รูปแบบการจัดการน้ำและชนิดของดินที่มีผลต่อฟอสฟอรัส อนินทรีย์ฟอสฟอรัสและจุลธาตุในดินปลูกข้าว

ณฐมณ กันธิยะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2558

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์

ชื่อเรื่อง

รูปแบบการจัดการน้ำและชนิดของดินที่มีผลต่อฟอสฟอรัส

อนินทรีย์ฟอสฟอรัสและจุลธาตุในดินปลูกข้าว

โดย

ณฐมณ กันธิยะ

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภธิดา อ่ำทอง)

วันที่ 4 เดือน ส.ค. พ.ศ. 2558

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อานัฐ ตันโช)

วันที่ 4 เดือน ส.ค. พ.ศ. 2558

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เรืองชัย จูวัฒนสำราญ)

วันที่ 4 เดือน ส.ค. พ.ศ. 2558

ประธานอาจารย์ประจำหลักสูตร .....

(อาจารย์ ดร.วีณา นิลวงค์)

วันที่ 4 เดือน ส.ค. พ.ศ. 2558

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จาตุพงศ์ วาฤทธิ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 4 เดือน ส.ค. พ.ศ. 2558

ชื่อเรื่อง รูปแบบการจัดการน้ำและชนิดของดินที่มีผลต่อฟอสฟอรัส อนินทรีย์ฟอสฟอรัสและจุลธาตุในดินปลูกข้าว

ชื่อผู้เขียน นางสาวณฐมณ กันธิยะ

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภธิดา อ่ำทอง

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปแบบการจัดการน้ำ ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ยและการใช้หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสอนินทรีย์ ฟอสฟอรัสและจุลธาตุในดิน รวมถึงพื้นที่แปลงเกษตรอินทรีย์และแปลงเกษตรเคมีของเกษตรกร ประกอบด้วย 6 การทดลอง ได้แก่

การทดลองที่ 1 อิทธิพลของจำนวนรอบการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งที่มีผลต่อพฤติกรรมของธาตุอาหารในดินต่างชนิด พบว่า การขังน้ำค่า pH, EC มีค่าสูงขึ้น ค่า Eh มีค่าต่ำลง ดิน Hd, Ng และดิน Sa ที่ใส่ G + N พบ Zn ในดินสูงสุด ดิน Hd ที่ใส่ G + N พบ Cu สูงขึ้นทั้งสองรอบของการให้น้ำ ดิน Sa ที่ใส่ G และที่ใส่ G + N พบ Fe สูงสุดทั้งสองรอบของการให้น้ำ ในส่วน Mn ทั้งสามชุดดินมีค่าไม่ต่างกัน ดิน Hd ที่ใส่ G และ C พบ P-solution สูงสุด ชุดดิน Hd และ Ng พบ Al-P ในดินสูงสุด ในส่วน Fe-P พบในดิน Sa และ Ng สูงสุด P-Red พบในดิน Sa และ Ng ปริมาณสูง ในส่วน Ca-P ทั้งสามชุดดินมีค่าไม่ต่างกัน

การทดลองที่ 2 รูปแบบการจัดการน้ำ ชนิดของดินที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส สังกะสีและทองแดง พบว่า P-Solution มีค่าสูงในดิน Sa ที่จัดการน้ำ AWD0.3 ปริมาณ Al-Pและ Fe-P พบในดิน Hd ที่การจัดการ WL ปริมาณ P-Red มีค่าสูงสุดในดิน Hd ที่การจัดการน้ำ AWD0.3 และ AWDSat. ในส่วน Ca-P พบในดิน Ng ที่การจัดการน้ำ AWD0.3 เมื่อ pH เพิ่มปริมาณ P-solution, Al-P, Zn Uptake เพิ่มตาม แต่ Fe-P, P-Red, Ca-P, Extract. Zn, Extract. Cu และ Cu Uptake ลดลง ค่า Zn Uptake มีความสัมพันธ์ทางบวกกับ POC, LPOM, FPOM และ SOC Extract. Zn มีความสัมพันธ์ทางลบกับ WSC, HWSC, POC และ FPOM ในส่วน Zn ในดิน มีความสัมพันธ์ทางบวก WSC, HWSC ในส่วน Cu เมื่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้น Cu เพิ่มขึ้น Cu ในดินและ Cu Uptake ลดล

การทดลองที่ 3 รูปแบบการจัดการน้ำ ระดับการใส่ปุ๋ย ที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส อนินทรีย์ฟอสฟอรัส ปริมาณจุลธาตุ พบว่า AWD0.3 ที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 2500 กิโลกรัม/ไร่ พบ P ในดินสูงสุด AWDSat. ใส่ปุ๋ยอัตรา 1500 กิโลกรัม/ไร่ พบ P-solution และ Ca-P สูงสุด ที่ WL ไม่มีการใส่ปุ๋ย และ AWD0.3 ใส่ปุ๋ยอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ พบ Al-P และ Zn ในดินสูงสุด ที่ WL ใส่ปุ๋ยอัตรา 1500 กิโลกรัม/ไร่ พบ Fe-P สูงสุด ที่ WL ใส่ปุ๋ยอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ พบ P-Red สูงสุด ที่ AWD0.3 ใส่ปุ๋ยอัตรา 2000 และ 1500 กิโลกรัม/ไร่ มี Cu สูงสุด ในส่วน Fe ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยและใส่ปุ๋ยในอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ พบปริมาณสูงสุด ปริมาณ Mn พบสูงสุดที่การใส่ปุ๋ยอัตรา 2000 และ 500 กิโลกรัม/ไร่

การทดลองที่ 4 ผลของการใส่หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน รูปแบบการจัดการน้ำ ที่มีผลต่อฟอสฟอรัส สังกะสี และทองแดงในดิน พบว่าชุดดิน Sa ที่ใส่เชื้อ *G. etunicatum* มีค่า P สูงสุด ปริมาณ Cu พบในดิน Hd ที่ใส่เชื้อ *A. foveata* และความชื้นที่ 30 % ปริมาณ Fe พบสูงสุดในดิน Hd ที่ใส่เชื้อ *G. etunicatum* การจัดการน้ำแบบ WL และ 0.3 บาร์ ปริมาณ Mn มีค่าสูงสุดในชุดดิน Hd ที่ไม่มีการใส่เชื้อ และดิน Hd ที่ใส่เชื้อ *A. foveata* ความชื้น 30 % ปริมาณ Zn มีค่าสูงสุดในชุดดิน Hd ที่ใส่เชื้อ *A. foveata* และชุดดิน Ng ที่ให้น้ำแบบ WL

การทดลองที่ 5 บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ระดับ pH ของดินต่อการดูดใช้ สังกะสี และอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ที่ pH=7 การใส่เชื้อ *G.geosporum+G.etunicatum* มีผลให้ P มีค่า สูงสุด 33.93 mg/kg การใส่เชื้อ *G.geosporum* พบ P-Solution สูงสุด ในส่วน Al-P และ Fe-P พบสูงสุดที่การใส่เชื้อ *G.etunicatum* ปริมาณ P-Red และ Ca-P พบสูงสุดที่การใส่เชื้อ *G.geosporum* ที่ pH=6 การไม่ใส่เชื้อ และใส่เชื้อ *G.etunicatum* พบปริมาณ Zn สูงสุด

การทดลองที่ 6 การศึกษาระบบเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมี ที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส ของหมู่บ้านดอนเจียง ตำบลสบเปิง อำเภอแม่แตง พบว่าดินเคมีมีปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงกว่าดินอินทรีย์ ดินอินทรีย์มีปฏิสัมพันธ์ทางลบกับฟอสฟอรัสและพบว่าดินเคมีทั้งสองระดับ มีปฏิสัมพันธ์ทางบวกกับฟอสฟอรัสที่ระดับความลึกที่ 0-5 ซม. พบ P ในดินสูงสุด ดินเคมีมีการใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 301-500 กิโลกรัม/ไร่ สูงสุด ดินอินทรีย์พบมีการใช้ปุ๋ยคอกมูลสัตว์ อัตรา 100-300 กิโลกรัม/ไร่ สูงสุด

Title of the Research Management Model for Water and Soil Types that Affect Phosphorus, Phosphorus Fractions and Micronutrient in Soils Cultivated with Rice

Name of Researcher Miss Natamol Kanthiya

Degree of Master of Science in Soil Science

Chairman, Advisory Committee Assistant Professor Dr. Suphathida Aumthong

ABSTRACT

The main objective of this study was to investigate the effects of the management model of water, soil types, fertilizer application and use of mychorrizal fungi inoculum on the availability of organic phosphorus, phosphorus and micronutrients in the soil including organic and inorganic experimental farming areas as conducted in six (6) experiments, as follow:

Experiment 1. Influence of the number of wet-dry water management rotation on the behavior of various soil micronutrients which showed increased water residual pH and EC, decreased Eh. Soils Hd, Ng and Sa using G + N were found highest in Zn while soil Hd using G + N were found highest in Cu in both times of watering, and soil Sa using G and G + N showing highest Fe also in both times of watering. For Mn, the 3 types of soil did not show any difference. Soil Hd using G and C factor showed highest P-solution, while soil Hd and Ng showed highest Al-P in the soil. For Fe-P, it was found highest in soils Sa and Ng while P-Red was found highest in soils Sa and Ng with Ca-P in 3 soil types showing no significant difference.

Experiment 2. Forms of water management and soil types affecting the use of Phosphorus, Zn and Cu, showed that P-solution was high in soil Sa with AWD0.3 management. The amounts of Al-P and Fe-P found in soil Hd with WL management and the amount of P-Red were found highest in soil Hd with AWD0.3 management and AWDSat. Meanwhile, Ca-P found in soil Ng with AWD0.3 management at increased pH, showed also increased uptake of P-solution, Al-P and Zn but decreased Fe-P, P-Red, Ca-P, Extract. Zn of Extract. Cu and Cu uptake. Meanwhile, Zn uptake showed positive correlation with POC, LPOM, FPOM and SOC. In contrast, Extract. Zn had negative correlation with WSC, HWSC, POC and FPOM. In addition, soil Zn was found to have a positive correlation with WSC and HWSC with Cu when organic

carbon was increased but increased Cu in the soil and decreased Cu uptake.

Experiment 3. Forms of water management and fertilizer usage level affecting the benefits of phosphorus, organic phosphorus and amount of micronutrients, showed that AWD0.3 with fertilizer application of 2500 kg/rai was found to have highest soil P while AWDSat. with fertilizer application of 1500 kg/rai showing highest P-solution and Ca-P. WL with no fertilizer application in WL and AWD0.3 with fertilizer application of 1000 kg/rai showed highest soil Al-P and Zn. In WL at 1500 kg/rai fertilizer application, Fe-P was highest but in WL at 1000 kg/rai, P-Red was highest while in AWD0.3 at 2000 and 1500 kg/rai fertilizer application, Cu was highest. As for Fe, it was found highest when no fertilizer was applied and at 1000 kg/rai. Mn was also highest when fertilizer was applied at both 2000 and 500 kg/rai.

Experiment 4. Effects of using arbuscular mychorrhizal inoculum in the soil with different forms of water management that may influence phosphorus, Zn and Cu in the soil, showed that highest P was found in soil Sa with *G. etunicatum*; highest Cu in soil Hd with *A. foveata* and with 30% humidity; highest Fe in soil Hd with *G. etunicatum* in WL management and 0.3 bar. The amount of Mn was highest in soil Hd with no inoculum and in soil Hd but with *A. foveata* at 30 % humidity. Meanwhile, highest Zn was found in soil Hd with *A. foveata* and in soil Ng under WL management.

Experiment 5. The role of arbuscular mycorrhizal inoculum at soil pH towards uptake of Zn and organic Phosphorus, showed that at pH=7, the use of *G. geosporum* + *G. etunicatum* inoculum led to highest P of 33.93 mg/kg while use of *G. geosporum* inoculum caused highest P-Solution. Highest Al-P and Fe-P were found when *G. etunicatum* inoculum was used while P-Red and Ca-P were also highest when *G. geosporum* inoculum was used at pH=6. Meanwhile, no use of soil inoculum and use of *G. etunicatum* gave highest Zn.

Experiment 6. The study of organic and inorganic agriculture influencing the use of Phosphorus in the village of Ban Don Jiang in T. Sob-pueng, Mae Tang district, showed that in inorganic soil, the amount of organic Phosphorus was higher than in organic soil. Organic soil had negative correlation with P. It was also found that inorganic soil at both altitude levels had positive correlation with P at a depth of 0.5 cm. P was found highest in inorganic soil that was applied with fertilizer of 46-0-0 at 301-500 kg/rai. Highest organic soil was found in soil applied with animal manure at 100-300 kg/rai.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภธิดา อ่ำทอง อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่คอยให้คำชี้แนะ ช่วยเหลือและช่วยตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จโดยสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.วารี ไชยเทพ ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึง รองศาสตราจารย์ ดร.อานัฐ ตันโช และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เรืองชัย จูวัฒนสำราญ กรรมการที่ปรึกษา คณะกรรมการสอบจากบัณฑิตวิทยาลัย ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไข จนกระทั่งสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์อย่างสมบูรณ์ ผู้เขียนจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสง่า คุณแม่วนิดา กันธิยะ ที่เป็นกำลังใจที่สำคัญตลอดระยะเวลาในการศึกษา

ณฐมณ กันธิยะ

กรกฎาคม 2558

บทที่ 1
บทนำ

ข้าวถือเป็นอาหารหลักของประชากรส่วนใหญ่ในโลก โดยประมาณ 90 % ของผู้ที่บริโภคข้าวนั้นอาศัยอยู่ในกลุ่มประเทศเอเชีย ซึ่งถือว่าเป็นประชากรกลุ่มที่ใหญ่ที่สุดในโลก (IRRI, 2010) พื้นที่ที่ใช้ปลูกข้าวส่วนใหญ่ประมาณ 87 % กระจายอยู่ในทวีปเอเชีย (FAO, 2000) พื้นที่ปลูกข้าวของเอเชียประมาณ 825 ล้านไร่ ประกอบด้วยพื้นที่ในเขตชลประทานข้าวอาศัยน้ำฝน ข้าวนา-ดอนและบริเวณน้ำท่วมถึง 456.25, 287.50, 56.25 และ 25 ล้านไร่ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในอนาคตการขยายพื้นที่การปลูกข้าวไม่ได้เพิ่มขึ้นมากนัก โดยคาดการว่าผลผลิตข้าวในเอเชียในปี พ.ศ.2563 มีประมาณ 662 ล้านตัน โดยเพิ่มขึ้น 25 % เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ.2542 ซึ่งมีประมาณ 530 ล้านตัน (สถาบันวิจัยข้าวระหว่างประเทศ, 2549) สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศเดียวในเอเชียที่ส่งข้าวเป็นสินค้าส่งออกมากที่สุด สามารถส่งข้าวสารเป็นสินค้าส่งออกประมาณ 20.50 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็นมูลค่าอย่างน้อยไม่ต่ำกว่าหมื่นล้านบาท (FAOSTAT, 2005)

ในแถบทวีปเอเชียนิยมการปลูกข้าวแบบน้ำขัง ซึ่งมีการใช้น้ำสูงถึง 45 % แต่เนื่องจากการเกิดฝนทิ้งช่วงและแห้งแล้งทำให้ข้าวอยู่ในสภาพที่ขาดแคลนน้ำ ปัญหาการขาดแคลนน้ำจึงเป็นปัญหาหลักของชาวนา (Tuong and Bouman, 2003) เมื่อมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการให้น้ำมาเป็นการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้ง (Bouman and Tuong, 2001; Belder et al., 2004) เนื่องจากข้าวในบางระยะไม่มีความต้องการน้ำในปริมาณมากจึงทำให้มีการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์ แนวทางการจัดการน้ำจึงเป็นแนวทางในการปลูกข้าวในพื้นที่ที่มีความขาดแคลนน้ำ อีกทั้งยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินโดยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน โดยเฉพาะฟอสฟอรัส อนินทรีย์ฟอสฟอรัสและยังมีผลต่อการปลดปล่อยจุลธาตุอีกด้วย (Mandal et al., 2000) โดยทั่วไปเมื่อดินมีการขังน้ำฟอสเฟตจะเป็นประโยชน์มากขึ้น ส่วนมากจะอยู่ในรูป Fe-P, P-Red, Al-P และ Ca-P (Cholitkul and Tyner, 1971) ในส่วนธาตุประจุบวกต่างๆ ที่มีอยู่ในดินที่มีน้ำขังจะมีการเพิ่มขึ้นของจุลธาตุประจุบวกเหล่านี้ในช่วงเริ่มต้นที่มีการขังน้ำ และจะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป (ศุภธิดา, 2551) ดังนั้นการศึกษาหาความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสโดยวิธี Bray II และฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆ จึงเป็นแนวทางที่ควรศึกษาพื้นที่ที่มีการปลูกข้าวแบบน้ำชลประทานโดยใช้ดินแห้งในการวิเคราะห์ ตัวอย่างดินที่นำมาบดเพื่อวิเคราะห์อาจทำให้เกิดผลที่ผิดพลาด กระบวนการสกัดแบบ Hedley จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการวิเคราะห์เพื่อหาฟอสฟอรัสแบบแยกลำดับส่วน (Thomas, 2000)

วัตถุประสงค์งานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งร่วมกับชนิดของดินที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส สังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส ในสภาพงานทดลองในห้องปฏิบัติการ

2. ศึกษารูปแบบการจัดการน้ำ ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ยรูปแบบต่างๆ และการใช้หัวเชื้อไมคอร์ไรซา ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสรวมถึงสังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส ในงานทดลองสภาพกระถาง

3. ศึกษาและเปรียบเทียบการปลูกข้าวแบบเคมีและอินทรีย์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส สังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส ในดินนาภายใต้ระบบน้ำขัง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้ทราบถึงผลของการจัดการน้ำ ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ยรูปแบบต่างๆ และการใช้หัวเชื้อไมคอร์ไรซาต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส สังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

2. เพื่อเปรียบเทียบแปลงเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมีของเกษตรกรที่ปลูกข้าว ที่มีผลต่อปริมาณความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ธาตุฟอสฟอรัสในดินกำเนิดมาจากการสลายตัวผุพังของแร่บางชนิดในดิน การสลายตัวของสารอินทรียวัตถุในดินก็จะสามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกได้เช่นเดียวกับไนโตรเจน (สุพจน์, 2526) ในส่วนฟอสฟอรัสในพืชเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ adenosine triphosphate (ATP), nucleotides, nucleic acids และ phospholipids มีหน้าที่หลักในการเก็บพลังงาน เคลื่อนย้ายและซ่อมแซมเยื้อหุ้มเซลล์ให้สมบูรณ์ ฟอสฟอรัสที่เคลื่อนที่อยู่ภายในพืชจะกระตุ้นการเจริญเติบโตของหน่อ การเจริญเติบโตของราก การเจริญเติบโตของดอกในระยะแรกรวมถึงการสุกงอมของผล (โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิต่ำ) (Thomas, 2000)

อนินทรีย์ฟอสฟอรัส

สารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดินนั้น Sanchez (1976) ได้แบ่งสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตออกเป็น 2 รูปด้วยกันคือ รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้น้อยหรือไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (inactive form) ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบในรูป occluded phosphates ที่ถูกล้อมรอบด้วยสารประกอบที่เฉื่อยซึ่งป้องกันไม่ให้ฟอสเฟตในรูปนี้ทำปฏิกิริยาในสารละลายดินและ reductant-soluble phosphate ซึ่งจะละลายออกมาได้ก็ต่อเมื่อดินอยู่ในสภาวะขาดออกซิเจน ส่วนอีกรูปหนึ่งคือ รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ง่ายกว่า (active form) Chang and Jackson (1957) พบว่าอนินทรีย์ฟอสเฟตประกอบด้วยสารประกอบในรูปแคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P) อะลูมินัมฟอสเฟต (Al-P) และเหล็กฟอสเฟต (Fe-P) ซึ่งจะละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชจากง่ายไปยากตามลำดับ รูปของอนินทรีย์ฟอสเฟตเหล่านี้จะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับการสลายตัวผุพังทางเคมีของดินนั้น ในดินนา รูปของอนินทรีย์ฟอสเฟตมีความสำคัญต่อข้าวมากกว่าอินทรีย์ฟอสเฟต เพราะในสภาพน้ำขัง รูปต่างๆ ของอนินทรีย์ฟอสเฟตจะละลายออกมามากขึ้นทำให้เป็นประโยชน์ต่อข้าวมากขึ้น (Kirk, 2004)

Phosphorus fractions

Phosphorus fractions คือ ฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆ ซึ่งจะอยู่ในรูปอนินทรีย์ สามารถแยกออกได้เป็น 4 รูป คือ อะลูมินัมฟอสเฟต (Al-P), เหล็กฟอสเฟต (Fe-P), แคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P) และฟอสเฟตที่อยู่ในสารประกอบของ oxide และ hydrous oxide ของเหล็กและอะลูมินัม (ประพิศ และคณะ, 2531) รูปต่างๆของอนินทรีย์ฟอสเฟตมีความสำคัญต่อข้าวมากกว่าอินทรีย์ฟอสเฟต เพราะในสภาพน้ำขังรูปต่างๆ ของอนินทรีย์ฟอสเฟตจะละลายออกมามากขึ้นทำให้เป็นประโยชน์ต่อข้าวมากขึ้นด้วย แต่ก็มีรายงานว่าแม้อินทรีย์ฟอสเฟตจะมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับอนินทรีย์ฟอสเฟต แต่ก็มีความสำคัญต่อพืชอย่างมากเช่นกัน เพราะอินทรีย์ฟอสเฟตนี้เป็นรูปของฟอสเฟตที่สามารถเป็นประโยชน์ต่อพืชได้โดยตรงและจะไม่ถูกตรึง (fixation) ด้วยรูปของฟอสฟอรัสในส่วนของ Reductant-soluble phosphate (P-Red) จะเป็นฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้น้อยหรือไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช จะละลายออกมาได้ก็ต่อเมื่อดินอยู่ในสภาวะขาดออกซิเจน ในส่วนรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ง่ายกว่า ประกอบด้วยสารประกอบในรูป Ca-P, Al-P และ Fe-P ซึ่งจะละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชจากง่ายไปยาก (ชอบ และจิรพงษ์, 2538)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับฟอสฟอรัสในดินทั่วไป

สมบัติของดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การดูดซับฟอสฟอรัสในดินเกิดขึ้นสูงและต่ำ (Lamare, 1981 อ้างโดย วนิดา, 2534) และยังพบว่าองค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อการดูดซับฟอสเฟตคือ ออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ ออกซีไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอะลูมินัม

1. ชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว ในดินเนื้อหยาบจะมีการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในดินมากกว่าดินเนื้อละเอียด เนื่องจากดินเนื้อละเอียดมีปฏิกิริยาการตรึงฟอสฟอรัสมากกว่าในดินเนื้อหยาบ (Sanchez, 1976 ; Brady, 1990 อ้างโดย บุญเลิศ, 2537) และพบว่าแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 มีกลุ่มไฮดรอกซิลที่เป็นผิวโครงสร้างที่อาจทำปฏิกิริยาลิแกนด์กับฟอสเฟตได้มากกว่าแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 (Tisdale et al., 1985 อ้างโดย บุญเลิศ, 2537)

2. ความเป็นกรด-ด่างของดิน ในขณะที่ดินมีค่าความเป็นกรดหรือมีค่า pH น้อยกว่า 5 จะพบฟอสฟอรัสในรูป $H_2PO_4^-$ สูง หากดินเป็นด่าง มีค่า pH ในดินมากกว่า 7 จะพบฟอสเฟตในรูป HPO_4^{2-} สูง (Lindsay, 1979 อ้างโดย บุญเลิศ, 2537) Haynes (1984) พบว่าที่ pH ประมาณ 4-5 ออกไซด์ของเหล็กจะถูกตรึงในรูปอสัณฐานสูงสุด หลังจากนั้นการดูดซับจะเริ่มลดลงจากช้าไปเร็วเมื่อพบว่าค่า pH ในดินเริ่มสูงขึ้นกว่า 7 ขึ้นไป

3. เซสควิออกไซด์ เป็นสารประกอบออกไซด์ไฮดรัสของโลหะ เช่นเหล็ก อะลูมิเนียม จะอยู่ในรูปที่เป็นผลึกหรืออสัณฐานเคลือบอยู่บนอนุภาคดินเหนียวมีความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสสูง ส่วนมากพบในดินที่มีความเป็นกรดและมีการถูกชะล้างสูง เช่นดินในอันดับ Oxisols, Ultisols (Brady, 1990 อ้างโดย บุญเลิศ, 2537) และพบว่าสารประกอบเซสควิออกไซด์ที่เป็นรูปอสัณฐานของอะลูมินัม มีความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสได้มากกว่าเซสควิออกไซด์ในรูปอสัณฐานของเหล็ก

4. ปริมาณอินทรียวัตถุ อินทรียวัตถุมีอิทธิพลต่อการลดการตรึงฟอสฟอรัสในดินและช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินได้ โดยอินทรียวัตถุจะเข้าไปแทนที่อนุมูลฟอสเฟตที่ถูกดูดซับบนผิวของอนุภาคดินเหนียวและแร่เซสควิออกไซด์ โดยจะเคลือบผิวไว้ ทำให้ลดพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาลิแกนด์กับฟอสเฟต (สมชาย, 2535) Loganathan et al. (1987) กล่าวว่าการดูดซับฟอสเฟตจะมีสหสัมพันธ์กับปริมาณอินทรียวัตถุในดินหรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน เช่นดินในอันดับ Inceptisols พบว่าการดูดซับฟอสเฟตมีสหสัมพันธ์ทางตรงอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณอินทรียวัตถุ ในดินชั้นบนจะมีอินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบสูงจะตรึงฟอสฟอรัสได้น้อยกว่าดินชั้นล่าง เนื่องจากอิทธิพลของฮิวมัสและกรดอินทรีย์ (Sanchez and Uehara, 1980 อ้างโดย บุญเลิศ, 2537)

จุลธาตุในดิน

1. ธาตุสังกะสี (Zn)

ธาตุสังกะสีที่พบในดินจะมีค่าที่แตกต่างกันตั้งแต่ 10-300 mg/kg ดินที่มีเนื้อหยาบและมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำมักจะขาดธาตุสังกะสี (ทัศนีย์, 2550) สำหรับในข้าวจะพบว่าหากขาดธาตุสังกะสี เส้นกลางใบอ่อนโดยเฉพาะตรงฐานใบมีสีเหลืองซีด มีสีน้ำตาลเป็นจุดและเป็นเส้นที่ใบล่าง การเติบโตจะชะงัก ใบจะเล็กลง อาการมักจะหายไปประมาณ 6-8 สัปดาห์หลังการขังน้ำ (Yoshida et al., 1975) สังกะสีมีความจำเป็นต่อกระบวนการชีวเคมีที่หลากหลายในต้นข้าว เช่น cytochrome nucleotide synthesis, auxin metabolism, chlorophyll production, enzyme activation, การสร้างเยื่อหุ้มเซลล์จะมีการสะสมสังกะสีในราก แต่สามารถเคลื่อนย้ายจากรากไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืชที่เจริญเติบโตได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืชที่ขาดไนโตรเจน (Thomas, 2000)

2. ธาตุทองแดง (Cu)

ในดินจะมีปริมาณทองแดงอยู่น้อยมาก ซึ่งจะมีค่าที่แตกต่างกันออกไปตั้งแต่ 1-50 mg/kg เมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอื่นๆแต่พืชส่วนมากสามารถดูดใช้ทองแดงได้เพียงพอต่อความต้องการ ดินที่ขาดทองแดงมักจะเป็นดินเนื้อหยาบ ทองแดงทำหน้าที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงเกี่ยวข้องกับกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนและเป็นส่วนหลักในการสร้างคลอโรฟิวส์ โพลิเมอร์และโปรตีน เมื่อพืชขาดทองแดงใบพืชจะมีสีเขียวผิดปกติ ต่อมาใบจะค่อยๆเหลืองลงจนในที่สุดพืชจะชะงักการเจริญเติบโต (Misra et al., 1989) ทองแดงเป็นธาตุที่พืชต้องการในการสังเคราะห์ลิกนินเป็นส่วนประกอบของกรดแอสคอบิก enzymes oxidase, phenolase และ plastocyanin ซึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ อีกทั้งยังกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนและฮอร์โมนการเผาผลาญอาหาร การหายใจ การก่อตัวของละอองเกสรและการผสมพันธุ์ การเคลื่อนที่ของทองแดงในต้นข้าวขึ้นอยู่กับระดับไนโตรเจนในใบด้วย อาการที่ขาดทองแดงส่วนมากจะเกิดขึ้นที่ใบอ่อน (Thomas, 2000)

3. ธาตุเหล็ก (Fe)

เหล็กมีความสำคัญในการรับอิเล็กตรอนและกระตุ้นเอนไซม์หลายชนิด สำหรับพืชมีความต้องการเหล็กเพื่อขนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงและเป็นส่วนประกอบของเหล็ก porphyrins และ ferredoxins ซึ่งทั้งคู่เป็นส่วนประกอบสำคัญในขั้นตอนการสังเคราะห์แสง (Thomas, 2000) สำหรับข้าวเป็นพืชที่ต้องการเหล็กมากกว่าพืชอื่นและทนทานต่อปริมาณเหล็กสูงกว่าพืชอื่นๆ ปริมาณเหล็กที่ทำให้ข้าวได้รับความเป็นพิษจะแตกต่างกันไปความเข้มข้นของเหล็กที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลายดิน (ทัศนีย์, 2550)

4. ธาตุแมงกานีส (Mn)

ธาตุแมงกานีสจะรวมอยู่ในปฏิกิริยา oxidation-reduction ในระบบการลำเลียงอิเล็กตรอน และ O_2 evolution ใน photosynthesis จะกระตุ้นการสร้าง phosphatidic acid การสังเคราะห์ phospholipid สำหรับการสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ แมงกานีสจะต่อต้านการเป็นพิษของเหล็ก พืชมีความต้องการแมงกานีสในการซ่อมแซมแหล่งที่มี O_2 ต่ำในการสังเคราะห์ มีการสะสมแมงกานีสในรากก่อนที่จะมีการเคลื่อนย้ายสู่ลำต้นที่อยู่เหนือพื้นดิน มีการเคลื่อนย้ายของแมงกานีสบางส่วนจากใบแก่สู่ใบอ่อนในการปลูกข้าว ข้าวที่พบว่าขาดแมงกานีสจะมีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดิน ทำให้ฟอสฟอรัสในดินลดลงแต่ในดินที่ขาดแมงกานีสจะพบว่าเหล็กจะเป็นพิษฉะนั้นข้าวที่ขาด แมงกานีสจะทำให้ควาเข้มข้นของเหล็กในดินเพิ่มขึ้น (Thomas, 2000) การที่ข้าวมี

ปริมาณแมงกานีสในข้าวสูงผลผลิตจะสูงขึ้นตาม ข้าวสามารถต้านทานปริมาณแมงกานีสสูงในเนื้อเยื่อได้ ปริมาณแมงกานีสในข้าวที่ทำให้เกิดความเป็นพิษเท่ากับ 7000 mg/kg (ทัศนีย์, 2550)

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัส สังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

1. อินทรียวัตถุในดิน

อินทรียวัตถุ (Organic matter) หมายถึงอินทรีย์สารทุกชนิดที่มีอยู่ในดินซึ่งได้จากซากพืช ซากสัตว์และสิ่งมีชีวิตต่างๆที่อาศัยอยู่ในดิน รวมถึงอินทรีย์สารที่รากพืชปลดปล่อยออกมาและที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ อินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของดินที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติต่างๆของดินทั้งทางเคมี กายภาพและชีวภาพ อันส่งผลต่อเนื่องถึงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความสามารถในการให้ผลผลิตของดิน รวมทั้งพัฒนาระบบนิเวศของแต่ละสภาพแวดล้อมโดยตรง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) อินทรียวัตถุมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเพราะมีผลต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมีและชีวของดิน เป็นแหล่งของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและซัลเฟอร์ สำหรับการเจริญเติบโตของพืช มีผลต่อกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดินก่อให้เกิดลักษณะโครงสร้างที่ดีของดินทำให้เกิดการระบายอากาศที่ดีขึ้นมีการเก็บกักน้ำเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ฮิวมัสยังแสดงบทบาททางอ้อมโดยมีผลต่อการดูดใช้จุลธาตุโดยพืช ปริมาณอินทรียวัตถุในดินนั้นจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่างที่มีผลต่อพืชโดยตรง (สุชาติ, 2530) ในสภาพดินที่มีน้ำขังเป็นเวลานานปีและมีการทับถมของเศษเหลือของซากพืชซากสัตว์เพิ่มอยู่เสมอทำให้ปริมาณของอินทรียวัตถุในดินสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากการเพิ่มจำนวนมีมากกว่ากระบวนการสลายตัวของอินทรียวัตถุ เช่นดินพรุในแถบทางภาคใต้ ในขณะที่ดินที่ทำการไถพรวนที่ระบายน้ำได้ดีหรือดินที่ทำการเพาะปลูกพืชไร่อินทรียวัตถุจะลดน้อยลงไปเร็วกว่าดินนาน้ำขัง (นิรันดร์, 2533)

1.1 อิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีผลต่อการละลายของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส

การเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนั้น สามารถกระทำได้โดยการเพิ่มอินทรียวัตถุลงไปในดินซึ่งมีเหตุผลหลายประการที่ช่วยสนับสนุนคือ

1.1.1 ฟอสฟอรัสที่รวมตัวกับแคลเซียม เหล็กและอะลูมินัม เป็นรูปของฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำนั้น อาจจะละลายออกมาได้โดยปฏิกิริยาของกรดอินทรีย์และอินทรีย์ คีเลตอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการสลายตัวของอินทรียวัตถุ

1.1.2 สาร Humates ที่ผลิตขึ้นมาในระหว่างการสลายตัวอาจจะเกิดการแก่งแย่งพื้นที่ดูดยึดบริเวณผิวของ colloid กับฟอสเฟต ช่วยลดการดูดตรึงฟอสฟอรัสลงทำให้มีฟอสฟอรัสในสารละลายดินมากขึ้น

1.1.3 สาร Humates อาจจะสร้างแนวคุ้มกันบริเวณรอบๆผิวของ colloidal sesquioxides เป็นการลดการดูดตรึงของฟอสฟอรัสลง

1.1.4 ความสามารถในการละลายได้ของแคลเซียมและแมกนีเซียมฟอสเฟตเพิ่มขึ้น เพราะผลจากกรดคาร์บอนิคที่เกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการสลายตัว

1.1.5 การเติมอินทรียวัตถุใหม่ลงไปในดินอาจจะก่อให้เกิดการเพิ่มปริมาณการปลดปล่อยของอินทรีย์ฟอสฟอรัสจากแหล่งฮิวมัสดั้งเดิมในดินมากขึ้น

1.1.6 อาจเกิดการรวมตัวเป็นสารประกอบสลับซับซ้อนของ phospho-humate

1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอินทรีย์คาร์บอนต่อการดูดใช้สังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

ดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุมากจะมีส่วนสัมพันธ์กับปริมาณการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของ สังกะสี แมงกานีสและเหล็กในดิน แต่จะมีผลน้อยต่อปริมาณทองแดงเนื่องจากทองแดงถูกอินทรีย์คอลลอยด์ดูดยึดไว้แน่นและยากที่จะหลุดออกมาให้พืชใช้ได้ (Xiaorong Wei et al., 2006) อินทรียวัตถุในดินจะมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดิน (Moody et al.,1997) ความเข้มข้นของอินทรียวัตถุในดินที่เพิ่มขึ้นสามารถเพิ่มการแลกเปลี่ยนสารอินทรีย์ของธาตุสังกะสีและลดการออกไซด์ของสังกะสีในดินให้ลดลง (Behera et al., 2011) การที่ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงจะมีประจุลบในดินสูง เมื่อมีธาตุประจุบวกเข้ามาจะถูกดูดซับไว้ เช่น Cu^{2+}, Zn^{2+}, Mn^{2+} ในส่วนของ สังกะสีเมื่อค่า pH ของดินลดลงจะส่งผลให้การเคลื่อนที่ของสังกะสีถูกพืชดูดไปใช้อย่างจำกัด (Yoshida, 1981)

2. ไมคอร์ไรซา (Mycorrhiza)

ไมคอร์ไรซา (mycorrhiza) หมายถึงความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกันระหว่างเชื้อรากับรากพืช โดยต่างฝ่ายต่างได้ประโยชน์ร่วมกัน (Sieverding, 1991) ทำหน้าที่หลักในการดูดน้ำ

และธาตุอาหารต่างๆให้กับพืช (อุทัยวรรณ, 2534) โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัส นอกจากนี้ยังเพิ่มการดูดซับไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียมซัลเฟต ทองแดง แมงกานีส สังกะสีและเหล็กให้กับพืช ซึ่งจะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดีและผลผลิตสูงขึ้นกว่าพืชที่ไม่ใส่เชื้อรา (Marrshner and Dell, 1994) เชื้อราไมคอร์ไรซายังช่วยให้พืชทนทานต่อความแห้งแล้งและช่วยป้องกันการเกิดโรคพืชที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆ (Smith and Read, 1997)

2.1 บทบาทของไมคอร์ไรซาต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส สังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหารที่จำเป็นแก่พืชโดยเฉพาะฟอสฟอรัส เมื่อมีฟอสฟอรัสในดินต่ำการเจริญของเส้นใยที่หุ้มรากมีส่วนในการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างรากกับดินมากขึ้น เป็นการลดระยะทางที่ฟอสฟอรัสจะเคลื่อนที่มายังรากทำให้พืชสามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสได้ในปริมาณสูงและรวดเร็วขึ้น ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชที่มีเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่มีปริมาณสูงกว่าพืชที่ไม่มี (Mosse, 1973) นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดใช้ธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ได้ช้า โดยใช้เส้นใยราในการดูดธาตุอาหาร เช่น Zn และ Cu แต่จะมีอิทธิพลน้อยในธาตุอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ดี เช่นไนเตรทและซัลเฟต (Powell, 1976) การใช้เชื้อราไมคอร์ไรซาช่วยทำให้ฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์กับพืชเนื่องมาจาก

2.1.1 การแพร่กระจายของ hyphae ของเชื้อราอย่างกว้างขวางในดินทำให้มีโอกาสสัมผัสกับฟอสฟอรัสในดินได้มากขึ้น

2.1.2 เชื้อรามีการขับสารบางอย่างออกมา เช่นกรดอินทรีย์ต่างๆซึ่งทำให้ฟอสฟอรัสมีความเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น

2.1.3 รากที่มี mycorrhizal และที่ไม่มี mycorrhizal นั้นมีความแตกต่างกันในการดูดซับฟอสเฟตในสารละลาย

2.1.4 ความแตกต่างในการดูดซับประจุบวกและลบของ mycorrhizal ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH ซึ่งทำให้มีผลต่อการดูดใช้ฟอสเฟตจากดินโดยพืชเปลี่ยนไปด้วย

Bolan (1991) ศึกษาบทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีผลต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัส พบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสได้สูงกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราอาศัยอยู่

2.2 การนำเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว

จากการศึกษาของ Liu et al. (2011) รายงานว่าข้าวนาดำพันธุ์ Guangyinzhan ที่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G.intraradices* และข้าวไร่พันธุ์ Handao 502 ที่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G.geosporum* ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อสารหนู เพิ่มผลผลิตเมล็ด น้ำหนักพืช จำนวนเมล็ด ฟางข้าวและการดูดใช้ฟอสฟอรัสและสารหนูในราก ในขณะเดียวกันข้าวนาดำพันธุ์ Guangyinzhan ที่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G.geosporum* และข้าวไร่พันธุ์ Handao 502 ที่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G.intraradices* ทำให้ผลผลิตลดลงและเพิ่มความเข้มข้นของสารหนูในเมล็ด ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของวิธีการปลูกข้าวและชนิดของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา Xiao et al. (2010) รายงานว่าการปลูกพืชผสมผสานระหว่างถั่วเขียวกับข้าวไร่ โดยการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G.caledonium* 90036 และ *A. laevis* 90034 ช่วยเพิ่มการดูดใช้ธาตุอาหาร การตรึงไนโตรเจนและการเจริญเติบโตของถั่วเขียวเพิ่มมากขึ้น Ruiz-Sanchez et al. (2010) รายงานว่าการปลูกข้าวโดยใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G.intraradices* โดยรักษาระดับความชื้นที่ 60-70 % (water holding capacity) พบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มน้ำหนักสดของต้นข้าวและเพิ่มการสังเคราะห์แสงของข้าว Gao et al. (2007) พบว่าการปลูกข้าวสภาพที่มีอากาศอยู่ในดินโดยใส่เชื้อ *G.mosseae* และ *G.etunigatum* พบว่าเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของข้าวและช่วยในการดูดใช้ Zn ได้สูงกว่าข้าวที่ไม่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

สถานการณ์การปลูกข้าวของโลก

ข้าว (Oryza sativa) เป็นเมล็ดของพืชในสกุลข้าวที่พบมากในเอเชีย จากข้อมูลทางประวัติศาสตร์นั้นมีหลักฐานยืนยันว่า ข้าวได้ถูกปลูกและบริโภคเป็นเวลานาน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และข้าวถูกค้นพบในบริเวณ He-Mu-Du, Luo-Jia-Jiao และ Pen-Tou-Shan ในเขตลุ่มแม่น้ำแยงซี (Yangtze river valley) ของประเทศจีน (Vaughan et al, 2008) โดยมีหลักฐานเป็นพื้นที่ปลูกข้าวแห่งแรกของโลก ซึ่งอาจจะมีอายุประมาณ 7,000 ปีผ่านมาแล้ว หลังจากนั้นการปลูกข้าวได้ขยายไปในส่วนต่างๆ ของประเทศในเขตเอเชีย ซึ่งมีการปลูกมากที่สุดเป็นอันดับสองรองจากข้าวโพด การผลิตการบริโภคและการค้าข้าวส่วนใหญ่จึงกระจุกตัวอยู่ในทวีปเอเชีย แต่ข้าวที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะใช้ในการบริโภคภายในประเทศ ทำให้มีข้าวเพียงร้อยละ 6 เท่านั้นที่เข้าสู่ตลาดการค้าข้าวระหว่างประเทศ โดยประเทศที่มีบทบาทมากที่สุดในการส่งออกข้าวคือ ประเทศไทย รองลงมาคือ อินเดีย เวียดนาม จีนและพม่า ตามลำดับ โดยไทยส่งออกข้าวปีละประมาณ 7 ล้านตัน เป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 30 ของการส่งออกข้าวทั้งหมดทั่วโลก สถานการณ์การผลิตข้าวของ

โลก ปีการผลิต 2555/56 ว่ามีพื้นที่เก็บเกี่ยวรวม 987.63 ล้านไร่ ผลผลิตข้าวเปลือกเฉลี่ย 712 กิโลกรัม/ไร่ พร้อมทั้งประเมินเบื้องต้นว่าปีการผลิต 2556/57 มีพื้นที่เก็บเกี่ยวรวม 1,005.50 ล้านไร่ ผลผลิตข้าวเปลือกเฉลี่ย 706 กิโลกรัม/ไร่ (FAOSTAT, 2005)

สถานการณ์การปลูกข้าวในประเทศไทย

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวอยู่ในอันดับที่ห้าของโลก (60 ล้านไร่) (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2555) โดยเป็นรองจากประเทศปากีสถาน อินโดนีเซีย อินเดียและประเทศจีนคอมมิวนิสต์ตามลำดับ แต่เป็นประเทศเดียวในเอเชียที่ส่งข้าวเป็นสินค้าออกมากที่สุด ในปีหนึ่งๆ สามารถจะส่งข้าวสารเป็นสินค้าออกได้ประมาณ 20.50 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็นมูลค่าอย่างคร่าวๆแล้วประเทศไทยจะมีรายได้ในการจำหน่ายข้าวออกต่างประเทศในปีหนึ่งๆได้อย่างน้อยไม่ต่ำกว่าหมื่นล้านบาท จากการสำรวจของสำนักงานเศรษฐกิจ (2555) ปรากฏว่าข้าวนาปีมีผลผลิตลดลงประมาณ 9.6 % ส่วนข้าวนาปรังผลผลิตเพิ่มขึ้นประมาณ 10.6 % การปลูกข้าวในประเทศไทยในปัจจุบันนี้ปัญหาในการเพิ่มผลผลิตของข้าวให้สูงขึ้นรวมถึงการแก้ปัญหาต่างๆ ไม่ได้อยู่ที่ต้องแสวงหาพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงมาใช้แทนพันธุ์ข้าวที่เรามีอยู่แล้วให้ได้เสียก่อน แต่อยู่ที่การปรับปรุงวิธีการเพาะปลูก การปฏิบัติดูแล และรู้จักการใช้ปุ๋ยที่ถูกต้องตามหลักวิชาการให้เหมาะสมกับข้าวพันธุ์ต่างๆที่ปลูกกันอยู่ในขณะนี้ให้สำเร็จเสียก่อน เมื่อชาวนามีความรู้เกี่ยวกับวิธีการทำนาที่ถูกต้องแล้วการส่งเสริมให้ชาวนาปลูกข้าวที่ได้ปรับปรุงใหม่ซึ่งให้ผลผลิตสูงยิ่งขึ้นก็จะมีผลสำเร็จได้โดยง่าย ทั้งนี้เนื่องจากพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูงยิ่งต้องการปฏิบัติดูแลและใช้ปุ๋ยที่ถูกต้องเป็นพิเศษ หากมิฉะนั้นแล้วก็จะไม่ให้ผลผลิตสูงตามที่ต้องการได้เลย (ทัศนีย์, 2550)

การศึกษาเกี่ยวกับฟอสฟอรัสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินนาของประเทศไทย

สุมน (2505) กล่าวถึงปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนาเกือบทั่วประเทศ โดยเฉพาะในแถบอีสาน มีอยู่ปริมาณต่ำไม่เพียงพอต่อความต้องการ เช่นข้าวประมาณ 70 % ของตัวอย่างดินที่วิเคราะห์แล้วทั้งหมด พบว่ามีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 10 mg/kg และอีกประมาณ 23 % ของตัวอย่างดินมีฟอสฟอรัสต่ำกว่า 30 mg/kg

มะลิวัลย์ และคณะ (2519) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการดูดตรึงฟอสฟอรัสในดินนาชนิดต่างๆในสภาพขังน้ำ พบว่าฟอสฟอรัสจะถูกดูดตรึงโดยดินสูงขึ้น เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสใน

สารละลายดินเพิ่มสูงขึ้นและเมื่อมีระยะเวลาการขังน้ำนานขึ้น ดินที่มีปริมาณแร่ดินเหนียวสูงจะดูดตรึงฟอสฟอรัสในดินได้สูงและเร็วกว่าในดินที่มีปริมาณแร่ดินเหนียวต่ำ

สาครและคณะ (2521) ได้กล่าวถึงการเปลี่ยนรูปฟอสเฟตของดินนาในแถบภาคกลาง สภาพที่มีการขังน้ำ พบว่าการขังน้ำในนาข้าวนานถึง 60 วัน ไม่มีผลต่อการปลดปล่อย Al-P และ Ca-P การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของ Fe-P และ P-Red หลังจากการขังน้ำนาน 60 วัน พบว่าดินที่มีปริมาณแร่ดินเหนียวต่ำจะมีปริมาณ Fe-P และ P-Red ปลดปล่อยออกมาปริมาณที่สูง

ประพิศ และคณะ (2527) ได้กล่าวว่าในดินนาภาคกลางและดินนาที่มีการเปลี่ยนเป็นสวนผัก เช่นในชุดดินรังสิต ชุดดินบางเขน ชุดดินบางเลน ชุดดินสรรพยา ชุดดินบางน้ำเปรี้ยวและชุดดินบางกอก Al-P และ Fe-P จะเป็นแหล่งให้ฟอสฟอรัสต่อพืชที่ปลูก จากการใช้น้ำยาสกัดฟอสฟอรัสชนิดต่างๆ ได้แก่ Bray II, Mehlich และ Olsen พบว่า Bray II สามารถสกัดฟอสฟอรัสออกมาได้มากที่สุด รองลงมาคือ Mehlich แสดงให้เห็นว่า Bray II สามารถสกัดฟอสฟอรัสจาก Al-P และ
Fe-P ได้ดีกว่าสารสกัดอื่นๆ

สุพจน์ และคณะ (2535) ได้ศึกษาศักยภาพของฟอสเฟตที่ถูกดูดซับทางเคมีในชุดดินเรณู พบว่าฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปในดินส่วนใหญ่ 70-90 % จะถูกตรึงในรูปของเหล็กฟอสเฟตและAl-P 20-30 % จะอยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟตและถูกตรึงในแร่ดินเหนียวน้อยกว่า 8 % ส่วนฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำจะมีเพียง 2-10 % เท่านั้น

วิศิษฐ์ (2551) ได้ศึกษาเกี่ยวกับอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินและวิธีวิเคราะห์หาฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ในดินนาภาคต่างๆของประเทศไทย พบว่าฟอสเฟตที่อยู่ในรูปของสารประกอบของเหล็กฟอสเฟต ซึ่งมาจากผลเฉลี่ยที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total-P) มีปริมาณถึง 35-40 % รองลงมาได้แก่ P-Red, Al-P และ Ca-P ตามลำดับ

ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ของข้าว

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารพืชที่สำคัญอีกธาตุหนึ่งที่พืชต้องการในปริมาณที่สูง แต่พืชมักจะได้รับธาตุฟอสฟอรัสไม่เพียงพอทั้งที่บางครั้งในดินมีธาตุนี้อยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องมาจากธาตุฟอสฟอรัสมีการละลายออกมาน้อยและมักจะอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์แก่พืช ในดินประมาณ 28.7 % ของพื้นที่ทั้งหมดที่มีการใช้ประโยชน์ พบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 3.0 mg/kg ดิน ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำมาก (นวลศรี และคณะ, 2543) เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำหรือสูงไป นอกจากนี้ธาตุฟอสฟอรัสมีการเคลื่อนที่ในดินได้น้อยมาก รากพืชจะต้องชอน

ไชไปยังแหล่งที่มีธาตุนี้ละลายอยู่จึงจะได้รับประโยชน์ พืชที่มีระบบรากไม่ดีมักได้รับธาตุนี้ไม่เพียงพอ กิจกรรมของจุลินทรีย์บางชนิด เช่นเชื้อไมคอร์ไรซาจะสามารถช่วยดูดธาตุฟอสฟอรัสให้กับพืชได้ กิจกรรมของจุลินทรีย์บางชนิดจะสามารถช่วยย่อยละลายธาตุฟอสฟอรัสออกจากหินฟอสเฟตทำให้พืชสามารถนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้เร็วขึ้น ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนาของประเทศไทยมีประมาณ 0.2 % ของฟอสฟอรัสทั้งหมด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2545) ฟอสฟอรัสที่เคลื่อนที่อยู่ภายในพืชจะกระตุ้นการเจริญเติบโต การแตกหน่อ การเจริญเติบโตของราก การเจริญเติบโตของดอกในระยะแรกและการสุกงอมของผล (โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิต่ำ) (Thomas, 2000)

กระบวนการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในดินนา

1. การแพร่ (Diffusion)

การศึกษาการแพร่กระจายของฟอสเฟตในดินภายใต้ระบบการจัดการน้ำที่แตกต่างกัน Huguenin-Elie et al. (2003) กล่าวว่าการแพร่กระจายของฟอสฟอรัสที่อยู่ในน้ำเมื่อสัมผัสกับดินที่มีความชื้น ทั้งน้ำขังหรือในขณะที่ดินมีความชื้น ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของฟอสฟอรัสในดินสามารถใช้สมการนี้หาผลลัพธ์ของการแพร่ได้

สมการของการแพร่กระจายเชิงระนาบ

$$M_t = 2C_\infty\sqrt{\frac{D_P t}{\pi}}$$

2. การตรึง (Immobilization)

หลังจากที่มีการขังน้ำในดินบ่อยครั้งการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจะสูงขึ้น ในดินที่มีสารละลายของฟอสฟอรัสอยู่ต่ำการดูดซับฟอสฟอรัสจะมีสูงขึ้น เมื่อมีสารละลายฟอสฟอรัสในดินอยู่สูง จากความขัดแย้งนี้สามารถอธิบายได้จากการลดลงของออกไซด์ Fe(III) ที่จะกลายเป็นสารประกอบ Fe(II) ที่มีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ขึ้นสารละลายฟอสฟอรัสในดินจะมีค่าลดลง เนื่องจากถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวอสัณฐานและจะหลุดออกมาเมื่อฟอสฟอรัสถูกปลดปล่อยจากสารละลายดิน แต่ฟอสฟอรัสที่ได้จากการใส่เพิ่มเข้าไปในดินจะถูกเคลื่อนย้ายออกจากสารละลายที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของ Fe(II) จะเห็นได้ว่าความสามารถในการละลายของฟอสฟอรัสมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในช่วงที่มีน้ำขัง (Willett, 1991) และพบว่าบางครั้งดินที่มีน้ำท่วมขังเป็นเวลานานฟอสฟอรัสจะตรึงอยู่ในรูปแบบที่ละลายน้ำได้น้อยลง

การตรึงของฟอสฟอรัสในสภาพที่ดินขาดออกซิเจนจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของ labile P (Bücher, 2001) ในส่วน labile P จะมีค่าลดลง แม้กระทั่งการทดลองที่ทำการทดลองในแปลงทดลองที่ได้รับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพียงพอ ระยะเวลาที่ดินเกิดการแห้งในช่วงการเพาะปลูกในส่วน labile P จะมีค่าเพิ่มขึ้น จากการศึกษายังพบว่าการปลูกในแปลงทดลองส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลง Fe ในดินพร้อมกับลดการเกิดออกซิเดชัน (Brandon and Mikkelsen, 1979; Willett, 1979; Sah et al., 1989; Huguenin-Elie et al., 2003) การออกซิไดซ์ของสารประกอบ Fe(II) จะตกตะกอนอยู่ในรูปแบบผลึกขนาดใหญ่โดยเฉพาะที่พื้นผิวดินและทำให้ฟอสฟอรัสถูกตรึง ดังนั้นจะพบว่าพืชไร่ที่ทำการเพาะปลูกแบบหมุนเวียนสลับกับข้าวมักประสบกับการขาดฟอสฟอรัส ในพืชอื่นๆจะมีลักษณะที่คล้ายๆกันไม่ใช่เฉพาะสำหรับข้าว ปัญหาส่วนหนึ่งของการเจริญเติบโตคือ เกิดการหยุดชะงักการทำงานของไมคอร์ไรซาในช่วงที่ดินมีน้ำขัง (Ilag et al., 1987; Ellis, 1998; Miller, 2000)

3. การละลาย (Solubilization)

การขาดฟอสฟอรัสเป็นข้อจำกัดของธาตุอาหารหลักในพื้นที่ที่มีน้ำขัง แม้ว่าการใส่ปุ๋ยแทบจะไม่มีผลต่อดินปลูกข้าวแบบนาน้ำขังและแนวโน้มที่จะมีการละลายของฟอสเฟตในดิน โดยจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้าในดินที่มีน้ำขังพบว่า ดินหากมีการขังน้ำเป็นเวลานานจะเกิดการตรึงฟอสฟอรัส การตกตะกอนและจะมีการละลายของฟอสฟอรัสอีกครั้งในดินเมื่อเกิดการออกซิเดชันบริเวณราก ในทางตรงกันข้ามจะมีค่าใกล้เคียงกับการตกตะกอนของ morphous $Fe(OH)_3$ และพบว่าจะขัดขวางการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสจากสารละลายดินเข้าถึงรากข้าว Saleque and Kirk (1995) พบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัส การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบริเวณราก รากข้าวจะเติบโตในสภาพที่มีปริมาณแสงแดดและปริมาณน้ำฝนสูง ดินที่มีการใส่ปุ๋ยและไม่มีการใส่ปุ๋ย ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชสามารถใช้ได้ค่อนข้างน้อย กว่า 90 % ของฟอสฟอรัสที่ดูดมาใช้นั้นส่วนมากมาจากการละลายของฟอสฟอรัสในดินที่เป็นกรดร่วมกับคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์ของ Fe(II) นอกจากนั้นยังมีฟอสฟอรัสที่สะสมในดินด่างที่ละลายน้ำออกมา ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณ $Fe(OH)_3$ ที่สะสมใกล้ราก Saleque and Kirk (1995) รายงานว่าดินที่มีความเป็นกรดมีผลกระทบต่อการละลายของฟอสฟอรัสในดินอย่างน้อย 80 % ของฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาในส่วนที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยและดินที่มีการใส่ปุ๋ย มีเพียงประมาณครึ่งหนึ่งของสารละลายฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซึมเพราะส่วนที่เหลือแพร่กระจายออกจากทางราก การตกตะกอนใกล้บริเวณรากนี้เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งบ่งบอกถึงความสำคัญของผลกระทบที่เกิดขึ้นในทางตรงกันข้ามกัน เมื่อดินที่แห้งแล้วมีการขังน้ำให้อยู่ภายใต้สภาวะน้ำขังจะเกิดการออกซิไดซ์ การตรึง

ฟอสฟอรัสบนออกไซด์ของเหล็กและทำให้พืชมีการขาดฟอสฟอรัสอย่างรุนแรง Huguenin-Elie et al. (2003) ได้ทำการทดลองตรวจสอบกลไกการปลูกข้าวในนาน้ำขังสลับกับดินแห้ง จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ซึ่งทดลองกับน้ำกร่อยและดินที่ลุ่มน้ำเค็ม โดยการวัดการดูดซึมสารสกัดฟอสฟอรัสจากดินที่มีน้ำท่วมขังหรือดินที่ชื้นแล้วเปรียบเทียบผลกับการคำนวณ เพื่อให้สามารถอธิบายการละลายของฟอสฟอรัสโดยวิธีการต่างๆในรูปแบบการให้น้ำแก่พืชทั้งสามระดับ (Devai and Delaune, 1995) พบว่า mycorrhizal ไม่สามารถอาศัยในรากได้ในขณะที่พวกมันอยู่ในดินที่ชื้นและถูกน้ำท่วมขังเป็นระยะ (Kirk et al., 1999; Trolove, 2000)

รูปแบบการจัดการน้ำในนาข้าว

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญมากปัจจัยหนึ่งต่อการเจริญเติบโตและการยกระดับผลผลิตของข้าว ประเทศที่ผลิตข้าวจะประสบปัญหาเกี่ยวกับการขาดน้ำหรือมีน้ำมากเกินไปในช่วงใดช่วงหนึ่งของฤดูปลูกจนทำให้เกิดความเสียหายจากน้ำท่วม เนื่องจากปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอหรือการแปรปรวนของฝนในแต่ละฤดูปลูก ตลอดจนสภาพภูมิประเทศไม่เอื้ออำนวย เช่นเป็นที่ลุ่มหรือดอนเกินไป การจัดการน้ำในนาข้าวจะรวมถึงการควบคุมระดับน้ำและการใช้น้ำที่มีอยู่ให้ได้ผลผลิตสูงสุด การจัดการน้ำอย่างถูกวิธีและประหยัดจะทำให้มีน้ำเพียงพอในฤดูแล้ง ซึ่งข้าวมักจะมีผลผลิตสูงเนื่องจากมีแสงแดดจัดและยาวนานทำให้ข้าวตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนมากกว่าในฤดูปกติ

บทบาทของน้ำต่อการปลูกข้าวอาจแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ บทบาทที่มีผลต่อต้นข้าวทางตรง และบทบาทที่มีผลต่อการปลูกข้าว บทบาทของน้ำที่มีต่อต้นข้าวโดยตรงได้แก่ ช่วยการงอกของเมล็ด เป็นวัตถุดิบในกระบวนการสร้างอาหารจากการสังเคราะห์แสง นำอาหารจากการสังเคราะห์แสงขึ้นใช้เองและจากแร่ธาตุในดินไปสู่ส่วนต่างๆของต้นข้าว (Tuong et al., 1996) บทบาทของน้ำในส่วนนี้ดูไม่แตกต่างกับบทบาทของน้ำที่มีต่อพืชชนิดอื่นมากนักจะต่างกันก็ตรงที่ข้าวเป็นพืชที่ต้องการน้ำมากกว่าพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น บทบาทของน้ำที่มีผลต่อการปลูกข้าวคือ มีส่วนช่วยในการเตรียมดินและกำจัดวัชพืช ข้าวเป็นพืชที่ไม่สามารถทนต่อการขาดน้ำได้นาน ต้นข้าวมักแสดงอาการเหี่ยวเฉาอย่างรุนแรงเมื่อขาดน้ำและผลผลิตข้าวลดลงมาก ถ้าต้นข้าวขาดน้ำในระยะเริ่มปักดำใหม่ๆ ซึ่งกล้ากำลังตั้งต้น ในทางกลับกันข้าวเป็นพืชที่ทนต่อสภาพน้ำท่วมได้ดีกว่าพืชเศรษฐกิจอื่นๆ ในประเทศไทยนิยมปลูกข้าว 2 แบบคือ การปลูกข้าวแบบน้ำขังและการปลูกข้าวแบบประหยัดน้ำ

1. การปลูกข้าวแบบนาน้ำขัง

การปลูกข้าวแบบนาน้ำขังจะเป็นการปลูกข้าวในลักษณะของการที่มีน้ำขัง 80 % ของพื้นที่ที่ปลูก Hossner and Baker (1987) ได้กล่าวว่าการปลูกข้าวในสภาพน้ำขังไม่เพียงต้องการให้น้ำแก่ข้าวเพื่อใช้ประโยชน์เหมือนพืชอื่นๆเท่านั้นแต่สภาพของการที่มีน้ำขังมีประโยชน์ต่อข้าว ดังนี้

1. ธาตุอาหารต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำชลประทานที่ให้แก่ข้าวถึงแม้ว่าจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยแต่เนื่องจากข้าวเป็นพืชที่ใช้น้ำมากต่อ 1 ฤดูการปลูก เมื่อเปรียบเทียบกับพืชไร่อื่นๆ ดังนั้นจึงทำให้ข้าวที่ปลูกในสภาพน้ำขังได้รับธาตุอาหารจากน้ำในปริมาณที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ปลูกในพื้นที่ลาดชัน

2. การขังน้ำช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิให้เข้ากับข้าวที่จะประสบความเสียหาย เนื่องจากร้อนหรือหนาวเกินไป

3. การขังน้ำช่วยกำจัดวัชพืช

4. การเกิดรีดักชัน จากสภาพที่มีน้ำขังทำให้ฟอสเฟตและเหล็กละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมและดูดซับอยู่ที่อนุภาคของดินเหนียว ซึ่งข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรตในน้ำใต้ดิน

5. แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคและนีมาโทด (nematode) ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาพน้ำขัง ดังนั้นการปลูกข้าวติดต่อกันก็จะไม่มีปัญหาในเรื่องของโรคข้าวที่เกิดจากสาเหตุเหล่านี้

6. ธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำสามารถเคลื่อนที่ไปยังรากข้าวและทำให้ข้าวดูดไปใช้ได้ดี ดังนั้นมักพบว่าข้าวเจริญเติบโตได้ดีถึงแม้ว่าจะปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

7. จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนที่อยู่ในสภาพน้ำขังเจริญเติบโตและทำงานได้ดีในนาข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตร้อนชื้น

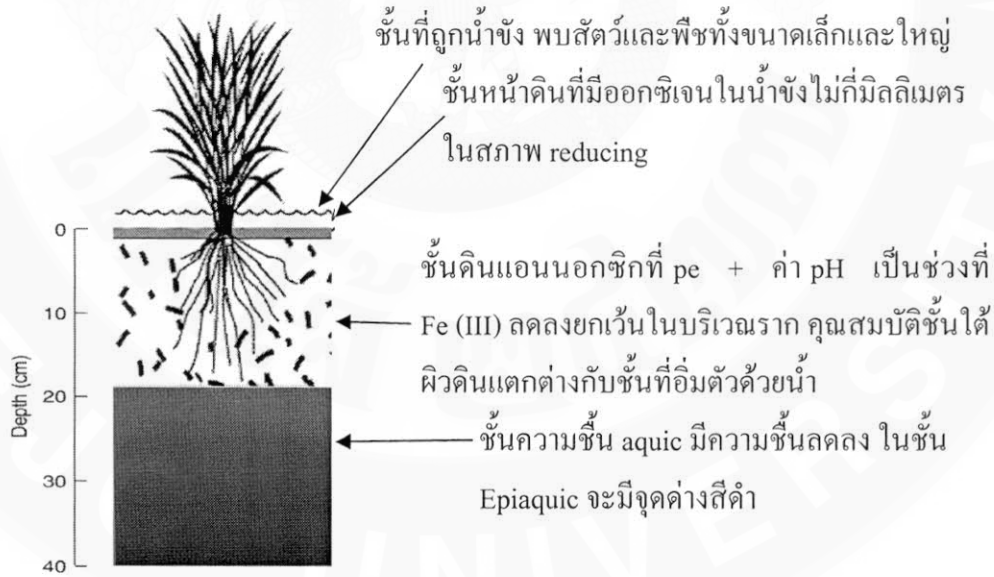
8. ลักษณะของนาข้าวทำหน้าที่อนุรักษ์ดิน ควบคุมน้ำท่วม (ทัศนีย์, 2550)

การที่มีน้ำขังในการปลูกข้าว เนื่องจากข้าวส่วนมากจะเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตสูงเมื่อปลูกในสภาพน้ำขัง น้ำมีอิทธิพลต่อลักษณะโดยทั่วไปของข้าว โดยความสูงของข้าวจะผันแปรกับระดับของน้ำในนาข้าว เมื่อปริมาณน้ำในนาเพิ่มขึ้นความสูงของข้าวก็จะเพิ่มตามและพบว่าการแตกกอของข้าวจะผันแปรกลับกับระดับน้ำ ความต้านทานการล้มจะลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นด้วย ประโยชน์ของการขังน้ำทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารบางตัวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม ซิลิก้าและเหล็ก ถ้าดินมีอัตราการไหลซึมของน้ำดี ธาตุอาหาร

ต่างๆจะถูกชะล้างหายไปจากบริเวณรากพืช (ศุภธิดา, 2555) การระบายน้ำภายในดินที่ดีทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ เหล็กและ reducing substances ต่างๆลดลง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อดินที่อยู่ในเขตหนาว ดินเค็มและดินด่างรวมถึงดินที่ใช้น้ำเค็มในการชลประทาน การระบายน้ำภายในนอกจากจะนำเอาสารต่างๆที่มีมากเกินพอหรือสารที่เป็นพิษออกไปจากบริเวณรากพืชแล้วยังนำออกซิเจนจากบรรยากาศลงไปในบริเวณรากพืชด้วย (พินิติ, 2542)

1.1 อิทธิพลของการขังน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินปลูกข้าว

การมีน้ำขังในนาข้าวในช่วงแรกของการเจริญเติบโตมีผลดีต่อการควบคุมวัชพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัชพืชบก การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญที่สุดเมื่อดินมีน้ำขังคือ การที่เหล็กถูกรีดิวซ์และละลายได้เพิ่มขึ้นการที่ Fe^{3+} ถูกรีดิวซ์ให้เป็น Fe^{2+} มีความสำคัญคือ ให้ Fe^{2+} แก่ต้นข้าว แต่ถ้าดินมี pH ต่ำ และมีปริมาณ Fe^{2+} มากเกินไปก็เป็นพิษต่อข้าวได้ (ทัศนีย์, 2550)



ภาพ 1 แสดงรายละเอียดของดินที่อยู่ภายใต้น้ำขังพร้อมกับ redoximorphic

ที่มา : Kirk G. (2004)

1.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ที่เป็นสาเหตุให้ฟอสฟอรัสถูกปลดปล่อยออกมามีดังนี้

เมื่อดินถูกน้ำขังเป็นระยะเวลานานขึ้นค่า Redox potential(Eh) มีค่าลดลงและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ฟอสฟอรัสถูกปลดปล่อยออกมาดังนี้ (Chiang, 1963)

1.2.1 กระบวนการ Reduction ของ Ferric phosphate ($FePO_4.2H_2O$) ที่อยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะถูกรีดิวซ์เป็น Ferrous phosphate [$Fe_3(PO_4)_2.8H_2O$] ซึ่งอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ และเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ กระบวนการนี้เป็นการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในดินนาน้ำขังที่สำคัญและเกิดมากที่สุด พืชจะได้รับประโยชน์จากฟอสฟอรัสได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของเหล็ก (Fe) ในดินด้วย

1.2.2 ระดับ pH ในดิน ดินที่มีค่า pH สูง เมื่อถูกขังน้ำจะเกิดกระบวนการ Hydrolysis ของ Aluminum phosphate (Al-P) และ Ferric phosphate (Fe-P) ปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ออกมาสู่พืช

1.2.3 การปลดปล่อย CO_2 เมื่อดินถูกน้ำขังจะมีการปลดปล่อย CO_2 ออกมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดิน Calcareous soil เมื่อ CO_2 ละลายน้ำจะเกิดกรด H_2CO_3 ซึ่งจะไปละลายแร่ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบและปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมา

1.3 อิทธิพลของการขังน้ำต่อปริมาณและรูปแบบของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสไม่ได้เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในดินที่มีน้ำขังโดยตรง แต่มันทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยารีดอกซ์ทำให้การขังน้ำมีผลต่อฟอสฟอรัส โดยทำให้ฟอสฟอรัสในดินที่เป็นประโยชน์มากขึ้น (Sahrawat, 2004) ไม่ว่าจะวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในสารละลายดินหรือใช้น้ำยาสกัดตัวใดตัวหนึ่งสกัดฟอสฟอรัสจากดินหรือพิจารณาจากการดูดดึงฟอสฟอรัสของข้าว พบว่าฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ในดินที่ขังน้ำมากว่าดินไร่ เคมีของฟอสเฟตในดินที่ขังน้ำเกี่ยวข้องกับเคมีของเหล็กและสภาพที่จะทำให้เหล็กละลายได้มากขึ้นรวมถึงทำให้ฟอสเฟตเป็นประโยชน์มากขึ้นด้วย Khalid et al. (1977) ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดย oxalate กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับในดินสภาพน้ำขัง พบว่าเมื่อปริมาณเหล็กมีมากขึ้นฟอสเฟตก็ถูกดูดซับได้มากขึ้น เมื่อถึงจุดๆหนึ่งการดูดซับฟอสเฟตจะไม่เพิ่มขึ้นถึงแม้ปริมาณเหล็กจะมีค่าสูงขึ้น ในดินที่มีออกซิเจนฟอสเฟตจะอยู่ร่วมกับเหล็กในรูปของ strengite ($FePO_4.2H_2O$) ที่ไม่ละลายและอยู่ในรูปของแคลเซียมและแมกนีเซียมฟอสเฟต ซึ่งถูกเคลือบด้วย ferric oxyhydroxide ที่ไม่ละลายเช่นกัน ดังนั้นเมื่อดินมีน้ำขังสารประกอบของเหล็กเหล่านี้จะถูกรีดิวซ์เป็น Fe^{2+} และทำให้ฟอสเฟตเป็นประโยชน์ได้ (ทัศนีย์, 2550)

เมื่อดินถูกขังน้ำพืชจะได้รับประโยชน์จากฟอสฟอรัสจากดินมากขึ้น เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ทำให้ฟอสฟอรัสถูกปล่อยออกมาเพิ่มประโยชน์ต่อพืชมากยิ่งขึ้น (ศุภธิดา, 2551) กระบวนการที่ดินนามีน้ำขังจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสดังนี้ (อานนท์, 2547; Kyuma, 2004)

1.3.1 ดินเนื้อปูนที่มีเนื้อดินหยาบ มีอินทรียวัตถุปานกลาง มี active Fe ต่ำ ปริมาณฟอสเฟตที่ละลายได้ในน้ำสูงขึ้นมากและถึงจุดสูงสุดประมาณ 4-6 สัปดาห์ และจะเริ่มลดลงแต่ก็ยังมากกว่าระดับเดิม

1.3.2 ดินที่มีอินทรียวัตถุสูง มี active Fe ต่ำ ปริมาณฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้เพิ่มปานกลาง

1.3.3 ดินกรดที่มี active Fe สูง มีปริมาณฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นน้อยมาก

ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนาน้ำขังจะมีความสัมพันธ์กับความรุนแรงของกระบวนการ Reduction ในดิน เมื่อดินถูกน้ำขังเป็นระยะเวลานานขึ้น ค่า Redox potential (Eh) ลดลงจะเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ฟอสฟอรัสถูกปลดปล่อยออกมาดังนี้ (Chiang, 1963)

- กระบวนการ Reduction ของ Ferric phosphate ($FePO_4.2H_2O$) ซึ่งอยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะถูกรีดิวซ์เป็น Ferrous phosphate [$Fe_3(PO_4)_2 .8H_2O$] ซึ่งอยู่ในรูปละลายน้ำเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ กระบวนการนี้เป็นกระบวนการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในสภาพดินนาน้ำขังที่สำคัญและเกิดขึ้นมากที่สุด ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้พืชได้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในสภาพดินนาน้ำขังได้มากน้อยแค่ไหนก็ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของเหล็กในดินด้วย

- ระดับ pH ในดิน ดินที่มีค่า pH ค่อนข้างสูงเมื่อถูกน้ำขังจะเกิดกระบวนการ Hydrolysis ของ Aluminum phosphate (Al – P) และ Ferric phosphate (Fe – P) ปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช

- การปลดปล่อย CO_2 เมื่อดินถูกน้ำขังจะมีการปลดปล่อย CO_2 ออกมาจาก $CaCO_3$ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน Calcareous soil (ดินทีมี Calcium สูง ซึ่งมี pH สูงด้วย) เมื่อ CO_2 ละลายน้ำจะเกิดกรด H_2CO_3 ซึ่งจะไปละลายแร่ซึ่งมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ เช่น Apatite ปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมา

- การปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากการดูดยึด (Desorption) เมื่อดินถูกน้ำขังจะเกิดการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากการดูดยึดของอนุภาคดินเหนียวและ Oxide ของเหล็กออกมาใน Soil solution เพิ่มมากขึ้น

การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสในดินที่อยู่ภายใต้น้ำขังรวมถึงการทดลองของ Patrick and Mahapatra (1968), Kirk et al. (1990a) and Willett (1991). พบว่าโดยปกติเมื่อดินอยู่ภายใต้น้ำขังความเข้มข้นและการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้จะมีค่าสูงสุด จากนั้นจะค่อยๆลดลง สำหรับดินที่เป็นกรดสูงจะพบปริมาณเหล็กสูงสุด สำหรับในดินทรายจะพบปริมาณเหล็กในดินมีค่าต่ำ การเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสที่ละลายได้จะพบปริมาณสูงที่สุดในดินที่เป็นด่าง สาเหตุที่ฟอสเฟตละลายได้สูงขึ้นเมื่อดินมีการน้ำขังมาจากปัจจัยต่างๆดังนี้

- เกิดจากการที่ strengite ($FePO_4.4H_2O$) เปลี่ยนเป็น vivianite [$Fe_3(PO_4)_2.8H_2O$] ซึ่งละลายได้มากกว่า

- เมื่อสารประกอบของฟอสเฟตที่ตกตะกอน หรือถูกเคลือบด้วย ferric oxyhydroxide ถูกรีดิวซ์ทำให้ฟอสเฟตถูกปล่อยออกมาในสารละลายดิน

- เกิดปฏิกิริยา hydrolysis ของ $Fe(OH)_2H_2PO_4$และ $Al(OH)_2H_2PO_4$

$Fe(OH)_2H_2PO_4 + OH^-$ ----------> $Fe(OH)_3 + H_2PO_4^-$

$Al(OH)_2H_2PO_4 + OH^-$ ----------> $Al(OH)_3 + H_2PO_4^-$

- เกิด anion exchange พวก organic anion ที่เกิดขึ้นเมื่อดินมีน้ำขัง จะไปไล่ที่อนุมูลฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่โดยออกไซด์ของ เหล็กและอลูมินัม หรือส่วนที่ดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคของคอลลอยด์

- เกิดจากการที่ octocalcium phosphate [$Ca_4H(PO_4)_3$] ß-tricalcium phosphate [ß $Ca_3(PO_4)_2$] hydroxyl apatite [$Ca_5(PO_4)_3OH$] และ fluorapatite [$Ca_5(PO_4)_3F$] ในดินเนื้อปูนละลายได้มากขึ้นเนื่องจาก pH ลดลง

- เมื่อรีดักชันเกิดรุนแรงจะได้ปฏิกิริยา ดังนั้น

$Fe_3(PO_4)_2 + 3H_2S$ ---------> $3FeS + 2H_3PO_4$

ส่วนการที่ปริมาณฟอสเฟตมีค่าลดลงในตอนหลัง เนื่องจากฟอสเฟตถูกดูดซับเข้าไปที่อนุภาคของดินเหนียวหรือ Al hydroxide หรืออาจจะเกิดปฏิกิริยาตกตะกอน ผลของการขังน้ำจะทำให้การดูดซึมฟอสฟอรัสในออกไซด์ของแร่ดินเหนียวเพิ่มความสามารถในการละลาย Al-P ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการลดลงของอัตราฟอสฟอรัสในดิน (Willett, 1991) จากการศึกษาของศุภธิดาและคณะ (2557) ที่ระดับการให้น้ำรูปแบบต่างๆในการทดลองแบบกระถาง พบว่าการให้น้ำรูปแบบน้ำขังเหนือดิน 5 ซม. จะมีความเข้มข้นของ Al-P สูงถึง 17.87 % ในส่วนความเข้มข้นของ Fe-P ในดินน้ำขังจะมีค่าต่ำ

1.4 อิทธิพลของการขังน้ำต่อปริมาณสังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

ในดิน Calcareous ที่มีการขังน้ำจะปรากฏการขาด Zn เนื่องจากมี HCO^-_3 ที่สูง โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของธาตุประจุบวก ในดินที่มีการขังน้ำนั้นจะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่มีการเพิ่มความเป็นประโยชน์มากขึ้นในระยะแรกของการขังน้ำและเมื่อเพิ่มถึงจุดสูงสุดจะค่อยๆ ลดลงเป็นลำดับ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับสมบัติของดินด้วย ภาวะที่ขาด Zn พบไม่บ่อยนักในพื้นที่ดอน สภาวะดินที่ขาดออกซิเจนภายใต้สภาพน้ำขังความเป็นประโยชน์ของ Zn ในดินจะลดลง (บุญหงส์, 2547) เนื่องจากความสามารถในการละลายของ Zn จะลดลงเมื่อค่า pH สูงขึ้น Zn จะถูกทำให้ตกตะกอนเป็น $Zn(OH)_2$ ในดินกรดหรือดินเค็มและดินปูน ปริมาณ Zn จะมีการดูดซึม $CaCO_3$ หรือ $MgCO_3$ และเกิดการ oxides ของ Zn และ Mn ในดินปูน การดูดใช้ของ Zn โดยทั่วไปจะลดลงทั้งรากถึงลำต้น เนื่องจากความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นภายใต้การขังน้ำอย่างฉับพลัน หลังจากน้ำขัง pH ในบริเวณรากจะเป็นกรดเนื่องจากการปลดปล่อย H^+ จากรากข้าวเป็นสมดุลส่วนเกินของการดูดใช้ไอออนบวกมากกว่าไอออนลบและให้ H^+ เมื่อ Fe^{2+} ถูก oxidized โดยปลดปล่อยจากทางราก ธาตุ Zn จะถูกปลดปล่อยออกจากส่วนกรดที่ละลายน้ำได้ (เช่นการดูดซับธาตุ Zn ปริมาณอินทรียวัตถุหรือ $Fe(OH)_3$) และเพิ่มความเป็นประโยชน์ในการดูดใช้ของพืชเพราะความเข้มข้นของธาตุ Zn ในดินที่มีน้อย ข้าวจะดูดซับ Zn มากที่สุดเมื่อมีการละลายของธาตุ Zn ในบริเวณราก (Thomas, 2000)

ในส่วนความเป็นประโยชน์ของ Cu จะลดลงในดินที่มีน้ำขังเป็นระยะเวลานาน เนื่องจากการสร้าง Cu sulfides และ Cu ferrite ($Cu_2Fe_2O_4$), ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ในสภาพดินน้ำขังจะมีลักษณะคล้ายกับ Zn โดยจะอยู่ในรูป Cu^{2+} และถูกรีดิวซ์ให้อยู่ในรูป Cu^+ โดยเฉพาะถ้าดินมีธาตุในกลุ่ม halides และ S_2^- จะมีผลทำให้ Cu^+ อยู่ในรูป Cu_2S (pKs = 36.1) ซึ่งเป็นค่าการละลายต่ำในสภาพดินน้ำขัง (Kirk, 2004) และพบว่าหากค่า pH ของดินลดลงและปริมาณอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในดินเพิ่มสูงขึ้น Cu มีอยู่ในดินจะมีความเป็นประโยชน์ต่อพืชสูงขึ้น

การปลูกข้าวสภาพขังน้ำข้าวจะได้รับเหล็กที่เป็นประโยชน์มากกว่าการปลูกข้าวสภาพไร่ โดย Fe ในรูปของ Fe(III) จะถูกเปลี่ยนเป็น Fe(II) หลังจากมีการขังน้ำประมาณ 2-3 เดือน การขังน้ำในนาข้าวทำให้อัตราส่วนของ Fe และ Mn อยู่ในสภาวะสมดุล ภายใน 4 สัปดาห์หลังการขังน้ำข้าวจะได้รับประโยชน์จากการที่มี Fe^{2+} เพิ่มขึ้น (ทัศนีย์, 2550) ในกระบวนการ Reduction ในดินนา พบว่าอนุมูลของ Mn ในดินจะเป็นลำดับต้นๆ ที่จะถูกรีดิสซ์หลังจากน้ำขังในดิน ซึ่งลำดับถัดมาหรืออาจเกิดขึ้นพร้อมๆกันคือ อนุมูลไนเตรต (NO^-_3) ที่เรียกว่ากระบวนการ Denitrification ของ Mnในดินที่อยู่ในรูปของอนุมูล Mn^{+4} จะถูกรีดิวซ์และละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชซึ่งจะอยู่ในรูปอนุมูลของ Mn^{+2} ในดินนาทั่วๆไป Mn จะถูกรีดิวซ์ออกมาอยู่ในรูป Mn^{+2} ในปริมาณที่มาก

ในช่วงสัปดาห์แรกหลังจากดินถูกน้ำขังและจะค่อยๆลดลงในเวลาต่อมา Mn^{+2} ที่ละลายออกมาจะทำปฏิกิริยากับ CO_2 เป็น $MnCO_3$ และพบว่า Mn^{+2} จะละลายออกมามากในดินกรดที่มีอินทรียวัตถุสูง (ศุภธิดาและคณะ, 2557)

2. การปลูกข้าวแบบประหยัดน้ำหรือเปียกสลับแห้ง

การปลูกข้าวในรูปแบบการจัดการน้ำแบบประหยัดถือว่าจะมีการให้น้ำในนาต่อเมื่อมีความจำเป็นเท่านั้น ดังนั้นบางระยะจะมีน้ำขังและบางระยะจะไม่มีน้ำขังในนาเลย การจัดการน้ำแบบนี้จะได้ผลหรือไม่ขึ้นอยู่กับว่าชาวนามีความรู้เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างน้ำกับพืชมากน้อยเพียงใด เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเวลาปริมาณน้ำที่จะต้องให้กับข้าว (ทัศนีย์, 2550) ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมดิน ทำเทือก อาจต้องใช้ประมาณ 10 ซม. เพื่อทำให้ดินอ่อนสะดวกในการปักดำ แต่ก่อนที่จะใส่ปุ๋ยรองพื้นควรปล่อยน้ำบางส่วนออกไปบ้างให้มีน้ำในนาเหลือเพียงเล็กน้อย เพื่อสะดวกในการหว่านและการคราดกลบปุ๋ย สำหรับการปักดำควรมีน้ำในนาประมาณ 2-3 ซม. การปลูกข้าวหากปลูกในความชื้นที่ดินมีเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณน้ำที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้แล้ว ผลผลิตจะลดลงประมาณ 30-50 % ของการปลูกข้าวในสภาพน้ำขังตลอดฤดูปลูก ถ้าข้าวขาดน้ำในระยะตั้งท้องและออกดอกผลผลิตจะลดลงอย่างมาก ฉะนั้นในระยะดังกล่าวควรมีน้ำในนาเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากพืชขาดน้ำแต่พบว่าการปล่อยน้ำออกจากนาหลังการแตกกอเต็มที่กลับจะทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะดินนาที่มีอินทรียวัตถุสูง (Yoshida and Itoh, 1974)

2.1 ผลของการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งที่มีผลต่อเนื้อดิน

เมื่อมีการขังน้ำสิ่งที่เห็นได้ชัดเจนคือ สีของดิน ดินเดิมที่อยู่ในสภาพที่มีออกซิเจนซึ่งเคยมีสีน้ำตาล เหลือง หรือแดง จะเปลี่ยนเป็นสีเทา ฟ้า หรือเขียว ภายใน 2-3 สัปดาห์ หลังจากขังน้ำ Motomura and Yokoi (1969) กล่าวว่าสีของดินที่เปลี่ยนไปนี้เนื่องจากการที่เหล็กในรูปของ Fe(III) เปลี่ยนเป็น Fe(II) หลังจากน้ำขังประมาณ 2-3 เดือน จะมีสีน้ำตาลเกิดขึ้นระหว่างจุดสัมผัสของดินกับน้ำนั่นคือ การเกิดชั้นที่ถูกออกซิไดส์ซึ่งเป็นชั้นบางๆ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาที่ดินแห้งพบว่าดินที่มี Fe(II) ที่ละลายได้ในน้ำและแลกเปลี่ยนได้ในสภาพขังน้ำสูงจะเปลี่ยนสีรวดเร็วจากสีเทาแกมน้ำเงินหรือเทาแกมเขียวไปเป็นเทาแกมเหลืองหรือน้ำตาลเหลือง เมื่อมีการระบายน้ำออกไปในขณะที่ดินมี active และ inactive Fe(II) ในสภาพรีดิวซ์สูงจะเปลี่ยนสีเป็นขาวเทา หลังจากที่ทำให้ดินแห้ง (Kawaguchi and Kawachi, 1969) ในส่วนดินชั้นไถพรวน Fe (II) จะถูกออกซิไดส์และกลายเป็นจุดประหลายชนิดด้วยกันจะมีจุดประเป็นเยื่อบางๆเกิดขึ้นตรงส่วน

ของผิวดินที่แตกซึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำ หลังจากระบายน้ำออกเฟอรัสไอออนจะแพร่กระจายจากดินไปที่รอยแตกและตกตะกอนอยู่ที่นั่นเนื่องจากถูกออกซิไดส์โดยอากาศจุดประที่เป็นแบบแท่งมักอยู่กับรากข้าวออกซิเจนจะซึมไปที่ราก เมื่อรากแห้งก็จะมีเหล็กมาตกตะกอนในลักษณะเดียวกัน filmy mottles ซึ่งเป็นจุดประที่มีลักษณะเป็นก้อนแข็งในดินล่าง

2.2 อิทธิพลของการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งต่อรูปแบบของฟอสฟอรัส สังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

การผันแปรของระดับความชื้นของดินสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านโครงสร้างของดินได้เป็นอย่างมาก การสูญเสียความชื้นหรือดินแห้งขึ้น (dehydration) จะทำให้บริเวณผิวดินหรือผิวนอกของก้อนดินแห้งก่อนส่วนอื่นๆ โดยเฉพาะที่บริเวณซึ่งมีการระเหยของน้ำสูง การที่มวลดินเปียกและแห้งไม่เท่ากันจะทำให้ดินมีการหด-ขยายของปริมาตรส่วนต่างๆไม่เท่ากันและเป็นโอกาสที่มวลดินจะแยกตัวเป็นก้อนดินใหญ่หรือแยกตัวออกเป็นเม็ดดินขนาดเล็กๆได้ โดยปกติการที่ดินถูกทำให้เปียกและแห้งสลับกัน มีแนวโน้มทำให้ก้อนดินหรือเม็ดดินขนาดใหญ่แตกแยกออกเป็นก้อนดินขนาดเล็ก การแตกแยกมี 2 อย่างคือ fracturation ซึ่งหมายถึงการแตกหักและ fragmentation ซึ่งหมายถึงแตกแยกตามรอยแตกธรรมชาติ (ศุภธิดา, 2556) ในสภาพดินนาที่มีการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนตลอดเวลาจากอิทธิพลของเปียกสลับแห้ง มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินในระหว่างที่น้ำขังจากกระบวนการ reduction จะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลายฟอสฟอรัสในดิน ในส่วนของ liable P จะมีฟอสฟอรัสที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นสำหรับข้าว การสลายตัวของ Fe(III) ลดลง การลดลงของ Fe(III) hydrous oxides จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการลดความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส

Yuan et al. (1960) พบว่าการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งของดินมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนรูปของสารประกอบฟอสฟอรัสในดิน โดยอะลูมินัมจะมีบทบาทในการตรึงฟอสฟอรัสมากกว่าเหล็ก ซึ่งฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงโดยอะลูมินัมในตอนแรกนั้นจะค่อยๆ เปลี่ยนไปเป็นเหล็กฟอสเฟต เนื่องจากอิทธิพลของการทำให้ดินเปียกและแห้งสลับกัน

Tanaka et al. (1969) ชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่า pH จะเกี่ยวข้องกับการลดลงของเหล็ก เนื่องจากมีความสำคัญต่อการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในดิน โดยฟอสฟอรัสจะเปลี่ยนรูปตามการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในดิน คือเมื่อ pH ต่ำ ฟอสฟอรัสในรูปของ Ca-P จะเปลี่ยนเป็น Al-P และ Fe-P และเมื่อค่า pH เพิ่มสูง Al-P, Fe-P จะเปลี่ยนรูปไปเป็น Ca-P

ศุภธิดาและคณะ (2557) แสดงให้เห็นว่าการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้ง จะมีความเข้มข้นของ Fe-P ในดินถึง 48.49 % ในการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งรักษาระดับความชื้นของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และ 53.68 % ในการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งรักษาระดับความชื้นของดินที่ 0.3 บาร์

ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงของจุลธาตุพบว่า ในดินที่มีการปลูกข้าวแบบเปียกสลับแห้งนอกจากจะเพิ่มผลผลิตแล้วยังเพิ่มความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุประจุบวกในดิน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในดิน จะเห็นได้ว่าค่า pH ที่สูงขึ้นจะมีผลให้การดูดซับสังกะสีและทองแดงในดินสูงขึ้น แต่เมื่อค่า pH ในดินลดต่ำลงสังกะสีและทองแดงจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปสารละลายในดิน (Zhongwu et al., 2013) สูงถึง 67.1 % รองลงมาคือการให้น้ำแบบน้ำขังแล้วปล่อยให้แห้งมีถึง 61.4 % และดินก่อนการขังน้ำมี 47.3 % (Mandal et al., 2000)

จากการศึกษา Motomura and Yokoi (1969) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง Fe(II) เมื่อดินแห้งพบว่าเหล็กที่ละลายได้ในน้ำหายไปอย่างรวดเร็วภายในเวลา 34 ชม. หลังจากดินแห้งเหลืออยู่น้อยกว่า 5 % ของส่วนที่มีอยู่ในดินที่ขังน้ำ Fe(II) ที่แลกเปลี่ยนได้จะลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจาก 72 ชม. ซึ่งเหลืออยู่น้อยกว่า 4 % ของปริมาณที่เคยอยู่ในดินในสภาพน้ำขัง (ทัศนีย์, 2550) ลักษณะเด่นของดินที่มีสภาพเปียกสลับแห้งใน 1 ปี คือมีการชะล้างของเหล็กและแมงกานีสในดินชั้นบนและจะมีการทับถมของเหล็กและแมงกานีสในดินชั้นล่าง สารประกอบของเหล็กและแมงกานีสจะถูกรีดิวซ์เป็นเฟอรัสและแมงกานัสไอออนซึ่งละลายได้มากขึ้นในสภาพน้ำขัง (Moorman and van Breemen, 1978)

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

การศึกษาประกอบด้วย 6 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 อิทธิพลของจำนวนรอบของการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้ง ที่มีผลต่ออนินทรีย์ฟอสฟอรัสสังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

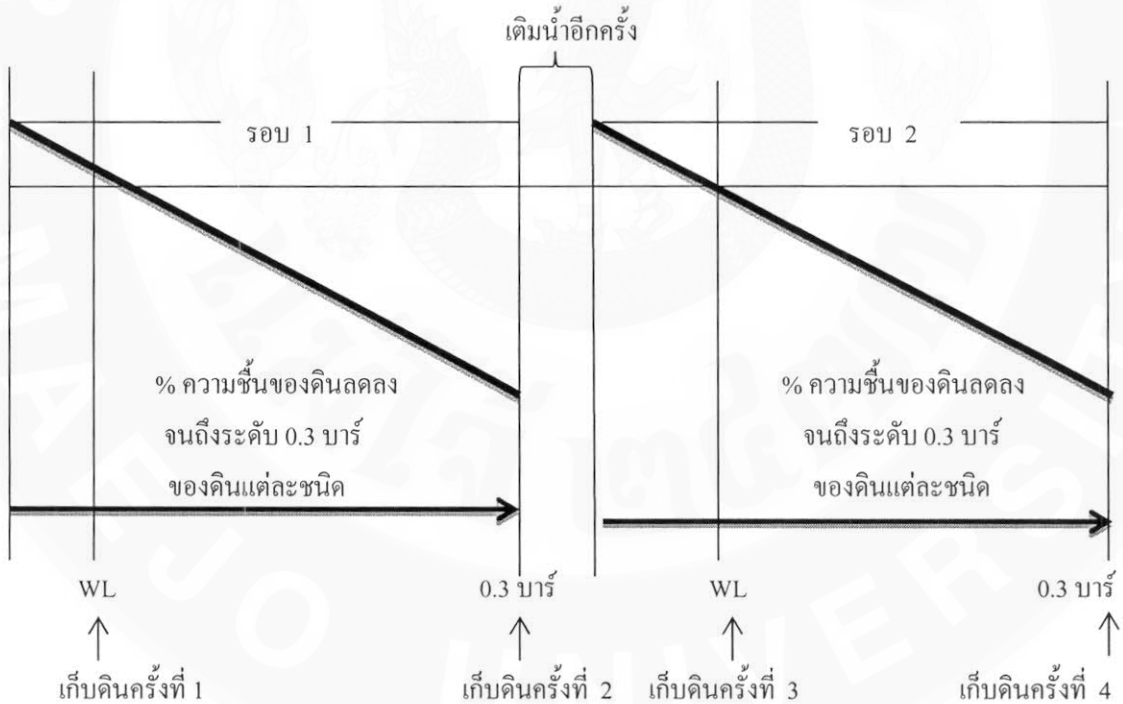
วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Complete Randomized Design (CRD) มี 27 ตำรับการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ทั้งหมด 432 กระปุก โดยปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดดิน ประกอบด้วย 3 ชนิดดินได้แก่ ชุดดินหางดง (Hd), น้ำพอง (Ng) และสรรพยา (Sa) ปัจจัยที่ 2 คือ ปัจจัยควบคุม การเติมกลูโคส การเติมกลูโคสร่วมกับ NH_4NO_3 จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้ระดับความชื้นลดลงที่ระดับ 0.3 บาร์ (ความชื้นที่ระดับความเครียด 0.3 บาร์ ของดินน้ำพอง หางดงและสรรพยาเท่ากับ 136.53 กรัม, 145.99 กรัม และ 145.42 กรัม ตามลำดับ)

การเตรียมตัวอย่างดิน : เก็บตัวอย่างดินจากสภาพแวดล้อมที่ไม่มีการทำการเกษตร ที่ระดับความลึกประมาณ 0-15 ซม. นำมาผึ่งลมให้แห้งแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. จากนั้นนำกระบอกฉีดเติมกลูโคสหรือ NH_4NO_3 เติมลงไปปริมาณที่แตกต่างกันไปตามชนิดของดิน โดยดินหางดงเติมลงไป 777.60 มิลลิลิตรต่อดิน 4800 กรัม ดินน้ำพอง เติมลงไป 619.20 มิลลิลิตรต่อดิน 4800 กรัม ดินสรรพยา เติมลงไป 736.30 มิลลิลิตรต่อดิน 4800 กรัม จากนั้นคลุกดินให้เข้ากัน ชั่งดิน 120 กรัม ใส่ลงกระปุกบ่มดินขนาดกว้าง 6 ซม. สูง 7 ซม. แล้วทำการขังน้ำที่ระดับ 2 ซม. จากนั้นย้ายไปบ่มในห้องที่มีอุณหภูมิ 25 $^{\circ}C$ ในช่วงแรกของการขังน้ำหลังจากระยะเวลาผ่านไป 48 ชม.ของการบ่ม จะนำดินออกมาวิเคราะห์เป็นชุดที่ 1 ปล่อยให้ดินแห้งลงจนถึงระดับความชื้นที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด จึงนำดินออกมาวิเคราะห์เป็นชุดที่ 2 จากนั้นเติมน้ำลงไปอีกครั้งที่ระดับ 2 ซม.หลังจากระยะเวลาผ่านไป 48 ชม. จึงนำดินออกมาวิเคราะห์เป็นชุดที่ 3 ปล่อยให้ดินแห้งลงจนถึงระดับความชื้นที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิดจึงนำดินออกมาวิเคราะห์เป็นชุดที่ 4

ตาราง 1 แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน อัตราการใส่ Glucose การใส่ Glucose + NH_4NO_3

Symbol	Glucose (C กิโลกรัม/ไร่)	N (as NH_4NO_3) (N กิโลกรัม/ไร่)
G	1.25×10^{-4}	0
G+N	1.25×10^{-4}	1.4×10^{-5}
C	0	0

หมายเหตุ: อัตราส่วน C:N ประมาณ 10:1, G = การใส่กลูโคส เพียงอย่างเดียว, G + N = การใส่กลูโคสร่วมกับ NH_4NO_3, C = ปัจจัยควบคุม



ภาพ 2 แสดงขั้นตอนการบ่มดินและช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างดิน

หมายเหตุ: WL = การให้ขังน้ำเหนือดินที่ระดับ 2 ซม., 0.3 บาร์ = การให้ดินมีความชื้นที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด

การทดลองที่ 2 รูปแบบการจัดการน้ำ ชนิดของดินที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส สังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

วิธีดำเนินงาน

ศึกษาทดลองในสภาพโรงเรือน โดยวางแผนการทดลองแบบ 3×3 Factorial in RCBD จำนวน 3 ซ้ำ โดยปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดดิน ประกอบด้วย 3 ชนิดดิน ได้แก่ ดินหางดง (Hd), น้ำพอง (Ng) และสรรพยา (Sa) ปัจจัยที่ 2 คือ ระดับความชื้น ได้แก่ ขังน้ำเหนือดิน (WL) 5 ซม., เปียกสลับแห้งรักษาระดับความชื้นของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (AWDsat.) และเปียกสลับแห้งรักษาความชื้นที่ 0.3 บาร์ (AWD0.3) โดยให้ความชื้นแต่ละชนิดดินลดลงไม่ให้ต่ำกว่า 0.3 บาร์ (ความชื้นที่ระดับความเครียด 0.3 บาร์ ของดินน้ำพอง, ดินหางดง, ดินสรรพยา เท่ากับ 12.9, 16.2 และ 22.3 % ตามลำดับ) เช่นเดียวกับการทดลองดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยให้น้ำขังเหนือดิน 5 ซม.จากนั้นให้ความชื้นลดลงในลักษณะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งการควบคุมระดับความชื้นดังกล่าวเป็นการชั่งน้ำหนักกระถางดิน สำหรับการให้น้ำแบบขังน้ำนั้นให้ขังน้ำเหนือดิน 5 ซม. ตลอดการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างดิน : เก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ที่ไม่มีการทำการเกษตร ที่ความลึก 0-15 ซม. นำมาผึ่งลมให้แห้งแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4 มม. ชั่งดิน 3 กก. ใส่กระถางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 24 ซม. สูง 15 ซม. จากนั้นผสมดินกับน้ำเพื่อเลียนแบบการทำเทือกแล้วทิ้งไว้ 24 ชม. สำหรับการเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวนั้น นำเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านคัดเลือกเมล็ดคุณภาพดี (โดยแช่น้ำ) แช่น้ำไว้ประมาณ 1 วัน แล้วนำเมล็ดมาเก็บไว้ในห่อผ้ารอให้เมล็ดข้าวมีรากยาวประมาณ 0.5 ซม. จึงนำมาหยอดลงในดินที่เตรียมไว้กระถางละ 3-5 เมล็ด เมื่อต้นข้าวอายุ 20 วัน ทำการถอนให้เหลือเพียงกระถางละ 1 ต้น

การวิเคราะห์ข้อมูล: วิเคราะห์ Analysis of Variances (ANOVA) โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Design (RCBD) ในประเด็นรูปแบบการจัดการน้ำ ชนิดของดินต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในส่วนอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวสายพันธุ์หอมมะลิ 105 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การทดลองที่ 3 รูปแบบการจัดการน้ำ ระดับการใส่ปุ๋ย ที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส อนินทรีย์ฟอสฟอรัส สังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

การวางแผนการทดลอง

ศึกษาทดลองในสภาพโรงเรือน โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial Randomized Complete Block Design (RCBD) มี 18 ทรีตเมนท์ จำนวน 3 ซ้ำ ทั้งหมด 54 กระถาง ทำการทดลองในดินหางดง โดยปัจจัยที่ 1 คือ ระดับความชื้น ได้แก่ เปียกสลับแห้งที่รักษาระดับความชื้นดินที่ 0.3 บาร์ (AWD0.3), เปียกสลับแห้งที่รักษาระดับความชื้นดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (AWDsat.) และขังน้ำเหนือดิน (WL) 5 ซม. ปัจจัยที่ 2 การให้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินอัดเม็ด 6 ระดับ ได้แก่ การใส่ปุ๋ยในอัตรา 0, 500, 1000, 1500, 2000 และ 2500 กิโลกรัม/ไร่ โดยแต่ละตำรับการทดลองมีการใส่ปุ๋ย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ในอัตรา 30, 14 และ 7 กิโลกรัม/ไร่ โดยการให้น้ำที่ระดับความชื้น 0.3 บาร์ และดินอิ่มตัวด้วยน้ำนั้นเป็นการให้น้ำในรูปแบบเปียกสลับแห้งโดยให้น้ำขังเหนือดิน 5 ซม. จากนั้นปล่อยให้ความชื้นลดลงที่ระดับไม่ให้ต่ำกว่า 0.3 บาร์ ของดิน (ความชื้นที่ระดับความเครียด 0.3 บาร์ของดินหางดง เท่ากับ 16.2) เช่นเดียวกับตำรับการทดลองดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำโดยการให้น้ำช่วงแรกเป็นการขังน้ำเหนือดิน 5 ซม. จากนั้นปล่อยให้ความชื้นลดลงในลักษณะที่ดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งการควบคุมระดับความชื้นดังกล่าวเป็นการชั่งน้ำหนักจากกระถางดิน สำหรับการให้น้ำแบบขังน้ำนั้น เติมน้ำขังเหนือผิวดิน 5 ซม. ตลอดการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างดินและเมล็ดพันธุ์ : เก็บตัวอย่างดินจากสภาพแวดล้อมที่ไม่มีการทำการเกษตร ที่ความลึกประมาณ 0-15 ซม. นำมาผึ่งลมให้แห้ง ร่อนผ่านตะแกรงขนาดประมาณ 4 มม. จากนั้นชั่งดิน 3 กก. ใส่กระถางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 24 ซม. สูง 15 ซม. ผสมดินกับน้ำเพื่อเลียนแบบการทำเทือกแล้วทิ้งไว้ 24 ชม. สำหรับการเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวนั้นได้นำเมล็ดข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่ผ่านคัดเลือกเมล็ดคุณภาพดี (โดยแช่น้ำ) มาแล้ว นำไปแช่น้ำไว้ประมาณ 1 วัน แล้วนำเมล็ดมาเก็บไว้ในห่อผ้ารอให้เมล็ดข้าวมีรากออกมายาวประมาณ 0.5 ซม. จึงนำมาเมล็ดหยอดลงในกระบะเพาะกล้าที่เตรียมไว้กระถางละ 1 เมล็ด เมื่อต้นข้าวอายุ 20 วัน ทำการย้ายปลูกลงในกระถาง กระถางละ 1 ต้น

การดูแลรักษา : การให้น้ำ วิธีการให้น้ำจะค่อยๆให้น้ำทีละน้อยๆ เพื่อให้ดินมีความอิ่มตัว หลังจากการปลูกข้าวประมาณ 20 วัน จะให้น้ำจนมีระดับน้ำขังเหนือดิน 5 ซม. ตลอดจนกระทั่งข้าวออกรวงจึงลดระดับน้ำในกระถางให้น้อยที่สุด ปล่อยให้ระดับน้ำในกระถางลดลงจนหมดกระถางแล้วทำการเก็บเกี่ยวข้าว ส่วนในการให้น้ำในระดับที่เปียกสลับแห้ง จะทำการให้น้ำขังไว้ 5 ซม. แล้วปล่อยให้แห้ง จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 3-4 วัน จึงมีการให้น้ำกลับไปขังที่ 5 ซม. เหมือนเดิมตลอดการปลูก และการให้น้ำในระดับที่ 0.3 บาร์ จะมีการใช้เทนสิโอมิเตอร์เพื่อวัดความชื้นที่ 0.3 บาร์ ไปตลอด

การปลูกข้าวและการให้น้ำแบบดินมีความอิ่มตัวโดยการรักษาระดับความชื้นให้ดินมีการอิ่มตัวตลอดเวลา เมื่อข้าวอายุได้ประมาณ 80 วัน จึงทำการเก็บเกี่ยวข้าวแต่ละกระถางเก็บใส่ถุงพร้อมเขียนชื่อกำกับ

การทดลองที่ 4 ผลของการใส่หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา รูปแบบการจัดการน้ำ ที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส สังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

วิธีดำเนินงาน

ศึกษาทดลองในสภาพโรงเรือน โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Randomize Complete Block Design (RCBD) มี 48 ทรีทเม้นท์ จำนวน 3 ซ้ำ ทั้งหมด 144 กระถาง โดยปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดดิน ได้แก่ ดินหางดง (Hd), น้ำพอง (Ng) และสรรพยา (Sa) ปัจจัยที่ 2 คือ ระดับความชื้น 4 ระดับได้แก่ ขังน้ำที่ระดับความสูง 2 ซม., ความชื้นของดินที่ระดับความชื้น 60 % ของดินแต่ละชนิด, ความชื้นของดินที่ระดับความชื้น 30 % ของดินแต่ละชนิด, ระดับความชื้นที่ 0.3 บาร์ ของดินแต่ละชนิด ซึ่งการควบคุมระดับความชื้นดังกล่าวเป็นการชั่งน้ำหนักจากกระถางดิน ปัจจัยที่ 3 คือ การใส่หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ได้แก่ หัวเชื้อ *G.geosporum* หัวเชื้อ *G.etunicatum* หัวเชื้อ *A.foveata* และไม่ใส่เชื้อ

การเตรียมดินและเมล็ดพันธุ์ : โดยเก็บตัวอย่างดินจากสภาพแวดล้อมที่ไม่มีการทำการเกษตร ที่ความลึกประมาณ 0-15 ซม. นำมาผึ่งลมให้แห้งแล้วร่อนผ่านตะแกรง 2 มม. จากนั้นชั่งดินใส่กระถาง 205 กก. ใส่กระถางที่มีขนาด 11.5 ซม. สูง 9.5 ซม. จากนั้นนำหัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาใส่รองก้นหลุมตามตำรับการทดลอง อัตรา 41 กรัม/กระถาง (อัตราส่วน 1:5) สำหรับการเตรียมเมล็ดพันธุ์ โดยนำเมล็ดข้าวมาแช่น้ำประมาณ 24 ชม. แล้วนำเมล็ดมาเก็บไว้ในห่อผ้ารอให้เมล็ดข้าวมีรากออกมายาวประมาณ 0.5 ซม. จึงนำมาเมล็ดหยอดลงในกระบะเพาะกล้าที่เตรียมไว้ กระถางละ 1 เมล็ด เมื่อต้นข้าวอายุ 20 วัน ทำการย้ายปลูกลงในกระถาง กระถางละ 1 ต้น

การดูแลรักษา : การให้น้ำหลังจากการปลูกข้าวเสร็จจะให้น้ำในระดับต่างๆโดยที่ระดับน้ำขังเหนือดิน 2 ซม. จะทำการรักษาระดับน้ำขังตลอดระยะการทดลองที่ระดับความชื้น 60 % แต่ละชุดดินจะทำการรักษาระดับความชื้นดังต่อไปนี้ ชุดดินหางดง 285.30 กรัม, ชุดดินน้ำพอง 280.57 กรัม, ชุดดินสรรพยามี 285.01 กรัม ที่ระดับความชื้น 30 % แต่ละชุดดินจะทำการรักษาระดับความชื้นดังต่อไปนี้ ชุดดินหางดง 278.80 กรัม, ชุดดินน้ำพอง 276.43 กรัม, ชุดดินสรรพยา 278.66 กรัม ที่ระดับความชื้น 0.3 บาร์ แต่ละชุดดินจะทำการรักษาระดับความชื้นดังต่อไปนี้ ดินหางดง 325.58 กรัม, ดินน้ำพอง 306.20 กรัม, ดินสรรพยา 324.43 กรัม

การบันทึกข้อมูล : วัดความสูงของข้าวและจำนวนการแตกกอทุกๆ 7 วัน โดยวัดความสูงจากเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นไปจนสุดปลายใบธง เมื่อข้าวอายุได้ 60 วัน จะทำการเก็บเกี่ยวข้าวทุกกอในแต่ละกระถาง เก็บใส่ถุงพร้อมเขียนชื่อกำกับ

การทดลองที่ 5 บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ระดับ pH ของดิน ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส อนินทรีย์ฟอสฟอรัสและสังกะสีในดิน

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Complete Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยปัจจัยที่ 1 ชนิดของเชื้อ ได้แก่ 1.Control 2.ใส่สปอร์ *Glomus geosporum* 3.ใส่สปอร์ *Glomus etunicatum* 4.ใส่สปอร์ *G.geosporum* ร่วมกับสปอร์ *G.etunicatum* ปัจจัยที่ 2 คือ ระดับ pH ได้แก่ pH 5, 6, 7, 8 ตามลำดับ ปลูกข้าวไร่พันธุ์ขาวโป่งไคร้และเมื่อข้าวอายุครบ 60 วัน ทำการเก็บเกี่ยวข้าวเพื่อชั่งหาน้ำหนักแห้ง ตัวอย่างรากข้าวและเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์หาค่าปริมาณสังกะสีและความเป็นประโยชน์ของอนิทรีย์ฟอสฟอรัสในดินต่อไป

การเตรียมตัวอย่างสปอร์ : นำดินจากพื้นที่ป่าทำการคัดเลือกจำแนกสปอร์โดยวิธีของ Morton and Benny (1990) โดยได้จำแนกเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอยู่ในชั้น *Zygomycetes* อันดับ *Glomales* แบ่งเป็น 2 อันดับย่อยได้แก่ *Glomineae* และ *Gigasporineae* ในอันดับย่อย *Glomineeae* มี 2 วงศ์ คือ ประกอบไปด้วย 2 สกุลคือ *Glomus* และ *Sclerocystis* ในวงศ์ *Acaulosporaceae* มีสมาชิกอยู่ 2 สกุล คือ *Acaulospora* และ *Entrophospora* ส่วนในวงศ์ย่อย *Gigasporineae* มีเพียง 1 วงศ์คือ *Gigasporaceae* ซึ่งประกอบไปด้วย 2 สกุลคือ *Gigaspora* และ *Scutellospora* และขยายสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. geosporum* กับ *G. etunicatum* มาสกัดสปอร์โดยวิธีร่อนแบบเปียก (Gerdemann and Nicloson, 1963) ร่วมกับวิธี sucrose centrifugation (Daniel and Skipper,1982) แล้วนำสปอร์ที่ได้เก็บในขวดที่มีสารละลายริงเกอร์ (Ringer Solution) ซึ่งเป็นสารละลายที่ช่วยรักษาการรอดชีวิตของสปอร์เก็บที่อุณหภูมิ 4-5 °C เก็บไว้ได้นาน 6 เดือน (สมจิตร, 2549) เพื่อนำไปใช้ต่อไป

การเตรียมกล้าข้าว: นำข้าวไร่พันธุ์ขาวโป่งไคร้จากภาควิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มาอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 7 วัน แล้วนำไปแช่น้ำ 1 คืน นำไปเพาะในดินไร่ที่จะทำการทดสอบ อีก 1 สัปดาห์

การเตรียมตัวอย่างดินและปลูกพืช : เก็บดินจากพื้นที่ที่ทำการปลูกข้าวไร่ สวนป่าแม่หอพระ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ระดับความลึก 15-30 ซม. (pH 5.5) มาผึ่งลมให้แห้งแล้วนำมาร่อนผ่าน

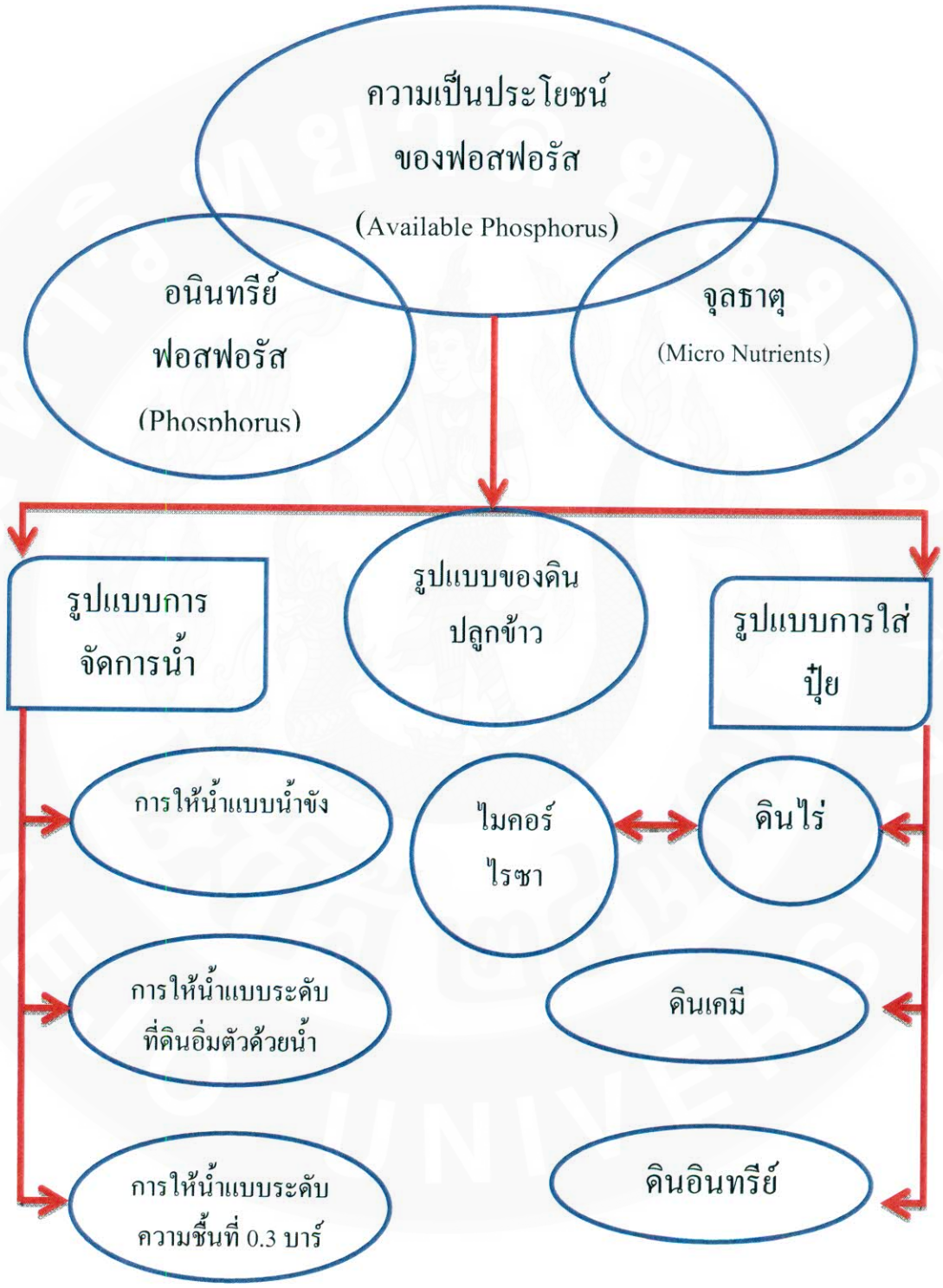
ตะแกรง 1 มม. นำไปอบฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C นาน 60 นาที ปรับค่า pH ของดินด้วย $CaCO_3$ (AR grade) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 60 วัน จึงได้ pH ตามทรีตเมนต์ที่กำหนดไว้ จากนั้นชั่งดินใส่กระถาง 350 กรัม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.50 ซม. สูง 7.50 ซม. นำสปอร์ของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เตรียมไว้รองก้นหลุมปลูก 30 สปอร์/กระถาง ปริมาณที่ใช้ถ้าเป็นสปอร์ขนาดใหญ่ อาจใช้ตั้งแต่ 5-100 สปอร์/ต้น หรือถ้าสปอร์ขนาดเล็กอาจใช้ 50-500 สปอร์/ต้น (สมจิตร, 2549) นำกล้าข้าวไร่อายุ 1 สัปดาห์ที่เตรียมไว้มาปลูก โดยมีการให้น้ำที่มีการควบคุมความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนักก่อนการให้น้ำแต่ละวัน

การทดลองที่ 6 การศึกษาระบบเกษตรนาอินทรีย์ และระบบเกษตรนาเคมีของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส อนินทน์ฟอสฟอรัส ของหมู่บ้านดอนเจียง ตำบลสบเปิง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

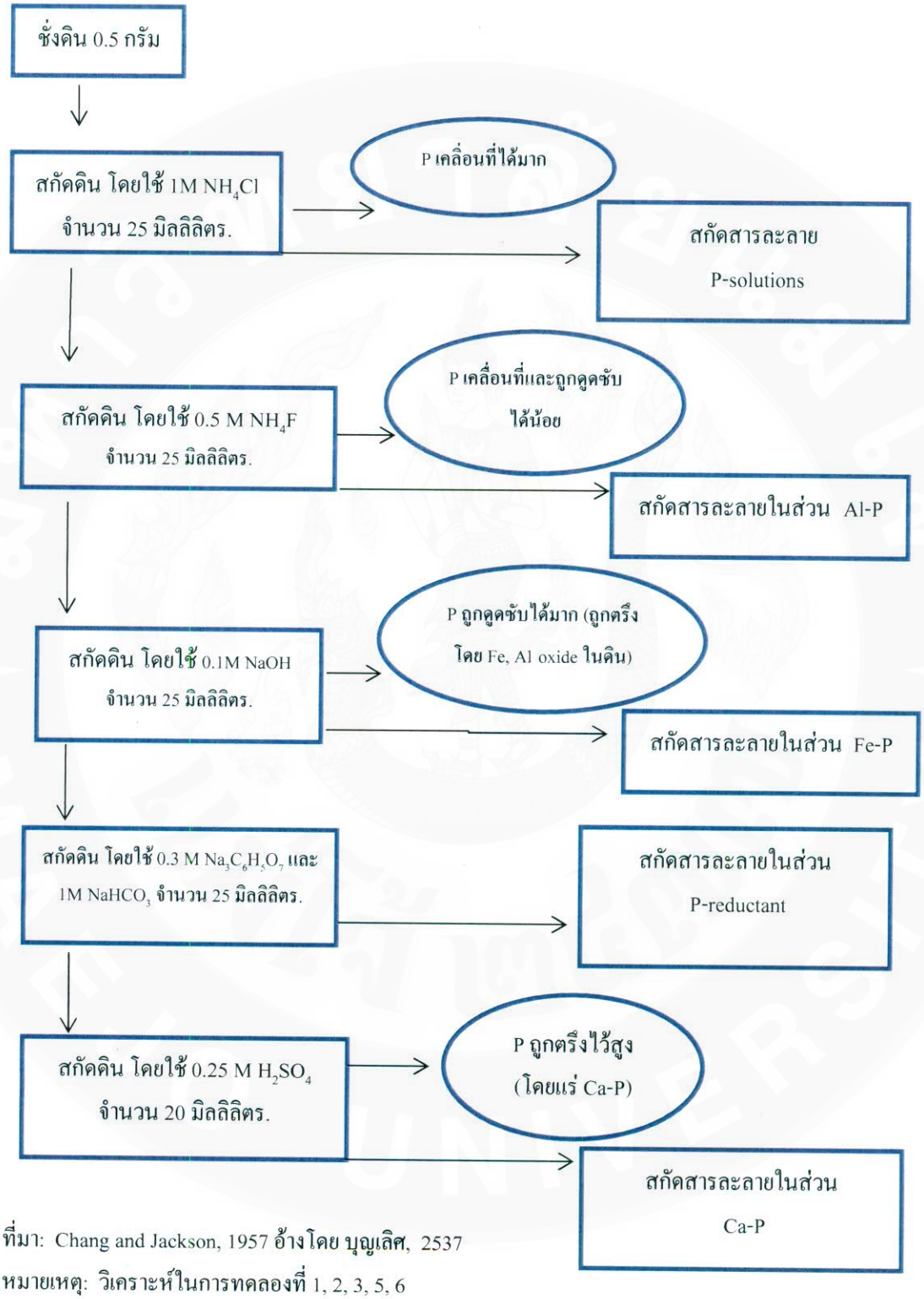
การวางแผนการทดลอง

1. วางแผนการปฏิบัติงานโดยการประสานงานไปที่ผู้นำชุมชนในเขตพื้นที่ศึกษา
2. แบ่งกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวแบบนาอินทรีย์และกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวแบบนาเคมี จำนวนกลุ่มละ 11 ราย
3. ทำการเก็บตัวอย่างดิน โดยเก็บ 2 ระดับ ระดับละ 3 ซ้ำ แบ่งเป็นระดับดังนี้ 0-5 และ 10-15 ซม.
4. ทำการสำรวจข้อมูลของเกษตรกรเกี่ยวกับการใช้ปุ๋ยและการจัดการพื้นที่หลังการเพาะปลูก

กรอบแนวความคิดเกี่ยวกับงานวิจัย



การวิเคราะห์หาปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน



ที่มา: Chang and Jackson, 1957 อ้างโดย บุญเลิศ, 2537

หมายเหตุ: วิเคราะห์ในการทดลองที่ 1, 2, 3, 5, 6

วิเคราะห์หาปริมาณจุลธาตุในดิน โดยการสกัดดินด้วยวิธีดีทีพีเอ (DTPA method) เพื่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน กับประจุบวกของ เหล็ก, แมงกานีส, สังกะสีและทองแดง ในสารละลายดินและส่วนที่แลกเปลี่ยนได้ ทำให้ activity ของไอออนดังกล่าวลดลงและมีการปลดปล่อยจุลธาตุประจุบวกจากสารประกอบออกไซด์ของธาตุนั้นๆละลายออกมาในดิน (Loeppert and Inskeep, 1996; Gambrell, 1996; Reed and Martens, 1996)

การทดลอง ที่ 1, 2, 3, 4, 5

วิเคราะห์หาปริมาณความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน โดยการสกัดด้วยวิธี Bray II method (Bray and Kurtz, 1945) และทำให้เกิดสีโดยวิธีโมลิบนัมบลู โดยใช้กรดแอสคอร์บิคเป็นตัวรีดิวส์ (Murphy and Riley, 1962) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิสิสเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร

การทดลอง ที่ 2, 3, 4, 5, 6

วิธีการวิเคราะห์ดิน

วิเคราะห์ค่า pH โดยใช้น้ำเป็นสารสกัด ใช้สัดส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 (Thomas, 1996)

การทดลอง ที่ 1, 2, 4, 5

วิธีการวิเคราะห์พืช

การทดลองที่ 2

ปริมาณฟอสฟอรัสในพืช (Jones et al., 1991) โดยการย่อยด้วยกรดไนทริกเพอร์คลอริกและซัลฟิวริก-ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (ทัศนีย์ และคณะ, 2532; สุมิตรา, 2534) และทำให้เกิดสี ด้วยวิธีเยลโลโมลิบโดวาเนโดฟอสฟอริกแอซิด เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ได้

การทดลองที่ 2

ปริมาณสังกะสีและทองแดงในพืช (สมพร, 2534)

โดยการย่อยด้วยกรดผสมไนทริก-เพอร์คลอริก

และวัดด้วยเครื่องอะตอมิกแอบซอบชันสเปกโทรโฟโทมิเตอร์

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

จากการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติพื้นฐานของดินทั้ง 3 ชุดดิน พบว่าดินแต่ละชุดดินมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันรวมถึงลักษณะเนื้อดินที่มีความแตกต่างกัน โดยพบว่าดินน้ำพอง (Ng) มีเนื้อ ดินเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินทราย ดินหางดง (Hd) เป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ดินสรรพยา (Sa) เป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง โดยดินที่มีค่า pH สูงสุดคือดิน Ng และดิน Hd มีค่า 5.51, 5.10 ตามลำดับ ดิน Sa มีค่า pH ของดินต่ำสุดเท่ากับ 4.78 (ตาราง 2)

ปริมาณอินทรียวัตถุในแต่ละชุดดินพบว่า ดิน Sa มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุดที่ 1.17 % รองลงมาคือดิน Hd มีค่า 0.94 % และพบว่าดิน Ng มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำสุดที่ 0.39 % ในส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์พบว่า ดิน Sa มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้สูงสุดที่ 77.07 mg/kg และพบว่าดิน Ng มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ต่ำที่สุดที่ 12.93 mg/kg ปริมาณ Zn ในดิน Sa มีค่าสูงสุดที่ 4.80 mg/kg รองลงมาคือ ดิน Ng มีค่า 2.94 mg/kg และพบว่าดิน Hd มีปริมาณต่ำสุดที่ 1.92 mg/kg ในส่วน Cu พบปริมาณสูงสุดในดิน Ng มีค่า 1.42 mg/kg ในส่วนอนินทรีย์ฟอสฟอรัส พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในส่วน P-solution พบในดิน Ng ปริมาณสูงสุดที่ 117.93 mg/kg รองลงมาคือชุดดิน Hd มีค่า 97.81 mg/kg และพบว่าดิน Sa มีค่าต่ำสุดที่ 77.70 mg/kg ในส่วนปริมาณ Al-P พบว่าดิน Sa มีค่า 77.84 mg/kg และพบว่าชุดดิน Ng มีปริมาณต่ำสุดที่ 16.97 mg/kg ในส่วน Fe-P พบว่าชุดดิน Hd มีค่า 128.55 mg/kg และพบว่าชุดดิน Sa มีค่าต่ำสุดที่ 2.10 mg/kg ในส่วน P-Red พบว่าชุดดินที่มีค่า P-Red สูงสุดคือชุดดิน Hd มีค่า 90.31 mg/kg รองลงมาคือชุดดิน Sa มีค่า 85.74 mg/kg ในส่วน Ca-P พบว่าชุดดิน Hd มีค่า 125.18 mg/kg รองลงมาคือ ชุดดิน Sa มีค่า 70.17 mg/kg

ตาราง 2 ลักษณะสมบัติของดินที่ใช้ในการทดลอง (3 ชุดดิน)

สมบัติดิน	ชุดดิน		
	ชุดดินน้ำพอง (Ng)	ชุดดินหางดง (Hd)	ชุดดินสรรพยา (Sa)
ความเป็นกรด-เป็นด่าง(1:1)	5.51	5.1	4.78
ค่าการนำไฟฟ้า μS/m (1:5)	119.05	128.95	140.35
อินทรียวัตถุ (%)	0.39	0.94	1.17
ฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (mg/kg)	12.93	13.62	77.07
สังกะสี (mg/kg)	2.94	1.92	4.8
เหล็ก (mg/kg)	36.92	43.92	43.32
ทองแดง (mg/kg)	1.42	0.52	0.36
แมงกานีส (mg/kg)	41.94	46.84	22.96
P-solution (mg/kg)	117.93	97.81	77.7
Al-P (mg/kg)	16.97	28.24	77.84
Fe-P (mg/kg)	45.03	128.55	2.1
P-Red (mg/kg)	65.42	90.31	85.74
Ca-P (mg/kg)	24.92	125.18	70.17

ผลการทดลองที่ 1 อิทธิพลของจำนวนรอบของการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้ง ที่มีผลต่ออนินทรีย์ฟอสฟอรัส สังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

1. ความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของจำนวนรอบของรูปแบบการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งที่มีผลต่อค่า pH, EC และค่า Eh ในดิน

จากตาราง 3 ในส่วนค่า pH ของชุดดินต่างๆ พบว่าดิน Sa มีค่า pH ของดินสูงสุดที่ 6.67 ค่า EC ของดินพบว่าดิน Hd มีค่า EC สูงสุดที่ 170.68 µS/m รองลงมาคือชุดดิน Sa มีค่า 102.00 µS/m ในดิน Ng และดิน Sa มีค่า Eh ของดินไม่แตกต่างกัน ในส่วนทรีตเมนท์พบว่า ค่า pH สูงขึ้นเมื่อมีการเติม G + N มีค่า 6.74 ค่า EC พบว่าทั้งสามปัจจัยไม่มีความแตกต่างกัน ค่า Eh ของดินพบว่า C มีผลให้ค่า Eh ในดินมีค่าสูงที่สุด 32.10 mV และพบว่าการเติม G + N มีผลให้มีค่า Eh มีค่าต่ำสุด เมื่อดินมีน้ำขังค่า pH ของดินจะสูงขึ้นและมีผลให้ค่า Eh มีค่าลดลง ในส่วนค่า EC ในสารละลายดินจะเพิ่มขึ้นหลังจากมีการขังน้ำจนถึงจุดสูงสุดและลดลงจนมีค่าคงที่ ค่า EC มีค่าสูงในช่วง 2-3 สัปดาห์แรกของการขังน้ำ เมื่อดินมีการถูกทำให้เปียกสลับแห้งค่า pH ของดินและค่า EC มีค่าลดลง ส่วนค่า Eh มีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับระดับเดิม (ทัศนีย์, 2550)

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของการบ่ม ระดับความชื้นของดิน พบว่าการบ่มดินรอบ 1 ที่ระดับ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิดและการบ่มดินรอบ 2 ที่ WL มีผลทำให้ค่า pH ของดินมีค่าสูงสุดที่ 6.65 และ 6.64 จะเห็นได้ว่าค่า pH ของดินจะเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาขังน้ำนานขึ้น (Yamasaki, 1960) ในส่วนค่า EC ของดินพบว่าการบ่มดินรอบ 2 ที่ WL มีผลให้ค่า EC ของดินมีค่าสูงสุด 151.31 µS/m ค่า EC ของดินจะเพิ่มขึ้นหลังจากดินมีน้ำขังใน 2-3 สัปดาห์แรกของการขังน้ำจนถึงจุดสูงสุดและจะลดลงจนมีค่าคงที่ (Ponnamperuma, 1978) ในส่วนค่า Eh ของดิน พบว่าจำนวนรอบของการบ่มและระยะเวลาของการบ่มไม่มีผลต่อค่า Eh ในดิน (ตาราง 3)

ตาราง 3 แสดงชนิดของดิน ผลของการใส่กลูโคส การใส่กลูโคสร่วมกับ NH_4NO_3 จำนวนรอบและระดับความชื้นของดินต่อค่า pH, EC และค่า Eh ในดิน

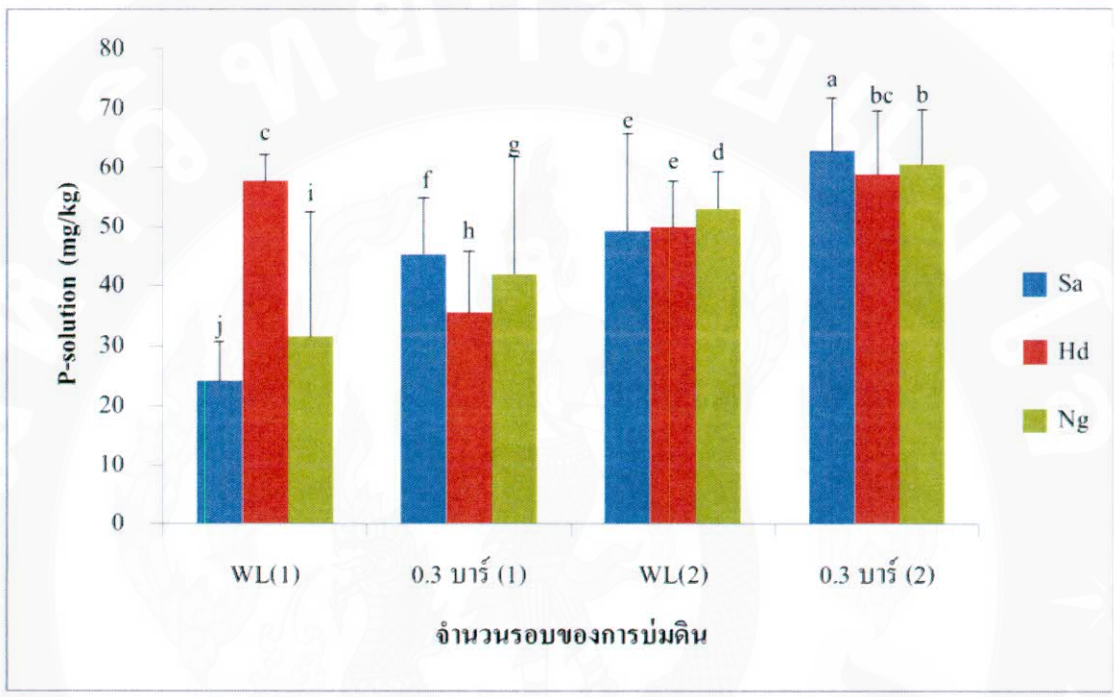
ชุดดิน		pH	EC (μS/m)	Eh (mV)
Sa		6.67 **A**	102.00 **B**	1.47 **B**
Ng		6.35 **B**	13.15 **C**	24.90 **A**
Hd		5.88 **C**	170.68 **A**	27.38 **A**
Treatment				
C		5.86 **c**	64.76 **a**	32.10 **a**
G		6.30 **b**	110.27 **a**	18.72 **b**
G + N		6.74 **a**	110.80 **a**	2.94 **c**
จำนวนรอบและระดับความชื้นของดิน				
รอบ 1	WL	5.48 c	122.61 ab	nd
รอบ 1	0.3 บาร์	6.65 a	118.94 c	21.12 a
รอบ 2	WL	6.64 a	158.63 a	15.12 a
รอบ 2	0.3 บาร์	6.48 ab	62.75 b	19.62 a

หมายเหตุ: Sa = ดินสรรพยา, Ng = ดินหางดง, Hd = ดินหางดง, C = ปัจจัยควบคุม, G = ใส่กลูโคสอย่างเดียว, G + N = การใส่กลูโคสร่วมกับ NH_4NO_3, WL = การขังน้ำที่ระดับ 2 ซม. , 0.3 บาร์ = การบ่มดินเมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่หนาแสดงถึงชนิดของดิน, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กหนาแสดงถึงทรีตเมนท์, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงจำนวนรอบและระยะเวลาของการบ่มดิน

2. อิทธิพลของจำนวนรอบ รูปแบบการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งที่มีผลต่อปริมาณ อนินทรีย์ฟอสฟอรัส

จากการทดลองพบว่าในสภาพที่ดินมีน้ำขัง ฟอสเฟตจะเป็นประโยชน์มากขึ้น (Patrick and Mahapatra, 1968) ในส่วน P-solution พบว่าเมื่อมีการขังน้ำและปล่อยให้ระดับความชื้นลดลงถึง 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด ดิน Hd พบปริมาณ P-solution ในดินลดลง เมื่อมีการ

เติมน้ำเพื่อทำการบ่มรอบ 2 ปริมาณ P-solution มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในส่วนดิน Sa และดิน Ng พบว่าในช่วงแรกของการขังน้ำจนถึงระดับความชื้นที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด ปริมาณ P-solution ในดินทั้งสองชนิดจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งสองรอบของการบ่ม (ภาพ 3)

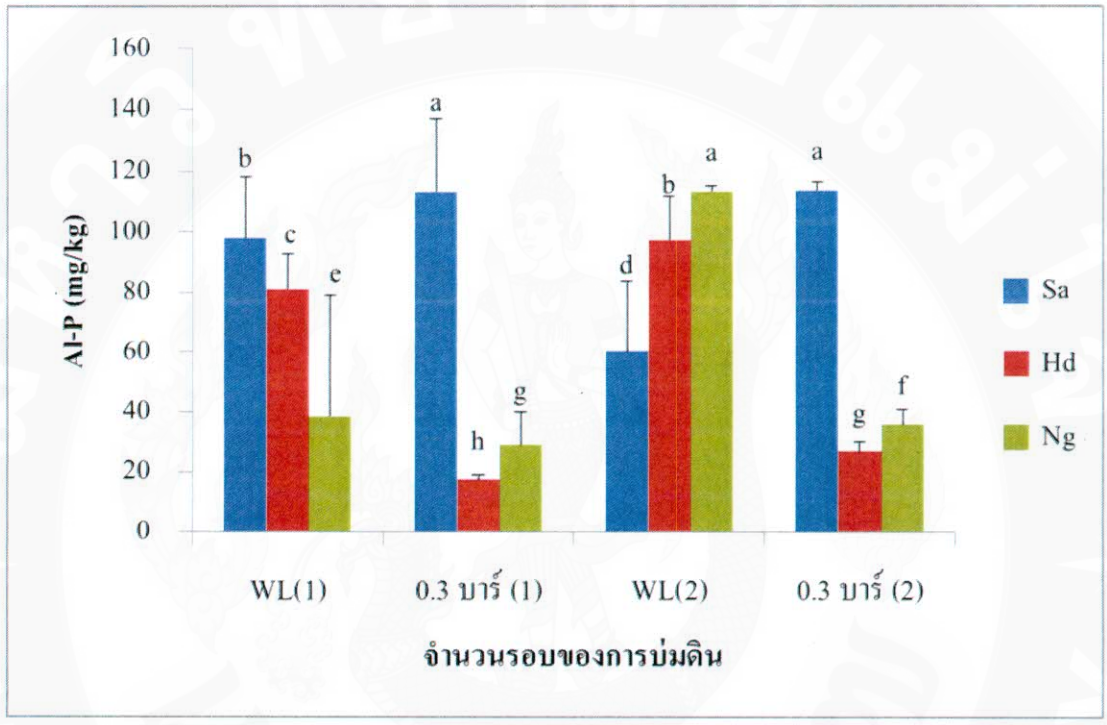


ภาพ 3 ชนิดของดิน จำนวนชั่วโมงของการบ่มดินต่อปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลาย (P-solution) ในดิน

หมายเหตุ: WL(1) = การบ่มดินรอบ 1 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(1) = การบ่มดินรอบ 1 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด, WL (2) = การบ่มดินรอบ 2 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(2) = การบ่มดินรอบ 2 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ ของดินแต่ละชนิด, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างของแต่ละทรีทเมนท์

ศุภธิดาและคณะ (2557) กล่าวว่าที่ระดับการให้น้ำรูปแบบต่างๆ ในการทดลองแบบกระถาง พบว่าการให้น้ำรูปแบบน้ำขังเหนือดิน 5 ซม. จะมีความเข้มข้นของ Al-P สูงถึง 17.87 % จากการศึกษาพบว่าปริมาณ Al-P ในดิน Hd และดิน Ng เมื่อมีการขังน้ำแล้วปล่อยทิ้งไว้จนระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด ปริมาณ Al-P จะค่อยๆลดลงหลังจากมีการเติมน้ำเพื่อทำการบ่มอีกครั้งปริมาณ Al-P ของดินทั้งสองชนิดนี้จะเพิ่มสูงขึ้นและค่อยๆลดลงเมื่อระดับ

ความชื้นในดินเหลือเพียง 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด มีเพียงดิน Sa เท่านั้นที่หลังจากเติมน้ำแล้วระดับความชื้นลดลงถึง 0.3 บาร์ ปริมาณ Al-P ในดินมีค่าเพิ่มสูงขึ้น (ภาพ 8) Al จะมีบทบาทในการตรึงฟอสฟอรัสมากกว่า Fe ซึ่งฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงโดย Al ในตอนแรกนั้นจะค่อยๆเปลี่ยนไปเป็น Fe-P (Yuan et al., 1960)

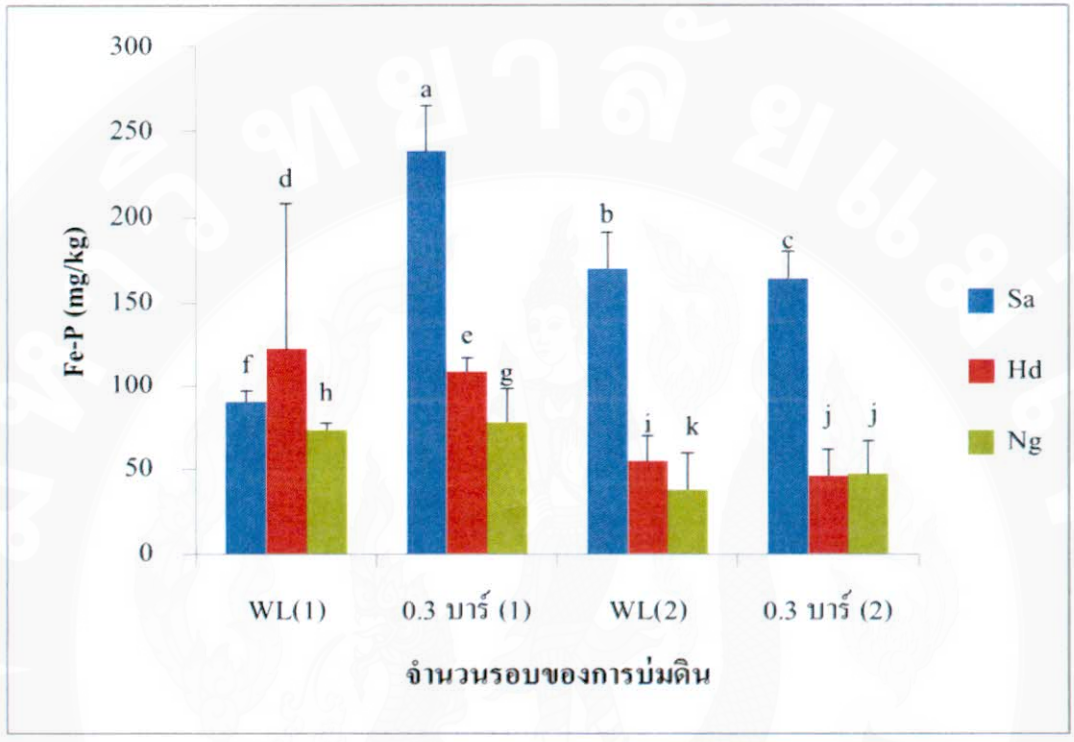


ภาพ 4 ชนิดของดิน จำนวนชั่วโมงของการบ่มดินต่อปริมาณอลูมินัมฟอสเฟต (Al-P) ในดิน

หมายเหตุ: WL(1) = การบ่มดินรอบ 1 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(1) = การบ่มดินรอบ 1 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด, WL(2) = การบ่มดินรอบ 2 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(2) = การบ่มดินรอบ 2 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ ของดินแต่ละชนิด, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างของแต่ละทรีทเมนท์

ในส่วน Fe-P พบว่ารอบ 1 ของการบ่มหลังจากมีการขังน้ำแล้วปล่อยให้ระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด พบว่าดิน Sa และดิน Ng พบปริมาณ Fe-P มีค่าสูงขึ้น เมื่อทำการบ่มอีกครั้งในรอบ 2 ปริมาณ Fe-P ในดินทั้งสามชนิดจะมีค่าลดลงจนระดับความชื้นลดลงจนถึง 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด มีเพียงดิน Ng เท่านั้นที่มีปริมาณของ Fe-P เพิ่ม

สูงขึ้น (ภาพ 5) จะเห็นได้ว่าปริมาณ Fe-P จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อดินอยู่ในสภาพน้ำขัง (Patrick and Mahapatra, 1968)

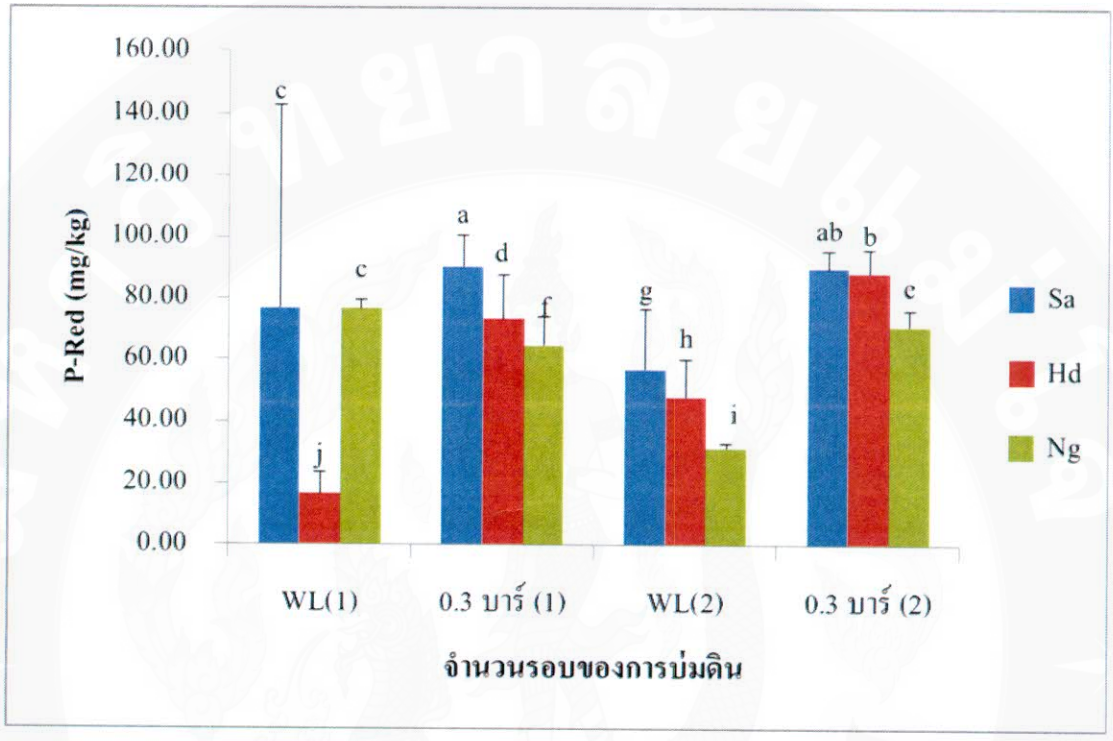


ภาพ 5 ชนิดของดิน จำนวนชั่วโมงของการบ่มดินต่อปริมาณเหล็กฟอสเฟต (Fe-P) ในดิน

หมายเหตุ: WL(1) = การบ่มดินรอบ 1 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(1) = การบ่มดินรอบ 1 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด, WL(2) = การบ่มดินรอบ 2 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(2) = การบ่มดินรอบ 2 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ ของดินแต่ละชนิด, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างของแต่ละทรีทเมนท์

ปริมาณ P-Red พบว่ารอบ 1 ของการบ่มดิน หลังจากมีการเติมน้ำลงไปจนระดับความชื้นในดินอยู่ที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด ดิน Sa และดิน Hd พบปริมาณ P-Red สูงขึ้นมีเพียงดิน Ng เท่านั้นที่ปริมาณ P-Red ลดลง เมื่อมีการเติมน้ำอีกครั้งเพื่อทำการบ่มดินในรอบ 2 พบว่าหลังจากขังน้ำ ปริมาณ P-Red ในดินทั้งสามชนิดจะเป็นไปทิศทางเดียวกันคือจะค่อยๆลดลง เมื่อระดับความชื้นในดินลดลงจนถึงความชื้นที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด ปริมาณ P-Red ทั้งสามชุด

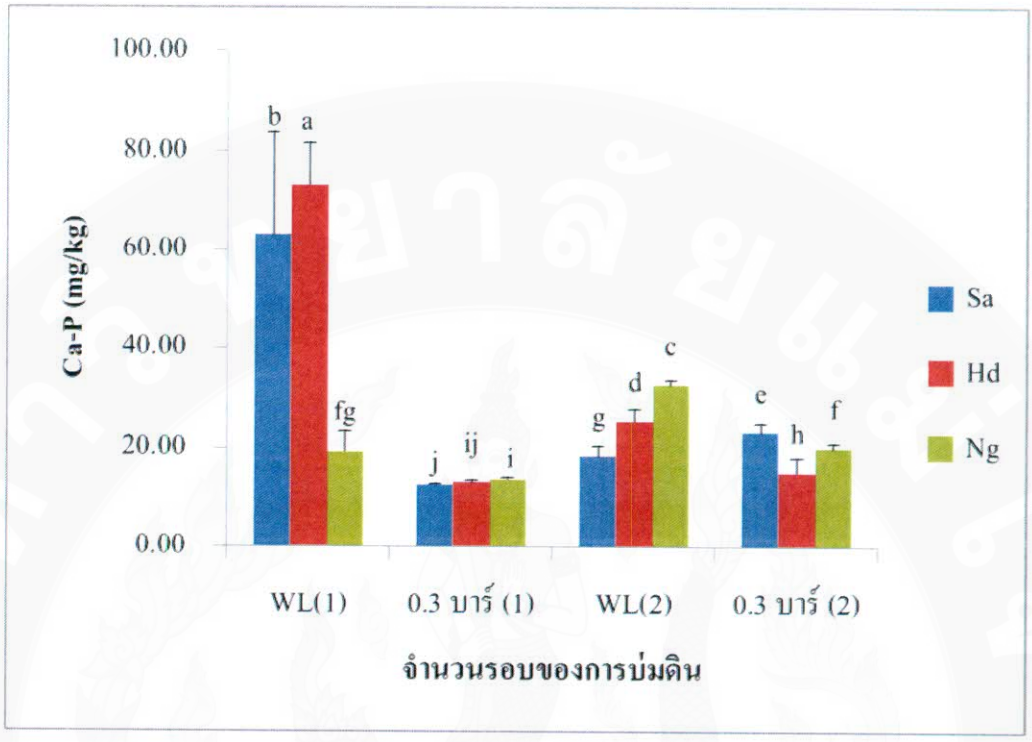
ดินจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น (ภาพ 6) จะเห็นได้ว่าเมื่อดินอยู่ในสภาพขังน้ำฟอสฟอรัสในส่วน P-Red จะไม่ละลายออกมาในปริมาณที่สูง (Patrick and Mahapatra, 1968)



ภาพ 6 ชนิดของดิน จำนวนชั่วโมงของการบ่มดินต่อปริมาณรีดักแตนซ์ฟอสเฟต (P-Red) ในดิน

หมายเหตุ: WL(1) = การบ่มดินรอบ 1 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(1) = การบ่มดินรอบ 1 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด, WL(2) = การบ่มดินรอบ 2 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(2) = การบ่มดินรอบ 2 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ ของดินแต่ละชนิด, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างของแต่ละทรีทเมนท์

ปริมาณ Ca-P พบว่ารอบ 1 ของการบ่มหลังจากมีการขังน้ำ ปริมาณ Ca-P ในดินทั้งสามชนิดมีปริมาณสูง เมื่อระดับความชื้นลดลงถึงระดับ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด ปริมาณ Ca-P ทั้งสามชุดดินจะมีค่าลดลง เมื่อมีการเติมน้ำลงไปเพื่อทำการบ่มในรอบ 2 พบว่าทั้งสามชุดดินพบปริมาณ Ca-P เพิ่มขึ้น เมื่อระดับความชื้นลดลงที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด มีเพียงดิน Sa เท่านั้นที่พบปริมาณ Ca-P เพิ่มขึ้น (ภาพ 7) Tanaka et al. (1969) ชี้ให้เห็นว่าฟอสฟอรัสจะเปลี่ยนรูปตามการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในดิน เมื่อค่า pH ต่ำ ฟอสฟอรัสในรูปของ Ca-P จะเปลี่ยนเป็น Al-P และ Fe-P และเมื่อค่า pH เพิ่มสูง Al-P, Fe-P จะเปลี่ยนรูปไปเป็น Ca-P



ภาพ 7 ชนิดของดิน จำนวนชั่วโมงของการบ่มดินต่อปริมาณแคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P) ในดิน

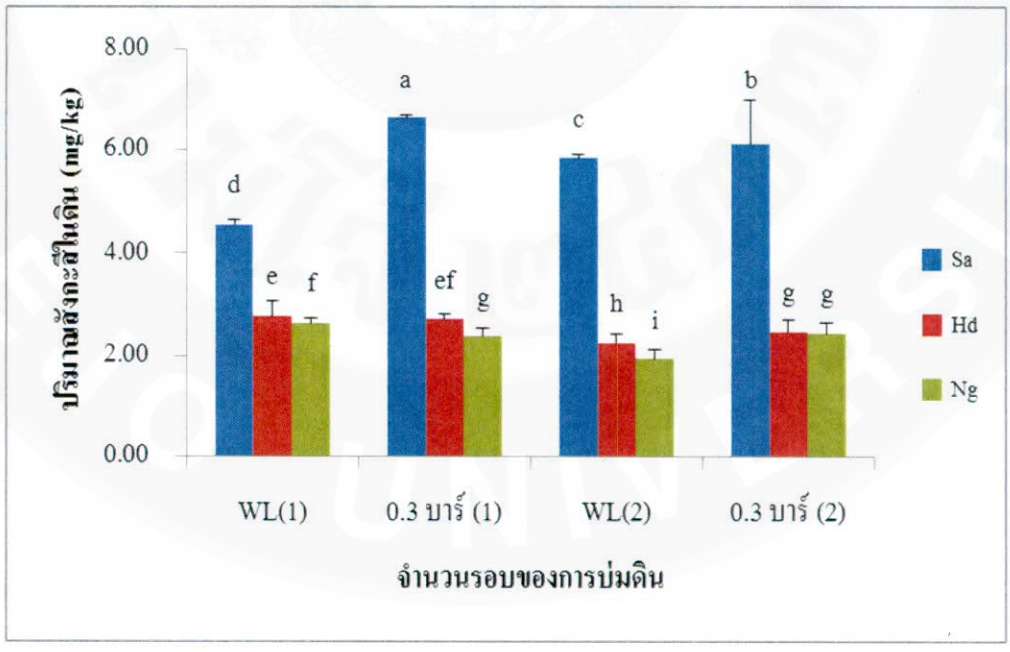
หมายเหตุ: WL(1) = การบ่มดินรอบ 1 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(1) = การบ่มดินรอบ 1 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด, WL(2) = การบ่มดินรอบ 2 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(2) = การบ่มดินรอบ 2 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ ของดินแต่ละชนิด, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างของแต่ละทรีทเมนท์

3. อิทธิพลของจำนวนรอบ ชนิดของดิน รูปแบบการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้ง ต่อปริมาณสังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

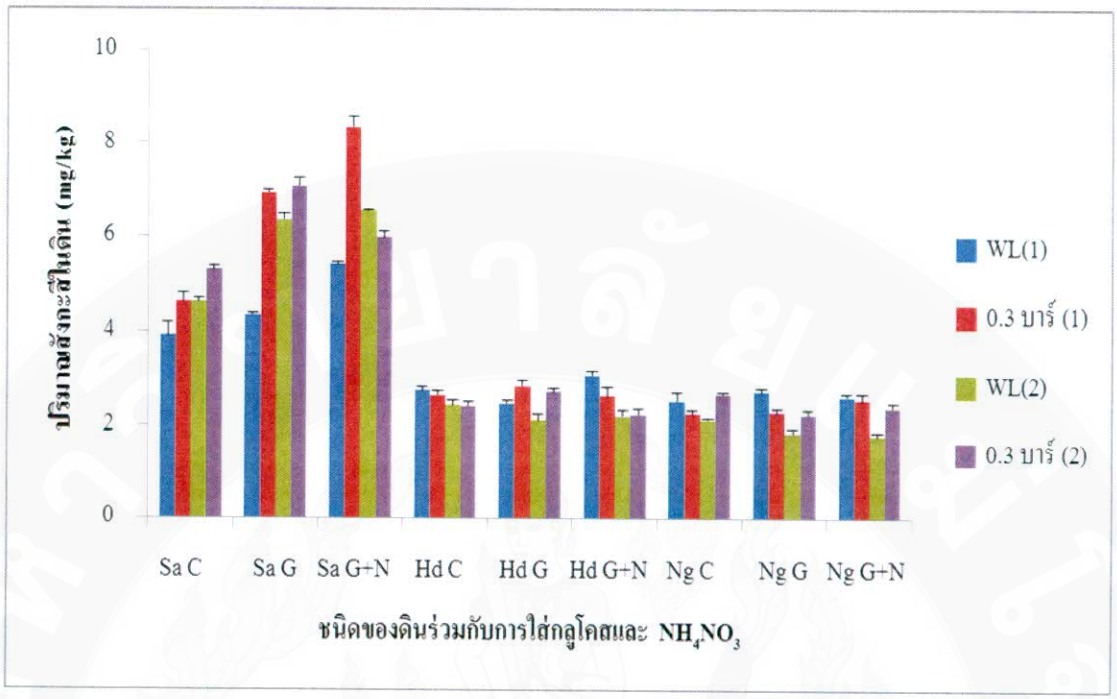
ในส่วนของจำนวนรอบ ชนิดของดิน รูปแบบการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งต่อปริมาณสังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส พบว่าช่วงแรกที่มีการขังน้ำแล้วปล่อยทิ้งไว้ให้ลดลง ปริมาณ Zn ในดิน Sa จะเพิ่มขึ้นและเมื่อปริมาณน้ำลดลงถึง 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด ค่า Zn ในดินจะค่อยๆลดลง แต่ในทางกลับกันดิน Hd และดิน Ng หลังจากมีการขังน้ำแล้วปล่อยให้แห้ง ปริมาณ Zn ในดินจะค่อยๆลดลงและเมื่อปริมาณน้ำลดลงจนถึง 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด ปริมาณ Zn ในดินทั้งสองชุดนี้จะค่อยๆเพิ่มขึ้น (ภาพ 8 (ก)) แสดงให้เห็นว่าการจัดการแบบเปียกสลับแห้งมีผลต่อปริมาณ Zn ในดิน เมื่อมีการขังน้ำปริมาณ Zn ในช่วงแรกจะเพิ่มขึ้นและเมื่อนานไปค่าจะเริ่ม

ลดลง ดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวจะมีส่วนในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของ Zn ในปริมาณที่สูง (Katyal and Sharma, 1991) และพบว่าดินที่มีอากาศอยู่ภายในดิน (aerobic soils) จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นประโยชน์ของ Zn ในดินให้มีค่าลดลง (Bouman et al., 2005)

จำนวนรอบของการบ่มดิน ชนิดของดิน การใส่ G + N ต่อปริมาณ Zn พบว่ารอบ 1 หลังจากมีการขังน้ำ จนระดับความชื้นของดินลดลงถึง 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด พบว่าดิน Sa ที่มีการใส่ G + N พบปริมาณ Zn ในดินสูงสุดทั้งสองช่วงเวลามีค่า 5.41 และ 8.34 mg/kg เมื่อมีการเติมน้ำลงไปอีกครั้งเพื่อทำการบ่มในรอบ 2 หลังจากมีการขังน้ำดิน Sa ที่มีการใส่ G + N พบปริมาณ Zn ในดินสูงสุดมีค่า 6.54 mg/kg เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงถึง 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด ดิน Sa ที่มีการใส่ G พบปริมาณ Zn ในดินสูงสุดที่ 7.06 mg/kg และพบว่าดิน Hd ที่มีการใส่ G + N รวมทั้งดิน Ng ที่มีการใส่ G พบปริมาณ Zn ในดินต่ำสุดที่ 2.25 mg/kg (ภาพ 8 (ข)) ภาวะที่ขาด Zn พบไม่บ่อยนักในพื้นที่ดอน สภาวะดินที่ขาดออกซิเจนภายใต้สภาพน้ำขังความเป็นประโยชน์ของ Zn ในดินจะลดลง เนื่องจากความสามารถในการละลายของ Zn จะลดลงเมื่อค่า pH มีค่าเพิ่มขึ้น (บุญหงส์, 2547)



ภาพ 8(ก) แสดงชนิดดิน จำนวนรอบของการบ่มต่อปริมาณสังกะสี (Zn) ในดิน

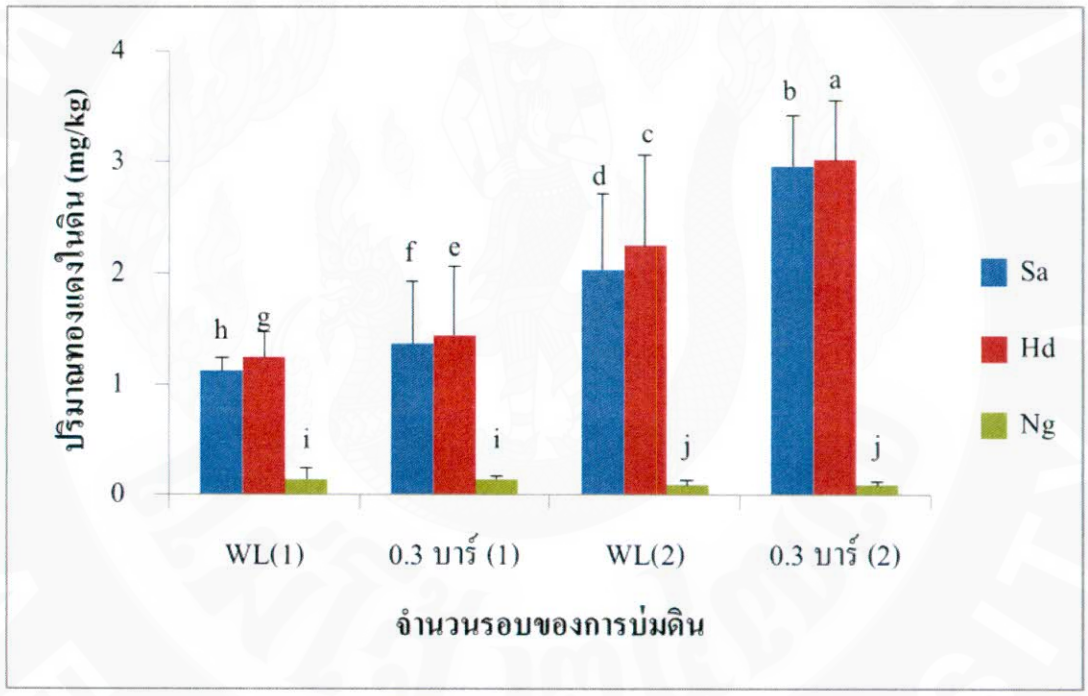


ภาพ 8(ข) แสดงรอบของการบ่ม ชนิดของดิน การใส่กลูโคสและ NH_4NO_3 ต่อปริมาณสังกะสี (Zn) ในดิน

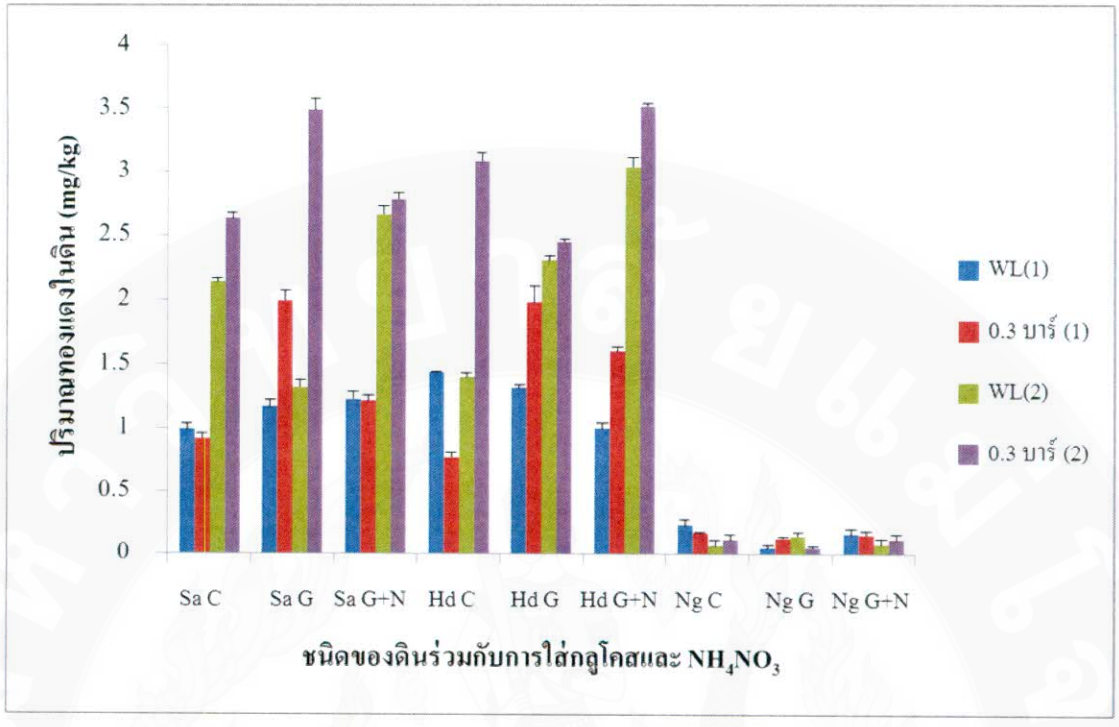
หมายเหตุ: WL(1) = การบ่มดินรอบ 1 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(1) = การบ่มดินรอบ 1 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด, WL(2) = การบ่มดินรอบ 2 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(2) = การบ่มดินรอบ 2 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ ของดินแต่ละชนิด, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างของแต่ละทรีทเมนท์, C = ควบคุม, G = ใส่กลูโคสอย่างเดียว, G+ N = การใส่กลูโคสร่วมกับ NH_4NO_3

ในส่วน Cu พบว่าช่วงแรกที่มีการขังน้ำ ดิน Sa และดิน Hd พบปริมาณ Cu ในดินเพิ่มสูงขึ้น จนถึงระดับที่ดินมีความชื้น 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด พบว่าเมื่อมีการเติมน้ำลงไปอีกครั้งแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Cu ในดินก็มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นคล้ายกับรอบ 1 ของการบ่มดิน ในส่วนดิน Ng พบว่าปริมาณ Cu ในดินชนิดนี้พบปริมาณต่ำหลังจากการขังน้ำแล้วปล่อยทิ้งไว้ ปริมาณ Cu ในดินไม่มีความแตกต่างกัน (ภาพ 9 (ก)) ในดินเนื้อหยาบจะพบปริมาณ Cu ที่สกัดได้ต่ำ (Arora and Sekhon, 1980) รูปแบบการจัดการน้ำพบว่าไม่มีผลต่อปริมาณ Cu ที่สกัดได้จะสังเกตได้ว่าในดินเหนียวและดินร่วนจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณ Zn, Fe, Mn (Sharma et al., 2000)

จำนวนรอบของการบ่มดินต่อชนิดของดินที่มีการใส่ G + N พบว่ารอบ 1 หลังจากที่มีการขังน้ำ ดิน Hd ที่ C พบปริมาณ Cu สูงสุด 1.43 mg/kg หลังจากความชื้นของดินลดลงจนถึงระดับ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด ดิน Sa ที่มีการใส่ G พบปริมาณ Cu ในดินสูงสุด เมื่อมีการเติมน้ำลงไปอีกครั้งเพื่อทำการบ่มในรอบ 2 พบว่าดิน Hd ที่มีการใส่ G + N พบปริมาณ Cu ในดินสูงสุด 3.04 mg/kg เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงจนถึง 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด พบว่าดิน Hd ที่มีการใส่ G + N พบปริมาณ Cu ในดินสูงสุดและพบว่าดิน Ng ที่มีการใส่ G พบปริมาณ Cu ในดินต่ำที่สุด (ภาพ 9 (ข)) หากค่า pH ของดินลดลงและปริมาณอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในดินเพิ่มสูงขึ้น Cu ที่มีอยู่ในดินจะมีความเป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มสูงขึ้นตาม (Kirk, 2004)



ภาพ 9(ก) แสดงชนิดดิน จำนวนรอบของการบ่มต่อปริมาณทองแดง (Cu) ในดิน



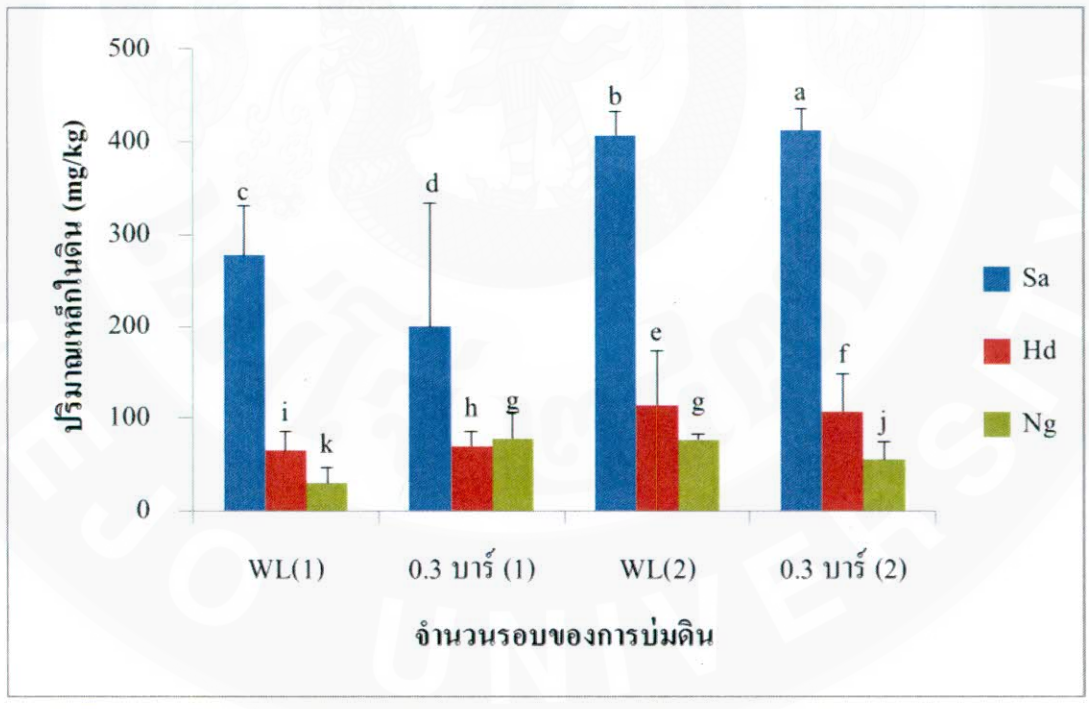
ภาพ 9(ข) แสดงจำนวนรอบของการบ่ม ชนิดของดิน การใส่กลูโคสและ NH_4NO_3 ต่อปริมาณทองแดง (Cu) ในดิน

หมายเหตุ : WL(1) = การบ่มดินรอบ 1 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(1) = การบ่มดินรอบ 1 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด, WL(2) = การบ่มดินรอบ 2 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(2) = การบ่มดินรอบ 2 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ ของดินแต่ละชนิด, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างของแต่ละทรีทเมนท์, C = ควบคุม, G = ใส่กลูโคสอย่างเดียว, G+ N = การใส่กลูโคสร่วมกับ NH_4NO_3

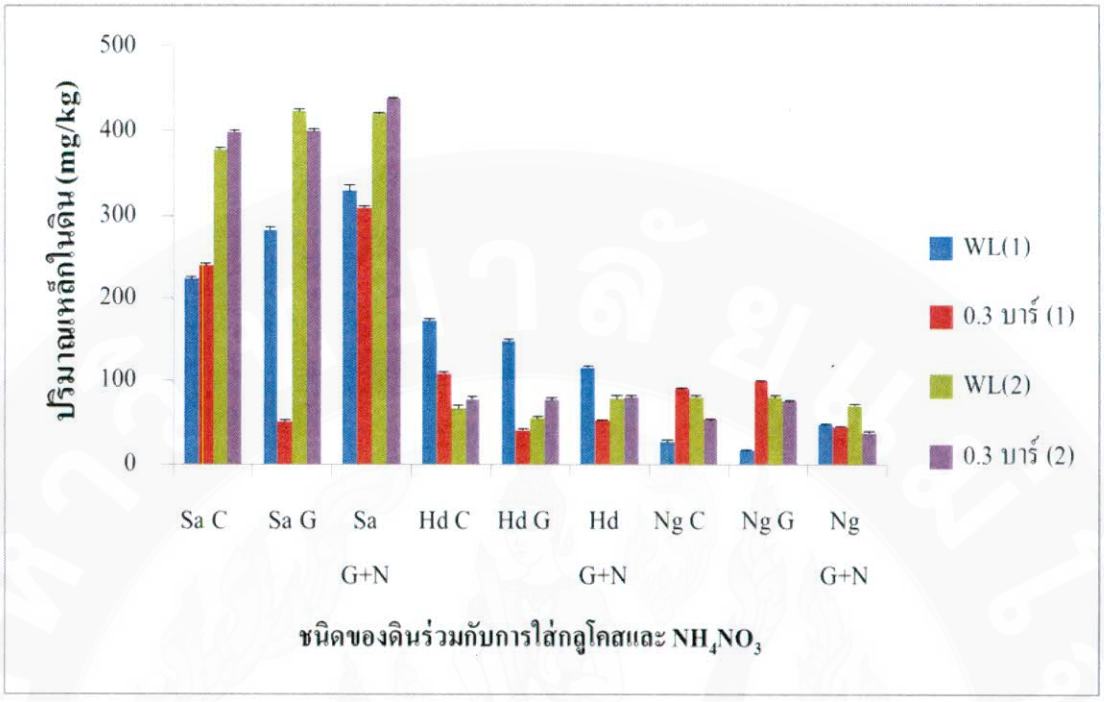
ปริมาณของ Fe ในดินพบว่าทั้งสองรอบของการบ่ม ดิน Sa และดิน Hd ในช่วงแรกที่มีการขังน้ำพบปริมาณ Fe ในดินสูงสุด เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงจนถึง 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิดปริมาณ Fe ของทั้งสองชุดดินมีค่าลดลงซึ่งเห็นได้ชัดในดิน Sa มีเพียงดิน Ng ที่พบว่าเมื่อเริ่มมีการขังน้ำปริมาณ Fe ในดินจะมีค่าต่ำและเมื่อระยะเวลาผ่านไป ปริมาณ Fe ในดินจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ถึงแม้ว่าจะมีการขังน้ำอีกครั้ง (ภาพ 10 (ก)) หลังจากมีการขังน้ำจะพบว่าเหล็กในรูป Fe(III) เปลี่ยนเป็น Fe(II) ซึ่งจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Wakatsuki, 1997) และเมื่อเวลา

ผ่านไปหลังจากการขังน้ำ Fe(II) ที่ละลายน้ำได้จะหายไปอย่างรวดเร็วหลังจากดินแห้ง (Yamasaki, 1960)

จำนวนรอบของการบ่มต่อชนิดของดินที่มีการใส่ G + N พบว่ารอบ 1 ที่มีการขังน้ำ พบว่าดิน Sa ที่มีการใส่ G และที่มีการใส่ G + N ส่งผลให้ปริมาณ Fe ในดินมีค่าสูงสุด 328.85 และ 282.45 mg/kg ตามลำดับ เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงจนถึง 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด พบว่าดิน Sa ที่มีการใส่ G + N และ C พบปริมาณ Fe ในดินสูงสุดที่ 309.25 และ 239.39 mg/kg ดิน เมื่อมีการขังน้ำ ปริมาณ Fe ในสารละลายดินจะเพิ่มขึ้น 300 ถึง 600 มก./ลิตร (ทัศนีย์, 2550) เมื่อมีการขังน้ำรอบ 2 พบว่าดิน Sa ที่มีการใส่ G + N และใส่ G พบปริมาณ Fe ในดินสูงสุด เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงจนถึง 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด พบว่าดิน Sa ที่มีการใส่ G + N และที่ใส่ G พบปริมาณ Fe ในดินสูงที่สุด 438.19 และ 399.39 mg/kg ตามลำดับ (ภาพ 10 (ข)) จะพบได้ว่าการใส่กลูโคสและ NH_4NO_3 จะทำให้เกิดสภาพรีดักชันที่รุนแรงเร่ง Fe^{2+} ให้ละลายออกมาเพิ่มสูงขึ้น (Tanaka and Navasero, 1966)



ภาพ 10(ก) แสดงชนิดดิน จำนวนรอบของการบ่มต่อปริมาณเหล็ก (Fe) ในดิน



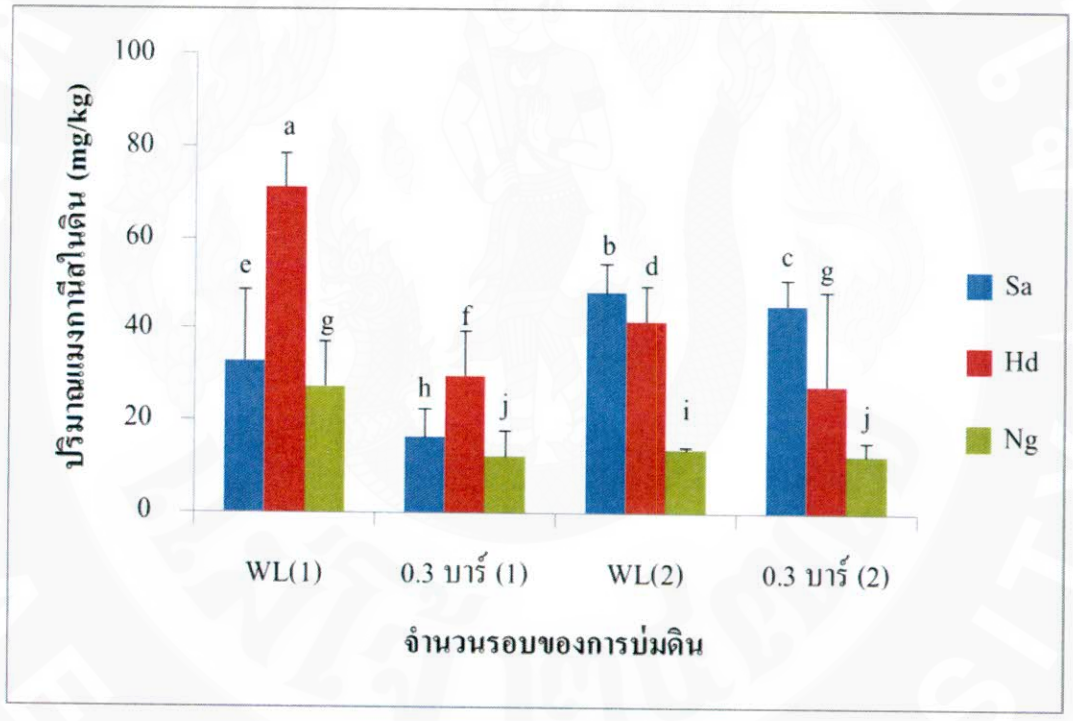
ภาพ 10(ข) แสดงจำนวนรอบของการบ่ม ชนิดของดิน การใส่กลูโคสและ NH_4NO_3 ต่อปริมาณเหล็ก (Fe) ในดิน

หมายเหตุ : WL(1) = การบ่มดินรอบ 1 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(1) = การบ่มดินรอบ 1 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด, WL(2) = การบ่มดินรอบ 2 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(2) = การบ่มดินรอบ 2 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ ของดินแต่ละชนิด, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างของแต่ละทรีทเมนท์, C = ควบคุม, G = ใส่กลูโคสอย่างเดียว, G+ N = การใส่กลูโคสร่วมกับ NH_4NO_3

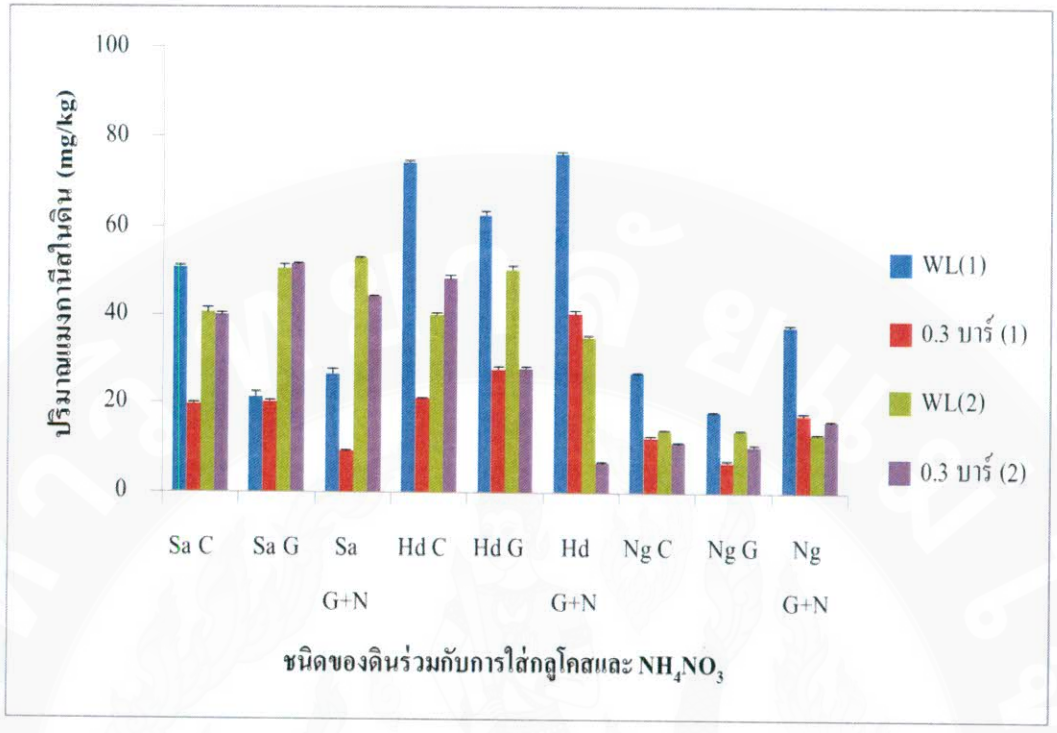
ในส่วน Mn พบว่าช่วงแรกของการขังน้ำทั้งสามชุดดินจะมีปริมาณ Mn ในดินที่สูง เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงจนถึง 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด พบว่าปริมาณ Mn ในดินที่ละลายออกมามีค่าลดลง การที่ดินมีน้ำขังทำให้ Mn เป็นประโยชน์มากขึ้นการขังน้ำจะไม่พบปัญหาของ Mn เป็นพิษ (IRRI Annual Report, 1964)โดยพบว่าดิน Sa และดิน Hd ที่มีการเพิ่มขึ้นของ Mn ในปริมาณที่สูงเมื่อระดับความชื้นในดินลดลงปริมาณ Mn ในดินจึงค่อยๆลดลง (ภาพ 11 (ก))

จำนวนรอบของการบ่ม ชนิดของดินที่มีการใส่ G + N พบว่ารอบ 1 หลังจากการขังน้ำดิน Hd ที่มีการใส่ G + N พบปริมาณ Mn ในสารละลายดิน 76.36 mg/kg เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงจนถึง 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด พบว่าดิน Hd ที่มีการใส่ G + N พบปริมาณ Mn ใน

สารละลายดินมีค่าเพิ่มสูงขึ้น 40.37 mg/kg จากนั้นเมื่อมีการขังน้ำเพื่อทำการบ่มดินรอบ 2 พบว่าดิน Sa ที่มีการใส่ G + N พบปริมาณ Mn ในสารละลายดินสูงสุดที่ 53.05 mg/kg เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงจนถึง 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด ดิน Sa ที่ใส่เพียง G พบปริมาณ Mn ในดินสูง ดิน Hd ที่มีการใส่ G + N พบปริมาณ Mn ในสารละลายดินต่ำสุด (ภาพ 11 (ข)) อนุมูลของ Mn ในดินจะเป็นลำดับต้นๆ ที่จะถูกรีดิวซ์หลังจากน้ำขัง จะเห็นได้ว่าในดิน Mn จะอยู่ในรูปของ Mn^{+4} ซึ่งถูกรีดิวซ์และละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชซึ่งในรูป Mn^{+2} ในปริมาณที่สูงในช่วงสัปดาห์แรกหลังจากดินถูกน้ำขังและจะค่อยๆลดลงในเวลาต่อมาและยังพบว่า Mn^{+2} จะละลายออกมาในปริมาณที่สูงในดินกรดที่มีอินทรียวัตถุสูง (ศุภธิดา และคณะ, 2557)



ภาพ 11(ก) แสดงชนิดดิน จำนวนรอบของการบ่มต่อปริมาณแมงกานีส (Mn) ในดิน



ภาพ 11(ข) แสดงจำนวนรอบของการบ่ม ชนิดของดิน การใส่กลูโคสและ NH_4NO_3 ต่อปริมาณแมงกานีส (Mn) ในดิน

หมายเหตุ : WL(1) = การบ่มดินรอบ 1 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์ (1) = การบ่มดินรอบ 1 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด, WL (2) = การบ่มดินรอบ 2 ที่การขังน้ำเหนือผิวดิน 2 ซม., 0.3 บาร์(2) = การบ่มดินรอบ 2 เมื่อระดับความชื้นของดินลดลงที่ 0.3 บาร์ ของดินแต่ละชนิด, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างของแต่ละทรีทเมนท์, C = ควบคุม, G = ใส่กลูโคสอย่างเดียว, G+ N = การใส่กลูโคสร่วมกับ NH_4NO_3

ผลการทดลองที่ 2 รูปแบบการจัดการน้ำ ชนิดของดินที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส สังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

1. ผลของชนิดของดิน รูปแบบการจัดการน้ำต่อความเป็นประโยชน์ของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส

จากตาราง 4 ผลจากการศึกษาพบว่า P-solution มีค่าสูงสุดในชุดดิน Sa ที่ 16.72 mg/kg ดิน Hd มีค่าต่ำสุดที่ 7.74 mg/kg Carreira et al. (2006) และ Shaheen et al. (2007) พบว่าดินเนื้อละเอียดมีบทบาทในการดูดยึดและคายฟอสฟอรัสปริมาณสูง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในชุดดิน Hd พบปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาในสารละลายดินมีค่าต่ำสุด ระดับความชื้น AWD0.3 พบ P-

solution มีค่าสูงสุด ในส่วน AWDSat., WL มีค่าไม่แตกต่างกัน ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินต่อรูปแบบการจัดการน้ำพบว่าดิน Sa0.3 มีผลต่อ P-solution สูงสุดที่ 21.80 mg/kg รองลงมา SaSat. และ Ng0.3 มีค่า 18.13 และ 17.11 mg/kg ในส่วน Al-P พบว่าดิน Hd พบปริมาณ Al-P สูงสุดที่ 33.59 mg/kg เนื่องจากในดินเนื้อละเอียดการตรึงฟอสเฟตมีปริมาณสูง การแลกเปลี่ยนฟอสเฟตในสารละลายดินจะพบว่าการเกิดอลูมินัมจะคล้ายๆกับที่เกิดขึ้นในเหล็กเพราะฟอสฟอรัสถูกดูดซับที่ผิวอนุภาคดินปริมาณสูง (Haseman et al., 1950) รูปแบบการจัดการน้ำแบบต่างๆ พบว่า WL มีค่า Al-P สูงสุด 32.67 mg/kg และพบว่า AWDSat. มีค่าต่ำสุดที่ 20.14 mg/kg ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินต่อรูปแบบการจัดการน้ำพบว่าดิน HdWL มีค่าสูงสุดที่ 40.36 mg/kg ดิน SaSat. มีค่าต่ำสุด 10.16 mg/kg ปริมาณ Fe-P พบว่าดิน Hd มีปริมาณ Fe-P สูงสุดที่ 155.99 mg/kg ดิน Ng มีค่าต่ำสุดที่ 46.86 mg/kg สารละลาย Al-P, Fe-P จะถูกควบคุมโดย pH ของดินและพบว่าปริมาณสารละลายฟอสเฟตของ Al-P, Fe-P จะละลายออกมาในปริมาณที่สูงเมื่อ pH มีค่าใกล้เคียง 6 (Stumm and Morgan, 1970) ที่ระดับความชื้นต่างๆพบว่า AWD0.3 ปริมาณ Fe-P สูงที่สุด 107.34 mg/kg การจัดการน้ำแบบ AWDSat และ WL มีผลไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการขังน้ำทำให้ Fe เปลี่ยนรูปเป็น Fe(II) ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากขึ้น อิทธิพลของการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินลดลง แต่พบฟอสฟอรัสในส่วน Al-P, Fe-P เพิ่มสูงขึ้น (Khalid et al., 1977) ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินต่อรูปแบบการจัดการน้ำพบว่า ดิน HdWL มี Fe-P สูงที่สุด 174.72 mg/kg ดิน NgSat. และ NgWL มีค่าต่ำสุดที่ 12.82, 18.44 mg/kg ตามลำดับ ปริมาณ P-Red พบว่าดิน Hd มีค่าสูงสุด 43.04 mg/kg รูปแบบการให้น้ำพบว่า WL มีปริมาณ P-Red สูงสุดที่ 35.55 mg/kg ปริมาณของฟอสฟอรัสในส่วนนี้พบในดินน้ำขังปริมาณที่สูงเนื่องจาก P-Red ส่วนใหญ่จะละลายออกมาปริมาณสูงเมื่อออกซิเจนในดินเริ่มลดลง (Sanchez, 1976) ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินต่อรูปแบบการจัดการน้ำพบว่า Hd0.3 และ HdSat. พบปริมาณ P-Red สูงสุดที่ 52.17, 51.16 mg/kg ตามลำดับ ในส่วน Ca-P พบว่าดิน Sa มีค่าสูงสุด 22.20 mg/kg ดิน Hd มีค่าต่ำสุดที่ 19.45 mg/kg รูปแบบการจัดการน้ำพบว่า AWD0.3 และ WL พบปริมาณ Ca-P สูงสุด 21.15, 21.65 mg/kg ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินต่อรูปแบบการจัดการน้ำพบ Ca-P สูงสุด ในดิน Ng0.3 มีค่า 24.42 mg/kg ดินที่มีการทำเปียกสลับแห้งทำให้ค่า pH ในดินมีการเปลี่ยนแปลง ปริมาณฟอสฟอรัสในดินจะเกิดการเปลี่ยนรูปจาก Al-P, Fe-P เป็น Ca-P จึงทำให้พบปริมาณ Ca-P ในดินสูง Cholitkul and Tyner (1971) ได้ศึกษาถึงความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนาของไทย พบว่ามีปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูป Fe-P สูงสุด รองลงมาคือ P-Red, Al-P และ Ca-P ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานของ

Phongphan (1977) ที่ศึกษารูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินนาที่ราบลุ่มภาคกลาง พบปริมาณ Fe-P มีค่าเฉลี่ยสูงสุดรองลงมาคือ P-Red ในส่วน Ca-P และ Al-P

ตาราง 4 ผลของชนิดของดิน รูปแบบการจัดการน้ำ ต่อความเป็นประโยชน์ของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส

soil	P-solution (mg/kg)	Al-P (mg/kg)	Fe-P (mg/kg)	P-Red (mg/kg)	Ca-P (mg/kg)
Sa	16.72A	16.92C	66.63B	23.74C	22.20A
Ng	11.72B	26.42B	46.86C	34.12B	21.42B
Hd	7.74C	33.59A	155.99A	43.04A	19.45C
Water					
AWD0.3	15.69**a**	24.12**b**	107.34**a**	31.65**c**	21.15**a**
AWDsat	10.26**b**	20.14**c**	79.43**b**	33.70**b**	20.27**b**
WL	10.23**b**	32.67**a**	82.72**b**	35.55**a**	21.65**a**
interaction					
Sa0.3	21.80a	20.52ef	71.19d	15.37f	20.85c
SaSat	18.13b	10.16g	68.10d	17.36f	23.24b
SaWL	10.23d	20.08f	60.61d	38.47c	22.52b
Ng0.3	17.11b	20.00f	109.31c	27.42e	24.42a
NgSat	5.96f	21.71e	12.82e	32.57d	16.78f
NgWL	12.10c	37.56b	18.44e	42.37b	23.05b
Hd0.3	8.17e	31.85c	141.51b	52.17a	18.17e
HdSat	6.70f	28.55d	151.73b	51.16a	20.80c
HdWL	8.36e	40.36a	174.72a	25.80e	19.37d

หมายเหตุ : Sa = ชุดดินสรรพยา, Hd = ชุดดินหางดง, Ng = ชุดดินน้ำพอง, WL = การให้น้ำขัง 2 ซม., AWDsat. = เปียกสลับแห้งความชื้นระดับความชื้นดินอิ่มตัวด้วยน้ำ, AWD 0.3 = การให้ดินมีความชื้นที่ 0.3 บาร์ ($p<0.05$), อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่แสดงถึงชนิดของดิน, อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กหนาแสดงถึงรูปแบบการจัดการน้ำ, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินต่อรูปแบบการจัดการน้ำ

2. ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการจัดการน้ำต่อปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส

จากตาราง 5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการจัดการน้ำต่อปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน จากการศึกษาพบว่ารูปแบบการจัดการน้ำแบบ WL พบว่ามีผลต่อฟอสฟอรัส คือทำให้ฟอสฟอรัสในดินเป็นประโยชน์มากขึ้น (Sahrawat, 2004) ค่า pH มีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในส่วน Al-P และ Fe-P ซึ่งมีค่า r เท่ากับ -0.6429 และ -0.4804 เมื่อปริมาณ P-solution ในดินเพิ่มขึ้น ปริมาณ Fe-P จะมีค่าลดลง r เท่ากับ -0.3912 ในส่วน Al-P เมื่อ Al-P ในดินมีค่าสูงขึ้นปริมาณ Fe-P จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามและ Fe-P มีความสัมพันธ์ในทางลบกับ P-Red และ Ca-P ซึ่งมีค่า r เท่ากับ -0.4946 และ -0.8758

รูปแบบการจัดการน้ำแบบ AWDSat. พบว่า ค่า pH ของดินที่เพิ่มสูงขึ้นฟอสฟอรัสในส่วน P-solution, Fe-P, Ca-P มีค่าสูงขึ้นตาม โดยมีค่า r เท่ากับ 0.6622, 0.0756, 0.7340 ตามลำดับ ศุภธิดา และคณะ (2557) กล่าวว่าการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งจะมีความเข้มข้นของ Fe-P ในดินถึง 48.49% ในส่วนปริมาณ P-solution ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ทางบวกกับ Ca-P โดย r เท่ากับ 0.3227 ในส่วน Al-P พบว่าเมื่อค่า Al-P สูงขึ้นปริมาณ Ca-P ในดินมีค่าลดลงโดยมีค่า r เท่ากับ -0.3214 จะพบว่าการเปลี่ยนรูปของ Al-P และ Ca-P จะมีคว่ามสัมพันธ์กันโดยมีค่า pH เป็นปัจจัยสำคัญ เมื่อ pH ต่ำฟอสฟอรัสในรูปของ Ca-P จะเปลี่ยนเป็น Al-P และเมื่อค่า pH เพิ่มสูง Al-P, Fe-P จะเปลี่ยนรูปไปเป็น Ca-P (Tanaka et al., 1969) ปริมาณ Fe-P มีความสัมพันธ์ทางบวกกับ P-Red และ Ca-P และพบว่าปริมาณ P-Red ที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลให้ปริมาณ Ca-P ในดินมีค่าลดลง r เท่ากับ -0.0144

รูปแบบการจัดการน้ำแบบ AWD0.3 พบว่าค่า pH ของดินที่เพิ่มสูงขึ้น ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ที่อยู่ในรูป Fe-P และ P-Red มีค่าลดลง การเปลี่ยนแปลงค่า pH จะเกี่ยวข้องกับการลดลงของ Fe เนื่องจากมีความสำคัญต่อการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในดิน (Tanaka et al., 1969) โดยมีค่า r เท่ากับ -0.4667 และ -0.1785 ในส่วนปริมาณ P-solution พบว่าเมื่อปริมาณ P-solution ในดินสูงขึ้นปริมาณ Al-P, Fe-P, P-Red, Ca-P ในดินมีค่าลดลง ปริมาณ Al-P ที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลให้ P-Red ในดินมีค่าสูงขึ้นตาม โดยมีค่า r เท่ากับ 0.3378 ปริมาณ Fe-P ที่มีค่าสูงขึ้นมีผลให้ปริมาณ P-Red เพิ่มสูงขึ้น r มีค่า 0.6390 และพบว่าปริมาณ P-Red ที่เพิ่มสูงขึ้นมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณ Ca-P โดยมีค่า r เท่ากับ -0.3868

ตาราง 5 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการจัดการน้ำต่อปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน

Water		pH	P-solution (mg/kg)	Al-P (mg/kg)	Fe-P (mg/kg)	P-Red (mg/kg)
WL						
P-solution	*r*	0.0035				
(mg/kg)	*p-value*	0.9862				
Al-P	*r*	-0.6429	0.2813			
(mg/kg)	*p-value*	0.0003	0.1552			
Fe-P	*r*	-0.4804	-0.3912	0.1334		
(mg/kg)	*p-value*	0.0112	0.0436	0.5071		
P-Red	*r*	0.0187	0.5037	-0.3691	-0.4946	
(mg/kg)	*p-value*	0.2087	0.0074	0.0581	0.0087	
Ca-P	*r*	0.4102	0.2491	-0.1106	-0.8758	0.4494
(mg/kg)	*p-value*	0.0336	0.2102	0.5829	0	0.0187
AWDSat.						
P-solution	*r*	0.6622				
(mg/kg)	*p-value*	0.0002				
Al-P	*r*	-0.583	-0.3329			
(mg/kg)	*p-value*	0.0014	0.0897			
Fe-P	*r*	0.0756	-0.0205	0.4255		
(mg/kg)	*p-value*	0.7079	0.9192	0.0269		
P-Red	*r*	-0.4357	-0.2777	0.5024	0.3139	
(mg/kg)	*p-value*	0.0231	0.1608	0.0076	0.1108	
Ca-P	*r*	0.734	0.3227	-0.3214	0.3826	-0.0144
(mg/kg)	*p-value*	0	0.1007	0.1021	0.0489	0.943

ตาราง 5 (ต่อ)

Water		pH	P-solution (mg/kg)	Al-P (mg/kg)	Fe-P (mg/kg)	P-Red (mg/kg)
AWD0.3						
P-solution	*r*	0.0631				
(mg/kg)	*p-value*	0.7546				
Al-P	*r*	0.1489	-0.329			
(mg/kg)	*p-value*	0.4585	0.0938			
Fe-P	*r*	-0.4667	-0.4712	-0.0457		
(mg/kg)	*p-value*	0.0141	0.0131	0.8208		
P-Red	*r*	-0.1785	-0.5126	0.3378	0.639	
(mg/kg)	*p-value*	0.373	0.0063	0.0849	0.0003	
Ca-P	*r*	0.0496	-0.0785	-0.5126	-0.2316	-0.3868
(mg/kg)	*p-value*	0.8061	0.6973	0.0063	0.245	0.0462

หมายเหตุ : P-solution = Phosphorus in solution, Al-P = Aluminum Phosphate, Fe-P = Ferric Phosphate, P-Red = Reductant phosphate, Ca-P = Calcium Phosphate, WL = การให้น้ำขัง 2 ซม., AWDsat. = เปียกสลับแห้งความชื้นระดับความชื้นดินอิ่มตัวด้วยน้ำ, AWD0.3 = การให้ดินมีความชื้นที่ 0.3 บาร์

3. ความสัมพันธ์ระหว่าง Extract. Zn, Extract. Cu, Avail. P, pH ในดิน Zn Uptake และ Cu Uptake

ค่า pH ในดินมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อความเป็นประโยชน์ของ Extract. Zn และ Extract. Cu (Anderson and Christensen, 1988) จากการศึกษาพบว่า ผลของการเพิ่มขึ้นและลดลงของ pH มีผลทำให้ค่า Extract. Zn และ Extract. Cu ในดินมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นทำให้ค่า Extract. Zn และค่า Extract. Cu ในดินลดลงมีค่า 0.31 และ 0.01 mg/kg ตามลำดับ ดินที่มี pH สูงความเข้มข้นของ Extract. Zn จะลดลง (Alloway, 2008) และความเข้มข้นของ Extract. Zn จะเพิ่มสูงขึ้นในดินที่มี pH ต่ำ (Cakmak et al., 1999) ค่าที่ลดลงเนื่องมาจากการขังน้ำ (Xiaopeng et al., 2004) การดูดซับของ Zn ในดินจะพบในชุดดินพวก Alfisols และจะมีค่าสูงในระบบการให้น้ำแบบ AWD0.3 สูงถึง (67.1 %) ตามด้วยระบบ WL มีค่า (61.4 %) และ AWDsat. (47.3 %) (Mandal et al., 2000) เมื่อมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่อ Zn Uptake และ Cu Uptake ในข้าว พบว่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินทำให้ปริมาณ Zn Uptake และ Cu Uptake ในข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวมี Zn Uptake สูงขึ้น 0.32 μg/plant แต่ปริมาณ Cu Uptake มีค่าลดลง -0.14 μg/plant (ตาราง 6) การขาด Zn จะมีความสัมพันธ์กับการขาดฟอสฟอรัส (Ellis et al., 2006) เนื่องจากดินที่มีระดับของ Extract. Zn ในดินสูง การดูดใช้ฟอสฟอรัสลดลงและยังส่งผลกระทบให้เกิดความเป็นพิษของ Zn เอง (Shetty et al., 1994)

เมื่อนำ Extract. Cu และ Extract. Zn มาหาความสัมพันธ์ Zn Uptake และ Cu Uptake ในข้าวพบว่าเมื่อปริมาณ Extract. Cu ในดินเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณ Zn Uptake และ Cu Uptake ในข้าวมีค่าสูงตาม เมื่อปริมาณ Extract. Zn ในดินเพิ่มสูงขึ้น Zn Uptake และ Cu Uptake ในข้าวมีค่าลดลง เนื่องจากความแตกต่างของปริมาณ Zn ในดินรูปแบบของสารอินทรีย์และการแลกเปลี่ยนของสารละลายจะมีบทบาทและความสำคัญต่อปริมาณ Zn Uptake ในพืช (Mandal and Mandal 1986)

ตาราง 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Extract. Zn, Extract. Cu, Avail P, pH ในดิน Zn Uptake และ Cu Uptake

	Zn Uptake (μg/plant)	Cu Uptake (μg/plant)	Avail P (mg/kg)
Extract. Cu (mg/kg)	0.73	0.17	0.41
Extract. Zn (mg/kg)	-0.31	-0.16	-0.13
Avail P (mg/kg)	0.32	-0.14	0.32
pH	-0.20	-0.18	0.32

หมายเหตุ : Extract. Cu = ปริมาณ Cu ที่สกัดในสารละลายดิน, Extract. Zn = ปริมาณ Zn ที่สกัดในสารละลายดิน, Zn Uptake = การดูดใช้ Zn, Cu Uptake = การดูดใช้ Cu, Avail P = ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน

4. ความสัมพันธ์ระหว่างอินทรีย์คาร์บอนต่อค่า pH, Zn in soil, Cu in soil, Zn conc., Cu conc., Zn uptake และ Cu uptake

อินทรียวัตถุมีผลต่อความเป็นประโยชน์ต่อปริมาณ Zn ในดิน (Moody et al., 1997) ความเข้มข้นของอินทรียวัตถุที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มการแลกเปลี่ยนสารอินทรีย์ของ Zn และลดการออกไซด์ของ Zn ในดิน (Behera et al., 2011) ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงพบว่าจะมีการขาด Cu และ Zn เนื่องจากถูกอินทรีย์คอลลอยด์ดูดยึดไว้ทำให้หลุดออกมาให้พืชใช้ได้ยากและทำให้ค่า pH ของดินลดลง ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของ Cu และ Zn ถูกพืชดูดไปใช้อย่างจำกัด (Yoshida, 1981) จากการศึกษาพบว่า pH มีความสัมพันธ์ทางบวกกับ WSC, HWSC, POC, LPOM, FPOM และมีความสัมพันธ์ในทางลบกับ SOC ซึ่งมีค่า r เท่ากับ -0.02 ในส่วนการดูดใช้ Zn มีความสัมพันธ์ทางบวกกับ POC, LPOM, FPOM และ SOC โดยพบว่าดินที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงการดูดใช้ Zn มีค่าสูงตาม r เท่ากับ 0.19, 0.59, 0.43 และ 0.87 ตามลำดับ ความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอนกับ Zn Uptake พบว่า Zn Uptake ของข้าวเพิ่มขึ้นตามปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (Behera et al., 2011) ปริมาณความเข้มข้นของ Zn มีความสัมพันธ์ทางลบกับ WSC, WHSC, POC และ FPOM ในส่วนของ Zn ในดิน มีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่างๆ ยกเว้น WSC, HWSC โดยพบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่างๆที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากพืชมีการปลดปล่อย Zn ไปใช้ก่อนหน้านี้จึงทำให้ปริมาณ Zn ในดินลดลง ในส่วนปริมาณ Cu มี

ความสัมพันธ์ทางบวกกับ POC, LPOM, FPOM และ SOC ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้นปริมาณ Cu ในดินจะเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณความเข้มข้นของ Cu และ Cu Uptake ในข้าวจะลดลง การเพิ่มขึ้นของอินทรีย์คาร์บอนทำให้พืชไม่สามารถดูด Cu ไปใช้เนื่องจากถูกอินทรียวัตถุดูดซับไว้ และพบว่าเมื่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินมีปริมาณสูงปริมาณ Zn ในดินและความเข้มข้นของ Cu ในดินจะลดลง (Yoshida, 1981)

ตาราง 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินทรีย์คาร์บอนต่อค่า pH, Zn in soil, Cu in soil, Zn conc., Cu conc., Zn uptake และ Cu uptake

		WSC	HWSC	POC	LPOM	FPOM	SOC
pH	*r*	0.26	0.41	0.43	0.22	0.29	-0.02
	p-value	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.84
Zn uptake	*r*	-0.14	-0.40	0.19	0.59	0.43	0.87
	p-value	0.18	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
Zn conc.	*r*	-0.45	-0.47	-0.37	-0.14	-0.23	0.10
	p-value	0.00	0.00	0.00	0.18	0.03	0.33
Zn in soil	*r*	0.08	0.09	-0.05	-0.22	-0.16	-0.18
	p-value	0.45	0.37	0.60	0.04	0.14	0.09
Cu uptake	*r*	-0.03	-0.27	-0.19	-0.01	-0.09	0.14
	p-value	0.78	0.01	0.07	0.86	0.41	0.19
Cu conc.	*r*	-0.07	-0.09	-0.58	-0.73	-0.67	-0.70
	p-value	0.52	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu in soil	*r*	-0.00	-0.27	0.28	0.58	0.47	0.83
	p-value	0.95	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00

หมายเหตุ: Zn Uptake = การดูดใช้ Zn, Cu Uptake = การดูดใช้ Cu, Zn conc.= ความเข้มข้นของ Zn, Cu conc.= ความเข้มข้นของ Cu, Zn in soil = ปริมาณ Zn ในดิน, Cu in soil = ปริมาณ Cu ในดิน, WSC = Water soluble carbon, HWSC = Hot water soluble carbon , POC = Permanganate Oxidizable, LPOM = large particle organicmatter, FPOM = fine particle organicmatter, SOC = Soil organic carbon

ผลการทดลองที่ 3 รูปแบบการจัดการน้ำ ระดับการใส่ปุ๋ยที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส อนินทรีย์ฟอสฟอรัส สังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

1. ผลของรูปแบบการจัดการน้ำ ระดับการใส่ปุ๋ยที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัส

จากการศึกษารูปแบบการจัดการน้ำ ระดับการใส่ปุ๋ยในชุดดินหางดงที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (ตาราง 8) พบว่ารูปแบบการจัดการน้ำ AWDSat. พบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุดที่ 11.13 mg/kg และพบว่าการจัดการน้ำแบบ WL และ AWD0.3 มีค่าไม่แตกต่างกัน ในส่วนอนินทรีย์ฟอสฟอรัสพบว่าการจัดการน้ำแบบ WL ทำให้ปริมาณ P-solution, Al-P, P-Red และ Ca-P ละลายออกมาในดินสูงสุดที่ 18.25, 19.70, 57.87, 59.82 mg/kg ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนเหล่านี้จะละลายออกมาในปริมาณที่สูงในขณะที่ออกซิเจนในดินกำลังเริ่มลดลงหรือมีน้ำขัง (Sanchez, 1976) การจัดการน้ำแบบ AWDSat. พบว่า P-solution และ Fe-P ละลายออกมาในดินสูงสุดที่ 18.45 และ 61.96 mg/kg การจัดการน้ำแบบ 0.3 บาร์ พบปริมาณ P-solution และ Al-P ละลายออกมาในดินสูงที่สุดที่ 17.97 และ 19.34 mg/kg ตามลำดับ การจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งของดินมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนรูปของสารประกอบฟอสฟอรัสในดิน โดยพบว่าฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงโดยอลูมินัมในตอนแรกนั้นจะค่อยๆเปลี่ยนไปเป็น Fe-P (Yuan et al., 1960)

ที่ระดับการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินอัดเม็ดพบว่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจะมีค่าสูงที่การใส่ปุ๋ยในอัตรา 2500 กิโลกรัม/ไร่ ในส่วนปริมาณ P-solution จะละลายออกมาในดินที่มีการใส่ปุ๋ยในอัตรา 2000, 2500 กิโลกรัม/ไร่ สูงที่สุดที่ 19.46 และ 18.97 mg/kg การใส่ปุ๋ยในอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้การละลายของ Al-P ในดินมีค่าสูงสุดที่ 20.50 mg/kg ในส่วน Fe-P พบว่าการใส่ปุ๋ยในอัตรา 0, 2500 กิโลกรัม/ไร่ พบ Fe-P ในดินสูงสุดที่ 66.64 และ 65.60 mg/kg ในส่วน P-Red การใส่ปุ๋ยในอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ พบปริมาณ P-Red สูงสุดที่ 63.76 mg/kg ในส่วน Ca-P พบว่าการใส่ปุ๋ยอัตรา 0, 500, 1000, 1500 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ปริมาณ Ca-P มีค่าสูงสุดที่ 60.69, 59.77, 59.77, 59.40 mg/kg ตามลำดับ ฟอสฟอรัสที่รวมตัวกับ Ca, Fe และ Al เป็นรูปของฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำนั้น อาจจะละลายออกมาได้โดยปฏิกิริยาของกรดอินทรีย์และอินทรีย์คีเลตอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการสลายตัวของอินทรียวัตถุ (ศุภธิดา, 2557)

เมื่อพิจารณารูปแบบการจัดการน้ำต่ออัตราการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนพบว่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจะมีค่าสูงที่ AWD0.3 อัตราการใส่ปุ๋ย 2500 กิโลกรัม/ไร่ และพบว่า AWD0.3 ที่มีการใส่ปุ๋ยอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ พบความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินต่ำสุด

ในส่วน P-solution พบว่าการจัดการน้ำแบบ AWDSat. ที่อัตราการใส่ปุ๋ย 1500 กิโลกรัม/ไร่ พบ P-solution สูงสุดที่ 21.23 mg/kg ปริมาณ Al-P พบว่า WL ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยและ AWD0.3 ที่มีการใส่ปุ๋ยอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ พบ Al-P ละลายออกมาสูงสุดที่ 25.57 และ 26.06 mg/kg ตามลำดับ ปริมาณ Fe-P พบว่า WL ที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 1500 กิโลกรัม/ไร่ พบ Fe-P ในดินสูงสุดที่ 80.25 mg/kg Cholitkul and Tyner (1971) ได้ศึกษาถึงความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนาประเทศไทย พบว่ามีปริมาณ Inorganic P ในรูป Fe-P สูงสุด เนื่องจากการขังน้ำทำให้ Fe เปลี่ยนรูปเป็น Fe(II) ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากขึ้น ในส่วน P-Red พบว่า WL ที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ และ AWD0.3 ที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ปริมาณ P-Red ในดินมีค่าสูงสุดที่ 66.41 และ 67.45 mg/kg ตามลำดับ และพบว่า AWD0.3 ที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 1500 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ปริมาณ P-Red ในดินมีค่าต่ำสุด ปริมาณ Ca-P พบว่า AWDSat. ที่การใส่ปุ๋ยอัตรา 1500 กิโลกรัม/ไร่ พบ Ca-P ในดินสูงที่สุดที่ 64.48 mg/kg

ตาราง 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการจัดการน้ำ อัตราการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนต่อปริมาณความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและอนินทรีย์ฟอสเฟต

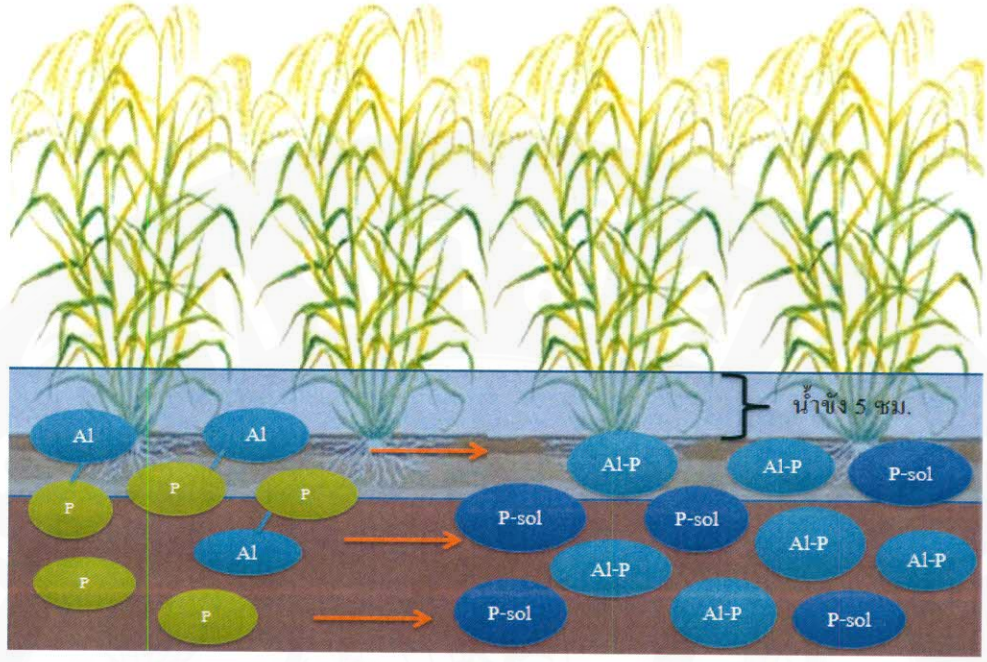
	Avail P (mg/kg)	P-sol (mg/kg)	Al-P (mg/kg)	Fe-P (mg/kg)	P-Red (mg/kg)	Ca-P (mg/kg)
WL	9.89 b	18.25 a	19.70 a	58.16 b	57.87 a	59.82 a
AWDSat.	11.13 a	18.45 a	18.45 b	61.96 a	52.68 c	57.65 b
AWD0.3	9.44 b	17.97 a	19.34 ab	53.25 c	56.25 b	57.00 b
Fertilizer						
0	9.78 **B**	17.21 **B**	20.18 **AB**	66.64 **A**	53.60 **C**	60.69 **A**
500	9.62 **B**	17.93 **AB**	18.41 **C**	59.25 **B**	52.68 **C**	59.77 **A**
1000	7.58 **C**	17.04 **B**	20.50 **A**	45.64 **D**	63.76 **A**	59.77 **A**
1500	10.38 **B**	18.74 **AB**	19.22 **ABC**	59.02 **B**	52.79 **C**	59.40 **A**
2000	9.00 **BC**	19.46 **A**	18.57 **BC**	50.60 **C**	56.48 **B**	55.89 **B**
2500	14.57 **A**	18.97 **A**	18.09 **C**	65.60 **A**	54.29 **C**	53.40 **C**

ตาราง 8 (ต่อ)

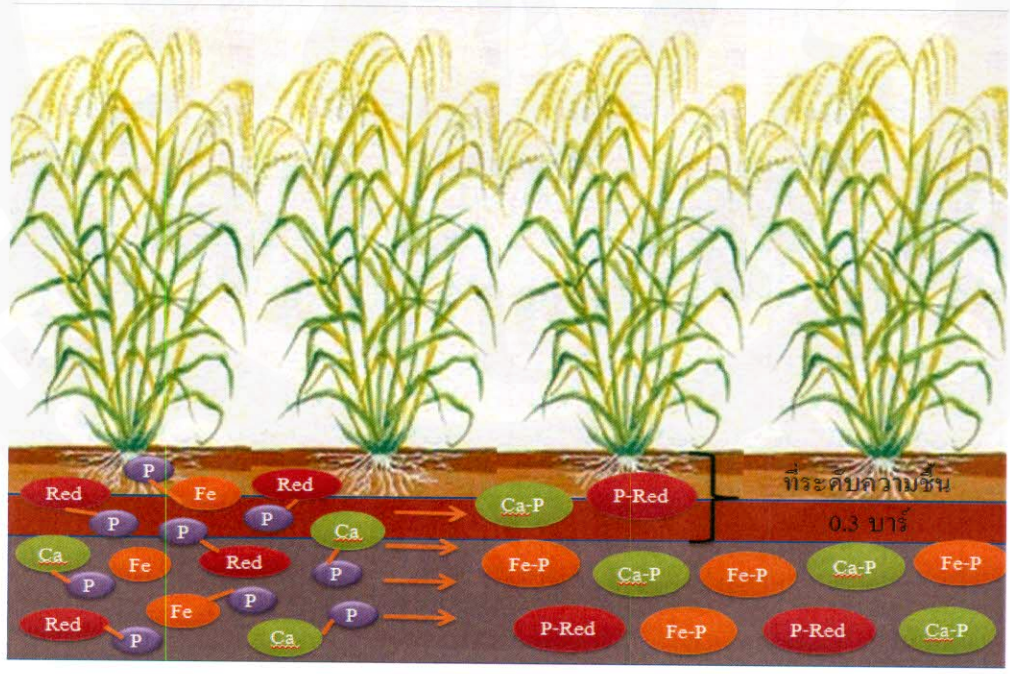
interaction	Avail P (mg/kg)	P-sol (mg/kg)	Al-P (mg/kg)	Fe-P (mg/kg)	P-Red (mg/kg)	Ca-P (mg/kg)
WL 0	6.93 FGH	16.16 DE	25.57 A	57.41 E	57.07 BCD	63.37 AB
WL 500	8.33 EFGH	16.88 DE	17.60 DEFGH	57.41 E	54.99 CD	60.33 BCDE
WL 1000	6.19 GHI	19.06 ABCD	19.54 BCDEF	50.49 G	66.41 A	52.02 G
WL 1500	14.36 B	16.64 DE	19.54 BCDEF	80.25 A	56.03 BCD	54.78 FG
WL 2000	12.48 BCD	20.50 AB	18.58 BCDEFG	54.99 E	54.29 D	60.88 BCD
WL 2500	11.08 CDE	20.26 ABC	17.37 EFGH	48.41 GH	58.45 BC	54.51 FG
Sat 0	9.87 DEF	18.09 BCDE	19.78 BCDEF	68.48 D	48.41 EF	60.88 BCD
Sat 500	13.58 BC	17.85 BCDE	20.50 BC	76.79 B	47.72 EF	62.54 ABC
Sat 1000	12.81 BCD	15.68 E	15.92 GH	47.03 H	57.41 BCD	54.78 FG
Sat 1500	7.44 FGH	21.23 A	18.09 CDEFG	51.53 FG	57.06 BCD	64.48 A
Sat 2000	8.78 EFG	19.06 ABCD	16.16 GH	54.64 EF	55.68 CD	58.66 DE
Sat 2500	14.30 B	18.82 ABCD	20.26 BCD	73.33 C	49.79 E	57.56 EF
0.3 0	12.55 BCD	17.37 CDE	15.19 H	74.02 BC	55.33 CD	53.95 G
0.3 500	6.95 FGH	19.06 ABCD	17.12 FGH	43.56 I	55.33 CD	59.22 DE
0.3 1000	3.76 I	16.40 DE	26.06 A	39.41 J	67.45 A	53.40 G
0.3 1500	9.33 EF	18.34 ABCDE	20.02 BCDE	45.30 HI	45.30 F	60.05 CDE
0.3 2000	5.74 HI	18.81 ABCD	20.99 B	42.18 IJ	59.49 B	60.88 BCD
0.3 2500	18.32 A	17.85 BCDE	16.64 GH	75.06 BC	54.64 D	54.51 FG

หมายเหตุ: P-solution = Phosphorus in solution, Al-P = Aluminum Phosphate, Fe-P = Ferric Phosphate, P-Red = Reductant phosphate, Ca-P = Calcium Phosphate, Avail P = ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส, WL = ขังน้ำเหนือดิน 5 ซม., AWDSat. = เปียกสลับแห้งความชื้นระดับความชื้นดินอิ่มตัวด้วยน้ำ, AWD0.3 = เปียกสลับแห้งที่ความชื้นระดับความชื้นดินที่ 0.3 บาร์, 0 = ไม่มีการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือน, 500 = การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือน อัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่, 1000 = การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือน อัตรา 1000 กิโลกรัม/ ไร่, 1500 = การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือน อัตรา 1500 กิโลกรัม/ไร่, 2000 = การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือน อัตรา 2000 กิโลกรัม/ไร่, 2500 = การใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือน อัตรา 2500 กิโลกรัม/ไร่, อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงรูปแบบการจัดการน้ำ, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่หนาแสดงถึงอัตราการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือน, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการจัดการน้ำต่ออัตราการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือน

**โดยแต่ละ Treatment มีการใส่ปุ๋ย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในอัตรา 30, 14 และ 7 กิโลกรัม/ไร่



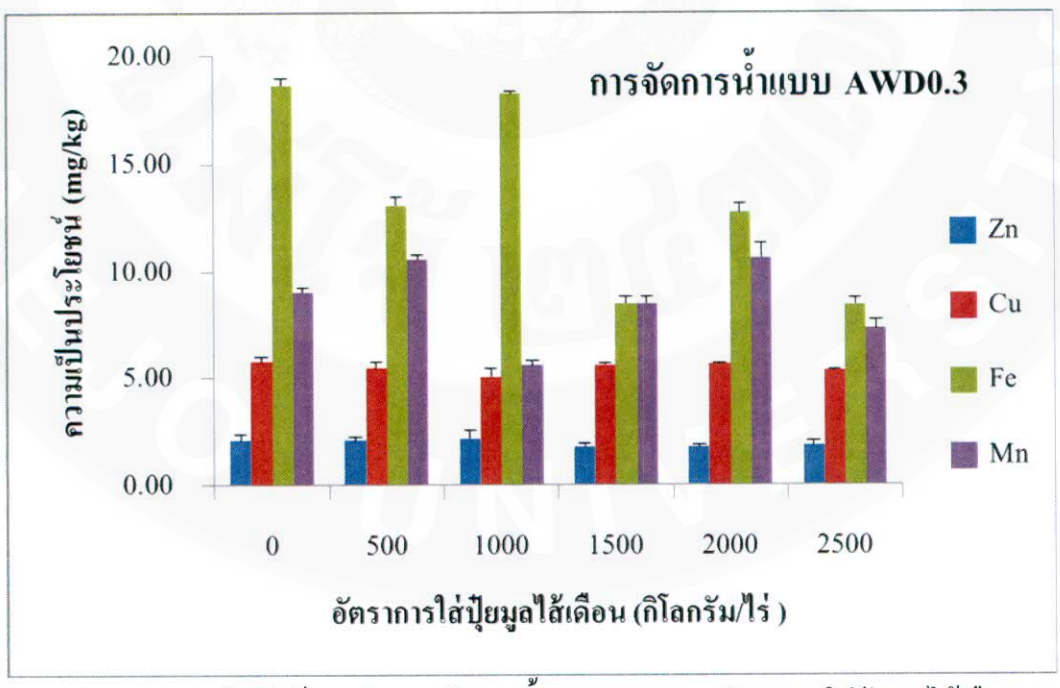
ภาพ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างที่ดินมีการขังน้ำต่อปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Inorganic phosphorus) ในดิน



ภาพ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างที่ดินมีการทำให้เปียกสลับแห้งต่อปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Inorganic phosphorus) ในดิน

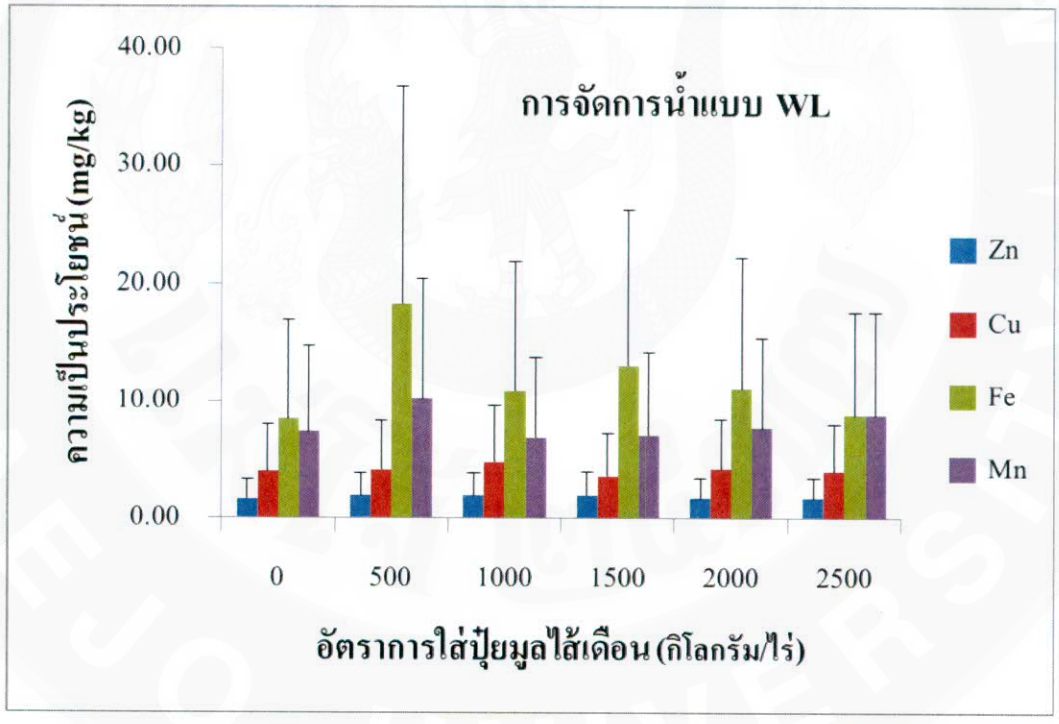
2. ผลของรูปแบบการจัดการน้ำ อัตราการใส่ปุ๋ย ที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของสังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

จากการศึกษาพบว่ารูปแบบการจัดการน้ำ AWD0.3 พบความเป็นประโยชน์ของ Zn มีค่าสูงสุดเมื่อมีการใส่ปุ๋ยในอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ มีค่า 2.16 mg/kg การจัดการน้ำแบบ AWD0.3 มีผลต่อปริมาณ Zn ที่สกัดได้ ตลอดระยะเวลาที่ดินมีการทำให้เปียกสลับแห้งปริมาณ Zn ในดินช่วงแรกจะพบในปริมาณที่สูงและเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณ Zn ในดินจะเริ่มลดลง (Sushanta Kumar Naik et al., 2007) ในส่วน Cu พบว่าความเป็นประโยชน์ของ Cu มีค่าสูงสุดเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนและมีอัตราการใส่ปุ๋ยที่ 2000, 1500 กิโลกรัม/ไร่ มีค่า 5.75, 5.64, 5.60 mg/kg ตามลำดับ ดินที่มีอินทรียวัตถุสูง พบว่าจะมีการขาด Cu และ Zn ในดินเนื่องจากถูกอินทรีย์คอลลอยด์ดูดยึดไว้ทำให้หลุดออกมาให้พืชใช้ได้ยากอีกทั้งมีผลให้ค่า pH ของดินลดลง ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของ Cu และ Zn ถูกพืชดูดไปใช้อย่างจำกัด (Yoshida, 1981) ปริมาณ Fe พบว่าความเป็นประโยชน์ของ Fe จะมีค่าสูงสุดเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนและมีการใส่ปุ๋ยในอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ มีค่า 18.65, 18.25 mg/kg ตามลำดับ ในส่วน Mn พบว่าความเป็นประโยชน์ของ Mn จะมีค่าสูงสุดเมื่อมีอัตราการใส่ปุ๋ย 2000 และ 500 กิโลกรัม/ไร่ มีค่า 10.65, 10.58 mg/kg ตามลำดับ (ภาพ 12)



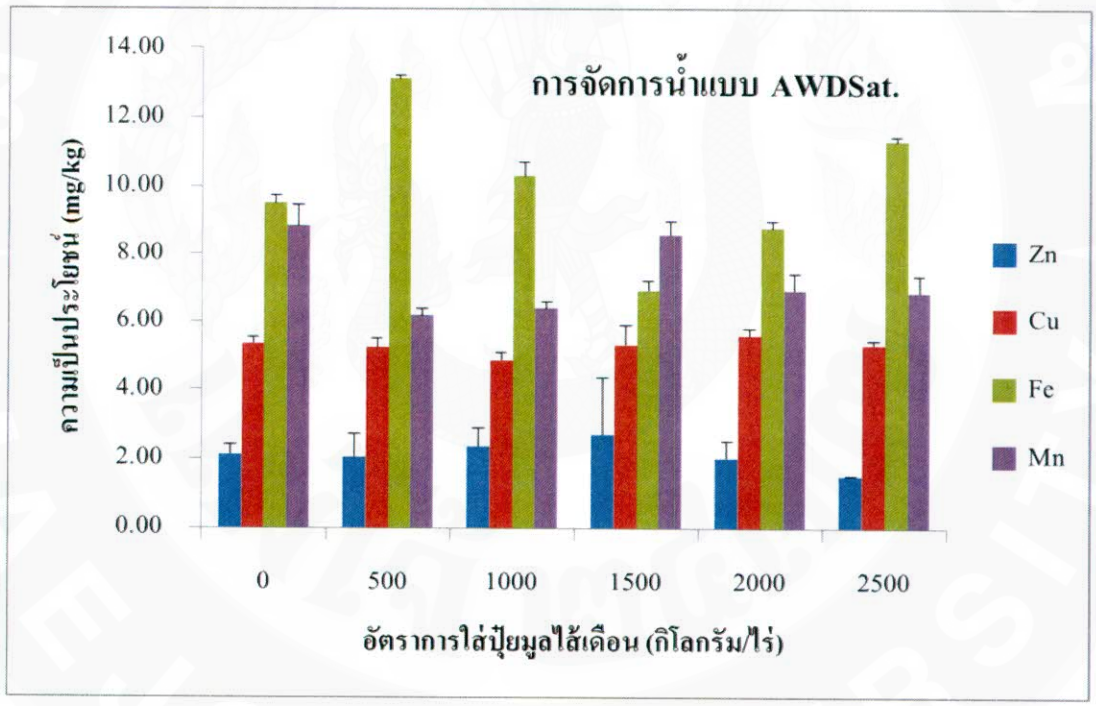
ภาพ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการจัดการน้ำแบบ AWD0.3 อัตราการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนต่อความเป็นประโยชน์ของสังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)

รูปแบบการจัดการน้ำ WL พบว่าการใส่ปุ๋ยในอัตรา 1500, 1000, 500 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ปริมาณ Zn ในดินมีค่าสูงสุดที่ 1.97, 1.92, 1.92 mg/kg ตามลำดับ ปริมาณ Cu พบว่าการใส่ปุ๋ยอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ปริมาณ Cu ในดินมีค่าสูงสุดที่ 4.82 mg/kg หากค่า pH ของดินลดลงและปริมาณอินทรียวัตถุที่มีอยู่ในดินเพิ่มสูงขึ้น Cu ที่มีอยู่ในดินจะมีความเป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้นตาม (Kirk, 2004) ในส่วน Fe พบว่าการใส่ปุ๋ยในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ ส่งผลให้ปริมาณ Fe ในดินมีค่าสูงสุดที่ 18.38 mg/kg ปริมาณ Mn ในดินพบว่าเมื่อมีการใส่ปุ๋ยในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ ส่งผลให้ปริมาณ Mn ในดินมีค่าสูงสุดที่ 10.25 mg/kg และพบว่าการใส่ปุ๋ยในอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ ส่งผลให้ปริมาณ Mn ในดินมีค่าต่ำสุดที่ 6.91 mg/kg การขังน้ำในนาข้าวทำให้อัตราส่วนของ Fe และ Mn อยู่ในสภาวะสมดุล ภายใน 4 สัปดาห์หลังการขังน้ำข้าวจะได้รับประโยชน์จากการที่มี Fe^{2+} เพิ่มขึ้น (ทัศนีย์, 2550) (ภาพ 13)

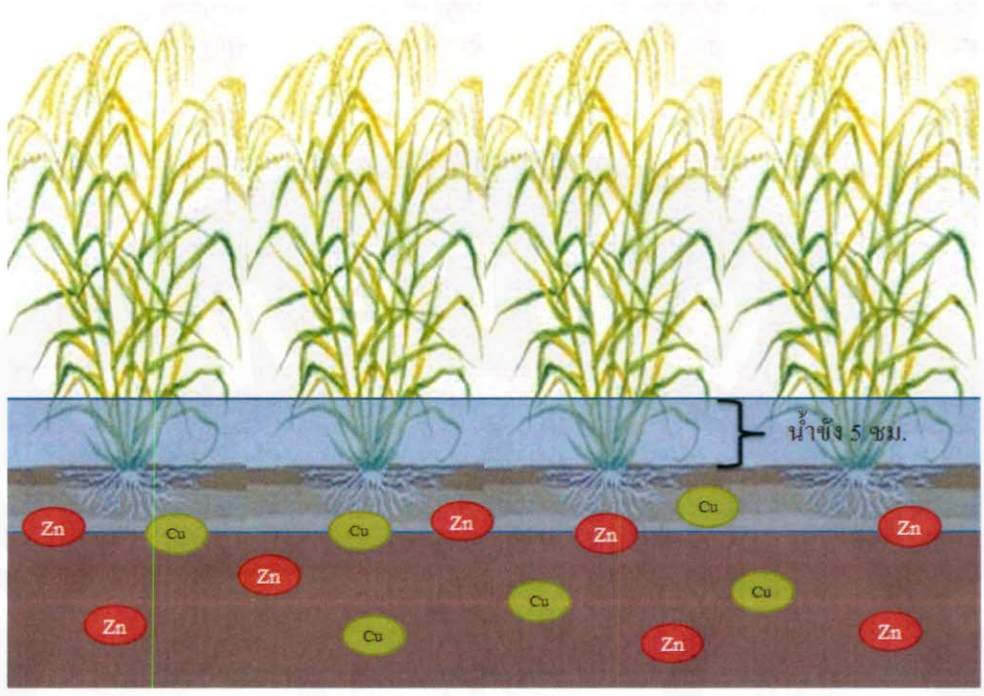


ภาพ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการจัดการน้ำแบบ WL อัตราการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนต่อความเป็นประโยชน์ของสังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)

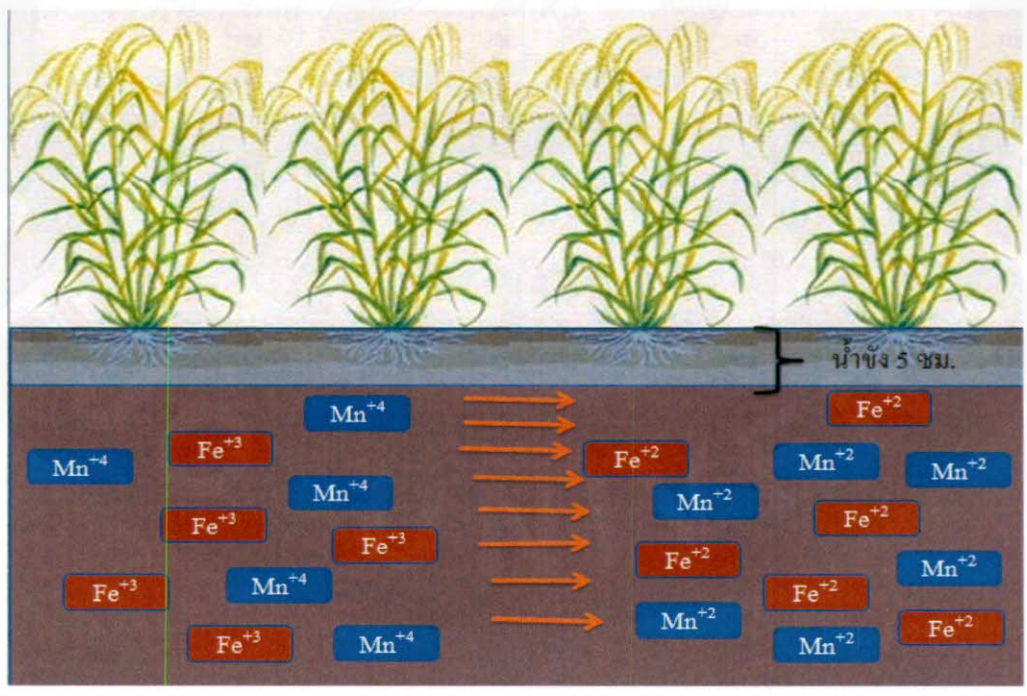
รูปแบบการจัดการน้ำ AWDSat. พบว่าการใส่ปุ๋ยในอัตรา 1500 กิโลกรัม/ไร่ ส่งผลให้ปริมาณ Znในดินมีค่าสูงสุดที่ 2.71 mg/kg ปริมาณ Cu พบว่าการใส่ปุ๋ยในอัตรา 2000 กิโลกรัม/ไร่ ส่งผลให้ปริมาณ Cu ในดินมีค่าสูงสุด 5.58 mg/kg การใส่ปุ๋ยอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ มีผลให้ปริมาณ Cu ในดินมีค่าต่ำสุด ในส่วน Fe พบว่าการใส่ปุ๋ยในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ ส่งผลให้ปริมาณ Fe ในดินมีค่าสูงสุดที่ 13.11 mg/kg ปริมาณ Mn ในดินพบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนและการใส่ปุ๋ยในอัตรา 1500 กิโลกรัม/ไร่ ส่งผลให้ปริมาณ Mn ในดินมีค่าสูงสุด 8.85, 8.58 mg/kg ตามลำดับ จากการศึกษาของ Xiaorong Wei et al. (2006) พบว่าดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงจะมีส่วนสัมพันธ์กับปริมาณการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของ Zn, Mn, Fe ดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงจะมีประจุลบในดินสูงเมื่อมีธาตุประจุบวกเข้ามาจะถูกดูดซับไว้ เช่น Cu^{2+}, Zn^{2+}, Mn^{2+} (Yoshida, 1981) (ภาพ 14)



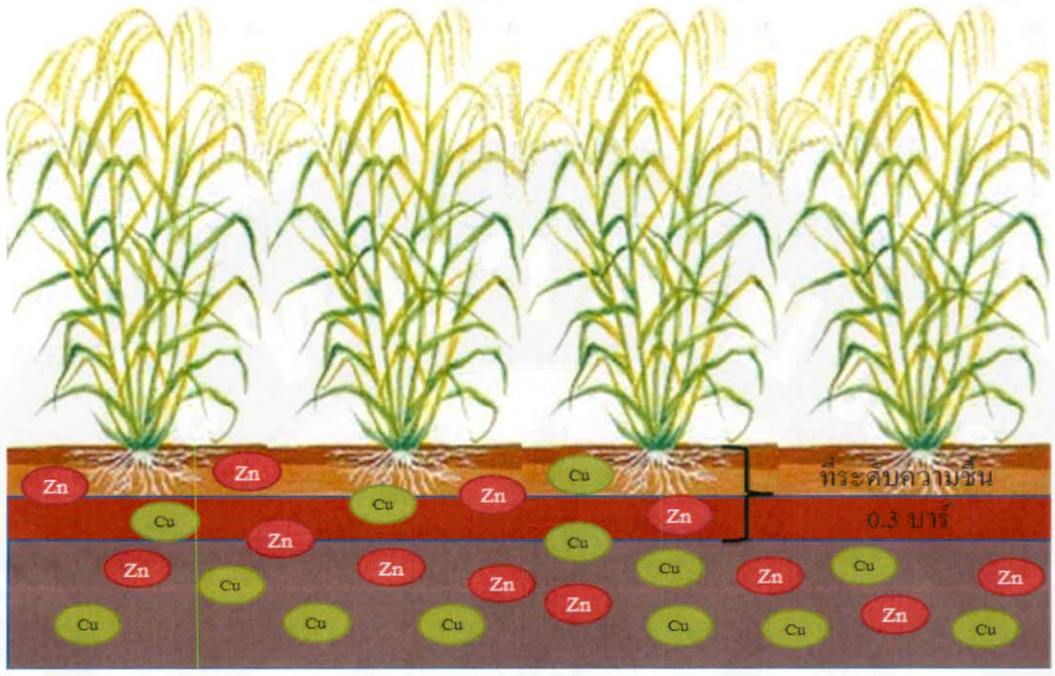
ภาพ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการจัดการน้ำแบบ AWDSat. อัตราการใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนต่อความเป็นประโยชน์ของสังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)



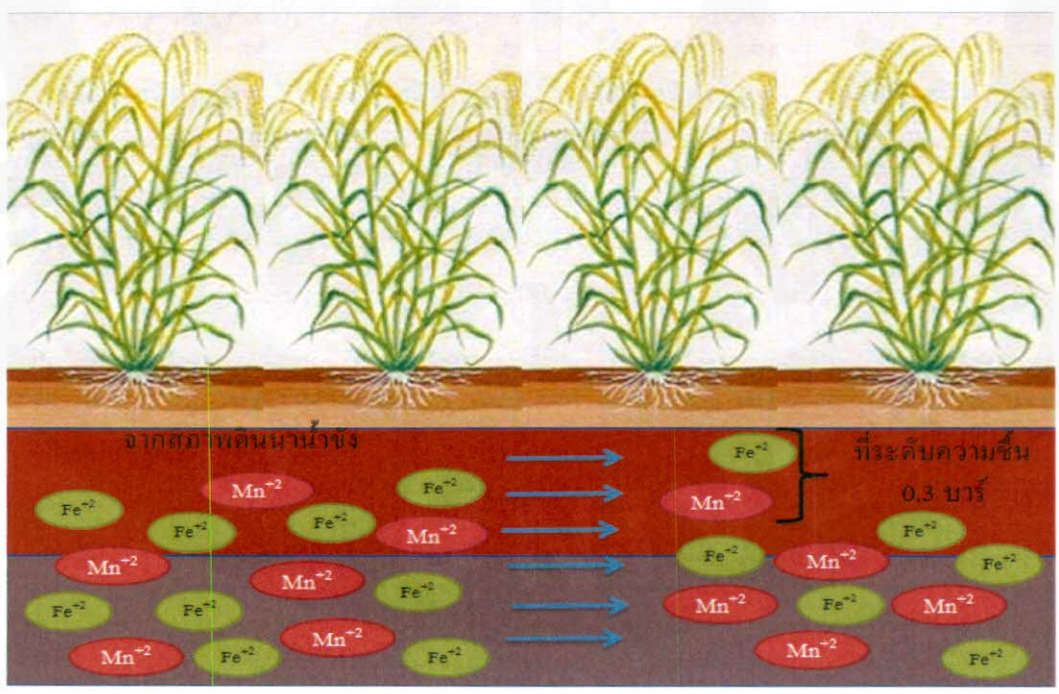
ภาพ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างที่ดินมีการขังน้ำต่อปริมาณสังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) ในดิน



ภาพ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างที่ดินมีการขังน้ำต่อปริมาณเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในดิน



ภาพ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างที่ดินที่มีการทำให้เปียกสลับแห้งต่อปริมาณสังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) ในดิน



ภาพ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างที่ดินที่มีการทำให้เปียกสลับแห้งต่อปริมาณเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในดิน

ผลการทดลองที่ 4 ผลของการใส่หัวเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา รูปแบบการจัดการน้ำที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส สังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

1. ผลของชนิดดิน รูปแบบการจัดการน้ำ การใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ต่อค่า pH, EC และความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน

จากตาราง 9 พบว่าดิน Ng มีค่า pH สูงสุดที่ 6.24 ค่า EC มีค่าสูงในดิน Sa มีค่า 0.02 μS/m และพบว่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสสูงสุดในชุดดิน Sa มีค่า 45.16 mg/kg การใส่เชื้อ *A.foveata* ส่งผลให้ค่า pH ของดินมีค่าสูงสุดที่ 6.19 ค่า EC ของดินพบว่าทุกทรีตเมนท์ ไม่มีความแตกต่างกัน การใส่เชื้อ *A.foveata* ส่งผลให้ปริมาณความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินมีค่าสูงสุดที่ 33.13 mg/kg จากการศึกษาของ Harley and Smith (1983) รายงานว่า เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่อาศัยอยู่ในดินมีความสามารถดูดธาตุอาหารได้สูงขึ้นโดยเฉพาะฟอสฟอรัส การให้น้ำแบบ WL ส่งผลให้ค่า pH ในดินมีค่าสูงสุดที่ 6.14 ค่า EC และความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสพบว่ารูปแบบการจัดการน้ำแต่ละรูปแบบไม่มีผลให้มีความแตกต่างกันทางสถิติ ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาพบว่าดิน Ng ที่มีการใส่เชื้อ *G.geosporum* ส่งผลให้ค่า pH ในดินมีค่าสูงสุดที่ 6.52 ค่า EC มีค่าสูงในดิน Sa ที่ไม่มีการใส่เชื้อและที่มีการใส่เชื้อ *A.foveata* มีค่า 0.03 และ 0.03 μS/m ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสพบปริมาณสูงในดิน Sa ที่มีการใส่เชื้อ *G.geosporum, G.etunicatum* และ *A.foveata* มีค่า 44.30, 50.51 และ 48.48 mg/kg ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินรูปแบบการจัดการน้ำพบว่าดิน Sa ที่มีการจัดการน้ำ WL พบค่า pH ของดินสูงสุด 6.27 ค่า EC มีค่าสูงสุดในดิน Sa ที่มีการให้น้ำ 0.3 บาร์ ที่ 0.03 μS/m ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสมีค่าสูงสุดในดิน Sa ที่การจัดการน้ำแบบ WL, 60 %, 30 % และ 0.3 บาร์ มีค่า 44.21, 44.74, 45.79 และ 45.89 mg/kg ตามลำดับ

ตาราง 9 แสดงชนิดของดิน รูปแบบการจัดการน้ำ การใส่เชื้อไมคอร์ไรซาต่อค่า pH, EC และความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน

Soil		pH	EC (μS/m)	Avail P (mg/kg)
	Sa	6.08 B	0.02 A	45.16 A
	Hd	5.82 C	0.01 B	31.95 B
	Ng	6.24 A	0.01 B	16.43 C

ตาราง 9 (ต่อ)

Mycorrhizal		pH	EC (µS/m)	Avail P (mg/kg)
	Control	6.03 **B**	0.02 **A**	30.22 **AB**
	G. geosporum	6.07 **B**	0.02 **A**	29.08 **B**
	G. etunicatum	5.90 **C**	0.01 **A**	32.27 **AB**
	A. foveata	6.19 **A**	0.01 **A**	33.13 **A**
water				
	WL	6.14 **a**	0.01 **a**	32.46 **a**
	60 %	6.02 **b**	0.01 **a**	30.09 **a**
	30 %	6.01 **b**	0.02 **a**	30.47 **a**
	0.3 บาร์	6.02 **b**	0.02 **a**	31.69 **a**
interaction Soil+Mycorrhizal				
Sa	Control	6.06 d	0.03 a	37.33 b
Sa	*G. geosporum*	6.07 d	0.02 ab	44.30 a
Sa	*G. etunicatum*	6.09 d	0.01 ab	50.51 a
Sa	*A. foveata*	6.12 cd	0.03 a	48.48 a
Hd	Control	5.62 f	0.02 ab	31.64 bc
Hd	*G. geosporum*	5.62 f	0.01 ab	32.63 bc
Hd	*G. etunicatum*	5.77 ef	0.02 ab	30.75 c
Hd	*A. foveata*	6.29 bc	0.01 b	32.77 bc
Ng	Control	6.41 ab	0.01 b	21.70 d
Ng	*G. geosporum*	6.52 a	0.02 ab	10.32 e
Ng	*G. etunicatum*	5.84 e	0.01 b	15.57 de
Ng	*A. foveata*	6.18 cd	0.01 b	18.15 d

ตาราง 9 (ต่อ)

interaction Soil+Water		pH	EC (µS/m)	Avail P (mg/kg)
Sa	WL	6.27 a	0.02 b	44.21 a
Sa	60 %	6.08 bc	0.02 b	44.74 a
Sa	30 %	6.02 cd	0.02 b	45.79 a
Sa	0.3 บาร์	5.97 cde	0.03 a	45.89 a
Hd	WL	5.89 cdef	0.01 b	35.96 b
Hd	60 %	5.76 f	0.01 b	29.31 c
Hd	30 %	5.81 ef	0.02 b	30.53 bc
Hd	0.3 บาร์	5.84 def	0.01 b	31.99 bc
Ng	WL	6.26 ab	0.01 b	17.22 d
Ng	60 %	6.23 ab	0.01 b	16.23 d
Ng	30 %	6.21 ab	0.02 b	15.10 d
Ng	0.3 บาร์	6.24 ab	0.01 b	17.18 d

หมายเหตุ: Sa = ชุดดินสรรพยา, Hd = ชุดดินหางดง, Ng = ชุดดินน้ำพอง, Control = ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา, *G. geosporum* = หัวเชื้อดิน *G.geosporum*, *G. etunicatum* = หัวเชื้อดิน *G.etunicatum*, *A. foveata* = หัวเชื้อดิน *A. foveata*, WL = การให้น้ำขัง 2 ซม., 60 % = การให้ดินมีความชื้นที่ 60 %, 30 % = การให้ดินมีความชื้นที่ 30 %, 0.3 บาร์ = การให้ดินมีความชื้นที่ 0.3 บาร์, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่แสดงถึงชนิดของดิน, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่หนาแสดงถึงชนิดของเชื้อไมคอร์ไรซา, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กหนาแสดงถึงรูปแบบการจัดการน้ำ, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินร่วมกับการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา และความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินร่วมกับรูปแบบการจัดการน้ำ

2. ผลของชนิดของดิน การจัดการน้ำและการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาต่อความเป็นประโยชน์ของสังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส

จากการศึกษาพบว่าปริมาณ Cu, Fe, Mn มีค่าสูงในดิน Hd มีค่า 3.38, 212.63, 113.17 mg/kg ตามลำดับ ในส่วนปริมาณ Zn พบว่าทั้งสามชุดดินมีค่าไม่แตกต่างกัน การใส่เชื้อไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดพบว่าดินที่มีการใส่เชื้อ *A. foveata* พบปริมาณ Cu, Mn ในดินสูงสุดมีค่า 2.69, 74.89 mg/kg ตามลำดับ ปริมาณ Fe มีค่าสูงเมื่อมีการใส่เชื้อ *G. etunicatum* มีค่า 192.88 mg/kg ปริมาณ Zn ในดิน พบว่าผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซามีผลให้ปริมาณ Zn ในดินมีค่าไม่แตกต่างกัน การใส่เชื้อไมคอร์ไรซาสามารถช่วยดูดซับธาตุอื่นๆที่พืชต้องการได้ เช่น ธาตุอาหารรองพวก Fe, Zn ให้เป็นประโยชน์แก่พืชเพิ่มขึ้น (ศุภธิดา, 2550) รูปแบบการจัดการน้ำพบว่าปริมาณ Cu มีปริมาณสูงสุดที่ระดับความชื้น 30% มีค่า 2.51 mg/kg การจัดการน้ำ WL พบปริมาณ Fe ในดินสูงสุดที่ 181.54 mg/kg เนื่องจาก Fe(III) จะถูกเปลี่ยนเป็น Fe(II) หลังจากมีการขังน้ำ (ทัศนีย์, 2550) ปริมาณ Mn และ Zn พบว่ารูปแบบการจัดการน้ำไม่มีผลให้ปริมาณ Mn และ Zn ในดินมีความแตกต่างกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดิน การใส่เชื้อไมคอร์ไรซาต่อความเป็นประโยชน์ของ Zn, Cu, Fe และ Mn พบว่า Cu, Zn มีปริมาณสูงสุดในดิน Hd ที่มีการใส่เชื้อ *A.foveata* ปริมาณ Fe มีปริมาณสูงสุดในดิน Hd ที่มีการใส่เชื้อ *G. etunicatum* มีค่า 307.79 mg/kg ดิน Hd ที่ไม่มีการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาและที่มีการใส่เชื้อ *A. foveata* พบปริมาณ Mn ในดินสูงสุดที่ 133.05 และ 132.05 mg/kg ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดิน รูปแบบการจัดการน้ำพบว่าดิน Hd ที่มีระดับความชื้น 30 % พบปริมาณ Cu ในดินสูงสุดที่ 4.76 mg/kg ปริมาณ Fe ในดินพบว่าดิน Hd ที่ WL และการจัดการน้ำแบบ 0.3 บาร์ พบปริมาณ Fe ในดินสูงสุดที่ 229.79 และ 248.53 mg/kg ในส่วน Mn มีค่าสูงสุดในดิน Hd ที่ระดับความชื้น 30 % มีค่า 139.45 mg/kg ปริมาณ Zn พบว่าดิน Ng มีการให้น้ำแบบ WL พบปริมาณ Zn ในดินสูงสุดที่ 5.46 mg/kg Gao et al. (2007) กล่าวว่าการปลูกข้าวโดยการใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของข้าวและช่วยดูดใช้ Zn ได้สูงกว่าข้าวที่ไม่ใส่เชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยใช้เส้นใยราในการดูดธาตุอาหาร เช่น Zn และ Cu แต่จะมีอิทธิพลน้อยในธาตุอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ดี เช่น NO_3^- และ S (Powell, 1976)

ตาราง 10 แสดงชนิดของดิน การจัดการน้ำ การใส่เชื้อไมคอร์ไรซาต่อความเป็นประโยชน์ของ Cu, Fe, Mn และ Zn

Soil		Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
	Sa	1.85 B	137.80 B	27.85 B	4.61 A
	Hd	3.38 A	212.63 A	113.17 A	4.07 A
	Ng	1.20 C	104.80 B	45.20 B	4.46 A
Mycorrhizal					
	Control	2.20 **AB**	146.20 **B**	64.31 **AB**	4.35 **A**
	G. geosporum	1.71 **B**	120.86 **B**	49.91 **B**	4.35 **A**
	G. etunicatum	1.96 **B**	192.88 **A**	59.16 **AB**	4.33 **A**
	A. foveata	2.69 **A**	147.03 **B**	74.89 **A**	4.48 **A**
Water					
	WL	1.76 **b**	181.54 **a**	56.11 **a**	4.69 **a**
	60 %	2.16 **ab**	153.39 **ab**	65.05 **a**	4.06 **a**
	30 %	2.51 **a**	147.18 **ab**	69.19 **a**	4.31 **a**
	0.3 บาร์	2.13 **ab**	124.86 **b**	57.92 **a**	4.46 **a**
interaction Soil+Mycorrhizal					
Sa	Control	2.06 cd	157.46 bc	25.42 d	4.31 ab
Sa	*G. geosporum*	2.12 cd	139.59 cde	17.12 d	4.30 ab
Sa	*G. etunicatum*	1.62 d	120.73 cde	19.05 d	3.97 ab
Sa	*A. foveata*	1.59 d	133.43 cde	49.81 cd	3.69 b
Hd	Control	3.50 b	161.83 bc	133.05 a	4.33 ab
Hd	*G. geosporum*	1.78 d	148.36 cde	79.41 bc	4.13 ab
Hd	*G. etunicatum*	3.19 bc	307.79 a	108.18 ab	4.70 ab
Hd	*A. foveata*	5.04 a	232.53 ab	132.05 a	5.27 a
Ng	Control	1.04 d	119.33 cde	34.48 d	4.42 ab
Ng	*G. geosporum*	1.25 d	74.63 e	53.22 cd	4.64 ab
Ng	*G. etunicatum*	1.07 d	150.13 cd	50.28 cd	4.32 ab
Ng	*A. foveata*	1.43 d	75.13 de	42.81 cd	4.47 ab

ตาราง 10 (ต่อ)

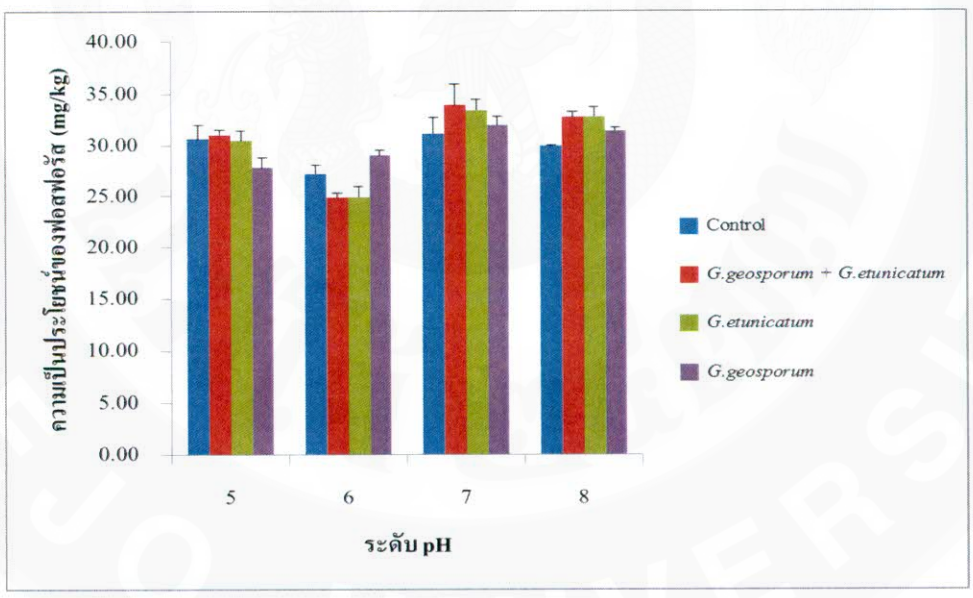
interaction Soil+Water		Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Sa	WL	2.52 cd	178.63 ab	32.48 d	4.33 abc
Sa	60 %	1.64 de	178.63 ab	26.21 d	3.91 bc
Sa	30 %	1.64 de	117.46 bc	25.95 d	3.63 c
Sa	0.3 บาร์	1.59 de	125.10 bc	26.75 d	4.40 abc
Hd	WL	1.77 de	229.79 a	92.75 bc	4.28 abc
Hd	60 %	3.23 bc	189.39 ab	112.38 ab	3.93 bc
Hd	30 %	4.76 a	182.79 ab	139.45 a	5.16 ab
Hd	0.3 บาร์	3.74 ab	248.53 a	108.11 ab	5.06 ab
Ng	WL	0.98 e	136.20 bc	43.11 d	5.46 a
Ng	60 %	1.60 de	140.76 bc	56.58 cd	4.35 abc
Ng	30 %	1.15 e	74.33 c	42.18 d	4.14 abc
Ng	0.3 บาร์	1.07 e	67.93 c	38.91 d	3.91 bc

หมายเหตุ: Sa = ชุดดินสรรพยา, Hd = ชุดดินหางดง, Ng = ชุดดินน้ำพอง, Control = ไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา, *G.geosporum* = หัวเชื้อดิน*G.geosporum, G.etunicatum* = หัวเชื้อดิน *G.etunicatum, A.foveata* = หัวเชื้อดิน A.foveata, WL = การให้น้ำขัง 2 ซม., 60 % = การให้ดินมีความชื้นที่ 60 %, 30 % = การให้ดินมีความชื้นที่ 30 %, 0.3 บาร์ = การให้ดินมีความชื้นที่ 0.3 บาร์, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่แสดงชนิดของดิน, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่หนาแสดงถึงชนิดของเชื้อไมคอร์ไรซา, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กหนาแสดงรูปแบบการจัดการน้ำ, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินร่วมกับการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา และความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินร่วมกับรูปแบบการจัดการน้ำ

ผลการทดลองที่ 5 บทบาทของเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ระดับ pH ของดินต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส อนินทรีย์ฟอสฟอรัสและสังกะสีในดิน

1. ผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาระดับ pH ของดิน ต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน

จากการศึกษาพบว่าที่ pH เท่ากับ 5 การใส่เชื้อ *G.geosporum* + *G.etunicatum* ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินมีค่าสูงสุด 31.05 mg/kg ที่ pH เท่ากับ 6 พบว่าการใส่เชื้อ *G.geosporum* ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินมีค่าสูงสุด 29.01 mg/kg ที่ pH เท่ากับ 7 และ 8 พบว่าการใส่เชื้อ *G.geosporum* + *G.etunicatum* และการใส่เชื้อ *G.etunicatum* ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินมีค่าสูงสุด จากการศึกษาของ Ortas et al. (2011) ได้มีการใช้เชื้อ ไมคอร์ไรซาที่มีการทดสอบการดูดใช้ฟอสฟอรัสในพริก พบว่าพริกที่มีการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาลงไปมีบทบาทในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินสูงขึ้นซึ่งมีความสอดคล้องกับ การศึกษาของ Mosse (1973) ได้อธิบายว่าการใส่เชื้อไมคอร์ไรซามีความสามารถดูดซับธาตุฟอสฟอรัส โดยเฉพาะเมื่อมีฟอสฟอรัสในดินต่ำ



ภาพ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับค่า pH ผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส

หมายเหตุ : Control = การไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา, *G.geosporum* + *G.etunicatum* = การใส่เชื้อ *G.geosporum* ร่วมกับเชื้อ *G.etunicatum*, *G.etunicatum* = การใส่เชื้อ *G.etunicatum* เพียงอย่างเดียว, *G.geosporum* = การใส่เชื้อ *G.geosporum* เพียงอย่างเดียว

2. ผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ระดับ pH ของดิน ต่อความเป็นประโยชน์ของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน

ค่า pH ของดินมีผลกระทบต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน (Hanlon et al., 2000) แนวทางการเขตกรรมในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนาคือการใช้ประโยชน์จากเชื้อราอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Ortas, 2008) จากการศึกษาผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ระดับค่า pH ของดินต่อความเป็นประโยชน์ของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินพบว่าการใส่เชื้อ *G.geosporum* ส่งผลให้ P-solution ในดินมีค่าสูงสุด 37.91 mg/kg ในส่วน Al-P และ Fe-P พบว่าการใส่เชื้อ *G.etunicatum* ส่งผลให้ปริมาณ Al-P และ Fe-P ในดินมีค่าสูงสุดที่ 137.35 และ 160.69 mg/kg ตามลำดับ ปริมาณ P-Red และ Ca-P พบว่าการใส่เชื้อ *G.geosporum* ส่งผลให้ปริมาณ P-Red และ Ca-P มีค่าสูงสุดที่ 57.40 และ 87.53 mg/kg ผลของระดับ pH พบว่า ที่ pH เท่ากับ 5 ปริมาณ Fe-P มีค่าสูงสุดที่ 175.52 mg/kg และพบว่าที่ pH เท่ากับ 8 ส่งผลให้ปริมาณ P-solution, Al-P, P-Red, Ca-P มีค่าสูงสุดที่ 38.90, 133.62, 66.29, 80.98 mg/kg ตามลำดับ ความแตกต่างในการดูดซับประจุบวกและลบของ mycorrhizal ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใน pH ซึ่งทำให้มีผลต่อการดูดใช้ฟอสเฟตจากดินและพืชเปลี่ยนไปด้วย (Powell, 1976) ความสัมพันธ์ระหว่างการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาและระดับ pH ของดิน พบว่าที่ pH เท่ากับ 8 การใส่เชื้อ *G.geosporum* ปริมาณ P-solution มีการละลายออกมาสูงสุดมีค่า 43.34 mg/kg ที่ pH เท่ากับ 8 การใส่เชื้อ *G.etunicatum* พบปริมาณ Al-P ในดินสูงสุดที่ 181.88 mg/kg ปริมาณ Fe-P พบว่าที่ pH เท่ากับ 5 การใส่เชื้อ *G.etunicatum* ส่งผลให้ปริมาณ Fe-P ในดินมีค่าสูงสุดที่ 199.84 mg/kg และพบว่าที่ pH เท่ากับ 8 การไม่ใส่เชื้อส่งผลให้ปริมาณ Fe-P ในดินมีค่าต่ำสุด ที่ pH เท่ากับ 8 การใส่เชื้อ *G.geosporum* + *G.etunicatum* มีผลให้ปริมาณ P-Red ในดินมีค่าสูงสุดที่ 98.24 mg/kg ในส่วน Ca-P พบว่าที่ pH เท่ากับ 8 การใส่เชื้อ *G.geosporum* ส่งผลให้ปริมาณ Ca-P ในดินมีค่าสูงสุด 123.38 mg/kg และมีค่าต่ำสุดเมื่อ pH เท่ากับ 5 ไม่มีการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา 27.29 mg/kg จะพบได้ว่าดินที่มีค่า pH ของดินสูงฟอสฟอรัสจะตกตะกอนอยู่ในรูปของ Ca-P เป็นส่วนใหญ่ (Supak, 1969)

ตาราง 11 แสดงผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ระดับค่า pH ของดินต่อความเป็นประโยชน์ของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน

		P-sol (mg/kg)	Al-P (mg/kg)	Fe-P (mg/kg)	P-Red (mg/kg)	Ca-P (mg/kg)
Mycorrhiza						
Control		34.34 c	105.00 d	129.09 d	57.89 a	59.56 b
G.geosporum + *G.etunicatum*		35.22 bc	121.28 b	154.34 b	53.57 b	45.13 d
G.etunicatum		35.92 b	137.35 a	160.69 a	43.55 c	54.35 c
G.geosporum		37.91 a	106.47 c	132.13 c	57.40 a	87.53 a
pH						
5		32.30 **C**	111.81 **C**	175.52 **A**	44.07 **D**	35.17 **D**
6		35.69 **B**	104.60 **D**	154.91 **C**	48.92 **C**	71.44 **B**
7		36.50 **B**	120.07 **B**	166.81 **B**	53.12 **B**	58.98 **C**
8		38.90 **A**	133.62 **A**	79.00 **D**	66.29 **A**	80.98 **A**
Interaction						
Control	5	40.53 AB	99.66 J	178.78 C	62.70 C	27.29 K
Control	6	33.06 EFG	102.69 HI	118.56 K	46.70 G	72.24 E
Control	7	32.36 FG	121.43 E	172.37 E	42.50 I	40.29 I
Control	8	31.42 G	96.24 K	46.66 N	79.66 B	98.45 C
G.geosporum + *G.etunicatum*	5	27.45 H	121.23 E	149.47 H	30.54 L	35.81 J
G.geosporum + *G.etunicatum*	6	36.80 CD	103.29 H	164.81 F	52.19 E	52.43 F
G.geosporum + *G.etunicatum*	7	34.93 DEF	106.31 G	175.34 D	33.29 K	43.48 H
G.geosporum + *G.etunicatum*	8	41.71 AB	154.28 C	127.72 J	98.24 A	48.81 G

ตาราง 11 (ต่อ)

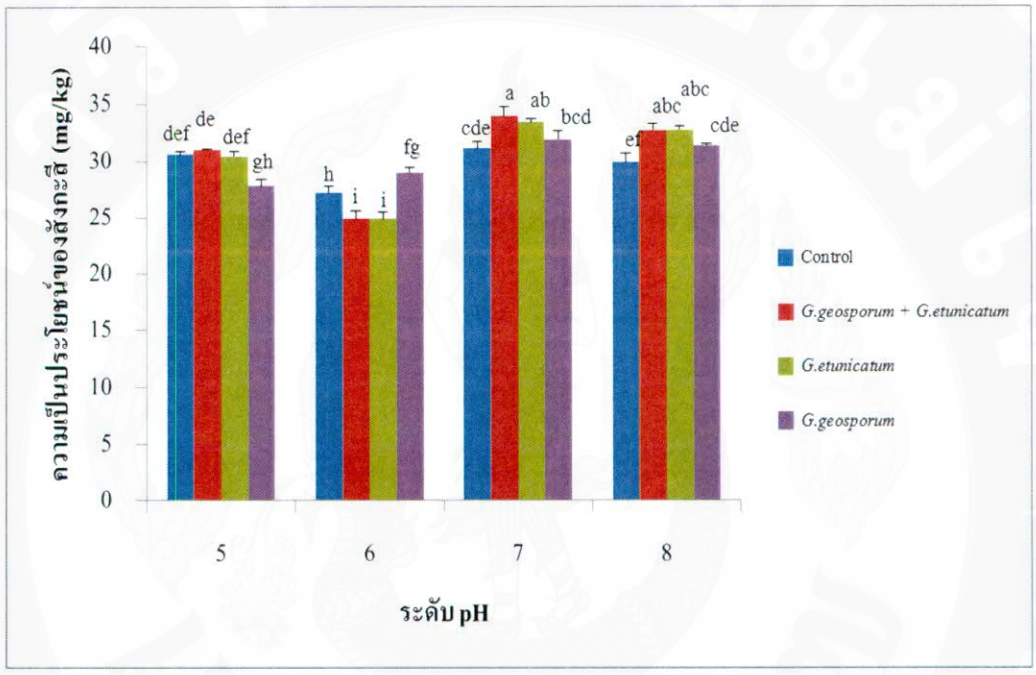
Interaction		P-sol (mg/kg)	Al-P (mg/kg)	Fe-P (mg/kg)	P-Red (mg/kg)	Ca-P (mg/kg)
G.etunicatum	5	27.45 H	100.87 IJ	199.84 A	38.62 J	43.06 H
G.etunicatum	6	35.86 DE	109.54 F	177.63 C	48.32 F	47.75 G
G.etunicatum	7	41.24 AB	157.10 B	183.36 B	57.69 D	73.31 E
G.etunicatum	8	39.13 BC	181.88 A	81.92 L	29.57 L	53.29 F
G.geosporum	6	37.03 CD	102.89 HI	158.63 G	48.48 F	113.37 B
G.geosporum	7	37.50 CD	95.44 K	136.19 I	79.02 B	78.85 D
G.geosporum	8	43.34 A	102.08 HI	59.71 M	57.69 D	123.38 A

หมายเหตุ: P-solution = Phosphorus in solution, Al-P = Aluminum Phosphate, Fe-P = Ferric Phosphate, P-Red = Reductant phosphate, Ca-P = Calcium Phosphate, Control = การไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา, *G.geosporum* + *G.etunicatum* = การใส่เชื้อ *G.geosporum* ร่วมกับเชื้อ *G.etunicatum*, *G.etunicatum* = การใส่เชื้อ *G.etunicatum* เพียงอย่างเดียว, *G.geosporum* = การใส่เชื้อ *G.geosporum* เพียงอย่างเดียว, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงชนิดของเชื้อไมคอร์ไรซา, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่หนาแสดงถึงระดับ pH ของดิน, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อไมคอร์ไรซาร่วมกับค่า pH ของดิน

3. ผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ระดับ pH ของดิน ต่อความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดิน

ผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซา ระดับ pH ต่อความเป็นประโยชน์ของ Zn ในดิน ความเป็นประโยชน์ของ Zn มีค่าลดลงหรือเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากมาจากปัจจัยหลายประการ เช่น pH ของดินที่มีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับ pH เดิมของดิน (Liu, 1996) จากการศึกษาพบว่าที่ pH เท่ากับ 5 การใส่เชื้อ *G.geosporum* + *G.etunicatum* มีผลให้ปริมาณ Zn ในดินมีค่าสูงสุดที่ 3.68 mg/kg ที่ pH เท่ากับ 6 การไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซาและการใส่เชื้อ *G.etunicatum* ปริมาณ Zn ในดินมีค่าสูงสุดที่ 3.75 และ 3.72 mg/kg ตามลำดับ ที่ pH เท่ากับ 7 การใส่เชื้อ *G.geosporum* + *G.etunicatum* และการใส่เชื้อ *G.etunicatum* มีผลให้ปริมาณ Zn ในดินมีค่าสูงสุดที่ 3.55 และ 3.57 mg/kg ตามลำดับ ค่า pH เท่ากับ 8 การใส่เชื้อ *G.geosporum* + *G.etunicatum* ส่งผลให้ปริมาณ Zn ในดินมีค่าสูงสุดที่ 3.39 mg/kg และพบว่าการไม่ใส่เชื้อปริมาณ Zn ในดินจะมีค่าต่ำสุดที่ 2.97 mg/kg จากการศึกษาของ Ortas et al. (2011) ได้มีการใช้เชื้อ *G.etunicatum* *G.clarum* *G.intraradices* *G.caledonium*

G.mossea ที่มีการทดสอบการดูดใช้ Zn ในการปลูกพริก พบว่าพริกที่มีการใส่เชื้อไมคอร์ไรซามีบทบาทในการดูดใช้ Zn โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เชื้อ *G. etunicatum* มีบทบาทในการดูดใช้ Zn มากที่สุด จากการศึกษาของ Bolan (1991) พบว่าไมคอร์ไรซาสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นโหระพา และมีการสะสมของธาตุอาหาร N, P, K, Ca, Fe, Cu และ Mn ได้สูงกว่าต้นที่ไม่มีการใส่ อีกทั้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ช้าให้แก่พืชอาศัย เช่น Zn



ภาพ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับค่า pH ผลของการใส่เชื้อไมคอร์ไรซาต่อความเป็นประโยชน์ของสังกะสี (Zn) ในดิน ($p<0.05$)

หมายเหตุ: Control = การไม่ใส่เชื้อไมคอร์ไรซา, *G.geosporum* + *G.etunicatum* = การใส่เชื้อ *G.geosporum* ร่วมกับเชื้อ *G.etunicatum*, *G.etunicatum* = การใส่เชื้อ *G.etunicatum* เพียงอย่างเดียว, *G.geosporum* = การใส่เชื้อ *G.geosporum* เพียงอย่างเดียว, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างของแต่ละทรีทเมนท์

ผลการทดลองที่ 6 การศึกษาระบบเกษตรนาอินทรีย์และระบบเกษตรนาเคมี ของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส อนินทรีย์ฟอสฟอรัส ของหมู่บ้านดอนเจียง ตำบลสบเปิง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

1. ผลของระดับความลึก ต่อปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินนาอินทรีย์และดินนาเคมี

จากตาราง 12 พบว่าปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินนาเคมีมีค่าสูงกว่าดินนาอินทรีย์ โดยพบว่าดินนาอินทรีย์มีปริมาณ P-solution และ Al-P ต่ำกว่าดินนาเคมีและพบว่าในส่วน Fe-P, P-Red และ Ca-P มีค่าไม่แตกต่างจากดินนาเคมี โดยเฉลี่ยแล้วดินในประเทศไทยมีฟอสฟอรัสอยู่ในรูป Fe-P 35 %, P-Red 19 %, Al-P 5 % (Cholitkul and Tyner, 1971) ที่ระดับความลึก 0-5 ซม. พบปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสปริมาณที่สูง มีเพียง P-Red เท่านั้นที่พบปริมาณต่ำ ระดับความลึก 10-15 ซม. ปริมาณ Al-P, Fe-P, P-Red พบในดินปริมาณสูงที่สุด ปริมาณ P-solution, Ca-P มีค่าในดินนาอินทรีย์ต่ำกว่าในดินนาเคมี ดินนาที่มีการทำนาแบบน้ำขังจะส่งผลต่ออิทธิพลการเปลี่ยนรูปของฟอสเฟตในดิน โดย Fe-P และ Al-P มีปริมาณสูงขึ้นแต่ในส่วน Ca-P จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (Patrick and Mahapatra, 1968) ความสัมพันธ์ระหว่างดินนาเคมีและดินนาอินทรีย์ที่ระดับความลึกทั้งสองระดับ พบว่าดินนาเคมีที่ระดับความลึก 0-5 ซม. พบปริมาณ P-solution, Al-P, Fe-P และ Ca-P มีค่าสูงสุด มีเพียงปริมาณ P-Red เท่านั้นที่มีค่าต่ำ ที่ระดับความลึก 10-15 ซม. ของดินนาเคมี ปริมาณ Al-P, P-Red มีปริมาณสูงสุด รองลงมาคือ P-Solution และ Fe-P ในส่วนดินนาอินทรีย์ที่ระดับความลึก 0-5 ซม. พบปริมาณ Ca-P สูงที่สุดรองลงมาคือ Al-P, P-Red และพบว่าปริมาณ P-Solution พบในปริมาณที่ต่ำ ที่ระดับความลึก 10-15 ซม. ของดินนาอินทรีย์ ปริมาณ Fe-P, P-Red มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ Al-P, Ca-P และพบว่าปริมาณ P-solution ในดินมีค่าต่ำสุด ในการสลายตัวของอินทรียวัตถุในสภาพที่มีออกซิเจนจะทำให้มีการสะสมของอินทรียวัตถุในดินบนในปริมาณที่สูง (Lipiec, 1992; Czyz and Tomaszewska, 1993)

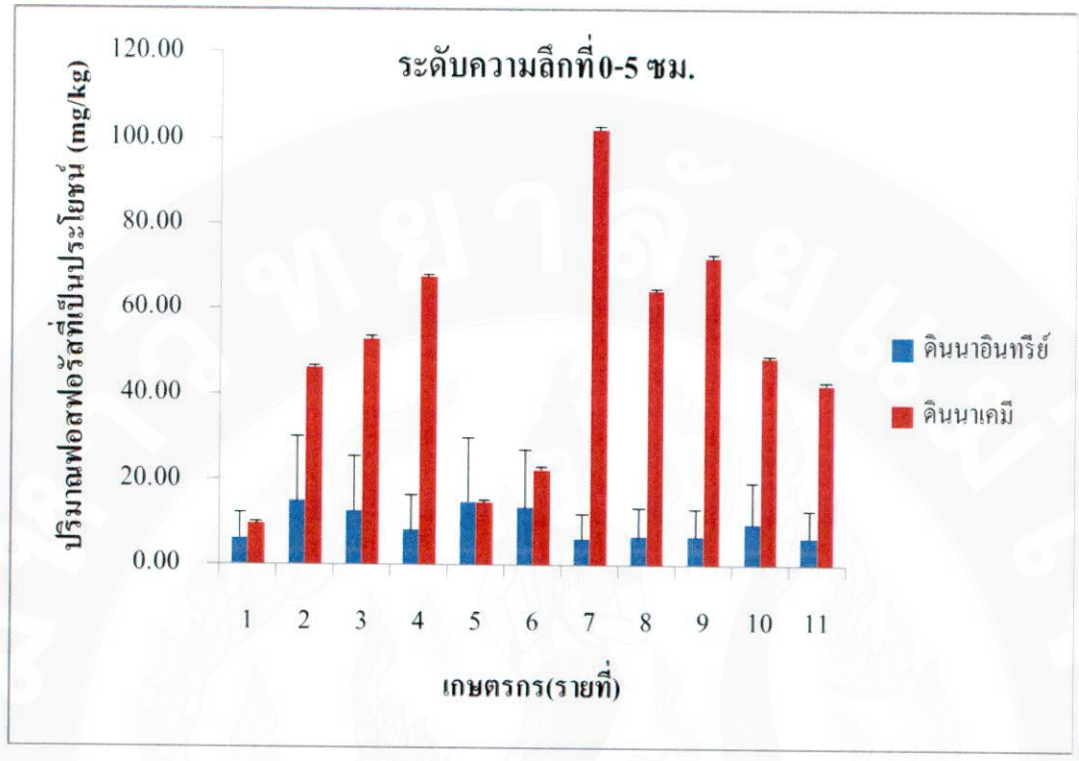
ตาราง 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดินนาอินทรีย์และดินนาเคมีที่ระดับความลึกต่างๆ

soil	P-solution (mg/kg)	Al-P (mg/kg)	Fe-P (mg/kg)	P-Red (mg/kg)	Ca-P (mg/kg)
ดินนาเคมี	35.8 A	106.91 A	76.25 A	66.58 A	35.22 A
ดินนาอินทรีย์	8.18 B	14.03 B	80.40 A	60.26 A	32.27 A
depth					
0-5 ซม.	23.99 **a**	58.96 **a**	80.94 **a**	59.86 **b**	37.40 **a**
10-15 ซม.	20.07 **b**	61.96 **a**	75.72 **a**	66.97 **a**	30.09 **b**
interaction					
ดินนาเคมี 0-5 ซม.	37.97 a	103.70 a	83.06 a	64.58 ab	35.81 a
ดินนาเคมี 10-15 ซม.	33.79 b	110.12 a	69.45 b	68.57 a	34.64 ab
ดินนาอินทรีย์ 0-5 ซม.	10.01 c	14.24 b	78.82 ab	55.14 b	38.99 a
ดินนาอินทรีย์ 10-15 ซม.	6.36 d	13.82 b	81.98 a	65.37 a	25.54 b

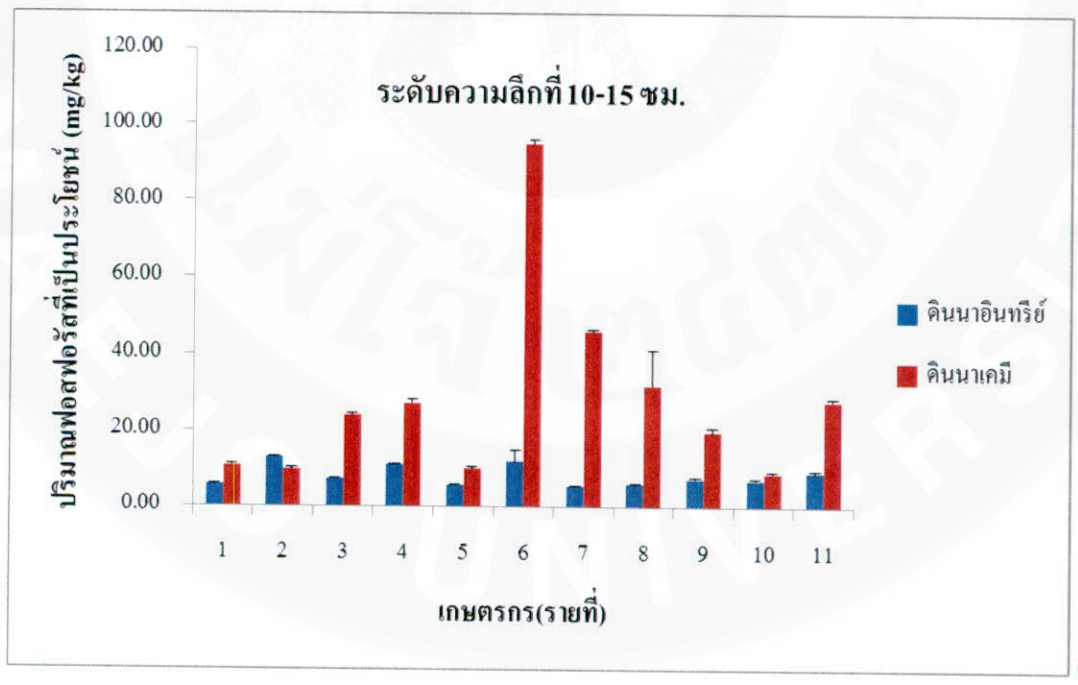
หมายเหตุ: ดินนาเคมี 0-5 ซม. = ดินนาเคมีที่ระดับความลึก 0-5 ซม., ดินนาเคมี 10-15 ซม. = ดินนาเคมีที่ระดับความลึก 10-15 ซม., ดินนาอินทรีย์ 0-5 ซม. = ดินนาอินทรีย์ที่ระดับความลึก 0-5 ซม., ดินนาอินทรีย์ 10-15 ซม.= ดินนาอินทรีย์ที่ระดับความลึก 10-15 ซม., อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่แสดงถึงชนิดของดิน, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กหนาแสดงถึงระดับความลึกของดิน, อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินร่วมกับระดับความลึก

2. ผลของระดับความลึก ต่อปริมาณความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนาอินทรีย์และดินนาเคมี

จากการศึกษาระดับความลึกของดินที่ 0-5 ซม. และระดับความลึก 10-15 ซม. ต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนาอินทรีย์และดินนาเคมี พบว่าดินนาอินทรีย์มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ ในส่วนดินนาเคมีพบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ปริมาณที่สูง เนื่องจากการใส่ปุ๋ยของเกษตรกรทั่วไปมักจะใส่แบบโรยเป็นแถวจึงทำให้พบว่าที่ระดับความลึกลงดินประมาณ 2.5-5 ซม. จะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูงและพืชสามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสได้ดีกว่าระดับอื่น (FAO, 2006) เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างดินนาเคมีและดินนาอินทรีย์ พบว่าดินนาเคมีที่ระดับ 0-5 ซม. พบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าที่ระดับ 10-15 ซม. (ภาพ 17(a)) ในส่วนดินนาอินทรีย์ พบความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินชั้นบนที่ระดับความลึก 0-5 ซม. สูงกว่าที่ระดับ 10-15 ซม. (ภาพ 17(b)) จากการศึกษาของ สุกิตติ (2529) พบว่าค่าการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่ได้จะมีค่าสูงในชั้นดินบนและจะลดลงไปตามลำดับเมื่อความลึกของดินเพิ่มขึ้น เมื่อมีการให้น้ำไม่ว่าจะเป็นอัตราใดก็ตามปริมาณของฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้ก็จะมีค่าสูงในชั้นดินบนและลดต่ำลงในชั้นดินที่ลึกลงไปตามลำดับ ซึ่งเป็นข้อยืนยันได้ว่าฟอสฟอรัสในดินมีการเคลื่อนที่ต่ำ Perrott and Mansell (1989) กล่าวว่าการสะสมของฟอสฟอรัสในดินมีทั้งฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช อนินทรีย์ฟอสฟอรัสและอินทรีย์ฟอสฟอรัส ซึ่ง Haygarth et al. (1998) พบว่าฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะมีการสะสมน้อยลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะเปลี่ยนแปลงปริมาณอย่างรวดเร็วแม้ความลึกของดินลดลงเพียง 2 ซม. ก็มีฟอสฟอรัสสะสมลดลงถึง 50 % ของปริมาณฟอสฟอรัสในดินบน



(ก)



(ข)

ภาพ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเกษตรกรแต่ละรายต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนาอินทรีย์(ก) และดินนาเคมี(ข) ที่ระดับความลึกต่างๆ ($p<0.05$)

3. ผลของการใส่ปุ๋ยต่อปริมาณความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน

เนื่องจากธาตุฟอสฟอรัสมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชและพบว่าในดินมักจะมีปริมาณความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่ำ การทำการเกษตรจึงต้องมีการเติมปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน (Khasawneh et al., 1980; Bakker et al., 2005) จากการสำรวจพบว่าในกลุ่มเกษตรกรดินนาเคมีมีการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ผสมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในนาข้าวปริมาณสูงที่สุด อัตราที่ใช้อยู่ระหว่าง 301-500 กิโลกรัม/ไร่ จำนวน 8 คน รองลงมาคือการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 เพียงอย่างเดียวในอัตรา 301-500 กิโลกรัม/ไร่ จำนวน 7 คน ในส่วนกลุ่มเกษตรกรนาอินทรีย์พบว่ามีการใช้ปุ๋ยคอกที่ทำจากมูลสัตว์ในปริมาณที่สูง อัตราระหว่าง 100-300 กิโลกรัม/ไร่ จำนวน 7 คน และพบว่ามีการใช้น้ำหมักชีวภาพในอัตราระหว่าง 1-2 ลิตร/ไร่ สูงสุด จำนวน 5 คน (ตาราง 13) จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในดินเกษตรกรทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสในดินตกค้างอยู่เป็นจำนวนมาก จึงพบได้ว่าในดินนาเคมีมีค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินสูงกว่าดินนาอินทรีย์ จากการศึกษาของ Singh et al. (2006) พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เป็นการป้องกันการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสที่ตกค้างและจะเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่ตกค้างอยู่ด้วยให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ตาราง 13 แสดงข้อมูลการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรในส่วนดินนาอินทรีย์และดินนาเคมี

ดินนาเคมี	อัตราการใส่	จำนวนคน
1. ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15	1) 100-300 กิโลกรัม/ไร่	2
	2) 301-500 กิโลกรัม/ไร่	7
	3) > 500 กิโลกรัม/ไร่	-
2. ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0	1) 100-300 กิโลกรัม/ไร่	2
	2) 301-500 กิโลกรัม/ไร่	3
	3) > 500 กิโลกรัม/ไร่	-
3. ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ผสม ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15	1) 100-300 กิโลกรัม/ไร่	2
	2) 301-500 กิโลกรัม/ไร่	8
	3) > 500 กิโลกรัม/ไร่	-
ดินนาอินทรีย์	**อัตราการใส่**	**จำนวนคน**
1. ปุ๋ยคอก (มูลสัตว์)	1) 100-300 กิโลกรัม/ไร่	7
	2) 301-500 กิโลกรัม/ไร่	2
	3) > 500 กิโลกรัม/ไร่	-
2. ปุ๋ยหมัก	1) 100-300 กิโลกรัม/ไร่	3
	2) 301-500 กิโลกรัม/ไร่	3
	3) > 500 กิโลกรัม/ไร่	-
3. น้ำหมักชีวภาพ	1) 1-2 ลิตร/ไร่	5
	2) 3-4 ลิตร/ไร่	1
	3) > 5 ลิตร/ไร่	-

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

การศึกษารูปแบบของดินปลูกข้าวที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส อนินทรีย์ฟอสฟอรัส สังกะสี ทองแดง เหล็กและแมงกานีส โดยทำการศึกษาใน 3 ชุดดินคือ ชุดดินหางดง ชุดดินน้ำพองและชุดดินสรรพยา ทั้งสามชุดดินมีอยู่ในบริเวณพื้นที่ของจังหวัดเชียงใหม่ และเป็นพื้นที่ที่ไม่มีการทำการเกษตรไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมี ซึ่งได้นำชุดดินดังกล่าวมาทำการทดลองจำนวน 6 การทดลองในสภาพห้องทดลองและสภาพกระถางการทดลองในโรงเรือน รวมถึงการศึกษาในสภาพแปลงนาเกษตรกรที่ทำนาอินทรีย์และนาเคมี

1. ดินที่มีการขังน้ำค่า pH และค่า EC ของดินมีค่าสูงขึ้น ค่า Eh มีค่าต่ำลง เมื่อความชื้นในดินเริ่มลดลงค่า pH และค่า EC จะมีค่าลดลง มีเพียงค่า Eh ที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดิน Hd และ Ng พบปริมาณ Zn ในดินปริมาณที่สูง ดิน Sa ที่มีการใส่ G + N พบปริมาณ Zn ในดินสูงขึ้นทั้งสองรอบของการให้น้ำ มีค่า 5.41 และ 6.54 mg/kg ดิน Sa และ Hd พบปริมาณ Cu, Fe ในดินสูงสุด และพบว่าดิน Hd ที่มีการใส่ G + N พบปริมาณ Cu ในดินเพิ่มสูงขึ้นทั้งสองรอบของการให้น้ำ มีค่า 1.43 และ 3.04 mg/kg ดิน Sa ที่มีการใส่ G และดิน Sa ที่มีการใส่ G + N พบปริมาณ Fe สูงสุดทั้งสองรอบของการให้น้ำ ในส่วน Mn ทั้งสามชุดดินไม่มีความแตกต่างกัน ดิน Hd และดิน Sa ที่มีการใส่ G + N พบปริมาณ Mn ในดินสูงสุด ดิน Hd ที่มีการใส่ G และ C พบปริมาณ P-solution ในดินสูงสุด ดิน Hd และ Ng พบปริมาณ Al-P ในดินสูงที่สุด เมื่อเริ่มมีการขังน้ำจนถึงระดับ 0.3 บาร์ของดินแต่ละชนิด ปริมาณ Fe-P ในดิน Sa และ Ng มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดิน Sa และ Hd พบ P-Red ปริมาณสูง ในส่วน Ca-P พบว่าทั้งสามชุดดินมีค่า Ca-P ไม่แตกต่างกัน

2. P-Solution มีค่าสูงในดิน Sa ที่การจัดการน้ำ AWD0.3 มีค่า 21.80 mg/kg ปริมาณ Al-P มีค่าสูงในดิน Hd ที่มีการจัดการน้ำ WL มีค่า 40.36 mg/kg ปริมาณ Fe-P มีความเป็นประโยชน์สูงสุดในดิน Hd ที่การจัดการน้ำ WL มีค่า 174.74 mg/kg ปริมาณ P-Red มีค่าสูงสุดในดิน Hd ที่การจัดการน้ำ AWD0.3 และ AWDSat. มีค่า 52.17 และ 51.16 mg/kg ในส่วน Ca-P มีค่าสูงสุดในดิน Ng ที่การจัดการน้ำ AWD0.3 มีค่า 24.42 mg/kg ค่า pH ของดินที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า Extract. Zn และค่า Extract. Cu ในดินมีค่าลดลง 0.31 และ 0.01 mg/kg เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่อ Zn Uptake และ Cu Uptake พบว่า ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น ข้าวจะดูดใช้ Zn สูงขึ้น 0.32 μg/plant ในส่วน Cu มีค่าการดูดใช้ต่ำลง -0.14 μg/plant ความสัมพันธ์ระหว่าง Extract. Cu และ Extract. Zn ต่อปริมาณ Zn Uptake และ Cu

Uptake พบว่า Extract. Cu ในดินสูงขึ้น Zn Uptake และ Cu Uptake มีค่าสูงขึ้นตาม 0.73, 0.17 μg/plant ค่า pH ต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนพบว่า pH มีความสัมพันธ์ทางบวกต่อ WSC, HWSC, POC, LPOM, FPOM มีความสัมพันธ์ทางลบกับ SOC ในส่วน Zn Uptake มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณ POC, LPOM, FPOM และ SOC ปริมาณ Conc. Zn มีความสัมพันธ์ทางลบกับ WSC, WHSC, POC และ FPOM ในส่วนปริมาณ Zn ในดินมีความสัมพันธ์ทางบวก WSC, HWSC ปริมาณ Cu เมื่อค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้น Cu ในดินมีค่าสูงขึ้นตามและปริมาณ Conc. Cu, Cu Uptake จะมีค่าลดลง

3. ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการจัดการน้ำ AWD0.3 และใส่ปุ๋ยในอัตรา 2,500 กิโลกรัม/ไร่ การจัดการน้ำ AWDSat. ที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 1500 กิโลกรัม/ไร่ พบปริมาณ P-solution สูงสุด 21.23 mg/kg การจัดการน้ำ WL ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยและการจัดการน้ำ AWD0.3 ที่มีการใส่ปุ๋ยอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ พบ Al-P สูงสุดที่ 25.57 และ 26.06 mg/kg ปริมาณ Fe-P พบปริมาณสูงในการจัดการน้ำ WL ที่มีการใส่ปุ๋ยอัตรา 1500 กิโลกรัม/ไร่ การจัดการน้ำ WL ที่การใส่ปุ๋ยอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ และการจัดการน้ำ AWD0.3 ที่การใส่ปุ๋ยอัตรา 1000 mg/kg มีค่า P-Red สูงสุดที่ 66.41 และ 67.45 mg/kg การจัดการน้ำ AWDSat. ที่มีอัตราการใส่ปุ๋ย 1500 กิโลกรัม/ไร่ พบปริมาณ Ca-P สูงสุด ที่การจัดการน้ำ AWD0.3 พบปริมาณ Zn สูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ ปริมาณ Cu ที่มีการใส่ปุ๋ยในอัตรา 2000 และ 1500 กิโลกรัม/ไร่ มีค่า Cu สูงถึง 5.75 และ 5.64 mg/kg ในส่วน Fe พบปริมาณสูงเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยและการใส่ปุ๋ยในอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ มีค่า 18.65 และ 18.25 mg/kg ปริมาณ Mn พบปริมาณสูงเมื่อมีการใส่ปุ๋ยในอัตรา 2000 และ 500 กิโลกรัม/ไร่

4. ค่า pH มีค่าสูงในดิน Ng ที่มีการใส่เชื้อ *G.geosporum* ดิน Sa ที่การจัดการน้ำ WL มีค่า pH สูงสุดที่ 6.27 ปริมาณ EC พบปริมาณสูงในดิน Sa ที่ไม่มีการใส่เชื้อและมีการใส่เชื้อ *A. foveata* มีค่า 0.03, 0.03 μs/m ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสพบในดิน Sa ที่มีการใส่เชื้อ *G.geosporum, G. etunicatum, A. foveata* และมีความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสสูงสุดทั้ง 4 ระดับความชื้น ปริมาณ Cu มีค่าสูงในดิน Hd ที่มีการใส่เชื้อ *A. foveata* มีค่า 5.04 mg/kg ปริมาณ Fe พบในดิน Hd ที่มีการใส่เชื้อ *G. etunicatum* มีค่า 307.79 mg/kg ปริมาณ Mn มีค่าสูงในดิน Hd ที่ไม่มีการใส่เชื้อ และดิน Hd ที่ใส่เชื้อ *A. foveata* ในส่วน Zn มีค่าสูงในดิน Hd ที่มีการใส่เชื้อ *A. foveata* มีค่า 5.27 mg/kg ปริมาณ Cu, Mn มีค่าสูงสุดในดิน Hd ที่ความชื้น 30 % ดิน Hd ที่การจัดการน้ำ WL และ 0.3 บาร์ พบปริมาณ Fe สูงสุดที่ 229.79 และ 248.53 mg/kg ในส่วน Zn ดิน Ng ที่การให้น้ำ WL พบปริมาณ Zn สูงสุดที่ 5.46 mg/kg

5. ที่ pH เท่ากับ 5 การใส่เชื้อ *G.geosporum* + *G.etunicatum* พบปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุด 31.05 mg/kg ที่ pH เท่ากับ 6 การใส่เชื้อ *G.geosporum* มีความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสสูงถึง 29.01 mg/kg ที่ pH เท่ากับ 7 การใส่เชื้อ *G.geosporum* + *G.etunicatum* พบฟอสฟอรัสในดินสูงสุด ที่ pH เท่ากับ 8 การใส่เชื้อ *G.geosporum* + *G.etunicatum* และการใส่เชื้อ *G.etunicatum* พบปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุดที่ 32.73 และ 32.77 mg/kg การใส่เชื้อ *G.geosporum* พบปริมาณ P-Solution ในดินสูงสุด ในส่วน Al-P และ Fe-P พบปริมาณสูงเมื่อมีการใส่เชื้อ *G.etunicatum* มีค่า 137.35 และ 160.69 mg/kg ตามลำดับ ปริมาณ P-Red และ Ca-P พบปริมาณสูงเมื่อมีการใส่เชื้อ *G.geosporum* มีค่า 57.40 และ 87.53 mg/kg ที่ pH เท่ากับ 5 การใส่เชื้อ *G.geosporum* + *G.etunicatum* พบปริมาณ Zn ในดิน 3.68 mg/kg ที่ pH เท่ากับ 6 การไม่ใส่เชื้อและการใส่เชื้อ *G.etunicatum* ปริมาณ Zn ในดินมีค่าสูงถึง 3.75 และ 3.72 mg/kg ที่ pH เท่ากับ 7 การใส่เชื้อ *G.geosporum* + *G.etunicatum* และการใส่เชื้อ *G.etunicatum* มีค่า Zn ในดินมีค่าสูงสุดที่ 3.55 และ 3.57 mg/kg ที่ pH เท่ากับ 8 การใส่เชื้อ *G.geosporum* + *G.etunicatum* พบค่า Zn สูงถึง 3.39 mg/kg

6. ดินนาเคมีพบปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงกว่าดินนาอินทรีย์ ที่ระดับความลึก 0-5 และ 10-15 ซม. พบ P-solution, Al-P, Fe-P และ Ca-P สูงสุด ที่ระดับ 10-15 ซม. พบปริมาณ Al-P, Fe-P และ P-Red สูงสุด ดินนาเคมีที่ระดับ 0-5 ซม. พบ P-solution, Al-P, Fe-P และ Ca-P สูงสุด ดินนาเคมีที่ระดับ 10-15 ซม. พบ Al-P, Fe-P, Ca-P สูงสุด ดินนาอินทรีย์ที่ระดับ 0-5 ซม. พบปริมาณ Ca-P ปริมาณสูง ดินนาอินทรีย์ที่ระดับ 10-15 ซม. พบปริมาณ Fe-P และ P-Red สูงสุด ดินนาเคมีมีการใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 301-500 กิโลกรัม/ไร่ สูงสุด ดินนาอินทรีย์พบมีการใช้ปุ๋ยคอกมูลสัตว์ อัตรา 100-300 กิโลกรัม/ไร่ สูงสุด

บรรณานุกรม

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 547 น.

คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา. 2544. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 241 – 255 น.

ถวิล ครุฑกุล. 2527. **ธรรมชาติและคุณสมบัติของฟอสฟอรัสในดิน**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 737 น.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. 2550. **ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์.** กรุงเทพฯ:ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 142 น.

ธงชัย มาลา. 2535. **ปุ๋ยชีวภาพเพื่อการเกษตร.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 305 น.

บุญเลิศ คุ้มนก. 2537. **อิทธิพลของความเป็นกรดด่าง ต่อการดูดยึดอนุมูลฟอสเฟตในดินบนที่สูง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 68 น.

ปัทมา วิตยากร. 2533. **ดิน: แหล่งธาตุอาหารของพืช**. ขอนแก่น: ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 215 น.

ประพิศ แสงทอง นิลประไพ จันทรภาพ และวิศิษฐ์ โชลิตกุล. 2527. รูปของฟอสฟอรัสที่สะสมในดินเนื่องจากการใช้ปุ๋ยอัตราสูง. **ว.วิชาการเกษตร.** 2: 128-135.

ประพิศ แสงทอง ปรีดา พากเพียร และวิศิษฐ์ โชลิตกุล. 2531. การเปลี่ยนแปลงสถานภาพของฟอสฟอรัสและปุ๋ยฟอสเฟตในดินนาชนิดต่างๆ. **ว.ดินและปุ๋ย** 10(1): 48-58.

ประพิศ แสงทอง. 2534. อนินทรีย์และอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินไร่. **ว. ดินและปุ๋ย.** 13(2): 148-157.

ประพิศ แสงทอง และพิชิต พงษ์สกุล. 2539. การปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินไร่. **ว.ดินและปุ๋ย** 18(1): 29-39.

พินิติ รตะนานุกูล. 2542. ดินกับสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ บทที่ 3 ดินกับโครงการพระราชดำริ. กรุงเทพฯ: ศูนย์ศึกษาแนว พระราชดำริ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม. 2528. **เคมีของดิน**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 502 น.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2543. **ธาตุอาหารพืช.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 424 น.

วนิดา วิริยะรัมภานนท์. 2534. **ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับฟอสเฟตกับสมบัติบางประการของดินแดง และดินสีเหลืองในบริเวณภาคตะวันตกของประเทศไทย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิศิษฐ์ โชลิตกุล. 2521. **อินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินและวิธีวิเคราะห์หาฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ในดินนาของประเทศไทย.** น. 121. ใน **การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 16.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิเชียร ฝอยพิกุล. 2536. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. สุรินทร์: ภาควิชาเกษตรศาสตร์ สถาบันราชภัฏ สุรินทร์. 238 น.

ศุภธิดา อ่ำทอง. 2551. **การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชในสภาพดินน้ำขัง**. ใน ดินนาและการจัดการ. เชียงใหม่: ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 44 น.

ศุภธิดา อ่ำทอง. 2555. **ดินนาและการจัดการ.** เชียงใหม่: ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 67 น.

ศุภธิดา อ่ำทอง ตวงสิทธิ ปัญญา และ กมล ยศอิ. 2556. ระบบการปลูกข้าวแบบให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆในดิน. น.86-92: ใน **การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 3**. ขอนแก่น: วารสารแก่นเกษตร.

ศุภธิดา อ่ำทอง. 2557. **ฟิสิกส์ของดินกับการปลูกข้าว.** ใน หนังสือดินนา. รอการตีพิมพ์ 2557.

สมชาย องค์ประเสริฐ. 2535. **ปฐพีศาสตร์ประยุกต์**. เชียงใหม่: ภาควิชาดินและปุ๋ย คณะผลิตกรรมการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. 444 น.

สมาคมการส่งออกข้าว. 2550. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http:www.oac.go.th/imp-exp.htm (22 มกราคา 2550).

สาคร ผ่องพันธ์ ไพบูลย์ ประพฤติธรรม และ มนูเวทย์ ศรีเสน. 2521. ใน **การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 16.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุกิตติ กำแพงเศรษฐ์. 2529. **อิทธิพลของปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตราน้ำและการคลุมดินต่อผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดถั่วฝักยาว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

สุพจน์ โตตระกูล. 2526. **หลักการของปฐพีเคมีวิเคราะห์**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 503 น.

สุพจน์ โตตระกูล เนาวรัตน์ เทพสุวรรณ และ กนกพันธ์ พันธุ์สมบัติ. 2535. ศักยภาพของฟอสเฟตที่ถูกดูดทางเคมีและความสามารถในการให้ฟอสเฟตแก่พืช. **วารสารวิทยาศาตร์เกษตร** 8(3): 278-287.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. **ภาวะเศรษฐกิจการเกษตรปี 2545 แนวโน้มปี 2546**. กรุงเทพฯ: สำนักนโยบายและแผนพัฒนาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อนันต์ โกเมศ. 2505. สรุปผลการทดลองปุ๋ยข้าวในนาราษฎรของประเทศไทย 3 ปี. น. 128. ใน **การประชุมทางวิชาการเกษตรศาสตร์และชีววิทยา (สาขาพืช) ครั้งที่ 1.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Barber, S. A. 1980. Soil-Plant interactions in phosphorus nutrition of Plants. pp. 591-615. In Khasawneh, F.E., E.C. Sample and E.J. Kamprath. (Eds.). **The Role of Phosphorus in Agriculture.** Mandoson, Wisconsin: ASA, CSSAA and SSSA.

Behera, S. K., A. K. Shukla and M. V. Singh. 2011. Indian Institute of Soil Science, Nabibagh, Berasia Road, Bhopal, Madhya Pradesh 462 038, INDIA

Belder, P., B. A. M. Bouman, R. Cabangon, G. Lu, E. J. P. Quilang, Y. Li, J. H. J. Spiertz and T. P. Tuong. 2004. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. **Agriculture Water Manage** 65: 193-210.

Bolan, N. A. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of Phosphorus by plants. **Plant and Soil** 134: 189-207.

Bouman, B. A. M. and T. P. Tuong. 2001. Field water management to save water and increase Its productivity in irrigated rice. **Agriculture Water Manage** 49: 11-30.

Brady, N. C. 1990. **The Nature and Properties of Soils**. 10th ed. New York: MacMillan, Inc. 351-368 p. อ้างโดย บุญเลิศ คุ้มนก. 2537. **อิทธิพลของความเป็นกรดด่าง ต่อการดูดยึดอนุมูลฟอสเฟตในดินบนที่สูง.** วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 68 น.

Brandon, A. M. and D. S. Mikkelsen. 1979. Phosphorustransformations in alternately flooded California Soils. I. Cause of plant phosphorus deficiency in rice rotation crops and correction Methods. **Soil S cience Society of America Journal** 43: 989 – 994.

Buresh, R. J. and S. K. De Datta. 1990. Denitrification losses from puddled rice soils in the Tropics. **Biological Fertilizer Soils**. 9: 1-13.

Bücher, S. 2001. **Nitrogen and Phosphorus Availability in Irrigated Rice as Influenced by Soil Drying During the Fallow Period**. Straw incorporation and tillage. PhD thesis, ETH-Zurich.

Carreira, J. A., B. Vinegla and K. Lajtha. 2006. Secondary $CaCO_3$ and precipitation of P-Ca Compounds control the retention of soil P in arid ecosystem. **Journal Arid Environ** 6(4): 460 – 473.

Chang, S. C. and M. L. Jackson. 1957. Fractionation of Soil Phosphorus. **Soil Science**. 84: 133-144. อ้างโดย บุญเลิศ คุ้มนก. 2537. **อิทธิพลของความเป็นกรดด่าง ต่อการดูดยึดอนุมูลฟอสเฟตในดินบนที่สูง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 68 น.

Chaubey, C. N., D. Senadhira and G. B. Gregorio. 1994. Genetic analysis of tolerance for Phosphorus deficiency in rice (Oryza saliva L.). **Theor Appl Genet**. 89: 313-317.

Cholitkul, W. and E. H. Tyner. 1971. **Inorganic phosphate fractions and their relation some Chemical indices of Phosphate availability for some low land rice soils of Thailand**. Pro. Int. Symp. Soil Fert. Evaluation., New Delhi. 362 p.

Czyz, E. and J. Tomaszewska. 1993. Changes of aeration conditions and the yield of sugar beet On sandy soil of different density. **Polish Journal of Soil Science**. 26(1): 1-9.

Dalton, J. A., G. C. Russell and D. H. Sieling. 1952. Effect of organic matter on phosphate Availability. **Soil Science**. 73: 173-181.

Devai, I. and R.D. Delaune. 1995. Evidence for phosphine production and emission from Louisiana And Florida marsh soils. **Organic Geochemistry**. 23: 277 – 279.

Ellis JR. 1998. Post flood syndrome and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Journal of Production Agriculture**. 11: 200 – 204.

FAO. 2000. FAO statistic series no 163. **FAO Yearbook**. vol. 54.

Haldar M, Mandal LN. 1982. Cu x Mn interaction and the availability of Zn, Cu, Fe, Mn, and P in waterlogged rice soils. **Plant Soil**. 69: 131–134.

Halstead, R. L. and R. E. McKercher. 1975. Biochemistry and Cycling of Phosphorus. pp. 31-63. In **Pual, E. A. and Mclaren (Ed.)**. Soil Biochemistry. Vol. 4. New York: Mercel Dekker. อ้างโดย ประพิศ แสงทอง. 2534. อนินทรีย์และอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินไร่. **ว. ดินและปุ๋ย** 13(2): 148-157.

Harley, J. L. and S. E. Smith. 1983. **Mycorrhizal Symbiosis**. Academic Press: London.

Jakobsen, I., S. E. Smith and F.A . Smith. 2002. **Function and diversity of ArbuscularMycorrhizal in carbon and mineral nutrition**. In MGA van der Heijden, IR Sanders, Eds, *Mycorrhizal Ecology*. Springer-Verlag, Berlin. pp. 75-92.

Haygarth, P. M., L. H. Hepworth and S. C. Jarvis. 1998. Forms of phosphorus transfer in Hydrological pathway from soil under grazed grassland. **European Journal of Soil Science** 49: 65-72.

Hossner, L. R. and Baker W. H. 1987. Phosphorus Transformations in Flooded Soils. pp. 293-306. In Hook, D.D. (ed). **The Ecology and Management of Wetlands.** US: Springer.

Huguenin-Elie O, G.J.D. Kirk and E. Frossard. 2003. Phosphorus uptake by rice from soil that is Flooded, drained or flooded then drained. **European Journal of Soil Science** 54: 77 – 90.

Ilag, L.L., A.M. Rosales, F.A. Elazegui and T.W. Mew. 1987. Changes in the population of infec-tive Endomycorrhizal fungi in a rice-based cropping system. **Plant and Soil** 103: 67 – 73.

IRRI Annual Report. 1964. The Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Laguna, Philippines.

Jackson, M. L. 1973. **Soil Chemical analysis**. New D Tuong, T.P. and B. A. M. Bouman. 2003. Rice production in water-scarce environments. pp. 53-67. In Kijne, J.W., R., Barker and D. Molden. (Eds.). **Water Productivity in Agriculture: Limits and Opporunities for Improvement**. UK: CABI Publishing.

Kawaguchi, K. and T. Kawachi. 1969. Changes in the composition of exchangeable cations in The course of drying of preliminary submerged soils (in Japanese with English summary). **Journal Science Soil Manure, Japan**. 40: 177-183.

Kirk, G. J.D., T. R. Yu and F. A. Choudhury. 1990. Phosphorus chemistry in relation to water Regime. pp. 211-223. In **Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania**. Philippines: IRRI Manila

Kirk, G.J.D., A.R. Ahmad and P.H. Nye. 1990a. Coupled diffusion and oxidation of ferrous iron in soils. II. A model of the diffusion and reaction of O_2, Fe^{2+}, $H^+$and HCO^{3-} in soils and a Sensitivity analysis of the model. **Journal of Soil Science** 41: 411–431.

Kirk, G.J.D. and M.A. Saleque. 1995. Solubilization of phosphate by rice plants growing in reduced Soil: prediction of the amount solubilized and the resultant increase in uptake. **European Journal of Soil Science** 46: 247–255.

Kirk, G.J.D., E.E. Santos and M.B. Santos. 1999. Phosphate solubilization by organic anion excre-tion From rice growing in aerobic soil: rates of excretion and decomposition, effects on Rhizosphere pH and effects on phosphate solubility and uptake. **New Phytologist** 142: 185–200.

Lindsay, W. L. 1979. **Chemical Equilibria in Soils**. New York: John Wiley and Sons. Inc.

อ้างโดย บุญเลิศ คุ้มนก. 2537. **อิทธิพลของความเป็นกรดเป็นด่าง ต่อการดูดยึดอนุมูลฟอสเฟตในดินบนพื้นที่สูง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Lipiec, J. 1992. Soil physical properties and crop growth in relation to soil compaction. **Soil Science and Plant Nutrition**. 93: 21-30.

Liu, Z. 1996. **Microelements in Soils of China.** China: Jiangsu Science and Technology Publishing House Nanjing China. 188 p.

Loganathan, P., N. O. Isirimah and D. A. Nwachuku. 1987. Phosphorus sorpyion by ultisols and Inceptisols of the Niger delta in southern Nigeria. **Soil Science**. 144: 330-338.

Mandal, B., G. C. Hazra and L. N. Mandal. 2000. Soil management influences on zinc Desorption for rice and maize nutrition. **Soil Science Society**. *Am. J.* 64: 1699-1705.10.

Miller, S.P. 2000. Arbuscular mycorrhizal colonization of semi-aquatic grasses along a wide Hydrologic gradient. **New Phytologist** 145: 145–155.

Misra, A.K., P.K. Nayar and S. Patnaik. 1989. Effect of flooding on extractable zinc, copper, boron and molybdenum in soils and their relation with yield and uptake of these nutrients by rice (Oryza sativa). **Indian Journal Agriculture Science** 59: 415– 421.

Mosse, B. 1973. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. **Annual Review of Phytopathology** 11: 171-196

Motomura, S. and H. Yokoi. 1969. Characteristics of ferrous iron forms in paddy soil with Reference to development of the soil profile. **Soil Science and Plant Nutrition** 15: 38-46.

Murphy, J. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of Phosphate in Natural waters. **Anal. Chim Acta** 27: 31-36.

Ortas, I. 2008. The effect of mycorrhizal inoculation on forage and non forage plant growth and Nutrient uptake under the field conditions. pp 463–469. In **Options Mediterranean's. Sustainable Mediterranean Grasslands and their Multi-functions**. CIHEAM Zaragoza.

Ortas, I., N. Sari, C.D. Akpinar and H. Yetisir. 2011. Screening mycorrhiza species for plant Growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. **Scientia Horticulturae** 28: 92–98.

Patrick, W. H. Jr. and I. C. Mahapatra. 1968. Trasformations and availability of nitrogen and Phosphorus in waterlogged soils. **ADv. in Agron** 20:332-359. Ciited in Hook, D. D. et al., 1988.

Perrott, K.W. and G. P. Mansell. 1989. Effect of fertilizer phosphorus and liming on inorganic And organic soil phosphorus fractions. **New Zealand Jouenal Agriculture**. Res. 32: 63-70.

Phongphan, S. 1977. **Influence of Submergence on Inorganic Phosphorus Transformation And The Relation Between Inorganic Phosphorus and Phosphorus Availability by Chemical Test of Rice Soils in the Central Plain**. M.S. Thesis, Kasetsart University: Bangkok.

Sah, R.N., D.S. Mikkelsen and A.A. Hafez. 1989. Phosphorus behavior in flooded-drained soils. III. Phosphorus desorption and availability. **Soil Science Society of America Journal**. 53: 1729 – 1732.

Sanchez, P. A. 1976. **Properties and management of soil in the tropics**. New York: John Wiley and Sons. Inc. 254-293 p.

Sanchez, P. A. and G. Uehara. 1980. Management considerations for acid soils with high Phosphate fixation capacity. pp 417-514. In **Khasawneh, F. E. (Ed.). The Role of Phosphorus in Agriculture**. Wisconsin: Am. Soc. Agro. อ้างโดย บุญเลิศ คุ้มนก. 2537. **อิทธิพลของความเป็นกรดด่าง ต่อการดูดยึดอนุมูลฟอสเฟตในดินบนที่สูง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Shaheen, S. M., C. D. Tsadilas and S. Stamatiadis. 2007. Inorganic phosphorus forms in some Entisols and aridiso ls of Egypt. **Geoderma** 142: 217– 225.

Stumm, W. and J. J. Morgan. 1970. **Aquatic chemistry: an introduction emphasizing Chemical equilibria in natural water**. U.S.A: Wiley-Interscience.

Supak, J. R. 1969. The effect of various lo ng term fertility treatments on the phosphorus status Of the three Texas Vertisols. pp. 115-132. In L.M. Walsh and Beaton. **Soil Testing and Plant Analysis**. Soil Science Society. Amer. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Tanaka, A., R. Loe and S. A. Navasero. 1966. Some mechanisms involved in the development Of iron toxicity symptoms in the rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition** 12: 158-164.

Tuong, T.P. and B.A.M. Bouman. 1996. **Rice Production in Water-scarce Environments.** Philippines: International Rice Research Institute.

Thomas, F. 2000. **Nutrient Disorders and Nutrient Management.** Canada: Achim Dobermann and Thomas. Inc. 40-117 p.

Tisdale, S. L., W. L. Nelson and I. D.Beaton. 1985. **Soil Fertility and Fertilizers**. 4th ed. New York: Macmillan. Inc. อ้างโดย บุญเลิศ คุ้มนก. 2537. **อิทธิพลของความเป็นกรดด่าง ต่อการดูดยึดอนุมูลฟอสเฟตในดินบนที่สูง.** วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Trolove, S.N. 2000. **Root – soil – phosphate interactions in rice growing in aerobic soil**. PhD Thesis Massey University.

Wakatsuki, T. 1997. Paddy soils. In Kyuma, K. (ed.) **New Soil Science**. Tokyo: Asakura Publisher.

Willett, I.R. 1979. The effects of flooding for rice culture on soil chemical properties and Subsequent maize growth. **Plant and Soil** 52: 373 – 383.

Willett, I.R. 1991. Phosphorus dynamics in acidic soils that undergo alternate flooding and Drying. In **Deturck P, Ponnamperuma FN, eds. Rice Production on Acid Soils of the Tropics**. Kandy, Sri Lanka: Institute of Fundamental Studies, 43 – 49.

Xiaorong, W., M. S. MingdeHao and J. Gale William. 2006. Changes in soil properties and The availability of soil micronutrients after 18 years of cropping and fertilization. **Soil and Tillage Research** 91: 120–130.

Xie, Z.C., K.Y. Deng, H.G. Yang, Y.X. Gong, Z.W. Wang and Q.S. Wang. 1981. **On Zinc deficiency of paddy soils**. Proc. Of Symp. On Paddy Soil. Inst. Of Soil Science, Academia Sinica.

Yamasaki, K. 1960. Studies on a classification of paddy soils with special reference to the Pedogenetic processes. Special Bulletin of Toyama Prefecture Agricultural Experiment Station No. 1:1-105. (In Japanese).

Yoshida, S., J.S Ahn and D.A. Forno. 1973. Occurrence, diagnosis, and correction of zinc Deficiency of lowland rice. **Soil Science Plant Nutrient** 19: 83–93.

Yoshida, M. and N. Itoh. 1974. Composition of exchangeable cations in submerged paddy soil And acidifying process associated with exposure to air. (In Japanese). **Journal Science Soil Manure, Japan**. 45: 525-528.

Zhongwu, L., H. Bin, H. Jinquan, G. Liang, N. Xiaodong, W. Yan, Z. Yan and G. Zeng. 2013. Absorption characteristics of Cu and Zn onto various size Fractions of aggregates from red paddy soil. **Journal of Hazardous Materials**. 264 (2014): 176-183.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของชุดดินที่ใช้ในการศึกษา

ชุดดินหางดง (Hang Dong series: Hd)

กลุ่มชุดดินที่ 5

การจำแนกดิน Fine, mixed, semiactive, isohyperthermic Typic Endoaqualfs

การกำเนิด เกิดจากตะกอนน้ำพาบริเวณตะพักลำน้ำหรือที่ราบระหว่างเขา

สภาพพื้นที่ ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ ความลาดชัน 0-2 %

การระบายน้ำ เลว , การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินช้า, การซึมผ่านได้ของน้ำช้า

พืชพรรณธรรมชาติและการใช้ประโยชน์ที่ดิน นาข้าว อาจใช้ปลูกพืชไร่ เช่น ข้าวโพด ถั่ว หรือพืชผัก ก่อนหรือหลังปลูกข้าว

การแพร่กระจาย พบมากในภาคเหนือ

การจัดเรียงชั้นดิน Apg-Btg

ลักษณะและสมบัติดิน เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีเทาถึงสีเทาเข้ม มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีน้ำตาลแก่ ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ดินล่างเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง สีเทา มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีน้ำตาลแก่ ปฏิกิริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0)

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

ชุดดินที่คล้ายคลึงกัน ชุดดินพาน

ข้อจำกัดการใช้ประโยชน์ ไม่มี

ข้อเสนอแนะในการใช้ประโยชน์ ปรับปรุงบำรุงดินและเพิ่มผลผลิตโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ในพื้นที่ชลประทาน นอกฤดูทำนา อาจปลูกพืชไร่หรือพืชผัก ซึ่งจะต้องยกร่องและปรับสภาพดินให้ร่วนซุยและระบายน้ำดีขึ้น โดยการเพิ่มอินทรียวัตถุ

ชุดดินสรรพยา (Sapphaya: Sa)

กลุ่มชุดดินที่ 21

การจำแนกดิน Fine-loamy, mixed, active, nonacid, isohyperthermic Aquic (Fluventic) Haplustepts

สภาพพื้นที่ ราบเรียบ มีความลาดชัน 0-1 %

การระบายน้ำ ดีปานกลางถึงค่อนข้างเลว, การไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน ช้า, สภาพซึมผ่านได้ของน้ำ ช้า

พืชพรรณธรรมชาติและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำนา ปลูกพืชผัก ถั่ว และยาสูบในฤดูแล้ง ถ้ามีน้ำเพียงพอ

การแพร่กระจาย ริมฝั่งแม่น้ำ และสันดินริมน้ำ การจัดเรียงชั้นดิน Ap-B-C

ลักษณะและสมบัติดิน เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีน้ำตาลปนเทา มีจุดประสีเทา ปฏิกิริยาดินแป็นด่างปานกลาง (pH 8.0) ดินบนตอนล่างมีลักษณะเนื้อดินและสีไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับตะกอนที่น้ำพามาทับถมในแต่ละปี ซึ่งอาจจะมีลักษณะ แตกต่างกันเห็นได้ชัดเจน เช่น เป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียว สีน้ำตาลปนเหลืองเข้ม มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีน้ำตาลแก่และพบเกล็ดแร่ไมกาปะปนอยู่ตลอดหน้าตัดดิน ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ดินล่างตอนล่างเป็นดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกิริยาดินเป็นด่างปานกลาง (pH 8.0)

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

ชุดดินที่คล้ายคลึงกัน ชุดดินท่าม่วง และชุดดินราชบุรี

ข้อจำกัดการใช้ประโยชน์ อาจมีน้ำท่วมขังในฤดูฝนลึก 50 ซม. นาน 4-5 เดือน

ข้อเสนอแนะในการใช้ประโยชน์ ทำนา ควรปรับปรุงบำรุงดินโดยใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์และแร่ธาตุที่จำเป็นแก่พืชให้กับดินและทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น ปรับปรุงการระบายน้ำของดินและป้องกันน้ำขัง โดยทำการระบายน้ำผิวดิน

ชุดดินน้ำพอง (Nam Phong series: Ng)

กลุ่มชุดดินที่ 44

การจำแนกดิน Loamy, siliceous, isohyperthermic Grossarenic Haplustalfs

การกำเนิด เกิดจากตะกอนของหินตะกอนเนื้อหยาบชะมาทับถมบนพื้นผิวของการเกลี่ยผิวแผ่นดิน

สภาพพื้นที่ ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดชัน 2-10 %

การระบายน้ำ ดีถึงค่อนข้างมาก

การไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน เร็ว

การซึมผ่านได้ของน้ำ เร็ว

พืชพรรณธรรมชาติและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ป่าเต็งรัง มันสำปะหลัง อ้อย และทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์

การแพร่กระจาย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การจัดเรียงชั้น A-E-Bt

ลักษณะและสมบัติดิน เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินทราย สีน้ำตาลปนเทาหรือสีน้ำตาล ดินล่างเป็นดินทรายปนดินร่วน สีชมพู สีน้ำตาลซีดมาก พบชั้นสะสมดินเหนียวที่ความลึกต่ำกว่า 100 ซม. จากผิวดิน มีสีเทาปนชมพู น้ำตาลซีด มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายและเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายในดินล่างลึกลงไป พบจุดประสีน้ำตาลแก่ เหลืองปนแดง หรือแดงปนเหลืองในดินชั้นล่างนี้ด้วย ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดมากถึงกรดเล็กน้อย (pH 4.5-6.5) ในดินล่าง

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

ชุดดินที่คล้ายคลึงกัน ชุดดินบ้านไผ่ และชุดดินมหาสารคาม

ข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ ดินเป็นทรายจัด มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พืชมักแสดงอาการขาดน้ำอย่างเห็นได้ชัดเจน ในช่วงฝนแล้งและเสี่ยงต่อการเกิดการชะล้างพังทลาย

ข้อเสนอแนะในการใช้ประโยชน์ โดยทั่วไป จัดว่าไม่ค่อยเหมาะในการที่จะนำมาใช้ปลูกพืชเศรษฐกิจต่างๆ ถ้าจำเป็นต้องนำมาใช้จะต้องมีการจัดการในเรื่องการปรับปรุงบำรุงดินและพืชที่จะปลูก อาจทำเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์หรือปลูกไม้ใช้สอยประเภทที่โตเร็วและทนแล้งได้ดี

ภาคผนวก ข

พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลอง

ข้าวเจ้า พันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105

ชนิด	-	ข้าวเจ้าหอม
ประวัติพันธุ์	-	ได้มาโดยนายสุนทร สีหะเนิน เจ้าพนักงานข้าว รวบรวมจากอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา เมื่อ พ.ศ.2493-2494 จำนวน 199 รวง แล้วนำไปคัดเลือกแบบคัดพันธุ์บริสุทธิ์ (pure line selection) และปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ที่สถานีทดลองข้าวโคกสำโรง แล้วปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ในท้องถิ่นภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จนได้สายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 4-2-105 ซึ่งเลข 4 หมายถึง สถานที่เก็บรวงข้าว คืออำเภอบางคล้า เลข 2 หมายถึงพันธุ์ทดสอบที่ 2 คือ ขาวดอกมะลิ และเลข 105 หมายถึง แถวหรือรวงที่ 105 จากจำนวน 199 รวง
การรับรองพันธุ์	-	คณะกรรมการการพิจารณาพันธุ์ ให้ใช้ขยายพันธุ์เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2502
ลักษณะประจำพันธุ์		- เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 140 ซม. - ไวต่อช่วงแสง - ลำต้นสีเขียวจาง ใบสีเขียวยาวค่อนข้างแคบ ฟางอ่อน ใบธงทำมุมกับคอรวง เมล็ดข้าวรูปร่างเรียวยาว - ข้าวเปลือกสีฟาง - อายุเก็บเกี่ยว ประมาณ 25 พฤศจิกายน - เมล็ดข้าวเปลือก ยาว x กว้าง x หนา = 10.6 x 2.5 x 1.9 มม. - เมล็ดข้าวกล้อง ยาว x กว้าง x หนา = 7.5 x 2.1 x 1.8 มม. - ปริมาณอมิโลส 12-17 % - คุณภาพข้าวสุก นุ่ม มีกลิ่นหอม
ผลผลิต		- ประมาณ 363 กิโลกรัม/ไร่
ลักษณะเด่น		- ทนแล้งได้ดีพอสมควร - เมล็ดข้าวสารใส แกร่ง คุณภาพการสีดี - คุณภาพการหุงต้มดี อ่อนนุ่ม มีกลิ่นหอม - ทนต่อสภาพดินเปรี้ยวและดินเค็ม

ข้อควรระวัง - ไม่ต้านทานโรคใบสีส้ม โรคขอบใบแห้ง โรคไหม้ และโรคใบหงิก

- ไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียว และหนอนกอ

พื้นที่แนะนำ - ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือตอนบน

ข้าวไร่

การปลูกข้าวไร่

การปลูกข้าวบนที่ดอนและไม่มีน้ำขังในพื้นที่ปลูก ชนิดของข้าวที่ปลูก เรียกว่า ข้าวไร่ พื้นที่ดอนส่วนมาก เช่น เชิงภูเขามักจะไม่มีระดับ คือ สูงๆ ต่ำๆ จึงไม่สามารถไถเตรียมดินและปรับระดับได้ง่ายๆ เหมือนกับพื้นที่ราบ การปลูกข้าวไร่ เป็นการปลูกเมล็ดข้าวแห้งลงบนดิน (direct seeding) ซึ่งแบ่งได้ 3 แบบ

การปลูกแบบหยอดเป็นหลุม (drilling) เป็นวิธีการปลูกโดยหลังจากเตรียมดินไว้แล้ว ใช้ไม้ปลายแหลมกระทุ้งดินให้เป็นหลุมลึกประมาณ 2-3 ซม. หรือใช้เสียมที่ต่อด้ามยาว ขุดดินให้เป็นหลุมเล็กๆ ลึกประมาณ 2-3 ซม. โดยให้ระยะห่างระหว่างต้นและแถวประมาณ 25-30 ซม. แล้วหยอดเมล็ดข้าวลงไปในหลุม ๆ ละ ประมาณ 5-8 เมล็ด หากพื้นที่ปลูกมีความลาดชันไม่ควรกลบหลุม เพราะจะทำให้มีดินกลบหลุมปลูกแน่นเกินไปเมื่อมีฝนตก แต่ในพื้นที่ปลูกที่มีความลาดชันน้อยกว่า 5 °C ให้ใช้กิ่งไม้ลากผ่านหลุมที่หยอดเมล็ดแล้วเป็นการกลบหลุม การปลูกโดยวิธีหยอดเป็นหลุมเป็นวิธีที่เกษตรกรนิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากง่ายต่อการกำจัดวัชพืชและดูแลรักษา เป็นวิธีการที่พบเห็นได้ทั่วไป การปลูกแบบนี้จะใช้เมล็ดพันธุ์ไร่ละ 6-8 กิโลกรัม

การปลูกแบบโรยเป็นแถว (row drilling) การปลูกวิธีนี้ต้องมีการเตรียมดินให้ประณีต โดยให้หน้าดินเรียบสม่ำเสมอกันดี แล้วใช้ไม้หรือคราดขีดเปิดดินให้เป็นร่อง โดยให้ระยะห่างของแต่ละร่องหรือแถวประมาณ 25-30 ซม. แล้วโรยเมล็ดข้าวทันที การโรยควรโรยให้เมล็ดข้าวสม่ำเสมอกัน เพื่อให้ต้นข้าวที่งอกไม่กระจุกแน่นที่ใดที่หนึ่ง หากพื้นที่มีความลาดชันการทำร่องควรให้ขวางความลาดชัน ซึ่งเชื่อว่าหากปลูกขวางความลาดชัน จะช่วยให้ต้นข้าวดักตะกอนดินที่ไหลลงมาเมื่อฝนตก การปลูกวิธีนี้จะใช้เมล็ดพันธุ์ประมาณไร่ละ 10-15 กิโลกรัม

การปลูกแบบหว่าน (broadcasting) การปลูกโดยวิธีนี้เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยหรือที่ราบ การเตรียมดินควรสับดินให้ละเอียดหรือเป็นก้อนเล็กๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ซม. แล้วปรับผิวหน้าดินให้สม่ำเสมอกัน แล้วหว่านเมล็ดข้าวลงไปและควรคราดหรือกลบเมล็ดข้าวหลังหว่าน เพื่อให้เมล็ดข้าวได้รับความชื้นจากดิน ป้องกันนกและแมลงศัตรูข้าว การปลูกวิธีนี้จะใช้เมล็ดพันธุ์ประมาณไร่ละ 15 กิโลกรัม

การใส่ปุ๋ยข้าวไร่ การให้ปุ๋ยข้าวไร่ ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำควรใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง ดังนี้

- ครั้งแรก ใช้ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตราไร่ละ 15 กิโลกรัม และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ อีกไร่ละ 5 กิโลกรัม ใส่พร้อมกับการปลูกหรือหลังปลูก 1 อาทิตย์ โดยยังไม่ลงดิน

- ครั้งที่ 2 ใช้ปุ๋ยสูตร 21-0-0 อัตราไร่ละ 5 กิโลกรัม หลังจากข้าวงอกแล้ว 25 วัน ใส่โดยการหว่านหรือฝังลงในดินเพื่อลดความสูญเสียปุ๋ยน้อยลง

การเก็บเกี่ยวข้าวไร่ การเก็บเกี่ยวข้าวไร่ เก็บเกี่ยวหลังจากข้าวออกรวงประมาณ 30 วัน ตากทิ้งไว้บนตอซัง 1-2 วัน แล้วจึงนวดและนำไปตากแดดให้เมล็ดข้าวมีความชื้นไม่เกิน 14%

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นางสาวณฐมณ กันธิยะ
เกิดเมื่อ	30 กันยายน 2528
ภูมิลำเนา	38 หมู่ 4 ตำบลบ้านกาด อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2546 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวัฒโนทัยพายัพ เชียงใหม่
	พ.ศ.2550 ปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	พ.ศ.2552-2555 ตำแหน่งเจ้าหน้าที่วิเคราะห์แลป สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6 เชียงใหม่