ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา ปฐพีวิทยา

สาขา **ภาควิชา**

เรื่อง การตอบสนองของมันสำปะหลังที่ปลูกในดินจตุรัสต่อปุ๋ยฟอสฟอรัส

Response of Cassava Grown on a Chatturat Soil to Phosphorus Fertilizer

นามผู้วิจัย นางสาวปิยะนันท์ วิวัฒน์วิทยา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(อาจารย์ศุภิฌา ธนะจิตต์, ปร.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสาวนุช ถาวรพฤกษ์, ปร.ด.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การตอบสนองของมันสำปะหลังที่ปลูกในดินจตุรัสต่อปุ๋ยฟอสฟอรัส

Response of Cassava Grown on a Chatturat Soil to Phosphorus Fertilizer

โดย

นางสาวปิยะนันท์ วิวัฒน์วิทยา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปิยะนันท์ วิวัฒน์วิทยา 2555 : การตอบสนองของมันสำปะหลังที่ปลูกในดินจตุรัสต่อปุ๋ยฟอสฟอรัส ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์สุภิญา ธนะจิตต์, ปร.ด. 72 หน้า

ทำการศึกษาการตอบสนองของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสในอำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา ต่ออัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส 6 อัตราได้แก่ 0, 4, 8, 12, 16 และ 20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้กับผลผลิตที่คาดคะเนด้วยแบบจำลองการปลูกพืช เพื่อให้ได้อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสม วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 3 ซ้ำ ทุกตำรับการทดลองใส่ปุ๋ยอัตรา 20 กิโลกรัม N ต่อไร่ และ 20 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ แบ่งใส่ปุ๋ยทั้งหมด 2 ครั้ง ๆ ละเท่ากันเมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 และ 3 เดือน เก็บเกี่ยวผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตมันสำปะหลังที่อายุ 9 เดือน และทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในชีวมวลส่วนเหนือดินและในหัวมันสำปะหลังที่ได้จากการเก็บเกี่ยว

ผลการศึกษา พบว่า อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งผลให้น้ำหนักหัวมันสำปะหลังสดและการดูดใช้ฟอสฟอรัสไปสะสมในหัวมันสำปะหลังแตกต่างกันทางสถิติ การใส่ปุ๋ยอัตรา 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ได้น้ำหนักหัวมันสำปะหลังสดสูงสุดเท่ากับ 5.9 ตันต่อไร่ และมีแนวโน้มให้ผลผลิตแป้งสูงสุดเท่ากับ 1.8 ตันต่อไร่ การเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสกลับมีแนวโน้มให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังลดลงถึงแม้ว่าการใส่ปุ๋ยนี้ในอัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จะส่งผลให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสไปสะสมในหัวมันสำปะหลังสูงที่สุดก็ตาม

ดินที่ใช้ทำการศึกษามีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ระดับปานกลาง (15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) จึงทำให้มันสำปะหลังตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่ำเพียง 3.8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยให้ผลผลิตหัวมันสดเท่ากับ 4.9 ตันต่อไร่ เมื่อคาดคะเนจากสมการ Linear Response Plateau model (LRP) สมการนี้สามารถใช้คาดคะเนผลผลิตได้ใกล้เคียงกับผลผลิตจริงที่ได้จากแปลงทดลองเมื่ออัตราปุ๋ยที่ใส่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3.8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ แต่เมื่อใส่ปุ๋ยเพิ่มขึ้นในอัตรา 8-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ผลผลิตที่ประเมินได้มีค่าสูงกว่าผลผลิตที่ได้จริงอยู่ในพิสัยร้อยละ 60-128 ขณะที่สมการ Mitscherlich-Bray คาดคะเนผลผลิตหัวมันสำปะหลังได้ใกล้เคียงกับผลผลิตจริงที่ได้จากแปลงทดลองมากที่สุดในเกือบทุกอัตรา โดยเมื่อใส่ปุ๋ยในอัตรา 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จะได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดเท่ากับ 5.9 ตันต่อไร่ ส่วนโปรแกรม Phosphorus Decision Support System (PDSS) ไม่สามารถนำมาใช้คาดคะเนได้เนื่องจากให้ผลทำนายที่สูงกว่าผลผลิตที่ได้จริงมากเกินไป

_____ / _____ / _____

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Piyanun Wiwatwitthaya 2012 : Response of Cassava Grown on a Chatturat Soil to Phosphorus Fertilizer. Master of Science (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Miss Suphicha Thanachit, Ph.D. 72 pages.

A study was conducted to examine the response of cassava KU50 variety grown on a Chatturat soil in Sikheu district, Nakhon Ratchasima province to six rates (0, 4, 8, 12, 16 and 20 kg P_2O_5/rai) of P fertilizer and to compare to predicted yields obtained from various crop modelling. This was in order to gain the rate of P fertilizer suitable for growing cassava. Experimental design was Randomized Complete Block with three replications. All treatments received 20 kg N/rai and 20 kg K_2O/rai. All fertilizers were split equally and applied at one and three months after planting. Cassava yield and plant parameters were harvested and investigated at nine months of age. Phosphorus concentration and P uptake in above ground biomass and tuber were undertaken at the time of harvesting.

Result revealed that the rate of P fertilizer had statistically different effect on fresh tuber weight and P uptake in tuber. The application of 4 kg P_2O_5/rai resulted in the highest fresh tuber yield of 5.9 ton/rai and tended to give the highest starch yield of 1.8 ton/rai. An increase of P fertilizer tended to cause a reduction of tuber yield although the application at the rate of 16 kg P_2O_5/rai induced the highest accumulation of this nutrient in tuber.

Using Linear Response Plateau model (LRP), cassava responded to low rate of P fertilizer (3.8 kg P_2O_5/rai) giving fresh tuber yield of 4.9 ton/rai due to a moderate level (15 mg/kg) of available P. This model could effectively be used to predict the yield of cassava, which the yield predicted was similar to those obtained from the experiment when applied at the rate of less than or equal to 3.8 kg P_2O_5/rai. When increased the rates to 8-20 kg P_2O_5/rai, the predicted yield was 60-128% higher than that of the actual yield. Mitscherlich-Bray model was the best at predicting yield in almost all rates of P application compared to those retrieved from the experiment, especially at the rate of 4 kg P_2O_5/rai which gave the fresh tuber yield of 5.9 ton/rai. Phosphorus Decision Support System program (PDSS) could not be used for cassava yield prediction owing to predicted values being considerably higher than the actual yield.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ศุภิฌา ธนะจิตต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสาวนุช ถาวรพฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์และถูกต้อง ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม และดร. พิชิต พงษ์สกุล ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้วิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนูชัย กองแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักท่านแรก ที่อดทนและพยายามเข้าใจ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในเรื่องการเรียน การทำวิทยานิพนธ์ และในทุก ๆ เรื่อง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรทุกท่านในภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และเพื่อน ๆ พี่ ๆ กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร ที่ได้คอยให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในการเรียนและทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ชาย และน้องชาย ที่ได้คอยสนับสนุนช่วยเหลือในการศึกษาและเป็นกำลังใจที่ดีแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ คุณค่าและความดีอันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่บุพการี ครู อาจารย์ ญาติ และมิตรที่มีพระคุณต่อข้าพเจ้า

ปิยะนันท์ วิวัฒน์วิทยา

เมษายน 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	22
ผลและวิจารณ์	31
สรุปและข้อเสนอแนะ	50
สรุป	50
ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	52
ภาคผนวก	61
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	72

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อมูลพื้นฐานที่นำเข้าโปรแกรม PDSS	29
2	สมบัติของดินที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตรก่อนทำการทดลอง	31
3	ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังจากแปลงทดลองและจากการคาดคะเนโดยสมการ Linear Response Plateau model (LRP model)	44
4	ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังจากแปลงทดลองและจากการคาดคะเนโดยสมการ Mitscherlich-Bray	47
5	ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังจากแปลงทดลองและจากการคาดคะเนโดยโปรแกรม Phosphorus Decision Support System (PDSS)	47
6	เปรียบเทียบผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังจากแปลงทดลองและจากการคาดคะเนโดยสมการ Linear Response Plateau model (LRP model), Mitscherlich-Bray และ โปรแกรม Phosphorus Decision Support System (PDSS)	49

ตารางผนวกที่

1	ปริมาณน้ำฝนบริเวณพื้นที่ศึกษาตั้งแต่เดือนมกราคม - ธันวาคม พ.ศ. 2553	63
2	อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด - ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่เดือนมกราคม - เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553	64
3	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อความสูงของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	65
4	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	66

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

5	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อความเข้มข้นธาตุอาหารหลักของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	67
6	ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	68
7	เกณฑ์การประเมินพีเอชดิน (ดินต่อน้ำ = 1:1)	69
8	เกณฑ์การประเมินระดับอินทรียวัตถุและธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน	70
9	เกณฑ์การประเมินระดับด่างที่สกัดได้และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน	71

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการเจริญเติบโตกับการตอบสนองของพืชโดยใช้สมการ Mitscherlich	20
2	ปริมาณน้ำฝนบริเวณพื้นที่ศึกษาตั้งแต่เดือนมกราคม - ธันวาคม พ.ศ. 2553	23
3	อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด - ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่เดือนมกราคม - ธันวาคม พ.ศ. 2553	23
4	การคาดคะเนอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับมันสำปะหลัง ด้วยโปรแกรม PDSS	28
5	ความสูงของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	32
6	ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	33
7	น้ำหนักต้นและใบสดของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	34
8	ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	35
9	ร้อยละการสะสมแป้งของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	36
10	ผลผลิตแป้งของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	37
11	ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	38
12	ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่	40

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
13	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในชีวมวลส่วนเหนือดิน (ก) และผลผลิตหัวมันสด (ข) และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสกับการดูดใช้ฟอสฟอรัสในชีวมวลส่วนเหนือดิน (ค) และผลผลิตหัวมันสด (ง)	41
14	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ฟอสฟอรัสกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด (ก-ข) และความเข้มข้นของฟอสฟอรัสกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด (ค-ง)	42
15	การตอบสนองของผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดต่ออัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยใช้ Linear Response Plateau model (LRP model)	43
16	ความสัมพันธ์แบบเส้นแนวโน้มโพลิโนเมียลระหว่างอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังที่ได้จากการทดลองในแปลงทดลอง	46
17	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสัมพัทธ์โดยใช้ สมการ Mitscherlich-Bray	46

ภาพผนวกที่

1	เครื่องชั่งหาร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังด้วยหลักการแทนที่น้ำ	62

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตอบสนองของมันสำปะหลังที่ปลูกในดินจตุรัสต่อปุ๋ยฟอสฟอรัส

Response of Cassava Grown on a Chatturat Soil to Phosphorus Fertilizer

คำนำ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* (L.) Crantz.) เป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศเนื่องจากมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มากมาย รวมทั้งนำมาผลิตเป็นเอทานอลเพื่อใช้เป็นส่วนผสมทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง ในปี พ.ศ. 2552 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังทั้งหมดประมาณ 8.3 ล้านไร่ ได้ผลผลิตเฉลี่ย 3.6 ตันต่อไร่ แต่ในปี พ.ศ. 2553 ผลผลิตลดลงเนื่องจากการระบาดของเพลี้ยแป้ง ทำให้เหลือพื้นที่เพาะลูกทั้งหมดเพียง 7.7 ล้านไร่ และมีผลผลิตเฉลี่ยลดลงโดยมีค่าเพียง 3.3 ตันต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) อย่างไรก็ตามผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดที่ได้ในปัจจุบันยังจัดว่าอยู่ในระดับต่ำ และอาจไม่คุ้มทุนในบางพื้นที่ จึงจำเป็นต้องเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ให้สูงขึ้นรวมทั้งพยายามลดต้นทุนการผลิตลง โดยมีรายงานว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอจะทำให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากฟอสฟอรัสมีผลต่อการเจริญเติบโต รวมทั้งระบบรากโดยเฉพาะในช่วงแรกที่ช่วยให้มันสำปะหลังตั้งตัวได้ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อดัชนีพื้นที่ใบ และการสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลัง (Didier and Mabrouk, 1993) แต่ถ้าขาดฟอสฟอรัสจะส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง ออกดอกช้า ลำต้นแคระแกร็น และก้านใบสั้น (Howeler, 1981)

ในปัจจุบันคำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับมันสำปะหลังเป็นคำแนะนำแบบกว้าง ๆ ซึ่งปุ๋ยเคมีที่แนะนำให้ใช้จะมีสัดส่วนของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับ 2:1:2 เช่น สูตร 16-8-16 หรืออาจเป็นสูตรที่มีธาตุอาหารครบ เช่น 15-15-15 อัตราที่แนะนำจะอยู่ในพิสัย 50-100 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเป็นคำแนะนำสำหรับมันสำปะหลังทุกสายพันธุ์และในทุกสภาพพื้นที่ (ชุมพล และวัลลีย์, 2549) แต่ในความเป็นจริงแล้วความต้องการธาตุอาหารของมันสำปะหลังแต่ละสายพันธุ์นั้นมีความแตกต่างกัน ดินที่ใช้ปลูกมันสำปะหลังแต่ละบริเวณมีสมบัติแตกต่างกัน รวมทั้งระดับความอุดมสมบูรณ์และความต้องการในการจัดการแตกต่างกัน นอกจากนี้ปุ๋ยที่ใส่ลงไปในพื้นที่มีความเป็นประโยชน์ผันแปรไปตามชนิดของดิน สภาพภูมิอากาศ และสภาพพื้นที่ ซึ่งจำเป็นต้องมีการให้คำแนะนำที่เฉพาะเจาะจงลงไปในแต่ละพื้นที่ จึงจะทำให้การให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงนำโปรแกรม Phosphorus Decision Support System (PDSS) (Yost *et al*.,

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1992), Mitscherlich-Bray equation (Mitscherlich, 1909) และ Linear Response Plateau model (LRP model) (Waugh *et al*., 1973) มาช่วยในการคาดคะเนอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่จำเพาะสำหรับพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง ซึ่งน่าจะเป็นวิธีการที่สามารถคาดการณ์ความต้องการปุ๋ยฟอสฟอรัสของมันสำปะหลังได้แม่นยำและมีประสิทธิภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการตอบสนองของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ ที่ปลูกในดินจตุรัส

2. เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของผลผลิตมันสำปะหลังที่ได้จากการคาดคะเนโดยใช้แบบจำลองการปลูกพืชกับผลผลิตที่ได้จากการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับมันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (cassava) จัดเป็นพืชหัวชนิดหนึ่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz. และมีชื่อสามัญเรียกหลายชื่อตามภาษาต่าง ๆ ได้แก่ Cassava, Yuca, Mandioa, Manioc, Tapioca เป็นต้น มันสำปะหลังมีแหล่งกำเนิดแถบที่ลุ่มเขตร้อน (low land tropics) ของทวีปอเมริกา ตั้งแต่ประเทศเม็กซิโก กัวเตมาลา ฮอนดูรัส เปรู โบลิเวีย และบราซิล มันสำปะหลังได้แพร่ขยายไปทั่วทวีปอเมริกาแถบร้อน โดยชาวอินเดีย ต่อมาในคริสต์ศตวรรษที่ 17 ได้ขยายไปสู่แหล่งอื่น ๆ ของโลก โดยชาวโปรตุเกสและชาวสเปน (โสภณ, 2526) สำหรับประเทศไทยยังไม่มีหลักฐานที่แน่นอนว่ามีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกเมื่อใด คาดว่าคงจะเข้ามาในระยะเดียวกับที่เข้าสู่ประเทศศรีลังกา และฟิลิปปินส์ คือประมาณ พ.ศ. 2329-2383 เดิมทีเรียกว่ามันสำโรง มันไม้ และมันสำปะหลัง ซึ่งคำว่าสำปะหลัง คล้ายกับภาษาชวาตะวันตก ที่เรียกมันสำปะหลังว่า สัมเปอ (sampeu) ดังนั้นคำว่า สำปะหลัง อาจจะมาจาก คำว่า สัมเปอ ของชวาตะวันตก (เจริญศักดิ์, 2532)

การปลูกมันสำปะหลังเป็นการค้าในประเทศไทย เพื่อใช้ทำแป้งและสาคูในภาคใต้ โดยเฉพาะจังหวัดสงขลามีอุตสาหกรรมทำแป้งและสาคูจำหน่ายไปยังปีนังและสิงคโปร์ เป็นเวลามากกว่า 70 ปีแล้ว แต่การปลูกมันสำปะหลังทางภาคใต้ค่อย ๆ หมดไป ต่อมาได้มีการปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออก คือ จังหวัดชลบุรี ระยอง และจังหวัดใกล้เคียง ต่อมาความต้องการของตลาดในด้านผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเพิ่มขึ้นเนื่องจากใช้ในการเลี้ยงสัตว์และอุตสาหกรรม จึงมีการขยายพื้นที่ปลูกไปยังจังหวัดอื่น ๆ โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (วิจารณ์, 2531) ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังทั้งหมดประมาณ 8.3 ล้านไร่ โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดของประเทศครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 52 ของพื้นที่ทั้งประเทศ รองลงมาได้แก่ ภาคกลางซึ่งรวมภาคตะวันออกและภาคตะวันตกไว้ด้วย โดยมีพื้นที่ประมาณร้อยละ 30 ของพื้นที่ทั้งประเทศ และภาคเหนือ มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 17 ของพื้นที่ทั้งประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) นอกจากนี้ความต้องการมันสำปะหลังมีเพิ่มมากขึ้นทุกปี เพื่อใช้เป็นพืชพลังงาน สำหรับการผลิตเอทานอล นำไปใช้ในการผลิต bio-diesel ทดแทนการนำเข้าน้ำมันอีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.1 ชนิดของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

1. ชนิดหวาน เป็นมันสำปะหลังที่ใช้เพื่อการบริโภค มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิค (HCN) ต่ำ ไม่มีรสขม สามารถใช้ทำอาหารได้โดยตรง เช่น ต้ม ปิ้ง หรือเผา ที่พบในบ้านเรามี 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ห้านาที หรือมันก้านแดง และพันธุ์ระยอง 2 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตรปรับปรุงขึ้นมาใช้สำหรับทอดเป็นแผ่นบางเช่นเดียวกับ potato chips (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

2. ชนิดขม เป็นมันสำปะหลังที่มีรสขม มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิค (HCN) สูง มีผู้นิยมปลูกมากที่สุดรวมเนื้อที่หลายล้านไร่ เป็นชนิดที่ปลูกเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับผลิตเป็นมันเส้น มันอัดเม็ด และแป้ง แต่เดิมปลูกพันธุ์เดียวคือ พันธุ์ดั้งเดิมที่มีผู้นำเข้ามาในประเทศเป็นเวลานาน ผ่านการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีจนจัดเป็นพันธุ์พื้นเมือง ต่อมากรมวิชาการเกษตรได้ทำการคัดเลือกพันธุ์จากแหล่งปลูกทั่วไป พบว่า พันธุ์ที่ปลูกในจังหวัดระยองให้ผลผลิตดีที่สุด จึงตั้งชื่อใหม่ว่า พันธุ์ระยอง 1 ลักษณะทรงต้นสูงใหญ่แข็งแรง ความงอกดี เก็บต้นไว้ทำพันธุ์ได้นาน ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง ต้านทานต่อโรคและแมลงได้ดี แต่มีร้อยละการสะสมแป้งต่ำโดยเฉพาะในฤดูฝน ต่อมามีการพัฒนาปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง เช่น พันธุ์ระยอง พันธุ์ศรีราชา พันธุ์ห้วยบง และพันธุ์เกษตรศาสตร์ เป็นต้น (อัจฉรา และ จรุงสิทธิ์ , 2537)

1.2 ฤดูปลูกมันสำปะหลัง

ช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลังเริ่มตั้งแต่ช่วงต้นฤดูฝนประมาณเดือนเมษายน – พฤษภาคม อย่างไรก็ตามสำหรับบางปีที่มีฝนเพียงพอในช่วงเดือนกุมภาพันธ์หรือมีนาคมก็สามารถปลูกมันสำปะหลังได้ และในปลายฤดูฝนประมาณเดือนตุลาคม - ธันวาคม (ก่อนที่ฝนจะหมด) มันสำปะหลังที่ปลูกในช่วงต้นฤดูฝนจะเจริญเติบโตสม่ำเสมอกว่ามันสำปะหลังที่ปลูกปลายฤดูฝน เนื่องจากการปลูกในปลายฤดูฝนมันสำปะหลังจะติดแล้งในช่วงแรกของการเจริญเติบโต มันสำปะหลังที่ปลูกต้นฤดูฝนจะมีหัวขนาดเล็ก เรียวยาว มีจำนวนหัวมากเพราะหัวมันออกเป็นชั้น ๆ ส่วนมันสำปะหลังที่ปลูกปลายฤดูฝนจะมีหัวขนาดใหญ่ ป้อม แต่ไม่ค่อยดก อย่างไรก็ตามการปลูกในช่วงปลายฤดูฝนจะมีวัชพืชน้อยกว่าในช่วงต้นฤดูฝน รวมทั้งช่วยอนุรักษ์ดินและป้องกันการกร่อนดินจากอิทธิพลของเม็ดฝนและน้ำไหลบ่า แต่การปลูกปลายฤดูฝนจะแนะนำให้ปลูกในพื้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ดินเป็นทรายหรือดินร่วนปนทราย แต่ไม่แนะนำให้ปลูกในพื้นที่ดินค่อนข้างเหนียว ซึ่งเมื่อกระทบแล้งดินจะรัดตัวแน่นและแข็ง ทำให้มันสำปะหลังตาย (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

1.3 การเจริญเติบโตและพัฒนาการของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มยืนต้นมีการเจริญเติบโตไม่สิ้นสุด มีช่วงการเจริญเติบโตทางต้นใบ สลับกับการสะสมแป้งในราก บางครั้งมีระยะพักตัวขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และปัจจัยการผลิต เช่น อุณหภูมิต่ำ แล้ง ฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานาน มีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างชีวมวลรวมและหัว (Ramanujam, 1990)

การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังแตกต่างจากพืชชนิดอื่น ๆ โดยมันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตในส่วนต้นและใบต่อเนื่องไปพร้อม ๆ กัน ทำให้เกิดการแย่งสารอาหาร ซึ่งรูปแบบการเจริญเติบโตแบ่งออกเป็น 5 ระยะ ดังนี้

1. Establishment phase คือ ระยะที่ลำต้นเริ่มแตกออกมาจากท่อนพันธุ์จะเริ่มมีการสร้างใบ โดยใช้ระยะเวลา 10-12 วันหลังปลูก โดยใบแรกจะแผ่ขยายเต็มที่หลังจากงอกประมาณ 30 วัน และเริ่มมีการเจริญเติบโตทางลำต้น (สมลักษณ์, 2551)

2. Storage roots initiation คือ ระยะที่รากเริ่มพองออก เนื่องจากเริ่มมีการสะสมสารอาหารในราก เป็น การพัฒนาของใบและระบบรากเริ่มต้นโดยใช้ระยะเวลา 15-90 วันหลังปลูก เมื่อใบแรกแผ่เต็มที่หลังจากงอกประมาณ 30 วันจะเริ่มมี การเจริญเติบโตทางลำต้นและรากโดยใช้อาหารที่เก็บสะสมไว้ในท่อนพันธุ์ นอกจากนี้ในช่วง 30 วันหลังปลูก รากฝอยจะเริ่มเจริญเติบโตและแผ่กระจายในดินลึก 40-50 เซนติเมตร ซึ่งเป็นบริเวณราก (root zone) ที่พืชดูดน้ำและธาตุอาหารในดิน (Conceicao, 1979)

3. First bulking คือ ระยะที่รากหาอาหารและน้ำ และรากฝอยจะเริ่มเปลี่ยนเป็นรากสะสมอาหาร สามารถมองเห็นและแยกออกจากกันได้ชัดเจน ในระยะ 60-90 วันหลังงอกจะเป็นการพัฒนาของลำต้นและใบ ต่อมาในระยะ 90-180 วันหลังปลูกโดยในช่วงนี้จะมีอัตราการเจริญเติบโตของใบและลำต้นสูงสุด ต่อมาประมาณ 120-300 วันหลังปลูกมันสำปะหลังจะเริ่มมีการแตกกิ่งและทรงพุ่ม ใบในทรงพุ่มสามารถรับแสงได้ทั้งหมด ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่ที่สุด การสังเคราะห์แสงและ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนใบและลำต้นสูงที่สุด การสะสมอาหารในรากเกิดขึ้นสูงสุดเช่นกัน (Veltkamp, 1985)

4. Dormancy คือ ระยะพักตัว ได้แก่ช่วง 300-360 วันหลังปลูก อัตราการเกิดใบลดลง จะมีการทิ้งใบ ดังนั้นการเจริญเติบโตจะมีการชะงักในช่วงนี้ แต่ยังคงมีการเคลื่อนย้ายแป้งไปเก็บไว้ในราก และการสะสมน้ำหนักแห้งในรากสูงสุด ระยะพักตัวนี้เกิดเนื่องจากความชื้นในดินต่ำ (Conceicao, 1979) ซึ่งช่วงนี้เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสม สำหรับการเก็บเกี่ยวผลผลิตหัวมันสด

5. Recovery คือ ระยะฟื้นตัว หลังจากพักตัว มันสำปะหลังจะมีการแตกใบใหม่หลังจากได้รับน้ำ เริ่มฟื้นตัวจากการทิ้งใบเพราะฝนทิ้งช่วง มีการดึงสารอาหารจากหัวมาสร้างทรงพุ่มใหม่ ในระยะนี้ (สมลักษณ์, 2551)

1.4 การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง

รากมันสำปะหลังจะเริ่มพองเป็นหัวเมื่ออายุประมาณ 2 เดือน และจะเจริญเติบโตต่อไปโดยมีการสะสมแป้งมากขึ้น เมื่อมันสำปะหลังมีอายุมากขึ้นผลผลิตก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย มันสำปะหลังสามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่อายุ 8-18 เดือน แต่จะให้ผลผลิตน้ำหนักแห้ง และร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสดสูงสุดเมื่ออายุมากกว่า 12 เดือนขึ้นไป ไม่ควรเก็บเกี่ยวในช่วงที่มีฝนตกชุก เนื่องจากหัวมันสำปะหลังจะมีร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสดต่ำ อย่างไรก็ตามผลผลิตที่อายุ 12 เดือน จะมีคุณภาพตรงกับความต้องการของตลาด และช่วยให้การปลูกในฤดูถัดไปอยู่ในช่วงฤดูฝน แต่โดยทั่วไปเกษตรกรนิยมเก็บเกี่ยวเมื่อราคามันสำปะหลังในตลาดสูง และนอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงแรงงานที่จะใช้เก็บเกี่ยวด้วย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2537)

1.5 ลักษณะทั่วไปของมันสำปะหลัง พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

การศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นตัวแทน มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีชื่อเดิมว่า MKUC 28 - 77 - 3 ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ระยอง 1 และพันธุ์ระยอง 90 โดยสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี มีทรงต้นสูง ดูแลรักษาง่าย ต้นพันธุ์แข็งแรงมีความงอกดีและเก็บรักษาได้นาน ร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสดสูง แต่มักแตกกิ่งซึ่งเกิดจากการที่มีลำต้นโค้งและกิ่งทำมุมกว้าง จึงทำให้ไม่สะดวกในการปฏิบัติดูแลรักษาและเก็บเกี่ยว ส่วนใหญ่ไม่พบการติดดอกออกผลภายใน 1 ปี ดอกและผลไม่ดก และมีลักษณะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประจำพันธุ์ คือ ยอดอ่อนมีสีม่วง ไม่มีขน ใบที่เจริญเต็มที่สีเขียวอมม่วง ต้นสูงประมาณ 2.0 - 3.0 เมตร ลำต้นโค้ง มีสีเทาเงิน แตกกิ่งน้อย หัวมีขนาดสม่ำเสมอ เปลือกสีน้ำตาล และเนื้อสีขาว (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2537)

2. ฟอสฟอรัสในดิน

2.1 ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน

โดยทั่วไปในดินจะมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำมากเมื่อเทียบกับปริมาณของไนโตรเจนและโพแทสเซียม โดยเฉลี่ยแล้วจะมีฟอสฟอรัสในดินร้อยละ 0.06 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนและโพแทสเซียมเท่ากับร้อยละ 0.14 และ 0.83 ตามลำดับ (Havlin *et al*., 2005) ซึ่งดินที่ใช้ในสำหรับทำการเกษตรจะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ประมาณ ร้อยละ 0.02 (Chang and Jackson, 1957; Sanchez, 1976) ในดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าดินเนื้อหยาบ (Tisdale and Nelson, 1975; Brady and Weil, 2008) ดินบนจะมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าชั้นดินล่างที่มีรากพืชแพร่กระจายอยู่ เนื่องจากพืชจะดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสในระยะใกล้รากมากกว่าในระดับผิวดิน และในระดับผิวดินฟอสฟอรัสบางส่วนจะได้จากการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ (Tisdale and Nelson, 1975; Sanchez, 1976; Howeler, 1981) รวมทั้งอาจเป็นผลตกค้างจากการใส่ปุ๋ย (Sharma *et al,*. 1992) ถึงแม้ว่าในชั้นดินบนอาจมีการสูญเสียฟอสฟอรัสโดยติดไปกับตะกอนดินรวมทั้งการชะละลายลงสู่ชั้นดินล่าง แต่ปริมาณที่พืชดูดใช้ฟอสฟอรัสจากในดินชั้นล่างมีมากกว่า (Tisdale and Nelson, 1975) รวมทั้งฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่ง่ายต่อการถูกตรึงโดยธาตุอื่น ดังนั้นจึงควรใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้ใกล้กับรากพืชเพื่อให้พืชดูดใช้ได้ง่าย (มุกดา, 2544)

2.2 รูปของฟอสฟอรัสในดิน

ฟอสฟอรัสจะปรากฏในดินในรูปของสารประกอบที่เรียกว่า ออร์โทฟอสเฟต เมื่อมีการแตกตัวออกไปจะเรียกว่า ฟอสเฟตไอออน โดยมาจากแหล่งใหญ่ 2 แหล่ง ได้แก่

1. อินทรีย์ฟอสเฟต ได้แก่ ฟอสเฟตที่เป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตในดิน ที่มาจากการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ มีมากมายหลายชนิดและที่มีในปริมาณมากมักอยู่ในรูป inositol hexaphosphate หรือ phytin ซึ่งเป็นเกลือของแคลเซียม-แมกนีเซียมของกรดไฟติกมีประมาณร้อยละ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

30-60 นอกจากนี้ยังอยู่ในรูป phospholipids ประมาณร้อยละ 0.1-5 และ nucleic acids ประมาณร้อยละ 1-10 (มุกดา, 2544)

2. อนินทรีย์ฟอสเฟต ได้แก่ aluminum phosphate (Al-P), iron phosphate (Fe-P), calcium phosphate (Ca-P) และ reductant soluble phosphate (Re-P) (Chang and Jackson, 1957) โดยปริมาณของอนินทรีย์ฟอสเฟตจะขึ้นอยู่กับพีเอชเป็นสำคัญ ซึ่งในดินกรดมักพบในรูปเหล็กฟอสเฟต (Fe-P) และอะลูมินัมฟอสเฟต (Al-P) ส่วนในดินที่เป็นกลางและด่างมักพบในรูปแคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P) (Havlin *et al*., 2005)

2.3 การตรึงฟอสฟอรัสในดิน

การตรึงฟอสฟอรัสในดินเป็นการเปลี่ยนฟอสฟอรัสจากรูปที่ละลายได้ง่ายไปอยู่ในรูปที่ละลายได้ยากขึ้น การใส่ปุ๋ยเคมีที่มีธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบลงไปในดิน ปุ๋ยเคมีจะปลดปล่อยฟอสเฟตไอออนที่ละลายง่ายออกมาอยู่ในสารละลายดิน ซึ่งปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยแค่ไหน ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งกระบวนการตรึงฟอสฟอรัสในดินที่สำคัญมีดังนี้

2.3.1 การตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation)

เป็นการทำปฏิกิริยากันระหว่างฟอสเฟตไอออนในสารละลายดินกับแคตไอออนของเหล็ก อะลูมินัม แมงกานีส แคลเซียม และแมกนีเซียม แล้วตกตะกอนเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ในดินกรดฟอสเฟตไอออนจะทำปฏิกิริยากับไอออนของเหล็ก อะลูมินัม และแมงกานีส ส่วนในดินด่างฟอสเฟตไอออนจะทำปฏิกิริยากับไอออนของแคลเซียม และแมกนีเซียม (Hsu, 1964; Tisdale and Nelson, 1975; Bohn *et al.,* 2001)

2.3.2 ปรากฏการณ์การดูดยึด (adsorption phenomena)

เป็นปรากฏการณ์ที่ฟอสเฟตไอออนถูกดูดซับที่ผิวของแร่ดินเหนียว หรือ sesquioxide ด้วยแรง electrostatic bonding เมื่อดินเหล่านี้เป็นกรดและเกิดการเติมโปรตอน (protonation) ทำให้ประจุลบของฟอสเฟตไอออนถูกดูดยึดกับประจุบวกของแร่ดินเหนียว หรือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

sesquioxide ซึ่งไม่สามารถสกัดได้ด้วยสารละลายเกลือที่เป็นด่าง (Haseman *et al*., 1950; Sample *et al.*, 1980; Bohn *et al.*, 2001)

2.3.3 ปฏิกิริยาแทนที่ด้วยไอออนที่มีขนาดไอออนเท่ากัน (isomorphous replacement reaction)

ไอออนฟอสเฟตในสารละลายดินทำปฏิกิริยาแทนที่ hydroxyl หรือ silicate ที่ผลึกของแร่ดินเหนียว ทำให้โครงสร้างของผลึกไม่คงที่อยู่อย่างเดิม เพราะขนาดของไอออนฟอสเฟตกับไอออนที่แทนที่ไม่เท่ากัน ต้องมีการจัดเรียงตัวใหม่เพื่อให้ได้โครงสร้างและรูปร่างของผลึกที่คงที่ ไอออนฟอสเฟตจึงถูกจับติดแน่นเป็นองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวชนิดใหม่อย่างถาวร ดังนั้นฟอสเฟตจำนวนนี้ ก็จะถูกตรึงโดยที่ไม่มีโอกาสหลุดออกมาอยู่ในสารละลายดินอีก นอกจากแร่ดินเหนียวชนิดใหม่นี้จะถูกทำให้สลายตัว (Syer *et al.*, 1986; Bohn *et al.*, 2001)

2.4 บทบาทและความสำคัญของฟอสฟอรัสต่อพืช

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารมหัพภาค (macronutrient) ซึ่งพืชต้องการฟอสฟอรัสประมาณร้อยละ 0.3-0.5 โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อให้การเจริญเติบโตในระยะวัฒนภาค (vegetative stage) เป็นไปตามปกติ (ยงยุทธ, 2546; Havlin *et al*., 2005) เนื่องจากฟอสฟอรัสมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของลำต้น ใบ ระบบรากโดยเฉพาะในช่วงแรก ซึ่งจะส่งผลต่อผลผลิต (Didier and Mabrouk, 1993) นอกจากนี้ธาตุฟอสฟอรัสยังช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียม ทั้งยังส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากแขนงและรากฝอย

ฟอสฟอรัสมีบทบาทเกี่ยวกับการสะสมและปลดปล่อยพลังงานในกระบวนการเมแทบอลิซึม ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในพืช จะกระตุ้นการออกดอกและเจริญเป็นผลในระยะเวลาที่เหมาะสม ส่งผลให้ผลผลิตของพืชสุกเร็วขึ้น ทั้งยังช่วยเพิ่มความต้านทานต่อโรคบางชนิดและลดอิทธิพลของไนโตรเจนซึ่งมีผลทำให้พืชอ่อนแอได้ แต่หากได้รับในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้พืชจะแก่เร็วกว่าจะเร่งการสุกของผลให้เร็วขึ้นเนื่องจากไปลดการดูดธาตุไนโตรเจนปกติ (สรสิทธิ์ 2518; Bandel *et al*., 2000) พืชจะแตกยอดอ่อนได้เร็ว แต่ใบเล็ก ข้อสั้น แกร็น (มุกดา, 2544)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังเป็นองค์ประกอบของอินทรียสารที่สำคัญในพืช จึงมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนี้ (มุกดา, 2544)

1. องค์ประกอบในสารประกอบฟอสเฟต เช่น อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) ที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานระหว่างสารในกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด ได้แก่ การสังเคราะห์แสง การหายใจ การแบ่งเซลล์ และในกระบวนการแปรรูปของสารต่าง ๆ

2. องค์ประกอบสำคัญในกรดนิวคลีอิค เช่น RNA และ DNA ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของยีนบนโครโมโซม และในนิวคลีโอโปรตีนที่อยู่บนโครโมโซม ซึ่งเกี่ยวข้องในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตนั้น

3. องค์ประกอบสำคัญของไฟติน อันเป็นสารประกอบพวกเกลือของแคลเซียมกับแมกนีเซียมของกรดไฟติก (phytic acid) ซึ่งทำหน้าที่ในการกักเก็บสะสมอาหารสำรองไว้ในเมล็ดพืช สำหรับใช้ในการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อน

4. องค์ประกอบในโครงสร้างของฟอสโฟลิปิด (phospholipids) มีบทบาทต่อการสร้างเสถียรภาพของเยื่อต่าง ๆ ของพืช ทำให้เซลล์ของพืชแข็งแรงขึ้น

5. มีผลเกี่ยวข้องกับการสะสมแป้งในพืชหัว โดยมีการสะสมฟอสฟอรัสในแป้ง ซึ่งเป็นกลไกที่จะจัดสัดส่วนที่เหมาะสมของอนินทรีย์ฟอสเฟต และจะเป็นผลต่อเนื่องในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลมาใช้ประโยชน์ในระหว่างการเจริญเติบโตของตาและพืชหัวที่จะเจริญเป็นต้นอ่อนต่อไป

สำหรับกรณีที่พืชได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอพืชจะแสดงอาการแก่ช้ากว่าปกติ ลำต้นแคระแกร็นไม่สมบูรณ์ ใบร่วงก่อนแก่ ออกดอกช้า จำนวนดอก ดอกและผลไม่สมบูรณ์ ผลและเมล็ดลดลง ผลสุกก่อนแก่ อายุการเก็บเกี่ยวช้า (สรสิทธิ์ 2518; Bandel *et al*., 2000; Havlin *et al*., 2005) ซึ่งสัมฤทธิ์ (2538) พบว่า แครอทจะมีเนื้อแข็งกระด้าง ทำให้ผลผลิตของพืชหัวมีคุณภาพต่ำ แต่ในพืชตระกูลถั่วที่ได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอจะมีการกระจายคาร์โบไฮเดรตลงสู่รากมากกว่าปกติ ทำให้มีการเจริญเติบโตในส่วนของรากขณะที่ได้หยุดการเจริญเติบโตทางลำต้น เนื่องจากลักษณะทางสรีระของรากที่รักษาสภาพรากไว้เพื่อการดูดหาอาหารมาเพิ่มเติม (Smith *et al*., 1990)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นอกจากนี้การขยายขนาดจะช้า และจำนวนใบน้อยกว่าปกติ เพราะเซลล์ชั้นผิวมีฟอสฟอรัสต่ำจึงมีผลต่อการลดการขยายตัวของเซลล์พืช (ยงยุทธ, 2546) ส่วนในไม้ผลบางชนิดหากได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ เช่น ส้ม จะลดความหนาแน่นของใบ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้คุณภาพของส้มไม่ดี มีกรดมาก และผลร่วงก่อนแก่ (สัมฤทธิ์, 2538) และในบางกรณีอาจมีลำต้นหรือเถาบิดเป็นเกลียว เนื้อไม้แข็งแต่เปราะ และหักง่าย ทำให้พืชพวกธัญพืชมักหักล้มได้ง่ายกว่าปกติ (Tisdale and Nelson, 1975) ข้าวโพดที่ได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอจะแสดงลักษณะสีม่วงขึ้นในใบล่าง แต่หากได้รับฟอสฟอรัสมากไปอาจทำให้ผลผลิตลดลง เพราะฟอสฟอรัสทำให้พืชแก่เร็วกว่าปกติ ในขณะที่พืชยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่ จึงทำให้การเจริญเติบโตของพืชที่เป็นส่วนเหนือดินลดลง (ดานุ, 2544)

ชุมพล และ วัลลีย์ (2549) ได้รายงานว่าในแต่ละฤดูการผลิต มันสำปะหลังมีความต้องการไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมอยู่ในพิสัย 10-20, 6-10 และ 8-12 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามหากมันสำปะหลังได้รับไนโตรเจนมากเกินไปจะทำให้การสะสมแป้งในหัวมันลดลง (เจริญศักดิ์, 2532) ถึงแม้มันสำปะหลังจะดูดใช้ฟอสฟอรัสในปริมาณที่น้อยกว่าไนโตรเจน และโพแทสเซียม แต่ฟอสฟอรัสมีบทบาทที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและผลผลิตอย่างยิ่ง รวมทั้งระบบรากโดยเฉพาะในช่วงแรกที่ช่วยให้มันสำปะหลังตั้งตัวได้ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อดัชนีพื้นที่ใบและการสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลัง (Didier and Mabrouk, 1993) โดยการขาดธาตุฟอสฟอรัสในมันสำปะหลังจะทำให้การเจริญเติบโตลดลง การออกดอกช้า ลำต้นแคระแกร็น และก้านใบ สั้น (Howeler, 1981) แต่มันสำปะหลังก็สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีฟอสฟอรัสต่ำ ๆ ได้ (Didier and Mabrouk, 1993)

พืชจะดูดใช้ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ในรูปโมโนฟอสเฟตไอออน ($H_2PO_4^-$) มากกว่าไดฟอสเฟตไอออน (HPO_4^{2-}) และไตรฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-}) (ยงยุทธ, 2546) พืชมักต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณสูงในระยะแรกของการเจริญเติบโตและลดลงเมื่อพืชเจริญเติบโตมากขึ้น พืชที่ได้รับฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากฝอยและรากแขนงในระยะแรกของการเจริญเติบโต ช่วยทำให้ลำต้นและระบบรากพืชแข็งแรงมีความทนทานต่อการหักล้มและต้านทานโรคได้ดี (Tisdale and Nelson, 1975) เนื่องจากในระยะแรก ๆ พืชจะดูดฟอสฟอรัสไปสะสมไว้ที่ลำต้น และใบแล้วจึงส่งไปยังผล (มุกดา, 2544)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.5 ประสิทธิภาพของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการแก้ไขปัญหาการขาดฟอสฟอรัสของพืช

การใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย จึงจะทำให้การใช้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพสูงสุด และให้ผลตอบแทนคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ซึ่งการใส่ปุ๋ยเพื่อให้พืชดึงดูดไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ทันทีที่ใส่ปุ๋ยลงไปอยู่ในดิน การเปลี่ยนแปลงและการเคลื่อนย้ายของปุ๋ยจะเกิดขึ้นทันที (จำลอง, 2547; Prasad *et al*., 1997) โดยทั่วไปแล้วดินในเขตร้อน การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าร้อยละ 10 ของปริมาณปุ๋ยที่ใส่ลงดิน เนื่องจากฟอสฟอรัสที่ได้ที่ทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับธาตุต่าง ๆ ในดิน เช่นถูกตรึงโดยธาตุเหล็ก แคลเซียม หรืออะลูมินัม และถูกดูดยึดไว้โดยแร่ดินเหนียว (clay mineral) ทำให้ความเป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง (Sample *et al.*, 1980; Dev, 1992; Bohn *et al.*, 2001) ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำจะเคลื่อนย้ายจากจุดเดิมเป็นระยะทางใกล้ ๆ ในรัศมี 1-5 เซนติเมตรเท่านั้น (จำลอง, 2547; Sample *et al.*, 1980) การใส่บนผิวดินจะเป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยกว่าใส่ใต้ผิวดินในบริเวณที่รากจะแพร่กระจายไปถึงเนื่องจากฟอสฟอรัสมักสูญหายไปกับตะกอนดินและน้ำไหลบ่าหน้าผิวดิน ดังนั้นประสิทธิภาพของปุ๋ยฟอสฟอรัสจึงขึ้นอยู่วิธีการใส่ปุ๋ยเป็นสำคัญ โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสให้กับพืช จึงต้องให้อยู่ใกล้รากมากที่สุดแต่ไม่เป็นอันตรายกับพืช โดยวัลลีย์ และ คณะ (2549) ทำการศึกษาวิธีการใส่ปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9 ที่ปลูกในดินทรายปนร่วน จังหวัดชลบุรี พบว่าการใส่ปุ๋ย 15-7-18 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วทำการกลบจะทำให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังเพิ่มร้อยละ 10 เมื่อ เปรียบเทียบกับการไม่กลบปุ๋ย และเมื่อใช้ในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ จะทำให้ผลผลิตหัวมันสดเพิ่มขึ้นร้อยละ 26 เมื่อ เปรียบเทียบกับอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่

CIAT (1976) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะมีอิทธิพลต่อการสร้างต้นและใบมากกว่าการสร้างระบบราก และพบว่าค่า Harvest Index (HI) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักรากต่อน้ำหนักต้นทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสจาก 0 เป็น 100 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ อย่างไรก็ตามถ้ามีการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงกว่านี้แล้วจะส่งผลให้ค่า HI ลดลง และยังพบว่าผลผลิตหัวมันสำปะหลังจะเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยที่ใส่โดยมีผลผลิตหัวมันสำปะหลังจาก 4.2 เพิ่มขึ้นเป็น 7.6 ตันต่อไร่ สอดคล้องกับการศึกษาของ Krochmal and Samuels (1970) ที่รายงานว่า ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราสูง ๆ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเพิ่มผลผลิตของหัวมันสำปะหลัง Stephen (1960) พบว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 120 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จะได้ผลผลิตเท่ากับ 1.9 ตันต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ได้ผลผลิตเท่ากับ 0.4 ตันต่อไร่ ขณะที่การศึกษาของโชติ และ คณะ (2523) ที่ศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทย พบว่าการใส่ปุ๋ยอัตราใน 8-16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ก็เพียงพอสำหรับการยกระดับผลผลิตมันสำปะหลังที่ปลูกในดินร่วนปนทราย แต่ในดินร่วนเหนียวสีแดงหรือสีน้ำตาลที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้สูงกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจไม่จำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มเติม

สถาบันวิจัยพืชไร่ (2535) ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่าง ๆ (0, 8, 16 และ24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่) ต่อมันสำปะหลังที่ปลูกในดินชุดดินต่าง ๆ พบว่า น้ำหนักสดของต้นและใบของมันสำปะหลังที่ปลูกในดินชุดดินสัตหีบ ชุดดินห้วยโป่ง ชุดดินยโสธร จะตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ให้เพิ่มขึ้น ขณะที่มันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินโคราชนั้น จะไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ นอกจากนี้ การใส่ฟอสฟอรัสในอัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีแนวโน้มให้ร้อยละการสะสมแป้งของหัวมันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินห้วยโป่ง และโคราชเพิ่มขึ้น แต่มันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินสัตหีบกลับมีแนวโน้มสะสมแป้งในหัวมันลดลง สมพงษ์ (2541) พบว่า การใส่หินฟอสเฟตในอัตรา 200 กิโลกรัมต่อไร่ จะให้ผลผลิตหัวมันสดสูงขึ้นถึงร้อยละ 43 เมื่อเทียบกับการไม่ใส่หินฟอสเฟต

เนื่องจากมันสำปะหลังจะดูดใช้ฟอสฟอรัสในปริมาณที่น้อยกว่าไนโตรเจน และโพแทสเซียม ในประเทศไทยปัจจุบันคำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับมันสำปะหลังทุกสายพันธุ์และในทุกสภาพพื้นที่ จะมีสัดส่วนของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับ 2:1:2 เช่น สูตร 16-8-16 หรือเป็นคำแนะนำแบบกว้าง ๆ ที่มีธาตุอาหารครบ เช่น 15-15-15 หรือ 16-16-16 (กรมวิชาการเกษตร, 2551) โดยอัตราที่แนะนำให้ใช้นั้นจะอยู่ในพิสัย 50-100 กิโลกรัมต่อไร่ ขึ้นอยู่กับลักษณะเนื้อดิน เช่น ดินทราย ดินเหนียว (ชุมพล และ วัลลีย์, 2549; กรมวิชาการเกษตร, 2551) แต่ไม่เฉพาะเจาะจงพื้นที่และลักษณะดิน ขณะที่ดินที่ใช้ปลูกมันสำปะหลังมีมากมาย เกษตรกรก็มีการจัดการที่แตกต่างกัน จึงควรมีการใช้ปุ๋ยแตกต่างกันด้วย

3. แบบจำลองทางการเกษตร (Crop modeling)

แบบจำลองทางการเกษตร เป็นแบบจำลองสถานการณ์ทางการเกษตร เป็นส่วนหนึ่งในแขนงของระบบสนับสนุนการตัดสินใจทางการเกษตร โปรแกรมแบบจำลองสถานการณ์นี้สามารถจำลองกระบวนการทั้งทางกายภาพและเศรษฐศาสตร์สังคม ที่เป็นความต้องการพื้นฐานได้อย่างชัดเจน เพื่อความเข้าใจที่มากขึ้นทั้งทำนายและสร้างผลลัพท์ที่น่าเชื่อถือของ การตั้งสมมุติฐานในขั้นต้น ปัจจุบันมีแบบจำลองทางการเกษตร 15 พืช ที่สามารถใช้งานได้ในระดับไร่นา แต่ใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาครั้งนี้จะเปรียบเทียบผลผลิตมันสำปะหลังที่ได้จากการทดลองจริงกับการคาดคะเนด้วยแบบจำลองการปลูกพืช Phosphorus Decision Support System (PDSS) (Yost *et al*., 1992) Mitscherlich-Bray equation (Mitscherlich, 1909) และ Linear Response Plateau model (LRP model) (Waugh *et al*., 1973) จึงขอกล่าวถึงรายละเอียดโดยย่อ ดังนี้

3.1 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการใช้ฟอสฟอรัส (Phosphorus Decision Support System: PDSS)

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการใช้ฟอสฟอรัส (Phosphorus Decision Support System: PDSS) (Yost *et al*., 1992) เป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่สร้างขึ้นเพื่อช่วยในการวินิจฉัยและแก้ไขปัญหาการขาดฟอสฟอรัสในดินและในพืช โดยคำนึงถึงสภาพแวดล้อมในเขตร้อน PDSS พัฒนาขึ้นโดยกลุ่มงานฟอสฟอรัสของหน่วยงาน Soil Management CRSP ร่วมกับมหาวิทยาลัย Cornell (Shaw Reid) มหาวิทยาลัย North Carolina (Fred Cox และ Jot Smyth) มหาวิทยาลัย Texas A&M (Arthur Onken) มหาวิทยาลัย Hawaii (Russell Yost) โปรแกรม PDSS ประกอบด้วย 4 ส่วนดังนี้

1. การวินิจฉัย (diagnosis)

การวินิจฉัยว่ามีฟอสฟอรัสในดินเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชหรือไม่ โดยใช้ข้อมูลต่าง ๆ ที่น่าเชื่อถือ ประกอบด้วยข้อมูลพื้นที่ที่ใช้ทำการเกษตร ประวัติการปลูกพืช ลักษณะอาการของพืชที่สังเกตเห็น การวิเคราะห์ดินและพืช และการปรากฏของพืชบางชนิดซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถบ่งชี้ถึงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ (Department of Tropical Plant and Soil Science, 2003)

2. การคาดคะเนปริมาณฟอสฟอรัส (P prediction)

การคาดคะเนความต้องการปริมาณฟอสฟอรัสของพืช เมื่อวินิจฉัยว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสในดินไม่เพียงพอต่อพืช จะดำเนินโดยในขั้นตอนนี้จะใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลการวิเคราะห์ดินประกอบด้วย 1) ปริมาณฟอสฟอรัสดั้งเดิมในดิน (native extractable P) 2) ค่า Phosphorus buffer coefficient ซึ่งหมายถึง การเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (extractable P) ต่อหนึ่งหน่วยฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปในดิน (added P) และ3) ค่าวิกฤตฟอสฟอรัสในดิน ซึ่งหมายถึงความเข้มข้นฟอสฟอรัสในดินระดับหนึ่งที่พืชไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ ซึ่งหากในดินมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ฟอสฟอรัสต่ำกว่าระดับวิกฤตนี้ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดจะนำไปกำหนดปริมาณฟอสฟอรัสที่เหมาะสมที่สามารถให้ผลผลิตสูงสุด รวมทั้งรักษาระดับฟอสฟอรัสในฤดูปลูกต่อไปไม่ให้ต่ำกว่าระดับวิกฤต (Department of Tropical Plant and Soil Science, 2003)

โดยสมการคาดคะเนความต้องการฟอสฟอรัสที่ใช้ในโปรแกรม PDSS version 3.0 ได้แก่

Preq = (PCL- P_0)/PBC + 0.8 x PBC x P uptake x 0.8 x 1/2 x Placement factor x App Depth/10

เมื่อ Preq = P requirement (กิโลกรัม P ต่อเฮกตาร์) คือ ปริมาณความต้องการฟอสฟอรัส

PCL = P critical level (มิลลิกรัม P ต่อกิโลกรัม) คือ ความเข้มข้นฟอสฟอรัสในดินระดับหนึ่งที่พืชไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยที่ใส่ หมายความว่า ถ้าในดินมีฟอสฟอรัสต่ำกว่าระดับนี้ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นจะทำให้พืชให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

P_0 = native extractable P (มิลลิกรัม P ต่อกิโลกรัม) คือ ปริมาณฟอสฟอรัสดั้งเดิมในดิน

Puptake = P uptake (มิลลิกรัม P ต่อกิโลกรัม) คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้

PBC = P buffer coefficient คือ การเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (extractable P) ต่อหนึ่งหน่วยฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปในดิน (added P)

App depth = application depth (เซนติเมตร) คือ ความลึกดินที่ทำการใส่ปุ๋ย

Placement factor = placement factor คือ ค่าคงที่ที่กำหนดขึ้นเพื่อแสดงถึงวิธีการใส่ปุ๋ย เช่น หากใส่แบบหว่าน ค่าคงที่จะเท่ากับ 1

ตัวแปรสำคัญที่ทำให้การคาดคะเนแม่นยำมากน้อยเพียงใด ได้แก่ ค่า PBC (Chen *et al.*, 1997) เนื่องจากดินมีความแตกต่างกันในเรื่องการดูดซับและการปลดปล่อยฟอสฟอรัส ซึ่งแทนด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่า PBC โดยค่า PBC นี้ได้มาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่เติมลงไปในดิน (แกน x) กับปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ (แกน y) กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ความชันของสมการถดถอยเชิงเส้นตรง คือ ค่า PBC ซึ่งจะนำไปใช้ในสมการเพื่อคาดคะเนปริมาณฟอสฟอรัสที่ต้องใส่ลงไปในดิน ปัจจุบันโปรแกรม PDSS จะทำการคาดคะเน PBC โดยใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า PBC กับปริมาณดินเหนียว (% clay) แต่ Cox (1994) ได้รายงานว่าค่า PBC ที่ได้จะขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

ในดินที่มีองค์ประกอบทางแร่วิทยาใกล้เคียงกัน สามารถใช้ปริมาณดินเหนียวในการคาดคะเนค่า PBC ได้ อย่างไรก็ตามในดินที่มีองค์ประกอบทางแร่วิทยาแตกต่างกัน แต่มีปริมาณดินเหนียวค่อนข้างสูง การใช้ปริมาณดินเหนียวเพียงอย่างเดียวเพื่อคาดคะเนค่า PBC นั้นยังไม่เหมาะสมเท่าที่ควร (Department of Tropical Plant and Soil Science, 2003) Wang *et al.* (2000) จึงได้เสนอให้ใช้ความหนาแน่นบริเวณดูดซับฟอสฟอรัส (Phosphorus sorption site density) และการเกาะตัวกันของเม็ดดิน (soil aggregation) ในการคาดคะเนค่า PBC เนื่องจากพบว่า ดินที่มีบริเวณดูดซับฟอสฟอรัสต่ำ reactive mass ต่ำ เม็ดดินมีขนาดใหญ่ มีแนวโน้มที่จะมีค่า PBC ต่ำ ซึ่งแสดงว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปในดินส่วนใหญ่ยังเป็นประโยชน์แก่พืช

3. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (economic analysis)

นอกจากจะประเมินความเป็นประโยชน์ของการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามที่ได้คาดคะเน ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการใช้ฟอสฟอรัสยังพิจารณาถึง 1) ผลตกค้างของปุ๋ยฟอสฟอรัส 2) วัสดุที่ใช้เป็นแหล่งของฟอสฟอรัส และ 3) ข้อจำกัดที่มีอิทธิพลผลต่อการตัดสินใจใช้ปุ๋ยของเกษตรกร ประกอบด้วย ราคาปุ๋ยในปัจจุบัน ราคาผลผลิตในอนาคต อัตราดอกเบี้ยที่เกษตรกรกู้ยืม (Department of Tropical Plant and Soil Science, 2003)

4. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัส (recommendation)

จากขั้นตอนของการวินิจฉัย การคาดคะเนปริมาณฟอสฟอรัส และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ทำให้ได้คำแนะนำปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เหมาะสมกับพืช (Department of Tropical Plant and Soil Science, 2003)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาของ Attanandana and Yost (2003) ได้นำโปรแกรม PDSS ไปใช้ร่วมกับชุดตรวจสอบ N P Kในดินอย่างรวดเร็ว ในการคำนวณความต้องการฟอสฟอรัสของข้าวโพดเพื่อเพิ่มผลผลิตและรายได้เกษตรกร โดยเริ่มทำการทดลองในปี 1998 ที่จังหวัดลพบุรี นครสวรรค์ เพชรบูรณ์ และนครราชสีมาในประเทศไทย ปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ได้จากการคาดคะเนโดยโปรแกรม PDSS ได้ถูกนำไปทดสอบในภาคสนาม โดยใช้ชุดตรวจสอบ N P K ในดินตรวจสอบปริมาณฟอสฟอรัสดั้งเดิมในดิน และใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามที่โปรแกรมคาดคะเน ผลการทดลองในแปลงทั้ง 8 แปลง แสดงให้เห็นว่า การคาดคะเนความต้องการฟอสฟอรัสโดยโปรแกรม PDSS ให้ผลผลิตใกล้เคียงกับผลผลิตข้าวโพดที่ปลูกได้จริง ซึ่งทำให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสม มีกำไรเพิ่มขึ้นมากถึงแม้ว่าราคาปุ๋ยที่ใช้จะสูงขึ้นก็ตาม

3.2 Linear Response Plateau Model

Linear Response Plateau model หรือ LRP model เป็นแบบจำลองการตอบสนองเชิงเส้น โดยการใช้กราฟเส้นตรงสองเส้นเชื่อมต่อกันแทนเส้นโค้ง และให้เส้นตรงเส้นที่สองอยู่ในแนวราบ ทำให้สามารถกำหนดอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมได้ที่จุดที่เส้นตรงทั้งสองเส้นบรรจบกัน สมการดังกล่าวพัฒนาขึ้นตามทฤษฎี Law of the Minimum ของ Liebig โดย Waugh *et al*. (1973) จากนั้นในปี 1975 Anderson and Nelson ได้พัฒนา LRP model โดยจะแสดงผลออกมาในรูปของกราฟเส้นตรง 2 เส้นตัดกันในโครงสร้างของสมการ Xiufu's LRP2 ซึ่งเป็นสมการแบบง่าย จึงสะดวกต่อการใช้งานเพิ่มมากขึ้น (สุทิน และสัมฤทธิ์, 2531)

Waugh *et al*. (1973) ศึกษาการใช้ LRP model สำหรับการให้คำแนะนำอัตราปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมกับมันฝรั่งที่ปลูกในประเทศสเปน ได้คำแนะนำปุ๋ยดังนี้ เมื่อต้องการให้ได้ผลผลิตสูงสุด (100% relative yield) จะต้องใส่ปุ๋ยในอัตรา 75-70-20 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อเฮกตาร์ ขณะที่การใส่ปุ๋ยอัตรา 65-60-0 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อเฮกตาร์ จะทำให้ได้ผลผลิตเพียงร้อยละ 93 ของผลผลิตสูงสุดสัมพัทธ์เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นตัวจำกัด การใส่ปุ๋ยอัตรา 25 กิโลกรัมไนโตรเจน ต่อเฮกตาร์ จะทำให้ฟอสฟอรัสเป็นตัวจำกัดผลผลิตที่ได้จึงได้เพียงร้อยละ 58 ของผลผลิตสูงสุดสัมพัทธ์ และในกรณีที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยจะได้ผลผลิตเพียงร้อยละ 45 ของผลผลิตสูงสุดสัมพัทธ์ แสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนมีผลต่อผลผลิตของมันฝรั่งมากที่สุด รองลงมาได้แก่ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 สมการ Mitscherlich-Bray

Mitscherlich (1909) ได้เสนอสมการ Mitscherlich ที่แสดงให้เห็นถึงอัตราการเพิ่มของผลผลิตพืชอันเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารเป็นสัดส่วนกับอัตราการลดลงไปจากผลผลิตสูงสุด ซึ่งแสดงในรูปสมการดังนี้

$$\log[A - y] = \log A - CX$$

เมื่อ C = ปัจจัยเรื่องธาตุอาหาร (ธาตุอาหารในดิน)
X = อัตราธาตุอาหาร (ปุ๋ยที่ใส่)
Y = ผลผลิตเมื่อใส่ธาตุอาหาร (ปุ๋ย) อัตรา X
A = ผลผลิตสูงสุด

ต่อมาในปี 1954 Bray ได้ดัดแปลงสมการของ Mitscherlich โดยเพิ่มปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลการวิเคราะห์ดินร่วมในสมการด้วย และเรียกชื่อเป็น Mitscherlich-Bray โดยแสดงในรูปสมการดังนี้

$$\log[A-y] = \log A - C_1 b - C_2 X$$

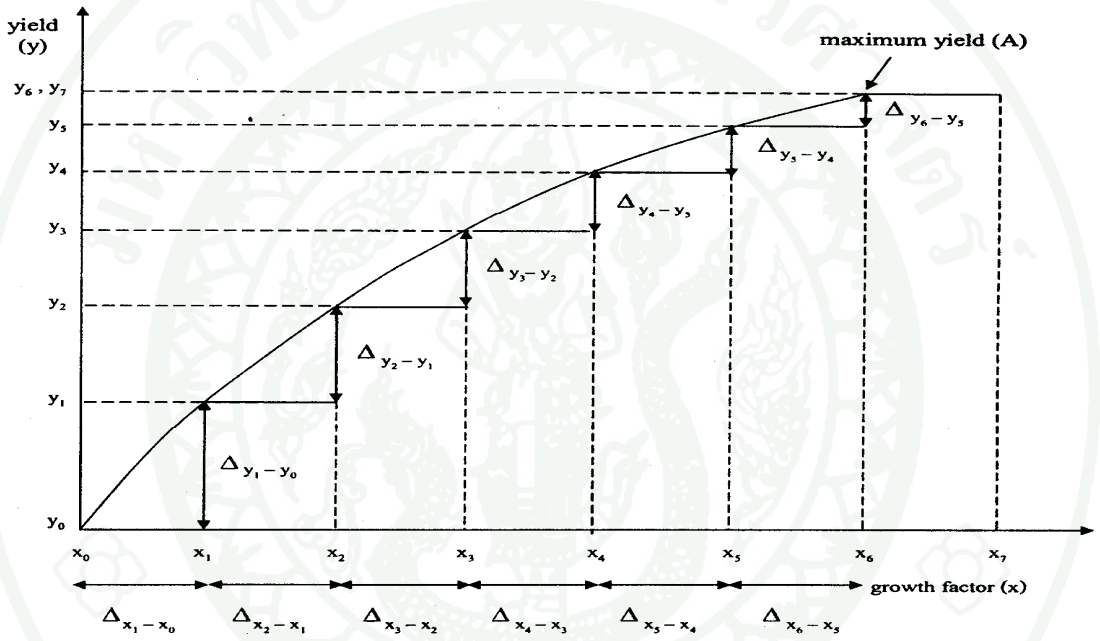
เมื่อ C_1 = ค่าคงที่ของปัจจัยจากดิน
C_2 = ค่าคงที่ของปัจจัยจากธาตุอาหาร
b = ปริมาณธาตุอาหารในดินเริ่มต้น
X = อัตราธาตุอาหารที่ใส่
Y = ผลผลิตเมื่อใส่ธาตุอาหารอัตรา X หรือ X+b
A = ผลผลิตสูงสุดเมื่อ X เพิ่มไปแบบไม่มีที่สิ้นสุด

การตอบสนองของพืชต่อปัจจัยการเจริญเติบโตโดยใช้สมการ Mitscherlich จะให้เส้นกราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง (ภาพที่ 1) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการตอบสนองของพืชต่อปัจจัยการเจริญเติบโตของพืชจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อพืชได้รับปัจจัยเพิ่มขึ้นในหน่วยหลัง ๆ และจะไม่มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น เมื่อถึงจุดที่พืชให้ผลผลิตสูงสุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุทิน (2542) ศึกษาแนวคิดของ Mitscherlich-Bray ที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตพืชกับระดับความพอเพียงของปริมาณธาตุอาหารในดิน พบว่า ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดินจะมีสัดส่วนผกผันกับผลผลิตพืชที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับการใส่ปุ๋ย

ประดิษฐ์ และ คณะ (2543) พบว่าการใช้แบบจำลอง Mitscherlich-Bray ประเมินอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสให้กับข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่อง จังหวัดลพบุรี สามารถให้ผลใกล้เคียงกับอัตราการแนะนำโดยทั่ว ๆ ไปได้ดี แต่อาจต้องลดอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสลงร้อยละ 20-30 จากอัตราแนะนำ



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการเจริญเติบโตกับการตอบสนองของพืชโดยใช้ สมการ Mitscherlich

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรม ได้แก่ โปรแกรม PDSS (Yost *et al*., 1992) และ LRP model (Waugh *et al*., 1973)

2. พืชทดสอบ: มันสำปะหลัง พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

3. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ปุ๋ยทริปเปิ้ลซุปเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)

4. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินและพืช

5. ไม้วัดความสูง

6. สารเคมีป้องกันกำจัดโรคและศัตรูพืช ได้แก่ แอคคาร่า และกรัมม็อกโซน

7. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช

8. สารเคมี และเครื่องแก้วที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

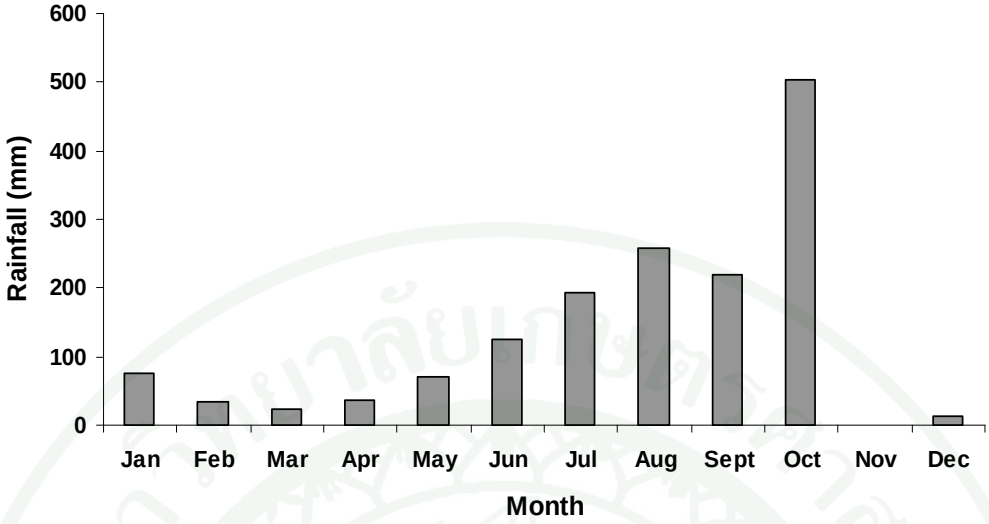
วิธีการ

1. พื้นที่ศึกษา

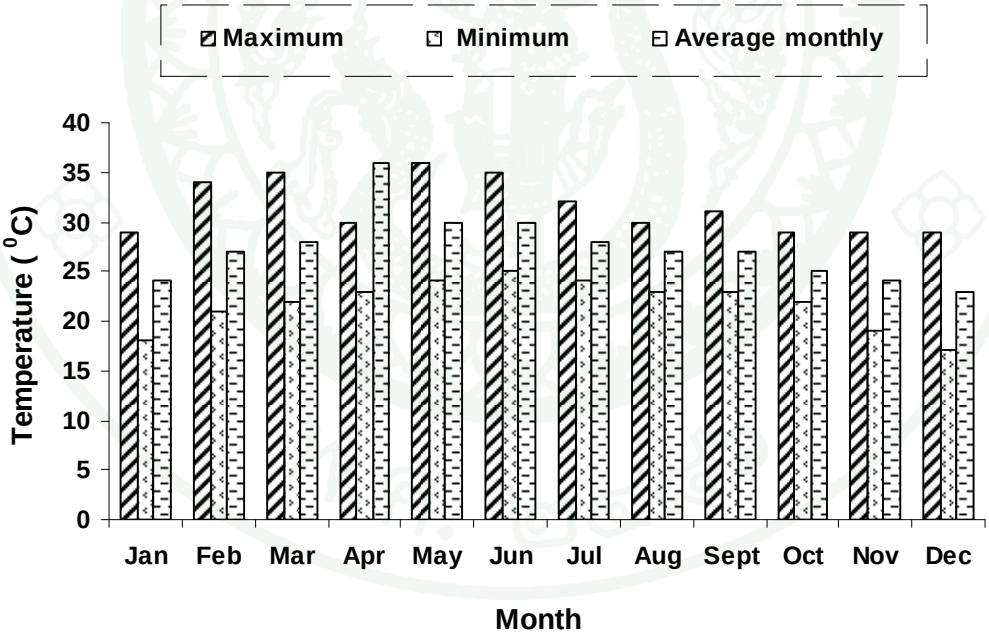
พื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณของชุดดินจตุรัส (Fine, mixed, active isohyperthermic Typic Haplustalf) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ซึ่งเป็นแปลงเกษตรกร ในตำบลลาดบัวขาว อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่บันทึกตั้งแต่เดือนมกราคม 2553 ถึงเดือนมกราคม 2554 พบว่าในพื้นที่ทดลองมีปริมาณน้ำฝนรวม 1,557 มิลลิเมตรต่อปี โดยในเดือนตุลาคมมีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดทั้งเดือนสูงที่สุด คือ 504.9 มิลลิเมตร และเดือนพฤศจิกายนมีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดทั้งเดือนต่ำที่สุด (ภาพที่ 2) แสดงให้เห็นว่าบริเวณพื้นที่ทดลองมีปริมาณน้ำฝนเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง โดยทั่วไปมันสำปะหลังเป็นพืชที่ทนแล้งต้องการน้ำฝนเฉลี่ย 1,000-3,000 มิลลิเมตรต่อปี (อัจฉรา และ จรุงสิทธิ์, 2537) และยังสอดคล้องกับรายงานของ Indira *et al.* (1998) รายงานว่า สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับมันสำปะหลังมากที่สุดต้องมีปริมาณน้ำฝนรายปีมากกว่า 1,000 มิลลิเมตร

สำหรับข้อมูลอุณหภูมิพื้นที่ทดลองมีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 27.4. องศาเซลเซียส โดยในเดือนเมษายนจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 36.8 องศาเซลเซียส ขณะที่ในเดือนธันวาคมมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 17.3 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3) ซึ่งมันสำปะหลังสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิ 16-38 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการงอก, ขนาดใบ, กระบวนการสร้างใบ, การสร้างรากสะสมอาหาร และการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง (Concaiceo, 1979) แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมในการปลูกมันสำปะหลังควรมีช่วงอุณหภูมิเฉลี่ย 25-29 องศาเซลเซียส (Hillocks *et al*., 2002) แสดงให้เห็นว่าบริเวณพื้นที่ทดลองมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง จึงไม่เป็นอุปสรรคต่อการศึกษา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 ปริมาณน้ำฝนบริเวณพื้นที่ศึกษาตั้งแต่เดือนมกราคม - ธันวาคม พ.ศ. 2553



ภาพที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด - ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่เดือนมกราคม - ธันวาคม พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การศึกษาการตอบสนองของมันสำปะหลังต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่างๆ

2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block : RCB) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 6 ตำรับการทดลอง ดังนี้

ตำรับที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

ตำรับที่ 2 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

ตำรับที่ 3 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

ตำรับที่ 4 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 12 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

ตำรับที่ 5 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

ตำรับที่ 6 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส อัตรา 20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

ปุ๋ยฟอสฟอรัสใส่ในรูปของปุ๋ยทริปเปิ้ลซุปเปอร์ฟอสเฟต และในทุกตำรับการทดลองใส่ปุ๋ยยูเรีย 43.47 กิโลกรัมต่อไร่ (อัตรา 20 กิโลกรัม N ต่อไร่) และใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ 33.33 กิโลกรัมต่อไร่ (อัตรา 20 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่)

2.2 การเตรียมแปลงทดลองสำหรับการปลูกมันสำปะหลัง

เตรียมแปลงทดลองย่อยขนาด 5 x 6 ตารางเมตร เริ่มต้นไถครั้งแรกด้วยรถแทรกเตอร์ติดตั้งไถจานผาล 3 ตากดินทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน แล้วไถแปรด้วยไถจานผาล 7 ทำการยกร่องปลูกที่มีระยะห่างระหว่างร่องเท่ากับ 1 เมตร ปักท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 บนสันร่อง ที่มีระยะห่างระหว่างต้นเท่ากับ 1 เมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดำเนินการใส่ปุ๋ยตามตำรับทดลองโดยในทุกตำรับทดลอง ทำการแบ่งใส่ปุ๋ยจำนวน 2 ครั้ง ๆ ละเท่ากันเมื่อมันสำปะหลังมีอายุ 1 และ 3 เดือน โดยโรยปุ๋ยรอบโคนต้นห่างประมาณ 10 เซนติเมตร แล้วกลบลงดินลึกประมาณ 15 เซนติเมตร

การกำจัดวัชพืช ทำการฉีดยาคุมกำจัดวัชพืชหลักจากปักท่อนพันธุ์ ดำเนินการกำจัดวัชพืชก่อนการใส่ปุ๋ย ทำการพ่นยาป้องกันโรคและแมลงเมื่อจำเป็น

2.3 การเก็บข้อมูล

2.3.1 การเก็บตัวอย่างดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกแบบ composite sample ที่ 2 ระดับความลึก ได้แก่ 0-15 และ 15-30 เซนติเมตร

2.3.2 บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิต่ำสุด- สูงสุด โดยอาศัยข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ใกล้เคียง

2.3.3 การเก็บข้อมูลพืช

ทำการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเมื่ออายุ 9 เดือน โดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวเท่ากับ 5 ตารางเมตร โดยข้อมูลที่ทำการเก็บประกอบด้วย

(1) ความสูงของต้นมันสำปะหลัง โดยเริ่มบันทึกตั้งแต่มันสำปะหลังมีอายุครบเดือนที่ 2 ถึงกระทั่งเดือนที่ 7

(2) น้ำหนักสดของหัวมันสำปะหลัง ลำต้น และใบ

(3) ร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังสด

(4) น้ำหนักแห้งของหัวมันสำปะหลัง ลำต้น และใบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(5) ผลผลิตแป้ง โดยคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ผลผลิตแป้ง (ตันต่อไร่)} = \frac{\text{ร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังสด x น้ำหนักสดของหัว}}{100}$$

(6) ค่าดัชนีเก็บเกี่ยว (harvest index) ที่อายุ 9 เดือน โดยคำนวณได้จากสูตร (Lenis *et. al.,* 2006)

$$\text{Harvest index} = \frac{\text{น้ำหนักผลผลิตหัวสด}}{\text{น้ำหนักผลผลิตหัวสด+น้ำหนักสดส่วนเหนือดิน (ใบ ลำต้น และเหง้า)}}$$

2.4 การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

2.4.1 ตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินที่ได้มาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เก็บเศษซากพืชออก ผสมคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วร่อนดินผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย

(1) พีเอชดิน (pH) วัดโดยใช้เครื่อง pH meter ใช้อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 (Nation Soil Survay Center, 1996)

(2) ปริมาณไนโตรเจนรวม (total N) โดยวิธี Kjeldhal method (Jackson, 1958)

(3) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) สกัดโดยวิธีBray II (Bray and Kurzt, 1945) แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง spectrophotometer

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(4) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available potassium) สกัดโดยวิธี NH_4OAc pH 7.0 วิเคราะห์ปริมาณโดย atomic absorption spectrophotometer (Pratt, 1965)

(5) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter) โดยวิธี Walkley and Black Titration (Walkey and Black, 1934)

(6) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity:CEC)โดยวิธี 1 M NH_4Oac pH 7 replacement method (Chapman, 1965)

(7) การกระจายขนาดของอนุภาคดิน (particle size distribution) โดยวิธีแยกด้วยตะแกรง (sieving method) ในขนาดอนุภาคทรายและโดยวิธีปิเปตต์ (pipette method) (Kilmer and Alexander, 1949) ในขนาดอนุภาคทรายแป้งและอนุภาคดินเหนียว ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาแจกแจงประเภทของเนื้อดิน (soil textural class) โดยการเปรียบเทียบกับชั้นเนื้อดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (Soil Survey Division Staff, 1993)

2.4.2 ตัวอย่างพืช

นำตัวอย่างหัวมันสำปะหลัง ลำต้นและใบมันสำปะหลัง อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นบดให้ละเอียด เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารประกอบด้วย

(1) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยการย่อยตัวอย่างพืชด้วย digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) แล้ววัดปริมาณของไนโตรเจนด้วยเครื่อง Nitrogen distillate (Mill and Jones, 1996)

(2) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยการย่อยตัวอย่างพืชด้วย digestion mixture H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) แล้ววัดปริมาณของฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง spectrophotometer (Jaskson, 1958)

(3) ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด โดยการย่อยตัวอย่างพืชด้วย digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) แล้ววัดปริมาณของธาตุโพแทสเซียมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (Mill and Jones, 1996)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

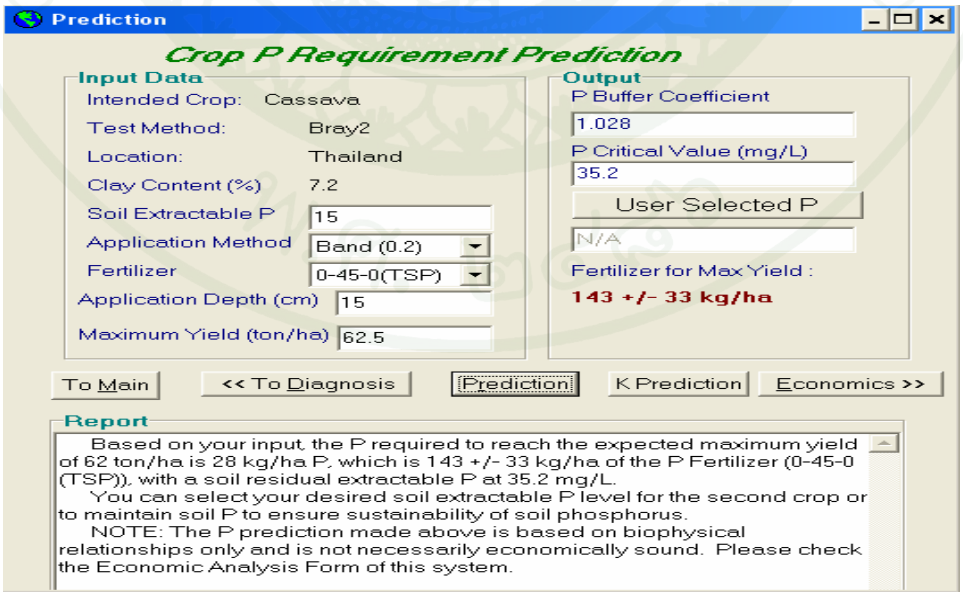
2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลองค์ประกอบด้านการเจริญเติบโต ผลผลิต นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อหาค่า F-test พร้อมทั้งค่าสถิติสำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธี DMRT (Duncan multiple range test) โดยโปรแกรม สำเร็จรูปทางสถิติ SPSS version 17

3. เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตที่ได้จริงจากแปลงทดลองกับปริมาณผลผลิตที่คาดคะเนจากแบบจำลองทางการเกษตร

3.1 โปรแกรม Phosphorus Decision Support System (version 3.0) (PDSS)

ข้อมูลของพื้นที่ที่ใช้ในการปลูกพืช ได้แก่ จังหวัด ชุดดิน อันดับดิน (soil order) ประวัติการปลูกพืช ชนิดพืช ลักษณะอาการต่าง ๆ ที่พืชแสดงออก สมบัติดินที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ปริมาณฟอสฟอรัสดั้งเดิมในดินก่อนปลูกพืช รวมทั้งระบุวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ในการทดลองนี้ใช้วิธี Bray II) ปริมาณโพแทสเซียม (ในการทดลองนี้ใช้วิธี NH_4OAC) ปริมาณดินเหนียวหรือเนื้อดิน พีเอชดิน และระบุผลผลิตที่ต้องการ (โดยในการทดลองนี้ระบุผลผลิตที่ได้จริงจากแปลงทดลอง) จากนั้นนำข้อมูลข้างต้นใส่ในโปรแกรม เพื่อให้โปรแกรมทำนายอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ให้ผลผลิตเท่ากับที่ได้จริงจากแปลงทดลอง (ตารางที่ 1 และ ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การคาดคะเนอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับมันสำปะหลัง ด้วยโปรแกรม PDSS

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานที่นำเข้าโปรแกรม Phosphorus Decision Support System (PDSS)

Diagnosis	General Information	Location	Thailand Nakhon Ratchasima
		Soil series	Chatturat (Ct)
		Soil order	Alfisols
		Intended crop	cassava
Previous Data Analysis	P Data	P content (mg/L)[1]	20
		P Test method	Bray 2
		Clay content (%)	7.2
	K Data	K content (mg/kg)	86
		K Test method	Ammonium Acetate
	Other Data	Soil pH (water)	7.8
P Prediction	Input Data	Soil extractable P	15
		Application method	Band (0.2)
		Fertilizer type	0-45-0 (TSP)
		Maximum yield (ton /ha)	62.5
	Output	P Buffer coefficient	1.028
		P Critical value (mg/L)	35.2

หมายเหตุ [1] = Phosphorus content at Phosphorus buffer capacity (0.2 mg/L)

3.2 สมการ Mitscherlich-Bray

นำผลผลิตมันสำปะหลังที่ได้ อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ รวมทั้งปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน มาทำการประเมินผลผลิตมันสำปะหลังจากสมการ Mitscherlich-Bray ดังนี้

$$\log[A-y] = \log A - C_1 b - C_2 X$$

เมื่อ C_1 = ค่าคงที่ของปัจจัยจากดิน

C_2 = ค่าคงที่ของปัจจัยจากธาตุอาหาร

b = ปริมาณธาตุอาหารในดินเริ่มต้น

X = อัตราธาตุอาหารที่ใส่

Y = ผลผลิตเมื่อใส่ธาตุอาหารอัตรา X หรือ X+b

A = ผลผลิตสูงสุดเมื่อ X เพิ่มไปแบบไม่มีที่สิ้นสุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 สมการ Linear Response Plateau model (LRP model)

นำผลผลิตมันสำปะหลังที่ได้จากการทดลองในภาคสนามและอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ มาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SigmaPlot (LRP plateau curve) Version 11 เพื่อหาอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มันสำปะหลังตอบสนองดีที่สุด

สถานที่และระยะเวลาในการศึกษา

1. สถานที่ศึกษา

1. แปลงเกษตรกร ตำบลลาดบัวขาว อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา

2. ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

2. ระยะเวลาในการศึกษา

ตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2553 ถึง เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. สมบัติของดินที่ทำการศึกษา

ศึกษาบริเวณของชุดดินจตุรัส (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ดินมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย เป็นด่างอ่อนโดยมีพีเอชเท่ากับ 7.8 มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำอยู่ในพิสัยเท่ากับ 11.4-12.9 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในระดับปานกลางโดยมีค่าอยู่ในพิสัยเท่ากับ 0.6-0.8 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลางมีค่าอยู่ในพิสัยเท่ากับ 7.8-15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีปริมาณโพแทสเซียมและแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำโดยมีค่าอยู่ในพิสัยเท่ากับ 86-93, 3876-4042 และ 51-86 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับปานกลางอยู่ในพิสัย 11-13 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 สมบัติของดินที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตรก่อนทำการทดลอง

Soil Property	Soil depth (cm)	
	0-15	15-30
Textural class	sandy loam	nd
Sand (g/kg)	670	nd
Silt (g/kg)	258	nd
Clay (g/kg)	72	nd
pH (1:1 H_2O)	7.8	7.8
OM (g/kg)	12.9	11.4
Total N (g/kg)	0.6	0.8
Available P (mg/kg)	15	7.8
Extractable K (mg/kg)	123	86
Extractable Ca (mg/kg)	3876	4042
Extractable Mg (mg/kg)	51	86
Cation exchange capacity (cmol/kg)	11	13

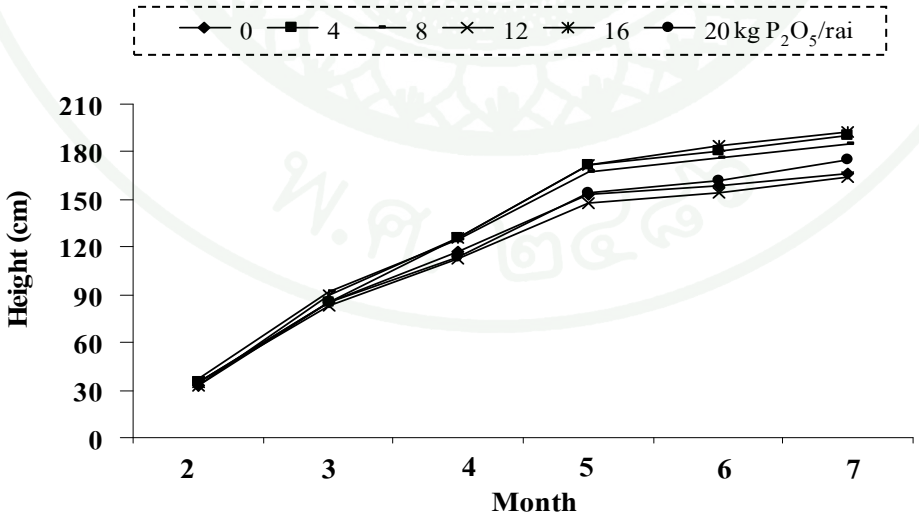
หมายเหตุ nd = not determine

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

2.1 ความสูงของมันสำปะหลัง

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่าง ๆ ไม่มีผลให้มันสำปะหลังมีความสูงแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 5) แต่อย่างไรก็ตามตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่าง ๆ มีแนวโน้มให้ความสูงของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นมากกว่าตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีแนวโน้มให้ความสูงเฉลี่ยของมันสำปะหลังสูงที่สุดในทุกช่วงอายุ 2-7 เดือน โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 35-199 เซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ที่ให้มันสำปะหลังมีความสูงอยู่ในพิสัย 34-190 เซนติเมตร ขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลต่อความสูงเฉลี่ยของมันสำปะหลังต่ำที่สุดในทั้ง 6 เดือนที่ทำการบันทึก ซึ่งความสูงที่เพิ่มขึ้นจะสอดคล้องกับอายุของมันสำปะหลังที่มากขึ้น และมีแนวโน้มสอดคล้องกับอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ให้ เนื่องจากมันสำปะหลังที่ระยะ 3-6 เดือนหลังปลูก ส่วนใหญ่จะมีพัฒนาการด้านลำต้นและใบ ทำให้การใส่ปุ๋ยมีผลต่อการสร้างลำต้นและใบสูงสุด (Alves, 2002) และสอดคล้องกับงานวิจัยของปิยะวุฒิ และ คณะ (2533) ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลให้การเจริญเติบโตด้านลำต้น จำนวนใบ และพื้นที่ใบของมันสำปะหลังมากขึ้น ส่งผลให้ทรงพุ่มขยายมากขึ้น ซึ่งเป็นข้อดีในการลดการแข่งขันจากวัชพืชในแปลง อีกทั้งช่วยให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของมันสำปะหลังเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

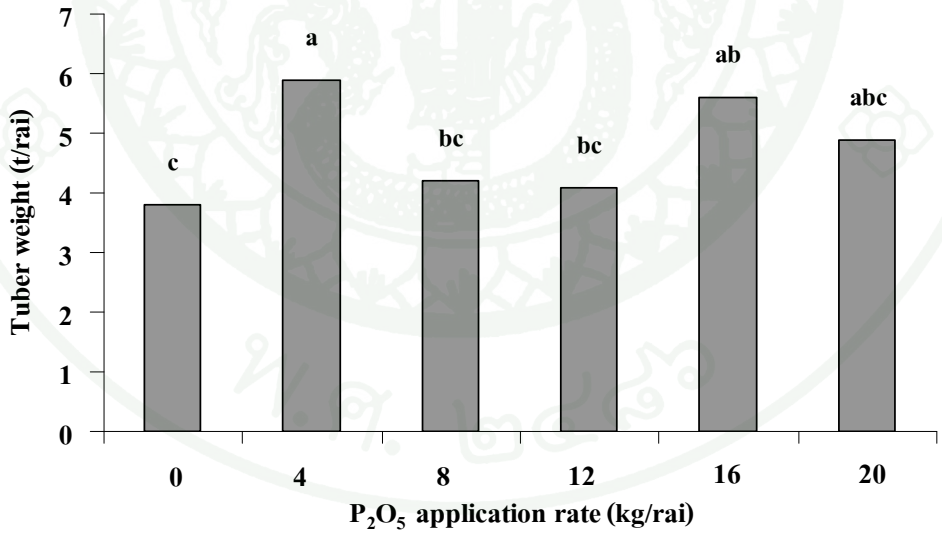


ภาพที่ 5 ความสูงของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจัตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่าง ๆ ส่งผลให้ผลผลิตของหัวมันสำปะหลังสดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 6) การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จะให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงที่สุดเท่ากับ 5.9 ตันต่อไร่ ซึ่งมีแนวโน้มไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 16 และ 20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดเท่ากับ 5.6 และ 4.9 ตันต่อไร่ตามลำดับ ขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเลยจะให้ผลผลิตของหัวมันสำปะหลังสดต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเท่ากับ 3.8 ตันต่อไร่ และให้ผลไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 8 และ 12 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ แสดงให้เห็นว่าฟอสฟอรัสมีความสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลัง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่มีมาก่อนหน้านี้โดย ปิยะวุฒิ และ คณะ (2533) วัลลีย์ และ คณะ (2549) Stephen (1960) และ Krochmal and Samuels (1970) แต่อย่างไรก็ตามผลผลิตมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นในครั้งนี้ไม่เป็นสัดส่วนกับปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น อาจเป็นผลมาจากปริมาณฟอสฟอรัสที่ตกค้างอยู่ในดินเดิม (โชติ และ คณะ, 2523; Brady and Weil, 2008) จึงทำให้การตอบสนองของฟอสฟอรัสของมันสำปะหลังไม่ชัดเจน



หมายเหตุ The same letter in graph indicated no statistical difference at P< 0.05 propability by using DMRT.

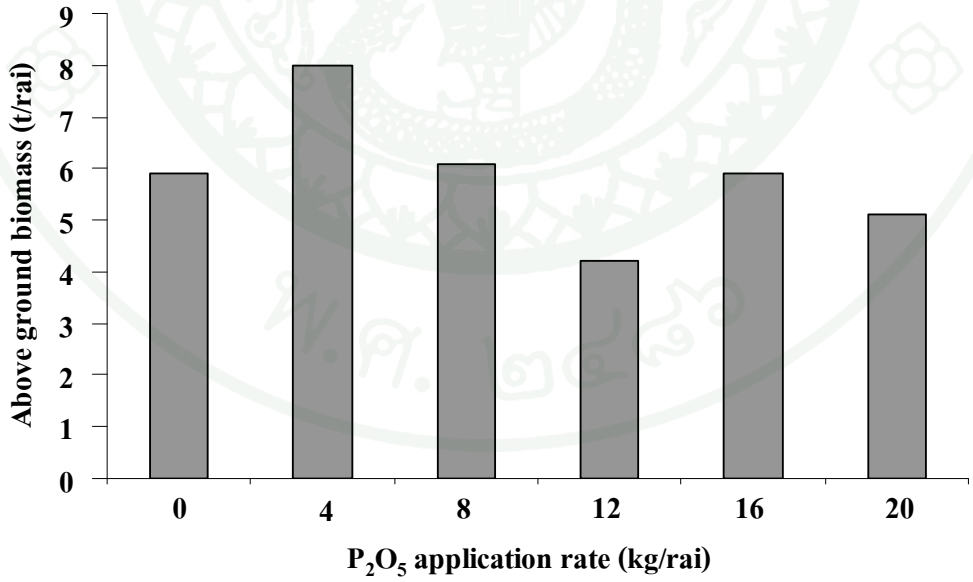
ภาพที่ 6 ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจัตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 องค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง

2.3.1 น้ำหนักลำต้นและใบสด

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่าง ๆ ไม่มีผลต่อน้ำหนักลำต้นและใบสด (ภาพที่ 7) แต่อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มสอดคล้องกับผลผลิตหัวมันสดที่ได้ โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีแนวโน้มให้น้ำหนักลำต้นและใบสดสูงที่สุดเท่ากับ 8.0 ตันต่อไร่ เช่นเดียวกับในตำรับที่ 1 ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีแนวโน้มให้น้ำหนักลำต้นและใบสดต่ำที่สุดเท่ากับ 5.9 ตันต่อไร่ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของประภาส (2544) ที่ทำการทดลองในดินชุดมาบบอน และดินชุดโคราชที่จังหวัดฉะเชิงเทราพบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 มีผลให้น้ำหนักสดส่วนเหนือดินมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของชุมพล และ วัลลีย์ (2549) ที่ทำการทดลองในดินชุดห้วยโป่ง ที่จังหวัดระยอง ที่พบว่า การใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่ว่าจะเป็นอัตราใดจะทำให้น้ำหนักสดของต้นและใบเพิ่มขึ้นจากแปลงที่ไม่ได้รับปุ๋ยอย่างชัดเจน แต่ในระหว่างแปลงที่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ ไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักสดต้นและใบ



ภาพที่ 7 น้ำหนักต้นและใบสดของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

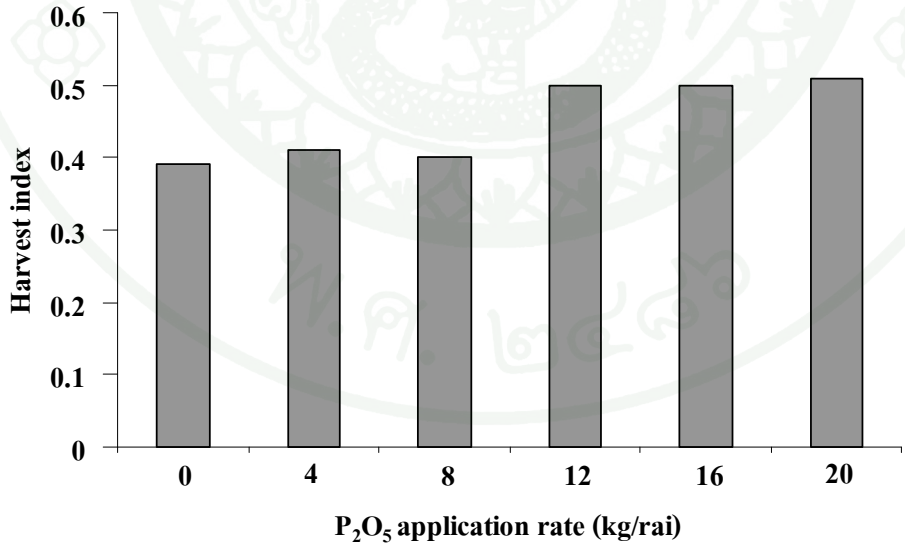
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3.2 ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว

Harvest Index (HI) เป็นค่าแสดงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักรากต่อน้ำหนักต้นทั้งหมด จากการศึกษา พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่าง ๆ ไม่มีผลต่อค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลัง (ภาพที่ 8) แต่อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีแนวโน้มให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.4-0.5 ขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.4 นอกจากนี้อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าฟอสฟอรัสมีอิทธิพลต่อการสร้างต้นและใบมากกว่าการสร้างระบบราก (CIAT, 1976)

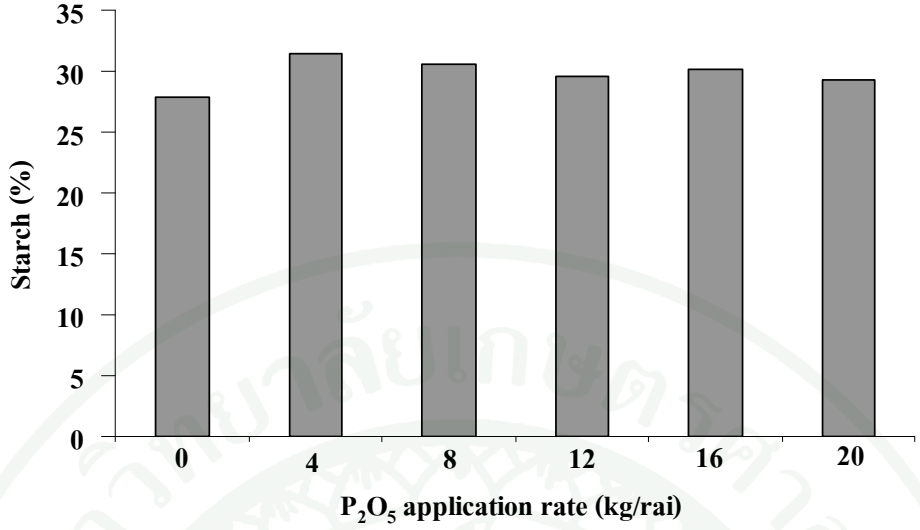
2.3.3 ร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังสด

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่าง ๆ ไม่มีผลต่อร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังสด (ภาพที่ 9) โดยการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีแนวโน้มให้ร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังสดต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 27.9 ขณะที่การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีแนวโน้มเพิ่มร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังสดโดยมีค่าอยู่ในพิสัย ร้อยละ 29.3-31.5 ซึ่งสอดคล้องกับ



ภาพที่ 8 ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจัตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 9 ร้อยละการสะสมแป้งของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจัตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

รายงานของสถาบันวิจัยพืชไร่ (2535) ที่พบว่าการใส่ฟอสฟอรัสในอัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มีแนวโน้มให้ร้อยละการสะสมแป้งของหัวมันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินสัตหีบต่ำกว่าการใส่ในอัตรา 16 และ 24 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ เช่นเดียวกันกับการศึกษาโดย CIAT (1976) ที่พบว่าอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่มีผลต่อการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังสด แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้พบว่าการใส่ฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงขึ้นมีแนวโน้มให้การสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น

2.3.4 ผลผลิตแป้งต่อไร่

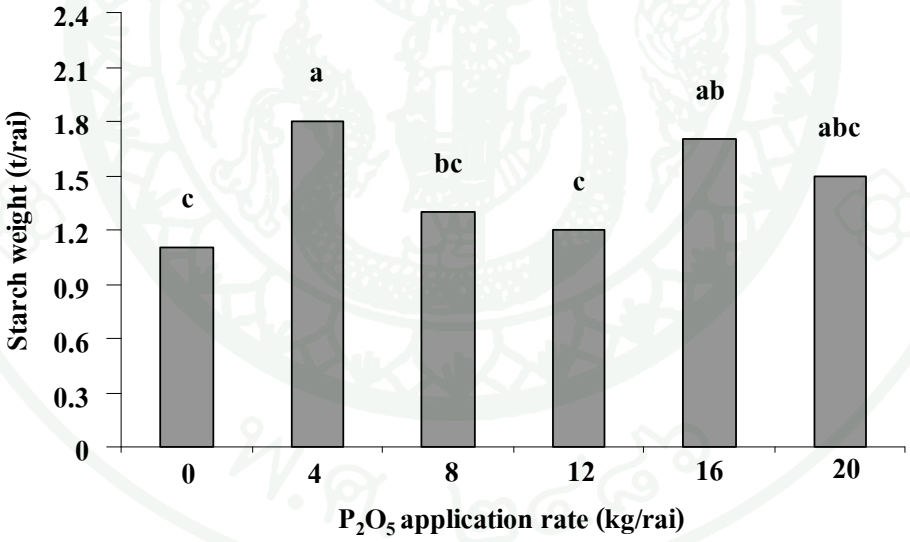
ถึงแม้ว่าร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังสดจะไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสแต่ผลผลิตแป้งกลับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 10) โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จะมีผลผลิตแป้งสูงที่สุดเท่ากับ 1.8 ตันต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ขณะที่การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 8, 12 และ 20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จะให้ผลผลิตแป้งใกล้เคียงกันโดยมีปริมาณอยู่ในพิสัย 1.2-1.5 ตันต่อไร่ ส่วนตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะมีผลผลิตแป้งต่ำที่สุดเท่ากับ 1.1 ตันต่อไร่ ทั้งนี้อาจเป็นสาเหตุจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีแนวโน้มเพิ่มขนาดของหัวมันสำปะหลังให้มีขนาดใหญ่ขึ้น อวบน้ำมากขึ้น ร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังสดจึงลดลง ถึงแม้ว่าผลผลิตหัวมันที่ได้จะสูงขึ้น ดังแสดงใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาของอนุชิต และ คณะ (2521) ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ จะทำให้ร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังสดลดลงร้อยละ 1-2 เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย แต่ผลผลิตแป้งทั้งหมดต่อไร่ หรือผลผลิตแป้งที่ได้ต่อพื้นที่จะเพิ่มขึ้น

2.4 ความเข้มข้นและปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง

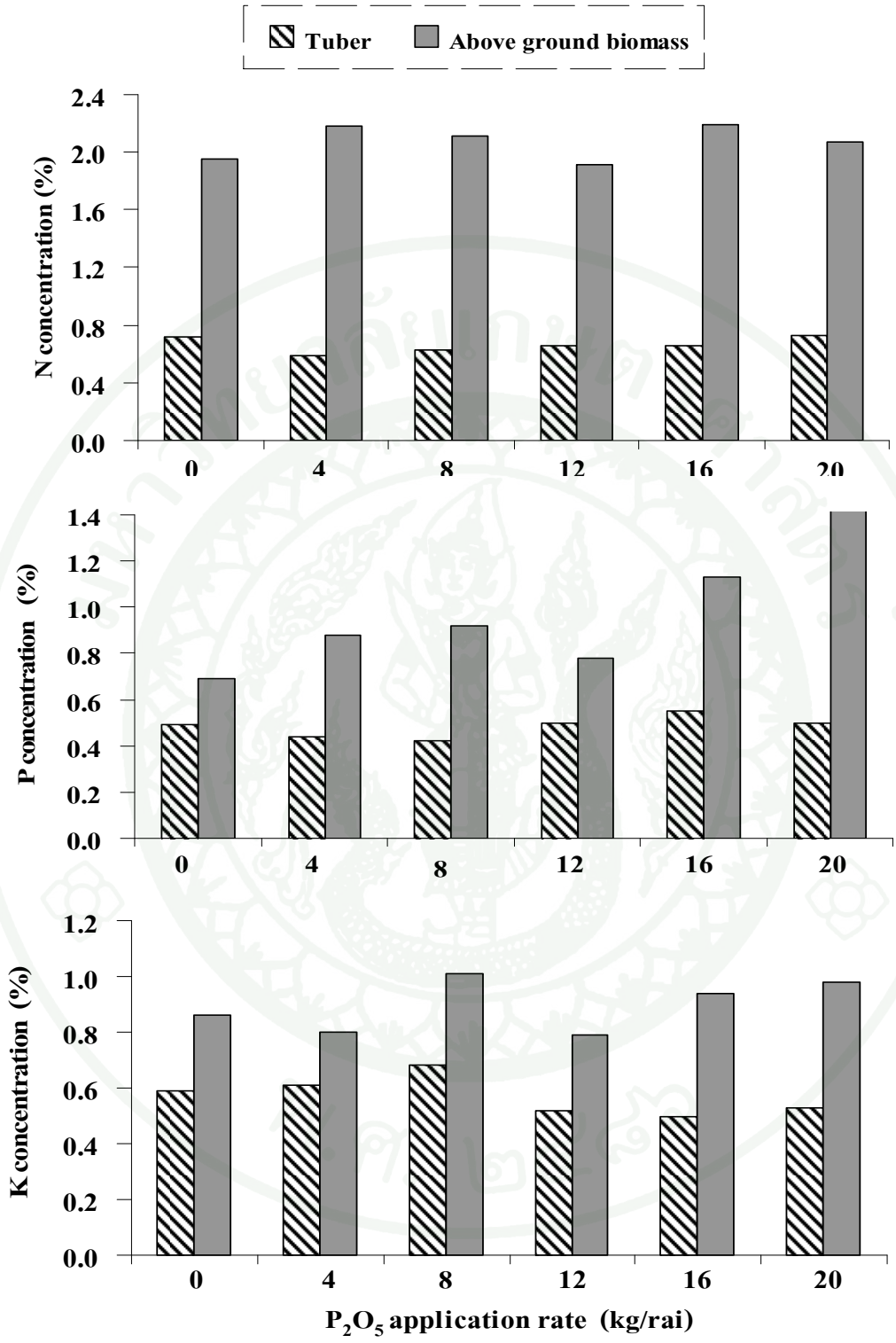
การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่าง ๆ ทำให้มันสำปะหลังดูดใช้ฟอสฟอรัสในหัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 12) โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ส่งผลให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสในหัวสูงที่สุดเท่ากับ 12.3 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาได้แก่ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ซึ่งส่งผลให้มีการดูดใช้ฟอสฟอรัสในหัวเท่ากับ 10.6 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 12 และ20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะมีผลให้การจะดูดใช้ฟอสฟอรัสในหัวต่ำที่สุด เท่ากับ 7.4 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลผลิตหัวมันที่ได้มีค่าต่ำที่สุด



หมายเหตุ The same letter in graph indicated no statistical difference at P< 0.05 propability by using DMRT.

ภาพที่ 10 ผลผลิตแป้งของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจัตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 11 ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

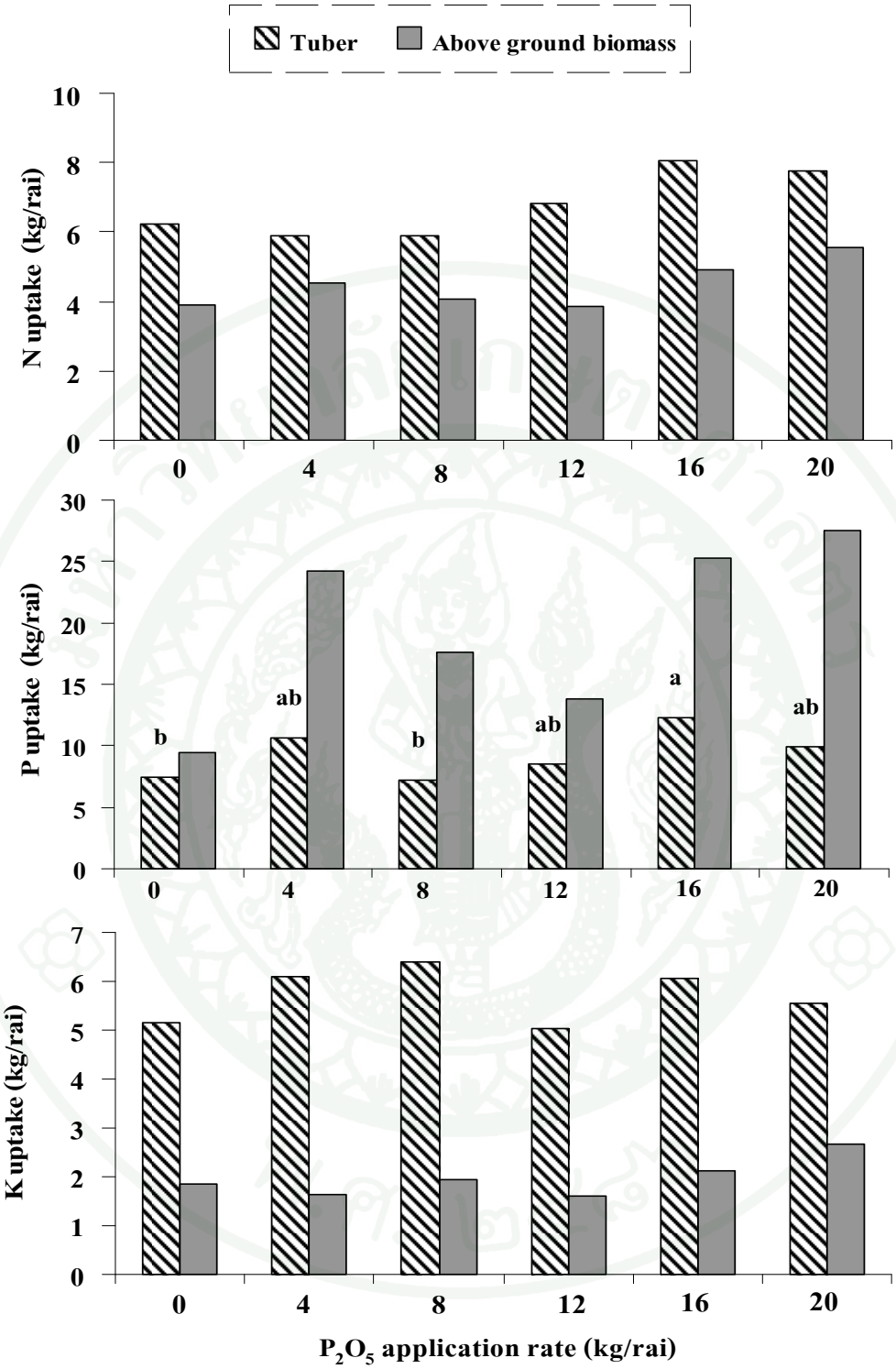
ส่วนในกรณีของความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในหัว ต้นและใบ รวมทั้งการดูดใช้ฟอสฟอรัสในต้นและใบ กลับไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่าง ๆ (ภาพที่ 11 และ 12) โดยพบว่า ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสจะสะสมในต้นและใบของมันสำปะหลังสูงกว่าในหัวมันสำปะหลัง โดยมีอยู่ในพิสัยร้อยละ 0.7-1.5 และ 0.4-0.6 ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนต้นและใบที่มีมากกว่าในส่วนหัวมันสด อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีแนวโน้มให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในหัว ต้น-ใบ รวมทั้งการดูดใช้ฟอสฟอรัสในต้น-ใบ สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

สำหรับในกรณีของความเข้มข้นและการดูดใช้ไนโตรเจน และโพแทสเซียมในหัว ต้นและใบ พบว่าไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราต่าง ๆ เช่นเดียวกัน (ภาพที่ 11 และ 12) โดยพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนและโพแทสเซียมจะสะสมในต้นและใบโดยมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 1.9-2.2 และ 0.8-1.0 ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของไนโตรเจนและโพแทสเซียมจะสะสมในหัวมีค่าอยู่ในพิสัยร้อยละ 0.6-0.7 และ 0.5-0.7 ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของไนโตรเจนและโพแทสเซียมจะสะสมในต้นและใบมากกว่าสะสมในหัวมันสด (ภาพที่ 11) แต่สำหรับการดูดใช้ไนโตรเจน และโพแทสเซียมจะดูดใช้ในหัวมันสดมากกว่าต้นและใบ (ภาพที่ 12) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของวัลลีย์ และ คณะ (2549) ทำการศึกษาในชุดดินห้วยโป่ง และชุดดินหุบกระพง จังหวัดระยอง พบว่ามันสำปะหลังจะมีการสะสมธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในใบและในหัวมันสำปะหลัง รวมทั้งการดูดใช้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันทั้งในหัวและต้นและใบ

3. สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด ความเข้มข้นและการดูดใช้ฟอสฟอรัสของมันสำปะหลัง

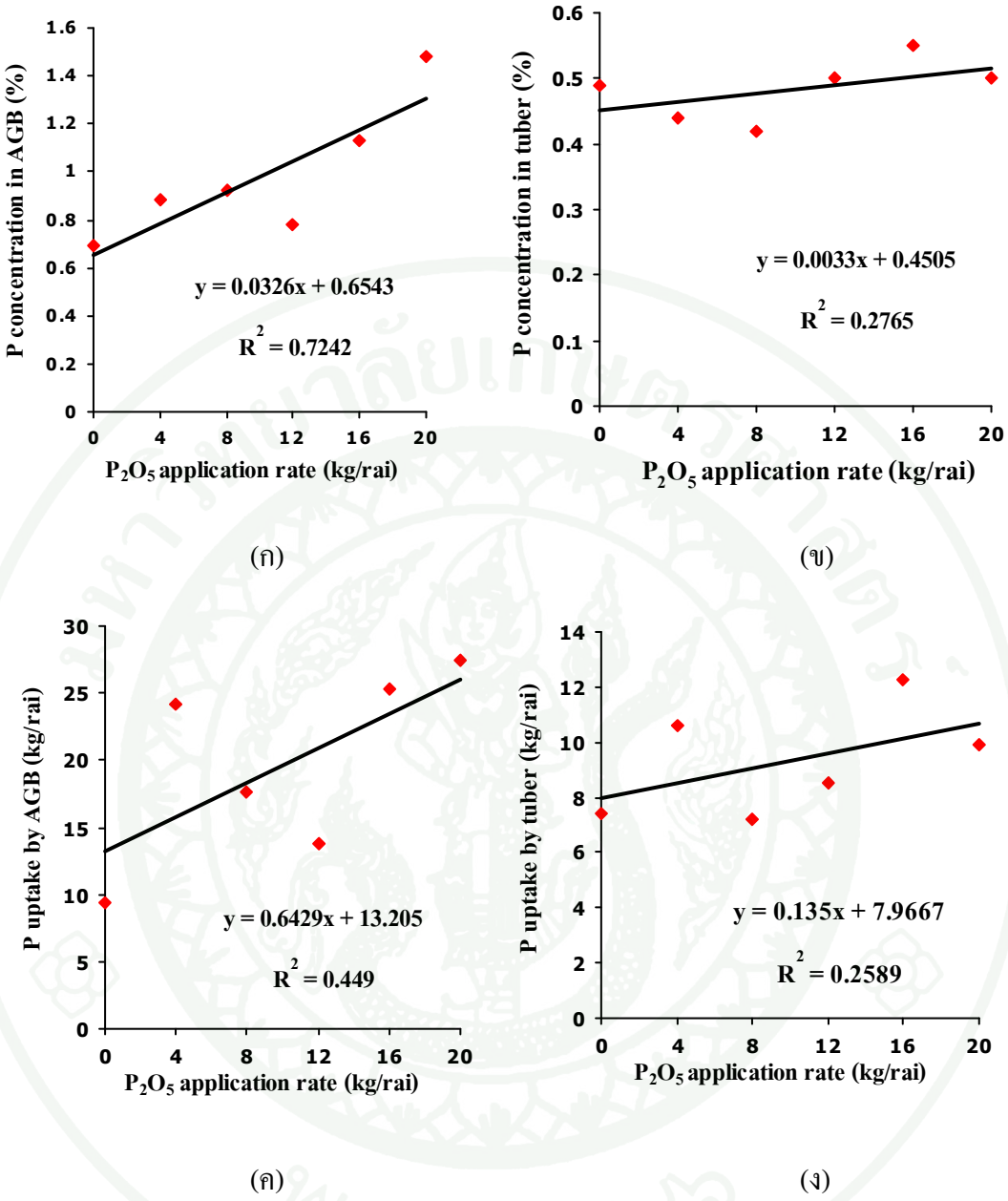
อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในส่วนต้นและใบของมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (R^2 = 0.72) แต่กลับไม่มีผลต่อการสะสมฟอสฟอรัสในหัวมันสำปะหลัง (ภาพที่ 13 ก-ข) โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่มากขึ้นมีแนวโน้มให้ความเข้มข้นและการดูดใช้ฟอสฟอรัสในชีวมวลส่วนเหนือดินและหัวมันสดเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 13) นอกจากนี้การดูดใช้ฟอสฟอรัสของชีวมวลส่วนเหนือดินมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตหัวมันสำปะหลัง (R^2 = 0.70) โดยผลผลิตหัวมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นเมื่อมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น และยังพบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในชีวมวลส่วนเหนือดินที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 14)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12 ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

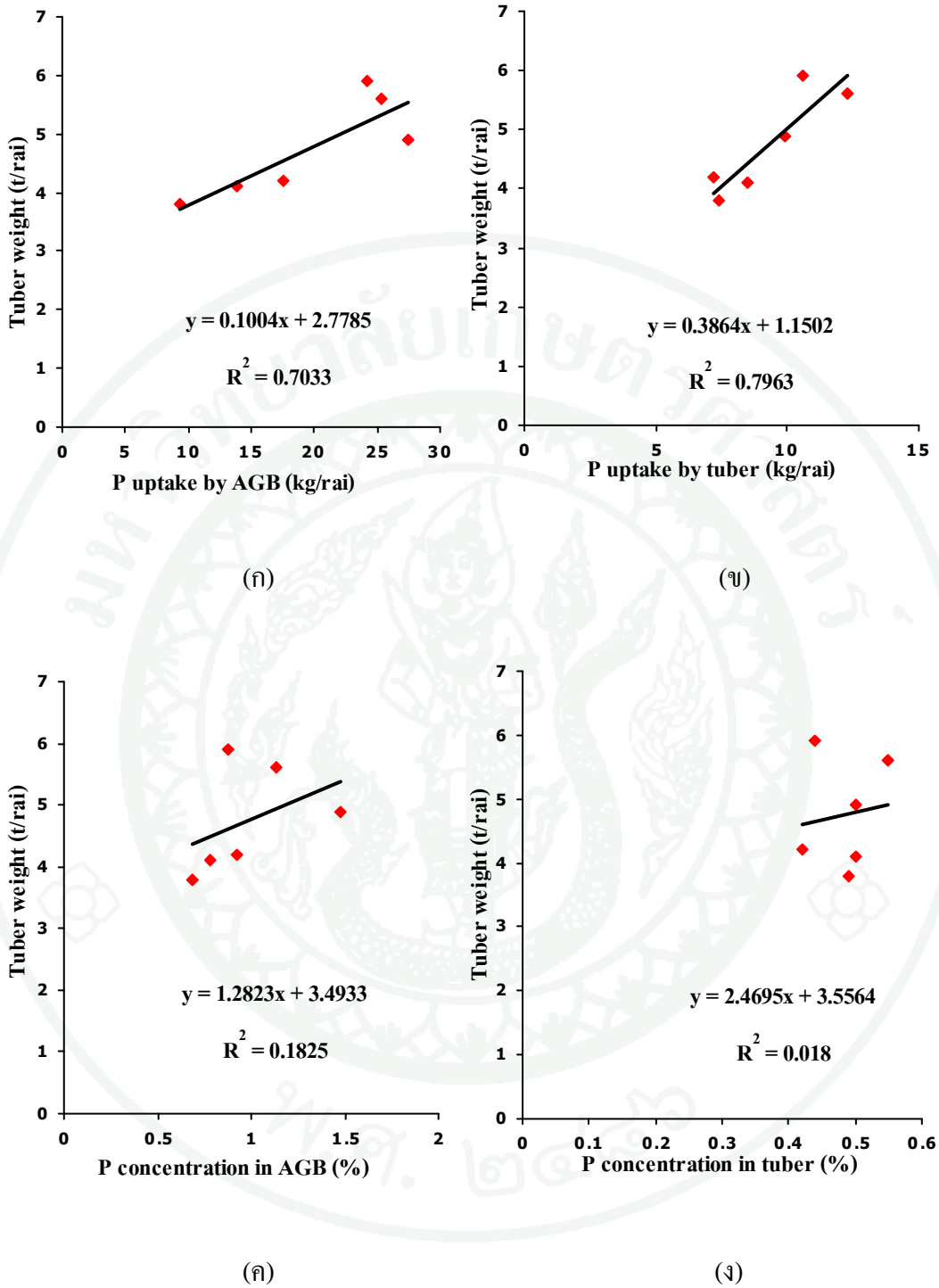
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



หมายเหตุ AGB = above ground biomass

ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในชีวมวลส่วนเหนือดิน (ก) และผลผลิตหัวมันสด (ข) และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสกับการดูดใช้ฟอสฟอรัสในชีวมวลส่วนเหนือดิน (ค) และผลผลิตหัวมันสด (ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



หมายเหตุ AGB = above ground biomass

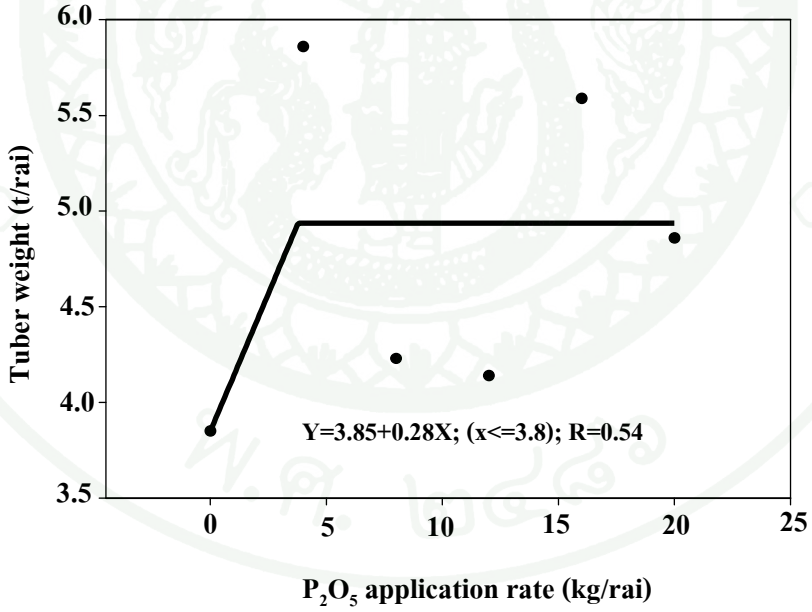
ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ฟอสฟอรัสกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด (ก-ข) และความเข้มข้นของฟอสฟอรัสกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด (ค-ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. เปรียบเทียบการคำนวณผลผลิตโดยใช้สมการต่าง ๆ และผลผลิตที่ได้จริงจากแปลงทดลอง

4.1 Linear Response Plateau model (LRP model)

จากการประเมินด้วย Linear Response Plateau model (LRP model) โดยนำผลผลิตมันสำปะหลังที่ได้จริงจากแปลงทดลองและอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ในการทดลองได้แก่ 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ มาเขียนกราฟด้วยโปรแกรม SigmaPlot (LRP plateau curve) Version 11 (ภาพที่ 15) พบว่า มันสำปะหลังตอบสนองปุ๋ยฟอสฟอรัสต่ำมากคือ 3.8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยจะให้ผลผลิตเท่ากับ 4.9 ตันต่อไร่ และเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเลยจะทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดเท่ากับ 3.9 ตันต่อไร่ (ภาพที่ 15 และ ตารางที่ 3) เมื่อมีการเพิ่มปุ๋ยฟอสฟอรัส ผลผลิตเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากดินที่ใช้ทำการศึกษาครั้งนี้อาจมีปริมาณฟอสฟอรัสใกล้กับความต้องการของมันสำปะหลัง และเมื่อนำอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใช้ในการทดลองจริงในสนามไปแทนค่า X ในสมการ $Y = 3.85 + 0.28X$ ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดที่ประเมินได้แสดงในตารางที่ 3



ภาพที่ 15 การตอบสนองของผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดต่ออัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยใช้ Linear Response Plateau model (LRP model)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังจากแปลงทดลองและจากการคาดคะเนโดยสมการ Linear Response Plateau model (LRP model)

Rate of P_2O_5 (kg/rai)	Actual yield (t/rai)	LRP (t/rai)
0	3.8	3.9
3.8[1]	-	4.9
4	5.8	5.0
8	4.2	6.1
12	4.1	7.2
16	5.5	8.3
20	4.8	9.5

หมายเหตุ [1] critical point/response point predicted by LRP model

4.2 สมการ Mitscherlich-Bray

นำผลผลิตมันสำปะหลังที่ได้จากการทดลองในแปลงทดลอง (Actual yield) มาคำนวณเป็นผลผลิตสัมพัทธ์ ซึ่งได้จากความสัมพันธ์แบบเส้นแนวโน้มโพลิโนเมียลระหว่างอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังที่ได้จากการทดลองในแปลงทดลอง (ภาพที่ 16) ซึ่งได้สมการดังนี้

$$Y = -0.001X^2 + 0.061X + 4.367$$

เมื่อ Y = Eq yield และ X = อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส

เมื่อแทนค่า X ด้วยปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ ได้แก่ 0, 4, 8, 12, 16 และ 20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ในสมการข้างต้นจะสามารถคำนวณผลผลิตสัมพัทธ์ (Eq relative yield) โดยให้ผลผลิตของอัตราปุ๋ยที่คำนวนจาก Eq yield ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดเป็นผลผลิตสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 100 จากนั้นนำผลผลิตในทุกอัตราปุ๋ยมาเปรียบเทียบ (ตารางที่ 4) โดยพบว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จะให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสัมพัทธ์สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 100 และเมื่อทำการใส่ปุ๋ยในอัตราที่ลดลง น้ำหนักหัวมันสำปะหลังสดสัมพัทธ์ที่ได้ก็จะมีค่าลดลง โดยการไม่ใส่ปุ๋ยจะให้น้ำหนักหัวมันสำปะหลังสดสัมพัทธ์มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 84 (ตารางที่ 4)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การคาดคะเนผลผลิตจากสมการ Mitscherlich-Bray โดยนำผลผลิตสัมพัทธ์ (Eq relative yield) ที่คำนวนได้ นำมาหาค่า C_1 และ C_2 โดยใช้สมการ Mitscherlich-Bray คือ

$$\log[100-y] = \log A - C_1 b - C_2 X$$

เมื่อ C_1 = ค่าคงที่ของปัจจัยจากดิน
C_2 = ค่าคงที่ของปัจจัยจากธาตุอาหาร
b = ปริมาณธาตุอาหารในดินเริ่มต้น
X = อัตราธาตุอาหารที่ใส่
y = ผลผลิตเมื่อใส่ธาตุอาหารอัตรา X หรือ X+b
A = ผลผลิตสูงสุดเมื่อ X เพิ่มไปแบบไม่มีที่สิ้นสุด)

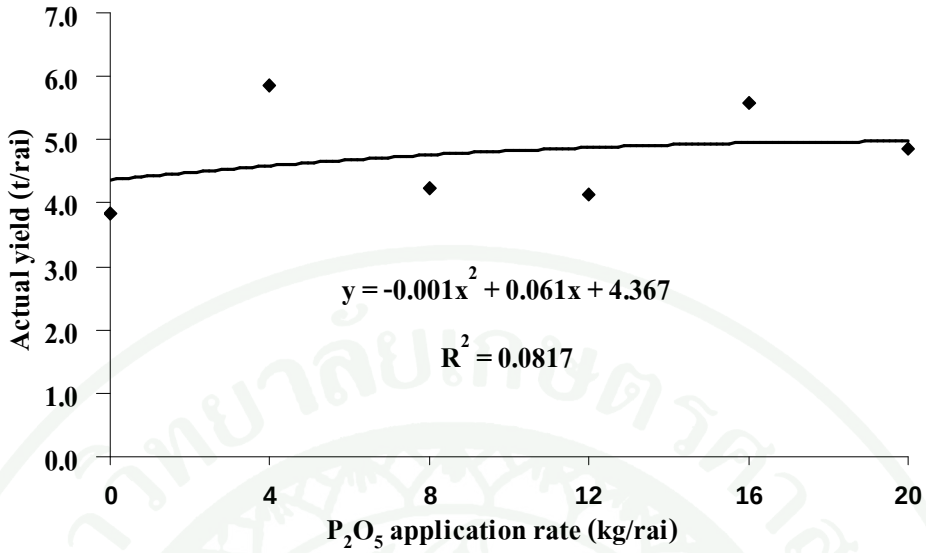
ซึ่งจะทำให้ได้สมการที่มีค่าคงที่ของดินและปุ๋ยใหม่ดังนี้

$$\log [100-y] = 2 - 0.053(b) - 0.042 (X)$$

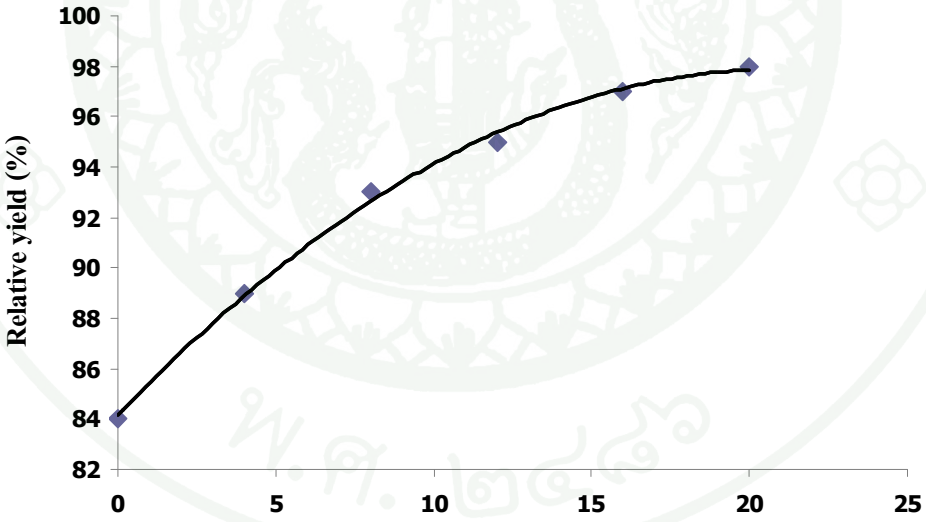
เมื่อ b = ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
X = อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส (กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่)
Y = ผลผลิตมันสำปะหลัง (% ของผลผลิตสูงสุด)

จากนั้นแทนค่าต่าง ๆ ในสมการจะทำให้ได้ผลผลิตสัมพัทธ์ของ Mitscherlich-Bray นำมาเขียนกราฟแสดงการตอบสนองของมันสำปะหลังต่อปุ๋ยฟอสฟอรัส โดยการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จะให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสัมพัทธ์สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 98 และเมื่อทำการใส่ปุ๋ยในอัตราที่ลดลง น้ำหนักหัวมันสำปะหลังสดสัมพัทธ์ที่ได้ก็จะมีค่าลดลง โดยการไม่ใส่ปุ๋ยจะให้น้ำหนักหัวมันสำปะหลังสดสัมพัทธ์มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 84 (ภาพที่ 17 ตารางที่ 4) แล้วนำค่าผลผลิตสัมพัทธ์ของ Mitscherlich-Bray ที่ได้ไปคำนวนหาผลผลิตของ Mitscherlich-Bray โดยการเทียบกับผลผลิตมันสำปะหลังที่ได้จากการทดลองในแปลงทดลอง (Actual yield) และผลผลิตสัมพัทธ์ (Eq relative yield) ก็จะทำให้ได้ผลผลิตจากการคาดคะเนของ Mitscherlich-Bray (ตารางที่ 4)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์แบบเส้นแนวโน้มโพลิโนเมียลระหว่างอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังที่ได้จากการทดลองในแปลงทดลอง



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสกับผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสัมพัทธ์โดยใช้สมการ Mitscherlich-Bray

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3 โปรแกรม Phosphorus Decision Support System (PDSS)

สำหรับโปรแกรม PDSS นั้น (ข้อมูลที่นำเข้าดังแสดงในตารางที่ 1) ทำให้สามารถคาดคะเนผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดที่จะได้ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังจากแปลงทดลองและจากการคาดคะเนโดยสมการ Mitscherlich-Bray

Rate of P_2O_5 (kg/rai)	Actual yield (--------- t/rai ---------)	Eq Yield	Eq relative yield (-------- % --------)	Mit.-Bray relative yield	Mit.-Bray yield (t/rai)
0	3.8	4.4	84	84	3.8
4	5.8	4.6	88	89	5.9
8	4.2	4.8	92	93	4.2
12	4.1	5.0	95	95	4.1
16	5.5	5.1	98	97	5.5
20	4.8	5.2	100	98	4.7

ตารางที่ 5 ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังจากแปลงทดลองและจากการคาดคะเนโดยโปรแกรม Phosphorus Decision Support System (PDSS)

Rate of P_2O_5 (---------- kg/rai ----------)	PDSS P_2O_5[1]	Actual yield (t/rai)
0	6.9	3.8
4	8.1	5.8
8	7.3	4.2
12	7.3	4.1
16	8.1	5.5
20	7.7	4.8

หมายเหตุ [1] = Phosphorus fertilizer rate was predicted by using PDSS basing on the actual yield

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมการ LRP และ Mitscherlich-Bray ทำการคาดคะเนผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดได้ใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับในกรณีของการทดสอบปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับข้าวเมื่อใช้สมการทั้งสองเปรียบเทียบกัน (Alivelu *et al*., 2003) อย่างไรก็ตามสมการ LRP model จะคาดคะเนผลผลิตได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากแปลงทดลองเมื่ออัตราปุ๋ยที่ใส่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3.8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ (critical/response point) แต่เมื่อใส่ปุ๋ยในอัตราที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ผลผลิตที่ประเมินได้มีค่าสูงกว่าความเป็นจริงอยู่ในพิสัยร้อยละ 60-128 เมื่อใส่ปุ๋ยในอัตรา 8-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ขณะที่สมการ Mitscherlich-Bray จะคาดคะเนผลผลิตหัวมันสำปะหลังได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ในแปลงทดลองในเกือบทุกอัตราปุ๋ย โดย LRP model จะคาดคะเนอัตราปุ๋ยได้ต่ำกว่าสมการ Mitscherlich-Bray ในเกือบทุกอัตรา (ตารางที่ 6)

สำหรับการใช้โปรแกรม PDSS ในการคาดคะเนผลผลิตที่จะได้จะต้องใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงกว่าอัตราที่ใช้จริงในแปลงทดลองเกือบ 2 เท่าจึงจะให้ผลผลิตเทียบเท่ากันในกรณีที่ใส่ฟอสฟอรัสน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ แต่ถ้าใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราสูงกว่า 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ประเมินมีแนวโน้มต่ำกว่าอัตราที่ใช้จริงประมาณ 2 เท่า ขณะที่การคาดคะเนฟอสฟอรัสในอัตรา 7.3 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จะให้ผลผลิตเท่ากับ 4.2 ตันต่อไร่เทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ที่ได้จากการทดลองจริง แต่อย่างไรก็ตามการใส่ฟอสฟอรัสในอัตรา 8.1 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ที่ประเมินได้จะให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสูงที่สุดขณะที่การใส่ปุ๋ยในอัตรา 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จะทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังสูงที่สุดที่ได้จริงจากแปลงทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังจากแปลงทดลองและจากการคาดคะเนโดยสมการ Linear Response Plateau model (LRP model), Mitscherlich-Bray และโปรแกรม Phosphorus Decision Support System (PDSS)

Rate of P_2O_5	PDSS P_2O_5[2]	Actual yield	Mit.-Bray yield	LRP
(---------- kg/rai ----------)		(---------- t/rai ----------)		
0	6.9	3.8	3.8	3.9
3.8[1]	-	-	-	4.9
4	8.1	5.8	5.9	5.0
8	7.3	4.2	4.2	6.1
12	7.3	4.1	4.1	7.2
16	8.1	5.5	5.5	8.3
20	7.7	4.8	4.7	9.5

หมายเหตุ [1] = critical point/response point predicted by LRP model

[2] = Phosphorus fertilizer rate was predicted by using PDSS basing on the actual yield

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัส จะให้ผลผลิตสูงที่สุดเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ หากใส่ฟอสฟอรัสในอัตราที่สูงกว่านี้มีแนวโน้มให้ผลผลิตมันสำปะหลังลดลง ถึงแม้ว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 16 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ จะมีผลทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสไปสะสมในหัวมันสำปะหลังสูงที่สุด ขณะที่น้ำหนักต้น ใบ และร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสดไม่มีความสัมพันธ์กับปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่

2. มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 จะตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 3.8 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ โดยให้ผลผลิตหัวมันสด 4.9 ตันต่อไร่ เมื่อคาดคะเนจากสมการ Linear Response Plateau model ขณะที่การคาดคะเนจากสมการ Mitscherlich-Bray ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดเท่ากับ 5.9 ตันต่อไร่ เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 4 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ ซึ่งเป็นค่าคาดคะเนที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดสอบในสนามมากที่สุด ส่วนโปรแกรม Phosphorus Decision Support System (PDSS) ไม่สามารถนำมาใช้คาดคะเนได้เนื่องจากให้ผลทำนายที่สูงกว่าผลผลิตที่ได้จริงมากเกินไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

หากต้องการใช้โปรแกรม Phosphorus Decision Support System (PDSS) ในการคาดคะเนอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสนี้ ควรมีการปรับเปลี่ยนข้อมูลที่นำเข้ามาใช้ในโปรแกรมให้มีความเหมาะสมมากกว่านี้โดยเฉพาะค่าที่เกี่ยวข้องกับฟอสฟอรัส ขณะที่การใช้สมการ Linear Response Plateau model และ Mitscherlich-Bray จะสามารถใช้คาดคะเนสำหรับกรณีศึกษานี้ได้ค่อนข้างดี น่าจะมีการศึกษาทดลองเพิ่มเติมในพื้นที่อื่นเพื่อยืนยันความแม่นยำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. **รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน เล่ม 2 ดิบบนพื้นที่ดอน.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2551. **มันสำปะหลัง**. เอกสารวิชาการ, โรงพิมพ์โอเดียลสแคว์, กรุงเทพฯ.

จำลอง กกรัมย์. 2547. **การจัดการดินและปุ๋ยมันสำปะหลัง**. เอกสารวิชาการ, สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2532. **มันสำปะหลัง การปลูก อุตสาหกรรมแปรรูปและการใช้ประโยชน์**. ภาควิชาพืชไร่-นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

โชติ สิทธิบุศย์, วิชัย นพอมรบดี, สนั่น รัตนานุกูล และ ชุมพล นาควิโรจน์. 2523. **ศึกษาผลตอบสนองต่อปุ๋ย N P และ K ที่ใส่ในอัตราสูง** *ใน* รายงานผลการวิจัยดินและปุ๋ยพืชไร่ประจำปี 2523. สาขาดินและปุ๋ย กองพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ชุมพล นาควิโรจน์ และ วัลลีย์ อมรพล. 2549. **การวิจัยการใช้ปุ๋ยในการผลิตมันสำปะหลังอย่างยั่งยืน**. เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตร การใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพกับพืชเศรษฐกิจ. กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สปผ. กรมวิชาการเกษตร.

ดานุ ราญฎร. 2544. **ผลตกค้างระยะยาวของปุ๋ยฟอสเฟตที่มีต่อผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวโพดที่ปลูกบนชุดดินสตึก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประดิษฐ์ บุญอำพล, สันติ ธีราภรณ์ และประสาร พรมสูงวงศ์. 2543. การทดสอบความเสถียรของค่าคงที่ในการให้คำแนะนำปุ๋ย P และ K กับข้าวโพดในชุดดินปากช่อง จังหวัดลพบุรี, น. 3-4. *ใน* **บทคัดย่อผลงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่ปี 2543**. กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่, กองปฐพีวิทยา, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประภาส ช่างเหล็ก. 2544. **ผลของปุ๋ยที่มีต่อผลผลิตและปริมาณแป้งของมันสำปะหลังพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในดินชุดมาบบอนและโคราช**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิยะวุฒิ พูลสงวน, เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์ และ จำลอง เจียมจำนรรจา. 2533. การศึกษาผลตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยเคมีของมันสำปะหลังพันธุ์ใหม่ในสภาพแปลงเกษตรกร, 38 น. *ใน* **รายงานผลงานวิจัยประจำปีโครงการปรับปรุงวิธีการปลูกมันสำปะหลัง**. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**,** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**,** กรุงเทพฯ.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. **ธาตุอาหารพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วัลลีย์ อมรพล, สมลักษณ์ จูฑังคะ, อัจฉรา ลิ่มศิลา, จรุงสิทธิ์ ลิ่มศิลา และ ดนัย สุภาหาร. 2549. ทดสอบและพัฒนาเทคโนโลยีการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังในพื้นที่ภาคตะวันออก. น. 35-38. *ใน* **รายงานผลงานวิจัยและพัฒนาฉบับเต็ม ปี 2550.** สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6 กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วิจารณ์ วิชชุกิจ. 2531. **มันสำปะหลัง**. ภาควิชาพืชไร่-นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. 2518. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. คู่มือประกอบการบรรยาย. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยพืชไร่. 2535. **รายงานผลงานวิจัยพืชไร่ 2534**. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพ ฯ.

สถาบันวิจัยพืชไร่. 2537. **มันสำปะหลัง**. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพ ฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์. 2538. **แร่ธาตุอาหารพืชสวน**. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สุทิน คล้ายมนต์. 2542. การวิเคราะห์และแปลความหมายผลการทดสอบปุ๋ยพืชไร่เพื่อให้คำแนะนำปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน. การพัฒนาและทดสอบโปรแกรม dbsoilTest for DOS, น. 157-178. *ใน* **รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง การจัดการดินไร่และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเพื่อเพิ่มผลผลิตพืชไร่.** กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยพืชไร่, กองปฐพีวิทยา, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

สมพงษ์ กาทอง. 2541**. ศึกษาวิธีการเตรียมดินเชิงอนุรักษ์กับความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดิน และการผลิตมันสำปะหลัง**. ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

สมลักษณ์ จูฑังคะ. 2551. **เทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลัง**. เอกสารวิชาการ, ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

โสภณ สินธุประมา. 2526. **ประวัติความสำคัญ และดินฟ้าอากาศที่เหมาะสมในมันสำปะหลัง**. เอกสารวิชาการ เล่มที่ 7, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. **สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2553**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักชั่งตวงวัด กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์. 2549. **เครื่องชั่งหาเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลัง** (แผ่นพับ).

สุทิน คล้ายมนต์ และ สัมฤทธิ์ ชัยวรรณคุปต์. 2531. แนวทางการใช้ Linear Response and Plateau Model แนะนำปุ๋ยพืชไร่ตามการจำแนกดินแบบ Fertility Capability Classification, น. 152-161. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2531 (ด้านปฐพีวิทยา)**. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อนุชิต ทองกล่ำ, ชาญ ถิรพร และ โสภณ สินธุประมา. 2521. ผลของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวหลังจากการตัดต้นที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพมันสำปะหลัง., น. 142–145. *ใน* **รายงานผลการทดลองมันสำปะหลัง พ.ศ.2521**. สาขาพืช กรมวิชาการเกษตร.

อัจฉรา ลิ่มศักดา และ จรุงสิทธิ์ ลิ่มศักดา. 2537. **ชนิดและพันธุ์มันสำปะหลัง**. เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง, ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

Alivelu, K., S. Srivastava, A. Subba Rao, K.N. Singh, G. Seivakumari and N.S. Raju. 2003. Comparision of modified mischerlich and reponse plateau models for calibrating soil test based nitrogen recommendations for rice on Typic Ustropept. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 34: 2633-2643.

Alves, A.A.C. 2002. Cassava botany and physiology, pp. 67-89. *In* R.J. Hillocks, J.M. Thresh and A.C. Bellotti, eds., **Cassava: Biology, Production and Utilization**. CAB International.

Anderson, R.L. and L.A. Nelson. 1975. A family of models involving intersecting straight lines and concomitant experimental designs useful in evaluating response to fertilizer nutrients. **Biometrics** 31: 303-318.

Attanandana, T. and R.S. Yost. 2003. A site-specific nutrient management approach for maize. **Better Crops International** 17: 3-7.

Bandel, V.A., B.R. James and J.J. Meisinger. 2000. **Basic Principles of Soil Fertility I: Plant Nutrients**. Department of Agronomy, University of Maryland, College Park.

Bohn, H.L., B.L. McNeal and G.A. O'Conner. 2001. **Soil Chemistry**. 3rd ed. John Wiley &Sons. Inc., New York.

Brady , N.C. and R.R. Weil. 2008. **The Nature and Properties of Soils.** 14th ed. Prentice Hall,

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

New Jersey.

Bray, R.H. 1954. A nutrient mobility concept of soil-plant relationships. **J. Soil Sci.** 104: 9-22.

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

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1976. **Annual Report for 1975**. CIAT, Cali, Colombia.

Chang, S.C. and M.L. Jackson. 1957. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Sci.** 84: 133-144.

Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891-901. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis: Part II.** Monograph No.9**.** Amer. Soc. Agron. Inc., Amdison, Wisconsin.

Chen, G., R.S. Yost, Z.C. Li, X. Wang and F.R. Cox. 1997. Uncertainty analysis for knowledgebased decision aids: application to PDSS (Phosphorus Decision Support System). **Agri. Syst.** 55: 461-471.

Conceicao, A.J. da. 1979. **A Mandioca**. UFBA/EMBWPA/BNB/BWSCAN NORDESTE, Cruz das Almas, BA.

Cox, F.R. 1994. Predicting increase in extractable phosphorus from fertilizing soils of varying clay content. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 58: 1249-1253.

Department of Tropical Plant and Soil Science. 2003. **Phosphorus Decision Support System for Windows Version 3.0.** (Computer Program). University of Hawaii at Manoa, Hawaii.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Dev, G. 1992. Interaction of phosphorus with other nutrients and crops husbandry factors. **Fertility News** 37: 59-63.

Didier, P. and A. Mabrouk El-Sharkawy. 1993. Cassava varietal response to phosphorus fertilization. I. Yield, biomass and gas exchange. **Field Crops Research** 35: 1-11.

Haseman, J.F., E.H. Brown and C.D. White. 1950. Some reaction of phosphate with clays and Hydrous oxides of iron and aluminum. **Soil Sci.** 70: 257-271.

Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers: an Introduction to Nutrient Management.** 7th ed. Pearson Prentice Hall Inc., New Jersey.

Hillocks, R.J., J.M. Thresh and A.C. Bellotti. 2002. **Cassava: Biology, Production and Utilization**. UK: CABI Publishing Wallingford.

Howeler, R.H. 1981. **Mineral Nutrition and Fertilization of Cassava**. Series 09EC-4, CIAT, Cali, Colombia.

Hsu, P.H. 1964. Adsorption of phosphate by aluminium and iron in soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 28: 474-478.

Indira, J. E., S.O David Osiru, C.M. Marcio Porto. 1998. **Physiology of Cassava.** Available Source: http://www.iita.org/info/trn_mat/irg55/irg55.html, March 10, 2012.

Jackson, M.L. 1958. **Soil Chemical Analysis**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

Kilmer, V.J. and L.T. Alexander. 1949. Method of making mechanical analysis of soils. **Soil Sci.** 68: 15-24.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Krochmal, A. and G. Samuels. 1970. The influence of N P K levels on the growth and tuber development of cassava in tanks. **CEIBA.** 16: 35-43.

Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973**. Soil Interpretation Handbook for Thailand**. Dept. of Land Development, Min. of Agri. And Coop., Bangkok.

Lenis, J.I., F. Calle, G. Jaramillo, J.C. Perez, H. Ceballos and J.H Cock. 2006. Leaf retention and cassava productivity. **Field Crops Research** 95: 126-134.

Mill, H.A. and J.B. Jones, Jr. 1996. **Plant Analysis Handbook II: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide**. Micro Macro Publing Inc., USA.

Mitscherlich, E.A. 1909. Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrags **Landwirtschaftliche Jahrbücher** 38: 537-552.

National Soil Survey Center. 1996. **Soil Survey Laboratory Methods Manual**. Soil Survey investigations Report No. 42, Version 3.0. Natural Conservation Service, United States Department of Agriculture.

Prasad, R., S.N. Sharma and J.F. Power. 1997. **Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture**. Boca Raton, Fla. Lewis.

Pratt, P.E. 1965. Potassium, pp. 1022-1030. *In* C.A. Black, ed. **Methods of soil Analysis: Part II. Monograph No. 9**. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin.

Ramanujam, T. 1990. Effect of moisture stress on photosynthesis and productivity of cassava. **Photosynthetica** 24: 217-224.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sample, E.C., R.J. Soper and C.J. Racz. 1980. Reactions of phosphate fertilizers in Soil. *In* F.E. Khasawneh *et al*., eds. **The Roles of Phosphorus in Agriculture**. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.

Sanchez, P.A. 1976. **Properties and Management of Soils in the Tropics**. A wiley-Interscience publication John Wiley and Sons, lnc., New York.

Sharma, P.K. and H.L.S. Tandon. 1992. Nitrogen and phosphorus in crop production, pp.1-20. *In* H.L.S. Tandon, ed. **Management of Nutrient Interaction. Fertilizer Development and Consultation organization**, New Delhi.

Smith, F.W., W.A. Jackson and P.J. Van der Berg. 1990. Internal phosphorus flows during development of phosphorus stress in *Stylosanthes hamata*. **J. Plant Physiol.** 17: 451-464.

Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil Survey Manual.** US. Dep. Of Agr. Handbook No. 18, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

Stephens, D. 1960. Fertilizer trials on peasant farms in Ghana. **Empire Journal of Experimental Agriculture** 109: 1-22.

Syers, J. K., A.D. Mackay, M.W. Brown and L.D. Currie. 1986. Chemical and physical of phosphate rock materials of varying reactivity. **J. Sci. Food Agric**. 37: 1057-1064.

Tisdale, S.L. and W.L. Nelson. 1975. **Soil Fertility and Fertilizers.** 3rd ed. Macmillan Publ. Co. Inc., New York.

Veltkamp, H.J. 1985. Interrelationships between LAI, light interception and total dry matter yield of cassava. **Agricultural University Weganingen Paper** 85: 36-46.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination digestion method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science** 37: 29-37.

Wang, X., J.M. Jackman, R.S. Yost and B.A. Linquist. 2000. Predicting soil phosphorus buffer coefficient using potential sorption site density and soil aggregation. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 64: 240-246.

Waugh, D.L., R.B.Cate and L.A. Nelson. 1973. **Discontinuous Models for Rapid Correlation, Interpretation and Utilization of Soil Analysis and Fertilizer Response Data**. Technical Bulletin No. 7, Soil Fertility Evaluation and Improvement Program, North Carolina State University, August 1973.

Yost, R., A.B. Onken, F. Cox and S. Reid. 1992. The diagnosis of phosphorus deficiency and predicting phosphorus requirement. *In* S. Balas, ed. **Proceeding of the Phosphorus Decision Support System Workshop**, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Hawaii.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวัดร้อยละการสะสมแป้งด้วยการแทนที่น้ำ

โดยใช้เครื่องชั่งหาร้อยละการสะสมแป้ง (ภาพผนวกที่ 1 ก-ข) ในการชั่งจะต้องใช้น้ำจืดที่สะอาดใส่ลงในถัง แล้วสุ่มเลือกมันสำปะหลังสดจำนวน 5 กิโลกรัมใส่ลงในตะกร้า คันชั่งตัวล่างใช้หาน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์สิ่งสกปรก โดยที่เปอร์เซ็นต์สิ่งสกปรก 0% จะตรงกับน้ำหนักหัวมันสำปะหลัง 5 กิโลกรัม และที่ 60% จะตรงกับน้ำหนักหัวมันสำปะหลัง 2 กิโลกรัม คันชั่งตัวบนใช้หาน้ำหนักและร้อยละการสะสมแป้ง โดยที่เปอร์เซ็นต์แป้ง 10% จะตรงกับน้ำหนักแป้ง 280 กรัม และที่ 30% จะตรงกับน้ำหนักแป้ง 670 กรัม (สำนักชั่งตวงวัด, 2549)

(ก) (ข)

ภาพผนวกที่ 1 เครื่องชั่งหาร้อยละการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลังด้วยหลักการแทนที่น้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณน้ำฝนบริเวณพื้นที่ศึกษาตั้งแต่เดือนมกราคม - เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553

เดือน	ปริมาณน้ำฝน (มม.)
มกราคม	76
กุมภาพันธ์	34
มีนาคม	23
เมษายน	37
พฤษภาคม	71
มิถุนายน	124
กรกฎาคม	194
สิงหาคม	258
กันยายน	218
ตุลาคม	504
พฤศจิกายน	1
ธันวาคม	12

ที่มา: ศูนย์วิจัยพืชไร่นครราชสีมา ต.ลาดบัวขาว อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา (2553)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด - ต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่เดือนมกราคม - เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553

เดือน	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย	อุณหภูมิเฉลี่ยต่อเดือน
	(---------- °C ----------)		
มกราคม	29	18	24
กุมภาพันธ์	34	21	27
มีนาคม	35	22	28
เมษายน	30	23	36
พฤษภาคม	36	24	30
มิถุนายน	35	25	30
กรกฎาคม	32	24	28
สิงหาคม	30	23	27
กันยายน	31	23	27
ตุลาคม	29	22	25
พฤศจิกายน	29	19	24
ธันวาคม	29	17	23

ที่มา: ศูนย์วิจัยพืชไร่นครราชสีมา ต.ลาดบัวขาว อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา (2553)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อความสูงของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

อัตราปุ๋ย	ความสูง (ซม.)					
(กก. P_2O_5/ไร่)	2 เดือน	3 เดือน	4 เดือน	5 เดือน	6 เดือน	7 เดือน
0	33	85	117	153	159	166
4	35	86	126	171	180	191
8	37	91	125	168	177	185
12	35	83	113	148	155	164
16	33	90	126	172	184	193
20	35	85	114	154	162	175
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	6.9	7.9	8.4	9.7	11.1	12.2

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

P_2O_5 rate	Tuber	AGB	Harvest index	Starch content	
(kg/rai)	(--------- t/rai ---------)			(%)	(t/rai)
0	3.8 c	5.9	0.39	27.9	1.1 c
4	5.9 a	8.0	0.41	31.5	1.8 a
8	4.2 bc	6.1	0.40	30.6	1.3 bc
12	4.1 bc	4.2	0.50	29.6	1.2 c
16	5.6 ab	5.9	0.50	30.2	1.7 ab
20	4.9 abc	5.1	0.51	29.3	1.5 abc
F-test	*	ns	ns	ns	*
CV(%)	16.6	37.5	17.1	5.3	16.1

หมายเหตุ AGB = above ground biomass

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อความเข้มข้นธาตุอาหารหลักของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

P_2O_5 rate (kg/rai)	Tuber			Above ground biomass		
	N	P	K	N	P	K
	(---------- % ----------)					
0	0.72	0.49	0.59	1.95	0.69	0.86
4	0.59	0.44	0.61	2.18	0.88	0.80
8	0.63	0.42	0.68	2.11	0.92	1.01
12	0.66	0.50	0.52	1.91	0.78	0.79
16	0.66	0.55	0.50	2.19	1.13	0.94
20	0.73	0.50	0.53	2.07	1.48	0.98
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	36.6	17.2	38.1	11.6	45.5	51.9

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 6 ผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ปลูกในดินจตุรัสเมื่อได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 0-20 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

P_2O_5 rate (kg/rai)	Tuber			Above ground biomass		
	N	P	K	N	P	K
	(---------- kg/rai ----------)					
0	6.22	7.4 b	5.15	3.88	9.4	1.85
4	5.89	10.6 ab	6.09	4.53	24.2	1.65
8	5.89	7.2 b	6.40	4.06	17.6	1.94
12	6.84	8.5 ab	5.03	3.87	13.8	1.62
16	8.06	12.3 a	6.06	4.93	25.3	2.12
20	7.74	9.9 ab	5.55	5.53	27.5	2.66
F-test	ns	*	ns	ns	ns	ns
CV(%)	20.5	21.1	38.9	34.2	26.3	42.3

หมายเหตุ AGB = above ground biomass

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกัน ที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 7 เกณฑ์การประเมินพีเอชดิน (ดินต่อน้ำ = 1:1)

ระดับ (rating)	พิสัย (range)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรดจัดมาก	Extremely acid	< 4.5
กรดจัด	Very strong acid	4.5-5.5
กรดแก่	Strongly acid	5.1-5.5
กรดปานกลาง	Moderately acid	5.6-6.0
กรดเล็กน้อย	Slightly acid	6.1-6.5
กลาง	Neutral	6.6-7.3
ด่างอ่อน	Mildly alkaline	7.4-7.8
ด่างปานกลาง	Moderately alkaline	7.9-8.4
ด่างแก่	Strong alkaline	8.5-9.0
ด่างจัด	Extremely alkaline	> 9.0

ที่มา: Land Classification Division and FAO Project Staff (1973)

ตารางผนวกที่ 8 เกณฑ์การประเมินระดับอินทรียวัตถุและธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในดิน

ระดับ (rating)	พิสัย (range)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อินทรียวัตถุ (g/kg)	
ต่ำมาก (VL)	< 5
ต่ำ (L)	5-10
ค่อนข้างต่ำ (ML)	10-15
ปานกลาง (M)	15-25
ค่อนข้างสูง (MH)	25-35
สูง (H)	35-45
สูงมาก (VH)	> 45
ไนโตรเจนรวม (g/kg)	
ต่ำมาก (VL)	< 0.25
ต่ำ (L)	0.50-0.75
ปานกลาง (M)	0.75-1.25
สูง (H)	1.25-1.75
สูงมาก (VH)	> 2.25
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	
ต่ำมาก (VL)	< 3
ต่ำ (L)	3-6
ค่อนข้างต่ำ (ML)	6-10
ปานกลาง (M)	10-15
ค่อนข้างสูง (MH)	15-25
สูง (H)	25-45
สูงมาก (VH)	> 45
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	
ต่ำมาก (VL)	< 30
ต่ำ (L)	30-60
ปานกลาง (M)	60-90
สูง (H)	90-120
สูงมาก (VH)	> 120

ที่มา: Land Classification Division and FAO Project Staff (1973)

ตารางผนวกที่ 9 เกณฑ์การประเมินระดับด่างที่สกัดได้และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ระดับ (rating)	พิสัย (range) ($cmol_{(+)}/kg$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

	Extractable				Cation exchange
	Ca	Mg	K	Na	capacity
ต่ำมาก (VL)	< 2	< 0.3	< 0.2	< 0.1	< 3
ต่ำ (L)	2-5	0.3-1.0	0.2-0.3	0.1-0.3	3-5
ค่อนข้างต่ำ (ML)					5-10
ปานกลาง (M)	5-10	1.0-3.0	0.3-0.6	0.3-0.7	10-15
ค่อนข้างสูง (MH)					15-20
สูง (H)	10-20	3.0-8.0	0.6-1.2	0.7-2.0	20-30
สูงมาก (VH)	> 20	> 8.0	> 1.2	> 2.0	> 30

ที่มา: Land Classification Division and FAO Project Staff (1973)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวปิยะนันท์ วิวัฒน์วิทยา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 10 มกราคม 2527
สถานที่เกิด	นครปฐม
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ปฐพีวิทยา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	พนักงานราชการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมวิชาการเกษตร
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์