ดข้าวต่ำสุด (5.32 kg/ไร่) นอกจากนี้ยังพบว่าตำหรับที่ 5ถึง7 การดูดดึงโพแทสเซียมในเมล็ดอยู่ในช่วง 5.32-8.03 kg/ไร่ ส่วนตำรับที่ 2 ที่ (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 1 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้การดูดดึงโพแทสเซียมในฟางข้าวสูงสุด (37.3 kg/ไร่) ส่วนตำรับที่ 4 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 3 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้โพแทสเซียมในฟางข้าวต่ำสุด (32.8 kg/ไร่) นอกจากนี้ยังพบว่าตำหรับที่ 5ถึง7 การดูดดึงฟอสฟอรัส(P) ในฟางข้าวอยู่ในช่วง 33.7-35.8 kg/ไร่

ตารางที่ 3.7 การดูดดึงของธาตุอาหาร

ตำรับ	N Uptake(kg/ไร่)		P Uptake(kg/ไร่)		K Uptake(kg/ไร่)	
	เมล็ด	ฟาง	เมล็ด	ฟาง	เมล็ด	ฟาง
1 (0 สัปดาห์)	11.0a	5.54a	31.0a	62.7a	6.28a	35.0a
2 (1 สัปดาห์)	12.7a	6.81a	37.8a	39.8a	7.10a	37.3a
3 (2 สัปดาห์)	11.7a	6.59a	40.4a	64.6a	7.62a	33.0a
4 (3 สัปดาห์)	8.41a	4.61a	40.0a	46.3a	6.18a	32.8a
5 (4 สัปดาห์)	13.2a	6.10a	38.6a	48.4a	8.03a	35.1a
6 (5 สัปดาห์)	8.95a	4.41a	45.9a	57.0a	5.32a	33.7a
7 (6 สัปดาห์)	12.0a	2.07a	26.2a	40.2a	6.04a	35.8a
เฉลี่ย	11.1	5.16	37.1	51.2	6.65	34.6
	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6) สมบัติดินหลังปลูก

(1) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH)

จากการวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดิน ดังแสดงตารางที่ 3.8 พบว่า ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้ความเป็นกรด-ด่างของดิน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าตำรับที่ 6 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 5 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้ความเป็นกรด-ด่างของดินสูงสุด ส่วนตำรับที่ 1 (ไม่มีระยะการบ่มหินฟอสเฟต) มีแนวโน้มให้ความเป็นกรด-ด่างของดินต่ำสุด (pH 6.29) นอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่ 5ถึง7 ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายของดิน อยู่ในช่วง 6.44-6.47

(2) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC)

ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของดิน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงตารางที่ 3.8 โดยพบว่าในตำรับที่ 3 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 2 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินสูงสุด (730 µS/cm) ส่วนตำรับที่ 7 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 6 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินต่ำสุด (578 µS/cm) นอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่ 5ถึง7 มีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินอยู่ในช่วง 578-629 µS/cm

(3) อินทรียวัตถุของดิน (OM)

จากการวิเคราะห์อินทรียวัตถุ (OM) ของดิน ดังแสดงตารางที่ 3.8 พบว่า ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้อินทรียวัตถุของดิน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าตำรับที่ 3 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 2 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้อินทรียวัตถุของดินสูงสุด (1.72 %) ส่วนตำรับที่ 6 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 5 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้ค่าอินทรียวัตถุของดินต่ำสุด (1.35%) นอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่ 5ถึง7 มีอินทรียวัตถุของดินอยู่ในช่วง 1.35-1.38%

(4) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (Available P)

จากการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช ดังแสดงตารางที่ 3.8 พบว่าระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ส่งผลทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยพบว่าตำรับที่ 1 (ไม่มีระยะการบ่มหินฟอสเฟต) มีแนวโน้มที่ให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชสูงสุด (163 mg/kg^{-1}) ส่วนตำรับที่ 3 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 2 สัปดาห์) มีแนวโน้มที่ให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชต่ำสุด (108 mg/kg^{-1}) นอกจากนี้พบว่าตำหรับที่ 1 ให้ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชไม่แตกต่างจากตำรับที่ 5 ส่วนตำรับที่ 2 (ระยะบ่มหินฟอสเฟต 1 สัปดาห์) ให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชรองลงมา และตำรับที่ 3และ7 ให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) ฟอสฟอรัสทั้งหมดของดิน (Total P)

จากการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด ดังแสดงตารางที่ 3.8 พบว่าระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ส่งผลทำให้ฟอสฟอรัสที่ทั้งหมด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยพบว่าตำรับที่ 2 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 1 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงสุด (0.45%) ส่วนตำรับที่ 3 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 2 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำสุด (0.03%) นอกจากนี้พบว่าตำรับที่ 5 ให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชไม่แตกต่างจากตำรับที่ 7แต่ตำรับที่ 5ถึง7 ให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชแตกต่างจากตำรับที่ 6 และตำรับที่ 2 ให้ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชไม่แตกต่างกันจากตำรับที่ 3 แต่ตำรับที่ 2ถึง3 ให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชแตกต่างจากตำรับที่ 1และ4

(6) โพแทสเซียมของดิน (K)

ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้โพแทสเซียมของดิน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงตารางที่ 3.8 โดยพบว่าตำรับที่ 2 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 1 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้โพแทสเซียมของดินสูงสุด (338 mg/kg^{-1}) ส่วนตำรับที่ 7 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 6 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้โพแทสเซียมของดินต่ำที่สุด (312 mg/kg^{-1}) นอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่ 4ถึง7 มีโพแทสเซียมของดินมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอยู่ในช่วง 312-330 mg/kg^{-1}

(7) แคลเซียมของดิน (Ca)

จากการวิเคราะห์แคลเซียม (Ca) ของดิน ดังแสดงตารางที่ 3.8 พบว่า ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟตไม่ส่งผลให้แคลเซียมของดิน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าตำรับที่ 3 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 2 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้แคลเซียมดินสูงที่สุด (2848 mg/kg^{-1}) ส่วนตำรับที่ 6 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 5 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้แคลเซียมของดินต่ำที่สุด (2323 mg/kg^{-1}) นอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่ 4ถึง7 แคลเซียมของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งอยู่ในช่วง 2323-2688 mg/kg^{-1}

(8) แมกนีเซียมของดิน (Mg)

ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟต ไม่ส่งผลให้ค่าแมกนีเซียมของดิน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงตารางที่ 3.8 โดยพบว่าตำรับที่ 1,7 (ไม่มีการบ่มหินฟอสเฟต,ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 6 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้ค่าแมกนีเซียมของดินสูงสุด (243 mg/kg) ส่วนตำรับที่ 4,5,6 (ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 3,4,5 สัปดาห์) มีแนวโน้มให้ค่าแมกนีเซียมของดินต่ำสุด (233 mg/kg) นอกจากนี้ยังพบว่าตำรับที่ 4 ถึง 7 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งอยู่ในช่วง 225-243 mg/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 สมบัติดินหลังการปลูก

ตำรับ	pH 1:1	EC 1:5(µs)	OM	Available P (mg/kg)	Total P (%)	exchangeable base(mg/kg)		
						K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
1 (0 สัปดาห์)	6.29a	671a	1.54a	163a	0.053bc	333a	2466a	243a
2 (1 สัปดาห์)	6.39a	626a	1.52a	136b	0.045c	338a	2553a	240a
3 (2 สัปดาห์)	6.44a	730a	1.72a	108c	0.039c	322a	2848a	236a
4 (3 สัปดาห์)	6.34a	654a	1.66a	109c	0.056bc	330a	2575a	225a
5 (4 สัปดาห์)	6.44a	582a	1.36a	152a	0.082a	327a	2646a	225a
6 (5 สัปดาห์)	6.47a	629a	1.35a	115c	0.074ab	317a	2323a	225a
7 (6 สัปดาห์)	6.44a	578a	1.38a	112c	0.088a	312a	2688a	243a
เฉลี่ย	6.40	638	1.50	127	0.062	325	2585	233
	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) สรุปผลการทดลอง

4.1) คุณสมบัติทางเคมีของดิน

ระยะเวลาการบ่มหินฟอสเฟตไม่ส่งผลต่อความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดิน ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) ปริมาณด่างที่แลกเปลี่ยนได้ โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg) แต่จะส่งผลต่อฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (Available P) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) โดยพบว่าตำรับที่ 1 (ไม่มีการบ่มหินฟอสเฟต) ให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชสูงสุด (163 mg/kg^{-1}) ในขณะที่ตำรับที่ 2 ระยะการบ่มหินฟอสเฟต 1 สัปดาห์ ให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงสุด (0.45%)

4.2) องค์ประกอบผลผลิตของข้าว

ระยะการบ่มหินฟอสเฟตไม่มีผลต่อองค์ประกอบของผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในชุดดินบางกอก โดยพบว่ามีความสูงของต้นข้าวเฉลี่ย 125 เซนติเมตร จำนวนรวงต่อกระถางเฉลี่ย 42.9 รวงต่อกระถาง น้ำหนัก 1000 เมล็ดเฉลี่ย 24.3 กรัม และ% เมล็ดเต็ม 85.7 %

4.3) ผลผลิตของข้าว

ระยะการบ่มหินฟอสเฟตไม่มีผลต่อผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 โดยพบว่าผลผลิตเฉลี่ยของเมล็ดข้าว 1701.7 kg/ไร่ ผลผลิตเฉลี่ยของฟางข้าว 1542.4 kg/ไร่ และสัดส่วนระหว่างเมล็ดต่อฟางเฉลี่ย 0.89

4.4) ความเข้มข้นและการดูดดึงธาตุอาหารพืช

ระยะการบ่มหินฟอสเฟตไม่มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารและการดูดดึงของธาตุไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส,โพแทสเซียม ในเมล็ดและฟางข้าว โดยพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียมเฉลี่ย 0.77%, 2.61% ,0.45% สำหรับเมล็ด และ 0.29% ,3.01% ,2.03% สำหรับฟางข้าว ส่วนการดูดดึงของไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียมเฉลี่ย 11.1 kg/ไร่ ,37.1 kg/ไร่ ,6.65 kg/ไร่ สำหรับเมล็ด และ 5.16 kg/ไร่ ,51.2 kg/ไร่ ,34.6 kg/ไร่ สำหรับฟางข้าว

4.5) ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้เป็นการทดลองดินชุดบางกอก ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (1:1) อยู่ในระดับกรดเล็กน้อย (pH 6.1-6.5) ซึ่งอาจจะไม่ส่งผลให้หินฟอสเฟตละลายฟอสฟอรัสออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปควรจะใช้ดินที่มีระดับกรดจัด เช่นดินกรดกำมะถัน (Acid Sulfate Soil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กู้เกียรติ สร้อยทอง และ อรุณ เจริญศักดิ์ศรี. (2529). การใช้ปุ๋ยในนาข้าว. กองส่งเสริมพืชพันธุ์ กรมส่งเสริมการเกษตร.

กองวิเคราะห์ดิน : 2540. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดินกับการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ. 59 หน้า.

คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา: 2541. ปทานุกรมปฐพีวิทยา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 169 หน้า.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา : 2530. คู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้น. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรงเทพฯ. 119 หน้า.

จำเป็น ทองอ่อน (2550). ดินที่มีปัญหาและการจัดการ. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ธงชัย มาลา. (2550). ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 300 หน้า

ดุสิต จิตตนุนท์. (2529). ความรู้ทั่วไปเรื่องปุ๋ย. กองส่งเสริมพืชพันธุ์ กรมส่งเสริม.

ยุพิน สรวิสูตร์ และคณะ. (2526). การเพิ่มความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตโดยผสมกับส่าเหล้า วารสารวิชาการเกษตร.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2528). หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย. บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด.

ศุภวรรณ์ ใจแสน. (2551). ข้าวอินทรีย์ข้าวต้นทุนต่ำ. บริษัท นาคา อินเตอร์มีเดีย จำกัด.

สภาพร จันรุ่งเรือง และคณะ. (2553). ผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต *Burkholderia* sp. สายพันธุ์ Rs01 ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดพันอินทรีย์ 2. วิทยาสารกำแพงแสน ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตร์ศาสตร์.

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2547. คู่มือวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่ม 1. กรมพัฒนาที่ดิน : 184 หน้า

อาภารัตน์ มหาขันธ์. (2549). ปุ๋ยชีวภาพจากจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตกับอนาคตการเกษตรของประเทศไทย. กรุงเทพฯ : บริษัท เชเว่น พริ้นติ้ง กรุ๊ป จำกัด. 67 หน้า

อำนาจ สุวรรรฤทธิ์. (2551). ปุ๋ยกับการเกษตรและสิ่งแวดล้อม. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์, ศุภรัตน์ จิตต์จำนง, เกรียงศักดิ์ บุญเที่ยง, จินตนา จิตต์จำนง, พักตร์ทิพา เดชพละ, ธรรมรัตน์ จำกอง และอรุณี บุญหรรษา : 2540. ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อคุณภาพเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105. Agricultural Extension and Communication and Agro-Industry, Bangkok (Thailand): หน้า 145-157.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Allison, L.E. 1965.Organic Carbon. *In* Methods of soil analysis, part 2 no. 9 p 1367-1378. Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin

Arao, T. and Ae, N. 2003. Genotypic variations in cadmium concentration of rice grain. Soil Sci. Plant Nutr. 49: 473-479.

Arao, T. and Makino, T. 2010. Countermeasures against heavy metal contamination of agriculture soil in Japan. Seminar at the Office of Research and Development of Agricultural Production, Department of Agriculture, Bangkok Thailand.2 March 2010.

Beck, R. 1999. Soil Analysis Handbook of Reference Methods. Soil and Plant Analysis Council, Inc. CRC Press, USA. 247 p.

Blakemore, L.C. , P.L. Searle and B.K. Daly. 1987. Methods for Chemical Analysis of Soils. NZ Soil Bureau Scientific Report 80. Lower Hutt, New Zealand. 103 p.

Bower , C.A. and L.V.Wilcox. 1965. Soluble salts. pp 933-951. In Methods of Soil Analysis Part 2. C.A. Black (ed). American Society of Agronomy Inc., Publisher. USA.

Brown, S., Chaney, R., Hallfrisch, J., Ryan, J.A., Berti, W.R., 2004. In situ soil treatments to reducethe phyto- and bioavailability of lead, zinc, and cadmium.Journal of environmental quality 33 : 522-531.

Chapman, H.D. 1965. Cation. Exchange Capacity. In Methods of soil analysis, part 2 No. 9 pp 891-913 Amer. Soc. Agron., Madison, Wis.

Cheng Wang-da, Yao Hai-gen, Zhang Hong-mei, Tao Xian-guo. 2009. Influences of Cadmium on Grain Mineral Nutrient Contents of Two Rice Genotypes Differing in Grain Cadmium Accumulation. Rice Science (June 2009), 16 (2): 151-156.

Chuanping Liu, Fangbai Li, ChunlingLuo, Xinming Liu, Shihua Wang, Tongxu Liu, Xiangdong Li. 2008. Foliar application of two silica sols reduced cadmium accumulation in rice grains. Journal of Hazardous Materials. 161: 1466-1472.

FAO. 1979 a. Soil Survey Investigation for Irrigation. Soil Bull. No. 42. FAO, Rome.Landon, J.R. 1991. Booker Tropical Soil Manual. Addison Wesley Longman Limited. England.

Honda, R., Swaddiwudhipong, W., Nishijo, M., Mahasakpan, P., Teeyakasem, W.,Ruangyuttikarn,W., Satarug, S., Padungtod, C. and Nakagawa, H. 2010. Cadmium induced renal dysfunction among residents of rice farming area downstream from a zinc-mineralized belt in Thailand. Toxicology Letters., XXX, XXX-XXX.

Huang Dong-Fen, Xi Ling-Lin,Wang Zhi-Qin, Liu Li-Jun, and Yang Jian-Chang. 2008.Effect of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Irrigation Patterns during Grain Filling on Grian Quality and Concentration and Distribution of Cadmium in Different Organs of Rice. Acta Agronomica Sinica, 34 (3): 456-464.

Liu J G, Zhu Q S, Zhang Z J, Xu J K, Yang J C, Wong M H. 2005. Variantions in cadmium accumulation among rice cultivars and types and selection of cultivars for reducing cadmium in the diet. J Sci Food Agric, 85: 147-153.

Morishita, T., Fumoto, N., Yoshizawa, T. and Kagawa, K. 1987. Varietal differences in cadmium levels of rice grains of japonica, indica, javanica, and hybrid varieties produced in the same plot of field, Soil Sci. Plant Nutr. 33: 629-637.

Peech , M. 1965. Hydrogen-Ion Activity. pp. 914-926. In Methods of Soil Analysis Part 2. C.A. Black (ed.) American society of Agronomy, Inc., Publisher. USA

Rayment, G.E. and F.R. Higginson. 1992.Austrain Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods. Inkata Press, Sydney, Australia. 330 p.

Shi, X., Zhang, C., Wang, H. and Zhang, F. 2005. Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings. Plant and Soil 272: 53-60.

Simmons, R. W., Pongsakul, P., Saiyasitpanich, D., Klinpholap, S., 2005. Elevated levels of cadmium and zinc mineralized area and elevated levels of cadmium in rice Grain downstream of a zinc mineralized aera in Thailand: implications for public health. Environ. Geochem. Health: 27, 501-511.

Simmons, R. W., Noble, A.D., Pongsakul, P., Sukreeyapongse, O., Chinabut, N., 2009. assessment. Cadmium-hazard mapping using a general linear regression model (Irr-Cad) for rapid risk Environ. Geochem. Health: 31, 71-79. Environ. Geochem. Health: 27, 501-511

Soil Survey Laboratory Staff. 1992. Reaction (pH). pp 274-276. In Soil Survey Laboratory Method Manual. Soil Survey Investigations report No. 42 , V.2.0.

Takijima, Y., Katsumi, F. and Koizumi, S. 1973. Cadmium contamination of soils and rice plants caused by zinc mining. III. Effects of water management and applied organic wastes on the control of Cd uptake by plants. Soil Sci. Plant Nutr. 19, 183-193

Thawornchaisit, U. and Polprasert, C. 2009. Evaluation of phosphate fertilizers for the stabilization of cadmium in highly contaminated soil. Journal of Hazardous Materials. 165: 1109-1113.

Walkley, A. and I.A. Black, 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. Soil. Sci. Amer. Proc. 63: p 257.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตารางผนวกที่ 1</u> แสดงข้อมูลของผลผลิตของฟางข้าวและเมล็ดข้าว

Rep.	ความสูง (cm)	จำนวนรวง	นน.ฟาง (g/กระถาง)	นน.ฟาง (กรัมต่อไร่)	นน.เมล็ด (14) g/ไร่	นน.เมล็ด (กรัมต่อไร่)	ผลผลิตต่อไร่ (kg)	นน.1000เมล็ด (g)	%เต็ม	%ลีบ	สัดส่วนเมล็ด/ฟางข้าว
1	119	42	84.17	1387.1216	82.11	1353.14	1353.14	23.2	95	5	0.975505411
2	120	56	105.92	1745.5616	95.59	1575.33	1575.33	24	88	12	0.902476445
3	121	45	99.80	1644.704	79.72	1313.84	1313.84	23	92	8	0.798830892
1	124.5	51	116.96	1927.5008	58.65	966.57	966.57	23.9	86	14	0.501463651
2	129	50	121.29	1998.8592	113.05	1862.99	1862.99	24	84	16	0.932028623
3	120.5	40	96.62	1592.2976	85.89	1415.44	1415.44	24.5	87	13	0.888929203
1	134	36	92.53	1524.8944	83.54	1376.71	1376.71	23.8	88	12	0.902824369
2	130	47	101.87	1678.8176	94.25	1553.27	1553.27	24.3	80	20	0.925213889
3	127	42	121.59	2003.8032	92.44	1523.40	1523.40	29.8	80	20	0.760256484
1	123	47	108.91	1794.8368	101.24	1668.50	1668.50	24.3	84	16	0.929613314
2	129	41	105.83	1744.0784	85.56	1410.00	1410.00	22.8	93	7	0.808448829
3	128	31	85.72	1412.6656	79.97	1317.83	1317.83	23.9	91	9	0.932864166
1	124	46	109.09	1797.8032	106.12	1748.80	1748.80	25	82	18	0.972740664
2	125.5	49	108.42	1786.7616	132.43	2182.45	2182.45	23.6	86	14	1.221455751
3	123	42	99.14	1633.8272	99.88	1646.08	1646.08	24.7	84	16	1.007501724

Rep	ความสูง (cm)	จำนวนรวง	นน.ฟาง (g/กระถาง)	นน.ฟาง (กรัมต่อไร่)	นน.เมล็ด (14) g/ไร่)	นน.เมล็ด (กรัมต่อไร่)	ผลผลิตต่อไร่ (kg)	นน.1000เมล็ด (g	%เต็ม	%ลีบ	สัดส่วนเมล็ด/ฟางข้าว
1	124	42	109.68	1807.5264	107.13	1765.47	1765.47	25	88	12	0.976731464
2	127	45	116.83	1925.3584	115.20	1898.46	1898.46	24.2	88	12	0.986028198
3	129	34	82.74	1363.5552	63.02	1038.62	1038.62	24.4	65	35	0.761702391
1	129	40	110.26	1817.0848	87.44	1441.04	1441.04	25.4	92	8	0.793051519
2	125	38	97.91	1613.5568	86.50	1425.52	1425.52	24	95	5	0.883464406
3	127	40	105.42	1737.3216	116.10	1913.40	1913.40	24.3	73	27	1.10135317

ตารางผนวกที่ 2 แสดงข้อมูลของการวิเคราะห์ดิน

Treat.	Rep.	pH	EC 1:5 (µs)	O.M	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Total P (mg/kg)
1	1	6.21	665	1.73	165.91	335	2275	250	0.06
1	2	6.20	710	1.53	156.93	338	2380	260	0.05
1	3	6.46	638	1.38	161.34	327.5	2745	220	0.05
2	1	6.47	689	1.52	140.6	342	2535	245	0.05
2	2	6.27	694	1.38	116.07	326	2430	235	0.04
2	3	6.45	497	1.67	133.13	348	2695	240	0.04
3	1	6.49	702	1.45	152.66	335	3100	250	0.05
3	2	6.34	762	2.14	100.94	304.5	2810	215	0.04
3	3	6.50	728	1.59	116.07	328	2635	245	0.03
4	1	6.48	696	2.15	119.31	318.5	2520	255	0.04
4	2	6.39	554	1.46	100.94	329.5	2535	205	0.07
4	3	6.15	713	1.39	144.5	344	2670	215	0.06
5	1	6.31	412	1.38	144.5	325	2995	225	0.07

Treat.	Rep.	pH	EC 1:5 (µs)	O.M	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Total P (mg/kg)
5	2	6.46	722	1.45	161.34	320.5	2565	240	0.08
5	3	6.55	614	1.26	191.37	338	2380	210	0.1
6	1	6.46	755	1.45	133.13	298.5	2310	205	0.09
6	2	6.46	602	1.24	119.31	291	2300	240	0.07
6	3	6.51	531	1.38	112.91	363	2360	230	0.07
7	1	6.49	806	1.38	109.81	336	2935	265	0.07
7	2	6.40	557	1.45	116.07	307.5	2625	200	0.08
7	3	6.43	371	1.33	92.61	293	2505	265	0.11

ตารางผนวกที่ 3 แสดงข้อมูลของความเข้มข้นของธาตุอาหาร

Treat.	Rep.	N (%) ฟางข้าว	Uptake N (g/15kg,ต่อกระถาง)ฟางข้าว	Uptake N (kg/ไร่)ฟางข้าว	N (%) ของเมล็ดข้าว	Uptake N(g/15kg,ต่อกระถาง)ของเมล็ดข้าว	Uptake N(kg/ไร่) ของเมล็ดข้าว
1	1	0.31	0.26	4.36	0.79	0.62	10.18
1	2	0.38	0.4	6.59	0.88	0.81	13.28
1	3	0.35	0.34	5.68	0.78	0.6	9.83
2	1	0.34	0.4	6.63	0.78	0.82	13.48
2	2	0.44	0.54	8.85	0.94	1.02	16.75
2	3	0.31	0.3	4.97	0.6	0.49	8.08
3	1	0.34	0.32	5.25	0.82	0.65	10.76
3	2	0.38	0.38	6.34	0.82	0.74	12.15
3	3	0.41	0.5	8.18	0.85	0.75	12.34
4	1	0.41	0.44	7.31	0.82	0.71	11.75
4	2	0.09	0.1	1.65	0.91	0.67	11
4	3	0.35	0.3	4.89	0.22	0.15	2.48
5	1	0.59	0.65	10.69	0.82	0.75	12.3
5	2	0.28	0.31	5.03	0.85	0.96	15.89
5	3	0.16	0.16	2.58	0.82	0.7	11.57
6	1	0.28	0.31	5.08	0.53	0.49	8.08
6	2	0.16	0.18	3.01	0.75	0.75	12.31
6	3	0.38	0.31	5.15	0.73	0.39	6.48
7	1	0.06	0.07	1.14	0.85	0.64	10.53
7	2	0.28	0.28	4.54	0.91	0.68	11.21
7	3	0.03	0.03	0.55	0.88	0.88	14.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 แสดงข้อมูลของความเข้มข้นของธาตุอาหาร (ต่อ)

Treat.	Rep.	P(%) ฟางข้าว	Uptake P(g/15kg,ต่อกระถาง)ฟางข้าว	Uptake P(kg/ไร่) ของฟางข้าว	P (%) ของเมล็ดข้าว	Uptake P(g/15kg,ต่อกระถาง) เมล็ดข้าว	Uptake P(kg/ไร่) เมล็ดข้าว
1	1	2.89	2.43	40.05	2.29	1.8	29.68
1	2	5.62	5.96	98.14	2.29	2.1	34.64
1	3	3.04	3.03	50.01	2.29	1.75	28.83
2	1	1.59	1.86	30.7	1.59	1.66	27.39
2	2	2.15	2.61	42.98	2.29	2.47	40.75
2	3	2.89	2.79	45.98	3.35	2.75	45.31
3	1	4.88	4.51	74.35	2.89	2.31	38.08
3	2	2.15	2.19	36.1	2.15	1.94	32.05
3	3	4.17	5.08	83.64	3.51	3.11	51.21
4	1	2.89	3.14	51.82	2.89	2.51	41.43
4	2	2.15	2.28	37.5	2.59	1.9	31.37
4	3	3.51	3.01	49.63	4.17	2.87	47.31
5	1	2.15	2.35	38.66	4.01	3.66	60.24
5	2	4.52	4.9	80.76	1.87	2.13	35.06
5	3	1.59	1.58	26.02	1.46	1.25	20.63
6	1	2.01	2.2	36.3	2.59	2.38	39.28
6	2	4.52	5.28	87.02	4.7	4.65	76.68
6	3	3.51	2.91	47.9	2.44	1.32	21.79
7	1	2.15	2.37	39.07	1.46	1.1	18.06
7	2	2.59	2.53	41.74	1.87	1.39	22.9
7	3	2.29	2.42	39.85	2.29	2.29	37.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 แสดงข้อมูลของความเข้มข้นของธาตุอาหาร (ต่อ)

Treat.	Rep.	K(%)ฟางข้าว	Uptake K(g/15kg,ต่อกระถาง)ฟางข้าว	Uptake K(kg/ไร่) ฟางข้าว	K (%) ของเมล็ดข้าว	Uptake K(g/15kg,ต่อกระถาง)เมล็ดข้าว	Uptake K(kg/ไร่) เมล็ดข้าว
1	1	2.7	2.27	37.47	0.46	0.36	5.93
1	2	2.03	2.15	35.37	0.49	0.45	7.37
1	3	1.97	1.96	32.37	0.44	0.34	5.56
2	1	2.04	2.38	39.24	0.4	0.42	6.95
2	2	2.02	2.45	40.4	0.42	0.45	7.39
2	3	2.04	1.97	32.49	0.52	0.42	6.97
3	1	1.82	1.69	27.81	0.49	0.39	6.4
3	2	2.03	2.07	34.1	0.53	0.48	7.91
3	3	1.85	2.25	37.12	0.59	0.52	8.58
4	1	1.98	2.16	35.59	0.51	0.44	7.3
4	2	2.09	2.22	36.51	0.5	0.37	6.06
4	3	1.88	1.61	26.51	0.46	0.32	5.19
5	1	2.04	2.22	36.6	0.58	0.53	8.71
5	2	1.96	2.12	34.99	0.54	0.62	10.16
5	3	2.06	2.05	33.73	0.37	0.32	5.23
6	1	2.07	2.28	37.49	0.49	0.45	7.38
6	2	1.93	2.26	37.24	0.29	0.28	4.69
6	3	1.93	1.6	26.38	0.44	0.24	3.91
7	1	1.9	2.09	34.45	0.31	0.24	3.9
7	2	2.22	2.17	35.81	0.46	0.34	5.59
7	3	2.14	2.26	37.21	0.52	0.52	8.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตารางผนวกที่ 4</u> แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยใช้วิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version20.0 ของผลผลิตของพืช

Oneway

[DataSet1] D:\วิเคราะห์\yield01.sav

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F
ความสูง	Between Groups	12.326	6	2.054	1.079
	Within Groups	26.660	14	1.904	
	Total	38.986	20		
จำนวนร่วง	Between Groups	234.952	6	39.159	1.176
	Within Groups	466.000	14	33.286	
	Total	700.952	20		
น้ำหนักฟาง_gต่อกระถาง	Between Groups	397.046	6	66.174	.433
	Within Groups	2141.697	14	152.978	
	Total	2538.743	20		
น้ำหนักฟาง_kgต่อไร่	Between Groups	107833.890	6	17972.315	.433
	Within Groups	581664.399	14	41547.457	
	Total	689498.289	20		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเมล็ด_gต่อกระถาง	Between Groups	1607.061	6	267.844	.802
	Within Groups	4675.900	14	333.993	
	Total	6282.962	20		
น้ำหนักเมล็ด_kgต่อไร่	Between Groups	436495.266	6	72749.211	.802
	Within Groups	1269841.646	14	90702.975	
	Total	1706336.911	20		
ผลผลิตต่อไร่	Between Groups	436495.266	6	72749.211	.802
	Within Groups	1269841.646	14	90702.975	
	Total	1706336.911	20		
เปอร์เซ็นเต็ม	Between Groups	271.810	6	45.302	.832
	Within Groups	762.000	14	54.429	
	Total	1033.810	20		
สัดส่วนเมล็ดต่อฟางข้าว	Between Groups	.138	6	.023	1.180
	Within Groups	.273	14	.020	
	Total	.411	20		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

ความสูง

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
0 week	3	120.0000		
4 week	3	124.1667	124.1667	
1 week	3	124.6667	124.6667	
3 week	3		126.6667	126.6667
5 week	3		126.6667	126.6667
6 week	3		127.0000	127.0000
2 week	3			130.3333
Sig.		.069	.274	.156

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

จำนวนร่วง

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
6 week	3	39.3333
3 week	3	39.6667
5 week	3	40.3333
2 week	3	41.6667
4 week	3	45.6667
1 week	3	47.0000
0 week	3	47.6667
Sig.		.137

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

น้ำหนักฟาง_gต่อกระถาง

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
0 week	3	96.6300
3 week	3	100.1533
5 week	3	103.0833
6 week	3	104.5300
2 week	3	105.3300
4 week	3	105.5500
1 week	3	111.6233
Sig.		.206

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

น้ำหนักฟาง_kgต่อไร่

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
0 week	3	1592.4624
3 week	3	1650.5269
5 week	3	1698.8133
6 week	3	1722.6544
2 week	3	1735.8384
4 week	3	1739.4640
1 week	3	1839.5525
Sig.		.206

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

น้ำหนักเมล็ด_gต่อกระถาง

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
0 week	3	85.8067
1 week	3	85.8633
3 week	3	88.9233
2 week	3	90.0767
5 week	3	95.1167
6 week	3	96.6800
4 week	3	112.8100
Sig.		.129

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

น้ำหนักเมล็ด_kgต่อไร่

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
0 week	3	1414.1033
1 week	3	1415.0000
3 week	3	1465.4433
2 week	3	1484.4600
5 week	3	1567.5167
6 week	3	1593.3200
4 week	3	1859.1100
Sig.		.129

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

ผลผลิตต่อไร่

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
0 week	3	1414.1033
1 week	3	1415.0000
3 week	3	1465.4433
2 week	3	1484.4600
5 week	3	1567.5167
6 week	3	1593.3200
4 week	3	1859.1100
Sig.		.129

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

seed10000

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
0 week	3	23.4000
3 week	3	23.6667
1 week	3	24.1333
4 week	3	24.4333
5 week	3	24.5333
6 week	3	24.5667
2 week	3	25.9667
Sig.		.062

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

เปอร์เซ็นเต็ม

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
5 week	3	80.333
2 week	3	82.667
4 week	3	84.000
1 week	3	85.667
6 week	3	86.667
3 week	3	89.333
0 week	3	91.667
Sig.		.116

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

เปอร์เซ็นต์ลีบ

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
0 week	3	8.3333
3 week	3	10.6667
6 week	3	13.3333
1 week	3	14.3333
4 week	3	16.0000
2 week	3	17.3333
5 week	3	19.6667
Sig.		.116

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

สัดส่วนเมล็ดต่อฟางข้าว

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1 week	3	.7741	
2 week	3	.8628	.8628
3 week	3	.8903	.8903
0 week	3	.8923	.8923
5 week	3	.9082	.9082
6 week	3	.9260	.9260
4 week	3		1.0672
Sig.		.251	.129

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตารางผนวกที่ 5</u> แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยใช้วิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version20.0 ของการวิเคราะห์ดิน

Oneway

[DataSet1] C:\Users\acer\Documents\SPSSInc\วิเคราะห์ดิน.sav

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
pH	Between Groups	.080	6	.013	1.049	.436
	Within Groups	.177	14	.013		
	Total	.257	20			
EC	Between Groups	50405.619	6	8400.937	.545	.766
	Within Groups	215939.333	14	15424.238		
	Total	266344.952	20			
OM	Between Groups	.407	6	.068	1.232	.348
	Within Groups	.770	14	.055		
	Total	1.177	20			
P	Between Groups	9189.177	6	1531.530	41.997	.000
	Within Groups	510.549	14	36.468		
	Total	9699.726	20			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K	Between Groups	1552.786	6	258.798	.670	.676
	Within Groups	5410.667	14	386.476		
	Total	6963.452	20			
Ca	Between Groups	502180.952	6	83696.825	2.017	.131
	Within Groups	580950.000	14	41496.429		
	Total	1083130.952	20			
Mg	Between Groups	1380.952	6	230.159	.464	.824
	Within Groups	6950.000	14	496.429		
	Total	8330.952	20			
TotalP	Between Groups	.006	6	.001	6.244	.002
	Within Groups	.002	14	.000		
	Total	.009	20			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

pH

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
1	3	6.2900
4	3	6.3400
2	3	6.3967
5	3	6.4400
7	3	6.4400
3	3	6.4433
6	3	6.4767
Sig.		.092

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

EC

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
7	3	578.0000
5	3	582.6667
2	3	626.6667
6	3	629.3333
4	3	654.3333
1	3	671.0000
3	3	730.6667
Sig.		.200

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

OM

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
6	3	1.3569
5	3	1.3602
7	3	1.3834
2	3	1.5220
1	3	1.5471
4	3	1.6668
3	3	1.7280
Sig.		.106

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

P

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
3	3	108.4533		
4	3	109.8867		
7	3	112.3333		
6	3	115.3333		
2	3		136.8033	
5	3			152.9200
1	3			163.3533
Sig.		.218	1.000	.053

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

K

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
7	3	312.1667
6	3	317.5000
3	3	322.5000
5	3	327.8333
4	3	330.6667
1	3	333.5000
2	3	338.6667
Sig.		.163

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Ca

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
6	3	2323.3333	
1	3	2466.6667	2466.6667
2	3	2553.3333	2553.3333
4	3	2575.0000	2575.0000
5	3	2646.6667	2646.6667
7	3	2688.3333	2688.3333
3	3		2848.3333
Sig.		.069	.058

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Mg

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
4	3	225.0000
5	3	225.0000
6	3	225.0000
3	3	236.6667
2	3	240.0000
1	3	243.3333
7	3	243.3333
Sig.		.381

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

TotalP

Duncan

Treatment	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
3	3	.0397		
2	3	.0457		
1	3	.0530	.0530	
4	3	.0563	.0563	
6	3		.0747	.0747
5	3			.0823
7	3			.0883
Sig.		.172	.074	.245

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตารางผนวกที่ 6</u> แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยใช้วิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version20.0 ของความเข้มข้นของธาตุอาหาร

Oneway

[DataSet4] D:\ความเข้มข้นธาตุอาหาร.sa

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Nฟางข้าว	Between Groups	.138	6	.023	1.393	.284
	Within Groups	.231	14	.017		
	Total	.369	20			
Uptake N ฟางข้าว_gต่อ 15kgต่อกระถาง	Between Groups	.179	6	.030	1.463	.260
	Within Groups	.285	14	.020		
	Total	.464	20			
Uptake eN ฟางข้าว_kgต่อไร่	Between Groups	48.538	6	8.090	1.462	.261
	Within Groups	77.446	14	5.532		
	Total	125.984	20			
Nเมล็ดข้าว	Between Groups	.135	6	.023	.832	.565
	Within Groups	.379	14	.027		
	Total	.514	20			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Uptake N เมล็ด_gต่อ15kg ต่อกระถาง	Between Groups	765.118	6	127.520	.576	.744
	Within Groups	3101.880	14	221.563		
	Total	3866.998	20			
Pฟางข้าว	Between Groups	7.553	6	1.259	.946	.494
	Within Groups	18.628	14	1.331		
	Total	26.181	20			
Pเมล็ดข้าว	Between Groups	4.596	6	.766	.957	.487
	Within Groups	11.206	14	.800		
	Total	15.802	20			
uptakePเมล็ด_gต่อ15kg ต่อกระถาง	Between Groups	2.801	6	.467	.571	.747
	Within Groups	11.442	14	.817		
	Total	14.243	20			
Kฟางข้าว	Between Groups	.200	6	.033	1.033	.445
	Within Groups	.451	14	.032		
	Total	.650	20			
uptakeKฟางข้าว_gต่อ15kg ต่อกระถาง	Between Groups	.176	6	.029	.456	.829
	Within Groups	.900	14	.064		
	Total	1.076	20			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

uptakeKฟางข้าว_kgต่อไร่	Between Groups	47.813	6	7.969	.456	.829
	Within Groups	244.407	14	17.458		
	Total	292.221	20			
Kเมล็ดข้าว	Between Groups	.035	6	.006	.953	.490
	Within Groups	.086	14	.006		
	Total	.121	20			
uptakeKเมล็ด_gต่อ15kg ต่อกระถาง	Between Groups	.061	6	.010	1.029	.447
	Within Groups	.139	14	.010		
	Total	.200	20			
uptakeKเมล็ดข้าว_kgต่อไร่	Between Groups	16.605	6	2.768	1.029	.447
	Within Groups	37.646	14	2.689		
	Total	54.252	20			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Nฟางข้าว

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
6 week	3	.1252
5 week	3	.2718
3 week	3	.2827
4 week	3	.3446
0	3	.3459
1 week	3	.3664
2 week	3	.3767
Sig.		.051

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

uptakeNฟางข้าว_gต่อ15kgต่อกระถาง

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
6 week	3	.1260	
5 week	3	.2679	.2679
3 week	3	.2802	.2802
0	3	.3365	.3365
4 week	3	.3701	.3701
2 week	3	.3998	.3998
1 week	3		.4138
Sig.		.053	.279

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

uptakeNฟางข้าว_kgต่อไร่

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
6 week	3	2.0767	
5 week	3	4.4133	4.4133
3 week	3	4.6167	4.6167
0	3	5.5433	5.5433
4 week	3	6.1000	6.1000
2 week	3	6.5900	6.5900
1 week	3		6.8167
Sig.		.053	.279

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

Nเมล็ดข้าว

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
3 week	3	.6483
5 week	3	.6705
1 week	3	.7749
0	3	.8161
2 week	3	.8258
4 week	3	.8273
6 week	3	.8804
Sig.		.145

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

uptakeNเมล็ด_gต่อ15kgต่อกระถาง

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
3 week	3	.5104
5 week	3	.5434
0	3	.6733
2 week	3	.7129
6 week	3	.7317
1 week	3	.7749
4 week	3	.8043
Sig.		.114

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

uptakeNเมล็ดข้าว_kgต่อไร่

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
3 week	3	8.4100
5 week	3	8.9567
0	3	11.0967
2 week	3	11.7500
6 week	3	12.0567
1 week	3	12.7700
4 week	3	13.2533
Sig.		.114

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

Pฟางข้าว

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
1 week	3	2.2101
6 week	3	2.3437
4 week	3	2.7541
3 week	3	2.8502
5 week	3	3.3470
2 week	3	3.7334
0	3	3.8502
Sig.		.143

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

uptakePฟางข้าว_gต่อ15kgต่อกระถาง

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
1 week	3	2.4200
6 week	3	2.4400
3 week	3	2.8100
4 week	3	2.9433
5 week	3	3.4633
0	3	3.8067
2 week	3	3.9267
Sig.		.228

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

uptakePฟางข้าว_kgต่อไร่

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
1 week	3	39.8867
6 week	3	40.2200
3 week	3	46.3167
4 week	3	48.4800
5 week	3	57.0733
0	3	62.7333
2 week	3	64.6967
Sig.		.228

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

Pเมล็ดข้าว

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
6 week	3	1.8731
0	3	2.2940
1 week	3	2.4133
4 week	3	2.4435
2 week	3	2.8502
3 week	3	3.2162
5 week	3	3.2409
Sig.		.117

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

uptakePเมล็ด_gต่อ15kgต่อกระถาง

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
6 week	3	1.5933
0	3	1.8833
1 week	3	2.2933
4 week	3	2.3467
3 week	3	2.4267
2 week	3	2.4533
5 week	3	2.7833
Sig.		.172

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

uptakePเมล็ดข้าว_kgต่อไร่

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
6 week	3	26.2367
0	3	31.0500
1 week	3	37.8167
4 week	3	38.6433
3 week	3	40.0367
2 week	3	40.4467
5 week	3	45.9167
Sig.		.170

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

Kฟางข้าว

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
2 week	3	1.9000
5 week	3	1.9767
3 week	3	1.9833
4 week	3	2.0200
1 week	3	2.0333
6 week	3	2.0867
0	3	2.2333
Sig.		.062

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่6 (ต่อ)

uptakeKฟางข้าว_gต่อ15kgต่อกระถาง

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
3 week	3	1.9945
2 week	3	2.0028
5 week	3	2.0452
0	3	2.1280
4 week	3	2.1304
6 week	3	2.1737
1 week	3	2.2681
Sig.		.257

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

uptakeKฟางข้าว_kgต่อไร่

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
3 week	3	32.8697
2 week	3	33.0067
5 week	3	33.7051
0	3	35.0699
4 week	3	35.1087
6 week	3	35.8218
1 week	3	37.3775
Sig.		.257

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

Kเมล็ดข้าว

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
5 week	3	.4067
6 week	3	.4300
1 week	3	.4467
0	3	.4633
3 week	3	.4900
4 week	3	.4967
2 week	3	.5367
Sig.		.092

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

uptakeKเมล็ด_gต่อ15kgต่อกระถาง

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
5 week	3	.3234
6 week	3	.3667
3 week	3	.3752
0	3	.3816
1 week	3	.4311
2 week	3	.4629
4 week	3	.4874
Sig.		.094

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

uptakeKเมล็ดข้าว_kgต่อไร่

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
5 week	3	5.3298
6 week	3	6.0430
3 week	3	6.1833
0	3	6.2885
1 week	3	7.1046
2 week	3	7.6294
4 week	3	8.0320
Sig.		.094

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้