

การเพิ่มประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตโดยเผาที่อุณหภูมิต่ำ

ลัดดาวัลย์ มีสุข เพ็ญศรี ขวรวะช ยุพิน สรวีบุตร จันทิรา อริยรัช เรวดี ดีมาก
และ ภาวนาญ เสมรสุต¹

บทคัดย่อ

หินฟอสเฟตจากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศ เช่น จาก อ.แม่ทา จ.ลำพูน บ้านนากาญจน์ จ.กาญจนบุรี เขาน้ำแดง จ.ชัยนาท เขาพักม้า จ.ราชบุรี เขาชะโงก จ.เพชรบูรณ์ และบ้านเหล่าขาม จ.ร้อยเอ็ด ถูกนำมาเผาที่อุณหภูมิ 300—900 องศาเซลเซียสเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง โดยเพิ่มอุณหภูมิให้ต่างกันในช่วงดังกล่าว 100 องศาเซลเซียส ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตในหินฟอสเฟตจาก จ.ลำพูนแต่อย่างใด และมีการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตเกิดขึ้นจากแหล่งอื่น ๆ บ้างแต่ไม่มากกว่า 33.0% ที่อุณหภูมิระหว่าง 500—700 องศาเซลเซียส ส่วนแหล่งที่บ้านเหล่าขาม จ.ร้อยเอ็ด พบว่า เมื่อเผาที่ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตจะสูงถึง 82.2% และพบว่า การเปลี่ยนแปลงนี้มีสหสัมพันธ์กับปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีอยู่ในหินฟอสเฟต นอกจากนี้ยังพบว่าหินฟอสเฟตจาก จ.ร้อยเอ็ด เมื่อเผาแล้วสามารถทิ้งไว้ในบรรยากาศปกติได้นานถึง 6 เดือน โดยที่เปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตยังคงเดิม เมื่อทำการประเมินคุณภาพของหินฟอสเฟตที่เผา ณ อุณหภูมิต่าง ๆ โดยการทดสอบกับข้าวโพดปลูกในกระถาง ข้าวโพดได้แสดงการตอบสนองต่อการให้หินฟอสเฟตที่ได้จากการเผาทุกอุณหภูมิ คือทำให้น้ำหนักแห้งของข้าวโพดเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หินฟอสเฟตไม่เผา นอกจากนี้ ยังได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตกับข้าวโพดในสภาพไร่อีกด้วย โดยเปรียบเทียบระหว่างหินฟอสเฟตที่ไม่เผา กับที่เผา ณ อุณหภูมิต่าง ๆ และการเปรียบเทียบระหว่างหินฟอสเฟตซึ่งได้มาจากเตาเผาต่างชนิดกัน

แหล่งหินฟอสเฟตที่สำรวจพบในประเทศไทยมีหลายแหล่ง มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ตามตารางที่ 1 (ลัดดาวัลย์ และคณะ, 2519) ส่วนใหญ่จะมีปริมาณฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (ฟอสเฟตที่ละลายในน้ำและฟอสเฟตที่ละลายในสารละลายแอมโมเนียมซิเตรต) ต่ำ มีบางแหล่ง เช่น หินฟอสเฟตจากเขาพักม้า จ.ราชบุรี ที่มีปริมาณฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์สูงกว่าแหล่งอื่น ๆ แต่ก็มีปริมาณสำรองไม่มากนัก (สมบุญธรรมและสุวรรณ, 2521) ปริมาณเหล็กออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ $Fe_2O_3 + Al_2O_3$ ในหินฟอสเฟตจากแหล่งต่าง ๆ จะอยู่ระหว่าง 3.3—9.2% ยกเว้นหินฟอสเฟตจากบ้านเหล่าขาม จ.ร้อยเอ็ด ที่มีเหล็กออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์สูงมากถึง 21.6—30.2% (เพ็ญศรีและคณะ, 2526) ส่วนปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) มีต่ำ คือ 1.9% หินฟอสเฟตของประเทศไทยส่วนใหญ่จะมีปริมาณธาตุอาหารเสริมสูงคล้ายคลึงกับหินฟอสเฟตของรัฐทางตะวันตกของประเทศ

สหรัฐอเมริกา ซึ่งแตกต่างจากหินฟอสเฟตที่ประเทศญี่ปุ่นซึ่งเข้าไปผลิตปุ๋ยภายในประเทศ และต่างจากหินฟอสเฟตที่รัฐฟลอริดาและเทนเนสซีของประเทศสหรัฐอเมริกา กล่าวคือ หินฟอสเฟตไทยมีธาตุทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) สูงมาก คือ ประมาณ 500 และ 50 เท่าของหินฟอสเฟตจากรัฐฟลอริดาตามลำดับ ข้อมูลเกี่ยวกับข้อดีของการมีธาตุอาหารเสริมในหินฟอสเฟตยังไม่ค่อยมีมากนัก Halvorson (1954) ได้รายงานว่าในดินที่ขาดสังกะสี พืชจะตอบสนองต่อการให้ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตที่ผลิตจากหินฟอสเฟตจากรัฐทางตะวันตกของสหรัฐอเมริกา มากกว่าหินจากรัฐฟลอริดา

หินฟอสเฟตหลายแหล่งในประเทศ แต่ละแหล่งมีปริมาณไม่มากนัก (สมบุญธรรมและสุวรรณ, 2521) ไม่เพียงพอต่อการที่จะพัฒนาให้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเคมีในโรงงานปุ๋ยขนาดใหญ่ ส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในโรงงานปุ๋ยขนาดเล็กเท่านั้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากหินฟอสเฟตของไทยส่วนใหญ่มีปริมาณฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ต่ำ การนำหินฟอสเฟตเหล่านี้มาใช้เป็นปุ๋ยที่มีคุณค่าที่ต่ำ จำเป็นต้องผ่านกระบวนการแบบต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้

¹กลุ่มงานวิจัยปฐกถวิทยา กรมวิชาการเกษตร บางเขน กทม. 10900

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหินฟอสเฟตจากแหล่งต่าง ๆ

ตัวอย่างที่แหล่ง	Total ¹ P ₂ O ₅	available ¹ P ₂ O ₅	CaO	F	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Zn/Cd
	%						ppm					
1. อ. แม่ทว จ. ลำพูน	36.98	4.03	47.78	1.49	1.83	2.86	9.40	300	38.30	8.50	1970	210
2. เขาน้ำแดง อ. หันคา จ. ชัยนาท	34.60	5.90	37.68	0.40	2.40	6.84	17.40	1400	14.20	26.00	6670	380
3. เขาชะโงก อ. ชนแดน จ. เพชรบูรณ์	27.32	2.24	38.56	0.44	2.33	5.47	4.60	940	7.50	16.00	3250	710
4. เขาค้อ อ. จอมบึง จ. ราชบุรี	36.35	9.58	44.20	0.64	1.31	2.04	4.30	660	14.30	23.00	5200	1210
5. เขาค้อ อ. จอมบึง จ. ราชบุรี	34.60	6.78	44.60	1.15	0.80	2.46	7.90	820	47.00	23.00	6200	780
6. บ้านนากาญจน์ จ. กาญจนบุรี	29.43	3.17			2.46	4.13						
7. บ้านเหล่าขาม จ. ร้อยเอ็ด	23.25	1.64	1.87		4.70	21.96						

¹วิเคราะห์ตามวิธีใน A.O.A.C.

องค์ประกอบอื่น ๆ วิเคราะห์ตามวิธี Official Method of Analysis of Fertilizers ของ NIAS

ฟอสเฟตเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปที่ละลายเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น กลุ่มงานวิจัยจึงได้จัดทำโครงการหาวิธีเพิ่มประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตจากแหล่งต่าง ๆ หนึ่งในวิธีเหล่านั้นคือ การเพิ่มประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตโดยการเผาที่อุณหภูมิต่ำ

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ได้นำหินฟอสเฟตจาก อ. แม่ทว จ. ลำพูน, บ้านนากาญจน์ จ. กาญจนบุรี, เขาน้ำแดง จ. ชัยนาท, เขาค้อ จ. ราชบุรี, เขาชะโงก จ. เพชรบูรณ์ และบ้านเหล่าขาม จ. ร้อยเอ็ด มาทำการทดลองตามลำดับขั้นตอนต่าง ๆ แบ่งเป็น 6 การทดลอง ดังนี้

1. การเผาหินฟอสเฟตจากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศที่อุณหภูมิต่ำ

เก็บหินฟอสเฟตจากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศ และบดผ่านตะแกรงร่อน 100 เมช เผาที่อุณหภูมิ 300, 400, 500, 600, 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง วิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดและฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (available P₂O₅) ของหินฟอสเฟตก่อนและหลังเผา คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงฟอสเฟต (% P₂O₅ conversion) คือ

$$\frac{\text{ปริมาณฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์} \times 100}{\text{ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด}}$$

2. การคงสภาพของหินฟอสเฟตหลังเผา

เก็บหินฟอสเฟตจากบ้านเหล่าขาม จ. ร้อยเอ็ด และแบ่งเป็น 6 ตัวอย่าง บดผ่านตะแกรงร่อน 100 เมช นำมาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง แบ่งหินฟอสเฟตจาก 6 ตัวอย่าง และตั้งไว้ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ปกติ (76-82%) และตั้งไว้ในตู้ปิดฝาที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง 96-98% โดยวางแผนการทดลองแบบ strip plot มีความชื้นสัมพัทธ์ 2 ระดับดังกล่าวเป็น main plot และระยะเวลาในการเก็บหินฟอสเฟตไว้ในสภาพดังกล่าว (0, 1, 3 และ 6 เดือน) เป็น sub plot วิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ และการเปลี่ยนแปลงความชื้นของหินฟอสเฟต

3. สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์หลังเผา

เก็บหินฟอสเฟตจากบ้านเหล่าขาม จ. ร้อยเอ็ด แบ่งเป็น 30 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1 กก. เผาหินฟอสเฟตทั้งหมดที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลาครึ่งชั่วโมงแล้วบดผ่านตะแกรงร่อน 100 เมช วิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด ฟอสเฟตที่เป็น

ประโยชน์ เหล็กออกไซด์ อะลูมินัมออกไซด์ และความชื้นของดินฟอสเฟต

4. การประเมินคุณค่าของหินฟอสเฟตโดยใช้ข้าวโพดเป็นพืชทดสอบ

เก็บตัวอย่างหินฟอสเฟตจากบ้านเหล่าขาม จ. ร้อยเอ็ด บดผ่านตะแกรงร่อน 100 เมช เเผาที่อุณหภูมิ 500, 600, 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง วิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ และความชื้นของหินฟอสเฟตหลังเผา แล้วนำมาทดสอบกับข้าวโพดที่ปลูกในกระถางโดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block มี 5 ซ้ำ 8 ดำรับ ดังนี้

4.1 0-0-0

4.2 N-หินฟอสเฟตไม่เผา-K₂O

4.3 N-หินฟอสเฟตเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส -K₂O

4.4 N-หินฟอสเฟตเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส -K₂O

4.5 N-หินฟอสเฟตเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส -K₂O

4.6 N-หินฟอสเฟตเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส -K₂O

4.7 N-หินฟอสเฟตเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส -K₂O

4.8 N-ดัดเบิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต-K₂O

ใช้ดินชุดปากช่องที่มี pH 6.1, อินทรีย์วัตถุ 1.8%, ฟอสฟอรัส 5 ppm., และโพแทสเซียม 110 ppm. กระถางละ 10 กก. ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 7.21 กรัมต่อกระถาง (45 กก. N ต่อไร่) โดยใส่ครึ่งหนึ่งพร้อมปลูก และอีกครึ่งหนึ่งใส่หลังข้าวโพดงอก 25 วัน ใส่หินฟอสเฟต 9.61 กรัมต่อกระถาง (300 กก.-หินฟอสเฟตต่อไร่) ใส่ดัดเบิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต 3.61 กรัมต่อกระถาง (45 กก.-P₂O₅ ต่อไร่) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ 1.20 กรัมต่อกระถาง (22.5 กก.-K₂O ต่อไร่) ปลูกข้าวโพดสุวรรณ 1 แล้วถอนแยกให้เหลือ 5 ต้นต่อกระถาง หลังจากงอก 1 สัปดาห์ บันทึกการเจริญเติบโต วัดความสูงทุกระยะ 15 วัน และระยะเก็บเกี่ยวข้าวโพดเมื่ออายุ 45 วัน ชั่งน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และหาปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดขึ้นไปใช้

5. การประเมินผลการทดลองในไร่

เก็บหินฟอสเฟตจากบ้านเหล่าขาม จ. ร้อยเอ็ด บดผ่านตะแกรงร่อน 100 เมช เเผาที่อุณหภูมิ 500, 600, 700, 800 และ

900 องศาเซลเซียส เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง วิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์และความชื้นของหินฟอสเฟตหลังเผา และนำมาทดลองกับข้าวโพดในภาคสนาม โดยวางแผนการทดลอง แบบ Randomized Complete Block มี 4 ซ้ำ 8 ดำรับ ดังนี้

5.1 0-0-0

5.2 N-หินฟอสเฟตไม่เผา-K₂O

5.3 N-หินฟอสเฟตเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส -K₂O

5.4 N-หินฟอสเฟตเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส -K₂O

5.5 N-หินฟอสเฟตเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส -K₂O

5.6 N-หินฟอสเฟตเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส -K₂O

5.7 N-หินฟอสเฟตเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส -K₂O

5.8 N-ดัดเบิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต-K₂O

ปลูกข้าวโพดในไร่เกษตรกร อ. ตากฟ้า จ. นครสวรรค์ ซึ่งเป็นดินชุดปากช่องที่มี pH 6.4, อินทรีย์วัตถุ 1.8%, ฟอสฟอรัส 4 ppm. และโพแทสเซียม 225 ppm. โดยเตรียมแปลงปลูกข้าวโพดขนาด 43 x 23 ม. แบ่งเป็นแปลงย่อยให้มีขนาด 4.5 x 5 ม. ทำร่องปลูกเป็นแถวมีระยะห่าง 75 ซม. มีทั้งหมด 6 แถว ต่อแปลงย่อย ระยะปลูกระหว่างหลุม 25 ซม. ใส่ปุ๋ยดัดเบิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟตในอัตรา 10 กก. P₂O₅ ต่อไร่ ส่วนหินฟอสเฟตทั้งที่เผาและไม่เผาใส่ในอัตรา 100 กก. ต่อไร่ ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซใส่ในอัตรา 10 กก. ของ N และ K₂O ต่อไร่ ตามลำดับ ปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทสเซใส่ตอนปลูกทั้งหมด ส่วนปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ครึ่งหนึ่งใส่ตอนปลูกและอีกครึ่งหนึ่งใส่เมื่อข้าวโพดอายุ 20 วัน ปลูกข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 แล้วถอนแยกให้เหลือหลุมละ 1 ต้น 17 วันหลังข้าวโพดงอก วัดความสูงเมื่อข้าวโพดอายุ 50 วัน และเก็บเกี่ยวเมื่อข้าวโพดอายุ 105 วัน กะเทาะเมล็ด ชั่งน้ำหนักและวัดความชื้นของเมล็ดขณะชั่ง

6. การประเมินคุณค่าในไร่โดยใช้หินฟอสเฟตเผาในเตาเผาหินปูน

เก็บหินฟอสเฟตจากบ้านเหล่าขาม จ. ร้อยเอ็ด ทบให้แตก เป็นก้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-8 นิ้ว แบ่งหินฟอสเฟตเป็น 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปบดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช แล้ววิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์

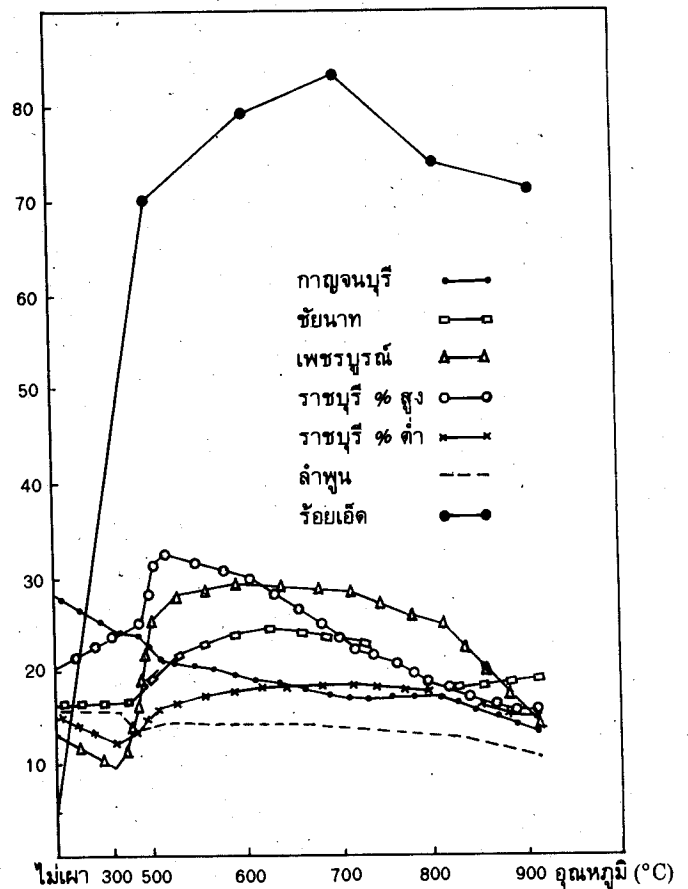
เหล็กออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ ส่วนที่สองนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลาครึ่งชั่วโมงในเตาเผาไฟฟ้าที่ควบคุมอุณหภูมิได้ ส่วนที่สามนำไปเผาในเตาเผาหินปูนโดยใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งต้องการควบคุมอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง แต่ควบคุมอุณหภูมิได้ยากมาก เพราะหินฟอสเฟตที่อยู่ชั้นล่างจะได้รับความร้อนจากเชื้อเพลิงมากกว่า เวลาตั้งแต่เริ่มเผาถึงสิ้นสุดการเผาของส่วนที่สามนี้ต้องใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง ส่วนที่สองและที่สาม หลังจากเผาแล้วนำมาบดละเอียดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมชเช่นกัน วิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ เหล็กออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ นำหินฟอสเฟตที่ได้ทั้ง 3 ส่วนเป็นแหล่งที่ให้ธาตุอาหารฟอสเฟต โดยเปรียบเทียบกับปุ๋ยทริบเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block มี 4 ซ้ำ 5 ดำรับ ดังนี้

- 6.1 ไม่ใส่ปุ๋ย 0-0-0
- 6.2 N- หินฟอสเฟตไม่เผา- K_2O
- 6.3 N- หินฟอสเฟตในเตาเผาหินปูน- K_2O
- 6.4 N- หินฟอสเฟตในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส- K_2O
- 6.5 N- ทริบเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต- K_2O

ปลูกข้าวโพดในไร่เกษตรกร อ. วังทอง จ. พิจิตร ซึ่งเป็นดินชุดปากช่องที่มี pH 5.3 (ก่อนปลูกได้ปรับ pH ของดินโดยใช้ปูนขาว 100 กก./ไร่ ทำให้ดินมี pH เพิ่มขึ้นเป็น 6.3), อินทรีย์วัตถุ 1.3%, ฟอสฟอรัส 4 ppm. และโพแทสเซียม 148 ppm. เตรียมแปลงปลูกข้าวโพดขนาด 800 ตร.ม. ขั้นตอนการเตรียมแปลงย่อย, การปลูก, อัตราปุ๋ยและวิธีการใส่ปุ๋ย เหมือนการทดลองที่ 5 วัดความสูงของข้าวโพดเมื่ออายุ 50 วัน และเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 114 วัน กระเทาะเมล็ด ชั่งน้ำหนักและวัดความชื้นของเมล็ดขณะชั่ง

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 พบว่าจากการเผาหินฟอสเฟตจากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศ คือ หินฟอสเฟตจาก อ. แม่ทา จ. ลำพูน, บ้านนากาญจน์ จ. กาญจนบุรี, เขาน้ำแดง จ. ชัยนาท, เขาค้อ จ. ราชบุรี, เขาชะโงก จ. เพชรบูรณ์ และบ้านเหล่าขาม จ. ร้อยเอ็ด ที่อุณหภูมิ 300-900 องศาเซลเซียส เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง นั้น หินฟอสเฟตจาก อ. แม่ทา จ. ลำพูน และจากเขาค้อ จ. ราชบุรี ที่มีเปอร์เซ็นต์ฟอสเฟตทั้งหมดสูง (ภาพที่ 1) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟต (P_2O_5 Conversion) เกิดขึ้น จาก



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตเมื่อเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

การตรวจชนิดหินฟอสเฟตด้วยเครื่อง x-ray diffraction ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พบว่าหินฟอสเฟตสองตัวอย่างนี้เป็นพวกไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxy apatite) และมีควอตซ์ (quartz) ปนอยู่ด้วย แม้ว่า จะเผาถึงอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ก็ยังคงเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์และมีควอตซ์ปนอยู่เหมือนเดิม ส่วนหินฟอสเฟตจากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากเขาค้อ จ. ราชบุรี ที่มีปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดต่ำกว่าสองตัวอย่างแรก หรือหินฟอสเฟตจากเขาชะโงก จ. เพชรบูรณ์ หรือที่ อ. หันคา จ. ชัยนาท และบ้านนากาญจน์ จ. กาญจนบุรี จะมีการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตหลังเผาและสูงสุด เมื่อเผาที่ 500-700 องศาเซลเซียส เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงนี้เนื่องจากเดิมมีแร่แครนดาไลต์ (crandallite : $CaAl_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$) ปนอยู่ในองค์ประกอบ เมื่อเผาแล้วปรากฏว่าไม่พบแร่ชนิดนี้เลย เนื่องจากผลึกของแร่แครนดาไลต์ เปลี่ยนรูปผลึกไปหลังการเผา เพราะมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ซึ่งไม่คงทนต่อความร้อน ทำให้สามารถสกัดฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ออกมาได้เพิ่มขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงไม่ได้เพิ่มขึ้นมากนัก เนื่องจากหินฟอสเฟตจากแหล่ง

ดังกล่าวมีปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์อยู่ไม่สูงมากเหมือนแหล่งหินฟอสเฟตจาก จ. ร้อยเอ็ด ที่เมื่อเผาแล้วจะพบการเปลี่ยนแปลงฟอสเฟตสูงมาก โดยการเปลี่ยนแปลงฟอสเฟตจะเพิ่มจากเดิมที่ไม่เผา 7% เป็น 82% เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และค่อย ๆ ลดลงมาเป็น 73% และ 70% เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 800 และ 900 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้เนื่องจากเดิมหินฟอสเฟตชนิดนี้อยู่ในรูปผลึกของวารีไซต์ (variscite) หรือบาแรนไดต์ (barrandite) ซึ่งมีสูตรเหมือนกันคือ $\text{Fe, Al PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ เพียงแต่ปริมาณส่วนประกอบของเหล็กและอะลูมิเนียมในแร่ทั้งสองไม่เท่ากัน และมีควอตซ์ปนอยู่ด้วย เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง วารีไซต์หรือบาแรนไดต์จะเปลี่ยนโครงสร้างจากผลึก (crystalline) เป็นอสัณฐาน (amorphous) ทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) สูงขึ้น Caro and Hill (1956) ได้รายงานว่าผลตอบสนองของพืชและความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตจะมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวจำเพาะ ดังนั้น เมื่อพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้น ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตหลังเผาเพิ่มขึ้นด้วย การทดลองครั้งนี้ให้ผลเช่นเดียวกันกับที่ Doak et al. (1964) ซึ่งได้ทดลองเผาหินฟอสเฟตเกรดซีจากเกาะคริสต์มาส ซึ่งเป็นหินฟอสเฟตที่มีเหล็กออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์สูงมาก คือ สูงถึง 40% เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที ถึง 2 ชั่วโมง ปรากฏว่าการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตเพิ่มขึ้นจาก 7% เป็น 72%

การทดลองที่ 2 การเผาหินฟอสเฟตจาก จ. ร้อยเอ็ด พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตสูงมากถึง 82% หลังเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง แต่เป็นปัญหาว่าหินฟอสเฟตเผาแล้วและยังไม่ได้ใช้ทันทีจะต้องสัมผัสกับความชื้นในบรรยากาศ ดังนั้น จึงได้ทำการทดลองขึ้นเพื่อดูว่าการเก็บหินฟอสเฟตที่เผาแล้วไว้นาน ๆ จะกระทบกระเทือนต่อเปอร์เซ็นต์ฟอสเฟตของหินฟอสเฟตเผาหรือไม่ ผลการทดลองพบว่า ถ้าตั้งไว้ในบรรยากาศปกติซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 76-82% นานถึง 6 เดือน เปอร์เซ็นต์ฟอสเฟตของหินฟอสเฟตที่เผาแล้วยังคงเดิม แสดงว่าหินฟอสเฟตจากแหล่งนี้ เมื่อเผาแล้วสามารถเก็บไว้ในบรรยากาศปกติได้นานอย่างน้อย 6 เดือน แต่ถ้าเก็บไว้ในที่ ๆ มีความชื้นสัมพัทธ์สูงมาก คือ 96-98% นานถึง 6 เดือน ทำให้เปอร์เซ็นต์ฟอสเฟตลดลง (ตารางที่ 2) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับหินฟอสเฟตที่เผาใหม่ ๆ แสดงว่าหินฟอสเฟตหลังเผาคงดูดความชื้นเข้าไป แต่โดยทั่ว ๆ ไปถ้าจะเก็บปุ๋ยไว้นานก็จะเก็บไว้ในบรรยากาศปกติ ซึ่งไม่มีผลเสียแต่อย่างใด ถึงแม้จะเก็บไว้นานถึง 6 เดือน

ตารางที่ 2 การคงสภาพของฟอสเฟตในระยะเวลาต่างกันเมื่อเก็บไว้ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่างกัน 2 ระดับ

ระยะเวลาเก็บหิน	การเปลี่ยนแปลงฟอสเฟต	
	ความชื้นสัมพัทธ์	ความชื้นสัมพัทธ์
	76-82%	96-98%
	%	
หลังเผา	83.3 ^b 1	83.3 ^a
1 เดือน	81.5 ^b	85.1 ^a
3 เดือน	90.7 ^a	87.1 ^a
6 เดือน	80.7 ^b	78.4 ^b

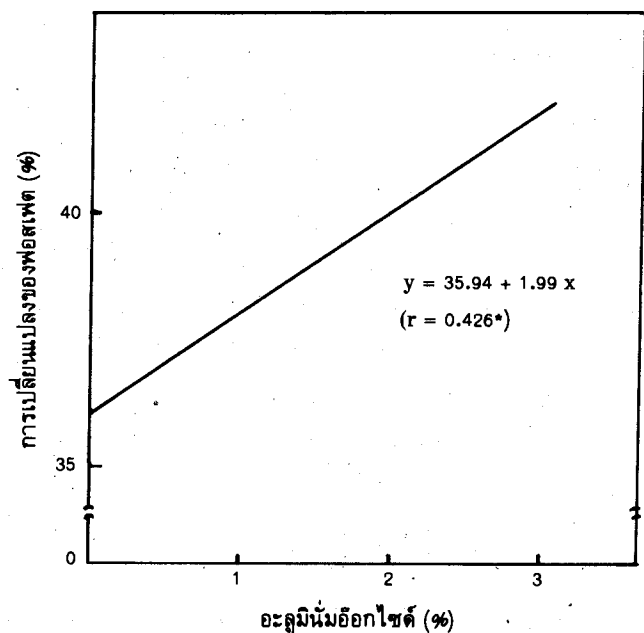
CV (ความชื้นสัมพัทธ์) = 2.8%

CV (ระยะเวลาเก็บหิน) = 4.9%

CV (ความชื้นสัมพัทธ์ V.S. ระยะเวลาเก็บหิน) = 2.9%

ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ DMRT

การทดลองที่ 3 หินฟอสเฟตจาก จ. ร้อยเอ็ด เป็นแหล่งที่มีปริมาณอะลูมิเนียมฟอสเฟตสูงที่สุด และสูงกว่าแหล่งอื่น ๆ มาก เป็นที่น่าสังเกตว่า หินฟอสเฟตที่มีเหล็กออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์รวมกันสูง หรือมีเฉพาะอะลูมิเนียมออกไซด์สูง เมื่อเผาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตตามไปด้วย จากการแบ่ง



ภาพที่ 2 สหสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์อะลูมิเนียมออกไซด์กับเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟต

ตารางที่ 3 น้ำหนักแห้ง ความสูง และฟอสเฟตทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดขึ้นไป

ตำรับ	น้ำหนักแห้ง กรัม	ความสูง ซม.	ฟอสเฟตทั้งหมดที่ข้าวโพดดูดขึ้นไป กรัม/ กระถาง
0-0-0	15.5 ^c 1	83.7 ^c	.014 ^d
N- หินฟอสเฟตไม่เผา - K ₂ O	49.4 ^b	137.8 ^b	.036 ^d
N- หินฟอสเฟตเผา 500°C - K ₂ O	107.4 ^a	161.6 ^a	.153 ^{bc}
N- หินฟอสเฟตเผา 600°C - K ₂ O	112.0 ^a	157.2 ^a	.176 ^{ab}
N- หินฟอสเฟตเผา 700°C - K ₂ O	114.4 ^a	165.9 ^a	.182 ^a
N- หินฟอสเฟตเผา 800°C - K ₂ O	119.7 ^a	172.3 ^a	.166 ^{abc}
N- หินฟอสเฟตเผา 900°C - K ₂ O	108.2 ^a	158.3 ^a	.156 ^{bc}
N- ดับเบิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต - K ₂ O	120.0 ^a	163.1 ^a	.150 ^c
CV (%)	10.1	7.2	14.1

ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

หินฟอสเฟตเป็น 30 ตัวอย่าง นำไปวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก-ออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ พบว่ามีเหล็กออกไซด์ 1.7–10.7 และอะลูมิเนียมออกไซด์ 17.9–27.1 และเมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง พบว่าการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตหลังเผาอยู่ในช่วง 50.8–96.5% ไม่มีสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (เหล็กออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์รวมกัน) กับการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟต แต่พบว่ามีสหสัมพันธ์ระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์กับการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตอย่างมีนัยสำคัญ ($r = 0.426^*$)

การทดลองที่ 4 จากการเปรียบเทียบหินฟอสเฟตจาก จ. ร้อยเอ็ด เผาที่อุณหภูมิ 500–900 องศาเซลเซียส เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง กับหินฟอสเฟตไม่เผาและปุ๋ยดับเบิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต โดยใช้ข้าวโพดปลูกในกระถางเป็นพืชทดสอบ พบว่า ผลผลิต น้ำหนักแห้งและความสูงของข้าวโพดที่อายุ 45 วันที่ได้รับปุ๋ยดับเบิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟตและหินฟอสเฟตเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3) ข้าวโพดที่ใส่หินฟอสเฟตเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งและความสูง มากกว่าที่ใส่หินฟอสเฟตไม่เผา และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากหินฟอสเฟตที่เผามีการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตเพิ่มขึ้น ดังนั้น พืชจึงดูดฟอสเฟตขึ้นไปได้มากขึ้น ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดที่ต้นข้าวโพดดูดขึ้นไป เมื่อได้รับหินฟอสเฟตเผาที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียสไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่จะสูงกว่าที่ใส่หินฟอสเฟตไม่เผา

การทดลองที่ 5 การทดลองเพื่อประเมินคุณค่าของหิน

ฟอสเฟตเผาในไร่เกษตรกร พบว่าเมื่อเผาหินฟอสเฟตจาก จ. ร้อยเอ็ด ที่อุณหภูมิ 500, 600, 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตจาก 15.2% เป็น 53.7%, 63.2%, 78.7%, 80.5% และ 80.3% ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตไม่ได้ทำให้ความสูงของข้าวโพดที่ใช้หินฟอสเฟตเผาแตกต่างจากที่ไม่เผาทางสถิติ (ตารางที่ 4) การใส่ปุ๋ยทริบเบิลซูเปอร์ฟอสเฟตจะทำให้ความสูงของข้าวโพดสูงกว่าการไม่ใส่

ตารางที่ 4 น้ำหนักเมล็ดและความสูงของข้าวโพดที่ปลูกในไร่เกษตรกร จ. นครสวรรค์

ตำรับ	น้ำหนักเมล็ด กก./ ไร่	ความสูง ซม.
ไม่ใส่ปุ๋ย 0-0-0	436.74	172.5 ^b 1
N- หินฟอสเฟตไม่เผา - K ₂ O	280.65	168.1 ^b
N- หินฟอสเฟตเผา 500°C - K ₂ O	353.42	175.1 ^{ab}
N- หินฟอสเฟตเผา 600°C - K ₂ O	343.64	176.2 ^{ab}
N- หินฟอสเฟตเผา 700°C - K ₂ O	362.07	170.7 ^b
N- หินฟอสเฟตเผา 800°C - K ₂ O	348.32	166.3 ^b
N- หินฟอสเฟตเผา 900°C - K ₂ O	303.52	168.1 ^b
N- ทริบเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต - K ₂ O	426.78	189.4 ^a

ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรเหมือนกันจะไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 5 น้ำหนักเมล็ดและความสูงของข้าวโพดที่ปลูกในไร่เกษตรกร
จ. พิจิตร

คำรับ	น้ำหนักเมล็ด กก./ไร่	ความสูง ซม.
ไม่ใส่ปุ๋ย (0-0-0)	485.9	105.4 ^{b 1}
N- หินฟอสเฟตไม่เผา - K ₂ O	531.0	117.7 ^{ab}
N- หินฟอสเฟตเผาในเตาเผาหินปูน - K ₂ O	547.6	118.6 ^{ab}
N- หินฟอสเฟตเผาที่ 700°C - K ₂ O	601.8	124.9 ^{ab}
N- ทริบิวต์ซูเปอร์ฟอสเฟต - K ₂ O	603.9	146.1 ^a
CV (%)	19.31	18.2

¹ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรเหมือนกันจะไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ปุ๋ย หรือใส่หินฟอสเฟตไม่เผา สำหรับน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดไม่สามารถใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตเผาได้ เนื่องจากฝนทิ้งช่วงในระยะผสมเกสร ซึ่งข้อมูลแปรปรวนมาก อย่างไรก็ตาม จากค่าเฉลี่ยแสดงให้เห็นแนวโน้มว่า น้ำหนักเมล็ดจากแปลงที่ใส่หินฟอสเฟตเผาสูงกว่าแปลงที่ใส่หินฟอสเฟตไม่เผา

การทดลองที่ 6 เนื่องจากผลการทดลองเผาหินฟอสเฟตในเตาเผาที่ควบคุมอุณหภูมิได้มีการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตสูงมาก แต่การเผาหินฟอสเฟตในเตาเผาขนาดเล็กที่ควบคุมอุณหภูมิได้ในห้องปฏิบัติการไม่เหมาะที่จะใช้ในเชิงพาณิชย์ จึงได้ทดลองเผาหินฟอสเฟตในเตาเผาหินปูน โดยการเผาเป็นก้อนก่อนแล้วจึงนำมาบด การบดหินฟอสเฟตหลังเผาทำได้ง่ายกว่าบดก่อนเผามาก ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการบดน้อยลงด้วย ผลการทดลองไม่ได้แสดงความเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟต พบว่าเมื่อเผาหินฟอสเฟตในเตาเผาที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตจะสูงถึง 91.2% เมื่อเผาในเตาเผาหินปูนจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงสูงเช่นกัน คือ 89.6% การใช้หินฟอสเฟตที่เผาแล้วทั้ง 2 วิธีนี้ไม่ได้ทำให้ความสูงของข้าวโพดแตกต่างกัน (ตารางที่ 5)

สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองสรุปได้ว่า หินฟอสเฟตจากบ้านเหล่าขาม จ. ร้อยเอ็ด ซึ่งมีอะลูมิเนียมออกไซด์สูงกว่าแหล่งอื่น จะมีการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตหลังจากนำมาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลาครึ่งชั่วโมงสูงสุด การเปลี่ยนแปลงของ

ฟอสเฟตนี้มีสหสัมพันธ์กับปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีอยู่ในหินฟอสเฟตจากแหล่งนี้ หินฟอสเฟตจากบางแหล่ง เช่น อ. แม่ทา จ. ลำพูน แม้ว่าจะเผาถึง 900 องศาเซลเซียส ก็ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตเลย ในแหล่งอื่น ๆ นอกจากที่กล่าวแล้วข้างต้น พบการเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟตหลังเผาบ้าง หินฟอสเฟตจาก จ. ร้อยเอ็ด เมื่อเผาแล้วยังสามารถเก็บไว้ในสภาพบรรยากาศปกติได้นานอย่างน้อย 6 เดือน การประเมินประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตเผาโดยใช้ข้าวโพดเป็นพืชทดสอบในกระถาง พบว่าข้าวโพดตอบสนองต่อการใช้หินฟอสเฟตเผามากกว่าการใช้หินฟอสเฟตไม่เผา การทดสอบในไร่ยังยืนยันผลการทดลองในกระถางไม่ได้ เนื่องจากผลผลิตข้าวโพดได้รับความเสียหายจากการกระทบแล้ง

คำนิยาม

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณอัจฉรา แสงอริยวิชัย สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ และคุณหญิงเล็ก พงศ์พยัคฆ์ กรมพัฒนาที่ดิน ที่ได้ช่วยตรวจการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของหินฟอสเฟตเผาและไม่เผา และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีบางตัวของหินฟอสเฟต

เอกสารอ้างอิง

- เพ็ญศรี ชูรวาฬ ลัดดาวัลย์ มีสุข ยุพิน สรวิสุต และ เรวดี ตีมาก. 2526. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์กับความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตหลังเผา. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2526-2527 กลุ่มงานวิจัยปุ๋ย กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร หน้า 12-19.
- ลัดดาวัลย์ มีสุข สายทิพย์ แสงกุล และ เรวดี ตีมาก. 2519. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหินฟอสเฟตจากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศไทย เพื่อใช้คำนวณปริมาณกรดในการทำปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต. กลุ่มงานวิจัยปุ๋ย. กองปฐพีวิทยา. กรมวิชาการเกษตร. 15 หน้า.
- สมบุญ สกธีระ และ สุวรรณ แยมเนียม. 2521. ฟอสเฟต. สัมมนา เรื่องอุตสาหกรรมปุ๋ยกับการเกษตร. สมาคมวิทยาศาสตร์การเกษตรแห่งประเทศไทย และสมาคมธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย. 6 หน้า.
- Caro, J.H. and W.L. Hill. 1956. Characteristics and fertilizer value of phosphate rock from different fields. J. Agric. Food Chem. 4 : 684-687.
- Doak, B.W., P.J. Gallaher, L.Evans, and F.B.Muller. 1965. Low-temperature calcination of "c"-grade phosphate from Christmas Island. N.Z.J. Agric. Res. 8 : 15-29.
- Halvorson, A.R. 1954. Fertility problems of the Klamath Basin. Pacific Northwest Fert. Conf., Klamath Falls, Oreg., Proc. 5 : 29-32.

Increasing the Efficiency of Thai Rock Phosphate by Low-Temperature Calcination

By

**Laddawon Meesook, Pensri Choovoravech, Yupin Soravisuitra, Chantira Ariyathaj
Revadee Deemark and Pawanat Samerasuta**

Division of Soil Science, Department of Agriculture, Bangkheng, Bangkok, Thailand 10900.

ABSTRACT

Rock Phosphate from different sources in Thailand - Lampun, Kanchanaburi, Chainat, Ratchaburi, Petchaboon and Roi Et provinces, was calcinated at temperatures from 300°C to 900°C at intervals of 100°C for 30 minutes. Rock phosphate from Lampun province showed no change as a result of the calcination treatment. For rock phosphate from other sources, changes occurred in no more than 1/3 of the test material when calcinated in the temperature range 500 - 700°C. However, in the case of rock phosphate from Roi Et province, at 700°C there was an 82 percent change. The level of change as a result of calcination was closely correlated with the aluminium oxide content of the rock phosphate. In addition, the Roi Et rock phosphate after calcination could be kept under normal atmospheric conditions for up to six months without any further change. When the quality of the treated and untreated rock phosphate was compared by comparing the growth response of corn grown in pots, there was a clear statistically significant response to the use of the calcinated rock phosphate; however, field tests using corn were inconclusive on account of variable climatic conditions.
