การใช้ แคลเซียม แมกนีเซียม และธาตุอาหารเสริม และการวินิจฉัยสถานะของธาตุอาหารในมันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz.)

นางสาวฑิตยา คู่แก้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2560

APPICATION OF Ca Mg AND MICRO NUTRIENTS AND DIAGNOSIS OF NUTRIENT STATUS IN CASSAVA (*Manihot esculenta* Crantz.)

Titaya Kukaew

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science Program in Crop Science

Suranaree University of Technology

Academic Year 2017

การใช้ แคลเซียม แมกนีเซียม และธาตุอาหารเสริม และการวินิจฉัยสถานะของธาตุอาหารในมันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz.)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.ฐิติพร มะชิโกวา)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.สุดชล วุ้นประเสริฐ)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ดร.จิตริน ชัยประภา)
กรรมการ

(ศ. (เกียรติคุณ) ดร.นันทกร บุญเกิด)
กรรมการ

(ศ. ดร.สันติ แม้นศิริ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(ศ. ดร.หนึ่ง เตียอำรุง)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ฑิตยา คู่แก้ว : การใช้ แคลเซียม แมกนีเซียม และธาตุอาหารเสริม และการวินิจฉัยสถานะของธาตุอาหารในมันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz.) (APPLICATION OF Ca Mg AND MICRO NUTRIENTS AND DIAGNOSIS OF NUTRIENTS STATUS IN CASSAVA (*Manihot esculenta* Crantz.)) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดชล วุ้นประเสริฐ, 64 หน้า.

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาอิทธิพลของ Ca Mg และธาตุอาหารเสริมต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลัง และ 2) ศึกษาวิธีการตรวจวัดสถานะของธาตุ K และ Fe ในใบมันสำปะหลังโดยใช้วิธีการเรืองรังสีเอ็กซ์ด้วยแสงซินโครตรอน โดยมี 2 การทดลองในการทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของ Ca Mg และธาตุอาหารเสริมต่อ การเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลัง วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ 6 ทรีตเมนต์ คือ T1: ไม่ให้ปุ๋ย T2: ให้ปุ๋ยโดยวิธีเกษตรกร T3: ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร (N P และ K) T4: ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (N P และ K) + ธาตุอาหารรอง Ca และ Mg จากปุ๋ยเคมี T5: ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (N P และ K) + ธาตุอาหารรอง Ca และ Mg จากโดโลไมด์ และT6: ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (N P และ K) + ธาตุอาหารรอง Ca และ Mg + ธาตุอาหารเสริม ผลการทดลองพบว่าการให้ปุ๋ยวิธีการที่แตกต่างกันมีผลทำให้การเจริญเติบโตแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าการเจริญเติบโต ผลผลิต ประสิทธิภาพการใช้แสง และประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยมีการตอบสนองต่อ Ca และ Mg จากทั้งปุ๋ยเคมีและโดโลไมด์ แต่การให้ Ca และ Mg จากโดโลไมด์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดินด้วย การทดลองที่ 2.1 การใช้เทคนิค X-ray Fluorescence วิเคราะห์สถานะของธาตุ K ในใบมันสำปะหลัง โดยใช้ใบมันสำปะหลังจากการทดลองที่ 1 ทรีตเมนต์ประกอบด้วย T1.การไม่ให้ปุ๋ย และ T2.ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg ผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า T1 มีปริมาณ K อยู่ในช่วงขาดแคลน และ T2 อยู่ในช่วงที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ซึ่งผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกับเทคนิค XRF ส่วนการศึกษากระจายตัวของ K โดยใช้เทคนิค XRF พบว่ามีความสัมพันธ์กับตำแหน่งบนใบโดยพบมากที่สุดบริเวณระหว่างเส้นใบในใบที่มีการใส่ปุ๋ย K แต่เมื่อทำการศึกษาในใบที่แสดงอาการขาด K อย่างรุนแรง พบว่าการกระจายตัวของ K จะอยู่บริเวณขอบใบมากที่สุด สำหรับการทดลองที่ 2.2 การใช้เทคนิค X-ray Fluorescence วิเคราะห์สถานะของธาตุ Fe ในใบมันสำปะหลัง โดยใช้ใบมันสำปะหลังจากการทดลองที่ 1 ทรีตเมนต์ประกอบด้วย T2. ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg และ T3. ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม ผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า ทั้งสองทรีตเมนต์ มีปริมาณ Fe อยู่ในช่วงที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ส่วนการศึกษาการกระจายตัวของ Fe โดยใช้เทคนิค XRF พบว่าการกระจายตัวของ Fe มีความสัมพันธ์

กับตำแหน่งบนใบทั้งการฉีดพ่น Fe และไม่ฉีดพ่น Fe และเมื่อทำการศึกษาในใบที่แสดงอาการขาด Fe อย่างรุนแรง พบว่าการกระจายตัวของ Fe มีอยู่บริเวณรอบจุดสีเหลืองมากที่สุด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้เทคนิค XRF ในการตรวจวัดสถานะของ K และ Fe ในใบมันสำปะหลังได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช ลายมือชื่อนักศึกษา วิทยา คุ้นการ

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

TITAYA KUKAEW : APPLICATION OF Ca Mg AND MICRO NUTRIENTS AND DIAGNOSIS OF NUTRIENTS STATUS IN CASSAVA (*Manihot esculenta* Crantz.). THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SODCHOL WONPRASAID, Ph.D., 64 PP.

CASSAVA/SANDY SOIL/DISTRIBUTION/Ca AND Mg/XRF TECHNIQUE/SYNCHROTRON/DIAGNOSIS OF NUTRIENTS STATUS

The objectives of this research are 1) to investigate the effects of Ca Mg and micronutrients on growth and yield of cassava and 2) to study the status of K and Fe in cassava leaves by the synchrotron X-ray fluorescence (XRF) technique. There were two experiments. In experiment 1, the experimental design was RCBD with 4 replications. Treatments consisted of 6 fertilizer application methods: T1) control (no fertilizer); T2) Farmer application rate; T3) Fertilizer based on soil test (FBST, only N P and K); T4) FBST + Ca and Mg from chemical fertilizer; T5) FBST + Ca and Mg from dolomite; and T6) FBST + Ca and Mg + micronutrients. The results showed that the fertilizer application methods had significant effects on cassava. Cassava growth, total yield, radiation use efficiency (RUE) and fertilizer use efficiency (FUE) responded significantly to Ca and Mg from both chemical fertilizer and dolomite. However, the application of Ca and Mg from dolomite also had an effect on soil pH. In Experiment 2.1, the diagnosis of K status in cassava was carried out using the leaf tissues of experiment 1. Treatments consisted of T1: control (no fertilizer) and T2: FBST + Ca and Mg from dolomite. Leaf K was analyzed by chemical analysis and XRF technique. The results showed that, with the chemical analysis, K contents in the

leaves of T2 were in the sufficient range, while those in control were in the deficient range. The determination of K distribution by XRF technique showed that the K distribution was associated with leaf position. There was more concentration in the leaf blade in T2 treatment. Moreover, the study of K distribution in the leaves with severe K deficiency showed that the concentration of K in the leaf margin was higher than in the other parts of the leaves. In Experiment 2.2, the diagnosis of the Fe status in cassava was carried out using the leaf tissues of experiment 1. Treatments consisted of T2: FBST + Ca and Mg from dolomite and T3: FBST + Ca and Mg + micronutrients. The results showed that, with the chemical analysis, Fe contents in the leaves of both treatments were in the sufficient range. Fe distribution determined by the XRF technique was related to the leaf position in both treatments. The analysis of leaves with severe Fe deficiency by the XRF technique showed that the concentration of the Fe in the round yellow spots were higher than those in the other parts of the leaves. The results implied that the XRF technique could be used to diagnosis the status of K and Fe in cassava leaves.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Crop Production Technology Student's Signature Titaya Kukaew

Academic Year 2017 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลที่ให้ความช่วยทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดชล วุ้นประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ดร.จิตริน ชัยประภา นักวิทยาศาสตร์ระบบลำเลียงแสงที่ 6b Micro-XRF สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณคุณนวลปรางค์ อุทัยดา คุณสมยง พิมพ์พรม และคุณสหรัฐ นภากาศ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยอำนวยความสะดวก และให้คำแนะนำทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ และคุณอุทัย พลแสงจันทร์ และเจ้าหน้าที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยเหลือ และสนับสนุนการปฏิบัติงานในแปลงทดลอง

ขอขอบคุณพี่น้องบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชทุกท่าน ที่ช่วยเหลือในด้านต่างๆ ให้การปฏิบัติงานเป็นไปได้ด้วยดี ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่มอบทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ในระดับบัณฑิตศึกษา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รัก และเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัย จนทำให้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ฑิตยา คู่แก้ว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 2

2 ปริทัศน์และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 มันสำปะหลัง 3

2.2 ปัญหาการผลิตมันสำปะหลัง 4

2.3 ธาตุอาหารพืช 5

2.4 การให้ปุ๋ยทางใบ 8

2.5 การจัดการธาตุอาหารในมันสำปะหลัง 9

2.6 การวินิจฉัยธาตุอาหารในพืช 14

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อิทธิพลของ แคลเซียม แมกนีเซียม และธาตุอาหารเสริมต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลัง 17

3.2 การใช้เทคนิค X-ray Fluorescence วิเคราะห์สถานะของ K ในใบมันสำปะหลัง 21

3.3 การใช้เทคนิค X-ray Fluorescence วิเคราะห์สถานะของ Fe ในใบมันสำปะหลัง 23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 อิทธิพลของ แคลเซียม แมกนีเซียม และธาตุอาหารเสริมต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลัง....24

4.2 การใช้เทคนิค X-ray Fluorescence วิเคราะห์สถานะของ K ในใบมันสำปะหลัง....44

4.3 การใช้เทคนิค X-ray Fluorescence วิเคราะห์สถานะของ Fe ในใบมันสำปะหลัง....48

5 บทสรุป....52

รายการอ้างอิง....54

ภาคผนวก....58

ประวัติผู้เขียน....64

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 แสดงคุณสมบัติทางเคมี และระดับความเหมาะสมธาตุอาหารของมันสำปะหลัง 10
2 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลังที่อายุประมาณ 3-4 เดือน หลังปลูก 11
3 น้ำหนักแห้ง และการสะสมธาตุอาหารในมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือน 12
4 น้ำหนักแห้ง และการสะสมธาตุอาหารในมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือน (ต่อ) 13
5 การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของมันสำปะหลัง (กรมวิชาการเกษตร, 2548) 18
6 สรุปปริมาณปุ๋ยที่ให้ในแต่ละทรีตเมนต์ 19
7 ผลวิเคราะห์ดินก่อนการทดลอง 25
8 ผลวิเคราะห์ดินหลังการทดลอง 26
9 ผลวิเคราะห์ดินหลังการทดลอง (ต่อ) 26
10 ความงอกที่อายุ 15 วันหลังปลูก และความสูงของต้นมันสำปะหลัง 28
11 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของมันสำปะหลัง 29
12 จำนวนกิ่งของมันสำปะหลัง 30
13 ดัชนีพื้นที่ใบของมันสำปะหลัง (Leaf area index; LAI) 31
14 น้ำหนักแห้งรวมใบ ลำต้น และราก (Total dry matter; TDM) 32
15 อัตราการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง (Crop growth rate; CGR) 34
16 ผลผลิตของมันสำปะหลัง ที่อายุ 12 เดือน 35
17 น้ำหนักของส่วนใต้ดิน และเหนือดินของมันสำปะหลัง (น้ำหนักแห้ง) 36
18 ระดับความเขียวของใบมันสำปะหลัง 37
19 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของมันสำปะหลังที่อายุ 4 เดือน 38
20 ปริมาณธาตุอาหารในใบของมันสำปะหลังที่อายุ 4 เดือน 41
21 ปริมาณธาตุอาหารในใบของมันสำปะหลังที่อายุ 4 เดือน (ต่อ) 41
22 ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยของมันสำปะหลัง (Fertilizer use efficiency; FUE) 43
23 ประสิทธิภาพการใช้แสงของมันสำปะหลัง (Radiation use efficiency; RUE) 43
24 สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลของ K หลังการทดลองโดยเทคนิค XRF และวิธีทางเคมี 45
25 สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลของ Fe หลังการทดลองโดยเทคนิค XRF และวิธีทางเคมี 49

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1 ใบมันสำปะหลังที่ขาดธาตุ K และ Fe อย่างรุนแรง 22
2 ตำแหน่งใบที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางซินโครตรอน 23
3 พื้นที่ที่ใช้ในการสแกนและการกระจายของ K 46
4 พื้นที่ที่ใช้ในการสแกนและการกระจายของ K ในใบที่แสดงอาการขาดอย่างรุนแรง 47
5 พื้นที่ที่ใช้ในการสแกนและการกระจายของ K 50
6 พื้นที่ที่ใช้ในการสแกนและการกระจายของ K ในใบที่แสดงอาการขาดอย่างรุนแรง 51

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่เป็นหนึ่งในสามของประเทศ และประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม พื้นที่การเกษตรของภาคตะวันออกเฉียงเหนือเกือบทั้งหมดมีเนื้อดินเป็นดินทราย ซึ่งเป็นดินเนื้อหยาบ มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ ทำให้เกิดการชะล้างได้ง่าย มีผลทำให้ดินมีสภาพเป็นกรด ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติทางเคมี และธาตุอาหารบางธาตุอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ และบางธาตุมีการละลายออกมามากเกินความต้องการของพืช เช่น ในดินที่มีสภาพเป็นกรดมักจะขาด P เพราะ P จะทำปฏิกิริยากับ Fe และ Al ทำให้ไม่สามารถปลดปล่อย P ออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ ส่วนธาตุ Ca Mg และ K ในสภาพที่มี pH ต่ำจะมี H^+ เข้าไปแทนที่ประจุบวกจึงทำให้เกิดการชะล้างของธาตุอาหารเหล่านี้ได้ง่าย

นอกจากนี้เนื้อดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมักมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช และการปลูกพืชของเกษตรกรส่วนใหญ่จะนิยมใช้ปุ๋ยเคมีที่ให้ธาตุอาหารหลักเพียงอย่างเดียว เมื่อใช้เป็นเวลานานทำให้ดินขาดสมดุลของธาตุอาหารเพราะได้รับธาตุอาหารหลักจากการให้ปุ๋ย แต่ในขณะเดียวกันนั้นพืชมีการดูดใช้ธาตุอาหารรอง และ ธาตุอาหารเสริมจากดินอยู่เสมอ และธาตุอาหารเหล่านี้ ติดไปกับผลผลิตที่เก็บเกี่ยวออกจากแปลง นอกจากนี้ยังติดไปกับส่วนเหนือดินซึ่งประกอบด้วย ใบ และต้น อีกด้วย โดยเฉพาะส่วนเหนือดินจะพบการสะสมของธาตุอาหารต่างๆ มากที่สุด ปัจจุบันจึงทำให้พบปัญหาดินขาดธาตุอาหารรอง โดยเฉพาะ Ca และMg ตลอดจนยังพบอาการขาดธาตุอาหารเสริมบางชนิด เช่น Fe Mn Cu และ Zn รวมอยู่ด้วย ซึ่ง Ca และ Mg และธาตุอาหารเสริมนี้ มีความสำคัญไม่น้อยกว่า ธาตุอาหารหลัก เช่น Ca จะเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของผนังเซล์ เมื่อต้นพืชมีความแข็งแรง ก็จะทำให้ถูกรบกวนจากโรค แมลง น้อย และในด้านการรักษาสมดุลของแคตไอออน และแอนไอออน ช่วยให้พืชไม่เป็นพิษจากไอออนต่างๆ เมื่อพืชดูดเอาไอออนเหล่านั้นเข้าไปในเซลล์ Mg นั้นจะเกี่ยวกับการสังเคราะห์แสงของพืชโดยตรง ถ้ามีขาดธาตุนี้การสร้างคลอโรฟิลล์ก็จะลดลง รวมไปถึงการสังเคราะห์อาหารของพืชด้วย ธาตุ Fe จะเป็นองค์ประกอบของ คลอโรฟิล์ และช่วยในการดูดซึมธาตุอื่นให้ดีขึ้น ส่วน Cu จะป้องกันการทำลายคลอโรฟิลล์ ทำให้พืชมีอายุยาวขึ้น Mn จะช่วยในการปลุกฤทธิ์ของเอนไซม์ phosphoglucomatase เป็นต้น และธาตุ Zn นั้นจะเกี่ยวข้องกับฮอร์โมนพืชเป็นหลัก ฉะนั้นธาตุอาหารเหล่านี้จึงมีหน้าที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช แม้พืชจะมีความต้องการธาตุอาหารบาง

ธาตุเพียงเล็กน้อย แต่ก็ไม่สามารถขาดได้ เพราะหน้าที่ของธาตุอาหารเหล่านี้มีความจำเพาะเจาะจง ไม่มีธาตุอื่นทำหน้าที่แทนได้

การวินิจฉัยสถานะธาตุอาหารในปัจจุบันมี 2 วิธี คือ การสังเกตุจากลักษณะภายนอกที่แสดงออกมา บางธาตุมีความคล้ายกันมากจึงต้องอาศัยความเชี่ยวชาญ ส่วนอีกวิธี คือ การวิเคราะห์ทางเคมี มีความแม่นยำสูง และสามารถบอกในเชิงปริมาณได้ โดยวิธีการนี้จะนำใบพืชไปย่อยด้วยสารเคมี ซึ่งต้องใช้เวลาหลายวันจึงจะทราบผล ในขณะเดียวกันพืชในแปลงอาจจะเกิดความเสียหายแล้ว นอกจากนี้วิธีการทางเคมียังไม่สามารถวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุอาหารพืชได้ ในปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคใหม่มาศึกษาการกระจายตัวในส่วนต่างๆของพืช โดยเฉพาะในพื้นที่เล็กๆ เช่นในใบพืช คือการใช้แสงซินโครตรอน ซึ่งเป็นแสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากอิเล็กตรอนที่เลี้ยวโค้งด้วยความเร็วแสง แสงซินโครตรอนจึงมีความเข้มสูง และต่อเนื่อง สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย ในการศึกษาการกระจายตัวของธาตุนั้นจะอาศัยปรากฏการณ์เรืองรังสีเอกซ์ มีข้อดี คือ เตรียมตัวอย่างไม่ยุ่งยาก และไม่ทำลายตัวอย่าง (ซินโครตรอน, 2557 และXin et al, 2009) และยังสามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชได้ ซึ่งอาจจะมีประโยชน์ต่อการวินิจฉัยสถานะของธาตุอาหารพืชได้อย่างรวดเร็ว

การศึกษามีการทดลองกับมันสำปะหลังที่เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศและเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่นิยมเพาะปลูก และมีรายงานการขาดธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริม เมื่อปลูกในดินเนื้อหยาบ โดยได้ดำเนินการศึกษาการใช้ธาตุอาหารรองในรูปของปุ๋ยเคมี และโดโลไมค์ และการฉีดพ่นธาตุอาหารเสริมทางใบต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลัง และมีการทดสอบการวินิจฉัยสถานะของธาตุอาหารพืชในใบมันสำปะหลังโดยใช้แสงซินโครตรอน

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของ Ca Mg และธาตุอาหารเสริมต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลัง

2. เพื่อศึกษาวิธีการตรวจวัดสถานะของธาตุ K และ Fe ในใบมันสำปะหลังโดยใช้วิธีการเรืองรังสีเอ็กซ์ด้วยแสงซินโครตรอน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* L. Crantz, Cassava; Tapioca) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย รองจากข้าว ยางพารา และอ้อย ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตมากกว่า 20 ล้านตัน เป็นอันดับ 3 ของโลก รองจากประเทศบราซิล และไนจีเรีย ผลิตภัณฑ์ที่ส่งออก คือ แป้งมันสำปะหลัง มันเส้น และมันอัดเม็ด ซึ่งมีแนวโน้มการผลิตขยายตัวอย่างต่อเนื่อง (สำนักงานคณะกรรมการกำกับการซื้อขายสินค้าเกษตรล่วงหน้า, 2554) ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังประมาณ 8.6 ล้านไร่ มีพื้นที่เพาะปลูก และเก็บเกี่ยวมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคเหนือ ตามลำดับ จังหวัดที่มีการผลิต ได้แก่ นครราชสีมา กำแพงเพชร สระแก้ว ชัยภูมิ และกาญจนบุรี มันสำปะหลังแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามปริมาณกรดไซยานิค (hydrocyanic acid, HCN) และการนำไปใช้ประโยชน์ คือ 1) ชนิดหวาน มีปริมาณกรดไซยานิคต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักหัวสด 1 กิโลกรัม สามารถนำไปรับประทานได้ เช่น เชื่อม ปิ้ง หรือเผา พันธุ์ที่พบได้แก่ มันสวน พันธุ์ห้านาที 2) ชนิดขม ไม่สามารถรับประทานได้โดยตรง ต้องนำไปแปรรูปก่อนจึงจะนำมาเลี้ยงสัตว์ได้ เนื่องจากมีปริมาณกรดไซยานิค อยู่ระหว่าง 100-500 มิลลิกรัม ต่อน้ำหนักหัวสด 1 กิโลกรัม ซึ่งเป็นพิษต่อร่างกาย พันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศ เช่น พันธุ์ระยอง 5 ระยอง 7 ระยอง 11 ระยอง 60 ระยอง 90 เกษตรศาสตร์ 50 ห้วยบง 60 ห้วยบง 80 เป็นต้น

มันสำปะหลังอยู่ในกลุ่มพืช C-3 มีการเจริญเติบโต 5 ระยะ ดังนี้ 1) ระยะออกราก และ แตกใบออกจากท่อนปลูก (emergence sprouting) ระยะนี้อยู่ระหว่าง 0-15 วันหลังปลูก รากฝอยจะออกบริเวณรอยตัดท่อนปลูก จะงอกประมาณ 5-7 วัน ส่วนใบจะแตกจากตาของท่อนปลูกประมาณ 10-15 วัน 2) ระยะเริ่มพัฒนาใบ และราก (beginning of root development and formation of root system) อยู่ระหว่าง 15-90 วันหลังปลูก ใบจะขยายเต็มที่ 30 วันหลังปลูก การเจริญเติบโตของรากจะกระจายลงลึกในดิน 40-50 เซนติเมตร เพื่อดูดน้ำ และธาตุอาหาร โดยจะเริ่มสะสมอาหารในช่วง 60-90 วันหลังปลูก 3) ระยะพัฒนาลำต้น และใบ (development of stems and leaves) 90-180 วันหลังปลูก จะเจริญเติบโตทั้งใบ และลำต้นสูงที่สุด และมีน้ำหนักแห้งมาสะสมที่ใบ และลำต้นสูงสุด 4) ระยะเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตลงหัว (high carbohydrate translocation to roots) 180-300 วันหลังปลูก

น้ำหนักแห้งที่สะสมที่ใบจะถูกเคลื่อนย้ายมาสะสมที่หัวมากที่สุด 5) ระยะพักตัว (dormancy) 300-360 วันหลังปลูก การเจริญเติบโตของใบ และต้นชะงักเนื่องจากความแปรปรวนของอุณหภูมิ และฝน

รากของมันสำปะหลังมี 2 ชนิด คือ รากหาอาหาร หรือรากพิเศษ (adventitious roots) จะเจริญไปในแนวลึกมากกว่าแนวราบเพื่อหาน้ำ และอาหารเพื่อเลี้ยงลำต้น และส่วนเหนือดิน ส่วนรากสะสม (storage root) จะเจริญไปแนวราบรอบต้นมากกว่าลงลึก มีหน้าที่สะสมแป้งไว้ใน parenchyma cell รากจะมีการสะสมแป้งเมื่ออายุ 1.5-2 เดือน หลังจาก 3 เดือนจำนวนหัวจะไม่เพิ่มแต่จะไปเพิ่มขนาดของหัว ส่วนจำนวนหัวเฉลี่ยประมาณ 5-20 หัว ซึ่ง ขนาด รูปร่าง จำนวนหัว และเปอร์เซ็นต์แป้งจะแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ เช่นเดียวกับสีของลำต้น และความสูง การแตกกิ่ง ถ้าแตกกิ่งน้อยต้นจะสูง แตกกิ่งมากจะต้นเตี้ย บนลำต้นจะมีก้านใบเมื่อแก่จะหลุดร่วงทำให้รอบลำต้นขรุขระ ซึ่งเหนือบริเวณนี้จะมีตา ถ้านำไปปลูกจะเกิดเป็นต้นใหม่ได้ ลักษณะใบจะเป็นใบเดี่ยว แผ่ออกเป็นแฉก (lope) แบบ palmate มี 3-9 แฉก ยาว 4-20 เซนติเมตร กว้าง 1-6 เซนติเมตร ก้านใบยาว 5-30 เซนติเมตร สีของก้านใบจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ช่อดอกเป็นแบบ panicle เกิดตรงจุดที่มีการแตกกิ่ง มันสำปะหลังเป็นพืชแบบ monoecious โดยดอกตัวผู้กับดอกตัวเมียอยู่แยกดอกกัน แต่อยู่ในช่อดอกเดียวกัน ดอกตัวผู้มีขนาดเล็กกว่าดอกตัวเมีย และยังบานก่อนดอกตัวเมีย 7-10 วัน ด้วยเหตุนี้การผสมพันธุ์มันสำปะหลังจึงเป็นการผสมข้าม ผลเป็น capsule อาจเรียบ หรือขรุขระ เมื่อผลแห้งจะแตกออกแล้วดีดเมล็ดกระจายไป เมล็ดมีสีน้ำตาลคล้ายเมล็ดละหุ่ง แต่ขนาดเล็กกว่า ความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ไม่นิยมปลูกด้วยเมล็ด เพราะจะมีความผันแปรทางพันธุกรรมสูงจึงนิยมปลูกโดยการใช้ท่อนพันธุ์ สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการปลูก คือ เขตร้อนช่วงบริเวณเส้นรุ้งที่ 30 องศาเหนือ ถึง 30 องศาใต้ ที่ความสูงระดับน้ำทะเลไม่เกิน 2,000 เมตร อุณหภูมิ 16-38°C, pH 4.5-5 (Howeler, 2002)

2.2 ปัญหาการผลิตมันสำปะหลัง

1. ดิน มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจของไทยรองจากข้าว และ ยางพารา โดยไทยมีการเพาะปลูกมากที่สุดในภาคตะวันออกฉียงเหนือ ประมาณ 4.8 ล้านไร่ และมีผลผลิตเฉลี่ย 3.5 ตันต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) และมีผลผลิตเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ 5.9 ตันต่อไร่ (Howler, 2002) ซึ่งอาจเกิดจากดินส่วนใหญ่มีเนื้อดินร่วนปนทราย และpH เป็นกรด มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ เพราะมีอินทรียวัตถุต่ำ วิธีการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยพืชสด แต่ก็เป็นการยากเนื่องจากมีอัตราการชะล้างพังทลายสูง และอินทรียวัตถุมีอัตราการสลายตัวอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้เพาะปลูกติดต่อกันเป็นเวลานานก็ทำให้ดินขาดสมดุลของธาตุอาหาร หรือทำให้ธาตุบางธาตุอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ โดยธาตุอาหารพืชประกอบด้วย ธาตุอาหารหลัก คือ N P และ K ธาตุอาหารรอง คือ Ca Mg และ S และ ธาตุอาการเสริม คือ Fe Mn

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Cu และ Zn เมื่อมีธาตุอาหารไม่เพียงพอ หรือพืชไม่สามารถดูดธาตุอาหารในดินได้ จึงแสดงอาการขาดธาตุนั้นออกมาในลักษณะต่างๆ เช่น เมื่อขาดธาตุ K พบในใบแก่ก่อน ใบจะซีดต่อมาเนื้อใบบริเวณปลายใบ และขอบใบจะไหม้ เมื่อขาดธาตุ Fe ใบจะซีดในพื้นที่ระหว่างเส้นใบ ในขณะเส้นใบยังคงเขียวอยู่ โดยจะเกิดในใบแก่ก่อนลักษณะอาการคล้ายกับการขาดธาตุ Mg

2. ปุ๋ย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือดินส่วนใหญ่เป็นดินทราย ซึ่งมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ เนื่องจากมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำ ดังนั้น การให้ปุ๋ยทางดินในดินที่มีการอุ้มน้ำ และธาตุอาหารต่ำ มักมีประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยต่ำ เนื่องจากสูญเสียปุ๋ยจากการชะล้าง และการตรึงของอนุภาคดิน การให้ปุ๋ยจึงต้องให้ถูกอายุของมันสำปะหลัง และให้ตามค่าวิเคราะห์ดินของมัน สำปะหลังจึงทำให้ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยสูงขึ้น

2.3 ธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารพืช แบ่งเป็นสองกลุ่ม คือ

1. มหธาตุ (Macro nutrients) หมายถึง ธาตุที่พืชต้องการปริมาณมาก และมีการสะสมในเนื้อเยื่อพืชที่ความเข้มข้นสูงกว่า 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มหธาตุแบ่งเป็นสองกลุ่ม คือ มาจากน้ำ และอากาศ (nonmineral nutrients) ซึ่งประกอบด้วย C H และ O และได้มาจากดิน (mineral nutrients) แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ธาตุอาหารหลัก ประกอบด้วย N P และ K และกลุ่มธาตุอาหารรอง ประกอบด้วย Ca Mg และ S ในการทดลองครั้งนี้จะขอกล่าวถึง Ca และ Mg เป็นหลัก

2. ธาตุอาหารเสริม (Micro nutrients) หมายถึง ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อย และมีการสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อพืชที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ถึงแม้พืชจะมีความต้องการในปริมาณน้อย แต่ก็มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่น้อยกว่า ธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง โดยธาตุอาหารเสริมประกอบด้วย Fe Mn Cu Zn B Mo และ Cl ในการทดลองครั้งนี้ขอกล่าวถึง Fe Mn Cu และ Zn เป็นหลัก

บทบาท และความสำคัญของ Ca **และ**Mg **และธาตุอาหารเสริม**

1. ธาตุแคลเซียม (Ca) มีหน้าที่หลายด้านเนื่องจากมีคุณสมบัติเฉพาะตัวบางประการ เช่น เป็นไดเวเลนซ์แคตไอออน ที่มีสมบัติเหมาะสมแก่การเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของสารสำคัญมีดังนี้ 1) ให้โปรตีนจับเพื่อป้องกันไม่ให้ถูกทำลายจากความร้อน 2) เชื่อมโยงภายในเยื่อได้ดีกว่า Mg^{2+} เพราะมีขนาดอะตอมที่พอดี และ 3) เข้าจับกับมัลทิเดนเทตลิแกนด์ได้ดีกว่า Mg^{2+} ทำให้มี Ca^{2+} อยู่ในไซโทพลาซึมพอประมาณ การกระจายตัวของธาตุนี้ส่วนมากจะอยู่ในผนังเซลล์ เนื่องจากผนังเซลล์มีบริเวณที่เหมาะแก่การเกาะยึดแคลเซียม จึงเป็นการจำกัดการเคลื่อนย้าย Ca^{2+} ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในเซลล์ ซึ่งชั้นมิดเดิลลาเมลลาจะพบธาตุนี้มาก มีสารพวกเพกทินอยู่ส่วนหนึ่ง นั่นคือ กรดเพกทิน

ประกอบด้วย ดีกาแลคทูรอนิก กรดนี้จะตกตะกอนเมื่อทำปฏิกิริยากับ Ca^{2+} และ Mg^{2+} เป็นเกลือเพกเทต และการทำปฏิกิริยาของทั้งสองธาตุนี้ ทำให้เกิดการไขว้ของโซ่กรดเพกทิกเข้าด้วยกัน เป็นโครงข่ายที่มั่นคง โดยมิดเดิลลาเมลลาจะเกิดระหว่างการแบ่งเซลล์ หลังจากผ่านขั้นตอนการแบ่งนิวเคลียสแล้ว โดยมีสารเพกทินวางเป็นแนวแบ่งขอบเขตของเซลล์ออกเป็นสองส่วน ขั้นตอนนี้กรดเพกทินจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมแมกนีเซียมเพกเทต จึงทำให้มิดเดลลาเมลลาแข็งขึ้น และในขณะเดียวกันก็มีเส้นเซลลูโลสแทรกเข้ามาระหว่างที่มีการสังเคราะห์ผนังเซลล์ทั้งสองด้านนี้ มิดเดลลาเมลลาจึงทำหน้าที่ในการเชื่อมผนังเซลล์ใหม่ทั้งสองด้านเข้าด้วยกัน นอกจากนี้ Ca^{2+} ที่อยู่ในใบยังมีหน้าที่รักษาสมดุลของแคตไอออน และแอนไอออน ควบคุมความดันออสโมซิสโดยการสังเคราะห์แคลเซียมออกซาเลทซึ่งละลายได้น้อยในแวคคิวโอล และยังเป็นตัวนำรหัสที่สอง โดยจะเกิดขึ้นเมื่อมีแคลเซียมไอออนอิสระในไซโทซอลอยู่ระหว่าง 0.1-0.2 ไมโครโมลาร์ ซึ่งเกิดจากอิทธิพลภายนอกมากระตุ้น ได้แก่ ABA IAA แสง เชื้อโรค และความเค้นเชิงกล หรือการเกิดบาดแผล

ปริมาณการสะสมของ Ca ในมันสำปะหลังอายุ 12 เดือน เมื่อใส่ปุ๋ยในสำปะหลัง พบว่ามีการสะสมแคลเซียมทั้งหมด 16.4 กิโลกรัม/ไร่ และไม่ใส่ปุ๋ยในสำปะหลัง พบการสะสมแคลเซียมทั้งหมด 10.7 กิโลกรัม/ไร่ และมีความเข้มข้น ณ จุดวิกฤตในใบอยู่ระหว่าง 0.60-0.64 เปอร์เซ็นต์ หากต่ำกว่าจุดนี้จะทำให้พืชขาด Ca ได้ ดังตารางที่ 2 (Howeler, 2002)

2. แมกนีเซียม (Mg) ทำหน้าที่หลายอย่างในพืชเพราะสามารถเคลื่อนย้ายภายในเซลล์ได้ดี และมีพันธะเชิงไอออนกับหมู่ฟอสฟอริล ทำหน้าที่เชื่อมโยง และหรือทำปฏิกิริยากับสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายชนิด นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ควบคุมสภาพความเป็นกรด ด่าง ภายในเซลล์ สำหรับ Mg ในแวคิวโอล นอกจากจะช่วยรักษาสมดุล (magnesium balance) ในเมแทบอลิกพูลแล้ว ยังช่วยสร้างสมดุลระหว่างแคตไอออน และแอนไอออน และยังควบคุมความเต่งของเซลล์ ซึ่งการกระจายตัวของ Mg ในเมแทบอลิกพูลระหว่างไซโทซอลกับคลอโรพลาสต์มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสง หากมีโพแทสเซียมเข้าสู่คลอโรพลาสต์น้อย เมื่อรับแสงจะเกิดสภาพกรดขึ้นในสโตรมา ทำให้ความเข้มข้นของ Mg เมแทบอลิกพูลสูง จนทำให้ชะงักการสังเคราะห์แสง อาจเกิดขึ้นในสภาวะขาดน้ำขึ้น โดย Mg เป็นอะตอมที่อยู่กึ่งกลางของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ มีกรดอะมิโนไกลซีน และ succinyl CoA เป็นสารตั้งต้น และ Mg ยังช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งในใบพืชมีโปรตีนอยู่ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ หากพืชขาด Mg อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง สร้าง ATP ได้น้อย ทำให้ขาดพลังงานที่จะเคลื่อนย้ายผลผลิตจากการสังเคราะห์แสง (source) ไปยัง ราก ผล และหัว ทำให้ขนาดของใบเล็ก จึงกระตุ้นการสลายตัวในใบแก่ แล้วเคลื่อนย้ายสิ่งที่ได้จากการสลายไปเลี้ยงใบอ่อนแทน ในช่วงแรกของการขาดธาตุนี้ จะมีการสะสมคาร์โบไฮเดรตในใบ เพราะไม่ได้นำไปใช้ จึงทำให้มีน้ำหนักแห้งของใบเพิ่มขึ้น ฉะนั้นจึงพบอาการขาด Mg ในใบแก่ก่อน

ปริมาณการสะสมของ Mg ในมันสำปะหลังอายุ 12 เดือน เมื่อใส่ปุ๋ยในสำปะหลัง พบว่ามีการสะสมแมกนีเซียมทั้งหมด 4.4 กิโลกรัม/ไร่ และไม่ใส่ปุ๋ยในสำปะหลัง พบการสะสมแมกนีเซียมทั้งหมด 4.2 กิโลกรัม/ไร่ และมีความเข้มข้น ณ จุดวิกฤตในใบ คือ 0.29 เปอร์เซ็นต์ หากต่ำกว่าจุดนี้จะทำให้พืชขาด Mg ได้ ดังตารางที่ 2 (Howeler, 2002)

3. เหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ช่วยในการดูดซึมธาตุอาหารอื่น นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรีดักชัน Fe ในดินมักจะละลายยาก จึงพบอาการขาดธาตุ Fe ได้ง่าย ในดินด่าง pH >7 ส่วนใหญ่พืชจะแสดงอาการคลอโรซิสที่ใบอ่อน โดยจะมีสีขาว หรือเหลืองซีด ส่วนใบล่างจะยังมีสีเขียวอยู่ เพราะธาตุ Fe เป็นธาตุไม่เคลื่อนย้าย

ปริมาณการสะสมของ Fe ในมันสำปะหลังอายุ 12 เดือน เมื่อใส่ปุ๋ยในสำปะหลัง พบว่ามีการสะสม Fe อยู่ที่ส่วนเหนือดิน และที่ราก คือ 0.12 และ 0.14 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ และไม่ใส่ปุ๋ยในสำปะหลัง พบ Fe สะสมอยู่ที่ส่วนเหนือดิน และที่ราก คือ 0.07 และ 0.06 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ และมีความเข้มข้นในใบระหว่าง 120-140 ppm จะอยู่ในระดับพอเพียงสำหรับมันสำปะหลัง ถ้ามีปริมาณมากกว่า 250 ppm จะเกิดอาการเป็นพิษได้ ดังตารางที่ 2 (Howeler, 2002)

4. แมงกานีส (Mn) เมื่ออยู่รวมกันกับ Fe จะเป็นตัวควบคุม oxidation-reduction potential มีบทบาทในการสังเคราะห์แสง และยังเป็นตัวปลุกฤทธิ์ของเอนไซม์ phosphoglucomatase, choline esterase และ beta-ketodecarboxylases อาการการขาด Mn จะมีสีเหลืองระหว่างเส้นใบ ส่วนเส้นใบยังคงเขียวอยู่มักจะเกิดที่ใบอ่อนก่อน หรืออาจเกิดจุดสีขาวหรือเหลืองบนใบพืช ทรงพุ่มไม่สมบูรณ์ การเจริญเติบโตช้า ไม่ออกดอก ออกผล ในดินเป็นกรดจัดจะละลายออกมามากทำให้เป็นพิษต่อพืชได้

ปริมาณการสะสมของ Mn ในมันสำปะหลังอายุ 12 เดือน เมื่อใส่ปุ๋ยในสำปะหลัง พบว่ามี Mn สะสมทั้งหมด 0.16 กิโลกรัม/ไร่ และไม่ใส่ปุ๋ยในสำปะหลัง พบการสะสม Mn ทั้งหมด 0.11 กิโลกรัม/ไร่ และมีความเข้มข้นในใบระหว่าง 50-150 ppm จะอยู่ในระดับพอเพียง สำหรับมันสำปะหลัง หากมีปริมาณมากกว่า 250 ppm จะเกิดอาการเป็นพิษได้ ดังตารางที่ 2 (Howeler, 2002)

5. ทองแดง (Cu) มีหน้าที่ทางอ้อมในกระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์ ช่วยป้องกันการทำลายคลอโรฟิลล์ จึงทำให้พืชมีอายุยาวขึ้น เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ เช่น ascorbic acid oxidase lactaseและ tyrosinase เป็นองค์ประกอบของโปรตีน ที่ทำหน้าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในกระบวนการออกซิเดชัน นอกจากนี้ยังช่วยในกระบวนการหายใจของพืชทำให้พืชใช้ Fe ได้มากขึ้น เมื่อพืชขาด Cu ใบจะมีสีเขียวเข้มในระยะแรก และจะค่อยๆ เหลือง จนชะงักการเจริญเติบโต เมื่อพืชได้รับ Cu มากเกินไปจะแสดงอาการเป็นพิษ คือ การเจริญเติบโตจะลดลง ปริมาณ Fe ในพืชจะลดลง หรือแสดงอาการขาด Fe

ปริมาณการสะสมของ Cu ในมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือน เมื่อใส่ปุ๋ยในมันสำปะหลัง พบว่ามี Cu สะสมทั้งหมด 0.001 กิโลกรัม/ไร่ และไม่ใส่ปุ๋ยในมันสำปะหลัง พบการสะสม Cu ทั้งหมด 0.008 กิโลกรัม/ไร่ และมีความเข้มข้นในใบระหว่าง 6-10 ppm อยู่ในระดับพอเพียงกับความต้องการของมันสำปะหลัง หากมีปริมาณมากกว่า 15 ppm จะเกิดอาการเป็นพิษได้ ดังตารางที่ 2 (Howeler, 2002)

6. สังกะสี (Zn) มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับฮอร์โมนพืชเป็นหลัก มีบทบาททางอ้อมในการสร้างคลอโรฟิลล์ นอกจากนี้ยังเป็นตัวปลุกฤทธิ์ของเอนไซม์หลายชนิด เช่น carbonic anhydrase alcohol dehydrogenase และpeptidase พืชที่ขาด Zn ต้นจะโตช้า มีใบเล็ก และแคบ และผลิตฮอร์โมนออกซินได้น้อยลง หรือกิจกรรมของออกซินลดลงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนโอกาสที่จะเป็นพิษจาก Zn มีน้อยมาก มักขาดในดินสภาพเป็นด่าง

ปริมาณการสะสมของ Zn ในมันสำปะหลังอายุ 12 เดือน เมื่อใส่ปุ๋ยในมันสำปะหลัง พบว่ามี Zn สะสมทั้งหมด 0.09 กิโลกรัม/ไร่ และไม่ใส่ปุ๋ยในมันสำปะหลัง พบการสะสม Zn ทั้งหมด 0.08 กิโลกรัม/ไร่ และมีความเข้มข้นในใบระหว่าง 35-57 ppm จะมี Zn อยู่ในระดับพอเพียงสำหรับมันสำปะหลัง หากมีปริมาณมากกว่า 120 ppm จะเกิดอาการเป็นพิษได้ ดังตารางที่ 2 (Howeler, 2002)

2.4 การให้ปุ๋ยทางใบ

เป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำง่าย ให้พืชในรูปของเหลวที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสม ฉีดพ่นเป็นละอองไปยังใบ และต้น เพื่อให้ส่วนเหนือดินดูดไปใช้

ข้อดี ของการใช้ปุ๋ยทางใบ

1. ในดินกรด ดินด่าง หรือในดินที่มีปัญหา ต้องคำนึงถึงการใส่ปุ๋ยว่ามีความเป็นประโยชน์ต่อพืชหรือไม่ การปรับปรุงดินจะใช้เวลานาน อาจแก้ปัญหาเฉพาะการขาดธาตุอาหารบางธาตุด้วยการพ่นทางใบ

2. การให้ปุ๋ยทางใบมีประสิทธิภาพมากกว่าการใส่ปุ๋ยทางดิน โดยเฉพาะธาตุอาหารเสริม เมื่อเปรียบเทียบกับการเจริญเติบโต การเพิ่มผลผลิต และการแก้ไขอาการขาดธาตุอาหาร

3. ถ้าพืชแสดงอาการขาดสามารถแก้ไขได้ทันถ่วงที เช่น ระยะก่อนออกดอก ถ้าให้ทางดินจะช้าทำให้มีผลกระทบต่อผลผลิต

4. ทำให้คุณภาพผลผลิตของผักผลไม้บางลักษณะดีขึ้น

5. ในสภาวะเครียดของพืช เช่น การขาดน้ำ จะมีผลต่อกระบวนการด้านสรีระด้านวิทยา ซึ่งปุ๋ยทางใบจะช่วยซ่อมแซมความชำรุดบางกลไก หรือบรรเทาความเสียหายจากความเครียดดังกล่าว

ข้อจำกัดของการใช้ปุ๋ยทางใบ

1. การให้ปุ๋ยทางใบเป็นการเสริมจากการให้ปุ๋ยทางดินไม่ใช่การทดแทน

2. การฉีดพ่นปุ๋ยทางใบให้ได้ผลดี สารละลายปุ๋ยต้องมีละอองเล็ก และสัมผัสผิวใบทั้งด้านบน และด้านล่าง

3. ใบพืชที่ฉีดปุ๋ยทางใบควรมีลักษณะใบที่ใหญ่ จึงจะสามารถรับละอองสารละลายปุ๋ยได้มาก

4. หากใช้สารละลายปุ๋ยเข้มข้นเกินไปใบอาจจะไหม้ได้ โดยเฉพาะปุ๋ยธาตุอาหารเสริม

5. ในพื้นที่ที่ฝนตกชุก น้ำฝนอาจชะล้างปุ๋ยที่อยู่บนผิวใบ หากปลอดฝนหลังฉีดปุ๋ย 3 วัน หลังการฉีดจะได้ผลดี

6. ปุ๋ยทางใบมีราคาต่อหน่วยน้ำหนักธาตุอาหารสูงกว่าปุ๋ยทางดิน จึงควรใช้ในกรณีที่จำเป็น (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549)

2.5 การจัดการธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

การใช้ปุ๋ยในมันสำปะหลังของเกษตรกรส่วนใหญ่ จะเป็นธาตุอาหารหลักเท่านั้น คือ N P และ K ซึ่งเมื่อพืชดูดใช้ธาตุอาหาร จะเก็บสะสมไว้ในส่วนต่างๆ ของพืช และเมื่อมีการเก็บเกี่ยว ธาตุอาหารเหล่านี้ก็จะติดไปกับผลผลิตด้วย ซึ่งการปลูกมันสำปะหลังจะเกิดการสูญเสียธาตุอาหารมากที่สุด เนื่องจากมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตเกือบทุกส่วนออกจากแปลง และเกิดขึ้นซ้ำกันในลักษณะดังกล่าวเป็นเวลานาน นอกจากนี้พื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังยังถูกชะล้างสูงกว่าพืชชนิดอื่น โดยสูญเสียดินจากการถูกชะล้างเป็นประจำทุกปี ประมาณ 12.4 ตัน/ไร่ (Putthacharoen et al, 1998) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Howeler (2002) พบว่า การปลูกมันสำปะหลังที่มีความชันของพื้นที่ 7 เปอร์เซ็นต์ ในอำเภอศรีราชา หน้าดินจะถูกชะล้าง 11.5 ตัน/ไร่/ปี และยังทำให้สูญเสียธาตุ N P และ K ประมาณ 5.9, 0.35 และ 0.83 ตัน/ไร่/ปี ตามลำดับ เมื่อปลูกติดต่อกันเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดปัญหาการขาดสมดุลของธาตุอาหารในดิน จึงต้องมีการจัดการธาตุอาหารให้ถูกวิธี ดังรายงานของธนากร คุ้มตรีทอง และคณะ (2554) พบว่า การจัดการปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินในมันสำปะหลัง พันธุ์ห้วยบง 60 ในชุดดินยางตลาด ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินปานกลางถึงค่อนข้างต่ำ ในทรีตเมนต์ที่คำนวณปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่คาดว่าพืชสามารถใช้ได้ ที่ระดับ 25 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความสูงของต้น จำนวนกิ่งต่อต้น และค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังสูงที่สุด แต่ยังไม่สามารถบอกเป็นปริมาณของปุ๋ยในอัตราที่แน่นอนได้ เช่นเดียวกับงานทดลองของ Javier and El-Sharkawy (1995) ที่พบว่า ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เมื่อใส่ปุ๋ย N P และK ลงไปในระดับปานกลาง คือ อัตรา 16.1 กิโลกรัม/ไร่ มีผลทำให้ดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักสดของใบ และต้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากรายงานดังกล่าวจะเห็นว่า มีการทดลองเพื่อหาความเหมาะสมของปริมาณการให้ปุ๋ยทางดินโดย Howeler (2002) รายงานว่า ดินที่ใช้ปลูกมันสำปะหลังควรมีคุณสมบัติทางเคมี และระดับความเหมาะสมของธาตุอาหาร ฉะนั้นควรปรับปรุงดินให้มีธาตุอาหารอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ดังนี้ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางเคมี และระดับความเหมาะสมธาตุอาหารของมันสำปะหลัง

รายการทดสอบ	ต่ำมาก	ต่ำ	เหมาะสม	สูง	สูงมาก
pH	< 3.5	3.5-4.5	4.5-7	7-8	> 8
Oganic matter (%)	< 1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	> 4.0	-
Al (%)	-	-	< 75	75-85	>85
Salinity (mS cm^{-1})	-	-	< 0.5	0.5-1.0	>1.0
Na (%)	-	-	< 2	2-10	>10
P (mg kg^{-1})	< 2	2-4	4-15	> 15	-
K (mg kg^{-1})	< 39	39-58.5	58.5-97.5	> 97.5	-
Ca (mg kg^{-1})	< 50	50-200	200-1,000	> 1,000	-
Mg (mg kg^{-1})	< 24	24-48	48-120	> 120	-
S (mg kg^{-1})	< 20	20-40	40-70	> 70	-
B (mg kg^{-1})	< 0.2	0.2-0.5	0.5-1.0	1-2	>2
Cu (mg kg^{-1})	< 0.1	0.1-0.3	0.3-1.0	1-5	>5
Mn (mg kg^{-1})	<5	5-10	10-100	100-250	>250
Fe (mg kg^{-1})	<1	1-10	10-100	>100	-
Zn (mg kg^{-1})	<0.5	0.5-1.0	1.0-5.0	5-50	>50

ที่มา: Howeler (2002)

ดังนั้นการปลูกพืชในพื้นที่ใดควรมีการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินก่อนการปลูก หาปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน เพื่อจะได้ปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้เหมาะสมต่อการเพาะปลูก สำหรับมันสำปะหลัง เมื่อนำใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ ที่อายุ 3-4 เดือน มาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร มีธาตุอาหารที่สำคัญหลายชนิด ซึ่งการวิเคราะห์จะบอกถึงสถานะธาตุอาหารเหล่านี้ว่าอยู่ในระดับใด โดย Howeler (2002) รายงานไว้ดังตารางที่ 2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลังที่อายุประมาณ 3-4 เดือนหลังปลูก

ธาตุอาหาร	ระดับธาตุอาหาร					
	ขาดมาก	ขาด	ต่ำ	เพียงพอ	สูง	เป็นพิษ
N (%)	< 4.0	4.1-4.8	4.8-5.1	5.1-5.8	>5.8	-
P (%)	< 0.25	0.25-0.36	0.36-0.38	0.38-0.50	>0.50	-
K (%)	< 0.85	0.85-1.26	1.26-1.42	1.42-1.88	1.88-2.40	> 2.40
Ca (%)	< 0.25	0.25-0.41	0.41-0.50	0.50-0.72	0.72-0.88	> 0.88
Mg (%)	< 0.15	0.15-0.22	0.22-0.24	0.24-0.29	>0.29	-
S (%)	< 0.20	0.20-0.27	0.27-0.30	0.30-0.36	>0.36	-
B (mg kg^{-1})	< 7	7-15	15-18	18-28	28-64	> 64
Cu (mg kg^{-1})	< 1.5	1.5-4.8	4.8-6.0	6-10	10-15	> 15
Fe (mg kg^{-1})	< 100	100-110	110-120	120-140	140-200	> 200
Mn (mg kg^{1})	< 30	30-40	40-50	50-150	150-250	> 250
Zn (mg kg^{-1})	< 25	25-32	32-35	35-57	57-120	> 120

ที่มา: Howeler (2002)

จะเห็นว่าความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ มีปริมาณที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในระดับที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการจัดการธาตุอาหารเหล่านี้ ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เพื่อให้มีการเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ และเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังมากขึ้น

สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับธาตุอาหารรอง ได้มีการทดลอง เช่น ในงานทดลอง Moore and Ouimet (2014) โดยศึกษาปุ๋ยแคลเซียม 2 ชนิด คือ $CaCO_3$ และ $CaSO_4$ ในเมเปิ้ล ต่อความแข็งแรงและการเจริญเติบโตหลังการทดลองต่อเนื่องเป็นเวลา 7 ปี เนื่องจากการปลูกพืชชนิดนี้ทำให้ดินเป็นกรดเพิ่มขึ้น เพราะเป็นไม้ยืนต้นที่มีการทับถมของใบที่ร่วงหล่นเป็นเวลานาน แต่การใช้ $CaMg(CO_3)_2$ จะขัดขวางการดูด K จึงทดลองใช้ปุ๋ย $CaCO_3$ ในอัตรา 0.45 0.9 และ 1.8 ตัน/ไร่ และ $CaSO_4$ ในอัตรา 0.6 1.2 และ 2.4 ตัน/ไร่ พบว่าการใช้ $CaSO_4$ และ $CaCO_3$ ทำให้การเจริญเติบโตของเมเปิ้ลดีขึ้น การตายของยอดลดลง ในทรีตเมนต์ที่มีการให้ $CaCO_3$ จะเห็นว่า Ca สามารถเพิ่มความแข็งแรงของต้นได้

การให้ปุ๋ยมันสำปะหลัง หรือพืชชนิดอื่นจะมีการดูด และเคลื่อนย้ายธาตุอาหารไปสะสมในส่วนต่างๆ ของพืชซึ่ง Howeler (2002) รายงานว่า ถ้าให้ปุ๋ย 60 กิโลกรัม **N,** 10-20 กิโลกรัม P และ 50 กิโลกรัม K ลงในดิน จะได้ผลผลิตประมาณ 2.4 ตัน/ไร่ และต้นมันสำปะหลังจะสามารถดูดธาตุอาหารเข้าไปในหัวสด และมีการสะสมธาตุอาหารประมาณ 4.8 กิโลกรัม **N,** 0.56 กิโลกรัม P และ

3.2 กิโลกรัม K/ไร่ และถ้ามีการนำส่วนเหนือดิน คือ ส่วนใบ และต้น ของมันสำปะหลังออกจากแปลงจะเป็นการนำ ธาตุ P Ca และ Mg ออกไปด้วย (ตารางที่ 3) แต่ถ้านำเฉพาะหัวสดออกจากแปลงจะทำให้ธาตุอาหารออกไปน้อย เพราะธาตุอาหารเหล่านี้จะมีการสะสมอยู่ที่ส่วนเหนือดินมากที่สุด และในดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยยิ่งทำให้ธาตุอาหารเหล่านั้นหายไปมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยลงไป จึงต้องมีการเติมธาตุอาหารต่างๆให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม สำหรับการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังด้วยเช่นกัน อีกทั้งเป็นการปรับสมดุลของธาตุอาหารในดินอีกด้วย (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 3 น้ำหนักแห้ง และการสะสมธาตุอาหารในมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนที่ไม่ใส่ปุ๋ย และใส่ปุ๋ย

	นน.แห้ง	**kg./rai**					
	ตัน/ไร่	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**
ไม่ให้ปุ๋ย							
ส่วนเหนือดิน	0.82	11.1	1.2	5.4	6.0	2.6	1.3
ราก	1.73	4.8	1.2	8.8	0.8	1.0	0.5
ใบที่ร่วง	0.25	3.8	0.24	0.6	3.9	0.6	0.4
รวมทั้งหมด	2.8	19.7	2.64	63.4	10.7	4.2	2.2
ใส่ปุ๋ย							
ส่วนเหนือดิน	1.11	16.1	1.8	11.9	8.8	2.4	1.5
ราก	2.53	10.8	2.7	16.4	2.5	1.3	1.1
ใบที่ร่วง	0.3	4.9	0.3	1.1	5.1	0.7	0.3
รวมทั้งหมด	6.9	31.8	4.8	29.4	16.4	4.4	2.9

ที่มา: Howeler (2002)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4 น้ำหนักแห้ง และการสะสมธาตุอาหารในมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนที่ไม่ใส่ปุ๋ย และใส่ปุ๋ย (ต่อ)

	kg./rai				
	B	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Zn**
ไม่ให้ปุ๋ย					
ส่วนเหนือดิน	0.011	0.004	0.07	0.05	0.04
ราก	0.012	0.003	0.06	0.003	0.01
ใบที่ร่วง	0.006	0.001	-	0.05	0.02
รวมทั้งหมด	0.029	0.008	-	0.11	0.08
ใส่ปุ๋ย					
ส่วนเหนือดิน	0.012	0.004	0.12	0.09	0.04
ราก	0.011	0.004	0.14	0.009	0.02
ใบที่ร่วง	0.008	0.003	-	0.07	0.03
รวมทั้งหมด	0.031	0.001	0.26	0.16	0.09

ที่มา: Howeler (2002)

นอกจากการจัดการธาตุอาหารหลัก ธาตุ Ca และ Mg ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ยังมีการจัดการธาตุอาหารเสริม สำหรับการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังด้วย เช่น งานทดลองของ วัฒนะ วัฒนานนท์ และคณะ (2547) ที่ได้ศึกษาธาตุอาหารเสริม ต่อผลผลิตของมันสำปะหลัง 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ระยอง 72 และเกษตรศาสตร์ 50 พบว่า การใส่ Zn 0.81 กิโลกรัม/ไร่ และชุบท่อนพันธุ์ด้วย 2% $ZnSO_4.7H_2O$ ก่อนปลูกนาน 15 นาที ให้ผลผลิตหัวสด 4.5 และ 4.3 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ให้เปอร์เซ็นต์แป้ง 27.9 และ 26.6 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใส่ Zn ได้ผลผลิต 4.1 และ 4.4 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างมากนัก และพบว่า การฉีดพ่น 4% $ZnSO_4.7H_2O$ ที่อายุ 1 2 และ 3 เดือนให้ผลผลิตสูงสุด 3.4 ตัน/ไร่ ให้เปอร์เซ็นต์แป้ง 21.3 อย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้ไม่ได้มีการศึกษาอิทธิพลร่วมกันของธาตุอาหารเสริมทั้งหมด แต่การศึกษาของ ศิรินทรา ตะสาริกา และคณะ (2554) พบว่า การฉีด Zn อัตรา 3 กิโลกรัม/ไร่ จำนวน 1 ครั้ง เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ 1 เดือน มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตหัวสดเพิ่มขึ้น และ Zhu et al. (2012) ก็พบว่าการฉีดพ่น Cu และ Zn ร่วมกับตัวควบคุมการปลดปล่อยยูเรียสามารถเพิ่มผลผลิต 27.07 และ 20.73 และเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยการฉีดพ่น Cu และ Zn ร่วมกับการใช้ยูเรียธรรมดา โดยไม่มีตัวควบคุมการปลดปล่อย จะให้ผลผลิตไม่แตกต่าง

กัน จากการฉีดพ่น Cu และ Zn ร่วมกับการใช้ตัวควบคุมการปลดปล่อยยูเรีย เพราะ Zn สามารถควบคุมการปลดปล่อยของยูเรียได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวควบคุม

2.6 การวินิจฉัยธาตุอาหารในใบพืช

การวินิจฉัยธาตุอาหารพืชมีทั้งการประเมินด้วยสายตา และการวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งการวินิจฉัยด้วยการประเมินจากสายตาจะต้องอาศัยประสบการณ์สูง เพื่อให้เกิดความแม่นยำเพราะอาการขาด หรือเป็นพิษของธาตุอาหารหลายชนิดมีความคล้ายกัน และบางธาตุก็มีความจำเพาะเจาะจงกับชนิดของพืช การประเมินด้วยสายตามีข้อดี คือ สามารถประเมินได้ทันทีว่าเกิดอาการผิดปรกติจากธาตุไหน แต่ไม่สามารถบอกเป็นปริมาณที่แน่นอนได้ว่ามีปริมาณเท่าใด เช่น อาการขาดธาตุ P จะเกิดที่ใบล่างก่อน ใบจะมีสีม่วง อาการขาด Ca ในมะเขือเทศจะผลเน่า ในผักกาดขาวปลีปลายใบจะไหม้ เป็นต้น วิธีการประเมินด้วยสายตาจึงเหมาะกับการสำรวจแปลงปลูกเพื่อดูภาพรวมของแปลง

จากการวินิจฉัยด้วยสายตาดังกล่าวนำไปสู่การวินิจฉัยจากการวิเคราะห์ทางเคมี โดยมีทั้งการวินิจฉัยจากการวิเคราะห์ดิน และพืช การวิเคราะห์ดินทางเคมี เป็นการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินจากการนำดินมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เป็นวิธีที่ให้ผลอย่างแม่นยำเพื่อนำไปปรับปรุงดิน และวางแผนการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ (โครงการจัดตั้งเครือข่ายห้องปฏิบัติการการวิเคราะห์ดิน และพืช, 2546) แต่จะมีข้อเสีย คือ มีความยุ่งยากในการวิเคราะห์ และใช้เวลานานกว่าจะทราบผล โดยต้องไปสุ่มเก็บดินที่แปลงปลูกพืช และนำมาสกัดโดยใช้สารเคมีที่แตกต่างกันในการสกัดธาตุอาหารต่างๆ หลังจากนั้นก็นำไปวัดด้วยเครื่องมือทางเทคนิคของแต่ละธาตุ เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์พืชทางเคมี จะต้องไปสุ่มเก็บตัวอย่างพืชในแปลง นำไปอบ และบดให้ละเอียด ก่อนนำไปย่อยด้วยสารเคมี ซึ่งเป็นการทำลายเนื้อเยื่อพืช หลังจากนั้นจึงนำไปวัดธาตุอาหารพืชเช่นเดียวกับดิน จะเห็นว่ามีขั้นตอนหลายอย่าง และยังต้องใช้สารเคมีหลายชนิดซึ่งมีราคาแพง และอาจเป็นอันตรายกับผู้ทดลองได้

ในปัจจุบันได้มีการใช้ประโยชน์จากแสงซินโครตรอนช่วยในการวินิจฉัยธาตุอาหารพืช โดยนำเทคโนโลยีทางด้านฟิสิกส์ช่วยตรวจหาองค์ประกอบของธาตุตัวอย่างโดยอาศัยความแตกต่างของชั้นพลังงานของอิเลกตรอนในแต่ละธาตุ นั่นคือ เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ หรือ X-ray fluorescence (XRF) ฟลูออเรสเซนต์เกิดขึ้นได้จากการกระตุ้นอิเล็กตรอนด้วยรังสีเอ็กซ์จากแสงซินโครตรอนที่มีพลังงานที่มากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนชั้นใน เช่นชั้น K, L, M เป็นต้น ทำให้เกิดช่องว่างในชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนนั้น และเมื่ออิเล็กตรอนชั้นนอกมาแทนที่อะตอมจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเรืองรังสีเอกซ์ ซึ่งสามารถนำปรากฏการณ์นี้ไปใช้ในการหาชนิดของธาตุที่อยู่ในตัวอย่างที่สนใจได้ จะใช้แสง

ซินโครตรอนในย่านรังสีเอกซ์ โดยแสงซินโครตรอน คือ แสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากอิเล็กตรอนที่เลี้ยวโค้งด้วยความเร็วใกล้ความเร็วแสง ซึ่งมีความเข้มสูง ทำให้สามารถจำกัดลำรังสีเอกซ์ให้มีขนาดเล็กในระดับไมโครเมตรได้ จึงสามารถทำการศึกษาการกระจายตัวของธาตุบนตัวอย่างได้ ซึ่งเป็นหนึ่งในข้อได้เปรียบของแสงซินโครตรอนกับเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ทั่วไป นอกจากนั้นแล้วเทคนิคนี้ยังเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง (Non-destructive method) และมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่ไม่ยุ่งยาก สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้เกือบทุกรูปแบบ เช่น โลหะ ผง เซรามิกซ์ ยาง พลาสติก ของเหลว น้ำมัน ของหนืด หรือตัวอย่างมีชีวิต เช่น ใบไม้ สำหรับการทดลองครั้งนี้ได้ทำการทดลองที่สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์กรมหาชน) ระบบลำเลียงแสง 6 b

สำหรับในส่วนของระบบลำเลียงแสง 6 นั้น มีส่วนสำคัญดังนี้ คือ absorpber, beam shutter, shielding wall และ beryllium window และที่สถานีทดลองระบบลำเลียงแสงที่ 6b: micro-XRF นี้ แสงซินโครตรอนจะถูกโฟกัสด้วย polycapillary lens และให้แสงที่จุดโฟกัส โดยมีระยะโฟกัส 4 มิลลิเมตร จากปลาย capillary lens หรือตำแหน่งตัวอย่างซึ่งลำรังสีเอกซ์มีขนาด 30 ไมโครเมตร และมีพลังงานรังสีเอกซ์อยู่ระหว่าง 2-10 keV (white beam) โดยสถานีทดลอง micro-XRF ประกอบด้วย 4 ส่วนสำคัญ ดังนี้ 1) เลนส์รังสีเอกซ์ (polycapillary lens) โดยจะติดตั้งอยู่บนชุดขับเคลื่อนสเตจระบบ alignment เนื่องจากต้องการความแม่นยำสูง 2) CCD camera สำหรับบันทึกภาพตัวอย่างก่อนและขณะทำการทดลอง 3) ระบบจับยึดตัวอย่าง (sample stage) โดยตัวอย่างจะสามารถเลื่อนซ้ายขวาขึ้นบนลงล่าง ตั้งฉากกับแสงเพื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของธาตุในตัวอย่าง และ 4) เครื่องวัดรังสีเอ็กซ์ (x-ray detector) silicon drift detector ซึ่งมีค่า energy resolution ที่ 135 eV Fe 55 (สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์กรมหาชน), 2557)

ตัวอย่างการใช้ เทคนิค XRF ในปัจจุบันที่นำมาประยุกต์ในการศึกษาการสะสมธาตุอาหาร เช่น ในงานทดลองของ Kyriacou et al. (2014) ซึ่งใช้เทคนิคของรังสีเอกซ์ในการตรวจหาธาตุเหล็กในข้าวที่เรียกว่า เทคนิค X-ray Fluorescence Spectroscopy โดยตรวจหาในข้าวสองสายพันธุ์ คือ wild-type และพันธุ์ที่ได้มีการพัฒนาให้มีธาตุเหล็กมากขึ้น คือ พันธุ์ OsNAS2 ซึ่งใช้ระบบที่วัดเป็นพลังงาน (KeV) ของธาตุในการตรวจวัด พบว่า การสะสมของ Fe และ Mn อยู่ในชั้น alurone และ subalurone ซึ่งเป็นชั้นนอกสุดของเมล็ดข้าว นอกจากนี้ยังพบ Zn อยู่ในส่วน scutellum โดยอยู่ชั้นในสุด ของเมล็ดข้าว และยังพบมากที่สุด ในอนาคตสามารถใช้เทคนิคนี้ในการตรวจสอบสายพันธุ์ที่มีธาตุ Fe สูง ซึ่งเทคนิคดังกล่าวมีความรวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีทางเคมี ในการตรวจสอบการสะสมของธาตุอาหาร ถึงแม้ธาตุอาหารจะมีความเข้มข้นต่ำ Xin et al. (2009) ก็ได้ทำการทดลองโดยตรวจสอบการสะสมของธาตุอาหารของต้นพืชที่แตกต่างกันของผักโขมในสภาพโรงเรือน พบว่า การสะสมธาตุอาหารในรากต่ำที่สุด และในลำต้นส่วนล่างจะพบ K Ca Fe Zn และ Ni มากกว่าลำต้นส่วนบน แต่ลำต้นส่วนบนจะพบ Co และ Cu มากกว่าลำต้นส่วนล่าง จากการ

ตรวจวัดจะพบ Mn ในต้นต่ำที่สุด ส่วนในใบ Co และ Zn จะพบการสะสมโดยรอบเส้นใบ การสะสมของ Mn จะพบที่ปลายใบ และจะสูงกว่าจุดอื่น แต่ K Ca Ni และ Cu สูงกว่าในส่วนที่อยู่ใกล้เส้นกลางใบ จากงานวิจัยนี้จะเห็นว่ามีผู้ใช้เทคนิค XRF ศึกษาการกระจายตัวธาตุอาหารของพืชได้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การทดลองที่ 1 อิทธิพลของ Ca Mg และธาตุอาหารเสริมต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลัง

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ 6 ทรีตเมนต์ ดังต่อไปนี้

T1. ไม่ให้ปุ๋ย

T2. ให้ปุ๋ยโดยวิธีเกษตรกร

T3. ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร (N P และ K)

T4. ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (N P และ K) + ธาตุอาหารรอง Ca และ Mg จากปุ๋ยเคมี

T5. ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (N P และ K) + ธาตุอาหารรอง Ca และ Mg จากโดโลไมด์

T6. ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (N P และ K) + ธาตุอาหารรอง Ca และ Mg + ธาตุอาหารเสริม

2. วิธีการทดลอง

1. ทำการทดลอง ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในดินทราย ไถพลิกหน้าดินและตากดินประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อฆ่าเชื้อโรค และกำจัดวัชพืช หลังจากนั้นไถพรวนเพื่อย่อยดิน ยกร่องกว้าง 1 เมตร ขนาดแปลงย่อย 50×20 ตารางเมตร การปลูก ใช้มันสำปะหลังสายพันธุ์ CMR 89 ท่อนพันธุ์ มีความยาว 30 เซนติเมตร ปลูกเมื่อวันที่ 15 พฤษภาคม 2557 วิธีการปักตรง ระยะห่างระหว่างต้น 1 เมตร

2. ใส่ปุ๋ยหลังปลูก 1 เดือน และการฉีดพ่นธาตุอาหารเสริมฉีดพ่นทุกสัปดาห์ จนอายุครบ 4 เดือน สำหรับทรีตเมนต์ที่ 1 ไม่ให้ปุ๋ย เป็นทรีตเมนต์ควบคุม ทรีตเมนต์ที่ 2 เป็นการให้ปุ๋ยตามเกษตรกรในอัตรา 15-15-15 กิโลกรัม N P_2O และK_2O/ไร่ ทรีตเมนต์ที่ 3 ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (ตารางที่ 5) ในอัตรา 16-8-16 กิโลกรัม N P_2O และK_2O/ไร่ ทรีตเมนต์ที่ 4 ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและธาตุอาหารรองจากปุ๋ยเคมี ประกอบด้วย CaO 2.5% และMgO 0.4% ทรีตเมนต์ที่ 5 ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินในอัตรา 16-8-16 กิโลกรัม N P_2O และK_2O/ไร่ และธาตุอาหารรองจากโดโลไมด์ (สูตรเคมี $CaMg(CO_3)_2$ มี CaO 30.4, MgO 21.7 และ CO_2 47.9% ตามลำดับ) ในอัตรา 200 กิโลกรัม/ไร่

และทรีตเมนต์ที่ 6 ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินในอัตรา 16-8-16 กิโลกรัม N P_2O และK_2O/ไร่, ธาตุอาหารรอง (สูตรเคมี $CaMg(CO_3)_2$ มี CaO 30.4, MgO 21.7 และ CO_2 47.9% ตามลำดับ) ในอัตรา 200 กิโลกรัม/ไร่ และฉีดพ่นธาตุอาหารเสริมทางใบ (ประกอบด้วย Mg 72, S 2, Fe 2, Mn 4, Cu 1, Zn 3, B 0.01 และ Mo 0.1% ตามลำดับ)

ตารางที่ 5 การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของมันสำปะหลัง (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

		อัตราปุ๋ยที่ใส่ (kg./rai)
อินทรียวัตถุ	<1	ปุ๋ย N 16
OM, %	1-2	ปุ๋ย N 8
	>2	ปุ๋ย N 4
ฟอสฟอรัส	<7	ปุ๋ย P_2O_5 8
P, ppm	7-30	ปุ๋ย P_2O_5 4
	>30	ปุ๋ย P_2O_5 0
โพแทสเซียม	<30	ปุ๋ย K_2O 16
K, ppm	30-60	ปุ๋ย K_2O 8
	>60	ปุ๋ย K_2O 4

3. การเก็บข้อมูล

- คุณสมบัติดินก่อน และหลังปลูก โดยทำการวิเคราะห์ระดับความเป็นกรด ด่าง (pH) ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1 ด้วยเครื่อง pH meter วิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:5 ด้วยเครื่อง Electrical Conductivity Meter วิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ด้วยวิธี Walkley and Black (Black, 1965) วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) ด้วยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) วิเคราะห์ปริมาณ K Ca และ Mg ที่แลกเปลี่ยนได้ โดยสกัดดินด้วย NH_4OAC เข้มข้น 1.0 M วัด K ด้วยเครื่อง Flam photometer และวัด Ca Mg ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Jones, 2001; โครงการจัดตั้งเครือข่ายห้องปฏิบัติการการวิเคราะห์ดิน และพืช, 2546) และวัด Fe Mn Cu และ Zn โดยสกัดด้วยสาร DTPA แล้ววัดด้วยเครื่อง AAS

- เปอร์เซ็นต์ความงอก ทำการบันทึกเมื่ออายุ 15 วันหลังปลูก โดยนับจำนวน 20 ต้นต่อแปลงย่อย แล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์

- ความสูงของต้น วัดความสูงหลังจากปลูก 1 เดือน ทุก 2 สัปดาห์ โดยสุ่มจากแปลงย่อย แปลงละ 3 ต้น วัดความสูงจากผิวดินบริเวณโคนต้นจนถึงยอดสูงสุดของต้น แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 6 สรุปปริมาณปุ๋ยที่ให้ในแต่ละทรีตเมนต์

ทรีตเมนต์	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
	(kg./rai)			(%)	
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	15	15	15	-	-
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[1])	16	8	16	-	-
RF + ธาตุอาหารรองจากปุ๋ยเคมี	16	8	16	2.5*[3]	0.4*[3]
RF + ธาตุอาหารรองจากวัสดุปรับปรุงดิน	16	8	16	32.6*[4]	21.7*[4]
RF + ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริม*[2]	16	8	16	32.6*[4]	21.7*[4]

[1] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

[2]ธาตุอาหารเสริมฉีดพ่นทุก 2 สัปดาห์ ประกอบด้วย Mg 2%, S 2%, Fe 2%, Mn 4%, Ca 1%, Zn 3%, B 0.01% และ Mo 0.1%

[3] = ปริมาณที่เป็นประโยชน์ (Available content)

[4] = ปริมาณทั้งหมด (Total content)

- วัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ทุก 2 สัปดาห์ หลังจากปลูก 1 เดือน สุ่มจากแปลงย่อย แปลงละ 3 ต้น โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ วัดกิ่งแขนงที่แตกออกมากิ่งแรก สังเกตจากความสูง และขนาดของกิ่งแขนง โดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นตรงจุดกึ่งกลางของกิ่งแขนง

- จำนวนกิ่งแขนงของต้น นับจำนวนกิ่งแขนง ทุก 2 สัปดาห์ หลังจากปลูก 1 เดือนโดยสุ่มจากแปลงย่อย แปลงละ 3 ต้น นำมาหาค่าเฉลี่ย

- พื้นที่ใบ (leaf area, LA) เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 2 3 8 และ 12 เดือน ทำการสุ่มวัดพื้นที่ใบจำนวน 2 ต้น ในแต่ละแปลงย่อย ชั่งน้ำหนักสด และนำไปอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 70°C แล้วชั่งน้ำหนักแห้ง นำไปคำนวณดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index, LAI) จากสูตร

$$\text{ดัชนีพื้นที่ใบ} = \frac{\text{พื้นที่ใบทั้งหมด}}{\text{พื้นที่ปลูก}}$$

- อัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate, CGR) เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 2 3 8 และ 12 เดือน ทำการสุ่มวัดพื้นที่ใบจำนวน 2 ต้น ในแต่ละแปลงย่อย โดยเก็บ ทั้งใบ ต้น และหัว แล้วนำไปอบทั้งใบ ต้น และหัว ชั่งน้ำหนักสด และแห้ง โดยคำนวณจากดัชนีพื้นที่ใบ และปริมาณแสง ณ เวลานั้น

$$CGR = DM1-DM2$$

โดย DM1 = น้ำหนักแห้งช่วงเวลาที่ 1

DM2 = น้ำหนักแห้งช่วงเวลาที่ 2

- ดัชนีเก็บเกี่ยวน้ำหนักแห้ง (HI) โดยนำน้ำหนักสดขององค์ประกอบผลผลิตในแต่ละเดือนมาคำนวณ จากสูตร (เฉลิมพล แซมเพชร, 2542) และเปอร์เซ็นต์แป้ง

$$HI = \frac{Ey}{By}$$

โดย Ey = Economic yield คือ น้ำหนักหัว

By = Biological yield คือ น้ำหนักหัว ใบ และต้น

- ผลผลิต และปริมาณแป้งที่สะสมในหัวสดมันสำปะหลัง โดยผลผลิตจะเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือน แล้วสุ่มหัวสดมาชั่งน้ำหนัก 5 กิโลกรัม ของแต่ละทรีตเมนต์มาวัดเปอร์เซ็นต์แป้งโดยใช้เครื่องวัดปริมาณแป้ง (Reimann scale)

- ปริมาณคลอโรฟิลล์ วัดปริมาณคลอโรฟิลล์หลังจากปลูก 1 เดือน ทุก 2 สัปดาห์ สุ่มจากแปลงย่อย แปลงละ 3 ต้น โดยใช้เครื่อง chlorophyll meter (SPAD-502) วัดใบตำแหน่งที่ 6 7 และ 8 นับจากใบที่เริ่มคลี่เป็นใบที่ 1 วัดตรงกลางใบ หาค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ใบ (อุทัยวรรณ คันโท, 2553) และการสกัดหาปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบที่อายุ 4 เดือน ใช้ใบตำแหน่งเดียวกับการวัดด้วยเครื่อง SPAD-502 เจาะตรงกลางใบด้วย cork borer จนได้แผ่นวงกลม 0.64 ตารางเซนติเมตร สกัดด้วย N,N - dimethylformamide (DMF) ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เก็บในที่มืด จนใบมีสีขาวซีด แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 664 และ647 nm และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้คำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg dm^{-2}) ตามสมการ (Moran, 1982 ; อุทัยวรรณ, 2552)

$$Chl_a = (-2.99\ A_{647} + 12.64\ A_{664}) \times Vol / (X \times Area \times 100)$$

$$Chl_b = (23.26\ A_{647} - 5.60\ A_{664}) \times Vol / (X \times Area \times 100)$$

$$Chl_{total} = (20.27\ A_{647} + 7.04\ A_{664}) \times Vol / (X \times Area \times 100)$$

เมื่อ Chl_a ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (gm^{-2})

Chl_b ปริมาณคลอโรฟิลล์บี (gm^{-2})

Chl_{total} ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (gm^{-2})

A_{647} ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 647 นาโนเมตร

A_{664} ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร

Vol ปริมาตรของสาร DMF ที่ใช้สกัด (mL)

X สัดส่วนการเจือจาง

Area พื้นที่ใบที่ใช้สกัด (cm)

100 คูณกับพื้นที่ใบเพื่อปรับหน่วยจาก g cm^{-2} เป็น g m^{-2}

- วิเคราะห์ปริมาณธาตุ N P K Ca Mg Fe Mn Cu และ Zn ในใบมันสำปะหลัง ที่อายุ 4 เดือน ทำการเก็บตัวอย่างใบมันสำปะหลัง ใช้ใบตำแหน่งที่ 4 และ 5 นับใบที่กางเต็มที่แล้วเป็นใบที่หนึ่ง (Howeler, 2002) นำไปล้าง และอบที่อุณหภูมิ 70°C จนแห้งสนิท บดตัวอย่างให้ละเอียด และวิเคราะห์ N ด้วยวิธี Kjeldahl วิเคราะห์ P ด้วยวิธี Vanadomolybdate (Barton) และวิเคราะห์ K โดยใช้เครื่อง Flame photometer (โครงการจัดตั้งเครือข่ายห้องปฏิบัติการการวิเคราะห์ดิน และพืช, 2546) วิเคราะห์ Fe Mn Cu และ Zn ด้วยเครื่อง AAS (Lindsay and Norvell, 1978)

- ปริมาณแสงในเดือนที่วัดพื้นที่ใบ จำนวน 3 ต้น ต้นละ 4 ซ้ำ ในแต่ละแปลงย่อย แล้วนำไปคำนวณอัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้แสง (right use efficiency, RUE)

- หาค่าประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยได้จาก

$$\text{ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย} = \frac{\text{ผลผลิตของมันสำปะหลัง (กก.ต่อไร่)}}{\text{ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ (กก.ต่อไร่)}}$$

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS for Window (version 13.0) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

3.2 การทดลองที่ 2.1 การใช้เทคนิค X-ray Fluorescence วิเคราะห์สถานะของธาตุ K ในใบมันสำปะหลัง

1. ใช้ใบมันสำปะหลังจากการทดลองที่ 1 ของทรีตเมนต์ T2 และ T3 คือ

T1. วิธีการไม่ให้ปุ๋ย

T2. ให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน+ Ca Mg

เก็บใบตำแหน่งที่ 4 และ 5 เนื่องจากเป็นใบตำแหน่งเดียวกันกับการวิเคราะห์ทางเคมี นอกจากนี้ได้เก็บตัวอย่างใบมันสำปะหลังที่วินิจฉัยด้วยสายตาว่าแสดงอาการขาดธาตุ K อย่างรุนแรงเพื่อทำการเปรียบเทียบ โดยใบที่ขาดธาตุ K จะแสดงอาการที่ใบล่างจึงเก็บตัวอย่างที่ใบล่าง

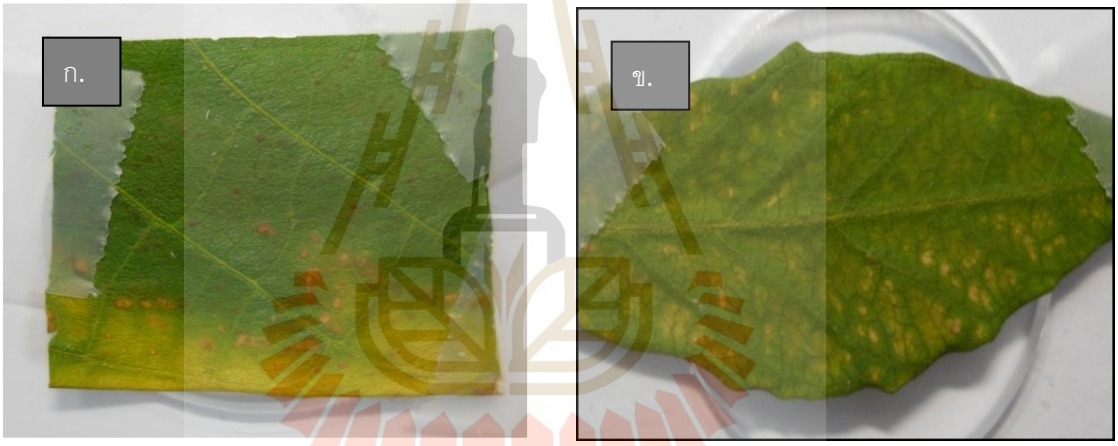
2. การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ทางซินโครตรอน

นำใบมันสำปะหลังมาล้างทำความสะอาด แล้วอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 48 ชม. ตัดใบเป็นสี่เหลี่ยมโดยไม่ชิดขอบใบมากเกินไป (ภาพที่ 2) นำไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค X-ray

Fluorescence สถานีทดลอง micro-XRF (BL6b) ที่สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) จังหวัดนครราชสีมา ทำการสแกนแบบ area scan ต่อเนื่องทั้งแนวแกน x และ y โดย K มีขนาดพื้นที่ที่ใช้สแกนเท่ากับ 0.58 มม. และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม pyMCA (Sole, 2007) ส่วนการวิเคราะห์ทางเคมีใช้ใบมันสำปะหลังอายุ 4 เดือน อบใบมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 70°C แล้วย่อยด้วย HNO_3+$HClO_4$ วัดปริมาณธาตุ K ด้วยเครื่อง Flame photometer (โครงการจัดตั้งเครือข่ายห้องปฏิบัติการการวิเคราะห์ดิน และพืช, 2546)

3. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

- วิเคราะห์ความแปรปรวนของ K จากการวิเคราะห์ทางซินโครตรอน เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยต่ำสุด และสูงสุดของ count ที่พบ กับวิธีทางเคมี และหาค่า Ratio ระหว่างวิธีทางเคมี และเทคนิค XRF



ภาพที่ 1 ใบมันสำปะหลังที่ขาดธาตุ K และ Fe อย่างรุนแรง
ก. อาการขาดธาตุ K ข. อาการขาดธาตุ Fe

ภาพที่ 2 ตำแหน่งใบที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางซินโครตรอน

3.3 การทดลองที่ 2.2 การใช้เทคนิค X-ray Fluorescence วิเคราะห์สถานะของ Fe ในใบมันสำปะหลัง

1. เก็บใบตำแหน่งที่ 4 และ 5 เนื่องจากเป็นใบตำแหน่งเดียวกันกับการวิเคราะห์ทางเคมี นอกจากนี้ได้เก็บตัวอย่างใบมันสำปะหลังที่วินิจฉัยด้วยสายตาว่าแสดงอาการขาดธาตุ Fe อย่างรุนแรงเพื่อทำการเปรียบเทียบ โดยใบที่ขาด ธาตุ Fe จะแสดงอาการขาดที่ใบบนหรือยอดจึงเก็บตัวอย่างที่ใบบนเพื่อให้เห็นผลการทดลองที่ชัดเจน (ภาพที่ 1 ข.)

2. การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ทางซินโครตรอน

นำใบมันสำปะหลังมาล้างทำความสะอาด แล้วอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 48 ชม. ตัดใบเป็นสี่เหลี่ยมโดยไม่ชิดขอบใบมากเกินไป (ภาพที่ 2) นำไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค X-ray Fluorescence สถานีทดลอง micro-XRF (BL6b) ที่สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) จังหวัดนครราชสีมา ทำการสแกนแบบ area scan ต่อเนื่องทั้งแนวแกน x และ y มีขนาดพื้นที่ที่ใช้สแกนเท่ากับ 60.5 และ 58.6 มม. ตามลำดับ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม pyMCA (Sole, 2007) ส่วนการวิเคราะห์ทางเคมีใช้ใบมันสำปะหลังอายุ 4 เดือน นำมาอบที่อุณหภูมิ 70°C แล้วย่อยด้วย HNO_3+ $HClO_4$ วัด Fe ด้วยเครื่อง AAS (Jones, 2001)

3. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

- วิเคราะห์ความแปรปรวนของ Fe จากการวิเคราะห์ทางซินโครตรอน เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยต่ำสุด และสูงสุดของ count ที่พบ กับวิธีทางเคมี และหาค่า Ratio ระหว่างวิธีทางเคมี และเทคนิค XRF

บทที่ 4
ผลการทดลอง และอภิปรายผล

4.1 การทดลองที่ 1 อิทธิพลของ Ca Mg และธาตุอาหารเสริมต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลัง

1. คุณสมบัติของดินก่อน และหลังการทดลอง

คุณสมบัติของดินก่อนการทดลองแสดงในตารางที่ 7 โดยดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินร่วนทราย ในชุดดินยโสธร (Yasothon series: Yt, Fine-loamy, siliceous, semiactive, isohyperthemic Typic Paleustults) มีค่า pH 5.95 และ มีอินทรียวัตถุต่ำ (0.27%) available P (0.27 mg/kg) มีค่าต่ำ exchangeable K (29.42 mg/kg) มีค่าต่ำ exchangeable Ca (19.07 มก./กก.) มีค่าต่ำ exchangeable Mg (21.25 mg/kg) มีค่าต่ำ available Fe (9.24 mg/kg) มีค่าต่ำ available Mn (7.03 mg/kg) มีค่าต่ำ available Cu (0.23 mg/kg) มีค่าต่ำ และ available Zn (0.43 mg/kg) มีค่าต่ำ โดยในภาพรวมจัดเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติทางเคมีของดินหลังการทดลองพบว่า วิธีการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกันส่งผลให้คุณสมบัติทางเคมีส่วนใหญ่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าวิเคราะห์ pH แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 8) และภาพรวม pH อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลัง โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากโดโลไมด์ส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้นจากค่าวิเคราะห์ดินก่อนการทดลอง และยังมีค่าเฉลี่ย pH หลังการทดลองมากที่สุด รองลงมาคือ วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร และวิธีการไม่ให้ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใส่ปุ๋ย โดยมีค่าเฉลี่ย pH เท่ากับ 6.9, 6.8, 6.8, 6.7, 6.6 และ 6.0 ตามลำดับ ส่วนผลของวิธีการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าวิเคราะห์การนำไฟฟ้าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากโดโลไมด์ ให้ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าสูงที่สุด รองลงมาคือ วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร และวิธีการไม่ให้ปุ๋ย มีค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าเท่ากับ 291, 269, 268, 263, 262 และ 261 µS/cm ตามลำดับ ผลของวิธีการให้ปุ๋ยไม่มีผลต่อค่าวิเคราะห์อินทรียวัตถุ แต่มีแนวโน้มว่าวิธีการให้ปุ๋ยต่างๆ มีค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุสูงกว่าวิธีการไม่ให้ปุ๋ย และแนวโน้มอินทรียวัตถุในทุกวิธีการให้ปุ๋ยอยู่ในระดับต่ำ (ตารางที่ 8) แต่ผล

ของการให้ปุ๋ยในวิธีที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณฟอสฟอรัสในทุกวิธีการให้ปุ๋ยมีแนวโน้มอยู่ในระดับต่ำ โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากโดโลไมด์มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือ วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร และวิธีการไม่ให้ปุ๋ย ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสเท่ากับ 6.4, 6.1, 6.0, 5.4, 2.9 และ 2.9 mg/kg ตามลำดับ ผลของวิธีการให้ปุ๋ยส่งผลต่อค่าวิเคราะห์โพแทสเซียมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โพแทสเซียมในทุกวิธีการให้ปุ๋ยมีแนวโน้มอยู่ในระดับต่ำ โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg และธาตุอาหารเสริมให้ค่าเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือ ค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี ตามค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากโดโลไมด์ ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร และวิธีการไม่ให้ปุ๋ย มีค่าเฉลี่ยโพแทสเซียมเท่ากับ 53.6, 51.4, 51.1, 49.3, 46.4 และ 37.2 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 7 ผลวิเคราะห์ดินก่อนการทดลอง

คุณสมบัติของดิน	**ผลวิเคราะห์ดิน**	**ค่าที่เหมาะสม (Howeler, 2002)**
เนื้อดิน	ร่วนทราย	-
pH	5.95	4.5-7
EC (µS/cm)	166.8	-
Organic matter (%)	0.27	2.0-4.0
Available P (mg/kg)	0.27	4-15
Exchangeable K (mg/kg)	29.42	58.5-97.5
Exchangeable Ca (mg/kg)	19.07	200-1,000
Exchangeable Mg (mg/kg)	21.25	48-120
Available Fe (mg/kg)	9.24	10-100
Available Mn (mg/kg)	7.03	10-100
Available Cu (mg/kg)	0.23	0.3-1.0
Available Zn (mg/kg)	0.43	1.0-5.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 8 ผลวิเคราะห์ดินหลังการทดลอง

ทรีตเมนต์	pH	EC (µS/cm)	OM (%)	P	K	Ca	Mg
				(mg/kg)			
ไม่ให้ปุ๋ย	6.0[b]	261[b]	0.44	2.9[b]	37.2[b]	167	39.9[b]
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	6.6[ab]	262[b]	0.50	2.9[b]	46.4[a]	175	39.2[b]
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*2])	6.7[a]	268[b]	0.58	6.0[ab]	51.1[a]	182	55.6[ab]
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	6.8[a]	263[b]	0.51	6.1[ab]	51.4[a]	260	68.5[a]
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	6.9[a]	291[a]	0.57	6.4[a]	49.3[a]	324	80.0[a]
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	6.8[a]	269[b]	0.55	5.4[ab]	53.6[a]	220	55.9[ab]
F-test	**	**	ns	*	*	ns	*
CV (%)	3.8	4.9	17.4	39.9	15.3	37.9	35.3

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

[2] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

ตารางที่ 9 ผลวิเคราะห์หลังดินหลังการทดลอง (ต่อ)

ทรีตเมนต์	Fe	Mn	Cu	Zn
			(mg/kg)	
ไม่ให้ปุ๋ย	9.0[c]	7.0	0.28	0.65[c]
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	10.3[c]	7.0	0.32	1.05[b]
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*2])	12.5[b]	7.6	0.27	1.15[ab]
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	16.0[a]	7.5	0.42	1.09[b]
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	17.4[a]	9.6	0.40	1.45[a]
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	17.6[a]	9.4	0.40	1.15[ab]
F-test	**	ns	ns	**
CV (%)	25.8	19.7	27.5	27.3

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

[2] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลของการให้ปุ๋ยทุกวิธีการต่อค่าวิเคราะห์ Ca และ Mg อยู่ในระดับต่ำ แต่วิธีการให้ปุ๋ยตามค่า วิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากโดโลไมด์ มีแนวโน้มให้ค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ส่วนผลของการให้ปุ๋ยในวิธีการต่างๆต่อผลวิเคราะห์ธาตุอาหารเสริมของ Fe และ Zn แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภาพรวมของธาตุ Fe อยู่ในระดับสูง สำหรับธาตุ Zn อยู่ในระดับปานกลาง และวิธีการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าวิเคราะห์ทั้ง Mn และ Cu ในทุกวิธีการให้ปุ๋ย โดย Mn มีแนวโน้มอยู่ในระดับสูง และ Cu มีแนวโน้มอยู่ในระดับปานกลาง (ตารางที่ 9)

2. การเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

2.1 เปอร์เซ็นต์ความงอก และความสูงของต้นมันสำปะหลัง

เปอร์เซ็นต์ความงอกหลังปลูกที่อายุ 15 วัน มีความงอกเฉลี่ย 85% ซึ่งในแต่ละทรีตเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 10) เนื่องจากหลังปลูกมีการปรับดินที่เหมาะสม และในท่อนพันธุ์มีความสมบรูณ์ มีทั้งคาร์โบไฮเดรต และธาตุอาหารที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตในระยะแรก (El-Sharkawy, 2003) ความสูงของลำต้นมันสำปะหลังที่อายุ 40 54 และ 68 วัน หลังปลูกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกวิธีการ แต่ความสูงที่อายุ 82 วันหลังปลูก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg และธาตุอาหารเสริมมีแนวโน้มให้ความสูงของลำต้นมากที่สุด รองลงมาคือวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี มีค่าเท่ากับ 86 และ 81 ซม. ตามลำดับ และความสูงของลำต้นที่อายุ 115 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 10) โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากปุ๋ยเคมีแนวโน้มความสูงของลำต้นมากที่สุด รองลงมาคือ วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม มีค่าเท่ากับ 111 และ 104 ซม. ตามลำดับ การที่ความสูงในช่วงแรกไม่แตกต่างกันอาจเป็นเพราะมันสำปะหลังในทุกวิธีการได้รับธาตุอาหารจากดิน และท่อนพันธุ์อย่างเพียงพอแต่หลังจากนั้นจะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีความต้องการธาตุอาหารอย่างมาก (El-Sharkawy, 2003) จึงทำให้มีการตอบสนองต่อการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน โดยความสูงในช่วงอายุ 82 วัน และ 115 วันหลังปลูกในวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้ค่าเฉลี่ยความสูงใกล้เคียงกับวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg และธาตุอาหารเสริมโดยเฉพาะที่อายุ 82 วัน ผลการทดลองความสอดคล้องกับงานทดลองของ Anikwe et al. (2016) ที่ทดลองใช้วัสดุปรับปรุงดินในอัตราที่แตกต่างกันเพื่อปรับปรุง pH ในดินทราย พบว่าความสูงของต้นมันสำปะหลังที่อายุ 90 วันหลังปลูก มีค่าเฉลี่ยความสูงมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุปรับปรุงดินในการปรับปรุง pH และการที่ธาตุอาหารจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์นั้นจะต้องใช้เวลานานในการปรับปรุง

ตารางที่ 10 ความงอกที่อายุ 15 วันหลังปลูก และความสูงของต้น

ทรีตเมนต์	ความงอก	ความสูง (cm)				
	%	40	54	68	82	115
				วัน		
ไม่ให้ปุ๋ย	82	39	42	55	67[d]	78[c]
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	80	40	44	59	69[cd]	98[b]
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*2])	87	40	43	58	78[abc]	101[b]
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	88	38	42	57	81[ab]	111[a]
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	87	40	42	58	75[bcd]	102[b]
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	88	41	46	62	86[a]	104[ab]
F-test	ns	ns	ns	ns	*	**
CV (%)	5.8	9.0	10.5	9.2	11.1	11.6

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

[2] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

2.2 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และจำนวนกิ่ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า วิธีการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกันไม่ส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของมันสำปะหลังส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 11) ยกเว้นที่อายุ 54 วัน โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินให้ค่าเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริม ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ และปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร โดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเท่ากับ 11.4, 11.3 11.1, 10.8 และ 10.6 มม. ตามลำดับ ซึ่งทุกวิธีการให้ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากกว่าการไม่ให้ปุ๋ย และในช่วงอายุ 68 และ 115 วันหลังปลูก มีแนวโน้มเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นในทุกวิธีการให้ปุ๋ยมีค่าคงที่เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น และใบสูงสุดจะอยู่ในช่วงอายุ 90-180 วันหลังปลูก (Alves, 2002) แต่วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากที่สุด

ตารางที่ 11 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของมันสำปะหลัง

ทรีตเมนต์	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)				
	40 วัน	**54 วัน**	**68 วัน**	**82 วัน**	**115 วัน**
ไม่ให้ปุ๋ย	9.7	8.9[b]	12.7	13.6	16.6
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	9.6	10.6[ab]	12.6	14.3	16.9
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*2])	9.9	11.4[ab]	12.1	14.9	16.5
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	9.5	11.3[a]	12.7	14.5	17.0
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	9.0	10.8[a]	12.3	14.2	16.6
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	9.4	11.1[a]	12.7	15.8	16.7
F-test	ns	*	ns	ns	ns
CV (%)	8.1	12.3	9.2	7.5	7.6

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

[2] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

วิธีการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อจำนวนกิ่งของมันสำปะหลังในช่วงอายุ 115 วันหลังปลูก โดยที่จำนวนกิ่งในทุกวิธีมีค่าค่อนข้างคงที่ (ตารางที่ 12) แต่มีแนวโน้มว่าวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี มีค่าเฉลี่ยมากกว่าวิธีการอื่นๆในทุกช่วงอายุ จำนวนกิ่งต่อต้นของมันสำปะหลังส่วนใหญ่เป็นลักษณะประจำพันธุ์ของมันสำปะหลัง สิ่งแวดล้อม และสภาพอากาศจึงมีบทบาทต่อจำนวนกิ่งไม่มาก และการที่มีจำนวนกิ่งมากอาจจะไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น เพราะมีผลต่อการบดบังการรับแสงของใบล่าง หรือลดประสิทธิภาพการใช้แสงซึ่งผลกระทบในส่วนเหนือดินจะมีไม่มาก แต่จะทำให้ส่วนใต้ดินหรือการสะสมของอาหารลดลง (Cock, 1983)

ตารางที่ 12 จำนวนกิ่งของมันสำปะหลัง

ทรีตเมนต์	จำนวนกิ่ง				
	40 วัน	**54 วัน**	**68 วัน**	**82 วัน**	**115 วัน**
ไม่ให้ปุ๋ย	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	2.5	2.5	2.5	2.5	2.7
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*1])	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	2.7	3.0	3.2	3.2	3.2
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	2.7	2.7	2.7	2.7	3.0
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	2.7	2.7	2.7	2.7	3.0
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	17.5	16.0	15.2	15.7	14.5

[1] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

3. ดัชนีพื้นที่ใบ

ดัชนีพื้นที่ใบบอกถึงความสมดุลระหว่างสัดส่วนการเจริญเติบโตส่วนเหนือดิน และใต้ดินซึ่งมันสำปะหลังจะมีดัชนีพื้นที่ใบระหว่าง 2.5-3.5 เป็นช่วงที่บอกถึงประสิทธิภาพการนำแสงไปใช้ต่อพื้นที่ของใบได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และค่าดัชนีพื้นที่ใบจะมากที่สูงสุดในช่วง 4-6 เดือนหลังปลูก หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง (Cock, 1983 ; Alves, 2002) ซึ่งในช่วง 2-3 เดือน จะมีการสะสมดัชนีพื้นที่ใบอย่างช้าๆ ประมาณ 1.0 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองครั้งนี้คือการให้ปุ๋ยในแต่ละระดับต่อดัชนีพื้นที่ใบในเดือนที่ 1 และ 2 ไม่มีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 13) โดยในเดือนที่ 1 การให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 0.42 และในเดือนที่ 2 การให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ และธาตุอาหารเสริม มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 0.86 ซึ่งในเดือนที่ 2 ค่าดัชนีพื้นที่ใบเข้าใกล้ 1.0 ส่วนค่าดัชนีพื้นที่ใบในเดือนที่ 3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริมมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ การให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร และวิธีการไม่ให้ปุ๋ย มีค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ใบเท่ากับ 2.33 2.12 1.96 1.95 1.76 และ 1.56 ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีเข้าใกล้จุดสมดุลของส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินของมันสำปะหลัง คือ 2.5-3.5 ในวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริม และวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี ส่วนค่าดัชนีพื้นที่ใบในเดือนที่ 8 และ12 มีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Cock (1983) และ Alves (2002) ซึ่งพบว่ามันสำปะหลังที่อายุมากกว่า 6 เดือนค่าดัชนีพื้นที่ใบจะลดลง โดยในเดือนที่ 8 ดัชนีพื้นที่ใบ

มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ และธาตุอาหารเสริม ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร และวิธีการไม่ให้ปุ๋ย มีค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ใบเท่ากับ 0.60, 0.55 0.51, 0.51, 0.46 และ 0.45 ตามลำดับ ค่าดัชนีพื้นที่ใบในเดือนที่ 12 ในวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริม มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดรองลงมาคือ วิธีการปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโลไมด์ ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร และวิธีการไม่ให้ปุ๋ย มีค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ใบเท่ากับ 0.93, 0.92, 0.67, 0.63, 0.62 และ 0.60 ตามลำดับ สอดคล้องกับ Anikwe et al. (2016) ที่ทำการทดลองใช้วัสดุปรับปรุงดิน (ปูนขาว+ยิปซัม) ต่อลักษณะทางกายภาพ และผลผลิตของมันสำปะหลัง พบว่าการใช้ปูนขาวและยิปซัม ทำให้ pH เพิ่มขึ้น ความสูงของต้น และดัชนีพื้นที่ใบมากที่สุด

ตารางที่ 13 ดัชนีพื้นที่ใบของมันสำปะหลัง (Leaf area index; LAI)

ทรีตเมนต์	ดัชนีพื้นที่ใบ				
	1 เดือน	**2 เดือน**	**3 เดือน**	**8 เดือน**	**12 เดือน**
ไม่ให้ปุ๋ย	0.31	0.52	1.56[c]	0.45[c]	0.60[b]
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	0.39	0.67	1.76[bc]	0.46[c]	0.62[b]
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*2])	0.40	0.59	1.96[abc]	0.51[bc]	0.63[b]
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	0.42	0.82	2.12[ab]	0.51[bc]	0.67[a]
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	0.33	0.74	1.95[abc]	0.60[a]	0.92[b]
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	0.39	0.86	2.33[a]	0.55[ab]	0.93[a]
F-test	ns	ns	*	**	*
CV (%)	28.0	30.2	14.8	11.6	25.8

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

[2] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

4. น้ำหนักแห้งรวมของใบ ลำต้น และราก และอัตราการเจริญเติบโต

ผลของการให้ปุ๋ยวิธีที่แตกต่างกันต่อน้ำหนักแห้งรวมของใบ ลำต้น และรากต่อต้นในเดือนที่ 2 3 8 และ12 เดือน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริมมีแนวโน้มให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรวมของใบ ลำต้น และรากมากที่สุด (ตารางที่ 14) ส่วนวิธีการไม่ให้ปุ๋ยมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งการสะสมของน้ำหนักแห้งบอกถึงประสิทธิภาพของมันสำปะหลังที่นำธาตุอาหารต่างๆไปสร้างเป็นส่วนเหนือดิน และใต้ดิน ส่วนน้ำหนักแห้งรวมในเดือนที่ 1 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่ง El-Sharkawy (2003) และ Fageria et al. (2010) รายงานว่าช่วง 2 เดือนแรก การสะสมน้ำหนักแห้งจะช้า และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอายุ 4 เดือน ซึ่งน้ำหนักแห้งส่วนหนึ่งจะหายไปกับใบที่ร่วงหล่น เมื่อมันสำปะหลังอายุ 8 เดือน ถ้าน้ำหนักใบมากจะทำให้ผลผลิตลดลง (El-Sharkawy, 2003) การเก็บเกี่ยวที่อายุ 12 เดือน สัดส่วนของน้ำหนักแห้งจะมากที่สุดในส่วนของราก รองลงมาคือ ลำต้น และใบ (Fageria et al., 2010) ในการทดลองครั้งนี้น้ำหนักแห้งรวมสูงที่สุดที่อายุ 12 เดือน ซึ่งเป็นช่วงที่มันสำปะหลังเข้าสู่ช่วงพักตัว (Alves, 2002) จึงไม่มีการพัฒนาทางด้านใบ ลำต้น แต่จะมีการสะสมอาหารในส่วนของราก หรือส่วนใต้ดินมากกว่า

ตารางที่ 14 น้ำหนักแห้งรวมใบ ลำต้น และราก (Total dry matter; TDM)

ทรีตเมนต์	น้ำหนักแห้งรวม (kg/rai)				
	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	8 เดือน	12 เดือน
ไม่ให้ปุ๋ย	82	120[c]	347[c]	878[b]	1313[c]
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	79	125[c]	384[b]	936[b]	1492[bc]
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*2])	90	141[bc]	384[b]	1188[a]	1659[ab]
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	84	171[ab]	409[a]	1134[a]	1707[a]
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	87	131[bc]	419[a]	1168[a]	1752[a]
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	86	193[a]	416[a]	1094[a]	1833[a]
F-test	ns	**	**	**	*
CV (%)	9.2	14.2	6.9	20.3	13.8

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

[2] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

5. อัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate)

ผลของการให้ปุ๋ยวิธีการต่างๆ มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต (ตารางที่ 15) ในเดือนที่ 1-2 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริมมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด (2.2 g .m^{-2}.d^{-1}) วิธีการให้ปุ๋ยวิธีต่างๆ มีค่าเฉลี่ยมากกว่าวิธีการให้ปุ๋ยตามวิธีเกษตรและวิธีการไม่ให้ปุ๋ย ในเดือนที่ 2-3 อัตราการเจริญเติบโตมีค่าสูงสุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างวิธีการให้ปุ๋ยวิธีต่างๆ โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริมมีค่าเฉลี่ยสูงสุด (4.7 g .m^{-2}.d^{-1}) และวิธีการไม่ให้ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยต่ำสุด (3.4 g .m^{-2}.d^{-1}) ส่วนในเดือนที่ 3-8 ค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตมีค่าลดลงจากเดือนที่ 2-3 และยังคงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างวิธีการให้ปุ๋ยวิธีต่างๆ และวิธีการไม่ให้ปุ๋ยซึ่งมีค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุด โดยที่การให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ให้ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตสูงที่สุด และมีความสอดคล้องกับ โยธิน หินทอง และ ปรเมศ บรรเทิง (2555) ที่พบว่าในเดือนเมษายน มีค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุด คือ 2.78 g m^{-2} d^{-1} สำหรับการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 2.74 g m^{-2} d^{-1} ในวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากโดโลไมด์ และเดือนที่ 8-12 อัตราการเจริญเติบโตยังคงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริมมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด (2.6 g m^{-2} d^{-1}) เมื่อเปรียบเทียบวิธีการให้ปุ๋ยวิธีการต่างๆ และวิธีการไม่ให้ปุ๋ยนอกจากนี้จะเห็นว่าในช่วงอายุที่ 8-12 เดือน จะมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงมาก อาจเนื่องมาจากช่วงเวลาดังกล่าวฝนทิ้งช่วง อยู่ในสภาวะแห้งแล้ง และมันสำปะหลังจะเข้าสู่ระยะการพักตัว (ตารางที่ 15)

6. ผลผลิต และปริมาณแป้งที่สะสมในหัวมันสำปะหลัง

จากการวิเคราะห์ผลของการให้ปุ๋ยวิธีการที่แตกต่างกันต่อผลผลิตต่อไร่ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 16) โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี มีค่าเฉลี่ยผลผลิตต่อไร่มากที่สุด รองลงมาคือ วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริม ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร และการไม่ให้ปุ๋ย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.6, 6.0, 6.3, 5.9, 4.7 และ 3.9 ตัน/ไร่ ตามลำดับ เช่นเดียวกับน้ำหนักหัวสดต่อต้น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.1, 3.9, 3.7, 3.7, 2.9 และ 2.4 กก/ต้น ตามลำดับ แต่น้ำหนักใบ และต้น จำนวนหัว และปริมาณแป้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ Panitnok et al. (2013) ได้ทำการทดลองธาตุอาหารเสริมที่ระดับต่างๆ ในดินทรายกับมันสำปะหลังสามสายพันธุ์คือ HB 60 HB 80 และ KU 50 ที่ฉีดพ่นธาตุอาหารเสริม ทุก 2 สัปดาห์ จนอายุครบ 3 เดือน วิธีการให้ Zn + Mg + S ในทุกสายพันธุ์ให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แป้งมากที่สุดในพันธุ์ HB 80 (29.33%) สำหรับการทดลองนี้มีปริมาณแป้งเฉลี่ย (23.54%) อาจเนื่องมากจากพันธุ์ CMR 89 มี

ความสามารถในการให้เปอร์เซ็นต์แป้งต่ำ (ประมาณ 22.50%) (ศูนย์วิจัยมันสำปะหลัง, 2560) จึงไม่ตอบสนองต่อการให้ธาตุอาหารรองหรือธาตุอาหารเสริมมากนัก

ตารางที่ 15 อัตราการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง (Crop growth rate; CGR)

ทรีตเมนต์	อัตราการเจริญเติบโต ($g .m^{-2}.d^{-1}$)			
	1-2 เดือน	**2-3 เดือน**	**3-8 เดือน**	**8-12 เดือน**
ไม่ให้ปุ๋ย	1.1^{c}	3.4^{c}	1.8^{d}	1.6^{d}
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	1.4^{bc}	3.9^{bc}	2.3^{c}	1.7^{cd}
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*2])	1.9^{ab}	4.0^{abc}	2.6^{ab}	2.1^{bc}
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	1.8^{ab}	4.5^{ab}	2.5^{ab}	2.5^{ab}
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	1.7^{ab}	4.6^{ab}	2.7^{a}	2.3^{ab}
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	2.2^{a}	4.7^{a}	2.5^{bc}	2.6^{a}
F-test	*	*	**	**
CV (%)	29.0	12.5	12.9	20.9

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

[2] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

ดัชนีเก็บเกี่ยวที่อายุ 12 เดือน พบว่า แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 16) โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริมให้ค่าเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร และวิธีการไม่ให้ปุ๋ย มีค่าเฉลี่ยดัชนีเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.75 0.75, 0.71, 0.66, 0.64 และ 0.64 ตามลำดับ แม้ว่าการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +ธาตุ Ca Mg จากปุ๋ยเคมีจะมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน และปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร แต่ก็ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตต่อไร่มากที่สุด ดังกล่าวมาแล้วว่าวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และฉีดพ่นธาตุอาหารเสริมให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรวมมากที่สุดแต่กลับไม่ได้ให้ผลผลิตสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Fageria et al. (2010) ที่กล่าวว่าสัดส่วนเหนือดินจะต้องน้อยกว่าส่วนใต้ดินจึงจะทำให้ผลผลิตสูงสุด ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อคำนวณเป็นดัชนีเก็บเกี่ยวน้ำหนักแห้งกลับทำให้วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และฉีดพ่นธาตุอาหารเสริมมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ชี้ให้เห็นว่าธาตุอาหารเสริมอาจทำให้สัดส่วนของของแข็งในหัวเพิ่มมากขึ้น

สำหรับสัดส่วนของน้ำหนักแห้งส่วนใต้ดิน และเหนือดิน ส่วนใหญ่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นเดือนที่ 8 (ตารางที่ 17) ซึ่งวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ และวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริม ให้ค่าเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร และวิธีการไม่ให้ปุ๋ย มีค่าเฉลี่ยสัดส่วนของน้ำหนักแห้งส่วนใต้ดิน และเหนือดินเท่ากับ 0.72, 0.72, 0.71, 0.71, 0.65 และ 0.64 กรัม ตามลำดับ จิราวรรณ และคณะ (2555) ได้รายงานว่าชุดดินยโสธรที่มีการใส่ปูนที่มีแคลเซียม และแมกนีเซียมในมันสำปะหลังในปีแรกไม่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของส่วนเหนือดิน แต่การให้ปูนโดโลไมด์ (แมกนีเซียม) อัตรา 100 กก/ไร่ มีแนวโน้มทำให้น้ำหนักส่วนเหนือดินสูงสุด คือ 1.02 ตัน/ไร่ และในปีที่สองในอัตรา 300 กก/ไร่ ทำให้น้ำหนักส่วนเหนือดินสูงสุด 2.39 ตัน/ไร่

ตารางที่ 16 ผลผลิตของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือน

ทรีตเมนต์	ผลผลิต (ton/rai)	HI[*3] (Dry weight)	น้ำหนักสด (kg./plant)			จำนวนหัว	แป้ง (%)
			ใบ	ต้น	หัว		
ไม่ให้ปุ๋ย	3.9[b]	0.64[c]	0.23	1.5	2.4[b]	11.5	22.9
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	4.7[b]	0.71[ab]	0.32	1.9	2.9[b]	10.8	23.7
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*2])	5.9[ab]	0.64[c]	0.31	2.1	3.7[ab]	12.3	24.2
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	6.6[a]	0.66[ab]	0.29	2.0	4.1[a]	13.0	22.7
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	6.3[a]	0.75[a]	0.32	1.9	3.9[a]	11.3	23.5
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	6.0[ab]	0.75[a]	0.28	1.8	3.7[ab]	12.0	23.6
F-test	**	*	ns	ns	**	ns	ns
CV (%)	20.3	6.0	28.0	17.7	20.3	14.0	12.2

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

[2] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

[3] HI : ดัชนีเก็บเกี่ยว (Harvest index) ที่อายุ 12 เดือน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 17 สัดส่วนของน้ำหนักแห้งส่วนใต้ดิน และเหนือดิน

ทรีตเมนต์	เดือน			
	1	**2**	**3**	**8**
ไม่ให้ปุ๋ย	0.03	0.05	0.36	0.64[c]
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	0.03	0.06	0.32	0.65[bc]
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*2])	0.03	0.06	0.31	0.71[ab]
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	0.05	0.08	0.41	0.71[ab]
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	0.04	0.07	0.39	0.72[a]
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	0.04	0.08	0.37	0.72[a]
F-test	ns	ns	ns	*
CV (%)	34.0	30.3	14.3	7.5

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

[2] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

7. ระดับความเขียว (SPAD unit) ปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณธาตุอาหารในใบของมันสำปะหลัง

7.1 ผลของวิธีการให้ปุ๋ยต่อระดับความเขียว (SPAD unit) และปริมาณคลอโรฟิลล์

วิธีการให้ปุ๋ยไม่มีผลต่อระดับความเขียว ที่อายุ 54 และ 68 วันหลังปลูก (ตารางที่ 18) สำหรับอายุ 82 วัน และ 115 วัน วิธีการให้ปุ๋ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการไม่ให้ปุ๋ยมีค่าความเขียวของใบน้อยที่สุดส่วนการให้ปุ๋ยทุกวิธีการมีค่าความแตกต่างกันไม่มากนัก โดยที่อายุ 82 วัน วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg ธาตุอาหารเสริม ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร และวิธีการไม่ให้ปุ๋ย มีระดับความเขียวเท่ากับ 54.9 54.3 54.0 53.6 53.4 และ 52.2 ตามลำดับ และความเขียวที่อายุ 115 วัน วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg ธาตุอาหารเสริม ให้ค่าเฉลี่ยความเขียวสูงที่สุด รองลงมาคือ ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน และวิธีการไม่ให้ปุ๋ย มีค่าเฉลี่ยความเขียวเท่ากับ 56.3 56.2 55.7 53.9 53.6 และ 52.9 ตามลำดับ ในช่วง 15-90 วันหลังปลูก เป็นช่วงที่มีการพัฒนาของใบ และเริ่มมีการสะสมอาหารจากใบไปราก โดยเมื่อมันสำปะหลังอายุประมาณ 30 วันหลังปลูก เป็นช่วงที่มีใบจริงที่พร้อมจะเริ่มการสังเคราะห์แสง โดยอิทธิพลของการพัฒนาของใบ และรากระหว่างอายุ 30 วัน จะขึ้นกับ

อาหารจากกิ่งที่ใช้ปลูก (Alves, 2002) และหลังจากอายุ 30 วัน จะเป็นการพัฒนาในส่วนใต้ดินซึ่งจะเห็นว่าในช่วง 82 และ 115 วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเป็นช่วงของการพัฒนาทางด้านใบ และลำต้นมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเขียวมีความสอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบมันสำปะหลังที่อายุ 4 เดือน ในการทดลองครั้งนี้

ตารางที่ 18 ระดับความเขียวของใบมันสำปะหลัง

ทรีตเมนต์	ระดับความเขียว (SPAD unit)			
	54 วัน	**68 วัน**	**82 วัน**	**115 วัน**
ไม่ให้ปุ๋ย	50.3	48.3	52.2[b]	52.9[b]
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	51.1	49.6	53.4[ab]	53.9[ab]
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*2])	49.8	49.6	54.9[a]	53.6[ab]
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	51.1	48.9	54.0[a]	56.2[a]
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	51.0	50.0	54.3[a]	55.7[ab]
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	50.3	48.9	53.6[ab]	56.3[a]
F-test	ns	ns	*	*
CV (%)	1.0	1.2	2.2	3.5

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

[2] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

การวัดความเขียวในใบเป็นวิธีทางอ้อมในการทดลองนี้ จึงได้ทำการสกัดคลอโรฟิลล์ในใบ พบว่าวิธีการให้ปุ๋ยที่ต่างกันต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอที่อายุ 4 เดือน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 19) โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริม และวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน มีแนวโน้มให้ค่าเฉลี่ยคลอโรฟิลล์เอมากที่สุด รองลงมาคือ วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ และวิธีการไม่ให้ปุ๋ย ค่าเฉลี่ยคลอโรฟิลล์เอเท่ากับ 0.60 0.59 0.58 0.57 0.55 และ 0.50 g m^{-2} ตามลำดับ ส่วนวิธีการให้ปุ๋ยต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 19) โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมีให้ค่าเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน Ca Mg และธาตุอาหารเสริม ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ และวิธีการไม่ให้ปุ๋ย มีค่าเฉลี่ย

คลอโรฟิลล์รวมเท่ากับ 0.76 0.75 0.75 0.74 0.72 และ 0.65 g m^{-2} ตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับการเจริญเติบโต และผลผลิต โดยปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์รวมจะมีความสัมพันธ์ต่อผลผลิตมากกว่าคลอโรฟิลล์บี (Lahai, 2003) แต่อย่างไรก็ตามคลอโรฟิลล์บี มีส่วนช่วยคลอโรฟิลล์เอในการดูดกลืนแสง และระดับความเขียวมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน ทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์ และระดับความเขียวแตกต่างกัน และการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์มีธาตุเกี่ยวข้องหลายตัวจะเห็นได้ว่าการให้ปุ๋ยวิธีการต่างๆ จะมีการเพิ่มของคลอโรฟิลล์อย่างเด่นชัด

ตารางที่ 19 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของมันสำปะหลังที่อายุ 4 เดือน

ทรีตเมนต์	คลอโรฟิลล์เอ	คลอโรฟิลล์บี	คลอโรฟิลล์รวม
		(g m^{-2})	
ไม่ให้ปุ๋ย	0.50[b]	0.15	0.65[b]
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	0.57[a]	0.16	0.74[a]
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*2])	0.59[a]	0.16	0.75[a]
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	0.58[a]	0.17	0.76[a]
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	0.55[ab]	0.16	0.72[ab]
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	0.60[a]	0.14	0.75[a]
F-test	**	ns	*
CV (%)	6.1	5.7	5.1

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

[2] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

7.2 ปริมาณธาตุอาหารในใบ

ผลของการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกันต่อปริมาณธาตุอาหารในใบของมันสำปะหลังที่อายุ 4 เดือน พบว่า วิธีการให้ปุ๋ยมีผลต่อการสะสมธาตุ N อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 20) โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือ 5.4% รองลงมาคือวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี คือ 5.2% ทั้งสองวิธีการทำให้ มี N อยู่ในสถานะที่เพียงพอ N เป็นธาตุที่มีความสำคัญอย่างมากในการทำให้เกิดการพัฒนาราก ใบ และการออกดอก ซึ่ง N ช่วยเพิ่มความเข้มข้นของคลอโรพลาสต์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ที่ประสิทธิภาพการใช้แสง ผลผลิต และน้ำหนักสด ใบ ต้น และราก มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด (ตารางที่ 16

และ 22) ในวิธีการที่มีค่า N ในใบมากที่สุด (5.4%) และวิธีการรองลงมา (5.2%) (ตารางที่ 20) ทั้งยังสอดคล้องกับการทดลองของ Uwah et al. (2003) ที่ศึกษา N และ K ที่มีอิทธิพลต่อมันสำปะหลัง พบว่าการให้ N 12.5 กก/ไร่ ให้ค่าเฉลี่ยของ ความสูง จำนวนกิ่ง เส้นผ่านศูนย์กลาง จำนวนหัว น้ำหนักหัวต่อต้น และน้ำหนักสดหัวรวม มากกว่าวิธีการอื่นที่มี N น้อยกว่า

ธาตุ P มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริมให้ค่าเฉลี่ยมากที่สุดคือ 0.34% อย่างไรก็ตามปริมาณธาตุ P ในใบทุกวิธีการอยู่ในสถานะขาดแคลน ยงยุทธ โอสถสภา (2558) รายงานว่า ในใบมันสำปะหลังที่เริ่มแก่มี P ในช่วง 0.30-0.50 อยู่ในสถานะพอเพียง ส่วน Howeler (2002) รายงานว่า P ในใบตำแหน่งที่ 4 และ5 ที่มีระดับความเข้มข้นระหว่าง 0.38-0.50 จะอยู่ในสถานะพอเพียง ในดินทั่วไปมี P ในรูปที่เป็นประโยชน์ค่อนข้างต่ำเนื่องจากอยู่ในรูปของแร่ ในการทดลองนี้สภาพดินค่อนข้างเป็นกรด P จึงอาจเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้น้อยจึงทำให้วิธีการให้ปุ๋ยมีค่า P สูงขึ้นไม่มากนัก ทั้งนี้ Pellet and El-Sharkawy (1993) รายงานว่า การให้ปุ๋ย P ในระดับที่แตกต่างต่อสายพันธุ์ของมันสำปะหลัง พบว่าการให้ปุ๋ย P มีอิทธิพลต่อผลผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับความสมดุลของน้ำหนักแห้ง และความสามารถในการสะสมอาหารของราก

ธาตุ K ในใบมันสำปะหลังที่อายุ 4 เดือน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน + Ca Mg จากโดโลไมด์ มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด แต่อยู่ในสถานะต่ำ (1.3 %) เช่นเดียวกับวิธีการให้ปุ๋ยวิธีต่างๆ โดยวิธีการไม่ให้ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด สอดคล้องกับ จิราวรรณ และคณะ (2555) ที่ศึกษาผลของการใส่แคลเซียม และแมกนีเซียมกับมันสำปะหลังในชุดดินยโสธร พบว่าการใส่ปูนทั้งสองชนิดไม่มีผลต่อความเข้มข้นต่อธาตุอาหารหลักในใบ และมีแนวโน้มแสดงให้เห็นถึงอาการขาด P และ K สำหรับการทดลองนี้ถึงแม้ว่าการให้ปุ๋ยจะมีปริมาณ K ในใบไม่ได้สูงขึ้นมาก แต่ก็ทำให้การเจริญเติบโต และผลผลิตเพิ่มขึ้น โดย K มีหน้าที่สำคัญหลายอย่าง นอกจากจะควบคุมการเปิดปิดของปากใบที่เกี่ยวข้องกับการตรึง CO_2 และรักษาสมดุลในเซลล์ คงสภาพโครงสร้างของคลอโรพลาสต์แล้ว ยังทำหน้าที่ปลุกฤทธิ์เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแป้ง นั่นคือ เอนไซม์ starch synthetase ถ้ามีเอนไซม์นี้ในช่วง 50-100 มิลลิโมลาร์ จะช่วยเร่งปฏิกิริยาในการสร้างแป้ง แต่ถ้ามากเกินไปจะมีผลในเชิงยับยั้ง (ยงยุทธ, 2558)

ธาตุ Ca มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในทุกวิธีการให้ปุ๋ย อยู่ในสถานะพอเพียง โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริมมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด Ca ทำหน้าที่ช่วยลดอัตราการหายใจจึงช่วยชลอการเสื่อมตามอายุของพืชได้ เพิ่มความต้านทานโรค และซ่อมแซมบาดแผล และยังทำหน้าที่เกี่ยวกับการเปิดปิดของปากใบโดยทำงานเกี่ยวข้องกับฮอร์โมน ABA ในพืชส่วนใหญ่จะไม่ค่อยพบการเป็นพิษจาก Ca เนื่องจากมีการขนย้ายออกจาก ไซโทลซอลเมื่อมีมากเกิน (ยงยุทธ, 2558) ไม่ว่าจะมาจากปุ๋ยเคมีหรือโดโลไมด์ สำหรับการทดลองนี้

วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมีทำให้ Ca ในใบสูงขึ้นและมีแนวโน้มเพิ่มผลผลิตด้วยเช่นกัน ส่วน Mg มีผลการทดลองคล้าย Ca คือมีปริมาณ Mg มากที่สุดในวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี (ตารางที่ 20) และอยู่ในสถานะพอเพียงในทุกวิธีการ ซึ่ง Mg มีหน้าที่หลักคือ การสังเคราะห์โปรตีนในคลอโรพลาสต์ ปลุกฤทธิ์เอนไซม์ และการถ่ายโอนพลังงาน ในใบแก่ที่ขาด Mg มักจะสะสมแป้ง และน้ำตาลซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่เป็นโครงสร้าง ทำให้พืชเหล่านี้มีน้ำหนักแห้งสูง (ยงยุทธ, 2543) แต่วิธีการให้ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกรมีแนวโน้มน้ำหนักแห้ง ใกล้เคียงกับวิธีการให้ Ca Mg ในบางช่วงอายุ แต่ในวิธีการไม่ให้ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าทุกกรรมวิธี

สถานะ Fe ไม่มีความแตกต่างทางสถิติแต่มีแนวโน้มว่าใบมันสำปะหลังในวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี และวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริมมีปริมาณ Fe มากที่สุด และอยู่ในสถานะเพียงพอ วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริม มีการฉีดพ่นธาตุ Fe ที่ใบมันสำปะหลังจนอายุครบ 4 เดือน จึงทำให้ไม่อยู่ในสถานะขาดแคลน Fe ธาตุ Mn มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และอยู่ในสถานะพอเพียงทุกวิธีการให้ปุ๋ย ยกเว้นวิธีการให้ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร และวิธีการไม่ให้ปุ๋ย จากการศึกษาวิธีการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกันทำให้ Zn มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมี Zn อยู่ในระดับสูงในทุกวิธีการให้ปุ๋ย ยกเว้นวิธีการให้ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร และวิธีการไม่ให้ปุ๋ยซึ่งทั้งสองวิธีการมี Zn อยู่ในระดับเพียงพอ จากการทดลองครั้งนี้ในวิธีการฉีดพ่นธาตุอาหารเสริมไม่ได้ทำให้ผลผลิตสูงสุด แต่มีแนวโน้มผลทำให้ดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งรวม และอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุด โดย Howeler et al. (1988) รายงานว่า การให้ Zn 0.39 กก/ไร่ ($ZnSO_4.H_2O$) สามารถเพิ่มผลผลิต 12.8% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการไม่ให้ Zn นอกจากนี้ยังเพิ่มเปอร์เซ็นต์แป้ง และลดปริมาณไซยาไน และ Cu ที่มีส่วนในการสร้างคลอโรฟิลล์มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดในวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg ธาตุอาหารเสริม เช่นเดียวกันกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอในใบที่พบว่ามีค่าเฉลี่ยมากที่สุดในวิธีการดังกล่าวเช่นกัน (ตารางที่ 21) ในวิธีการให้ปุ๋ยวิธีการอื่น Cu ก็อยู่ในสถานะพอเพียง ยกเว้นวิธีการไม่ให้ปุ๋ย

แม้ว่าการวัดคลอโรฟิลล์ด้วยเครื่อง SPAD reading การสกัดปริมาณคลอโรฟิลล์ และการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ N ในใบมันสำปะหลังที่อายุ 4 เดือน จะไม่มีความสัมพันธ์กันแต่วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี และวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ที่ให้ค่าเฉลี่ยของทั้งสามมากที่สุดมีแนวโน้มให้ผลผลิตมากที่สุด สอดคล้องกับ Lahai (2003) รายงานว่า ผลผลิตจะเพิ่มมากขึ้นในวิธีการที่มีค่า N และคลอโรฟิลล์เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg ธาตุอาหารเสริมให้ค่าเฉลี่ยคลอโรฟิลล์เอมากที่สุดอาจมีอิทธิพลจากธาตุอาหารเสริมที่ฉีดพ่น ซึ่งทำให้เปอร์เซ็นแป้ง และจำนวนหัวสูงกว่าวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์

ตารางที่ 20 ปริมาณธาตุอาหารในใบของมันสำปะหลังที่อายุ 4 เดือน

ทรีตเมนต์	N	P	K	Ca	Mg
			(%)		
ไม่ให้ปุ๋ย	4.85[b]	0.29[b]	1.1[b]	0.57[c]	0.32
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	5.12[ab]	0.32[a]	1.1[ab]	0.67[abc]	0.35
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*2])	5.15[ab]	0.32[a]	1.2[ab]	0.62[bc]	0.37
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	5.22[a]	0.33[a]	1.1[ab]	0.73[ab]	0.40
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	5.45[a]	0.32[a]	1.3[a]	0.78[a]	0.39
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	5.12[ab]	0.34[a]	1.2[ab]	0.77[a]	0.35
ค่าที่พอเพียง	5.1-5.8	0.38-0.50	1.42-1.88	0.50-0.72	0.24-0.29
F-test	*	*	**	*	ns
CV (%)	5.0	7.8	9.2	14.9	12.1

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

[2] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

ตารางที่ 21 ปริมาณธาตุอาหารในใบของมันสำปะหลังที่อายุ 4 เดือน (ต่อ)

ทรีตเมนต์	Fe	Mn	Zn	Cu
		ppm		
ไม่ให้ปุ๋ย	97	47.1[c]	46.0[b]	5.6[b]
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	119	56.7[ab]	55.8[ab]	5.9[b]
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*2])	121	56.0[bc]	68.4[a]	7.0[b]
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	126	63.5[ab]	71.2[a]	7.1[b]
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	117	66.4[ab]	58.0[ab]	7.6[b]
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	129	70.8[a]	71.6[a]	11.0[a]
ค่าที่พอเพียง	120-140	50-150	35-57	6-10
F-test	ns	**	*	**
CV (%)	18.2	17.1	22.9	30.9

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

[2] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

8. ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย และประสิทธิภาพการใช้แสงของมันสำปะหลัง

จากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย N P และ K พบว่า วิธีการให้ปุ๋ยต่างๆ ทำให้ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย N แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 22) โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริม ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน และวิธีการให้ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร มีค่าเท่ากับ 412 398 378 372 และ 317 กก.ผลผลิตหัวสด/กก.ปุ๋ย ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย P แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมา คือ วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริม ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน และปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร มีค่าเท่ากับ 824 797 756 744 และ 317 กก.ผลผลิตหัวสด/กก.ปุ๋ย ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย K มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมี มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือ วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริม ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน และวิธีการให้ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร มีค่าเท่ากับ 412 398 378 372 และ 317 กก.ผลผลิตหัวสด/กก.ปุ๋ย ตามลำดับ

การให้ปุ๋ยวิธีต่างๆ มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการใช้แสงของมันสำปะหลังที่อายุระหว่าง 1-2, 2-3, 3-8 และ 8-12 เดือนหลังปลูก แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 23) ซึ่งมันสำปะหลังในเดือนที่ 1-2 และ 2-3 ในวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริม มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการใช้แสงมากที่สุด สำหรับเดือนที่ 3-8 และ 8-12 วิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ซึ่งในช่วงเดือนที่ 1-2 และ 2-3 ในวิธีการดังกล่าวจะเป็นวิธีการที่มีการฉีดพ่นธาตุอาหารเสริมทางใบจนถึงอายุ 4 เดือน จึงทำให้อัตราการเจริญเติบโตมากกว่าวิธีการให้ปุ๋ยวิธีการต่างๆ หลังจากนั้นในช่วงเดือนที่ 3-8 และ 8-12 พบว่าวิธีการที่ให้ Ca Mg จากโดโลไมด์กลับมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการใช้แสงมากที่สุด อาจเป็นผลมาจากวัสดุปรับปรุงดินค่อยๆ ปรับระดับ pH ในดินทำให้ธาตุอาหารเสริมในดินเป็นประโยชน์มากขึ้น และในวัสดุปรับปรุงดินยังมี Ca และ Mg ที่ค่อยๆปลดปล่อยออกมาจากดิน ขณะที่ดินเป็นดินทรายการดูดยึดธาตุอาหารน้อย ฉะนั้นการให้ Ca และ Mg โดยวิธีนี้จึงมีประสิทธิภาพสูงในดินทราย ซึ่งอิทธิพลของการให้ปุ๋ยต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการให้แสงบอกถึงความสามารถของมันสำปะหลังเมื่อนำแสงเข้าไปใช้ในกระบวนการสร้างอาหาร

ตารางที่ 22 ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยของมันสำปะหลัง (Fertilizer use efficiency; FUE)

ทรีตเมนต์	FUE (kg. Y/kg. F)		
	N	P_2O	K_2O
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	317[b]	317[b]	317[b]
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*2])	372[ab]	744[a]	372[ab]
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	412[a]	824[a]	412[a]
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	398[a]	797[a]	398[a]
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	378[ab]	756[a]	378[ab]
F-test	*	**	*
CV (%)	12.6	27.2	12.6

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

[2] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

ตารางที่ 23 ประสิทธิภาพการใช้แสงของมันสำปะหลัง (Radiation use efficiency; RUE)

ทรีตเมนต์	RUE ($g.MJ^{-1}$)			
	1-2 เดือน	2-3 เดือน	3-8 เดือน	8-12 เดือน
ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร	0.66[bc]	5.8[b]	6.5[d]	4.4[b]
ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (RF[*2])	0.86[ab]	6.0[a]	7.3[ab]	4.5[ab]
RF + Ca Mg จากปุ๋ยเคมี	0.81[abc]	7.0[a]	7.1[bc]	5.8[ab]
RF + Ca Mg จากโดโลไมด์	0.81[abc]	6.9[a]	7.5[a]	6.7[a]
RF + Ca Mg และธาตุอาหารเสริม	1.0[a]	7.3[a]	6.9[cd]	6.6[a]
F-test	*	**	*	*
CV (%)	28.7	12.7	12.9	29.0

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

[2] RF: ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (Recommended Fertilizer)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2 การทดลองที่ 2.1 การวินิจฉัยปริมาณ K ใบมันสำปะหลังโดยวิธีการเรืองรังสีเอ็กซ์ด้วยแสงซินโครตรอน

4.2.1. ปริมาณ K ในใบ

จากการวิเคราะห์ปริมาณ K ในใบมันสำปะหลัง โดยเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์ทางเคมี และเทคนิค XRF ผลการทดลองพบว่า ทั้งสองวิธีการมีความสอดคล้องกัน โดยการวิเคราะห์ทางเคมีของ K ในใบทรีตเมนต์ควบคุม (T1) และทรีตเมนต์ใส่ปุ๋ย (T2) มีปริมาณ K ในใบ 1.2 และ 1.5 % ตามลำดับ (ตารางที่ 24) T1 มีปริมาณธาตุ K อยู่ในระดับขาดแคลน ซึ่งอยู่ระหว่าง 0.85-1.26% และ T2 มีปริมาณ K อยู่ในระดับเพียงพอ คือ อยู่ในช่วง 1.42-1.88 % ส่วนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Micro-XRF มีปริมาณ total count ของ fluorescent X-rays ของธาตุ K ใน T1 และ T2 คือ 15 357 120 และ 22 549 160 ตามลำดับ ซึ่ง total count ของ fluorescent X-rays จะสัมพันธ์กับปริมาณธาตุโดยยิ่งจำนวน count มาก ปริมาณธาตุในตัวอย่างที่ศึกษาก็จะมีค่ามากตาม และจากการคำนวณเป็นเลขฐาน 10 เท่ากับ 7.18 และ 7.35 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าทรีตเมนต์ควบคุม (T1) มีปริมาณ total count น้อยกว่า T2 ซึ่งเป็นทรีตเมนต์ที่มีการให้ปุ๋ย K

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF ในการทดลองครั้งนี้ไม่สามารถบอกเป็นปริมาณของ K ได้ เนื่องจากไม่มี standard ของ K เพื่อเปรียบเทียบ แต่ Necemer et al. (2008) ได้รายงานว่าผลการวิเคราะห์ K โดยเทคนิค XRF และเทคนิค AAS ในใบมะเขือเทศซึ่งมีค่า standard ใช้ในการเปรียบเทียบ พบว่าเทคนิค XRF มีค่า K เท่ากับ 27,700±2700 $\mu g\ g^{-1}$ และเทคนิค AAS เท่ากับ 26,300±700 $\mu g\ g^{-1}$ เช่นเดียวกับ Tezotto et al. (2013) ทำการทดลองใช้ energy dispersive X-ray fluprescence spectrometry (EDXRF) ในใบมะเขือเทศ และตัวอย่างอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 27,000±50 $\mu g\ g^{-1}$ และ 22,2000±40 $\mu g\ g^{-1}$ ในการวิเคราะห์ K ด้วยเทคนิค XRF ครั้งนี้ไม่มี standard จึงเปรียบเทียบด้วยค่า Ratio ของ K ระหว่างเทคนิค XRF และวิธีการทางเคมี (ตารางที่ 24) ในวิธีการไม่ใส่ปุ๋ย และใส่ปุ๋ย คือ 0.16 และ 0.20 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง 2 วิธีการมีแนวโน้มเป็นแบบเส้นตรง

ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของ K ในใบมันสำปะหลังหลังการทดลองโดยเทคนิค XRF และวิธีทางเคมี[1]

ทรีตเมนต์	ค่าวิเคราะห์ (%)	แปลผลทางเคมี	Count sum (log10)	Lenth min-max of count (log10)	RatioXRF[2]
ไม่ใส่ปุ๋ย	1.2	ขาด	7.18±4.5	4.90-5.26	0.16
ใส่ปุ๋ย	1.5	เพียงพอ	7.35±4.7	5.04-5.50	0.20

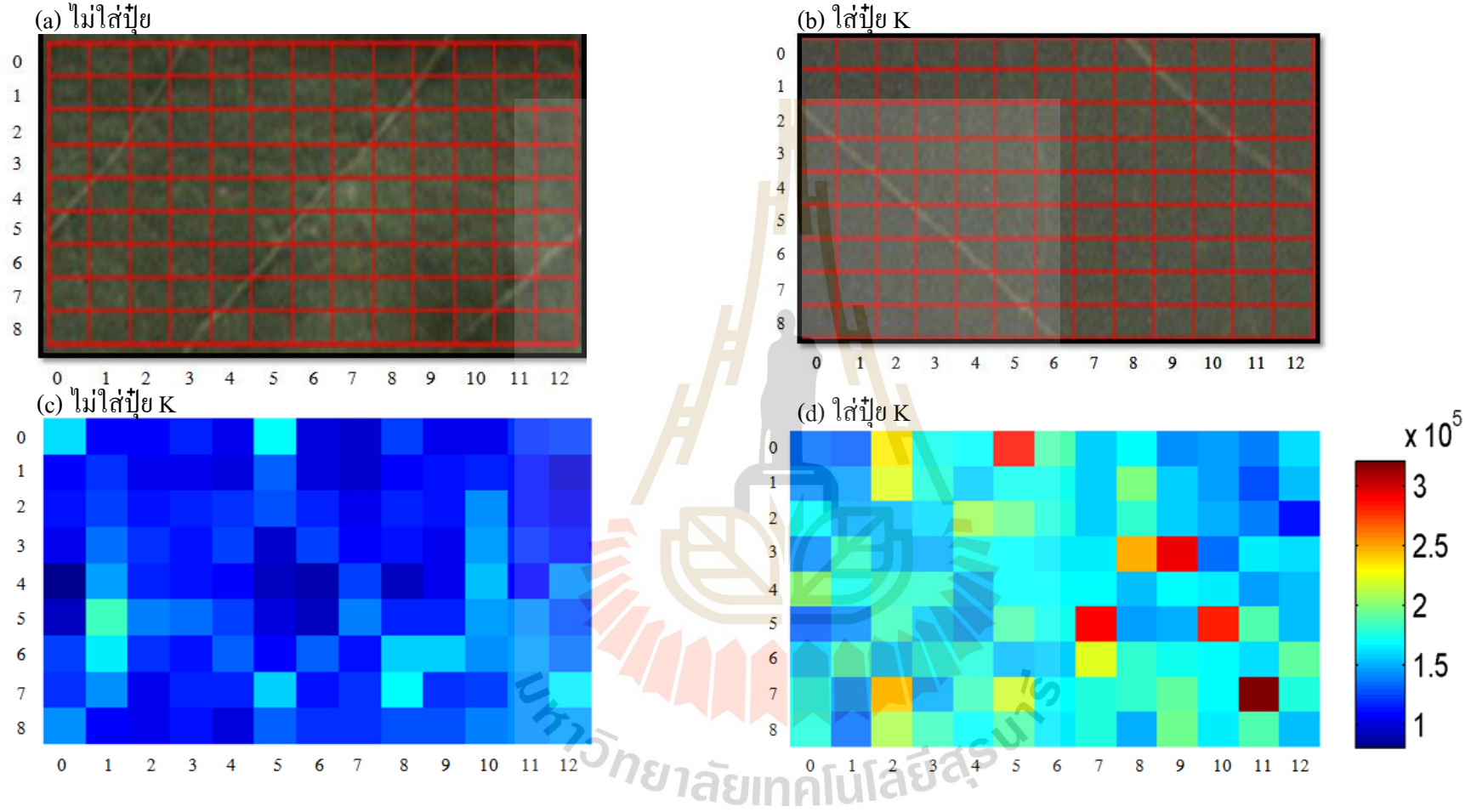
[1]K วัดโดยใช้เครื่อง Flam photometer

[2]ค่า count โดยเทคนิค XRF; K คือ ไม่ใส่ปุ๋ย/ใส่ปุ๋ย : K ใส่ปุ๋ย/ไม่ใส่ปุ๋ย

4.2.2 การกระจายตัวของ K

จากการวิเคราะห์ K โดยใช้เทคนิค XRF พบว่าทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยมีจำนวนโปรตรอนที่ถูกปลดปล่อยออกมามากกว่าทรีตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย K และพบว่าการกระจายตัวของ K อยู่ระหว่างเส้นใบที่มีแถบสีแดง โดยจุดที่พบมากที่สุดคือ 0(5), 5(7), 3(9), 5(10) และ 7(11) ดังรูปที่ 3 d แต่อย่างไรก็ตามการกระจายตัวของ K จากการใช้เทคนิค XRF ไม่เห็นการกระจายตัวที่ชัดเจน เนื่องจากใช้ระยะห่างในการสแกนหยาบ แต่เมื่อทำการทดลองในใบที่แสดงอาการขาด K อย่างรุนแรง และใช้ระยะสแกนที่ละเอียดขึ้นทำให้พบการกระจายตัวของ K อยู่บริเวณขอบใบมากที่สุด ดังเห็นเป็นสีเขียว และสีฟ้าอ่อนดังรูปที่ 4 b เมื่อเทียบกับใบจริงดังรูปที่ 4 a แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ระหว่างใบที่แสดงอาการขาดอย่างรุนแรงกับใบที่ใส่ปุ๋ย K และ ไม่ใส่ปุ๋ย K เนื่องจากระยะเวลาในการวิเคราะห์ต่างกัน

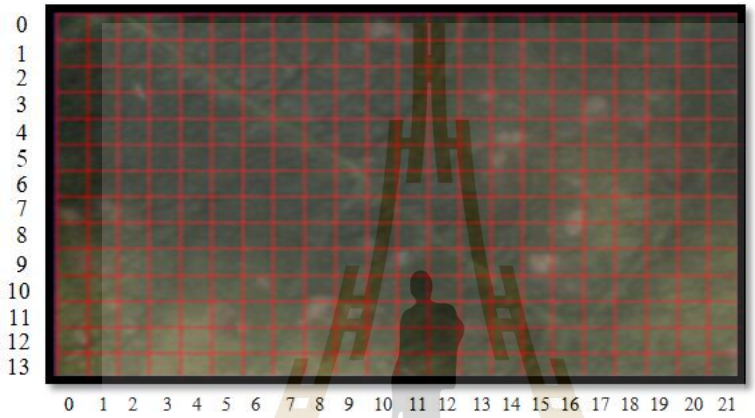
Xin et al. (2009) ได้ทำการทดลองโดยตรวจสอบการสะสมของธาตุอาหารของส่วนต่างๆ ของผักโขมโดยใช้เทคนิค XRF พบว่าการสะสมธาตุอาหารในรากมีค่าต่ำที่สุด สำหรับในลำต้นส่วนล่างจะพบ K Ca Fe Zn และ Ni มากกว่าลำต้นส่วนบน แต่ลำต้นส่วนบนจะพบ Co และ Cu มากกว่าลำต้นส่วนล่าง จากการตรวจวัดจะพบ Mn ในต้นต่ำที่สุด ส่วนในใบ Co และ Zn จะพบการสะสมโดยรอบเส้นใบ ส่วน Mn จะพบที่ปลายใบ และจะสูงกว่าจุดอื่น แต่ K Ca Ni และ Cu สูงกว่าในส่วนที่อยู่ใกล้เส้นกลางใบ จากการทดลองดังกล่าวและการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าเทคนิค XRF สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบการกระจายตัวของธาตุอาหารพืชในส่วนต่างๆ หรือตำแหน่งต่างๆ บนใบพืชได้ดี



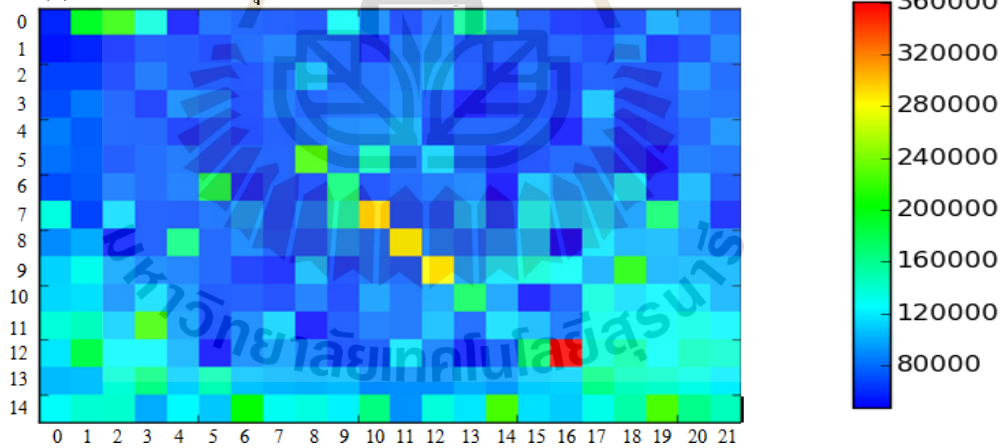
รูปที่ 3 พื้นที่ที่ใช้ในการสแกนโดยเทคนิค XRF รูป a. คือ ทรีตเมนต์ไม่มีการใส่ปุ๋ย K รูป b. ทรีตเมนต์ใส่ปุ๋ย K และการกระจายของ K รูป c. การกระจายของทรีตเมนต์ไม่มีการใส่ปุ๋ย K รูป d. การกระจายทรีตเมนต์ใส่ปุ๋ย K

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(a) ใบขาด K อย่างรุนแรง



(b) ใบขาด K อย่างรุนแรง



รูปที่ 4 รูป a. พื้นที่ที่ใช้ในการสแกนในใบที่ในใบที่แสดงอาการขาดอย่างรุนแรง และการกระจายของ K ในใบที่แสดงอาการขาด K อย่างรุนแรง รูป b.

4.3 การทดลองที่ 2.2 การวินิจฉัยปริมาณ Fe ใบมันสำปะหลังโดยวิธีการเรืองรังสีเอ็กซ ด้วยแสงซินโครตรอน

4.3.1 ปริมาณ Fe ในใบ

จากการวิเคราะห์ปริมาณ Fe ในใบมันสำปะหลัง โดยเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์ทางเคมี ด้วยเครื่อง AAS และวิเคราะห์ Fe ด้วยเทคนิค XRF ผลการทดลองพบว่าการวิเคราะห์โดยวิธีทางเคมีในทรีตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ย แต่ไม่ได้ฉีดธาตุอาหารเสริม (T2) และทรีตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ย และฉีดธาตุอาหารเสริม (T3) มีปริมาณ Fe คือ 108 และ 215 mg kg^{-1} ตามลำดับ (ตารางที่ 25) ซึ่งปริมาณ Fe ในใบของ T2 อยู่ในระดับขาดแคลน ส่วน T3 อยู่ในระดับเพียงพอ (ตารางที่ 25) ซึ่งมีความสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Micro-XRF มีปริมาณ total count ของ fluorescent X-rayของธาตุ Fe ใน T2 และ T3 คือ 718,067 และ 765,399 ตามลำดับ ซึ่ง total count ของ fluorescent X-rays จะสัมพันธ์กับปริมาณธาตุโดยยิ่งจำนวน count มาก ปริมาณธาตุในตัวอย่างที่ศึกษาก็จะมีค่ามากตาม และจากการเปรียบเทียบดังกล่าวทำให้ทราบเบื้องต้นว่าทั้งการวิเคราะห์ทางเคมี และการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF มีความสอดคล้องกัน เมื่อคำนวณเป็นเลขฐาน 10 เท่ากับ 5.85 และ 5.88 ตามลำดับ (ตารางที่ 25) Necemer et al. (2008) รายงานผลการวิเคราะห์ทาง XRF และ AAS ในใบมะเขือเทศพบว่า เทคนิค XRF มี Fe เท่ากับ 332±35 μg g^{-1} และเทคนิค ASS เท่ากับ 379±11 μg g^{-1} มีความสอดคล้องกับ Tezotto et al. (2013) โดยใช้เทคนิค EDXRF กับใบมะเขือเทศ พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 368±7 μg g^{-1} และใช้ NIST 1573a เป็นตัวอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 318±7 μg g^{-1} สำหรับการวิเคราะห์ Fe โดยใช้เทคนิค XRF เปรียบเทียบกับเทคนิค AAS ในครั้งนี้ไม่มีตัวอ้างอิง จึงใช้ค่า Ratio ของ Fe (ตารางที่ 25) ในวิธีการไม่ฉีดพ่นธาตุอาหารเสริม และฉีดพ่นธาตุอาหารเสริม คือ 18.36 และ 36.75 ตามลำดับ สำหรับเปรียบเทียบซึ่งพบว่าเมื่อมีการฉีดพ่นธาตุอาหารเสริม จะทำให้ค่า Ratio สูงกว่าการไม่ฉีดพ่น ค่าดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างมากแสดงให้เห็นว่าทั้ง 2 เทคนิค ไม่มีความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรงในการตรวจวัดค่า Fe

4.3.2 การกระจายตัวของ Fe

ความสัมพันธ์ของตำแหน่งบนใบของมันสำปะหลังกับการกระจายตัวของ Fe พบว่าทรีตเมนต์ที่มีการฉีดพ่น Fe มีจำนวนโปรตรอนที่ถูกปลดปล่อยออกมามากกว่าวิธีการไม่ฉีดพ่น Fe โดยในทรีตเมนต์ไม่ฉีดพ่น Fe (T2) รูปที่ 5 a และรูปที่ 5 c เปรียบเทียบตำแหน่งบนใบกับการกระจายตัวของ Fe พบว่าความเข้มข้นของ Fe มีความสัมพันธ์กับเส้นใบ โดยจุดที่มีสีแดงเป็นจุดที่พบโปรตรอนมากที่สุด คือ 3(2), 7(5), 7(9), 8(5) และ 10(8) ดังรูปที่ 5 c และทรีตเมนต์ที่มีการฉีดพ่น Fe (T3) โดยใช้ รูปที่ 5 b และรูปที่ 5 d แต่เมื่อทำการทดลองในใบที่แสดงอาการขาด Fe อย่างรุนแรง และใช้ระยะสแกนที่ละเอียดขึ้นทำให้พบการกระจายตัวของ Fe อยู่บริเวณโดยรอบจุดที่แสดงอาการ

ใบเหลือง เมื่อเทียบระหว่างใบจริงดังรูปที่ 6 a และการกระจายของ Fe รูปที่ 6 b ที่มีสีเขียว และสีฟ้าเป็นจุดที่พบมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ระหว่างใบที่แสดงอาการขาดอย่างรุนแรงกับใบที่ฉีดพ่น Fe และไม่ฉีดพ่น Fe เนื่องจากทำการวิเคราะห์ในช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกันมาก Kyriacou et al. (2014) ได้ทำการวิเคราะห์ธาตุอาหารเสริมในเมล็ดข้าวที่กระเทาะเปลือกโดยใช้เทคนิค XRF โดยมีวัตถุประสงค์ในการเพิ่ม Fe ด้านโภชนาการเมล็ดข้าวที่ปรับปรุงสายพันธุ์ให้มี Fe เพิ่มขึ้น พบว่า Mn จะอยู่ด้านนอกสุดติดกับเปลือกข้าว ถัดมา คือ ธาตุ Fe และพบ Zn ในเมล็ดด้านในสุด แต่ยังไม่เคยมีการทดลองการกระจายตัวของ Fe ในใบพืชมาก่อน สำหรับการทดลองในครั้งนี้ในใบมันสำปะหลังที่แสดงอาการขาด K และ Fe อย่างรุนแรงทำให้ทราบเบื้องต้นว่าสามารถใช้เทคนิค XRF ในการตรวจวัดการกระจายและสถานะของ K และ Fe ได้ แต่ควรมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อให้ผลที่แม่นยำขึ้น

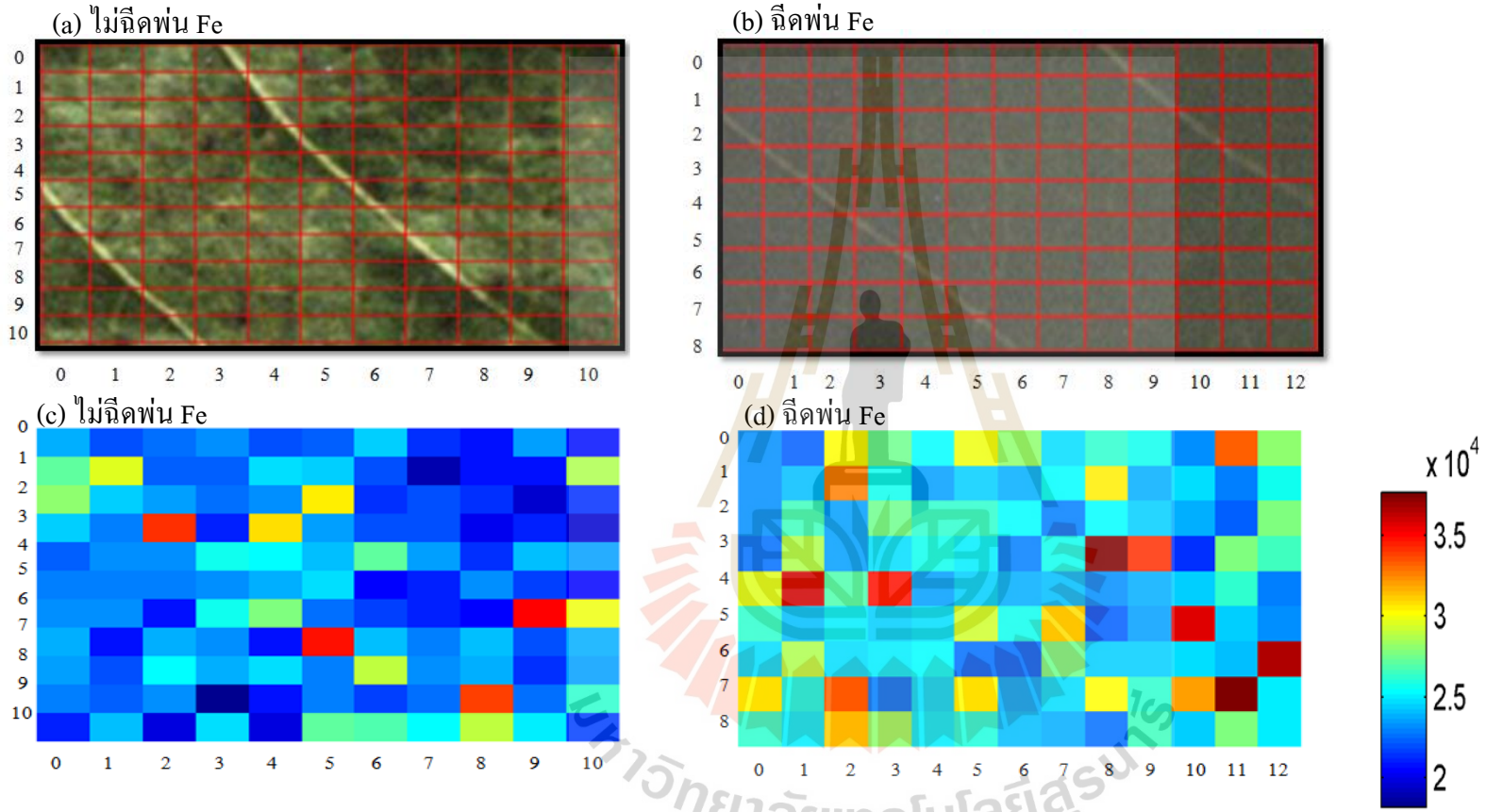
ตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์ Fe ในใบมันสำปะหลัง หลังการทดลองโดยเทคนิค XRF และวิธีทางเคมี[1]

ทรีตเมนต์	ค่าวิเคราะห์ (ppm)	แปลผลทางเคมี	Count sum (log10)	Lenth min-max of count (log10)	RatioXRF[2]
ใส่ปุ๋ย+ไม่ฉีดพ่น Fe	108	ขาด	5.85±3.4	4.26-4.54	18.36
ใส่ปุ๋ย+ฉีดพ่น Fe	215	เพียงพอ	5.88±3.5	4.33-4.57	36.75

[1] Fe วัดโดยใช้เครื่อง AAS

[2]ค่า count โดยเทคนิค XRF; Fe คือ ไม่ฉีดพ่น/ฉีดพ่น : F ฉีดพ่น/ไม่ฉีดพ่น

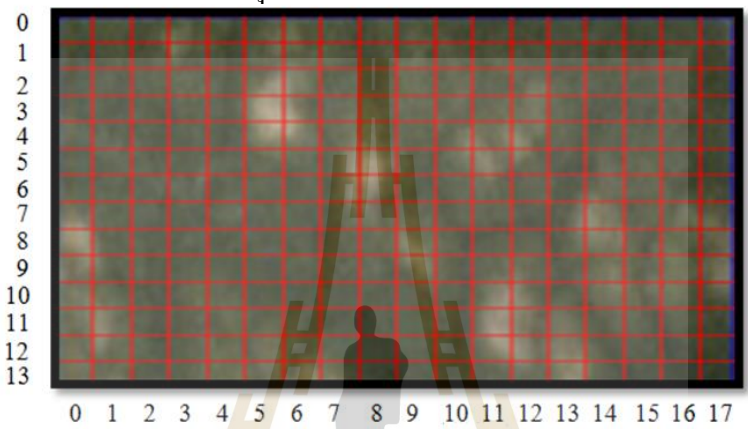
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



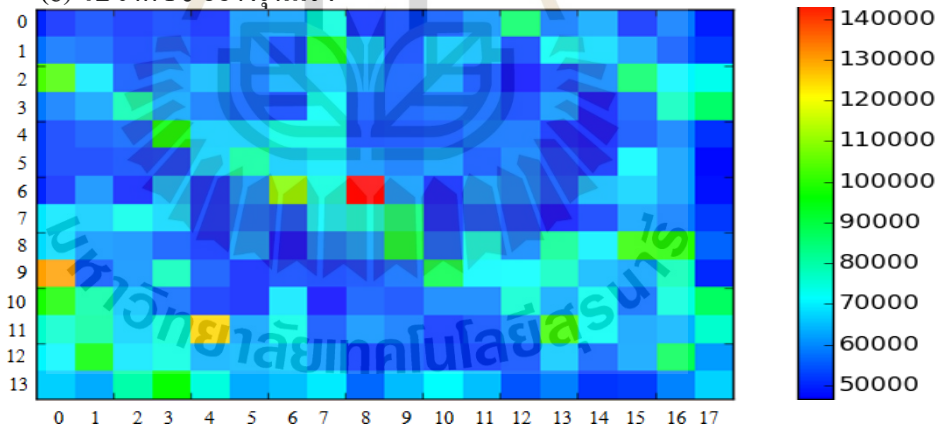
รูปที่ 5 พื้นที่ที่ใช้ในการสแกนโดยเทคนิค XRF รูป a. คือ ทรีตเมนต์ไม่มีการฉีดพ่น Fe รูป b. ทรีตเมนต์ที่มีการฉีดพ่น Fe และการกระจายของ Fe รูป c. การกระจายของทรีตเมนต์ที่ไม่มีการฉีดพ่น Fe รูป d. การกระจายทรีตเมนต์ที่มีการฉีดพ่น Fe

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(a) ใบขาด Fe อย่างรุนแรง



(b) ใบขาด Fe อย่างรุนแรง



รูปที่ 6 รูป a. พื้นที่ที่ใช้ในการสแกนโดยเทคนิค XRF รูป b. การกระจายของ Fe ในใบที่แสดงอาการขาด Fe อย่างรุนแรง

บทที่ 5
บทสรุป

จากการศึกษาอิทธิพลของ Ca Mg และธาตุอาหารเสริมต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลัง และการวินิจฉัยปริมาณ K และ Fe ในใบมันสำปะหลังโดยวิธีการเรืองรังสีเอ็กซ์ด้วยแสงซินโครตรอนสามารถสรุปได้ดังนี้

1) วิธีการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลให้การเจริญเติบโตมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นค่าดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้ง อัตราการการเจริญเติบโต ระดับความเขียว และปริมาณคลอโรฟิลล์ที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธีการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg และธาตุอาหารเสริมมีแนวโน้มค่าเฉลี่ยมากกว่าวิธีการอื่น

2) การให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน เมื่อเทียบกับวิธีการอื่น เนื่องจากส่งผลให้คุณสมบัติทางเคมีของดินดีที่สุด แต่ต้องใช้ระยะเวลานานในการปรับปรุง และการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยสูงที่สุด และการให้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน +Ca Mg จากโดโลไมด์ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้แสงของพืชมีค่าสูงที่สุด

3) วิธีการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน ทำให้มันสำปะหลัง มีการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตที่สูงกว่าการไม่ให้ปุ๋ย แต่ไม่ส่งผลให้น้ำหนักสดใบ ต้น จำนวนหัว และเปอร์เซ็นต์แป้งมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ

4) การวิเคราะห์ปริมาณ K ในใบมันสำปะหลังโดยเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์ทางเคมีกับเทคนิค XRF พบว่าผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีมีความสอดคล้องกัน และมีแนวโน้มที่สามารถใช้เทคนิค XRF เพื่อวิเคราะห์ธาตุ K ในใบมันสำปะหลังได้ ส่วนการศึกษาการกระจายตัวของ K ในใบมันสำปะหลังโดยใช้เทคนิค XRF พบว่าปริมาณ K มีความสัมพันธ์กับเส้นใบโดยมีความเข้มข้นมากระหว่างเส้นใบในใบที่เริ่มมีการขาด และเมื่อทำการศึกษาในใบที่แสดงอาการขาด K อย่างรุนแรง พบว่ามีแนวโน้มการสะสม K มากที่สุดบริเวณขอบใบ

5) การวิเคราะห์ปริมาณ Fe โดยเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์ทางเคมีกับเทคนิค XRF พบว่าผลการวิเคราะห์ทั้ง 2 เทคนิค มีความสอดคล้องกัน และมีแนวโน้มที่สามารถใช้เทคนิค XRF เพื่อวิเคราะห์ธาตุ Fe ในใบมันสำปะหลังได้ ส่วนการศึกษาการกระจายตัวของ Fe โดยเทคนิค XRF พบว่าปริมาณ Fe มีความสัมพันธ์กับเส้นใบ ในใบที่เริ่มมีการขาด Fe และเมื่อทำการศึกษาในใบที่

แสดงอาการขาด Fe อย่างรุนแรง พบว่ามีแนวโน้มการสะสม Fe มากที่สุดบริเวณโดยรอบจุดที่แสดงอาการใบเหลือง

รายการอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. (2548). ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน [ออน-ไลน์]. ได้จาก. http://at.doa.go.th/cleancass/fertilizer.htm.

โครงการจัดตั้งเครือข่ายห้องปฏิบัติการการวิเคราะห์ดิน และพืช. (2546). **คู่มือวิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ดิน และพืช**.

จีรวรรณ พรหมมา สมชัย อนุสนธิ์พร ศุภิฌา ธนะจิตต์ เอิบ เขียวรื่นรมณ์ และปรีชา เพชรประไพ. (2555). ผลของชนิดและอัตราของปูนต่อมันสำปะหลังที่ปลูกลนดินยโสธร. **แก่นเกษตร**, 40 (1), 19-26.

เฉลิมพล แซมเพชร. (2542). **สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่**. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 276 หน้า.

ธนากร คุ้มตรีทอง ชัยสิทธิ์ ทองจู่ และศุภชัย อำคา. (2554). การจัดการปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินเพื่อยกระดับผลผลิตมันสำปะหลังที่ปลูกต้นฤดูฝนในชุดดินยางตลาด. ใน **การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนครั้งที่ 7**. (หน้า 65-75). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. (2535). **หลักการ และเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**. กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์. หน้า 424-492.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2543). **ธาตุอาหารพืช**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ. 424 หน้า.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2549). **การให้ปุ๋ยทางใบ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2558). **ธาตุอาหารพืช.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 420 หน้า.

วัฒนะ วัฒนานนท์ เสาวรี ตังสกุล ปรีชา เพชรประไพ และ Howeler, R. H. (2547). อิทธิพลปุ๋ยธาตุอาหารเสริมที่มีต่อมันสำปะหลัง 2 พันธุ์. ใน **การประชุมวิชาการเกษตรครั้งที่ 42**. (หน้า 24-38). กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิรินทรา ตะสาริกา สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม ศุภิฌา ธนะจิตต์ เอิบ เขียวรื่นรมณ์ และปรีชา เพชรประไพ. (2554). อิทธิพลของปุ๋ยมูลไก่แกลบกับปุ๋ยสังกะสี และเหล็กที่ให้ทางใบต่อมันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินยโสธรที่เสื่อมโทรม. **แก่นเกษตร 39**: 105-116. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์วิจัยมันสำปะหลัง. (2560). **พันธุ์มันสำปะหหลัง** [ออน-ไลน์]. ได้จาก. http://web.sut.ac.th/cassava/UserFiles/File/plant.pdf.

สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์กรมหาชน). (2557). สถานีทดลอง μ-XRF [ออน-ไลน์]. ได้จาก. http://www.slri.or.th/th/index.php?option=com_content&view=article&id=22%3A2010-11-02-00-11-36&catid=50%3A2010-11-02-00-08-36&Itemid=109.

สำนักงานคณะกรรมการกำกับการซื้อขายสินค้าเกษตรล่วงหน้า. (2554). **รายงานผลการศึกษาสินค้าเกษตร ประเภทมันสำปะหลัง**.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559). **สถิติการเกษตรของประเทสไทยปี 2559** [ออน-ไลน์]. ได้จาก. http://www.oae.go.th/download/download_journal/2560/yearbook59.pdf.

โยธิน หินทอง และปรเมศ บรรเทิง. (2555). อัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังในวันปลูกที่แตกต่างกัน. แก่นเกษตร (ฉบับพิเศษ) 40:394-398 2555. อัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังในวันปลูกที่แตกต่างกัน. **การประชุมวิชาการเกษตร ประจำปี 2555.**

อุทัยวรรณ คันโท. (2553). ผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นแหล่งธาตุอาหารทางใบและทางดินแก่มันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Alves, A. A. C. (2002). Cassava botany and physiology. **Cassava: Biology, production and utilization**, 67-89.

Anikwe, M. A. N., Eze, J.C. and Ibudialo, A.N. (2016). "Influence of lime and gypsum application on soil properties and yield of cassava (Manihot esculenta Crantz.) in a degraded Ultisol in Agbani, Enugu Southeastern Nigeria. " **Soil and Tillage Research 158**: 32-38.

Black, C.A. (1965). Method of soil analysis In: the series **Agronomy American Society of Agronomy Inc**, Medison, Wisconsin, USA.

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

Cock, J. H. (1983). "**Potential Productivity of Field Crops Under Different environments** "Cassava"." 341-357.

El-Sharkawy, M. A. (2003). "Cassava biology and physiology." **Plant Molecular Biology 53**(5): 621-641.

Fageria, N. K., Baligar, V.C. and Jones, C.A. (2010). **Growth and Mineral Nutrition of Field Crops, Third Edition**, CRC Press.

Hartt, C.E. (1970). "Effect of Potassium Deficiency upon Translocation of (14) C in Detached Blades of Sugarcane." **Plant Physiology 45**(2): 183-187.

Howeler, R. H. and Kawano, K. (1988). Cassava Breeding and Agronomy Research in Asia: **Proceedings of a Regional Workshop Held in Rayong**, Thailand, Oct. 26-28, 1987, El Centro.

Howeler, R.H. (2002). Cassava mineral nutrition and fertilization. **Cassava: Biology, production and utilization:** 115-147.

Jones, J.B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. **CRC Press LLC**, Boca Raton, Florida.

Kyriacou, B., Moore, K.L., Paterson, D., de Jonge, M.D., Howard, D.L., Stangoulis, J. and Johnson, A.A. (2014). Localization of iron in rice grain using synchrotron X-ray fluorescence microscopy and high resolution secondary ion mass spectrometry. **Journal of Cereal Science**, 59(2), 173-180.

Lahai, M.T., Ekanayake, I.J and George, J.B. (2003). "Leaf chlorophyll content and tuberous root yield of cassava in inland valley." **African Crop Science Journal** 11(2): 107-117.

Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, manganese and copper. **Soil Sci Soc. Amer.J**. 42: 421-428.

Molina, J.L. and El-Sharkawy, M.A. (1995). "Increasing crop productivity in cassava by fertilizing production of planting material. " **Field Crops Research** 44(2–3): 151-157.

Moran, R. (1982). "Formulae for Determination of Chlorophyllous Pigments Extracted with N,N-Dimethylformamide. " **Plant Physiology** 69(6): 1376-1381.

Moore, J.D. and Ouimet, R. (2014). "Effects of two types of Ca fertilizer on sugar maple nutrition, vigor and growth after 7 years. " **Forest Ecology and Management** 320(0): 1-5.

Necemer, M., Kump, P., Scancar, J., Jacimovic, R., Simcic, J., Pelicon, P., Budnar, M., Jeran, Z., Pongrac, P., Regvar, M. and Vogel-Mikus, K. (2008). "Application of X-ray fluorescence analytical techniques in phytoremediation and plant biology studies." Spectrochimica Acta Part B: **Atomic Spectroscopy** 63(11): 1240-1247.

Panitnok, K., Chaisri, S., Sarobol, E., Ngamprasitthi, S., Chaisri, P., Changlek, P. and Thongluang, P. (2013). "The Combination Effects of Zinc, Magnesium, Sulphur Foliar Fertilizer Management on Cassava Growth and Yield Grown on Map Bon, Coarse-loamy Variant Soil." **Procedia - Social and Behavioral Sciences** 91: 288-293.

Pellet, D. and El-Sharkawy, M.A. (1993). "Cassava varietal response to phosphorus fertilization. I. Yield, biomass and gas exchange." **Field Crops Research** 35(1): 1-11.

Putthacharoen, S., Howeler, R. H. Jantawat, S. and Vichukit, V. (1998). "Nutrient uptake and soil erosion losses in cassava and six other crops in a Psamment in eastern Thailand." **Field Crops Research** 57(1): 113-126.

Sole, V.A., Papillon, E. Cotte, M. Walter, Ph. And Susini, J. (2007). **Spectrochim**. Acta. B. 62:63-68.

Sun, N., Zeng, X. B., Li, J. M., Gao, J. S. and Wang, B. R. (2006). Effects of Magnesium Compound with Fertilizer on Daylily (*Hemerocallis citrine* Baroni) Growth and Soil Nutrients. **Agricultural Sciences in China** 5(2), 123-129.

Tezotto, T., Favarin. J.L, Neto, A.P., Gratao, P.L., Azevedo, R.A. and Mazzafera, P. (2013). "Simple procedure for nutrient analysis of coffee plant with energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry (EDXRF). " **Scientia Agricola** 70: 263-267.

Uwah, D., Ekpenyong, L.E. and Akpan, I.E. (2013). "Cassava (*Manihot esculenta* crantz) performance as influenced by nitrogen and potassium fertilizers in Uyo, Nigeria." **Journal of Animal and Plant Sciences** 23: 550-555.

Xin, S. Z., Song, Y.J., Lv, C., Rui, Y.K., Zhang, F.S., Xu, W., Wu, D., Wu, S., Zhong, J., Chen, D.L., Chen1, Q. and Peng, F.T. (2009). Application of synchrotron radiation X-ray fluorescence to investigate the distribution of mineral elements in different organs of greenhouse spinach. **HORT**. **SCI**. 4: 133-139.

Zhu, Q., Zhang, M. and Ma, Q. (2012). Copper-based foliar fertilizer and controlled release urea improved soil chemical properties, plant growth and yield of tomato. **Scientia Horticulturae,** 143, 109-114.

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

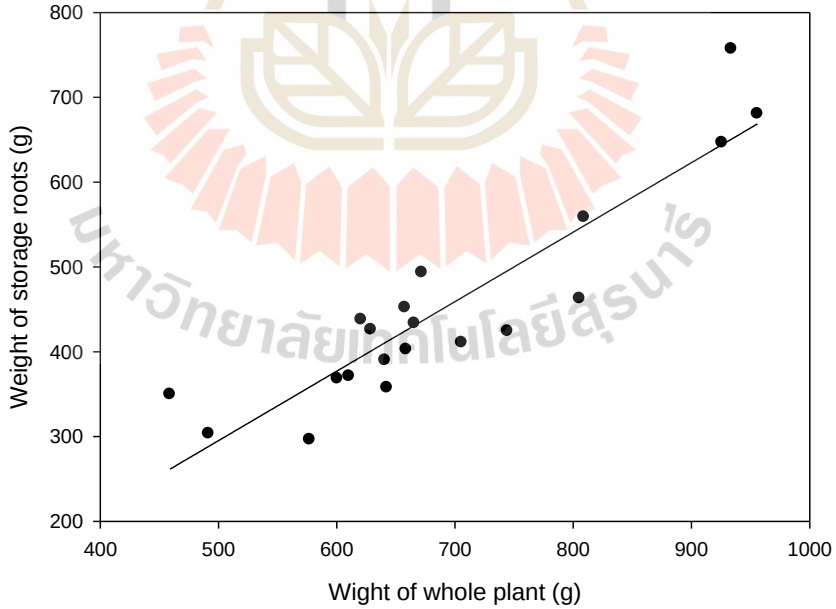
รูปภาคผนวกที่ 1 การวัดความเข้มแสง

รูปภาคผนวกที่ 2 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

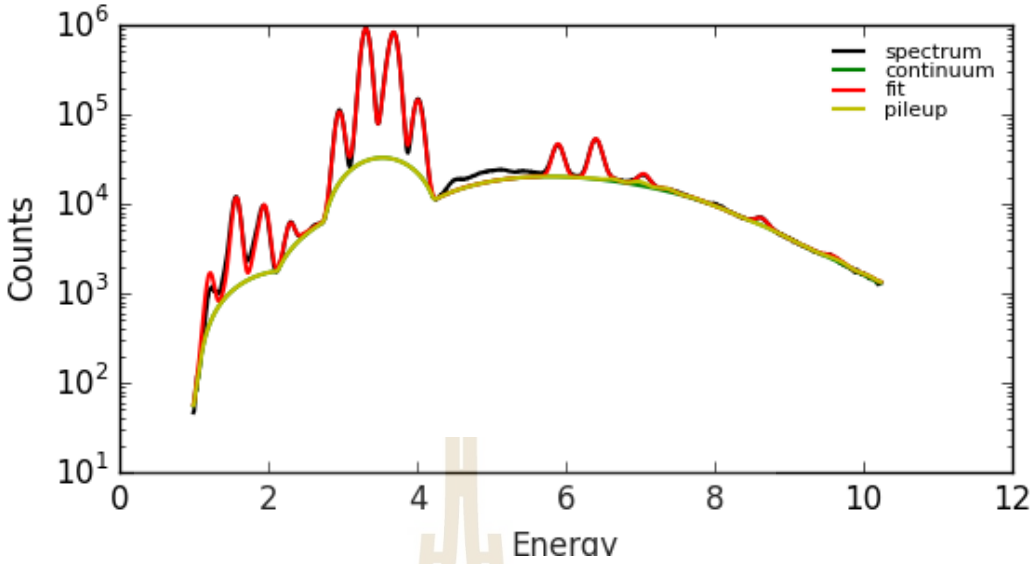
รูปภาคผนวกที่ 3 นำมันสำปะหลังมาแยกราก ลำต้น และใบ เพื่อวัดอัตราการเจริญเติบโต

รูปภาคผนวกที่ 4 ใบที่แสดงอาการขาด K อย่างรุนแรง

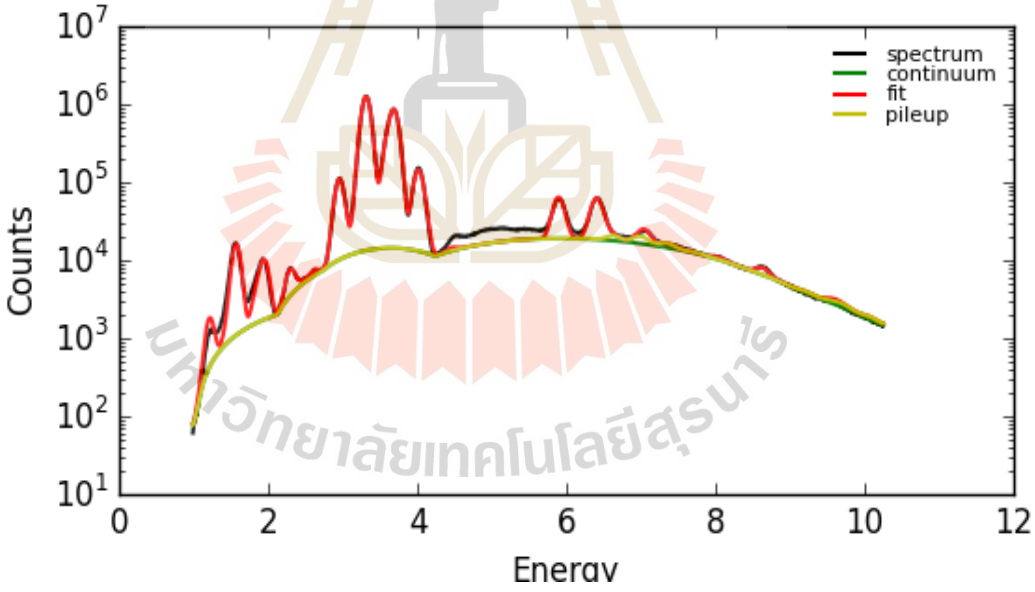
รูปภาคผนวกที่ 5 ใบที่แสดงอาการขาด Fe อย่างรุนแรง



รูปภาคผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งรวม (x) และน้ำหนักแห้งราก (y): $y = 1.0113x + 234.06$; $r^2 = 0.83$

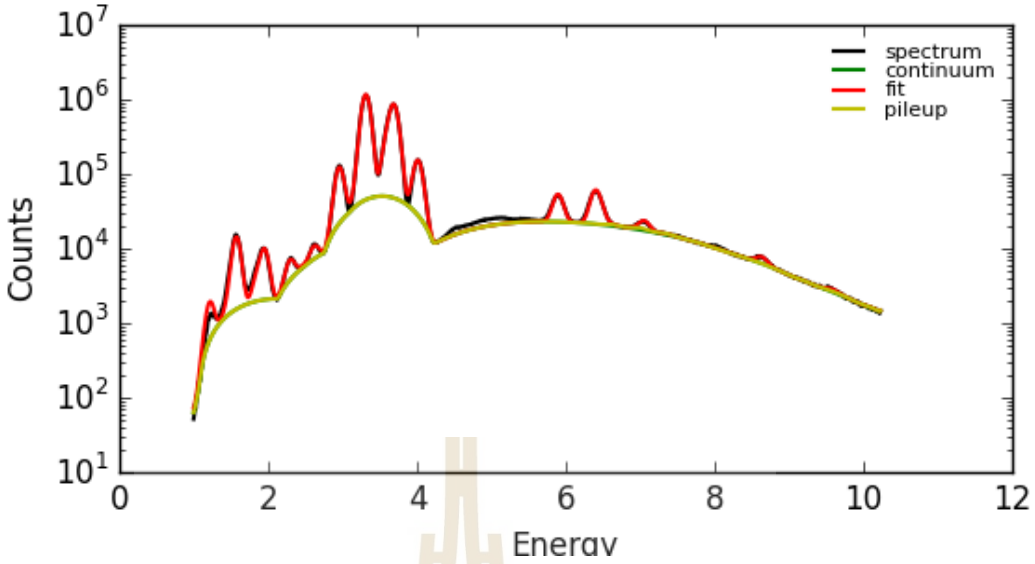


รูปภาคผนวกที่ 7 สเปกตรัมของการวิเคราะห์ K ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย

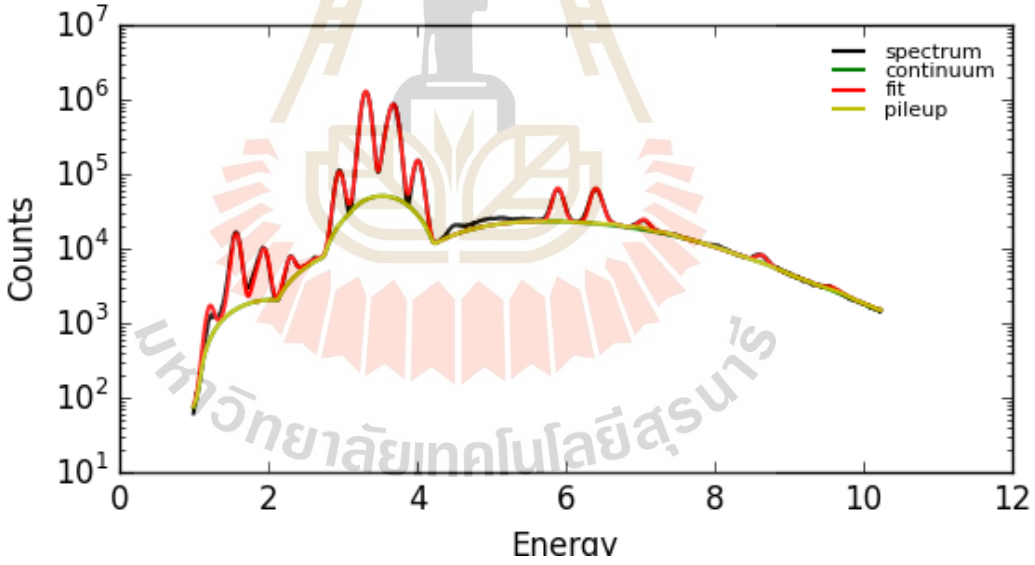


รูปภาคผนวกที่ 8 สเปกตรัมของการวิเคราะห์ K ที่มีการใส่ปุ๋ย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปภาคผนวกที่ 9 สเปกตรัมของการวิเคราะห์ Fe ที่ไม่มีการฉีดพ่น Fe



รูปภาคผนวกที่ 10 สเปกตรัมของการวิเคราะห์ Fe ที่มีการมีการฉีดพ่น Fe

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวฑิตยา คู่แก้ว เกิดเมื่อวันที่ 13 สิงหาคม พ.ศ. 2532 ที่บ้านใหม่หนองบัวทอง ตำบลหนองหว้า อำเภอเขาฉกรรจ์ จังหวัดสระแก้ว เริ่มศึกษาชั้นประถมปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนบ้านหนองหว้า ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนเขาฉกรรจ์วิทยาคม จังหวัดสระแก้ว และเมื่อปี พ.ศ.2554 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตพืช) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

ปี พ.ศ. 2555 ได้ศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุน 1 ทุน 1 บัณฑิต (OROG) ระดับบัณฑิตศึกษา และได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี