

ผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการเปลี่ยนแปลง  
และการสะสมฟอสฟอรัสในดินนา

EFFECT OF ORGANIC FERTILIZER TYPES AND CROPPING SYSTEMS  
AFTER RICE ON THE CHANGING AND ACCUMULATION  
OF PHOSPHORUS IN PADDY SOIL

พัชรินทร์ สุรินทร์

PATCHARIN SURIN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

KMITL-2020-AG-M-065-317

ผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการเปลี่ยนแปลง  
และการสะสมฟอสฟอรัสในดินนา

**EFFECT OF ORGANIC FERTILIZER TYPES AND CROPPING SYSTEMS  
AFTER RICE ON THE CHANGING AND ACCUMULATION  
OF PHOSPHORUS IN PADDY SOIL**

พัชรินทร์ สุรินทร์

PATCHARIN SURIN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

KMITL-2020-AG-M-065-317

ผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการเปลี่ยนแปลง  
และการสะสมฟอสฟอรัสในดินนา

**EFFECT OF ORGANIC FERTILIZER TYPES AND CROPPING SYSTEMS  
AFTER RICE ON THE CHANGING AND ACCUMULATION  
OF PHOSPHORUS IN PADDY SOIL**

พัชรินทร์ สุรินทร์

PATCHARIN SURIN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

KMITL-2020-AG-M-065-317

**EFFECT OF ORGANIC FERTILIZER TYPES AND CROPPING SYSTEMS  
AFTER RICE ON THE CHANGING AND ACCUMULATION  
OF PHOSPHORUS IN PADDY SOIL**

**PATCHARIN SURIN**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURE  
FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2020**

**KMITL-2020-AG-M-065-317**

**COPYRIGHT 2020**

**FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมฟอสฟอรัสในดินนา
นักศึกษา	นางสาวพัชรินทร์ สุรินทร์
รหัสประจำ	60604013
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เกษตรศาสตร์
พ.ศ.	2563
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุกัญญา เข้มประษา

### บทคัดย่อ

ฟอสฟอรัส (P) สามารถสะสมในดินนาจากการใส่ปุ๋ยเกินความต้องการของข้าวทั้งปุ๋ยเคมีและอินทรีย์ การปลูกพืชหลังนาสามารถช่วยลดการสะสมฟอสฟอรัสในดิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปของฟอสฟอรัสในดิน (Soil phosphorus fraction) ชนิดปุ๋ย และพืช งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลตกค้างของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการสะสมฟอสฟอรัส และการเปลี่ยนแปลงรูปของฟอสฟอรัสในดิน การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมฟอสฟอรัสในดิน ทำการทดลองในดินที่ไม่ผ่านและผ่านการใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก+ปุ๋ยหมัก ซึ่งปลูกข้าวมาแล้วหนึ่งฤดู ร่วมกับระบบปลูกข้าวเพียงชนิดเดียว ระบบปลูกข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด และระบบปลูกข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง เป็นระยะเวลา 1 ปี วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์จำนวน 7 ทริตเมนต์ที่ 3 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่า ระบบปลูกข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด เป็นระบบการปลูกพืชที่เหมาะสมในการลดการสะสมฟอสฟอรัสในดิน เนื่องจากข้าวโพดมีความสามารถในการดูดดึงฟอสฟอรัสที่สูงกว่าข้าว และถั่วเหลือง ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกันและปลูกพืชในระบบการปลูกพืชหลังนาทั้ง 2 ระบบ ไม่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมฟอสฟอรัสในดิน ในขณะที่ทริตเมนต์ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและปลูกข้าวต่อเนื่อง) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินหลังปลูกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูก และมีปริมาณอยู่ในระดับที่ไม่เสี่ยงต่อการชะละลาย แต่การขังน้ำทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้จึงมีโอกาสปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้ การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงรูปฟอสฟอรัสในระบบการปลูกพืชหลังนาที่แตกต่างกัน วิเคราะห์รูปของฟอสฟอรัสในดินหลังการปลูกพืชทั้ง 4 รอบ ผลการทดลองพบว่า ผลตกค้างของปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกันและระบบการปลูกพืชไม่ได้ส่งผลต่อรูปของฟอสฟอรัสในดิน แต่สภาพขังน้ำส่งผลให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ ( $H_2O-P$ ) มากขึ้น ในขณะที่ดินในสภาพไร่ (ปลูกข้าวโพดและถั่วเหลือง) ทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปเหล็กฟอสเฟตและอะลูมิเนียมฟอสเฟต ( $NaOH (Pi)$ ) แคลเซียมฟอสเฟตและเรอะพาไทต์ ( $HCl-P$ ) ที่มากขึ้นซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ได้ยาก

<b>Thesis</b>	Effect of organic fertilizer types and cropping systems after rice on the changing and accumulation of phosphorus in paddy soil
<b>Student</b>	Miss Patcharin Surin
<b>Student ID</b>	60604013
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Agriculture
<b>Year</b>	2020
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Sukunya Yampracha

### ABSTRACT

Paddy soil phosphorus (P) accumulation occurs from the application of organic and chemical fertilizers in excess of rice growth requirements. Cropping systems following rice harvesting can potentially reduce phosphorus accumulation in the soil depending on phosphorus fractions, fertilizer, and crop types. Residual effects of organic fertilizer types were investigated, together with the use of cropping systems after the rice harvest to reduce the accumulation of phosphorus in paddy soil. Two experiments were conducted. The first addressed the effects of organic fertilizer types and cropping rotation systems on accumulation of phosphorus in soil. This experiment was conducted on soil with and without cow manure, compost, and compost+cow manure applications used for planting one rice crop. Three different cropping rotation systems as double-rice, rice-maize-maize, and rice-maize-soybean were examined using a randomized complete block design (RCBD) with 7 treatments and 3 replications. Results indicated that the rice-maize-maize cropping system showed promise for reducing phosphorus accumulation in the soil. Phosphorus uptake in maize was significantly higher than in rice and soybean. Residual phosphorus from different types of organic fertilizer and cropping systems did not have a significant effect on the change and accumulation of soil phosphorus content. Moreover, available phosphorus in the control treatment (no phosphorus fertilizer application and successive rice planting), significantly reduced compared with soil values before planting, and were below the potential risk of phosphorus leaching. Soil submergence during rice cultivation enhanced the accumulation of water-soluble phosphorus in the soil. The second experiment studied the effects of organic fertilizer types on the change of phosphorus fraction in different cropping systems. Soil samples were analyzed for phosphorus fraction. Results showed that the residual effects of organic fertilizer types and cropping systems did not affect the soil phosphorus fraction. Submergence conditions enhanced soluble phosphorus ( $H_2O$ -P), while non-submergence conditions (maize and soybean cropping) induced soluble iron phosphate, aluminum phosphate (NaOH (Pi)), calcium phosphate, and apatite minerals (HCl-P) that had very slow availability.

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริม และสนับสนุนการวิจัย แผนงานเสริมสร้างศักยภาพและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ตามทิศทางการยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม ประเภทบัณฑิตศึกษา ระดับปริญญาโท ประจำปี 2562 ของสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.สุกัญญา เข้มประชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ พร้อมทั้งให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหา ให้ความรู้ และประสบการณ์การทำงานวิจัยแก่ข้าพเจ้าตลอดจนการตรวจแก้ไขจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พัชร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ ศรีตโยภาส และ ผศ.ดร. นุชกุล ถวิลถึง ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ ต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาระดับปริญญาโท และน้องๆ ระดับปริญญาตรี ในสาขา วิชาเอกปรัชญาที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย สำหรับคุณงามความดีที่เกิดจาก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

พัชรินทร์ สุรินทร์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญตารางภาคผนวก.....	XI
สารบัญรูป.....	XII
สารบัญรูปภาคผนวก.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ข้าว.....	5
2.1.1 สถานการณ์ปลูกข้าวในประเทศไทย.....	5
2.1.2 ความต้องการธาตุฟอสฟอรัสและธาตุที่เกี่ยวข้องกับฟอสฟอรัสของข้าว.....	6
2.1.2.1 ฟอสฟอรัส (P).....	7
2.1.2.2 ธาตุที่เกี่ยวข้องกับการสะสมฟอสฟอรัสในดิน.....	8
2.2 พืชหลังนา.....	11
2.2.1 การจัดระบบพืชหลังนา.....	11
2.2.2 ชนิดของพืชหลังนา.....	11
2.2.2.1 ข้าวโพด.....	12
2.2.2.2 พืชตระกูลถั่ว.....	13
2.3 ดินนา.....	14
2.3.1 ผลของการขังน้ำต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร.....	15
2.3.1.1 ไนโตรเจน.....	15
2.3.1.2 ฟอสฟอรัส.....	15

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1.3 โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม .....	16
2.3.1.4 กำมะถัน .....	16
2.3.1.5 เหล็ก .....	17
2.3.1.6 แมงกานีส .....	17
2.3.1.7 ทองแดงและสังกะสี .....	17
2.4 ปุ๋ยอินทรีย์ .....	18
2.4.1 ความสำคัญของปุ๋ยอินทรีย์ .....	18
2.4.1.1 ปุ๋ยคอก .....	18
2.4.1.2 ปุ๋ยหมัก .....	19
2.4.1.3 ปุ๋ยพืชสด .....	20
2.5 ฟอสฟอรัสในดิน (Phosphorus) .....	21
2.5.1 ประเภทของฟอสฟอรัสในดิน .....	21
2.5.1.1 อนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน .....	21
2.5.1.2 อินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน .....	21
2.6 การวิเคราะห์รูปของฟอสฟอรัส (Phosphorus fraction) .....	22
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	25
3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนา ต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมฟอสฟอรัสในดิน .....	25
3.1.1 ดิน และปุ๋ยอินทรีย์ .....	25
3.1.2 การวางแผนการทดลอง .....	26
3.1.3 ขั้นตอนการปลูกพืชหลังนา .....	27
3.1.3.1 ขั้นตอนการปลูกข้าว (รอบที่ 1 และ 4) .....	27
3.1.3.2 ขั้นตอนการปลูกข้าวโพดหวาน .....	28
3.1.3.3 ขั้นตอนการปลูกถั่วเหลือง .....	29
3.1.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดิน .....	30
3.1.4.1 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) .....	30
3.1.4.2 วิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray II) .....	30
3.1.4.3 วิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) .....	30
3.1.4.4 การวิเคราะห์พืช .....	30

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	30
3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลง รูปฟอสฟอรัสในระบบการปลูกพืชหลังนาที่แตกต่างกัน.....	32
3.2.1 การเก็บตัวอย่างดิน.....	32
3.2.2 การวิเคราะห์รูปของฟอสฟอรัส.....	32
3.2.2.1 ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ได้ง่าย.....	32
3.2.2.2 ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ได้ปานกลาง.....	32
3.2.2.3 ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ได้ยาก.....	32
3.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	34
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	35
4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนา ต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมฟอสฟอรัสในดิน.....	35
4.1.1 สมบัติดินก่อนการทดลอง.....	35
4.1.2 การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของพืช.....	37
4.1.2.1 การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของ ข้าวรอบที่ 1.....	37
4.1.2.2 การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของ พืชรอบที่ 2.....	42
4.1.2.3 การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของ พืชรอบที่ 3.....	44
4.1.2.4 การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของ ข้าวรอบที่ 4.....	49
4.1.3 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) การดูดดึงฟอสฟอรัสในพืช (P uptake) และประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัส (Physiological efficiency of applied P, $PE_p$ ).....	54
4.1.3.1 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) การดูดดึงฟอสฟอรัส ในพืช (P uptake) และประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัส (Physiological efficiency of applied P, $PE_p$ ).....	54
4.1.3.2 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) การดูดดึงฟอสฟอรัส ในพืช (P uptake) ของพืชรอบที่ 2.....	55

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.3.3 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) การดูดดึงฟอสฟอรัส ในพืช (P uptake) ของพืชรอบที่ 3 .....	56
4.1.3.4 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) การดูดดึงฟอสฟอรัส ในพืช (P uptake) และประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัส (Physiological efficiency of applied P, PE <sub>p</sub> ) ของข้าวรอบที่ 4 .....	57
4.1.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูก .....	59
4.1.4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูกข้าวรอบที่ 1 .....	59
4.1.4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูกพืชรอบที่ 2 .....	60
4.1.4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูกพืชรอบที่ 3 .....	61
4.1.4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูกข้าวรอบที่ 4 (ดินหลังการทดลอง) .....	62
4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงรูปฟอสฟอรัสใน ระบบการปลูกพืชหลังนาที่แตกต่างกัน .....	64
4.2.1 รูปของฟอสฟอรัส (P fraction) .....	64
4.2.1.1 รูปของฟอสฟอรัสในดินก่อนการทดลอง .....	64
4.2.1.2 รูปของฟอสฟอรัสในดินหลังการปลูกข้าวรอบที่ 1 .....	65
4.2.1.3 รูปของฟอสฟอรัสในดินหลังการปลูกพืชรอบที่ 2 .....	66
4.2.1.4 รูปของฟอสฟอรัสในดินหลังการปลูกพืชรอบที่ 3 .....	67
4.2.1.5 รูปของฟอสฟอรัสในดินหลังการปลูกข้าวรอบที่ 4 .....	69
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง .....	71
5.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อ การเปลี่ยนแปลงและการสะสมฟอสฟอรัสในดิน .....	71
5.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลง รูปฟอสฟอรัสในระบบการปลูกพืชหลังนาที่แตกต่างกัน .....	72
เอกสารอ้างอิง .....	73
ภาคผนวก ก. ....	81
ภาคผนวก ข. ....	98
ประวัติผู้เขียน .....	102

## สารบัญญัตราง

ตารางที่	หน้า
2.1 พื้นที่ปลูกข้าวนาปีในจังหวัดที่มีการปลูกข้าวมากที่สุด 3 อันดับในแต่ละภาค ปีเพาะปลูก 2562.....	6
2.2 ผลผลิตและปริมาณธาตุอาหารที่ถูกเคลื่อนย้ายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืช.....	12
2.3 พื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานและผลผลิตในแต่ละภาคปีเพาะปลูก 2561.....	12
2.4 ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอก.....	19
2.5 ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมัก.....	19
2.6 ปริมาณธาตุอาหารในพืชปุ๋ยสดส่วนใหญ่ที่ไถกลบเมื่ออายุระหว่าง 45-60 วัน.....	20
3.1 ระบบการปลูกพืชหลังนาในการทดลองแต่ละทรีตเมนต์.....	26
4.1 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นก่อนการทดลอง.....	36
4.2 แสดงจำนวนรวงต่อกระถาง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีและลีบ น้ำหนัก 1000 เมล็ด น้ำหนักเมล็ด ที่ความชื้น 14% น้ำหนักสดและแห้งของเมล็ดและตอซัง และดัชนีการเก็บเกี่ยวในการ ปลูกข้าวรอบที่ 1.....	41
4.3 แสดงความสูงของข้าวโพดหวานในการปลูกรอบที่ 2.....	42
4.4 แสดงค่าความเขียวของใบบนที่เจริญเต็มที่ในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative stage) ของข้าวโพดหวานในการปลูกรอบที่ 2.....	43
4.5 แสดงน้ำหนักสดและแห้งของฝักและลำต้นของข้าวโพดหวานในการปลูกรอบที่ 2.....	44
4.6 แสดงความสูงของข้าวโพดหวานในการปลูกรอบที่ 3.....	45
4.7 แสดงค่าความเขียวของใบบนที่เจริญเต็มที่ในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative stage) ของข้าวโพดหวานในการปลูกรอบที่ 3.....	46
4.8 แสดงน้ำหนักสดและแห้งของฝักและลำต้นของข้าวโพดหวานในการปลูกพืชรอบที่ 3.....	47
4.9 แสดงความสูงของถั่วเหลืองในการปลูกรอบที่ 3.....	47
4.10 แสดงค่าความเขียวของใบที่เจริญเต็มที่นับจากส่วนยอดของถั่วเหลืองในการปลูก รอบที่ 3.....	48
4.11 แสดงจำนวนฝักต่อกระถาง น้ำหนักสดและแห้งของฝักและลำต้นของถั่วเหลือง ในการปลูกรอบที่ 3.....	49
4.12 แสดงจำนวนรวงต่อกระถาง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีและลีบ น้ำหนัก 1000 เมล็ด น้ำหนักเมล็ด ที่ความชื้น 14% น้ำหนักสดและแห้งของเมล็ดและตอซัง และดัชนีการเก็บเกี่ยว ในการปลูกข้าวรอบที่ 4.....	53

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 แสดงความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช (Total P) การดูดดึงฟอสฟอรัสในพืช (P uptake) และประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัส (Physiological efficiency of applied P, PEP) ของข้าวรอบที่ 1.....	55
4.14 แสดงความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช (Total P) และการดูดดึงฟอสฟอรัสในพืช (P uptake) ของพืชรอบที่ 2.....	56
4.15 แสดงความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช (Total P) และการดูดดึงฟอสฟอรัสในพืช (P uptake) ของพืชรอบที่ 3.....	57
4.16 แสดงความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช (Total P) การดูดดึงฟอสฟอรัสในพืช (P uptake) และประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัส (Physiological efficiency of applied P, PEP) ของข้าวรอบที่ 4.....	58
4.17 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อินทรีย์วัตถุ (OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) ในดินหลังปลูกข้าวรอบที่ 1.....	60
4.18 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อินทรีย์วัตถุ (OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) ในดินหลังปลูกพืชรอบที่ 2.....	61
4.19 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อินทรีย์วัตถุ (OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) ในดินหลังปลูกพืชรอบที่ 3.....	62
4.20 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อินทรีย์วัตถุ (OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) ในดินหลังปลูกข้าวรอบที่ 4.....	63
4.21 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสในดิน (Soil phosphorus fraction) ก่อนการทดลอง.....	65
4.22 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสในดิน (Soil phosphorus fraction) หลังปลูกข้าวรอบที่ 1.....	66
4.23 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสในดิน (Soil phosphorus fraction) หลังปลูกพืชรอบที่ 2.....	67
4.24 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสในดิน (Soil phosphorus fraction) หลังปลูกพืชรอบที่ 3.....	68

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.25 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสในดิน (Soil phosphorus fraction)	
หลังปลูกข้าวรอบที่ 4 .....	70

## สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
1.1 ผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และเคมีดินก่อนการทดลองของภาสินี สืบสวน.....	82
1.2 แสดงผลการวิเคราะห์ปุ๋ยมูลโค และปุ๋ยหมักที่ใช้ในการทดลองของภาสินี สืบสวน.....	83
1.3 แสดงปริมาณธาตุอาหารที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามความต้องการไนโตรเจนที่อัตรา 300 มิลลิกรัม ไนโตรเจนต่อกิโลกรัม.....	83
1.4 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นหลังการปลูกข้าวรอบที่ 1.....	84
1.5 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นหลังการปลูกพืชรอบที่ 2.....	85
1.6 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นหลังการปลูกพืชรอบที่ 3.....	86
1.7 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นหลังการปลูกข้าวรอบที่ 4.....	87
1.8 แสดงการดูดตั้งธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองของข้าวในการปลูกพืชรอบที่ 1.....	88
1.9 แสดงการดูดตั้งธาตุจุลธาตุของข้าวในการปลูกพืชรอบที่ 1.....	89
1.10 แสดงการดูดตั้งธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองของข้าว และข้าวโพดหวาน ในการปลูกพืชรอบที่ 2.....	90
1.11 แสดงการดูดตั้งธาตุจุลธาตุของข้าว และข้าวโพดหวานในการปลูกพืชรอบที่ 2.....	91
1.12 แสดงการดูดตั้งธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองของข้าว ข้าวโพดหวาน และ ถั่วเหลืองในการปลูกพืชรอบที่ 3.....	92
1.13 แสดงการดูดตั้งธาตุจุลธาตุของข้าว ข้าวโพดหวาน และถั่วเหลือง ในการปลูกพืชรอบที่ 3.....	93
1.14 แสดงการดูดตั้งธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองของข้าวในการปลูกพืชรอบที่ 4.....	94
1.15 แสดงการดูดตั้งธาตุจุลธาตุของข้าวในการปลูกพืชรอบที่ 4.....	95
1.16 แสดงผลการเปรียบเทียบสมบัติดินก่อนและหลังการทดลอง.....	96
1.17 แสดงผลรวมการดูดตั้งธาตุอาหารของการปลูกพืชทั้ง 4 รอบ.....	97

## สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 อาการขาดฟอสฟอรัสของข้าว (Phosphorus deficiency).....	8
2.2 อาการขาดเหล็กของข้าว (Iron deficiency a) และความเป็นพิษจากเหล็ก (Iron toxicity b).....	9
2.3 อาการขาดทองแดงของข้าว (Copper deficiency).....	10
2.4 อาการขาดสังกะสีของข้าว (Zinc deficiency).....	10
3.1 การเพาะข้าวในถาดเพาะก่อนปักดำ (a) และการปักดำข้าวเมื่อข้าวอายุ 20 วัน.....	27
3.2 การเจริญเติบโตของข้าวในระยะแตกกอสูงสุด (a) และการเจริญเติบโตของข้าว ในระยะออกรวง (b).....	28
3.3 การเจริญเติบโตของข้าวโพดอายุ 14 วัน ก่อนถอนแยกต้น (a) และการคลุมช่อข้าวโพด เพื่อผสมเกสร (b).....	28
3.4 การเจริญเติบโตของเมื่อถั่วเหลืองอายุ 14 วัน (a) และระยะออกฝัก (b).....	29
3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์รูปของฟอสฟอรัสในดินมีการพัฒนามาจากวิธีของ Hedley.....	33
4.1 แสดงความสูงของข้าวในแต่ละสัปดาห์ของการเจริญเติบโตของข้าวรอบที่ 1.....	37
4.2 แสดงจำนวนหน่อของข้าวในแต่ละสัปดาห์ของการเจริญเติบโตของข้าวรอบที่ 1.....	38
4.3 แสดงค่าความเขียวของใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ของข้าวในแต่ละสัปดาห์ของการเจริญเติบโต ของข้าวรอบที่ 1.....	39
4.4 แสดงความสูงของข้าวในแต่ละสัปดาห์ของการเจริญเติบโตของข้าวรอบที่ 4.....	50
4.5 แสดงจำนวนหน่อของข้าวในแต่ละสัปดาห์ของการเจริญเติบโตของข้าวรอบที่ 4.....	51
4.6 แสดงค่าความเขียวของใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ของข้าวในแต่ละสัปดาห์ของการเจริญเติบโต ของข้าวรอบที่ 4.....	52

## สารบัญญรูปภาคผนวก

รูปภาคผนวกที่	หน้า
2.1 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสของแต่ละทริตमेंท์ในดินก่อนการทดลอง.....	99
2.2 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสของแต่ละทริตमेंท์ในดินหลังการปลูกข้าวรอบที่ 1 .....	99
2.3 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสของแต่ละทริตमेंท์ในดินหลังการปลูกพืชรอบที่ 2 .....	100
2.4 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสของแต่ละทริตमेंท์ในดินหลังการปลูกพืชรอบที่ 3 .....	100
2.5 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสของแต่ละทริตमेंท์ในดินหลังการปลูกข้าวรอบที่ 4 (ดินหลังการทดลอง).....	101

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ข้าว (Rice) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ผลผลิตที่ได้ในแต่ละปีใช้เพื่อบริโภคในประเทศประมาณ 45-50% ส่วนที่เหลือส่งออกไปขายต่างประเทศสร้างรายได้มากกว่า 150,000 ล้านบาท/ปี ในปีเพาะปลูก 2562 ประเทศไทยผลิตข้าวได้มากเป็นอันดับ 6 ของโลก ปริมาณผลผลิตทั้งหมดประมาณ 21.35 ล้านตันข้าวสาร (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) ข้าวจึงเป็นแหล่งรายได้ที่สำคัญในภาคการเกษตรและอุตสาหกรรม เกษตรกรที่อยู่ในเขตชลประทานทำการเพาะปลูกข้าวตลอดทั้งปี ส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำ อีกทั้งการเพาะปลูกข้าวเพียงอย่างเดียวและต่อเนื่อง โดยไม่มีการพักดินอาจก่อให้เกิดปัญหาการระบาดของโรค และแมลงศัตรูข้าวได้ รวมไปถึงการสูญเสียธาตุอาหารจากการดูแลใช้ของข้าวไปจากดินทำให้ดินเสื่อมโทรม (วิเศษศักดิ์ ศรีสุริยะธาดา และคณะ, 2555) การปรับระบบการปลูกพืชสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวและส่งผลให้เกิดความมั่นคงในอาชีพการเกษตรได้มากขึ้น นอกจากนี้ในปัจจุบันเกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อแก้ไขปัญหาดินเสื่อมโทรมและเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืชที่ปลูก ซึ่งปุ๋ยเคมีสามารถให้ธาตุอาหารได้อย่างรวดเร็ว แต่เกษตรกรส่วนมากไม่มีการวิเคราะห์ดินก่อนการใส่ปุ๋ยอาจทำให้เกิดการใส่ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลักบางธาตุเกินความต้องการของพืช โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส เนื่องจากเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการน้อยจึงพบฟอสฟอรัสสะสมในดินนาที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตรเดิมเป็นประจำและไม่มีการวิเคราะห์ดิน ในขณะที่ปุ๋ยอินทรีย์ส่งเสริมสมบัติทางกายภาพของดิน ทำให้ดินอุ้มน้ำ รวมทั้งให้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุเพียงพอดตามความต้องการของพืช (บัญชา รัตนีฑู, 2552) อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ไม่สามารถจัดการปริมาณธาตุอาหารให้เหมาะสมกับดิน และความต้องการของพืชได้ เนื่องจากในปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารไม่เท่ากัน (Meek *et al.*, 1982) และอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่คำนึงถึงปริมาณธาตุไนโตรเจน (N) เป็นหลัก (Yan *et al.*, 2017) เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมาก และดินในประเทศไทยมักขาดแคลน ประกอบกับในปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณไนโตรเจนต่ำจึงต้องใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูง ทำให้เกิดการตกค้างและการสะสมของธาตุอาหารอื่นๆ โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส นอกจากนี้ปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน จึงอาจส่งผลต่อการสะสมฟอสฟอรัสและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน

ฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในปริมาณที่มากจนเกินความต้องการอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากปุ๋ยฟอสฟอรัสมีโอกาสถูกตรึงได้ง่ายกับธาตุประจุบวกในดิน ทำให้ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ยากในดิน แต่ธาตุฟอสฟอรัสมีโอกาสถูกชะล้างมากับตะกอนดิน

หากเกิดการกร่อนของดิน นอกจากนี้ในภาวะที่ดินขังน้ำฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากขึ้น ทั้งสองกรณีจึงมีโอกาสทำให้ฟอสฟอรัสเคลื่อนย้ายสู่สิ่งแวดล้อมได้ (Fortune *et al.*, 2005) และส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุ พืชที่ปลูกในดินที่มีฟอสฟอรัสสะสมสูงมักมีปัญหาพืชดูดดึงจุลธาตุไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง เพราะฟอสฟอรัสตกตะกอนกับจุลธาตุทำให้ความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุนั้นลดลง (ศิริณี วงศ์กระจ่าง และบัญชา รัตน์ฑู, 2557) ประกอบกับการขังน้ำเพื่อทำนาทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินเข้าใกล้เป็นกลาง ซึ่งทำให้ความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุ เช่น เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) ต่อพืชลดลง (อัจฉราจิตตลดากร และคณะ, 2556) ในด้านเศรษฐกิจเมื่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่อพืชปลูกลดลง ทำให้เกษตรกรต้องมีการซื้อปุ๋ยหรือใช้วัสดุอื่นๆ เพื่อทดแทนธาตุอาหารที่ขาดแคลนเหล่านี้ จึงเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต นอกจากนี้หากฟอสฟอรัสเกิดการชะละลายลงสู่แหล่งน้ำ หรือเข้าสู่สิ่งแวดล้อมก็จะส่งเสริมให้เกิดกระบวนการยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ได้เช่นเดียวกับธาตุไนโตรเจน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Pizzeghello *et al.*, 2016) ดังนั้นการปลูกพืชหลังนาอาจจะเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดการสะสมของฟอสฟอรัสในดินได้ เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณแตกต่างกัน ฟอสฟอรัสจะสูญเสียไปกับการดูดดึงของพืช อย่างไรก็ตาม พืชหลังนาที่กรมส่งเสริมการเกษตร (2560) แนะนำให้เกษตรกรปลูกมีหลายประเภท ได้แก่ พืชไร่ พืชผัก ไม้ดอก พืชบำรุงดิน และพืชตระกูลถั่ว ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีความต้องการใช้ธาตุฟอสฟอรัสในปริมาณที่แตกต่างกัน การจัดการระบบการปลูกพืชหลังนาให้เหมาะสมอาจมีประโยชน์ในการลดการสะสมฟอสฟอรัสในดินและทำให้สามารถใช้ทรัพยากรดินได้อย่างยั่งยืน

ปัจจุบันมีการรณรงค์ให้เกษตรกรปรับระบบการปลูกพืชหลังนาในหลายพื้นที่ แต่ยังไม่เห็นผลการศึกษาที่รายงานถึงผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมฟอสฟอรัสในดิน ดังนั้นการศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการเปลี่ยนแปลง และการสะสมฟอสฟอรัสจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญช่วยในการจัดการปุ๋ยและระบบการปลูกพืชหลังนาได้อย่างมีประสิทธิภาพ คุ่มค่า และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลตกค้างของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการสะสมฟอสฟอรัสในดิน

1.2.2 เพื่อศึกษาผลตกค้างของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของฟอสฟอรัสในดิน

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ผลตกค้างของปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกันอาจส่งผลให้มีการสะสมฟอสฟอรัสและรูปของฟอสฟอรัสในดินแตกต่างกัน ปุ๋ยอินทรีย์อาจทำให้ฟอสฟอรัสสะสมอยู่ในรูปอินทรีย์มากกว่ารูปอนินทรีย์สามารถชะละลายสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย ส่งผลต่อความสมดุลของจุลธาตุในดิน ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการจัดการธาตุอาหาร ระบบการปลูกพืชหลังนาที่แตกต่างกันอาจช่วยลดการสะสมฟอสฟอรัสในดินได้โดยการดูดดึงฟอสฟอรัสของพืชหลังนา

### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตราที่สูงในดินนาเป็นประจำ ทำให้ธาตุฟอสฟอรัส (P) สะสมอยู่ในดินเพิ่มขึ้น ดินที่มีฟอสฟอรัสสูงสามารถตกตะกอนกับธาตุเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และอะลูมิเนียม (Al) ทำให้ความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุลดลง ในทางตรงกันข้ามฟอสฟอรัสสามารถสูญเสียจากดินได้จากกระบวนการต่างๆ เช่น น้ำไหลบ่าหน้าดิน การกร่อน การชะละลาย และการดูดใช้ของพืช โดยน้ำไหลบ่าหน้าดิน การกร่อน และการชะละลาย เป็นการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสลงสู่สิ่งแวดล้อมอาจก่อให้เกิดกระบวนการยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปของฟอสฟอรัสในดินที่ได้รับอิทธิพลของชนิดดิน ชนิดปุ๋ยอินทรีย์ และชนิดของพืชที่ปลูก ระบบการปลูกพืชหลังนาหรือการสลับชนิดพืชปลูกสามารถช่วยลดการสะสมของฟอสฟอรัสในดินได้ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของการความต้องการใช้ฟอสฟอรัสของพืชต่างชนิด

### 1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ศึกษาผลตกค้างของปุ๋ยอินทรีย์และระบบปลูกพืชหลังนาที่แตกต่างกันต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน (Total P)

1.5.2 ศึกษาผลตกค้างของปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกัน และระบบการปลูกพืชหลังนา ต่อการเปลี่ยนแปลงรูปฟอสฟอรัส (P fraction) ในดิน

### 1.6 ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง

1.6.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลตกค้างของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมฟอสฟอรัสในดิน

โดยใช้ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปลูกพืชให้ครบระบบการปลูกพืช เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช เก็บตัวอย่างดินก่อน-หลังการทดลอง และตัวอย่างดินในแต่ละรอบการปลูกพืช นำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) และ

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน (Total P) ทำการทดลองปลูกพืชในกระถางบนโรงเรือนทดลอง และวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในห้องปฏิบัติการ

1.6.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงรูปฟอสฟอรัสในระบบการปลูกพืชหลังนาที่แตกต่างกัน

โดยนำตัวอย่างดินหลังปลูกจากการทดลองที่ 1 นำมาวิเคราะห์รูปของฟอสฟอรัส (P fraction) ในดิน ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ

## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ข้าว

##### 2.1.1 สถานการณ์ปลูกข้าวในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร ในการผลิตพืชเกษตรกรรมปลูกพืชไร่ และพืชสวน โดยทำการเพาะปลูกพืชไร่ เช่น ข้าว ข้าวโพด อ้อย ถั่วเหลือง ถั่วเขียว เป็นต้น ทำการปลูกพืชสวนหรือไม้ผล เช่น ทูเรียน ส้ม มะม่วง มังคุด และ ฝรั่ง เป็นต้น ในจำนวนพืชที่เกษตรกรปลูกนี้ ข้าวมีพื้นที่ปลูกมากกว่าพืชชนิดอื่นๆ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2562) รายงานว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวนาปีและนาปรังในปีเพาะปลูก 2562 ทั้งสิ้น 66.51 ล้านไร่ และมีพื้นที่ปลูกนาปีทั้งสิ้น 60.11 ล้านไร่ โดยข้าวนาปีปลูกมากที่สุดอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ทั้งสิ้น 37.12 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 61.75 ของพื้นที่ปลูกข้าวนาปีทั้งประเทศ รองลงมา คือ ภาคเหนือ 13.83 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 23.01 ของพื้นที่ปลูกข้าวนาปี ภาคกลาง 8.38 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 13.94 ของพื้นที่ปลูกข้าวนาปี และภาคใต้ 0.78 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.30 ของพื้นที่ปลูกข้าวนาปีทั้งประเทศ

จังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกข้าวนาปีมากที่สุดในแต่ละภาคของประเทศไทยแสดงในตารางที่ 2.1 โดยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจังหวัดที่ปลูกข้าวนาปีมากที่สุด คือ จังหวัดอุบลราชธานี 3.96 ล้านไร่ รองลงมา คือ จังหวัดนครราชสีมา 3.54 ล้านไร่ และจังหวัดร้อยเอ็ด 3.05 ล้านไร่ ในภาคเหนือจังหวัดที่ปลูกข้าวนาปีมากที่สุด คือ จังหวัดนครสวรรค์ 2.38 ล้านไร่ รองลงมา คือ จังหวัดพิจิตร 1.69 ล้านไร่ และจังหวัดพิษณุโลก 1.39 ล้านไร่ ภาคกลางจังหวัดที่ปลูกข้าวนาปีมากที่สุด คือ จังหวัดสุพรรณบุรี 1.18 ล้านไร่ รองลงมา คือ จังหวัดชัยนาท 0.81 ล้านไร่ และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา 0.79 ล้านไร่ และในภาคใต้จังหวัดที่ปลูกข้าวนาปีมากที่สุด คือ จังหวัดนครศรีธรรมราช 0.25 ล้านไร่ รองลงมา คือ จังหวัดสงขลา 0.20 ล้านไร่ และจังหวัดพัทลุง 1.37 ล้านไร่ (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 พื้นที่ปลูกข้าวนาปีในจังหวัดที่มีการปลูกข้าวมากที่สุด 3 อันดับในแต่ละภาคปี พะเพาะปลูก 2562

ภาค	อันดับที่	จังหวัด	พื้นที่ปลูกข้าว (ไร่)
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ			
	1	อุบลราชธานี	3,961,119
	2	นครราชสีมา	3,543,678
	3	ร้อยเอ็ด	3,051,174
ภาคเหนือ			
	1	นครสวรรค์	2,379,164
	2	พิจิตร	1,686,026
	3	พิจนุโลก	1,388,810
ภาคกลาง			
	1	สุพรรณบุรี	1,178,204
	2	ชัยนาท	811,032
	3	พระนครศรีอยุธยา	782,419
ภาคใต้			
	1	นครศรีธรรมราช	253,229
	2	สงขลา	202,324
	3	พัทลุง	136,613

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562

### 2.1.2 ความต้องการธาตุฟอสฟอรัสและธาตุที่เกี่ยวข้องกับฟอสฟอรัสของข้าว

ธาตุอาหารพืช คือ ธาตุที่มีความจำเป็นต่อพืช โดยเมื่อพืชไม่ได้รับธาตุอาหารนั้นๆ จะทำให้พืชไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้จนครบชีพจักร ซึ่งสามารถแก้ไขโดยให้ธาตุอาหารนั้นแก่พืช อาการขาดธาตุอาหารเหล่านั้นก็จะหายไป พืชก็จะกลับมาเป็นปกติสามารถดำรงชีพอยู่ได้จนครบชีพจักร (นุกูล ถวิลถึง, 2559) โดยธาตุอาหารพืชที่ข้าวหรือพืชชนิดต่างๆ ต้องการ คือ ธาตุอาหารหลักประกอบไปด้วย ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ในกลุ่มของธาตุอาหารหลักข้าวต้องการไนโตรเจน (N) สูงที่สุด รองลงมา คือ โพแทสเซียม (K) และต้องการฟอสฟอรัส (P) น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มธาตุอาหารหลัก ดังนั้นหากไม่ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ หรือใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัตราสูงมักทำให้เกิดการสะสมของฟอสฟอรัสในดิน (ยงยุทธ โอสธสภา และคณะ, 2558)

### 2.1.2.1 ฟอสฟอรัส (P)

ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ Adenosine triphosphate (ATP) นิวคลีโอไทด์ (Nucleotide) กรดนิวคลีอิก (Nucleic acids) และฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) ในเซลล์พืช ฟอสฟอรัสช่วยในการแตกกอของข้าว การพัฒนาของรากข้าว การออกดอก การสุกแก่ของข้าว และการเพิ่มดัชนีพื้นที่ใบเพื่อการสังเคราะห์แสงได้มากขึ้น (ยงยุทธ โอสดสภา และคณะ, 2558) การให้ธาตุฟอสฟอรัสแก่ข้าวจำเป็นมากสำหรับข้าวที่ระบบรากยังไม่ได้พัฒนาเต็มที่ เช่น หลังจากการปักดำใหม่ๆ ดังนั้นจึงควรให้ธาตุฟอสฟอรัสรองพื้นก่อนทำการปักดำข้าว ข้าวที่ขาดฟอสฟอรัส (Phosphorus deficiency) ต้นจะแคระแกร็น การแตกกอจะน้อยลง ใบแคบ สั้น ตั้งตรง และมีสีเขียวเข้ม ลำต้นผอมเรียว ชะงักการเจริญเติบโต จำนวนใบ จำนวนรวง และจำนวนเมล็ดต่อรวงลดลง ใบอ่อนสมบูรณ์ดีแต่ใบแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและตายในที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2.1 หากพันธุ์ข้าวที่ปลูกสามารถผลิต Anthocyanin ได้ใบอาจเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือสีม่วง ในดินที่เป็นกรดการขาดฟอสฟอรัสมักจะเกิดร่วมกับเหล็กที่เป็นพิษ (สுவพันธ์ รัตนะรัต และคณะ, 2543) นอกจากนี้การขาดฟอสฟอรัสในต้นข้าวยังมีผลกระทบอื่นๆ ตามมา คือ พืชไม่ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และปุ๋ยโพแทสเซียม ต้นข้าวไม่แข็งแรง และมีความไวต่อโรค เช่น ก่อให้เกิดโรคจุดสีน้ำตาล เป็นต้น และหากอยู่ได้จนถึงช่วงเก็บเกี่ยว ข้าวจะสุกและแก่ช้ากว่าปกติ 10-12 วัน ดังนั้นการให้ฟอสฟอรัสแก่ข้าวจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวได้ (ยงยุทธ โอสดสภา และคณะ, 2558) สาเหตุของการขาดฟอสฟอรัสเกิดจากการมีปริมาณฟอสฟอรัสในดินต่ำ หรือถูกตรึงโดยดินจนพืชไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่ดินมีสภาพเป็นกรดจัด (pH < 4) การใส่ปุ๋ยไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชหรือความไม่สมดุลของธาตุอาหาร วิธีการปลูกแบบนาหว่านมีโอกาสทำให้ข้าวขาดฟอสฟอรัสได้มากกว่าการปลูกแบบปักดำ เนื่องจากต้นข้าวจะหนาแน่นกว่า และมีรากตื้นกว่าข้าวที่ปลูกแบบปักดำ (สுவพันธ์ รัตนะรัต และคณะ, 2543) การได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไป (Phosphorus excess) โดยธรรมชาติฟอสฟอรัสจะมีสะสมในดินอยู่แล้ว มากหรือน้อยแล้วแต่พื้นที่ แต่ส่วนใหญ่ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ยาก พืชดูดเอาไปใช้ได้น้อยหรือไม่ได้เลย ในกรณีที่ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสมากอยู่แล้ว หากเกษตรกรเพิ่มฟอสฟอรัสเข้าไปอีกจะส่งผลทำให้พืชใช้ไม่หมดจึงเกิดการสะสมอยู่ในดิน เมื่อฟอสฟอรัสสะสมอยู่มากจะทำให้พืชดูดดึงจุลธาตุ เช่น เหล็ก สังกะสี และทองแดง ได้น้อยลง เนื่องจากฟอสฟอรัสอาจจะตกตะกอนอยู่กับจุลธาตุ ทำให้ความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุเหล่านั้นลดลง ส่งผลให้พืชแสดงอาการขาดจุลธาตุได้ (ศิริฉวี วงศ์กระจ่าง และบัญชา รัตน์ู, 2557)



**รูปที่ 2.1** อาการขาดฟอสฟอรัสของข้าว (Phosphorus deficiency)  
ที่มา: IRRI (2018)

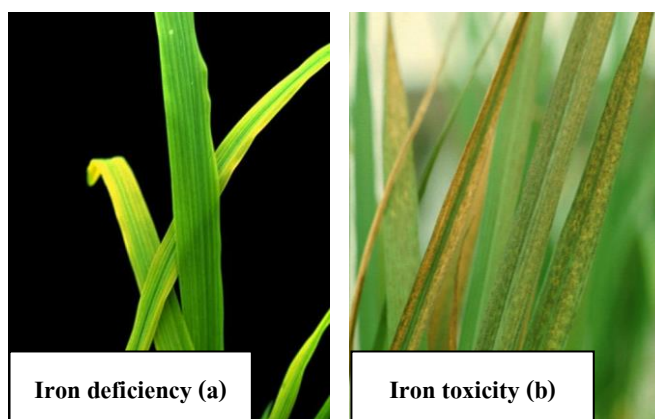
### 2.1.2.2 ธาตุที่เกี่ยวข้องกับการสะสมฟอสฟอรัสในดิน

ธาตุที่เกี่ยวข้องกับการสะสมฟอสฟอรัสในดินนา คือ เหล็ก ทองแดง และสังกะสี โดยเมื่อเกิดการสะสมฟอสฟอรัสในดินนาจะเกิดการตกตะกอนกับธาตุเหล็กทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็กลดลง และเป็นปฏิปักษ์ต่อการดูดซับธาตุทองแดง และสังกะสี ทำให้พืชแสดงอาการขาดธาตุทองแดง และสังกะสีได้

#### 1 เหล็ก (Fe)

เหล็กเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าว และพบมักความขาดแคลนในดิน ซึ่งเหล็กมีความสำคัญต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมในการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางเคมีหลายกระบวนการด้วยกัน บทบาทที่สำคัญของเหล็ก คือ เป็นองค์ประกอบของโปรตีน ช่วยในการสังเคราะห์ฮอร์โมนที่มีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช ช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในโครงสร้างเอนไซม์ ข้าวที่ขาดเหล็ก (Iron deficiency) แสดงอาการขาดที่ใบอ่อน เนื่องจากเหล็กเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนย้ายในโพลีเอม ใบบอ่อนจะมีสีเหลืองซีด โดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างเส้นใบ (Interveinal chlorosis) เป็นผลมาจากปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างรวดเร็ว ต้นกล้าที่ขาดเหล็กรุนแรงใบบอ่อนจะสีเหลืองซีดจากใบบนลงไปหาใบบางกลางของลำต้น ลักษณะต้นเตี้ย ไม่แตกกอ หากขาดธาตุเหล็กไม่รุนแรงมาก (รูปที่ 2.2a) สามารถเจริญเติบโตถึงระยะเจริญพันธุ์ได้ แต่จะมีจำนวนรวงน้อย และผลผลิตต่ำ สาเหตุการขาดเหล็กเกิดได้หลายปัจจัย เช่น ความเป็นประโยชน์ของเหล็กในดินต่ำค่าความเป็นกรด-ด่างสูง การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในปริมาณที่สูงก่อให้เกิดการตกตะกอนกับเหล็ก ทำให้ปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ลดลง อัตราส่วนระหว่างธาตุอาหารพวกแคดไอออนไม่เหมาะสม เป็นต้น (ยงยุทธ โอสภสกา และคณะ, 2558) เมื่อเกิดความไม่เพียงพอของเหล็ก (Iron toxicity) ในข้าว จะแสดงอาการที่ใบล่างจะมี

จุดสีน้ำตาลเล็กเกิดที่ปลายใบ ก่อนจะกระจายไปทั่วทั้งใบ หรือเป็นสีส้มเหลืองทั้งใบ แล้วค่อยๆ กลายเป็นสีน้ำตาลก่อนจะแห้งตาย ใบมีขนาดแคบ ในกรณีที่เป็นพิษรุนแรง ใบจะเป็นสีม่วง (รูปที่ 2.2b) ต้นแคระแกร็น และหยุดชะงักการเจริญเติบโต นอกจากนี้จะส่งผลกระทบต่อระบบหายใจของราก โดยรากจะมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ และตายจำนวนมาก ซึ่งความเป็นพิษของเหล็กนี้ สามารถเกิดได้ในทุกช่วงระยะการเจริญเติบโตของข้าว (IRRI, 2018)



รูปที่ 2.2 อาการขาดเหล็กของข้าว (Iron deficiency a) และความเป็นพิษจากเหล็ก (Iron toxicity b) ที่มา: IRRI (2018)

## 2. ทองแดง (Cu)

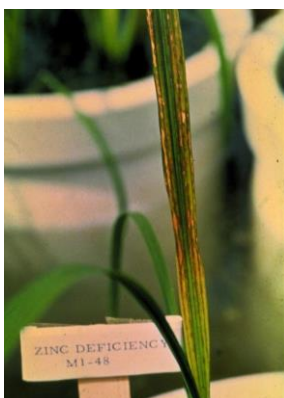
ทองแดงมีบทบาทสำคัญต่อพืช ช่วยในเรื่องของระบบการหายใจ การสังเคราะห์แสง ลดพิษของอนุมูลอิสระในเซลล์ การสังเคราะห์ลิพิดิน และการพัฒนาในระยะการเจริญพันธุ์ ข้าวที่ขาดทองแดง (Copper deficiency) จะแสดงอาการขาดที่ใบอ่อน หรือปลายยอด อาการที่สังเกตได้ คือ ปลายใบอ่อนมีสีขาว แต่เนื่องจากใบไม่แข็งแรง เพราะผนังเซลล์มีลิพิดินน้อย ผนังเซลล์บาง ไม่สมบูรณ์ และมีอาการขาวซีดลามไปถึงโคนของแผ่นใบ ใบใหม่ม้วนกลม และไม่คลื่อกรับแสง ใบที่คลื่อแล้วจะโค้ง ปลายใบ และขอบใบจะแห้งตาย ข้าวที่ได้รับทองแดงน้อย (รูปที่ 2.3) เมื่อต้นยังเล็กจะไม่แสดงอาการผิดปกติ แต่จะมีลักษณะแคระแกร็น ใบเล็ก และแตกกออ่อน หากขาดแคลนทองแดงในระยะเจริญพันธุ์ เมล็ดข้าวจะสุกแก่ช้าและผลผลิตลดลงประมาณ 20% (ยงยุทธ โอสภสกา และคณะ, 2558) สาเหตุการขาดทองแดงมีหลายสาเหตุด้วยกัน คือ สภาพดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง ดินที่มีวัตถุต้นกำเนิดเป็นหินปูน หรือดินที่เป็นดินทราย ดินที่มีฟอสฟอรัสสูง สภาพดินเหล่านี้จะส่งผลให้มีทองแดงที่เป็นประโยชน์อยู่ในปริมาณที่ต่ำ นอกจากนี้สังกะสีในดินมากเกินไปจะยับยั้งการดูดดึงทองแดงได้เช่นกัน (IRRI, 2018)



**รูปที่ 2.3** อาการขาดทองแดงของข้าว (Copper deficiency)  
ที่มา: IRRI (2018)

### 3. สังกะสี (Zn)

สังกะสีมีบทบาทที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชในหลายด้าน ทั้งเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ ทำหน้าที่ควบคุมเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน รักษาเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ฮอร์โมนออกซิน และการเจริญพันธุ์ การขาดสังกะสี (Zinc deficiency) ในข้าวจะแสดงอาการขาดที่ใบอ่อน โดยปกติข้าวจะมีความไวต่อการขาดสังกะสีมากในระยะต้นกล้า แต่ถ้าขาดแคลนเพียงเล็กน้อยในระยะต้นกล้า และไม่ได้แสดงอาการออกมา ผลของการขาดแคลนจะไปปรากฏในระยะเจริญพันธุ์ อาการเริ่มของข้าวที่ขาดสังกะสี คือ ปลายใบอ่อนมีสีเหลืองซีดและลุกลามไปจนถึงโคนใบ (รูปที่ 2.4) ขณะเดียวกันปลายใบที่เหลืองนั้นจะมีจุดสีน้ำตาลแซมด้วย เมื่อความขาดรุนแรงมากขึ้นจะพบอาการที่ใบแก่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาการเหลืองที่เส้นกลางใบและแผ่นใบส่วนล่าง บางส่วนของแผ่นใบมีจุดหรือขีดสีน้ำตาล ต้นข้าวที่ขาดสังกะสีจะไม่ยืดตัว ทำให้ข้อสั้น และต้นเตี้ย สาเหตุของการขาดสังกะสีในข้าว จะแสดงอาการขาดมากขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยในโตรเจน และปุ๋ยฟอสเฟต เนื่องจากมีผลกระทบต่อสมดุลของการใช้ประโยชน์สังกะสีในข้าว ส่วนการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในขณะที่สังกะสีในดินต่ำ ทำให้เกิดการตกตะกอนเป็นสังกะสีฟอสเฟตซึ่งจะละลายยาก (ยงยุทธ โอสดสภา และคณะ, 2558)



**รูปที่ 2.4** อาการขาดสังกะสีของข้าว (Zinc deficiency)  
ที่มา: IRRI (2018)

## 2.2 พืชหลังนา

โดยทั่วไปเกษตรกรของประเทศไทยจัดระบบการปลูกข้าว ดังนี้ รอบที่ 1 ปลูกข้าวช่วงเดือน พฤษภาคม-สิงหาคม (นาปี) รอบที่ 2 ปลูกพืชหลังนา/พืชปุ๋ยสดช่วงเดือนกันยายน-ธันวาคม หรือ ปลูกข้าวอีกครั้งหากน้ำท่วมขังพื้นที่ และรอบที่ 3 ปลูกข้าวช่วงเดือนมกราคม-เมษายน (กรมการข้าว, 2556) ในการปลูกพืชรอบที่ 3 เป็นการปลูกข้าวนาปรังซึ่งจะประสบปัญหาขาดแคลนน้ำ ดังนั้นการปรับเปลี่ยนการปลูกพืชชนิดอื่นที่ใช้น้ำน้อยกว่าอาจสร้างรายได้ และลดปัญหาการใช้น้ำ ลดลงได้ นอกจากนี้การปลูกพืชหลังนายังเป็นการปลูกพืชหมุนเวียน ซึ่งทำให้เกิดการหมุนเวียน ธาตุอาหารในดิน ลดปัญหาการเกิดโรค และแมลง

### 2.2.1 การจัดระบบพืชหลังนา

ระบบการปลูกข้าวของเกษตรกรส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะอาศัยน้ำฝน แหล่งน้ำธรรมชาติ และแหล่งน้ำชลประทานในบางพื้นที่ ในภาคกลางข้าวใช้น้ำ 730-1,170 ลูกบาศก์เมตรต่อฤดูปลูก ดังนั้นการปลูกพืชหลังนาจึงต้องคำนึงถึงการใช้น้ำของพืชเป็นหลัก ควรเป็นพืชที่ใช้น้ำน้อย ทนต่อสภาพแห้งแล้ง อายุสั้น ทนแล้ง ทนทานต่อสภาพน้ำขังในช่วงต้นหรือปลายฤดูปลูก ต้นกล้ามีความแข็งแรง ไม่ไวแสง และต้านทานต่อโรคแมลง (ชญานิน สุปะมา และคณะ, 2554)

### 2.2.2 ชนิดของพืชหลังนา

กรมส่งเสริมการเกษตร (2560) ได้แนะนำพืชหลังนาที่เหมาะสม ได้แก่ พืชไร่ (ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้าวฟ่าง เป็นต้น) พืชผัก (กะเพรา โหระพา พริก เป็นต้น) ไม้ดอก (บานไม่รู้โรย ดาวเรืองตัด บานชื่น เป็นต้น) และพืชปรับปรุงดิน (ปอเทือง โสนอัฟริกัน ถั่วพุ่ม เป็นต้น) ประโยชน์จากการปลูกพืชหลังนาจะใช้น้ำในปริมาณที่น้อย สามารถลดการระบาดของโรค และแมลงได้ ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินรวมถึงการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารในดิน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2560) โดยพืชแต่ละชนิดจะดูดดึงธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ในกรณีที่ในดินมีการสะสมธาตุอาหารที่สูงจากการใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ที่มากเกินไป การปลูกพืชหมุนเวียนหรือการเลือกชนิดพืชที่ปลูกหลังนาสามารถช่วยลดการสะสมธาตุอาหารนั้นๆ ในดินได้ เนื่องจากธาตุอาหารสูญเสียไปกับการดูดดึงของพืช (Uptake)

อย่างไรก็ตามเกษตรกรมักเลือกพืชปลูกหลังนาที่ใช้การดูแลรักษาไม่มาก เช่น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้าวโพดหวาน และพืชตระกูลถั่ว โดยเฉพาะเกษตรกรที่มีพื้นที่มาก

ตารางที่ 2.2 ผลผลิตและปริมาณธาตุอาหารที่ถูกเคลื่อนย้ายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืช

ชนิดพืช	ผลผลิต (ตัน/ไร่)		กิโลกรัม/ไร่			ธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิต		
	น้ำหนัสด	น้ำหนักร้าง	N	P	K	กิโลกรัมธาตุอาหาร/ตัน		
						N	P	K
ข้าว	0.74	0.64	9.60	1.20	2.08	17.10	2.40	4.10
ข้าวโพด	1.04	0.89	15.36	2.78	4.16	17.30	3.13	4.70
ถั่วเหลือง	0.16	0.14	9.60	2.45	10.72	69.80	17.79	77.90
ถั่วลิสง	0.24	0.21	16.80	1.04	5.60	81.40	5.04	27.10

ที่มา: Howeler (2014)

### 2.2.2.1 ข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นธัญพืชที่สำคัญอย่างหนึ่งของโลก ในปี 2562 ข้าวโพดหวานในประเทศไทย มีพื้นที่การเพาะปลูกอยู่ที่ 247,068 ไร่ ให้ผลผลิต 537,487 ตัน และมีผลผลิตต่อเนื้อที่ที่ปลูกอยู่ที่ 2,175 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดในภาคเหนือมีเนื้อที่เพาะปลูก 124,760 ไร่ รองลงมา คือ ภาคกลางเนื้อที่เพาะปลูก 56,824 ไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเนื้อที่เพาะปลูก 43,547 ไร่ และภาคใต้เนื้อที่เพาะปลูก 21,937 ไร่ และได้ผลผลิตในแต่ละภาคแสดงดังตารางที่ 2.3 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561)

ตารางที่ 2.3 พื้นที่ปลูกข้าวโพดหวานและผลผลิตในแต่ละภาคปีเพาะปลูก 2561

ภาค	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)
ภาคเหนือ	124,760	312,767
ภาคกลาง	56,824	100,030
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	43,547	86,838
ภาคใต้	21,937	37,852

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2562)

ข้าวโพดหวานนับเป็นพืชอาหารหลักที่ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง ประชาชนส่วนใหญ่รับประทานข้าวโพดเป็นอาหารประจำวันในรูปแบบต่างๆ กัน นอกจากใช้เป็นอาหารมนุษย์ และอาหารสัตว์โดยตรงแล้ว เมล็ดข้าวโพดและส่วนอื่นๆ ของข้าวโพด เช่น ต้น ใบ

และต่อซัง ยังใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้ ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่สำคัญๆ (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2561) ความต้องการน้ำของข้าวโพดตลอดทั้งฤดูปลูกอยู่ประมาณ 450-500 มิลลิเมตรต่อปี หรือประมาณ 720-800 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ และระบบการให้น้ำที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชไร่ควรเป็นแบบร่องคู เมื่อข้าวโพดขาดน้ำจะทำให้ผลผลิตลดลงได้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2560) ข้าวโพดเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารเพื่อให้เจริญเติบโตจนครบชีพจักร สมบัติดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวโพดมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ระหว่าง 5.5-7.5 ปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

การขาดไนโตรเจน ข้าวโพดที่ขาดไนโตรเจนทำให้ต้นกล้าเหลือง แคระแกร็น ใบเหลืองจากเส้นใบออกไป เป็นรูปตัววี อาการแสดงที่ใบล่าง ใบล่างแห้งตาย ขอบใบยังเขียว ปลายฝักเมล็ดไม่เต็ม โคนงอเล็กน้อย ต้นพอมบาง โคนงอ มักพบดินทรายที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำ พืชขาดน้ำ หรือน้ำท่วมขัง ดินถูกชะล้างมากเนื่องจากความลาดชันสูง (อดิศักดิ์ บัวนภิกษาพันธ์ุ, 2556) การขาดฟอสฟอรัส ข้าวโพดที่ขาดฟอสฟอรัส ทำให้ข้าวโพดชะงักการเจริญเติบโต ลำต้นเตี้ย ต้นและขอบใบหรือปลายใบมีสีม่วงหรือสีเขียวเข้มแกมม่วง พืชจะแก่ช้า ไม่ออกดอก รากไม่สมบูรณ์ และผลตามกำหนด มักพบในดินที่มีฟอสฟอรัสต่ำ ดินกรดจัด และด่างจัด การขาดโพแทสเซียม ข้าวโพดที่ขาดโพแทสเซียมใบจะเป็นสีเหลืองแล้วเปลี่ยนเป็น สีน้ำตาลไหม้ โดยเริ่มเกิดที่ปลายใบก่อนหรือเกิดที่ขอบใบแล้วลุกลามเข้าสู่กลางใบ จะแสดงอาการที่ใบล่างก่อนเนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่าย มักพบในดินทรายที่มีการชะล้างสูง (สุวพันธ์ุ รัตนรัต และคณะ, 2543)

### 2.2.2.2 พืชตระกูลถั่ว

พืชตระกูลถั่วจัดเป็นพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจ และเป็นพืชที่สามารถบำรุงดินได้ โดยในทางเศรษฐกิจพืชตระกูลถั่วที่สำคัญ คือ ถั่วเหลืองซึ่งในทั่วโลกมีการปลูกถั่วเหลืองในปี 2561/62 ได้ผลผลิตประมาณ 354.5 ล้านตัน ประเทศไทยมีพื้นที่การเพาะปลูกถั่วเหลืองในปี 2561/62 ประมาณ 151,321 ไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ยรวมทั้งประเทศ 41,165 ตัน โดยมีพื้นที่การเพาะปลูกมากที่สุดอยู่ในภาคเหนือมีเนื้อที่เพาะปลูก 111,894 ไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ยรวม 31,557 ตัน รองลงมาคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีเนื้อที่เพาะปลูก 39,300 ไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ยรวม 9,577 ตัน ภาคกลางมีเนื้อที่เพาะปลูก 118 ไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 31 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561)

ในส่วนของพืชตระกูลถั่วที่เป็นพืชบำรุงดิน เมื่อย่อยสลายจะให้ธาตุไนโตรเจนสูง โดยเฉพาะไนโตรเจน ช่วยปรับปรุงคุณภาพของดินให้มีความอุดมสมบูรณ์เพื่อให้พืชหลักที่ปลูกมีการเจริญเติบโตเร็วให้ผลผลิตสูง ปัจจุบันเกษตรกรมีการใช้ที่ดินมาเป็นเวลานาน ขาดการปรับปรุงบำรุงดิน ทำให้ดินเสื่อมโทรม พืชเจริญเติบโตช้า ผลผลิตต่ำ เนื่องจากความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารน้อย ดังนั้นการปลูกพืชตระกูลถั่วจะเป็นการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของ

ธาตุอาหาร ทำให้พืชเจริญเติบโต และให้ผลผลิตสูง (ชนวัฒน์ กลุ่มเกลี้ยง, 2556) พืชตระกูลถั่วมีหลายชนิดที่นิยมปลูกเป็นพืชหลังนา ได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ถั่วพรี และปอเทือง เป็นต้น โดยพืชเหล่านี้เป็นพืชอายุสั้น ใช้น้ำน้อยกว่าพืชไร่อื่นๆ หลายชนิด ซึ่งการปลูกพืชตระกูลถั่วสามารถใช้ในระบบปลูกพืชหลังนาได้ เพื่อตัดวงจรการระบาดของศัตรูพืช ช่วยบำรุงรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน และเลือกใช้เป็นปุ๋ยพืชสดได้ เนื่องจากสามารถตรึงไนโตรเจนและให้ปริมาณไนโตรเจนที่สูง

ความต้องการน้ำของพืชตระกูลถั่วจะแตกต่างกันตามชนิดของถั่วต่างๆ โดยถั่วเหลืองใช้น้ำตลอดทั้งฤดูปลูกประมาณ 300-350 มิลลิเมตรต่อฤดูปลูก หรือประมาณ 480-560 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ และเมื่อพืชตระกูลถั่วขาดน้ำทำให้ผลผลิตลดลง โดยเฉพาะการขาดน้ำในระยะเจริญพันธุ์ ส่งผลกระทบต่อการสร้างผลผลิตของถั่วมากที่สุด (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2560)

พืชตระกูลถั่วเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตจนครบชีพจักร ธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืชตระกูลถั่ว คือ ไนโตรเจน (N) โดยพืชตระกูลถั่วจัดเป็นพืชปุ๋ยสดที่ดี เนื่องจากระบบรากมีปมหรือที่เรียกว่า ปมรากถั่ว ซึ่งมีไรโซเบียม (*Rhizobium* spp.) เป็นแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ได้ เมื่อสับกลบพืชตระกูลถั่วลงดินจะย่อยสลายเพิ่มไนโตรเจน และอินทรีย์วัตถุ กลับลงสู่ดินมากกว่าพืชอื่น (เกษตร สันติวงศ์, 2561) การขาดไนโตรเจนจะแสดงอาการเริ่มจากปลายใบ โดยใบแก่จะมีสีเขียวอ่อนจางหรือเหลืองซีด ใบจะกลายเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว หากรุนแรงใบจะตายและร่วงก่อนกำหนด ขนาดต้นและทรงพุ่มมีขนาดเล็ก เมื่อถอนต้นจะพบว่าต้นที่ขาดไนโตรเจนจะไม่มีปมราก หรือมีปมรากน้อยและปมไม่มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจน มักจะพบในดินที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำ เนื่องจากไม่มีการทำงานของจุลินทรีย์ในการตรึงไนโตรเจนมาสะสมในปมราก การขาดฟอสฟอรัสใบจะมีสีเขียวเข้มแกมน้ำเงิน ใบล่างม้วนงอมีสีส้มหรือสีเหลือง ลำต้นเตี้ยและกลายเป็นสีส้ม ม่วง หรือแดง รากไม่เจริญเติบโต ออกดอกช้า แก่ช้า ติดเมล็ดน้อย มักพบในดินที่มีสภาพเป็นกรดจัด และการขาดโพแทสเซียมปลายใบและขอบใบมีสีเหลืองแล้วเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลไหม้ ขอบใบจะแห้ง ตาย และอาจจะลุกลามเข้าสู่กลางใบ จะแสดงอาการที่ใบแก่ก่อนลุกลามไปที่ใบอ่อน เมื่อถั่วขาดโพแทสเซียมอย่างรุนแรงทำให้พืชเจริญเติบโตช้า ต้นเตี้ยและอ่อนแอ หักล้มง่าย มักพบในพื้นที่ดินทราย หรือในพื้นที่ดินเหนียวที่มีปริมาณโพแทสเซียมสะสมอยู่น้อย (สุวพันธ์ รัตนรัต และคณะ, 2543)

### 2.3 ดินนา

ดินนา หมายถึง ดินที่มีการอิมตัวด้วยน้ำ มีการระบายน้ำที่ไม่ดีทำให้มีการขังน้ำ หรือกักเก็บน้ำได้ง่าย ทั้งในฤดูฝน และฤดูแล้ง สามารถใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว ช่วงที่มีการขังน้ำดินจะอยู่ใน

ภาวะที่ขาดออกซิเจน ทำให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีทั้งผลดีและผลเสียต่อการเจริญเติบโตของข้าว (อัจฉรา จิตตลดากร และคณะ, 2556) ดินที่ใช้ในการปลูกข้าว (Paddy soil) ส่วนใหญ่เป็นดินที่มีระบบการจัดการน้ำในระหว่างการปลูกข้าวแบบขังน้ำ (Submerged soil) ทำให้เกิดสภาพไร้อากาศก่อให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction) รวมไปถึงกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในดินที่มีสภาพขังน้ำ ซึ่งส่งผลต่อสมบัติของดินนา เมื่อดินอยู่ในสภาพขังน้ำ ดินจะเปลี่ยนสภาพไปเป็น Anaerobic condition ออกซิเจนจะหมดไปจากดิน ซึ่งในสภาพนี้จุลินทรีย์ดินจะใช้ทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ดังนั้นสภาพการขังน้ำจึงเป็นการเพิ่มสภาพรีดักชันให้แก่ดิน ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นในดิน เช่น ในดินกรดค่า pH จะเพิ่มขึ้น แต่ในดินด่างค่า pH จะลดลง มีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ( $E_H$ ) ที่ลดลง การเปลี่ยนแปลงทางเคมีนี้ส่งผลต่อธาตุอาหาร (สุกัญญา เข้มประชา, 2554) ดังนี้

### 2.3.1 ผลของการขังน้ำต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร

#### 2.3.1.1 ไนโตรเจน

สภาพที่มีการขังน้ำ หรือไม่มีออกซิเจน ไนเตรต ( $NO_3^-$ ) ในดินจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซไนโตรเจน ( $N_2$ ) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ( $N_2O$ ) โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ซึ่งจะระเหยสูญหายไปสู่อากาศ ทำให้พืชไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ (Cameron *et al.*, 2013) นอกจากนี้สภาพที่ขังน้ำจะเกิดการสะสมของแอมโมเนียม ( $NH_4^+$ ) มากขึ้น เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายเศษซากพืช สัตว์ และอินทรีย์วัตถุ จะหยุดอยู่ที่กระบวนการปลดปล่อยแอมโมเนียมเท่านั้น ไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นไนเตรต หรือก๊าซไนโตรเจน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้ การตรึงไนโตรเจนจากอากาศ โดยสาหร่ายและแบคทีเรียหลายชนิด สิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะตรึงไนโตรเจนได้ในบริเวณรากข้าว เนื่องจากอากาศแพร่ซึมผ่านทางใบลงไปสู่ราก ในขณะที่เดียวกันรากสามารถปล่อยสารที่เป็นของเหลวออกมาให้เป็นแหล่งพลังงานแก่พวกแบคทีเรียได้ และเมื่อแบคทีเรียพวกนี้ตายลงก็จะย่อยสลายแล้วปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาเป็นประโยชน์ต่อข้าวเช่นเดิม (อัจฉรา จิตตลดากร และคณะ, 2556) ในสภาพดินที่ไม่มีการขังน้ำ แอมโมเนียมในดินจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรต โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) จึงทำให้ในดินที่ไม่มีการขังน้ำมีปริมาณไนเตรตที่สูงกว่าแอมโมเนียม ในขณะที่สภาพที่มีการขังน้ำมีปริมาณแอมโมเนียมที่สูงกว่าไนเตรต

#### 2.3.1.2 ฟอสฟอรัส

เมื่อดินอยู่ในสภาพที่ขังน้ำ ฟอสฟอรัสจะละลาย และเป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้น มีสาเหตุ (สุกัญญา เข้มประชา, 2554; Hinsinger, 2001) ดังนี้

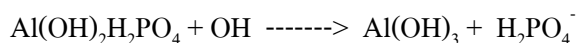
1 ฟอสเฟตที่อยู่ในรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัส จะถูกปลดปล่อยออกมาโดยจุลินทรีย์ดิน และละลายได้ดีกว่าในสภาพที่มีอากาศถ่ายเทดี เพราะว่ามีสารประกอบต่างๆ ที่เกิดจาก

กระบวนการ Anaerobic metabolism สามารถทำปฏิกิริยา Complex กับ Fe Al ได้ ทำให้อัตราการตกตะกอนของฟอสเฟตน้อยลง (Renneson *et al.*, 2016)

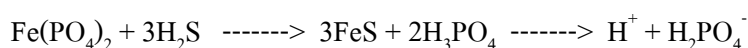
2 Ferric phosphate เปลี่ยนไปเป็น Ferrous phosphate

3 การที่ Organic anion เข้าไปแทนที่ฟอสเฟตในสารประกอบ Ferric และ Aluminum phosphate ทำให้ฟอสเฟตหลุดออกมาเป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้น

4 เกิดการ Hydrolysis ของ Ferric และ Aluminum phosphate ทำให้ฟอสเฟตหลุดออกมาเป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้น



5 เมื่อดินอยู่ในสภาพที่เกิดการรีดักชันรุนแรง จะทำให้เกิดปฏิกิริยาดังนี้ ส่งผลให้ฟอสเฟตหลุดออกมาเป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้น



6 จุลินทรีย์ในดินที่อยู่ในสภาพที่ขังน้ำ สามารถละลายฟอสเฟตให้หลุดออกมาและเป็นประโยชน์ได้มากยิ่งขึ้น

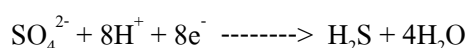
สภาพที่ไม่มีน้ำขังหรือมีออกซิเจนไม่ได้ส่งผลต่อธาตุฟอสฟอรัสมากนัก แต่ค่าความเป็นกรดต่างในดินสามารถเปลี่ยนแปลงรูปฟอสฟอรัสในดินได้ทำให้ฟอสฟอรัสละลายได้มากขึ้นในสภาพที่ดินเป็นกรด เหล็กไอออนและอะลูมิเนียมไอออนจะเข้าทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตไอออนเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ หากดินอยู่ในสภาพที่เป็นด่าง แคลเซียมไอออนและแมกนีเซียมไอออนจะเข้าทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตไอออนเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำได้เช่นกัน (กฤตย์สมสาร, 2549)

### 2.3.1.3 โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม

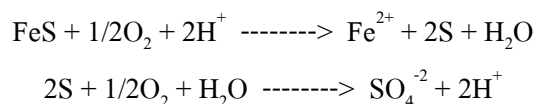
ในสภาพการขังน้ำ โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกันเนื่องจากเป็นแคตไอออนเหมือนกัน ในสภาพการขังน้ำเป็นการส่งเสริมให้โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ที่เกาะอยู่ที่ผิวคอลลอยด์ดินจะถูกแทนที่ด้วยแอมโมเนียม เฟอร์รัส และแมงกานีส ทำให้โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ละลายออกมาได้มากกว่าดินในสภาพไม่ขังน้ำ (อัจฉรา จิตตลดากร และคณะ, 2556; Ding *et al.*, 2006)

### 2.3.1.4 กำมะถัน

ในสภาพการขังน้ำกำมะถันจะถูกรีดิวซ์รุนแรง โดยซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือก๊าซไข่เน่าได้ตามสมการ ดังนี้

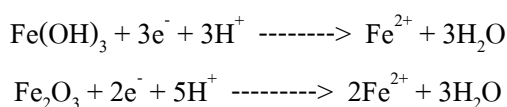


แต่ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีไม่มากนัก เนื่องจากในสภาพที่ขังน้ำจะมีเหล็กในรูปเฟอร์รัส ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้ตกตะกอนกลายเป็นเหล็กซัลไฟด์ (FeS) เมื่อดินอยู่ในสภาพไม่ขังน้ำหรือมีออกซิเจน จะเกิดการออกซิเดชันเหล็กซัลไฟด์ทำให้ได้เฟอร์รัสและซัลเฟอร์ นอกจากนี้ซัลเฟอร์สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ต่อไปโดยออกซิเจน ได้เป็นซัลเฟต แต่เป็นปฏิกิริยาที่ช้าอยู่



### 2.3.1.5 เหล็ก

เมื่อเกิดการขังน้ำเหล็กจะอยู่ในสภาพฟิรดิเวซ ซึ่งเหล็กจะถูกรีดิวซ์จากเฟอร์ริกไปเป็นเฟอร์รัส ทำให้เหล็กอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้นในสภาพที่มีการขังน้ำดังสมการ



หลังจากการขังน้ำปริมาณเหล็กจะละลายออกมาอย่างรวดเร็ว และมีปริมาณสูงสุดในช่วง 2-3 สัปดาห์ หลังจากนั้นจะมีปริมาณที่ลดลง เนื่องจากเฟอร์รัสจะตกตะกอนอยู่ในรูปของสารประกอบเฟอร์ริก และสารประกอบเฟอร์รัสคาร์บอเนต (Kozlowski *et al.*, 1984; พชรินทร์ สุรินทร์ และคณะ, 2561)

### 2.3.1.6 แมงกานีส

เมื่อเกิดการขังน้ำสารประกอบแมงกานีสที่ตกตะกอนจะไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อถูกรีดิวซ์จะเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากยิ่งขึ้นดังสมการ



ในดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลาง แมงกานีสอาจตกตะกอนเป็นแมงกานีสคาร์บอเนต ในดินนาโดยทั่วไปค่าความเป็นกรด-ด่างจะถูกปรับให้เข้าใกล้กลางจากปฏิกิริยารีดักชัน จึงไม่ค่อยพบแมงกานีสที่ละลายออกมามากจนเป็นพิษต่อข้าว

### 2.3.1.7 ทองแดงและสังกะสี

ปริมาณของทองแดง และสังกะสี จะลดลงเมื่ออยู่ในสภาพที่ขังน้ำ โดยทองแดงจะตกตะกอนอยู่กับซัลไฟด์เป็นสารประกอบซัลไฟด์ที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อเกิดการรีดิวซ์รุนแรงทองแดงจะเป็นจาก  $\text{Cu}^{2+}$  ไปเป็น  $\text{Cu}^+$  ทำให้มีความเป็นประโยชน์ที่ลดลง ส่วนสังกะสีเมื่อเกิดการขังน้ำในดินนาค่าความเป็นกรด-ด่างจะถูกปรับให้เข้าใกล้กลางจากปฏิกิริยารีดักชัน ทำให้สังกะสี

อาจจะตกตะกอนเป็นสังกะสีคาร์บอเนต หรือเมื่อสังกะสีเกิดการรีดิวซ์อย่างรุนแรงจะตกตะกอนเป็นสังกะสีซัลไฟด์ได้เช่นเดียวกับทองแดง (อัจฉรา จิตตลดากร และคณะ, 2556)

## 2.4 ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยที่ได้ หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธี ทำให้ขึ้น สับ หมัก บดร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์ แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ (พระราชบัญญัติปุ๋ย, 2550; คำรง จิระสุทัศน์, 2557)

### 2.4.1 ความสำคัญของปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์มีความสำคัญต่อการปรับปรุงดิน เนื่องจากเป็นแหล่งของอินทรีย์วัตถุที่สำคัญและเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทำให้อุณหภูมิดินจับตัวกันเป็นเม็ดดิน ไม่อัดตัวแน่น มีการถ่ายเทอากาศดี การอุ้มน้ำ และการไหลซึมของน้ำในดินดีขึ้น และยังคงให้ธาตุอาหารที่สำคัญพืช โดยทั่วไปปุ๋ยอินทรีย์จะมีธาตุฟอสฟอรัส ธาตุรอง (แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์) และจุลธาตุเพียงพอตามความต้องการของพืชในระยะแรกๆ ปุ๋ยอินทรีย์อาจทำให้พืชมีผลผลิตไม่สูง แต่เมื่อพิจารณาในระยะยาวแล้วผลผลิตของพืชอาจเพิ่มขึ้นเนื่องจากสมบัติดินดีขึ้นเรื่อยๆ (บัญชา รัตนิท, 2552)

ปุ๋ยอินทรีย์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และพืชปุ๋ยสด ซึ่งปุ๋ยคอกมีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารได้รวดเร็ว ส่วนปุ๋ยหมักมีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ช้า (ภาสินี สืบสวน, 2562)

#### 2.4.1.1 ปุ๋ยคอก

ปุ๋ยคอก คือ ปุ๋ยที่ได้จากมูลสัตว์ต่างๆ ซึ่งสัตว์ขับถ่ายออกมาในรูปของแข็งและของเหลว รวมไปถึงสิ่งที่ปูดหรือรองไว้ให้สัตว์ เช่น ฟาง หญ้า แกลบ โดยสิ่งต่างๆ เหล่านี้ต้องผ่านการหมัก สลายตัวก่อนนำไปใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตามคุณภาพของมูลสัตว์ เหล่านี้ในการปลดปล่อยธาตุอาหารได้มาก ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์ชนิดนั้นๆ กินเข้าไป และขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและปัสสาวะของสัตว์จะรวมอยู่ในที่เดียวกัน (บัญชา รัตนิท, 2552) ปุ๋ยคอกโดยปกติทั่วไปจะมีปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ ในปริมาณเฉลี่ยทั่วไปจะมีไนโตรเจนอยู่ประมาณ 0.5% ฟอสฟอรัส 0.25%  $P_2O_5$  และโพแทสเซียม 0.5%  $K_2O$  (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550) นอกจากนี้ปริมาณธาตุอาหารก็จะแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของสัตว์นั้นๆ ยกตัวอย่างแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยคอก

ชนิดมูลสัตว์	ปริมาณธาตุอาหาร (%)		
	ไนโตรเจน (N)	ฟอสฟอรัส (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	โพแทสเซียม (K <sub>2</sub> O)
มูลสุกร	2.69	3.24	1.12
มูลไก่	2.42	6.29	2.11
มูลโค	1.10	0.40	1.60
มูลแพะ	1.03	0.66	0.64
มูลค้างคาว	1.54	14.28	0.60

ที่มา: สำนักงานเกษตรจังหวัดสิงห์บุรี (2555)

#### 2.4.1.2 ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก คือ ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งได้จากการนำวัสดุอินทรีย์ที่เหลือใช้ต่าง ๆ นำมาหมักรวมกันแล้วปรับสภาพให้เกิดการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ จนกระทั่งได้วัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลายสึมน้ำตาลปนดำ (ธงชัย มาลา และอรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, 2541) การสลายตัวกลายเป็นสีน้ำตาลปนดำนี้ เรียกว่า ฮิวมัส ซึ่งปริมาณธาตุอาหารที่สะสมอยู่ในปุ๋ยหมัก จะมีในปริมาณมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุอินทรีย์ที่นำมาหมักทำเป็นปุ๋ย นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสารที่เป็นตัวเร่งการหมัก เช่น เชื้อจุลินทรีย์ ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักจะมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 0.4-2% ฟอสฟอรัส 0.08-1%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> โพแทสเซียม 0.6-3%K<sub>2</sub>O (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550) นอกจากนี้ปริมาณธาตุอาหารก็จะแตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของพืชที่นำมาหมัก ยกตัวอย่างแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมัก

ชนิดปุ๋ยหมัก	ปริมาณธาตุอาหาร (%)		
	ไนโตรเจน (N)	ฟอสฟอรัส (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	โพแทสเซียม (K <sub>2</sub> O)
ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว	0.85	0.11	0.76
ปุ๋ยหมักฟางข้าว+มูลโค	1.51	0.26	0.98
ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา	1.43	0.48	0.47
ปุ๋ยหมักผักตบชวา+มูลสุกร	1.85	4.81	0.79
ปุ๋ยหมักจากขยะเทศบาล	1.52	0.22	0.18

ที่มา: เกษตรก้าวหน้า (2559)

### 2.4.1.3 ปุ๋ยพืชสด

ปุ๋ยพืชสด คือ ปุ๋ยที่ได้จากการไถกลบพืชและคลุกเคล้าลงสู่ดิน เพื่อปรับปรุงสมบัติของดินให้ดีขึ้น โดยได้จากการปลูกพืชบางชนิดเมื่อเจริญเติบโตถึงระยะที่พืชเริ่มออกดอก เมื่อถึงระยะดอกบานจะไถกลบลงในดิน หรือได้จากการไถกลบเศษซากพืช จากต่อช่วงพืชที่เหลือทิ้งในไร่ นา หลังจากซากพืชย่อยสลายโดยสมบูรณ์จึงปลูกพืชหลัก หรือพืชเศรษฐกิจต่อไป (ปัญชา รัตนีทุ, 2552) การพิจารณาคัดเลือกพืชที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นปุ๋ยพืชสด ควรเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ในดินทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินเลวและทนทานต่อสภาพความแห้งแล้งได้ดี เมล็ดมีความงอกที่ดี งอกได้รวดเร็วแม้ความชื้นในดินจะต่ำ การเจริญเติบโตรวดเร็ว ออกดอกได้ในเวลาที่สั้นประมาณ 1-2 เดือน และให้น้ำหนักสดสูง มีความต้านทานต่อโรคและแมลงได้ดี สามารถไถกลบได้ง่าย ลำต้นเปราะ และสลายตัวรวดเร็วเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินสูง กำจัดได้ง่ายและไม่มีลักษณะที่จะเป็นวัชพืชต่อไป นอกจากนี้สามารถเป็นพืชที่ขยายพันธุ์ได้ง่าย เพื่อประโยชน์ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ และเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ใช้ในฤดูต่อไป

ปุ๋ยพืชสด เป็นปุ๋ยอินทรีย์ประเภทหนึ่งที่จะช่วยในการปรับปรุงดินให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น ปุ๋ยพืชสดจึงมีประโยชน์ในการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน ช่วยส่งเสริมกิจกรรมการย่อยสลายซากพืชของจุลินทรีย์ในดิน ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืช การไถกลบปุ๋ยพืชสดที่เป็นพืชตระกูลถั่วจะมีแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในรากพืชสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ ช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในดิน และลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้นอกจากนี้ยังช่วยในการอนุรักษ์ดินและน้ำ พืชที่ปลูกเป็นพืชคลุมดินก็จะช่วยไม่ให้หน้าดินเกิดการชะล้างพังทลายได้ (ปัญชา รัตนีทุ, 2552) ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยพืชสด ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชนั้นๆ โดยพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกันไป (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550) ยกตัวอย่างดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณธาตุอาหารในพืชปุ๋ยสดส่วนใหญ่ที่ไถกลบเมื่ออายุระหว่าง 45-60 วัน

ชนิดพืชปุ๋ยสด	ปริมาณธาตุอาหาร (%)		
	ไนโตรเจน (N)	ฟอสฟอรัส (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	โพแทสเซียม (K <sub>2</sub> O)
ปอเทือง	2.90	0.36	2.44
โสนอัฟริกัน	3.00	0.36	2.78
ถั่วพรี	2.95	0.36	2.21
ถั่วพุ่ม	3.20	0.36	2.92

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2550)

## 2.5 ฟอสฟอรัสในดิน (Phosphorus)

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อร่างกายมนุษย์ สัตว์ และระบบนิเวศ เป็นแร่ธาตุที่พบมากในธรรมชาติในรูปของเกลือฟอสเฟตต่างๆ (เคมีเกษตร, 2561) และจัดเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับพืช เป็นองค์ประกอบของฟอสโพลิพิด ซึ่งเป็นแหล่งที่ให้พลังงานแก่พืช และเป็นองค์ประกอบของนิวคลีโอโปรตีน ซึ่งจะมีความสำคัญในการแบ่งเซลล์ นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของไฟทิน ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นที่สะสมฟอสเฟตในเมล็ดพืช เพื่อให้พืชนำไปใช้ในการสร้างสารพลังงาน (Condrón *et al.*, 2005) ในขณะที่พืชเริ่มงอกแล้ว พืชยังไม่ได้รับธาตุฟอสฟอรัสที่เพียงพอการเจริญเติบโตก็จะถูกจำกัดลงได้ ส่งผลให้ต้นพืชแคระแกร็นแก่ช้ากว่าปกติ การเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของรากมีน้อยลง ดอกและผลไม่สมบูรณ์ ใบและต้นจะมีสีม่วงในทางกลับกันการที่พืชได้รับผลกระทบจากฟอสฟอรัสที่มากเกินไปก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชด้วยเช่นกัน (IRRI, 2018) ซึ่งการใส่ปุ๋ยที่มากเกินไปก็ก่อให้เกิดความเป็นพิษของฟอสฟอรัสได้ ไม่ว่าจะเป็นทั้งปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์

### 2.5.1 ประเภทของฟอสฟอรัสในดิน

โดยธรรมชาติฟอสฟอรัสจะมีในดินอยู่แล้ว จะมากน้อยแล้วแต่พื้นที่ แต่ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ยาก พืชดูดเอาไปใช้ได้บ้าง หรือไม่ได้เลย ฟอสฟอรัสแบ่งออกได้ 2 ประเภท (Renneson *et al.*, 2016) ดังนี้

#### 2.5.1.1 อนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน

สารอนินทรีย์ฟอสเฟต หมายถึง ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของสารประกอบต่างๆ ซึ่งจะมีบทบาทสำคัญต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่คาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งแบ่งได้ตามความเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ 3 ส่วน (นุกูล ถวิลถึง, 2559; สุกัญญา เข้มประชา, 2558) คือ

1 ฟอสฟอรัสในสารละลายดิน คือ เป็นรูปที่มีอยู่ในปริมาณที่น้อย แต่เป็นรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย

2 ฟอสฟอรัสที่ดูดซับอยู่กับผิวคอลลอยด์ดิน คือ เป็นรูปที่จะเป็นประโยชน์ต่อเมื่อเกิดการแลกเปลี่ยน ไอออนที่ผิวคอลลอยด์ดินทำให้ฟอสฟอรัสไอออนหลุดออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช

3 ฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบของแร่ คือ แร่ที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ และแร่ที่มีเหล็กและอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ รูปเหล่านี้จะเป็นประโยชน์อย่างช้าๆ ต้องให้เกิดการผุพังหรือย่อยสลายของแร่ก่อนจึงจะเป็นประโยชน์ต่อพืช

#### 2.5.1.2 อินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน

สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้ยากจึงไม่ค่อยเป็นประโยชน์ต่อพืช สารอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน โดยทั่วไปแล้วพืชยังใช้ประโยชน์ไม่ได้ จึงต้องมีการเปลี่ยนรูป

ฟอสฟอรัสในดิน โดยกระบวนการเปลี่ยนรูปอินทรีย์ให้เป็นอนินทรีย์ เราเรียกว่า Mineralization และเปลี่ยนรูปอนินทรีย์ให้เป็นอินทรีย์นั้น เรียกว่า Immobilization ซึ่งทั้งสองขบวนการนี้จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ดังนั้นการรักษาปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในสารละลายดิน จึงขึ้นอยู่กับกระบวนการทั้งสองกระบวนการที่มีทิศทางตรงข้ามกัน (Sharpley and Smith, 1985)

ปริมาณและปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน ปริมาณของอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินแตกต่างกันไปตามดินชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและส่วนประกอบของดิน ส่วนใหญ่พบอินทรีย์ฟอสฟอรัสในเปอร์เซ็นต์ที่สูงในดินพรุ (Peats) และดินป่าไม้ที่ยังไม่ถูกรบกวน แต่ในดินเขตร้อนหลายๆ ชนิดและดินทุ่งหญ้าบางชนิดก็มีอินทรีย์ฟอสฟอรัสอยู่มาก ส่วนในดินที่ทำการเกษตรที่มีการใช้ปุ๋ยมักมีอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่มากกว่าอินทรีย์ฟอสฟอรัส ปริมาณและปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัส ได้แก่ สารต้นกำเนิดดิน ภูมิอากาศ การระบายน้ำ การเกษตรกรรม pH และระดับความลึกของดิน

## 2.6 รูปของฟอสฟอรัส (Phosphorus fraction)

รูปของฟอสฟอรัสในดิน มีความสำคัญต่อการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสไปเป็นส่วนที่พืชใช้ประโยชน์ได้ หรือเข้าสู่สิ่งแวดล้อม (Renneson *et al.*, 2016) รวมไปถึงการสูญเสียฟอสฟอรัสในดินได้ ซึ่งการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดเพิ่มเข้าไปในดิน สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อรูปของฟอสฟอรัส และอัตราการสะสมฟอสฟอรัสในดินได้ (Yan *et al.*, 2017) การวิเคราะห์รูปของฟอสฟอรัสในดิน มีการวิเคราะห์หลายวิธี ในแต่ละวิธีการวิเคราะห์มักจะมีวิธีที่คล้ายกัน โดยการใช้ น้ำยาสกัดสกัดฟอสฟอรัสในรูปแบบต่างๆ น้ำยาสกัดที่นิยมใช้ ได้แก่ การสกัดด้วยน้ำ ( $H_2O-P$ ) สกัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ง่ายด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตทั้งรูปอินทรีย์ ( $NaHCO_3-Po$ ) และอนินทรีย์ ( $NaHCO_3-Pi$ ) สกัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ปานกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั้งรูปอินทรีย์ ( $NaOH-Po$ ) และอนินทรีย์ ( $NaOH-Pi$ ) สกัดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้อย่างช้าๆ ด้วยไฮโดรคลอริก ( $HCl-P$ ) และวิเคราะห์ฟอสฟอรัสส่วนที่เหลือ (Residual-P) จะได้ฟอสฟอรัสในรูปแบบที่ไม่เป็นประโยชน์หรือเป็นประโยชน์ได้ช้ามาก (Maranguit *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2014; Jin *et al.* 2013) การศึกษารูปของฟอสฟอรัสสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาจัดการธาตุฟอสฟอรัสให้เพียงพอแก่ความต้องการของพืช และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามชนิดของปุ๋ยมียุทธศาสตร์อย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของฟอสฟอรัส

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บงการ พันธุ์เพ็ง และคณะ (2557) ทำการทดสอบวิจัยและพัฒนาระบบการปลูกพืชหลังนาในเขตน้ำใต้ดินชั้น เขตใช้น้ำฝน จังหวัดอุบลราชธานี ได้พัฒนาการปลูกพืช 3 ระบบ ในปี 2554/55 คือ 1.) ปลูกข้าวเพียงอย่างเดียว 2.) ปลูกข้าว-ถั่วลิสง และ 3.) ปลูกข้าว-ข้าวโพด รายงานผลการทดลองว่า การปลูกถั่วลิสงหลังนาทำให้เกษตรกรมีรายได้เฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากกว่าการปลูกข้าวโพดหลังนา เกษตรกรในพื้นที่จึงเลือกระบบการปลูกข้าว-ถั่วลิสง เนื่องจากเหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจ พื้นที่เขตน้ำใต้ดินชั้น และเขตพื้นที่ใช้น้ำฝน

เกษตร สันติวงศ์ และคณะ (2561) ทำการศึกษาการเปรียบเทียบการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของพืชตระกูลถั่ว 4 ชนิด ในชุดดินสนทราย จากการทดลองใช้พืช 4 ชนิด คือ ปอเทือง ถั่วพุ่ม ถั่วพรี ถั่วเขียว รายงานผลการศึกษาว่า ถั่วพุ่มสามารถคืนฟอสฟอรัสสู่ดิน (73 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ได้มากกว่าพืชชนิดอื่น เมื่อสิ้นสุดการทดลองในชุดดินสนทรายพบว่า ปอเทืองให้ชีวมวลสูงสุด แต่ถั่วพุ่มและถั่วพรี สามารถเพิ่มฟอสฟอรัสและอินทรีย์วัตถุในดินได้สูงกว่าพืชชนิดอื่น

ญาณิน สุปะนา และคณะ (2554) ทำการทดสอบระบบการปลูกพืชหลังนาในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น โดยทดสอบการปลูกมันสำปะหลังหลังนา 5 ราย การปลูกถั่วเขียวหลังนา 4 ราย และการปลูกถั่วลิสงหลังนา 11 ราย รายงานผลการศึกษาว่า การปลูกมันสำปะหลังหลังนาให้ผลที่ไม่แตกต่างจากวิธีของเกษตรกร ถั่วเขียวหลังนาให้ผลตอบแทนที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่วนการปลูกถั่วลิสงหลังนาให้ผลตอบแทนที่มากกว่าเดิมอย่างเห็นได้ชัดเจน

Wang *et al.* (2016) ทำการศึกษาการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์แหล่งฟอสฟอรัสต่อความเสี่ยงในการสูญเสียฟอสฟอรัสสู่สิ่งแวดล้อมของมูลสัตว์ในแต่ละชนิด ทำการทดลองโดยเลือกใช้มูลสัตว์ที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน คือ มูลวัวที่เป็นของแข็ง มูลวัวที่เป็นของเหลว มูลสุกรที่เป็นของเหลว และมูลสัตว์ปีกที่เป็นของแข็ง รายงานผลการศึกษาว่า มูลสัตว์ที่เป็นของเหลวส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์สูงกว่ามูลสัตว์ที่เป็นของแข็ง และมูลสุกรส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์สูงกว่ามูลวัว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ อาหาร การดูแล และอายุของสัตว์นั้นๆ

Pizzeghello *et al.* (2016) ทำการศึกษาในเรื่องของความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสในดินและการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในดิน 3 ชนิด คือ ดินทราย ดินเหนียว และดินพีท หลังจากการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักจากขยะ รายงานผลการทดลองว่า การใช้ปุ๋ยหมักจากขยะส่งผลให้มีฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นในดินทั้ง 3 ชนิด ดินเหนียวมีการดูดซับฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณสูงที่สุดที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร แต่ในดินทรายจะมีฟอสฟอรัสที่ดูดซับอยู่ในปริมาณที่ต่ำที่สุด ซึ่งเป็นสาเหตุให้ดินทรายเกิดการชะละลายของฟอสฟอรัสได้ง่ายกว่า ดินเหนียว และดินพีท

Maranguit *et al.* (2017) ทำการศึกษาในเรื่อง ผลของแปลงปลูกพืชระยะยาวต่อรูปของฟอสฟอรัสในสภาพดินเขตร้อน ในการทดลองใช้พื้นที่ดิน 3 พื้นที่ คือ แปลงปลูกสวนยางไม่

หนาแน่น แปลงปลูกสวนยางที่หนาแน่น และแปลงปลูกปาล์มน้ำมันที่หนาแน่น รายงานว่า มีฟอสฟอรัสในรูปอนินทรีย์ฟอสฟอรัสอยู่ประมาณ 60-85% ในทั้ง 3 แปลง การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มเข้าไปจะทำให้รูปของฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ได้ง่าย (ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูป  $H_2O-Pi$   $NaHCO_3-Pi$  และ  $Po$ ) ในแปลงปลูกสวนยางที่หนาแน่น และแปลงปลูกปาล์มน้ำมันที่หนาแน่น และรูปของฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกต่อปริมาณคาร์บอนในดิน แสดงให้เห็นว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุมีบทบาทสำคัญในการเก็บรักษาความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินได้

Sharpley and Smith (1985) ทำการศึกษารูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสและอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินที่มีการเพาะปลูก และไม่มีการเพาะปลูก รายงานว่า รูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสและอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินมีค่าที่ไม่คงที่ แต่รูปอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะถูกดูดซับอยู่กับดินที่มีการเพาะปลูกได้มากกว่าดินที่ไม่มีการเพาะปลูกเนื่องจากสภาพดินที่มีการเพาะปลูกมีอินทรีย์วัตถุอยู่ในปริมาณที่สูง จึงสามารถดูดซับหรือกักเก็บปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสได้มาก และยาวนานขึ้น

Jin *et al.* (2013) ทำการศึกษารูปของฟอสฟอรัส การดูดซับและการปลดปล่อยฟอสเฟตของตะกอนในอ่างเก็บน้ำปากแม่น้ำแยงซี ประเทศจีน รายงานว่า รูปของฟอสฟอรัสในตะกอนดินของอ่างเก็บน้ำจะอยู่ในรูปที่สกัดได้ด้วยไฮโดรคลอริก ( $HCl-P$ ) มากที่สุด และตามมาด้วยรูปที่เป็นอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่สกัดได้ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $NaOH-Po$ ) แสดงให้เห็นว่ารูปของฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ดูดซับอยู่กับ แคลเซียมฟอสเฟต เหล็ก และอะลูมิเนียมออกไซด์ ฟอสฟอรัสเหล่านี้จึงมีโอกาสเคลื่อนย้ายและสามารถปนเปื้อนน้ำในอ่างเก็บน้ำได้

Xin *et al.* (2017) ทำการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ในระยะยาวต่อผลผลิตประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสในระบบการปลูกข้าวสาลี-ข้าวโพด รายงานผลการทดลองว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สะสมอยู่ที่ผิวดินได้สูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลให้มีฟอสฟอรัสกักเก็บอยู่ในดินได้ยาวนานและมีปริมาณที่มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี

Li *et al.* (2014) ทำการศึกษาค้นคว้าผลของการใช้ปุ๋ยมูลสุกรต่อรูปของฟอสฟอรัสและกิจกรรมของ Phosphomonoesterase ในดินนา ทำการทดลองโดยใช้มูลสุกรในปริมาณต่ำ ปานกลาง และสูง รายงานผลการทดลองว่า การใช้มูลสุกรส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นและสะสมอยู่ในดินได้นานขึ้น โดยการใส่ในอัตราปานกลาง และสูงให้ผลที่ไม่แตกต่างทางสถิติ ในดินนาที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร มีฟอสฟอรัสที่สกัดด้วยไฮโดรคลอริก ( $HCl-P$ ) อยู่ในปริมาณที่มากกว่ารูปอื่นและเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ยาก ส่วนดินในระดับความลึก 20-100 เซนติเมตร พบว่ารูปของฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปส่วนที่เหลือในดิน ( $residual-P$ ) ซึ่งรูปนี้จะไม่เป็นประโยชน์สำหรับพืชเลย

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง แต่ละการทดลองมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

**การทดลองที่ 1** การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมฟอสฟอรัสในดิน

**การทดลองที่ 2** การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงรูปฟอสฟอรัสในระบบการปลูกพืชหลังนาที่แตกต่างกัน

#### 3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมฟอสฟอรัสในดิน

##### 3.1.1 ดิน และปุ๋ยอินทรีย์

ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นตัวอย่างดินจากการทดลองของ ภาสินี สืบสวน (2562) ชุดดินเป็นชุดดินบางกอก เก็บจากพื้นที่เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นดินที่ผ่านการใช้ปุ๋ยอินทรีย์มาแล้ว 2 ชนิด คือ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และการใช้ปุ๋ยหมักร่วมกัน เนื่องจากปุ๋ยคอกมีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารได้รวดเร็ว ส่วนปุ๋ยหมักมีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ช้า มี 7 ทริตเมนต์ที่ 3 ซ้ำ ปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึง มิถุนายน 2561 ในทุกทริตเมนต์ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามความต้องการไนโตรเจนที่ 12 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ทำให้ได้รับปริมาณธาตุไนโตรเจนใกล้เคียงกัน แต่ได้รับธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมแตกต่างกันตามชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ โดยทริตเมนต์ที่ได้ใส่ปุ๋ยมูลโคได้รับฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูงที่สุด รองลงมา คือ ทริตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยมูลโค+ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยหมัก ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ 1.3) ทำให้พบว่าดินหลังการทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ระดับที่สูงในดินนา (ภาสินี สืบสวน, 2562) ซึ่งการประเมินความเสี่ยงการชะละลายฟอสฟอรัสซึ่งสกัดด้วยน้ำยาสกัด Bray II (Bray-2 P critical value) เท่ากับ 43.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การที่ปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในระดับที่สูงอาจก่อให้เกิดการชะละลายสู่สิ่งแวดล้อม (ปรีชวณี พิษารุง, 2558) ในดินหลังการทดลองของ ภาสินี สืบสวน (2562) พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 41.70-48.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.1) ซึ่งอยู่ในระดับที่สูงและเสี่ยงต่อการชะละลาย และอาจลดความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารอื่นได้ จึงได้นำมาศึกษาต่อในเรื่องผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมฟอสฟอรัสในดิน

### 3.1.2 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design) กำหนดให้มี 7 ทริตเมนต์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ดังนี้

1. ดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าว-ข้าว (Control\_RRR)
2. ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP\_RMM)
3. ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (CP\_RMS)
4. ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (MN\_RMM)
5. ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS)
6. ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก+มูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP+MN\_RMM)
7. ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก+มูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (CP+MN\_RMS)

ปลูกพืชในทุกทริตเมนต์ 4 รอบ เพื่อให้ครบระยะเวลา 1 ปี โดยรอบที่ 1 ปลูกพืชเดือนกรกฎาคม-พฤศจิกายน 2561 รอบที่ 2 เดือนมกราคม-เมษายน 2562 รอบที่ 3 เดือนเมษายน-สิงหาคม 2562 และรอบที่ 4 ช่วงเดือนกันยายน-ธันวาคม 2562 รายละเอียดชนิดของพืชในแต่ละรอบแสดงในตารางที่ 3.1 พืชที่ใช้ในการทดลอง คือ ข้าวพันธุ์ กข43 ข้าวโพดหวานพันธุ์หวานดอกคูณ และถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60

ตารางที่ 3.1 ระบบการปลูกพืชหลังนาในการทดลองแต่ละทริตเมนต์

Treatment	Cropping system			
	Crop 1	Crop 2	Crop 3	Crop 4
Control_RRR	Rice	Rice	Rice	Rice
CP_RMM	Rice	Maize	Maize	Rice
CP_RMS	Rice	Maize	Soybean	Rice
MN_RMM	Rice	Maize	Maize	Rice
MN_RMS	Rice	Maize	Soybean	Rice
CP+MN_RMM	Rice	Maize	Maize	Rice
CP+MN_RMS	Rice	Maize	Soybean	Rice

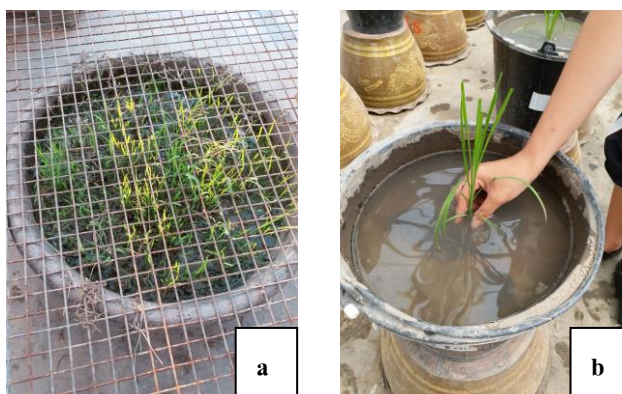
ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปยูเรีย (46-0-0) และใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในรูปโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ให้เพียงพอต่อความต้องการของพืชในทุกฤดูปลูก โดยการปลูกข้าวใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ที่อัตรา 39 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ในระยะปักดำ และก่อนข้าวตั้งท้อง

ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ที่อัตรา 10 กิโลกรัม  $K_2O$  ต่อไร่ ใส่ครั้งเดียวในระยะปักดำ การปลูกข้าวโพดหวานใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ที่อัตรา 18 กิโลกรัมในโตรเจนต่อไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ในระยะถอนแยกต้นกล้า และระยะออกไหม ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ที่อัตรา 15 กิโลกรัม  $K_2O$  ต่อไร่ ใส่ครั้งเดียวในระยะถอนแยกต้นกล้า การปลูกถั่วเหลืองไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มในทุกทริตमेंท์

### 3.1.3 ขั้นตอนการปลูกพืชหลังนา

#### 3.1.3.1 ขั้นตอนการปลูกข้าว (รอบที่ 1 และ 4)

ดินในกระถางจากการทดลองของ ภาสินี สืบสวน (2562) มีประมาณ 9 กิโลกรัม เติมน้ำในกระถางทุกทริตमेंท์ให้ดินอยู่ในสภาพน้ำขังและคนดินให้เป็นเนื้อเดียวกันทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 14 วัน เพื่อเตรียมการปลูกข้าว การเพาะข้าวพันธุ์ กข43 นำเมล็ดข้าวไปแช่น้ำ 1 คืน นำขึ้นมาพักไว้ 1 คืน เพื่อให้เมล็ดงอก เมื่อเมล็ดงอกนำไปหว่านในถาดเพาะข้าว (รูปที่ 3.1a) และย้ายปลูกลงกระถางเมื่อข้าวอายุ 20 วัน โดยเลือกต้นที่สมบูรณ์ที่สุดปักดำลงในกระถาง 3 ต้นต่อกระถาง (รูปที่ 3.1b)



รูปที่ 3.1 การเพาะกล้าก่อนปักดำ (a) และการปักดำข้าวเมื่อข้าวอายุ 20 วัน (b)

วัดการเจริญเติบโตของข้าวหลังจากการย้ายปลูกในทุกๆ สัปดาห์ โดยนับจำนวนหน่อต่อกระถาง วัดความสูงของต้นข้าวจากส่วนเหนือดินถึงปลายใบข้าว และวัดค่าความเขียวของใบ โดยวัดใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ (ณิญา ปันดอนไฟ และคณะ, 2556) วัดด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (ยี่ห้อ Minolta รุ่น SPAD-502 Plus) (Johnkuty and Palaniappan, 1995; Ramesh *et al.*, 2002) การปลูกข้าวรอบที่ 1 เริ่มเพาะปลูกข้าวในวันที่ 26 กรกฎาคม 2561 ปักดำข้าววันที่ 15 สิงหาคม 2561 และเก็บเกี่ยวในวันที่ 6 พฤศจิกายน 2561 ข้าวมีอายุ 104 วัน การปลูกข้าวรอบที่ 4 เริ่มเพาะปลูกข้าวในวันที่ 5 กันยายน 2562 ปักดำข้าววันที่ 25 กันยายน 2562 และเก็บเกี่ยวในวันที่ 27 ธันวาคม 2562 ข้าวมีอายุ 113 วัน เก็บผลผลิตในส่วนเหนือดินทั้งหมด บันทึกข้อมูล จำนวนรวง

ต่อกระถาง จำนวนหน่อต่อกระถาง น้ำหนักเมล็ดดีและลีบ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด น้ำหนักสดและแห้งของเมล็ดและตอซัง



รูปที่ 3.2 การเจริญเติบโตของข้าวในระยะแตกกอสูงสุด (a) และการเจริญเติบโตของข้าวในระยะออกรวง (b)

### 3.1.3.2 ขั้นตอนการปลูกข้าวโพดหวาน

หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตของข้าวรอบที่ 1 ที่งอกได้ 14 วัน พรวนดินในแต่ละทริตพื้นที่ไม่ให้เนื้อดินแน่นจนเกินไป หยอดเมล็ดข้าวโพดในกระถางทริตพื้นที่ละ 5 เมล็ด เมื่อเมล็ดงอกจึงเริ่มนับข้าวโพดอายุ 1 วัน ถอนแยกต้นเมื่อข้าวโพดอายุ 14 วัน ให้เหลือข้าวโพดจำนวน 1 ต้นต่อกระถาง (รูปที่ 3.3a) เมื่อข้าวโพดออกช่อดอกจะทำการคลุมช่อดอกด้วยถุงกระดาษเพื่อรอมผสมเกสรในช่วงที่ข้าวโพดออกไหม (รูปที่ 3.3b) รอจนกว่าไหมข้าวโพดเป็นสีน้ำตาลจึงเก็บผลผลิตได้



รูปที่ 3.3 การเจริญเติบโตของข้าวโพดอายุ 14 วัน ก่อนถอนแยกต้น (a) และการคลุมช่อดอกข้าวโพดเพื่อผสมเกสร (b)

วัดการเจริญเติบโตของข้าวโพดหลังจากการย้ายปลูกในทุกๆ สัปดาห์ โดยวัด ความสูงของต้นข้าวโพดจากส่วนเหนือดินถึงโคนใบธงข้าวโพด (กนกวรรณ นพพันธ์ และ ชุชาติ สันธิทรัพย์, 2559) และวัดค่าความเขียวของใบ โดยวัดใบบนที่เจริญเต็มที่ในช่วงข้าวโพดอายุ 0-56 วัน ซึ่งเป็นระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ วัดด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (ยี่ห้อ Minolta รุ่น SPAD-502 Plus) (Argenta *et al.*, 2004) หยอดเมล็ดข้าวโพดในวันที่ 17 มกราคม 2562 แยกต้น ข้าวโพดวันที่ 1 มีนาคม 2562 และเก็บเกี่ยวในวันที่ 10 เมษายน 2562 ข้าวโพดมีอายุ 83 วัน เก็บ ผลผลิตในส่วนเหนือดินทั้งหมด บันทึกข้อมูล จำนวนฝักต่อต้น น้ำหนักสดและแห้งของฝักและลำ ต้นข้าวโพด

### 3.1.3.3 ขั้นตอนการปลูกถั่วเหลือง

หลังจากการเก็บเกี่ยวพืชในรอบที่ 2 ทำการพรวนดินในแต่ละทริตเว้นที่ไม่ให้ เนื้อดินแน่นจนเกินไป หยอดเมล็ดถั่วเหลืองในกระถางทริตเว้นที่ละ 5 เมล็ด เมื่อเมล็ดงอกจึงเริ่ม นับถั่วเหลืองอายุ 1 วัน ทำการถอนแยกต้นเมื่อถั่วเหลืองอายุ 14 วัน ให้เหลือถั่วเหลืองจำนวน 1 ต้น ต่อกระถาง เช่นเดียวกับข้าวโพด (รูปที่ 3.4a) ในช่วงที่ถั่วเหลืองเจริญเติบโตใช้เชือกเป็นราวเพื่อให้ ถั่วเหลืองเจริญเติบโตไปได้จนถึงระยะการเก็บเกี่ยว (รูปที่ 3.4b)



รูปที่ 3.4 การเจริญเติบโตของเมื่อถั่วเหลืองอายุ 14 วัน (a) และระยะออกฝัก (b)

วัดการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองหลังจากการย้ายปลูกในทุกๆ สัปดาห์ โดยวัด ความสูงของต้นถั่วเหลืองจากส่วนเหนือดินถึงปลายยอดถั่วเหลือง และวัดค่าความเขียวของใบ โดย วัดด้วยวัดใบที่เจริญเต็มที่นับจากส่วนยอด วัดระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative stage) จนถึงระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (Reproductive stage) (ประสงค์ โยระภัทร และคณะ, 2556) วัดด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (ยี่ห้อ Minolta รุ่น SPAD-502 Plus) (Fritschi and Ray, 2007) เริ่มหยอดเมล็ดถั่วเหลืองในวันที่ 26 เมษายน 2562 แยกต้นถั่วเหลืองวันที่ 10 พฤษภาคม

2562 และเก็บเกี่ยวในวันที่ 1 สิงหาคม 2562 ถั่วเหลืองมีอายุ 97 วัน เก็บผลผลิตในส่วนเหนือดินทั้งหมด บันทึกข้อมูล จำนวนฝักต่อต้น น้ำหนักสดและแห้งของฝักและลำต้นถั่วเหลือง

### 3.1.4. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดิน

เก็บตัวอย่างดินก่อนการทดลอง และหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชทั้ง 4 รอบของแต่ละวิธีดินทั้งหมด รวมตัวอย่างดินทั้งหมด 5 รอบ โดยใช้ Soil tube สุ่มเก็บตัวอย่างให้ทั่วกระถางที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินมาผึ่งลมให้แห้ง บดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำตัวอย่างมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดิน ดังนี้

#### 3.1.4.1 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ชั่งดิน 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร (อัตราส่วนดินต่อน้ำที่ 1:1) คนให้เข้ากันทิ้งไว้ 30 นาที นำตัวอย่างมาวัดค่าความเป็นกรดด่างด้วยเครื่อง pH meter (Richards, 1954; กรมพัฒนาที่ดิน, 2544)

#### 3.1.4.2 วิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray II)

ชั่งดิน 2.5 กรัม ใส่ น้ำยาสกัด Bray II 25 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 40 วินาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และนำมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยวิธี Molybdenum blue และวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Bray and Kurtz, 1945)

#### 3.1.4.3 วิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P)

ชั่งดิน 0.25xx กรัม เติมกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) และเปอร์คลอริก ( $\text{HClO}_4$ ) ในอัตราส่วน 2:1 ย่อยดินที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส เมื่อสารละลายลดลงให้เติมกรดเปอร์คลอริกอีกประมาณ 2 รอบ และย่อยจนสารละลายเป็นสีใสและตัวอย่างดินเป็นสีขาว นำตัวอย่างปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร และกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 นำสารละลายที่ได้มาวัดด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) (McKeague, 1978)

#### 3.1.4.4 การวิเคราะห์พืช

ชั่งพืช 0.25xx กรัม นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำมาเติม Aqua regia (กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) และกรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) ในอัตราส่วน 1:3) ทิ้งไว้ 1 คืน แล้วปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้มาวัดด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) (Nieuwenhuize *et al.*, 1991)

#### 3.1.4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple-range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง (T-test) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

ทางสถิติ คำนวณการดูดใช้ฟอสฟอรัส (Uptake P) และประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัส (Physiological efficiency of applied P,  $PE_p$ ) โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{Uptake P (g/pot)} = (\text{Concentration P (\%)} \times \text{DM (g/pot)}) / 100$$

โดยค่า Concentration P คือ ความเข้มข้นของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช (%) และ DM คือ น้ำหนักแห้งทั้งหมด (g/pot) (Marcante *et al.* 2016)

$$PE_p \text{ (g/pot)} = (\text{Yield P} - \text{Yield control}) / (\text{Uptake P} - \text{Uptake control})$$

โดยค่า Yield P คือ ผลผลิตทั้งหมดในทรีตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ย Yield control คือ ผลผลิตทั้งหมดในทรีตเมนต์ควบคุม Uptake P คือ การดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมดในทรีตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ย และ Uptake control คือ การดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมดในทรีตเมนต์ควบคุม (Dobermann, 2005)

## 3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงรูปฟอสฟอรัสในระบบการปลูกพืชหลังนาที่แตกต่างกัน

### 3.2.1 การเก็บตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินในการทดลองเป็นตัวอย่างดินจากการทดลองที่ 1 โดยเก็บตัวอย่างดินก่อนการทดลอง และหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตพืชทั้ง 4 รอบของแต่ละทรีตเมนต์ รวมทั้งรวมตัวอย่างดินทั้งหมด 5 รอบ โดยในแต่ละรอบการปลูกพืชจะใช้หลอดเจาะดิน (Soil tube) สุ่มเก็บตัวอย่างให้ทั่วกระถางที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินมาผึ่งลมให้แห้ง บดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อนำมาวิเคราะห์หุ้รูปของฟอสฟอรัสในดิน

### 3.2.2 การวิเคราะห์หุ้รูปของฟอสฟอรัส

แนวทางการวิเคราะห์หุ้รูปของฟอสฟอรัสในดินมีการพัฒนามาจากวิธีของ Hedley (Li *et al.*, 2014) ขั้นตอนการวิเคราะห์หุ้รูปของฟอสฟอรัสแสดงในรูปที่ 3.5 โดยวิธีการวิเคราะห์แบ่งตามความเป็นประโยชน์ ดังนี้

#### 3.2.2.1 ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ได้ง่าย

ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ได้ง่าย คือ รูปที่สกัดด้วยน้ำ ( $H_2O-P$ ) เป็นรูปที่อยู่ในสารละลายดิน รูปที่สกัดด้วยโซเดียม ไบคาร์บอเนตในรูปอนินทรีย์ ( $NaHCO_3-Pi$ ) เป็นรูปที่ดูดซับอยู่ที่ผิวคอลลอยด์ดิน และรูปที่สกัดด้วยโซเดียม ไบคาร์บอเนตในรูปอินทรีย์ ( $NaHCO_3-Po$ ) เป็นรูปที่ดูดซับอยู่กับสารอินทรีย์ในดินจะต้องเกิดกระบวนการ mineralization จึงจะเป็นประโยชน์

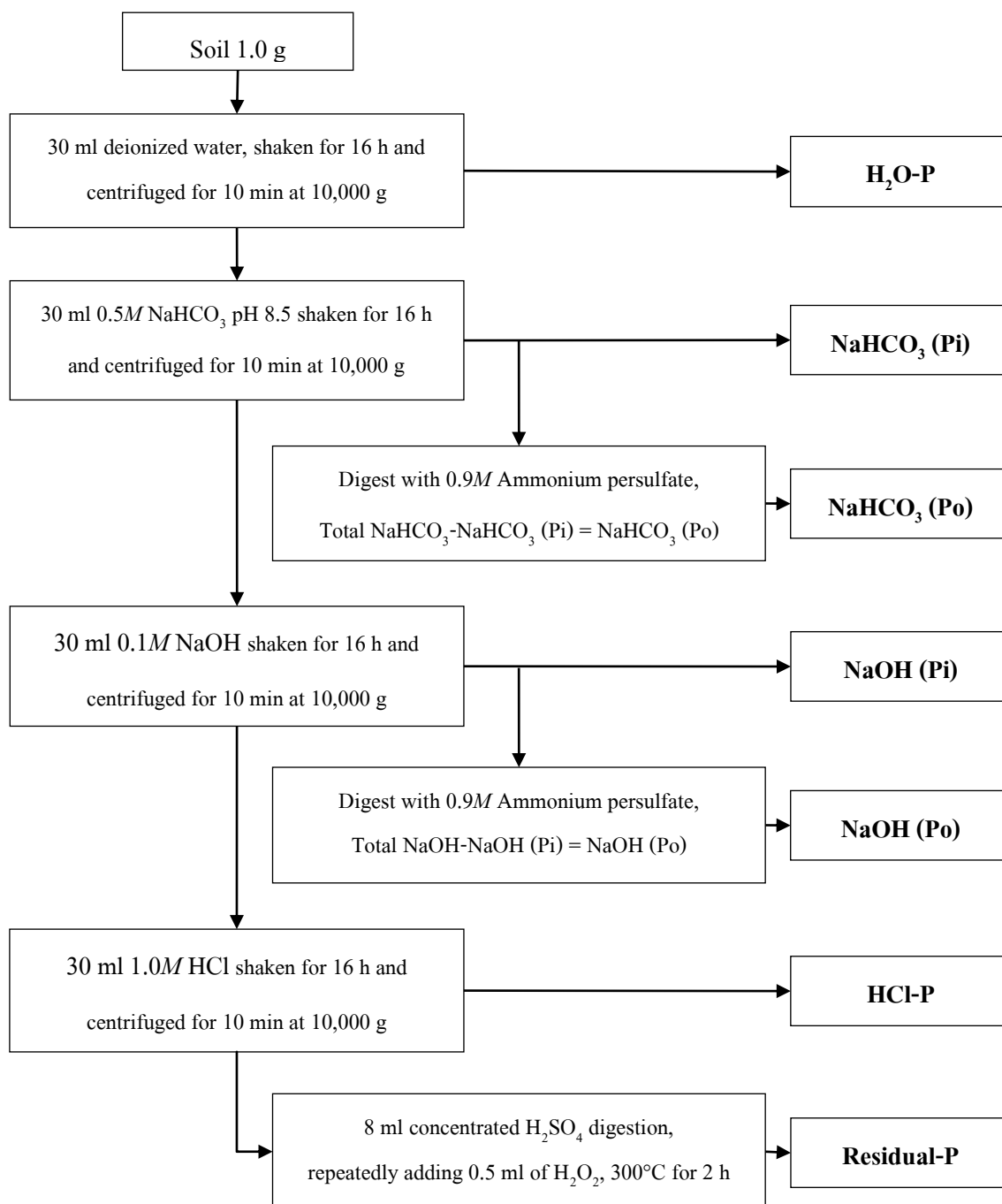
#### 3.2.2.2 ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ได้ปานกลาง

ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ได้ปานกลาง คือ รูปที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ในรูปอนินทรีย์ ( $NaOH-Pi$ ) เป็นรูปที่ดูดซับอยู่กับเหล็กและอะลูมิเนียมออกไซด์ และรูปที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ในรูปอินทรีย์ ( $NaOH-Po$ ) เป็นสารอินทรีย์ที่อยู่กับฮิวมิก และกรดฟลูวิก จะต้องเกิดกระบวนการ mineralization จึงจะเป็นประโยชน์

#### 3.2.2.3 ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ได้ยาก

ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ได้ยาก คือ รูปที่สกัดด้วยไฮโดรคลอริก ( $HCl-P$ ) เป็นรูปที่เป็นองค์ประกอบของแร่อะพาไทต์ และแคลเซียมฟอสเฟต จะเป็นรูปที่เป็นประโยชน์อย่างช้าๆก็เกิดการผุพังหรือย่อยสลายก่อน และฟอสฟอรัสส่วนที่เหลือ (Residual-P) เป็นรูปที่เป็นประโยชน์ได้ต่ำมาก

### ขั้นตอนการวิเคราะห์รูปของฟอสฟอรัส



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์รูปของฟอสฟอรัสในดินมีการพัฒนามาจากวิธีของ Hedley  
ที่มา: ดัดแปลงจาก Li *et al.* (2014)

### 3.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำรูปของฟอสฟอรัสในดินแต่ละรอบการปลูกพืช มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple-range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมฟอสฟอรัสในดิน

##### 4.1.1 สมบัติดินก่อนการทดลอง

ผลการวิเคราะห์สมบัติดินก่อนการทดลองพบว่า ปริมาณธาตุอาหารในทุกพริตเมนต์ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้น ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (MN\_RMM) มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับพริตเมนต์อื่น มีค่าเท่ากับ 119.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจเป็นผลมาจากปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยมูลโคมีอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าปุ๋ยหมักจึงทำให้โพแทสเซียมคงเหลืออยู่ในดินสูง (ตารางที่ 4.1) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) อยู่ในระดับปานกลาง มีค่าอยู่ในช่วง 6.96-7.23 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity; EC) อยู่ในช่วง 0.07-0.15 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จัดอยู่ในระดับไม่เค็มและไม่เป็นอันตรายต่อพืช (< 2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) อินทรีย์วัตถุ (OM) อยู่ในช่วง 40.12-43.83 กรัมต่อกิโลกรัม และไนโตรเจนทั้งหมด (Total N; TN) อยู่ในช่วง 1.97-2.19 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) อยู่ในช่วง 41.70-48.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งค่าความเสี่ยงการชะละลายฟอสฟอรัสสู่สิ่งแวดล้อม (Bray-2 P leaching critical value) เท่ากับ 43.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงให้เห็นว่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีความเสี่ยงที่จะชะละลายลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ (ปรัชวณี พิบูรณ์, 2558) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P; TP) อยู่ในช่วง 0.20-0.29 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์และทั้งหมดอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการปลูกข้าว การที่ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ของดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ไม่แตกต่างจากพริตเมนต์ควบคุม อาจเป็นอิทธิพลมาจากการขังน้ำก่อให้เกิดกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของเหล็ก และอะลูมิเนียมฟอสเฟตทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้น (สุกัญญา เข้มประชา, 2554; Hinsinger, 2001; Renneson *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตามฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในพริตเมนต์ควบคุมมีแนวโน้มต่ำกว่าพริตเมนต์ที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นก่อนการทดลอง

Treatment	pH <sub>(1:1)</sub>	EC <sub>(1:5)</sub> (mS/cm)	OM ----- (g/kg) -----	TN	TP	TK	Available	Exchangeable (mg/kg)				Extractable (mg/kg)			
							P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
							----- (mg/kg) -----								
Control_RRR	7.08	0.10	40.95	2.10	0.25	5.52	41.70	66.90b	2841.29	610.95	262.72	348.76	25.02	0.62	1.59
CP_RMM	7.12	0.07	40.66	2.07	0.24	6.27	42.43	64.42b	3462.10	539.78	206.30	348.70	27.20	0.63	1.46
CP_RMS	7.23	0.08	41.38	2.06	0.29	6.30	45.97	64.15b	3201.43	571.98	219.76	353.79	25.55	0.50	1.45
MN_RMM	7.13	0.12	40.29	1.99	0.20	5.10	48.93	119.36a	3118.61	592.29	241.62	340.26	29.47	0.62	1.88
MN_RMS	6.96	0.14	40.12	1.97	0.25	6.10	44.23	90.60b	3013.39	598.69	246.25	351.58	30.81	1.21	1.89
CP+MN_RMM	7.01	0.15	43.83	2.19	0.27	5.90	47.70	84.31b	3591.68	589.13	254.93	348.79	27.24	2.75	1.49
CP+MN_RMS	6.99	0.14	41.91	2.13	0.20	5.01	45.97	78.62b	3205.77	568.16	209.41	346.54	34.67	2.39	2.21
<b>F-test</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	1.89	34.4	4.90	7.40	31.21	15.29	16.11	14.66	8.20	7.40	9.16	3.60	26.00	41.77	21.90

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

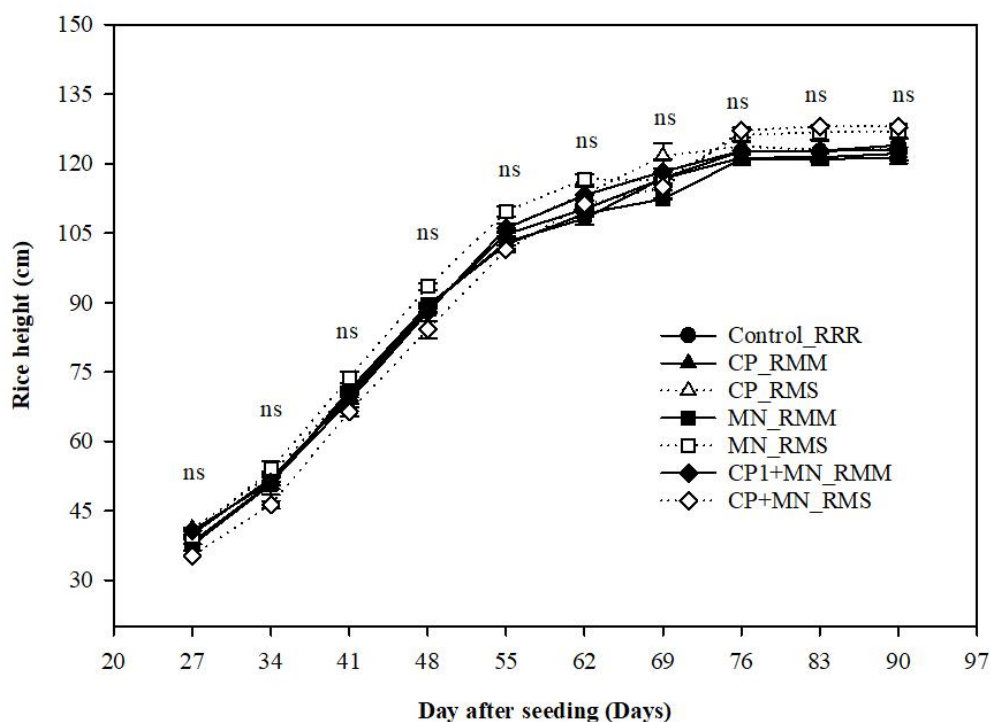
#### 4.1.2 การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของพืช

ปลูกพืช 4 รอบ เพื่อให้ครบรอบการปลูกพืชเป็นระยะเวลา 1 ปี โดยจัดระบบการปลูกพืชเป็น 3 รูปแบบ คือ ระบบปลูกข้าว-ข้าว-ข้าว ระบบปลูกข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด และระบบปลูกข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง โดยมีระบบปลูกข้าว-ข้าว-ข้าว ในดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์เป็นทริตเมนต์ควบคุม

##### 4.1.2.1 การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวรอบที่ 1

###### 1. การเจริญเติบโตของข้าวรอบที่ 1

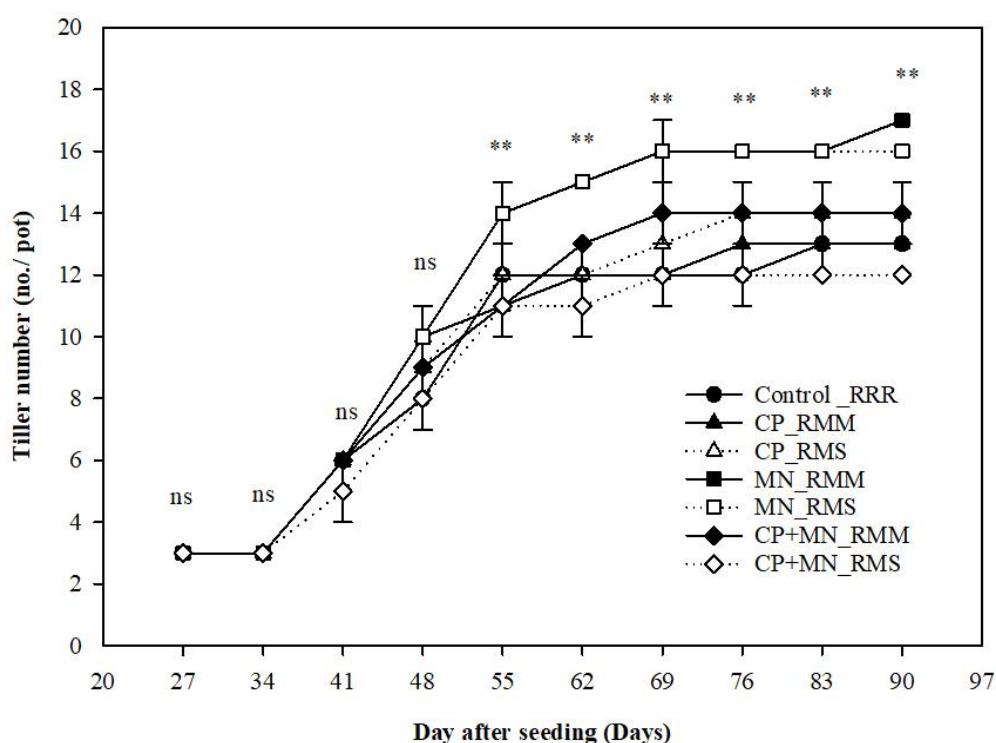
ความสูงของข้าวในการปลูกรอบที่ 1 พบว่าความสูงของข้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 27-62 วัน เริ่มคงที่ในช่วงอายุ 69-90 วัน และในทุกทริตเมนต์ที่ไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อข้าวอายุ 90 วัน มีความสูงอยู่ที่ 116.5-130.2 เซนติเมตร (รูปที่ 4.1) ซึ่งมีความสูงที่สูงกว่าลักษณะประจำพันธุ์ข้าว กข 43 เล็กน้อย โดยมีความสูงอยู่ประมาณ 104-110 เซนติเมตร (กรมการข้าว, 2560) การที่ความสูงของข้าวไม่แตกต่างทางสถิติอาจเป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เท่ากันในทุกทริตเมนต์ เนื่องจากธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุหลักที่เกี่ยวข้องกับการยืดขยายเซลล์ของข้าว (Islam *et al.*, 2015) แสดงให้เห็นว่าผลตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกันไม่ได้ส่งผลโดยตรงต่อความสูงของข้าว (Delp, 2020)



รูปที่ 4.1 แสดงความสูงของข้าวในแต่ละสัปดาห์ของการเจริญเติบโตของข้าวรอบที่ 1

(Error bar คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย \* คือ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

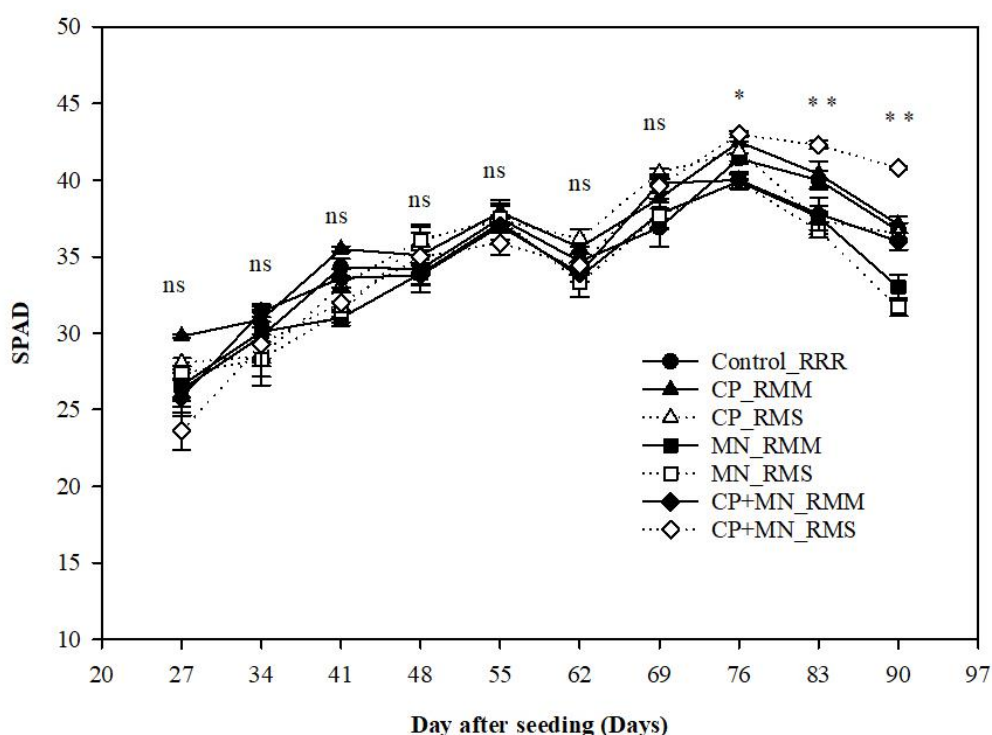
จำนวนหน่อของข้าวในการปลูกรอบที่ 1 พบว่าจำนวนหน่อต่อกอคงที่ในระยะต้นกล้า (ข้าวอายุ 27-34 วัน) และค่อยๆ เพิ่มจำนวนหน่ออย่างรวดเร็วในระยะแตกกอ (ข้าวอายุ 41-55 วัน) ก่อนที่จะคงที่ในระยะสร้างรวง (ข้าวอายุ 62-90 วัน) ถึงระยะเก็บเกี่ยว ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (MN\_RMM) และปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS) มีจำนวนหน่อต่อกอสูงกว่าทริตเม้นท์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วงอายุ 55-90 วัน และเมื่อข้าวอายุ 90 วัน มีจำนวนหน่อต่อกอสูงสุดเท่ากับ 17 หน่อต่อกอในทริตเม้นท์ที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (MN\_RMM) (รูปที่ 4.2) จำนวนหน่อที่สูงกว่าทริตเม้นท์อื่นๆ อาจเป็นผลมาจากโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนการทดลองสูงที่สุดใน MN\_RMM มีค่าเท่ากับ 119.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.1) เช่นเดียวกับการทดลองของ Islam *et al.* (2015) พบว่า จำนวนหน่อ และจำนวนรวงของข้าวเพิ่มขึ้นตามปริมาณ โพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.2 แสดงจำนวนหน่อของข้าวในแต่ละสัปดาห์ของการเจริญเติบโตของข้าวรอบที่ 1 (Error bar คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

ค่าความเขียวของใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ในการปลูกรอบที่ 1 พบว่าค่า SPAD ค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงอายุ 27-55 วันในระยะต้นกล้าและระยะแตกกอ และลดลงในช่วง

อายุ 62 วันในระยะสร้างรวง เนื่องจากข้าวแสดงอาการขาดธาตุโพแทสเซียม เมื่อใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม พบว่าค่า SPAD เพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 69-76 วันในระยะสร้างรวง และลดลงในช่วงอายุ 83-90 วัน เนื่องจากอยู่ในช่วงระยะเก็บเกี่ยว เมื่อข้าวอายุ 90 วัน พบว่ามีค่า SPAD อยู่ในช่วง 31.7-40.8 โดยคืนที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก+ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (CP+MN\_RMS) มีค่า SPAD เท่ากับ 40.08 ซึ่งสูงกว่าทริตเม้นท์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 4.3) ค่าความเขียวของใบข้าวอยู่ในช่วง 25-44 SPAD unit จัดเป็นช่วงที่ข้าวเจริญเติบโตเต็มที่ที่ไม่ขาดไนโตรเจน แต่หากมีค่า SPAD ที่มากกว่า 40 SPAD unit อาจทำให้ข้าวเจริญเติบโตทางลำต้นแทนการเพิ่มผลผลิต (กรมการข้าว, 2560) ดังนั้นค่าความเขียวในทุกทริตเม้นท์อยู่ในระดับที่เหมาะสมเป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในทุกทริตเม้นท์อย่างเพียงพอ และผลตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกัน ไม่ได้ส่งผลต่อค่าความเขียวของข้าว (Delp, 2020)



รูปที่ 4.3 แสดงค่าความเขียวของใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ของข้าวในแต่ละสัปดาห์ของการเจริญเติบโตของข้าวรอบที่ 1

(Error bar คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

## 2. องค์ประกอบผลผลิตของข้าวรอบที่ 1

องค์ประกอบผลผลิตของข้าวในการปลูกรอบที่ 1 พบว่า จำนวนรวง น้ำหนัก 1000 เมล็ด น้ำหนักสดและแห้งของตอซัง ในทุกทริตเมนต์ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับทริตเมนต์ควบคุม (Control\_RRR) ซึ่งมีผลที่ตรงกันข้ามกับเปอร์เซ็นต์เมล็ดดิบ น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14% สูงที่สุดในดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (MN\_RMM) และปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS) มีค่าอยู่ที่ 32.66 และ 30.53% ตามลำดับ ในส่วนของน้ำหนักสดและแห้งของเมล็ด พบว่า ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคในการปลูกพืชทั้ง 2 ระบบ (MN\_RMM และ MN\_RMS) มีน้ำหนักเมล็ดสูงกว่าทริตเมนต์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักสด และแห้งของเมล็ดเท่ากับ 52.07 และ 35.66 กรัมต่อกระถาง ใน MN\_RMM และมีน้ำหนักสดและแห้งของเมล็ดเท่ากับ 52.56 และ 35.03 กรัมต่อกระถาง ใน MN\_RMS (ตารางที่ 4.2)

ผลตกค้างจากดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคทำให้มีน้ำหนักสดและแห้งของเมล็ดสูงกว่าทริตเมนต์อื่น อาจเป็นผลมาจากปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนการทดลอง (ตารางที่ 4.1) เนื่องจากโพแทสเซียมมีบทบาทในการสร้างแป้ง และพัฒนาเมล็ดของข้าว (Mengel, 1982) หากข้าวได้รับธาตุโพแทสเซียมที่เพียงพอสามารถช่วยเพิ่มน้ำหนักของเมล็ดได้ (Niazi *et al.*, 1992; Islam *et al.*, 2015)

ตารางที่ 4.2 แสดงจำนวนรวงต่อกระถาง เปรอร์เซ็นต์เมล็ดดีและดิบ น้ำหนัก 1000 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14% น้ำหนักสดและแห้งของเมล็ดและตอซัง และดัชนีการเก็บเกี่ยวในการปลูกข้าวรอบที่ 1

Treatment	Panicle number /pot	Developed grain	Undeveloped grain	1000 grain (g/pot)	Grain weight at 14% moisture (g/pot)	Grain weight (g/pot)		Straw weight (g/pot)		Harvest index
		(%)	(%)			Fresh	Dry	Fresh	Dry	
Control_RRR	15	75.24b	24.45a	26.33	23.21c	35.88b	24.89b	104.51	31.48	0.41
CP_RMM	17	75.55b	24.76a	26.57	24.57c	40.65b	27.48b	108.64	31.86	0.42
CP_RMS	16	85.48a	14.52b	25.67	24.08c	38.23b	26.24b	110.01	30.96	0.43
MN_RMM	17	84.70a	15.30b	26.23	32.66a	52.07a	35.66a	109.98	32.85	0.49
MN_RMS	16	82.93a	17.07b	26.27	30.53ab	52.56a	35.03a	111.59	32.43	0.49
CP+MN_RMM	15	81.80a	18.20b	26.17	25.84bc	38.84b	27.22b	114.02	33.01	0.42
CP+MN_RMS	15	86.18a	13.82b	26.13	24.70c	38.59b	26.68b	110.37	32.27	0.42
<b>F-test</b>	ns	**	**	ns	**	**	**	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	14.97	2.39	10.69	1.52	10.75	6.78	7.34	10.52	9.83	9.29

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.1.2.2 การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของพืชรอบที่ 2

การปลูกพืชรอบที่ 2 ทำการปลูกข้าวในทริตเมนต์ควบคุม (Control\_RRR) การเจริญเติบโตของข้าวมีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกับการปลูกข้าวรอบที่ 1 ในทริตเมนต์อื่นปลูกข้าวโพดหวานในทุกทริตเมนต์ ดังนั้นจึงวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเฉพาะข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานเท่านั้น

##### 1. การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานรอบที่ 2

เก็บข้อมูลความสูง และค่าความเขียวของใบบนที่เจริญเต็มที่ในระยะเวลาเจริญเติบโตทางลำต้นและใบของข้าวโพดหวาน ความสูงของข้าวโพดหวานรอบที่ 2 พบว่าข้าวโพดหวานสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 14-49 วัน ในระยะเวลาเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ และคงที่ในช่วงอายุ 56-70 วัน ในระยะออกไหม (Tasselling stage) เมื่อข้าวโพดหวานอายุ 77 วัน ในระยะเก็บเกี่ยว (Maturity stage) มีความสูงอยู่ในช่วง 144.3-158.0 เซนติเมตร และในทุกทริตเมนต์ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด (ตารางที่ 4.3) ความสูงของข้าวโพดหวานพันธุ์หวานดอกกุณ มีความสูงอยู่ในช่วง 170-180 เซนติเมตร (ศูนย์วิจัยพืชไร่, 2561) ในการทดลองมีความสูงที่ต่ำกว่าลักษณะประจำพันธุ์ อาจเป็นผลมาจากการทำการทดลองในกระถาง และทุกทริตเมนต์ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลตกค้างจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกันไม่ส่งผลต่อความสูงของข้าวโพดหวาน

ตารางที่ 4.3 แสดงความสูงของข้าวโพดหวานในการปลูกรอบที่ 2

Treatment	Day after germinating (Days)									
	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77
CP_RMM	37.3	44.7	58.0	58.7	124.0	128.3	144.7	145.0	145.3	144.3
CP_RMS	35.0	38.0	46.0	54.5	72.5	99.0	142.0	146.0	147.0	145.0
MN_RMM	28.5	33.5	41.0	57.5	76.5	92.5	143.5	152.5	137.5	139.0
MN_RMS	31.0	38.3	47.0	57.7	107.7	133.0	149.7	156.7	155.3	151.3
CP+MN_RMM	31.0	39.0	47.7	68.3	84.7	102.7	144.0	166.0	156.7	158.0
CP+MN_RMS	31.0	39.0	44.3	55.3	80.7	119.7	143.0	149.0	146.7	147.3
<b>F-test</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	18.11	18.69	21.90	32.82	24.22	20.48	19.94	16.02	17.63	17.32

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ค่าความเขียวของใบบนที่เจริญเต็มที่ในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative stage) ของข้าวโพดหวานพบว่า ค่า SPAD ของข้าวโพดหวานจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 14-56 วันในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ มีค่า SPAD อยู่ในช่วง 41.5-47.7 และในทุกทริตเมนต์ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.4) ผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกันไม่ส่งผลต่อค่าความเขียวของใบบนที่เจริญเต็มที่ในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบของข้าวโพดหวาน ในทุกทริตเมนต์ที่มีค่าความเขียวที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ อาจเป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ยในโตรเจนที่เท่ากันในทุกทริตเมนต์ และเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดจากการคำนวณตามค่าวิเคราะห์ดิน (ศูนย์วิจัยพืชไร่, 2561)

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเขียวของใบบนที่เจริญเต็มที่ในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative stage) ของข้าวโพดหวานในการปลูกรอบที่ 2

Treatment	Day after germinating (Days)						
	14	21	28	35	42	49	56
CP_RMM	32.7	31.8	33.1	35.7	38.7	44.4	47.7
CP_RMS	31.1	28.1	28.3	31.2	36.7	40.4	46.4
MN_RMM	30.6	26.1	26.9	33.6	36.4	38.4	43.9
MN_RMS	24.7	27.1	34.4	33.7	42.3	42.9	45.2
CP+MN_RMM	30.8	24.5	23.6	28.4	35.5	40.1	44.6
CP+MN_RMS	33.2	24.9	23.1	31.5	38.6	38.8	41.5
<b>F-test</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	12.36	13.87	20.98	12.18	9.23	8.60	12.20

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกัน ในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## 2. องค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดหวานรอบที่ 2

องค์ประกอบผลผลิตข้าวโพดหวานในการปลูกรอบที่ 2 พบว่า จำนวนฝักของข้าวโพดหวานไม่แตกต่างทางสถิติในทุกทริตเมนต์ ในขณะที่ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (CP\_RMS) ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS) และดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก+ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (CP+MN\_RMS) มีแนวโน้มน้ำหนักสดและแห้งของฝักข้าวโพดสูงกว่าดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP\_RMM MN\_RMM และ CP+MN\_RMM) โดยดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก+ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง

(CP+MN\_RMS) มีน้ำหนักสดและแห้งของฝักข้าวโพดสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับทริตเมนต์อื่นๆ มีน้ำหนักสดและแห้งของฝักข้าวโพดเท่ากับ 64.68 และ 13.31 กรัมต่อกระถางตามลำดับ เช่นเดียวกับในลำต้นทริตเมนต์ CP+MN\_RMS มีน้ำหนักสดและแห้งของลำต้นสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับทริตเมนต์อื่นๆ มีค่าเท่ากับ 71.87 และ 19.04 กรัมต่อกระถางในน้ำหนักสดและแห้งของลำต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลตกค้างของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกันส่งผลต่อผลผลิตของข้าวโพด สอดคล้องกับการทดลองของ Murphy and Matanguihan (2015) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยคอกช่วยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นได้เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดหวานได้เช่นเดียวกัน (Jjagwe *et al.*, 2020)

ตารางที่ 4.5 แสดงน้ำหนักสดและแห้งของฝักและลำต้นของข้าวโพดหวานในการปลูกรอบที่ 2

Treatment	Ear weight (g/pot)		Stalk weight (g/pot)	
	Fresh	Dry	Fresh	Dry
CP_RMM	29.68c	6.83c	55.00abc	18.15a
CP_RMS	33.59c	10.05abc	32.59d	8.15b
MN_RMM	38.91bc	7.90bc	49.11bcd	14.26a
MN_RMS	44.88abc	10.79ab	43.10cd	14.65a
CP+MN_RMM	56.85ab	9.73abc	66.60ab	14.64a
CP+MN_RMS	64.68a	13.31a	71.87a	19.04a
<b>F-test</b>	*	*	**	**
<b>CV (%)</b>	25.70	19.24	19.18	18.36

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.1.2.3 การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของพืชรอบที่ 3

การปลูกรอบที่ 3 ปลูกพืช 3 ชนิด คือ ข้าว ข้าวโพดหวาน และถั่วเหลือง ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามชนิดของพืชในทริตเมนต์ควบคุม (Control\_RRR) การปลูกข้าวพบว่า การเจริญเติบโตของข้าวมีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกับการปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 2 ปลูกข้าวโพดในทริตเมนต์ CP\_RMM MN\_RMM และ CP+MN\_RMM และปลูกถั่วเหลืองในทริตเมนต์ CP\_RMS MN\_RMS และ CP+MN\_RMS

### 1. การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานรอบที่ 3

ความสูงของข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 14-56 วัน ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative stage) และคงที่ในช่วงอายุ 63-70 วัน ในระยะออกไหม (Tasselling stage) ในช่วงข้าวโพดอายุ 35 วัน ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative stage) พบว่า ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (MN\_RMM) มีความสูงต่ำกว่าที่อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อข้าวโพดหวานอายุ 77 วัน ในระยะเก็บเกี่ยว (Maturity stage) มีความสูงอยู่ในช่วง 130.0-154.0 เซนติเมตร และในทุกที่ที่ดินไม่แตกต่างกันทางสถิติในแต่ละวันของการทดลอง (ตารางที่ 4.6) จากผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลตกค้างจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกัน ไม่ส่งผลต่อความสูงของข้าวโพดหวาน เช่นเดียวกับการปลูกพืชรอบที่ 2

ตารางที่ 4.6 แสดงความสูงของข้าวโพดหวานในการปลูกรอบที่ 3

Treatment	Day after germinating (Days)									
	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77
CP_RMM	26.7	46.2	55.0	75.0a	94.3	128.3	144.7	145.0	145.3	144.3
MN_RMM	20.0	36.2	40.7	43.0b	70.7	111.7	138.0	149.3	143.3	147.0
CP+MN_RMM	31.0	47.0	57.0	75.3a	90.3	102.7	129.0	141.0	149.3	152.0
F-test	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	19.86	30.43	25.40	19.47	17.72	14.58	11.69	7.02	8.12	8.12

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ค่าความเขียวของใบบนที่เจริญเต็มที่ในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative stage) ของข้าวโพดหวานพบว่า ค่า SPAD ของข้าวโพดหวานจะคงที่ในช่วงอายุ 14-28 วัน และค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 35-56 วัน ในการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ มีค่า SPAD อยู่ในช่วง 41.8-45.3 และในทุกที่ที่ดินไม่แตกต่างกันทางสถิติในแต่ละวันของการทดลอง (ตารางที่ 4.7) จากผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลตกค้างจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกัน ไม่ส่งผลต่อค่าความเขียวของใบบนที่เจริญเต็มที่ในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบของข้าวโพดหวานเช่นเดียวกับการปลูกข้าวโพดหวานในรอบที่ 2 อาจเป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เท่ากันในทุกที่ที่ดิน และเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด (ศูนย์วิจัยพืชไร่, 2561)

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความเขียวของใบบนที่เจริญเต็มที่ในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative stage) ของข้าวโพดหวานในการปลูกรอบที่ 3

Treatment	Day after germinating (Days)						
	14	21	28	35	42	49	56
CP_RMM	23.9	30.4	28.2	30.8	36.2	39.8	45.3
MN_RMM	26.7	28.8	26.5	33.6	36.4	38.4	43.9
CP+MN_RMM	27.8	30.1	26.3	25.3	35.3	38.0	41.8
<b>F-test</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	15.36	15.46	18.97	17.61	10.90	8.71	13.23

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## 2. องค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดหวานรอบที่ 3

การปลูกข้าวโพดหวานรอบที่ 3 พบว่า จำนวนฝักของข้าวโพดหวานไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกทรีตเมนต์ ในขณะที่น้ำหนักสดและแห้งของลำต้นสูงที่สุดในดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก+ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP+MN\_RMM) มีค่าเท่ากับ 25.14 และ 5.22 กรัมต่อกระถางของน้ำหนักสดและแห้งของลำต้น ตามลำดับ รองลงมา คือ ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (MN\_RMM) มีน้ำหนักสดและแห้งของลำต้นเท่ากับ 10.37 และ 1.56 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ และดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP\_RMM) มีน้ำหนักสดและแห้งของลำต้นต่ำที่สุดเท่ากับ 3.01 และ 0.66 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ในส่วนของน้ำหนักสดและแห้งของฝักข้าวโพดไม่แตกต่างทางสถิติในทุกทรีตเมนต์ (ตารางที่ 4.8) โดยดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกันให้ผลผลิตต่อชั่งข้าวโพดสูงกว่าการใส่เพียงอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยคอกช่วยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นได้เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย (Murphy and Matanguihan, 2015)

ตารางที่ 4.8 แสดงน้ำหนักสดและแห้งของฝักและลำต้นของข้าวโพดหวานในการปลูกพืชรอบที่ 3

Treatment	Ear weight (g/pot)		Stalk weight (g/pot)	
	Fresh	Dry	Fresh	Dry
CP_RMM	62.38	17.59	3.01c	0.66b
MN_RMM	80.56	16.8	10.37b	1.56b
CP+MN_RMM	43.87	16.64	25.14a	5.22a
<b>F-test</b>	ns	ns	**	**
<b>CV (%)</b>	12.11	30.21	16.26	12.12

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### 3. การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองรอบที่ 3

การปลูกรอบที่ 3 ทำการปลูกถั่วเหลืองในพรีตเมนต์ CP\_RMS MN\_RMS และ CP+MN\_RMS ความสูงของการปลูกถั่วเหลืองรอบที่ 3 พบว่า มีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงอายุ 14-28 วัน และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 28-56 วันในระยะเวลาเจริญเติบโตทางลำต้น ก่อนจะคงที่ในช่วงอายุ 63-77 วันในระยะเวลาเจริญเติบโตทางการเจริญพันธุ์ เมื่อถั่วเหลืองอายุ 77 วัน มีความสูงอยู่ในช่วง 140.0-220.0 เซนติเมตร และทุกพรีตเมนต์ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.9) ผลตกค้างของปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกันไม่ได้ส่งผลต่อความสูงของถั่วเหลือง (สำนักงานเกษตร, 2560)

ตารางที่ 4.9 แสดงความสูงของถั่วเหลืองในการปลูกรอบที่ 3

Treatment	Day after germinating (days)									
	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77
CP_RMS	19.3	30.0	48.3	85.0	134.3	133.0	147.3	159.3	172.0	185.0
MN_RMS	12.3	27.0	38.0	83.7	108.0	139.0	155.3	184.0	184.0	200.0
CP+MN_RMS	24.0	34.0	46.3	105.3	110.3	156.7	175.3	175.0	184.7	185.0
<b>F-test</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	34.17	36.50	47.40	38.54	19.08	10.57	11.36	9.64	7.49	13.75

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ค่าความเขียวของใบที่เจริญเต็มที่นับจากส่วนยอด พบว่า มีค่า SPAD ที่คงที่ในช่วงอายุ 14-56 วันในระยะเวลาเจริญเติบโตทางลำต้น และค่อยๆ ลดลงในช่วงอายุ 63-77 วันในระยะเวลาเจริญเติบโตทางการเจริญพันธุ์ เมื่อถั่วเหลืองอายุ 77 วัน มีค่า SPAD อยู่ในช่วง 22.5-30.1 และทุกทริตเม้นท์ไม่แตกต่างกันทางสถิติในแต่ละวันของการทดลอง (ตารางที่ 4.10) ผลตกค้างของปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกันไม่ได้ส่งผลต่อค่าความเขียวของถั่วเหลือง

**ตารางที่ 4.10** แสดงค่าความเขียวของใบที่เจริญเต็มที่นับจากส่วนยอดของถั่วเหลืองในการปลูกรอบที่ 3

Treatment	Day after germinating (days)									
	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77
CP_RMS	40.5	38.5	35.8	33.9	35.9	36.1	30.7	28.7	28.2	28.0
MN_RMS	40.6	34.5	33.0	34.8	35.9	35.9	33.3	32.8	30.0	27.8
CP+MN_RMS	36.5	36.2	35.3	36.8	40.3	36.6	30.8	28.2	27.7	27.1
<b>F-test</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	8.81	11.37	5.36	17.80	22.36	21.71	15.98	19.27	12.48	15.38

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4. องค์ประกอบผลผลิตของถั่วเหลืองรอบที่ 3

องค์ประกอบผลผลิตถั่วเหลืองในการปลูกพืชรอบที่ 3 พบว่า ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก+ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (CP+MN\_RMS) ส่งผลให้มีน้ำหนักสดและแห้งของฝักถั่วเหลืองสูงกว่าทริตเม้นท์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักสดและแห้งของเมล็ดถั่วเหลืองเท่ากับ 21.77 และ 6.73 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ในส่วนของจำนวนฝัก น้ำหนักสด และแห้งของลำต้นในทุกทริตเม้นท์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.11) การที่ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก+ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (CP+MN\_RMS) ให้ผลผลิตเมล็ดที่สูงกว่าทริตเม้นท์อื่นอาจเป็นผลมาจากการดูดดึงแคลเซียมในฝักที่มีแนวโน้มสูงที่สุดใน CP+MN\_RMS (ตารางภาคผนวกที่ 1.12) นอกจากนี้ Barth *et al.* (2018) รายงานว่าการดูดดึงแคลเซียมที่สูงในถั่วเหลืองช่วยให้ผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นได้ เช่นเดียวกับการดูดดึงไนโตรเจน และโพแทสเซียมในพืช การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกันสามารถเพิ่มผลผลิตของถั่วเหลืองได้ (Gautam and Pathak, 2014; Khaim *et al.*, 2014; Prihastuti *et al.*, 2015)

ตารางที่ 4.11 แสดงจำนวนฝักต่อกระถาง น้ำหนักสดและแห้งของฝักและลำต้นของถั่วเหลือง ในการปลูกรอบที่ 3

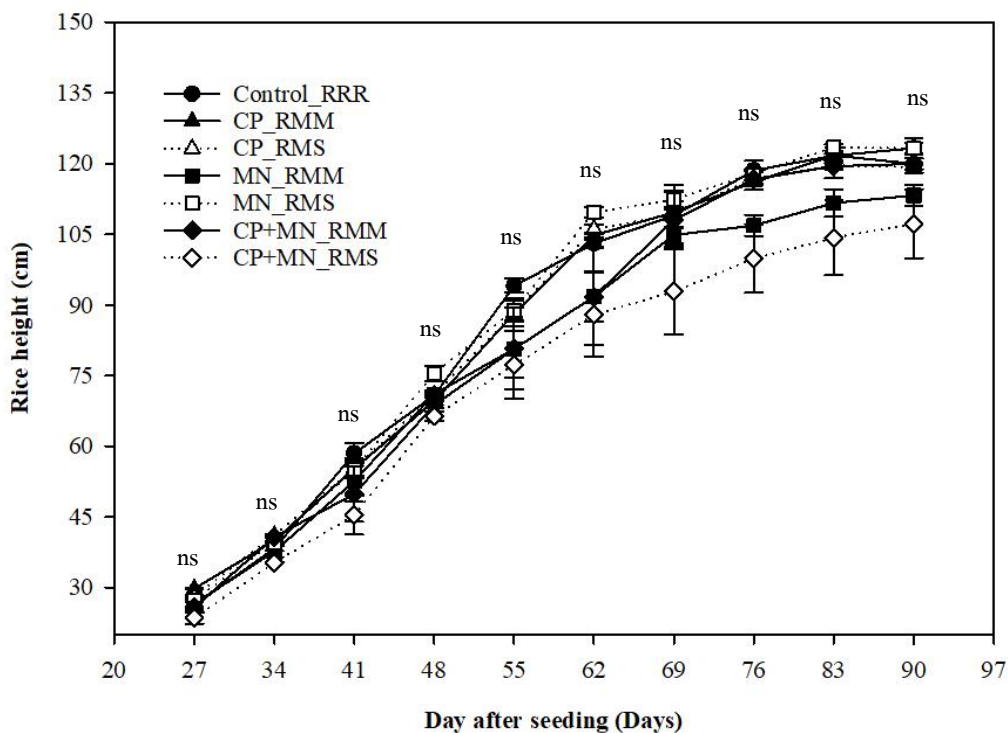
Treatment	Pod number/pot	Pod weight (g/pot)		Stalk weight (g/pot)	
		Fresh	Dry	Fresh	Dry
CP_RMS	19	10.77b	3.03b	21.58	5.98
MN_RMS	21	7.06b	2.27b	25.47	7.64
CP+MN_RMS	22	21.77a	6.73a	25.61	7.84
<b>F-test</b>	ns	*	**	ns	ns
<b>CV (%)</b>	16.74	16.41	13.2	23.85	24.88

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.1.2.4 การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวรอบที่ 4

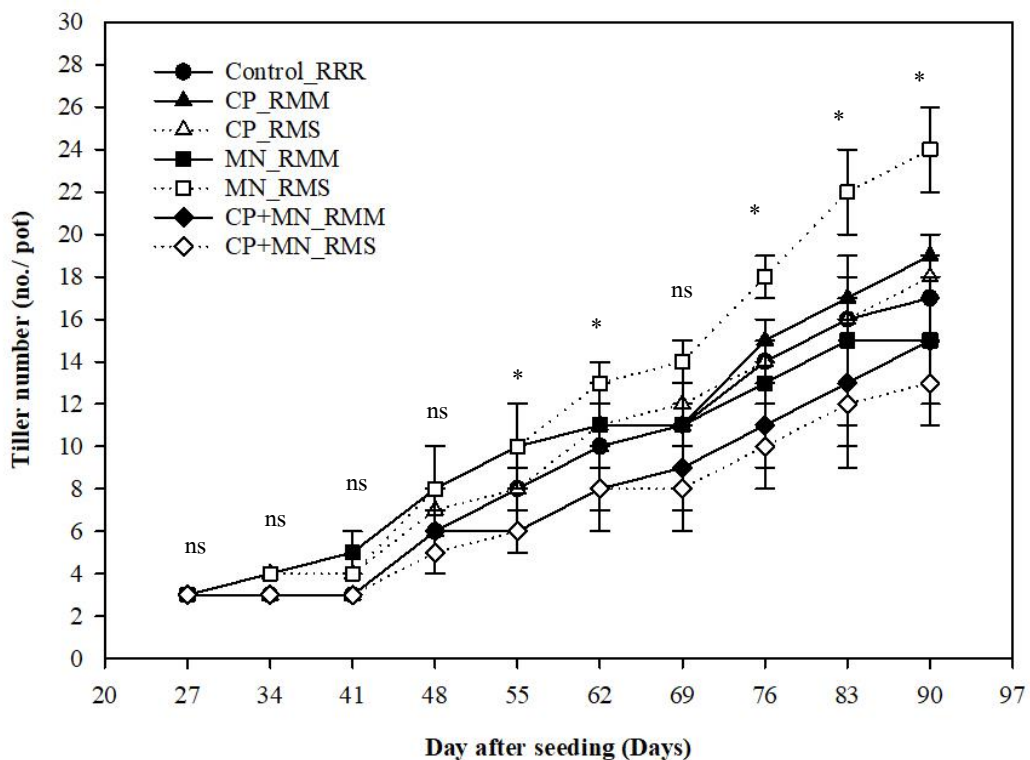
##### 1. การเจริญเติบโตของข้าวรอบที่ 4

ความสูงของข้าวในการปลูกรอบที่ 4 พบว่า ความสูงของข้าวเป็นไปในทิศทางเดียวกับการปลูกข้าวรอบที่ 1 โดยข้าวมีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 27-69 วัน ในระยะแตกกอ และเริ่มคงที่ในช่วงอายุ 76-90 วันในระยะสร้างรวง และทุกทริตเมล็ดที่ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่เมื่อข้าวอายุ 90 วันในระยะเก็บเกี่ยว มีความสูงที่ต่ำกว่าการปลูกข้าวรอบที่ 1 เพียงเล็กน้อย โดยมีความสูงอยู่ในช่วง 107.3-123.3 เซนติเมตร และในทุกทริตเมล็ดที่ไม่แตกต่างทางสถิติ ในแต่ละวันที่เก็บข้อมูล (รูปที่ 4.4) การที่ความสูงของข้าวไม่แตกต่างทางสถิติอาจเป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เท่ากันเช่นเดียวกับการปลูกข้าวรอบที่ 1 (Islam *et al.*, 2015) แสดงให้เห็นว่า ผลตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกันไม่ได้ส่งผลโดยตรงต่อความสูงของข้าวในทุกกระบวนการปลูกพืช (Delp, 2020)



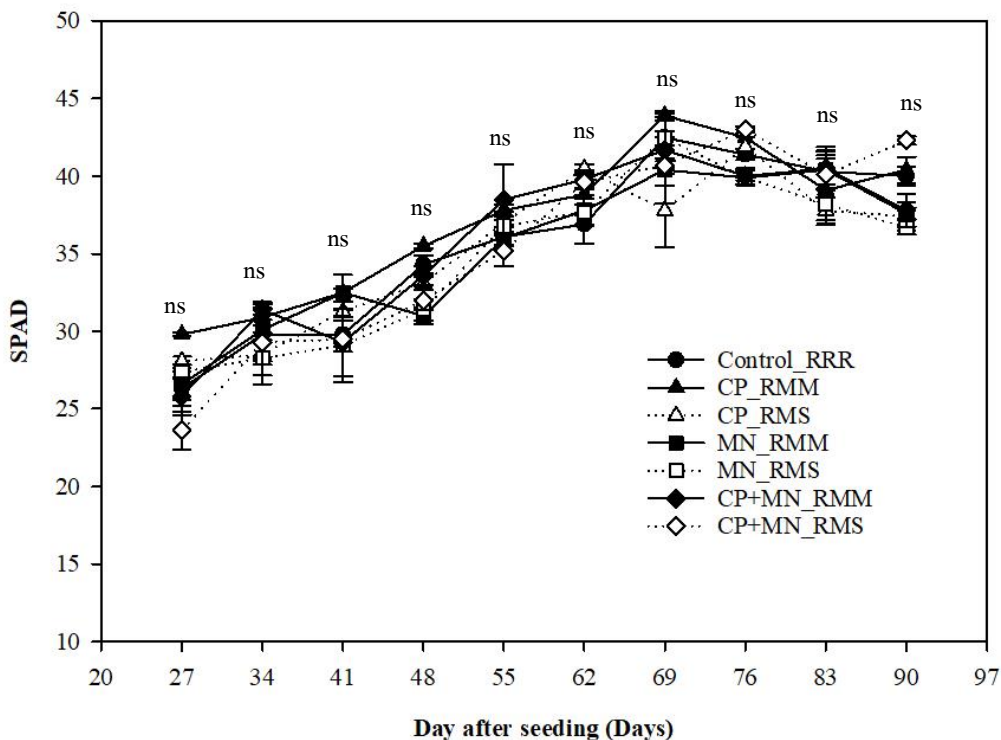
**รูปที่ 4.4** แสดงความสูงของข้าวในแต่ละสัปดาห์ของการเจริญเติบโตของข้าวรอบที่ 4 (Error bar คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

การแตกกอของข้าวในการปลูกรอบที่ 4 พบว่า จำนวนหน่อตอกอกลงที่ในช่วงข้าวอายุ 27-34 วันในระยะต้นกล้า และค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงข้าวอายุ 41-69 วันในระยะแตกกอและสร้างรวงอ่อน โดยดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS) มีจำนวนหน่อตอกสูงกว่ที่อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วงอายุ 55-90 วัน ในระยะสร้างรวงและระยะเก็บเกี่ยว เมื่อข้าวอายุ 90 วันในระยะเก็บเกี่ยว ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS) มีจำนวนหน่อตอกสูงสุดเท่ากับ 24 หน่อตอก (รูปที่ 4.5) แสดงให้เห็นว่าผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลืองยังคงส่งผลต่อจำนวนหน่อของข้าวเช่นเดียวกับการปลูกข้าวรอบที่ 1



รูปที่ 4.5 แสดงจำนวนหน่อของข้าวในแต่ละสัปดาห์ของการเจริญเติบโตของข้าวรอบที่ 4 (Error bar คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

ค่าความเขียวของใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ในการปลูกรอบที่ 4 พบว่า ค่า SPAD ค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงข้าวอายุ 27-69 วัน ในระยะแตกกอและระยะสร้างรวง และลดลงในช่วงที่ข้าวอายุ 76-90 วัน ในระยะเก็บเกี่ยว และเมื่อข้าวอายุ 90 วัน ในระยะเก็บเกี่ยว พบว่า มีค่า SPAD อยู่ในช่วง 36.7-42.3 และในทุกทริตเมนต์ที่ไม่แตกต่างทางสถิติ (รูปที่ 4.6) ค่าความเขียวในทุกทริตเมนต์อยู่ในระดับที่เหมาะสมเป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ยในโตรเจนในทุกทริตเมนต์ และผลตกค้างจากปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกันไม่ได้ส่งผลต่อค่าความเขียวของข้าวเช่นเดียวกับการปลูกข้าวรอบที่ 1 (Delp, 2020)



รูปที่ 4.6 แสดงค่าความเขียวของใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ของข้าวในแต่ละสัปดาห์ของการเจริญเติบโตของข้าวรอบที่ 4

(Error bar คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย \* คือ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

## 2. องค์ประกอบผลผลิตของข้าวรอบที่ 4

องค์ประกอบผลผลิตของข้าวในการปลูกพืชรอบที่ 4 พบว่า จำนวนรวงต่อกระถาง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีและลีบ น้ำหนัก 1000 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14% น้ำหนักสดและแห้งของเมล็ด และดัชนีการเก็บเกี่ยว ในทุกทริตเมนต์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในส่วนน้ำหนักสดและแห้งของตอซัง พบว่า ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคและปลูกในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (MN\_RMM) มีน้ำหนักสดและแห้งของตอซังสูงที่สุดเท่ากับ 114.90 และ 29.18 กรัมต่อกระถางของน้ำหนักสดและแห้ง ตามลำดับ รองลงมา คือ ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS) มีน้ำหนักสดเท่ากับ 108.46 กรัมต่อกระถาง และมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 26.65 กรัมต่อกระถาง (ตารางที่ 4.12) ในดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคในการปลูกพืชทั้ง 2 ระบบ มีน้ำหนักสดและแห้งของตอซังสูงที่สุด อาจเป็นผลมาจากปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงในดินหลังปลูกข้าวรอบที่ 3 (ตารางภาคผนวกที่ 1.6)

ตารางที่ 4.12 แสดงจำนวนรวงต่อกระถาง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีและดิบ น้ำหนัก 1000 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดที่ความชื้น 14% น้ำหนักสดและแห้งของเมล็ดและตอซัง และดัชนีการเก็บเกี่ยว ในการปลูกข้าวรอบที่ 4

Rice	Panicle number /pot	Developed grain (%)	Undeveloped grain (%)	1000 grain (g/pot)	Grain weight at 14% moisture (g/pot)	Grain weight (g/pot)		Straw weight (g/pot)		Harvest index
						Fresh	Dry	Fresh	Dry	
Control_RRR	16	96.96	2.29	24.60	32.10	30.84	27.91	101.81b	23.36bc	0.57
CP_RMM	17	96.52	4.15	24.12	32.51	31.13	28.25	104.43ab	24.12bc	0.56
CP_RMS	17	97.54	2.78	23.89	32.02	30.58	27.81	99.80b	22.80dc	0.57
MN_RMM	20	95.14	3.36	23.66	38.28	36.62	33.26	114.90a	29.18a	0.50
MN_RMS	23	96.99	3.53	23.63	36.81	35.27	32.00	108.46ab	26.65ab	0.56
CP+MN_RMM	20	96.43	3.97	23.49	34.46	32.85	29.93	108.42ab	24.13bc	0.54
CP+MN_RMS	15	89.31	2.72	23.25	22.03	21.20	19.16	87.80c	19.78d	0.41
<b>F-test</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	**	ns
<b>CV (%)</b>	16.79	5.65	28.68	3.36	16.66	16.42	16.62	5.69	6.79	16.82

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

**4.1.3 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) การดูดดึงฟอสฟอรัสในพืช (P uptake) และประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัส (Physiological efficiency of applied P,  $PE_p$ )**

**4.1.3.1 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) การดูดดึงฟอสฟอรัสในพืช (P uptake) และประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัส (Physiological efficiency of applied P,  $PE_p$ ) ของข้าวรอบที่ 1**

การปลูกข้าวรอบที่ 1 เป็นการปลูกข้าวในทุกทริตमेंท์ จากผลการทดลองพบว่า ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (MN\_RMM) และปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS) มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในตอซังต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.17 และ 0.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในเมล็ด การดูดดึงฟอสฟอรัสในเมล็ดและตอซังทุกทริตमेंท์ไม่แตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 4.13) ประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัส พบว่า ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (MN\_RMM) และปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS) มีประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าทริตमेंท์อื่น รองลงมา คือ ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก+ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP+MN\_RMM) และปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (CP+MN\_RMS) ในขณะที่ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP\_RMM) และปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (CP\_RMS) มีประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัสที่ต่ำกว่าทริตमेंท์อื่น (ตารางที่ 4.13) แสดงให้เห็นว่าผลตกค้างของการใส่ปุ๋ยมูลโคในการปลูกพืชหลังนาทั้ง 2 ระบบ สามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสให้แก่ข้าว ได้สูงที่สุด และข้าวคูคใช้ฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าฟอสฟอรัสที่ตกค้างจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น (Dobermann, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้รับจากการทดลองของภาสิณี สืบสวน (2562) ตารางผนวกที่ 1.3

ตารางที่ 4.13 แสดงความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช (Total P) การดูดดึงฟอสฟอรัสในพืช (P uptake) และประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัส (Physiological efficiency of applied P,  $PE_p$ ) ของข้าวรอบที่ 1

Treatment	Total P (g/100g)		P uptake (mg/pot)		$PE_p$ (g/pot)
	Grain	Straw	Grain	Straw	
Control_RRR	0.35	0.23a	77.24	72.86	-
CP_RMM	0.37	0.25a	85.52	78.90	65.88
CP_RMS	0.39	0.25a	92.64	76.23	82.24
MN_RMM	0.34	0.17b	109.35	55.74	646.88
MN_RMS	0.36	0.16b	114.92	52.97	525.88
CP+MN_RMM	0.38	0.22a	89.88	71.91	150.84
CP+MN_RMS	0.37	0.22a	86.76	72.64	164.15
<b>F-test</b>	ns	**	ns	ns	-
<b>CV (%)</b>	7.47	10.02	7.47	15.59	-

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.1.3.2 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) การดูดดึงฟอสฟอรัสในพืช (P uptake) ของพืชรอบที่ 2

การปลูกพืชรอบที่ 2 ทำการปลูกข้าวในดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (Control\_RRR) และปลูกข้าวโพดหวานในดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ จากผลการทดลอง พบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในเมล็ดและตอซังทุกทรีตเมนต์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดินที่ไม่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกข้าวเพียงอย่างเดียว (Control\_RRR) ดูดดึงฟอสฟอรัสในเมล็ดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมีค่าเท่ากับ 108.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปลูกพืชหลังนาทั้ง 2 ระบบ มีการดูดดึงฟอสฟอรัสในเมล็ดที่ต่ำกว่า Control\_RRR การดูดดึงฟอสฟอรัสในลำต้นพบว่า ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP\_RMM) มีการดูดดึงฟอสฟอรัสสูงกว่าทรีตเมนต์อื่น และมีค่าเท่ากับ 39.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.14) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในการปลูกพืชรอบที่ 2 ข้าวมีการดูดดึงฟอสฟอรัสในเมล็ดที่สูงกว่าข้าวโพดหวาน ในขณะที่ข้าวโพดหวานมีการดูดดึงฟอสฟอรัสในลำต้นที่สูงกว่าข้าว

ตารางที่ 4.14 แสดงความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช (Total P) และการดูดซับฟอสฟอรัสในพืช (P uptake) ของพืชรอบที่ 2

Treatment	Total P (g/100g)		P uptake (mg/pot)	
	Grain	Straw	Grain	Straw
Control_RRR	0.39	0.13	108.23a	22.01b
CP_RMM	0.36	0.21	36.22b	39.14a
CP_RMS	0.44	0.24	29.65b	19.62b
MN_RMM	0.36	0.22	28.30b	30.66ab
MN_RMS	0.34	0.21	37.08b	30.27ab
CP+MN_RMM	0.33	0.17	32.70b	25.11b
CP+MN_RMS	0.31	0.17	41.28b	31.47ab
<b>F-test</b>	ns	ns	**	*
<b>CV (%)</b>	16.90	18.99	27.49	21.92

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.1.3.3 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) การดูดซับฟอสฟอรัสในพืช (P uptake) ของพืชรอบที่ 3

การปลูกพืชรอบที่ 3 ปลูกข้าวในดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (Control\_RRR) ปลูกข้าวโพดหวานในดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปลูกในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP\_RMM MN\_RMM และ CP+MN\_RMM) และปลูกถั่วเหลืองในดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปลูกในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (CP\_RMS MN\_RMS และ CP+MN\_RMS) จากผลการทดลอง พบว่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสทั้งหมดในลำต้นสูงในดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (Control\_RRR) และไม่แตกต่างทางสถิติกับดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS) ซึ่งมีความเข้มข้นฟอสฟอรัสทั้งหมดในลำต้นที่เท่ากันคือ 0.34 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในเมล็ด และการดูดซับฟอสฟอรัสในเมล็ดและลำต้นในทุกทริตเมนต์ที่ไม่แตกต่างทางสถิติ แต่ในส่วนการดูดซับฟอสฟอรัสในพืชพบว่า ผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP\_RMM MN\_RMM และ CP+MN\_RMM) มีแนวโน้มในการดูดซับฟอสฟอรัสที่สูงกว่าในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (CP\_RMS MN\_RMS และ

CP+MN\_RMS) (ตารางที่ 4.15) แสดงให้เห็นว่าข้าวโพดมีแนวโน้มการดูดซับฟอสฟอรัสในเมล็ดและลำต้น ได้สูงกว่าถั่วเหลือง

ตารางที่ 4.15 แสดงความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช (Total P) และการดูดซับฟอสฟอรัสในพืช (P uptake) ของพืชรอบที่ 3

Treatment	Total P (g/100g)		P uptake (mg/pot)	
	Grain	Straw	Grain	Straw
Control_RRR	0.39	0.34a	10.76b	37.68ab
CP_RMM	0.36	0.27ab	25.83a	36.03b
CP_RMS	0.47	0.16cd	9.75b	20.91dc
MN_RMM	0.51	0.25bc	26.92a	49.05a
MN_RMS	0.53	0.34a	14.38b	23.69c
CP+MN_RMM	0.32	0.23bc	36.18a	13.75dc
CP+MN_RMS	0.52	0.13d	7.40b	9.04d
<b>F-test</b>	ns	**	**	**
<b>CV (%)</b>	16.45	15.93	21.75	19.84

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.3.4 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) การดูดซับฟอสฟอรัสในพืช (P uptake) และประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัส (Physiological efficiency of applied P, PE<sub>p</sub>) ของข้าวรอบที่ 4

การปลูกข้าวรอบที่ 4 เป็นการปลูกข้าวในทุกทริตเมนต์ จากผลการทดลองพบว่า ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก+ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP+MN\_RMM) และปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (CP+MN\_RMS) มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในตอซังสูงมีค่าเท่ากับ 0.21 และ 0.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในเมล็ด การดูดซับฟอสฟอรัสในเมล็ดและตอซังทุกทริตเมนต์ที่ไม่แตกต่างทางสถิติ ประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัส พบว่า ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS) มีประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าทริตเมนต์อื่น รองลงมา คือ ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก+ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-

ข้าวโพด (CP+MN\_RMM) ในขณะที่ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP\_RMM) และปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (CP\_RMS) มีประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัสที่ติดลบ (ตารางที่ 4.16) แสดงให้เห็นว่าผลตกค้างของการใส่ปุ๋ยมูลโคในการปลูกพืชหลังนาทั้ง 2 ระบบ สามารถทำให้ข้าวดูดฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าผลตกค้างของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น นอกจากนี้การที่ประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัสที่ติดลบแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยหมักไม่สามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสให้แก่พืชได้แล้ว (Dobermann, 2005) สอดคล้องกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้รับจากการทดลองของภาสินี สืบสวน (2562) ตารางผนวกที่ 1.3 ซึ่งทรีตเมนต์ CP\_RMM และ CP\_RMS ได้รับฟอสฟอรัสต่ำกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างเห็นได้ชัด

**ตารางที่ 4.16** แสดงความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช (Total P) การดูดดึงฟอสฟอรัสในพืช (P uptake) และประสิทธิภาพเชิงสรีรวิทยาของการใช้ฟอสฟอรัส (Physiological efficiency of applied P,  $PE_p$ ) ของข้าวรอบที่ 4

Treatment	Total P (g/kg)		P uptake (mg/pot)		$PE_p$ (g/pot)
	Grain	Straw	Grain	Straw	
Control_RRR	0.48	0.14bc	134.25	29.13	-
CP_RMM	0.48	0.14bc	136.14	32.63	-333.651
CP_RMS	0.45	0.13bc	131.11	30.35	-438.16
MN_RMM	0.47	0.13bc	176.46	37.83	105.03
MN_RMS	0.46	0.10c	147.02	32.23	235.95
CP+MN_RMM	0.42	0.21a	138.53	35.70	185.56
CP+MN_RMS	0.45	0.17ab	106.32	36.04	132.52
<b>F-test</b>	ns	**	ns	ns	-
<b>CV (%)</b>	17.44	16.42	23.45	15.05	-

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

หลังจากการปลูกพืชครบระบบการปลูกพืชหลังนาในระยะเวลา 1 ปี แสดงให้เห็นว่า ผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CM\_RMM) มีแนวโน้มในการดูดดึงฟอสฟอรัส (Uptake P) มากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปลูกพืชในระบบอื่น

นอกจากนี้ยังสามารถดูดซับโพแทสเซียม (Uptake K) และดูดซับสังกะสี (Uptake Zn) ได้มากกว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปลูกพืชในระบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 1.17) จึง อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ในภาพรวมการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในทรีตเมนต์ CM\_RMM มีการเจริญเติบโตได้สูงกว่าทรีตเมนต์อื่น

#### 4.1.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูก

##### 4.1.4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูกข้าวรอบที่ 1

ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูกข้าวรอบที่ 1 พบว่า ค่าความเป็นกรดค่า (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic matter; OM) ในทุกทรีตเมนต์ที่ไม่ แตกต่างทางสถิติ โดยดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (MN\_RMM) และปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็น ประโยชน์สูงมีค่าเท่ากับ 48.71 และ 46.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ รองลงมา คือ ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก+ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP+MN\_RMM) และปลูกพืช ในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (CP+MN\_RMS) ค่าเท่ากับ 45.40 และ 45.42 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ตามลำดับ และดินที่ไม่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (Control\_RRR) มีฟอสฟอรัสที่เป็น ประโยชน์ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 38.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในส่วนของฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า ดิน ที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าดินที่ไม่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (Control\_RRR) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.17) ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับน้ำหนัก สดและแห้งของผลผลิตเมล็ดและตอซังในการปลูกข้าวรอบที่ 1 สูงที่สุดในทรีตเมนต์ MN\_RMM และ MN\_RMS (ตารางที่ 4.2) นอกจากนี้การดูดซับฟอสฟอรัสในข้าวรอบที่ 1 พบว่าในทรีตเมนต์ที่ ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีแนวโน้มการดูดซับฟอสฟอรัสที่สูงกว่าทรีตเมนต์ควบคุม (ตารางภาคผนวก ที่ 1.8) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ยังคงอยู่ในระดับที่มากกว่า 43.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าวิกฤติในการชะละลาย (Bray-2 P critical value) (ปรีชานี พิบำรุง, 2558)

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อินทรีย์วัตถุ (OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) ในดินหลังปลูกข้าวรอบที่ 1

Treatment	pH <sub>(1:1)</sub>	EC <sub>(1:5)</sub> (mS/cm)	Organic matter (g/kg)	Available P (mg/kg)	Total P (mg/kg)
Control_RRR	6.41	0.52	41.21	38.59d	206.51b
CP_RMM	6.30	0.58	41.60	44.33cb	244.48a
CP_RMS	6.32	0.57	40.89	42.40c	249.23a
MN_RMM	6.18	0.65	42.00	48.71a	272.43a
MN_RMS	6.43	0.65	41.78	46.68ab	257.17a
CP+MN_RMM	6.34	0.65	42.07	45.40bc	250.77a
CP+MN_RMS	6.40	0.59	42.88	45.42bc	255.32a
<b>F-test</b>	ns	ns	ns	**	*
<b>CV (%)</b>	2.7	11.00	6.10	3.81	7.59

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกัน ในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.1.4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูกพืชรอบที่ 2

ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูกพืชรอบที่ 2 พบว่า ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) อยู่ในระดับที่เป็นกรดเล็กน้อยมีค่าอยู่ระหว่าง 5.99-6.13 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อยู่ในระดับที่ไม่เค็มไม่เป็นอันตรายต่อพืชที่ปลูกมีค่าอยู่ระหว่าง 0.77-0.93 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic matter; OM) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) ในทุกทรีตเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน พบว่า ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าดินที่ไม่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (Control\_RRR) โดยดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (MN\_RMM) มีแนวโน้มสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 46.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.18) ผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกันส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าดินที่ไม่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ประกอบกับในทรีตเมนต์ควบคุม (Control\_RRR) ที่ปลูกข้าวมีการดูดดึงฟอสฟอรัสที่สูงกว่าข้าวโพดจึงทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำที่สุดใน Control\_RRR (ตารางภาคผนวกที่ 1.10)

ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อินทรีย์วัตถุ (OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) ในดินหลังปลูกพืชรอบที่ 2

Treatment	pH <sub>(1:1)</sub>	EC <sub>(1:5)</sub> (mS/cm)	Organic matter (g/kg)	Available P (mg/kg)	Total P (mg/kg)
Control_RRR	6.13	0.85	42.88	37.44b	215.94
CP_RMM	6.02	0.93	43.06	41.52ab	255.34
CP_RMS	6.03	0.77	45.32	42.89a	256.58
MN_RMM	5.99	0.84	46.08	46.52a	293.59
MN_RMS	6.02	0.77	46.49	41.96ab	274.72
CP+MN_RMM	6.07	0.80	46.25	42.71a	238.14
CP+MN_RMS	6.06	0.80	46.17	45.77a	259.83
<b>F-test</b>	ns	ns	ns	*	ns
<b>CV (%)</b>	1.76	27.69	6.12	6.32	14.43

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกัน ในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.1.4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูกพืชรอบที่ 3

ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูกพืชรอบที่ 3 พบว่า ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) อยู่ในระดับกรดเล็กน้อยอยู่ระหว่าง 6.23–6.96 มีค่าการนำไฟฟ้า (EC) อยู่ในช่วง 0.50-0.79 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จัดอยู่ในระดับ ไม่เค็มและไม่เป็นอันตรายต่อพืช (< 2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter; OM) อยู่ในช่วง 45.78-48.31 กรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับที่ต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 38.82-44.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินอยู่ในช่วง 149.34-212.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในทุกพริตเมนต์ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.19) หลังการปลูกพืชรอบที่ 3 แสดงให้เห็นว่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ยังคงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าดินที่ไม่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์แม้ปลูกพืชมาแล้วในฤดูที่สาม

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อินทรีย์วัตถุ (OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) ในดินหลังการปลูกพืช รอบที่ 3

Treatment	pH <sub>(1:1)</sub>	EC <sub>(1:5)</sub> (mS/cm)	Organic matter (g/kg)	Available P (mg/kg)	Total P (mg/kg)
Control_RRR	6.96	0.67	46.04	38.82	149.34
CP_RMM	6.39	0.75	46.18	40.26	204.79
CP_RMS	6.49	0.63	45.78	44.89	204.95
MN_RMM	6.23	0.79	46.48	43.38	212.00
MN_RMS	6.36	0.50	47.36	41.23	173.41
CP+MN_RMM	6.35	0.70	47.64	42.75	193.44
CP+MN_RMS	6.44	0.51	48.31	43.01	199.04
<b>F-test</b>	ns	ns	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	4.23	18.86	4.34	12.51	13.22

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกัน ในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.1.4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูกข้าวรอบที่ 4 (ดินหลังการทดลอง)

ผลการวิเคราะห์สมบัติดินหลังปลูกข้าวรอบที่ 4 พบว่า มีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) อยู่ในระดับปานกลางมีค่าอยู่ระหว่าง 6.95-7.16 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter; OM) อยู่ระหว่าง 39.98-42.86 กรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) อยู่ระหว่าง 230.34-288.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งในทุกทริตเมนต์ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในส่วนของค่าการนำไฟฟ้า (EC) พบว่า ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในทุกทริตเมนต์มีค่าที่สูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินที่ไม่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (Control\_RRR) โดยดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS) มีแนวโน้มสูงกว่าทริตเมนต์อื่นๆ มีค่าเท่ากับ 0.94 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร เช่นเดียวกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน พบว่า ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS) มีแนวโน้มสูงกว่าเมื่อเทียบกับดินที่ไม่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (Control\_RRR) มีค่าเท่ากับ 44.61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.20)

เมื่อเทียบกับดินก่อนการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดไม่ได้แตกต่างทางสถิติ ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินหลังการทดลองในทุกทรีตเมนต์มีค่าเพิ่มขึ้นจากดินก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ไม่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (Control\_RRR) มีปริมาณที่ลดลงจากดินก่อนการทดลอง ในขณะที่ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกพืชทั้ง 2 ระบบ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ไม่แตกต่างจากดินก่อนการทดลอง (ตารางภาคผนวกที่ 1.16)

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อินทรีย์วัตถุ (OM) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) ในดินหลังปลูกข้าวรอบที่ 4

Treatment	pH <sub>(1:1)</sub>	EC <sub>(1:5)</sub> (mS/cm)	Organic matter (g/kg)	Available P (mg/kg)	Total P (mg/kg)
Control_RRR	7.16	0.65b	39.98	32.61b	230.34
CP_RMM	7.16	0.88a	41.11	40.35a	257.32
CP_RMS	7.08	0.87a	40.26	40.67a	270.11
MN_RMM	7.06	0.91a	42.03	44.61a	284.42
MN_RMS	7.03	0.94a	41.43	43.59a	288.21
CP+MN_RMM	6.95	0.80ab	42.66	41.01a	264.20
CP+MN_RMS	7.01	0.92a	42.84	44.58a	288.13
<b>F-test</b>	ns	*	ns	**	ns
<b>CV (%)</b>	2.03	10.56	8.75	6.78	9.52

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## 4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงรูปฟอสฟอรัสในระบบการปลูกพืชหลังนาที่แตกต่างกัน

### 4.2.1 รูปของฟอสฟอรัส (P fraction)

รูปของฟอสฟอรัสในการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1.) กลุ่มฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ง่ายแบ่งออกเป็น 3 รูป ประกอบไปด้วย รูปที่ละลายน้ำได้ ( $H_2O-P$ ) รูปที่ดูดซับอยู่กับคอลลอยด์ดิน ( $NaHCO_3$  (Pi)) และรูปที่อยู่ในสารประกอบอินทรีย์ ( $NaHCO_3$  (Po)) 2.) กลุ่มฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ปานกลาง แบ่งออกเป็น 2 รูป ประกอบไปด้วย รูปของเหล็กฟอสเฟตและอะลูมิเนียมฟอสเฟต ( $NaOH$  (Pi)) และรูปที่เกี่ยวข้องกับกรดฮิวมิก และกรดฟลูวิก ( $NaOH$  (Po)) 3.) กลุ่มฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ยาก แบ่งออกเป็น 2 รูป ประกอบไปด้วย รูปของแคลเซียมฟอสเฟตและแระอะพาไทด์ ( $HCl-P$ ) และส่วนที่สลายตัวได้ยากหรือส่วนที่เหลือในดิน (Residual-P)

#### 4.2.1.1 รูปของฟอสฟอรัสในดินก่อนการทดลอง

รูปของฟอสฟอรัสในดินก่อนการทดลองในทุกทริตमेंท์ไม่แตกต่างทางสถิติ ยกเว้น รูป  $HCl-P$  โดยดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักในระบบปลูกข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP\_RMM) มีปริมาณฟอสฟอรัสในรูป  $HCl-P$  เท่ากับ 16.59 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคในระบบปลูกข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS) และดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยมูลโคในระบบปลูกข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP+MN\_RMM) มีค่าเท่ากับ 16.35 และ 16.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.21) เมื่อคิดเป็นสัดส่วนของรูปฟอสฟอรัสทั้งหมดในทุกทริตमेंท์ สามารถลำดับปริมาณฟอสฟอรัสในรูปต่างๆ จากค่าเฉลี่ยในทุกทริตमेंท์จากปริมาณมากไปหาน้อยได้ ดังนี้ ฟอสฟอรัสอยู่ในรูป Residual-P (45.70%) >  $HCl-P$  (15.16%) >  $NaOH$  (Pi) (12.35%) >  $NaHCO_3$  (Pi) (10.10%) >  $NaHCO_3$  (Po) (9.59%) >  $NaOH$  (Po) (7.09%) >  $H_2O-P$  (0.01%) (รูปภาคผนวกที่ 2.1) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟตและแระอะพาไทด์ ( $HCl-P$ ) และฟอสฟอรัสยังคงอยู่ในรูปอนินทรีย์ ( $NaHCO_3$  (Pi) และ  $NaOH$  (Pi)) มากกว่ารูปอินทรีย์ ( $NaHCO_3$  (Po) และ  $NaOH$  (Po)) ซึ่ง Lehmann *et al.* (2005) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ไม่มีผลต่อรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน แต่อย่างไรก็ตามในสภาพน้ำขังเพื่อปลูกข้าวอาจทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ และรูปเหล็กฟอสเฟต และอะลูมิเนียมฟอสเฟตได้มากขึ้น (Abolfazli *et al.*, 2012) ในขณะที่ฟอสฟอรัสสามารถตกตะกอนอยู่ในรูปของแคลเซียมฟอสเฟตและแระอะพาไทด์ ( $HCl-P$ ) ได้เช่นกัน (Cooperband *et al.*, 2002) ซึ่งการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปริมาณแคลเซียมที่สูงสามารถช่วยส่งเสริมให้ตกตะกอนกับฟอสฟอรัสในดินให้อยู่อยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟตได้ (Robinson and Sharpley, 1996)

ตารางที่ 4.21 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสในดิน (Soil phosphorus fraction) ก่อนการทดลอง

Treatment	H <sub>2</sub> O-	NaHCO <sub>3</sub> -	NaHCO <sub>3</sub> -	NaOH-	NaOH-	HCl-	Residual-
	P	Pi	Po	Pi	Po	P	P
(%)							
Control_RRR	nd	9.33	9.06	12.33	6.95	14.30ab	48.03
CP_RMM	nd	9.49	8.19	11.80	6.27	16.59a	47.67
CP_RMS	nd	10.40	9.88	12.42	6.86	14.59ab	45.86
MN_RMM	nd	10.49	9.87	13.55	7.96	13.27b	44.86
MN_RMS	0.08	10.57	10.42	12.15	7.62	16.35a	42.80
CP+MN_RMM	nd	9.72	9.04	12.27	6.49	16.58a	45.89
CP+MN_RMS	nd	10.71	10.65	11.93	7.45	14.44ab	44.82
F-test	-	ns	ns	ns	ns	*	ns
CV (%)	-	7.61	11.94	8.39	17.98	8.31	6.07

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.2.1.2 รูปของฟอสฟอรัสในดินหลังการปลูกข้าวรอบที่ 1

รูปของฟอสฟอรัสในดินหลังการปลูกข้าวรอบที่ 1 ทุกรูปในทุกพริตเมนต์ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.22) แสดงให้เห็นว่าผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ไม่ได้ส่งต่อความแตกต่างของรูปฟอสฟอรัสในแต่ละรูป แต่ในสภาพขังน้ำทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์เพิ่มมากขึ้นเกือบ 60 เปอร์เซ็นต์ของรูปฟอสฟอรัสทั้งหมด ซึ่งในภาพรวมมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจากดินก่อนปลูก (รูปภาคผนวกที่ 2.2) โดยในสภาพน้ำขังสามารถช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ได้โดยเฉพาะรูปที่ละลายน้ำได้ (H<sub>2</sub>O-P) ก่อให้เกิดความเสี่ยงในการชะละลายสู่สิ่งแวดล้อมได้ (Abolfazli *et al.*, 2012; ปรัชวีณี พิบัติรุ่ง, 2558; Surin *et al.*, 2019) โดยฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ควรมีค่าที่น้อยกว่า 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) เมื่อคิดเป็นสัดส่วนของรูปฟอสฟอรัสทั้งหมดในทุกพริตเมนต์ พบว่า สามารถลำดับปริมาณฟอสฟอรัสในรูปต่างๆ จากค่าเฉลี่ยในทุกพริตเมนต์จากปริมาณมากไปหาน้อยได้ ดังนี้ ฟอสฟอรัสอยู่ในรูป Residual-P (26.05%) > NaOH (Pi) (22.80%) > NaOH (Po) (21.44%) > HCl-P (14.39%) > NaHCO<sub>3</sub> (Pi) (7.95%) > NaHCO<sub>3</sub> (Po) (7.24%) > H<sub>2</sub>O-P (0.15%) (รูปภาคผนวกที่ 2.2) ฟอสฟอรัสในรูปเหล็กฟอสเฟต และอะลูมิเนียมฟอสเฟต (NaOH (Pi)) มีปริมาณที่สูงรองจากรูป

Residual-P อาจเป็นผลมาจากค่าความเป็นกรดต่างที่ลดลงในดินหลังการปลูกข้าวรอบที่ 1 (ตารางที่ 4.19) ทำให้มีปริมาณเหล็กละลายออกมาเพิ่มขึ้นในรูปเฟอร์ไรต์ระหว่างการที่ดินขังน้ำอาจตกตะกอนกับฟอสฟอรัสในดินได้ (Slaton *et al.*, 2002)

ตารางที่ 4.22 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสในดิน (Soil phosphorus fraction) หลังปลูกข้าวรอบที่ 1

Treatment	H <sub>2</sub> O-	NaHCO <sub>3</sub> -	NaHCO <sub>3</sub> -	NaOH-	NaOH-	HCl-	Residual-
	P	Pi	Po	Pi	Po	P	P
(%)							
Control_RRR	0.20	7.29	5.66	23.24	20.53	14.70	28.33
CP_RMM	0.19	7.53	7.91	22.95	20.92	14.53	25.94
CP_RMS	0.16	7.49	6.66	22.70	23.28	14.03	25.79
MN_RMM	0.17	7.96	7.20	21.66	21.70	13.47	27.97
MN_RMS	0.19	8.29	7.39	22.59	21.11	14.33	26.09
CP+MN_RMM	0.19	8.07	7.62	24.13	21.94	14.77	23.35
CP+MN_RMS	0.14	9.01	8.21	22.35	20.58	14.88	24.87
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	11.18	11.45	26.52	8.06	9.59	8.33	12.01

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกัน ในคอลัมน์แสดงถึง ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.2.1.3 รูปของฟอสฟอรัสในดินหลังการปลูกพืชรอบที่ 2

รูปของฟอสฟอรัสในดินหลังการปลูกพืชรอบที่ 2 พบว่า ฟอสฟอรัสในรูป H<sub>2</sub>O-P NaHCO<sub>3</sub> (Pi) NaHCO<sub>3</sub> (Po) และ NaOH (Pi) ไม่แตกต่างทางสถิติในทุกพริตเมนต์ ในขณะที่ฟอสฟอรัสในรูป NaOH (Po) มีปริมาณสูงในดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบการปลูกข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (MN\_RMM) มีปริมาณเท่ากับ 9.70 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชในระบบการปลูกข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (MN\_RMS) เท่ากับ 3.88 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสในรูป HCl-P มีปริมาณสูงในดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก+ปุ๋ยมูลโคร่วมกันปลูกพืชในระบบการปลูกข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP+MN\_RMM) มีปริมาณเท่ากับ 15.66 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของฟอสฟอรัสในรูป Residual-P พบว่า มีค่าสูงที่สุดในดินที่ไม่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (Control\_RRR) (ตารางที่ 4.23) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์

ในสภาพที่ปลูกพืชไร่ (ไม่ขังน้ำ) ส่งผลให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปเกี่ยวข้องกับกรดฮิวมิก และกรดฟลูวิก (NaOH (Po)) และรูปของแคลเซียมฟอสเฟตและแรอะพาไทต์ (HCl-P) มากกว่ารูปอื่นๆ โดยเมื่อคิดเป็นสัดส่วนของรูปฟอสฟอรัสทั้งหมดในทุกทริตमेंท์ พบว่า สามารถลำดับปริมาณฟอสฟอรัสในรูปต่างๆ จากค่าเฉลี่ยในทุกทริตमेंท์ จากปริมาณมากไปหาน้อยได้ ดังนี้ ฟอสฟอรัสอยู่ในรูป Residual-P (52.41%) > HCl-P (13.71%) > NaOH (Pi) (13.68%) > NaHCO<sub>3</sub> (Pi) (10.50%) > NaHCO<sub>3</sub> (Po) (6.92%) > NaOH (Po) (2.79%) > H<sub>2</sub>O-P (0.00%) ซึ่งหลังการปลูกพืชรอบที่ 2 พบว่า ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ลดลงจากดินหลังปลูกรอบที่ 1 และเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ยาก (Residual-P และ HCl-P) ถึง 65 เปอร์เซ็นต์ (รูปภาคผนวกที่ 2.3)

ตารางที่ 4.23 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสในดิน (Soil phosphorus fraction) หลังปลูกพืชรอบที่ 2

Treatment	H <sub>2</sub> O-	NaHCO <sub>3</sub> -	NaHCO <sub>3</sub> -	NaOH-	NaOH-	HCl-	Residual-
	P	Pi	Po	Pi	Po	P	P
(%)							
Control_RRR	nd	10.59	6.51	13.69	0.36d	12.26c	56.58a
CP_RMM	nd	10.02	5.92	14.78	1.36dc	15.14ab	52.78ab
CP_RMS	nd	11.63	4.50	14.28	0.99dc	14.56abc	54.05ab
MN_RMM	nd	9.75	8.74	12.29	9.70a	12.40c	47.11c
MN_RMS	nd	10.42	9.02	14.20	3.88b	12.59c	49.89bc
CP+MN_RMM	0.02	10.71	5.78	13.14	1.13dc	15.66a	53.56ab
CP+MN_RMS	nd	10.37	7.98	13.34	2.08c	13.35bc	52.88ab
F-test	-	ns	ns	ns	**	*	*
CV (%)	-	5.14	33.27	8.70	24.25	6.67	4.04

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.2.1.4 รูปของฟอสฟอรัสในดินหลังการปลูกพืชรอบที่ 3

รูปของฟอสฟอรัสในดินหลังการปลูกพืชรอบที่ 3 พบว่า ฟอสฟอรัสในรูป H<sub>2</sub>O-P NaHCO<sub>3</sub> (Pi) NaHCO<sub>3</sub> (Po) NaOH (Pi) และ Residual-P ไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกทริตमेंท์ ในขณะที่ฟอสฟอรัสในรูป NaOH (Po) มีปริมาณสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในดินที่ไม่ผ่าน

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (Control\_RRR) มีปริมาณเท่ากับ 10.39 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ฟอสฟอรัสในรูป HCl-P มีปริมาณสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักปลูกพืชในระบบการปลูกข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP\_RMM) มีปริมาณเท่ากับ 18.42 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.24) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพไม่ขังน้ำในฤดูที่สอง ยังคงส่งผลให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปเกี่ยวข้องกับกรดอิมิก และกรดฟลูวิก (NaOH (Pi)) และรูปของแคลเซียมฟอสเฟตและแร่อะพาไทต์ (HCl-P) มากกว่ารูปอื่นๆ เช่นเดียวกับสภาพดินไม่ขังน้ำในฤดูแรก เมื่อคิดเป็นสัดส่วนของรูปฟอสฟอรัสทั้งหมดในทุกทริตเมนต์ พบว่า สามารถลำดับปริมาณฟอสฟอรัสในรูปต่างๆ จากค่าเฉลี่ยในทุกทริตเมนต์ จากปริมาณมากไปหาน้อยได้ ดังนี้ ฟอสฟอรัสอยู่ในรูป Residual-P (53.10%) > HCl-P (16.66%) > NaOH (Pi) (13.31%) > NaHCO<sub>3</sub> (Pi) (7.80%) > NaHCO<sub>3</sub> (Po) (6.00%) > NaOH (Po) (2.99%) > H<sub>2</sub>O-P (0.14%) ซึ่งหลังการปลูกพืชรอบที่ 3 พบว่า ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ลดลงในสภาพที่ไม่ขังน้ำ โดยอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ถึง 69 เปอร์เซ็นต์ (รูปภาคผนวกที่ 2.4)

ตารางที่ 4.24 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสในดิน (Soil phosphorus fraction) หลังการปลูกพืชรอบที่ 3

Treatment	H <sub>2</sub> O-	NaHCO <sub>3</sub> -	NaHCO <sub>3</sub> -	NaOH-	NaOH-	HCl-	Residual-
	P	Pi	Po	Pi	Po	P	P
(%)							
Control_RRR	0.04	6.26	5.72	13.42	10.39a	13.91c	50.26
CP_RMM	0.08	8.52	4.36	12.77	1.42b	18.42a	54.42
CP_RMS	0.03	7.50	6.35	14.18	2.06b	17.02b	52.76
MN_RMM	0.03	8.47	6.89	13.52	0.54b	16.76b	53.69
MN_RMS	0.33	8.18	5.80	13.26	1.08b	16.84b	54.44
CP+MN_RMM	0.13	8.58	6.77	12.67	1.60b	17.14b	53.15
CP+MN_RMS	0.23	6.77	5.67	13.21	5.07b	16.44b	52.71
F-test	ns	ns	ns	ns	**	**	ns
CV (%)	50.08	24.90	21.74	7.75	64.03	3.34	24.84

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.2.1.5 รูปของฟอสฟอรัสในดินหลังการปลูกข้าวรอบที่ 4

รูปของฟอสฟอรัสในดินหลังการปลูกข้าวรอบที่ 4 ในทุกทริตเมนต์ที่ไม่แตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 4.25) ยกเว้นฟอสฟอรัสรูปที่ละลายน้ำได้ ( $H_2O-P$ ) พบว่า ดินที่ไม่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าว-ข้าว (Control\_RRR) มีฟอสฟอรัสรูปที่ละลายน้ำได้ ( $H_2O-P$ ) สูงอาจเป็นผลมาจากสภาพดินที่มีขังน้ำอย่างต่อเนื่อง ทำให้จุลินทรีย์ในดินสามารถละลายฟอสเฟตให้หลุดออกมา และเป็นประโยชน์ได้มากกว่าดินที่ไม่ขังน้ำ (Hinsinger, 2001) แต่ดินที่ไม่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าว-ข้าว (Control\_RRR) มีฟอสฟอรัสรูปที่ละลายน้ำได้ ( $H_2O-P$ ) ไม่แตกต่างทางสถิติกับดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมักปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด (CP\_RMM) และปลูกพืชในระบบข้าว-ข้าวโพด-ถั่วเหลือง (CP\_RMS) แสดงให้เห็นว่าผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ไม่ได้ส่งต่อความแตกต่างของรูปฟอสฟอรัสในดิน แต่ในสภาพขังน้ำทำให้ฟอสฟอรัสเปลี่ยนรูปมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์เพิ่มมากขึ้น (รูปภาคผนวกที่ 2.5) ในสภาพน้ำขังสามารถช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ โดยเฉพาะรูปที่ละลายน้ำได้ ( $H_2O-P$ ) โดยฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ ควรมีค่าที่น้อยกว่า 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) หากค่ามากกว่ามาตรฐานกำหนด อาจเกิดความเสี่ยงในการชะละลายลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ก่อให้เกิดกระบวนการยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) (Abolfazli *et al.*, 2012; ปรีชวณี พิบัติรุ่ง, 2558; Surin *et al.*, 2019) นอกจากนี้ผลตกค้างในระยะยาวจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทำให้รูปของฟอสฟอรัสคงเหลืออยู่ในดินได้ในทุกรูปเช่นเดียวกับการทดลองของ Hao *et al.* (2008) เมื่อคิดเป็นสัดส่วนของรูปฟอสฟอรัสทั้งหมดในทุกทริตเมนต์ พบว่า สามารถลำดับปริมาณฟอสฟอรัสในรูปต่างๆ จากค่าเฉลี่ยในทุกทริตเมนต์จากปริมาณมากไปหาน้อยได้ ดังนี้ ฟอสฟอรัสอยู่ในรูป Residual-P (50.56%) > HCl-P (16.84%) > NaOH (Pi) (16.43%) >  $NaHCO_3$  (Pi) (8.29%) > NaOH (Po) (5.38%) >  $NaHCO_3$  (Po) (2.25%) >  $H_2O-P$  (0.25%) (รูปภาคผนวกที่ 2.5)

ตารางที่ 4.25 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสในดิน (Soil phosphorus fraction) หลังปลูกข้าวรอบที่ 4

Treatment	H <sub>2</sub> O-	NaHCO <sub>3</sub> -	NaHCO <sub>3</sub> -	NaOH-	NaOH-	HCl-	Residual-
	P	Pi	Po	Pi	Po	P	P
(%)							
Control_RRR	0.41a	8.70	2.15	15.46	5.71	15.50	52.16
CP_RMM	0.37a	7.66	1.89	15.82	4.62	17.63	52.08
CP_RMS	0.29a	7.50	1.61	16.32	5.31	17.90	51.12
MN_RMM	0.14b	8.83	2.60	16.36	5.83	16.95	49.20
MN_RMS	0.14b	8.45	2.38	17.02	4.92	16.85	50.13
CP+MN_RMM	0.14b	8.41	2.83	16.65	5.77	17.18	48.94
CP+MN_RMS	0.13b	8.51	2.30	17.41	5.47	15.85	50.28
F-test	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	22.67	7.54	22.23	7.06	24.53	7.05	5.24

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนาต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมฟอสฟอรัสในดิน

ดินหลังปลูกของทรีตเมนต์ที่ไม่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปลูกข้าวเพียงอย่างเดียว (Control\_RRR) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สกัดด้วยน้ำยาสกัด Bray II ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินก่อนการทดลอง และต่ำกว่าค่าวิกฤตการชะละลายฟอสฟอรัสสู่สิ่งแวดล้อม แต่ดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าว (มากกว่า 12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าวต่อเนื่อง 4 ฤดู ไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มเติม การปลูกข้าวสามารถลดความเสี่ยงการชะละลายฟอสฟอรัสสู่สิ่งแวดล้อมได้

สำหรับระบบการปลูกพืชหลังนาระบบปลูกข้าว-ข้าวโพด-ข้าวโพด เป็นระบบการปลูกพืชที่เหมาะสมในการลดการสะสมฟอสฟอรัสในดิน เนื่องจากข้าวโพดมีความสามารถในการดูดดึงฟอสฟอรัสที่สูงกว่าข้าว และถั่วเหลือง อย่างไรก็ตามในดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกันและปลูกพืชในระบบการปลูกพืชหลังนาทั้ง 2 ระบบ ไม่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมฟอสฟอรัสในดิน เพราะฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) หลังการทดลองไม่แตกต่างทางสถิติกับดินก่อนการทดลอง แต่ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด Bray II ยังมีค่าสูงกว่าค่าวิกฤตการชะละลายฟอสฟอรัสสู่สิ่งแวดล้อม แสดงให้เห็นว่าในดินที่มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงควรระมัดระวังในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เพราะในดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ร่วมกับการปลูกข้าว และสลับไปปลูกพืชหลังนา 2 ฤดู ไม่สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสที่เสี่ยงต่อการชะละลายสู่สิ่งแวดล้อมได้

อย่างไรก็ตามผลตกค้างของดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชหลังนาทั้ง 2 ระบบ สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวได้ ในขณะที่ผลตกค้างของดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยหมัก+ปุ๋ยมูลโคปลูกพืชหลังนาทั้ง 2 ระบบ สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดและถั่วเหลืองได้ การเลือกปลูกข้าวโพดเป็นพืชหลังนาสามารถช่วยเพิ่มการดูดดึงฟอสฟอรัสไปจากดินได้มากกว่าถั่วเหลือง และผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด ยังคงเหลือปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ไว้ในดินเพียงพอต่อการปลูกพืชในฤดูถัดไป และประสิทธิภาพเชิงเศรษฐกิจของการใช้ฟอสฟอรัสของดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยมูลโคมีค่าสูงที่สุด ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ดินได้รับก่อนการทดลอง

## 5.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงรูปฟอสฟอรัสในระบบการปลูกพืชหลังนาที่แตกต่างกัน

หลังการปลูกข้าวรอบที่ 1 และ 4 หรือหลังจากดินอยู่ในสภาพขังน้ำ แสดงให้เห็นว่าผลตกค้างจากดินที่ผ่านการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่างชนิดกัน ไม่ได้ส่งผลต่อรูปของฟอสฟอรัสทั้ง 7 รูป แต่ในสภาพที่มีน้ำขังส่งผลให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายน้ำได้ ( $H_2O-P$ ) ในขณะที่ดินในสภาพไม่ขังน้ำหรือดินหลังปลูกพืชหลังนาทั้ง 2 ระบบ ทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปของเหล็กฟอสเฟต และอะลูมิเนียมฟอสเฟต ( $NaOH-P$ ) และรูปของแคลเซียมฟอสเฟตและแร่อะพาไทด์ ( $HCl-P$ ) ที่สูงขึ้น ซึ่งทั้ง 2 รูปนี้จัดเป็นเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ได้ปานกลางและยากในดิน

การปลูกข้าวอย่างต่อเนื่องทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้น หากมีฟอสฟอรัสที่มากกว่าค่าการประเมินความเสี่ยงการชะละลายฟอสฟอรัส (Bray-2 P critical value) ( $>43.85$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ประกอบกับการขังน้ำทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้สูงกว่าการปลูกพืชไร่ อาจทำให้ฟอสฟอรัสชะละลายลงสู่สิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดกระบวนการยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ดังนั้นการปลูกพืชหลังนาเพื่อสลับสภาพการขังน้ำอาจช่วยให้ความเสี่ยงในการชะละลายลดลงได้

## เอกสารอ้างอิง

- กนกวรรณ นพพันธ์ และ ชูชาติ สันธิทรัพย์. 2559. “การจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดอาหารสัตว์ในพื้นที่จังหวัดตาก”. **วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร**. 33(1) : 10-19.
- กรมการข้าว. 2556. **รูปแบบการจัดการระบบการปลูกข้าว ปี 2556**. กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร. 3 น.
- กรมการข้าว. 2560. **ข้าวพันธุ์ กข 43**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <https://www.thairicedb.com/rice-detail.php?id=27>
- กรมควบคุมมลพิษ. 2010. **มาตรฐานคุณภาพน้ำ**. [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูล : [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/reg\\_std\\_water04.html](http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html)
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2544. **วิธีวิเคราะห์ดินทางเคมี**. เอกสารทางวิชาการกองวิเคราะห์ดิน ฉบับที่ 1/2544. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร. 124 น.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2550. **เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน ปุ๋ย และการใช้ปุ๋ย**. สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2560. **การปลูกพืชหลังนา**. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท นิเวศธรรมดาการพิมพ์ (ประเทศไทย) จำกัด. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร. 36 น.
- กฤตย์ สมสาร. 2549. **ฟอสฟอรัสในดิน**. กลุ่มทดสอบวัสดุและผลิตภัณฑ์การเกษตรเคมี โครงการเคมี.
- เกษตร สันติวงศ์ เนตรนภา อินสฤต วิษณุภาส สังพาลี และ เพ็ญญา จักรสมศักดิ์. 2561. “การเปรียบเทียบเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดินบางประการของพืชตระกูลถั่ว 4 ชนิด ในชุดดินสันทราย.” **วารสารแก่นเกษตร**. 46(ฉบับพิเศษ 1) : 551-555.
- เกษตรก้าวหน้า. 2559. **ตารางแสดงธาตุอาหารในปุ๋ยหมักแต่ละชนิด**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.kasetkawna.com>.
- เคมีเกษตร. 2561. **ธาตุอาหารพืช**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.siamchemi.com>.
- ญาณิน สุปะมา ขจรวิทย์ พันธุ์ยางน้อย ศักดิ์สิทธิ์ จรรย์ยากรณ์ และ พรทิพย์ แพงจันทร์. 2554. “ทดสอบระบบปลูกพืชหลังนาในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น.” **ในการประชุมวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 7**. วันที่ 8-10 สิงหาคม 2554 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม : 374-386.

- ณิญา บันดอนไฟ สักดีดา จงแก้ววัฒนา และ อรวรรณ ฉัตรสีรุ่ง. 2556. “การประเมินปริมาณไนโตรเจนในใบยอดข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 โดยการวิเคราะห์ภาพถ่ายสีด้วยกล้องดิจิทัลเปรียบเทียบกับการใช้คลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD-502)”. **งานประชุมวิชาการระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น**. 570-576.
- ดำรงค์ จิระสุทัศน์. 2557. **กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์**. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร. 4 น.
- ธงชัย มาลา และ อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์. 2541. **เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการการปรับปรุงดินโดยใช้ปุ๋ยหมัก**. เอกปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม.
- ธนวัฒน์ กล่อมเกลี้ยง. 2556. **ปลูกพืชตระกูลถั่วคลุมดินเพิ่มอินทรีย์วัตถุ**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.gotoknow.org/posts/365213>.
- นุกูล ถวิลถึง. 2559. **เอกสารประกอบการสอนวิชาการจัดการดินและธาตุอาหารพืช**. เอกปฐพีวิทยา ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร.
- บงการ พันธุ์เพ็ง ทีประพันธ์ น้อยอินทร์ และ เพียว พรหมพันธ์ใจ. 2557. “การทดสอบวิจัยและพัฒนาระบบการปลูกพืชหลังนาในเขตน้ำใต้ดินชั้นเขตใช้น้ำฝน จังหวัดอุบลราชธานี”. **วารสารแก่นเกษตร**. 42(ฉบับพิเศษ 2 : 250-257).
- บัญชา รัตน์ทุ. 2552. “ปุ๋ยอินทรีย์พื้นฟูสภาพดิน.” วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนครราชสีมา. มหาวิทยาลัยนครราชสีมาวารสารนครินทร์ นครราชสีมา. 16 น.
- ประสงค์ โยระภัตร สักดีดา จงแก้ววัฒนา และ อรวรรณ ฉัตรสีรุ่ง. 2556. “การประเมินปริมาณไนโตรเจนในใบที่สัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียว”. **งานประชุมวิชาการระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น**. 591-597.
- ปรีชานี พิบำรุง. 2558. “ฟอสฟอรัสและการชะละลายฟอสฟอรัสในดินนาจังหวัดพระนครศรีอยุธยา”. **วารสารแก่นเกษตร**. 43 : 949-955.
- พระราชบัญญัติปุ๋ย. 2550. **มาตรา 3 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550**. สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา กรุงเทพมหานคร. 29 น.
- พัชรินทร์ สุรินทร์ ศิวกร พรคนึง กัญจน์รัตน์ ลชิตาวงศ์ และ สุกัญญา เข้มประชา. 2561. “ผลของการใส่หินปูนร่วมกับการระบายน้ำต่อการแก้ไขความเป็นกรด ความเค็ม และความเป็นพิษของอะลูมิเนียม เหล็ก และแมงกานีสในดินกรดจัด”. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**. 36 : 45-53.

- ภาสินี สืบสวน. 2562. ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ **ปทุมธานี 1**. ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร.
- ขงยุทธ โอสดสภา นงคราญ มณีวรรณ บุญดิษฐ์ วรินทร์รักษ์ วิภาวรรณ ท้ายเมือง สมศักดิ์ สุขจันทร์ สิริมา ปิ่นศิริ และ อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์. 2558. ดิน ธาตุอาหาร และปุ๋ยข้าว. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร. 454 น.
- วิเศษศักดิ์ ศรีสุริยะธาดา นฤเทพ สุภากรณ์ สุนทร ชารามาศ สมเกียรติ แจ่มฟ้า วรรณรีย์ คนขยัน และ ปรีดา ศรีรัตนะ. 2555. โครงการลดต้นทุนการผลิตพืช-ปรับระบบการปลูกข้าว (พืชหลังนา) ปี 2555. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร. 5 น.
- ศิราณี วงศ์กระจ่าง และ บัญชา รัตนิทุ. 2557. “การจัดการดินกรดโดยการใส่ปูนและอินทรีย์วัตถุ”. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์. 6(1) : 103-112.
- ศูนย์วิจัยพืชไร่. 2561. **องค์ความรู้เกี่ยวกับข้าวโพด**. [ออนไลน์]. สืบค้นข้อมูลได้จาก : <http://www.doa.go.th/fc/nakhonsawan/>
- สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2561. **ข้าวโพด**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=3&chap=2&page=chap2.htm>.
- สำนักงานเกษตร. 2560. **ถั่วเหลือง ข้อมูลเพื่อการวางแผนสินค้าเกษตรจังหวัดสุโขทัย**. สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดสุโขทัย. 35 หน้า.
- สำนักงานเกษตรจังหวัดสิงห์บุรี. 2555. **เอกสารเผยแพร่ความรู้ เรื่อง การใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการผลิตข้าว**. สำนักงานเกษตรจังหวัดสิงห์บุรี สิงห์บุรี.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. **สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559**. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานครฯ. 232 น.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. **ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร**. [ออนไลน์]. <http://www.oae.go.th/view/1/>
- สุกัญญา แยมประชา. 2554. **เอกสารประกอบการสอนวิชาเคมีดิน**. เอกปฐพีวิทยา ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร.
- สุกัญญา แยมประชา. 2558. **เอกสารประกอบการสอนวิชาวิเคราะห์ดินและพืช**. เอกปฐพีวิทยา ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร.

สุวรรณรัตน์ รัตนะรัตน์ นงลักษณ์ วิบูลสุข พิชิต พงษ์สกุล จิรพงษ์ ประสิทธิ์เขตร มณเฑียร จินดา และ สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์. 2543. **ลักษณะอาการขาดธาตุอาหารของพืช**. กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร. 128 น.

อดิศักดิ์ บัวนภียาพันธุ์. 2556. **โรคข้าวโพด**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

[www.agriqua.doae.go.th/news/2556/paper/corn.ppt](http://www.agriqua.doae.go.th/news/2556/paper/corn.ppt).

อัจฉราจิตตลดการ ปริชาติ คิชฐกิจ หฤษฎี ภัทรดิถก ยงยุทธ โอสถสภา ชัยสิทธิ์ ทองจู นุญต ถวิลถึง วัชระ เสือดี สุกัญญา เข้มประชา สิโรจน์ ประคุณหังสิต สุจิตรา หังสพฤกษ์ เขมณัฏฐ์ มิ่งศิริธรรม และ สุกัญญา สุขวุฒิ. 2556. **เอกสารการสอนชุดวิชาดิน น้ำ และปุ๋ย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช. ปากเกร็ด นนทบุรี. 417 น.

Abolfazli, F., A. Forghani and M. Norouzi. 2012. "Effects of phosphorus and organic fertilizers on phosphorus fractions in submerged soil". **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. 12 (2) : 349-362.

Argenta, G., P. Regis, F.D. Silva and L. Sangoi. 2004. "Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize". **Ciência Rural**. 34(5) : 1379-1387.

Barth, G., E. Francisco, J.T. Suyama, and F. Garcia. 2018. "Nutrient Uptake Illustrated for Modern, High-Yielding Soybean". **Better Crops**. 102 : 11-14.

Bray, R. H. and L. T., Kurtz. 1945. "Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil". **Soil Science**. 59 : 39-45.

Cameron, K.C., H.J. Di and J.L. Moir. 2013. "Nitrogen losses from the soil/plant system". A review. **Annals of Applied Biology**. 162(2) : 145-173.

Condon, L.M., B.L. Turner and B.J. Cade-Menun. 2005. "Chemistry and dynamics of soil organic phosphorus". **American Society of Agronomy**. 87-121.

Cooperband, L., G. Bollero and F. Coale. 2002. "Effect of poultry litter and composts on soil nitrogen and phosphorus availability and corn production". **Nutr. Cycl. Agroecosyst**. 62 : 185-194.

Delp, R. 2020. The Effects of Organic Fertilizer on Plants. Retrieved from:

<https://homeguides.sfgate.com/effects-organic-fertilizer-plants-69435.html>

Ding, Y., W. Luo, and G. Xu. 2006. "Characterisation of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice". **Annals of Applied Biology**. 149(2) : 111-123.

- Dobermann, A.R. 2005. "Nitrogen Use Efficiency-State of the Art". **Agronomy and Horticulture Faculty Publications**. 6 : 1-16.
- Fritschi, F.B. and J.D. Ray. 2007. "Soybean leaf nitrogen, chlorophyll content, and chlorophyll a/b ratio". **Photosynthetica**. 45(1) : 92-98.
- Gautam, S.S. and N. Pathak. 2014. "Effect of Organic Fertilizers on Soybean Yield in Bundelkhand". **A Journal of Multidisciplinary Advance Research**. 3(2) : 84-87.
- Hao, X., F. Godlinski and C. Chang. 2008. "Distribution of phosphorus forms in soil following long-term continuous and discontinuous cattle manure applications soil". **Science Society of America Journal**. 72 : 90-97.
- Hinsinger P. 2001. "Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes". A review. **Plant Soil**. 237 : 173-195.
- Howeler, R. H. 2014. **Sustainable Soil and Crop Management of Cassava in Asia**. Vietnam : CIAT Publication. 279 pages.
- IRRI. 2018. **Deficiencies and toxicities**. [Online]. Available : <http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/growth/soil-fertility/deficiencies-and-toxicities>.
- Islam, A., J. Chandrabiswas, A.J.M. S. Karim, MST. Salmapervin and MD. A. Saleque. 2015. "Effects of Potassium Fertilization on Growth and Yield of Wetland Rice in Grey Terrace Soils of Bangladesh". **Research on Crop Ecophysiology**. 10/2 : 64-82.
- Jin, X., Y. He, G. Kirumba, Y. Hassan and J. Li. 2013. "Phosphorus fractions and phosphate sorption-release characteristics of the sediment in the Yangtze River estuary reservoir". **Ecological Engineering**. 55 : 62-66.
- Jjagwe, J., K. Chelimo, J. Karungi, A.J. Komakech and J. Lederer. 2020. "Comparative performance of organic fertilizers in maize (*Zea mays* L.) growth, yield, and economic results". **Agronomy**. 69 : 1-15.
- Johnkutty, I. and SP. Palaniappan. 1995. "Use of chlorophyll meter for nitrogen management in lowland rice". **Fertilizer Research**. 45 : 21-24.
- Khaim, S., M. Chowdhury and Saha, B. 2014. "Organic and inorganic fertilization on the yield and quality of soybean". **Journal of the Bangladesh Agricultural University**, 11(1) : 23-28.

- Kozlowski, T.T. 1984. **Flooded and plant growth: Physiological Ecology**. Academic Press, INC. 358 pages.
- Lehmann, J., Z. Lan, C. Hyland, S. Sato, D. Solomon and Q. Ketterings. 2005. “Long-term dynamics of phosphorus forms and retention in manure-amended soils”. **Environmental Science and Technology**. 39 : 6672-6680.
- Li, L., X. Liang, Y. Ye, Y. Zhao, Y. Zhang, Y. Jin, J. Yuan and Y. Chen. 2014. “Effects of repeated swine manure applications on legacy phosphorus and phosphomonoesterase activities in a paddy soil”. **Biol Fertil Soils**. 51 : 167–181.
- Maranguit, D., T. Guillaume and Y.K. Kuzyakov. 2017. “Land-use change affects phosphorus fractions in highly weathered tropical soils”. **Catena**. 149 : 385–393.
- Marcante, N.C., T. Muroaka, I.P. Bruno and M.A. Camacho. 2016. “Phosphorus uptake and use efficiency of different cotton cultivars in savannah soil (Acrisol) Acta Scientiarum”. **Agronomy**. 38 : 239-247.
- McKeague, J. A. 1978. **Manual on soil sampling and methods of analysis, 2nd edit**. Ottawa Canada, Ont. : Canadian Society of Soil Science. 212 pages.
- Meek, B., L. Graham, and T. Donovan. 1982. “Long-term effects of manure on soil nitrogen, phosphorus, potassium sodium, organic matter, and water infiltration rate”. **Soil Science Society of America Journal**. 46 : 1014-1019.
- Mengel K. 1982. “Factors and process affecting potassium requirement of crops”. **Potash Rev**. 16 : 1-12.
- Murphy, K.S. and J. Matanguihan. 2015. **Quinoa: Improvement and Sustainable Production**. The United States of America. 256 pages.
- Niazi, K., SM. Mehdi, T. Mahmood and J. Iqbal. 1992. “Potassium fertilizer use efficiency in sodic soils”. Soil Salinity Research Institute, Pindi Bhattain. 4th National Congress of Soil Science Abstract, 73p.
- Nieuwenhuize, J., C. H. Poley-Vos, A. H. van den Akker and W. van Delft. 1991. “Comparison of microwave and conventional extraction techniques for the determination of metals in soils, sediment, and sludge samples by atomic spectrometry”. **Analyst**. 116 : 347-351.

- Pizzeghello, D., A. Berti, S. Nardi and F. Morari. 2016. "Relationship between soil test phosphorus and phosphorus release to solution in three soil after long-term mineral and manure application". **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 233 : 214-223.
- Prihastuti, Z. Abidin and D.I. Sutrisno. 2015. "Evaluation of organic fertilizer application on soybean in the Village Rubaru, District Sumenep, Madura Island". **International Journal of Research in Agriculture and Forestry**. 2 : 27-34.
- Ramesh, K., B. Chandrasekaran, T.N. Balasubramanian, U. Bangarusamy, R. Sivasamy and N. Sankaran. 2002. "Chlorophyll dynamics in rice (*Oryza sativa*) before and after flowering based on SPAD (Chlorophyll) meter monitoring and its relation with grain yield". **Journal Agronomy & Crop Science**. 188 : 102-105.
- Renneson, M., S. Barbieux and G. Colinet. 2016. "Indicators of phosphorus status in soils: significance and relevance for crop soils in southern Belgium". A review. **Biotechnology, Agronomy, Society and Environment**. 20 : 257-272.
- Richards, L. A. 1954. **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soil**. Washington, D.C. : USDA Agriculture. 14 pages.
- Robinson, J.S., and A.N. Sharpley. 1996. "Reaction in soil of phosphorus released from poultry litter". **Soil Science Society of America Journal**. 6 : 1583-1588.
- Sharpley, A.N. and S.J. Smith. 1985. "Fractionation of inorganic and organic phosphorus in virgin and cultivated soils". **Soil Science Society of America Journal**. 49 : 127-130.
- Slaton, N.A., Jr. Wilson, C.E., Norman, R.J., Ntamatungiro, S. and D.L. Frizzell. 2002. "Rice response to phosphorus fertilizer application rate and timing on alkaline soils in arkansas". **Agronomy Journal**. 94 : 1393-1399.
- Surin, P., P. Supsuan, and S. Yampracha. 2019. "Release of various elements from organic fertilizers incubated in organic and non-organic paddy soils at various time periods". **Current Applied Science and Technology**. 19(3) : 277-288.
- Wang, Y.T., T.Q. Zhang, Q.C. Hu and C.S. Tan. 2016. "Phosphorus source coefficient determination for quantifying phosphorus loss risk of various animal manure". **Geoderma**. 278 : 23-31.
- Xin, X., S. Qin, J. Zhang, A. Zhu, W. Yang and X. Zhang. 2017. "Yield, Phosphorus use efficiency and balance response to substituting long-term chemical fertilizer use with organic manure in a wheat-maize system". **Field Crop Research**. 208 : 27-33.

Yan, X., Z. Wei, Q. Hong, Z. Lu and J. Wu. 2017. "Phosphorus fraction and sorption characteristic in a subtropical paddy soil as influenced by fertilizer sources".

**Geoderma.** 295 : 80-85.

**ภาคผนวก ก.**

**การทดลองที่ 1** การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์และระบบการปลูกพืชหลังนา  
ต่อการเปลี่ยนแปลงและการสะสมฟอสฟอรัสในดิน

**ตารางภาคผนวกที่ 1.1** ผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และเคมีดินก่อนการทดลองของภาสิณี  
สืบสวน

Soil property	Bangkok soil series; Bk
pH (1:1 soil: water)	6.10
Electrical conductivity (1:5 soil: water) (mS/cm)	0.40
Soil texture	Clay
Sand (g/kg)	299.60
Silt (g/kg)	227.20
Clay (g/kg)	473.20
Cation exchange capacity (cmol/kg)	30.33
C/N ratio	11.71
Organic matter (g/kg)	45.50
Total carbon (g/kg)	26.38
Total nitrogen (g/kg)	2.25
Total phosphorus (g/kg)	0.26
Total potassium (g/kg)	6.88
Total calcium (g/kg)	3.05
Total magnesium (g/kg)	3.08
Available phosphorus Bray II (mg/kg)	63.85
Available phosphorus Olsen (mg/kg)	15.43
Water extractable phosphorus (mg/kg)	0.24
Exchangeable potassium (mg/kg)	130.65
Exchangeable calcium (mg/kg)	1,838
Exchangeable magnesium (mg/kg)	226.32
Extractable sodium (mg/kg)	89.99
Extractable iron (mg/kg)	119.91
Extractable manganese (mg/kg)	20.52
Extractable zinc (mg/kg)	0.61

ที่มา: ภาสิณี สืบสวน, 2562

ตารางภาคผนวกที่ 1.2 แสดงผลการวิเคราะห์ปุ๋ยมูลโค และปุ๋ยหมักที่ใช้ในการทดลองของภาสินี สืบสวน

Organic fertilizer property	Cow manure	Compost
pH (1:5 organic fertilizer: water)	8.20	6.30
Electrical Conductivity		
(1:5 organic fertilizer: water) (mS/cm)	10.48	2.94
Total nitrogen (g/kg)	7.80	19.40
Total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg)	11.00	5.28
Total K <sub>2</sub> O (g/kg)	65.02	10.65
Total calcium (g/kg)	23.46	7.09
Total magnesium (g/kg)	4.82	3.04
Total sodium (g/kg)	1.98	0.73
Water soluble phosphorus (mg/kg)	32.61	13.80
Water soluble potassium (mg/kg)	2,139	345.17
Water soluble calcium (mg/kg)	35.64	121.05
Water soluble magnesium (mg/kg)	17.92	126.50
Water soluble sodium (mg/kg)	305.40	65.56
C:N ratio	15.76	13.44

ที่มา: ภาสินี สืบสวน, 2562

ตารางภาคผนวกที่ 1.3 แสดงปริมาณธาตุอาหารที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตามความต้องการไนโตรเจนที่อัตรา 12 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่

Treatment	Total N	Total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total K <sub>2</sub> O
	----- (g/pot) -----		
Control_RRR	-	-	-
CP_RMM	1.5935	0.4337	0.8748
CP_RMS	1.5935	0.4337	0.8748
MN_RMM	1.2131	1.7108	10.1126
MN_RMS	1.2131	1.7108	10.1126
CP+MN_RMM	1.4034	1.0723	5.4940
CP+MN_RMS	1.4034	1.0723	5.4940

ตารางภาคผนวกที่ 1.4 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นหลังการปลูกข้าวรอบที่ 1

Treatment	pH <sub>(1:1)</sub>	EC <sub>(1:5)</sub> (mS/cm)	OM ----- (g/kg) -----	TP -----	TK -----	Available	Exchangeable (mg/kg)				Extractable (mg/kg)			
						P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
						----- (mg/kg)-----								
Control_RRR	6.41	0.52	41.21	0.21b	4.50	38.59d	89.93b	2,717	607.28	372.65bc	233	35.1	6.52	5.39
CP_RMM	6.30	0.58	41.60	0.24a	4.50	44.33cb	75.94b	2,750	622.1	368.56bc	231	33.64	6.49	5.18
CP_RMS	6.32	0.57	40.89	0.25a	4.73	42.40c	87.43b	2,778	626.19	376.69bc	231	34.7	6.9	5.1
MN_RMM	6.18	0.65	42.00	0.27a	4.80	48.71a	125.28a	2,773	631.02	454.35ab	231	34.04	6.27	5.14
MN_RMS	6.43	0.65	41.78	0.26a	4.37	46.68ab	127.95a	2,742	648.18	485.56a	235	37.62	6.71	5.25
CP+MN_RMM	6.34	0.65	42.07	0.25a	4.27	45.40bc	71.89b	2,302	539.38	360.29c	232	33.15	6.13	5.05
CP+MN_RMS	6.40	0.59	42.88	0.26a	4.54	45.42bc	87.14b	2,749	629.33	411.61abc	233	34.17	6.81	5.09
<b>F-test</b>	ns	ns	ns	*	ns	**	**	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	2.7	11	6.1	7.59	19.87	3.81	12.92	10.06	10.24	11.38	2.2	6.6	12.2	2.7

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 1.5 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นหลังการปลูกพืชรอบที่ 2

Treatment	pH <sub>(1:1)</sub>	EC <sub>(1:5)</sub> (mS/cm)	OM ----- (g/kg) -----	TP ----- (g/kg) -----	TK ----- (g/kg) -----	Available	Exchangeable (mg/kg)				Extractable (mg/kg)			
						P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
						----- (mg/kg)-----								
Control_RRR	6.13	0.85	42.88	0.22	3.58	37.44b	70.15c	2,647	603.8	509.64	158.45	26.69	9.51	3.67
CP_RMM	6.02	0.93	43.06	0.26	4.08	41.52ab	96.92bc	2,948	608.31	478.56	156.86	18.21	7.27	3.19
CP_RMS	6.03	0.77	45.32	0.26	3.95	42.89a	107.19ab	2,795	581.13	383.61	164.77	18.06	7.38	3.24
MN_RMM	5.99	0.84	46.08	0.29	3.93	46.52a	135.25a	2,746	595.96	478.22	171.17	21.11	7.28	3.1
MN_RMS	6.02	0.77	46.49	0.27	3.8	41.96ab	126.06ab	2,687	593.73	470.11	176.27	18.27	6.92	3.2
CP+MN_RMM	6.07	0.80	46.25	0.24	4.02	42.71a	99.79b	2,805	587.35	411.3	151.24	18.62	7.37	3.21
CP+MN_RMS	6.06	0.80	46.17	0.26	3.55	45.77a	107.42ab	2,740	598.38	463.47	154.33	18.62	7.1	3.22
<b>F-test</b>	ns	ns	ns	ns	ns	*	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	1.76	27.69	6.12	14.43	16.93	6.32	14.73	3.95	7.21	23.94	1.67	21.2	21.32	4.15

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 1.6 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นหลังการปลูกพืชรอบที่ 3

Treatment	pH <sub>(1:1)</sub>	EC <sub>(1:5)</sub> (mS/cm)	OM ----- (g/kg) -----	TP ----- (g/kg) -----	TK ----- (g/kg) -----	Available	Exchangeable (mg/kg)				Extractable (mg/kg)			
						P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
						----- (mg/kg)-----								
Control_RRR	6.96	0.67	46.04	0.15	3.04	38.82	84.66b	2,561	608.19	502.13a	169.67a	35.56a	6.1	3.68a
CP_RMM	6.39	0.75	46.18	0.20	3.18	40.26	84.54b	2,784	575.17	397.99bc	108.67c	18.39b	6.86	2.29b
CP_RMS	6.49	0.63	45.78	0.21	3.10	44.89	96.71ab	2,676	571.34	346.56c	109.15c	18.14b	6.98	2.30b
MN_RMM	6.23	0.79	46.48	0.21	3.05	43.38	109.35a	2,736	589.89	443.38ab	126.16b	18.80b	7.01	2.35b
MN_RMS	6.36	0.50	47.36	0.17	3.03	41.23	110.52a	2,527	556.38	366.00bc	126.34b	20.14b	6.92	2.39b
CP+MN_RMM	6.35	0.70	47.64	0.19	3.06	42.75	82.35b	2,695	561.77	388.42bc	114.62c	19.01b	6.93	2.34b
CP+MN_RMS	6.44	0.51	48.31	0.20	3.03	43.01	89.62b	2,605	557.43	356.04bc	116.17bc	19.01b	6.89	2.38b
<b>F-test</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	**	**	ns	**
<b>CV (%)</b>	4.23	18.86	4.34	13.22	6.86	12.51	11.28	2.26	3.69	12.17	4.97	9.68	7.18	2.13

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึง ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 1.7 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้นหลังการปลูกข้าวรอบที่ 4

Treatment	pH <sub>(1:1)</sub>	EC <sub>(1:5)</sub> (mS/cm)	OM	TN	TP	TK	Available		Exchangeable			Extractable			
							P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
							----- (mg/kg)-----								
Control_RRR	7.16	0.65b	39.98	1.81	0.23	4.81	32.61b	90.53	2,799	648.02b	524.13bc	199.24a	32.57	7.9	4.52
CP_RMM	7.16	0.88a	41.11	1.82	0.26	5.05	40.35a	88.27	3,141	653.72b	542.52b	179.68bc	36.79	7.48	4.85
CP_RMS	7.08	0.87a	40.26	1.81	0.27	5.52	40.67a	93.45	3,014	654.06b	497.05c	172.46c	35.25	7.12	4.72
MN_RMM	7.06	0.91a	42.03	1.91	0.28	5.17	44.61a	125.31	2,955	675.33a	606.60a	192.43ab	39.88	8.48	4.79
MN_RMS	7.03	0.94a	41.43	1.81	0.29	5.39	43.59a	104.42	2,903	674.01a	585.55a	198.51a	43.85	7.04	4.86
CP+MN_RMM	6.95	0.80ab	42.66	1.78	0.26	4.83	41.01a	101.2	2,870	657.97b	535.56bc	180.29bc	32.92	6.84	4.57
CP+MN_RMS	7.01	0.92a	42.84	1.80	0.29	4.94	44.58a	111.8	2,900	657.14b	530.00bc	169.63c	34.17	7.00	4.42
<b>F-test</b>	ns	*	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**	**	**	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	2.03	10.56	8.75	5.47	9.52	12.33	6.78	19.36	4.17	0.98	4.23	5.08	12.52	15.38	8.39

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 1.8 แสดงการดูดดึงธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองของข้าวในการปลูกพืชรอบที่ 1

Treatment	Uptake N (g/pot)			Uptake P (g/pot)			Uptake K (g/pot)			Uptake Ca (mg/pot)			Uptake Mg (mg/pot)		
	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total
Control_RRR	0.27	0.40c	0.67	0.07	0.08	0.15	0.40b	0.08	0.49bc	175.71	22.73	198.45	86.78	30.48	117.26
CP_RMM	0.30	0.43bc	0.73	0.08	0.09	0.16	0.28c	0.09	0.36c	163.41	23.68	187.09	88.14	33.60	121.74
CP_RMS	0.28	0.44adc	0.72	0.08	0.09	0.17	0.27c	0.10	0.37bc	163.15	26.11	189.26	84.46	37.04	121.51
MN_RMM	0.22	0.50ab	0.72	0.06	0.11	0.17	0.61a	0.13	0.74a	176.47	32.69	209.16	84.55	43.00	127.55
MN_RMS	0.23	0.51a	0.74	0.05	0.11	0.17	0.59a	0.13	0.73a	179.98	34.12	214.09	81.54	45.09	126.63
CP+MN_RMM	0.29	0.43bc	0.71	0.07	0.09	0.16	0.35b	0.10	0.44bc	178.90	24.07	202.97	92.45	35.75	128.21
CP+MN_RMS	0.29	0.43bc	0.72	0.07	0.09	0.16	0.41bc	0.09	0.50b	152.41	24.11	176.52	90.75	34.71	125.46
<b>F-test</b>	ns	*	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	16.58	8.97	4.09	15.59	7.47	5.78	15.98	6.94	13.45	14.25	13.23	12.46	12.44	7.83	8.08

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 1.9 แสดงการดูดตั้งธาตุจุลธาตุของข้าวในการปลูกพืชรอบที่ 1

Treatment	Uptake Fe (mg/pot)			Uptake Mn (mg/pot)			Uptake Zn (mg/pot)			Uptake Cu (mg/pot)		
	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total
Control_RRR	24.44	5.12	29.57	4.12	0.69	4.81	0.63	0.73	1.35bc	0.37	0.26	0.63
CP_RMM	27.85	6.02	33.87	5.46	0.87	6.33	0.47	0.78	1.25c	0.43	0.26	0.69
CP_RMS	23.08	5.95	29.03	6.63	0.95	7.58	0.48	0.80	1.28c	0.42	0.27	0.70
MN_RMM	24.81	8.24	33.04	5.04	1.00	6.04	0.63	1.05	1.68a	0.43	0.34	0.77
MN_RMS	31.35	7.49	38.84	4.97	0.96	5.93	0.62	0.97	1.59ab	0.44	0.35	0.79
CP+MN_RMM	33.82	5.88	39.70	6.82	0.87	7.69	0.49	0.81	1.30c	0.48	0.26	0.74
CP+MN_RMS	18.05	5.26	23.31	5.03	0.82	5.85	0.52	0.81	1.33c	0.36	0.29	0.64
<b>F-test</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	33.55	17.65	27.45	28.01	11.74	24.66	19.43	11.21	9.90	21.34	9.55	12.28

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 1.10 แสดงการดูดดึงธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองของข้าว และข้าวโพดหวานในการปลูกพืชรอบที่ 2

Treatment	Uptake N (g/pot)			Uptake P (g/pot)			Uptake K (g/pot)			Uptake Ca (mg/pot)			Uptake Mg (mg/pot)		
	Straw	Grain	Total	Straw	Grain	Total	Straw	Grain	Total	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total
Control_RRR	0.27	0.40c	0.67	0.07	0.08	0.15a	0.40b	0.08	0.49bc	146.13a	36.03a	182.16a	72.57	43.23a	115.8
CP_RMM	0.28a	0.17b	0.45ab	0.04a	0.04	0.08b	0.31a	0.11ab	0.44a	95.07b	18.45b	113.52bc	79.13	23.53b	102.65
CP_RMS	0.15bc	0.12b	0.25c	0.02b	0.03	0.05b	0.17b	0.08b	0.25b	54.75c	12.32b	67.07c	28.51	13.55b	42.61
MN_RMM	0.24ab	0.14b	0.38bc	0.03ab	0.03	0.06b	0.28ab	0.09ab	0.37a	73.60bc	13.65b	87.25bc	42.22	16.55b	58.78
MN_RMS	0.24ab	0.18b	0.42ab	0.03ab	0.04	0.07b	0.33a	0.14a	0.47a	92.19bc	21.83b	114.02bc	47.04	23.75b	70.79
CP+MN_RMM	0.19abc	0.15b	0.34bc	0.025b	0.03	0.06b	0.31a	0.11ab	0.42a	74.78bc	15.50b	90.28bc	58.03	18.23b	76.26
CP+MN_RMS	0.24ab	0.20b	0.43ab	0.03ab	0.04	0.07b	0.36a	0.14a	0.50a	110.00b	20.79b	130.79b	71.29	23.56b	94.86
<b>F-test</b>	*	**	*	*	ns	**	*	**	*	**	**	**	ns	**	ns
<b>CV (%)</b>	24.61	25.94	18.54	21.92	27.49	21.28	22.06	24.47	18.84	21.94	27.78	21.31	38.26	30.02	32.83

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 1.11 แสดงการดูดตั้งธาตุจุลธาตุของข้าว และข้าวโพดหวานในการปลูกพืชรอบที่ 2

Treatment	Uptake Fe (mg/pot)			Uptake Mn (mg/pot)			Uptake Zn (mg/pot)			Uptake Cu (mg/pot)		
	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total
Control_RRR	14.37a	7.85a	22.22a	5.38a	1.29a	6.67a	0.59	1.05	1.64	0.29ab	0.44a	0.73a
CP_RMM	4.20b	0.77b	4.97b	1.15b	0.26b	1.40b	0.92	0.74	1.65	0.31ab	0.18b	0.49bc
CP_RMS	3.52b	0.77b	2.97b	0.73b	0.17b	0.78b	0.74	0.62	1.12	0.15c	0.14b	0.29d
MN_RMM	2.80b	0.74b	3.54b	1.19b	0.24b	1.43b	1.00	0.58	1.59	0.25b	0.13b	0.38cd
MN_RMS	3.10b	1.10b	4.19b	1.71b	0.44b	2.14b	1.7	1.34	3.04	0.27ab	0.19b	0.46bc
CP+MN_RMM	3.04b	0.89b	3.93b	1.18b	0.29b	1.48b	1.08	0.79	1.87	0.25b	0.16b	0.41bcd
CP+MN_RMS	4.48b	1.26b	5.74b	1.73b	0.33b	2.05b	1.1	0.85	1.95	0.33a	0.22b	0.55b
<b>F-test</b>	**	**	**	**	**	**	ns	ns	ns	**	**	**
<b>CV (%)</b>	37.91	35.77	30.32	44.85	48.45	44.96	55.44	44.54	47.52	15.41	28.77	17.23

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 1.12 แสดงการดูดดึงธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองของข้าว ข้าวโพดหวาน และถั่วเหลืองในการปลูกพืชรอบที่ 3

Treatment	Uptake N (g/pot)			Uptake P (g/pot)			Uptake K (g/pot)			Uptake Ca (mg/pot)			Uptake Mg (mg/pot)		
	Straw	Grain	Total	Straw	Grain	Total	Straw	Grain	Total	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total
Control_RRR	0.26a	0.07	0.33	0.04abc	0.01	0.05ab	0.16cd	0.01	0.17bc	105.08bc	3.24c	108.32bc	51.44b	4.22b	55.66b
CP_RMM	0.29a	0.08	0.37	0.04ab	0.01	0.05bc	0.28b	0.03b	0.31b	119.50b	7.48bc	126.98b	81.31a	9.60ab	90.90a
CP_RMS	0.27a	0.07	0.34	0.03bcd	0.01	0.04cd	0.19c	0.04b	0.23bc	167.54a	16.01bc	183.55a	50.01b	9.64ab	59.66b
MN_RMM	0.32a	0.13	0.45	0.05a	0.03	0.08a	0.63a	0.11a	0.74a	130.76b	11.02bc	141.78ab	77.52a	14.32ab	91.85a
MN_RMS	0.09b	0.09	0.18	0.02dc	0.01	0.03bcd	0.10d	0.05ab	0.15bc	90.23c	27.47ab	117.70b	29.61c	15.80ab	45.41b
CP+MN_RMM	0.13b	0.05	0.18	0.01d	0.01	0.02b	0.11d	0.02b	0.13c	56.62d	4.11c	60.73c	39.75bc	4.31b	44.06b
CP+MN_RMS	0.10b	0.21	0.32	0.02dc	0.03	0.05bc	0.10d	0.11a	0.21bc	107.47bc	44.47a	151.94ab	33.74bc	27.76a	61.50b
<b>F-test</b>	**	ns	ns	**	ns	**	**	*	**	**	**	**	**	ns	**
<b>CV (%)</b>	32.99	56.51	34.82	35.47	48.43	20.72	19.28	48.97	16.59	13.73	45.56	15.54	19.76	53.01	18.45

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 1.13 แสดงการดูดตั้งธาตุจุลธาตุของข้าว ข้าวโพดหวาน และถั่วเหลืองในการปลูกพืชรอบที่ 3

Treatment	Uptake Fe (mg/pot)			Uptake Mn (mg/pot)			Uptake Zn (mg/pot)			Uptake Cu (mg/pot)		
	Straw	Grain	Total	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total
Control_RRR	10.69a	0.30	11.00a	2.15a	0.10	2.25a	0.24b	0.12	0.36b	0.22bcd	0.05	0.27cd
CP_RMM	2.55b	0.20	2.76bc	0.42b	0.07	0.49bc	0.97ab	0.36	1.34ab	0.33a	0.09	0.42ab
CP_RMS	2.15b	0.33	2.48bc	0.34b	0.05	0.39c	1.41a	0.17	1.58ab	0.26abc	0.06	0.32abc
MN_RMM	3.41b	0.57	3.98b	0.66b	0.10	0.77b	1.42a	0.50	1.92a	0.30ab	0.13	0.43a
MN_RMS	1.27b	0.41	1.68bc	0.21b	0.10	0.32c	1.01ab	0.30	1.31ab	0.18cd	0.08	0.26cd
CP+MN_RMM	1.18b	0.16	1.34c	0.27b	0.04	0.32c	0.69ab	0.17	0.86ab	0.14d	0.04	0.18d
CP+MN_RMS	1.85b	0.89	2.74bc	0.32b	0.21	0.53bc	0.99ab	0.54	1.52ab	0.15d	0.16	0.31bc
<b>F-test</b>	**	ns	**	**	ns	**	*	ns	ns	**	ns	**
<b>CV (%)</b>	34.82	52.64	29.75	38.66	52.40	19.16	42.05	63.60	39.30	21.77	55.65	12.94

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 1.14 แสดงการดูดดึงธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองของข้าวในการปลูกพืชรอบที่ 4

Treatment	Uptake N (g/pot)			Uptake P (g/pot)			Uptake K (g/pot)			Uptake Ca (mg/pot)			Uptake Mg (mg/pot)		
	Straw	Grain	Total	Straw	Grain	Total	Straw	Grain	Total	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total
Control_RRR	0.19	0.63	0.82ab	0.03	0.13	0.16	0.43	0.13	0.56	281.29	48.06	329.35	143.29	61.69	204.98
CP_RMM	0.21	0.63	0.84ab	0.03	0.14	0.17	0.41	0.13	0.54	309.65	47.15	356.8	130.45	63.27	193.73
CP_RMS	0.16	0.61	0.77bc	0.03	0.13	0.16	0.53	0.13	0.66	401.86	44.11	445.97	162.78	58.98	221.75
MN_RMM	0.21	0.73	0.94a	0.04	0.18	0.21	0.4	0.17	0.57	361.35	64.29	425.64	162.27	81.36	243.63
MN_RMS	0.21	0.67	0.89ab	0.03	0.15	0.18	0.51	0.14	0.65	362.58	57.35	419.93	176.09	69.36	245.45
CP+MN_RMM	0.20	0.65	0.85ab	0.04	0.14	0.17	0.42	0.13	0.55	313.84	48.7	362.54	156.11	65.16	221.27
CP+MN_RMS	0.22	0.46	0.68c	0.04	0.09	0.13	0.41	0.1	0.51	295.82	36.57	332.39	127.64	41.62	169.25
<b>F-test</b>	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	19.8	13.65	7.34	15.05	23.45	17.62	14.93	17.63	12.87	19.84	18.73	17.66	15.32	23.63	13.33

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 1.15 แสดงการดูดตั้งธาตุจุลธาตุของข้าวในการปลูกพืชรอบที่ 4

Treatment	Uptake Fe (mg/pot)			Uptake Mn (mg/pot)			Uptake Zn (mg/pot)			Uptake Cu (mg/pot)			Uptake Na (mg/pot)		
	Straw	Grain	Total	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total	Straw	Yield	Total
Control_RRR	18.71	6.61	25.32	6.41	0.96	7.37	0.66	1.11	1.77	0.40cd	0.43	0.83bc	235.87	9.71	245.59
CP_RMM	15.09	3.28	18.37	6.57	1.06	7.63	0.82	1.26	2.08	0.45bc	0.46	0.91b	231.88	11.4	243.28
CP_RMS	16.89	6.00	22.88	8.21	1.1	9.31	1.38	1.26	2.63	0.46bc	0.46	0.92b	238.27	13.58	251.84
MN_RMM	22.21	6.81	29.02	8.53	1.43	9.96	1.24	1.5	2.74	0.56a	0.55	1.11a	322.86	12.33	335.19
MN_RMS	16.58	5.17	21.75	8.14	1.15	9.29	1.2	1.31	2.51	0.48ab	0.51	0.99ab	316.93	10.28	327.21
CP+MN_RMM	17.17	6.01	23.18	7.46	1.11	8.56	0.92	1.26	2.18	0.49ab	0.45	0.94b	267.03	9.08	276.11
CP+MN_RMS	14	4.22	18.21	6.5	0.8	7.3	0.78	1.01	1.79	0.36d	0.37	0.73c	185.48	7.77	193.25
<b>F-test</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	*	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	24.48	48.53	24.37	14.33	21.22	13.78	31.95	13.95	19.6	8.98	15.25	8.49	19.46	19.17	18.91

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางภาคผนวกที่ 1.16 แสดงผลการเปรียบเทียบสมบัติดินก่อนและหลังการทดลอง

Treatment	pH <sub>(1:1)</sub>			EC <sub>(1:5)</sub> (mS/cm)			Organic matter (g/kg)			Available P (mg/kg)			Total P (g/kg)		
	Before	After	T-test	Before	After	T-test	Before	After	T-test	Before	After	T-test	Before	After	T-test
Control_RRR	7.08	7.16	ns	0.10	0.65b	**	40.95	39.98	ns	41.70	32.61b	**	0.25	0.23	ns
CP_RMM	7.12	7.16	ns	0.07	0.88a	**	40.66	41.11	ns	42.43	40.35a	ns	0.24	0.26	ns
CP_RMS	7.23	7.08	ns	0.08	0.87a	**	41.38	40.26	ns	45.97	40.67a	ns	0.29	0.27	ns
MN_RMM	7.13	7.06	ns	0.12	0.91a	**	40.29	42.03	ns	48.93	44.61a	ns	0.20	0.28	*
MN_RMS	6.96	7.03	ns	0.14	0.94a	**	40.12	41.43	ns	44.23	43.59a	ns	0.25	0.29	ns
CP+MN_RMM	7.01	6.95	ns	0.15	0.80ab	**	43.83	42.66	ns	47.70	41.01a	ns	0.27	0.26	ns
CP+MN_RMS	6.99	7.01	ns	0.14	0.92a	**	41.91	42.84	ns	45.97	44.58a	ns	0.20	0.29	**
<b>F-test</b>	ns	ns		ns	*		ns	ns		ns	**		ns	ns	
<b>CV (%)</b>	1.89	2.03		34.4	10.56		4.90	8.75		16.11	6.78		31.21	9.52	

หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

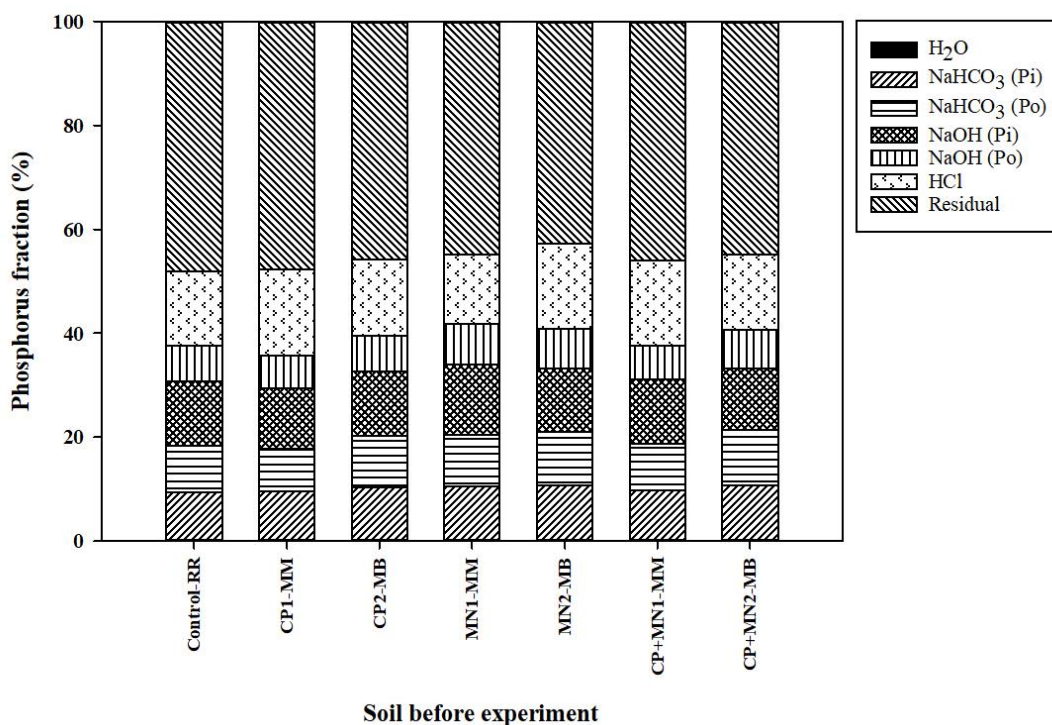
ตารางภาคผนวกที่ 1.17 แสดงผลรวมการดูดตั้งธาตุอาหารของการปลูกพืชทั้ง 4 รอบ

Treatment	Uptake N	Uptake P	Uptake K	Uptake Ca	Uptake Mg	Uptake Fe	Uptake Mn	Uptake Zn	Uptake Cu
	----- (g/pot) -----			----- (mg/pot) -----					
Control_RRR	2.49	0.51	1.71b	818.28	493.7	88.11	21.1	5.12b	2.46
CP_RMM	2.39	0.46	1.65b	784.39	509.02	59.97	15.85	6.32b	2.51
CP_RMS	2.08	0.42	1.51b	885.85	445.53	57.36	18.06	6.61b	2.23
MN_RMM	2.49	0.52	2.42a	863.83	521.81	69.58	18.20	7.93ab	2.69
MN_RMS	2.23	0.45	2.00a	865.74	488.28	66.46	17.68	8.45a	2.50
CP+MN_RMM	2.08	0.41	1.54b	716.52	469.8	68.15	18.05	6.21b	2.27
CP+MN_RMS	2.15	0.41	1.72b	791.64	451.07	50.00	15.73	6.59b	2.23
<b>F-test</b>	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	*	ns
<b>CV (%)</b>	17.20	17.40	13.70	22.09	21.65	25.70	25.57	18.24	18.26

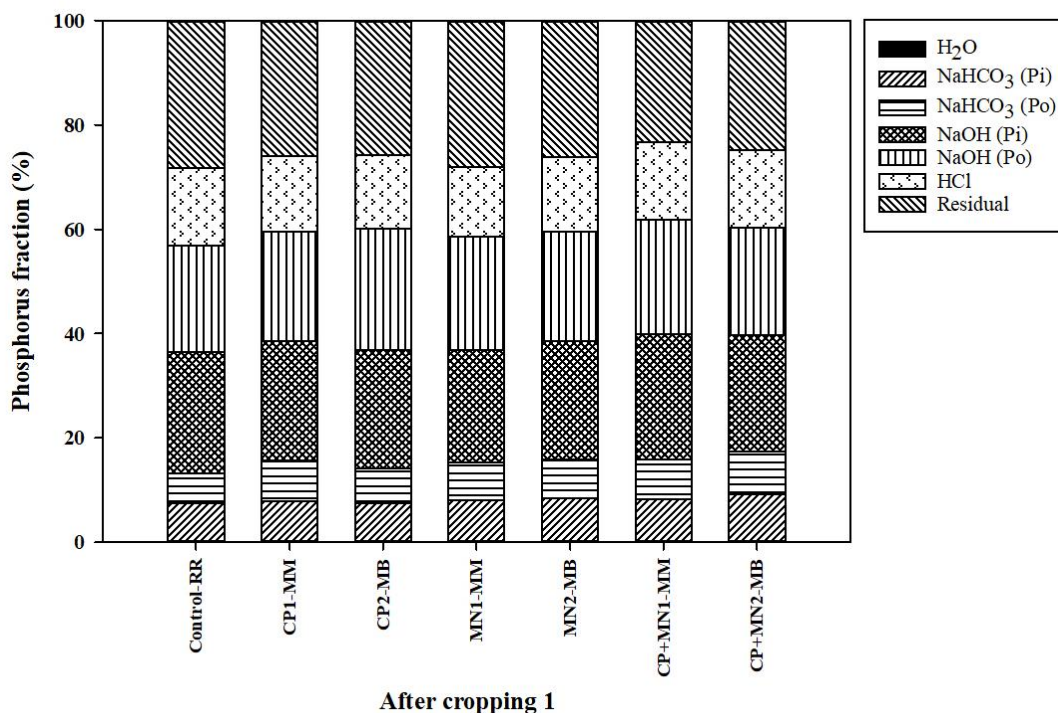
หมายเหตุ ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ \* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ \*\* คือ แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์แสดงถึงไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

**ภาคผนวก ข.**

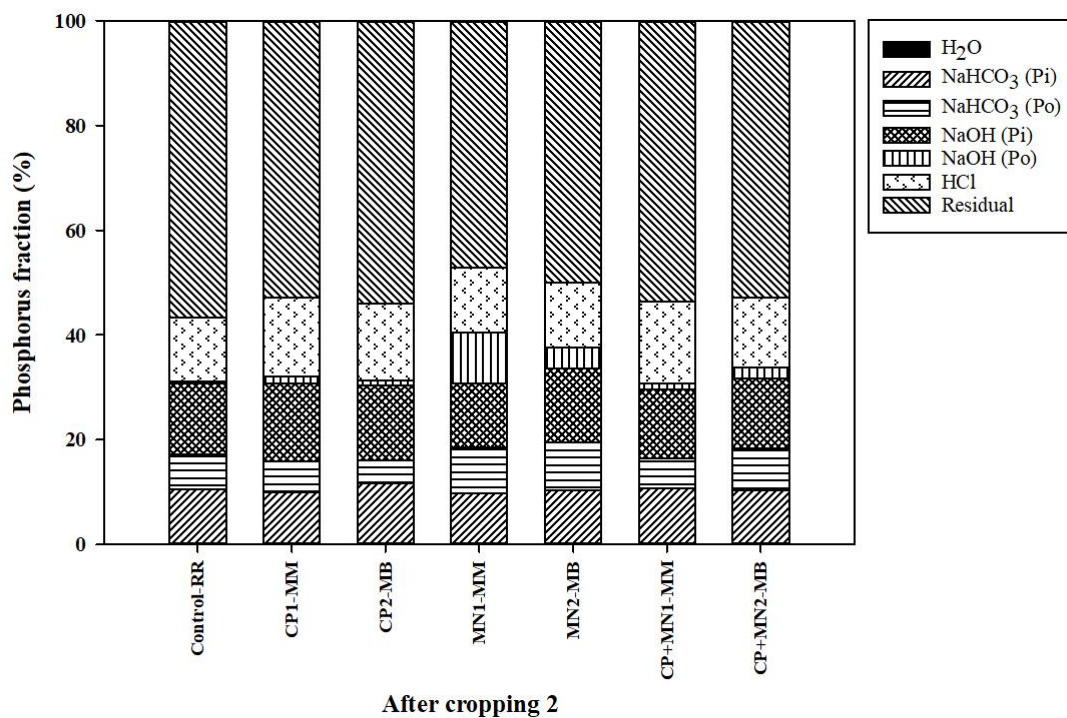
**การทดลองที่ 2** การศึกษาผลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงรูปฟอสฟอรัส  
ในระบบการปลูกพืชหลังนาที่แตกต่างกัน



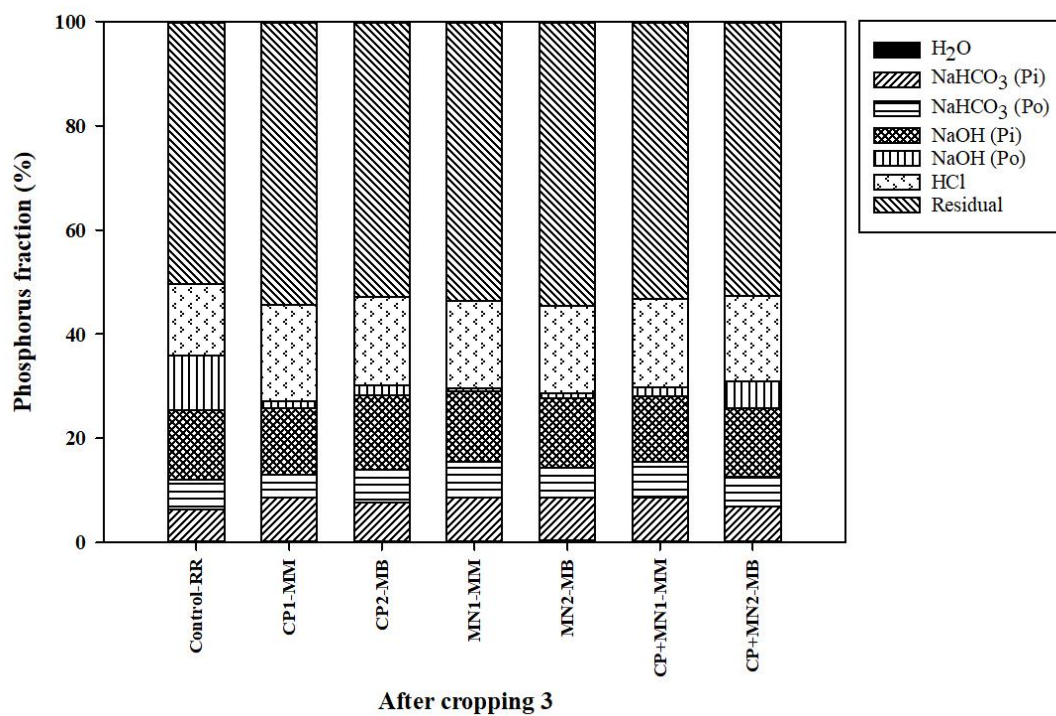
รูปภาคผนวกที่ 2.1 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสของแต่ละฟริตเมนต์ในดินก่อนการทดลอง



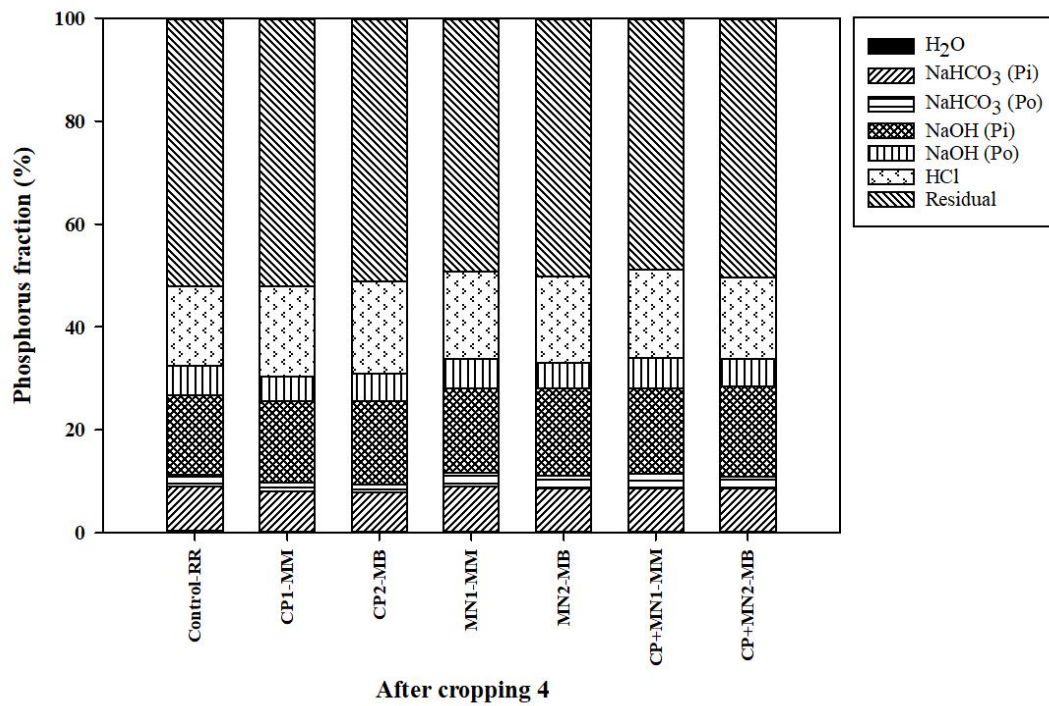
รูปภาคผนวกที่ 2.2 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสของแต่ละฟริตเมนต์ในดินหลังการปลูกข้าว รอบที่ 1



รูปภาคผนวกที่ 2.3 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสของแต่ละที่วัดในพื้นที่ดินหลังการปลูกพืช  
รอบที่ 2



รูปภาคผนวกที่ 2.4 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสของแต่ละที่วัดในพื้นที่ดินหลังการปลูกพืช  
รอบที่ 3



รูปภาคผนวกที่ 2.5 แสดงสัดส่วนรูปของฟอสฟอรัสของแต่ละที่รีดเม้นท์ในดินหลังการปลูกข้าว  
รอบที่ 4 (ดินหลังการทดลอง)

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)	นางสาวพัชรินทร์ สุรินทร์
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)	Miss Patcharin Surin
โทรศัพท์/โทรสาร	0874120514
E-mail – address	sur.patcharin@gmail.com

### ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี วท.บ. (เกษตรศาสตร์) วิชาเอกปฐพีวิทยา ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช  
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### ผลงานวิจัย

#### ก. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสาร

พัชรินทร์ สุรินทร์ ศิวกร พรคนึง กัญจน์รัตน์ ลชิตาวงศ์ และสุกัญญา เข้มประชา. 2561.

ผลของการใส่หินปูนร่วมกับการระบายน้ำต่อการแก้ไขความเป็นกรด ความเค็ม  
และความเป็นพิษของอะลูมิเนียม เหล็ก และแมงกานีสในดินกรดจัด. วารสารเกษตร  
พระจอมเกล้า ปีที่ 36 (ฉบับพิเศษ): 45-53.

Supsuan, P., Surin, P. and Yampracha, S. (2018). Effects of organic fertilizer application on  
the transformation of nitrogen in paddy soil. International Journal of Agricultural  
Technology 14(7): 1999-2014.

Surin,P., Supsuan, P. and Yampracha, S. (2019). Release of various elements from organic  
fertilizers incubated in organic and non-organic paddy soils at various time  
periods. Current Applied Science and Technology 19(3): 277-288.

Surin, P., Chomngam, K. and Yampracha, S. (2020). Effects of different organic fertilizers on  
residual nutrients, rice growth and yield. International Journal of Agricultural  
Technology. Vol. 16(2): 443-456.

#### ข. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการ

ศิวกร พรคนึง พัชรินทร์ สุรินทร์ กัญจน์รัตน์ ลชิตาวงศ์ และสุกัญญา เข้มประชา. 2561. ผลของการ  
ใส่หินปูนร่วมกับการระบายน้ำต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินกรดจัดที่ใช้

ปลูกข้าว. การประชุมวิชาการเกษตรพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ครั้งที่ 5. 16  
กุมภาพันธ์ 2561 คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
ทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร.

นันทน์ช ชาวพะเยาว์ อารดา บุญอาจ พัชรินทร์ สุรินทร์ จวรรณก ปริสงค์ และ สุกัญญา แยม  
ประชา. 2563. อิทธิพลของพันธุ์ข้าวต่อการสะสมมวลชีวภาพและปริมาณธาตุอาหาร.  
งานประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 50. 6-7  
มิถุนายน 2563 คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร.