

ผลกระทบจากการตกค้างของฟอสฟอรัสในดินต่อสมบัติของดินและ
การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน (*Zea mays* var. *saccharata*)



สภาวะ ทองม่วง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากร
การเกษตรและสิ่งแวดล้อม
โครงการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2547

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

โครงการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม

ชื่อเรื่อง

ผลกระทบจากการตกค้างของฟอสฟอรัสในดินต่อสมบัติของดินและ
การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน (*Zea mays* var. *saccharata*)

โดย

สภาวะ ทองม่วง

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์บรรพต ตันติเสรี)

วันที่ 18 เดือน ๕ พ.ศ. ๒๕๔๗

กรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยงยุทธ ศรีเกี้ยวผัน)

วันที่ 18 เดือน ๕ พ.ศ. ๒๕๔๗

กรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรวิทย์ วินิจเขตคำนวน)

วันที่ 18 เดือน ๕ พ.ศ. ๒๕๔๗

หัวหน้าภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม

(รองศาสตราจารย์บรรพต ตันติเสรี)

วันที่ 18 เดือน ๕ พ.ศ. ๒๕๔๗

โครงการบัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทรงวุฒิ เพ็ชรประดับ)

รองประธานกรรมการโครงการบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 24 เดือน ๕ พ.ศ. ๒๕๔๗

ชื่อเรื่อง	ผลกระทบจากการตกค้างของฟอสฟอรัสในดินต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน (<i>Zea mays</i> var. <i>saccharata</i>)
ชื่อผู้เขียน	นายสภาวะ ทองม่วง
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์บรรพต ตันติเสรี

บทคัดย่อ

การศึกษาผลกระทบจากการตกค้างของฟอสฟอรัสในดินต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน ศึกษา ณ แปลงทดลอง ภาควิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ประกอบไปด้วย 2 การทดลอง ได้แก่

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินชุดสันทรายโดยการบ่มดินวางแผนการทดลองแบบ CRD แบ่งการบ่มดินออกเป็น 4 ระยะเวลา คือ 0, 25, 50 และ 75 วัน กระทำใน 20 ชั่วโมง ผลการทดลองปรากฏว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยอยู่ที่ระดับ 7.5 ส่วนค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกลดลงจาก 5.36 เป็น 3.36 มิลลิสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม, อินทรีย์วัตถุลดลงจาก 0.63 เป็น 0.59 เปอร์เซ็นต์, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงจาก 134.72 เป็น 130.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, ฟอสฟอรัสที่ละลายได้ลดลงจาก 43.83 เป็น 38.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, อะลูมินัมฟอสเฟตลดลงจาก 37.36 เป็น 31.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม, เหล็กฟอสเฟตลดลงจาก 25.35 เป็น 19.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแคลเซียมฟอสเฟตเพิ่มขึ้นจาก 26.46 เป็น 30.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลกระทบของฟอสฟอรัสในดินต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวานและสมบัติของดินบางประการในสภาพแปลงทดลอง วางแผนการทดลองแบบ RCBD โดยการเพิ่มอัตราฟอสฟอรัส 4 อัตรา คือ 0, 23, 46 และ 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ กระทำใน 4 ชั่วโมง ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติบางประการของดินที่ระยะเวลา 0, 45 และ 80 วัน ผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ, ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก, และความหนาแน่นรวมของดินในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนค่าความเป็นกรดเป็นด่างในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่ามากที่สุดที่อัตราฟอสฟอรัส 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และน้อยที่สุดที่อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และที่อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์, ฟอสฟอรัสที่ละลายได้,

อะลูมิเนียมฟอสเฟต, เหล็กฟอสเฟต และแคลเซียมฟอสเฟตมากที่สุด และน้อยที่สุดที่อัตราฟอสฟอรัส 23, 0 และ 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปรากฏว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง, อินทรีย์วัตถุ, ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก, ฟอสฟอรัสที่ละลายได้, อะลูมิเนียมฟอสเฟต, เหล็กฟอสเฟต และ แคลเซียมฟอสเฟตในแต่ละระยะเวลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่ามากที่สุดที่ระยะเวลา 80 วัน และน้อยที่สุดที่ระยะเวลา 0 วัน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ, ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก และแคลเซียมฟอสเฟต มีปริมาณมากที่สุดที่ระยะเวลา 45 วัน และน้อยที่สุดที่ระยะเวลา 80 วัน ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้, อะลูมิเนียมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟต มีปริมาณมากที่สุดที่ระยะเวลา 0 วัน และน้อยที่สุดที่ระยะเวลา 80 วัน

สำหรับความสูงของต้นข้าวโพดหวาน ในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ขนาดเส้นรอบวงและน้ำหนักแห้งในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีขนาดเส้นรอบวงมากที่สุดที่อัตราฟอสฟอรัส 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และน้อยที่สุดที่อัตราฟอสฟอรัส 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ส่วนน้ำหนักแห้งมากที่สุดที่อัตราฟอสฟอรัส 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และน้อยที่สุดที่อัตราฟอสฟอรัส 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปรากฏว่า ความสูงและขนาดเส้นรอบวงในแต่ละระยะเวลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความสูงและขนาดเส้นรอบวงมากที่สุดที่ระยะเวลา 56 วัน และน้อยที่สุดที่ระยะเวลา 28 วัน สำหรับปริมาณไนโตรเจน, โพแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, สังกะสี, แมงกานีส, เหล็ก และทองแดงในใบข้าวโพดหวาน ในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสในใบข้าวโพดหวาน ในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสในใบข้าวโพดหวานมากที่สุด และน้อยที่สุดที่อัตราฟอสฟอรัส 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อัตราฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลง ส่วนฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์, ฟอสฟอรัสที่ละลายได้, อะลูมิเนียมฟอสเฟต, เหล็กฟอสเฟต และแคลเซียมฟอสเฟตมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่อัตราฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้สมบัติอื่น ๆ ของดินเกิดการเปลี่ยนแปลง นอกจากนั้นอัตราฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นยังไม่ส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน และพบว่าระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สมบัติของดินเกิดการเปลี่ยนแปลง

Title	Effect of residual phosphorus on soil properties and growth of sweet corn (<i>Zea mays</i> var. <i>saccharata</i>)
Author	Mr. Sapawa Thongmuan
Degree of	Master of Science in Agricultural Resources and Environmental Management
Advisory Committee Chairperson	Associate Professor Banpote Tantiseri

ABSTRACT

This research which was conducted in the experimental farm of the Department of Agronomy, Faculty of Agricultural Production at Maejo University in Sansai district, Chiang Mai province, consisted of two trials (1 and 2).

Trial 1. This trial studied the changes in the chemical properties of Sansai soil that previously underwent soil curing. Using a CRD statistical design, four (4) treatments were set up (0, 25, 50 and 75 days) with 20 replicates. Results showed that soil pH (7.5) did not change at all. As for CEC, it was shown to have decreased from 5.36 to 3.36 meq/100 g-weight of soil. Other results similarly showed decreasing trends: organic matter content from 0.63 to 0.59%; beneficial phosphorus from 134.72 to 130.79 mg/kg, soluble phosphorus from 43.83 to 38.05 mg/kg; aluminum phosphate from 37.36 to 31.05 mg/kg; and iron phosphates from 25.35 to 19.35 mg/kg. However, zinc increased from 0.32 to 0.62 mg/kg, and calcium phosphates also increased from 22.42 to 30.26 mg/kg.

Trial 2.. This trial was conducted to study the effects of residual phosphorus towards nutrient absorption of sweet corn plants and some soil properties in field conditions. Using an RCBD statistical design, four (4) treatments consisting of varying phosphorus rates (0, 23, 46 and 138 kg P_2O_5 /rai) were replicated four times. The changes of some soil properties at 0, 45 and 80 days after planting, were determined. Results showed that organic matter content, CEC and soil density at each rate of phosphorus, did not show any significant difference. On the other hand, pH values for each rate of phosphorus were found to be significantly different, with the highest value recorded at 0 kg P_2O_5 /rai and the lowest at 138 kg P_2O_5 /rai. At the latter rate, the volumes of beneficial phosphorus, soluble phosphorus, aluminum phosphates, iron phosphates and calcium

phosphates were at maximum. They were lowest at 23, 0 and 46 kg P_2O_5 /rai with highly significant differences. At different time periods, the pH value, organic matter content, CEC, soluble phosphorus, aluminum phosphates, iron phosphates and calcium phosphates increased and the amounts were highly significantly different from each other. In particular, the pH and zinc values were highest at 80 days and lowest at 0 days. In contrast, values of organic matter content, CEC, and calcium phosphates were highest at 45 days and lowest at 80 days. The soluble phosphorus, aluminum phosphates and iron phosphates had maximum values at 0 days and minimum at 80 days.

Regarding the height of sweet corn plants, there were no significant differences shown for every height with varying phosphorus rates. However, plant circumference and dry weight for each rate of phosphorus showed highly significant difference. Highest plant circumference was observed in sweet corn plants without phosphorus (0 kg P_2O_5 /rai) while lowest circumference was found in plants applied with 23 kg P_2O_5 /rai. Highest dry weight was measured in plants applied with 46 kg P_2O_5 /rai while lowest value was found in plants applied with 23 kg P_2O_5 /rai. Increased in number of days showed plant height and circumference for each rate of phosphorus having highly significant differences. Highest plant height and circumference were found in plants growing 56 days and lowest in 28 days. As for the amount of N, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Fe and Cu in sweet corn leaves, highly significant differences were found for each rate of phosphorus. Highest amount of P in the leaves was found in sweet corn plants applied with 138 kg P_2O_5 /rai while the lowest was found in plants applied with 23 kg P_2O_5 /rai.

The results of the study showed that increasing rate of phosphorus caused a decrease in pH value while beneficial phosphorus, soluble phosphorus, aluminum phosphates, iron phosphates and calcium phosphates, increased. But the rate of increase in phosphorus did not cause any changes in other soil properties. Aside from these, no effect was found to cause any changes in soil nutrient absorption of sweet corn plants. It was also found that increasing number of days was one important factor that affected changes of the soil properties.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์บรรพต ตันติเสรี ประธานกรรมการที่ปรึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขงยุทธ ศรีเกี้ยวพั่น ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรวิชัย วินิจเขตคำนวน กรรมการที่ปรึกษา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทฤทธิ์ โชคถาวร ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขจนกระทั่งสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์อย่างสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์สุภธิดา อ่ำทอง ซึ่งเคยรับเป็นกรรมการที่ปรึกษา และได้ให้คำแนะนำในการวางแผนการทดลอง ตลอดจนช่วยสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ สำหรับใช้ในการดำเนินงานจนกระทั่งทดลองสำเร็จ แต่เนื่องจากอาจารย์สุภธิดา อ่ำทอง ติดภารกิจ ทำให้ไม่สามารถทำหน้าที่กรรมการได้ จึงมีการเปลี่ยนแปลงโดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรวิชัย วินิจเขตคำนวน รับหน้าที่เป็นกรรมการที่ปรึกษาแทน และได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไข จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณทุก ๆ คนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาในการศึกษา

สภาวะ ทองม่วง

มีนาคม 2547

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญเรื่อง	(8)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(12)
บทนำ	1
วัตถุประสงค์การวิจัย	2
การตรวจเอกสาร	3
1. การดูการใช้ธาตุอาหารของพืชไร่	3
2. ผลตกค้างของปุ๋ย	4
3. การสะสมของฟอสฟอรัสในดิน	8
4. ปังจัยที่มีผลต่อการตรึงฟอสฟอรัสในดิน	10
5. ผลกระทบที่เกิดจากฟอสฟอรัสในดินมากเกินไป	12
6. การดูการใช้ธาตุอาหารของข้าวโพด	13
7. ปริมาณวิกฤตของธาตุอาหารในข้าวโพด	13
8. ข้าวโพดหวาน	13
9. ข้าวโพดหวานพันธุ์ เอทีเอส-2	14
10. ดินชุดสันทราย	15
อุปกรณ์และวิธีการ	19
ผลการทดลอง	26
1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดินชุดสันทรายในสภาพ ห้องปฏิบัติการ	26
2. ศึกษาผลกระทบจากการตกค้างของฟอสฟอรัส ต่อสมบัติของดิน และ การดูการใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน	33
วิจารณ์ผลการทดลอง	59

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
สรุปผลการทดลอง	69
ข้อเสนอแนะ	71
บรรณานุกรม	72
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	76
ภาคผนวก ข ตารางแสดงข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทางการเกษตร ของสถานีอากาศ แม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่	91
ประวัติผู้วิจัย	96

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงผลกระทบของฟอสฟอรัสระดับต่าง ๆ ต่อข้าวโพด	16
2	แสดงปริมาณวิกฤตของธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตและการพัฒนาของข้าวโพด	17
3	แสดงการดูดใช้ธาตุอาหารหลักที่สูญหายไปจากดินโดยการดูดไปใช้ของข้าวโพดหวาน	18
4	แสดงสมบัติทางเคมีของดินชุดสันทราย	18
5	วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณอนินทรีย์ฟอสเฟตในดิน	22
6	สมบัติของดิน ก่อน และหลังการทดลอง (0 และ 80 วัน)	25
7	ปริมาณอินทรีย์วัตถุจากการบ่มดินในสภาพห้องปฏิบัติการ ภายใต้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง	26
8	ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก จากการบ่มดินในสภาพห้องปฏิบัติการ ภายใต้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง	27
9	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ จากการบ่มดินในสภาพห้องปฏิบัติการ ภายใต้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง	28
10	ปริมาณของ ฟอสฟอรัสที่ละลายได้ จากการบ่มดินในสภาพห้องปฏิบัติการ ภายใต้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง	29
11	ปริมาณอะลูมิเนียมฟอสเฟต จากการบ่มดินในสภาพห้องปฏิบัติการ ภายใต้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง	30
12	ปริมาณเหล็กฟอสเฟต จากการบ่มดินในสภาพห้องปฏิบัติการ ภายใต้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง	31
13	ปริมาณแคลเซียมฟอสเฟต จากการบ่มดินในสภาพห้องปฏิบัติการ ภายใต้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง	32
14	เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน , ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในใบข้าวโพดหลังปลูก 45 วัน	34
15	เปอร์เซ็นต์ของแคลเซียม และแมกนีเซียมในใบข้าวโพดหวานหลังปลูก 45 วัน	35
16	ปริมาณของสังกะสี , แมงกานีส , เหล็ก และทองแดง ในใบข้าวโพด หลังปลูก 45 วัน	37

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินทั้งหมดของข้าวโพด หลังปลูก 45 วัน	38
18	ความหนาแน่นรวมของดินที่ระดับความลึก 0 ถึง 15 เซนติเมตร หลังปลูก 80 วัน	39
19	ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ในสภาพแปลงทดลอง	40
20	ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุ ในสภาพแปลงทดลอง	42
21	ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ในสภาพแปลงทดลอง	43
22	ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในสภาพแปลงทดลอง	46
23	ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในสภาพแปลงทดลอง	48
24	ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณอะลูมิเนียมฟอสเฟต ในสภาพแปลงทดลอง	49
25	ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณเหล็กฟอสเฟต ในสภาพแปลงทดลอง	51
26	ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณแคลเซียมฟอสเฟต ในสภาพแปลงทดลอง	52
27	ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อความสูงและเส้นรอบวงของต้นข้าวโพด ในสภาพแปลงทดลอง	57

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดินในสภาพแปลงทดลอง	44
2	แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ในสภาพแปลงทดลอง	44
3	แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) ในสภาพแปลงทดลอง	45
4	แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available-P) ในสภาพแปลงทดลอง	53
5	แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ (soluble-P) ในสภาพแปลงทดลอง	53
6	แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณอะลูมิเนียมฟอสเฟต (Al-P) ในสภาพแปลงทดลอง	54
7	แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณเหล็กฟอสเฟต (Fe-P) ในสภาพแปลงทดลอง	54
8	แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณแคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P) ในสภาพแปลงทดลอง	55
9	แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อความสูงของข้าวโพดหวาน ในสภาพแปลงทดลอง	55
10	แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อขนาดเส้นรอบวงของข้าวโพดหวาน ในสภาพแปลงทดลอง	58

บทนำ

ธาตุอาหารในดินจะถูกพืชนำไปใช้เป็นจำนวนมากทุกครั้งที่ปลูกพืช และจะถูกเก็บเกี่ยวไปจากดินเป็นจำนวนมากทุกฤดูกาลปลูก จึงจำเป็นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องใช้น้ำปุ๋ยในการปลูกพืช เพื่อทดแทนส่วนที่พืชเอาไปใช้ให้มีความเหมาะสมหรือมากขึ้น ส่วน ปริมาณที่เหมาะสมของปุ๋ยที่จะใส่ลงไปดินในแต่ละฤดูกาลปลูกนั้น จะต้องมีการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของดิน เพื่อให้ทราบถึงปริมาณของธาตุอาหารที่ยังคงมีอยู่ในดิน รวมไปถึงชนิดของพืชที่จะปลูก ว่ามีความต้องการธาตุอาหารชนิดใด มากน้อยเพียงใด การใช้น้ำปุ๋ยเคมีของเกษตรกรจึงไม่ได้คำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ อาจใช้น้ำปุ๋ยน้อย หรือมากเกินไปจนความจำเป็น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อดินและพืชได้

เมื่อขาดความพอดีของธาตุอาหารพืช คือมีปริมาณน้อยเกินไป อาจทำให้พืชเกิดอาการขาดแคลน (deficiencies) หรือมากเกินไป อาจทำให้เกิดอาการเป็นพิษ (toxicity) จากธาตุอาหาร ปริมาณของธาตุอาหารบางชนิดที่มากเกินไปอาจส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารชนิดใดชนิดหนึ่งลดลง เช่นเมื่อเพิ่มปริมาณฟอสเฟตปริมาณที่สูง ทำให้พืชดูดใช้ธาตุสังกะสีได้ลดลง (ยงยุทธ, 2543)

ผลกระทบของปุ๋ยเคมีต่อสมบัติของดิน พบว่า ปุ๋ยฟอสฟอรัส เมื่อใส่เป็นระยะเวลานานหลายปี จะทำให้มีการสะสมฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น ผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปไม่ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเปลี่ยนแปลงอย่างถาวร ส่วนหินฟอสเฟต มีแนวโน้มที่มักจะทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับปุ๋ยโพแทสเซียม ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอาจเปลี่ยนไปเล็กน้อย และจะกลับคืนสภาพเดิมในเวลาไม่นานนัก ส่วนปุ๋ยแอมโมเนีย แกลีของแอมโมเนีย และยูเรีย จะทำให้ดินเป็นกรดมากขึ้น (มนูเวทย์, 2520)

ผลกระทบจากการตกค้างของฟอสฟอรัสในดินยังส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้อีกด้วย เมื่ออนุภาคฟอสเฟตถูกตรึงกับอนุภาคของดิน เมื่อมีการไหลบ่าของน้ำ จึงมีการพัดพาเอาตะกอนเหล่านี้ไปกับน้ำด้วย ตะกอนเหล่านี้เมื่อแตกออกจากก้นดินเป็นอนุภาคเดี่ยว จะแขวนลอยในน้ำได้นาน เมื่อแขวนลอยในบึงหรือทะเลสาบ จึงเป็นแหล่งฟอสฟอรัสแก่สาหร่ายอย่างดี เกิดกระบวนการเพิ่มอายุของแหล่งน้ำ (process of ageing of lakes) อันเนื่องจากการเพิ่มระดับของธาตุอาหารพืชลงสู่แหล่งน้ำหรือเรียกว่า กระบวนการยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) (ศุภมาส, 2540)

จุดประสงค์ในการทดลองครั้งนี้ เพื่อศึกษาผลกระทบจากการตกค้างของฟอสฟอรัสในดิน โดยมีการเพิ่มอัตราฟอสฟอรัส ในดินชุดสันทรายที่มีการใช้ประโยชน์ของพื้นที่สูง และมีการตกค้างของฟอสฟอรัสเป็นจำนวนมาก โดยคาดว่าอัตราฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น น่าจะส่งผลกระทบต่อสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดิน รวมไปถึงการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวานพันธุ์ เอทีเอส- 2 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ ไปใช้เป็นแนวทางในการศึกษาผลกระทบจากการตกค้างของปุ๋ยต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาปริมาณตกค้างของฟอสฟอรัสที่ส่งผลต่อสมบัติของดิน และข้าวโพดหวาน
2. ศึกษาผลกระทบจากการตกค้างของฟอสฟอรัสต่อสมบัติของดินและการดูใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน

ขอบเขตการศึกษา

1. เพิ่มอัตราฟอสฟอรัส (P_2O_5) ในดินในระดับ 0 ถึง 100 เท่าจากระดับเดิม
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดินชุดสนทรายในสภาพห้องปฏิบัติการ และสภาพแปลงทดลอง รวมไปถึงการดูใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวานพันธุ์ เอทีเอส-2 (ATS-2)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ปริมาณการตกค้างในดินของปุ๋ยฟอสฟอรัสจากการปลูกข้าวโพดหวาน
2. ปริมาณของธาตุอาหารพืชในดินและผลจากการตกค้างของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน
3. ปริมาณของฟอสฟอรัส ที่สูญเสียเกินความจำเป็น โดยศึกษาจากปริมาณรูปของฟอสฟอรัสที่ตกค้างในดิน

การตรวจเอกสาร

1. การดูดใช้ธาตุอาหารของพืชไร่ (Nutrient absorption of field crops)

พืชไร่เศรษฐกิจโดยทั่วไป เป็นพืชล้มลุกที่มีอายุการเจริญเติบโตค่อนข้างสั้น กล่าวคือส่วนใหญ่มียุคการเจริญเติบโตประมาณ 3 ถึง 4 เดือน ยกเว้นพืชไร่บางชนิดที่อาจมีอายุสั้นกว่า 3 เดือน เช่น ถั่วเขียว, งา หรือบางชนิดอาจมีอายุยาวนานเป็นปี เช่น อ้อย, มันสำปะหลัง สำหรับระยะเวลาการใช้ปุ๋ยกับพืชไร่อายุสั้นก็อาจใช้หลักเกณฑ์ในการพิจารณาเหมือน ๆ กับพืชล้มลุกประเภทอื่น ๆ เช่น ข้าวและพืชผัก (ปิยะ, 2538)

โดยหลักการทั่ว ๆ ไป พืชไร่เศรษฐกิจที่มีอายุสั้น 3 ถึง 4 เดือน เช่น ข้าวโพด, ข้าวฟ่าง, ถั่วเหลือง, ถั่วลิสง เป็นต้น มีช่วงระยะการเจริญเติบโตและระยะการเจริญพันธุ์สั้นและยาวนานในแต่ละระยะก็ไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้รวมทั้งปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารพืชที่ระยะการเจริญเติบโตทั้ง 2 ระยะด้วย นอกจากนั้นถ้าจะพิจารณาถึงสมบัติและการเปลี่ยนแปลงของธาตุหลักในปุ๋ยเคมีชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าปุ๋ยฟอสฟอรัส และปุ๋ยโพแทสเซียมเมื่อใส่ลงไปดินจะเกิดการเคลื่อนย้ายในดินน้อยหรือช้า ทำให้เกิดการสูญเสียไม่มาก เช่น การสูญเสียโดยการชะล้างด้วยน้ำ (leaching) ดังนั้นในการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟต และหรือปุ๋ยโพแทสเซียมกับพืชไร่ ที่ส่วนใหญ่มีอายุสั้นเพียงแต่ไม่เกิน 4 เดือน การใช้ปุ๋ยทั้งหมดเพียงครั้งเดียวตอนปลูกหรือก่อนปลูกเล็กน้อยก็เป็นการเพียงพอ และจากผลการทดลองโดยทั่วไปพบว่า การใส่ปุ๋ยที่ระยะดังกล่าวเป็นระยะที่เหมาะสมกับพืชไร่อายุสั้นโดยทั่วไป เนื่องจากสารประกอบฟอสเฟตชนิดละลายน้ำได้ดี ที่มีในปุ๋ยเคมีเมื่อใส่ลงไปดินมักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำในปริมาณมาก ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายในดินได้น้อยดังที่กล่าวแล้ว อีกนัยหนึ่งเมื่อใส่ลงไปตรงที่ใดก็จะสะสมอยู่ในบริเวณนั้นเป็นส่วนใหญ่ ประกอบกับความจริงที่ว่า ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารพืชที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการสร้างระบบรากของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะหลังปลูกพืชใหม่ ๆ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่ระยะก่อน หรือหลังระยะปลูกเล็กน้อยจึงเป็นระยะที่เหมาะสมกว่าการใส่ในระยะอื่น ๆ เช่น ระยะที่พืชกำลังเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว หรือระยะออกดอก สำหรับปุ๋ยโพแทสเซียมนั้น เนื่องจากธาตุโพแทสเซียมในปุ๋ยอยู่ในรูปไอออนประจุบวก (cation) ดังนั้นเมื่อใส่ลงไปดินที่โดยธรรมชาติมีประจุลบ (negative charge) จึงเกิดการดูดยึดธาตุโพแทสเซียมไว้ได้ไม่มากนัก ซึ่งมิได้ทำให้เกิดการสูญเสียโดยขบวนการต่าง ๆ น้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสูญเสียโดยขบวนการชะล้าง (ปิยะ, 2538)

2. ผลตกค้างของปุ๋ย (Effect of fertilizer residual)

2.1 ความหมายของผลตกค้างของปุ๋ย (Definition of effect of fertilizer residual)

มนูเวทย์ (2520) กล่าวว่า ปุ๋ยมีผลต่อสมบัติของดิน 2 สาเหตุคือ เป็นผลจากปุ๋ยโดยตรง (direct effect) และเป็นผลเกิดจากปุ๋ยโดยทางอ้อม (indirect effect)

ผลของปุ๋ยโดยตรง เกิดจากสมบัติของปุ๋ยเอง ทำให้สมบัติของดินบางอย่างเปลี่ยนแปลงไป ตัวอย่างเช่น ทำให้ปริมาณธาตุอาหารในดินมีมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นการเปลี่ยนแปลงชั่วคราว (non-permanent effect) หรืออาจเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ยืนนาน (permanent effect) อาจใช้คำว่า "เปลี่ยนแปลงอย่างถาวร" ซึ่งทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของธาตุอาหารที่อยู่ในรูปปุ๋ย ปุ๋ยบางอย่างเมื่อใส่ลงไปในดินบริเวณรอบปุ๋ยจะมีความเป็นกรดเป็นด่างต่างไปจากเดิม ซึ่งโดยทั่วไปเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบชั่วคราวเท่านั้น (มนูเวทย์, 2520)

ผลของปุ๋ยทางอ้อม เกิดจากปุ๋ยที่ใส่ได้มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีขึ้น ตัวอย่างเช่น ธาตุอาหารในโตรเจนบางรูปในรูปปุ๋ย อาจจะมีการเปลี่ยนแปลง oxidation state หรืออาจจะถูกตรึงธาตุฟอสฟอรัสในปุ๋ยซึ่งเป็นอนุมูลฟอสเฟต อาจจะถูกดูดซับบนผิวของ clay colloids หรืออาจจะตกตะกอน โดยทำปฏิกิริยากับ reactive cations บางชนิดใน (มนูเวทย์, 2520) เช่นปฏิกิริยาของฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะเกิดกับอะตอมที่อยู่บนผิวของอนุภาคดิน มากกว่าอะตอมในสารละลายดิน ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็นปฏิกิริยาการดูดซับอย่างจำเพาะเจาะจงลงบนผิวของ เหล็ก และ อะลูมินัมออกไซด์ (ปัทมา, 2533)

การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินโดยปุ๋ยเป็นไปในสองลักษณะคือ อย่างแรกสมบัติบางอย่างของดินจะเปลี่ยนไปโดยทันทีที่ใส่ปุ๋ย (immediate effect) เป็นผลเกิดจากสมบัติของปุ๋ยโดยตรง อีกลักษณะหนึ่งก็คือสมบัติบางอย่างของดินค่อย ๆ เปลี่ยนไปช้า ๆ การใช้ปุ๋ยติดต่อกันนาน ๆ จึงจะเห็นการเปลี่ยนแปลงเด่นชัดขึ้น เพราะเกิดการสะสมผลของขบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในดินหลังจากใส่ปุ๋ย ซึ่งโดยทั่วไปเกิดโดยทางอ้อม ถือเป็นผลระยะยาวของการใส่ปุ๋ย (long-term effect) การเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้เรียกว่า เกิดผลตกค้างในดิน (residual effect) (มนูเวทย์, 2520)

สมบัติของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อใส่ปุ๋ยอาจจะเป็นแบบ เปลี่ยนไปชั่วคราว (non-permanent effect) หรือเปลี่ยนไปแบบถาวร (permanent effect) ในแบบแรก การเปลี่ยนแปลงมักจะเกิดหลังใส่ปุ๋ยใหม่ ๆ และเปลี่ยนไปโดยทันที แต่หลังจากนั้นไม่นานสมบัติของดินก็จะกลับคืนเหมือน หรือใกล้เคียงกับของเดิม เช่นการใส่ปุ๋ยในโตรเจน และโพแทสเซียม ปริมาณธาตุทั้งสองจะมากขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยใหม่ ๆ แต่นานเข้าปริมาณทั้งสองจะค่อยลดลงจนแทบไม่เหลือตกค้างในดิน

(จะเห็นว่าเกิดจากปุ๋ยโดยตรง) ส่วนแบบหลังสมบัติของดินจะเปลี่ยนไป ไม่กลับคืนเหมือนเดิมง่าย ๆ บางกรณีอาจต้องปรับปรุงถ้าจำเป็น ซึ่งอาจเกิดจากปุ๋ยโดยตรง เช่น การสะสมฟอสเฟตในดิน หรืออาจเกิดจากปุ๋ยโดยทางอ้อม เช่น การที่ดินเป็นกรดมากขึ้นและปริมาณ basic cations ลดลงเมื่อใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมติดต่อกันหลายปีในดินไร้นี้เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงแบบถาวรนี้ โดยทั่วไปจะเกิดช้ากว่าและค่อยเป็นค่อยไปในดิน ขณะเดียวกันก็กลับคืนช้าหรือต้องมีการปรับปรุงแก้ไขสมบัติของดินจึงจะกลับคืนเหมือนเดิม (มनुเวทย์, 2520)

2.2 ผลตกค้างของปุ๋ยที่มีต่อสมบัติทางเคมีของดิน (Effect of fertilizer residual on chemical properties of soil)

2.2.1 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH change of soil)

จากการทดลองปุ๋ยเคมีในดินที่ดอน (upland soil) ในต่างประเทศ สรุปผลของปุ๋ย ที่มีผลต่อความเป็นกรดเป็นด่างของดินไว้ดังนี้ (มनुเวทย์, 2520)

ปุ๋ยโพแทสเซียม ปุ๋ยโพแทสเซียมที่ใช้ทั่วไปคือ KCl และ K_2SO_4 ทั้งสองไม่ทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเปลี่ยนไปอย่างถาวร ระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินของดินอาจเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยหลังจากใส่ ต่อมาจะกลับคืนสภาพเดิมในเวลาไม่นานนัก (ยงยุทธ, 2528)

ปุ๋ยฟอสฟอรัส ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตต่าง ๆ โดยทั่วไปไม่ทำให้ระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเปลี่ยนไปแบบถาวร ส่วน basic slag กระดูกป่นและหินฟอสเฟต (phosphate rock) มีแนวโน้มที่มักจะทำให้ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น คือลดความเป็นกรดของดินลง (มनुเวทย์, 2520) การลดลงของ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เกิดจากการดฟอสฟอริก แต่กรดฟอสฟอริกมิได้เป็นอิสระนานนัก แต่จะทำปฏิกิริยา กับ เหล็ก, อะลูมิเนียม และแมงกานีส ซึ่งมีอยู่ในดิน ทำให้ฤทธิ์กรดหายไป (ยงยุทธ, 2528)

ปุ๋ยไนโตรเจน ผลของปุ๋ยที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดินขึ้นอยู่กับชนิดของปุ๋ย ซึ่งมีด้วยกัน 2 พวก คือ 1) พวกที่มีผลตกค้างทำให้ดินเป็นด่างมากขึ้น (หรือลดความเป็นกรดของดิน) ปุ๋ยไนโตรเจนพวกนี้ได้แก่ เกลือไนเตรตของธาตุโซเดียม, โพแทสเซียม, แคลเซียม และปุ๋ยแคลเซียมไซยาไนด์เป็นต้น ปุ๋ยพวกนี้เมื่อใช้เวลานานติดต่อกันหลายปีจะทำให้ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินสูงขึ้น โดยเฉพาะดินที่ค่อนข้างจะเป็นกรดอยู่แล้ว 2) พวกที่มีผลตกค้างที่เพิ่มความเป็นกรด เป็นพวกที่สำคัญ ในการปลูกพืชจะต้องใส่วัสดุปูน

เป็นครั้งคราวเพื่อแก้ความเป็นกรดอันเกิดจากปุ๋ยที่ใส่ ปุ๋ยไนโตรเจนพวกนี้ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียม (NH_4^+) ปุ๋ยพวกนี้ทำให้ดินเป็นกรดมากขึ้น เมื่อใช้ติดต่อกันหลายปี ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน จะลดลง แต่จะลดลงมาก หรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณปุ๋ยที่ใช้ คุณสมบัติของดิน และการจัดการดิน การใช้ปุ๋ยที่มีผลตกค้างเป็นกรดในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรดอยู่แล้ว จะส่งเสริมให้ ความเป็นกรดของดินเพิ่มขึ้นจนกระทบกระเทือนต่อผลผลิตพืชที่ปลูกได้ (ยงยุทธ, 2528)

ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 มีค่าสมมูลย์ของความเป็นกรด (equivalent acidity) และค่าสมมูลย์ของความเป็นด่าง (equivalent basicity) เป็นตัวเลขที่ประเมินค่าความเป็น กรดหรือด่างของปุ๋ยนั้น ๆ ว่าจะมีผลตกค้างทำให้ดินเป็นกรดเป็นด่างได้มากน้อยอย่างไร (มนูเวทย์, 2520)

สำหรับปุ๋ยที่ทำให้ดินเป็นกรด ซึ่งเป็นปุ๋ยไนโตรเจนพวกแอมโมเนีย, ยูเรีย และเกลือแอมโมเนียม ค่าสมมูลย์ของความเป็นกรดของปุ๋ย เป็นตัวเลขแสดงน้ำหนักของปูน CaCO_3 บริสุทธิ์ เพื่อแก้ความเป็นกรดที่เกิดจากปุ๋ยนั้น 100 หน่วยน้ำหนัก เช่น $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ มีสมมูลย์ ของความเป็นกรดเท่ากับ 110 หมายความว่า ปุ๋ยนี้ 100 กก. มีความเป็นกรดที่เกิดจากปุ๋ยซึ่งจะต้อง แก่ด้วยปูนขาวเทียบได้กับ CaCO_3 บริสุทธิ์ 110 กก. เป็นต้น (มนูเวทย์, 2520) ปุ๋ยแอมโมเนียเมื่อ ผสมกับดินจะทำให้ดินเป็นด่างในระยะแรก แต่ก็จะเป็นกรดในระยะต่อไป ความเป็นกรดเกิดขึ้น โดย NH_4^+ เปลี่ยนรูปเป็น NO_3^- ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ที่เกิดในสภาพที่มีออกซิเจน โดยเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) (ไพฑูรย์, 2523)

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารในดินเมื่อใส่ปุ๋ยเคมีติดต่อกันนาน ๆ (Change nutrient in soil after continuous fertilizer application)

การใส่ปุ๋ยเคมีในดินมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อความเป็นประโยชน์ ของธาตุอาหารในดิน เช่น ปุ๋ย acid-forming เมื่อใส่ในดินไร่บางชนิดนาน ๆ โดยไม่ใส่ ปุ๋ยฟอสฟอรัส อาจจะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชเอาไปใช้ได้ (available-P) ลดลง และปริมาณ โพแทสเซียมที่พืชเอาไปใช้ได้ (available-K) เพิ่มขึ้น ส่วน basic forming fertilizer เมื่อใช้กับดิน บางชนิดนาน ๆ อาจจะมีผลทำให้ทั้งปริมาณ available-P และ available-K เพิ่มมากขึ้น การเพิ่ม basic ions ลงในดินในรูปของปุ๋ยต่าง ๆ ก็อาจจะปลดปล่อยไอออนบวก อื่น ๆ ออกจาก exchange complex ในดิน ซึ่งทำให้ไอออนบวกเหล่านั้นสูญเสียจากดินโดยการชะล้างได้ง่ายขึ้นเช่นกัน ในทำนองเดียวกัน อาจจะทำให้ไอออนบวกเหล่านั้นสูญเสียจากดินโดยการชะล้างได้ง่ายขึ้นเช่นกัน (มนูเวทย์, 2520)

ปกติปุ๋ยที่ใส่มักจะใส่ในปริมาณเพียงพอกับที่พืชต้องการ หรือเป็นปริมาณที่ทำให้ธาตุอาหารพืชในดินมีความสมดุลกับ soil-nutrient supply แก่พืชในแต่ละฤดู แต่บางครั้งปุ๋ยที่ใส่อาจจะมากเกินไปกว่ากำหนด หรือพืชเอาไปใช้ไม่หมดในช่วงหนึ่งฤดูการปลูก ผลสุดท้ายทำให้เพิ่ม reserve supply ของธาตุอาหารพืชในดิน ปรากฏการณ์นี้เป็นจริงกับธาตุฟอสฟอรัส จะพบเสมอว่ามีการสะสมในดินเมื่อใส่ติดต่อกันหลายปี (Millar, et al., 1966 อ้างโดย มนุเวทย์, 2520) การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินในปีแรกจะมีกากปุ๋ย (phosphate residue) เหลือตกค้างในดิน เพราะพืชเอาไปใช้ได้เพียงบางส่วน และฟอสเฟตสูญเสียจากดินโดยการชะล้างได้น้อยมาก กากปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินพืชสามารถนำเอาไปใช้ได้ ในฤดูกาลต่อ ๆ ไป แต่จะเหลือมาก หรือน้อย และพืชจะเอาไปใช้ได้มาก หรือน้อยเท่าใด ก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน เหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า ฟอสเฟตในปุ๋ยเมื่อใส่ในดินจะละลายน้ำ ฟอสเฟตในสารละลายจะทำปฏิกิริยาได้ง่ายกับ reactive component ต่าง ๆ ในดิน เช่น hydrous oxides ของ Fe^{3+} และ Al^{3+} , $CaCO_3$ ตลอดจน exchangeable Fe^{3+} และ Al^{3+} กลไกของปฏิกิริยา มักจะเป็นการดูดซับและหรือการตกตะกอน ซึ่งนิยมเรียกว่าการตรึงฟอสเฟต ดังนั้นโดยทั่วไปจะพบฟอสเฟตอยู่ในสารละลายดินต่ำมาก ดังนั้นธาตุฟอสฟอรัสจึงมักจะถูกเรียกว่าเป็น immobile nutrient คือเคลื่อนที่ไปกับน้ำในสภาพสารละลายดินน้อยมากเพราะถูกตรึงดังกล่าว การสูญเสียฟอสฟอรัสโดยการชะล้างจึงมีน้อยมาก ฟอสเฟตส่วนที่เหลือจากที่พืชดูดเอาไปใช้จึงสะสมในดิน การศึกษาผลตกค้างของปุ๋ยฟอสฟอรัสในแต่ละดิน จึงเป็นการศึกษาว่าปุ๋ยที่เคยใส่ในปีก่อน ๆ จะยังเหลือพอที่พืชจะเอาไปใช้ได้หรือไม่ หรือปลูกพืชโดยไม่ต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอีกก็ฤดูกาลปลูก เรียกว่าศึกษาค่าตกค้างของปุ๋ย (residual value) ค่าตกค้างของปุ๋ยฟอสฟอรัสจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณปุ๋ย, วิธีการใส่ปุ๋ย, สมบัติของดิน, ชนิดพืชที่ปลูก รวมไปถึงวิธีการปลูกพืชด้วย (มนุเวทย์, 2520)

2.2.3 ผลของปุ๋ยที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน (Effect of fertilizer residual on physical properties of soil)

Millar, et al., (1966 อ้างโดย มนุเวทย์, 2520) ได้สรุปผลของปุ๋ยต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของดินว่า สมบัติทางฟิสิกส์ของดินส่วนใหญ่เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณ และ ธรรมชาติของ mineral colloids กับปริมาณอินทรีย์วัตถุของดิน อย่างไรก็ดี ถึงแม้ว่าปุ๋ยเคมีไม่ได้ทำให้ปริมาณของ mineral colloids เปลี่ยนแปลง แต่ก็มีผลต่อสมบัติทางเคมีของดินซึ่งควบคุม exchangeable cations บนผิวของคอลลอยด์ ไม่มากนักน้อย ชนิดและปริมาณของ exchangeable cations ในทางกลับกันมีผลอย่างสำคัญต่อสมบัติฟิสิกส์ของดิน

ผลทางอ้อมของปุ๋ยเคมีที่อาจจะมีต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของดินอีกอย่างหนึ่ง คือ การใส่ปุ๋ยอาจทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีมากขึ้น โดยทั่วไปปุ๋ยย่อยทำให้พืชเจริญเติบโต ดีกว่าไม่ใส่ปุ๋ย เศษซากพืช เมื่อใส่คั้น (ไถกลบ) ในแปลงที่ใส่ปุ๋ยย่อยได้รับอินทรีย์วัตถุมากกว่า แปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย (มนูเวทย์, 2520) ซึ่งอินทรีย์วัตถุก็จะทำให้ลดความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัส ของดิน โดยการที่สารอินทรีย์บางชนิด เข้าทำปฏิกิริยากับตำแหน่งที่จะทำให้ปฏิกิริยาตรึง ฟอสฟอรัสของแร่ดินเหนียวประเภทออกไซด์และแอลโลเฟน (allophane) จึงมีคำแนะนำว่าให้ใช้ ปุ๋ยฟอสฟอรัสพร้อมปุ๋ยอินทรีย์ (สมชาย, 2535)

3. การสะสมของฟอสฟอรัสในดิน (Phosphorus accumulation in soil)

การสะสมของฟอสฟอรัสในดินเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการคือ การสะสม ของฟอสฟอรัสในดินนั้น ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากถูกตรึงไว้ ในดินโดยที่ดินส่วนใหญ่มีประจุลบ และสาเหตุที่สำคัญยังเนื่องมาจากขบวนการแลกเปลี่ยน แอนไอออน โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่ของออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ ของเหล็ก และอะลูมิเนียม ซึ่งสามารถดูดซับอาหารธาตุที่มีประจุลบได้มาก ในกลุ่มฟอสเฟตได้แก่ H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} การดูดซับของแอนไอออนที่สำคัญส่วนใหญ่เกิดจากแรงดูดยึดที่เฉพาะเจาะจง

การดูดซับไม่เฉพาะเจาะจง (non-specific adsorption) เกิดจากแรงดูดยึดเนื่องจากไอออน ที่มีประจุไฟฟ้าต่างกัน (electrostatic force) การดูดซับของ PO_4^{3-} ในดินระดับค่าความเป็นกรด เป็นด่าง ต่างๆ ซึ่งการดูดซับของฟอสเฟตส่วนใหญ่เป็น specific adsorption

จะเห็นได้ว่าเมื่อ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ลดลงทำให้ PO_4^{3-} ถูกดูดซับเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ เนื่องมาจากประจุบวกแบบ pH-dependent ของคอลลอยด์มีมากขึ้น (ไพบูลย์, 2530)

การดูดซับที่เฉพาะเจาะจง (specific adsorption) เกิดกับแอนไอออนที่อยู่ในรูปของอนุภาค เชิงซ้อนของออกซิเจน ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของกรดฟอสฟอริก (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} และ H_2PO_4^-) การ ถูกดูดซับเกิดจากการแลกเปลี่ยนที่ระหว่างฟอสเฟตในสารละลายกับออกซิเจนหรือไฮดรอกซิล (OH^-) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของผิวคอลลอยด์ (ไพบูลย์, 2530)

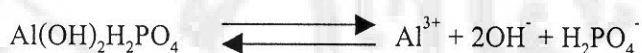
การดูดยึดและการดูดตรึงฟอสเฟต (P-sorption and fixation) การดูดยึดฟอสฟอรัสเป็นทั้ง แบบไม่เฉพาะเจาะจงและเฉพาะเจาะจง แต่เกิดเนื่องจากขบวนการ ligand exchange หรือ anion penetration จึงดูเหมือนว่าฟอสเฟตถูกดูดซึม (absorption) เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้าง ของคอลลอยด์ ดังนั้นการดูดยึดฟอสเฟต จึงอาจถือได้ว่าเป็นทั้งขบวนการดูดซับ (adsorption) และ ขบวนการดูดซึม (absorption) หรือเรียกว่า (sorped-P) โดยธรรมชาติในดินเมื่อระยะเวลาผ่านไป

(long time reaction) ฟอสเฟตที่ถูกดูดซับ (sorped-P) มักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ยาก (ไพบูลย์, 2530)

การละลายตัวและการตกตะกอนของฟอสเฟต (dissolution and precipitation of phosphate) ฟอสเฟตที่มีความไวต่อปฏิกิริยาการรวมตัวกับแคตไอออนและสารประกอบต่าง ๆ ในดิน ซึ่งสารประกอบฟอสเฟตที่เกิดขึ้นใหม่มีการละลายตัวที่ต่ำมาก จนพืชแสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัส ปริมาณของฟอสเฟตที่ละลายได้ในสารละลายดิน ขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ที่เป็นองค์ประกอบ ปริมาณของไอออนบวกต่าง ๆ ในสารละลาย ตลอดจนความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

จากโครงสร้างของฟอสฟอรัสจะแสดงวาเลนซ์ +5 ซึ่งมีเสถียรภาพมากที่สุดโดยอยู่ในรูปของ orthophosphate ซึ่งมี P^{5+} เป็นใจกลางและล้อมรอบด้วยออกซิเจนสี่ตัว จึงเห็นได้ว่าออกซิเจนยังมีประจุลบหลงเหลืออยู่ จึงมี electronegativity สูง ในการทำพันธะกับไอออนบวกต่าง ๆ ในดิน ดินที่ทำการเกษตรส่วนใหญ่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 4 ถึง 8 ฟอสเฟตจะอยู่ในรูป $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-} ซึ่งทั้งสองรูปจะมีปริมาณเท่ากันที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 7.2 แต่ในสภาพความเป็นจริงในดินมีไอออนประจุที่มากกว่าพวกบวกสามและบวกสอง เช่น Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} และ Mg^{2+} จะเป็นพวกที่ทำปฏิกิริยาตกตะกอนกับฟอสเฟต (ไพบูลย์, 2530)

ปฏิกิริยาการตกตะกอนในดินกรด สารประกอบคอลลอยด์ดินมักเกิดการสะสมตัวผูกพันในตัวเอง โดยไฮโดรเจนไอออน (H^+) จึงมีการปลดปล่อยอะลูมิเนียม และเหล็ก ออกมาในสารละลาย ทำปฏิกิริยากับน้ำ ซึ่งอยู่ในรูป $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$, ฟอสเฟตไอออนจากการใส่ปุ๋ยทำปฏิกิริยาตกตะกอนกับสารประกอบเหล่านี้ กลายเป็นแร่ชนิดใหม่ซึ่งละลายน้ำได้ยาก อย่างไรก็ตามการที่สารประกอบหรือแร่พวกนี้ละลายตัวต่ำมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณ ความเข้มข้นของ Al^{3+} , Fe^{3+} และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลาย เช่นกรณี Variscite ($Al(OH)_2H_2PO_4$) (ไพบูลย์, 2530)



ถ้าทราบ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณของ Al^{3+} ในสารละลาย สามารถคำนวณความเข้มข้นของ $H_2PO_4^-$ ในสารละลายได้ (ไพบูลย์, 2530)

ปฏิกิริยาการตกตะกอนในดินกรด $Al(OH)_3$ ทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตแอนไอออนตกตะกอนในรูป อะลูมิเนียมฟอสเฟต สำหรับปฏิกิริยาตกตะกอนในดินด่าง ดินด่างส่วนใหญ่ฟอสเฟตอยู่ในรูป HPO_4^{2-} ทำปฏิกิริยาตกตะกอนกับ Ca^{2+} และ Mg^{2+} กลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยาก (ไพบูลย์, 2530)

การละลายตัวของสารประกอบฟอสเฟตในดิน ฟอสเฟตในรูป $H_2PO_4^-$ ปริมาณที่ละลายในดินเกิดจากการละลายของ $Al(OH)_2H_2PO_4$ (Variscite) จึงสัมพันธ์กับ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

ถ้าค่าความเป็นกรดเป็นด่าง น้อย H_2PO_4^- ยิ่งมากในสารประกอบพวกเหล็ก และอะลูมิเนียมฟอสเฟต ส่วนในสารประกอบพวกแคลเซียมฟอสเฟต ความสัมพันธ์จะตรงข้ามกัน นั่นคือ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างยิ่งสูงปริมาณของ H_2PO_4^- ที่ละลายออกมายิ่งน้อยลง อย่างไรก็ตาม ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงไว้ในดินนั้น ก็เชื่อว่าจะถูกตรึงไว้ตลอดไม่มีโอกาสจะกลับมาเป็นประโยชน์ต่อพืชเลย กล่าวคือ ทรายใดที่ยังปลูกพืชโดยการใส่ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัส ซึ่งทำให้มีฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำมากกว่าสมดุลย์ การตรึงฟอสฟอรัสก็ยังคงเกิดขึ้น แต่เมื่อหยุดใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและยังคงปลูกพืชต่อไป พืชที่ปลูกก็จะดูดกินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ทันทีที่ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสส่วนนี้ลดลงจนเสียสมดุลย์ ปฏิกิริยาที่จะผันกลับมาข้างล่าง นั่นคือการละลายหรือปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงไว้ก่อนหน้านี้ (สมชาย, 2535)

4. ปัจจัยที่มีผลต่อการตรึงฟอสฟอรัสในดิน (Factors affecting phosphorus fixation in soil)

4.1 ชนิดของแร่ดินเหนียว (Clay mineralogy)

จากการศึกษากลุ่มดิน ออกซิโซล ซึ่งมีความ Sesquioxide, Gibbsite, Goethite, Hematite, สามารถตรึงฟอสฟอรัสได้ถึง 900 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (IRRI, 2000)

4.2 ปริมาณแร่เหนียว (Clay content)

จากการเปรียบเทียบของดินออกซิโซล ในดินชั้นบนมีแร่ดินเหนียวอยู่ 12 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาดินจากพื้นที่ต่างๆ ในโลกพบว่า ดิน Loamy Haplustoxs จากโคลัมเบียมีดินเหนียว 38 เปอร์เซ็นต์ ตรึงฟอสเฟตได้ 390 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม P และ Haplustoxs จาก Cerrado ประเทศบราซิลเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว 45 เปอร์เซ็นต์ ตรึงฟอสเฟตได้ 750 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม P ดิน Gibbshumoxs จากฮาวายเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว 70 เปอร์เซ็นต์ ตรึงฟอสเฟตได้ 900 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม P ดังนั้นเนื้อดินชั้นบน จึงเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญของการถูกตรึง ฟอสเฟต (IRRI, 2000)

4.3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอะลูมิเนียม (Exchangable aluminum)

จากการศึกษาพบว่า 1 มิลลิสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม ของความสามารถในการแลกเปลี่ยน อะลูมิเนียมต่อ 100 กรัม ของดิน เมื่อมีน้ำอาจสามารถตรึง ฟอสฟอรัสได้ถึง 102 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (IRRI, 2000)

4.4 อินทรีย์วัตถุในดิน (Soil organic matter)

ในดินที่มี sesquioxide สูงอินทรีย์วัตถุเป็นตัวช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการทำปฏิกิริยากับน้ำ บนผิวของคอลลอยด์ของเหล็ก และอะลูมิเนียมทำให้ลดความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสลดลง (ไพบูลย์, 2530)

4.5 สภาพน้ำขัง (Water-logged condition)

สภาพน้ำขังทำให้การตรึงฟอสเฟตลดลง การขังน้ำทำให้ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการตกตะกอนของอะลูมิเนียม การขังน้ำในดินกรดลดการทำพันธะระหว่าง อะลูมิเนียมกับฟอสฟอรัสทำให้เพิ่มสัดส่วนของพันธะระหว่างเหล็กกับฟอสฟอรัส เนื่องจากมี เหล็กบวกสองในสารละลายดินมาก อย่างไรก็ตาม ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ที่เพิ่มขึ้น ในดินน้ำขัง ปัญหาการตรึงฟอสฟอรัสในดินกรดจึงไม่ใช่ปัญหาสำคัญ (IRRI, 2000)

สารประกอบฟอสเฟตในปุ๋ยอาจจำแนกได้เป็น 3 พวก ได้แก่ พวกที่ละลายในน้ำ, ละลาย ในน้ำยาแอมโมเนียมซัลเฟต ไม่ละลายในน้ำยาแอมโมเนียมซัลเฟต ฟอสฟอรัสในปุ๋ยส่วนที่ละลาย ในน้ำ และสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตรวมกัน เรียกว่า ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ การทดลอง เปรียบเทียบผลของการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายน้ำง่ายกับที่ละลายน้ำยาก และวิเคราะห์หา ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนั้น ปรากฏว่า แม้ปุ๋ยชนิดแรกจะทำปฏิกิริยากับดินและลดความ เป็นประโยชน์ลงไป แต่เมื่อเวลาผ่านไปหลายสัปดาห์ ปุ๋ยนี้ยังช่วยให้ดินมีฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ มากกว่าการใช้ปุ๋ยที่ละลายน้ำยาก นอกจากนั้นผลการทดลองยังชี้ว่า การใส่ปุ๋ยที่ละลายน้ำง่าย ช่วยให้การเจริญเติบโตของพืชในระยะแรกดีกว่า เนื่องจากปุ๋ยนั้นสนองต่อธาตุฟอสฟอรัสได้มาก และเร็วกว่าปุ๋ยที่ละลายน้ำยาก (ขงยุทธ, 2528)

5. ผลกระทบที่เกิดจากฟอสฟอรัสในดินมากเกินไป (Effect of excessive phosphorus in soil)

5.1 ผลกระทบในพืชและในดิน (Soils and plants impact)

ผลจากการใส่ระดับฟอสฟอรัสในพืชในระดับสูง เมื่อเทียบกับการที่พืชได้รับในระดับต่ำจนทำให้เกิดผลกระทบ จะเห็นได้ว่าเมื่อพืชได้รับฟอสฟอรัสในระดับสูงจะมีผลที่เห็นได้ชัดต่อพื้นที่ผิว ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในรากจะเพิ่มขึ้น 10.54, 1.29 มิลลิกรัม P ต่อน้ำหนักแห้ง เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราสูงและต่ำตามลำดับซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 1 (ขงยุทธ, 2543) การใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราสูงอยู่เป็นระยะเวลานาน อาจทำให้มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมากขึ้น จนถึงจุดหนึ่ง ซึ่งแม้จะมีการใส่ปุ๋ยประจำปี แต่ก็ไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่กลับทำให้ลดลงได้อันเนื่องมาจาก ความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดิน เมื่อมีปริมาณของฟอสฟอรัสในดินมากเกินไป จะทำให้เกิดการขาดธาตุสังกะสี (ขงยุทธ, 2543)

5.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental impact)

เนื่องจากฟอสฟอรัสในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปอนินทรีย์สาร เช่น ในสภาพดินเป็นกรดนั้นก็จะเป็นรูปสารประกอบของเหล็กและอะลูมิเนียม และจะอยู่ในรูปสารประกอบแคลเซียม ในสภาพดินด่าง นอกจากปุ๋ยหรือจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ฟอสเฟตก็จะเปลี่ยนมาอยู่ในรูปดังกล่าวเช่นกัน ฟอสฟอรัสในรูปดังกล่าวมีความสามารถในการละลายได้น้อยมาก จึงเป็นธรรมดาที่ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินจะมีค่าต่ำกว่ามากอยู่เสมอ เช่นประมาณ 10 ถึง 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินที่ขาดฟอสฟอรัสจึงมักจะมีค่าต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นต้น การสูญเสียฟอสฟอรัสจากดินไปปนเปื้อนในระบบสิ่งแวดล้อมอื่น จึงเป็นการสูญเสียในรูปฟอสฟอรัสที่ติดไปกับอนุภาคดิน มิใช่เกิดจากการเคลื่อนย้ายของฟอสฟอรัสในรูปสารละลายแต่อย่างใด (สุภมาศ, 2540)

เนื่องจากการไหลบ่าจากพื้นที่เพาะปลูก (cropland runoff) เป็นตัวการสำคัญที่นำเอาอนุภาคดินที่มีฟอสฟอรัสติดไปด้วย เป็นการนำเอาเฉพาะอนุภาคขนาดซิลต์ (silt) และดินเหนียว (clay) ไปกับน้ำ ซึ่งอนุภาคขนาดนี้เป็นอนุภาคที่ฟอสเฟตเกาะอยู่ ดังนั้น ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในดินที่ถูกกัดเซาะ จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณของอนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้ในน้ำไหลบ่า ตะกอนดินเหล่านี้ เมื่อแตกออกจากก้อนดินเป็นอนุภาคเดี่ยว จะแขวนลอยในน้ำได้นานเมื่อแขวนลอยในบึงหรือทะเลสาบ จึงเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสแก่สาหร่ายเป็นอย่างดี เกิดกระบวนการ

เพิ่มอายุของแหล่งน้ำ (process of ageing of lakes) อันเนื่องจากการเพิ่มระดับของธาตุอาหารพืชลงสู่แหล่งน้ำหรือเรียกว่า ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ตามมา (ศุภมาส, 2540)

ทั้งนี้การสูญเสียฟอสฟอรัสไปกับอนุภาคดิน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ และปัจจัยที่น่าจะเกี่ยวข้องกับการทดลองคือ ปริมาณของเหล็กและอะลูมิเนียมในดิน เพราะในดินอินทรีย์ อะลูมิเนียมและเหล็ก มีบทบาทช่วยลดการสูญเสียฟอสฟอรัสแบบชะละลาย

6. การดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพด (Nutrient absorption of sweet corn)

ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับข้าวโพดจะประกอบไปด้วยธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม, แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ ส่วนจุลธาตุ ได้แก่ เหล็ก, ทองแดง, แมงกานีส, โมลิบดีนัม, สังกะสี, โบรอน และคลอรีน ความต้องการธาตุอาหารแต่ละตัวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของดิน และความอุดมสมบูรณ์พื้นฐานเดิมของดิน ลักษณะฝนฟ้าอากาศและอายุของข้าวโพด รวมทั้งประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยของพันธุ์ข้าวโพดด้วย ผลกระทบของฟอสฟอรัสต่อข้าวโพดซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 1 และการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของข้าวโพดหวานแต่ละชนิดมีระดับที่แตกต่างกันซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 3

ในสภาพที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ผลผลิตของข้าวโพดจะต่ำ และเมื่อมีการใส่ปุ๋ยเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับหนึ่งที่มีความเข้มข้นของปุ๋ยมากเกินไป จะมีผลทำให้ผลผลิตของข้าวโพดลดลง อันเนื่องมาจากความเป็นประโยชน์ของธาตุบางชนิดลดลง (ยงยุทธ, 2543)

7. ปริมาณวิกฤตของธาตุอาหารในข้าวโพด (Critical content nutrient of sweet corn)

ข้าวโพดจะมีความต้องการธาตุไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อย่างน้อยที่สุดร้อยละ 3.0, 0.25 และ 1.9 ตามลำดับ ถ้าวิเคราะห์ได้ว่าข้าวโพดมีปริมาณธาตุอาหารเหล่านี้ในส่วนของเนื้อดินต่ำกว่าจุดวิกฤต ข้าวโพดจะแสดงอาการซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2 เมื่อข้าวโพดได้รับธาตุอาหารในปริมาณที่พอเพียง จะทำให้การเจริญเติบโตและการพัฒนารวมทั้งกระบวนการต่าง ๆ ของข้าวโพด ดำเนินไปในลักษณะปกติ (ยงยุทธ, 2543)

8. ข้าวโพดหวาน (Sweet corn)

ข้าวโพดหวาน เป็นข้าวโพดที่ปลูกเพื่อรับประทานฝักสด โดยเฉพาะการเก็บนั้นจะเลือก

เก็บในระยะที่ฝักมีน้ำตาลมากที่สุดไม่อ่อนหรือแก่เกินไป เมื่อได้รับอากาศร้อนน้ำตาลที่อยู่ในเมล็ดจะเปลี่ยนเป็นแป้งโดยง่าย (ทรงเชาว์, 2531) ข้าวโพดหวานเป็นข้าวโพดที่มีลักษณะแปรปรวนมากกว่าข้าวโพดชนิดอื่น ลักษณะที่สำคัญของข้าวโพดหวานคือ เมื่อแก่เมล็ดจะเหี่ยวย่น (wrinkle) ข้าวโพดชนิดนี้เมื่อมีอายุประมาณ 20 วัน หลังจากออกดอก เมล็ดจะมีรสหวานกว่าข้าวโพดชนิดอื่น เพราะมี recessive gene ควบคุมอยู่ ซึ่งทำให้น้ำตาลเปลี่ยนไปเป็นแป้งซ้ำ ๆ (ไสว, 2534)

ข้าวโพดหวานเมื่อเจริญเติบโตในระยะแรก ๆ นั้น ต้นจะอ่อนแอ เมื่ออายุได้ 4 วัน ล่วงไปแล้ว จึงจะเจริญเติบโตได้เหมือนข้าวโพดทั่ว ๆ ไป การไถหน้าดินควรให้มีความร่วนโปร่งโดยมีความลึกไม่ต่ำกว่า 8 นิ้ว หรือ 15 เซนติเมตร จะเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของราก จากการศึกษาการปลูกข้าวโพดในเนื้อที่ 1 ไร่ จะให้ผลผลิตฝักสดไร่ละ 1,080 กิโลกรัม เป็นน้ำหนักต้นและใบ 1,899 กิโลกรัม จะดูดธาตุไนโตรเจน 11 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 4.3 กิโลกรัม โพแทสเซียมไร่ละ 3.2 กิโลกรัม ซึ่งทำให้เราทราบว่าข้าวโพดนั้นมีรากที่สามารถดูดซับไนเตรดจากดินได้เก่งกว่าพืชอื่น ปุ๋ยที่ให้กับดินร่วนและดินเหนียวให้ผลดีที่สุดคือปุ๋ยสูตร 16-20-0 หรือปุ๋ยนา ในอัตราการใช้ปุ๋ยขึ้นกับระยะปลูก ปลูกระยะ 25x75 เซนติเมตร ควรใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 85 กิโลกรัมต่อไร่ โดยใส่รวมกับปุ๋ยคอกอัตรา 4.2 ตันต่อไร่ รองก้นหลุมก่อนหยอดเมล็ด หรือใช้ปุ๋ยคอกหลุมละ 1.5 กิโลกรัม ปุ๋ยสูตร 16-20-0 จำนวน 10 กรัมต่อหลุม ผสมเข้าด้วยกัน แล้ววางก้นหลุมกลบดินทับบาง ๆ แล้วหยอดเมล็ด (ธวัช, 2525)

9. ข้าวโพดหวานพันธุ์ เอทีเอส-2 (Sweet corn ATS-2)

ข้าวโพดหวานพันธุ์ ATS-2 (agro tech sweet corn-2) เป็นพันธุ์ข้าวโพดหวานพันธุ์ ลูกผสมเพื่อฝักสดและอุตสาหกรรมแปรรูป เป็นการปรับปรุงพันธุ์โดย ดร.ทวีศักดิ์ ภู่งกล้า และคณะ ซึ่งใช้เชื้อพันธุ์กรรมข้าวโพดหวานจากหลายแหล่ง คือ Hawaiian Supersweet # 9 จาก Dr. James L. Brewbaker, University of Hawaii, ข้าวโพดพันธุ์ไร่ 3228 จาก Pioneer Overseas Corporation, พันธุ์ Thai Composite # 3-4 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ผสมระหว่าง Thai Composite # 3 DMR และพันธุ์ Thai Composite # 4 DMR จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ข้าวโพดพันธุ์ต่าง ๆ ของประเทศไทย รวมไปถึงพันธุ์ข้าวโพดหวานพันธุ์ต่าง ๆ จากสหรัฐอเมริกา (ทวีศักดิ์, 2543)

คุณสมบัติเด่นของข้าวโพดหวานพันธุ์ เอทีเอส-2 คือ ให้ผลผลิตสูงมาก โดยให้ผลผลิตอยู่ที่ 1,500 ถึง 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตฝักเท่ากับ 8,000 ถึง 10,000 ฝักต่อไร่ และคุณภาพฝักสดของข้าวโพดหวานพันธุ์นี้ดีกว่าพันธุ์อื่น ๆ พอสมควร โดยมี น้ำหนักฝัก 300 ถึง 400 กรัมต่อฝัก,

ความยาวฝัก 18 ถึง 20 เซนติเมตร, ความกว้างฝัก 4.5 ถึง 5.5 เซนติเมตร จำนวนแถวของเมล็ด 14 ถึง 16 แถว นอกจากนี้คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ก็มีคุณภาพดีมาก โดยมีความงอกและความแข็งแรงสูง เก็บเมล็ดไว้ได้นาน ส่วนความสูงของต้น และฝักเท่ากับ 150 ถึง 200 และ 100 ถึง 120 เซนติเมตร ตามลำดับ (ทวีศักดิ์, 2543)

10. ดินชุดสันทราย (Sansai series)

ดินชุดสันทราย (San sai : Sai) การจำแนกระดับวงศ์ดิน (Soil family) โดยดินชุดสันทราย อยู่ในวงศ์ดิน Typic Tropaqualfs, coarse - loamy, mixed สมบัติทางเคมี ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4 เนื้อดินและโครงสร้างของดินไม่เหมาะสมเนื่องจากเนื้อดินค่อนข้างเป็นทรายคือ เป็นดินทรายปน ดินร่วน หรือดินเหนียวปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีการระบายน้ำค่อนข้างเร็วในช่วงฤดูฝน พื้นที่เป็นที่ราบไม่เหมาะสมกับการปลูกพืชไร่ในฤดูฝน กรมพัฒนาที่ดินได้แนะนำพืชไร่ที่มีความเหมาะสมในดินชุดนี้คือข้าวโพดหวาน โดยมีวิธีการจัดการดิน หว่านปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกก่อน เตรียมดินอัตรา 1.5 ถึง 2.0 ตันต่อไร่ ใช้ปุ๋ย สูตร 15-15-15 หรือ 14-14-14 อัตรา 70 กิโลกรัมไร่ โดย แบ่งเป็น 2 ครั้ง คือครั้งแรกใส่เป็นปุ๋ยรองพื้นขณะปลูกพืช และอีกครั้งหนึ่งใส่แบบโรยข้างแถว แล้วพรวนดินกลบหลังปลูก 20 ถึง 25 วัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

ตารางที่ 1 แสดงผลกระทบของฟอสฟอรัสระดับต่าง ๆ ต่อข้าวโพด

ข้อมูลที่วัด	ระดับฟอสฟอรัส	
	สูง	ต่ำ
พื้นที่ผิวใบ (ตารางเดซิเมตร)	12.1	1.8
จำนวนใบ (primary trifoliate)	7	4
สัดส่วนน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินต่อน้ำหนักราก	ประมาณ 4.2	ประมาณ 1.0
คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร)	3.02	2.80
ฟอสฟอรัสในใบ (มิลลิกรัมPต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)*	4.43	2.28
ฟอสฟอรัสในใบ (มิลลิกรัมPต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)**	2.44	2.59
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมPต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)		
- ต้น และก้านใบ	5.84	1.14
- ราก	10.54	1.29
- P ในรากต่อ P ในส่วนเหนือดิน	0.54	1.58
คาร์โบไฮเดรตในใบ (กรัมต่อตารางเมตรใบ)		
- แป้ง	0.4	12.8
- ซูโครส	0.7	0.2
คาร์โบไฮเดรตในราก (มิลลิกรัมต่อกรัมรากสด)		
- แป้ง	23	160
- ซูโครส	16	177

หมายเหตุ: * $P_i = P$ ในสารอินทรีย์

** $P_{org} = P$ ในสารอินทรีย์

ที่มา: Fredeen, et al. (1989 อ้างโดย ยงยุทธ, 2543)

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณวิกฤตของธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตและการพัฒนาของข้าวโพด

ธาตุอาหาร	ปริมาณ
ธาตุหลัก	
ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	3.0
ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	0.25
โพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)	1.9
ธาตุรอง	
แคลเซียม (เปอร์เซ็นต์)	0.4
แมกนีเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	1.5
กำมะถัน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	1.5
จุลธาตุ	
แมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	15
เหล็ก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	25
ทองแดง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	5
โบรอน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	10 ถึง 14
สังกะสี (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	15 ถึง 20
โมลิบดีนัม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	0.5 ถึง 1.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก Barber and Olson (1968 อ้างโดย ราเชนทร์, 2539)

ตารางที่ 3 แสดงการดูค่าใช้จ่ายธาตุอาหารหลักที่สูญหายไปจากดินโดยการดูไปใช้ของข้าวโพดหวาน

ข้าวโพดหวาน (ผลผลิตที่ได้เท่ากับ 61 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1,000 ตารางฟุต)	
ธาตุอาหาร	กิโลกรัมที่สูญเสียต่อพื้นที่ 1,000 ตารางฟุต
N	0.27
P ₂ O ₅	0.05
K ₂ O	0.01

ที่มา: คัดแปลงจาก Splittstoesser (1990)

ตารางที่ 4 แสดงสมบัติทางเคมีของชุดดินสนทราย

ดินชุดสนทราย	
สมบัติ	ค่าเฉลี่ย
ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (มิลลิสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม)	3.20
อิมตัวด้วยเบส (เปอร์เซ็นต์)	88.50
อินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	0.50
ความเป็นกรดเป็นด่าง	
ดินชั้นบน	6.0 ถึง 7.0
ดินชั้นล่าง	6.5 ถึง 8.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	4.05
โพแทสเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	36.50
ระดับความอุดมสมบูรณ์	ต่ำ

ที่มา: คัดแปลงจาก กรมพัฒนาที่ดิน (2541)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในแปลงทดลอง

- 1.1 เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานพันธุ์ เอทีเอส - 2 (ATS - 2)
- 1.2 ปุ๋ยเคมีทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต สูตร 0 - 46 - 0
- 1.3 สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช
- 1.4 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน
- 1.5 สายเทปวัดความสูง และขนาดเส้นรอบวง ของต้นข้าวโพดหวาน
- 1.6 อุปกรณ์สำหรับเตรียมแปลงทดลอง

2. อุปกรณ์และสารเคมี สำหรับบ่มดินในห้องปฏิบัติการ

- 2.1 ถุงพลาสติก และยางรัด
- 2.2 คลอโรฟอร์ม (Chloroform)
- 2.3 กระบอกฉีดยา (Syringe)
- 2.4 หลอดหยด (Dropper)

3. อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ธาตุ ในโตรเจน, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์, โพแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, อินทรีย์วัตถุ, ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ในดิน

3.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ธาตุ ในโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, สังกะสี, แมงกานีส, เหล็ก และ ทองแดง ในใบข้าวโพดหวาน

3.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาอินทรีย์ฟอสเฟต

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ดินและพืช

- 3.4.1 เครื่องชั่งทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง
- 3.4.2 เครื่องบดตัวอย่างพืช
- 3.4.3 เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH meter)
- 3.4.4 เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Macro - Kjeldahl distillation apparatus)
- 3.4.5 Spectrophotometer
- 3.4.6 Atomic absorption spectrophotometer
- 3.4.7 Centrifuge

วิธีการทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน

นำตัวอย่างดินชุดสัณทราย (จากแปลงทดลองภาควิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัยแม่โจ้) ก่อนและหลังการทดลอง มาผึ่งให้แห้ง (air dry) แล้วบดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 และ 0.5 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานดังต่อไปนี้ (นงลักษณ์, 2537)

1. ความเป็นกรดเป็นด่าง (ดิน : น้ำ เท่ากับ 1:1)
 2. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ วิเคราะห์โดยวิธีการของ Walkley-Black โดยการออกซิไดส์คาร์บอนอินทรีย์ด้วยกรดโครมิก แล้วหาปริมาณกรดโครมิกที่เหลือ โดยไตเตรทย้อนกลับด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต
 3. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน วิเคราะห์หาโดยใช้วิธี Micro-Kjeldahl method โดยการย่อยไนโตรเจนในดินทั้งหมดด้วยกรดที่มีสารเร่งปฏิกิริยา จากนั้นนำสารที่ย่อยได้ไปกลั่นแล้วเก็บก๊าซแอมโมเนียมในสารละลายบอริก จากนั้นจึงทำการไตเตรตหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในสารประกอบเชิงซ้อน ด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน
 4. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ วิเคราะห์โดยการสกัดด้วยน้ำยา Bray II แล้วตรวจสอบหาปริมาณฟอสฟอรัสโดยการวัดการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟอสฟอรัสกับสารประกอบแอสคอบิกแอซิด Murphy reagent และ บอริกแอซิด เทียบกับสารละลายมาตรฐาน
 5. ปริมาณโพแทสเซียม, แคลเซียม และแมกนีเซียม วิเคราะห์หาโดยการสกัดตัวอย่างดินด้วยแอมโมเนียมอะซิเตทที่มีความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7 แล้วตรวจหาปริมาณโดยการวัดการดูดกลืนแสงของอะตอมที่แตกตัวในเปลวไฟ เทียบกับสารละลายมาตรฐาน
 6. เนื้อดิน วิเคราะห์โดยจะกำจัดอินทรีย์วัตถุออกก่อน แล้วนำดินไปปั่นให้กระจายตัวออกจากกัน จากนั้น หาปริมาณอนุภาคดินแต่ละชนิดหลังจากทิ้งไว้ให้ตกตะกอนในเวลาต่างกัน
- ข้อมูลการวิเคราะห์พื้นฐานของดินที่ใช้ในการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 6

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดินชุดสันทรายในสภาพห้องปฏิบัติการ

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดินชุดสันทรายในสภาพห้องปฏิบัติการ วางแผนการทดลอง แบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD)
2. นำตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0 ถึง 15 เซนติเมตร มาบดร่อนเอาเศษวัชพืชออก โดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2.00 มิลลิเมตร
3. ชั่งดินจำนวน 80 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 100 กรัม โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 20 ตัวอย่าง
4. เติมน้ำกลั่นเท่ากับความชื้นสนาม (field capacity) ของดิน เท่ากับ 10 มิลลิลิตรต่อดิน 100 กรัม หยคน้ำยาคลอโรฟอร์ม (chloroform) คลุกให้เข้ากัน เก็บใส่ถุงพลาสติก รัดถุงให้แน่น เก็บไว้ในที่มืด
5. บ่มทิ้งไว้ที่ระยะเวลาของแต่ละกลุ่ม ดังนี้
 - กลุ่มที่ 1 บ่มที่ระยะเวลา 0 วัน
 - กลุ่มที่ 2 บ่มที่ระยะเวลา 25 วัน
 - กลุ่มที่ 3 บ่มที่ระยะเวลา 50 วัน
 - กลุ่มที่ 4 บ่มที่ระยะเวลา 75 วัน
6. เมื่อครบกำหนดระยะเวลา นำดินในแต่ละกลุ่มมาวิเคราะห์หา ความเป็นกรดเป็นด่าง, ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก, อินทรีย์วัตถุ, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และอนินทรีย์ฟอสเฟต

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Sirichai Statistics Version 6 (2001)

ระยะเวลาและสถานที่ทดลอง

ระยะเวลา: เริ่มดำเนินการทดลอง เดือน กุมภาพันธ์ ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2546

สถานที่ทำการทดลอง: ห้องปฏิบัติการทางดินและปุ๋ย ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

ตารางที่ 5 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์ฟอสเฟตในดิน

รูปอินทรีย์ฟอสเฟต	น้ำยาสกัด	รูปสารประกอบฟอสฟอรัสในดินที่ถูกสกัด
ฟอสฟอรัสที่ละลายได้ (soluble - P)	1M NH_4Cl	ฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายออกมาได้ง่าย
อะลูมินัมฟอสเฟต (Al - P)	0.5 M NH_4F	วาริสไซต์ (Variscite, $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ที่ตกตะกอนบนผิวของเหล็กออกไซด์
เหล็กฟอสเฟต (Fe - P)	0.1 M NaOH	สเตร็งไจท์ (Strengite, $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ที่ตกตะกอนบนผิวของเหล็กออกไซด์
แคลเซียมฟอสเฟต (Ca - P)	0.25 M H_2SO_4	อะพาไทต์ [Apatite, $\text{Ca}_{10}\text{FPO}_3 \cdot \text{O}_{12}$] และ/หรือ ไดแคลเซียมฟอสเฟต (CaH_2PO_4)

ที่มา: Gray (2000)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลกระทบจากการตกค้างของฟอสฟอรัส ต่อสมบัติของดิน และการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน

1. ศึกษาผลกระทบจากการตกค้างของฟอสฟอรัส ต่อสมบัติของดิน และการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน วางแผนการทดลองแบบสุ่มเป็นแปลงหมู่ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยมีอัตราฟอสฟอรัส 4 อัตรา กระทำ 4 ซ้ำ (replication)

2. เตรียมแปลงขนาด 1 x 5 เมตร จำนวน 16 แปลง

3. ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 4 อัตรา แต่ละกลุ่มการทดลอง ใส่ทิ้งไว้ก่อนปลูก 21 วัน กำหนดสัญลักษณ์ T เป็นอัตราปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (กรัมต่อแปลง)

T1 ไม่ใส่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

T2 อัตราปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 156.2 กรัมต่อแปลง (23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)

T3 อัตราปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 312.5 กรัมต่อแปลง (46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)

T4 อัตราปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 937.5 กรัมต่อแปลง (138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)

4. ปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ เอทีเอส - 2 ระยะ 75 x 20 เซนติเมตร ทั้ง 16 แปลง

5. เก็บตัวอย่างใบข้าวโพดเมื่อปลูกได้ 45 วัน เพื่อวิเคราะห์หา ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, สังกะสี, แมงกานีส, เหล็ก และ ทองแดง โดยสุ่มเก็บแปลงละ 10 ต้น ต้นละ 1 ใบ

6. ตัดต้นข้าวโพดส่วนที่อยู่เหนือดินทั้งหมดเมื่ออายุครบ 45 วันหลังปลูก เพื่อหาน้ำหนักแห้ง โดยสุ่มเก็บตัวอย่าง 4 ต้นต่อแปลง

7. เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0 ถึง 15 เซนติเมตร การวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงระยะเวลา 0, 45 และ 80 วัน ประกอบไปด้วย อนินทรีย์ฟอสเฟต, ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง, ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก, อินทรีย์วัตถุ, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และความหนาแน่นรวมของดิน ที่ระยะเวลา 80 วัน

การเก็บข้อมูล (ราเชนทร์, 2539)

1. เก็บตัวอย่างใบข้าวโพด เก็บในระยะหลังจากงอก 45 วัน โดยเก็บใบที่อยู่ตรงข้ามและถัดจากฝักที่สองลงมา (นับจากบนลงล่าง)

2. ความสูงของต้น (Plant height) หมายถึง ความสูงของต้นที่วัดจากพื้นดินโคนต้นถึงคอ (collar) ของใบบนสุด โดยกำหนดให้วัดความสูงทุก ๆ 2 สัปดาห์ วัดความสูงของต้นโดยการสุ่มอย่างน้อย 10 ต้นต่อแปลงย่อย

3. วงรอบต้น (Plant girth) หมายถึง ขนาดของลำต้นที่ได้จากการวัดวงรอบ ที่ระดับ 5 เซนติเมตรเหนือพื้นดิน วัดวงรอบต้นโดยการสุ่มอย่างน้อย 10 ต้นต่อแปลงย่อย

4. เก็บตัวอย่างดิน ที่ระดับความลึก 0 ถึง 15 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บจำนวน 3 จุดต่อแปลงย่อย แล้วนำมารวมกันเป็น 1 ตัวอย่างต่อแปลงย่อย (composite samples)

5. เก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความหนาแน่นรวม โดยการเก็บที่ระดับความลึก 0 ถึง 15 เซนติเมตรหลังการทดลอง โดยการใช้กระบอกลบดิน จำนวน 3 จุดต่อแปลงย่อย

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำระยะเวลา 0, 45 และ 80 วัน มาเป็นอีกหนึ่งปัจจัย โดยวิเคราะห์ข้อมูลแบบ 4x3 factorial experiment in RCBD ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Sirichai Statistics Version 6 (2001)

ระยะเวลาและสถานที่ทดลอง

ระยะเวลา: เริ่มทำการทดลอง เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2545 ถึง มกราคม พ.ศ. 2546

สถานที่ทำการทดลอง: แปลงทดลอง ภาควิชาพืชไร่ และ ห้องปฏิบัติการทางดินและปุ๋ย ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

ตารางที่ 6 สมบัติของดิน ก่อน และหลังการทดลอง (0 และ 80 วัน)

สมบัติดิน	ระยะเวลา	
	ก่อน ^{1/}	หลัง ^{1/}
ความเป็นกรดเป็นด่าง	7.5	7.6
อินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	0.70	0.60
ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (มิลลิสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม)	5.13	3.06
ไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	0.28	0.54
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	133.84	142.28
โพแทสเซียมที่สกัดได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	76	95
แคลเซียมที่สกัดได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	980	920
แมกนีเซียมที่สกัดได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	120	110
อนินทรีย์ฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
ฟอสฟอรัสที่ละลายได้ (soluble-P)	42.35	38.62
อะลูมินัมฟอสเฟต (Al-P)	37.64	43.21
เหล็กฟอสเฟต (Fe-P)	26.97	31.25
แคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P)	26.08	23.84
เนื้อดิน (เปอร์เซ็นต์)		
sand		49.52
silt		33.28
clay		17.20

หมายเหตุ: 1/ = ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ

ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดินชุดสันทรายในสภาพห้องปฏิบัติการ

จากการวิเคราะห์ดินหลังบ่มดินในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ พบว่า

1. อินทรีย์วัตถุ (Organic matter)

จากการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 7 พบว่าที่ระยะเวลา 0 และ 25 วัน มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากที่สุด คือ 0.63 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ที่ระยะเวลา 50 และ 75 วัน โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 0.61 และ 0.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในแต่ละช่วงระยะเวลา มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 7 ปริมาณอินทรีย์วัตถุจากการบ่มดินในสภาพห้องปฏิบัติการ ภายใต้อุณหภูมิ 4 ชั่วโมง

ระยะเวลา (วัน)	อินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์) ^{1/}
0	0.63
25	0.63
50	0.61
75	0.59
F-test	**
LSD (0.05)	1.18
C.V. (%)	3.03

หมายเหตุ: 1/ = ค่าเฉลี่ยจาก 20 ซ้ำ

2. ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange capacity)

จากการวิเคราะห์ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่ระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 8 พบว่า ที่ระยะเวลา 25 วัน มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกมากที่สุดคือ 5.40 มิลลิสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม รองลงมาได้แก่ที่ระยะเวลา 0, 50 และ 75 วัน โดยมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก เท่ากับ 5.36, 4.12 และ 3.36 มิลลิสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัมตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่าค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในแต่ละช่วงระยะเวลา มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 8 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก จากการบ่มดินในสภาพห้องปฏิบัติการ ภายใต้ระยะเวลา 4 ช่วง

ระยะเวลา (วัน)	ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ^{1/} (มิลลิสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม)
0	5.36
25	5.40
50	4.12
75	3.36
F-test	**
LSD (0.05)	0.23
C.V. (%)	8.13

หมายเหตุ: 1/ = ค่าเฉลี่ยจาก 20 ซ้ำ

3. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ของดิน (pH)

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน พบว่า ทุกระยะเวลาของการบ่มดิน มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรดเป็นด่าง เท่ากับ 7.5 ทุกระยะ

4. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus)

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 9 พบว่าที่ระยะเวลา 25 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากที่สุด คือ 137.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ที่ระยะเวลา 0, 75 และ 50 วัน โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 134.72, 130.79 และ 130.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในแต่ละช่วงระยะเวลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 9 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ จากการบ่มดินในสภาพห้องปฏิบัติการ ภายใต้ระยะเวลา 4 ช่วง

ระยะเวลา (วัน)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ^{1/} (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
0	134.72
25	137.47
50	130.50
75	130.79
F-test	**
LSD (0.05)	3.66
C.V. (%)	4.39

หมายเหตุ: 1/ = ค่าเฉลี่ยจาก 20 ซ้ำ

5. อนินทรีย์ฟอสเฟต (Inorganic phosphate)

5.1 ฟอสฟอรัสที่ละลายได้ (Soluble-P)

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 10 พบว่าที่ระยะเวลา 50 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้มากที่สุดคือ 46.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ที่ระยะเวลา 25, 0 และ 75 วัน โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้เท่ากับ 45.99, 43.83 และ 38.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ในแต่ละช่วงระยะเวลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

ตารางที่ 10 ปริมาณ ฟอสฟอรัสที่ละลายได้ จากการบ่มดินในสภาพห้องปฏิบัติการ ภายใต้ระยะเวลา 4 ช่วง

ระยะเวลา (วัน)	ฟอสฟอรัสที่ละลายได้ ^{1/} (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
0	43.83
25	45.99
50	46.95
75	38.05
F-test	**
LSD(0.05)	2.83
C.V. (%)	10.35

หมายเหตุ: 1/ = ค่าเฉลี่ยจาก 20 ซ้ำ

5.2 อะลูมินัมฟอสเฟต (Al-P)

จากการวิเคราะห์ปริมาณอะลูมินัมฟอสเฟตในดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 11 พบว่าที่ระยะเวลา 25 วัน มีปริมาณอะลูมินัมฟอสเฟตมากที่สุด คือ 38.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ที่ระยะเวลา 0, 75 และ 50 วัน โดยมีปริมาณอะลูมินัมฟอสเฟตเท่ากับ 37.36, 31.05 และ 38.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณอะลูมินัมฟอสเฟตในแต่ละช่วงระยะเวลา มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

ตารางที่ 11 ปริมาณอะลูมินัมฟอสเฟต จากการบ่มดินในสภาพห้องปฏิบัติการ ภายใต้ระยะเวลา 4 ช่วง

ระยะเวลา (วัน)	อะลูมินัมฟอสเฟต ^{1/} (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
0	37.36
25	38.27
50	30.29
75	31.05
F-test	**
LSD(0.05)	0.81
C.V. (%)	3.80

หมายเหตุ: 1/ = ค่าเฉลี่ยจาก 20 ซ้ำ

5.3 เหล็กฟอสเฟต (Fe-P)

จากการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กฟอสเฟตในดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 12 พบว่าที่ระยะเวลา 0 วัน มีปริมาณเหล็กฟอสเฟตมากที่สุด คือ 25.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ที่ระยะเวลา 25, 75 และ 50 วัน โดยมีปริมาณเหล็กฟอสเฟตเท่ากับ 23.40, 19.50

และ 18.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณเหล็กฟอสเฟตในแต่ละช่วงระยะเวลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 12 ปริมาณเหล็กฟอสเฟต จากการบ่มดินในสภาพห้องปฏิบัติการ ภายใต้ระยะเวลา 4 ช่วง

ระยะเวลา (วัน)	เหล็กฟอสเฟต ^{1/} (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
0	25.35
25	23.40
50	18.57
75	19.50
F-test	**
LSD(0.05)	1.35
C.V. (%)	9.98

หมายเหตุ: 1/ = ค่าเฉลี่ยจาก 20 ซ้ำ

5.4 แคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P)

จากการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมฟอสเฟตในดินที่ระยะเวลาด่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 13 พบว่าที่ระยะเวลา 75 วัน มีปริมาณแคลเซียมฟอสเฟตมากที่สุด คือ 30.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ที่ระยะเวลา 25, 0 และ 50 วัน โดยมีปริมาณแคลเซียมฟอสเฟตเท่ากับ 26.59, 26.42 และ 22.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณแคลเซียมฟอสเฟตในแต่ละช่วงระยะเวลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 13 ปริมาณแคลเซียมฟอสเฟต จากการบ่มดินในสภาพห้องปฏิบัติการ ภายใต้ระยะเวลา 4 ช่วง

ระยะเวลา (วัน)	แคลเซียมฟอสเฟต ^{1/} (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
0	26.42
25	26.59
50	22.11
75	30.26
F-test	**
LSD(0.05)	3.05
C.V. (%)	18.51

หมายเหตุ: 1/ = ค่าเฉลี่ยจาก 20 ซ้ำ

ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาผลกระทบจากการตกค้างของฟอสฟอรัส ต่อสมบัติของดิน และการดูด ใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน

จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบข้าวโพดหลังปลูก 45 วัน พบว่า

1. ธาตุอาหารหลัก (Primary nutrients)

1.1 เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในใบข้าวโพด (N)

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในใบข้าวโพด ที่อัตราฟอสฟอรัสต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 14 พบว่าอัตราฟอสฟอรัส 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณไนโตรเจนในใบข้าวโพดมากที่สุด คือ 2.32 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ที่อัตราฟอสฟอรัส 138, 46 และ 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีปริมาณไนโตรเจนในใบข้าวโพดเท่ากับ 2.23, 2.21 และ 2.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณไนโตรเจนในใบข้าวโพดในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.2 เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในใบข้าวโพด (P)

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในใบข้าวโพด ที่อัตราฟอสฟอรัสต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 14 พบว่าอัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสในใบข้าวโพดมากที่สุด คือ 0.60 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ที่อัตราฟอสฟอรัสที่ 46, 0 และ 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสในใบข้าวโพดเท่ากับ 0.43, 0.37 และ 0.28 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในใบข้าวโพดในแต่ละอัตราฟอสฟอรัส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.3 เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมในใบข้าวโพด (K)

จากการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในใบข้าวโพด ที่อัตราฟอสฟอรัสต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 14 พบว่าอัตราฟอสฟอรัส 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณโพแทสเซียมในใบข้าวโพดมากที่สุด คือ 3.03 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ที่อัตราฟอสฟอรัสที่ 138, 0 และ 46 กิโลกรัม

P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีปริมาณโพแทสเซียมในใบข้าวโพดเท่ากับ 3.03, 3.01 และ 2.81 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณโพแทสเซียมในใบข้าวโพดในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 14 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในใบข้าวโพดหลังปลูก 45 วัน

อัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)	ไนโตรเจน ^{1/}	ฟอสฟอรัส ^{1/} (เปอร์เซ็นต์)	โพแทสเซียม ^{1/}
0	2.32	0.37	3.01
23	2.00	0.28	3.12
46	2.21	0.43	2.81
138	2.23	0.60	3.03
F-test	ns	*	ns
LSD(0.05)	0.38	0.20	0.40
C.V. (%)	10.83	30.40	8.47

หมายเหตุ: * = แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

1/ = ค่าเฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ

2. ธาตุอาหารรอง (Secondary nutrients)

2.1 เปอร์เซ็นต์แคลเซียมในใบข้าวโพด (Ca)

จากการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในใบข้าวโพด ที่อัตราฟอสฟอรัสต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 15 พบว่าอัตราฟอสฟอรัส 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณแคลเซียมในใบข้าวโพดมากที่สุด คือ 0.53 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ที่อัตราฟอสฟอรัส 23, 138 และ 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อ

ไว้ โดยมีปริมาณแคลเซียมในใบข้าวโพดเท่ากับ 0.50, 0.47 และ 0.46 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณแคลเซียมในใบข้าวโพดในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

2.2 เปอร์เซนต์แมกนีเซียมในใบข้าวโพด (Mg)

จากการวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมในใบข้าวโพด ที่อัตราฟอสฟอรัสต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 15 พบว่าอัตราฟอสฟอรัส 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณแมกนีเซียมในใบข้าวโพดมากที่สุด คือ 0.23 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ที่อัตราฟอสฟอรัส 46 และ 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่น้อยที่สุดคืออัตราฟอสฟอรัส 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีปริมาณแมกนีเซียมในใบข้าวโพดเท่ากับ 0.19, 0.19 และ 0.16 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณแมกนีเซียมในใบข้าวโพด ในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 15 เปอร์เซนต์ของแคลเซียมและแมกนีเซียมในใบข้าวโพด หลังปลูก 45 วัน

อัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)	แคลเซียม ^{1/} (เปอร์เซ็นต์)	แมกนีเซียม ^{1/} (เปอร์เซ็นต์)
0	0.53	0.23
23	0.50	0.16
46	0.46	0.19
138	0.47	0.19
F-test	ns	ns
LSD(0.05)	0.18	0.10
C.V. (%)	23.29	34.10

หมายเหตุ: ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1/ = ค่าเฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ

3. จุลธาตุ (Micronutrients)

3.1 ปริมาณสังกะสีในใบข้าวโพด (Zn)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในใบข้าวโพด ที่อัตราฟอสฟอรัสต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 16 พบว่าอัตราฟอสฟอรัส 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณสังกะสีในใบข้าวโพดมากที่สุด คือ 9.56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ ที่อัตราฟอสฟอรัส 23, 138 และ 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีปริมาณสังกะสีในใบข้าวโพดเท่ากับ 8.77, 8.71 และ 8.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณสังกะสีในใบข้าวโพดในแต่ละอัตราฟอสฟอรัส ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3.2 ปริมาณแมงกานีสในใบข้าวโพด (Mn)

จากการวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในใบข้าวโพด ที่อัตราฟอสฟอรัสต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 16 พบว่าอัตราฟอสฟอรัส 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณแมงกานีสในใบข้าวโพดมากที่สุด คือ 24.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ที่อัตราฟอสฟอรัส 138, 46 และ 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีปริมาณแมงกานีสในใบข้าวโพดเท่ากับ 22.18, 20.01 และ 19.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณแมงกานีสในใบข้าวโพดในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3.3 ปริมาณเหล็กในใบข้าวโพด (Fe)

จากการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในใบข้าวโพด ที่อัตราฟอสฟอรัสต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 16 พบว่าอัตราฟอสฟอรัส 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณเหล็กในใบข้าวโพดมากที่สุด คือ 185.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ ที่อัตราฟอสฟอรัส 0, 138 และ 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีปริมาณเหล็กในใบข้าวโพดเท่ากับ 179.98, 179.36 และ 149.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณเหล็กในใบข้าวโพดในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3.4 ปริมาณทองแดงในใบข้าวโพด (Cu)

จากการวิเคราะห์ปริมาณทองแดงในใบข้าวโพด ที่อัตราฟอสฟอรัสต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 16 พบว่าอัตราฟอสฟอรัส 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณทองแดงในใบข้าวโพดมากที่สุด คือ 7.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ ที่อัตราฟอสฟอรัส 138, 46 และ 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีปริมาณทองแดงในใบข้าวโพดเท่ากับ 7.61, 7.53 และ 6.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณทองแดงในใบข้าวโพดในแต่ละอัตราฟอสฟอรัส ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 16 ปริมาณของสังกะสี, แมงกานีส, เหล็ก และทองแดง ในใบข้าวโพด หลังปลูก 45 วัน

อัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)	สังกะสี ^{1/}	แมงกานีส ^{1/}	เหล็ก ^{1/}	ทองแดง ^{1/}
	(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
0	8.31	24.46	179.98	7.91
23	8.77	19.85	185.33	6.92
46	9.56	20.01	149.28	7.53
138	8.71	22.18	179.36	7.61
F-test	ns	ns	ns	ns
LSD(0.05)	3.10	9.92	108.27	1.85
C.V. (%)	21.98	28.69	39.02	15.47

หมายเหตุ: ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

^{1/} = ค่าเฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ

4. น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินทั้งหมดของข้าวโพด (Dry weigh)

จากการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินทั้งหมดของข้าวโพดที่ระยะเวลา 45 วัน ที่อัตราฟอสฟอรัสต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 17 พบว่าอัตราฟอสฟอรัส 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

มีน้ำหนักแห้งส่วนเนื้อดินทั้งหมดของข้าวโพดมากที่สุด คือ 36.97 กรัมต่อดัน รองลงมาได้แก่ ที่อัตราฟอสฟอรัส 0, 138 และ 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีน้ำหนักแห้งส่วนเนื้อดินทั้งหมดของข้าวโพดข้าวโพดเท่ากับ 36.14, 32.80 และ 24.71 กรัมต่อดันตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า น้ำหนักแห้งส่วนเนื้อดินทั้งหมดของข้าวโพดในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 17 น้ำหนักแห้งส่วนเนื้อดินทั้งหมดของข้าวโพด หลังปลูก 45 วัน

อัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)	น้ำหนักแห้ง ^{1/} (กรัมต่อดัน)
0	36.14
23	24.71
46	36.97
138	32.80
F-test	**
LSD(0.05)	5.64
C.V. (%)	10.80

หมายเหตุ: ** = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

1/ = ค่าเฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ

5. ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density)

จากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นรวมของดิน ที่อัตราฟอสฟอรัสต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 18 พบว่าอัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีค่าความหนาแน่นรวมของดินมากที่สุด คือ 1.64 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร รองลงมาได้แก่ที่อัตราฟอสฟอรัส 46, 23 และ 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.62, 1.61 และ 1.61 กรัมต่อ

ลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ จากผลการทดลองปรากฏว่า ค่าความหนาแน่นรวม ของดินในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 18 ความหนาแน่นรวมของดินที่ระดับความลึก 0 ถึง 15 เซนติเมตร หลังปลูก 80 วัน

อัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)	ความหนาแน่นรวมของดิน ^{1/} (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
0	1.61
23	1.61
46	1.62
138	1.64
F-test	ns
LSD(0.05)	8.13
C.V. (%)	3.13

หมายเหตุ: ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

1/ = ค่าเฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ

6. ผลของอัตราฟอสฟอรัสและระยะเวลาต่อสมบัติของดิน

6.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง ของดิน (pH)

จากการวิเคราะห์อัตราฟอสฟอรัสต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 19 พบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า อัตราฟอสฟอรัส 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงที่สุด คือ 7.32 รองลงมาได้แก่อัตราฟอสฟอรัส 23, 46 และ 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เท่ากับ 7.31, 7.27 และ 6.99 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าอัตราฟอสฟอรัส 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างไม่ต่างกับอัตราฟอสฟอรัส

23 และ 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ แต่มากกว่าอัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 19 ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ในสภาพแปลงทดลอง

การทดลอง	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
อัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)	
0	7.32 ^a
23	7.31 ^a
46	7.27 ^a
138	6.99 ^b
เฉลี่ย	7.22
Significant	*
ระยะเวลา (วัน)	
0	6.94 ^c
45	7.22 ^b
80	7.51 ^a
เฉลี่ย	7.22
Significant	**
Interaction (อัตราฟอสฟอรัส x ระยะเวลา)	NS
C.V. (%)	3.56

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ใช้ตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในแต่ละช่วงระยะเวลา ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 19 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ที่ระยะเวลา 80 วัน มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงที่สุดคือ

7.51 รองลงมาได้แก่ที่ระยะเวลา 45 และ 0 วัน โดยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เท่ากับ 7.22 และ 6.94 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ที่ระยะเวลา 80 วัน มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มากกว่าที่ระยะ 45 และ 0 วัน และที่ระยะเวลา 45 วัน มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มากกว่าระยะ 0 วัน อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การศึกษาครั้งนี้ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราฟอสฟอรัสกับระยะเวลาต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดิน

6.2 อินทรีย์วัตถุ (Organic matter)

จากการวิเคราะห์อัตราฟอสฟอรัสต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 20 พบว่า อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากที่สุดคือ 0.74 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่อัตราฟอสฟอรัส 0, 23 และ 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ เท่ากับ 0.73, 0.71 และ 0.71 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในแต่ละช่วงระยะเวลาซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 20 มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ที่ระยะเวลา 45 วัน มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากที่สุดคือ 0.85 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ที่ระยะเวลา 0 และ 80 วัน โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 0.67 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ที่ระยะเวลา 45 วัน มีค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุมากกว่าระยะเวลา 0 และ 80 วัน อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนที่ระยะเวลา 0 และ 80 วัน มีปริมาณอินทรีย์วัตถุไม่แตกต่างกันทางสถิติ การศึกษาครั้งนี้ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่าง อัตราฟอสฟอรัสกับระยะเวลา ต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุ

6.3 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange capacity)

จากการวิเคราะห์อัตราฟอสฟอรัสต่อค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 21 พบว่า อัตราฟอสฟอรัส 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มี ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก สูงที่สุดคือ 4.54 มิลลิสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม รองลงมาได้แก่อัตราฟอสฟอรัส 0, 46 และ 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก เท่ากับ 4.44, 4.34 และ 3.99 มิลลิสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัมตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 20 ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุ ในสภาพแปลงทดลอง

การทดลอง	อินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)
อัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)	
0	0.73
23	0.71
46	0.71
138	0.74
เฉลี่ย	0.72
Significant	NS
ระยะเวลา (วัน)	
0	0.67 ^b
45	0.85 ^a
80	0.65 ^b
เฉลี่ย	0.72
Significant	**
Interaction (อัตราฟอสฟอรัส x ระยะเวลา)	NS
C.V. (%)	7.86

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ใช้ตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

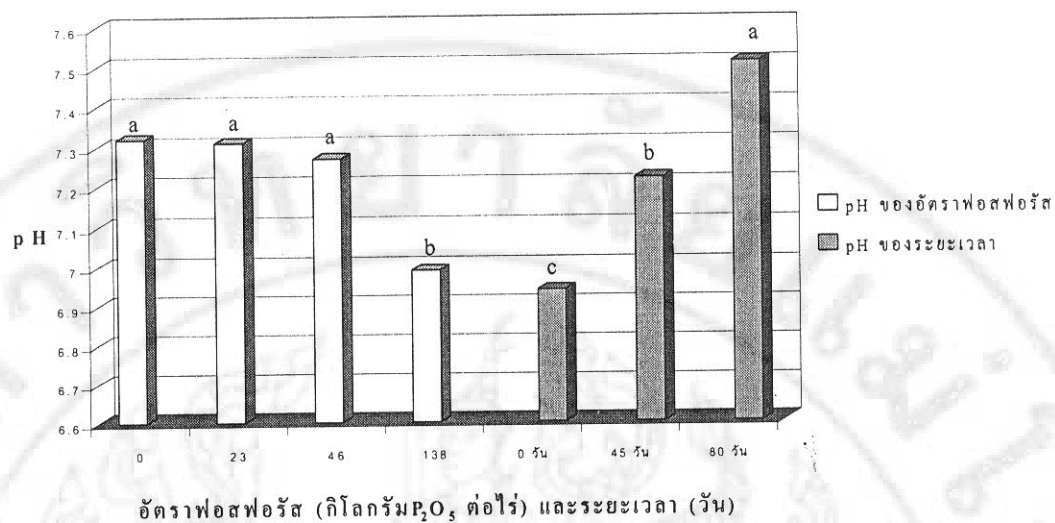
ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ในแต่ละช่วงระยะเวลาซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 21 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า ที่ระยะเวลา 45 วัน มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงที่สุดคือ 5.10 มิลลิสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัมรองลงมาได้แก่ที่ระยะเวลา 0 และ 80 วัน โดยมี ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเท่ากับ 4.18 และ 3.71 มิลลิสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัมตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ที่ระยะเวลา 45 วัน มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยน

เปลี่ยนไออนอนบวมมากกว่าที่ระยะเวลา 0 และ 80 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนที่ระยะ 0 และ 80 วัน มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไออนอนบวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ การศึกษาครั้งนี้ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราฟอสฟอรัสกับระยะเวลา ต่อค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไออนอนบวม

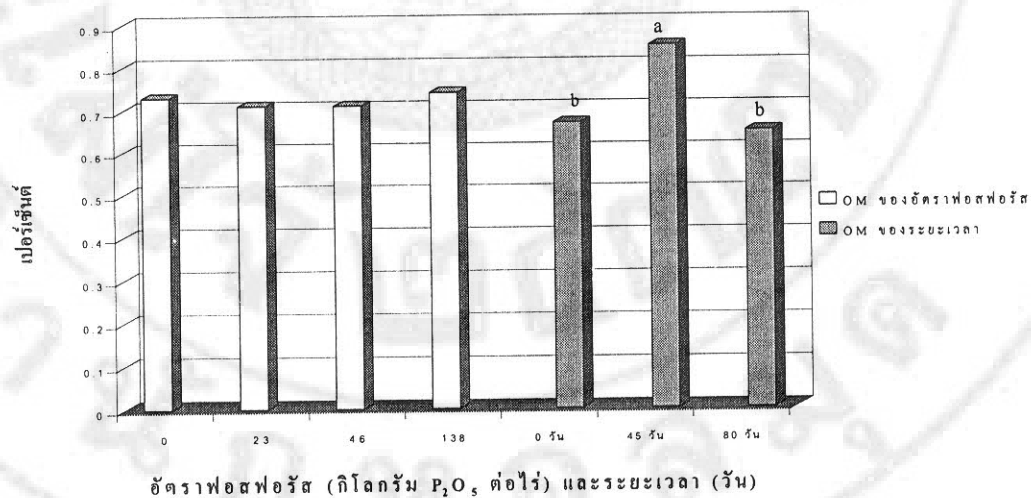
ตารางที่ 21 ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไออนอนบวม ในสภาพแปลงทดลอง

การทดลอง	ความจุในการแลกเปลี่ยนไออนอนบวม (มิลลิสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม)
อัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)	
0	4.44
23	4.54
46	4.34
138	3.99
เฉลี่ย	4.33
Significant	NS
ระยะเวลา (วัน)	
0	4.18 ^b
45	5.10 ^a
80	3.71 ^b
เฉลี่ย	4.33
Significant	**
Interaction (อัตราฟอสฟอรัส x ระยะเวลา)	NS
C.V. (%)	20.59

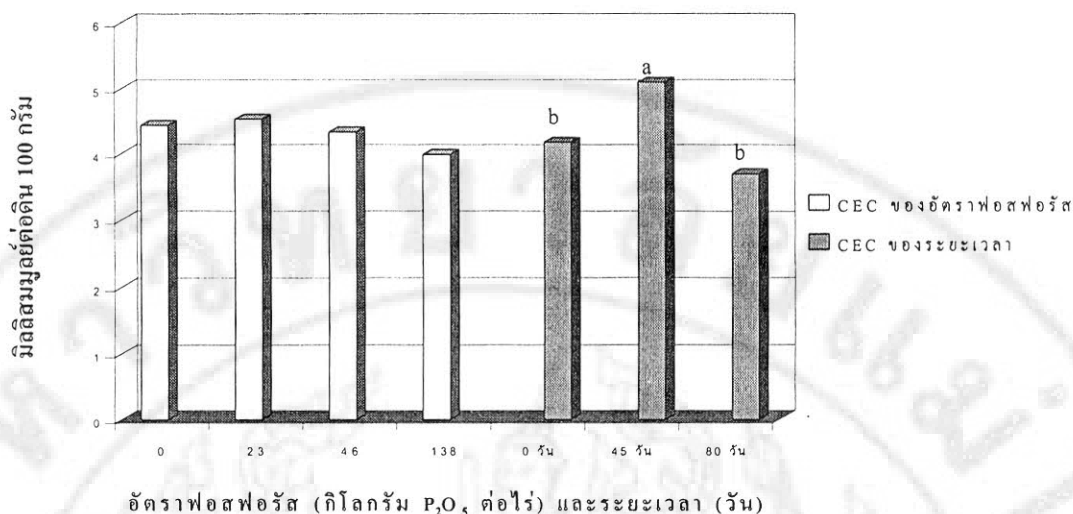
หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่ใช้ตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT



ภาพที่ 1 แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในดิน ในสภาพแปลงทดลอง



ภาพที่ 2 แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ในสภาพแปลงทดลอง



ภาพที่ 3 แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) ในสภาพแปลงทดลอง

6.4 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus)

จากการวิเคราะห์อัตราฟอสฟอรัสต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 22 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมากที่สุดคือ 372.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่อัตราฟอสฟอรัส 46, 23 และ 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 211.27, 190.50 และ 157.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมากกว่าอัตราฟอสฟอรัส 46 และ 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ตามลำดับ และอัตราฟอสฟอรัส 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินไม่ต่างกับอัตราฟอสฟอรัส 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ แต่มากกว่าอัตราฟอสฟอรัส 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินในแต่ละช่วงระยะเวลา ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 22 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่าที่ระยะ 0 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากที่สุดคือ 269.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ที่ระยะเวลา 45 และ 80 วัน โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 246.70 และ 182.26 มิลลิกรัม

ต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ที่ระยะเวลา 0 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินไม่ต่างกับระยะเวลา 45 วัน แต่มากกว่าระยะเวลา 80 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 22 ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในสภาพแปลงทดลอง

อัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)	ระยะเวลา (วัน) หลังปลูก			
	0	45	80	เฉลี่ย
0	159.71 ^c	161.28 ^c	150.69 ^c	157.23 ^c
23	211.50 ^{bc}	201.74 ^{bc}	158.32 ^c	190.52 ^{bc}
46	258.38 ^b	216.47 ^{bc}	158.94 ^c	211.27 ^b
138	449.55 ^a	407.30 ^a	261.10 ^b	372.65 ^a
เฉลี่ย	269.78 ^a	246.70 ^a	182.26 ^b	232.92
Significant (ฟอสฟอรัส) **				
Significant (ระยะเวลา) **				
Interaction (ฟอสฟอรัสxระยะเวลา) 41.27				
C.V. (%) = 17.35				

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่ใช้ตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราฟอสฟอรัสกับระยะเวลาต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 22 จากการวิเคราะห์ พบมีนัยสำคัญทางสถิติดังนี้ ที่อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ระยะเวลา 0 และ 45 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากคือ 449.55 และ 407.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ แต่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จะมีปริมาณน้อยที่อัตราฟอสฟอรัส 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ (ระยะเวลา 0 และ 80 วัน) และ อัตรา

ฟอสฟอรัส 0, 23 และ 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ (ระยะเวลา 80 วัน) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

7. อนินทรีย์ฟอสเฟต (Inorganic phosphate)

7.1 ฟอสฟอรัสที่ละลายได้ (Soluble -P)

จากการวิเคราะห์อัตราฟอสฟอรัสต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 23 พบว่า ปริมาณของฟอสฟอรัสที่ละลายได้ในแต่ละอัตราฟอสฟอรัส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ที่อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีฟอสฟอรัสที่ละลายได้มากที่สุดคือ 61.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่อัตราฟอสฟอรัส 46, 0 และ 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้เท่ากับ 43.79, 37.26 และ 33.56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้มากกว่าอัตราฟอสฟอรัส 46, 0 และ 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ตามลำดับ และอัตราฟอสฟอรัส 46, 23 และ 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ในแต่ละช่วงระยะเวลา ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 23 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ที่ระยะ 45 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้มากที่สุดคือ 51.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ที่ระยะเวลา 0 และ 80 วัน โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ เท่ากับ 48.98 และ 31.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ที่ระยะเวลา 45 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ไม่ต่างกับระยะ 0 วัน แต่มากกว่าระยะ 80 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราฟอสฟอรัสกับระยะเวลาต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ในดินซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 23 จากการวิเคราะห์ พบมีนัยสำคัญทางสถิติดังนี้ อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ระยะเวลา 0 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้มากที่สุดคือ 81.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้จะมีปริมาณน้อยที่อัตราฟอสฟอรัส 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ระยะเวลา 0 วัน และ (อัตราฟอสฟอรัส 0, 23 และ 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) ระยะเวลา 80 วัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 23 ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในสภาพแปลงทดลอง

อัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)	ระยะเวลา (วัน) หลังปลูก			
	0	45	80	เฉลี่ย
0	27.84 ^c	55.44 ^b	29.58 ^c	37.62 ^b
23	39.79 ^{bc}	36.16 ^{bc}	24.74 ^c	33.56 ^b
46	46.97 ^{bc}	57.26 ^b	27.16 ^c	43.79 ^b
138	81.31 ^a	57.56 ^b	44.63 ^{bc}	61.03 ^a
เฉลี่ย	48.98 ^a	51.60 ^a	31.52 ^b	44.03
Significant (ฟอสฟอรัส) **				
Significant (ระยะเวลา) **				
Interaction (ฟอสฟอรัสxระยะเวลา) 14.64				
C.V. (%) = 32.58				

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ใช้ตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

7.2 อะลูมินัมฟอสเฟต (AI - P)

จากการวิเคราะห์อัตราฟอสฟอรัสต่อปริมาณอะลูมินัมฟอสเฟต ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 24 พบว่า ปริมาณอะลูมินัมฟอสเฟตในแต่ละอัตราฟอสฟอรัส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณอะลูมินัมฟอสเฟตมากที่สุดคือ 97.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่อัตราฟอสฟอรัส 46, 0 และ 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีปริมาณอะลูมินัมฟอสเฟต เท่ากับ 57.51, 47.43 และ 46.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณอะลูมินัมฟอสเฟตมากกว่าอัตราฟอสฟอรัส 46, 0, 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามลำดับ และ

อัตราฟอสฟอรัส 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณอะลูมิเนียมฟอสเฟต ไม่ต่างกับอัตราฟอสฟอรัส 0, 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

ตารางที่ 24 ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณ อะลูมิเนียมฟอสเฟต ในสภาพแปลงทดลอง

การทดลอง		อะลูมิเนียมฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
อัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)		
	0	47.43 ^b
	23	46.23 ^b
	46	57.51 ^b
	138	97.07 ^a
เฉลี่ย		62.07
Significant		**
ระยะเวลา (วัน)		
	0	71.01 ^a
	45	73.19 ^a
	80	42.02 ^b
เฉลี่ย		62.07
Significant		**
Interaction (อัตราฟอสฟอรัส x ระยะเวลา)		NS
C.V. (%)		42.31

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวดังที่ใช้ตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

ปริมาณอะลูมิเนียมฟอสเฟตในแต่ละช่วงระยะเวลาซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 24 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ที่ระยะเวลา 45 วัน มีปริมาณอะลูมิเนียมฟอสเฟตมากที่สุด

คือ 73.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ระยะเวลา 0 และ 80 วัน โดยมีปริมาณ อะลูมินัม ฟอสเฟต เท่ากับ 71.01 และ 42.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ที่ระยะเวลา 45 และ 0 วัน มีปริมาณอะลูมินัมฟอสเฟต ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ มากกว่า ระยะ ระยะเวลา 80 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาครั้งนี้ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราฟอสฟอรัส กับระยะเวลา ต่อปริมาณอะลูมินัมฟอสเฟต

7.3 เหล็กฟอสเฟต (Fe-P)

จากการวิเคราะห์อัตราฟอสฟอรัสต่อปริมาณเหล็กฟอสเฟต ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 25 พบว่า ปริมาณเหล็กฟอสเฟตในแต่ละอัตราฟอสฟอรัส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณเหล็กฟอสเฟตมากที่สุดคือ 45.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่อัตราฟอสฟอรัส 46, 0 และ 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีปริมาณเหล็กฟอสเฟต เท่ากับ 28.35, 27.20, และ 24.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณเหล็กฟอสเฟต มากกว่าอัตราฟอสฟอรัส 46, 0 และ 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ตามลำดับ และอัตราฟอสฟอรัส 46, 0 และ 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณเหล็กฟอสเฟตไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณเหล็กฟอสเฟตในแต่ละช่วงระยะเวลา ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 25 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ที่ระยะเวลา 45 วัน มีปริมาณ เหล็กฟอสเฟตมากที่สุดคือ 36.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ระยะเวลา 0 และ 80 วัน โดยมีปริมาณเหล็กฟอสเฟตเท่ากับ 35.32 และ 22.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากการ วิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ที่ระยะเวลา 45 และ 0 วัน มีปริมาณเหล็กฟอสเฟต ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มากกว่าระยะเวลา 80 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาครั้งนี้ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่าง อัตราฟอสฟอรัสกับระยะเวลา ต่อปริมาณเหล็กฟอสเฟต

7.4 แคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P)

จากการวิเคราะห์อัตราฟอสฟอรัสต่อปริมาณแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 26 พบว่า ปริมาณแคลเซียมฟอสเฟตในแต่ละอัตราฟอสฟอรัส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ีงทางสถิติ โดยพบว่า อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณแคลเซียมฟอสเฟต มากที่สุดคือ 58.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่อัตราฟอสฟอรัส 46, 23 และ 0 กิโลกรัม

P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีปริมาณแคลเซียมฟอสเฟต เท่ากับ 51.08, 42.83 และ 36.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณแคลเซียมฟอสเฟต ไม่ต่างกับอัตราฟอสฟอรัส 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ แต่มากกว่าอัตราฟอสฟอรัส 23 และ 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่อัตราฟอสฟอรัส 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีปริมาณแคลเซียมฟอสเฟต ไม่ต่างกับอัตรา 23 และ 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

ตารางที่ 25 ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณเหล็กฟอสเฟตในสภาพแปลงทดลอง

การทดลอง	เหล็กฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
อัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)	
0	27.20 ^b
23	24.49 ^b
46	28.35 ^b
138	45.43 ^a
เฉลี่ย	31.43
Significant	**
ระยะเวลา (วัน)	
0	35.32 ^a
45	36.68 ^a
80	22.29 ^b
เฉลี่ย	31.43
Significant	**
Interaction (อัตราฟอสฟอรัส x ระยะเวลา)	NS
C.V. (%)	37.59

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ใช้ตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

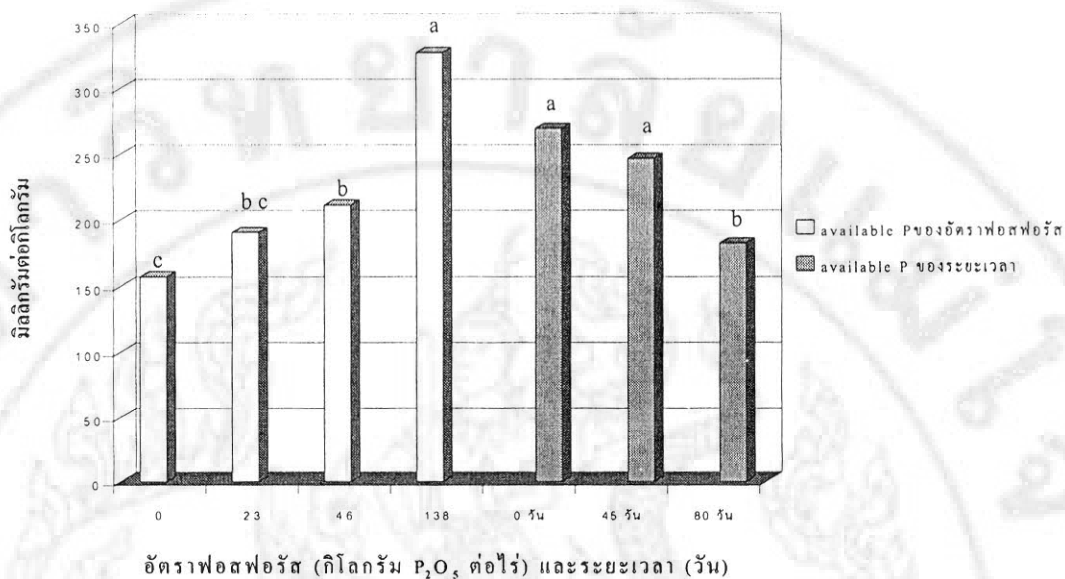
ตารางที่ 26 ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณแคลเซียมฟอสเฟต ในสภาพแปลงทดลอง

การทดลอง		แคลเซียมฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
อัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)		
	0	36.90 ^b
	23	42.83 ^b
	46	51.08 ^{ab}
	138	58.88 ^a
เฉลี่ย		47.88
Significant		**
ระยะเวลา (วัน)		
	0	45.98 ^b
	45	61.87 ^a
	80	34.43 ^b
เฉลี่ย		47.43
Significant		**
Interaction (อัตราฟอสฟอรัส x ระยะเวลา)		NS
C.V. (%)		37.89

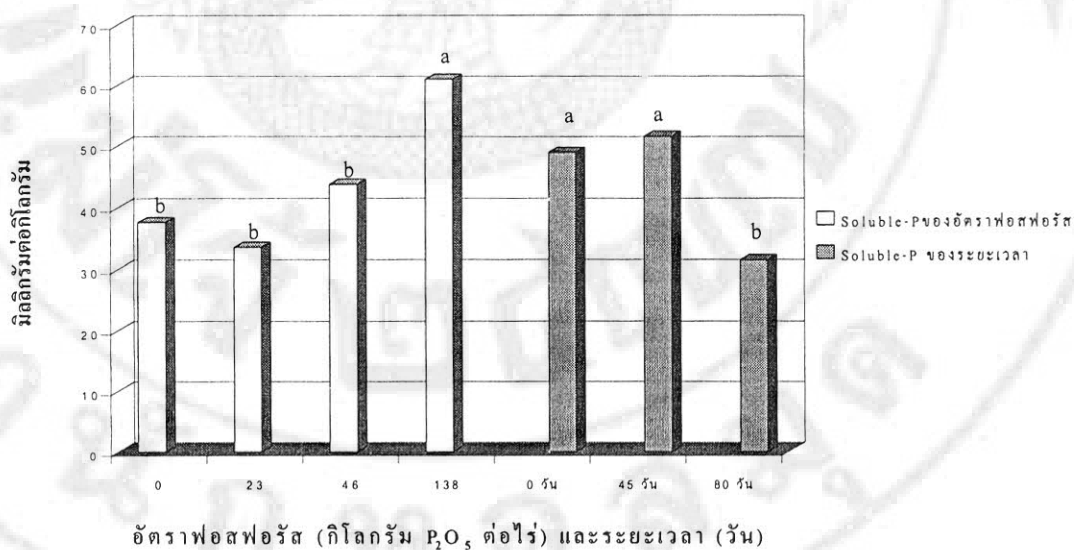
หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่ใช้ตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

ปริมาณแคลเซียมฟอสเฟตในแต่ละช่วงระยะเวลา ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 26 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ที่ระยะเวลา 45 วัน มีปริมาณแคลเซียมฟอสเฟตมากที่สุดคือ 61.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แก่ระยะเวลา 0 และ 80 วัน โดยมีปริมาณแคลเซียมฟอสเฟต เท่ากับ 45.98 และ 34.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ที่ระยะเวลา 0 และ 80 วัน มีปริมาณแคลเซียมฟอสเฟตไม่แตกต่างกันทางสถิติ

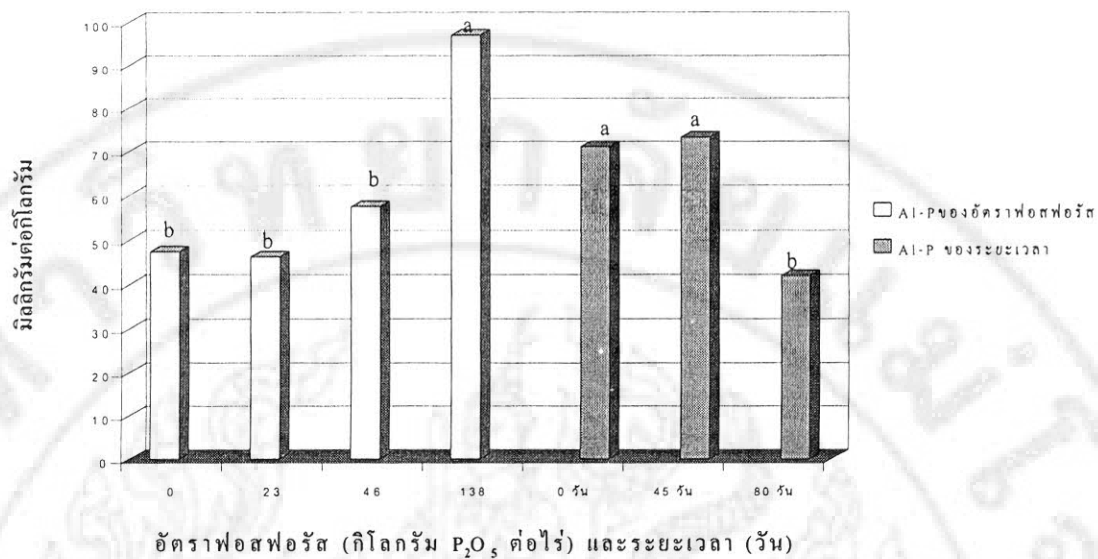
แต่น้อยกว่าระยะ 45 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาครั้งนี้ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราฟอสฟอรัสกับระยะเวลา ต่อปริมาณแคลเซียมฟอสเฟต



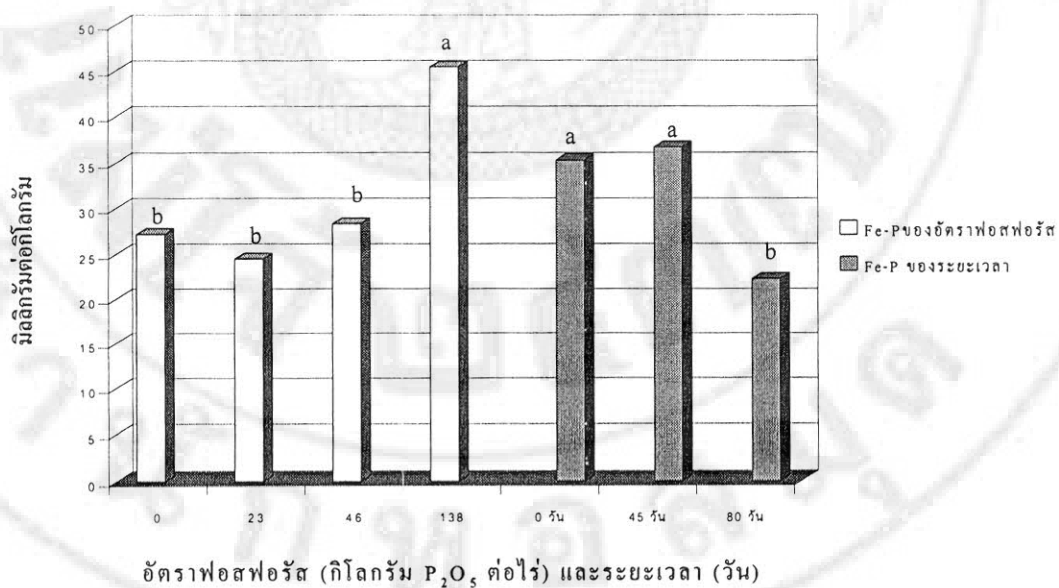
ภาพที่ 4 แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available-P) ในสภาพแปลงทดลอง



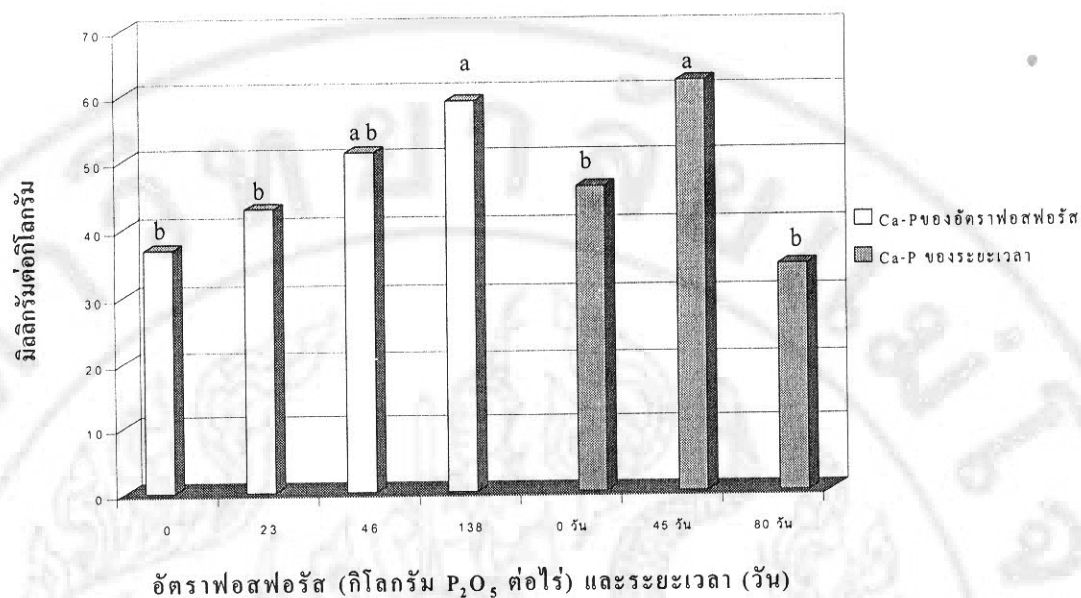
ภาพที่ 5 แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ (soluble-P) ในสภาพแปลงทดลอง



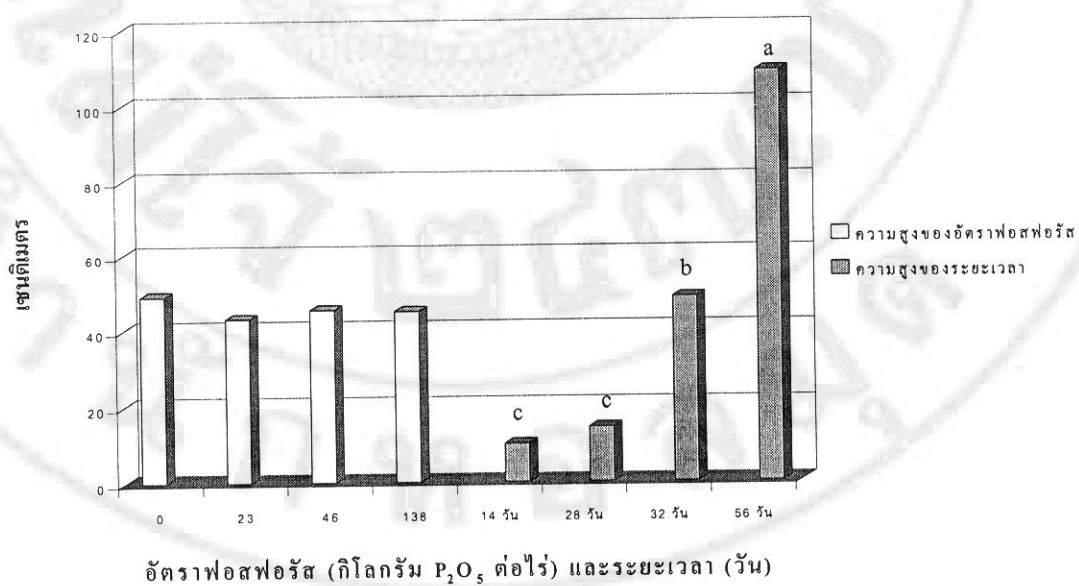
ภาพที่ 6 แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณอะลูมิเนียมฟอสเฟต (Al-P) ในสภาพแปลงทดลอง



ภาพที่ 7 แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณเหล็กฟอสเฟต (Fe-P) ในสภาพแปลงทดลอง



ภาพที่ 8 แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อปริมาณแคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P) ในสภาพแปลงทดลอง



ภาพที่ 9 แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อความสูงของต้นข้าวโพดหวาน ในสภาพแปลงทดลอง

8. ความสูงของต้นข้าวโพดหวาน (Height)

จากการวิเคราะห์อัตราฟอสฟอรัส ต่อความสูงของต้นข้าวโพดหวาน ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 27 พบว่า อัตราฟอสฟอรัส 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีความสูงของต้นข้าวโพดสูงที่สุดคือ 48.91 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่อัตราฟอสฟอรัส 46, 138 และ 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีความสูงของต้นข้าวโพด เท่ากับ 45.19, 44.79 และ 42.92 เซนติเมตรตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ความสูงของต้นข้าวโพดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ความสูงของต้นข้าวโพดในแต่ละช่วงระยะเวลา ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 27 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ที่ระยะเวลา 56 วัน มีความสูงของต้นข้าวโพดสูงที่สุดคือ 108.95 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่ ที่ระยะเวลา 32, 28 และ 14 วัน โดยมีความสูงของต้น ข้าวโพดเท่ากับ 48.41, 14.35 และ 10.11 เซนติเมตรตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ที่ระยะเวลา 56 วัน มีความสูงของต้นข้าวโพด มากกว่าที่ระยะเวลา 32 , 28 และ 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ระยะเวลา 32 วัน มีความสูงของต้นข้าวโพดมากกว่าระยะเวลา 28 และ 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระยะเวลา 28 และ 14 วัน มีความสูงของต้นข้าวโพด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ การศึกษาครั้งนี้ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราฟอสฟอรัสกับระยะเวลา ต่อความสูงของต้นข้าวโพดหวาน

9. เส้นรอบวงของต้นข้าวโพดหวาน (Grith)

จากการวิเคราะห์อัตราฟอสฟอรัสต่อขนาดเส้นรอบวงของต้นข้าวโพดหวาน ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 27 พบว่าขนาดเส้นรอบวงของต้นข้าวโพดหวานในแต่ละอัตราฟอสฟอรัส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า อัตราฟอสฟอรัส 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีขนาดเส้นรอบวงมากที่สุดคือ 5.28 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่อัตราฟอสฟอรัส 46, 138 และ 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยมีขนาดเส้นรอบวงเท่ากับ 4.97, 4.80 และ 4.54 เซนติเมตรตามลำดับจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า อัตราฟอสฟอรัส 0 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีขนาดเส้นรอบวงมากกว่าอัตราฟอสฟอรัส 46, 138 และ 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่อัตราฟอสฟอรัส 46 และ 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีขนาดเส้นรอบวงไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มากกว่าอัตราฟอสฟอรัส 23 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

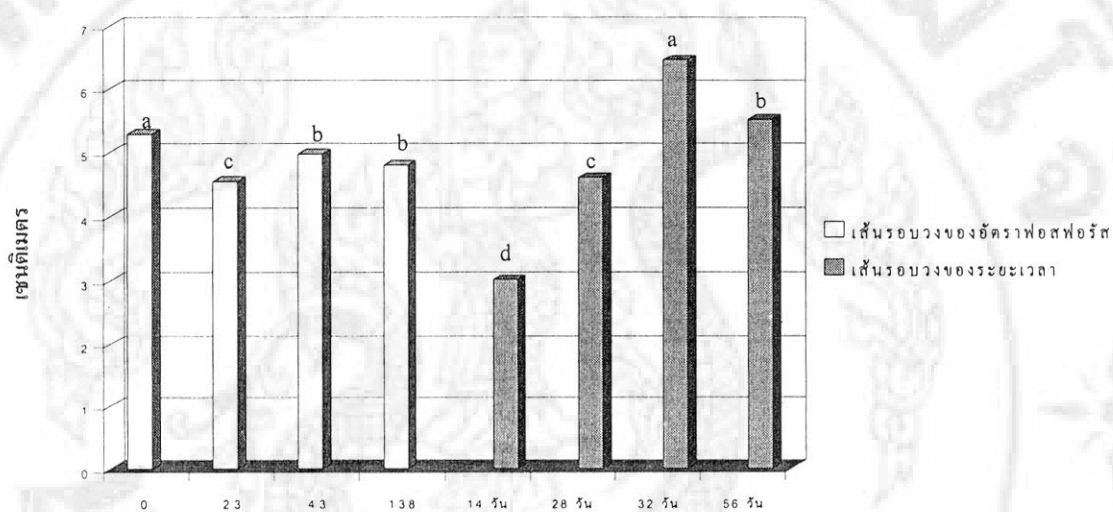
ตารางที่ 27 ผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อความสูงและเส้นรอบวงของต้นข้าวโพด ในสภาพแปลงทดลอง

การทดลอง	ความสูง	เส้นรอบวง
	(เซนติเมตร)	
อัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P ₂ O ₅ ต่อไร่)		
0	48.91	5.28 ^a
23	42.92	4.54 ^c
46	45.19	4.97 ^b
138	44.79	4.81 ^b
เฉลี่ย	45.45	4.90
Significant	NS	**
ระยะเวลา(วัน)		
14	10.11 ^c	3.02 ^d
28	14.35 ^c	4.60 ^c
32	48.41 ^b	6.46 ^a
56	108.95 ^a	5.51 ^b
เฉลี่ย	45.45	4.90
Significant	**	**
Interaction (ฟอสฟอรัสxระยะเวลา)	NS	NS
C.V. (%)	13.64	6.30

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่ใช้ตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

ขนาดเส้นรอบวงของต้นข้าวโพดหวานในแต่ละช่วงระยะเวลา ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 27 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ที่ระยะเวลา 32 วัน มีขนาดเส้นรอบวงมากที่สุดคือ 6.46 เซนติเมตรรองลงมาได้แก่ที่ระยะเวลา 56, 28 และ 14 วัน โดยมีขนาดเส้นรอบวง

เท่ากับ 5.51, 4.60 และ 3.02 เซนติเมตรตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ที่ระยะเวลา 32 วัน มีขนาดเส้นรอบวงมากกว่าระยะเวลา 56, 28 และ 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระยะเวลา 56 วัน มีขนาดเส้นรอบวงมากกว่าระยะเวลา 28 วัน และที่ระยะเวลา 28 วัน มีขนาดเส้นรอบวงมากกว่าระยะเวลา 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การศึกษาครั้งนี้ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราฟอสฟอรัสกับระยะเวลา ต่อขนาดเส้นรอบวงของต้นข้าวโพดหวาน



อัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน)

ภาพที่ 10 แผนภูมิแท่งแสดงผลของอัตราฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) และระยะเวลา (วัน) ต่อขนาดเส้นรอบวงของต้นข้าวโพดหวาน ในสภาพแปลงทดลอง

วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดินชุดสนทรายในสภาพห้องปฏิบัติการ

จากการบ่มดินในช่วงระยะเวลา 0, 25, 50 และ 75 วันพบว่า

1. อินทรีย์วัตถุ (Organic matter)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์) ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 7 ในระยะเวลา 0 วัน มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุมากที่สุด และอินทรีย์วัตถุมีปริมาณน้อยที่สุดในระยะเวลา 75 วัน ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น น่าจะมีหลายปัจจัยที่มาเกี่ยวข้องสาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากขบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน แล้วมีการใช้ประโยชน์จากรูปที่เปลี่ยนแปลงของอินทรีย์วัตถุ (Roy, et al., 1983) ได้มีการศึกษาดินในทุ่งหญ้าที่ไม่เคยใช้ประโยชน์มาเลย รูปของอินทรีย์วัตถุที่ใช้ประโยชน์ได้เร็วในสภาพที่ไม่มีการป้องกันการย่อยสลาย จะทำให้เกิดการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ 8 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน (Foth, 1990) ดังนั้น แนวโน้มการลดลงของอินทรีย์วัตถุ ก็อาจเกิดจากปัจจัยเหล่านี้ รวมไปถึงปัจจัยอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ, ความชื้น ปัจจัยต่าง ๆ อาจมีความแตกต่างกันบ้าง เนื่องจากการทดลองเป็นการทดลองในสภาพ ที่ควบคุมสิ่งแวดล้อมได้

2. ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange capacity)

จากผลการทดลองพบว่า ระดับของ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกมีแนวโน้มลดลง โดยที่ระยะเวลา 25 วัน มีค่าเฉลี่ย ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกมากที่สุด และจึงค่อย ๆ ลดลง เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น จาก 0, 50 และ 75 วัน ตามลำดับ แต่จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ถึงแม้ว่าที่ระยะเวลา 25 วัน จะมีค่าเฉลี่ยของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกมากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระยะเวลา 0 วัน ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 8 ระดับของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ที่มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากสาเหตุที่ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์

วัตถุ เพราะค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกมีความสัมพันธ์ไปในทางทิศเดียวกันกับปริมาณของ อินทรีย์วัตถุ

3. ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH)

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน จากผลการทดลองพบว่า การบ่มดินในระยะเวลาต่าง ๆ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างไม่มีการเปลี่ยนแปลง จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด ถึงแม้ว่าปริมาณของอินทรีย์วัตถุจะลดลง ซึ่งอาจทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลง อันเนื่องมาจากการปลดปล่อยทั้งกรดอินทรีย์และอนินทรีย์ (ไพบูลย์, 2530) และยังไม่สอดคล้องกับผลการศึกษาซึ่งพบว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์ค่าความอิ่มตัวด้วยเบสลดลง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก จากผลการทดลองเมื่อค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกลดลง ดังนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินจึงน่าจะลดลงด้วยเช่นกัน (Foth, 1978) ดังนั้นจากผลการทดลอง ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอาจเนื่องมาจาก ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองเพียง 75 วัน ไม่เพียงพอที่จะพบการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจนของค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดิน

4. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available phosphorus)

จากผลการทดลอง ปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ จะเห็นได้ว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มลดลง ถึงแม้ว่าที่ระยะเวลา 25 วัน จะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน มากกว่าที่ระยะเวลา 0 วัน แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติ ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 9 ปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่ลดลงน่าจะเกิดจากสาเหตุ เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น รูปของฟอสฟอรัสมักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก มีการทำปฏิกิริยาคกตะกอน (precipitation) กับไอออนบวกต่าง ๆ รวมทั้งพวก sesquioxides ของ เหล็ก และ อะลูมิเนียม (ไพบูลย์, 2530) และเมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่อปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยที่ระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่างจากการทดลองอยู่ที่ 7.5 ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสม เพราะในช่วง ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 4 ถึง 8 รูปของฟอสเฟตในช่วงนี้จะเป็นรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (ไพบูลย์, 2530) แต่ผลการทดลอง ถึงแม้ว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างจะอยู่ในช่วงที่เหมาะสมทั้ง 4 ระยะ คือ 0, 25, 50 และ 75 วัน ก็ไม่ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัส

ที่เป็นประโยชน์ในดินคงที่ระดับเดิมแต่อย่างใด ดังนั้นปัจจัยที่ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มลดลงอาจเกิดจากสาเหตุการตรึงของฟอสฟอรัส (P-fixation) ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน มีปริมาณลดลง

5. อนินทรีย์ฟอสเฟต (Inorganic phosphate)

จากผลการทดลอง ปริมาณของอนินทรีย์ฟอสเฟตรูปต่าง ๆ ทั้ง ฟอสฟอรัสที่ละลายได้, อะลูมินัมฟอสเฟต, เหล็กฟอสเฟต และ แคลเซียมฟอสเฟต พบว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ปริมาณของฟอสฟอรัสที่ละลายได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากที่สุดที่ระยะเวลา 50 วัน โดย ค่อย ๆ เพิ่มจากระยะเวลา 0 ถึง 25 วัน ส่วนที่ระยะเวลา 25 และ 50 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 10) โดยพบว่าปริมาณของฟอสฟอรัสที่ละลายได้ จะค่อย ๆ มีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่วนอะลูมินัมฟอสเฟต และ เหล็กฟอสเฟต มีปริมาณลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 11 และ 12 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ในช่วงแรกการตรึงฟอสฟอรัสโดยอะลูมิเนียม จะช้ากว่าการตรึงฟอสฟอรัส โดยเหล็ก (Hesse, 1971) ซึ่งน่าจะทำให้ปริมาณของเหล็กฟอสเฟตลดลงมากกว่า อะลูมินัมฟอสเฟต ในช่วงแรก ๆ ถึงแม้ว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.5 นั้น ปริมาณของเหล็ก และ อะลูมิเนียมออกไซด์ จะละลาย ออกมาได้เล็กน้อย แต่ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ก็จะค่อย ๆ ส่งผลต่อความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัส ของดินได้ จากการทดลองพบว่า เมื่อนำดินมาเติมฟอสฟอรัสที่ละลายได้ในดิน 6 ชนิด ที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 5 ถึง 7 ในดินน้ำขัง พบว่า ปริมาณของ เหล็ก และอะลูมินัม ฟอสเฟตจะแปรผกผันกันเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น (Hesse, 1971) แต่จากผลการทดลองที่ได้กล่าวไป เป็นการศึกษาดินในสภาพน้ำขัง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับรูปรีดักแทนต์ฟอสเฟต (Re-P) ด้วย

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลจากการตกค้างของฟอสฟอรัสต่อสมบัติของดิน และการดูใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน

1. การดูใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินทั้งหมด

จากผลการทดลอง ค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบข้าวโพดหลังปลูก 45 วัน แสดงให้เห็นว่า อัตราฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปในดิน (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) ทั้ง 4 อัตรา นั้น ไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนมีความแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด (ตารางที่ 14) อิทธิพลจากการดูธาตุอาหารของ

พืชนั้นขึ้นอยู่กับปุ๋ยที่ใส่ลงไป ส่วนปริมาณไนโตรเจนอาจขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง กล่าวคือ พืชดูดยูเรียได้สูงสุดเมื่อสารละลายมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ในช่วง 5.4 ถึง 6.6 ดูดใช้ได้ปานกลางในช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 8.0 และดูดใช้ได้ต่ำสุดที่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.3 (Swietlik and Faust, 1984) และจากผลการทดลองค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ในช่วง 45 วัน เท่ากับ 7.22 (ตารางที่ 19) ซึ่งเป็นระดับปานกลาง และเป็นระดับที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของข้าวโพด ในช่วง 5.5 ถึง 7.5 (Foth, 1978) ฟอสฟอรัสไม่มีอิทธิกริยากับไนโตรเจน จึงทำให้ฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปไม่ส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนในใบแต่อย่างใด ซึ่งในส่วนที่น่าสนใจ คือ เมื่อพืชมีธาตุอาหารต่าง ๆ อยู่ในพิสัยที่พอเหมาะ (adequate range) และ อัตราส่วนของธาตุต่าง ๆ ต้องมีค่าเหมาะสมกับการเจริญเติบโต ระดับฟอสฟอรัสจะมีอิทธิกริยากับสังกะสีที่พืชดูดใช้คือ จะแปรผกผันกัน และ ปริมาณสังกะสีในใบยังมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจน โดยต้องมีอัตราส่วน ไนโตรเจนต่อสังกะสีของข้าวโพดอยู่ที่ 1,000 มิลลิกรัมต่อพืชแห้ง และ ฟอสฟอรัสต่อสังกะสีอยู่ที่ 100 มิลลิกรัมต่อพืชแห้ง (Bergmann, 1992) และเมื่อสังเกตปริมาณของสังกะสีในใบที่ได้รับปุ๋ยฟอสเฟตระดับต่าง ๆ สังเกตได้ว่า อัตราของปุ๋ยฟอสเฟตไม่ทำให้ปริมาณของสังกะสีในใบแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด (ตารางที่ 16) ซึ่งไม่สอดคล้องกับคำกล่าวที่ว่า เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในอัตราสูง อาจเป็นสาเหตุให้พืชขาดเหล็ก หรือสังกะสีได้เช่นกัน (Brady, 1990 อ้างโดย ยงยุทธ, 2543) อัตราส่วนฟอสฟอรัสต่อสังกะสี ที่แสดงถึงสถานภาพของสังกะสีในพืช ที่จะแสดงให้เห็นระดับที่มากเกินไป อยู่ที่น้อยกว่า 25 (Bergmann, 1992)

ส่วนธาตุอาหารอื่น ๆ จากผลการทดลองเห็นได้ว่า ระดับของฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปนั้น ไม่ทำให้ธาตุอาหารในใบมีความแตกต่างกันทางสถิติซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 15 และ 16 พิจารณาถึง แนวนอนมี พบว่า ธาตุแคลเซียมมีแนวนอนลดลง และแมกนีเซียมมีแนวนอนเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลต่อระดับของแคลเซียมและแมกนีเซียม โดยปกติ จะขึ้นอยู่กับระดับของโพแทสเซียมที่ใส่ลงไป ซึ่งเป็นสัดส่วนกันระหว่างโพแทสเซียมในพืชกับแคลเซียมและแมกนีเซียม เมื่อโพแทสเซียมในสารละลายสูงขึ้น พืชจะดูดเข้าไปมากเกินความจำเป็นต่อการเจริญเติบโต มีผลทำให้ดูดไอออนบวกตัวอื่น ๆ ลดลง โดยเฉพาะ แคลเซียม และแมกนีเซียม (Foth, 1990) จากผลการทดลอง ปริมาณโพแทสเซียมมีแนวนอนเพิ่มขึ้นตามอัตราฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไป จึงอาจส่งผลต่อปริมาณของแคลเซียม แต่ปริมาณของแมกนีเซียมกลับไม่ลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบธาตุอาหารต่าง ๆ กับน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินทั้งหมดของข้าวโพด ซึ่งเป็นไปได้ว่า น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินทั้งหมดของข้าวโพด มีแนวนอนลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อระดับของปุ๋ยฟอสเฟตเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 17) สาเหตุที่น้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดหวานลดลง อาจเนื่องมาก

จากปริมาณธาตุอาหารบางอย่างซึ่งเป็นโครงสร้างของต้นข้าวโพดมีปริมาณลดลง เช่น แคลเซียม เป็นต้น

2. ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH)

อิทธิพลของฟอสฟอรัสต่อคุณสมบัติของดิน จากผลการทดลอง ระดับของฟอสฟอรัสต่อระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดิน (ตารางที่ 19) พบว่า อัตราของปุ๋ยฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลง โดยปกติปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต จะมีผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินไม่ชัดเจนนัก เพราะในปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตจะมีพวกกรดฟอสฟอริก และ แอมโมเนียมอยู่ แอมโมเนียมมีความเป็นกรดเบาบาง (Tisdale and Nelson, 1966) การเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงของปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต พบว่า มีกรดฟอสฟอริกเกิดขึ้น ดังนั้นจึงทำให้สารละลายเกลือ ๆ เม็ดปุ๋ยมีสภาพเป็นกรด โดยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ประมาณ 1.5 (Tisdale, et al., 1993) หลังจากนั้น ค่าความเป็นกรดเป็นด่างก็จะเพิ่มขึ้นเมื่อฟอสฟอริกทำปฏิกิริยากับสารประกอบต่าง ๆ ในดิน แต่ไม่น่าจะเป็นสาเหตุ ที่ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงอย่างถาวร แต่จากการทดลอง ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสเฟต อาจเนื่องมาจากสมบัติของปุ๋ย และนอกจากนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างยังสัมพันธ์กับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกอีกด้วย โดยสังเกตจากเปอร์เซ็นต์การอิ่มตัวของเบส (base saturation) กับเปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจนไอออน (H saturation) จากผลการทดลองพบว่า เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เท่ากับ 7 ปริมาณของ H saturation จะเท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ (Foth, 1978) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ผลการทดลองพบว่าค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกนั้นลดลงเมื่อฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 21) ดังนั้นค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก จึงน่าจะส่งผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ได้

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดเป็นด่างกับปริมาณอินทรีย์วัตถุ เนื่องจากปริมาณอินทรีย์วัตถุเป็นอีกหนึ่งปัจจัยของการเพิ่มหรือลดระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่าง จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นตามปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 20) ดังนั้น อาจเป็นไปได้ว่า เมื่อปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นจึงอาจส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินลดลง

จากผลการทดลองของระยะเวลาต่อระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง พบว่า ทุกช่วงระยะเวลา คือ 0, 45 และ 80 วัน ระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 19) และระดับของค่าความเป็นกรดเป็นด่าง จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินควรจะลดลง เนื่องจากช่วงระยะเวลาในการทดลองเป็นช่วงฤดูฝน ดังนั้นน้ำฝนน่าจะเป็นตัวชะล้าง

ประจุบวกในดิน (เบสที่แลกเปลี่ยนได้) โดยเฉพาะ Ca^{2+} จึงน่าจะทำให้ดินมีความเป็นกรดมากกว่าเดิม (สมชาย, 2535).

3. อินทรีย์วัตถุ (Organic matter)

จากผลการทดลองเปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์วัตถุ เมื่อเปรียบเทียบกับระดับฟอสฟอรัสที่ใส่ทั้ง 4 ระดับ ปริมาณอินทรีย์วัตถุไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด (ตารางที่ 20) จากผลการทดลอง พบว่า เปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไม่มากนักการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรีย์วัตถุไม่น่าจะมาจากสาเหตุโดยตรงจากปริมาณของฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น เคยมีการทดลองพบว่า รูปของอินทรีย์วัตถุที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากการย่อยสลายจากซากพืช ซากสัตว์โดยจุลินทรีย์ในดิน (Foth, 1990) ปริมาณอินทรีย์วัตถุจึงเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่เมื่อสังเกตค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งของการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ โดยปกติแล้ว ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เป็นกลางจะเกิดการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุดีที่สุด จากผลการทดลองค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในระดับที่เหมาะสม (ตารางที่ 19) แต่ทั้งนี้ก็ยังมียอีกหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น อุณหภูมิ, ความชื้น เป็นต้น

เมื่อสังเกตปริมาณอินทรีย์วัตถุ ตามช่วงระยะเวลาต่าง ๆ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดที่ระยะเวลา 45 วัน (ตารางที่ 20) โดยคาดว่าปริมาณของอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลา 45 วันน่าจะเกิดจากการเจริญเติบโตของดินข้าวโพด และผลจากการย่อยสลาย และปริมาณรากต้นข้าวโพดหวานที่เพิ่มขึ้น

4. ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange capacity, CEC)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระดับของฟอสฟอรัสทั้ง 4 ระดับ ไม่ส่งผลทำให้ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเกิดความแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด (ตารางที่ 21) จากผลการทดลอง พบว่าค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสเฟต สาเหตุหนึ่งที่มีผลต่อค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก คือ เปอร์เซ็นต์ของ clay จากค่าวิเคราะห์ดินชุดสำทรายที่ใช้ในการทดลองมี เปอร์เซ็นต์ clay เพียง 17.2 ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 6 จึงไม่น่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกเพิ่มขึ้นหรือลดลงแต่อย่างใด ดังนั้นสาเหตุที่คาดว่าจะทำให้ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกลดลงเมื่ออัตราปุ๋ย

ฟอสเฟตเพิ่มขึ้น อาจมาจากสาเหตุของค่าความเป็นกรดเป็นด่าง โดยพบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่ออัตราปุ๋ยฟอสเฟตเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 19) ดังนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ลดลง อาจมีส่วนทำให้ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกลดลงเช่นกัน

เมื่อศึกษาผลของระยะเวลาต่อค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าสูงที่สุดที่ระยะเวลา 45 วัน (ตารางที่ 21) ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ที่เพิ่มขึ้นในระยะเวลา 45 วัน สอดคล้องกับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นในระยะเวลาที่เช่นกัน (ตารางที่ 20)

5. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available phosphorus)

จากผลการทดลอง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้น ตามอัตราของปุ๋ยฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 22) ปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ย่อมขึ้นกับปริมาณของปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลงไป ปุ๋ยที่รีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตเป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ดี เมื่อใส่ลงไปดินจะเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่อพืชทันทีที่ใส่ แต่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ที่ละลายออกมาดังกล่าวจะลดลง เมื่ออยู่ในดินนานขึ้น (ไพฑูรย์, 2535) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 22) และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เป็นอีกหนึ่งสาเหตุ เมื่อสังเกตค่าความเป็นกรดเป็นด่างจากผลการทดลองซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 19 ระดับของความความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ในช่วง 6.99 ถึง 7.32 ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสม ส่วนใหญ่แล้วฟอสเฟตในรูป orthophosphate ในรูป H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-} จะมีปริมาณเท่ากันที่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 7.2 (ไพฑูรย์, 2530)

นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราฟอสฟอรัสกับระยะเวลาต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 22 พบว่าที่อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ระยะเวลา 0 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมากที่สุด และที่อัตราฟอสฟอรัส 0, 23 และ 46 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ระยะเวลา 80 วัน มีปริมาณ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินน้อยที่สุด

6. อนินทรีย์ฟอสเฟต (Inorganic phosphate)

6.1 ฟอสฟอรัสที่ละลายได้ (Soluble-P)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณของฟอสฟอรัสที่ละลายได้ เพิ่มขึ้นตามปริมาณของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 23) เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ปริมาณของฟอสฟอรัสที่ละลายได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีแนวโน้มลดลง ฟอสฟอรัสที่ละลายได้ คือส่วนของฟอสฟอรัสที่ละลายได้ง่าย ดังนั้นสาเหตุหลักของการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสที่ละลายได้ มาจากปริมาณของฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับการเพิ่มปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 22 เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบปฏิสัมพันธ์กันระหว่างอัตราของฟอสฟอรัสกับระยะเวลาต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ อีกด้วย นั่นคือ ที่อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ระยะเวลา 0 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้มากที่สุด และ ที่อัตราฟอสฟอรัส 0, 23 และ 46 ระยะเวลา 80 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ น้อยที่สุด

6.2 อะลูมินัม, เหล็ก และแคลเซียมฟอสเฟต (Al-P, Fe-P และ Ca-P)

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณของอะลูมินัมฟอสเฟต, เหล็กฟอสเฟต และ แคลเซียมฟอสเฟต เมื่ออัตราฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น ปริมาณของรูปอนินทรีย์ฟอสเฟตของแต่ละรูปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 24, 25 และ 26 ตามลำดับจากผลการทดลองสังเกตได้ว่า ปริมาณของอะลูมินัมฟอสเฟต และ แคลเซียมฟอสเฟต จะมีปริมาณมากกว่า เหล็กฟอสเฟต โดยที่ปริมาณของแคลเซียมฟอสเฟตนั้น อธิบายได้จาก ปุ๋ยฟอสเฟตประเภทละลายเร็วจะอยู่ในรูปโมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮดรต, ไดแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟต จึงทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัส อนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแคลเซียมฟอสเฟต จึงมีปริมาณเพิ่มขึ้น และการเพิ่มขึ้นของ อะลูมินัมฟอสเฟต และ เหล็กฟอสเฟต ก็เนื่องมาจากอะลูมินัมฟอสเฟต และ เหล็กฟอสเฟต เป็นองค์ประกอบของปุ๋ยฟอสเฟตประเภทละลายเร็วเช่นกัน (ไพฑูรย์, 2535) ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต เมื่อใส่ลงในดิน ปฏิกริยาจะเป็นกรดจัดมาก มีผลทำให้ เหล็ก และ อะลูมิเนียมในดินที่อยู่ใกล้เม็ดปุ๋ยเกิดการละลายตัวออกมามากขึ้น ทำปฏิกริยากับไอออนฟอสเฟตที่ละลายออกมาจากปุ๋ยแล้วเกิดตกตะกอนลงมาในสารละลายดิน ในรูป เหล็กฟอสเฟต และ อะลูมินัมฟอสเฟต (Lindsay and Stephenson, 1959 อ้างโดย ไพฑูรย์, 2535)

เมื่อพิจารณาปริมาณของ อะลูมินัมฟอสเฟต, เหล็กฟอสเฟต และ แคลเซียมฟอสเฟต กับระยะเวลา พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และที่ระยะเวลา 45 วัน มีปริมาณของอินทรีย์ฟอสเฟตทั้ง 3 รูป มากที่สุด และมีปริมาณน้อยที่สุดที่ระยะเวลา 80 วัน ปริมาณของเหล็กฟอสเฟต อาจเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นในช่วงระยะการทดลอง จึงอาจส่งผลทำให้เกิดสภาพปลดออกซิเจนในดิน ดังนั้น รีดักเทนต์ฟอสเฟต (Re-P) จึงเปลี่ยนรูปมาเป็น เหล็กฟอสเฟต (Mahapatra and Patrick, 1969 อ้างโดย ไพฑูรย์, 2535) แต่ในการทดลองไม่ได้วิเคราะห์หาปริมาณของรีดักเทนต์ฟอสเฟต (Re-P) จึงเป็นเพียงข้อสันนิษฐานเท่านั้น ส่วนปริมาณ อะลูมินัมฟอสเฟต ที่ลดลงอย่างมากเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นอาจแสดงให้เห็นว่ามีการดูดใช้ประโยชน์อินทรีย์ฟอสเฟตในรูปนี้โดยข้าวโพดหวาน เมื่อเทียบกับผลการทดลองที่ 1 ก็เห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ปริมาณอินทรีย์ฟอสเฟตรูปต่าง ๆ จะมีปริมาณลดลงซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 10 ถึง 13 และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน พบว่ามีปริมาณอินทรีย์ฟอสเฟตที่หายไปนั้นไม่แตกต่างกันเท่าใดนัก

7. ความสูงและเส้นรอบวงของข้าวโพด (Height and girth)

จากผลการทดลอง อัตราฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ความสูงของต้นข้าวโพดมีความแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด แต่ขนาดเส้นรอบวงของต้นข้าวโพดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 27) พบว่าความสูงของต้นข้าวโพดหวานตอบสนองต่อระดับฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไป แต่ขนาดเส้นรอบวงในแต่ละอัตราฟอสฟอรัสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติโดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราฟอสฟอรัส เหตุผลที่เป็นเช่นนี้ อาจเป็นไปได้ว่าจากการวิเคราะห์ดินเบื้องต้นพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีปริมาณสูงอยู่แล้วซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 6 ทำให้ไม่เกิดการตอบสนองต่ออัตราฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไป (ไพฑูรย์, 2535)

เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลากับการเปลี่ยนแปลง ความสูง และขนาดเส้นรอบวง พบว่า ความสูงของต้นข้าวโพดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และขนาดเส้นรอบวงลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 27) จากผลการทดลองพบว่า อัตราฟอสฟอรัสไม่ส่งผลต่อความสูง และขนาดเส้นรอบวง แต่ระยะเวลาส่งผลชัดเจนกว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดหวานย่อมมากขึ้นตามไปด้วย แต่สาเหตุที่ขนาดเส้นรอบวงของต้นข้าวโพดหวานลดลงในช่วงระยะเวลา 56 วัน (ตารางที่ 27) เมื่อมีการเพิ่มธาตุอาหารพืชธาตุใดธาตุหนึ่งเพียงธาตุเดียว จะกระตุ้นให้พืชเจริญเติบโตและเพิ่มชีวมวล จึงส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ความเงิองของอีกธาตุหนึ่งลดลงไปอยู่ในพิสัยขาดแคลน เช่นในกรณีของฟอสฟอรัสกับ

ไนโตรเจน เมื่อเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสจึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนเจือจางลง (ยงยุทธ, 2543) ซึ่งอาจทำให้ขนาดเส้นรอบวงลดลง และอาจมาจากสาเหตุที่ต้นข้าวโพดเริ่มสร้างฝัก จึงมีการดูดใช้ธาตุอาหารไปอยู่ในส่วนของฝักมากกว่าส่วนอื่น ๆ และอาจเนื่องมาจากความสมบูรณ์ของดินอีกด้วย เพราะจากข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์เอทีเอส-2 จะมีความสูงอยู่ที่ 150 ถึง 200 เซนติเมตร (ทวีศักดิ์, 2543) ซึ่งจากผลการทดลองความสูงของต้นนั้นมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ของพันธุ์ อันอาจเนื่องมาจากการทดลองครั้งนี้ไม่ได้มีการใส่ปุ๋ยบำรุงตามช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ที่เหมาะสม ดังนั้นจึงทำให้สาเหตุที่ขนาดเส้นรอบวงลดลงอาจไม่ใช่สาเหตุจากการเพิ่มอัตราฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว แต่อาจเนื่องมาจากการขาดธาตุอาหารอื่น ๆ ด้วย

8. ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density)

จากผลการทดลองค่าความหนาแน่นรวมของดินหลังการทดลองโดยเก็บที่ระดับความลึก 0 ถึง 15 เซนติเมตร พบว่า ระดับของฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลทำให้ความหนาแน่นรวมมีความแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด (ตารางที่ 18) แต่ถ้าสังเกตแนวโน้มก็พบว่าค่าความหนาแน่นรวมของดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากการทดลองของ Lutz, et al., (1966) ที่ทดสอบการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่มีผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่ปลูกข้าวสาลี ในดิน Ultisols พบว่า เมื่อดินได้รับฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นจากระดับ 175 ถึง 700 กิโลกรัม P ต่อเฮกตาร์ พบว่าความหนาแน่นรวมลดลงจาก 1.26 เป็น 1.18 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

สรุปผลการทดลอง

การศึกษผลกระทบจากการตกค้างของฟอสฟอรัสต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน เป็นการศึกษาอิทธิพลจากการตกค้างของฟอสฟอรัสโดยการเพิ่มอัตราปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ทั้งไว้ 3 สัปดาห์ จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบต่อสมบัติของดินและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน ซึ่งได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดินชุดสันทรายในสภาพห้องปฏิบัติการ เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินชุดสันทรายบางประการหลังการบ่มดินในสภาพควบคุม ภายใต้ระยะเวลาที่แตกต่างกัน การทดลองที่ 2 ศึกษาผลจากการตกค้างของฟอสฟอรัสต่อสมบัติของดิน และการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน เป็นการศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 4 อัตรา (กิโกรัม P_2O_5 ต่อไร่) หลังจากใส่ทิ้งไว้ก่อนปลูก 3 สัปดาห์ โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน รวมไปถึงการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน

การทดลองที่ 1 จากการบ่มดินในช่วงระยะเวลา 0, 25, 50 และ 75 วัน พบว่าปริมาณเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ, ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์, ฟอสฟอรัสที่ละลายได้, อะลูมินัมฟอสเฟต และ เหล็กฟอสเฟต มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเวลาดังกล่าว โดยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากันหมดทุกระยะคือ 7.5 ส่วนปริมาณแคลเซียมฟอสเฟต มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

การทดลองที่ 2 จากผลการทดลองในแปลงทดลองพบว่าอัตราของฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ที่ลดลงจาก 7.32 ในอัตราที่ไม่มีการใส่ฟอสฟอรัส มาอยู่ที่ 6.99 ที่อัตราฟอสฟอรัส 138 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และยังส่งผลต่อปริมาณ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไป และปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายได้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่อัตราฟอสฟอรัสทั้ง 4 อัตราไม่มีผลทำให้ เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ, และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด

ผลของระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นทั้ง 3 ระยะคือ 0 , 45 และ 80 วัน พบว่า ระยะเวลามีผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และทำให้ เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ, ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก และ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น

รูปของอนินทรีย์ฟอสเฟตในดิน พบว่า ปริมาณอะลูมิเนียมฟอสเฟต, เหล็กฟอสเฟต และ แคลเซียมฟอสเฟต มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราของฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น ส่วนระยะเวลาทั้ง 3 ระยะ นั้นส่งผลทำให้ รูปอนินทรีย์ฟอสเฟตทั้ง 3 รูป มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะ 0 ถึง 45 วัน และลดลงที่ ระยะ 80 วัน โดยปกติค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินชุดสันทราอยู่ในระดับที่สูง ดังนั้นเมื่อมีการ เพิ่มปริมาณของฟอสฟอรัสในดินจากการใช้ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตที่ละลายน้ำง่าย ย่อมทำให้ ฟอสเฟตส่วนใหญ่ที่อยู่ในรูป HPO_4^{2-} ทำปฏิกิริยาคดตะกอนกับ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ทำให้ปริมาณของ แคลเซียมฟอสเฟต มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดลดลงโดย สังกัดได้จากขนาดเส้นรอบวงที่มีขนาดลดลง

การดูใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดหวาน จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบหลังปลูก 45 วัน พบว่า อิทธิพลของระดับฟอสฟอรัสทั้ง 4 อัตราไม่มีผลทำให้ธาตุไนโตรเจน, โพแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, สังกะสี, แมงกานีส, เหล็ก และทองแดง เปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด แต่มีผลต่อ ปริมาณฟอสฟอรัสในใบ ซึ่งเพิ่มขึ้นตามอัตราของฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น

ความสูงและขนาดเส้นรอบวงของต้นข้าวโพดหวาน พบว่า อัตราฟอสฟอรัสทั้ง 4 อัตรา ไม่ส่งผลต่อความสูงของต้นข้าวโพด แต่ส่งผลต่อขนาดเส้นรอบวงโดยที่ขนาดเส้นรอบวงมีขนาด ลดลงเมื่อระดับของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น ส่วนระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 56 วัน ส่งผลต่อความสูง และขนาดเส้นรอบวง โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขนาดของเส้นรอบวงนั้นลดลงบ้างจากช่วงระยะเวลา 32 ถึง 56 วัน และน้ำหนักแห้งของเหว่นเหนือดินทั้งหมดพบว่า มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราของ ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น

ความหนาแน่นรวมของดินหลังปลูกข้าวโพดหวาน พบว่า อัตราฟอสฟอรัสทุกอัตรา ไม่มีผลต่อความหนาแน่นรวมของดินหลังการทดลองแต่อย่างใด

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองครั้งนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

1. ควรมีการศึกษาจุดวิกฤตของฟอสฟอรัสในพืชก่อนการทดลอง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการทดลอง และทำให้ทราบถึงปริมาณของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่จะใส่ลงไปในพื้นที่ซึ่งจะทำให้เห็นผลกระทบที่ชัดเจน
2. ผลกระทบของปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ตกค้างในดิน ควรมีศึกษาเปรียบเทียบกันระหว่างดินที่ไม่เคยใช้ประโยชน์ทางการเกษตรกับดินที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรอยู่ตลอดเวลา รวมทั้งต้องมีการศึกษาประวัติการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ย้อนหลังด้วย
3. ควรมีการปลูกพืชทดลองทั้งในสภาพแปลงทดลอง และสภาพที่ควบคุมสิ่งแวดล้อมได้ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองได้ดียิ่งขึ้น
4. การศึกษาครั้งต่อไปควรวิเคราะห์หาปริมาณ อนินทรีย์ฟอสเฟต, อินทรีย์ฟอสเฟต และฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินประกอบกัน

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2541. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่ม
ชุดดิน. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 399 น.
- ทรงเชาว์ อินสัมพันธ์. 2531. **พืชไร่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย**. เชียงใหม่: ภาควิชา
พืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 281 น.
- ทวีศักดิ์ ภู่อล่า. 2543. เอทีเอส-2: พันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสมเพื่อฝักสดและอุตสาหกรรมแปรรูป.
ข่าวสำนักงาน คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 431: 19-20.
- ธวัช ลวะเปารยะ. 2525. คู่มือการปลูกข้าวโพดหวาน ดี เอ็ม อาร์. **ชุมทางเกษตร**. 4: 58-69.
- นงลักษณ์ ประณะพงษ์. 2537. **คู่มือการวิเคราะห์ดินและปุ๋ยเบื้องต้น**. เชียงใหม่: ภาควิชาดินและ
ปุ๋ย คณะผลิตกรรมการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. 71 น.
- ปัทมา วิดยากร. 2533. **ดิน : แหล่งธาตุอาหารพืช**. ขอนแก่น: ภาควิชาปฐพีศาสตร์
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 215 น.
- ปิยะ ดวงพัตรา. 2538. **หลักการและวิธีการใช้ปุ๋ยเคมี**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 300 น.
- ไพฑูรย์ กิตติชัยชนานนท์. 2523. **เทคนิคการใช้ปุ๋ย**. เชียงใหม่: ภาควิชาดินและปุ๋ย
สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. 122 น.
- _____. 2535. **การศึกษาสมบัติทางเคมี แร่วิทยาและประสิทธิภาพสัมพัทธ์ทางการเกษตร
ของปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟต**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
246 น.
- ไพฑูรย์ วิวัฒน์วงษ์. 2530. **เคมีดิน**. เชียงใหม่: ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 190 น.
- มนูเวทย์ ศรีเสน. 2520. ผลตกค้างของปุ๋ยเคมีในดิน. **วิทยาศาสตร์เกษตร**. 10: 157-183.
- ขงยุทธ โอสธสภ. 2528. **หลักการผลิตปุ๋ยและการใช้ปุ๋ย**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา
คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 274 น.
- _____. 2543. **ธาตุอาหารพืช**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์. 424 น.
- ราเชนทร์ ถิรพร. 2539. **ข้าวโพด: การผลิต การใช้ประโยชน์ การวิเคราะห์ ปัญหาและการถ่ายทอด
เทคโนโลยีสู่เกษตรกร**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์. 274 น.

ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2540. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 327 น.

สมชาย องค์ประเสริฐ. 2535. ปฐพีศาสตร์เบื้องต้นประยุกต์. เชียงใหม่: ภาควิชาดินและปุ๋ย

คณะผลิตกรรมการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. 444 น.

ไสว พงษ์เก่า. 2534. **พืชเศรษฐกิจ**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัย

เกษตรศาสตร์. 882 น.

Barber, S. A. and R. A. Olson. 1968. Fertilizer Use on Corn. pp 163-188. อ้างโดย ราเชนทร์

ฉิรพร. 2539. ข้าวโพด: การผลิต การใช้ประโยชน์ การวิเคราะห์ ปัญหาและการถ่าย

ทอดเทคโนโลยี. น 183. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัย

เกษตรศาสตร์. 274 น.

Bergmann, W. 1992. Nutrition Disorders of Plants-Development. pp 741. อ้างโดย ขงยุทธ

โอสถสภา. 2543. **ธาตุอาหารพืช**. น 407. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 424 น.

Brady, N. 1990. Nature and Properties of Soil. อ้างโดย ขงยุทธ โอสถสภา. 2543. **ธาตุอาหาร**

พืช. น 389. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

424 น.

Foth, H. D., L. M. Turk, and E. C. Millar. 1972. **Fundamental of Soil Science**. New York:

John Wiley. 454 p.

Foth, H. D. 1978. **Fundamental of Soil Science**. 6th ed. U.S.A: John Wiley & Sons. 436 p.

_____. 1990. **Fundamental of Soil Science**. 8th ed. U.S.A: John Wiley & Sons.

360 p.

Fredeen, A. L., K. M. Rao, and N. Terry. 1989. Influence of Phosphorus Nutrition on Growth

and Carbon Partitioning of *Glycine max*. pp 225-230. อ้างโดย ขงยุทธ โอสถสภา.

2543. **ธาตุอาหารพืช**. น 231. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 424 น.

Gray, M. Pierzynski. 2000. **Methods of Phosphorus Analysis for Soil, Sediments, Residual,**

and Water. Manhattan: Department of Agronomy, Kansas State University. 76 p.

Hesses, P. R. 1971. **A Textbook of Soil Chemical Analysis**. London: William Clowes and

Sons. 520 p.

IRRI. 2000. **Long-term phosphorus experiments (LTPE) data synthesis work shop.**

Philippines: Los Banos Laguna. 217 p.

Linsay, W. L., and H. F. Stephenson. 1959. Nature of the reaction of monocalcium phosphate monohydrate in soils. 2. Dissolution and precipitation involving iron, aluminum, manganese and calcium. pp 18-22. อ้างโดย ไพฑูรย์ กิติชัยชนานนท์. 2535. การ

ศึกษาสมบัติทางเคมีแร่วิทยาและประสิทธิภาพสัมพัทธ์ทางการเกษตรของปุ๋ยแคลไซต์ฟอสเฟต. น 93. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 246 น.

Lutz, J. P., R. A. Pinto, and R. Garcia-Lagos. 1966. Effect of Phosphorus on some Physical Properties of the Soil: II. Water retention. pp 433-437. In **Soil Science Journal**. 1966. Soil Sci. Soc. Am. 30.

Mahapatra, I. C., and W. H. Patrick. 1969. Inorganic Phosphate Transformation in water logged soil. pp 281-287. อ้างโดย ไพฑูรย์ กิติชัยชนานนท์. 2535. การศึกษาสมบัติทางเคมีแร่วิทยาและประสิทธิภาพสัมพัทธ์ทางการเกษตรของปุ๋ยแคลไซต์ฟอสเฟต. น 95. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 246 น.

Millar, E. C., L. M. Turk, and H. D. Foth. 1966. Physical chemistry and biological chemistry of clay mineral-organic nitrogen complexes. อ้างโดย มนุเวทย์ ศรีเสน. 2520. ผลตกค้างของปุ๋ยเคมีในดิน. วิทยาศาสตร์เกษตร. 10: 157-183.

Roy, L. D., W. M. Raymond, and C. S. John. 1983. **Soil an introduction to soil and plant growth**. 5th ed. U.S.A.: Prentice-Hall. 667 p.

Splittstoesser, Water. E. 1990. **Vegetable growing handbook**. 3rd ed. New York: Van Nostrand Reinhold. 362 p.

Swietlik, D., and M. Faust. 1984. Foliar nutrition of fruit crops. pp 287-355. อ้างโดย ขงยุทธ โอสดสภา. 2534. ธาตุอาหารพืช. น 187. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 424 น.

Tisdale, S. L., W. L. Nelson, and J. L. Harlin. 1966. **Soil Fertility and Fertilizers**. 8th ed. U.S.A.: Macmillan. 694 p.

———. 1993. **Soil Fertility and Fertilizer**. 5th ed. U.S.A.: Macmillan. 694 p.



ภาคผนวก



ตารางผนวก ก

ตารางแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ในสภาพ
แปลงทดลอง

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
REP	3	0.4038	0.1346	2.03	2.92	4.51
Treatment	11	3.5442	0.3222	4.85	2.16	2.98
Fertilizer (A)	3	0.8575	0.2858	4.30	2.92	4.51
Time (B)	2	2.5879	1.2940	19.49	3.32	5.39
A x B	6	0.0987	0.0165	0.25	2.42	3.47
ERROR	33	2.1912	0.0664			
TOTAL	47	6.1392	0.1306			

CV. = 3.5686%

ตารางผนวกที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ ในสภาพ
แปลงทดลอง

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
REP	3	0.0030	0.0010	0.31	2.92	4.51
Treatment	11	0.4376	0.0398	12.26	2.16	2.98
Fertilizer (A)	3	0.0089	0.0030	0.91	2.92	4.51
Time (B)	2	0.4115	0.2057	63.41	3.32	5.39
A x B	6	0.0172	0.0029	0.88	2.42	3.47
ERROR	33	0.1071	0.0032			
TOTAL	47	0.5477	0.0117			

CV. = 7.8644%

ตารางผนวกที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก
ในสภาพแปลงทดลอง

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
REP	3	1.9130	0.6377	0.80	2.92	4.51
Treatment	11	19.9466	1.8133	2.28	2.16	2.98
Fertilizer (A)	3	2.0982	0.6994	0.88	2.92	4.51
Time (B)	2	16.0750	8.0375	10.12	3.32	5.39
A x B	6	1.7733	0.2956	0.37	2.42	3.47
ERROR	33	26.0679	0.7942			
TOTAL	47	48.0679	1.0227			

CV. = 20.5917%

ตารางผนวกที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในสภาพ
แปลงทดลอง

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
REP	3	15746.0453	5248.6818	3.21	2.92	4.51
Treatment	11	435084.2209	39553.1110	24.21	2.16	2.98
Fertilizer (A)	3	330245.7409	110081.9136	67.38	2.92	4.51
Time (B)	2	65838.6275	32919.3137	20.15	3.32	5.39
A x B	6	38999.8525	6499.9754	3.98	2.42	3.47
ERROR	33	53914.3936	1633.7695			
TOTAL	47	504744.6598	10739.2481			

CV. = 17.3539%

ตารางผนวกที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ฟอสฟอรัสที่ละลายได้ ในสภาพ
แปลงทดลอง

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
REP	3	209.0535	69.6845	0.34	2.92	4.51
Treatment	11	12379.7609	1125.4328	5.47	2.16	2.98
Fertilizer (A)	3	5332.6572	1777.5524	8.64	2.92	4.51
Time (B)	2	3811.5242	1905.7621	9.26	3.32	5.39
A x B	6	3235.5795	539.2633	2.62	2.42	3.47
ERROR	33	6792.9497	205.8470			
TOTAL	47	19381.7641	412.3780			

CV = 32.5825%

ตารางผนวกที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอะลูมิเนียมฟอสเฟต ในสภาพ
แปลงทดลอง

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
REP	3	2954.8855	984.9618	1.43	2.92	4.51
Treatment	11	35475.3730	3225.0339	4.68	2.16	2.98
Fertilizer (A)	3	20574.3584	6858.1195	9.94	2.92	4.51
Time (B)	2	9691.7073	4845.8536	7.03	3.32	5.39
A x B	6	5209.3073	868.2179	1.26	2.42	3.47
ERROR	33	22761.1900	689.7330			
TOTAL	47	61191.4485	1301.9457			

CV = 42.3091%

ตารางผนวกที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเหล็กฟอสเฟต ในสภาพแปลงทดลอง

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
REP	3	2644.7092	881.5697	6.32	2.92	4.51
Treatment	11	6721.7825	611.0711	4.38	2.16	2.98
Fertilizer (A)	3	3341.5627	1113.8542	7.98	2.92	4.51
Time (B)	2	2018.4902	1009.2451	7.23	3.32	5.39
A x B	6	1361.7296	226.9549	1.63	2.42	3.47
ERROR	33	4605.9699	139.5748			
TOTAL	47	13972.4616	297.2864			

CV = 37.5893%

ตารางผนวกที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแคลเซียมฟอสเฟต ในสภาพแปลงทดลอง

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
REP	3	899.1514	299.7171	0.93	2.92	4.51
Treatment	11	11684.8079	1062.2553	3.29	2.16	2.98
Fertilizer (A)	3	3317.9150	1105.9717	3.43	2.92	4.51
Time (B)	2	6072.8287	3036.4144	9.41	3.32	5.39
A x B	6	2294.0642	382.3440	1.18	2.42	3.47
ERROR	33	10654.0612	322.8503			
TOTAL	47	23238.0204	494.4260			

CV = 37.8871%

ตารางผนวกที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดเส้นรอบวงของต้นข้าวโพดหวาน
ในสภาพแปลงทดลอง

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
REP	3	5.0969	1.6990	17.82	2.84	4.31
Treatment	15	108.0903	7.2060	75.58	1.92	2.52
Fertilizer (A)	3	4.5560	1.5187	15.93	2.84	4.31
Time (B)	3	102.9288	34.3096	359.86	2.84	4.31
A x B	9	0.6054	0.0673	0.71	2.11	2.89
ERROR	45	4.2904	0.0953			
TOTAL	63	117.4775	1.8647			

CV = 6.3045%

ตารางผนวกที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสูงของต้นข้าวโพดหวาน
ในสภาพแปลงทดลอง

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
REP	3	1092.7448	364.2483	9.48	2.84	4.31
Treatment	15	10053.4293	6703.5620	174.53	1.92	2.52
Fertilizer (A)	3	302.5922	100.8641	2.63	2.84	4.31
Time (B)	3	100120.7046	33373.5682	868.88	2.84	4.31
A x B	9	130.1326	14.4592	0.38	2.11	2.89
ERROR	45	1728.4413	38.4098			
TOTAL	63	103374.6154	1640.8669			

CV = 13.6350%

ตารางผนวกที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอินทรีวัตถุ ในสภาพห้องปฏิบัติการ

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	3	0.0212	0.0071	19.79	2.76	4.13
ERROR	76	0.0271	0.0004			
TOTAL	79	0.0482	0.0006			

CV = 3.0338%

ตารางผนวกที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออน
บวกในสภาพห้องปฏิบัติการ

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	3	59.5482	19.8494	144.11	2.76	4.13
ERROR	76	10.4679	0.1377			
TOTAL	79	70.0160	0.8863			

CV = 8.1311%

ตารางผนวกที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในสภาพ
ห้องปฏิบัติการ

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	3	670.3759	223.4586	6.52	2.76	4.13
ERROR	76	2603.7761	34.2602			
TOTAL	79	3274.1520	41.4450			

CV = 4.3886%

ตารางผนวกที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของฟอสฟอรัสที่ละลายได้ในสภาพห้อง
ปฏิบัติการ

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	3	953.1954	317.7318	15.51	2.76	4.13
ERROR	76	1556.6136	20.4818			
TOTAL	79	2509.8090	31.7697			

CV = 10.3544%

ตารางผนวกที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอะลูมิเนียมฟอสเฟตในสภาพ
ห้องปฏิบัติการ

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	3	1033.3132	344.4377	203.10	2.76	4.13
ERROR	76	128.8897	1.6959			
TOTAL	79	1162.2029	14.7114			

CV = 3.8027%

ตารางผนวกที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเหล็กฟอสเฟตในสภาพห้องปฏิบัติการ

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	3	616.5811	205.5270	43.81	2.76	4.13
ERROR	76	356.5638	4.6916			
TOTAL	79	973.1449	12.3183			

CV = 9.9773%

ตารางผนวกที่ 17 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแคลเซียมฟอสเฟตในสภาพ
ห้องปฏิบัติการ

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Treatment	3	667.5537	222.5179	9.36	2.76	4.13
ERROR	76	1807.1558	23.7784			
TOTAL	79	2474.7095	31.3254			

CV = 18.5061%

ตารางผนวกที่ 18 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไนโตรเจนในใบข้าวโพด
หวานหลังปลูก 45 วัน

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Block	3	0.4927	0.1642	2.91	3.86	6.99
Treatment	3	0.2108	0.0703	1.24	3.86	6.99
ERROR	9	0.5086	0.0565			
TOTAL	15	1.2121	0.0808			

CV = 10.8250%

ตารางผนวกที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณฟอสฟอรัสในใบข้าวโพด
หวานหลังปลูก 45 วัน

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Block	3	0.0131	0.0044	0.26	3.86	6.99
Treatment	3	0.2138	0.0713	4.25	3.86	6.99
ERROR	9	0.1510	0.0168			
TOTAL	15	0.3779	0.0252			

CV = 30.4036%

ตารางผนวกที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโพแทสเซียมในใบข้าวโพด
หวานหลังปลูก 45 วัน

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Block	3	1.7055	0.5685	8.83	3.86	6.99
Treatment	3	0.2004	0.0668	1.04	3.86	6.99
ERROR	9	0.5795	0.0644			
TOTAL	15	2.4853	0.1657			

CV = 8.4654%

ตารางผนวกที่ 21 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแคลเซียมในใบข้าวโพดหวาน
หลังปลูก 45 วัน

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Block	3	0.0849	0.0283	2.13	3.86	6.99
Treatment	3	0.0133	0.0044	0.33	3.86	6.99
ERROR	9	0.1185	0.0133			
TOTAL	15	0.2176	0.0145			

CV = 23.2863%

ตารางผนวกที่ 22 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแมกนีเซียมในใบข้าวโพด
หวานหลังปลูก 45 วัน

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Block	3	0.0197	0.0066	1.45	3.86	6.99
Treatment	3	0.0084	0.0028	0.61	3.86	6.99
ERROR	9	0.0409	0.0045			
TOTAL	15	0.0690	0.0046			

CV = 34.1072%

ตารางผนวกที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสังกะสีในใบข้าวโพดหวาน
หลังปลูก 45 วัน

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Block	3	169.7994	56.5998	14.98	3.86	6.99
Treatment	3	3.3026	1.1009	0.29	3.86	6.99
ERROR	9	34.0041	3.7782			
TOTAL	15	207.1061	13.8071			

CV = 21.9818%

ตารางผนวกที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแมงกานีสในใบข้าวโพดหวาน
หลังปลูก 45 วัน

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Block	3	171.8734	57.2911	1.49	3.86	6.99
Treatment	3	56.4619	18.8206	0.49	3.86	6.99
ERROR	9	346.5149	38.5017			
TOTAL	15	574.8502	38.3233			

CV = 28.6885%

ตารางผนวกที่ 25 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเหล็กในใบข้าวโพดหวานหลังปลูก 45 วัน

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Block	3	19541.9378	6513.9793	1.42	3.86	6.99
Treatment	3	3212.2527	1070.7509	0.23	3.86	6.99
ERROR	9	41241.4107	4582.3790			
TOTAL	15	63995.6011	4266.3790			

CV = 39.0184%

ตารางผนวกที่ 26 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณทองแดงในใบข้าวโพดหวานหลังปลูก 45 วัน

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Block	3	153.4855	51.1618	38.03	3.86	6.99
Treatment	3	2.0730	0.6910	0.51	3.86	6.99
ERROR	9	12.1069	1.3452			
TOTAL	15	167.6654	11.1777			

CV = 15.4684%

ตารางผนวกที่ 27 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหนาแน่นรวมของดินหลังทดลอง

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Block	3	0.0059	0.0020	0.76	3.86	6.99
Treatment	3	0.0028	0.0009	0.36	3.86	6.99
ERROR	9	0.0233	0.0026			
TOTAL	15	0.0320	0.0021			

CV = 3.1296%

ตารางผนวกที่ 28 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินทั้งหมดของ
ข้าวโพดหวานหลังปลูก 45 วัน

SOV	df	SS	MS	F	F.05	F.01
Block	3	534.9141	177.3048	14.24	3.86	6.99
Treatment	3	375.3387	152.1129	10.05	3.86	6.99
ERROR	9	112.0290	12.4477			
TOTAL	15	1019.0290	67.9521			

CV = 10.8026%



ตารางผนวก ข

ตารางแสดงข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทางการเกษตร ของสถานีอากาศแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

ตารางผนวกที่ 31 แสดงข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ของสถานีอากาศเกษตรแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่าง

เดือน พฤษภาคม ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2545

เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2545

วันที่	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	38.9	22.0	30.5	65	0.0
2	38.9	24.1	31.5	59	0.0
3	37.6	22.0	29.8	67	0.0
4	37.7	21.4	29.6	65	6.1
5	33.2	21.0	27.1	70	20.0
6	34.6	20.6	27.6	70	0.8
7	37.4	21.2	29.3	65	0.0
8	37.6	23.4	30.5	63	0.0
9	37.8	24.0	30.9	61	0.0
10	37.5	22.9	30.2	66	6.8
11	34.7	23.7	29.2	70	10.2
12	26.6	23.9	25.3	93	34.3
13	31.1	22.2	26.7	79	24.9
14	31.2	21.7	26.5	75	0.0
15	31.6	22.9	27.3	77	13.2
16	30.2	22.9	26.6	82	41.7
17	29.5	22.4	26.0	81	39.0
18	27.1	23.4	25.3	88	12.0
19	27.1	22.3	24.7	89	4.2
20	32.7	22.9	27.8	74	0.0
21	33.6	23.2	28.4	73	0.0
22	35.0	23.2	29.1	73	0.0
23	35.4	23.9	29.7	70	0.5
24	34.5	22.9	28.7	72	0.4
25	34.2	23.2	28.7	72	8.3
26	33.2	22.8	28.0	76	T
27	33.6	23.0	28.3	72	T
28	34.0	22.4	28.2	71	4.7
29	32.3	23.7	28.0	75	17.7
30	32.3	24.2	28.3	77	0.0
31	34.7	23.4	29.1	71	0.0
เฉลี่ย	33.7	22.8	28.3	73	244.8
รวม					

หมายเหตุ: T = Trace คือ ปริมาณฝนตกน้อยกว่า 0.1 มม.

ตารางผนวกที่ 31 (ต่อ)

เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2545

วันที่	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	33.8	24.0	28.9	74	4.7
2	34.7	23.2	29.0	71	0.0
3	33.9	23.6	28.8	75	0.0
4	33.5	22.9	28.2	73	0.3
5	33.7	23.5	28.6	75	0.1
6	34.0	23.9	29.0	73	23.5
7	31.8	24.0	27.9	78	3.0
8	32.9	24.0	28.5	76	17.6
9	33.4	23.9	28.7	76	T
10	32.5	23.5	28.0	77	6.5
11	31.9	23.9	27.9	77	0.0
12	31.4	24.6	28.0	76	9.8
13	33.0	24.0	28.5	73	0.0
14	33.4	24.0	28.7	71	0.0
15	32.9	24.4	28.7	76	0.0
16	32.3	24.8	28.6	74	0.0
17	33.9	24.0	29.0	75	1.9
18	33.1	24.0	28.6	76	0.0
19	32.0	23.8	27.9	76	9.9
20	31.0	23.5	27.3	76	0.0
21	31.1	24.6	27.9	75	T
22	31.7	24.1	27.9	77	0.0
23	31.1	24.0	27.6	77	T
24	32.6	23.6	28.1	73	0.0
25	33.0	23.6	28.3	71	1.7
26	33.5	23.5	28.5	74	T
27	31.2	23.9	27.6	78	0.3
28	32.9	24.2	28.6	76	2.1
29	34.0	23.6	28.8	73	26.9
30	33.2	23.8	28.5	73	4.0
เฉลี่ย	32.8	23.9	28.4	75	112.3
รวม					

หมายเหตุ: T = Trace คือ ปริมาณฝนตกน้อยกว่า 0.1 มม.

ตารางผนวกที่ 31 (ต่อ)

เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2545

วันที่	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	33.0	24.0	28.5	75	2.7
2	33.1	24.3	28.7	79	T
3	30.6	24.5	27.6	79	2.4
4	32.7	24.1	28.4	77	1.1
5	34.3	24.5	29.4	72	0.0
6	32.0	24.1	28.1	78	15.6
7	27.8	23.5	25.7	87	21.4
8	31.5	23.5	27.5	81	1.1
9	30.7	24.2	27.5	78	0.0
10	31.2	23.6	27.4	82	T
11	32.0	24.0	28.0	74	3.1
12	31.0	24.7	27.9	76	2.2
13	32.2	24.4	28.3	78	0.7
14	32.8	24.0	28.4	76	T
15	31.3	23.9	27.6	77	0.4
16	31.4	24.9	28.2	81	2.1
17	32.0	23.6	27.8	74	0.0
18	32.5	24.0	28.3	74	4.4
19	32.3	23.7	28.0	75	2.6
20	26.3	23.0	24.7	88	8.0
21	25.9	21.2	23.6	93	8.4
22	30.0	22.0	26.0	81	0.0
23	32.1	23.5	27.8	76	0.3
24	33.2	22.8	28.0	73	0.0
25	32.8	24.3	28.6	74	0.0
26	32.0	24.2	28.1	75	1.0
27	32.0	23.5	27.8	77	21.4
28	31.7	23.2	27.5	75	0.4
29	32.6	24.0	28.3	73	6.3
30	31.9	23.8	27.9	74	0.3
31	32.6	23.1	27.9	73	0.0
เฉลี่ย	31.5	23.7	27.7	78	105.9
รวม					

หมายเหตุ: T = Trace คือ ปริมาณฝนตกน้อยกว่า 0.1 มม.

ตารางผนวกที่ 31 (ต่อ)

เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2545

วันที่	อุณหภูมิ (°C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ฝน (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	32.0	23.6	27.8	76	11.4
2	29.3	23.1	26.2	80	2.3
3	32.2	23.4	27.8	74	10.7
4	32.5	23.3	27.9	76	0.0
5	32.6	23.7	28.2	75	1.2
6	30.9	24.4	27.7	78	4.0
7	31.8	24.3	28.1	75	0.0
8	32.7	24.2	28.5	73	0.0
9	32.2	23.8	28.0	70	0.0
10	30.4	23.8	27.1	80	22.5
11	32.3	23.5	27.9	76	T
12	32.4	23.9	28.2	76	T
13	32.2	24.0	28.1	76	5.6
14	31.2	23.4	27.3	77	T
15	29.8	23.9	26.9	79	4.5
16	29.6	23.2	26.4	82	6.0
17	30.9	23.1	27.0	80	T
18	33.6	23.5	28.6	76	14.2
19	31.6	23.3	27.5	75	7.1
20	33.4	22.9	28.2	72	3.4
21	29.8	23.0	26.4	79	T
22	30.0	22.7	26.4	80	24.5
23	26.4	23.1	24.8	89	11.4
24	30.9	23.4	27.2	79	4.8
25	32.3	23.1	27.7	76	T
26	32.7	23.3	28.0	75	5.2
27	32.5	23.9	28.2	75	25.9
28	31.0	22.5	26.8	78	5.5
29	29.1	23.0	26.1	83	2.6
30	33.6	23.3	28.5	76	0.0
31	34.6	22.7	28.7	69	0.5
เฉลี่ย	31.5	23.4	27.5	77	173.3
รวม					

หมายเหตุ: T = Trace คือ ปริมาณฝนตกน้อยกว่า 0.1 มม.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

นายศภาวะ ทองม่วง

เกิดเมื่อ

2 มีนาคม 2521

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2539 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเพชรพิทยาคม

จังหวัดเพชรบูรณ์

พ.ศ. 2543 ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สถาบัน

ราชภัฏเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์