

ผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตสำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในดินสีแดง

Effect of N fertilizer on the availability of phosphate rock for cassava grown in red soils

ธัญนันท์ สุภาดาว¹, ศุภิมา ธนะจิตต์^{1*}, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม¹ และ เอิบ เขียวรุ่มมณ¹

Thanyanat Supadaw¹, Suphicha Thanachit^{1*}, Somchai Anusontpornperm¹ and Irb Kheoruenromne¹

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹ Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 10900

บทคัดย่อ: ทำการศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนในรูปยูเรีย และแอมโมเนียมซัลเฟตต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในหินฟอสเฟตจากแหล่งกำแพงเพชรและลำปางเปรียบเทียบกับปุ๋ยทริเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต (TSP) ในมันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินวารินและชุดดินยโสธร หินฟอสเฟตจากแหล่งกำแพงเพชรมีปริมาณ P_2O_5 ทั้งหมดสูงกว่าจากแหล่งลำปาง (ร้อยละ 29.39 และ 19.15) แต่ละลายในสารละลายกรดและให้ฟอสฟอรัสออกมาใกล้เคียง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินจะเพิ่มขึ้นอยู่ในพิสัย 4.9-64.9 มก./กก. หลังจากใส่หินฟอสเฟตไปแล้ว 7 วัน โดยหินฟอสเฟตจากกำแพงเพชรให้ฟอสฟอรัสในดินสูงกว่าหินฟอสเฟตจากลำปางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ยังให้ค่าต่ำกว่าการใส่ TSP ตลอดระยะเวลา 60 วันของการศึกษา และเมื่อมีการใส่ไนโตรเจนร่วมกับหินฟอสเฟตจะทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินลดลงแต่สูงกว่าการควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ การใส่หินฟอสเฟตจากแหล่งลำปางในชุดดินวารินทำให้ได้ชีวมวลส่วนเหนือดิน (1.52-1.63 ตัน/ไร่) ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด (5.84-5.94 ตัน/ไร่) และผลผลิตแป้ง (1.51-1.57 ตัน/ไร่) สูงสุดไม่แตกต่างจากการใส่ TSP แต่เมื่อใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมกลับทำให้ได้ปริมาณต่ำสุด ขณะที่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเพิ่มประสิทธิภาพการละลายของหินฟอสเฟตในชุดดินยโสธรโดยเมื่อใส่ร่วมกับหินฟอสเฟตจากกำแพงเพชรทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด ผลผลิตแป้ง และน้ำหนักส่วนเหนือดินสูงสุดเท่ากับ 1.63, 0.31 และ 1.60 ตัน/ไร่ ตามลำดับ แต่ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ TSP (1.58 ตัน/ไร่) นอกจากนี้การใส่หินฟอสเฟตทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (22.7-40.9 มก./กก.) ในดินต่ำกว่าการใส่ TSP (60.3-61.8 มก./กก.) แต่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่แตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับ TSP (239-428 มก./กก.) ฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย BrayII, NaOH และ Mehlich III มีสหสัมพันธ์แบบผกผันกับองค์ประกอบผลผลิตมันสำปะหลังจึงเหมาะสมน้อยที่จะใช้ประเมินความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินที่ใช้ปลูกมันสำปะหลังทั้งที่มีและไม่มีการใช้หินฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัส

คำสำคัญ: การละลายได้ของหินฟอสเฟต; ปุ๋ยฟอสฟอรัส; ดินกรด; ดินเขตร้อน

ABSTRACT: A study on the effect of N fertilizer in the forms of urea and ammonium sulfate on P availability of rock phosphate (RPs) from Kamphaeng Phet (KP_{RP}) and Lampang (LP_{RP}) sources comparing with triple superphosphate (TSP) fertilizer in cassava grown in Warin (Wn) and Yasothon (Yt) soil series was conducted. The KP_{RP} contained 29.39% of total P_2O_5 , which was higher than did LP_{RP} (19.15%), but when dissolved acid they gave rather similar P_2O_5 content. The available P content increased with the range of 4.9-64.9 mg/kg detected after applying RPs for seven days, KP_{RP} significantly gave greater content than did LP_{RP} but still lower than TSP throughout 60-day incubation period, while N fertilization together with RPs application lowered soil P availability but significantly higher than the control. The application LP_{RP} in Wn soil series significantly gave the highest aboveground biomass (1.52-1.63 t/rai), cassava tuber (5.84-5.94 t/rai), and starch yields (1.51-1.57 t/rai) but with no statistical difference from

* Corresponding author: agrspc@ku.ac.th

Received: date; May 18, 2020 Accepted: date; August 5, 2020 Published: date; , 2022

that applied with TSP. All of which gave the lowest amounts when used with urea while ammonium sulfate efficiently increased RPs solubility in Yt soil series, significantly giving the greatest cassava tuber and starch yields, and aboveground biomass of 1.63, 0.31, and 1.60 t/rai, respectively, when applied together with KP_{RP} . However, fresh tuber yield was not statistical different from the applied with TSP (1.58 t/rai). In addition, the application of RPs significantly resulted in lower amounts of available P (22.7-40.9 mg/kg) remained in the soils than did the addition of TSP (60.3-61.8 mg/kg) but the content of total P was barely different from that obtained from the plots added with TSP (239-428 mg/kg). BrayII, NaOH, and MehlichIII for soil P content extraction showed the content extracted negatively correlated with cassava yield components; thus they were less suitable for the evaluation of soil P availability in the soils used for cassava cultivation, both with and without the use of RPs as a source of P.

Keywords: rock phosphate dissolution; P fertilizer; acid soils; tropical soils

บทนำ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* (L.) Crantz.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกอย่างกว้างขวางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งดินที่ใช้ปลูกมันสำปะหลังมักเป็นดินที่มีสีแดงซึ่งมีพัฒนาการสูง มีฤทธิ์เป็นกรด และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Duangpatra, 1988) รวมทั้งมีปัญหาเรื่องการตรึงฟอสฟอรัส (Baligar et al., 2004) ทำให้ฟอสฟอรัสอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของมันสำปะหลัง ซึ่งฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารพืชที่ส่งเสริมและพัฒนาระบบรากจึงช่วยให้มันสำปะหลังตั้งตัวได้เร็ว หากมันสำปะหลังได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอจะมีลำต้นลีบ ก้านใบสั้นลง ใบมีขนาดเล็ก และใบล่างมีสีเหลืองจนถึงสีส้มซึ่งจะส่งผลต่อเนื้อให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และการสะสมแป้งลดลง (Howeler, 2002)

หินฟอสเฟตเป็นสารประกอบแคลเซียมฟอสเฟต มักนำไปใช้ผลิตปุ๋ยฟอสฟอรัสหรือเป็นแหล่งให้ฟอสฟอรัสแก่พืชโดยตรงโดยเฉพาะในดินเขตร้อนที่มักตรึงฟอสฟอรัสสูง โดยในประเทศไทยมีแหล่งแร่สำรองหินฟอสเฟตอยู่ในพื้นที่ 125-125,000 ตัน โดยพบอยู่ในภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคใต้ของประเทศ (กรมทรัพยากรธรณี, 2562) ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงมากโดยมี Total P_2O_5 สูงถึงร้อยละ 20-40 แต่กลับมีปริมาณ available P_2O_5 เพียงร้อยละ 2-15 เท่านั้น (เทคโนโลยีดิน และปุ๋ย, 2538) นอกจากนี้หินฟอสเฟตที่พบในประเทศไทยส่วนใหญ่มีศักยภาพในการใช้เป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยตรงต่ำมากเนื่องจากละลายในสารละลายกรดได้น้อยมากเนื่องจากชุดแร่อะพาไทต์ที่เป็นองค์ประกอบในหินฟอสเฟตส่วนใหญ่เป็นแร่ฟลูออโรอะพาไทต์ และแร่วารีไซต์ ซึ่งแร่ทั้งสองจะละลายได้ยาก ดังแสดงในรายงานของ Charanworapan (2013) และ อภิสิทธิ์ และวิเชียร (2557) การใส่กำมะถัน สารละลายกรด (Ghani and Rajan, 1997) และปุ๋ยไนโตรเจน (Chien, 1979; Gahoonia et al., 1992) ร่วมกับการใช้หินฟอสเฟตสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตโดยความเป็นกรดจากวัสดุเหล่านี้จะส่งเสริมการละลายทำให้หินฟอสเฟตละลายได้ง่ายขึ้นจึงปลดปล่อยให้ฟอสฟอรัสออกมาได้เร็วทันต่อความต้องการของพืช พืชจึงตอบสนองทางด้านผลผลิต เทียบเท่ากับการใส่ฟอสฟอรัสในรูปปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสรวมถึงในกรณีของมันสำปะหลัง (CIAT, 1977) การทดลองครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาถึงบทบาทของปุ๋ยไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใส่หินฟอสเฟตต่างชนิดและผลที่มีต่อมันสำปะหลัง รวมทั้งเปรียบเทียบวิธีการประเมินความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินสำหรับมันสำปะหลังหากมีใช้หินฟอสเฟตเป็นแหล่งฟอสฟอรัส ซึ่งจะทำให้ได้แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการละลายของหินฟอสเฟตสำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในดินที่ตรึงฟอสฟอรัสสูงเพื่อใช้ในการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเพิ่มผลผลิตสู่เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือต่อไป

วิธีการศึกษา

พื้นที่ทดลองเป็นดินสีแดงที่มีพัฒนาการสูงซึ่งมักเป็นดินที่ตรึงฟอสฟอรัสสูงจำนวน 2 บริเวณในแปลงเกษตรกร อ.ด่านขุนทด จ. นครราชสีมา ได้แก่ ชุดดินวาริน (Fine-loamy, siliceous, isohyperthermic Typic Kandistults) ที่บ้านซับพลูน้อย และชุดดินยโสธร (Fine-loamy, siliceous, semiactive, isohyperthermic Typic Paleustults) ที่บ้านดงกระสัง โดยดินทั้งสองมีสมบัติดินก่อนทำการทดลองคล้ายคลึงกันโดยมีเนื้อดินบนเป็นทรายร่วนและมีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แต่ชุดดินยโสธรมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าในชุดดินวาริน และกลับมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่าเล็กน้อยเนื่องจากชุดดินยโสธรเป็นกรดจัดมากกว่าชุดดินวาริน (Table 1) ส่วนหินฟอสเฟตที่นำมาจากแหล่งแร่ในประเทศไทยจำนวน 2 แหล่ง ได้แก่ กำแพงเพชร และ ลำปาง โดยหินฟอสเฟตทั้งสองแหล่งมีฤทธิ์เป็นด่างเล็กน้อย มีสมมูลของแคลเซียมคาร์บอเนตและปริมาณธาตุองค์ประกอบใกล้เคียงกัน ยกเว้นแคลเซียม สังกะสี ทองแดงและแมงกานีสที่พบในหินฟอสเฟตจากกำแพงเพชรสูงกว่าจากแหล่งลำปางอย่างชัดเจน (Table 2)

Table 1 Property of studied soils (0-30 cm depth) prior to conducting the experiment

Soil property	Yasothon soil series (Yt)	Warin soil series (Wn)
Soil pH (1:1 H ₂ O)	5.31	6.23
Organic matter ¹ (g/kg)	6.48	8.54
Cation exchange capacity ² (cmol _c /kg)	2.38	1.50
Total N ³ (g/kg)	0.07	0.21
Total P ⁴ (mg/kg)	68.25	52.38
Available P ⁵ (mg/kg)	3.10	4.30
Available K ⁶ (mg/kg)	50.52	34.42
Texture class ⁷	Loamy sand	Loamy sand

Remark: ¹walkley and black titration method, ²replacement method using NH₄OAc at pH 7.0, ³Kjeldahl method, ⁴HNO₃-HClO₄ acid digestion, ⁵BrayII method, ⁶1M NH₄OAc at pH 7.0 method, ⁷pipette method.

Table 2 Property and chemical composition of rock phosphate (RPs)

Property	Kamphaeng Phet (KP _{RP})	Lampang (LP _{RP})
pH (1:5 H ₂ O)	7.31	7.87
Electrical conductivity (dS/m, 1:5 H ₂ O)	0.12	0.13
Organic carbon ¹ (g/kg)	2.96	3.65
Cation exchange capacity ² (cmol _c /kg)	8.20	11.7
Calcium carbonate equivalent ³	12.9	10.9
Total N ⁴ (g/kg)	0.98	0.42
Total K ⁴ (g/kg)	0.64	0.58
Total Ca ⁴ (g/kg)	90.0	12.0
Total Mg ⁴ (g/kg)	0.35	0.50
Total Zn ⁴ (mg/kg)	196	64.0
Total Fe ⁴ (mg/kg)	1935	2008
Total Cu ⁴ (mg/kg)	65.5	21.1
Total Mn ⁴ (mg/kg)	620	316

Remark: ¹walkley and black titration method, ²replacement method using NH₄OAc at pH 7.0, ³AOAC method, ⁴HNO₃-H₂SO₄-HClO₄ acid digestion.

ในแต่ละบริเวณจัดทำแปลงทดลองเพื่อศึกษาการตอบสนองของมันสำปะหลังต่อปุ๋ยไนโตรเจนและหินฟอสเฟตต่างชนิดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2562 วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จำนวน 4 ซ้ำ จำนวน 9 ดำรับการทดลอง ได้แก่ 1) ดำรับควบคุมไม่มีการใส่ปุ๋ย 2) ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยฟอสฟอรัส 3-5) การใส่เฉพาะปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปแบบปี้ลซูปเปอร์ฟอสเฟต (TSP, 0-46-0) หินฟอสเฟตจากลำปาง (LP_{RP}, 19.15% Total P₂O₅) และกำแพงเพชร (KP_{RP}, 29.39% Total P₂O₅) ตามลำดับ 6-7) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปยูเรีย (CO(NH₂)₂, 46-0-0) ร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปหินฟอสเฟตจากลำปางและกำแพงเพชรตามลำดับ และ 8-9) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมซัลเฟต ((NH₄)₂SO₄, 21-0-0) ร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปหินฟอสเฟตลำปางและกำแพงเพชรตามลำดับ โดยปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสใส่ในอัตราที่เทียบเท่ากันเท่ากับ 16 กก. N/ไร่ และ 8 กก. P₂O₅/ไร่ และมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl, 0-0-60) ในอัตรา 16 กก. K₂O/ไร่ ในทุกดำรับการทดลองยกเว้นดำรับควบคุม ซึ่งอัตราที่ใช้ในการศึกษาเป็นอัตราแนะนำปุ๋ยธาตุอาหารหลักสำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในดินทรายร่วน (loamy sand) (กรม

วิชาการเกษตร, 2548) โดยแปลงทดลองประกอบด้วยแปลงทดลองย่อยที่มีขนาด 9×5 ม. จำนวน 36 แปลง มันทำปะหลังที่ใช้ในการศึกษาเป็นพันธุ์ห้วยบง 80 ทำการปลูกบนสันร่องที่มีระยะปลูกเท่ากับ 120×80 ซม. ทำการใส่ปุ๋ยตามตำรับการทดลองเมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 เดือนขณะที่ดินมีความชื้นพอเหมาะโดยขุดหลุมใส่ทั้งสองข้างทรงพุ่มพร้อมกลบปุ๋ย ทำการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังที่อายุ 10 เดือนในแต่ละแปลงย่อยซึ่งมีพื้นที่เก็บเกี่ยว 13.44 ม² ประกอบด้วยผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด ร้อยละการสะสมแป้ง และน้ำหนักสดชีวมวลส่วนเหนือดิน พร้อมเก็บตัวอย่างเก็บตัวอย่างดินบน (ความลึกประมาณ 30 ซม.) ในทุกแปลงย่อยแบบ composite sample เพื่อวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยการย่อยด้วยกรด HNO₃-HClO₄ acid digestion และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Brayll

นอกจากนี้ได้นำตัวอย่างดินบนก่อนปลูกมันสำปะหลังมาทำการบ่มด้วยหินฟอสเฟตทั้งที่มีและไม่มีสารใส่ปุ๋ยไนโตรเจนรวมในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 27°C. และความชื้นดินที่ร้อยละ 60 ของความจุความชื้นสนามเพื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่สกัดด้วย Brayll (Bray and Kurtz, 1945) ในวันที่ 0, 7, 14, 30 และ 60 วันหลังบ่มดินโดยใช้ตำรับการทดลองคล้ายคลึงกับการศึกษาในภาคสนามรวม 8 ตำรับการทดลองโดยไม่มีการใส่ปุ๋ยที่ 2 (No N-P) แต่วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์จำนวน 3 ซ้ำ และทำการเปรียบเทียบวิธีการประเมินความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินสำหรับมันสำปะหลังโดยใช้ตัวอย่างดินก่อนใส่และหลังใส่หินฟอสเฟตเป็นระยะเวลา 7 วันมาวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่สกัดได้โดยใช้สัดส่วนดินต่อสารละลายเท่ากับ 1:5 แต่ใช้ระยะเวลาเขย่าในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ได้แก่ 5 นาทีสำหรับสารละลาย Brayll (Bray and Kurtz, 1945) และ MehlichIII (Mehlich, 1984) และ 16 ชั่วโมงสำหรับสารละลาย 0.5 M NaOH (MacKay et al., 1986) ซึ่งฟอสฟอรัสที่สกัดได้เหล่านี้จะวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี ascorbic method ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร (Murphy and Riley, 1992) พร้อมทั้งทำการศึกษการละลายได้ของหินฟอสเฟตซึ่งจะเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาจากหินฟอสเฟตเมื่อทำการสกัดด้วยน้ำกลั่น (DI) และสารละลายกรด 3 ชนิด ได้แก่ 2% Formic acid (FA), 2% Citric acid (CA) และ 2% Neutral ammonium citrate (NAC) (Chien et al., 1990) โดยใช้สัดส่วนของหินฟอสเฟตต่อสารละลายเท่ากับ 1:10 ซึ่งฟอสฟอรัสที่สกัดได้จะวิเคราะห์โดยวิธี Vanadomolybdate yellow color ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร (Murphy and Riley, 1992) และทำการสกัดอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งได้ฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาได้น้อยมาก

การวิเคราะห์สถิติประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ 2) การเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Duncan's multiple range tests (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ขึ้นไป และ 3) การวิเคราะห์สหสัมพันธ์โดยใช้ partial correlation analysis ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสในดินกับองค์ประกอบผลผลิตมันสำปะหลัง ได้แก่ ผลผลิตโดยคิดเป็นผลผลิตสัมพัทธ์ของชีวมวลรวมส่วนเหนือดินและน้ำหนักสดหัวมันสำปะหลัง และร้อยละการสะสมแป้ง

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ศักยภาพการละลายได้ของหินฟอสเฟต

หินฟอสเฟตจากทั้งแหล่งกำแพงเพชรและลำปางมีประสิทธิภาพการละลายคล้ายคลึงกันโดยการสกัดครั้งที่ 1 จะให้ปริมาณฟอสฟอรัสออกมามากที่สุด และฟอสฟอรัสจะลดลงในการสกัดครั้งต่อมาและละลายหมดหลังจากการสกัดต่อเนื่องเป็นจำนวน 5 ครั้งเนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้จากการสกัดครั้งนี้มีสัดส่วนน้อยมาก ยกเว้นการใช้กรด FA ที่ยังสามารถละลายฟอสฟอรัสในหินฟอสเฟตออกมาได้อีก (Figure 1) เมื่อพิจารณาฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า กรด FA ละลายหินฟอสเฟตจากกำแพงเพชรและลำปางและให้ฟอสฟอรัสออกมามากที่สุดโดยให้ P₂O₅ เท่ากับ 14.18 และ 12.31 กก./ก. ตามลำดับ ขณะที่กรด CA และ NAC ให้ปริมาณ P₂O₅ ไม่แตกต่างจากน้ำกลั่นโดยให้ค่าอยู่ในพิสัย 2.09-3.05 และ 1.13-1.48 กก./ก. สำหรับหินฟอสเฟตจากกำแพงเพชรและลำปางตามลำดับ (Figure 1) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ McClellan and Kauwenbergh (2004) ที่พบว่าสารละลาย FA จะละลายหินฟอสเฟตได้ดีกว่าสารละลาย CA และ NAC อย่างไรก็ตามหินฟอสเฟตจากแหล่งกำแพงเพชรละลายและให้ฟอสฟอรัสออกมาได้มากกว่าจากลำปางเล็กน้อยแสดงว่ามีคุณภาพสูงกว่าในระดับหนึ่ง แต่ฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาในสารละลายเหล่านี้จากการสกัดทั้ง 5 ครั้งยังคงอยู่ในสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P₂O₅) ของหินฟอสเฟตซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 29.39 และ 19.15 สำหรับหินฟอสเฟตจากกำแพงเพชรและลำปางตามลำดับ (Figure 1) เนื่องจากประสิทธิภาพการละลายได้ของหินฟอสเฟตขึ้นอยู่กับขนาดแร่และพาไทต์ที่เป็นองค์ประกอบในหินฟอสเฟต

ซึ่งแหล่งแร่ของหินฟอสเฟตที่ใช้ทั้งสองแหล่งเกิดจากการสะสมในหินอัคนีจึงพบแร่ฟลูออโรอะพาไทต์ และแร่วารีไซต์เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งแร่ทั้งสองจะละลายได้ยาก จึงทำให้หินฟอสเฟตทั้งสองละลายได้น้อยกว่าหินฟอสเฟตที่มาจากแหล่งกัวโนหรือจากการสะสมในหินตะกอน (กรมทรัพยากรธรณี, 2562) นอกจากนี้หินฟอสเฟตทั้งสองแหล่งมีความสามารถในการละลายอยู่ในพิสัยเดียวกับรายงานก่อนหน้านี้ในประเทศไทยโดยอักษรณ์ และวิเชียร (2557) แต่ยังคงต่ำกว่า North Carolina ที่สามารถละลายในกรด FA และให้ฟอสฟอรัสถึงร้อยละ 93 ของฟอสฟอรัสทั้งหมด (Charanworapan, 2013) แสดงให้เห็นว่าหินฟอสเฟตจากแหล่งแร่ทั้งสองเหล่านี้อาจละลายและปลดปล่อยให้ฟอสฟอรัสไม่ทันต่อความต้องการของพืชเมื่อใช้เป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยตรง

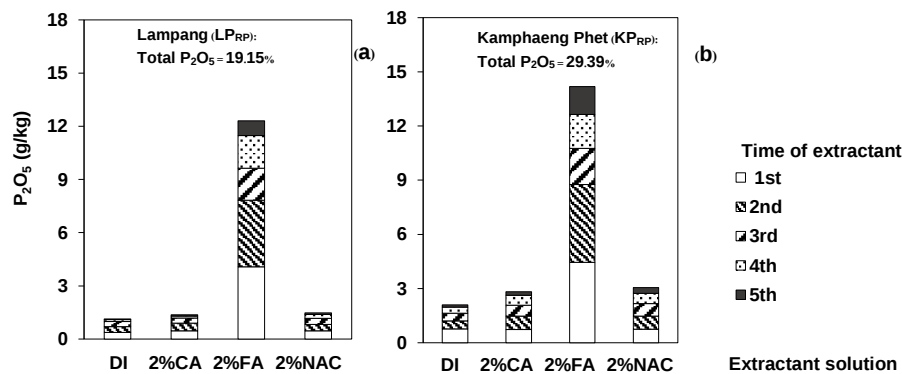


Figure 1 Phosphorus contents of rock phosphate dissolved in different chemical extractants; rock phosphate from Lampang, LP_{RP} (a) and Kamphaeng Phet, KP_{RP} (b) sources.

ผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินที่ใส่หินฟอสเฟตต่างชนิดในท้องปฏิบัติการ

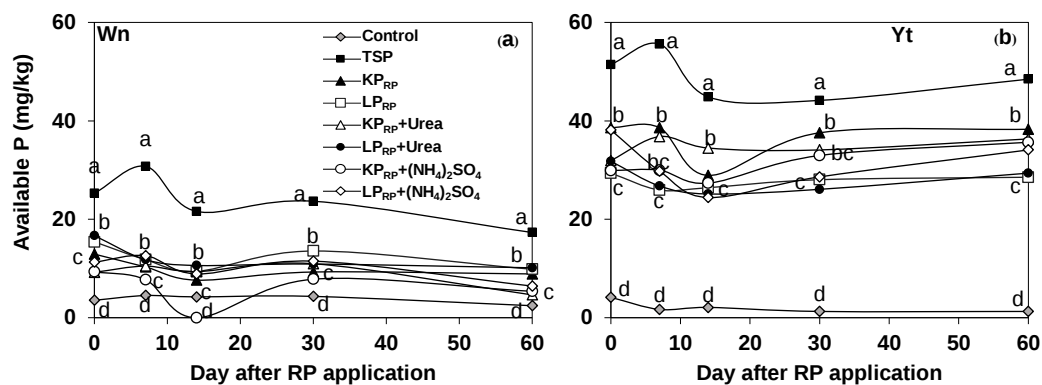
การใส่หินฟอสเฟตทั้งสองแหล่งจะเพิ่มฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินทั้งสองหลังจากใส่ไปแล้ว 7 วันจนกระทั่งวันที่ 60 ของการบ่มดินโดยทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในชุดดินยโสธรและชุดดินวาริน (25.93-38.63 และ 7.63-15.41 มก./กก.) เพิ่มขึ้นจากค่าควบคุมที่ไม่ใส่ฟอสฟอรัสทางสถิติ (1.27-4.13 และ 2.44-4.50 มก./กก.) แต่ยังคงให้ฟอสฟอรัสในดินต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต (TSP) (44.15-51.44 และ 17.31-30.76 มก./กก.) ทางสถิติตลอดระยะเวลาการบ่มดิน (Figure 2) นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟตทำให้หินฟอสเฟตจากทั้งสองแหล่งละลาย และปลดปล่อยให้ฟอสฟอรัสในดินอยู่ในพิสัย 24.42-36.81 และ 4.63-16.67 มก./กก.สำหรับชุดดินยโสธรและชุดดินวารินตามลำดับ ซึ่งฟอสฟอรัสในดินส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าการใส่หินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวทางสถิติ (Figure 2) ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนทั้งสองมีฤทธิ์เป็นกรด (Chien, 1979) จึงอาจเพิ่มความเป็นกรดให้แก่ดินในช่วงหนึ่งจึงส่งเสริมให้มีการละลายของเหล็กและอะลูมิเนียมออกมาตรึงฟอสฟอรัสบางส่วน อีกทั้งไนโตรเจนจากปุ๋ยจะส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ทำให้จุลินทรีย์เหล่านั้นดูดใช้ฟอสฟอรัสในดิน รวมถึงอะลูมิเนียมหรือเหล็กฟอสเฟตที่เพิ่งตกตะกอน (Brady and Weil, 2016) อย่างไรก็ตามฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในชุดดินยโสธรจะมีค่าสูงกว่าในชุดดินวารินเมื่อมีการใส่หินฟอสเฟตเนื่องจากชุดดินยโสธรเป็นกรดรุนแรงมากกว่าจึงละลายหินฟอสเฟตได้ดีกว่า

การตอบสนองของманสำปะหลังต่อปุ๋ยไนโตรเจนและหินฟอสเฟตต่างชนิด

องค์ประกอบผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด

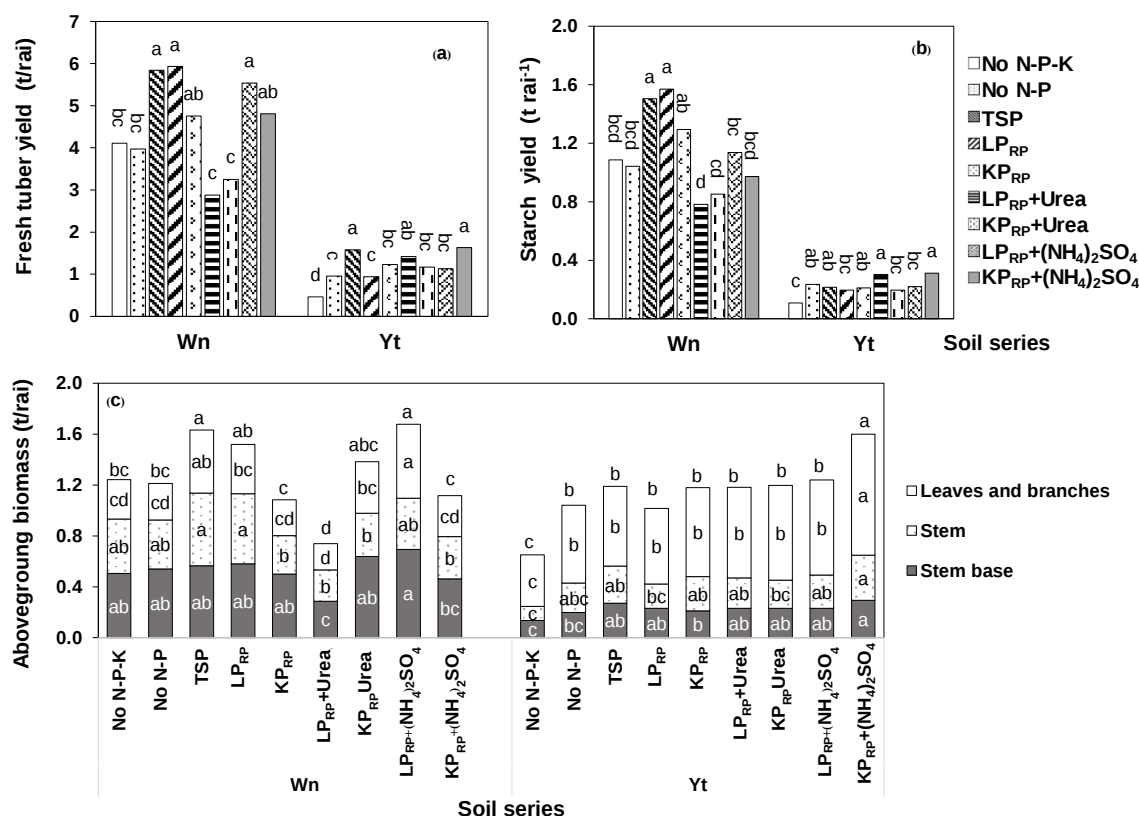
เมื่อพิจารณาการตอบสนองของманสำปะหลังที่ปลูกทดสอบในสนาม พบว่า การปลูกมันสำปะหลังในดินทั้งสองนี้มีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีเนื่องจากในตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยให้ค่าเท่ากับ 0.46 และ 4.11 ตัน/ไร่ สำหรับชุดดินยโสธรและชุดดินวารินตามลำดับรวมถึงให้ชีวมวลรวมส่วนเหนือดินรวมต่ำที่สุด (Figure 3) ขณะที่การใส่ฟอสฟอรัสในรูปปุ๋ย TSP ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้งสองชุดดินโดยให้ค่าเท่ากับ 1.58 และ 5.84 ตัน/ไร่ ตามลำดับ (Figure 3) เนื่องจากดินที่ทำการศึกษามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (BrayII) เพียง 3.1-4.3 มก./กก. ซึ่งต่ำกว่าค่าวิกฤตสำหรับมันสำปะหลังที่รายงานโดย CIAT (1982) และ Hagens and Sittibusaya (1990) ที่มีค่าเท่ากับ 8 และ

10 กก./กก. ตามลำดับ มันสำปะหลังจึงตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตอย่างชัดเจนต่อการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 8 กก. P_2O_5 /ไร่ แสดงให้เห็นว่าอัตรานี้เป็นอัตราที่เพียงพอสำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในดินที่ทำการศึกษานี้ทั้งสองชุดดิน ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาระยะยาวโดย Nguyen et al. (2001) ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่แตกต่างกันทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันตลอดระยะเวลา 9 ปีของการทดลอง ยกเว้นในสองปีแรกของการทดลองที่การใส่ในอัตรา 12.8 กก. P_2O_5 /ไร่ ทำให้ผลผลิตสูงสุดอยู่ในพิสัย 4.32-4.48 ตัน/ไร่ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Pellet and Sharkawy (1993) ในประเทศโคลัมเบียที่พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 8 และ 16 กก. P_2O_5 /ไร่ ทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นสูงสุดไม่แตกต่างกันในทั้งสองปีของการทดลองโดยให้ผลผลิตอยู่ในพิสัย 2.56-2.77 และ 2.09-2.29 ตัน/ไร่ ตามลำดับ



Different lowercase letters on lines grouped within the same day are significant difference at $p \leq 0.05$.

Figure 2 Effect of N fertilizer on available P in soil added with different types of rock phosphate under control condition in laboratory for 60 days; Warin, Wn (a) and Yasothon, Yt (b) soil series.



Different lowercase letters on (within) bars grouped within the same soil are significant difference at $p \leq 0.05$ according to DMRT.

Figure 3 Yield components of cassava as affected by rock phosphate and N fertilizer; fresh tuber yield (a), starch yield (b) and aboveground biomass weight (c).

หินฟอสเฟตจากแหล่งกำแพงเพชรและลำปางสามารถใช้เป็นแหล่งให้ฟอสฟอรัสแก่ต้นสำปะหลังที่ปลูกในดินที่ทำการศึกษทั้งสองโดยส่งเสริมทำให้ชีวมวลส่วนเหนือดินรวมและผลผลิตมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นทางสถิติ (Figure 3) ทั้งนี้เนื่องจากหินฟอสเฟตเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่ประโยชน์ได้อย่างชัดเจน (Figure 2) โดยในชุดดินวาริน พบว่า หินฟอสเฟตจากลำปางให้ผลผลิตแป้ง (1.57 ตัน/ไร่) และผลผลิตหัวมันสำปะหลัง (5.93 ตัน/ไร่) สูงสุดไม่แตกต่างจาก TSP (1.51 และ 5.84 ตัน/ไร่) (Figure 3) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Nilnond et al. (1996) ที่พบว่าการใส่หินฟอสเฟตในอัตรา 32-128 กก./ไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวโพดที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทรายโดยผลผลิตจะเพิ่มขึ้นตามอัตราของหินฟอสเฟตทางสถิติ อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมจะลดประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตจากกำแพงเพชรและลำปางในดินที่ทำการศึกษครั้งนี้โดยทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังลดลงจนมีค่าต่ำที่สุด (3.25 และ 2.88 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างจากตำรับควบคุม (Figure 3)

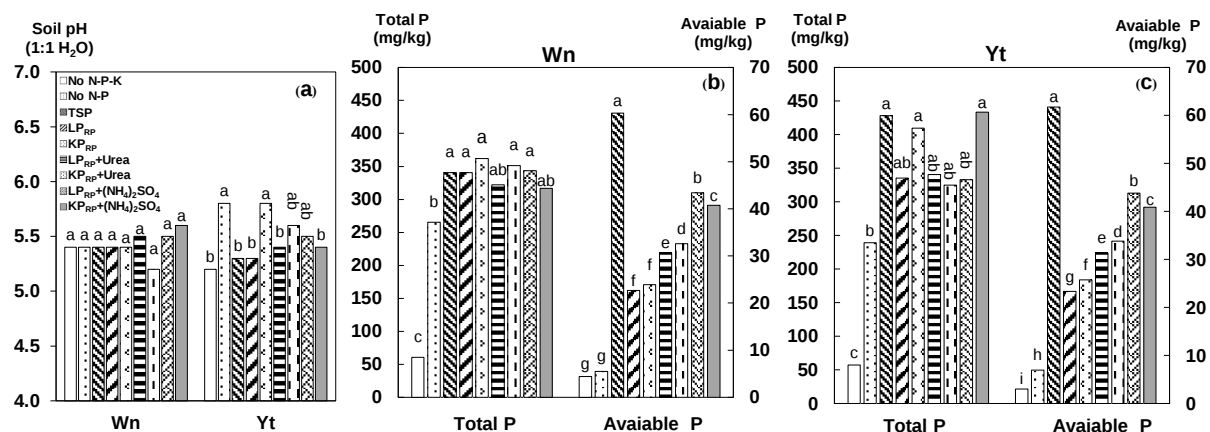
ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตได้ระดับหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับยูเรีย ทั้งนี้เนื่องจากมีฤทธิ์ตกค้างเป็นกรดมากกว่ายูเรียโดยเมื่อใส่แอมโมเนียมซัลเฟตร่วมกับหินฟอสเฟตจากลำปางให้ชีวมวลส่วนเหนือดินของต้นสำปะหลังในชุดดินวารินสูงที่สุดเท่ากับ 1.73 ตัน/ไร่ เช่นเดียวกับในชุดดินยโสธรที่การใส่แอมโมเนียมซัลเฟตร่วมกับหินฟอสเฟตจากกำแพงเพชรจะให้น้ำหนักก้านใบ ลำต้น และ หัวสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.58, 0.46 และ 0.69 ตัน/ไร่จึงทำให้ได้น้ำหนักส่วนเหนือดินรวมสูงที่สุดเท่ากับ 1.73 ตัน/ไร่ รวมทั้งยังให้ผลผลิตมันสำปะหลังสูงสุดเท่ากับ 1.63 ตัน/ไร่ซึ่งไม่แตกต่างจากการใส่ TSP และสูงกว่าในตำรับที่ใส่เพียงหินฟอสเฟตจากกำแพงเพชรทางสถิติที่ให้ค่าเพียง 1.14 ตัน/ไร่ (Figure 3) ซึ่งสอดคล้องกับ CIAT (1977) พบว่า การใช้กรดความเข้มข้นร้อยละ 20 และการใส่กำมะถันร่วมกับหินฟอสเฟตสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังเพิ่มสูงกว่าการใส่หินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว เนื่องจากสารละลายกรดจะละลายหินฟอสเฟตและปลดปล่อยให้ฟอสฟอรัสออกมาจึงทำให้

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้น พืชจึงนำไปใช้และตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโตและผลผลิต (Menon et al., 1989) จากการศึกษาพบว่ามันสำปะหลังที่ปลูกในดินทั้งสองตอบสนองต่อหินฟอสเฟตทางด้านผลผลิตและการเจริญเติบโตระดับหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าหินฟอสเฟตทั้งสองมีศักยภาพที่จะให้เป็นแหล่งของฟอสฟอรัสให้แก่มันสำปะหลังได้โดยเฉพาะเมื่อใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งที่ให้ไนโตรเจน แต่มันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินยโสธรมีการเจริญเติบโตและผลผลิตต่ำกว่าในชุดดินวารินอย่างชัดเจน อาจเป็นผลมาจากชุดดินยโสธรเป็นดินที่พบบนสภาพภูมิประเทศที่สูงกว่าในชุดดินวาริน จึงแห้งเร็วกว่าในชุดดินวาริน การขาดแคลนความชื้นจึงอาจเป็นข้อจำกัดที่ส่งผลต่อผลผลิตมันสำปะหลังที่ปลูกโดยเฉพาะในปีที่ฝนแล้ง จึงทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังในชุดดินยโสธรต่ำกว่าในชุดดินวาริน ซึ่งให้ผลคล้ายคลึงกับการศึกษาก่อนหน้านี้โดยวิษณุภรณ์ (2559)

สมบัติดินหลังปลูกมันสำปะหลังไป 1 ฤดูปลูก

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและหินฟอสเฟตไม่มีผลต่อพีเอชของชุดดินวาริน (pH 5.2-5.6) แต่ลดความเป็นกรดของชุดดินยโสธรได้โดยให้พีเอชสูงสุดไม่แตกต่างกันอยู่ในพิสัย 5.5-5.8 ยกเว้นการใส่หินฟอสเฟตจากลำปางทั้งที่ใส่อย่างเดี่ยวและที่ใส่ร่วมกับยูเรีย หรือ การใส่หินฟอสเฟตจากกำแพงเพชรร่วมกับแอมโมเนียมซัลเฟตรวมถึงการใช้ TSP เป็นแหล่งฟอสฟอรัสที่ให้พีเอชดินต่ำไม่แตกต่างจากตำรับควบคุม (pH 5.2-5.4) (Figure 4) เนื่องจากหินฟอสเฟตเป็นสารประกอบแคลเซียมที่มีฤทธิ์เป็นด่าง (Table 2) นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับหินฟอสเฟตให้พีเอชดินต่ำกว่าการใส่หินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวทางสถิติเนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนทั้งสองมีฤทธิ์ดกค้ำเป็นกรด (Chien, 1979) จึงลดอิทธิพลของหินฟอสเฟตบางส่วน ถึงแม้ว่าหินฟอสเฟตจะทำให้พีเอชดินเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่งแต่ดินยังคงเป็นกรดปานกลางเนื่องจากดินที่ทำการศึกษานี้มีพัฒนาการสูงและมีเนื้อดินเป็นทรายร่วนจึงทำให้แคลเซียมที่ได้จากหินฟอสเฟตบางส่วนถูกชะละลายออกไปจากหน้าตัดดิน จึงส่งผลต่อการลดความเป็นกรดของดินไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามระดับความเป็นกรดของดินยังคงไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง (Howeler, 2002)

ปริมาณฟอสฟอรัสในดินหลังการปลูกมันสำปะหลังไป 1 ฤดูปลูกในดินที่ทำการศึกษาทั้งสองชุดดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Figure 4) การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในชุดดินยโสธร (57.3 และ 3.04 มก./กก.) และชุดดินวาริน (60.7 และ 4.40 มก./กก.) ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดตำรองลงมา และการใส่ฟอสฟอรัสในรูป TSP หรือหินฟอสเฟตที่มีและไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนโดยให้ค่าอยู่ในพิสัย 324.9-428.0 และ 316.9-361.9 มก./กก. ตามลำดับ แต่การใส่ TSP จะให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 61.76 และ 60.34 มก./กก. ในชุดดินยโสธรและชุดดินวารินตามลำดับ ขณะที่การใช้หินฟอสเฟตจากลำปางและกำแพงเพชรให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์หลงเหลือในดินไม่แตกต่างกันและมีค่าเพิ่มขึ้นทางสถิติเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนร่วม ทั้งนี้เนื่องจากหินฟอสเฟตจะละลายได้ช้ากว่าปุ๋ย TSP จึงปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาในปริมาณที่น้อยกว่า (Chien et al., 1999, CIAT, 1977; Ghani and Rajan, 1997) เช่นเดียวกับปุ๋ยไนโตรเจนที่มีฤทธิ์ดกค้ำเป็นกรด (Chien, 1979) การใส่ร่วมกับหินฟอสเฟตจึงส่งเสริมการละลายของหินฟอสเฟตบางส่วนทำให้ปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาได้มากกว่าการใส่หินฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์หลงเหลือในดินได้มากกว่าตามไปด้วย



Different lowercase letters on bars within the same P parameters or soil are significantly different at $p \leq 0.05$

Figure 4 Soil pH (a) and P contents (b, c) in Warin (Wn) and Yasothon (Yt) soil series after growing cassava for one crop as affected by rock phosphate and N fertilizer.

เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนของฟอสฟอรัสในดินพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน (3.04-61.76 เปรียบเทียบกับ 53.30-433.3 มก./กก. ในชุดดินยโสธร และ 4.40-60.34 เปรียบเทียบกับ 60.7-361.9 มก./กก. ในชุดดินวาริน) โดยเฉพาะในตำรับที่มีการเฉพาะหินฟอสเฟตแสดงให้เห็นว่าฟอสฟอรัสเหล่านี้เป็นส่วนที่คงค้างในดินเป็นส่วนใหญ่ที่มักเป็นองค์ประกอบของแร่ซึ่งสามารถเป็นประโยชน์ต่อพืชผ่านกระบวนการผุพัง (Chien et al., 1999) จึงจัดเป็นแหล่งสำรองของฟอสฟอรัสต่อพืชในระยะยาว อย่างไรก็ตามแหล่งสำรองของฟอสฟอรัสดั้งเดิมในดินทั้งสองมีค่าน้อยมากจึงอาจไม่เพียงพอสำหรับพืช

การเปรียบเทียบวิธีการประเมินความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเมื่อมีการใช้หินฟอสเฟต

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสในดิน (Table 3) และองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังในตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสแสดงใน Table 4 จะใช้ในการเปรียบเทียบวิธีการประเมินความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินสำหรับมันสำปะหลังทั้งนี้เนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสในดินจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนหลังใส่หินฟอสเฟตเป็นระยะเวลา 7 วัน (Figure 2) จึงใช้ปริมาณฟอสฟอรัสในวันดังกล่าวในการประเมินความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเมื่อมีการใช้หินฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัส

Table 3 Extractable P contents of the studied soils

Extractable P	Soil		Soil added with KP _{RP}		soil added with LP _{RP}	
	Yt	Wn	Yt	Wn	Yt	Wn
P _(Bray II) (mg/kg)	1.68	3.54	38.59	10.31	25.93	11.8
P _(Mehlich III) (mg/kg)	0.86	2.58	23.78	6.68	22.57	5.69
P _(NaOH) (mg/kg)	1.54	2.51	42.4	13.76	44.14	15.76

Table 4 Correlation coefficients (r) for linear relationships between P in soils and yield components of cassava

Yield component	Correlation coefficients (r)					
	Available P in soil ¹			Available P in soil added with PRs ²		
	P _(Brayll)	P _(MehlichIII)	P _(NaOH)	P _(Bray II)	P _(MehlichIII)	P _(NaOH)
Relative tuber yield	-0.67	-0.64	-0.65	-0.38	-0.60*	-0.57
Relative aboveground biomass	-0.59	-0.60	-0.59	-0.21	0.38	0.33
Starch content	-0.97**	-0.96**	-0.97**	-0.96**	-0.93**	-0.92**

*,** significant at $p \leq 0.05$ and 0.01 respectively. ¹n = 6; ²n = 12

ปริมาณฟอสฟอรัสในดินก่อนใส่และหลังใส่หินฟอสเฟตจากทั้งสองแหล่งเป็นระยะเวลา 7 วันมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของน้ำยาสกัดดิน (Table 3) แต่ปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่ใช้วิธีการสกัดดินที่ต่างกันทั้งสามวิธีการไม่พบสหสัมพันธ์ทางสถิติกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังและชีวมวลรวมส่วนเหนือดิน ขณะที่ฟอสฟอรัสในดินหลังจากใส่หินฟอสเฟตที่สกัดด้วย MehlichIII ให้สหสัมพันธ์ทางสถิติกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังสัมพันธ์แต่กลับเป็นสหสัมพันธ์แบบผกผัน ($r = -0.60^{**}$) นอกจากนี้ร้อยละการสะสมแป้งของมันเป็นสำปะหลังพบสหสัมพันธ์แบบผกผันกับฟอสฟอรัสในดินและฟอสฟอรัสในดินหลังใส่หินฟอสเฟตที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Brayll ($r = -0.97^{**}$, -0.96^{**}), Mehlich III ($r = -0.96^{**}$, -0.93^{**}) และ NaOH ($r = -0.97^{**}$, -0.92^{**}) (Table 4) แสดงให้เห็นว่าวิธีการเหล่านี้มีความเหมาะสมน้อยที่จะใช้ประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินสำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในดินที่ทำการศึกษานี้ซึ่งมีการใช้และไม่มีการใช้หินฟอสเฟตเป็นแหล่งที่ให้ฟอสฟอรัส อย่างไรก็ตามจำนวนดินที่ใช้ศึกษาครั้งนี้มีจำนวนน้อยเกินไปจึงควรมีการทดสอบในชุดดินอื่น ๆ ให้ครอบคลุมลักษณะดินที่ใช้มันสำปะหลังเพื่อให้ได้วิธีการที่มีความเหมาะสมและแม่นยำเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามสารละลาย Brayll ซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐานที่ใช้วิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดินเขตร้อนที่มีฤทธิ์เป็นกรดรวมถึงในประเทศไทย (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973) สกัดให้ฟอสฟอรัสในดินในทั้งสองช่วงเวลา (Table 4) มีค่าต่ำกว่าระดับวิกฤติสำหรับมันสำปะหลัง (CIAT, 1982) จึงทำให้มันสำปะหลังตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างชัดเจน (Figure 3) แสดงให้เห็นว่าสารละลาย Brayll ใช้ประเมินความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินได้ดีกว่าสารละลาย MehlichIII และ NaOH ในระดับหนึ่ง

สรุป

หินฟอสเฟตจากกำแพงเพชรมีฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าจากแหล่งลำปางแต่มีคุณภาพการละลายใกล้เคียงกัน หินฟอสเฟตทั้งสองแหล่งจะเพิ่มฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินหลังจากใส่ไปแล้ว 7 วันโดยหินฟอสเฟตจากกำแพงเพชรเพิ่มฟอสฟอรัสในดินได้ดีกว่าหินฟอสเฟตจากลำปาง อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทั้งสองชนิดจะลดความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินต่อพืชโดยเฉพาะปุ๋ยยูเรียแต่ยังคงให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นจากการไม่ใส่หินฟอสเฟตอย่างชัดเจน

การปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ในชุดดินยโสธรและวารินที่มีเนื้อดินบนเป็นทรายร่วนทั้งสองนี้มีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยอัตรา 8 กก. P_2O_5 /ไร่ จะเป็นอัตราที่เพียงพอ หินฟอสเฟตจากทั้งสองแหล่งมีศักยภาพที่ใช้เป็นแหล่งที่ให้ฟอสฟอรัสแก่พืชโดยตรงถึงแม้ว่าจะไม่สามารถเพิ่มฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินได้เทียบเท่ากับปุ๋ยทริบิเอิลซูเปอร์ฟอสเฟต แต่ให้สัดส่วนของฟอสฟอรัสทั้งหมดหลงเหลือในดินสูงกว่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อย่างชัดเจนซึ่งจะเป็นแหล่งสำรองของฟอสฟอรัสต่อพืชในระยะต่อมา หินฟอสเฟตจากลำปางส่งเสริมการสร้างชีวมวลส่วนเหนือดิน ผลผลิตแป้ง และผลผลิตหัวมันสำปะหลังในชุดดินวารินได้ดีไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยทริบิเอิลซูเปอร์ฟอสเฟต ขณะที่การใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งที่ให้ไนโตรเจนจะเพิ่มประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตจากกำแพงเพชรได้ดีจึงทำให้ผลผลิตของมันเป็นสำปะหลังในชุดดินยโสธรสูงไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยทริบิเอิลซูเปอร์ฟอสเฟตเป็นแหล่งฟอสฟอรัส สารละลาย Brayll, MehlichIII และ NaOH ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเมื่อมีการใส่หินฟอสเฟต

คำขอบคุณ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากทุนทำหยาไทยเพื่อทรัพยากรธรรมชาติ สิ่งแวดล้อม ประจำปีงบประมาณ ๒๕๖๓ กลุ่มเรื่อง สิ่งแวดล้อม ความหลากหลายทางชีวภาพ และระบบนิเวศ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี. 2553. ฟอสเฟต. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล: <http://www.dmr.go.th/main.php?filename=phosphate>. ค้นเมื่อ 28 เมษายน 2562.
- กรมวิชาการเกษตร. 2548. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- เทคโนโลยีดินและปุ๋ย. 2538. การใช้หินฟอสเฟตในการเพาะปลูก. เคหการเกษตร. 19: 61-63.
- อพัสกรณ์ ขวัญน้อย และวิเชียร จาญพจน์. 2557. การละลายได้ของหินฟอสเฟต และอิทธิพลของซีโอไลต์ ซิลิโคนต่อการละลายได้ของหินฟอสเฟตในดินกรดที่ดอน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 32: 59-67.
- วิษณุภรณ์ วงษ์บำรุง. 2559. การตอบสนองของманสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ต่ออัตราปุ๋ยเคมีในดิน Typic Paleustults. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Baligar, V.C., N.K. Fageria, H. Eswaran, M.J. Wilson, and He. Zhenli. 2004. The red soils of China, pp 7-27. In *Nature and Properties of Red Soils of the World*. Kluwer Academic Publishers, UAS.
- Brady, N.C., and R.R. Weil. 2016. *The Nature and Properties of Soils*. 15th Person, Prentice Hall, New York.
- Bray, R.H., and N. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*. 59: 39-45.
- Charanworapan, C. 2013. Available Phosphorus (Bicarbonate P) in Acid Soil Amended with Phosphate Rocks. PhD Thesis, Kasetsart University, Bangkok.
- Chien, S.H. 1979. Dissolution of phosphate rock in acid soils as influenced by nitrogen and potassium fertilizers. *Soil Science*. 127: 371-376.
- Chien, S.H., P.W.G. Sale, and L.L. Hammond. 1990. Comparison of effectiveness of various phosphate fertilizer products. pp. 143-156. *Proceedings of International Symposium on Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania*, Manila, IRRI.
- CIAT. 1977. Annual Report for 1976. CIAT, Cali, Colombia.
- CIAT. 1982. Cassava Program. Annual Report for 1981. CIAT, Cali, Colombia.
- Duangpatra, P. 1988. Soil and climatic characterization of major cassava growing areas in Thailand. pp. 157-184. In: R.H. Howeler and K. Kawano, eds. *Cassava Breeding and Agronomy Research in Asia*. Proceeding of a Workshop held in Thailand, 26-28 October 1987, Bangkok, Thailand.
- Gahoonia, T.S., N. Claassen, and A. Jungk. 1992. Mobilization of phosphate in different soils by ryegrass supplied with ammonium or nitrate. *Plant Soil*. 140: 241-248.
- Ghani, A., and S.S.S. Rajan. 1997. Differential availability of partially sulphuric and phosphoric acidulated phosphate rocks I. Plant response. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 47: 251-259.
- Hagens, P., and C. Sittibusaya. 1990. Short and long term aspects of fertilizer applications on cassava in Thailand. p. 244-259. In: *Proceedings 8th Symposium International Society of Tropical Root*. October 30– November 5, 1988, Crops, Bangkok, Thailand.

- Howeler, R.H. 2002. Mineral nutrition and fertilization of cassava. pp. 115-147. In R.J. Hillocks, J.M. Thresh and A. Bellotti. Cassava: Biology, Production and Utilization. CABI Publishing, New York.
- Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. Soil Interpretation Handbook for Thailand. Agri. Coop., Bangkok, Thailand.
- Mackay, A.D., J.K. Syers, R.W. Tillman, and P.E.H. Gregg. 1986. A Simple model to describe the dissolution of phosphate rock in soils. Soil Science Society of America Journal. 50: 291-296.
- McClellan, G.H., and S.J. Van Kauwenbergh. 2004. World phosphate deposits. pp.11-15. In: F. Zapata and R.N. Roy. Use of Phosphate Rocks for Sustainable Agriculture. FAO, Rome.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. Commun. Soil Science and Plant Analysis. 15: 1409-1416.
- Menon, R.G., S.H. Chien, and L.L Hammond. 1989. Comparison of Bray I and Pi tests evaluating plant-available phosphorus from soils treated with different partially acidulated phosphate rocks. Journal of Plant and Soil. 114: 211-216.
- Murphy, J., and J.P. Riley. 1992. A modified Single Solution Method for Determination of Phosphate in Natural Waters. United States Department of Agriculture.
- Nguyen, H., J.J. Schoenau, K.C.J. Van Rees, D. Nguyen, and P. Qian. 2001. Long-term nitrogen, phosphorus and potassium fertilization of cassava influences soil chemical properties North Vietnam. Canadian Journal of Soil Science. 81: 481-488.
- Nilnond, C., R.L. Aitken, W. Pantanahiran, and C. Nualsri. 1996. An evaluation of a local rock phosphate on a tropical acid soil in southern Thailand. Journal of Soil and Fertilizer. 18:40-49.
- Pellet, D., and M.A. El-Sharkawy. 1993. Cassava varietal response to phosphorus fertilization. I. Yield, biomass and gas exchange. Field Crops Research. 35:1-11.