การจัดการดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะแบบบูรณาการเพื่อการปลูกข้าว

Integrated Soil Management of Acid Sulfate Soil

(Munoh series) for Rice Production

สายหยุด เพ็ชรสุข

Saiyud Phetsuk

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Science in Soil Resources Management

Prince of Songkla University

2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การจัดการดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะแบบบูรณาการเพื่อการปลูกข้าว
ผู้เขียน นางสายหยุด เพ็ชรสุข
สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยรัตน์ นิลนนท์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ มณีพงศ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยรัตน์ นิลนนท์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การจัดการดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะแบบบูรณาการเพื่อการปลูกข้าว

ผู้เขียน นางสายหยุด เพ็ชรสุข

สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ชุดดินมูโนะ (Fine, mixed, semiactive acid, isohyperthermic, Sulfic Endoaquepts) เป็นดินเปรี้ยวจัดที่มีสภาพพื้นที่เป็นที่ราบลุ่มมีน้ำท่วมขังในฤดูฝน พื้นที่ส่วนใหญ่จึงใช้ในการทำนา แต่ให้ผลผลิตต่ำเนื่องจากดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัด และมีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อบูรณาการการจัดการดินเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว ดำเนินการในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทอง ฯ อ.เมือง จ.นราธิวาส โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก มี 8 ตำรับการทดลอง และ 4 บล็อก คือ 1) control 2) ใส่ปูน ½ LR (L) 3) ใช้น้ำล้างดิน (W) 4) ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน ½ LR (W+L) 5) ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน ½ LR ร่วมกับปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) 6) ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน ½ LR ร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G) 7) ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน ½ LR และใส่ปุ๋ยเคมี ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับ ปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) และ 8) ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน ½ LR และใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F)

ผลการทดลองพบว่าการปรับปรุงดินโดยการใส่ปูนในอัตรา ½ LR ทำให้ค่า pH ของดินเพิ่มขึ้นจาก 3.98 เป็น 5.03 ความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงจาก 2.97 และ 1.25 cmol(+)/kg เป็น 1.18 และ 0.68 cmol(+)/kg ตามลำดับ ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นจาก 260 กก./ไร่ เป็น 349 กก./ไร่ และมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบลดลง (17.23 %) เมื่อเทียบกับแปลง control (20.61 %) การใช้น้ำล้างดินเพียงอย่างเดียวแม้ไม่สามารถเพิ่ม pH และลดความเป็นกรดหรืออะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินได้มากนัก แต่เมื่อดำเนินการควบคู่กับการใส่ปูนทำให้ผลผลิตข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (364 กก./ไร่) การใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ข้าวดูดดึง P, K, Ca และ Mg จากดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น (389 กก./ไร่) โดยเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบมีแนวโน้มลดลง (16.51 %) การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินและใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ข้าวดูดดึง N, P, K, Ca และ Mg จากดินเพิ่มขึ้น และทำให้ความเข้มข้นของ N ในตอซังและในเมล็ดข้าว K ในตอซัง และ Ca ในเมล็ดข้าวสูงกว่าทุกแปลง ส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุดถึง 532 กก./ไร่ จึงน่าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดในแง่

ของการปรับปรุงบำรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว การใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินถึงแม้จะให้ผลผลิตเพียง 521 กก./ไร่ แต่มีกำไรสุทธิต่อไร่สูงสุดเท่ากับ 2,887 บาท จึงน่าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดในแง่ของการให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ในขณะที่การใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่พืชสดเป็นวิธีที่ให้กำไรสุทธิต่อไร่ต่ำสุดเพียง 1,438 บาทเท่านั้น

Thesis Title	Integrated Soil Management of Acid Sulfate Soil (Munoh series) for Rice Production
Author	Mrs. Saiyud Phetsuk
Major Program	Soil Resources Management
Academic Year	2010

ABSTRACT

Munoh soil series (Fine, mixed, semiactive, acid, isohyperthermic, Sulfic Endoaquepts) is one of the acid sulfate soils in tidal flat areas which is normally submerged in rainy season. Most of the areas are rice cultivations having low yield due to the limited acidity and low fertility. The objective of this study is to investigate the integrated management of acid sulfate soil for rice production at Phikulthong Royal Development Study Center, Narathiwat province. The experimental design was carried out in a randomized complete block design with 8 treatments and 4 blocks as following : 1) control, 2) liming at rate of ½ LR (L), 3) washing soil with water (W), 4) washing soil with water and liming at rate of ½ LR (W+L), 5) washing soil with water + liming at rate of ½ LR + application of chemical fertilization according to soil analysis (W+L+F), 6) washing soil with water + liming at rate of ½ LR + green manure (W+L+G), 7) washing soil with water + liming at rate of ½ LR + application of ½ chemical fertilization rate according to soil analysis + green manure (W+L+G+½F) and 8) washing soil with water + liming at rate of ½ LR + application of chemical fertilization according to soil analysis + green manure (W+L+G+F).

Results revealed that the soil pH value increased from 3.98 to 5.03 for the L treatment whereas exchangeable acidity and exchangeable Al decreased from 2.97 and 1.25 cmol(+)/kg to 1.18 and 0.68 cmol(+)/kg respectively. The rice yield increased from 260 kg/Rai in the control to 349 kg/Rai in the L treatment whereas the amount of undeveloped seeds decreased to 17.23 % in the L treatment compared with 20.61 % in the control treatment. Even though the W treatment could not increase the soil pH and still had similar exchangeable acidity and exchangeable Al content but in the W+L treatment the rice yield increased to 364 kg/Rai. The W+L+G treatment, rice could uptake more nutrients (P, K, Ca and Mg) so that the rice yield

increased to 389 kg/Rai respectively whereas the amount of undeveloped seed decreased to 16.51 %. The growth and rice yield increased clearly in the treatment that included application of chemical fertilizer. The highest nutrient uptake (N, P, K, Ca and Mg) and highest concentration of N in rice straw and seed, K in rice straw and Ca in seed was found in W+L+G+F treatment which was the best management for the highest rice yield (532 kg/Rai) in Munoh soil series. However in term of economical aspects, the W+L+F treatment is the most profitable treatment as it had a production of rice at 521 kg/Rai and received a profit at 2,887 Baht/Rai whereas the W+L+G treatment received the lowest profit equivalent to 1,438 Baht/Rai

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยรัตน์ นิลนนท์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างยิ่ง ที่กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ลุล่วงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ มณีพงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแก้ไขข้อบกพร่องในการเขียนวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติทุกท่านที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในด้านงานธุรการต่าง ๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทอง ฯ โดยเฉพาะ คุณอวยพร น่วมสำลี ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลแปลงทดลอง และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ส่วนวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 12 ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ซึ่งสนับสนุนให้มีโอกาสทางการศึกษา ขอขอบคุณ คุณประสิทธิ์ เพ็ชรสุข และด.ช.รัชชานนท์ เพ็ชรสุข ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา ส่งผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

.

สายหยุด เพ็ชรสุข

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (8)

รายการตาราง (9)

รายการรูป (10)

บทที่

1. บทนำ 1
   - บทนำต้นเรื่อง 1
   - ตรวจเอกสาร 2
   - วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 25
2. วัสดุ อุปกรณ์ และระเบียบวิธีวิจัย 26
   - วัสดุและอุปกรณ์ 26
   - ระเบียบวิธีวิจัย 27
3. ผลการศึกษา 37
   - ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ 37
   - ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ 45
   - ความเข้มข้นของธาตุอาหารในผลผลิตข้าวและปริมาณธาตุอาหารที่ข้าวดูดดึงเข้าไปใช้ประโยชน์ (nutrient uptake) 51
   - ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ 74
4. วิจารณ์ผลการศึกษา 77
5. สรุปผลการศึกษา 84

เอกสารอ้างอิง 85

ประวัติผู้เขียน 97

รายการตาราง

ตารางที่ หน้า

1. พื้นที่ปลูกข้าว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของประเทศไทย พ.ศ. 2550- 2552 6
2. สถานการณ์การส่งออกข้าวของประเทศไทยปี พ.ศ. 2550-2552 7
3. น้ำหนักสด อายุการไถกลบ และปริมาณธาตุอาหารหลักที่สำคัญของปุ๋ยพืชสดที่มีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตข้าว 17
4. ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินตามวิธีการของกองสำรวจและจำแนกดิน 21
5. การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินนาจากค่าวิเคราะห์ดิน 21
6. ปริมาณธาตุอาหารหลักที่ใส่ในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน 22
7. สมบัติทางเคมีบางประการของชุดดินมูโนะก่อนการทดลอง 27
8. ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบของพืชปุ๋ยสด (โสนอัฟริกัน) 30
9. สมบัติทางเคมีบางประการของหินปูนบด 31
10. ช่วงเวลาและอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีตามตำรับการทดลอง 32
11. สมบัติทางเคมีบางประการของดินก่อนการทดลอง 38
12. สมบัติทางเคมีบางประการของดินหลังการใส่ปูน 45 วัน 39
13. สมบัติทางเคมีบางประการของดินหลังการทดลอง 40
14. ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว 46
15. ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อองค์ประกอบผลผลิตของข้าว 49
16. ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบในตอซัง 52
17. ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดข้าว 53
18. ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อปริมาณการดูดดึงธาตุอาหารในตอซังข้าว 60
19. ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อปริมาณการดูดดึงธาตุอาหารในเมล็ดข้าว 61
20. ปริมาณธาตุอาหารที่ข้าวดูดดึงเข้าไปใช้ประโยชน์ (nutrient uptake) 62
21. แสดงผลการประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ 75

รายการรูป

รูปที่ หน้า

1. หลักการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่กรณีไนโตรเจน 23
2. ขั้นตอนการหาไนโตรเจนที่ข้าวต้องการ 24
3. แผนผังแสดงพื้นที่แปลงทดลอง 29
4. น้ำหนักผลผลิตของข้าวที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ 81

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ดินเปรี้ยวจัด (acid sulfate soil) เป็นดินมีปัญหาชนิดหนึ่ง ที่มีความสามารถในการให้ผลผลิตต่ำเมื่อเทียบกับดินโดยทั่วไป จากรายงานของกรมพัฒนาที่ดิน (2549) พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดประมาณ 5.26 ล้านไร่ พบในบริเวณพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางถึง 4.06 ล้านไร่ ภาคตะวันออก 0.24 ล้านไร่ และภาคใต้ 0.96 ล้านไร่ พื้นที่ดินเปรี้ยวจัดมีสภาพเป็นพื้นที่ลุ่มมีน้ำท่วมขังในฤดูฝนนาน 120-180 วัน จึงเป็นดินที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืชไร่ เนื่องจากมีกรดกำมะถันอยู่ในชั้นหน้าตัดดินเป็นปริมาณมาก ดินมีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ และมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวน้ำซึมผ่านได้ยากส่วนใหญ่จึงใช้พื้นที่ในการทำนาแต่ให้ผลผลิตต่ำ เนื่องจากปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก ทำให้การละลายได้ของเหล็กและอะลูมินัมสูงจนถึงระดับที่อาจเป็นพิษต่อข้าวได้ และทำให้ธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ในดินอยู่ในระดับต่ำ บางครั้งถึงกับขาดแคลน นอกจากนี้ความเป็นกรดของดินยังมีผลต่อการลดประสิทธิภาพกิจกรรมการย่อยสลายอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์ในดิน จากปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้มีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องหลายหน่วยงานได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อหาวิธีการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวต่อพื้นที่ปลูกให้สูงขึ้น อาทิ ชัยวัฒน์ และคณะ (2541) ได้ศึกษาการขังน้ำในแปลงนานาน 4 สัปดาห์แล้วระบายออก จากนั้นใช้น้ำจืดแช่ขังใหม่แล้วระบายออกทุก 4 สัปดาห์ในดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ พบว่าข้าวให้ผลผลิตถึง 300 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าแปลงที่ไม่มีการขังน้ำซึ่งให้ผลผลิตเพียง 200 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างชัดเจน นอกจากนี้ ชัยวัฒน์ และคณะ (2530) ยังพบว่า การใช้หินปูนบดในอัตรา 1.4 ตันต่อไร่ หรือ ½ ของความต้องการปูนของดินเป็นอัตราที่เหมาะสมในการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ ในขณะที่ ถาวร (2549) รายงานว่า การปลูกข้าวในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดโดยการใช้หินปูนบดในอัตรา ½ ของความต้องการปูนร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ในอัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใช้ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ผลผลิตข้าวสูงถึง 473 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าการไม่ใช้ปุ๋ยพืชสดที่ให้ผลผลิตเพียง 431 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างชัดเจน จากการศึกษาการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดโดยวิธีการต่าง ๆ เหล่านี้ พบว่าผลผลิตที่ได้ยังค่อนข้างต่ำและบางวิธีอาจไม่เกิดผลและมี

ประสิทธิภาพอย่างเด่นชัด โดยเฉพาะการใช้ปุ๋ยเคมีซึ่งมีการใส่ในอัตราตามคำแนะนำทั่ว ๆ ไปอาจไม่เหมาะสมกับดินในแต่ละพื้นที่ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ตลอดจนบางครั้งยังขาดข้อมูลที่ชัดเจนเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการจัดการดินเปรี้ยวจัดดังกล่าว ดังนั้นจึงได้ดำเนินการศึกษาการปรับปรุงดินโดยการใช้น้ำล้างดิน การใส่ปูน การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน และใส่ปุ๋ยพืชสดแบบบูรณาการเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด โดยเลือกวิธีที่เหมาะสมในทางเศรษฐกิจนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการปรับปรุงแก้ไขดินเปรี้ยวจัด เพื่อให้ปลูกข้าวได้อย่างยั่งยืนและมีกำไรสุทธิสูงสุด

2. ตรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะทั่วไปของดินเปรี้ยวจัด

ดินเปรี้ยวจัด คือ ดินที่อาจจะมีหรือกำลังมีหรือได้เคยมีกรดกำมะถันอยู่ในชั้นหน้าตัดดินซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการสร้างดินนั้น และปริมาณของกรดที่เกิดขึ้นมีมากพอที่จะมีผลต่อการควบคุมการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินนั้น ๆ โดยทั่วไปจะพบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของจาโรไซต์ (jarosite) อยู่ในชั้นใดชั้นหนึ่งของหน้าตัดดินที่ระดับความลึกน้อยกว่า 1.5 เมตร จากผิวดิน จาโรไซต์เป็นผลมาจากการเติมออกซิเจนของไพไรต์ (pyrite) ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงระดับความเป็นกรดของดิน คือ ถ้าพบจาโรไซต์อยู่ในปริมาณมากและอยู่ในระดับตื้นระดับความเป็นกรดจะสูง แต่ถ้าพบจาโรไซต์ในปริมาณน้อยและอยู่ในระดับลึกเกินกว่ารากพืชจะแผ่ไปถึงผลกระทบต่อพืชก็จะน้อย Brinkman และ Pons (1973) และกรมพัฒนาที่ดิน (2548) ได้แบ่งดินเปรี้ยวจัดออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1) ดินเปรี้ยวจัดแฝง (potential acid sulfate soil) เกิดจากตะกอนน้ำกร่อยเป็นดินที่มีการระบายน้ำเลว มีปริมาณไพไรต์สูงประมาณ 1.0 - 2.5 เปอร์เซ็นต์ ปฏิกิริยาของดินในสภาพน้ำขังจะเป็นกลางหรือเป็นด่างอย่างอ่อน (pH 7.0 - 8.0) ปัจจุบันดินในกลุ่มนี้ยังอยู่ในสภาพน้ำขัง เช่น ป่าชายเลน เมื่อมีการระบายน้ำหรือมีการถ่ายเทอากาศเกิดขึ้นในชั้นของดินจะทำให้ดินกลายเป็นดินเปรี้ยวจัดมีปัญหาต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ ชุดดินในกลุ่มดินนี้ ได้แก่ ชุดดินท่าจีน ชุดดินบางปะกง และชุดดินตะกั่วทุ่ง

2) ดินเปรี้ยวจัดที่กำลังมีกรดกำมะถันเกิดขึ้น (actual acid sulfate soil) จะพบจุดประสีเหลืองฟางข้าวของจาโรไซต์ภายใน 1.5 เมตรจากผิวดิน ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดรุนแรง ส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชเนื่องจากความเป็นพิษของอะลูมินัมและเหล็ก และมีผลโดยอ้อมโดยการลดความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและธาตุอาหารอื่น ๆ ชุดดินที่อยู่ในกลุ่มดินนี้ ได้แก่

ชุดดินอยุธยา ชุดดินบางเขน ชุดดินมหาโพธิ์ ชุดดินท่าขวาง ชุดดินบางน้ำเปรี้ยว ชุดดินชุมแสง ชุดดินศรีสงคราม ชุดดินชะอำ ชุดดินองครักษ์ ชุดดินมูโนะ ชุดดินเชียรใหญ่ ชุดดินรังสิตกรดจัด ชุดดินรังสิต ชุดดินเสนา ชุดดินดอนเมือง ชุดดินบางปะอิน ชุดดินระแงะ และชุดดินต้นไทร

3) ดินที่เคยเป็นดินเปรี้ยวจัด (para หรือ pseudo acid sulfate soil) เป็นดินซึ่งได้เคยเกิดกรดกำมะถันขึ้นในชั้นดินแล้ว แต่กรดส่วนใหญ่ได้ถูกชะล้าง (leached) หรือถูกทำให้สะเทิน (neutralized) จนมีปริมาณความเป็นกรดเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยไม่ถึงกับเป็นอันตรายหรือเป็นปัญหาต่อการปลูกพืช แต่ดินนี้ยังคงมีลักษณะของจุดประสีเหลืองฟางข้าวของจาโรไซต์ในชั้นของดินล่าง มีปริมาณของซัลเฟตที่ละลายได้และเปอร์เซ็นต์การอิ่มตัวด้วยอะลูมินัมสูง ส่วนปริมาณอะลูมินัมอิสระที่ละลายได้ (soluble free-aluminum) มีน้อยและไม่อยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อพืช ชุดดินที่อยู่ในกลุ่มดินนี้ ได้แก่ ชุดดินสมุทรปราการ ชุดดินบางกอก ชุดดินฉะเชิงเทรา ชุดดินทรายขาว ชุดดินวัลเปรียง ชุดดินดำเนินสะดวก ชุดดินธนบุรี ชุดดินบางแพ ชุดดินพิมาย และชุดดินสิงห์บุรี

สำหรับดินเปรี้ยวจัดที่พบในภาคใต้มีอยู่ 2 กลุ่ม คือ 1) ดินเปรี้ยวจัดแฝง พบทั่วไปตามป่าชายเลน ได้แก่ ชุดดินท่าจีน ชุดดินบางปะกง และชุดดินตะกั่วทุ่ง และ 2) ดินเปรี้ยวจัดที่กำลังมีกรดกำมะถันเกิดขึ้น ได้แก่ ชุดดินมูโนะ ชุดดินระแงะ ชุดดินต้นไทร ชุดดินชะอำ ชุดดินบางน้ำเปรี้ยว ชุดดินธัญญบุรี และชุดดินรังสิต ดินกลุ่มนี้ส่วนมากจะพบสารประกอบจาโรไซต์ภายใน 1.5 เมตรจากผิวดิน ปฏิกิริยาดินเป็นกรดรุนแรงและมีปัญหาในการปลูกพืช เนื่องจากความเป็นพิษของเหล็กและอะลูมินัมที่ละลายออกมามาก อีกทั้งจะเกิดการขาดธาตุฟอสฟอรัสและทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอื่นโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนลดลง

2.2 การเกิดดินเปรี้ยวจัด

ดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่เกิดจากตะกอนน้ำกร่อย (brackish water sediment) หรือตะกอนน้ำทะเล (sea water sediment) มีสารประกอบซัลไฟด์ในรูปของไพไรต์ในชั้นหน้าตัดดิน เมื่อถูกออกซิไดส์ได้สารประกอบซัลเฟตมีลักษณะเป็นจุดประสีเหลืองฟางข้าวที่เรียกว่าจาโรไซต์ [$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$] และมีกรดกำมะถัน (H_2SO_4) เกิดขึ้นในชั้นหน้าตัดดิน ดินบนมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดมาก (pH 4.0 - 4.9 หรือต่ำกว่า 4.0) ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ การเกิดดินเปรี้ยวจัดของประเทศไทยตามรายงานของ Pons และ van der Kevie (1969) ประกอบด้วย 2 กระบวนการ คือ กระบวนการทางธรณีวิทยา (geogenetic process) และกระบวนการสร้างดินทางปฐพีวิทยา (pedogenetic process)

กระบวนการทางธรณีวิทยาหรือกระบวนการเกิดวัตถุต้นกำเนิดดินเปรี้ยวจัด เป็นกระบวนการสะสมของตะกอนน้ำทะเลหรือตะกอนน้ำกร่อยเป็นส่วนใหญ่ โดยที่ตะกอนเหล่านี้จะมี

อินทรียวัตถุที่ย่อยสลายง่ายประกอบอยู่ และจุลินทรีย์ในดินใช้เป็นแหล่งพลังงานเมื่อมีปริมาณแสง ปริมาณซัลเฟต ปริมาณเหล็กที่เพียงพอ และอยู่ในสภาพน้ำขัง (สภาพที่ไม่มีออกซิเจน) สารประกอบซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์โดยจุลินทรีย์พวกที่ไม่ต้องการออกซิเจน ได้แก่ แบคทีเรียพวก *Desulfovibrio* และ *Desulfotomaculum sp.* เปลี่ยนเป็นสารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และจะทำปฏิกิริยากับเฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) ได้ตะกอนของสารประกอบเหล็กซัลไฟด์ (FeS) เมื่อมีการจัดเรียงตัวกันแน่นเข้าจะแปรสภาพต่อไปเป็นสารไพไรต์ (FeS_2) ดังสมการ

$$SO_4^{2-} + 10H^+ + 8e^- \longrightarrow H_2S + 4H_2O$$

$$Fe^{2+} + H_2S \longrightarrow FeS + 2H^+$$

$$FeS + S \longrightarrow FeS_2$$

ดินเปรี้ยวจัดเมื่ออยู่ในสภาพน้ำขังเป็นเวลานาน อาจจะทำให้เกิดไพไรต์ขึ้นได้อีก ถ้ามีสภาพที่เหมาะสม จะพบเกิดอยู่บนชั้นดินบนของดินนั้นแต่จะไม่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางธรณีวิทยา (สรสิทธิ์, 2520) และจากการศึกษาของ Pons และ van der Kevie (1969) พบว่ากระบวนการเกิดไพไรต์ของดินเปรี้ยวจัดในประเทศไทยเกิดขึ้นเมื่อประมาณ 2,500-6,000 ปีมาแล้ว

กระบวนการสร้างดินทางปฐพีวิทยาหรือกระบวนการเกิดชั้นดินเปรี้ยวจัดที่เกิดขึ้นภายในดินจะเกิดขึ้นเมื่อมีการระบายน้ำและมีการถ่ายเทอากาศดีขึ้น ไพไรต์ที่สะสมอยู่ในดินจะถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนที่แทรกซึมลงมาจากอากาศ ทำให้เกิดกรดกำมะถัน เฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) และซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ดังสมการ

$$FeS_2 + 7/2O_2 + H_2O \longrightarrow Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 2H^+$$

เมื่อไพไรต์ถูกออกซิไดส์ และเฟอรัสไอออนถูกออกซิไดส์เป็น $Fe(OH)_3$ จะทำให้เกิด H_2SO_4 2 โมลต่อไพไรต์ 1 โมล (van Breemen, 1982)

$$FeS_2 + 15/4O_2 + 7/2H_2O \longrightarrow Fe(OH)_3 + 2SO_4^{2-} + 4H^+$$

$Fe(OH)_3$ ที่เกิดขึ้นเมื่อรวมกับแคตไอออนที่เป็นด่าง เช่น โพแทสเซียมไอออน (K^+) โซเดียมไอออน (Na^+) เกิดเป็นเกลือเบสิกไอออนซัลเฟต เช่น แร่จาโรไซต์ [$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$] ซึ่งเป็นสารประกอบสีเหลืองฟางข้าว จะพบเห็นเป็นจุดประในดินเปรี้ยวจัด จาโรไซต์เมื่อไฮโดรไลซ์ต่อไปก็จะเกิดเป็นเกอร์ไทต์ (FeOOH) มีสีเหลืองฟางข้าวเข้มและกรดกำมะถัน ดังสมการ

$$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6 \longrightarrow 3FeOOH + 2SO_4^{2-} + K^+ + 3H^+$$

2.3 การแพร่ กระจายของดิ นเปรี้ ยวจั ด

van Breemen และ Pons (1978) รายงานว่า ภูมิภาคเอเชียตะวันออกและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดประมาณ 38.9 ล้านไร่ ซึ่งแพร่กระจายอยู่ในประเทศต่าง ๆ โดยพบว่าอินโดนีเซียเป็นประเทศที่มีพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดมากที่สุด 12.5 ล้านไร่ หรือ คิดเป็น 16 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดของโลก ประเทศไทยมีพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดมากเป็นที่ 2 คือ ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดของโลก และพบกระจายอยู่ในประเทศเวียดนาม บังกะลาเทศ อินเดีย กัมพูชา เมียนมาร์ มาเลเซีย จีน ญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ และเกาหลีใต้

จากการสำรวจการกระจายของดินเปรี้ยวจัดในประเทศไทย โดยกรมพัฒนาที่ดิน (2549) พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดประมาณ 5.26 ล้านไร่ แพร่กระจายอยู่ในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางประมาณ 4.06 ล้านไร่ ภาคตะวันออกประมาณ 0.24 ล้านไร่ และชายฝั่งทะเลภาคใต้ประมาณ 0.96 ล้านไร่ ในภาคกลางกระจายอยู่ในจังหวัดฉะเชิงเทรา นครนายก นครปฐม นนทบุรี ปทุมธานี ประจวบคีรีขันธ์ ปราจีนบุรี พระนครศรีอยุธยา เพชรบุรี ราชบุรี สมุทรปราการ สมุทรสาคร สระบุรี และสุพรรณบุรี ภาคตะวันออกพบกระจายอยู่ในจังหวัดระยอง จันทบุรี ชลบุรี และตราด ในภาคใต้พบกระจายอยู่ในจังหวัดกระบี่ ชุมพร ตรัง นครศรีธรรมราช นราธิวาส ปัตตานี พัทลุง สงขลา สตูล และสุราษฎร์ธานี

ชุดดินมูโนะเป็นดินเปรี้ยวจัดที่พบแพร่กระจายทั่วไปบริเวณขอบที่ลุ่มต่ำหรือพื้นที่พรุชายทะเลภาคใต้ มีพื้นที่ประมาณ 103,862 ไร่ (วุฒิชาติ, 2550) หรือประมาณ 10.8 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดในภาคใต้ทั้งหมด มีสภาพพื้นที่เป็นที่ลุ่มต่ำหรือพื้นที่พรุ มีการระบายน้ำเลว พืชพรรณธรรมชาติที่ขึ้นปกคลุม ได้แก่ หญ้า กก โครงเครง และป่าเสม็ด การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นนาข้าว แต่ผลผลิตที่ได้ต่ำเนื่องจากดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัด

2.4 สภาวะการผลิ ตข้ าวของประเทศไทย

2.4.1 พื้นที่ปลูกและการผลิตข้าวของประเทศไทย

ข้าวเป็นพื้นเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย แต่ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวลดลง จากรายงานการใช้ที่ดินทางการเกษตรปี พ.ศ. 2551 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) พบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าว 65.54 ล้านไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกข้าวมากที่สุดถึง 37.67 ล้านไร่ แต่ผลผลิตต่อพื้นที่ต่ำสุดโดยข้าวนาปีให้ผลผลิตเฉลี่ย 311 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวนาปรังให้ผลผลิตเฉลี่ย 573 กิโลกรัมต่อไร่ ภาคกลางให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงที่สุด คือ ข้าวนาปีให้ผลผลิตเฉลี่ย 569 กิโลกรัมต่อไร่ และข้าวนาปรังให้ผลผลิตเฉลี่ย 725 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีพื้นที่

ปลูกข้าวประมาณ 10.11 ล้านไร่ ภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกข้าว 14.73 ล้านไร่ โดยข้าวนาปีให้ผลผลิตเฉลี่ย 523 กิโลกรัมต่อไร่ และข้าวนาปรังให้ผลผลิตเฉลี่ย 662 กิโลกรัมต่อไร่ และภาคใต้มีพื้นที่ปลูกข้าวน้อยที่สุดประมาณ 3.03 ล้านไร่ ข้าวนาปีให้ผลผลิตเฉลี่ย 392 กิโลกรัมต่อไร่ และข้าวนาปรังให้ผลผลิตเฉลี่ย 512 กิโลกรัมต่อไร่

ผลผลิตข้าวของประเทศไทยโดยเฉลี่ยประมาณ 481 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งต่ำมากเมื่อเทียบกับผลผลิตข้าวเฉลี่ยของประเทศจีน (1,015 กิโลกรัมต่อไร่) ญี่ปุ่น (1,046 กิโลกรัมต่อไร่) อินโดนีเซีย (750 กิโลกรัมต่อไร่) บังกะลาเทศ (621 กิโลกรัมต่อไร่) ฟิลิปปินส์ (602 กิโลกรัมต่อไร่) บราซิล (611 กิโลกรัมต่อไร่) เมียนมาร์ (636 กิโลกรัมต่อไร่) อินเดีย (513 กิโลกรัมต่อไร่) และเวียดนาม (779 กิโลกรัมต่อไร่) ในขณะที่ผลผลิตข้าวโลกเฉลี่ย 667 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551)

จากรายงานสถิติการเกษตรของประเทศไทยในช่วง 3 ปีที่ผ่านมา (ปี พ.ศ. 2550 - 2552) ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2552) พบว่าพื้นที่เพาะปลูกข้าวและผลผลิตทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 1) เนื่องจากเกษตรกรเปลี่ยนพื้นที่ไปปลูกพืชพลังงานบางส่วน เช่น ปาล์มน้ำมัน มันสำปะหลัง ซึ่งให้ราคาสูงและการดูแลรักษาน้อยกว่า

ตารางที่ 1 พื้นที่ปลูกข้าว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2550-2552

รายการ	พ.ศ. 2550	พ.ศ. 2551	พ.ศ. 2552
พื้นที่ปลูกข้าว (ล้านไร่)	70.19	69.82	69.35
ข้าวนาปี	57.39	57.42	57.26
ข้าวนาปรัง	12.80	12.40	12.09
ผลผลิตข้าวเปลือก (ล้านตัน)	32.10	31.66	31.28
ข้าวนาปี	23.31	23.24	22.97
ข้าวนาปรัง	8.79	8.42	8.31
ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)			
ข้าวนาปี	406	405	401
ข้าวนาปรัง	687	679	687

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2552)

หมายเหตุ: ข้าวนาปรังปี 2550 2551 2552 หมายถึง ปีเพาะปลูก 2550/2551 2551/2552 2552/2553

2.4.2 การนำเข้าและการส่งออกข้าว

ประเทศไทยเป็นประเทศส่งออกข้าวรายใหญ่ของโลก ในช่วง 3 ปีที่ผ่านมา (ปี พ.ศ. 2550-2552) การนำเข้าข้าวของโลกมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 2) โดยในปี พ.ศ. 2552 ประเทศไทยส่งออกข้าวจำนวน 8.60 ล้านตันข้าวสาร ลดลงจากปี 2551 ซึ่งส่งออกได้ 10.22 ล้านตันข้าวสาร มีส่วนแบ่งข้าวในตลาดโลก 30.39 เปอร์เซ็นต์ของการส่งออกข้าวทั้งหมด รองลงมา ได้แก่ เวียดนาม สหรัฐอเมริกา และอินเดีย ตามลำดับ โดยมีประเทศผู้นำเข้าข้าวที่สำคัญ 10 ลำดับแรก คือ ไนจีเรีย แอฟริกาใต้ เบนิน ไอเวอรี่โคสต์ เซเนกัล สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา อิรัก จีน และฮ่องกง ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552)

ตารางที่ 2 สถานการณ์การส่งออกข้าวของประเทศไทยปี พ.ศ.2550-2552

รายการ	พ.ศ. 2550	พ.ศ. 2551	พ.ศ. 2552
การค้าของโลก (ล้านตันข้าวสาร)[1/]	31.84	29.60	28.30
ส่วนแบ่งการตลาดโลก (เปอร์เซ็นต์)	28.86	34.53	30.39
ใช้ในประเทศ (ล้านตันข้าวสาร)	10.73	11.10	11.29
ส่งออก (ล้านตันข้าวสาร)[2/]	9.19	10.22	8.60
มูลค่าส่งออก (ล้านบาท)[2/]	119,215	203,219	170,000

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2552)

หมายเหตุ: [1/] กระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา

[2/] กรมศุลกากร

2.5 ชั้นความเหมาะสมของดินเปรี้ยวจัดสำหรับการปลูกข้าว

Kevie และ Yenmanas (1972) และวุฒิชาติ และคณะ (2533) ได้แบ่งสมรรถนะของดินนา (Land suitability class) ในการปลูกข้าวออกเป็น 5 ชั้นความเหมาะสม คือ P-I, P-II, P-III, P-IV และ P-V โดย P-I เป็นดินที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว และลดลงตามลำดับจนกระทั่งถึง P-V ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว และได้จำแนกชั้นความเหมาะสมของดินเปรี้ยวจัดในประเทศไทย ตามข้อจำกัดของความเป็นกรดของดินต่อการปลูกข้าว (ไม่นับดินเปรี้ยวแฝง และดินพรุ) ออกเป็น 3 ชั้นความเหมาะสม คือ P-IIa, P-IIIa, และ P-IVa (a ที่ห้อยท้ายอยู่แสดงถึงข้อจำกัดของการใช้ที่ดินเนื่องจากความเป็นกรด)

1) Class P-IIa (moderately acid soil) ดินมี pH อยู่ระหว่าง 4.7 - 5.5 พบจาโรไซต์อยู่ลึกกว่า 1 เมตรจากผิวดิน เป็นดินที่มีสภาพเหมาะสำหรับการปลูกข้าว แต่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความเป็นกรดของดินที่จะเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของข้าวอยู่เล็กน้อย ผลผลิตข้าวได้ประมาณ 192 - 352 กิโลกรัมต่อไร่โดยไม่ใส่ปุ๋ย และข้าวจะตอบสนองต่อปูนและปุ๋ยเพียงเล็กน้อย (ทัศนีย์, 2534) ชุดดินในชั้นความเหมาะสมนี้ ได้แก่ ชุดดินเสนา ชุดดินอยุธยา ชุดดินมหาโพธิ์ และชุดดินท่าขวาง เป็นต้น

2) Class P-IIIa (severely acid soil) ดินมี pH อยู่ระหว่าง 4.2 - 4.6 พบจาโรไซต์ในชั้นดินที่ระดับความลึกมากกว่า 60 เซนติเมตรจากผิวดิน เป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีความเหมาะสมปานกลางต่อการปลูกข้าว มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความเป็นกรดที่รุนแรงของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว ผลผลิตข้าวได้ประมาณ 144 - 240 กิโลกรัมต่อไร่โดยไม่ใส่ปุ๋ย และข้าวตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยต่ำนอกจากจะมีการใส่ปูน (ทัศนีย์, 2534) ชุดดินในชั้นความเหมาะสมนี้ ได้แก่ ชุดดินรังสิต ชุดดินธัญญบุรี ชุดดินฉะเชิงเทรา และชุดดินเสนา/รังสิต เป็นต้น

3) Class P-IVa (extremely acid soil) มีค่า pH ต่ำกว่า 4.2 พบจาโรไซต์ในชั้นดินตั้งแต่ระดับความลึก 40 เซนติเมตรจากผิวดิน เป็นดินที่ไม่ความเหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว มีข้อจำกัดเนื่องจากดินมีความเป็นกรดรุนแรงมาก ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของข้าว และทำให้ผลผลิตต่ำ บางพื้นที่ถูกทิ้งร้างเนื่องจากดินมีค่า pH ต่ำมากทำให้ยากต่อการปรับปรุงแก้ไข ต้องมีการจัดการดินแบบระมัดระวังเป็นพิเศษ โดยส่วนใหญ่จะให้ผลผลิตข้าวเพียง 48 - 96 กิโลกรัมต่อไร่โดยไม่ใส่ปุ๋ย (ทัศนีย์, 2534) ชุดดินในชั้นความเหมาะสมนี้ ได้แก่ ชุดดินรังสิตกรดจัด ชุดดินองครักษ์ ชุดดินชะอำ และชุดดินมูโนะ เป็นต้น

2.6 ปัญหาสำคัญบางประการเกี่ยวกับการปลูกข้าวในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด

ปัญหาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นและเป็นผลเสียต่อการปลูกข้าวในดินเปรี้ยวจัดสามารถสรุปได้ดังนี้

2.6.1 ความเป็นกรดของดิน

ความเป็นกรดของดินวัดได้จากค่า pH ของดิน ค่า pH จะบอกถึงความเข้มข้นของ H^+ ในสารละลายดิน โดยทั่วไปแล้วที่ pH ต่ำมาก ๆ เท่านั้นพืชจึงจะได้รับอันตรายโดยตรงจากความเข้มข้นของ H^+ ในสารละลายดิน Arnon และ Johnson (1942) อ้างโดยสุรชัย (2534) รายงานว่าความเป็นกรดของดินจะเป็นอันตรายต่อพืชโดยตรงเมื่อดินมีค่า pH ต่ำกว่า 3 และพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH 4 - 8 ในสภาพที่มีธาตุอาหารต่าง ๆ พอเหมาะ ดังนั้นอิทธิพลของ pH ต่อ

การเจริญเติบโตของพืชในช่วง pH 4 - 8 จึงเป็นผลทางอ้อม จากการศึกษาของ Thawornwong และ van Diest (1974) พบว่า ในสภาพที่ขาดอะลูมินัมความเข้มข้นของ H^+ ที่ pH สูงกว่า 3.5 ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของรากข้าว ความเป็นกรดของดินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารพืชในดิน ทำให้ธาตุบางชนิดละลายได้เพิ่มขึ้น เช่น เหล็ก อะลูมินัม และแมงกานีส ส่งผลให้ธาตุอาหารพืชบางชนิดขาดแคลนได้โดยเฉพาะแคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (Foy, 1988; Marschner, 1991) จากการศึกษาของ Ponnamperuma (1978) พบว่า ที่ระดับ pH ต่ำกว่า 4.0 ทำให้เหล็กและอะลูมินัมละลายได้เพิ่มขึ้นในสภาพน้ำขังจะก่อให้เกิดความเป็นพิษของอะลูมินัม และถ้า pH สูงกว่า 4.0 พืชมักจะได้รับความเป็นพิษจากเหล็ก อย่างไรก็ตามค่า pH ของดินไม่ได้ถูกนำมาใช้ในการแบ่งระดับความรุนแรงของปัญหาดินเปรี้ยวจัด แต่ระดับความลึกของสารประกอบจาโรไซต์ที่ปรากฏในชั้นดินเป็นส่วนที่ถูกนำมาใช้ประกอบในการประเมินระดับปัญหาของดินเปรี้ยวจัด (Osborne, 1985)

2.6.2 ความเป็นพิษของอะลูมินัม

โดยทั่วไปความเป็นพิษของอะลูมินัมจะเกิดขึ้นเมื่อดินมี pH ต่ำกว่า 5.5 เท่านั้น จะไม่เกิดขึ้นเมื่อ pH ดินมีค่าระหว่าง 5.5 - 8.5 เพราะอะลูมินัมจะตกตะกอนเป็นจิบไซต์ (McCart and Kamprath, 1965; Hoyt and Nyborg, 1971; Ponnamperuma, 1972) ปริมาณอะลูมินัมที่จะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชสามารถกำหนดได้ยาก เนื่องจากระดับความเป็นพิษของอะลูมินัมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย นอกจากความเข้มข้นของอะลูมินัมในสารละลายดินแล้วยังขึ้นอยู่กับระดับ pH ของดิน ปริมาณธาตุอาหารที่พืชได้รับ ระยะการเจริญเติบโต และชนิดของพืช Fageria และ Carvalho (1982) กล่าวว่า ความเป็นพิษของอะลูมินัมมักเกิดบริเวณรากข้าวมากกว่าบริเวณลำต้น โดยพบว่าต้นข้าวที่มีอายุ 21 วัน ความเข้มข้นวิกฤตของอะลูมินัมที่จะเป็นพิษจะมีค่าผันแปรตั้งแต่ 1.11 - 4.34 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม (ขึ้นกับสายพันธุ์ข้าว) ทัศนีย์ (2531) กล่าวว่า ความเป็นพิษของอะลูมินัมจะเกิดขึ้นที่ pH ต่ำกว่า 4.5 - 5.0 สำหรับกล้าข้าว และที่ pH ต่ำกว่า 3.5 - 4.2 สำหรับพืชที่มีอายุมากขึ้น ในขณะที่ van Breemen และ Pons (1978) รายงานว่า ในดินนาน้ำขังความเป็นพิษจากอะลูมินัมจะเป็นปัญหาสำคัญในระยะแรกของการขังน้ำ เมื่อระยะเวลาขังน้ำนานขึ้นปริมาณของอะลูมินัมที่ละลายได้จะมีค่าลดลง และ International Rice Research Institute (1981) รายงานว่าความเป็นพิษเนื่องจากอะลูมินัมจะหายไปหลังจากขังน้ำ 2 - 3 สัปดาห์ เนื่องจากดินมีค่า pH สูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและข้าวที่ปลูกขาดธาตุอาหารที่จำเป็นบางธาตุความเข้มข้นของอะลูมินัมเพียง 1 - 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ข้าวก็จะแสดงอาการเป็นพิษได้ Tanaka และ Navasero (1966)

อาการเป็นพิษของอะลูมินัมส่วนใหญ่มักจะแสดงอาการที่ราก มีผลต่อการแบ่งเซลล์ของพืชยับยั้งการพัฒนาของระบบรากทำให้รากสั้นหรือบวมงอ สำหรับในรากข้าวมีลักษณะรากเล็กสั้นและแคระแกรนความยาวลดลง ยังผลให้น้ำหนักของรากลดลง บริเวณใบจะมีสีเหลืองส้มระหว่างเส้นใบ แต่ที่ปลายใบและขอบใบจะไม่มีสี ต่อมาใบจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล มักเกิดกับใบแก่ที่อยู่ล่าง ๆ ซึ่งจะแห้งเหี่ยวและตายไปในที่สุด (Tanaka and Navasero, 1966)

2.6.3 ความเป็นพิษของเหล็ก

ดินนาน้ำขังในสภาพที่มี pH ต่ำ และมีปริมาณอินทรีวัตถุสูง เหล็กในรูป Fe^{3+} จะถูกรีดิวซ์ไปอยู่ในรูป Fe^{2+} เหล็กในรูป Fe^{2+} ที่สูงขึ้นนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ pH และผกผันกับ Eh (ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล) ของดิน (Ponnamperuma *et al.*,1967) ปฏิกิริยารีดักชันของเหล็กจะเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในสภาพน้ำขัง (Broomfield and Williams, 1963) ทำให้ Fe^{3+} เปลี่ยนไปอยู่ในรูป Fe^{2+} (Motomura, 1962; Tanaka and Navasero, 1966) ถ้าระยะเวลาการขังน้ำนานขึ้นปริมาณความเข้มข้นของ Fe^{2+} ที่สะสมได้ในสารละลายดินมีค่าเพิ่มขึ้น (Ponnamperuma, 1981) จากรายงานของ International Rice Research Institute (1964) รายงานว่า ปริมาณ Fe^{2+} ในดินนาจะสะสมได้สูงสุดหลังการขังน้ำประมาณ 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดปริมาณลง

ระดับความเป็นพิษของเหล็กไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณเหล็กที่ละลายได้ในดินเพียงอย่างเดียว อาจจะผันแปรแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ระยะการเจริญเติบโต และระดับธาตุอาหารบางชนิดที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช อาทิ ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม นงคราญ และจุมพล (2545) รายงานว่า สารละลายดินที่มีปริมาณเหล็กมากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะทำให้ข้าวชะงักการแตกกอ และถ้าเหล็กมีความเข้มข้นสูงถึง 300 - 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลผลิตข้าวจะลดลง ต้นข้าวมีคุณสมบัติสามารถที่จะสร้างกลไกสกัดกั้นอันตรายจากความเป็นพิษของเหล็กที่อยู่ในดิน แต่ถ้าพืชขาดฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม และแมงกานีส โดยเฉพาะอย่างยิ่งโพแทสเซียมหรือไนโตรเจนส่งผลให้กลไกสกัดกั้นความเป็นพิษของเหล็กต่ำกว่าปกติ (Tadano, 1975) การที่ข้าวขาดธาตุอาหารที่จำเป็นดังกล่าวทำให้กระบวนการเมตาโบลิซึมและระบบสมดุลภายในต้นข้าวเสียไป เป็นผลให้ระบบป้องกันการดูดดึงธาตุเหล็กหรือความสามารถในการออกซิไดซ์ธาตุเหล็กของรากสูญเสียไป ทำให้ต้นข้าวได้รับอันตรายจากความเป็นพิษจากเหล็กได้ (Benckiser *et al.*, 1982) ในดินเปรี้ยวจัดที่มีปริมาณโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสต่ำปริมาณเหล็กที่ละลายได้เพียง 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ก็สามารถทำให้ข้าวแสดงอาการเหล็กเป็นพิษได้ (Tadano and Yoshida, 1978)

อาการเป็นพิษของเหล็กมักจะปรากฏอาการที่ใบเป็นส่วนใหญ่ โดยมีลักษณะเป็นจุดสีน้ำตาลแดงเล็ก ๆ ปรากฏอยู่ที่ปลายใบของใบล่างสุด และจะค่อย ๆ กลายเป็นสีน้ำตาลทั้งใบและตายไปในที่สุด (Tanaka and Yoshida, 1970) ความเป็นพิษของเหล็กมักเกิดขึ้นในระยะ แตกกอและระยะสร้างรวงอ่อน ซึ่งถ้าเกิดในระยะสร้างรวงอ่อนผลผลิตข้าวที่ได้จะลดลง และมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบสูง (van Breemen and Moormann, 1978)

2.6.4 ความเป็นพิษของแมงกานีส

ในสภาพน้ำขังแมงกานีสในรูป Mn^{4+} จะเปลี่ยนเป็น Mn^{2+} ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของ Mn^{2+} ในสารละลายดินเพิ่มขึ้น และมีผลให้ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นด้วย (Patrick and Turner, 1968;) การเกิดการเปลี่ยนแปลงของแมงกานีสในสภาพรีดักชันสืบเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์พวกที่ไม่ต้องการออกซิเจน (anaerobic) และจะเกิดขึ้นก่อนการเปลี่ยนแปลงของเหล็ก เนื่องมาจากแมงกานีสมีระดับออกซิเดชันสูงกว่าเหล็ก (สรสิทธิ์, 2511) Ponnamperuma (1972) รายงานว่า ดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรดปานกลางแมงกานีสที่ละลายน้ำได้จะถึงจุดสูงสุดช้าและลดลงช้ากว่าดินที่เป็นกรดรุนแรง ในดินที่มีปริมาณแมงกานีสสูงความเข้มข้นของแมงกานีสที่ละลายน้ำได้จะมีค่าสูงสุดอย่างรวดเร็วภายใน 2 - 3 สัปดาห์หลังจากการขังน้ำ ต่อมาจะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ ทั้งนี้เนื่องจากการตกตะกอนเป็นแมงกานีสคาร์บอเนตเมื่อระยะเวลาขังน้ำยาวนานขึ้น ระดับแมงกานีสที่พอเหมาะต่อการปลูกข้าวคือ 20 - 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และถ้ามีความเข้มข้นเพียง 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ข้าวจะแสดงการขาดแมงกานีสได้ ถ้าเข้มข้นเกิน 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ก็จะเกิดอาการเป็นพิษเนื่องมาจากแมงกานีสได้เช่นกัน (Hsu and Chin, 1975)

อาการเป็นพิษเนื่องจากแมงกานีสจะมีลักษณะที่สังเกตได้คือ ต้นข้าวจะชะงักการแตกกอ ลำต้นแคระแกรน บริเวณแผ่นใบและกาบใบจะเกิดจุดสีน้ำตาล มักจะเกิดกับใบล่าง ๆ ของต้นข้าว แต่ในสภาพทั่วไปแล้วความเป็นพิษของแมงกานีสต่อข้าวจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมาก อาจเป็นเพราะแมงกานีสในดินมักจะมีอยู่ไม่มากจนเกิดอันตรายต่อพืช และยังเป็นจุลธาตุอาหารที่ข้าวมีความต้องการมากด้วย (Tanaka and Navasero, 1966)

2.6.5 ปริมาณธาตุอาหารต่ำ

ดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่มีธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำ โดยเฉพาะปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำมาก เนื่องจากดินเปรี้ยวจัดมีปริมาณแมงกานีส เหล็กและอะลูมินัมอยู่ในระดับสูงมาก ซึ่งออกไซด์หรือไฮดร็อกไซด์ของธาตุเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสตกตะกอนไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (สุมาลี, 2536) นอกจากนี้ดินเปรี้ยวจัดยังเป็นดินที่

ขาดไนโตรเจนอย่างรุนแรงแม้จะมีอินทรียวัตถุค่อนข้างสูง เนื่องจากดินมีความเป็นกรดสูงมาก ส่งผลให้จุลินทรีย์ดินไม่สามารถดำเนินกิจกรรมในการย่อยสลายอินทรียวัตถุได้ตามปกติ

ปัญหาการขาดฟอสฟอรัสในดินนาที่เป็นดินเปรี้ยวจัดพบมากในประเทศเวียดนาม มาเลเซีย และไทย ซึ่งพบว่าถ้าปลูกข้าวโดยไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตต้นข้าวจะแสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัสโดยใบจะมีสีเขียวเข้มตั้งตรงและการแตกกอลดลง (Tanaka and Yochida, 1970) สรสิทธิ์ (2520) รายงานว่า ดินเปรี้ยวจัดของประเทศไทยโดยทั่วไปมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในระดับต่ำถึงต่ำมาก มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.4 - 14.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ชาลี, 2526)

2.6.6 กิจกรรมของจุลินทรีย์ดินไม่เป็นไปตามปกติ

จุลินทรีย์ดินเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดกระบวนการหรือกิจกรรมการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งเป็นแหล่งปลดปล่อยธาตุอาหารที่สำคัญให้กับพืช ในดินทั่วไปแบคทีเรียเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ดินที่พบมากที่สุด (10^6 - 10^9 colony forming unit ต่อดิน 1 กรัม; cfu ต่อกรัม) รองลงมาคือ แอกทิโนมัยซีท (10^7 - 10^8 cfu ต่อกรัม) รา (10^5 - 10^6 cfu ต่อกรัม) สาหร่าย (10^3 - 10^6 cfu ต่อกรัม) และโปรโตซัว (10^3 - 10^5 cfu ต่อกรัม) ตามลำดับ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ในสภาพดินกรดจัดจะมีไอออนของอะลูมินัม เหล็ก และแมงกานีสละลายออกมามากจนถึงระดับที่เป็นพิษ มีจุลินทรีย์ดินเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพเช่นนี้ จึงมักพบว่าจุลินทรีย์ในดินกรดจัดมีปริมาณน้อยกว่าในดินปกติ ซึ่งจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ในดินกรดจัดจะมีกลไกในการต้านทานความเป็นพิษของอะลูมินัม โดยการที่จุลินทรีย์ดูดเอาอะลูมินัมไปไว้ภายในเซลล์แล้วอะลูมินัมไปจับกับโปรตีนบางชนิดเปลี่ยนเป็นรูปที่ไม่เป็นพิษกับเซลล์ หรือจุลินทรีย์ดินมีการปลดปล่อยสารอินทรีย์บางชนิดออกมา เช่น กรดอินทรีย์หรือเอนไซน์บางชนิดมาตกตะกอนกับอะลูมินัมที่อยู่รอบเซลล์ เปลี่ยนเป็นรูปที่ไม่เป็นพิษต่อเซลล์ (Jo *et al.*, 1997) ในดินกรดจัดกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินจะถูกยับยั้งไม่ให้เป็นไปตามปกติ การสลายตัวของอินทรียวัตถุที่เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ต่ำ (heterotropic microorganism) เช่น พวกรา และแบคทีเรีย ซึ่งอัตราความเร็วของการสลายตัวของอินทรียวัตถุขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ในสภาพน้ำขังกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันของดินจะเกิดขึ้นช้ามาก (จงรักษ์, 2530) ดินกรดจัดที่ขาดฟอสฟอรัสและมีความเป็นกรดสูงจะยิ่งทำให้กระบวนการแอมโมนิฟิเคชันช้าลงไปอีก (Kawaguchi and Kyuma, 1979) แต่มีจุลินทรีย์ดินบางชนิดที่สามารถแปรสภาพของฟอสฟอรัสจากอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ได้โดยอาศัยเอนไซน์ในกลุ่มฟอสฟาเทส ซึ่งมีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดีที่ pH 3.0 - 5.0 (Magboul and McSweeney, 1998) จากการศึกษาของสายใจ (2549) พบว่า

เอนไซน์แอซิดฟอสฟาเทสที่ปลดปล่อยจากเชื้อ *Ustilago sp.* สามารถทำงานได้ดีที่ pH 3.5 - 4.5 ไม่แตกต่างกับเอนไซน์แอซิดฟอสฟาเทสที่ปลดปล่อยจากเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เช่น เอนไซน์แอซิดฟอสฟาเทสที่ปลดปล่อยจากเชื้อ *Asperillus niger* ซึ่งมี pH ที่เหมาะสมในการทำงานอยู่ในช่วง 2.0 - 3.5 (Gargover and Sariyska, 2003) และเอนไซน์แอซิดฟอสฟาเทสจากเชื้อ *Lactobacillus plantarum* ซึ่งมี pH ที่เหมาะสมในการทำงานอยู่ในช่วง 2.0 - 3.5 (Magboul and McSweeney, 1998)

2.7 การปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดเพื่อการปลูกข้าว

การปลูกข้าวในดินเปรี้ยวจัดเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงนอกจากต้องมีการปรับปรุงดินโดยการใส่ปูนและปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในปริมาณที่เพียงพอและสมดุลระหว่างธาตุอาหารแล้ว จำเป็นต้องมีการปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มสมรรถภาพของดินเปรี้ยวอีกด้วย วิธีการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดมีดังนี้คือ

2.7.1 การใช้น้ำชะล้างและการระบายน้ำ

การใช้น้ำชะล้างดินจะทำให้ความเข้มข้นของอะลูมินัม ซัลเฟต เกลือที่ละลายน้ำได้ และสารพิษในดินเปรี้ยวจัดลดลง ความเป็นกรด-ด่างของดินจะเพิ่มขึ้น ชัยวัฒน์ และคณะ (2541) รายงานว่า การใช้น้ำชะล้างความเป็นกรดและสารพิษภายในดินในระยะแรกอาจไม่เห็นผลทันที ต้องมีการดำเนินการต่อเนื่องกันไป ทำให้ดินลดความเป็นกรดลงเรื่อย ๆ การขังน้ำไว้นาน 4 สัปดาห์ แล้วระบายออกจากนั้นใช้น้ำดีขังใหม่แล้วระบายออกอีกเมื่อครบ 4 สัปดาห์ เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการชะล้างความเป็นกรดของดิน จากการศึกษาในดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะพบว่า ค่า pH ของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเริ่มปรับปรุงดิน pH ของดินมีค่าอยู่ระหว่าง 4.1 - 4.3 เมื่อดำเนินการปลูกข้าวติดต่อกันทุก ๆ ปี พบว่าในปีที่ 6 ค่า pH ของดินเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 4.5 - 4.6 ขณะที่ปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้มีค่าลดลงจาก 4.4 - 4.5 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ในปีแรก เหลือเพียง 2.1 - 2.8 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ในปีที่ 6 และปริมาณเหล็กมีแนวโน้มลดลง โดยในปีแรกมีค่าระหว่าง 282 - 289 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และลดลงอยู่ระหว่าง 224 - 277 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในปีที่ 6 โดยให้ผลผลิตข้าว 300 กิโลกรัมต่อไร่ การใช้น้ำชะล้างความเป็นกรดของดินจำเป็นต้องกระทำอย่างต่อเนื่องกันและถือว่าเป็นการปฏิบัติเพื่อหวังผลระยะยาว โดยทั่วไปแล้วความเป็นกรดของดินจะเกิดขึ้นรุนแรงเฉพาะในช่วงที่ดินแห้งหรือในฤดูแล้ง ดังนั้นการใช้น้ำชะล้างความเป็นกรดของดินควรเริ่มกระทำตั้งแต่เริ่มมีฝนเพื่อลดปริมาณการใช้น้ำชลประทาน โดยปล่อยให้น้ำฝนขังจนท่วมแปลงแล้วระบายออกประมาณ 2 - 3 ครั้ง ทิ้งช่วงห่างการระบายน้ำประมาณ

1 - 2 สัปดาห์ต่อครั้ง (พิสุทธิ์ และคณะ, 2536) Yamada และ Ota (1961) รายงานว่า การระบายน้ำออก 1 ชั่วโมงต่อวัน ในระยะข้าวตั้งท้องจนถึงสัปดาห์ที่ 5 หลังจากข้าวออกรวง ผลปรากฏว่าข้าวมีการแตกกอดีขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะระบบการระบายน้ำดังกล่าวช่วยลดอันตรายเนื่องจากการสะสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และเฟอรัสไอออนในดินเปรี้ยวจัด Attanandana (1971) สรุปว่าการใช้น้ำชะล้างความเป็นกรดของดินก่อนปักดำเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดบางชุดดินในประเทศไทย

2.7.2 การขังน้ำ

การขังน้ำท่วมดินทำให้เกิดกระบวนการรีดักชัน เนื่องจากออกซิเจนในอากาศซึมผ่านน้ำลงไปในช่องว่างระหว่างเม็ดดินช้ามาก จึงไม่พอกับความต้องการของจุลินทรีย์และรากพืชที่ใช้ในกระบวนการหายใจ แต่มีจุลินทรีย์หลายชนิดที่เจริญเติบโตได้ในสภาพที่ขาดออกซิเจน โดยเปลี่ยนมาใช้ออกซิไดเซอร์ (oxidizer) ตัวอื่น เช่น NO_3^-, MnO_2 และ Fe_2O_3 ในกระบวนการหายใจ (anaerobic respiration) แทน และใช้ Fe_2O_3 (หรือ MnO_2) เป็นตัวรับอิเลคตรอน โดยมี H^+ เข้าร่วมในปฏิกิริยาดังสมการ

$$CH_2O + Fe_2O_3 + H^+ \longrightarrow 2Fe^{2+} + H_2O + HCO_3^-$$

H^+ ในดินเมื่อถูกนำไปใช้จะปลดปล่อย HCO_3^- ทำให้ pH ของดินสูงขึ้น อะลูมินัมจะตกตะกอนเป็น $Al(OH)_3$ ทำให้ความเป็นพิษเนื่องจากเหล็กและอะลูมินัมลดลง (International Rice Research Institute, 1981)

เมื่อดินอยู่ในสภาพขังน้ำตลอดเวลาทำให้กระบวนการออกซิเดชันไม่เกิดขึ้น ซึ่งกระบวนการออกซิเดชันเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดกรด H_2SO_4 ในดิน การขังน้ำมีทั้งผลดีและผลเสีย Tadano และ Yoshida (1978) กล่าวว่า การขังน้ำทำให้การละลายได้ของฟอสเฟต เหล็ก และแมงกานีสเพิ่มขึ้น แต่การละลายได้ของสังกะสีจะลดลง ปริมาณเหล็กและซัลไฟด์ในสารละลายดินที่เพิ่มขึ้นอาจจะเป็นพิษต่อพืชได้ ในขณะที่ Attanandana และ Vacharotayan (1981) รายงานว่า การปรับปรุงความสามารถในการผลิตของดินเปรี้ยวจัดจำเป็นต้องเปลี่ยนสมบัติของดินชั้นบน เพื่อลดความเป็นกรดที่รุนแรงและยกระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสให้สูงขึ้น โดยการขังน้ำและระบายน้ำออกบ่อย ๆ ร่วมกับการใช้ปูนและหินฟอสเฟตอย่างเพียงพอ จากการทดลองในดินเปรี้ยวจัดชุดดินต่าง ๆ ในประเทศไทยเป็นเวลา 3 ปี พบว่าผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 7.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อดินถูกขังน้ำเป็นเวลา 6 สัปดาห์ก่อนปักดำ (Attanandana, 1982) สอดคล้องกับรายงานของ Kawaguchi และ Kyuma (1979) ซึ่งกล่าวว่า pH ของดินจะสูงขึ้นเมื่อดินอยู่ในสภาพน้ำขัง จึงไม่เป็นปัญหาในการ

ปลูกข้าว และถ้าจะเพิ่มผลผลิตของข้าวควรขังน้ำก่อนการปลูกข้าวเป็นเวลา 3 สัปดาห์ (Osborne, 1985) นอกจากนั้น Cate และ Sushi (1964) รายงานว่า อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้จะลดลงจาก 15 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม เหลือเพียง 1 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ในเวลา 6 เดือน หลังจากขังน้ำในดินเปรี้ยวจัด ดังนั้นการปล่อยให้เกิดสภาพน้ำท่วมขังในนาเป็นระยะเวลานานเป็นผลดีต่อข้าวที่ปลูก สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดเพื่อการปลูกข้าวได้

2.7.3 การใช้ปูน

การปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูนเป็นวิธีที่ง่ายและได้ผลดีวิธีหนึ่งในการปรับระดับ pH ของดิน ปูนที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีราคาไม่แพง เช่น ในพื้นที่ภาคกลางควรใช้ปูนมาร์ลซึ่งพบมากในเขต จ.ลพบุรี และจ.สระบุรี ส่วนในภาคใต้ควรใช้หินปูนบดซึ่งเป็นเศษหินปูนที่เหลือใช้จากโรงโม่หิน (พิสุทธิ์ และคณะ, 2536) การใส่ปูนในดินในเขตร้อนโดยทั่วไปมักจะมีวัตถุประสงค์หลักคือป้องกันความเป็นพิษของอะลูมินัม โดยยกระดับ pH ของดินให้สูงประมาณ 5.5 ก็เพียงพอแล้ว หากใส่จนดินมี pH สูงกว่า 5.5 นอกจากพืชจะไม่ตอบสนองแล้วอาจจะทำให้สมดุลของธาตุอาหารเปลี่ยนไป ในบางครั้งหากดินมีแคลเซียมมากเกินไปทำให้พืชขาดโพแทสเซียมและแมกนีเซียมได้ (จำเป็น, 2550) ซึ่งพจนีย์ (2544) รายงานว่า ค่า pH ที่เหมาะสมกับการปลูกข้าวอยู่ระหว่าง 5.5 - 6.5 จากการศึกษาของ จุมพล (2531) พบว่า การใช้ปูนมาร์ลในอัตรา 1.4 ตันต่อไร่ สามารถยกระดับ pH ของดินจาก 3.8 เป็น 5.5 ในปีที่ 3 และความเข้มข้นของอะลูมินัมที่สกัดได้ลดลงจาก 5.9 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม เป็น 4.0 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ทิพวรรณ และคณะ (2546) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินเปรี้ยวจัดชุดดินรังสิตกรดจัด พบว่าการใช้หินปูนบดในอัตรา 2.5 ตันต่อไร่ ร่วมกับปูนมาร์ล 1.5 ตันต่อไร่ สามารถยกระดับ pH ของดินจาก 2.96 เป็น 5.05 ความเข้มข้นของอะลูมินัมที่สกัดได้ลดลงจาก 11.44 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม เป็น 2.35 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม สอดคล้องโครงการแกล้งดินของสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2540) ภายในโครงการศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทอง ฯ ที่พบว่า การใช้หินปูนบดในอัตรา 1.5 ตันต่อไร่ เป็นอัตราที่เหมาะสมในการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะเพื่อปลูกข้าว โดยสามารถยกระดับ pH ของดินจาก 3.9 เป็น 5.0 ในปีที่ 3 ปริมาณอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงจาก 5.9 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม เป็น 2.0 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ในปีที่ 3 และพบว่าข้าวพันธ์ กข.21 ให้ผลผลิตเท่ากับ 240 กิโลกรัมต่อไร่ในปีแรก และเพิ่มเป็น 485 กิโลกรัมต่อไร่ ในปีที่ 2 และ 459 กิโลกรัมต่อไร่ ในปีที่ 3

2.7.4 การใส่ปุ๋ยฟอสเฟต

ในดินเปรี้ยวจัดนอกจากมีปัญหาด้านความเป็นพิษของธาตุอาหารพืชบางชนิด ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือการขาดธาตุฟอสฟอรัส เพราะโดยปกติดินเปรี้ยวจัดจะมีปริมาณเหล็กและอะลูมินัมที่ละลายน้ำได้สูง ทำให้เกิดการตกตะกอนของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ และการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงไปจะทำให้เกิดปัญหาการตรึงฟอสฟอรัสอย่างรวดเร็ว ความเป็นประโยชน์ได้ของฟอสฟอรัสในดินเปรี้ยวจัดมีอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตจึงเป็นวิธีการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดอีกวิธีหนึ่ง ถ้าปลูกข้าวโดยไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตข้าวจะแสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัสให้เห็นอย่างเด่นชัด คือ ต้นข้าวมีใบสีเขียวเข้มตั้งตรงการแตกกอลดลง และถ้าขาดธาตุไนโตรเจนร่วมด้วยใบข้าวจะมีอาการสีเหลืองซีด (Tanaka and Yoshida, 1970) จากการทดลองของถาวร และคณะ (2541) พบว่าการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตราตั้งแต่ 100 - 400 กิโลกรัมต่อไร่ เพียงอย่างเดียวมีผลทำให้ข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตต่ำมาก การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมร่วมด้วยข้าวสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ในขณะที่ นงคราญ และจุมพล (2545) พบว่าการจัดการดินเปรี้ยวจัดในชั้นความเหมาะสม P-IVa เช่น ชุดดินมูโนะ ในสภาพที่ปรับปรุงดินด้วยหินปูนบดในอัตรา 1.5 ตันต่อไร่ โดยใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตในอัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ในอัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวให้ผลผลิตสูงสุด โสภณ และคณะ (2543) ได้ทดลองปลูกข้าวในดินเปรี้ยวจัดชุดดินรังสิตกรดจัดในสภาพที่ปรับปรุงดินด้วยปูนมาร์ลในอัตรา 1 ตันต่อไร่ พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตทำให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าการไม่ใส่หรือใส่ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับปุ๋ยโพแทสเซียมอย่างชัดเจน โดยพบว่าการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตและปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟตสัดส่วน 50: 50 ในอัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ข้าวให้ผลผลิตสูงถึง 455 กิโลกรัมต่อไร่ ทัศนีย์ และคณะ (2539) รายงานว่า การเลือกใช้ชนิดของปุ๋ยฟอสเฟตเป็นเรื่องที่ต้องพิจารณากันอย่างรอบคอบ ถ้ามีการใส่ปูนเพื่อยกระดับ pH ของดินให้สูงประมาณ 4.5 ควรเลือกใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟต แต่ถ้า pH ของดินสูงกว่า 4.5 ควรพิจารณาใช้ปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต

2.7.5 การใช้ปุ๋ยพืชสด

ปุ๋ยพืชสดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการไถกลบพืชที่ยังสดอยู่ลงไปในดิน หรือการปลูกพืชบางชนิด เช่น พืชตระกูลถั่ว ให้เจริญเติบโตถึงระยะที่พืชเริ่มออกดอกจนกระทั่งดอกบานเต็มที่เป็นระยะที่เหมาะสมในการไถกลบลงในดิน เพราะให้ปริมาณไนโตรเจนและน้ำหนักพืชสดสูงสุด ให้ปริมาณอินทรียวัตถุและไนโตรเจนในดินสูง แต่หากเลยระยะนี้ไปแล้วปริมาณไนโตรเจนในพืชอาจจะลดลงบ้างเล็กน้อย เช่น ในกรณีที่เป็นพืชปุ๋ยสดเศรษฐกิจ เช่น ถั่วลิสง ถั่วเขียว และ

ถั่วเหลือง ฯลฯ หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วทำการไถกลบเศษพืชเป็นปุ๋ยพืชสด คุณสมบัติที่เหมาะสมของพืชปุ๋ยสดที่จะนำมาใช้ในนาข้าวควรมีลักษณะที่สำคัญคือ มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ลำต้นเปราะสามารถไถกลบได้ง่าย ย่อยสลายได้ง่ายและรวดเร็ว ให้น้ำหนักสดหรือมวลชีวภาพ (biomass) สูง ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของดินนาได้ดี และต้านทานต่อโรคและแมลง พืชที่มีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าว ได้แก่ โสนต่าง ๆ ปอเทือง ถั่วพุ่มดำ ถั่วพร้า ถั่วเขียว และแหนแดง (ประชา และคณะ, 2540)

โสนอัฟริกัน (*Seabania rostrana*) เป็นพืชปีเดียว ไวต่อช่วงแสง ลำต้นสูงประมาณ 2.0 - 3.5 เมตร เจริญเติบโตได้ดีแม้ในสภาพที่มีน้ำขัง จึงเหมาะที่จะใช้เป็นพืชปุ๋ยสดในนาข้าว โดยการปลูกล่วงหน้าอย่างน้อย 70 วัน แล้วไถกลบเมื่ออายุ 50 - 70 วัน ขณะที่ยังมีน้ำขังในแปลง ปล่อยทิ้งช่วงเวลาประมาณ 10 วันจึงทำเทือกเพื่อปลูกข้าว โสนอัฟริกันที่อายุ 50 - 70 วัน ให้น้ำหนักสด 2 - 4 ตันต่อไร่ สะสมไนโตรเจนในพืชได้ 12 - 20 กิโลกรัม N ต่อไร่ ซึ่งจะหมุนเวียนลงไปในดินเมื่อซากพืชสลายตัว (ยงยุทธ และคณะ 2551) อายุของพืชปุ๋ยสดที่เหมาะสมต่อการไถกลบจะแตกต่างกัน โดยคำนึงถึงน้ำหนักของพืชสดก่อนการไถกลบและไนโตรเจนที่จะได้รับ (ตารางที่ 3) Ventura และ Watanabe (1993) รายงานว่า เมื่อไถกลบโสนอัฟริกันอายุ 50 - 60 วันลงในดินจะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วในช่วง 10 วันแรก ซึ่งมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ถูกย่อยสลายจะเป็นส่วนของใบ และประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นส่วนของลำต้นและราก ส่วนที่เป็นเนื้อไม้จะถูกย่อยสลายได้ช้า สามารถอยู่ในดินได้นานกว่า 1 ปี หลังจากไถกลบ

ตารางที่ 3 น้ำหนักสด อายุการไถกลบ และปริมาณธาตุอาหารหลักที่สำคัญของปุ๋ยพืชสดที่มีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตข้าว

ชนิดของปุ๋ยพืชสด	อายุการไถกลบ (วัน)	นน.พืชสด (ตัน/ไร่)	ธาตุอาหารพืช (ก./กก.)			ไนโตรเจน (กก.N/ไร่)
			ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	
โสนอัฟริกัน	50-60	1-5	16.8	1.5	24.0	4.21
ปอเทือง	50-70	3-6	19.8	3.0	24.1	17-35
ถั่วพุ่ม	30-50	1-4	20.5	2.2	32.0	8-34
ถั่วพร้า	30-50	1-3	30.3	3.7	31.2	6-19
ถั่วเขียว	40-50	2	18.5	2.3	30.0	5-6
แหนแดง	20-25	2-3	33.0	5.7	12.3	7-10

ที่มา: ประชา (2537) และ โยธิน (2542)

การใส่ปุ๋ยพืชสดในดินมีผลต่อสมบัติของดิน 2 ประการ คือ เป็นแหล่งไนโตรเจนของพืชและเป็นการสะสมอินทรียวัตถุในดิน ปุ๋ยพืชสดที่ย่อยสลายเร็วจะปลดปล่อยไนโตรเจนได้อย่างรวดเร็วและเป็นประโยชน์มากต่อพืชแรกที่ปลูกตามในระยะเวลาสั้น ๆ ถ้าเป็นพืชที่ย่อยสลายช้าก็จะปลดปล่อยไนโตรเจนให้แก่พืชแรกที่ปลูกเป็นปริมาณน้อย แต่จะมีปริมาณการสะสมอินทรียวัตถุและเป็นแหล่งไนโตรเจนแก่พืชที่ปลูกในระยะเวลายาว (Bouldin, 1987) จากการศึกษาของ เมธิน และสุรชัย (2548) พบว่า การปลูกข้าวในดินเปรี้ยวจัดชุดดินรังสิตที่มีอินทรียวัตถุสูงกว่า 40 กรัมต่อกิโลกรัม และมีฟอสฟอรัสสะสมอยู่เฉลี่ยสูงกว่า 21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต้นข้าวจะตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ ในแง่เศรษฐกิจการใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์น้ำในอัตรา 10 ลิตรต่อไร่ก็เพียงพอ ข้าวให้ผลผลิตสูงและผลตอบแทนสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี ในขณะที่ นงคราญ และนัฐพล (2548) พบว่าการปลูกข้าวในดินเปรี้ยวจัดชุดดินองครักษ์ที่มีอินทรียวัตถุสูงกว่า 40 กรัมต่อกิโลกรัม และมีฟอสฟอรัสอยู่สูงเฉลี่ย 48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของข้าวไม่จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเคมี ใช้ปุ๋ยพืชสด (มวลชีวภาพสูงกว่า 1.0 ตันต่อไร่) อย่างเดียวก็เพียงพอให้ผลผลิตข้าวสูงและผลตอบแทนสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมด้วย รสมาลิน และศักดา (2548) รายงานว่าการปลูกข้าวในดินเปรี้ยวจัดชุดดินอยุธยาที่มีอินทรียวัตถุสูงกว่า 40 กรัมต่อกิโลกรัม และมีฟอสฟอรัสเฉลี่ย 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเคมี ใช้ปุ๋ยพืชสด (มวลชีวภาพสูงกว่า 1.0 ตันต่อไร่) อย่างเดียวก็เพียงพอ นอกจากนั้น ถาวร (2549) รายงานว่า การปลูกข้าวในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดโดยใส่หินปูนบดอัตรา 1,100 กิโลกรัม $CaCO_3$ ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ในอัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ในอัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ผลผลิตข้าวสูงถึง 473 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าการไม่ใช้ปุ๋ยพืชสดที่ให้ผลผลิตเพียง 431 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างชัดเจน

2.7.6 การใช้พันธุ์ข้าวทนเปรี้ยว

จากผลการทดลองของโครงการเร่งรัดพัฒนาดินเปรี้ยวจัด ผลการทดลองของศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทอง ฯ ผลการทดลองโดยกรมวิชาการเกษตรและกรมพัฒนาที่ดิน (พิสุทธิ์ และคณะ, 2536) สามารถสรุปพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมสำหรับแนะนำให้ปลูกในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดภาคใต้ได้ดังนี้

1) พันธุ์ข้าวที่มีความทนทานต่อสภาพดินเปรี้ยวจัดได้ดี คือ พันธุ์ลูกแดง พันธุ์ขาวตายก พันธุ์ไข่มด พันธุ์ช่อมุก พันธุ์สีรวง พันธุ์อัลฮัมดูลอลละห์ พันธุ์ดอนทราย พันธุ์ลูกเหลือง และพันธุ์น้อยมัทแคนดุ

2) พันธุ์ข้าวที่มีความทนทานปานกลางต่อสภาพดินเปรี้ยวจัด คือ พันธุ์ข้างแดง พันธุ์เหลืองประทิว 123 พันธุ์อะพอลโล พันธุ์ยาไหร พันธุ์ทุ่งทอง พันธุ์ดอกมุด พันธุ์นวลแก้ว พันธุ์ข้าวตุล พันธุ์ลูกนาค พันธุ์ลูกขาว พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์เคจีที 7219-4-3-2-9 พันธุ์ กข 21 พันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 90 พันธุ์ กข 13 พันธุ์แก่นจันทร์ พันธุ์ดอกมะลิ 3 พันธุ์สะกุย 19 พันธุ์ตะเภาแก้ว 161 พันธุ์เล็บมือนาง 3 พันธุ์ กข 19 พันธุ์ กข 27 พันธุ์ ข้าวตาแห้ง และพันธุ์กข 215

ลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวพันธุ์สุพรรณ์บุรี 90 เป็นพันธุ์ข้าวจ้าวที่ได้จากการผสมระหว่างลูกผสมชั่วที่ 1 ของพันธุ์ กข21 และ พันธุ์ IR4422-98-3-6-1 กับลูกผสมชั่วที่ 1 ของพันธุ์ กข11 และพันธุ์ กข23 สูงประมาณ 120 เซนติเมตร ไม่ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 120 วัน ทรงกอตั้ง ใบสีเขียวเข้ม ใบธงยาวค่อนข้างตั้งตรง คอรวงยาว รวงยาวแน่น ต้นแข็ง เมล็ดยาวเรียว ผลผลิตประมาณ 600 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นพันธุ์ที่ต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง โรคใบหงิก และโรคใบสีส้ม ในสภาพธรรมชาติต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว (กรมการข้าว, 2553)

2.8 กลไกการทนกรดของข้ าว

ข้อจำกัดที่สำคัญของการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด คือ ความเป็นพิษของธาตุบางธาตุโดยเฉพาะธาตุอะลูมินัม เหล็ก และแมงกานีส และ/หรือการละลายได้ของธาตุอาหารพืชบางธาตุ อาทิ โพแทสเซียม ไนโตรเจน แคลเซียม แมกนีเซียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัสต่ำ การที่ข้าวขาดธาตุอาหารที่จำเป็นดังกล่าวทำให้กระบวนการเมตาโบลิซึมและระบบสมดุลภายในต้นข้าวเสียไป ทำให้มีความอ่อนแอต่อความเป็นพิษธาตุดังกล่าวได้

กลไกพื้นฐานของการทนทานต่ออะลูมินัมในพืชมี 2 อย่าง คือ ความสามารถต่อการต้านทานอะลูมินัมจากภายนอกราก (external detoxification) และความทนทานต่อการสะสมของอะลูมินัมในรากและลำต้น (internal detoxification) (Kochian *et al*., 2004) กรดอินทรีย์มีบทบาทสำคัญในกลไกการต้านทานอะลูมินัมจากภายนอกราก และอาจจะเป็นตัวการสำคัญสำหรับกลไกการทนทานต่ออะลูมินัมในพืช (Ma *et al.,* 2001; Kochian *et al*., 2005) Dellhaize และคณะ (1993) รายงานว่า หมู่คาร์บอกซิล (carboxyl groups) และ หมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl groups) ของกรดอินทรีย์ที่หลั่งจากรากสามารถจับกับอะลูมินัมไอออน (Al^{3+}) ได้สารประกอบเชิงซ้อนมีโครงสร้างเป็นวงแหวนที่เสถียรซึ่งไม่เป็นพิษต่อพืช และพบว่ารากของพืชพันธุ์ที่ทนทานต่ออะลูมินัมสามารถหลั่งกรดอินทรีย์ที่มีความจำเพาะมากกว่าพันธุ์ที่ไวต่ออะลูมินัม การหลั่งกรดอินทรีย์อาจจะไม่ใช่เป็นกลไกเดียวของการทนทานต่ออะลูมินัมในพืช ความทนทานต่อการสะสม

ของอะลูมินัมในรากและลำต้น (internal detoxification) เป็นอีกกลไกหนึ่งในการกำจัดพิษของอะลูมินัมหลังจากเข้าไปในพืช พืชบางกลุ่มสามารถสะสมอะลูมินัมในลำต้นได้สูงโดยไม่แสดงอาการเป็นพิษ เช่น พืชตระกูลชาสามารถสะสมอะลูมินัมได้ถึง 30,000 มิลลิกรัม Al ต่อกิโลกรัมในใบแก่ (Watanaba and Ozaki, 2002) ข้าวบัค-ฮวีท (Buckwheat) เป็นอีกพืชหนึ่งที่มีความทนทานต่ออะลูมินัมสูง โดยกรดออกซาลิคที่หลั่งจากรากจะจับตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอะลูมินัมภายนอกและได้ถูกดูดซึมโดยรากส่งต่อไปสะสมที่ใบ ซึ่งพบว่าใบแก่สามารถสะสมอะลูมินัมได้ถึง 10,000 มิลลิกรัม Al ต่อกิโลกรัม (Ma and Hiradate, 2000)

ข้าวถือเป็นพืชที่มีความทนทานต่ออะลูมินัม ถึงแม้ว่าข้าวจะมีความแปรปรวนระหว่างพันธุ์ค่อนข้างสูงในการตอบสนองต่อความทนทานของอะลูมินัม (Iskikawa *et al.,* 2000) Jan และ Petersson (1995) รายงานว่า ข้าวสายพันธุ์ที่ทนทานต่ออะลูมินัมมีการสะสมของอะลูมินัมในรากน้อยกว่าพันธุ์ที่ไวต่ออะลูมินัม เนื่องจากการเคลื่อนย้ายอย่างรวดเร็วของอะลูมินัมจากรากไปสะสมที่ลำต้น กลไกการทนทานต่ออะลูมินัมในข้าวมีความเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหารในข้าว คือ พันธุ์ข้าวที่ทนทานอะลูมินัมมีการขัดขวางการดูดธาตุอาหารน้อยกว่าพันธุ์ไวต่ออะลูมินัม (Fageria, 1985) โดยพบว่า ข้าวพันธุ์ที่ทนทานต่ออะลูมินัมมีการดูดดึงแคลเซียม และฟอสฟอรัสและนำไปใช้ประโยชน์ได้สูง ในขณะที่พันธุ์ข้าวที่ไวต่ออะลูมินัมและพันธุ์ที่มีความทนทานปานกลางต่ออะลูมินัมมีการดูดดึงแคลเซียม และฟอสฟอรัสและนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย (Sivaguru and Palival, 1993) การทนทานต่ออะลูมินัมในข้าวมีความสัมพันธ์กับการผลิตโปรตีนและกิจกรรมของเอนไซด์ (peroxidase activities) การลดลงของโปรตีนในข้าวพันธุ์ที่ไวต่ออะลูมินัมมีความสัมพันธุ์กับการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเอนไซด์ และตรงข้ามกับพันธุ์ที่ทนทานต่ออะลูมินัม (Jan *et al*.,2001)

2.9 การใช้ ปุ๋ยเคมีในนาข้าว

2.9.1 การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินนาจากค่าวิเคราะห์ดิน

คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดนั้น การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นปัจจัยแรกที่ต้องคำนึงถึง วิธีการประเมินมีตั้งแต่การสังเกตจากผลผลิตพืชในปีที่ผ่านมา การเจริญเติบโตของพืชในแปลงปลูก รวมทั้งการทำความรู้จักลักษณะของดินในแปลงที่ใช้ปลูกพืช หรือประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินจากผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของดิน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินตามวิธีการของกองสำรวจและจำแนกดิน

ระดับความอุดมสมบูรณ์	OM (g/kg)	Avail.P (mg/kg)	Exch. (mg/kg)	CEC (cmol(+)/kg)	BS (%)
ต่ำ	< 15	< 10	< 60	< 10	< 35
	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
ปานกลาง	15-35	10-25	60-90	10-20	35-75
	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
สูง	>35	>25	>90	>20	>75
	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2523)

วิธีคิดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินใช้วิธีให้คะแนน (ตัวเลขคะแนนคือค่าที่อยู่ในวงเล็บในตาราง) อ่านผลรวมคะแนนดังนี้

ผลรวมคะแนน	ระดับความอุดมสมบูรณ์
< 7	ต่ำ
8 – 12	ปานกลาง
> 12	สูง

สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร ประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินนาจากค่าวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของดิน (ตารางที่ 5) คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และจากค่าวิเคราะห์ดินดังกล่าวนำไปใช้ในการเลือกสูตรและอัตราปุ๋ยต่อไป

ตารางที่ 5 การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินนาจากค่าวิเคราะห์ดิน

ระดับความอุดมสมบูรณ์	OM (g/kg)	Avail.P (mg/kg)	Exch. (mg/kg)
ต่ำ	< 10	< 5	< 60
ปานกลาง	10 - 20	5 - 10	60 - 80
สูง	> 20	> 10	> 80

ที่มา: นพรัตน์ และคณะ (2547)

2.9.2 ปริมาณธาตุอาหารหลักที่ใส่ในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน

การใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรไทย ยังคงเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มผลผลิตต่อไร่ให้สูงขึ้น แม้ว่าในปัจจุบันมีการใช้ปุ๋ยข้าวกันอย่างกว้างขวาง แต่ปริมาณการใช้ต่อพื้นที่ยังต่ำอยู่มาก ส่วนใหญ่ยังมีการใช้ปุ๋ยไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ทำให้ผลการใช้ปุ๋ยยังไม่สามารถพิ่มผลผลิตข้าวทั่วประเทศได้มากนัก และการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรส่วนใหญ่เพียงเพื่อให้ผลผลิตเพิ่มเท่านั้นไม่ได้คำนึงถึงการบำรุงดินและการสมดุลกันระหว่างธาตุอาหาร การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินจะทำให้เกษตรกรลดการใช้ปุ๋ยลงได้ ในขณะเดียวกันผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตที่ได้ก็จะดีขึ้นเพราะพืชได้รับธาตุอาหารในปริมาณที่สมดุล ปริมาณธาตุอาหารหลักที่ใส่ในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณธาตุอาหารหลักที่ใส่ในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน

อินทรียวัตถุ	ไนโตรเจน		ฟอสฟอรัส		โพแทสเซียม	
ที่วิเคราะห์ได้	ข้าวไวแสง	ข้าวไม่ไวแสง	ที่วิเคราะห์ได้	ที่ต้องใส่	ที่วิเคราะห์ได้	ที่ต้องใส่
(ก./กก.)	(กก.N/ไร่)	(กก.N/ไร่)	(มก./กก.)	(กก.P_2O_5/ไร่)	(มก./กก.)	(กก.K_2O/ไร่)
< 10	9	18	< 5	6	< 60	6
10 - 20	6	12	5 - 10	3	60 - 80	3
> 20	3	6	> 10	0	> 80	0

ที่มา: นพรัตน์ และคณะ (2547)

การคำนวณการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน

ตัวอย่าง ค่าวิเคราะห์ดินที่ได้เป็นดังนี้

อินทรียวัตถุ = 53 กรัมต่อกิโลกรัม

ฟอสฟอรัส = 22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

โพแทสเซียม = 23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

พันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูก สุพรรณบุรี 90 (ไม่ไวแสง)

ปริมาณธาตุอาหารหลักที่ใช้ 6-0-6 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O (ตามคำแนะนำจากตารางที่ 4)

ปุ๋ยที่ใช้ ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0)

ปุ๋ยทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0)

ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)

วิธีการคำนวณ

ไนโตรเจน ใส่ 6 กิโลกรัม N/ไร่

คิดเป็นปุ๋ย 46-0-0 = $\frac{6 \times 100}{46}$

= 13.04 กิโลกรัมต่อไร่

ฟอสฟอรัส ไม่ต้องใส่

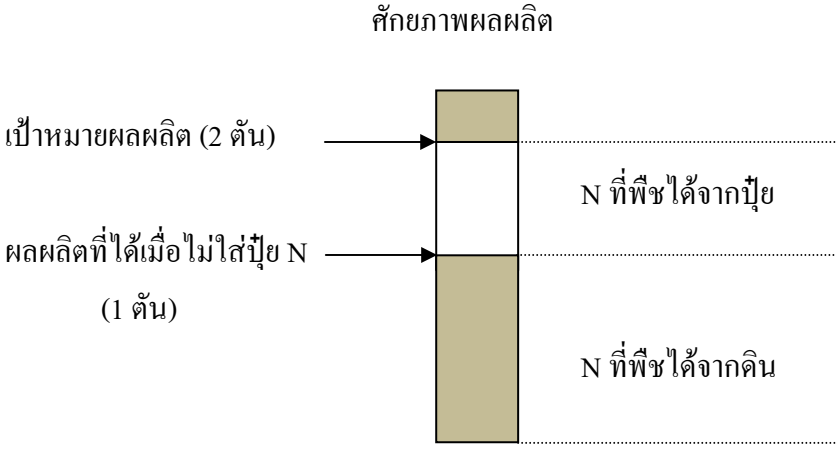
โพแทสเซียม ใส่ 6 กิโลกรัม K_2O/ไร่

คิดเป็นปุ๋ย 0-0-60 = $\frac{6 \times 100}{60}$

= 10 กิโลกรัมต่อไร่

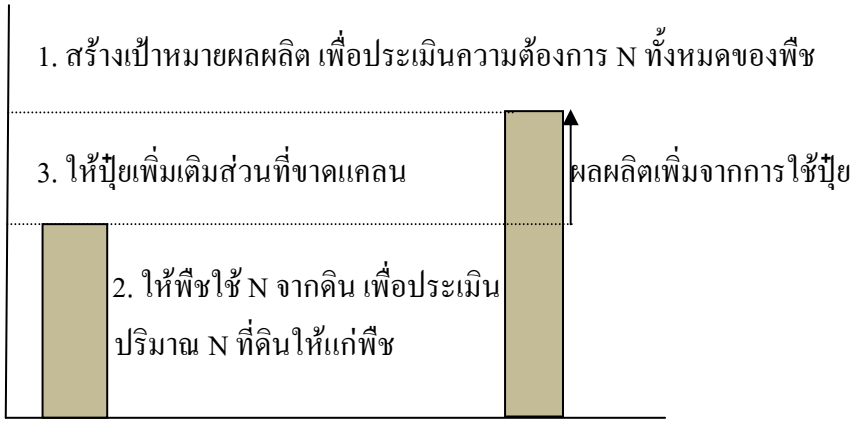
2.9.3 การจัดการธาตุอาหารตามค่า mineralization

เป็นการจัดการธาตุอาหารในพื้นที่หนึ่งอย่างเพียงพอตามที่พืชต้องการ โดยเน้นการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ คือ ต้องตระหนักว่าพืชที่ปลูกมีความต้องการธาตุอาหารต่าง ๆ ระดับหนึ่งจึงสามารถเจริญเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตสูง แต่ดินมีธาตุอาหารดั้งเดิมซึ่งมาจากอนินทรีย์สาร อินทรียวัตถุ เศษซากพืช ปุ๋ยอินทรีย์ และธาตุอาหารที่ติดมากับน้ำชลประทาน ซึ่งธาตุเหล่านี้มีน้อยเกินไปไม่เพียงพอที่จะทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตที่สูงได้ โดยมีขั้นตอนการจัดการธาตุอาหาร 3 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 สร้างเป้าหมายผลผลิตที่ต้องการ ขั้นที่ 2 หาประสิทธิผลของการใช้ธาตุอาหารที่มีในดิน และขั้นที่ 3 ให้ปุ๋ยเพิ่มเติมระหว่างส่วนต่างระหว่างความต้องการธาตุอาหารของพืช กับปริมาณที่ดินสามารถสนองได้ (Dobermann *et al*., 2004; Witt *et al*., 2007 อ้างโดยยงยุทธ และคณะ, 2551) (รูปที่ 1 และ 2).



รูปที่ 1 หลักการจัดการอาหารเฉพาะพื้นที่กรณีไนโตรเจน

ผลผลิตกิโลกรัมต่อไร่



รูปที่ 2 ขั้นตอนการหาไนโตรเจนที่ข้าวต้องการ

2.9.4 การใช้ปุ๋ยเคมีแบบสั่งตัด

การใช้ปุ๋ยเคมีแบบ "สั่งตัด" เป็นการใช้ปุ๋ยเคมีตามชุดดินและค่าวิเคราะห์ดิน โดยนำปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช ได้แก่ พันธุ์พืช แสงแดด อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน และชุดดิน รวมถึงผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในคำนวณการใช้ปุ๋ยเคมีให้มีความสอดคล้องกับความต้องการของพืชมากขึ้น แต่ทำให้ง่ายสำหรับเกษตรกรนำไปใช้ หลักความคิดพื้นฐานของการพัฒนาเทคโนโลยีปุ๋ยสั่งตัด ได้จากการเกษตรแม่นยำที่เกษตรกรในประเทศสหรัฐอเมริกาถือปฏิบัติมากว่า 10 ปี โดยนำมาประยุกต์ให้เหมาะสมกับสภาพไร่นาขนาดเล็กในประเทศไทย เริ่มจากการใช้แบบจำลอง DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) พัฒนาคำแนะนำปุ๋ยไนโตรเจน ใช้โปรแกรม PDSS (Phosphorus Decision Support System) พัฒนาคำแนะนำปุ๋ยฟอสฟอรัสเฉพาะพื้นที่ขึ้น

การใช้ปุ๋ยเคมีแบบ "สั่งตัด" เป็นการจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่ ซึ่งไม่เพียงแต่ทำให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ของข้าวเพิ่มขึ้นเท่านั้น แต่ยังทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงด้วย ทัศนีย์ และคณะ (2552) ได้ทดลองปลูกข้าวรวม 162 แปลง พบว่า ข้าวในหลายพื้นที่แสดงอาการขาดธาตุโพแทสเซียม (เมล็ดลีบ) จึงต้องเปลี่ยนความเชื่อที่ว่าไม่ต้องใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมให้แก่ข้าวที่ปลูกในดินเหนียวเพราะมีโพแทสเซียมอยู่เพียงพอแล้ว ชาวบ้านจึงยังใช้ปุ๋ย 16-20-0 มาอย่างต่อเนื่อง การปลูกข้าวโดยใช้เทคโนโลยี “ปุ๋ยสั่งตัด” ทำให้ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลดลง 47 เปอร์เซ็นต์ หรือค่าปุ๋ยเคมีลดลงจาก 808 บาทต่อไร่ต่อฤดูปลูก เหลือ 432 บาท ขณะที่ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 7 เปอร์เซ็นต์

ชี้ให้เห็นว่าปุ๋ยโพแทสเซียมยังคงมีความจำเป็นต้องใส่เพิ่มในนาข้าว แต่ถ้าชาวบ้านมีการไถกลบฟางข้าวซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่สูงจะช่วยลดปัญหาข้าวเมล็ดลีบลงได้

3. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการจัดการดินเปรี้ยวจัดแบบผสมผสานโดยการใช้น้ำล้างกรด ใช้ปูน ใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน และปุ๋ยพืชสด ต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตของข้าวที่ปลูกในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ จากการจัดการดินด้วยวิธีการต่าง ๆ
3. เพื่อศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจากการจัดการดินด้วยวิธีการต่าง ๆ

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และระเบียบวิธีวิจัย

1. วัสดุ และอุปกรณ์

1.1 พันธุ์ข้าว ใช้ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90

1.2 พันธุ์พืชปุ๋ยสด ใช้เมล็ดพันธุ์โสนอัฟริกัน

1.3 หินปูนบด

1.4 ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)

1.5 อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดิน

1.6 อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างพืชปุ๋ยสด และตัวอย่างข้าว

1.7 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ดิน และพืช

1.8 เครื่องแก้วและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็นในห้องปฏิบัติการ

1.9 เครื่องมือวิทยาศาสตร์

1) pH meter
2) Analytical balance
3) Conductivity meter
4) Mechanical flask shaker
5) Visible Spectrophotometer
6) Flame Photometer
7) Atomic Absorption Spectrophotometer
8) ตู้อบตัวอย่างพืช
9) เครื่องบดตัวอย่างดิน
10) เครื่องบดตัวอย่างพืช

2. ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาการจัดการดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะแบบบูรณาการเพื่อการปลูกข้าว มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

2.1 การคัดเลือกพื้นที่

ดำเนินการทดลองในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ (Fine, mixed, semiactive, acid, isohyperthermic, Sulfic Endoaquepts) ภายในโครงการศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทอง ฯ อ.เมือง จ.นราธิวาส สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สมบัติทางเคมีบางประการของชุดดินมูโนะก่อนการทดลอง

สมบัติของดิน	วิธีการวิเคราะห์	ค่าวิเคราะห์
pH (H_2O)	1 : 1 (H_2O)	3.91
Lime Requirement (kg ($CaCO_3$)/rai)	Woodruff buffer method	2,186
Organic matter (g/kg)	Walkley and Black method	53.0
Total N (g/kg)	Kjeldahl method	2.0
Available P (mg/kg)	Extracted with Bray II and ascorbic method	22
Exchangeable K (cmol(+)/kg)	Extracted with NH_4OAc 1 M pH 7	0.06
” Na (cmol(+)/kg)	Extracted with NH_4OAc 1 M pH 7	0.05
” Ca (cmol(+)/kg)	Extracted with NH_4OAc 1 M pH 7	1.27
” Mg (cmol(+)/kg)	Extracted with NH_4OAc 1 M pH 7	0.21
Extractable S (mg/kg)	Extracted with 0.01 M $Ca(H_2PO_4)_2$	91
Extractable Fe (mg/kg)	Extracted with DTPA pH 7.3	442
” Mn (mg/kg)	Extracted with DTPA pH 7.3	1.96
” Cu (mg/kg)	Extracted with DTPA pH 7.3	0.35
” Zn (mg/kg)	Extracted with DTPA pH 7.3	0.52
Exchangeable Acidity (cmol(+)/kg)	Extracted with KCl 1 M	3.09
” Aluminum (cmol(+)/kg)	Extracted with KCl 1 M	1.83

2.2 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomize Complete Block Design (RCBD) มี 8 ตำรับการทดลอง ๆ ละ 4 บล็อก ดังนี้

T1 = แปลงควบคุม (control)
T2 = ใส่ปูน ½ LR (L)
T3 = ใช้น้ำล้างกรด (W)
T4 = ใช้น้ำล้างกรด + ใส่ปูน ½ LR (W+L)
T5 = ใช้น้ำล้างกรด +ใส่ปูน ½ LR + ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F)
T6 = ใช้น้ำล้างกรด + ใส่ปูน ½ LR + ปุ๋ยพืชสด (W+L+G)
T7 = ใช้น้ำล้างกรด + ใส่ปูน ½ LR + ปุ๋ยเคมี ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน + ปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½ F)
T8 = ใช้น้ำล้างกรด + ใส่ปูน ½ LR + ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน + ปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F)

หมายเหตุ ปูน 1 LR = 2,200 กิโลกรัม $CaCO_3$ ต่อไร่
ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน = ปุ๋ยเคมีอัตรา 6-3-6 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่

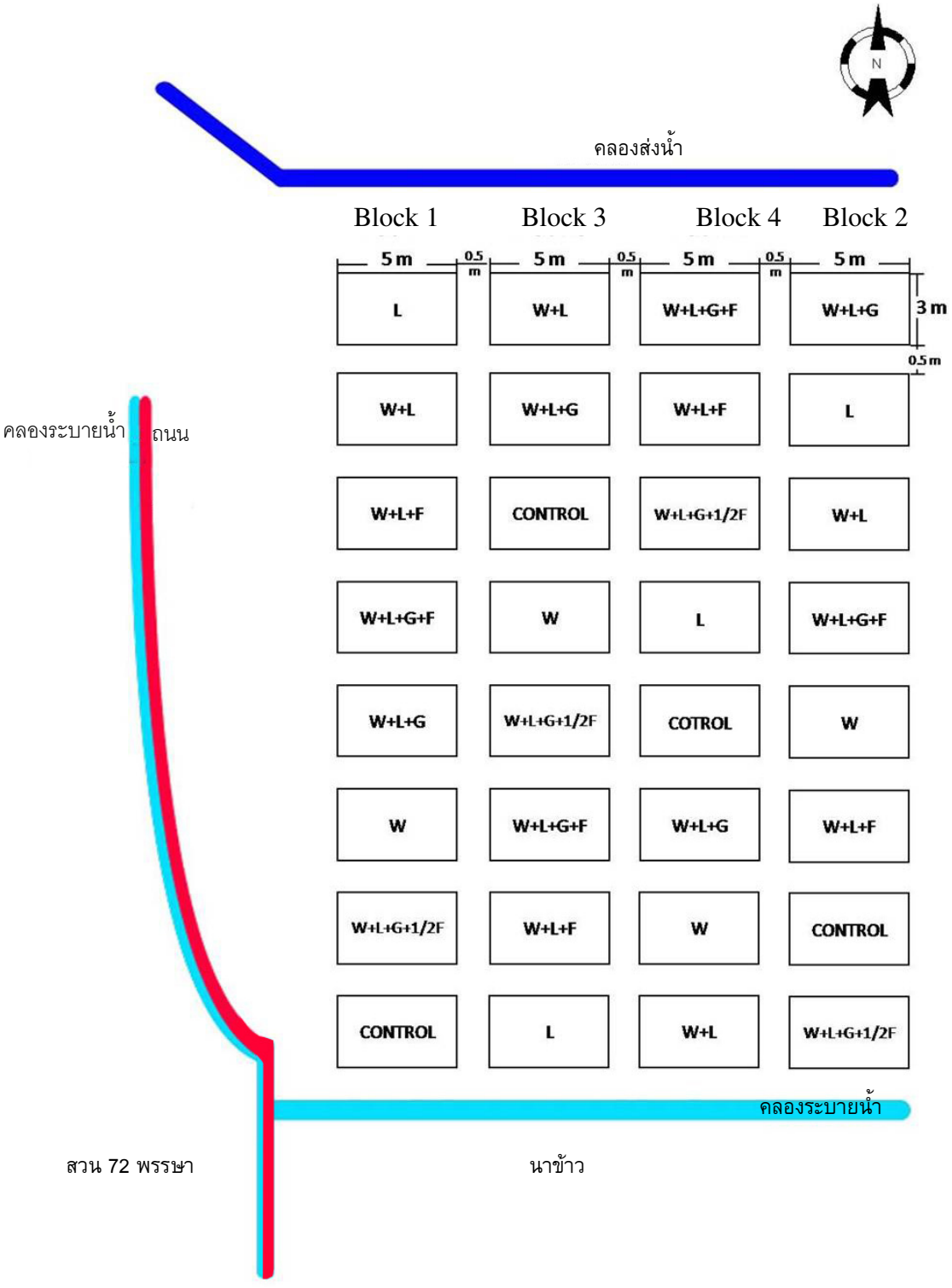
2.3 การจัดทำแปลงทดลอง

ทำการไถพรวนดินเพื่อปรับสภาพพื้นที่และกำจัดวัชพืช แบ่งพื้นที่เป็นแปลงย่อย ขนาด 3 x 5 ตารางเมตร จำนวน 32 แปลงย่อย โดยแปลงย่อยแต่ละแปลงห่างกัน 0.5 เมตร (รูปที่ 1)

2.4 การเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าว

2.4.1 ใช้เมล็ดข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวแนะนำสำหรับปลูกในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด อัตรา 8 กิโลกรัมต่อไร่ หรืออัตรา 75 กรัมต่อแปลง

2.4.2 การเตรียมเมล็ดพันธุ์ นำเมล็ดพันธุ์ข้าวแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และหุ้มโดยใช้กระสอบหนาคลุม เพื่อรักษาความชื้นเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปหว่านในแปลงตกกล้าที่เตรียมไว้



รูปที่ 3 แผนผังแสดงพื้นที่แปลงทดลอง

2.5 การเตรียมดินและการปลูกข้าว

2.5.1 แปลงตกกล้า เตรียมแปลงโดยกำจัดวัชพืช ไถดะ ไถแปร เก็บเศษหญ้าออกให้หมด คราดทำเทือก แล้วจึงหว่านเมล็ดพันธุ์ที่เตรียมไว้

2.5.2 แปลงนาดำ โดยไถดะทิ้งไว้ 7 - 10 วัน จึงทำการไถแปร ปล่อยน้ำเข้าแช่ขี้ไถจนดินอ่อนตัวพอเหมาะจึงคราดเพื่อปรับระดับผิวดินแล้วจึงปักดำข้าว โดยใช้ต้นกล้าอายุประมาณ 25 วัน ระยะปักดำ 25 x 25 เซนติเมตร จำนวน 3 ต้นต่อกอ

2.6 การดูแลรักษา

2.6.1 การปลูกและสับกลบปุ๋ยพืชสด

1) ใช้โสนอัฟริกันเป็นพืชปุ๋ยสด โดยใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีความงอกไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ในอัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืชปุ๋ยสดแสดงในตารางที่ 8

2) ก่อนปลูกนำเมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสดแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ก่อนหว่านเมล็ดพันธุ์

ตารางที่ 8 ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบของพืชปุ๋ยสด (โสนอัฟริกัน)

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้นของธาตุอาหาร
Total N (g/kg)	22.2
Total P (g/kg)	2.3
Total K (g/kg)	22.9
Total Ca (g/kg)	22.7
Total Mg (g/kg)	1.9
Total S (g/kg)	2.1
Total Fe (mg/kg)	397
Total Mn (mg/kg)	65
Total Cu (mg/kg)	4.0
Total Zn (mg/kg)	32

3) ทำการสับกลบพืชปุ๋ยสดเมื่อต้นพืชมีอายุ 50 วัน และปล่อยให้ย่อยสลายนาน 15 วันก่อนทำการปลูกข้าว

2.6.2 การให้น้ำ

1) แปลงตกกล้า หลังจากหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวปล่อยน้ำในแปลงออกเพื่อให้ยอดอ่อนได้รับแสงแดดแต่ไม่ปล่อยให้ดินแห้ง แล้วจึงปล่อยน้ำเข้าหลังหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวแล้วประมาณ 7 - 10 วัน

2) แปลงนาดำ รักษาระดับน้ำในนาให้อยู่ในระดับประมาณ 5 - 10 เซนติเมตร และหลังจากข้าวออกรวงแล้วประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ 20 วัน ทำการระบายน้ำออกจากแปลง

2.6.3 การใช้น้ำล้างกรด

ในตำรับที่มีการใช้น้ำล้างกรด ระยะเวลาการขังน้ำและปล่อยน้ำออก คือ หลังจากไถดะปล่อยน้ำแช่ขังนาน 1 สัปดาห์แล้วระบายน้ำออกเพื่อทำการไถแปร หลังจากไถแปรปล่อยน้ำแช่ขังนาน 15 วัน แล้วระบายน้ำออกเพื่อทำการปักดำ หลังปักดำปล่อยน้ำแช่ขังนาน 4 สัปดาห์แล้วระบายน้ำออก และระบายน้ำออกทุก 4 สัปดาห์จนข้าวเริ่มตั้งท้องจึงหยุดระบายน้ำออก

2.6.4 การใส่ปูน

ใส่หินปูนบดตามตำรับการทดลองในอัตรา 1,100 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ ½ ของค่าความต้องการปูน โดยหว่านคลุกเคล้ากับดินก่อนปักดำเป็นเวลา 15 วัน สมบัติของปูนที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 9

2.6.5 การใส่ปุ๋ยเคมี

แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรก ใส่หลังปักดำ 5 - 7 วัน หว่านเป็นปุ๋ยรองพื้น และครั้งที่ 2 ใส่เมื่อต้นข้าวเริ่มกำหนดช่อดอกตามตำรับการทดลอง (ตารางที่ 10)

2.6.6 การควบคุมวัชพืช

ทำการกำจัดวัชพืชด้วยมือไม่มีการใช้สารกำจัดวัชพืช

ตารางที่ 9 สมบัติทางเคมีบางประการของหินปูนบด

สมบัติของปูน	ค่าวิเคราะห์
Moisture (%)	1.22
CCE (%)	96.72
ความละเอียดเมื่อร่อนผ่านตะแกรง 10 เมช (%)	82.00

ตารางที่ 10 ช่วงเวลาและอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีตามตำรับการทดลอง

ตำรับ	ปุ๋ย $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$	ครั้งที่ 1 (กรัม/แปลง)			ครั้งที่ 2 (กรัม/แปลง)		
การทดลอง	(กก./ไร่)	46-0-0	0-46-0	0-0-60	46-0-0	0-46-0	0-0-60
Control	-	-	-	-	-	-	-
L	-	-	-	-	-	-	-
W	-	-	-	-	-	-	-
W+L	-	-	-	-	-	-	-
W+L+F	6-3-6	62	62	94	62	-	-
W+L+G	-	-	-	-	-	-	-
W+L+G+½F	3-1.5-3	31	31	47	31	-	-
W+L+G+F	6-3-6	62	62	94	62	-	-

2.7 การเก็บเกี่ยวผลผลิต

ทำการระบายน้ำออกจากแปลงหลังจากข้าวออกรวงแล้วประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ 20 วัน เก็บเกี่ยวข้าวเมื่อสุกดีแล้ว นำไปนวดและลดความชื้นของเมล็ดข้าวด้วยวิธีการตากแดดให้เมล็ดข้าวมีความชื้นน้อยกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ ชั่งน้ำหนัก คำนวณน้ำหนักข้าวเปลือกที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์

$$Y = \frac{W(100 - X)}{86}$$

เมื่อ Y = น้ำหนักของข้าวเปลือกที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์คิดเป็นกิโลกรัมต่อไร่

W = น้ำหนักของข้าวเปลือกขณะชั่งคิดเป็นกิโลกรัมต่อไร่

X = ความชื้นของข้าวเปลือกคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

2.8 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิต

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตในพื้นที่เก็บเกี่ยว 2 x 4 ตารางเมตร โดยเว้นกลุ่มแถวรอบนอก รายละเอียดของข้อมูลที่ต้องเก็บมีดังนี้

1) การแตกกอที่อายุ 40 วัน
2) ความสูงที่อายุ 40 วัน และความสูงก่อนเก็บเกี่ยว
3) จำนวนรวงต่อกอ
4) ความยาวรวง (สุ่มจาก 100 รวง)

5) น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์

6) เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ

7) น้ำหนักสดตอซัง เก็บตัวอย่างตอซังข้าวในพื้นที่ 2 x 4 ตารางเมตร นำมาชั่งน้ำหนักและคำนวณเป็นกิโลกรัมต่อไร่

8) น้ำหนักผลผลิตที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ เก็บผลผลิตข้าวในพื้นที่ 2 x 4 ตารางเมตร และคำนวณเป็นกิโลกรัมต่อไร่

2.9 การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินจำนวน 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 เก็บตัวอย่างดินในช่วงก่อนการทดลอง โดยใช้วิธีการสุ่มเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตรจากผิวดินหลาย ๆ จุดให้ครอบคลุมพื้นที่แปลงทดลองขนาดพื้นที่ประมาณ 400 ตารางเมตร คลุกเคล้ากันให้เป็นตัวอย่างเดียว นำตัวแทนของตัวอย่างดินที่ได้มาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ร่อนผ่านตะแกรงร่อนดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน เพื่อคำนวณอัตราปูนและปุ๋ยเคมี ครั้งที่ 2 เก็บตัวอย่างดินหลังใส่ปูน 45 วัน ที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร จำนวน 3 - 4 จุดต่อแปลง (แปลงขนาด 3 x 5 เมตร) คลุกเคล้ากันให้เป็นตัวอย่างเดียวกัน (1 ตัวอย่างต่อแปลง) นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่มแล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และครั้งที่ 3 เก็บตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว การสุ่มเก็บตัวอย่างกระทำเช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 2

2.10 การเก็บตัวอย่างพืช

2.10.1 ตัวอย่างพืชปุ๋ยสด

ก่อนไถกลบตัวอย่างพืชทำการสุ่มเก็บตัวอย่างพืชปุ๋ยสดในแต่ละแปลง ๆ ละ 3 จุด ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร บันทึกน้ำหนักสดของพืชที่เป็นตัวแทนนี้ นำไปตัดสับแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 - 5 วัน หรือให้น้ำหนักแห้งคงที่ เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง

2.10.2 ตัวอย่างข้าว

เก็บตัวอย่างตอซังข้าวและเมล็ดข้าว เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี

2.11 การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

ทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของตัวอย่างดินและพืช ดำเนินการในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน ส่วนวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 12 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามคู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่ม 1 กรมพัฒนาที่ดิน (2547ก)

2.11.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) วัดด้วยเครื่อง pH meter โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดิน: น้ำ เท่ากับ 1: 1

2) ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter; OM) ด้วยวิธี Walkley-Black method โดยชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม (ทราบน้ำหนักแน่นอน) เติมสารละลาย 0.167 M $K_2Cr_2O_7$ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และเติมกรด H_2SO_4 เข้มข้นปริมาตร 15 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 30 นาที และนำไปไทเทรตด้วยสารละลาย 0.5 M $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$

3) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen; total N) ด้วยวิธี micro-Kjeldahl method โดยชั่งตัวอย่างดิน 0.5 - 2.0 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) เติมสารเร่งปฏิกิริยา และกรด H_2SO_4 เข้มข้นปริมาตร 15 มิลลิลิตร ตั้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง นำไปย่อยที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส นำไปกลั่นโดยมีสารละลายบอริกเป็นสารรองรับ

4) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus; Avail. P) สกัดดินด้วยวิธี Bray II method และวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ด้วยวิธี ascorbic-molybdenum blue method โดยชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม (ทราบน้ำหนักแน่นอน) เติมน้ำยาสกัด Bray II 10 มิลลิลิตร เขย่าทันทีนาน 1 นาที กรอง นำสารละลายที่กรองได้มาทำให้เกิดสีน้ำเงินด้วยสารละลาย ascorbic-molybdenum blue นำไปวัดการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นแสง 882 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

5) ปริมาณโพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลก เปลี่ยนได้ (Exchangeable potassium, sodium, calcium and magnesium; Exch. K, Na, Ca and Mg) สกัดดินด้วย 1 M NH_4OAc pH 7 โดยชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม เติมน้ำยาสกัด NH_4OAc 20 มิลลิลิตร เขย่านาน 30 นาที กรองแล้วนำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมด้วยเครื่อง Flame Photometer สำหรับแคลเซียมและแมกนีเซียมวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

6) ปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ในดิน (Extractable sulfur; Extr. S) สกัดดินด้วย 0.01 M $Ca(H_2PO_4)_2$ โดยชั่งตัวอย่างดิน 3.0 กรัม เติมน้ำยาสกัด 0.01 M $Ca(H_2PO_4)_2$ 30 มิลลิลิตร เขย่านาน 2 ชั่วโมง กรองแล้วปิเปตสารละลายที่กรองได้ 10 มิลลิลิตร เติมน้ำยาป้องกันการละลายและการตกตะกอนลงไป 10 มิลลิลิตร และเติมผง $BaCl_2$ 50 มิลลิกรัม ปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น นำไปวัดความขุ่นภายใน 30 นาทีด้วยเครื่อง Spectrophotometer

7) ปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงที่สกัดได้ (Extractable iron, manganese, zinc and copper; Extr. Fe, Mn, Zn and Cu) สกัดด้วย 0.005 M DTPA pH 7.3 โดยชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม (ทราบน้ำหนักแน่นอน) เติมสารละลาย DTPA 20 มิลลิลิตร นำไปเขย่านาน 2 ชั่วโมง กรองแล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

8) ปริมาณความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable acidity; EA and Exchangeable aluminum; Exch. Al) สกัดด้วย 1 M KCl โดยชั่งตัวอย่างดิน 5 - 10 กรัม (ทราบน้ำหนักแน่นอน) เติมสารละลาย KCl 50 มิลลิลิตร นำไปเขย่านาน 12 ชั่วโมง (ค้างคืน) และกรองด้วยระบบสุญญากาศ ล้างดินอีก 3 - 4 ครั้ง (ครั้งละ 10 มิลลิลิตร) และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย KCl และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยวิธีการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน NaOH โดยมีฟีนอลทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ สำหรับการวิเคราะห์อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ให้นำตัวอย่างที่ไทเทรตหาปริมาณกรดที่แลกเปลี่ยนได้มาเติมสารละลาย 1 M KF 10 มิลลิลิตร และไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน HCl จนสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี และนำปริมาณสารละลายมาตรฐานของ NaOH และสารละลายมาตรฐาน HCl ไปคำนวณหาปริมาณกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้

2.11.2 การวิเคราะห์พืช

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืช ใช้ตัวอย่างพืชจากข้อ 2.10.1 และ 2.10.2 มาวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุอาหารพืชตามคู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้าเล่ม 2 กรมพัฒนาที่ดิน (2547ข)

1) การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ด้วยวิธี micro-Kjeldahl method โดยชั่งตัวอย่างพืช 0.5 - 1.0 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) เติมสารเร่งปฏิกิริยา และกรด H_2SO_4 เข้มข้น 20 มิลลิลิตร ตั้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง และนำไปย่อยที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส นำไปกลั่นโดยมีสารละลายบอริกเป็นสารรองรับ

2) การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง โดยย่อยด้วยกรดผสมระหว่าง HNO_3

และ $HClO_4$ อัตราส่วน 2: 1 โดยชั่งตัวอย่างพืช 0.1 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) เติมกรดผสม 15 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที และนำไปย่อยที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นธาตุอาหาร ดังนี้

ฟอสฟอรัส โดยวิธีการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีเหลืองด้วยสารละลาย yellow molybdovanadophosphoric acid และนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ด้วย Spectrophotometer

โพแทสเซียม โดยวัดปริมาณแสงที่อะตอมปลดปล่อยออกมา ที่ความยาวคลื่น 766.5 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Flame Photometer

กำมะถัน โดยการทำให้สารละลายเกิดตะกอนแขวนลอยของ $BaSO_4$ และนำไปวิเคราะห์ความขุ่นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร

แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง โดยวัดการดูดกลืนคลื่นแสงของอะตอมที่ความยาวคลื่น 422, 285 254.8, 279.8, 213.9 และ 324.7 นาโนเมตร ตามลำดับ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

2.12 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐกิจ

ข้อมูลที่ต้องใช้สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ จากการจัดการดินในทุกตำรับการทดลอง มีดังนี้

1) ค่าแรงงาน ได้แก่ การเตรียมดิน การปลูก การดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยว
2) ค่าวัสดุ ได้แก่ เมล็ดพันธุ์ข้าว เมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสด ปุ๋ยเคมี และหินปูนบด
3) ผลผลิตต่อไร่
4) ราคาผลผลิต

บทที่ 3

ผลการศึกษา

1. ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ

1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน

ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินก่อนทำการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 3.83 - 3.98 (ตารางที่ 11) การจัดการดินโดยการใส่ปูน ½ ของความต้องการปูนหรือในอัตรา 1,100 กิโลกรัม $CaCO_3$ ต่อไร่ ทำให้ค่า pH ของดินสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ กล่าวคือ ในตำรับตรวจสอบ (control) ดินมีค่า pH 4.07 ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่า pH 4.10 ในขณะที่ตำรับที่ใส่ปูนร่วมด้วย (L, W+L, W+L+F, W+L+G, W+L+G+½F และ W+L+G+F) หลังใส่ปูน 45 วัน ดินมีค่า pH สูงขึ้นอยู่ในช่วง 5.05 - 5.35 (ตารางที่ 12) และหลังเก็บเกี่ยวทุกตำรับการทดลองดินมีค่า pH ลดลงเล็กน้อย โดยในตำรับที่ใส่ปูนร่วมด้วยมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.03 - 5.23 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่า pH 3.98 การใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G, W+L+G+½F และ W+L+G+F) แม้จะไม่มีผลทำให้ค่า pH แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย แต่ค่า pH ของดินมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนการใช้น้ำล้างดินและการใส่ปุ๋ยเคมีไม่ทำให้ค่า pH ของดินมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก (ตารางที่ 13)

1.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินก่อนทำการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 51.4 - 54.5 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 11) การจัดการดินโดยการใส่ปูน ใส่ปุ๋ยเคมี และใส่ปุ๋ยพืชสดไม่ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) แต่พบว่าการใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีแนวโน้มสูงขึ้น การใส่ปุ๋ยเคมีและใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีแนวโน้มสูงกว่าการใส่ปูนเพียงอย่างเดียว โดยพบว่าหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตปริมาณอินทรียวัตถุในดินในตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 62.5 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 11 สมบัติทางเคมีบางประการของดินก่อนการทดลอง

ตำรับการทดลอง	pH	OM (g/kg)	Total N (g/kg)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (cmol(+)/kg)	Exch.Ca (cmol(+)/kg)	Exch. Mg (cmol(+)/kg)	Extr. S (mg/kg)	Extr. Fe (mg/kg)	Extr. Mn (mg/kg)	Extr. Cu (mg/kg)	Extr. Zn (mg/kg)	Exch. Acidity (cmol(+)/kg)	Exch. Al (cmol(+)/kg)
Control	3.93	51.4	1.93	24.0	0.059	1.36	0.22	92	435	2.07	0.35	0.53	3.01	1.78
L	3.90	53.2	1.95	21.5	0.056	1.23	0.21	91	428	1.91	0.33	0.52	3.08	1.80
W	3.83	52.8	2.00	21.8	0.058	1.20	0.20	82	468	1.89	0.34	0.52	3.10	1.85
W+L	3.88	53.6	1.93	22.3	0.057	1.30	0.23	99	482	2.04	0.36	0.52	3.14	1.85
W+L+F	3.98	51.8	2.00	21.0	0.056	1.25	0.21	93	490	2.01	0.35	0.50	3.12	1.93
W+L+G	3.93	52.7	1.98	22.5	0.058	1.26	0.20	91	442	1.90	0.33	0.53	3.07	1.90
W+L+G+½F	3.85	54.5	2.03	21.8	0.061	1.34	0.22	93	347	1.92	0.36	0.52	3.06	1.75
W+L+G+F	3.98	54.1	1.95	22.5	0.062	1.33	0.22	88	441	1.97	0.36	0.50	3.13	1.90
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V.(%)	4.9	9.5	7.7	16.2	6.96	6.98	7.7	14.7	16.9	8.6	15.9	12.8	3.2	15.2

หมายเหตุ: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

L ใส่ปูน ½ ของค่าความต้องการปูน W ใช้น้ำล้างดิน

F ใส่ปุ๋ยเคมี G ใส่ปุ๋ยพืชสด

ตารางที่ 12 สมบัติทางเคมีบางประการของดินหลังการใส่ปูน 45 วัน

ตำรับการทดลอง	pH	OM (g/kg)	Total N (g/kg)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (cmol(+)/kg)	Exch.Ca (cmol(+)/kg)	Exch. Mg (cmol(+)/kg)	Extr. S (mg/kg)	Extr. Fe (mg/kg)	Extr. Mn (mg/kg)	Extr. Cu (mg/kg)	Extr. Zn (mg/kg)	Exch. Acidity (cmol(+)/kg)	Exch. Al (cmol(+)/kg)
Control	4.07 [c1/]	52.0	2.03 [b]	25.0 [c]	0.069	1.07 [b]	0.26	101	531	2.04 [abc]	0.36 [a]	0.51	2.63 [a]	1.53 [a]
L	5.20 [ab]	55.7	2.10 [b]	25.8 [c]	0.074	4.66 [a]	0.30	102	516	2.07 [abc]	0.33 [abc]	0.52	0.90 [b]	0.04 [b]
W	4.10 [c]	51.5	2.13 [b]	24.8 [c]	0.071	1.10 [b]	0.26	98	526	1.85 [c]	0.31 [bc]	0.53	2.44 [a]	1.43 [a]
W+L	5.05 [b]	55.2	2.03 [b]	26.0 [c]	0.074	4.56 [a]	0.28	105	523	1.95 [bc]	0.34 [ab]	0.48	0.76 [bc]	0.02 [b]
W+L+F	5.15 [ab]	57.4	3.68 [a]	53.5 [a]	0.088	4.61 [a]	0.28	95	529	1.93 [bc]	0.28 [c]	0.49	0.85 [b]	0.03 [b]
W+L+G	5.33 [a]	56.9	2.13 [b]	26.5 [c]	0.072	4.69 [a]	0.31	91	509	2.17 [ab]	0.31 [bc]	0.48	0.45 [d]	0.02 [b]
W+L+G+½F	5.28 [ab]	57.5	3.05 [b]	40.0 [b]	0.078	4.54 [a]	0.30	104	520	2.07 [abc]	0.29 [c]	0.51	0.51 [d]	0.02 [b]
W+L+G+F	5.35 [a]	57.8	3.60 [a]	56.2 [a]	0.094	4.63 [a]	0.29	98	512	2.23 [a]	0.28 [c]	0.49	0.57 [cd]	0.03 [b]
F-test	**	ns	**	**	ns	**	ns	ns	ns	*	*	ns	**	**
C.V.(%)	3.4	9.6	15.5	11.1	15.26	23.83	13.3	15.3	7.5	8.3	11.1	12.2	13.2	44.8

หมายเหตุ: * มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

1/ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

L ใส่ปูน ½ ของค่าความต้องการปูน W ใช้น้ำล้างดิน

F ใส่ปุ๋ยเคมี G ใส่ปุ๋ยพืชสด

ตารางที่ 13 สมบัติทางเคมีบางประการของดินหลังการทดลอง

ตำรับการทดลอง	pH	OM (g/kg)	Total N (g/kg)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (cmol(+)/kg)	Exch.Ca (cmol(+)/kg)	Exch. Mg (cmol(+)/kg)	Extr. S (mg/kg)	Extr. Fe (mg/kg)	Extr. Mn (mg/kg)	Extr. Cu (mg/kg)	Extr. Zn (mg/kg)	Exch. Acidity (cmol(+)/kg)	Exch. Al (cmol(+)/kg)
Control	3.98 [b1/]	50.9	1.90	26.3 [b]	0.061	1.19 [b]	0.23 [b]	94	366 [ab]	1.80	0.36	0.52	2.97 [a]	1.25 [a]
L	5.03 [a]	54.4	1.95	27.0 [b]	0.062	4.56 [a]	0.31 [a]	94	360 [ab]	1.73	0.36	0.53	1.18 [b]	0.68 [c]
W	4.00 [b]	51.2	1.83	26.0 [b]	0.056	0.97 [b]	0.22 [b]	99	353 [ab]	1.75	0.37	0.51	2.77 [a]	1.10 [ab]
W+L	5.07 [a]	55.9	1.95	27.3 [b]	0.063	4.48 [a]	0.29 [ab]	101	383 [a]	1.80	0.38	0.52	1.12 [b]	0.60 [c]
W+L+F	5.05 [a]	61.3	2.35	37.8 [a]	0.065	4.09 [a]	0.27 [ab]	93	356 [ab]	1.75	0.39	0.50	1.11 [b]	0.86 [bc]
W+L+G	4.95 [a]	57.8	2.33	26.8 [b]	0.063	4.24 [a]	0.30 [a]	89	335 [b]	1.80	0.38	0.52	0.81 [b]	0.55 [c]
W+L+G+½F	5.18 [a]	58.3	2.18	27.8 [b]	0.067	4.14 [a]	0.29 [ab]	99	331 [b]	1.73	0.39	0.52	0.98 [b]	0.70 [c]
W+L+G+F	5.23 [a]	62.5	2.30	42.8 [a]	0.067	4.00 [a]	0.28 [ab]	95	340 [b]	1.78	0.38	0.51	1.20 [b]	0.65 [c]
F-test	**	ns	ns	**	ns	**	*	ns	*	ns	ns	ns	**	**
C.V.(%)	4.1	13.3	16.2	15.1	21.16	19.40	14.8	14.8	7.1	10.5	18.9	16.0	20.0	26.1

หมายเหตุ: * มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

[1/] ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

L ใส่ปูน ½ ของค่าความต้องการปูน W ใช้น้ำล้างดิน

F ใส่ปุ๋ยเคมี G ใส่ปุ๋ยพืชสด

1.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

ผลการศึกษาพบว่า ก่อนทำการทดลองปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.93 - 2.03 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 11) หลังใส่ปูน 45 วัน พบว่า ตำรับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยตามค่าวิเคราะห์ดินทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 3.68 กรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.60 กรัมต่อกิโลกรัม การใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินไม่ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (ตารางที่ 12) หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีแนวโน้มลดลงและทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมี (W+L+F) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสด (W+L+G) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F และ W+L+G+F) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 13)

1.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนทำการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.0 - 24.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 11) การจัดการดินโดยการใช้น้ำล้างดินใส่ปูน ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้น กล่าวคือ หลังการใส่ปูน 45 วัน ในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 56.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินในตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 12) หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตพบว่า ตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 13) เมื่อเทียบกับปริมาณฟอสฟอรัสหลังการใส่ปูน 45 วัน (ตารางที่ 12) การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F และ W+L+G+F) ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงกว่าตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและใส่ปุ๋ยเคมี

ในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 42.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่สูงกว่าตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยและตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมด้วย (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 26.0 - 27.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 13)

1.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนทำการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.056 - 0.062 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 11) การจัดการดินโดยการใช้น้ำล้างดิน การใส่ปูน การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด ไม่ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังใส่ปูน 45 วันและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าหลังใส่ปูน 45 วันปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินทุกตำรับการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยพบว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วย (W+L+F, W+L+G+½F และ W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.078 - 0.094 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม สูงกว่าตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.069 - 0.074 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 12) ส่วนหลังการเก็บเกี่ยวพบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.056 - 0.067 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม แต่ยังคงสูงกว่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนการทดลอง (ตารางที่ 13)

1.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.20 - 1.36 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 11) การจัดการดินโดยการใส่ปูนในอัตรา 1,100 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า หลังการใส่ปูน 45 วัน และหลังเก็บเกี่ยวในตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.07 และ 1.19 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 1.10 และ 0.97 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังการใส่ปูน 45 วัน และหลังเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.54 - 4.69 และ 4.07 - 4.57 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 12 และ ตารางที่ 13)

1.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.20 - 0.23 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 11) การจัดการดินแบบบูรณาการโดยการใส่ปูน ใช้น้ำล้างดิน ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด ไม่ทำให้แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังใส่ปูน 45 วันมีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินทุกตำรับการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.26 - 0.31 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 12) ส่วนหลังการเก็บเกี่ยวพบว่าตำรับที่มีการใส่ปูนร่วมด้วยปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยพบว่าตำรับที่ใส่ปูนเพียงอย่างเดียว (L) ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 0.31 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม สูงกว่าตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.23 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 13)

1.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ในดิน

ปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ในดินก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 82 - 99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 11) การจัดการดินโดยการใส่ปูน ใช้น้ำล้างดิน ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด ไม่ทำให้ปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ในดินแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าหลังการใส่ปูน 45 วัน ปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ในดินทุกตำรับการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 91 - 105 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 12) และหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ในดินทุกตำรับการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 93 - 101 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 13)

1.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กและแมงกานีสที่สกัดได้ในดิน

ปริมาณเหล็กและแมงกานีสที่สกัดได้ในดินก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 347 - 490 และ 1.89 - 2.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 11) การจัดการดินโดยการใส่ปูน ใช้น้ำล้างดิน ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด ไม่ทำให้ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินหลังการใส่ปูน 45 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ตำรับที่ใส่ปูน (L) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่

กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมี ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) (ตารางที่ 12) ส่วนปริมาณเหล็กและแมงกานีสที่สกัดได้ในดินหลังการทดลองพบว่า ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ ปริมาณเหล็กที่สกัดได้มีความแตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 331 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) และตำรับการทดลองอื่น ๆ ยกเว้นตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 386 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 13)

1.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสังกะสีและทองแดงที่สกัดได้ในดิน

ปริมาณสังกะสีและทองแดงที่สกัดได้ในดินก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.33 - 0.36 และ 0.50 - 0.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 11) การจัดการดินโดยการใส่ปูน ใช้น้ำล้างดิน ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด ไม่ทำให้ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินหลังการใส่ปูน 45 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ปูนเพียงอย่างเดียว (L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.33 และ 0.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่มีค่าสูงกว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+F, W+L+G, W+L+G+½F และ W+L+G+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.28, 0.31, 0.29 และ 0.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 12) ส่วนหลังการเก็บเกี่ยวพบว่าปริมาณสังกะสีและทองแดงที่สกัดได้ในดินในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 13)

1.11 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

ปริมาณความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.01 - 3.14 และ 1.75 - 1.90 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 11) การจัดการดินโดยการใช้น้ำล้างดิน การใส่ปูน และใส่ปุ๋ยพืชสด ทำให้ความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังการใส่ปูน 45 วัน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ กล่าวคือ ในตำรับตรวจสอบ (control) ความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2.63 และ 1.53 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.44 และ 1.43 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ตำรับที่มีการใส่ปูนร่วมด้วย หลังใส่ปูน 45 วัน ความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงมีค่าเฉลี่ยอยู่

ในช่วง 0.45 - 0.90 และ 0.02 - 0.04 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ต่ำกว่าตำรับตรวจสอบ (control) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 12) ส่วนหลังการเก็บเกี่ยวพบว่าความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงขึ้นเล็กน้อย โดยตำรับที่ใส่ปูนร่วมด้วยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.81 - 1.18 และ 0.56 - 0.86 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ต่ำกว่าตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.97 และ 1.25 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าตำรับที่ใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G, W+L+G+½F และ W+L+G+F) แม้จะไม่มีผลทำให้ความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ปูนร่วมด้วย แต่การใส่ปุ๋ยพืชสดมีผลทำให้ความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้มีแนวโน้มต่ำกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยพืชสด (ตารางที่ 13)

2. ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ

2.1 การเจริญเติบโตของข้าว

2.1.1 การแตกกอ

การจัดการดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะแบบบูรณาการโดยการใส่ปูน ใช้น้ำล้างดิน ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด ทำให้การแตกกอของข้าวที่อายุ 40 วันมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) การแตกกอของต้นข้าวมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 14.40 ต้นต่อกอ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ตำรับที่ใส่ปูน (L) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.55, 15.30, 15.28 และ 15.28 ต้นต่อกอ ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยทำให้ต้นข้าวมีการแตกกอสูงกว่าในตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ในตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 18.43 ต้นต่อกอ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.05 ต้นต่อกอ แต่มีค่าสูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.90 ต้นต่อกอ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว

ตำรับการทดลอง	การแตกกอ (ต้นต่อกอ)	ความสูง (เซนติเมตร)		น้ำหนักข้าวเปลือก[2/] (กิโลกรัมต่อไร่)	น้ำหนักสดตอซัง (กิโลกรัมต่อไร่)
	อายุ 40 วัน	อายุ 40 วัน	ก่อนเก็บเกี่ยว		
Control	14.55 [c1/]	61.10 [d]	92.07 [d]	260 [g]	1,055 [e]
L	15.30 [bc]	63.10 [c]	96.70 [c]	349 [f]	1,245 [cd]
W	14.40 [c]	61.50 [d]	93.05 [d]	260 [g]	1,025 [e]
W+L	15.28 [bc]	63.00 [c]	96.40 [c]	364 [e]	1,205 [d]
W+L+F	18.43 [a]	68.25 [a]	100.15 [a]	521 [b]	1,725 [a]
W+L+G	15.28 [bc]	63.63 [c]	97.00 [c]	389 [d]	1,300 [c]
W+L+G+½F	15.90 [b]	65.25 [b]	98.85 [b]	433 [c]	1,435 [b]
W+L+G+F	18.05 [a]	68.08 [a]	100.33 [a]	532 [a]	1,770 [a]
F-test	**	**	**	**	**
C.V.(%)	3.9	1.2	0.8	1.9	3.4

หมายเหตุ: ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

1/ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

2/ น้ำหนักข้าวเปลือกที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์

L ใส่ปูน ½ ของค่าความต้องการปูน W ใช้น้ำล้างดิน

F ใส่ปุ๋ยเคมี G ใส่ปุ๋ยพืชสด

2.1.2 ความสูง

การจัดการดินเปรี้ยวโดยการใส่ปูน การใช้น้ำล้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และใส่ปุ๋ยพืชสด ทำให้ความสูงของข้าวที่อายุ 40 วัน และความสูงก่อนเก็บเกี่ยวมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่า ความสูงของข้าวที่อายุ 40 วัน และความสูงก่อนเก็บเกี่ยวเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ในตำรับตรวจสอบ (control) ความสูงของข้าวที่อายุ 40 วัน และความสูงก่อนเก็บเกี่ยวมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 61.10 และ 92.07 เซนติเมตร ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 61.50 และ 93.05 เซนติเมตร ตามลำดับ การใส่ปูนและการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยทำให้ข้าวมีความสูงเพิ่มขึ้น โดยพบว่า ความสูงของข้าวที่อายุ 40 วัน ในตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 68.25 เซนติเมตร แต่ไม่

แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 68.08 เซนติเมตร ในขณะที่ความสูงของข้าวก่อนเก็บเกี่ยวในตำรับตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 100.33 เซนติเมตร และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 100.15 เซนติเมตร และพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ข้าวมีความสูงเฉลี่ยที่อายุ 40 วัน และก่อนเก็บเกี่ยวเท่ากับ 65.25 และ 98.85 เซนติเมตร ตามลำดับ สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 14)

2.2 ผลผลิต

2.2.1 น้ำหนักข้าวเปลือกที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์

การจัดการดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูน การใช้น้ำล้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด ทำให้น้ำหนักข้าวเปลือกที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดและมีค่าเท่ากับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) คือ 260 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนและปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้น้ำหนักข้าวเปลือกที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 532 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 521 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) น้ำหนักข้าวเปลือกที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์เท่ากับ 433 กิโลกรัมต่อไร่ ต่ำกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F และ W+L+G+F) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 389 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่ใส่ปูนเพียงอย่างเดียว (L) และตำรับที่ใส่ปูนควบคู่กับการใช้น้ำล้างดิน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 349 และ 364 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 14)

2.2.2 น้ำหนักสดตอซัง

การจัดการดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูน การใช้น้ำล้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด มีผลทำให้น้ำหนักสดตอซังมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1,025 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,055 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนและปุ๋ยเคมีร่วมด้วยทำให้น้ำหนักสดตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า น้ำหนักสดตอซังในตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1,770 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,725 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,300 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่ใส่ปูนเพียงอย่างเดียว (L) และตำรับที่มีการใส่ปูนควบคู่กับการใช้น้ำล้างดิน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,245 และ 1,205 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 14)

2.3 องค์ประกอบผลผลิต

2.3.1 จำนวนรวงต่อกอ

การจัดการดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูน การใช้น้ำล้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด มีผลทำให้จำนวนรวงต่อกอของข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 15.15 รวงต่อกอ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่มีการใส่ปูน (L) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) และตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.63, 15.65, 15.78 และ 15.90 รวงต่อกอ ตามลำดับ การใส่ปูนร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้จำนวนรวงต่อกอของข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า จำนวนรวงต่อกอของข้าวในตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใส่ปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 17.58 รวงต่อกอ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.45 และ 17.25 รวงต่อกอ ตามลำดับ สูงกว่าตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อองค์ประกอบผลผลิตของข้าว

ตำรับ การทดลอง	จำนวนรวงต่อกอ (รวงต่อกอ)	ความยาวรวง (เซนติเมตร)	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ (กรัม)	เมล็ดลีบ (เปอร์เซ็นต์)
Control	15.15 [b1/]	24.60 [c]	28.56 [c]	20.61 [a]
L	15.63 [b]	25.08 [bc]	29.02 [bc]	17.23 [b]
W	15.65 [b]	24.75 [bc]	28.46 [c]	20.49 [a]
W+L	15.78 [b]	25.03 [bc]	29.04 [bc]	17.19 [b]
W+L+F	17.45 [a]	25.94 [a]	30.24 [a]	14.40 [c]
W+L+G	15.90 [b]	25.06 [bc]	29.15 [bc]	16.51 [b]
W+L+G+½F	17.25 [a]	25.18 [b]	29.66 [b]	14.77 [c]
W+L+G+F	17.58 [a]	25.81 [a]	30.50 [a]	14.26 [c]
F-test	**	**	**	**
C.V.(%)	4.0	1.4	1.9	6.6

หมายเหตุ: ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

1/ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

L ใส่ปูน ½ ของค่าความต้องการปูน W ใช้น้ำล้างดิน

F ใส่ปุ๋ยเคมี G ใส่ปุ๋ยพืชสด

2.3.2 ความยาวรวง

การจัดการดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูน ใช้น้ำล้างดิน ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด มีผลทำให้ความยาวรวงของข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 24.60 เซนติเมตร การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ความยาวรวงของข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การใส่ปูนร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ความยาวรวงของข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 25.94 เซนติเมตร ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.81 เซนติเมตร แต่สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.18 เซนติเมตร อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่า

ตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยความยาวรวงของข้าวสูงกว่าในตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วย อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 15)

2.3.3 น้ำหนัก 1,000 เมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์

การจัดการดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูน การใช้น้ำล้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด มีผลทำให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ของข้าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 28.46 กรัม แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.56 กรัม การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ของข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การใส่ปูนร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ของข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 30.50 กรัม แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.24 กรัม และมีค่าสูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.66 กรัม และพบว่าในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วย น้ำหนัก 1,000 เมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ของข้าวสูงกว่าในตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 15)

2.3.4 เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ

การจัดการดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูน การใช้น้ำล้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 20.61 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.49 เปอร์เซ็นต์ การใส่ปูนและการใส่ปูนร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวในตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 14.26 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.40 และ 14.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.51 เปอร์เซ็นต์ ต่ำกว่าตำรับที่

ใส่ปูน (L) และ ตำรับที่ใส่ปูนควบคู่กับการใช้น้ำล้างดิน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.23 และ 17.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 15)

3. ความเข้มข้นของธาตุอาหารในผลผลิตข้าวและปริมาณธาตุอาหารที่ข้าวดูดดึงเข้าไปใช้ประโยชน์ (nutrient uptake)

3.1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบในตอซังและเมล็ดข้าว

3.1.1 ไนโตรเจน

การจัดการดินเปรี้ยวโดยการใส่ปูน การใช้น้ำล้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในตอซังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 7.9 กรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.0 กรัมต่อกิโลกรัม การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 9.7 กรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) และตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.6 และ 9.2 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยมีค่าสูงกว่าในตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 16)

สำหรับความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดข้าวพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 9.6 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.7 กรัมต่อกิโลกรัม และพบว่าตำรับที่ใส่ปูนร่วมด้วย (L, W+L, W+L+G, W+L+G+½F และ W+L+G+F) ความเข้มข้นของไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10.7 - 12.4 กรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าตำรับที่ไม่ใส่ปูน (control และ W) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 12.4 กรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ยกเว้นตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½

ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) และตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.9 และ 12.1 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 16 ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบในตอซังข้าว

ตำรับการทดลอง	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	S (g/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Control	7.9[d1/]	1.8[b]	6.6[f]	4.6[c]	1.9[b]	1.8[e]	266[ef]	53.90[c]	1.24[d]	41.41[b]
L	8.4[cd]	2.3[b]	8.4[de]	5.1[b]	2.0[b]	2.1[de]	290[de]	59.13[bc]	1.70[c]	51.09[a]
W	8.0[d]	1.8[b]	7.7[ef]	4.7[c]	1.8[b]	2.3[d]	252[f]	56.19[c]	1.20[d]	41.55[b]
W+L	8.5[bcd]	2.3[b]	9.8[cd]	5.0[b]	1.9[b]	2.2[de]	294[d]	60.26[bc]	1.83[bc]	53.24[a]
W+L+F	9.6[ab]	3.8[a]	12.5[ab]	5.5[a]	2.4[a]	3.1[b]	391[ab]	69.95[ab]	2.42[a]	56.59[a]
W+L+G	8.3[cd]	3.1[a]	11.0[bc]	5.2[b]	2.3[a]	2.7[c]	373[bc]	73.65[a]	1.86[bc]	55.54[a]
W+L+G+½F	9.2[abc]	3.6[a]	11.5[ab]	5.2[b]	2.5[a]	3.1[b]	362[c]	67.59[ab]	2.08[b]	56.19[a]
W+L+G+F	9.7[a]	3.7[a]	13.0[a]	5.7[a]	2.6[a]	3.5[a]	404[a]	77.33[a]	2.49[a]	57.14[a]
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C.V.(%)	7.7	16.8	10.7	2.4	9.1	9.8	5.3	10.6	9.8	11.8

หมายเหตุ: ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

1/ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

L ใส่ปูน ½ ของค่าความต้องการปูน W ใช้น้ำล้างดิน

F ใส่ปุ๋ยเคมี G ใส่ปุ๋ยพืชสด

ตารางที่ 17 ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดข้าว

ตำรับการทดลอง	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	S (g/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Control	9.7[d1/]	3.4[b]	2.6[a]	0.82[ab]	1.74[a]	3.0[b]	238[bc]	41.42[d]	1.97[b]	20.46[a]
L	11.2[bc]	3.9[ab]	2.8[a]	0.92[ab]	1.86[a]	2.8[b]	263[ab]	46.71[bcd]	2.32[ab]	20.95[a]
W	9.6[d]	3.7[b]	2.8[a]	0.79[b]	1.70[a]	3.0[b]	206[c]	45.14[cd]	2.01[b]	20.35[a]
W+L	11.3[bc]	4.0[ab]	2.8[a]	0.92[ab]	1.91[a]	2.7[b]	227[bc]	46.69[bcd]	2.15[ab]	20.79[a]
W+L+F	12.1[ab]	4.8[a]	3.2[a]	0.90[ab]	1.93[a]	3.2[ab]	296[a]	55.22[ab]	2.63[ab]	21.19[a]
W+L+G	10.7[c]	4.0[ab]	3.1[a]	0.87[ab]	1.90[a]	4.0[a]	262[ab]	53.57[abc]	2.45[ab]	20.91[a]
W+L+G+½F	11.9[ab]	4.4[ab]	3.1[a]	0.98[ab]	1.83[a]	4.0[a]	307[a]	55.64[ab]	2.44[ab]	20.91[a]
W+L+G+F	12.4[a]	4.8[a]	3.3[a]	10.0[a]	1.85[a]	4.1[a]	304[a]	57.32[a]	2.71[a]	21.32[a]
F-test	**	*	ns	*	ns	**	**	**	*	ns
C.V.(%)	5.9	14.5	14.7	13.2	9.4	17.5	12.2	12.2	17.5	7.6

หมายเหตุ: * มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

1/ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

L ใส่ปูน ½ ของค่าความต้องการปูน W ใช้น้ำล้างดิน

F ใส่ปุ๋ยเคมี G ใส่ปุ๋ยพืชสด

3.1.2 ฟอสฟอรัส

การจัดการดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูน การใช้น้ำล้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.8 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ปูน (L) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.3, 1.8 และ 2.3 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 3.8 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G)

ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) และตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.1, 3.6 และ 3.7 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

สำหรับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 3.4 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.7 กรัมต่อกิโลกรัม การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F และ W+L+G+F) ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวมีค่าเฉลี่ยสูงสุดและมีค่าเท่ากันคือ 4.8 กรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการตำรับที่มีการใส่ปูนร่วมด้วย (ตารางที่ 17)

3.1.3 โพแทสเซียม

การจัดการดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูน การใช้น้ำล้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในตอซังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 6.6 กรัมต่อกิโลกรัม ต่ำกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.7 กรัมต่อกิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในตอซังเพิ่มขึ้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.4 - 13.5 กรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าตำรับตรวจสอบ (control) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในตอซังเพิ่มขึ้น โดยพบว่า ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินและใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 13.0 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.5 และ 11.5 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่สูงกว่าตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 16)

สำหรับความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเมล็ดข้าว พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าตำรับที่ใส่ปูนร่วมด้วยความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเมล็ดข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเมล็ดข้าวมีแนวโน้มสูงกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ โดยพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 3.3 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 17)

3.1.4 แคลเซียม

การจัดการดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูน การใช้น้ำล้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด ทำให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในตอซังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 4.6 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.7 กรัมต่อกิโลกรัม การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในตอซังเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.0 - 5.7 กรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าตำรับตรวจสอบ (control) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยตามค่าวิเคราะห์ดินทำให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 5.7 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.5 กรัมต่อกิโลกรัม แต่มีค่าสูงกว่าตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีหรือใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 16)

สำหรับความเข้มข้นของแคลเซียมในเมล็ดข้าวพบว่า ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.79 กรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการทดลองอื่น ๆ ยกเว้น ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.00 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 17)

3.1.5 แมกนีเซียม

การจัดการดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูน การใช้น้ำล้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในตอซังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.8 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ตำรับที่ใส่ปูน (L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.9, 2.0 และ 1.9 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2.6 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.4, 2.3 และ 2.5 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

สำหรับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเมล็ดข้าว พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าการใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเมล็ดข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.83 - 1.95 กรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ไม่ใส่ปูน (control และ W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.74 และ 1.70 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 17)

3.1.6 กำมะถัน

การจัดการดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูน การใช้น้ำล้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด ทำให้ความเข้มข้นของกำมะถันในตอซังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.8 กรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ปูน (L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.1 และ 2.2 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของกำมะถันในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 3.5 กรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าความเข้มข้นของกำมะถันในตอซังในตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) มีค่าเท่ากันกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่ใส่ปูนและปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.1 กรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.7 กรัมต่อกิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 16)

สำหรับความเข้มข้นของกำมะถันในเมล็ดข้าวพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 2.7 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ตำรับที่ใส่ปูน (L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.0, 2.8 และ 3.0 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+F, W+L+G, W+L+G+½F และ W+L+G+F) ทำให้ความเข้มข้นของกำมะถันในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.1 กรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.2, 4.0 และ 4.0 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 17)

3.1.7 เหล็ก

การจัดการดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูน การใช้น้ำล้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด ทำให้ความเข้มข้นของเหล็กในตอซังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 252 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) และตำรับที่มีการใส่ปูนเพียงอย่างเดียว (L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 266 และ 290 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+F, W+L+G, W+L+G+½F และ W+L+G+F) ทำให้ความเข้มข้นของเหล็กในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 404 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่ใส่ปูนร่วมกับปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 391 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่มีค่าสูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 373 และ 362 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 16)

สำหรับความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดข้าวพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 206 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งค่าเฉลี่ยเท่ากับ 238 และ 227 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเทียบกับตำรับตรวจสอบ (control) โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 304 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่ใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 296 และ 307 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 17)

3.1.8 แมงกานีส

การจัดการดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูน การใช้น้ำล้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสด ทำให้ความเข้มข้นของแมงกานีสในตอซังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 53.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของแมงกานีสในตอซังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้

ความเข้มข้นของแมงกานีสในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนร่วมกับปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินและใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 77.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่ใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69.95, 73.65 และ 67.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

สำหรับความเข้มข้นของแมงกานีสในเมล็ดข้าวพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 41.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ปูน (L) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) และตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46.71, 45.14 และ 46.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของแมงกานีสในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 57.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่ใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) และตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 55.22, 53.57 และ 55.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 17)

3.1.9 ทองแดง

การจัดการดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูน การใช้น้ำล้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสดทำให้ความเข้มข้นของทองแดงในตอซังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของทองแดงในตอซังเพิ่มขึ้น และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมด้วยความเข้มข้นของทองแดงในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่ใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่มีค่าสูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 16)

สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในเมล็ดข้าว พบว่าตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของทองแดงในเมล็ดข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์และปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ความเข้มข้นของทองแดงในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าตำรับตรวจสอบ (control) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 17)

3.1.10 สังกะสี

จากการศึกษาพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 41.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) การใส่ปูนทำให้ความเข้มข้นของสังกะสีในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 57.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองอื่นๆ ที่ใส่ปูนร่วมด้วย (ตารางที่ 16) สำหรับความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวทุกตำรับการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 20.35 - 21.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 17)

3.2 ปริมาณธาตุอาหารที่ข้าวดูดดึงเข้าไปใช้ประโยชน์ (Nutrient uptake)

3.2.1 ไนโตรเจน

จากการวิเคราะห์ปริมาณการดูดดึงไนโตรเจนในตอซัง พบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 7.71 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.80 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้การดูดดึงไนโตรเจนในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.67 - 16.05 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยทำให้การดูดดึงไนโตรเจนในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 16.05 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.45 กิโลกรัมต่อไร่ แต่มีค่าสูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.43 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อปริมาณการดูดดึงธาตุอาหารในตอซังข้าว

ตำรับการทดลอง	N (kg/rai)	P (kg/rai)	K (kg/rai)	Ca (kg/rai)	Mg (kg/rai)	S (kg/rai)	Fe (g/rai)	Mn (g/rai)	Cu (g/rai)	Zn (g/rai)
Control	7.80 de 1/	1.74 d	6.54 e	4.57 f	1.86 ef	1.81 d	263 d	53.35 d	1.23 d	41.05 c
L	9.87 c	2.67 d	9.82 d	5.96 de	2.30 d	2.40 c	340 c	69.18 c	1.99 c	67.37 b
W	7.71 e	1.75 d	7.44 e	4.55 f	1.78 f	2.22 cd	243 d	54.19 d	1.16 d	40.06 c
W+L	9.67 c	2.54 d	11.01 d	5.69 e	2.21 de	2.49 c	331 c	68.09 c	2.07 c	60.22 b
W+L+F	15.45 a	6.14 a	20.19 a	8.95 b	3.95 a	4.93 a	632 a	113.18 a	3.91 a	93.21 a
W+L+G	9.44 cd	3.82 c	13.50 c	6.36 d	2.83 c	3.33 b	455 b	90.07 b	2.27 c	67.69 b
W+L+G+½F	12.43 b	4.84 b	15.57 b	7.06 c	3.39 b	4.74 a	488 b	90.97 b	2.80 b	75.74 b
W+L+G+F	16.05 a	6.21 a	21.58 a	9.44 a	4.28 a	5.19 a	634 a	118.21 a	4.14 a	94.95 a
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C.V.(%)	10.1	17.3	9.3	4.2	9.2	9.6	7.5	10.9	9.6	15.6

หมายเหตุ: ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

1/ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

L ใส่ปูน ½ ของค่าความต้องการปูน W ใช้น้ำล้างดิน

F ใส่ปุ๋ยเคมี G ใส่ปุ๋ยพืชสด

ส่วนปริมาณการดูดดึงไนโตรเจนในเมล็ดข้าวพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 2.18 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้การดูดดึงไนโตรเจนในเมล็ดข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยทำให้การดูดดึงไนโตรเจนในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 5.69 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.48 กิโลกรัมต่อไร่ แต่สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ไม่ทำให้การดูดดึงไนโตรเจนในเมล็ดข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

4.09 กิโลกรัมต่อไร่ แต่มีค่าสูงกว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.54 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 19)

ตารางที่ 19 ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อปริมาณการดูดดึงธาตุอาหารในเมล็ดข้าว

ตำรับการทดลอง	N (kg/rai)	P (kg/rai)	K (kg/rai)	Ca (kg/rai)	Mg (kg/rai)	S (kg/rai)	Fe (g/rai)	Mn (g/rai)	Cu (g/rai)	Zn (g/rai)
Control	2.18 e1/	0.77 d	0.58 e	0.18 d	0.39 d	0.67 c	53 de	9.29 e	0.44 c	4.57 d
L	3.35 d	1.18 c	0.82 cd	0.28 c	0.56 c	0.84 c	79 c	14.00 d	0.69 bc	6.28 c
W	2.35 e	0.83 d	0.64 de	0.18 d	0.38 d	0.68 c	46 e	10.09 e	0.45 c	4.80 d
W+L	3.54 cd	1.25 c	0.89 c	0.29 c	0.60 bc	0.84 c	71 cd	14.60 cd	0.67 bc	6.50 b
W+L+F	5.48 a	2.17 a	1.43 a	0.41 ab	0.87 a	1.44 b	133 a	24.92 a	1.19 a	9.58 a
W+L+G	4.09 bc	1.35 bc	1.03 bc	0.29 c	0.63 bc	1.31 b	88 c	17.91 bc	0.82 b	6.99 c
W+L+G+½F	4.43 b	1.64 b	1.16 b	0.37 b	0.68 b	1.52 b	115 b	20.75 b	0.91 b	7.80 b
W+L+G+F	5.69 a	2.18 a	1.50 a	0.46 a	0.84 a	1.82 a	139 a	26.22 a	1.24 a	9.76 a
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C.V.(%)	10.0	16.2	15.5	14.4	10.7	17.2	13.4	13.5	21.3	7.1

หมายเหตุ: ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

1/ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

L ใส่ปูน ½ ของค่าความต้องการปูน W ใช้น้ำล้างดิน

F ใส่ปุ๋ยเคมี G ใส่ปุ๋ยพืชสด

เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมด พบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 9.98 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.05 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยปริมาณการดูดดึงไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 21.74 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.93 กิโลกรัมต่อไร่ และพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.28 กิโลกรัมต่อไร่ ต่ำกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีใน

อัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.86 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ปูน (L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากันคือ 15.22 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 20 ปริมาณธาตุอาหารที่ข้าวดูดดึงเข้าไปใช้ประโยชน์ (Nutrient uptake)

ตำรับการทดลอง	N (kg/rai)	P (kg/rai)	K (kg/rai)	Ca (kg/rai)	Mg (kg/rai)	S (kg/rai)	Fe (g/rai)	Mn (g/rai)	Cu (g/rai)	Zn (g/rai)
Control	9.98 [d1/]	2.51 [e]	7.87 [e]	4.75 [f]	2.25 [e]	2.48 [e]	316.88 [e]	62.64 [d]	1.66 [d]	45.62 [c]
L	13.22 [c]	3.85 [d]	10.65 [d]	6.23 [e]	2.86 [d]	3.25 [d]	418.31 [d]	83.18 [c]	2.68 [c]	73.65 [b]
W	10.05 [d]	2.58 [e]	8.08 [e]	4.73 [f]	2.16 [e]	2.90 [de]	289.04 [e]	64.28 [d]	1.61 [d]	44.61 [c]
W+L	13.22 [c]	3.79 [d]	11.90 [d]	5.98 [e]	2.81 [d]	3.33 [d]	402.34 [d]	82.69 [c]	2.74 [c]	66.72 [b]
W+L+F	20.93 [a]	8.30 [a]	21.62 [a]	9.36 [b]	4.82 [a]	6.37 [b]	764.87 [a]	138.10 [a]	5.10 [a]	102.04 [a]
W+L+G	14.28 [c]	5.16 [c]	14.53 [c]	6.65 [d]	3.47 [c]	4.64 [cb]	542.76 [c]	107.98 [b]	3.08 [c]	74.68 [b]
W+L+G+½F	16.86 [b]	6.48 [b]	16.73 [b]	7.43 [c]	4.07 [b]	6.26 [b]	602.21 [b]	111.72 [b]	3.71 [b]	83.54 [b]
W+L+G+F	21.74 [a]	8.39 [a]	23.08 [a]	9.9 [a]	5.12 [a]	7.01 [a]	773.43 [a]	144.43 [a]	5.38 [a]	104.71 [a]
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C.V.(%)	6.6	14.5	8.6	4.0	7.6	9.1	6.3	9.3	8.4	14.5

หมายเหตุ: ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

1/ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

L ใส่ปูน ½ ของค่าความต้องการปูน W ใช้น้ำล้างดิน

F ใส่ปุ๋ยเคมี G ใส่ปุ๋ยพืชสด

3.2.2 ฟอสฟอรัส

จากการวิเคราะห์ปริมาณการดูดดึงฟอสฟอรัสในตอซัง พบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.74 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ปูน (L) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) และตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.67, 1.75 และ 2.54 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงฟอสฟอรัสในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 6.21 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่

ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.14 กิโลกรัมต่อไร่ แต่สูงกว่าในตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.84 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) มีค่าต่ำกว่าการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 3.82 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 18)

สำหรับปริมาณการดูดดึงฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.77 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.83 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2.18 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.17 กิโลกรัมต่อไร่ และพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.64 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.35 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 19)

เมื่อพิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดพบว่า ตำรับที่มีการใส่ปูนร่วมด้วยปริมาณการดูดดึงฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีหรือพืชปุ๋ยสดร่วมด้วยปริมาณการดูดดึงฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 8.39 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.30 กิโลกรัมต่อไร่ และพบว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.48 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่ากับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.16 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 20)

3.2.3 โพแทสเซียม

จากการวิเคราะห์ปริมาณการดูดดึงโพแทสเซียมในตอซังพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 6.54 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.44 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงโพแทสเซียม

เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 21.58 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.19 กิโลกรัมต่อไร่ และพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.57 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.50 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ทำให้ปริมาณการดูดดึงโพแทสเซียมในตอซังมีค่าสูงกว่าตำรับที่ใส่ปูน (L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.82 และ 11.01 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 18)

ส่วนปริมาณการดูดดึงโพแทสเซียมในเมล็ดข้าวพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.58 กิโลกรัมต่อไร่ การใช้น้ำล้างดิน (W) ทำให้ปริมาณการดูดดึงโพแทสเซียมในเมล็ดข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.64 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงโพแทสเซียมในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.50 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.43 กิโลกรัมต่อไร่ ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.16 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.03 กิโลกรัมต่อไร่ และพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนโดยไม่ใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L) ปริมาณการดูดดึงโพแทสเซียมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.89 กิโลกรัมต่อไร่ ต่ำกว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 19)

เมื่อพิจารณาปริมาณโพแทสเซียมที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 7.87 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.08 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ

23.08 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.63 กิโลกรัมต่อไร่ และพบว่าปริมาณการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมดในดินในตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.73 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.53 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ปริมาณการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมดในดินสูงกว่าตำรับที่ใส่ปูนเพียงอย่างเดียว (L) และตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.65 และ 11.90 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 20)

3.2.4 แคลเซียม

จากการวิเคราะห์ปริมาณการดูดดึงแคลเซียมในตอซังพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 4.55 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.57 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงแคลเซียมในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงแคลเซียมในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 9.44 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.95 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.06 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.36 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในขณะที่การดูดดึงแคลเซียมในตอซังในตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) มีค่าสูงกว่าในตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.69 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 18)

สำหรับปริมาณการดูดดึงแคลเซียมในเมล็ดข้าวพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดและเท่ากันกับตำรับตรวจสอบ (control) คือ 0.18 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงแคลเซียมในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยปริมาณการดูดดึงแคลเซียมในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.46 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการ

ใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.41 กิโลกรัมต่อไร่ และพบว่าในตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ปริมาณการดูดดึงแคลเซียมในเมล็ดข้าวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.37 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) แต่มีค่าสูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากันคือ 0.29 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณการดูดดึงแคลเซียมในเมล็ดข้าวในตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) (ตารางที่ 19)

เมื่อพิจารณาปริมาณแคลเซียมที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 4.73 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.75 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณแคลเซียมที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงแคลเซียมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 9.90 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.43 กิโลกรัมต่อไร่ ต่ำกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.36 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่พบว่าปริมาณแคลเซียมที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดสูงกว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.65 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในขณะที่ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ปริมาณแคลเซียมที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดสูงกว่าตำรับที่ใส่ปูน (L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.23 และ 5.98 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 20)

3.2.5 แมกนีเซียม

จากการวิเคราะห์ปริมาณการดูดดึงแมกนีเซียมในตอซังพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.78 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.86 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงแมกนีเซียมในตอซังเพิ่มขึ้น และพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงแมกนีเซียมใน

ตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.28 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 3.95 กิโลกรัมต่อไร่ และพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.39 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.83 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในขณะที่พบว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ปริมาณการดูดดึงแมกนีเซียมในตอซังมีค่าสูงกว่าตำรับที่มีการใส่ปูน (L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.30 และ 2.21 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 18)

สำหรับปริมาณการดูดดึงแมกนีเซียมในเมล็ดข้าวพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.38 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.39 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงแมกนีเซียมในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงแมกนีเซียมในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.87 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.84 กิโลกรัมต่อไร่ และพบว่าปริมาณการดูดดึงแมกนีเซียมในเมล็ดข้าวในตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.68 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่ใส่ปูนเพียงอย่างเดียว (L) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.56, 0.60 และ 0.63 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 19)

เมื่อพิจารณาปริมาณแมกนีเซียมที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 2.16 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.25 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณแมกนีเซียมที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณแมกนีเซียมที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 5.12 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.82 กิโลกรัมต่อไร่ และพบว่าปริมาณ

แมกนีเซียมที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดในตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.07 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่ใส่ปูนเพียงอย่างเดียว (L) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.86, 2.81 และ 3.47 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 20)

3.2.6 กำมะถัน

จากการวิเคราะห์ปริมาณการดูดดึงกำมะถันในตอซังพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.81 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.22 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงกำมะถันในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงกำมะถันในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 5.19 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.93 และ 4.74 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และพบว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.33 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่ใส่ปูนเพียงอย่างเดียว (L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.40 และ 2.49 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 18)

ส่วนปริมาณการดูดดึงกำมะถันในเมล็ดข้าวพบว่า การใส่ปูนไม่ทำให้ปริมาณการดูดดึงกำมะถันในเมล็ดข้าวแตกต่างกันทางสถิติ แต่การใส่ปูนร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดทำให้การดูดดึงกำมะถันในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.67 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใส่ปูน (L) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.84, 0.68 และ 0.84 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.82 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G) และตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.44, 1.31 และ 1.52 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ทางสถิติ และพบว่าการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) การใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G) และการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมี ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ไม่ทำให้ปริมาณกำมะถันที่ดูดดึงในเมล็ดข้าวแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 19)

เมื่อพิจารณาปริมาณกำมะถันที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 2.48 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.90 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยปริมาณการดูดดึงกำมะถันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณกำมะถันที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 7.01 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าทุกตำรับการทดลอง และพบว่าปริมาณกำมะถันที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดในตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.26 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.37 และ 4.64 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 20)

3.2.7 เหล็ก

จากการวิเคราะห์ปริมาณการดูดดึงเหล็กในตอซังพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 243 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 263 กรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงเหล็กในตอซังเพิ่มขึ้น และการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงเหล็กในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 634 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 632 กรัมต่อไร่ และพบว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ปริมาณการดูดดึงเหล็กในตอซังมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 488 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 455 กรัมต่อไร่ แต่มีค่าสูงกว่าตำรับที่ใส่ปูนเพียงอย่างเดียว (L) และที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 18)

ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณการดูดดึงเหล็กในเมล็ดข้าวพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 46 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53 กรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงเหล็กในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงเหล็กในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 139 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 133 กรัมต่อไร่ และพบว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ปริมาณการดูดดึงเหล็กในเมล็ดข้าวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 115 กรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่ใส่ปูน (L) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 79, 71 และ 88 กรัมต่อไร่ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 19)

เมื่อพิจารณาปริมาณเหล็กที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 289.04 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 316.88 กรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณเหล็กที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณเหล็กที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 773.43 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 764.87 กรัมต่อไร่ และพบว่าปริมาณเหล็กที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดในตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 602.21 กรัมต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 542.76 กรัมต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณเหล็กที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดในตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) และตำรับที่มีการใส่ปูน (L) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 402.34 และ 418.31 กรัมต่อไร่ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 20)

3.2.8 แมงกานีส

จากการวิเคราะห์ปริมาณการดูดดึงแมงกานีสในตอซังพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 53.35 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W)

ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.19 กรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงแมงกานีสในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงแมงกานีสในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 118.21 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 113.18 กรัมต่อไร่ และพบว่าการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 90.97 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 90.07 กรัมต่อไร่ แต่มีค่าสูงกว่าตำรับที่ใส่ปูน (L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 18)

ส่วนปริมาณการดูดดึงแมงกานีสในเมล็ดข้าวพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 9.29 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.09 กรัมต่อไร่ การจัดการดินโดยการใส่ปูน ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน ใส่ปุ๋ยเคมีและใส่ปุ๋ยพืชสดทำให้การดูดดึงแมงกานีสในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 26.22 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.92 กรัมต่อไร่ แต่สูงกว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.75 กรัมต่อไร่ ในขณะที่การใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ไม่ทำให้ปริมาณการดูดดึงแมงกานีสในเมล็ดข้าวแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.19 กรัมต่อไร่ (ตารางที่ 19)

เมื่อพิจารณาปริมาณแมงกานีสที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 64.28 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 62.64 กรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณแมงกานีสที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณแมงกานีสที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 144.43 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 138.10 กรัมต่อไร่ และพบว่าปริมาณแมงกานีสที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดในตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน

ร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) แต่มีค่าสูงกว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ตำรับที่ใส่ปูนอย่างเดียว (L) และตำรับที่ไม่ใส่ปูน (control และ W) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 20)

3.2.9 ทองแดง

จากการวิเคราะห์ปริมาณการดูดดึงทองแดงในตอซังพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.16 กรัมต่อไร่ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.23 กรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงทองแดงใน ตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีหรือใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยพืชสดทำให้ปริมาณการดูดดึงทองแดงในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.14 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.91 กรัมต่อไร่ และพบว่าการดูดดึงทองแดงในตอซังในตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) สูงกว่าตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 18)

ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณการดูดดึงทองแดงในเมล็ดข้าวพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.44 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.45 กรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงทองแดงในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณการดูดดึงทองแดงในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.24 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.19 กรัมต่อไร่ และพบว่าการดูดดึงทองแดงในเมล็ดข้าวในตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมี ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ในขณะที่การดูดดึงทองแดงในเมล็ดข้าวในตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) สูงกว่าตำรับที่ใส่ปูน (L) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 19)

เมื่อพิจารณาปริมาณทองแดงที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.61 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.66 กรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณทองแดงที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีหรือใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ปริมาณทองแดงที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 5.38 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.10 กรัมต่อไร่ และพบว่าปริมาณทองแดงที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดในตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณทองแดงที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดในตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยพืชสด (W+L+G) มีค่าสูงกว่าตำรับที่ใส่ปูน (L) ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 20)

3.2.10 สังกะสี

จากการวิเคราะห์ปริมาณการดูดดึงสังกะสีในตอซังพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 40.06 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.05 กรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้การดูดดึงสังกะสีในตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมด้วยทำให้การดูดดึงสังกะสีเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 94.95 กรัมต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 93.21 กรัมต่อไร่ ส่วนตำรับการทดลองอื่น ๆ ที่ใส่ปูนร่วมด้วย (L, W+L, W+L+G และ W+L+G+½F) การดูดดึงสังกะสีในตอซังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 18)

ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณการดูดดึงสังกะสีในเมล็ดข้าวพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 4.57 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.80 กรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้การดูดดึงสังกะสีในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมด้วยทำให้การดูดดึงสังกะสีเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 9.76 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ย

เท่ากับ 9.58 กรัมต่อไร่ และพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ทำให้การดูดดึงสังกะสีในเมล็ดข้าวสูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 19)

เมื่อพิจารณาปริมาณสังกะสีที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดพบว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 44.61 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับตรวจสอบ (control) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 45.62 กรัมต่อไร่ การใส่ปูนร่วมด้วยทำให้ปริมาณสังกะสีที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยตามค่าวิเคราะห์ดินทำให้ปริมาณสังกะสีที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยพบว่า ตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 104.71 กรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 102.04 กรัมต่อไร่ ส่วนตำรับการทดลองอื่น ๆ ที่ใส่ปูนร่วมด้วย (L, W+L, W+L+G และ W+L+G+½F) ปริมาณสังกะสีที่ข้าวดูดดึงจากดินทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 20)

4. ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

ผลการศึกษาการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดแบบบูรณาการโดยการใช้น้ำล้างดิน ใส่ปูน ใส่ปุ๋ยเคมี และใส่ปุ๋ยพืชสด เมื่อประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ พบว่า ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) ให้ผลผลิตและมูลค่าผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 532 กิโลกรัมต่อไร่ และ 6,384 บาทต่อไร่ ตามลำดับ ให้กำไรสุทธิเท่ากับ 2,624 บาทต่อไร่ ซึ่งต่ำกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ที่ให้ผลผลิตและมูลค่าผลผลิตเท่ากับ 521 กิโลกรัมต่อไร่ และ 6,252 บาทต่อไร่ ตามลำดับ แต่มีกำไรสุทธิสูงสุดถึง 2,887 บาทต่อไร่ ส่วนตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยเคมี ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ให้ผลผลิตและมูลค่าผลผลิตสูงถึง 433 กิโลกรัมต่อไร่ และ 5,196 บาทต่อไร่ ตามลำดับ แต่ให้กำไรสุทธิเพียง 1,701 บาทต่อไร่ ต่ำกว่าตำรับที่ไม่ใส่ปูน (control) ซึ่งให้กำไรสุทธิเท่ากับ 1,755 บาทต่อไร่ สูงกว่าตำรับที่ใส่ปูน (L) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ซึ่งให้กำไรสุทธิเท่ากับ 1,503, 1,655, 1,583 และ 1,438 บาทต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 แสดงผลการประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

กิจกรรม	ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อไร่ (บาท)							
	control	L	W	W+L	W+L+F	W+L+G	W+L+G+½ F	W+L+G+ F
1.ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อไร่ (บาท)	1,365	2,685	1,465	2,785	3,365	3,230	3,495	3,760
การเตรียมดิน (บาท)	540	540	540	540	540	810	810	810
การปลูก (บาท)	400	400	400	400	400	400	400	400
การดูแลรักษา (บาท)	100	100	200	200	250	300	300	300
การเก็บเกี่ยว (บาท)	250	250	250	250	250	250	250	250
ค่าวัสดุการเกษตร (บาท)	75	1,395	75	1,395	1,925	1,470	1,735	2,000
2. มูลค่าผลผลิตต่อไร่ (บาท)	3,120	4,188	3,120	4,368	6,252	4,668	5,196	6,384
ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)	260	349	260	364	521	389	433	532
ราคาข้าวเปลือก (บาทต่อกิโลกรัม)*	12	12	12	12	12	12	12	12
3. กำไรสุทธิต่อไร่ (บาท)	1,755	1,503	1,655	1,583	2,887	1,438	1,701	2,624
4. มูลค่าผลผลิตต่อค่าใช่จ่ายในการผลิตต่อไร่	2.29	1.56	2.13	1.57	1.86	1.45	1.49	1.70
5. กำไรสุทธิต่อค่าใช่จ่ายในการผลิตต่อไร่	1.29	0.56	1.13	0.57	0.86	0.45	0.49	0.70
6. กำไรสุทธิต่อมูลค่าผลผลิตต่อไร่	0.56	0.36	0.53	0.36	0.46	0.31	0.33	0.41

ที่มา: * ราคาข้าวเปลือก ณ วันที่ 20 มีนาคม 2552 (กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์, 2552)

หมายเหตุ: L ใส่ปูน ½ ของค่าความต้องการปูน W ใช้น้ำล้างดิน

F ใส่ปุ๋ยเคมี G ใส่ปุ๋ยพืชสด

จากการประเมินมูลค่าผลผลิตต่อค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อไร่พบว่า ทุกตำรับการทดลองมีมูลค่าผลผลิตสูงกว่าค่าใช้จ่ายในการผลิต โดยพบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.29 ใกล้เคียงกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.13 ส่วนตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) มีค่าสูงถึง 1.86 และ 1.70 ตามลำดับ ในขณะที่ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนใส่พืชสด (W+L+G) มีค่าต่ำสุดเพียง 1.45 ใกล้เคียงกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน

ร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.49 ต่ำกว่าตำรับที่ใส่ปูนเพียงอย่างเดียว (L) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.56 และ 1.57 ตามลำดับ (ตารางที่ 21)

สำหรับการประเมินกำไรสุทธิต่อค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อไร่พบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.29 ใกล้เคียงกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.13 สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ที่มีค่าสูงถึง 0.86 และ 0.70 ตามลำดับ ในขณะที่ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสด (W+L+G) มีค่าต่ำสุดเพียง 0.45 ใกล้เคียงกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.49 ต่ำกว่าตำรับที่ใส่ปูนเพียงอย่างเดียว (L) และตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.56 และ 0.57 ตามลำดับ (ตารางที่ 21)

เมื่อพิจารณากำไรสุทธิต่อมูลค่าผลผลิตต่อไร่พบว่า ตำรับตรวจสอบ (control) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.56 ใกล้เคียงกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดิน (W) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.53 สูงกว่าตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+F) และตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) ที่มีค่าเท่ากับ 0.46 และ 0.41 ตามลำดับ ในขณะที่ตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสด (W+L+G) มีค่าต่ำสุดเพียง 0.31 ใกล้เคียงกับตำรับที่ใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด (W+L+G+½F) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.33 ต่ำกว่าตำรับที่ใส่ปูนเพียงอย่างเดียว (L) และตำรับที่มีการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน (W+L) ซึ่งมีค่าเท่ากันคือ 0.36 และ 0.36 ตามลำดับ (ตารางที่ 21)

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการศึกษา

1. ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ

ชุดดินมูโนะเป็นดินที่มีศักยภาพเหมาะสมในการทำนามากกว่าปลูกพืชชนิดอื่น เนื่องจากมีสภาพพื้นที่ราบเรียบถึงราบลุ่ม เนื้อดินเป็นดินเหนียว มีการระบายน้ำเลวถึงเลวมาก แต่มีข้อจำกัดเนื่องจากปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดรุนแรงมาก จากผลการศึกษาพบว่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากมีค่า pH อยู่ในช่วง 3.83 - 3.98 ความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ค่อนข้างสูง มีค่าอยู่ในช่วง 3.01 - 3.14 และ 1.75 - 1.93 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 11) ซึ่งในดินที่มี pH ระหว่าง 3.5 – 5.5 ความเป็นกรดหรือความเข้มข้นของ H^+ ในสารละลายดินไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว (Okada *et al.,* 2003) ความเป็นพิษของอะลูมินัมเป็นปัจจัยหลักที่จำกัดการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชที่ปลูกในดินที่มี pH ต่ำกว่า 5.0 (Samac and Tesfaye, 2003) โดยพบว่าความเข้มข้นวิกฤตของอะลูมินัมที่เป็นพิษต่อข้าวมีค่าผันแปรอยู่ในช่วง 1.11 - 4.34 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม (ขึ้นกับสายพันธุ์ข้าว) (Fageria and Carvalho, 1982) ชุดดินมูโนะเป็นดินที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำมีค่าอยู่ในช่วง 1.93 - 2.03 กรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงโดยมีค่าอยู่ในช่วง 51.4 - 54.5 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 11) เนื่องจากในสภาพดินนาน้ำขังที่มี pH ต่ำ ไม่เหมาะสมต่อกิจกรรมการย่อยสลายอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์ดิน และไนโตรเจนที่ต้นข้าวดูดดึงไปใช้ส่วนใหญ่มาจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดิน (ทัศนีย์, 2531) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจึงมีความจำเป็นมากสำหรับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด เหล็กเป็นธาตุที่ละลายได้สูงมากในดินเปรี้ยวจัด จากการศึกษาพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 347 - 490 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 11) ระดับความเป็นพิษของเหล็กมีค่าผันแปรอยู่ในช่วง 10 - 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความเป็นพิษของเหล็กไม่ได้มีผลมาจากความเข้มข้นของเหล็กในสารละลายดินเพียงอย่างเดียว (Achim and Thomas, 2000) อาจมีค่าผันแปรขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ระยะการเจริญเติบโต และระดับธาตุอาหารที่พืชได้รับ ซึ่งจากการทดลองข้าวไม่แสดงอาการเป็นพิษเนื่องจากเหล็ก สำหรับปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินค่อนข้างต่ำโดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.89 - 2.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 11) ระดับแมงกานีสที่พอเหมาะต่อการปลูกข้าวมีค่าเฉลี่ยอยู่

ในช่วง 20 - 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Hsu and Chin, 1975) การที่มีอะลูมินัมและเหล็กละลายออกมามากทำให้ความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสสูงกว่าในดินโดยทั่วไป เนื่องจากออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ของธาตุเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสให้ไปอยู่ในรูปที่ตกตะกอนไม่ละลายน้ำ (สุมาลี, 2536) แต่เนื่องจากพื้นที่ที่ทำการทดลองเป็นพื้นที่ที่ใช้ในการทำนามาก่อนทำให้มีการตกค้างของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไป จึงพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ค่อนข้างสูงมีค่าอยู่ในช่วง 21.0 - 24.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 11) ดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะเป็นดินที่มีปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ โดยพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.056 - 0.062, 1.20 - 1.36 และ 0.20 - 0.22 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 11) ทั้งนี้เนื่องจาก Al^{3+} และ H^{+} ไล่ที่ K^{+}, Ca^{2+} และ Mg^{2+} ในสารประกอบเชิงซ้อนที่แลกเปลี่ยนได้ (exchange complex) ในดิน การสูญเสียธาตุเหล่านี้จากการถูกชะล้างจึงเกิดขึ้นได้ง่าย (มงคล, 2551) นอกจากนี้พบว่าชุดดินมูโนะมีจุลธาตุต่ำโดยเฉพาะสังกะสีที่สกัดได้อยู่ในระดับต่ำมากมีค่าอยู่ในช่วง 0.33 - 0.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 11) ซึ่งปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ข้าวชะงักการเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง (Achim and Thomas, 2000) สำหรับทองแดงที่สกัดได้มีค่าอยู่ในช่วง 0.50 - 0.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 11) ซึ่งอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว (Achim and Thomas, 2000)

การปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูนในอัตรา ½ ของค่าความต้องการปูน หรือใส่ในอัตรา 1,100 กิโลกรัม $CaCO_3$ ต่อไร่ ทำให้ดินมีค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 3.98 เป็น 5.03 และปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นจาก 1.19 เป็น 4.56 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 13) เนื่องจากในดินกรดจัดความเข้มข้นของ H^{+} ในสารละลายดินจะสัมพันธ์กับไฮโดรไลซีส (hydrolysis) ของ Al^{3+} เมื่อ H^{+} ในสารละลายดินถูกสะเทิน (neutralized) ไปเรื่อย ๆ จะก่อให้เกิดการตกตะกอนของ Al^{3+} เป็น $Al(OH)_3$ Ca^{2+}จะเข้าไล่ที่อะลูมินัมและดูดซับที่คอลลอยด์ของดินแทน ทำให้ค่า pH ของดินเพิ่มขึ้น (จงรักษ์, 2530) ความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงจาก 2.97 และ 1.25 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม เป็น 1.18 และ 0.68 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 13) สอดคล้องกับการศึกษาของ ทิพวรรณ และคณะ (2546) ที่พบว่าการใช้หินปูนบดในอัตรา 2.5 ตันต่อไร่ ร่วมกับปูนมาร์ลในอัตรา 1.5 ตันต่อไร่ ในดินเปรี้ยวจัดชุดดินรังสิตกรดจัดทำให้ค่า pH ของดินเพิ่มขึ้นจาก 2.96 เป็น 5.05 และทำให้ปริมาณอะลูมินัมที่สกัดได้ลดลงจาก 11.44 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม เป็น 2.35 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของค่า pH ของดินทำให้ความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง การใช้น้ำล้างดินเพียงอย่างเดียวไม่สามารถเพิ่มค่า pH และลดความเป็นกรดหรืออะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินได้มากนัก (ตารางที่ 13) ชัยวัฒน์ และคณะ (2541) รายงานว่า

การใช้น้ำชะล้างความเป็นกรดและสารพิษภายในดินในระยะแรกอาจไม่เห็นผลทันที ต้องมีการดำเนินการต่อเนื่องและเป็นการปฏิบัติเพื่อหวังผลระยะยาว การปรับปรุงดินโดยใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้หลังการทดลองเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 13) และการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยพืชสดทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุและธาตุอาหารพืช อาทิ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และกำมะถันในดินมีแนวโน้มสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว (ตารางที่ 13) เนื่องจากการใส่ปุ๋ยเคมีเป็นการเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมโดยตรงในดิน และธาตุฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่ถูกตรึงได้ง่ายจึงมีการตกค้างสะสมในดินสูงกว่าธาตุอาหารพืชชนิดอื่น ๆ การใส่ปุ๋ยพืชสดเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุโดยตรงให้กับดินและอินทรียวัตถุเป็นแหล่งให้ธาตุอาหารพืชโดยตรง โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน เนื่องจากอินทรียวัตถุในดินมีทั้งประจุลบและประจุบวกเป็นจำนวนมากทำให้ดินสามารถเก็บรักษาปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดินได้นานขึ้น ประจุบวกของอินทรียวัตถุจะจับกับ $H_2PO_4^-$ และสามารถปลดปล่อยให้พืชดูดดึงไปใช้ได้ทำให้ฟอสฟอรัสไม่ถูกตรึงโดยเหล็กและอะลูมินัมซึ่งพืชดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้ยาก ในสภาพดินกรดอนุภาคดินจะดูดซับ H^+ ไว้มาก การสูญเสียธาตุอาหารพืชประจุบวกอย่างธาตุโพแทสเซียมจากการถูกชะล้างจึงเกิดขึ้นได้ง่าย ประจุลบของอินทรียวัตถุจะช่วยดูดยึดธาตุอาหารพืชประจุบวกเหล่านี้ไว้ และพร้อมที่จะปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชในภายหลัง (มงคล, 2551)

2. ผลของการจัดการดินแบบบูรณาการต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ

ผลการศึกษาพบว่าการปรับปรุงดินโดยการใส่ปูนร่วมด้วยในอัตรา 1,100 กิโลกรัม $CaCO_3$ ต่อไร่ ทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น ความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินมีแนวโน้มสูงขึ้น (ตารางที่ 12 และ ตารางที่ 13) ทำให้ความสูงของต้นข้าวที่อายุ 40 วัน และความสูงก่อนเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นจาก 14.55 และ 61.10 เซนติเมตร เป็น 15.30 และ 63.10 เซนติเมตร ตามลำดับ น้ำหนักผลผลิตและน้ำหนักสดตอซังเพิ่มขึ้นจาก 260 และ 1,055 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 349 และ 1,245 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 14) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบลดลงจาก 20.61 เปอร์เซ็นต์ เป็น 17.23 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 15) สอดคล้องกับการศึกษารสมาลิน (2549) ซึ่งพบว่า การใช้ปูนในอัตรา 1.0 - 2.0 ตันต่อไร่ ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นจาก 372 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 400 - 500 กิโลกรัมต่อไร่ การใช้น้ำล้างดินเพียงอย่างเดียวไม่ทำให้การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้น แต่เมื่อดำเนินการควบคู่กับการใส่ปูนทำให้ผลผลิต

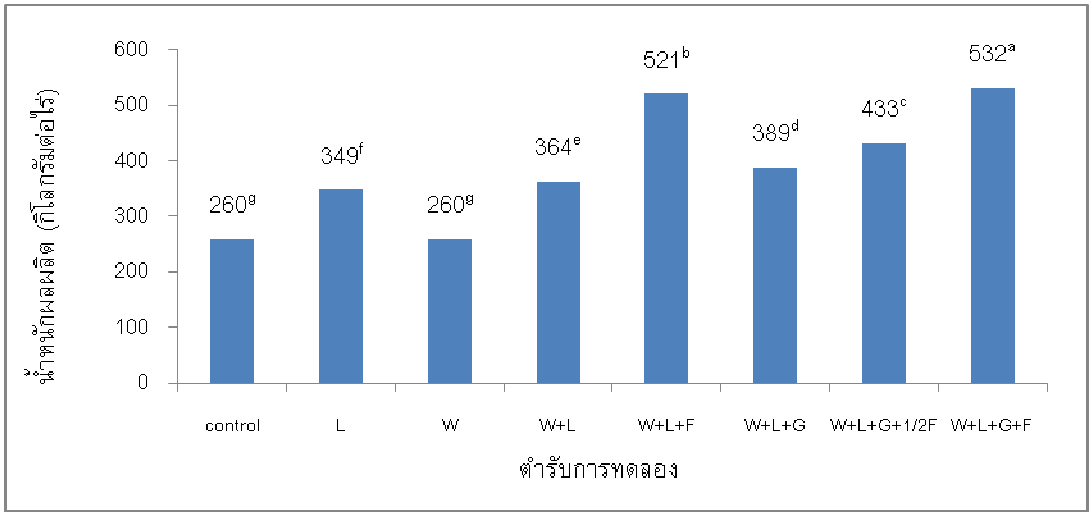
ข้าวเพิ่มขึ้นเป็น 364 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อเทียบกับการใส่ปูนเพียงอย่างเดียวที่ให้ผลผลิตเพียง 349 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 14)

การปรับปรุงดินโดยใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย ทำให้ผลผลิตข้าวและน้ำหนักสดตอซังเพิ่มขึ้นเป็น 389 และ 1,300 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวมีแนวโน้มลดลง (16.51 เปอร์เซ็นต์) (ตารางที่ 14) สอดคล้องกับการศึกษาของ ถาวร และคณะ (2549) ซึ่งรายงานว่า การใส่ปูน ½ ของค่าความต้องการปูนร่วมกับปุ๋ยพืชสดทำให้ข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินระแงะเพิ่มขึ้นจาก 219 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 376 กิโลกรัมต่อไร่ และทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวลดลงจาก 14.6 เปอร์เซ็นต์ เป็น 12.9 เปอร์เซ็นต์ การสลายตัวของปุ๋ยพืชสดทำให้เกิดกรดอินทรีย์และสารประกอบอินทรีย์บางชนิดที่เป็นสารคีเลตสามารถทำปฏิกิริยากับอะลูมินัม จึงป้องกันไม่ให้อะลูมินัมทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตรูปที่เป็นประโยชน์ในดินได้อีก เป็นการลดการตรึงฟอสฟอรัสในดินนาน้ำขังได้อีกทางหนึ่ง (ยงยุทธ และคณะ, 2551) ดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (ตารางที่ 10) การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยตามค่าวิเคราะห์ดินทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (ตารางที่ 14) สอดคล้องกับการศึกษาของ ถาวร และคณะ (2541) ที่พบว่า การใส่ปูนในอัตรา 1,100 กิโลกรัม $CaCO_3$ ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตรา 8-8-4 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ทำให้ข้าวพันธุ์ กข.21 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะให้ผลผลิตสูงถึง 427.60 กิโลกรัมต่อไร่ การปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสดทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสดทำให้ข้าวให้ผลผลิตสูงถึง 532 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 14) การใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุโดยตรงให้กับดิน ซึ่งทำให้ดินสามารถเก็บรักษาปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดินได้นานขึ้น (มงคล, 2551) การที่ดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะมีไนโตรเจน และโพแทสเซียมต่ำ (ตารางที่ 10) การใส่ปุ๋ยเคมีจึงจำเป็นต้องใส่มากกว่าในดินปกติ การปรับปรุงดินโดยการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยในอัตรา ½ ของค่าวิเคราะห์ดินแม้จะใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยยังคงทำให้การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยตามค่าวิเคราะห์ดิน (ตารางที่ 14)

3. ความเข้มข้นของธาตุอาหารในผลผลิตข้าวและการดูดดึง (total uptake) ธาตุอาหารของข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะ

การปรับปรุงดินโดยการใส่ปูนในอัตรา 1,100 กิโลกรัม $CaCO_3$ ต่อไร่ ทำให้ค่า pH และปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น ความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง (ตารางที่ 13) การ

ลดลงของอะลูมินัมทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินนาเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในรูป ของอะลูมินัมฟอสเฟตจะถูกปลดปล่อยให้ต้นข้าวดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น (ทัศนีย์, 2534) นอกจากนั้นยังทำให้ข้าวดูดดึงธาตุอื่น ๆ อาทิ ไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีไปใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 20) และทำให้ความเข้มข้นของธาตุเหล่านี้ในตอซังและในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (ตารางที่ 16 และ ตารางที่ 17) ส่งผลให้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 260 เป็น 349 กิโลกรัมต่อไร่ (รูปที่ 4) โดยมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบลดลงจาก 20.61 เปอร์เซ็นต์ เป็น 17.23 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 15) ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นถือว่าค่อนข้างต่ำและเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบก็ยังคงค่อนข้างสูง เนื่องจากปริมาณปูนที่ใส่อาจน้อยเกินไปจึงไม่เพียงพอที่จะยกระดับ pH ของดินให้สูงขึ้นในระดับที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวได้ โดยยกระดับ pH ของดินได้เพียง 5.03 (ตารางที่ 13) ซึ่งค่าที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวอยู่ระหว่าง 5.5 - 6.5 (พจนีย์, 2544) การปรับปรุงดินโดยการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้การดูดดึงธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก และแมงกานีสจากดินของต้นข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 20) ทำให้ความเข้มข้นของธาตุดังกล่าวในตอซังเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 16) และทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส และทองแดง ในเมล็ดเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 17) ส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (ตารางที่ 14) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 15) อินทรียวัตถุนอกจากเป็นแหล่งให้ธาตุอาหารพืชโดยตรงแล้วยังเป็นตัวควบคุมสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และทางชีวภาพของดินด้วย



รูปที่ 4 น้ำหนักผลผลิตของข้าวที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้กระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุที่เกิดขึ้นในดินจะให้สารอินทรีย์บางชนิดออกมา เช่น สารฟีโนลิก (phenolic) ซึ่งสามารถดูดซับอะลูมินัมไอออนทำให้ความเป็นพิษของอะลูมินัมในดินลดลง พืชสามารถดูดธาตุอาหารไปใช้ได้มากขึ้น จากการศึกษาพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยเป็นวิธีที่ดีที่สุดในแง่ของการปรับปรุงบำรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำให้ระดับธาตุอาหารในดินสูงกว่าทุกตำรับการทดลอง (ตารางที่ 13) ส่งผลให้ข้าวดูดดึงธาตุอาหารจากดินได้ดีที่สุด (ตารางที่ 20) ความเข้มข้นของธาตุอาหารในตอซังและในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 16 และ ตารางที่ 17) ส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุดถึง 532 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 14 และ รูปที่ 4) และเนื่องจากดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะเป็นดินที่มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่ำ (ตารางที่ 11) การใส่ปุ๋ยเคมีจึงเป็นสิ่งจำเป็นและการใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วยทำให้ดินสามารถเก็บรักษาปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดินได้นานขึ้น (มงคล, 2551)

4. ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

จากการประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ พบว่า การปลูกข้าวในดินเปรี้ยวจัดโดยไม่มีการจัดการใด ๆ (control) พบว่า ได้กำไรสุทธิถึง 1,755 บาทต่อไร่ การปรับปรุงดินโดยการใส่ปูน (L) ถึงแม้จะทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นแต่มีค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อปูนเพิ่มขึ้น ทำให้กำไรสุทธิที่ได้ลดลงเป็น 1,503 บาทต่อไร่ (ตารางที่ 21) การใช้น้ำล้างดินเพียงอย่างเดียว (W) ไม่ทำให้ผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตำรับตรวจสอบ (control) แต่ค่าใช้จ่ายในการดูรักษาเพิ่มขึ้นกำไรสุทธิที่ได้จึงลดลงเป็น 1,655 บาทต่อไร่ (ตารางที่ 21) ซึ่งสูงกว่าการปรับปรุงดินโดยการใส่ปูน การปรับปรุงดินโดยการใส่ปุ๋ยพืชสด (W+L+G) ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นน้อยมาก (364 กิโลกรัมต่อไร่) เมื่อเทียบกับตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L) (349 กิโลกรัมต่อไร่) ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการไถ สับ กลบ และค่าเมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้นทำให้ได้กำไรสุทธิเพียง 1,438 บาทต่อไร่ (ตารางที่ 21) อย่างไรก็ตามการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดโดยบูรณาการวิธีการปรับปรุงดินร่วมกันโดยการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน (W+L+F) เป็นวิธีที่ให้กำไรสุทธิสูงสุดถึง 2,887 บาทต่อไร่ การใช้ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G+F) ถึงแม้จะให้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น แต่ค่าใช้จ่ายในการไถ สับ กลบ และค่าเมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้น ทำให้ได้กำไรสุทธิลดลงเป็น 2,624 บาทต่อไร่ แต่เมื่อเทียบกับผลผลิตที่เพิ่มขึ้น (532 กิโลกรัมต่อไร่) ถือว่าคุ้มค่ากับการลงทุน ส่วนวิธีการลดการใช้ปุ๋ยเคมีเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดินโดยใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมด้วย (W+L+G+ ½ F) ถึงแม้ว่าจะให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (433 กิโลกรัมต่อไร่) เมื่อเทียบกับตำรับตรวจสอบ (260 กิโลกรัมต่อไร่) แต่ค่าใช้จ่ายในการ

ไถ สับ กลบ เพิ่มขึ้น การลดปริมาณปุ๋ยเคมีลงเหลือครึ่งหนึ่งของค่าวิเคราะห์ดินช่วยลดค่าใช้จ่ายได้น้อยมาก เพราะปุ๋ยเคมีมีราคาค่อนข้างสูง ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มขึ้น (3,495 บาทต่อไร่) จึงทำให้ได้กำไรสุทธิเพียง 1,701 บาทต่อไร่ ต่ำกว่าในตำรับตรวจสอบ การปรับปรุงโดยการใส่ปูนเพียงอย่างเดียว และการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูน ถึงแม้จะทำให้ข้าวให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 349 และ 364 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ค่าใช้จ่ายในการจัดการดินตามวิธีการดังกล่าวก็เพิ่มด้วยเช่นกัน (2,685 และ 2,785 บาทต่อไร่) ทำให้ได้กำไรสุทธิลดลง (1,503 และ 1,583 บาทต่อไร่) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยเคมียังคงมีความจำเป็นต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด

ในส่วนของการประเมินมูลค่าผลผลิตต่อค่าใช้จ่ายในการผลผลิต กำไรสุทธิต่อค่าใช้จ่ายในการผลผลิต และกำไรสุทธิต่อมูลค่าผลผลิต ซึ่งเป็นข้อมูลที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพต่อหน่วยของผลตอบแทนในการลงทุน พบว่าตำรับตรวจสอบมีค่าสูงสุด (2.29, 1.29 และ 0.56 ตามลำดับ) แสดงถึงประสิทธิภาพการลงทุนที่ต่ำแต่ได้กำไรสุทธิหรือมูลค่าผลผลิตต่อหน่วยลงทุนที่สูง อาจเป็นข้อมูลในการพิจารณาถึงกรณีที่เกษตรกรขาดการสนับสนุนปัจจัยการผลผลิต เช่น วัสดุปูน หรือปุ๋ยต่าง ๆ จากหน่วยงานภาครัฐ หรือเกษตรกรมีเงินทุนมากเป็นของตนเองการจัดการดินโดยมีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้วัสดุปูนและปุ๋ยพืชสดน่าจะเป็นการจัดการที่เหมาะสม เนื่องจากได้กำไรสุทธิสูงและทำให้สมบัติของดินมีความเหมาะสมในการปลูกข้าวอย่างต่อเนื่อง ในกรณีที่มีการใส่ปุ๋ยพืชสดและมีผลทำให้ข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะเพิ่มขึ้น แต่มีกำไรสุทธิต่อไร่ต่ำสุดนั้น เกษตรกรควรพิจารณาถึงวิธีการจัดการดินกรดจัดโดยอาจงดการใช้ปุ๋ยพืชสดในบางพื้นที่เพื่อประหยัดต้นทุนในการผลิต และเมื่อมีการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวติดต่อกันเป็นเวลาหลายปีซึ่งมีผลทำให้สมบัติของดินบางประการเสื่อมลง จึงควรใช้ปุ๋ยพืชสดร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อปรับปรุงสมบัติของดินให้มีความเหมาะสมในการปลูกข้าวต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการจัดการดินเปรี้ยวจัดเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวโดยการใช้น้ำล้างดิน ใส่ปูน ใส่ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยพืชสดในชุดดินมูโนะ สรุปได้ดังนี้

1. การปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดโดยการใส่ปูน ทำให้ค่า pH ของดินเพิ่มขึ้น ความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง ส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นและมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบลดลง

2. การใช้น้ำล้างดินเพียงอย่างเดียวไม่สามารถเพิ่ม pH และลดความเป็นกรดและอะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินได้ แต่เมื่อดำเนินการควบคู่กับการใส่ปูนทำให้ผลผลิตข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

3. การใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยพืชสด ต้นข้าวมีการดูดดึงธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมจากดินเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในตอซังเพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบมีแนวโน้มลดลง

4. การใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยพืชสด ต้นข้าวมีการดูดดึงธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมจากดินเพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงในตอซังและเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงถึง 532 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบลดลงอย่างชัดเจน จึงน่าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดในแง่ของการปรับปรุงบำรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว

5. จากการประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ พบว่า การปลูกข้าวในดินเปรี้ยวจัดโดยไม่มีการจัดการใด ๆ ได้กำไรสุทธิถึง 1,755 บาทต่อไร่ การปรับปรุงดินโดยการใส่ปูนถึงแม้จะทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นแต่มีค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อปูน ทำให้กำไรสุทธิลดลง (1,503 บาทต่อไร่) การใช้น้ำล้างดินเพียงอย่างเดียวมีกำไรสุทธิเพียง 1,655 บาทต่อไร่ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการดูรักษาเพิ่มขึ้น การปรับปรุงดินโดยการใส่ปุ๋ยพืชสดทำให้มีค่าใช้จ่ายการในการไถ สับ กลบ และค่าเมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้น จึงได้กำไรสุทธิเพียง 1,438 บาทต่อไร่ การบูรณาการวิธีการปรับปรุงดินร่วมกันโดยการใช้น้ำล้างดินควบคู่กับการใส่ปูนและปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน เป็นวิธีที่ให้กำไรสุทธิสูงสุดถึง 2,887 บาทต่อไร่ จึงน่าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดในแง่ของการให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

เอกสารอ้างอิง

กรมการค้าภายใน. 2552. ราคาข้าวเปลือก ณ วันที่ 20 มีนาคม 2552. กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์. (ออนไลน์). ที่มา: http://www.ditt.go.th/ (วันที่สืบค้น 2 มีนาคม 2552).

กรมการข้าว. 2553. ลักษณะประจำพันธุ์ของข้าว. สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (ออนไลน์). ที่มา: http://www.riceproduct.org/ (วันที่สืบค้น 25 เมษายน 2553).

กรมพัฒนาที่ดิน. 2523. คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการเล่มที่ 28. กรุงเทพฯ: กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2547ก. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2547ข. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน เล่มที่ 1 ดินบนพื้นที่ราบต่ำ. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2549. ดินมีปัญหาของประเทศไทย เอกสารทางวิชาการเผยแพร่. กรุงเทพฯ: สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุมพล ยูวะนิยม. 253□.การศึกษาอิทธิพลของการใช้ปูนร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟตอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อปรับปรุงผลผลิตข้าวในดินเปรี้ยวจัด. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จงรักษ์ จันเจริญสุข. 2530. เคมีของดิน. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จำเป็น อ่อนทอง. 2550. การวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา: ภาวิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชาลี นาวานุเคราะห์. 2526. การจำแนกดินระบบอนุกรมวิธานของประเทศไทย. *ใน* รายงานประจำปี 2526. หน้า □82-202 . กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ชัยวัฒน์ สิทธิบุศย์, ปัญญา เอี่ยมอ่อน, อำนาจ บุญสม และอดิสร มะสาแม. 2530. ศึกษาการใช้หินปูนฝุ่นในการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะเพื่อปลูกข้าว. *ใน* รายงานผลการค้นคว้าวิจัยปี 2530 หน้า 34-42. นราธิวาส: โครงการศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.

ชัยวัฒน์ สิทธิบุศย์, พิสุทธิ์ วิจารสรณ์, ปัญญา เอี่ยมอ่อน, พจนีย์ มอญเจริญ, อภิชาต จงสกุล และถาวร มีชัย. 254□.ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดของดินกรดกำมะถัน ตอนที่ 2. *ใน* ผลการวิจัย/ทดสอบ การพัฒนาพื้นที่พรุจังหวัดนราธิวาส. หน้า 2-24. นราธิวาส: โครงการศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.

ถาวร มีชัย, ปัญญา เอี่ยมอ่อน และอวยพร สุวรรณรัตน์. 254□.การศึกษาการใช้หินฟอสเฟตในการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดชุดดินมูโนะเพื่อการปลูกข้าว. *ใน* ผลการวิจัย/ทดสอบ การพัฒนาพื้นที่พรุจังหวัดนราธิวาส. หน้า 56-69. นราธิวาส: โครงการศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.

ถาวร มีชัย. 2549. การจัดการดินเปรี้ยวจัดเพื่อปลูกข้าวโดยใช้วัสดุปูน ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์. 253□ดินที่ใช้ปลูกข้าว. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์. 2534. ดินที่ใช้ปลูกข้าว. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และประทีป วีระพัฒนนิรันดร์. 2552. คู่มือสำหรับเกษตรกรยุคใหม่ ธรรมชาติของดินและปุ๋ย. กรุงเทพฯ: โครงการความร่วมมือผลิกฟื้นผืนดินเกษตรไทย.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์, พจนีย์ มอญเจริญ, พิสุทธิ์ วิจารสรณ์, และไพบูลย์ ประพฤติธรรม. 2539. รายงานการวิจัย เรื่อง ศักยภาพการให้ผลผลิตพืชของดินกรดจัดและดินพีทในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทิพวรรณ อิทรโสตถิ, นิตยาพร ตันมณี, สุวรรณี ภูธรทราช, บรรเจิดลักษณ์ จินตฤทธิ์ และศวรรณา ลชิตาวงค์. 2546. การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินและน้ำหลังการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดในแปลงทฤษฎีใหม่ มูลนิธิชัยพัฒนา อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก. กรุงเทพฯ: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นงคราญ มณีวรรณ และจุมพล ยูวนิยม. 2545. การศึกษาวิธีวิเคราะห์การจัดการดินเปรี้ยวจัดสามชั้นความเหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดภาคกลาง. กรุงเทพฯ: กลุ่มปรับปรุงดินเปรี้ยวและดินอินทรีย์ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นงคราญ มณีวรรณ และนัฐพล สุขกันตะ. 2548. ผลของปุ๋ยอินทรีและปุ๋ยเคมีในการจัดการดินเปรี้ยวจัดกลุ่มชุดดินที่ □0 ชุดดินองครักษ์ สำหรับการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี □กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นพรัตน์ ม่วงประเสริฐ, องอาจ ธีระโสภณ, วิวัฒน์ สิงคะประดิษฐ์, ลัดดาวรรณ กรรณนุช และจินตนา หัสวายุกุล. 2547. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ประชา นาคะประเวศ. 2537. ปุ๋ยพืชสด. เอกสารวิชาการปุ๋ยชีวภาพและพืชบำรุงดิน กลุ่มดินและพืชปุ๋ยไร่นา. กรุงเทพฯ: สถาบันการพัฒนาและส่งเสริมการผลิต กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ประชา นาคะประเวศ, ปรัชญา ธัญญาดี และพิรัชฌา วาสนานุกูล. 2540. ปุ๋ยพืชสด. *ใน* คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง การปรับปรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ. หน้า 27-44. กรุงเทพฯ: กลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พจนีย์ มอญเจริญ. 2544. เอกสารวิชาการ การใช้ข้อมูลผลวิเคราะห์ดินเพื่อปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ย. กรุงเทพฯ: กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิสุทธิ์ วิจารสรณ์, ชัยวัฒน์ สิทธิบุศย์, อภิชาต จงสกุล, ถาวร มีชัย, สายหยุด ภักดีสุวรรณ์, เจริญ ศิริอุดมภาส, สมจิต อินทรมณี, สามารถ เดี่ยวทิพย์สุคนธ์, นวลศรี กาญจนกูล สุพร บุญประดับ, และพจนีย์ มอญเจริญ. 2536. คู่มือการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดเพื่อการเกษตร. นราธิวาส: โครงการศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.

มงคล ตั๊ะอุ่น. 255 ลดการใช้ปุ๋ยเคมีด้วยปุ๋ยอินทรีย์: เพื่อใช้พื้นดินให้ผลผลิตอย่างยั่งยืน. การประชุมสัมมนา “ทางรอดเกษตรกรไทยสู่ทางเลือกการผลิตและใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี”. วันที่ 8 พฤษภาคม 255 ณ โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ.

เมธิน ศิริวงศ์ และสุรชัย สุวรรณชาติ. 2548. ผลของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีในการจัดการดินเปรี้ยวจัดกลุ่มชุดดินที่ ชุดดินรังสิต สำหรับการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี . กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถดิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 255 ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โยธิน คนบุญ. 2542. ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

รสมาลิน ณ ระนอง. 2549. การพัฒนาพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดแบบบูรณาการเพื่อการเกษตรในพื้นที่ตำบลแหลม อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช. การเสนอผลงานทางวิชาการกรมพัฒนาที่ดินประจำปี 2549. ณ โรงแรมหินสวยน้ำใส อำเภอแกลง จังหวัดระยอง. 7-9 กรกฎาคม 2549. หน้า 2/3-1.

รสมาลิน ณ ระนอง และศักดา รักชนะ. 2548. ผลของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีในการจัดการดินเปรี้ยวจัดกลุ่มชุดดินที่ 2 ชุดดินอยุธยา สำหรับการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วุฒิชาติ ศิริช่วยชู. 2550. ฐานข้อมูลดินภาคใต้เพื่อการพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วุฒิชาติ ศิริช่วยชู, พิสุทธ์ วิจารสรณ์, ปุญญะ เผ่าศรีทองคำ และณรงค์ ตรีสุวรรณ. 2533. การกำหนดลักษณะและวินิจฉัยความเหมาะสมของดินในภาคใต้และพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก. เอกสารวิชาการฉบับที่ 290. กรุงเทพฯ: กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สายใจ กิ้มสงวน. 2549. การเพิ่มความเป็นประโยชน์ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสและการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวโดยใช้จุลินทรีย์จากดินกรดจัด. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. 25[illegible] เคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดินนา. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. 2520. ดินกรดจัดของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: โครงการวิจัยดินและปุ๋ย ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุมาลี สุทธิประดิษฐ์. 2536. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. สงขลา: ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุรชัย หมื่นสังข์. 2534. ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปูนมาร์ลและหินฟอสเฟตต่อปริมาณธาตุอาหารที่สกัดได้ การเจริญเติบโตและผลิตข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดสามชั้นความเหมาะสม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.

โสภณ จันทร์เจริญสุข, บรรเจิดลักษณ์ จินตฤทธิ์, จุมพล ยูวะนิยม และเจริญ เจริญจำรัสชีพ. 2543. รายงานผลการวิจัย เรื่อง ประสิทธิภาพของปุ๋ยฟอสเฟตร่วมกับปูนมาร์ลต่อดินชุดรังสิตและรังสิตกรดจัดในระบบการปลูกข้าว-ถั่วพุ่ม. กรุงเทพฯ: กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2540. รายงานผลการศึกษาโครงการแกล้งดิน. นราธิวาส: ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 255□.สถานการณ์ข้าวปี 255□.สำนักนโยบายและแผนพัฒนาการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (ออนไลน์). ที่มา: http://www.oac.th (วันที่สืบค้น 29 ตุลาคม 2552).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. สถานการณ์ข้าวปี 2552.สำนักนโยบายและแผนพัฒนาการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (ออนไลน์). ที่มา: http://www.oac.th (วันที่สืบค้น 25 เมษายน 2553).

Achim, D. and F. Thomas. (2000) Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management. International Rice Research Institute and Potash & Phosphorus Institute/Potash & Phosphorus Institute of Canada.

Attanandana, T. □97□. Amelioration of Acid Sulphate Soil. M.S. Thesis. The College of Agriculture University of Philippines, Los Banos, Laguna, Philippines.

Attanandana, T. □982. Fertilizer Problem of Acid Sulphate Soils of Thailand. Ph.D. Thesis. Kyoto University. Kyoto Japan.

Attanandana, T. and S. Vacharotayan. 1998. Chemical characteristics and fertility status of acid sulphate soils of Thailand. *In* Proc. Int. Symp. on Acid Sulphate Soils, Bangkok, Thailand, Jan. 18-24, 1988, pp. 37-56.

Benckiser, G., J.C.G. Ottow, S. Santiago and I.L. Watanabe. 1982. Physiochemical characterization of iron-toxic soils in some Asian countries. IRRI Res. Paper series No. 85. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Laguna, Philippines.

Bouldin, D.R. 1987. Effect of green manure on soil organic matter content and nitrogen availability. *In* Proceeding of a symposium on sustainable agriculture. The rule of green manure crop rice farming system. pp. 15 - 64. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Philippines.

Brinkman, R. and L.J. Pons. 1973. Recognition and prediction of acid sulfate soil conditions. *In* Acid Sulfate Soils. Proc. Int. Symp. ILRI. 18, Vol.I. pp. 169-203. Wageningen, Netherlands.

Broomfield, S.M. and E.G. Williams. 1963. An extimation of the biological reduction method for estimating active iron in soils. J. Soil Sci. 14 : 346-359.

Cate, R.B. and A.P. Sukhai. 1964. A Study of aluminum in rice soils. Soil Sci. 98: 85-93.

Delhaize, E., P.R. Ryan and P.J. Randall. 1993. Aluminum tolereance in wheat (*Triticum aestivam* L.) II. Aluminum-stimulated excretion of malic acid from root apices. Plant Physiol. 103: 695-702.

Fageria, N.K. 1985. Influence of Aluminum in nutrient solutions on chemical-composition in 2 rice cultivars at different growth-stages. Plant and Soil 85: 423-429.

Fageria, N.K. and J.R.P. Carvalho. 982. Influence of aluminum in nutrient solution on chemical composition in upland rice cultivars. Plant and Soil 69: 3 -44.

Foy, C.D. 988. Plant adaptation to acid, aluminum-toxicity soils. Comunications in Soil Science and Plant Analysis 9: 959-987.

Gargova, S. and M. Sariyska. 2003. Effects of culture condition on the biosynthesis of *Aspergillus niger* phytase and acid phosphatase. Enzyme Microp. Technol. 32 : 23 -235.

Hoyt, P.B. and M. Nyborg. 97 .Toxic metals in acid. I. Estimation of plant-available aluminum. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35: 236-240.

Hsu, S.C. and T.F. Chin. 975. Effects of some minor elements on the nursery bed of rice plants. II Effects of minor elements on rice seedlings. J. Agr. Res. 7: -6.

International Rice Research Institute. 964. Annual Report 964. Int. Rice. Res. Inst., Los Banos, Laguna, Philippines.

International Rice Research Institute. 98 .Annual Report 98 .Int. Rice. Res. Inst., Los Banos, Laguna, Philippines.

Ishikawa, S., T. Wagatsuma, R. Sasaki and P. Ofei-Manu. 2000. Comparision of the amount of citric and malic acids in Al media of seven plant species and two cultivars each in five plant species. Soil Sci. and Plant Nutr. 46: 75 -758.

Jan, F. and S. Pettersson. 995. Aluminum sentivity of 2 upland rice cultivars at various levels of nutrient supply. J. Plant Nutr. 8: 323- 335.

Jan, F., K. Yamashita, H. Matsumoto and M. Maeda. 200□. Protein and peroxidase changes in various root-cell fractions of two upland rice cultivars differing in Al tolerance. Environmental and Experimental Botany 46: □4 - □46.

Jo, J., Y.S. Jang, K.Y. Kim, M.H. Kim, I.J. Kim and W.I. Chung. □997. Isolation of *ALU1-P* gene encoding a protein with aluminum tolerance activity from *Arthrobacter viscosus.* Biochem. Biophys. Res. Commun. 239: 835-839.

Kawaguchi, K. and K. Kyuma. □979. Low Land Rice Soils in Thailand Report on Research in Southeast Asia. Natural Science. Series N-4. The Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University, Kyoto, Japan.

Kevie, W. and B. Yenmanas. □972. Detailed reconnaissance soil survey of southern Central Plain Area. *In* Influences of Phosphate and Potassium Fertilizers on the Growth and Yield of Rice in the Bangkok Plain. pp. □2. S. Sassanarakkit (ed.). M.S. thesis. Kasetsart University, Bangkok.

Kochian, L.V., O.A. Hoekenga and M.A. Pineros. 2004. Machanism of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. Annual Review of Plant Biology 55: 459-493.

Kochian, L.V., M.A. Pineros and O.A. Hoekenga. 2005. The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. Plant and soil 274: □75- □95.

Ma, J.F. and S. Hiradate. 2000. Form of aluminum for uptake and translocation in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). Planta 2□□: 355-360.

Ma, J.F., P.R. Ryan and E. Delhaize. 200□. Aluminum tolerance in plants and the complexing role of organic acids. Trends in Plant Science 6: 273-278.

Magboul, A.A. and L.H. McSweeney. 1998. Purification and characterization of an acid phosphatase from *Lactobacillus plantarum* DPC2739. Food Chem. 65: 15-22.

Marschner, H. 1991. Machanisms of adaptation of plants to acid soils, In: Wright, R.J., V.C. Baligar and R.P. Murrmann (Eds.), Plant-Soil Interactions at Low pH. Kluwer Acadamic Publishers, Netherland. pp. 683-702.

McCart, G.D. and E.J. Kamprath. 1965. Supplying Ca and Mg for cotton on sandy, low cation exchange capacity soil. Agron. J. 57: 404-406.

Motomura, S. 1962. Effect of organic matters on the formation of ferrous iron in soils. Soil Sci. and Plant Nutr. 8: 20-28.

Osborne, J.F. 1985. End of assignment report on technical assistance to the acid sulphate soils improvement project. Vol. I. Department of Land Development, Ministry of Agriculture and Cooperative, Thailand.

Ottow, J.C.G., G. Benckiser and I. Watanabe. 1981. Iron toxicity of rice as a multiple nutritional soil stress, *In* Proc. Int. Symp. On Distribution Characterization and Utilization of Problem Soils, pp. 167-179. Trop. Agric. Res. Center, Japan.

Patrick, W.H., Jr. and F.T. Turner. 1968. Effect of redox potential on manganese transformation in waterlogged soil. Nature 220: 476-478.

Ponnamperuma, F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron. 24: 29-96.

Ponnamperuma, F.N. 1978. Electrochemical changes in submerged soils and the growth of rice. *In* Soils and Rice, pp. 421-441. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Philippines.

Ponnamperuma, F.N. 98 . Some aspects of physical chemistry of paddy soils. *In* Proc. of Symp. On Paddy Soil Institute of Soil Science, Acadamis Sinica.

Ponnamperuma, F.N., E.M. Tianco and T.A. Loy. 967. Redox equilibria in flooded soil. I. The iron hydroxides systems. Soil Sci. 03: 374-382.

Pons, L.J. and W. van der Kevie. 969. Acid sulfate soils in Thailand; studies on the morphology, genesis, and agricultural potential of soils with cat-clay, Soil Survey Reports No. 8 - 969, Department of Land Development, Bangkok, Thailand.

Samac, D.A. and M. Tesfaye. 2003. Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils: a review. Plant Cell Tissue and Organ Culture 75: 89-207.

Sivaguru, M. and K. Palival. 993. Defferential aluminum tolerance in some tropical rice cultivars. II Machanism of aluminum tolerance. J. Plant Nutr. 6: 7 7- 732.

Tadano, T. 975. Devices of rice roots to tolerate high iron concentration in growth media. JARAQ 9: 36-39.

Tadano, T. and S. Yoshida. 978. Chemical changes in submerged soils and their effect on rice growth. *In* Soil and Rice, pp. 399-420. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Laguna, Philippines.

Tanaka, A. And S. A. Navasero., 966. Aluminum toxicity of the rice plant under water culture conditions. Soil Sci. and Plant. Nutr. 2: 9- 4.

Tanaka, A. and S. Yoshida. 970. Nutritional Disorders of Rice Plant in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Laguna, Philippines.

Thawornweng, N. and A. van Diest. 1974. Influence of high acidity and aluminum on the growth of lowland rice. Plant and Soil 41: 41-59.

van Breemen. 1982. Genesis, morphology and classification of acid sulfate soils in coastal plains. Soil Sci. Soc. Amer. Spec. Publ. No. 10, 95-108.

van Breemen and L.J. Pons. 1978. Acid sulfate soils and rice. *In* Soils and Rice, pp.739-762. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Philippines.

van Breemen and F.R. Moormann. 1978. Iron-Toxic soils. Soils and Rice. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Laguna, Philipines.

Ventura, W. and I. Watanabe. 1993. Green manure production of *Azalla mocrophylla* and *Sesbania rostrata* and long-term effect of rice yield and soil fertility. Biology and Fertility of Soils. 15: 241-248.

Watanabe, T. and M. Osaki. 2002. Machanism of adaptation to high aluminum condition in native plant species growing in acid soils: A review. Comunications in Soil Science and Plant Analysis 33: 1247-1260.

Yamada, N. and Y. Ota. 1961. Effect of water percolation on physiological activity of rice root. Proc. Crop Sci. Soc. 29: 404 408.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสายหยุด เพ็ชรสุข

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5010620032

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2533

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ

สถานที่ทำงาน ส่วนวิเคราะห์ดินสพข.12 ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองฯ ต.กะลุวอเหนือ อ.เมือง จ.นราธิวาส