บทที่ 4

บทวิจารณ์

4.1 สมบัติของดินและการดูดใช้ธาตุอาหารพืช

4.1.1 pH ดิน

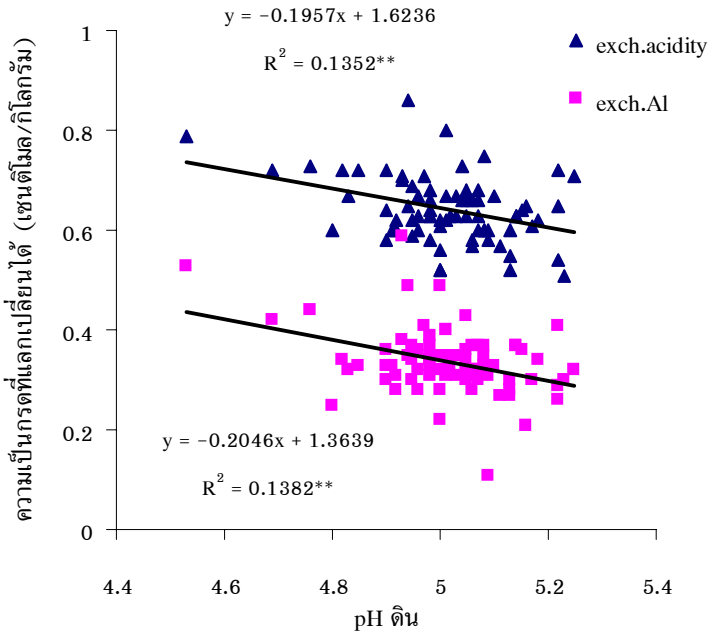
ชุดดินคอหงส์ที่ใช้ในการทดลองเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ คือมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชเช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันต่ำ ดินมีปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด (pH 5.07) ปริมาณความอิ่มตัวด้วยอะลูมินัมเท่ากับ 44.8 เปอร์เซ็นต์ (exch.Al 0.48 เซนติโมล/กิโลกรัม) (ตารางที่ 5) ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เมื่อบ่มดินด้วยวัสดุปูน 2 ชนิด คือปูนขาว และปูนโดโลไมต์เป็นเวลา 3 สัปดาห์ เพื่อปรับ pH ของดินจาก 5.07 ให้ได้ 5.5 พบว่าต้องใส่ปูนขาว ที่ระดับ 0.01203 กรัม/ดิน 500 กรัม ซึ่งน้อยกว่าปูนโดโลไมต์ต้องใส่ที่ระดับ 0.03580 กรัม/ดิน 500 กรัม ทั้งนี้เนื่องจากปูนขาวมีอำนาจในการทำให้เป็นกลาง (neutralizing value) หรือค่า CCE (percent calcium carbonate equivalent) 136 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสูงกว่าปูนโดโลไมต์ ที่มีค่าการทำให้เป็นกลาง 109 เปอร์เซ็นต์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

เมื่อปลูกพืชจนอายุเก็บเกี่ยวที่ 40 วันหลังงอกพบว่า pH ดินหลังปลูกทุกตำรับทดลองลดลงมีค่าอยู่ในช่วง 4.77-5.12 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปลูกซึ่งมี pH 5.24-6.0 โดยชุดควบคุม pH ดินลดลงต่ำสุด คือ 4.77 (ตารางที่ 15) ทั้งนี้เนื่องเกิดจากการแลกเปลี่ยนไอออนในสารละลายดิน เมื่อรากพืชดูดใช้ธาตุอาหารในรูปของประจุบวกที่เป็นด่าง (basic cation) เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม จากสารละลายดิน ไฮโดรเจนไอออนจากรากพืชจะปลดปล่อยออกมาแลกเปลี่ยนกับไอออนดังกล่าวในสารละลายดิน ทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายดินสูงขึ้น ประกอบกับไอออนของแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมในสารละลายดินลดลง จึงเป็นปัจจัยที่ทำให้ pH ดินหลังปลูกพืชลดลงแม้ว่าจะใส่ปูนก็ตาม (Havlin *et al.,* 1999)

4.1.2 ความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

การใส่วัสดุปูน นอกจากเพิ่มแคลเซียม แมกนีเซียมให้กับดิน และทำให้ pH ของดินสูงขึ้นแล้ว ยังลดความเป็นพิษของอะลูมินัมในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใส่ปูนขาว และปูนโดโลไมต์ร่วมกับฟอสโฟยิปซัม (L+G, D+G) และคีเซอไรต์ (L+K, D+K) อัตราต่างๆ นอกจากทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้นแล้วยังส่งผลให้กรดที่แลกเปลี่ยนได้ และอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลง ซึ่งสอดคล้องกับที่ประไพ และคณะ (2536) และ สุนทร และ เวย์, (2536) รายงานว่าการลดกิจกรรมของอะลูมินัมในสารละลายดินเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของ pH, แคลเซียม และ

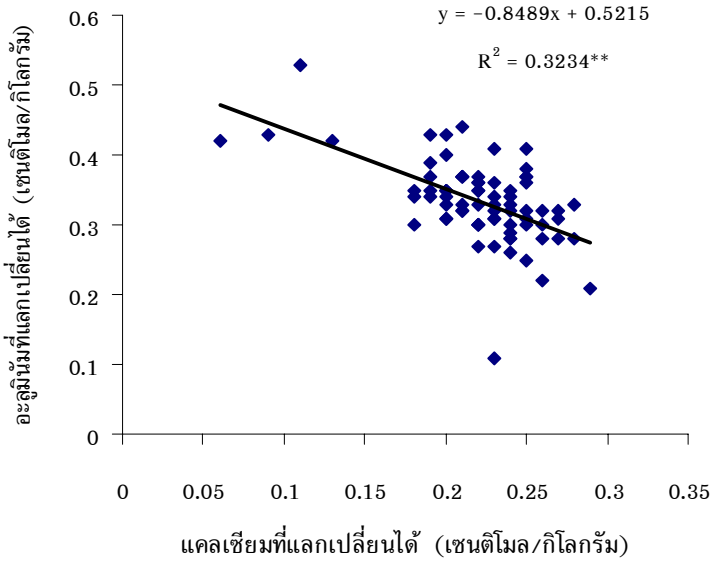
และแมกนีเซียมในดิน โดยกรดที่แลกเปลี่ยนได้ในดินจากชุดควบคุมมีค่า 0.77 เซนติโมล/กิโลกรัม ลดลงเป็น 0.57-0.69 เซนติโมล/กิโลกรัม เมื่อใส่วัสดุปรับปรุงดิน ส่วนอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินในชุดควบคุมมีค่า 0.51 เซนติโมล/กิโลกรัม และลดลงเป็น 0.27-0.41 เซนติโมล/กิโลกรัม เมื่อใส่วัสดุปรับปรุงดิน ซึ่งตำรับทดลองที่ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับฟอสโฟยิปซัม ที่ให้แคลเซียม 0.5 เท่าจากปูนโดโลไมต์ทำให้อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลงต่ำสุดคือ 0.27 เซนติโมล/กิโลกรัม เนื่องจากเมื่อใส่วัสดุปูนลงในดินในสภาพที่มีความชื้น จะแตกตัวให้ OH^- หรือ CO_3^{2-} ทำปฏิกิริยากับ H^+ ในสารละลายดินกรด ส่วน Ca^{2+} หรือ Mg^{2+} จะเข้าไปแทนที่พวกกรดที่ถูกดูดซับที่คอลลอยด์ดิน ทั้ง Al^{3+} และ H^+ เพื่อให้ออกมาทำปฏิกิริยากับ OH^- ทำให้ปริมาณของ H^+ และ Al^{3+} ลดลงส่งผลให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น (สุมาลี, 2536; เจริญ และคณะ, 2540) นอกจากนี้การใส่ฟอสโฟยิปซัม และคีเซอไรต์ร่วมกับการใส่ปูนยังมีผลให้กรดที่แลกเปลี่ยนได้ และอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลง เนื่องจากทั้งฟอสโฟยิปซัม และคีเซอไรต์สามารถละลายน้ำได้ง่าย ทำให้ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่ได้จากฟอสโฟยิปซัม ($CaSO_4.2H_2O$) และ คีเซอไรต์ ($MgSO_4$) ทำปฏิกิริยากับอะลูมินัมอิสระในสารละลายดินเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอะลูมินัมซัลเฟต ($AlSO_4^+$) (Summner,1993) ซึ่ง pH ดินจะมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินโดยมีค่า R^2=0.1352** (exch. acidity) และ R^2 = 0.1382**(exch. Al) รูปที่ 4



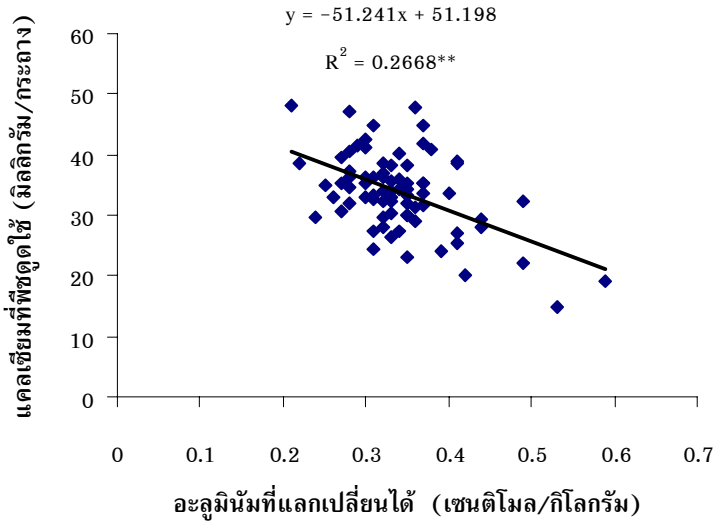
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ของดินกับปริมาณกรดที่แลกเปลี่ยนได้ และอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

4.1.3 แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน และการดูดใช้แคลเซียมของข้าวโพด

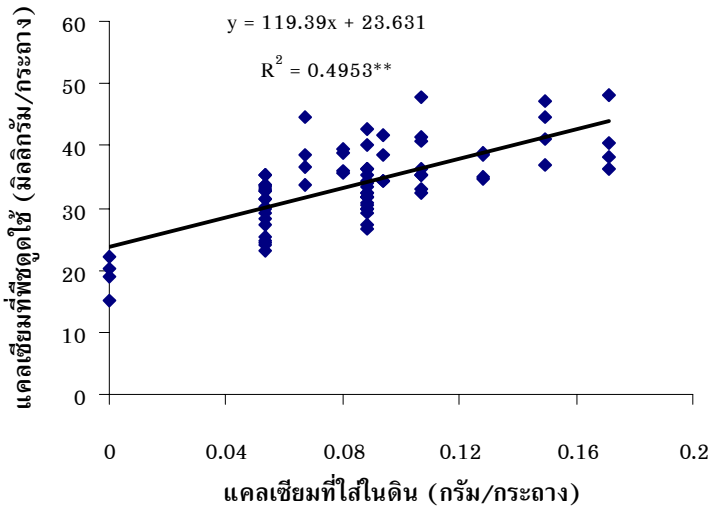
แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังปลูกข้าวโพดในชุดควบคุมมีค่าต่ำมากคือ 0.09 เซนติโมล/กิโลกรัม และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับใส่ปูนขาว และปูนโดโลไมต์ ที่ทำให้แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใส่ปูนขาว และปูนโดไมต์ร่วมกับฟอสโฟยิปซัมนั้น แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้นตามปริมาณฟอสโฟยิปซัมที่ใส่ในดิน ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.21-0.28 เซนติโมล/กิโลกรัม การใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับฟอสโฟยิปซัมให้มีแคลเซียมเป็น 1 เท่าจากปูนโดโลไมต์ (D+G1) มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงสุดคือ 0.28 เซนติโมล/กิโลกรัม เนื่องจากทั้งปูนขาว ปูนโดโลไมต์ และฟอสโฟยิปซัมในสภาพที่มีความชื้นในดินจะแตกตัวให้แคลเซียมแก่ดินโดยตรง ซึ่งจะแทนที่พวกกรดที่ถูกดูดซับที่คอลลอยด์ดิน ทั้ง Al^{3+} และ H^{+} เพื่อให้ออกมาทำปฏิกิริยากับ OH^{-} หรือ CO_3^{2-} ทำให้ปริมาณของ H^{+} และ Al^{3+} ลดลงส่งผลให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น (สุมาลี, 2536; เจริญ และคณะ, 2540) ทำให้ธาตุอาหารพืชอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น จึงส่งผลให้ข้าวโพดในตำรับทดลองที่ได้รับการปรับปรุงดินโดยใส่วัสดุปูนทุกตำรับการทดลอง เจริญเติบโตดีกว่าที่ไม่ใส่ปูนเลย แคลเซียมที่เพิ่มขึ้นในดินมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินโดยมีค่า $R^2 = 0.3234^{**}$ (ดังรูปที่ 5) เช่นเดียวกับแคลเซียมที่พืชดูดใช้ทั้งหมด ที่มีค่า $R^2 = 0.2668^{**}$ (ดังรูปที่ 6) สำหรับการดูดใช้แคลเซียมของข้าวโพดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณฟอสโฟยิปซัมที่ได้รับทั้งตำรับทดลองที่ใส่ร่วมกับปูนขาว และปูนโดโลไมต์ โดยการดูดใช้แคลเซียมของข้าวโพดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับแคลเซียมที่ใส่ในดินซึ่งมีค่า $R^2 = 0.4953^{**}$ (ดังรูปที่ 7)



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินกับอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน



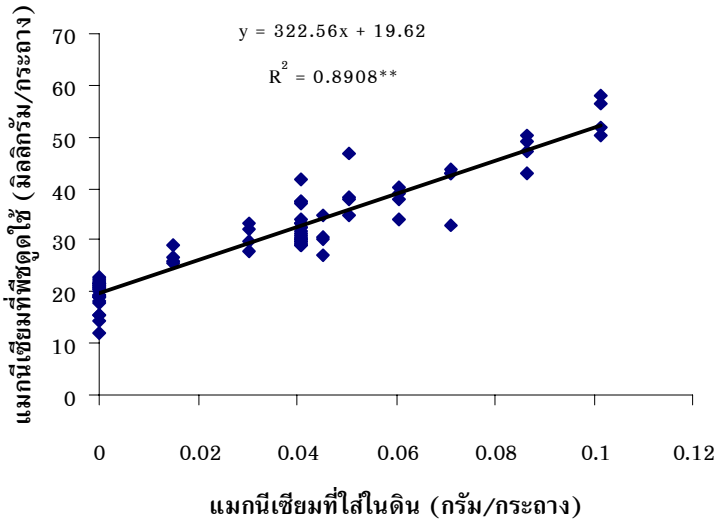
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างแคลเซียมที่พืชดูดใช้ทั้งหมดกับอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน



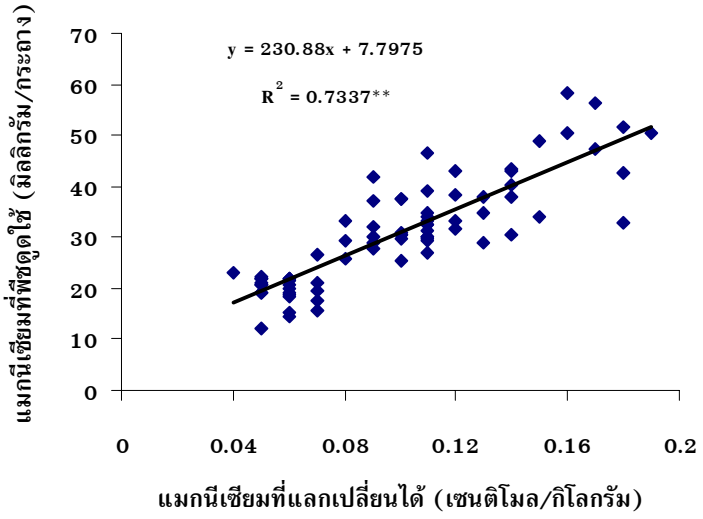
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างแคลเซียมที่ใส่ในดินกับแคลเซียมที่พืชดูดใช้ทั้งหมด

4.1.4 แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน และการดูดใช้แมกนีเซียมของข้าวโพด

แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังปลูกข้าวโพดในชุดควบคุม และตำรับทดลองที่ใส่ปูนขาวร่วมกับกับฟอสโฟยิปซัมที่มีค่าต่ำมาก คือ 0.05 และ 0.06 เซนติโมล/กิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าตำรับทดลองที่ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับฟอสโฟยิปซัม และตำรับทดลองที่ใส่ปูนขาว และปูนโดโลไมต์ร่วมกับคีเซอไรต์ทุกอัตรา เนื่องจากปูนโดโลไมต์ที่ใส่ร่วมกับฟอสโฟยิปซัมนั้นนอกจากจะมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบแล้วยังมีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบถึง 11.43 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใส่ในดินก็จะให้แมกนีเซียมแก่ดินโดยตรง สำหรับตำรับทดลองที่ใส่ปูนร่วมกับคีเซอไรต์นั้น แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้นตามปริมาณคีเซอไรต์ซึ่งมีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบ 27 เปอร์เซ็นต์ (27 % MgO) จึงส่งผลให้ข้าวโพดดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นเช่นกัน การดูดใช้แมกนีเซียมของข้าวโพดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับแมกนีเซียมที่ใส่ในดินซึ่งมีค่า R^2 = 0.8908** (ดังรูปที่ 8) โดยเฉพาะในตำรับทดลองที่ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับคีเซอไรต์ให้มีกำมะถันตามคำแนะนำ (D+K1) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าสูงสุดคือ 0.18 เซนติโมล/กิโลกรัม แต่ยังต่ำกว่าค่าวิกฤติของแมกนีเซียมในดินทั่วไปคือ 0.20 เซนติโมล/กิโลกรัม (Landon, 1991) เนื่องจากข้าวโพดมีการดูดใช้แมกนีเซียมเพื่อการเจริญเติบโต โดยข้าวโพดสามารถดูดใช้แมกนีเซียมสูงสุดในตำรับการทดลองนี้เช่นกัน สำหรับการดูดใช้แมกนีเซียมของข้าวโพดนั้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับแมกนีเซียมในดินโดยมีค่า R^2 = 0.7337** (ดังรูปที่ 9)



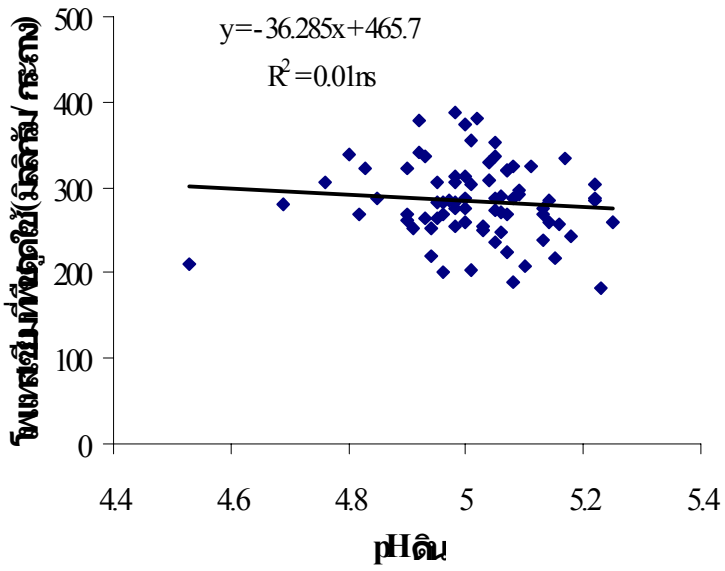
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างแมกนีเซียมที่ใส่ในดินกับแมกนีเซียมที่พืชดูดใช้ทั้งหมด



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินกับแมกนีเซียมที่พืชดูดใช้ทั้งหมด

4.1.5 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน และการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพด

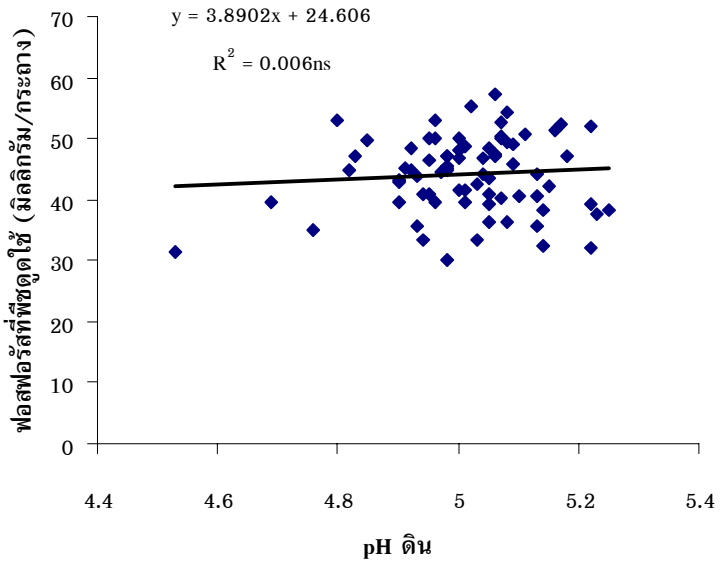
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังปลูกข้าวโพดในแต่ละตำรับการทดลองอยู่ระหว่าง 0.03-0.06 เซนติโมล/กิโลกรัม ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าดินก่อนปลูกคือ 0.09 เซนติโมล/กิโลกรัม แม้นจะได้รับโพแทสเซียมเท่ากันทุกตำรับการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องจากสภาวะในสารละลายดินไม่ได้เป็นข้อจำกัดต่อการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพด เช่น pH ดิน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดน้อยมาก ดังรูปที่ 10 โดยมีค่า $R^2 = 0.01^{ns}$ ข้าวโพดจึงดูดใช้โพแทสเซียมเพื่อการเจริญเติบโตทั้งชุดควบคุม และตำรับการทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินได้ดี โดยเฉพาะตำรับทดลองที่ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับคีเซอไรต์ตามคำแนะนำ (D+K1) ข้าวโพดดูดใช้โพแทสเซียมสูงสุด คือ 323.41 มิลลิกรัม/กระถาง รองลงมาคือตำรับทดลองที่ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับฟอสโฟยิปซัมให้มีแคลเซียมเป็น 0.5 เท่า (D+G0.5) ที่สามารถดูดใช้โพแทสเซียม 318.58 มิลลิกรัม/กระถาง ซึ่งไม่เป็นไปตามอัตรกิริยาปฏิปักษ์ระหว่างแคลเซียม และแมกนีเซียมกับโพแทสเซียม ที่ว่าถ้าในดินมีแคลเซียมหรือแมกนีเซียมสูง จะยับยั้งการดูดใช้โพแทสเซียมของพืช (ยงยุทธ, 2543) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแคลเซียม และแมกนีเซียมที่เพิ่มขึ้นในดินนั้นไม่มากเกินไปที่จะยับยั้งการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพด จึงทำให้ข้าวโพดมีการดูดใช้โพแทสเซียมมากขึ้น ส่งผลให้โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังปลูกข้าวโพดลดลง



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ดินกับโพแทสเซียมที่พืชดูดใช้ทั้งหมด

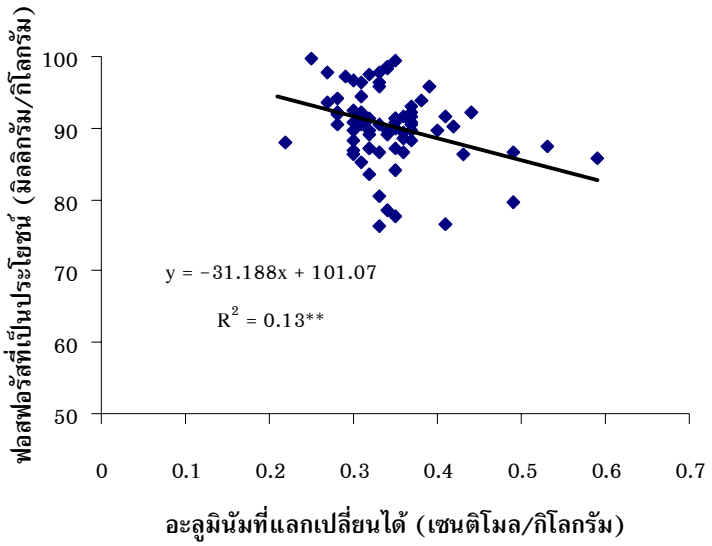
4.1.6 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน และการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวโพด

ในสภาพดินเป็นกรดโดยเฉพาะชุดควบคุมซึ่งมี pH ดินก่อนปลูก 5.07 และหลังปลูกพืช 4.71 ซึ่งถือว่าเป็นกรดจัดมาก และมีอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงคือ 0.51 เซนติโมล/กิโลกรัม จะส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน และการดูดใช้ฟอสฟอรัสของพืชแม้จะใส่ฟอสฟอรัสให้เพียงพอกับความต้องการของพืช แต่ถ้ามีปริมาณอะลูมิเนียมสูงก็ทำให้พืชขาดฟอสฟอรัสได้ เนื่องจากอะลูมินัมจะรวมตัวกับฟอสฟอรัสเป็นอะลูมิเนียมฟอสเฟตตกตะกอนหรือถูกยึดไว้ในดินอย่างแข็งแรง (von Uexkull, 1986) จากผลการทดลองเมื่อปรับปรุงดินโดยการใส่ปูน และใส่ปูนร่วมกับฟอสโฟยิปซัมทำให้ pH ของดินก่อนปลูกพืชสูงขึ้นในระดับที่เหมาะสมคือ 5.5-6.0 ส่งผลให้ปริมาณอะลูมินัมในดินลดลง เมื่อปลูกพืชจนอายุเก็บเกี่ยวที่ 40 วันหลังงอกพบว่า pH ดินหลังปลูกทุกตำรับทดลองลดลงมีค่าอยู่ในช่วง 4.77-5.12 เนื่องจากการแลกเปลี่ยนไอออนในสารละลายดิน เมื่อรากพืชดูดใช้ธาตุอาหารในรูปของประจุบวกที่เป็นด่าง (basic cation) เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม จากสารละลายดิน ไฮโดรเจนไอออนจากรากพืชจะปลดปล่อยออกมาแลกเปลี่ยนกับไอออนดังกล่าวในสารละลายดิน ทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายดินสูงขึ้น ประกอบกับไอออนของแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมในสารละลายดินลดลง จึงเป็นปัจจัยที่ทำให้ pH ดินหลังปลูกพืชลดลงแม้ว่าจะใส่ปูนก็ตาม (Havlin *et al.*, 1999) ทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวโพดไม่มีความสัมพันธ์ในลักษณะที่เพิ่มขึ้นตาม pH ดิน โดยมีค่า $R^2=0.006^{ns}$ ดังรูปที่ 11

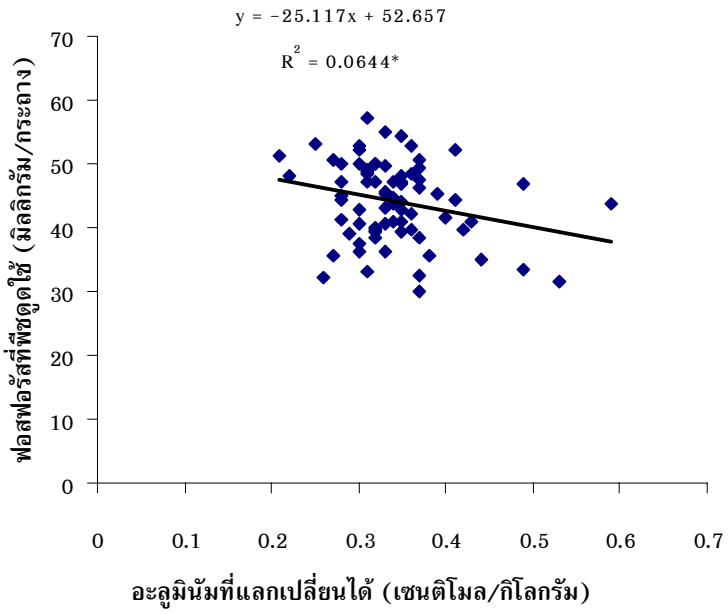


รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH ดินกับฟอสฟอรัสที่พืชดูดใช้ทั้งหมด

อย่างไรก็ตามการใส่วัสดุปรับปรุงดินมีผลทำให้อะลูมินัมในดินลดลง ส่งผลให้ปริมาณอะลูมินัมอิสระในต้นพืชน้อยลงด้วย ทำให้โอกาสที่จะจับกับฟอสฟอรัสในกรดนิวคลีอิกยับยั้งการแบ่งเซล และมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ Phosphokinase และ ATPase (เจริญและคณะ, 2540) ลดลงด้วย กิจกรรมต่าง ๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้ฟอสฟอรัสของพืชดำเนินไปด้วยดี จึงส่งผลให้ข้าวโพดในตำรับที่ใส่ปูนร่วมกับฟอสโฟยิปซัมและคีเซอไรต์เจริญเติบโตดีกว่าไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน และการดูดใช้ฟอสฟอรัสของพืชมีแนวโน้มความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน โดยมีค่า R^2=0.13** (Avai.P) รูปที่ 12 และ R^2=0.064* (P uptake) รูปที่ 13



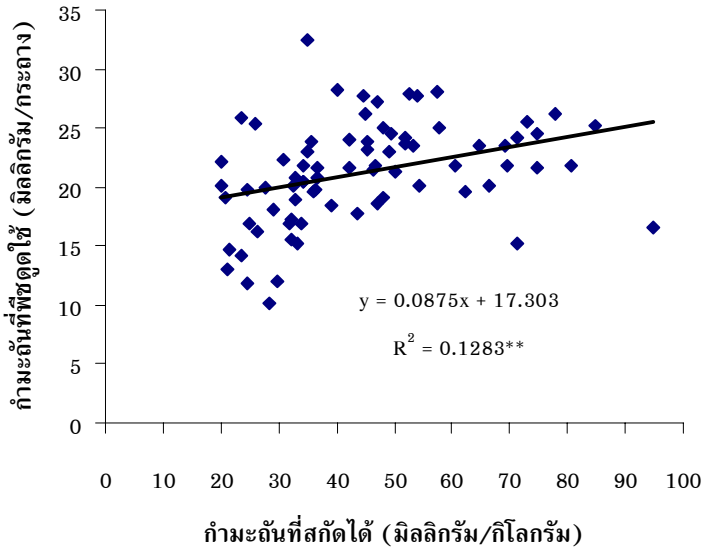
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินกับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน



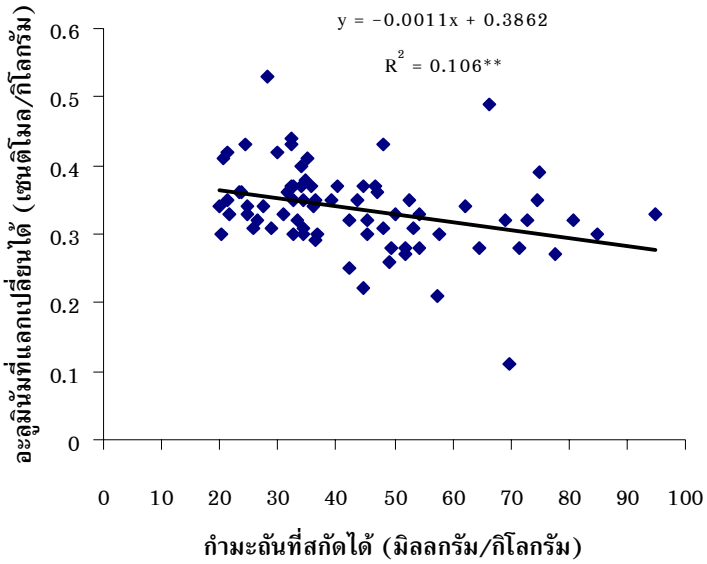
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินกับฟอสฟอรัสที่พืชดูดใช้

4.1.6 กำมะถันที่สกัดได้ในดิน และการดูดใช้กำมะถันของข้าวโพด

การดูดใช้กำมะถันของข้าวโพดเพิ่มขึ้นตามปริมาณฟอสโฟยิปซัม และคีเซอไรต์ที่ใส่ร่วมกับปูนขาว และปูนโดโลไมต์ เนื่องจากทั้งฟอสโฟยิปซัม และคีเซอไรต์นั้นมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ โดยที่ฟอสโฟยิปซัมมีกำมะถัน 13.35 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่คีเซอไรต์มีกำมะถัน 23 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการดูดใช้กำมะถันของข้าวโพดมีความสัมพันธ์ทางบวกกับกำมะถันที่สะกัดได้ในดิน โดยมีค่า $R^2 = 0.1283^{**}$ ดังรูปที่ 14 การใส่ฟอสโฟยิปซัม และคีเซอไรต์ร่วมกับการใส่ปูนนอกจากเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินแล้ว ยังส่งผลให้กรดที่แลกเปลี่ยนได้และอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลง เนื่องจากทั้งฟอสโฟยิปซัม และคีเซอไรต์สามารถละลายน้ำได้ง่าย ทำให้ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่ได้จากฟอสโฟยิปซัม ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) และ คีเซอไรต์ ($MgSO_4$) จะทำปฏิกิริยากับอะลูมินัมอิสระในสารละลายดิน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอะลูมินัมซัลเฟต ($AlSO_4^+$) ซึ่งไม่เป็นพิษกับพืช (Summner,1993) ทำให้ข้าวโพดสามารถดูดใช้ธาตุอาหารอื่น ๆ รวมทั้งกำมะถันได้ดีขึ้น Noble และคณะ (1988) ได้รายงานว่า อะลูมินัมในรูปโมโนเมอริก (Al^{3+}) ทำให้การเจริญทางความยาวของรากถั่วเหลืองลดลง และเมื่อใส่ยิปซัมลงในสารละลาย ทำให้อะลูมินัมอยู่ในรูป $AlSO_4^+$ ซึ่งไม่เป็นพิษกับพืช ส่งผลให้การเจริญของรากเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการทดลองในตำรับที่ใส่ปูนร่วมกับฟอสโฟยิปซัม และคีเซอไรต์ทุกตำรับการทดลอง ได้น้ำหนักแห้งของรากข้าวโพดสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน หรือใส่ปูนขาวและปูนโดโลไมต์อย่างเดียว กำมะถันที่เพิ่มขึ้นในดินนั้นมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินโดยมีค่า $R^2 = 0.106^{**}$ ดังรูปที่ 15



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำมะถันที่สกัดได้ในดินกับกำมะถันที่พืชดูดใช้ทั้งหมด



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำมะถันที่สกัดได้ในดินกับอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

4.2 การเจริญเติบโตของข้าวโพด

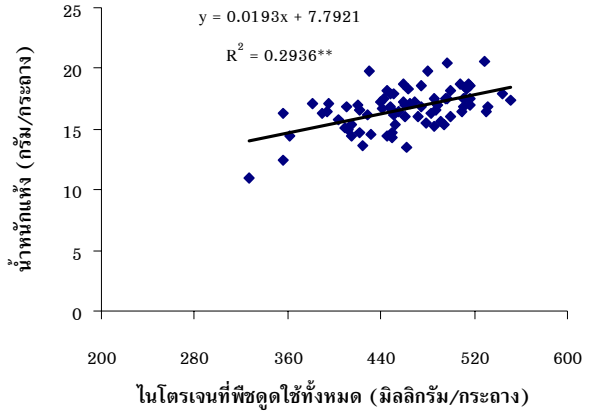
เมื่อใส่ปูนขาว และปูนโดโลไมต์เพื่อปรับ pH ดินจาก 5.07 ให้สูงขึ้นเป็น 5.5 ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้น้ำหนักต้น และรากของข้าวโพดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใส่วัสดุปูน (control) ภายใต้สภาวะที่ได้รับธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และธาตุอาหารเสริมคือ โบรอน ทองแดง แมงกานีส และ สังกะสี ในปริมาณที่เท่ากัน (ตารางที่ 7) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของชัยรัตน์ และวิเชียร, (2539) และ Maneepong และคณะ (1998) ที่ศึกษาในดินชุดเดียวกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าพืชมีการตอบสนองต่อการใส่ปูนในดินชุดคอหงส์ เนื่องจากการใส่วัสดุปูนนอกจากเป็นการเพิ่มแคลเซียม แมกนีเซียมให้กับดิน ทำให้ pH ดินสูงขึ้นแล้วยังลดความเป็นพิษของอะลูมินัมในดินและเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช เช่น ฟอสฟอรัส โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใส่ปูนขาวและปูนโดโลไมต์ร่วมกับฟอสโฟยิปซัม (L+G, D+G) และคีเซอไรต์ (L+K, D+K) ในอัตราต่าง ๆ นอกจากทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้นแล้วยังเป็นการเพิ่มแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันให้กับดิน ส่งผลให้กรดที่แลกเปลี่ยนได้และอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลง และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอะลูมินัมซัลเฟต ($AlSO_4^+$) ซึ่งไม่เป็นพิษกับพืช (Summner,1993) ทำให้ข้าวโพดดูดใช้ธาตุอาหารต่าง ๆ ได้มากขึ้น จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดในตำรับที่ใส่ปูน ใส่ปูนร่วมกับฟอสโฟยิปซัม และคีเซอไรต์ ซึ่งสูงกว่าไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน

อะลูมินัมในดินมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตทางรากของพืชดังที่ Pavan และ Bingham (1982) ได้รายงานไว้ในการปลูกกาแฟในสารละลายที่มีอะลูมินัมสูง ทำให้การเจริญเติบโตทางรากลดลง โดยอาการเป็นพิษเกิดขึ้นที่ราก รากจะหนา อ้วนสั้น และมีปริมาณน้อย พืชจึงดูดธาตุอาหารต่าง ๆ ได้น้อยลง เช่นเดียวกับที่ Alva และคณะ (1987) ได้รายงานไว้ว่าการเจริญเติบโตของราก และต้น รวมทั้งการติดปมของถั่วเหลืองลดลง เมื่ออะลูมินัมในสารละลายเพิ่มขึ้นในสภาวะที่ได้รับไนโตรเจนเพียงพอ การใส่วัสดุปรับปรุงดินประเภทปูน และใส่ปูนร่วมกับฟอสโฟยิปซัม และคีเซอไรต์จะทำให้อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินลดลง ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญทางการเจริญของรากพืช จะเห็นได้จากน้ำหนักแห้งของรากข้าวโพดในตำรับทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินเพิ่มขึ้นจาก 1.65 กรัม/กระถางในชุดควบคุม เป็น 2.31 กรัม/กระถางเมื่อใส่ปูนขาว 2.57 กรัม/กระถางเมื่อใส่ปูนโดโลไมต์ มีค่าระหว่าง 3.98-4.92, 4.62-5.25, 3.61-4.75 และ 3.57-5.62 กรัม/กระถาง เมื่อใส่ปูนขาวร่วมกับฟอสโฟยิปซัม ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับฟอสโฟยิปซัม ใส่ปูนขาวร่วมกับคีเซอไรต์ และใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับคีเซอไรต์ ตามลำดับ

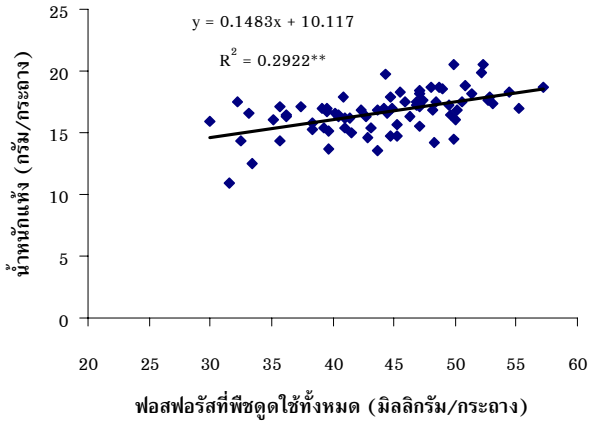
นอกจากอะลูมินัมที่ลดลงในดินทำให้รากพืชเจริญดีแล้ว แคลเซียมที่ได้จากวัสดุปูนหรือฟอสโฟยิปซัมยังมีส่วนสำคัญต่อการเจริญของรากพืช คือ แคลเซียมจะช่วยในการแบ่งเซลที่หมวกราก ทำให้การเจริญของรากดีขึ้น จึงส่งผลให้ข้าวโพดสามารถดูดใช้ธาตุอาหารต่าง ๆได้มากขึ้น นอกจากนี้บทบาทของแคลเซียมยังมีผลต่อการเจริญทางยอดของพืช โดยเฉพาะในข้าวโพดถ้าขาดแคลเซียมจะทำให้ใบยอดใหม่ไม่คลี่ สีซีด และมีเมือกเหนียว (Havlin *et al.,* 1995) ซึ่งปรากฏในตำรับที่ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน (control) ที่ต้นกล้าอายุ 10 วันหลังปลูกใบยอดไม่คลี่ และมีเมือกเหนียว (รูปภาคผนวกที่ 1) ทำให้ข้าวโพดเจริญเติบโตได้ไม่ดีเท่ากับตำรับทดลองอื่นที่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Maneepong และคณะ (1998) ที่ปรับปรุงดินกรดชุดคอหงส์ โดยการใส่ปูนขาวร่วมกับยิปซัมสามารถเพิ่มปริมาณแคลเซียม และกำมะถันให้กับดินถึงระดับความลึก 60 เซนติเมตร และลดอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ทั้งดินบน และดินล่าง ทำให้รากพืชสามารถแพร่กระจายลงไปได้ลึกกว่าปกติ ส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตดีกว่าการใส่ปูนหรือยิปซัมอย่างเดียว เช่นเดียวกันกับรายงานของ Noble และคณะ (1988) ที่ลดความเป็นพิษของอะลูมินัมในสารละลายดินโดยใช้ยิปซัม ทำให้อะลูมินัมในสารละลายดินตกตะกอนกับซัลเฟต อยู่ในรูปของอะลูมินัมซัลเฟต ($AlSO_4^{2-}$) ส่งผลให้ความยาวของรากถั่วเหลืองเพิ่มมากขึ้น

การเพิ่มขึ้นของ pH และธาตุอาหารพืชในดินจากวัสดุปรับปรุงดิน เช่น แคลเซียมที่ได้จากปูนขาว ปูนโดโลไมต์ และฟอสโฟยิปซัม แมกนีเซียมที่ได้จากปูนโดโลไมต์ และคีเซอไรต์ กำมะถันจากที่ได้จากฟอสโฟยิปซัม และคีเซอไรต์ ที่ใส่ในดิน ทำให้ข้าวโพดสามารถดูดใช้ธาตุอาหารดังกล่าว และธาตุอื่น ๆ ได้มากขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่น้ำหนักแห้งของข้าวโพดเพิ่มขึ้นตามปริมาณฟอสโฟยิปซัม และคีเซอไรต์ที่ใส่ทั้งตำรับทดลองที่ใส่ร่วมกับปูนขาว และปูนโดโลไมต์ โดยเฉพาะตำรับทดลองที่ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับคีเซอไรต์อัตรา

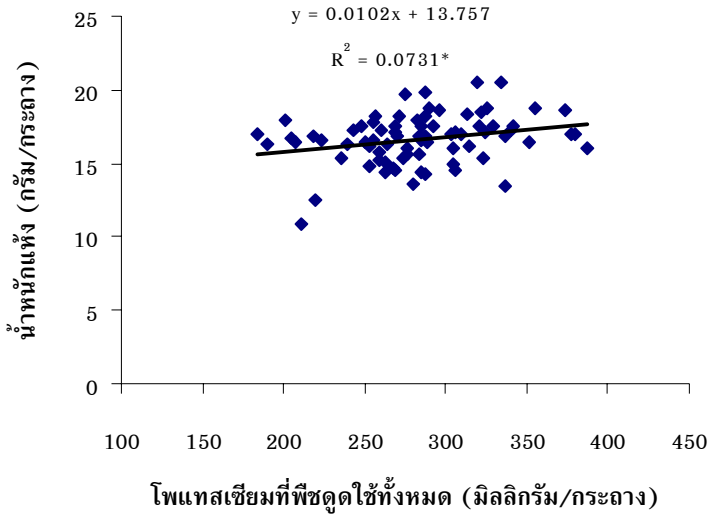
1 เท่าของคำแนะนำที่ให้กำมะถัน (D+G1) ให้น้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดสูงสุดคือ 18.98 กรัม/กระถาง และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน และใส่ปูนขาวหรือปูนโดโลไมต์อย่างเดียว เนื่องจากแคลเซียมที่ได้จากปูนโดโลไมต์จะแทนที่ไฮโดรเจนไอออน และอะลูมินัมไอออน ให้ออกมาทำปฏิกิริยากับ CO_3^{2-} จากปูนโดโลไมต์ และ SO_4^{2-}จากคีเซอไรต์ ทำให้ความเป็นกรด และอะลูมินัมรูปที่จะเป็นพิษกับพืชลดลง ข้าวโพดสามารถดูดใช้ธาตุอาหารต่าง ๆ ได้เต็มที่ ซึ่งการดูดใช้ธาตุอาหารพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักแห้งของข้าวโพด โดยมีค่า $R^2 = 0.2936$** (ไนโตรเจน) ดังรูปที่ 16 $R^2 = 0.2922$**(ฟอสฟอรัส) ดังรูปที่ 17 $R^2 = 0.0731$*(โพแทสเซียม) ดังรูปที่ 18 $R^2 = 0.2078$**(แคลเซียม) ดังรูปที่ 19 $R^2 = 0.395$**(แมกนีเซียม) ดังรูปที่ 20 และ $R^2 = 0.4906$**(กำมะถัน) ดังรูปที่ 21



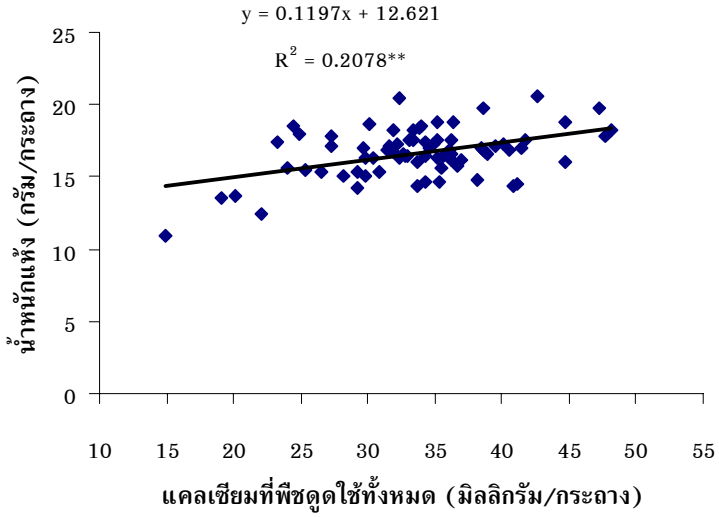
รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ไนโตรเจนกับน้ำหนักแห้งของข้าวโพด



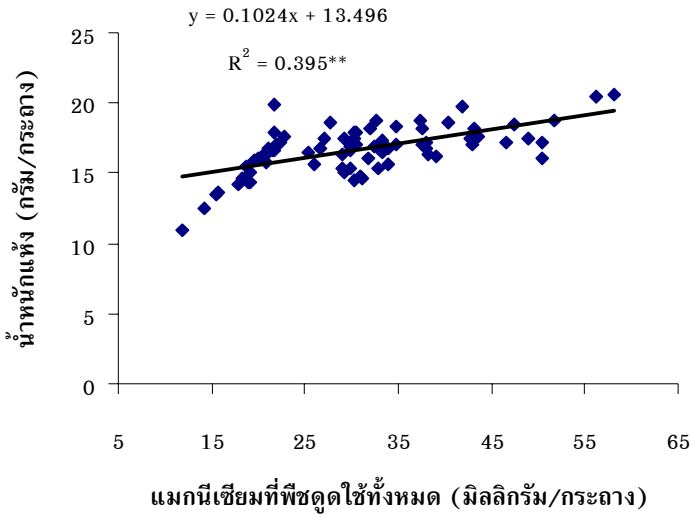
รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ฟอสฟอรัสกับน้ำหนักแห้งของข้าวโพด



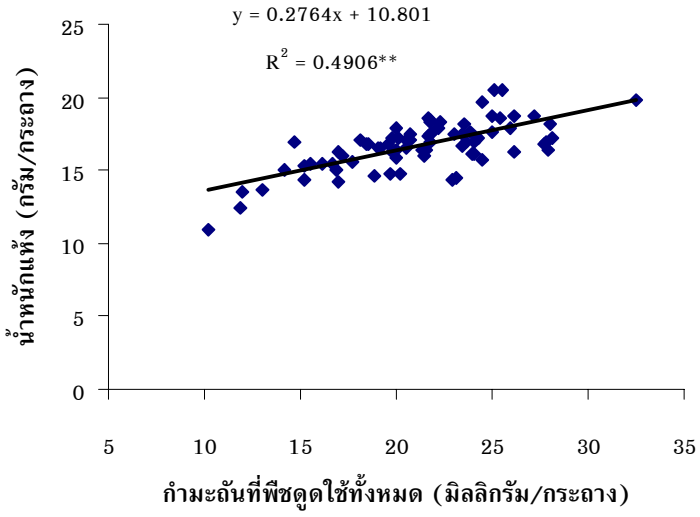
รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้โพแทสเซียมกับน้ำหนักแห้งของข้าวโพด



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้แคลเซียมกับน้ำหนักแห้งของข้าวโพด



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้แมกนีเซียมกับน้ำหนักแห้งของข้าวโพด



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้กำมะถันกับน้ำหนักแห้งของข้าวโพด

4.3 ความเหมาะสมของการใช้สารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ

จากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของข้าวโพดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ระหว่างตำรับทดลองที่ใส่ปูนขาวร่วมกับฟอสโฟยิปซัม และปูนโดโลไมต์ร่วมกับฟอสโฟยิปซัมนั้นพบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของการใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับฟอสโฟยิปซัมเฉลี่ย (53.12 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าใส่ปูนขาวร่วมกับฟอสโฟยิปซัมเฉลี่ย (47.44 เปอร์เซ็นต์) และสูงกว่าการใส่ปูนขาว และปูนโดโลไมต์อย่างเดียว คือ 22.41 และ 27.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 18) โดยเฉพาะตำรับทดลองที่ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับฟอสโฟยิปซัม ที่ 0.75 เท่า เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเป็น 57.14 ซึ่งสูงกว่าเมื่อใส่ปูนขาวร่วมกับฟอสโฟยิปซัมที่ 0.75 คือ 54.34 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากปูนโดโลไมต์มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบซึ่งมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ในขณะที่ปูนขาวมีแมกนีเซียมน้อยมาก เมื่อใส่ปูนโดโลไมต์จึงเป็นการเพิ่มแมกนีเซียมให้กับดินอีกทางหนึ่งซึ่งดินชุดคอหงส์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีแมกนีเซียมต่ำอยู่แล้ว (0.09 เซนติโมล/กิโลกรัม) นอกจากนี้ปริมาณฟอสโฟยิปซัมในตำรับทดลองที่ใส่ร่วมกับปูนโดโลไมต์สูงกว่าที่ใส่ร่วมกับปูนขาว ทำให้ข้าวโพดได้รับแคลเซียม และแมกนีเซียมมากกว่า (ตารางที่ 19) ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของข้าวโพดเพิ่มขึ้นด้วย

สำหรับการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของข้าวโพด และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ระหว่างตำรับทดลองที่ใส่ปูนร่วมกับฟอสโฟยิปซัมเปรียบเทียบกับใส่ปูนร่วมกับคีเซอไรต์นั้นค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งข้าวโพด และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในตำรับทดลองที่ใส่ปูนทั้งปูนขาว และปูนโดโลไมต์ร่วมกับคีเซอไรต์สูงกว่าเมื่อใส่ร่วมกับฟอสโฟยิปซัมทั้งที่ให้ซัลเฟตเหมือนกัน ทั้งนี้เนื่องจากในคีเซอไรต์มีปริมาณแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบ ซึ่งฟอสโฟยิปซัมมีน้อยมาก จึงทำให้ข้าวโพดมีการดูดใช้แมกนีเซียมมากขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักแห้งข้าวโพดเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมในตำรับที่ใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับคีเซอไรต์ที่ให้กำมะถันตามคำแนะนำมีค่าสูงสุดถึง 68.84 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สภาวะที่มีอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินใกล้เคียงกับตำรับทดลองอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของแมกนีเซียมที่ข้าวโพดได้รับจากปูนโดโลไมต์ และคีเซอไรต์ในปริมาณที่สูงกว่าตำรับทดลองอื่น (ตารางที่ 19)

จากการทดลองจะเห็นว่าข้าวโพดตอบสนองต่อการใส่วัสดุปรับปรุงดิน เช่น ปูนขาว ปูนโดโลไมต์ ฟอสโฟยิปซัม และคีเซอไรต์ โดยน้ำหนักแห้งของข้าวโพดเพิ่มขึ้นสูงกว่าไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกตำรับทดลอง เนื่องจากดินชุดคอหงส์ที่ใช้ทดลองเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำโดยเฉพาะมีแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันต่ำ เมื่อใส่วัสดุปรับปรุงดินเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้กับดินโดยตรงทำให้พืชสามารถดูดไปใช้ได้ การใส่ปูนโดโลไมต์ ร่วมกับคีเซอไรต์ตามคำแนะนำ (D+K1) ทำให้การเจริญเติบโตของข้าวโพดดีที่สุด และลดลงมาตามปริมาณของคีเซอไรต์แต่การคัดเลือกใช้วัสดุปรับปรุงดินให้เหมาะสม นอกจากพิจารณาจากผลผลิตพืชที่เพิ่มขึ้นแล้วก็ต้องคำนึงถึงการลงทุนด้วย จะเห็นว่าในตำรับที่ให้ผลผลิตสูงสุด (D+K1) ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นก็

สูงสุดด้วย (ตารางที่ 20) ถ้าคำนึงถึงผลตอบแทนที่ได้รับในแง่ของผลผลิต และความอุดมสมบูรณ์ที่เพิ่มขึ้นของดินก็น่าจะคุ้ม อย่างไรก็ตามก็ยังมีทางเลือกอื่นที่ใช้วัสดุปรับปรุงดินที่ราคาต่ำกว่าคีเซอไรต์ และให้ผลใกล้เคียงกันรวมทั้งเพิ่มธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันให้กับดิน เช่น การใส่ปูนขาวหรือปูนโดโลไมต์ร่วมกับฟอสโฟยิปซัมที่ให้แคลเซียม 0.75 เท่า (L+G0.75 และ D+G0.75) มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของข้าวโพดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมคือ 54.34 และ 57.14 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 18) ตามลำดับ แม้ว่าการใส่ปูนโดโลไมต์มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าปูนขาว แต่ถ้าพิจารณาในด้านการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน โดยเฉพาะการเพิ่มแมกนีเซียมให้กับดิน ซึ่งมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และเพื่อให้ดินนั้นสามารถปลูกพืชต่อไปได้ก็นับว่าเป็นสิ่งที่คุ้มค่า เมื่อพิจารณาถึงผลตกค้างของธาตุอาหารในดินอันจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้น จะเห็นว่าประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ((nutrient uptake /Total nutrient added) x 100) (ตารางที่ 20) ในตำรับทดลองดังกล่าว มีแนวโน้มสูงกว่าตำรับทดลองที่ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน และใส่ปูนขาว และปูนโดโลไมต์อย่างเดียว แสดงว่าพืชมีการดูดใช้ธาตุอาหารสูง มีธาตุอาหารที่ตกค้างในดินน้อย ทำให้โอกาสที่จะถูกชะล้างเคลื่อนย้ายปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมน้อยลงด้วย

ตารางที่ 18 น้ำหนักแห้งต้นข้าวโพดเฉลี่ยเปรียบเทียบกันระหว่างไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน ใส่วัสดุปูนอย่างเดียว และใส่วัสดุปูนร่วมกับฟอสโฟยิปซัม และคีเซอไรต์

ตำรับทดลอง	น้ำหนักแห้ง กรัม/กระถาง	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม
Control	14.28	-
ปูนขาว	17.48	22.41
ปูนโดโลไมต์	18.24	27.73
ปูนขาว+ฟอสโฟยิปซัม (เฉลี่ยทุกอัตรา)	21.06	47.44
ปูนขาว+ฟอสโฟยิปซัม0.75 เท่าของแคลเซียม	22.04	54.34
ปูนโดโลไมต์+ฟอสโฟยิปซัม (เฉลี่ยทุกอัตรา)	21.87	53.12
ปูนโดโลไมต์+ฟอสโฟยิปซัม 0.75 เท่าของแคลเซียม	22.44	57.14
ปูนขาว+คีเซอไรต์ (เฉลี่ยทุกอัตรา)	21.59	51.16
ปูนขาว+คีเซอไรต์ 0.75 เท่าของกำมะถัน	22.63	58.47
ปูนโดโลไมต์+คีเซอไรต์ (เฉลี่ยทุกอัตรา)	22.51	57.65
ปูนโดโลไมต์+คีเซอไรต์ ตามคำแนะนำ	24.11	68.84

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันที่ใส่ในดิน ที่อยู่ในดินหลังปลูก ที่เป็นองค์ประกอบในพืช และที่พืชดูดไปใช้ทั้งหมด

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุอาหารที่ใส่เพิ่ม			ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูก			ปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืช			ปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดทั้งหมด			ผลผลิตทั้งหมด
	แคลเซียม (กรัม/กระถาง)	แมกนีเซียม (กรัม/กระถาง)	กำมะถัน (กรัม/กระถาง)	แคลเซียม เซนติโมล/กิโลกรัม	แมกนีเซียม เซนติโมล/กิโลกรัม	กำมะถัน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	แคลเซียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	แมกนีเซียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	กำมะถัน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	แคลเซียม (มิลลิกรัม/กระถาง)	แมกนีเซียม (มิลลิกรัม/กระถาง)	กำมะถัน (มิลลิกรัม/กระถาง)	(กรัม/กระถาง)
Control	-	-	-	0.09	0.06	25.94	1.51	1.14	0.94	19.05	14.32	11.79	14.28
L	0.0535	-	-	0.20	0.06	32.50	1.92	1.25	1.10	29.09	18.97	16.63	17.48
L+G0.25	0.0669	-	0.0087	0.21	0.05	52.75	2.43	1.29	1.24	38.38	20.36	19.63	19.77
L+G0.5	0.0803	-	0.0174	0.23	0.05	39.62	2.25	1.28	1.26	37.56	21.47	21.08	21.50
L+G0.75	0.0936	-	0.0261	0.24	0.05	46.38	2.19	1.23	1.51	37.26	20.95	26.00	22.04
L+G1	0.1070	-	0.0348	0.25	0.06	43.11	2.46	1.28	1.52	39.95	20.71	24.62	20.91
D	0.0885	0.0409	-	0.22	0.11	26.19	1.91	1.89	0.97	29.88	29.53	15.06	18.24
D+G0.25	0.1069	0.0409	0.0139	0.23	0.10	38.75	2.18	1.97	1.29	35.54	32.02	21.08	20.98
D+G0.5	0.1283	0.0409	0.0278	0.25	0.12	45.84	2.17	1.93	1.49	36.73	32.77	25.32	21.65
D+G0.75	0.1492	0.0409	0.0417	0.26	0.10	46.77	2.48	2.04	1.44	42.51	35.30	24.68	22.44
D+G1	0.1711	0.0409	0.0555	0.28	0.10	52.95	2.39	1.96	1.41	40.80	33.39	24.22	22.39
L+K0.25	0.0535	0.0151	0.0214	0.21	0.08	46.40	2.04	1.62	1.16	33.74	26.80	19.26	20.21
L+K0.5	0.0535	0.0303	0.0428	0.20	0.09	28.68	1.78	1.77	1.26	30.88	30.72	21.92	21.98
L+K0.75	0.0535	0.0454	0.0641	0.19	0.10	27.79	1.52	1.72	1.19	27.30	30.69	21.30	22.63
L+K1	0.0535	0.0605	0.0855	0.19	0.13	56.55	1.71	2.24	1.40	28.90	37.83	23.52	21.52
D+K0.25	0.0885	0.0561	0.0214	0.21	0.12	29.39	1.92	2.34	1.09	32.38	39.45	18.35	20.40
D+K0.5	0.0885	0.0712	0.0428	0.24	0.15	62.96	1.85	2.38	1.25	31.57	40.63	21.44	22.67
D+K0.75	0.0885	0.0863	0.0641	0.23	0.17	67.55	1.90	2.69	1.24	33.49	47.37	21.81	22.87
D+K1	0.0885	0.1015	0.0855	0.22	0.18	76.75	1.95	2.86	1.34	36.61	54.12	25.22	24.11

ตารางที่ 20 ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเมื่อใส่วัสดุปรับปรุงดิน และประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของข้าวโพด

ตำรับทดลอง	ค่าใช้จ่าย ที่เพิ่มขึ้น/ไร่ (บาท)	ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหาร		
		ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
Control	-	45.86	6.93	61.28
L	11.26	52.21	7.76	66.18
L+G0.25	19.06	50.10	6.78	72.49
L+G0.5	27.55	55.58	10.04	64.18
L+G0.75	35.68	54.95	8.74	61.59
L+G1	43.83	54.43	8.18	55.60
D	35.74	51.68	8.06	68.71
D+G0.25	48.72	48.22	7.23	64.03
D+G0.5	61.70	59.86	8.69	74.50
D+G0.75	74.68	53.56	9.42	67.00
D+G1	87.66	54.04	9.15	67.18
L+K0.25	57.69	56.59	8.87	64.94
L+K0.5	104.06	53.49	8.08	69.59
L+K0.75	150.49	54.37	8.32	68.96
L+K1	196.91	55.71	8.60	71.76
D+K0.25	82.17	50.70	7.94	55.05
D+K0.5	128.54	54.34	8.44	61.21
D+K0.75	174.97	58.30	8.81	71.04
D+K1	221.40	58.23	9.09	75.63

หมายเหตุ : คำนวณจาก ราคาปูนขาว 1,500 บาทต่อตัน
ราคาปูนโดโลไมต์ 1,600 บาทต่อตัน
ราคาฟอสโฟยิปซัม 2,000 บาทต่อตัน
ราคาคีเซอไรต์ 8 บาท ต่อกิโลกรัม