ผลของอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับโพแทสเซียม และไนโตรเจนกับกำมะถัน ต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลังและการเปลี่ยนรูปของโพแทสเซียม และกำมะถันในดิน

INTERACTION EFFECTS OF NITROGEN-POTASSIUM AND NITROGEN-SULFUR ON NUTRIENTS UPTAKE OF CASSAVA AND TRANSFORMATIONS OF POTASSIUM AND SULFUR IN SOIL

วรางคณา ธรรมนารถสกุล

VARANGKHANA THUMMANATSAKUN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-AG-M-065-295

ผลของอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับโพแทสเซียม และไนโตรเจนกับกำมะถัน ต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลังและการเปลี่ยนรูปของ โพแทสเซียม และกำมะถันในดิน

INTERACTION EFFECTS OF NITROGEN-POTASSIUM AND NITROGEN-SULFUR ON NUTRIENTS UPTAKE OF CASSAVA AND TRANSFORMATIONS OF POTASSIUM AND SULFUR IN SOIL

วรางคณา ธรรมนารถสกุล

VARANGKHANA THUMMANATSAKUN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-AG-M-065-295

INTERACTION EFFECTS OF NITROGEN-POTASSIUM AND NITROGEN-SULFUR ON NUTRIENTS UPTAKE OF CASSAVA AND TRANSFORMATIONS OF POTASSIUM AND SULFUR IN SOIL

VARANGKHANA THUMMANATSAKUN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURAL

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

KMITL-2019-AG-M-065-295

COPYRIGHT 2019

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับโพแทสเซียม และไนโตรเจนกับกำมะถันต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง และการเปลี่ยนรูปของโพแทสเซียม และกำมะถันในดิน

นักศึกษา นางสาววรางคณา ธรรมนารถสกุล

รหัสประจำตัว 59604010

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2562

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สุกัญญา แย้มประชา

บทคัดย่อ

มันสำปะหลังเป็นพืชอาหารที่สำคัญของโลก การจัดการธาตุอาหารเป็นปัจจัยหนึ่งที่จำเป็นเพื่อเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลังให้เพียงพอต่อความต้องการ ธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถัน เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังและส่งเสริมการเพิ่มผลผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจน แต่การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอาจส่งผลต่อธาตุอาหารชนิดอื่น เช่น โพแทสเซียม และกำมะถัน การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของโพแทสเซียม และกำมะถันในดินที่ปลูกมันสำปะหลัง และเพื่อศึกษาผลของอันตรกริยาของไนโตรเจนกับโพแทสเซียมและไนโตรเจนกับกำมะถันที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง การทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันในดินทราย โดยใช้ตัวอย่างดินหลังปลูกจากการทดลองเรื่อง การตอบสนองของมันสำปะหลังต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนซึ่งอยู่ในโครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาอัตราปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยใช้ดินหลังปลูกจากการทดลองปุ๋ยไนโตรเจนซึ่งวางแผนการทดลองแบบสปลิทพลอท (Split plot) มี 3 ซ้ำ ปัจจัยหลักประกอบด้วยมันสำปะหลัง 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (KU50) และพันธุ์ระยอง 9 (RY9) ปัจจัยรองประกอบด้วย ปุ๋ยไนโตรเจน 6 ระดับ คือ 0 4 8 16 24 และ 32 kg/rai เก็บตัวอย่างดินหลังปลูกที่ความลึก 0-30 และ 30-60 cm นำไปวิเคราะห์รูปของไนโตรเจน โพแทสเซียมและกำมะถัน การทดลองที่ 2 และ 3 ดำเนินการที่โรงเรือนชั้น 5 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วางแผนการทดลองแบบ 3×3 แฟคทอเรียลแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ มี 4 ซ้ำ การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง ปัจจัย A ที่ใช้ในการทดลอง คือ อัตราปุ๋ยไนโตรเจน 3 อัตรา คือ 500

µmol/L (N1) 1000 µmol/L (N2) และ1500 µmol/L (N3) ปัจจัย B คือ อัตราปุ๋ยโพแทสเซียม 3 อัตรา คือ 500 µmol/L (K1) 1000 µmol/L (K2) และ1500 µmol/L (K3) การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง ปัจจัย A คืออัตราปุ๋ยไนโตรเจนอัตราเดียวกับการทดลองที่ 2 ปัจจัย B คือ อัตราปุ๋ยกำมะถัน 3 อัตรา คือ 500 µmol/L (S1) 1000 µmol/L (S2) และ1500 µmol/L (S3)

ผลการทดลองที่ 1 พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลต่อไนโตรเจนในรูปอินทรีย์ที่ระดับความลึก 0-30 cm โดยอินทรีย์ไนโตรเจนในทรีทเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 24 kg/rai มีค่าเท่ากับ 624.77 mg/kg สูงกว่าทรีทเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 389.56 mg/kg นอกจากนี้ยังส่งผลต่อโพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ที่ระดับความลึก 0-30 cm โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 8 และ 24 kg/rai ทำให้มีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 32.23 และ 30.90 mg/kg ตามลำดับ และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 16 kg/rai มีค่าเท่ากับ 22.86 mg/kg และยังส่งผลต่อโพแทสเซียมทั้งหมดที่ระดับความลึก 30-60 cm โดยการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้มีค่าเท่ากับ 1,737.1 mg/kg ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 16 24 และ 32 kg/rai ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,328.8 1,326.4 และ 1,206.4 mg/kg ตามลำดับ ในขณะที่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลต่อกำมะถันในรูปอินทรีย์ และกำมะถันทั้งหมดที่ระดับความลึก 30-60 cm โดยการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้มีอินทรีย์กำมะถัน และกำมะถันทั้งหมดเท่ากับ 164.64 และ 167.63 mg/kg ตามลำดับ และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 24 kg/rai ซึ่งมีค่าเท่ากับ 69.01 และ 71.20 mg/kg

ผลการทดลองที่ 2 พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูง (N3) ส่งผลให้การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังสูงกว่าอัตราไนโตรเจนอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยความสูง (206.92 cm) ค่า SPAD ในใบบน และใบล่าง (42.34 และ 34.64) น้ำหนักสดทั้งหมด และน้ำหนักแห้งทั้งหมดของมันสำปะหลัง (1,101.62 และ 339.48 g/plant) นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ การดูดดึงไนโตรเจนในทุกส่วนของมันสำปะหลัง และการดูดดึงโพแทสเซียมในใบ หัว และการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส ทองแดง และโมลิบดีนัมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่า SPAD ในใบล่างของมันสำปะหลังเท่านั้นโดยจะสูงที่สุดในทรีทเมนต์ K2 เท่ากับ 33.75 และยังพบว่าอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมสูง (K3) ทำให้การดูดดึงไนโตรเจนในเหง้า หัว การดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมด และการดูดดึงโพแทสเซียมในทุกส่วนยกเว้นในใบแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับโพแทสเซียมอัตราอื่น การดูดดึงไนโตรเจนมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงโพแทสเซียมในใบ ก้านใบ+ต้น และหัว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์

สหสัมพันธ์ (*r*) เท่ากับ 0.86** 0.84** และ 0.87** ตามลำดับ และยังพบว่ามีการดูดดึงไนโตรเจนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งทุกส่วนยกเว้นน้ำหนักแห้งในเหง้า โดยมีค่าสหสัมพันธ์สำหรับน้ำหนักสดอยู่ในช่วง 0.40*-0.82** และน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วง 0.35*-0.85** นอกจากนี้การดูดดึงไนโตรเจนมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงโพแทสเซียมในใบ ก้านใบ+ต้น และหัวโดยมีค่าสหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.84**-0.87**

ผลการทดลองที่ 3 พบว่าการให้ไนโตรเจนในอัตราสูง (N3) ทำให้ความสูง ค่า SPAD ในใบล่าง น้ำหนักสดทั้งหมด และน้ำหนักแห้งทั้งหมดแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญจากการให้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราอื่น นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน และกำมะถันในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ การดูดดึงไนโตรเจนในใบ หัว ราก การดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมด การดูดดึงกำมะถันในใบ หัว ราก และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส ทองแดง และโมลิบดีนัมในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ส่วนกำมะถันในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งในหัวเท่านั้นโดยน้ำหนักสูงที่สุดในทรีทเมนต์ S3 เท่ากับ 281.06 และ 114.28 g/plant ตามลำดับ นอกจากนี้ความเข้มข้นของกำมะถันในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ การดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมด การดูดดึงกำมะถันในราก และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามอัตราปุ๋ยกำมะถันที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามอัตราปุ๋ยกำมะถันที่สูงขึ้น การดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงกำมะถันในใบ ก้านใบ+ต้น และหัวมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (*r*) เท่ากับ 0.97** 0.68** และ 0.96** ตามลำดับ และยังพบว่ามีการดูดดึงไนโตรเจนมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งในทุกส่วน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของน้ำหนักสดอยู่ในช่วง 048**-0.76** และค่าสหสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วง 0.37*- 0.74** นอกจากนี้การดูดดึงกำมะถันมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งทุกส่วนของมันสำปะหลัง ยกเว้นในเหง้า และราก โดยมีค่าสหสัมพันธ์ของน้ำหนักสดอยู่ในช่วง 0.43**- 0.65** และค่าสหสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งอยู่ในช่วง 0.37*- 0.67** นอกจากนี้ยังพบว่าการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงโพแทสเซียมในใบ ก้านใบ+ต้น และหัวมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าสหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.67**- 0.98**

Thesis Interaction effects of nitrogen-potassium and nitrogen-sulfur on nutrients uptake of cassava and transformations of potassium and sulfur in soil

Student Miss Varangkhana Thummanatsakun

Student ID. 59604010

Degree Master of Science

Program Agriculture

Year 2019

Thesis Advisor Dr. Sukunya Yampracha

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is an important food crop in the world, so nutrient management is necessary to increase the product of cassava to meet the consumption. Nitrogen (N) potassium (K) and sulfur(S) are required nutrients and promote productivity for cassava especially nitrogen. However, the application of nitrogen fertilizer may result in the change of potassium and sulfur form in the soil and those nutrient uptakes. The objective of this study was therefore to study the effect of nitrogen fertilizer rates on the transformation of nitrogen, potassium, and sulfur in soil and the interaction effects of nitrogen-potassium and nitrogen-sulfur on the growth and nutrients uptake of cassava. The study was divided into three experiments. Experiment 1: the study of the influence of nitrogen fertilizer rates on the transformation of nitrogen, potassium, and sulfur in sandy soil. Soil samples after harvesting from the experiment on the title the response of cassava to nitrogen fertilizer rates experiment in the research project title of development of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer rates. The experimental design was split plot with 3 replications. The soil after planting for cassava of 0-30 and 30-60 cm depth was analyzed nitrogen, potassium and sulfur form. Experiment 2 and 3 were conducted in a greenhouse at the Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. The experimental design was a 3×3 factorial arrangements in a randomized complete block design (RCBD) with 4 replications. Experiment 2; effects of interaction between nitrogen and potassium on the growth and nutrients uptake of cassava. Three different nitrogen rates (500 (N1), 1000 (N2) and 1500 (N3) μmol/L) were combined with three different potassium rates (500 (K1), 1000 (K2) and 1500 (K3) μmol/L). Experiment 3; effects of interaction between nitrogen

and sulfur on the growth and nutrients uptake of cassava. Three different nitrogen rates same as experimental 2 were combined with three different sulfur rates (500 (S1), 1000 (S2) and 1500 (S3) µmol/L).

The results from experiments 1 show that different rates of nitrogen fertilizers affect organic-N at 0-30 cm depth. Organic-N at the nitrogen fertilizer rate of 24 kg/rai was 624.77 mg/kg which significantly higher than the without nitrogen fertilizer treatment as 389.56 mg/kg. Moreover, the nitrogen fertilizer application rate affected potassium content in the exchangeable-K form at 0-30 cm. Exchangeable-K in nitrogen fertilizer at the rates of 8 and 24 kg/rai were 32.23 and 30.90 mg/kg, respectively which significantly difference with a nitrogen fertilizer at the rate of 16 kg/rai (22.86 mg/kg). Total-K in without nitrogen fertilizer treatment was 1,737.1 mg/kg which highly significant with total-K in nitrogen fertilizer treatment at the rate of 16, 24, and 32 kg/rai as the values 1,328.8, 1326.4 and 1,206.4 mg/kg, respectively. While different rates of nitrogen fertilizers affected organic-S and total-S sulfur at 30-60 cm depth. Organic-S and total-S were highly significant with and without nitrogen fertilizer were 164.64 and 167.63 mg/kg, respectively and lowest at nitrogen fertilizer at the rate of 24 kg/rai were 69.01 and 71.20 mg/kg, respectively.

The experiments 2 show that increasing nitrogen rates (Treatment N3) significantly increased plant height (206.92 cm), SPAD value of the upper and lower leaf (42.34 and 34.64), the total fresh and dry weight (1,101.62 and 339.48 g/plant). In addition, increasing nitrogen rates affected the concentration of nitrogen concentration in the youngest fully-expanded leaves, nitrogen uptake in all plant organs, potassium uptake in leaf blade, tuber and total uptake. While the concentration of total calcium, total magnesium, total manganese, total copper, and total molybdenum decreased significantly with increasing nitrogen fertilizer rates. Different potassium fertilizer rates affected the SPAD values in the lower leaves of cassava. SPAD values in the lower leaves highest in K2 were 33.75. In addition, increasing potassium rates affected nitrogen uptake in OSC, tuber and potassium uptake in all plant organs except leaf. Nitrogen and potassium uptake in leaf blade, stem+petio and tuber had a high positive correlation significantly with the correlation coefficient (r) was 0.86**, 0.84** and 0.87**, respectively. The positive correlation significantly between nitrogen uptake with a fresh and dry weight of all plant organs except old stem cutting (OSC). The correlation coefficient (r) for fresh weight in the range of 0.40*- 0.82** and 0.35*-0.85** in dry weight. In addition, the results found that nitrogen uptake was positively

correlated with potassium uptake in leaf, stem+petio, and tuber with a correlation coefficient in the range of 0.84 ** - 0.87 **.

The experiments 3 show that increasing nitrogen rates (Treatment N3) significantly increased plant height (266.33 cm), SPAD value of the lower leaf (34.90), the total fresh and dry weight, (1,274.03 378.64 g/plant). In addition, increasing nitrogen rates affected the concentration of nitrogen and sulfur in youngest fully-expanded leaves, nitrogen uptake in leaf blade, tuber, root and total nitrogen uptake, sulfur uptake in leaf, tuber, root and total sulfur uptake. While the concentration of calcium, magnesium, manganese, copper, and molybdenum in the youngest fully-expanded leaves decreased significantly with increasing nitrogen fertilizer rates. Increasing sulfur rates (Treatment S3) affected the fresh and dry weight of tuber were 281.06 and 114.28 g/plant. In addition, increasing sulfur rates significantly increased the concentration of sulfur in the youngest fully-expanded leaves, total nitrogen uptake sulfur in root and total sulfur uptake. While the concentration of molybdenum decreased with increasing sulfur fertilizer rates. Nitrogen and sulfur uptake in leaf blade, stem+petio and tuber had a high positive correlation significantly with the correlation coefficient were 0.97**, 0.68** and 0.96**, respectively. In addition, the results found that the positive correlation between nitrogen uptake and fresh and dry weight all plant organs were highly significant with the range of 0.48**- 0.76** and 0.37*- 0.74** for fresh and dry weight, respectively. Nitrogen and potassium uptake in leaf blade, stem+petio and tuber were positively correlated with statistically significant correlation coefficient at 0.67**- 0.98**.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากโครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สุกัญญา แย้มประชา ที่ให้ความช่วยเหลือกรุณาให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ ผศ.ดร. นุกูล ถวิลถึง และผศ.ดร. นิตยา ผกามาศ ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะจนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ของข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดาและมารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

วรางคณา ธรรมนารถสกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ…… IV
กิตติกรรมประกาศ…… VII
สารบัญ……VIII
สารบัญตาราง……XI
สารบัญตารางภาคผนวก…… XIV
สารบัญรูป……XVII
บทที่ 1 บทนำ……1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา……1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา……3
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา……3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย……3
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย……3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา……4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……5
2.1 มันสำปะหลัง……5
2.1.1 สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลัง……5
2.1.2 พื้นที่การเพาะปลูกมันสำปะหลัง……8
2.1.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง……9
2.1.4 ระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง……10
2.15 สภาพแวดล้อมที่เหมาะกับการปลูกมันสำปะหลัง……10
2.1.6 มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ระยอง 9……13
2.2 ธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันในดิน……13
2.2.1 ธาตุไนโตรเจน……13
2.2.2 ธาตุโพแทสเซียม……14
2.2.3 ธาตุกำมะถัน……15
2.2.4 ความต้องการธาตุอาหารไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถัน
ของมันสำปะหลัง……16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 อิทธิพลของไนโตรเจน โพแทสเซียมและกำมะถันที่มีต่อการเจริญเติบโต
และผลผลิตของพืช…….....……17
2.3.1 ธาตุไนโตรเจน……...……..……..17
2.3.2 ธาตุโพแทสเซียม……...…….…….……..18
2.3.3 ธาตุกำมะถัน……...……..19
2.3.4 อิทธิพลร่วมกันระหว่างไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถัน
ต่อผลผลิตและการเจริญเติบโตของพืช……...…..……20
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....21
3.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน
โพแทสเซียม และกำมะถันในดินทราย.....21
3.1.1 การวิเคราะห์รูปของโพแทสเซียมและกำมะถันในดินหลังปลูก.....21
3.1.2 การเก็บข้อมูล.....21
3.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูล.....22
3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับโพแทสเซียม
ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง.....23
3.2.1 การเตรียมวัสดุปลูกและท่อนพันธุ์ในการปลูกมันสำปะหลัง.....23
3.2.2 การเก็บข้อมูล.....24
3.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล.....24
3.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโต
และดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง.....25
3.3.1 การเตรียมวัสดุปลูกและท่อนพันธุ์ในการปลูกมันสำปะหลัง.....25
3.3.2 การเก็บข้อมูล.....25
3.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล.....26
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....27
4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน
โพแทสเซียม และกำมะถันในดินทราย.....27
4.1.1 ไนโตรเจน.....27
4.1.2 โพแทสเซียม.....30
4.1.3 กำมะถัน.....32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง....36
4.2.1 การเจริญเติบโต....36
4.2.2 ความเข้มข้นและการดูดดึงธาตุอาหาร....44
4.2.3 สหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการดูดดึงธาตุอาหาร....53
4.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโต และดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง....57
4.3.1 การเจริญเติบโต....57
4.3.2 ความเข้มข้นและการดูดดึงธาตุอาหาร....64
4.3.3 สหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการดูดดึงธาตุอาหาร....71
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง....77
5.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันในดินทราย....77
5.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับโพแทสเซียม ต่อการ เจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง....77
5.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโต และดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง....78
บรรณานุกรม....79
ภาคผนวก....94
ประวัติผู้เขียน....117

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ผลผลิตมันสำปะหลังโลกในปี 2014-2017 (ตัน/ปี).....6
2.2 พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต ราคา และมูลค่าของมันสำปะหลังในประเทศไทย ในปี 2551-2560.....7
2.3 พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว และผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทยใน ปี 2560.....9
2.4 ลักษณะดินทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินที่มันสำปะหลัง ต้องการ.....11
2.5 ค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบบนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (youngest fully-expanded leaves: YFEL) ของมันสำปะหลังที่อายุ 3-4 เดือน : ข้อมูลเฉลี่ยของการทดลองภาย ในโรงเรือน…….....16
3.1 ตารางแสดงวิธีวิเคราะห์โพแทสเซียม และกำมะถันรูปต่างๆในดิน.....22
3.2 ตารางแสดงความเข้มข้นและแหล่งของสารละลายธาตุอาหาร.....24
4.1 รูปของไนโตรเจนที่ระดับความลึก 0-30 cm ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน.....28
4.2 รูปของไนโตรเจนที่ระดับความลึก 30-60 cm ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน.....29
4.3 รูปของโพแทสเซียมที่ระดับความลึก 0-30 cm ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน.....30
4.4 รูปของโพแทสเซียมที่ระดับความลึก 30-60 cm ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน.....32
4.5 รูปของกำมะถันที่ระดับความลึก 0-30 cm ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน.....33
4.6 รูปของกำมะถันที่ระดับความลึก 30-60 cm ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน.....35
4.7 ค่า SPAD ของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วันภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียม ที่แตกต่างกัน.....38
4.8 น้ำหนักสดใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้ อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....41
4.9 น้ำหนักแห้งใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของ มันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....43
4.10 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL)ของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....45

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.11 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL)ของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียม ที่แตกต่างกัน.....47
4.12 การดูดดึงไนโตรเจนของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียม ที่แตกต่างกัน.....50
4.13 การดูดดึงโพแทสเซียมของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียม ที่แตกต่างกัน.....52
4.14 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (*r*) ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงโพแทสเซียม และน้ำหนักสดของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่ แตกต่างกัน.....53
4.15 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (*r*) ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงโพแทสเซียม และน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่ แตกต่างกัน.....54
4.16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (*r*) ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงโพแทสเซียมของ มันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....56
4.17 ค่า SPAD ของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....59
4.18 น้ำหนักสดใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....61
4.19 น้ำหนักแห้งใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้ อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....63
4.20 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL) ของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....65
4.21 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL) ของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....67
4.22 การดูดดึงไนโตรเจนของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถัน ที่แตกต่างกัน.....69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.23 การดูดดึงกำมะถันของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน....71
4.24 สหสัมพันธ์ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงกำมะถัน และน้ำหนักสดของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน....72
4.25 สหสัมพันธ์ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงกำมะถัน และน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน....73
4.26 สหสัมพันธ์ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงกำมะถันของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน....75

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ **หน้า**

1 น้ำหนักสดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลัง ที่แตกต่างกัน....86
2 น้ำหนักแห้งของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลัง ที่แตกต่างกัน....87
3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ระดับความลึก 0- 30 cm หลังปลูกมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....88
4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....88
5 ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm) ของดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....89
6 ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm) ของดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....89
7 อินทรียวัตถุ (%) ของดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ย ไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....90
8 อินทรียวัตถุ (%) ของดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ย ไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....90
9 แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....91
10 แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....91
11 แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....92
12 แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....92
13 เหล็กที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....93
14 เหล็กที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....93

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ **หน้า**

15 แมงกานีสที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....94
16 แมงกานีสที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน.... 94
17 ทองแดงที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน.... 95
18 ทองแดงที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....95
19 สังกะสีที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....96
20 สังกะสีที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน....96
21 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในแผ่นใบทั้งหมดของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน....97
22 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในแผ่นใบทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้ อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน....98
23 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในก้านใบ+ต้นของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน....99
24 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในก้านใบ+ต้นของมันสำปะหลังภายใต้ อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน....100
25 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในเหง้าของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน....101
26 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในเหง้าของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและ โพแทสเซียมที่แตกต่างกัน....102
27 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในรากของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน....103
28 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในรากของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและ โพแทสเซียมที่แตกต่างกัน....104

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ **หน้า**

29 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในหัวของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....105
30 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในหัวของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและ โพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....106
31 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในแผ่นใบทั้งหมดของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....107
32 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในแผ่นใบทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้ อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....108
33 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในก้านใบ+ต้นของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....109
34 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในก้านใบ+ต้นของมันสำปะหลังภายใต้ อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....110
35 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในเหง้าของมันสำปะหลังภายใต้ อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....111
36 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในเหง้าของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....112
37 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในรากของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....113
38 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในรากของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....114
39 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในหัวของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....115
40 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในหัวของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....116

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

4.1 ความสูงของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วันภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียม แตกต่างกัน.....36

4.2 ใบบนของมันสำปะหลังที่อายุ 1 เดือน ที่แสดงอาการ Chlorosis จากขาดไนโตรเจน ในทรีทเมนต์ N1 (a)ใบบนของมันสำปะหลังในทรีทเมนต์ N1K1 (b)ใบบนของ มันสำปะหลังในทรีทเมนต์ N1K2 (c)ใบบนของมันสำปะหลังในทรีทเมนต์ N1K3.....39

4.3 ใบบนของมันสำปะหลังที่อายุ 1 เดือน ที่แสดงอาการ Chlorosis จากขาดโพแทสเซียม ในทรีทเมนต์ K1 (a)ใบบนของมันสำปะหลังในทรีทเมนต์ N1K1 (b)ใบบนของ มันสำปะหลังในทรีทเมนต์ N2K1 (c)ใบบนของมันสำปะหลังในทรีทเมนต์ N3K1.....39

4.4 ความสูงของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วันภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่ แตกต่างกัน.....58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มันสำปะหลัง Cassava หรือ Tapioca (*Manihot esculenta* L.Crantz) เป็นพืชอาหารที่สำคัญอันดับ 5 ของโลกรองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง ความสำคัญต่อประเทศในเขตร้อน ในทวีปแอฟริกา อเมริกาใต้ และเอเชีย โดยเฉพาะประเทศอินโดนีเซีย และอินเดียมีการบริโภคมันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก นอกจากมันสำปะหลังเป็นอาหารของมนุษย์แล้ว หัวสด ใบสด และลำต้นยังเป็นอาหารสัตว์ และมีความสำคัญในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังอีกด้วย ซึ่งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ผงชูรส (monosodium glutamate) ไลซีน สารให้ความหวาน ได้แก่ กลูโคสเหลว กลูโคสผง เดกซ์โตสแอนไฮดรัส และซอร์บิทอล (ใช้ในอุตสาหกรรมยาสีฟันและเครื่องสำอาง) อุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมไม้อัด อุตสาหกรรมกาว อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม รวมไปถึงผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปต่าง ๆ เส้นก๋วยเตี๋ยว วุ้นเส้น สาคู ซอสต่าง ๆ ไอศกรีม เป็นต้น ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆมากมายที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่ พลาสติกที่สลายได้ทางชีวภาพ สารดูดน้ำ และก๊าซโซฮอล์ (gasohol) แอลกอฮอล์ที่สามารถนำมาผสมกับน้ำมันเบนซินใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ มันสำปะหลังจึงเป็นพืชที่สามารถทำรายได้ให้กับเกษตรกรไทยได้มากเป็นอันดับ 4 (รองจากข้าว ยางพารา และอ้อย) ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวกับมันสำปะหลังมากที่สุดในโลก โดยในปี 2560 ประเทศไทยมีผลผลิตมันสำปะหลัง 30.50 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560ข) รายได้จากการส่งออกมันสำปะหลังเท่ากับ 10.80 ล้านบาท/ปี (สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, 2560) มันสำปะหลังเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารต่ำและทนต่อสภาวะแวดล้อม ดังนั้นเกษตรกรมักปลูกมันสำปะหลังที่เดิมซ้ำๆและไม่ให้ความสำคัญกับการจัดการธาตุอาหาร ความอุดมสมบูรณ์ของดินจึงลดลง การปลูกมันสำปะหลังจึงจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตและรักษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2556)

จากภาวะการผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทยในปี 2560 มีพื้นที่เก็บเกี่ยว 8.91 ล้านไร่ ผลผลิต 30.94 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ 3.472 ตัน ในปี 2561 มีพื้นที่เก็บเกี่ยว 8.02 ล้านไร่ พบว่าพื้นที่เก็บเกี่ยวลดลงร้อยละ 9.93 (สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, 2561) จะเห็นได้ว่าพื้นที่เพาะปลูกที่ลดลงและผลผลิตต่อไร่ที่ต่ำ รัฐบาลจึงมีเป้าหมายในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 พ.ศ. 2560-2564 ในการปรับระบบการผลิตทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าให้สินค้าเกษตร มีความปลอดภัย ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนและสิ่งแวดล้อมของ

ประเทศ (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2560) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติและรัฐบาล จึงมีเป้าหมายยกระดับผลผลิตของมันสำปะหลังเป็น 3-5 ตันต่อไร่ เนื่องจากมันสำปะหลังมีความต้องการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากนโยบายการใช้ผลผลิตเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2560)

การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังทำให้ธาตุอาหารเคลื่อนย้ายไปพร้อมผลผลิต ประกอบกับการปลูกมันสำปะหลังมักปลูกในพื้นที่เดิมต่อเนื่องเป็นเวลานาน ธาตุอาหารในดินจึงลดลง ดังนั้นการจัดการธาตุอาหารจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่จำเป็นเพื่อเป็นการรักษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินและเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลังให้สูงขึ้น ธาตุอาหารหลักจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง โดยช่วยเพิ่มจำนวนหัวต่อต้น เปอร์เซ็นต์แป้งและผลผลิต (Howeler, 2014) เกษตรกรส่วนใหญ่มักใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ให้แก่มันสำปะหลังเท่านั้น แต่ธาตุฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มันสำปะหลังใช้น้อย และสูญเสียไปจากดินได้ต่ำกว่าไนโตรเจนและโพแทสเซียม และไม่ได้ให้ความสำคัญกับธาตุอาหารรอง โดยเฉพาะกำมะถัน โดยการใช้ปุ๋ยกำมะถันทางใบมีแนวโน้มจะเพิ่มจำนวนหัวต่อต้น และปริมาณแป้งในหัว (Panitnok *et al.*, 2013) นอกจากนี้ ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญในการเจริญเติบโตในช่วงแรกของมันสำปะหลัง ประกอบกับไนโตรเจนในดินประเทศไทยมีอยู่ในปริมาณที่ต่ำจึงมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณสูง จากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงอาจมีผลต่อการดูดใช้ธาตุโพแทสเซียม กำมะถัน และส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต รวมทั้งอาจส่งผลต่อรูปของโพแทสเซียมหรือกำมะถันในดิน (Aulakh and Malhi, 2005) เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อโพแทสเซียมและกำมะถัน Baligar *et al.* (2001) รายงานว่าการใช้ไนโตรเจนในอัตราต่ำส่งผลให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อพืชบางชนิดต่ำลงด้วย ในขณะที่การใช้ไนโตรเจนในอัตราสูงส่งผลให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อพืชบางชนิดสูงด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ไนโตรเจนยังมีความสัมพันธ์กับกำมะถันค่อนข้างสูงเนื่องจากบทบาทที่คล้ายคลึงกันในการสังเคราะห์โปรตีน Li *et al.* (2013) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยกำมะถันสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนได้ ดังนั้นการศึกษาอิทธิพลของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของโพแทสเซียม และกำมะถันในดิน รวมทั้งศึกษาอันตรกิริยาระว่างไนโตรเจนกับโพแทสเซียมและกำมะถันจึงเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวของมันสำปะหลังมีอยู่อย่างจำกัด การศึกษาในเรื่องดังกล่าวจะช่วยให้การจัดการปุ๋ยไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันสำหรับมันสำปะหลังมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของโพแทสเซียม และกำมะถันในดินที่ปลูกมันสำปะหลัง

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอันตรกริยาของไนโตรเจนกับโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของอันตรกริยาของไนโตรเจนกับกำมะถันต่อการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การศึกษาอิทธิพลดังกล่าวทำให้มีความเข้าใจในการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และยังส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้นอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของโพแทสเซียมและกำมะถันในดิน นอกจากนี้อาจส่งผลให้พืชดูดใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมและปุ๋ยกำมะถันสูงขึ้นซึ่งอาจจำเป็นต้องมีการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียม และปุ๋ยกำมะถันในอัตราที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ศึกษารูปของโพแทสเซียมและกำมะถันในดินหลังปลูกมันสำปะหลังที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่แตกต่างกัน

1.5.2 ศึกษาอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง

1.5.3 ศึกษาอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับกำมะถันต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันในดินทราย

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของไนโตรเจนและกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง Cassava หรือ Tapioca (*Manihot esculenta* Crantz) เป็นพืชอาหารที่ สำคัญเป็นอันดับ 5 ของโลกรองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง (ธีระ สมหวัง, 2550) เป็นพืชอาหารที่สำคัญของประเทศในเขตร้อน โดยเฉพาะประเทศต่างๆ ในทวีปอัฟริกา และ อเมริกาใต้ ในทวีปเอเชีย ประเทศอินโดนีเซีย และอินเดียมีการบริโภคมันสำปะหลังกันเป็นจำนวนมาก ในปี 2561 ประเทศไทยมีการปลูกมันสำปะหลัง 30.50 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560ข) รายได้จากการส่งออกมันสำปะหลังเท่ากับ 10.80 ล้านบาท/ปี (สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, 2560)

2.1.1 สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลัง

2.1.1.1 การผลิตมันสำปะหลัง: ในปี 2559 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) รายงานผลผลิตมันสำปะหลังโลกมีปริมาณ 278 ล้านตัน เมื่อเทียบกับปีเพาะปลูก 2560 ที่มีผลผลิต 277 ล้านตัน ผลผลิตลดลงร้อยละ 0.36 (ตารางที่ 2.1) ในปี 2560 ประเทศไทยมีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 8.64 ล้านไร่ ผลผลิต 31.19 ล้านตัน และผลผลิตต่อไร่ 3,611 กิโลกรัม เมื่อเทียบกับปี 2559 ที่มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 9.06 ล้านไร่ ผลผลิต 31.16 ล้านตัน และผลผลิตต่อไร่ 3,437 กิโลกรัม พบว่าเนื้อที่เก็บเกี่ยวลดลงร้อยละ 4.69 เนื่องจากเกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่นทดแทน เช่น อ้อยโรงงาน ประกอบกับราคามันสำปะหลังปรับตัวลดลงอย่างต่อเนื่อง สำหรับผลผลิตและ ผลผลิตต่อไร่ เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.06 และ 5.40 ตามลำดับ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศเอื้ออำนวย ทำให้ต้นมันสำปะหลังเจริญเติบโตดี จึงส่งผลให้ผลผลิตโดยรวมเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2.2) (เชฐชุดา เชื้อสุวรรณ, 2561)

ตารางที่ 2.1 ผลผลิตมันสำปะหลังโลกในปี 2014-2017 (ตัน/ปี)

Year	2014	2015	2016	2017
World	**276,766**	**276,995**	**278,754**	**277,957**
Africa	**154,900**	**152,833**	**155,398**	**155,962**
Nigeria	56,328	57,643	57,855	55,000
Congo, DemocraticRepublic of	16,817	15,300	15,200	14,550
Ghana	16,524	17,213	17,798	19,139
Angola	7,639	7,727	7,788	7,140
Mozambique	12,700	8,103	9,100	10,920
Tanzania, UnitedRepublicof	4,993	5,886	6,000	5,500
Uganda	2,812	2,898	2,400	2,450
Malawi	5,013	4,997	5,000	5,050
Benin	4,067	3,421	4,096	4,150
Cameroon	4,836	5,000	5,170	5,345
Rwanda	3,117	3,000	3,060	3,200
Madagascar	2,930	2,677	2,629	2,700
Côte d'Ivoire	4,239	5,087	4,548	5,367
Other Africa	12,885	13,881	14,753	15,451
Latin America	**32,334**	**32,299**	**32,908**	**29,407**
Brazil	23,254	23,060	23,710	20,110
Paraguay	3,000	3,000	3,167	3,168
Colombia	2,186	2,092	2,117	2,125
Other Latin America	3,894	4,147	3,914	4,004
Asia	**89,365**	**91,689**	**90,274**	**92,418**
Thailand	30,022	32,358	31,161	30,936
Indonesia	23,436	21,801	20,745	20,330
VietNam	10,210	10,740	10,201	10,650
India	8,139	4,373	4,421	4,645
China, mainland	4,593	4,500	4,548	5,000
Cambodia	7,933	11,944	13,298	14,820
Philippines	2,540	2,711	2,755	2,825
Other Asia	2,490	3,261	3,145	3,212
Oceania	**249**	**252**	**252**	**247**

ที่มา: Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2017

ตารางที่ 2.2 พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต ราคา และมูลค่าของมันสำปะหลังในประเทศไทยในปี 2551-2560

Year	Planted area (1,000 rais)	Harvested area (1,000 rais)	Production (1,000 tons)	Yield per rai (kg)	Price (Bath per kg)	Value (million bath)
2551	7,750	7,397	25,156	3,401	1.93	48,551
2552	8,584	8,292	30,088	3,628	1.19	35,805
2553	7,669	7,405	22,006	2,972	1.84	40,491
2554	7,400	7,096	21,912	3,088	2.68	58,725
2555	9,242	8,513	29,848	3,506	2.09	62,382
2556	9,037	8,657	30,228	3,492	2.12	64,082
2557	8,976	8,431	30,022	3,561	2.13	63,947
2558	9,320	8,961	32,358	3,611	2.22	71,188
2559	9,313	9,063	31,155	3,437	1.84	57,325
2560	9,442	8,638	31,187	3,611	1.51	47,092

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560ก

2.1.1.2 สถานการณ์การตลาด ผลผลิตมันสำปะหลังเข้าสู่กระบวนการแปรรูปทั้งหมด โดยแปรรูปเป็น มันเส้น มันอัดเม็ด แป้งมันสำปะหลัง และเอทานอล เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น อาหารมนุษย์ อาหารสัตว์ สารความหวาน ผงชูรส กระดาษ สิ่งทอ เป็นต้น โดยความต้องการใช้ภายในประเทศ ในแต่ละปีประมาณ 20 - 25% ที่เหลือเป็นการส่งออก ความต้องการใช้มันสำปะหลังในประเทศ จากปี 2553 - 2557 ขยายตัวเพิ่มขึ้น 3.80% ต่อปี โดยเฉพาะความต้องการใช้เพื่อผลิตเอทานอลที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก ขณะที่ความต้องการใช้เพื่อผลิตแป้งมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไม่มากนัก และความต้องการใช้เพื่อผลิตมันเส้นเป็นวัตถุดิบ อาหารสัตว์มีแนวโน้มลดลง โดยผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอาหารสัตว์หันไปใช้กากมันสำปะหลังหรือ พืชทดแทนอื่นๆ เนื่องจากราคามันเส้นปรับตัวสูงขึ้น อย่างไรก็ตามประเทศไทยส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ได้แก่ มันเส้น มันอัดเม็ด และแป้งมันสำปะหลัง มีปริมาณและมูลค่าการส่งออกขยายตัวเพิ่มขึ้น 13.26% และ 12.76% ต่อปี ตามลำดับ (เชฐชุดา เชื้อสุวรรณ, 2561; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560ข)

ความต้องการใช้มันสำปะหลังภายในประเทศของไทย ปี 2560 เพิ่มขึ้นจากปี 2559 โดยเฉพาะอย่างยิ่งความต้องการใช้มันสำปะหลังเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ปัจจุบันมีโรงงานที่ใช้เฉพาะมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล 7 แห่ง ความต้องการใช้เพื่อผลิตแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นเนื่องจากใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องได้หลากหลาย และมันเส้นมีความต้องการใช้ใกล้เคียงกับ ปี 2559 ทั้งนี้ความต้องการใช้ภายในประเทศ มีประมาณร้อยละ 20 ที่เหลือร้อยละ 80 เป็นการส่งออก (เชฐชุดา เชื้อสุวรรณ, 2561; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560ข)

มูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของไทย (มันเส้น มันอัดเม็ด และแป้งมันสำปะหลัง) ปี 2559 ลดลงจากปี 2558 เนื่องจากราคาการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ลดลด ประกอบกับประเทศคู่ค้าหลัก คือ จีน ลดการนำเข้ามันเส้นจากไทย สาเหตุจากรัฐบาลจีนระบายสต็อกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ซึ่งมีราคาต่ำ ผู้ประกอบการแอลกอฮอล์จึงหันไปใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นวัตถุดิบในการผลิตมากขึ้น สำหรับการส่งออกแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากสามารถใช้ในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย ทั้งนี้ปัจจุบันจีนยังคงเป็นประเทศผู้นำเข้าผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของไทย เพื่อนำมันเส้นผลิต แอลกอฮอล์ และแป้งมันสำปะหลังในอุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560ข)

2.1.2 พื้นที่การเพาะปลูกมันสำปะหลัง

2.1.2.1 พื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทย

ปัจจุบันประเทศไทยมีเนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ขยายตัวเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากราคามันสำปะหลังอยู่ในเกณฑ์ดี ภาครัฐมีการดำเนินโครงการแทรกแซงตลาดมันสำปะหลังอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูก อย่างไรก็ตาม ในปี 2560 มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 8.71 ล้านไร่ ผลผลิต 30.50 ล้านตัน และผลผลิตต่อไร่ 3.50 ตัน โดยที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นภาคที่มีพื้นที่เพาะปลูกสูงที่สุด รองมาเป็นภาคกลาง และภาคเหนือ ตามลำดับ มีพื้นที่เพาะปลูกเท่ากับ 4.81 2.13 และ 1.98 ล้านไร่ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 53.92 23.88 และ 22.20 ของพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทย โดยการส่งออกมันเส้นและแป้งมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ส่วนการส่งออกมันอัดเม็ด มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอดีตไทยส่งออกมันอัดเม็ดไปสหภาพยุโรปเป็นหลัก แต่ปัจจุบันราคามันอัดเม็ด จากไทยไม่สามารถแข่งขันกับธัญพืชของสหภาพยุโรปได้ ประกอบกับการค้ามันอัดเม็ดที่ซบเซามาเป็น เวลานานทำให้การกระตุ้นความต้องการใช้มันอัดเม็ดมีค่าใช้จ่ายมาก แม้ว่าจะยังคงได้รับโควตานำเข้าในปริมาณเดิม ผู้ประกอบการไทยจึงหันไปหาตลาดใหม่ๆ ทดแทนปัจจุบันจีนเป็นประเทศผู้นำเข้าผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุด

ของไทย เนื่องจากมีความต้องการใช้มันเส้น เพื่อนำไปผลิตแอลกอฮอล์ และแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ

ตารางที่ 2.3 พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว และผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทยในปี 2560

Region	Area cultivated (rais)	Area harvested (rais)	Production (tonnes)
North	1,984,946	1,952,027	6,552,242
northeast	4,807,207	4,688,713	16,835,078
Central	2,126,239	2,073,731	7,107,870
Total	**8,918,392**	**8,714,471**	**30,495,190**

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560ก

2.1.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังมีราก 2 ชนิด คือ รากจริง และรากสะสมอาหารที่เรียกกันทั่วไปว่าหัว รากจริงเป็นระบบรากแบบ adventitious root system ส่วนหัว (tuber) ของมันสำปะหลัง คือ ส่วนรากที่ใช้เพื่อสะสมอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรต ในส่วน parenchyma cell รากสะสมอาหารมีปริมาณแป้งประมาณ 15-40 % มีกรดไฮโดรไซยานิก (HCN) หรือ กรดพรัสซิก (prussic acid) ซึ่งสะสมอยู่มากในส่วนของเปลือกมากกว่าเนื้อของหัว

ลักษณะของใบมันสำปะหลังเป็นใบเดี่ยว (simple leaf) การเกิดของใบจะหมุนเวียนรอบลำต้น (spiral) ก้านใบ (petiole) ต่อระหว่างลำต้นหรือกิ่งกับตัวแผ่นใบ ก้านใบอาจมีสีเขียวหรือสีแดงขึ้นอยู่กับพันธุ์ ตัวใบหรือแผ่นใบ (lamina) จะเว้าเป็นหยักลึกเป็นแฉก (palmately lobe) จำนวนหยักมีตั้งแต่ 3-9 หยัก ที่โคนก้านใบติดกับลำต้นมีหูใบ (stipule)

มันสำปะหลังเป็นไม้เนื้อแข็ง ลำต้นตั้งตรง เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 2-6 เซนติเมตร สีของลำต้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความสูงของต้น 1-5 เมตร ขึ้นกับพันธุ์ โดยพันธุ์ที่ไม่แตกกิ่งต้นจะสูง ส่วนพันธุ์ที่แตกกิ่งต้นจะสูงน้อยกว่า การแตกกิ่งของมันสำปะหลังจะแตกออกเป็น 2 กิ่ง (dichotomous branching) หรือ 3 กิ่ง (trichotomous branching) กิ่งที่แตกออกจากลำต้นหลักเรียกว่า กิ่งชุดแรก (primary branch) ส่วนกิ่งที่แตกออกจาก กิ่งชุดแรก เรียกว่า กิ่งชุดที่สอง (secondary branch) บนลำต้นหรือกิ่งของมันสำปะหลังจะเห็นรอยหลุดร่วงของก้านใบ เรียกว่า รอยแผลใบ (leaf scar) ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างก้านใบกับลำต้นหรือกิ่ง ระยะระหว่างรอยแผลใบ 2 รอยต่อกันเรียกว่าความยาวของชั้น (storey length) ด้านบนเหนือรอยแผลใบจะมีตา (bud) ซึ่งจะงอกเป็นต้นใหม่เมื่อนำท่อนพันธุ์ไปปลูก

มันสำปะหลังมีช่อดอกแบบ panicle คือมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกัน (รูปที่ 2.2) ดอกตัวผู้ (staminate flower) มักเกิดบริเวณส่วนยอดของช่อดอก มีก้านดอก (pedicel) กลีบรองดอก หรือกลีบเลี้ยง (sepal) 5 กลีบ ภายในดอกมีเกสรตัวผู้ (stamen) 10 อัน ดอกตัวเมีย (pistillate flower) มักเกิดอยู่บริเวณส่วนโคนของช่อดอก ไม่มีกลีบดอก แต่มีกลีบรองดอกหรือกลีบเลี้ยง 5 กลีบ เช่นเดียวกับดอกตัวผู้ ตรงกลางจะเป็นเกสรตัวเมีย (pistil) และรังไข่ (ovary) หลังการผสมเกสรแล้ว รังไข่ก็จะเจริญเติบโตขยายใหญ่กลายเป็นผลแบบ โตเต็มที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ซม. ยาว 1-1.5 ซม. ภายในมี 3 ช่อง แต่ละช่องมีเมล็ด 1 เมล็ด รูปร่างยาวรี มีสีน้ำตาลและมีลายดำ เมื่อแก่จะแตกและดีดเมล็ดกระเด็นออกไป

ขยายพันธุ์โดยใช้ท่อนพันธุ์ปักลงในดิน คือ ใช้ส่วนของลำต้นที่มีอายุตั้งแต่ 6 เดือน ขึ้นไป นำมาตัดเป็นท่อนให้มีขนาดยาว 20-30 ซม. (มีตาประมาณ 7 – 10 ตา) แล้วปักลงในดินไม่นิยมปลูกด้วยเมล็ดเนื่องจากมันสำปะหลังไม่ค่อยติดเมล็ด และเก็บเมล็ดลำบาก เพราะฝักแก่จะแตกทำให้เมล็ดร่วง เมล็ดมีระยะพักตัวกว่า 2 เดือน ต้องเพาะต้นกล้าก่อนย้ายปลูก นาน 1 เดือน และ มักเกิด inbreeding ได้ง่ายและใช้เวลาปลูกนานกว่า การปลูกด้วยเมล็ดจึงทำเฉพาะในโครงการผสมพันธุ์และปรับปรุงพันธุ์เท่านั้น (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559)

2.1.4 ระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

ระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังแบ่งออกเป็น 5 ระยะ คือระยะที่ 1 ระยะท่อนพันธุ์งอกและตั้งตัว อยู่ในช่วงระยะเวลา 15-30 วันหลังปลูก ในระยะแรกนี้อัตราการงอกขึ้นอยู่กับปริมาณแป้งและธาตุอาหารเดิมที่มีอยู่ในท่อนพันธุ์ (Howeler, 2014) ระยะที่ 2 ระยะพัฒนาทรงพุ่ม และรากฝอย เริ่มต้นตั้งแต่ 30 วันหลังปลูก เป็นระยะที่เริ่มแตกกิ่งก้านและสร้างใบ รากเริ่มดูดใช้น้ำและธาตุอาหารจากดิน นอกจากนี้ใบเริ่มสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างแป้ง และน้ำตาลช่วยให้พืชเจริญเติบโต (Howeler, 2014) ระยะที่ 3 ระยะพัฒนารากและสะสมอาหาร เริ่มตั้งแต่เดือนที่ 3-6 เป็นระยะที่มันสำปะหลังเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จึงเป็นระยะที่มันสำปะหลังต้องการธาตุอาหารมากที่สุด ระยะนี้มันสำปะหลังจะลำเลียงแป้งไปสะสมไว้ที่หัว ระยะที่ 4 ระยะพักตัว เป็นช่วงที่มันสำปะหลังชะงักการเจริญเติมโต และมีการทิ้งใบหลังจากเดือนที่ 4-6 และระยะที่ 5 ระยะฟื้นตัว มันสำปะหลังจะนำเอาอาหารจากหัวขึ้นมาสร้างใบใหม่ การปลูกมันสำปะหลังจะไม่ปล่อยไปจนถึงระยะที่ 5 ควรขุดขึ้นมาในช่วงอายุ 10 – 14 เดือน หรือต่ำกว่าตามความเหมาะสม (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559)

2.1.5 สภาพแวดล้อมที่เหมาะกับการปลูกมันสำปะหลัง

ดินปลูกมันสำปะหลังควรมีหน้าดินลึกไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร เนื้อดินเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย หรือดินทราย มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง (ตารางที่ 2.4) โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 4.5-7.0 มีอินทรียวัตถุไม่ต่ำกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 4-15

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 58.6-97.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 200-1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 48-120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กำมะถันที่เป็นประโยชน์ 40-70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โบรอนที่สกัดได้เท่ากับ 0.5-1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทองแดงที่สกัดได้เท่ากับ 0.3-1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมงกานีสและเหล็กที่สกัดได้เท่ากับ 10-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสีที่สกัดได้ 1.0-1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีการระบายน้ำดีและถ่ายเทอากาศดี มีค่าความเป็นกรดด่างระหว่าง 5.5-7.5 โดยทั่วไปมันสำปะหลังจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิระหว่าง 25-29 องศาเซลเซียส แต่สามารถทนอุณหภูมิได้สูงถึง 38 องศาเซลเซียส (Howeler, 2014) ปริมาณน้ำฝนกระจายสม่ำเสมอ 1,000 -1,500 มิลลิเมตรต่อปี มีการเตรียมดินอย่างถูกวิธี และปรับปรุงดินเพื่อรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินอย่างสม่ำเสมอ (ชยพร แอคะรัจน์, 2558; สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2561)

ตารางที่ 2.4 ลักษณะดินทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินที่มันสำปะหลังต้องการ

Soil Parameter	**very low**	**low**	**medium**	**high**	**very high**
pH[1]	<3.5	3.5-4.5	4.5-7.0	7-8	>8
Organic matter[2] (g/100g)	<1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	>4.0	
Available P[3] (mg/kg)	<2	2-4	4-15	>15	
Exchangeable K[4] (mg/kg)	<39.1	39.1-58.6	58.6-97.8	>97.8	
Exchangeable Ca[4] (mg/kg)	<50	50-200	200-1000	>1000	
Exchangeable Mg[4] (mg/kg)	<24	24-48	48-120	>120	
Available S[5] (mg/kg)	<20	20-40	40-70	>70	
Extractable B[6] (mg/kg)	<0.2	0.2-0.5	0.5-1.0	1-2	>2
Extractable Cu[7] (mg/kg)	<0.1	0.1-3.0	0.3-1.0	1-5	>5
Extractable Mn [7](mg/kg)	<5	5-10	10-100	100-250	>250
Extractable Fe[7] (mg/kg)	<1	1-10	10-100	>100	
Extractable Zn[7] (mg/kg)	<0.5	0.5-1.0	1.0-5.0	5-50	>50

[1] soil: water, 1:1 [2] Walkley and Black method [3] Bray II [4] 1*N* NH_4-acetate

[5] Ca-phosphate [6] hot water [7] 0.05*N* HCl+ 0.025*N* H_2SO_4

ที่มา: Howeler, 2014

ควรไถดินลึก 20-30 เซนติเมตร การไถควรทำ 1-2 ครั้ง ด้วยผาน 3-4 สลับกับผาน 7 ตากดินทิ้งไว้ 7-10 วัน แล้วคราดเก็บเศษซาก ราก เหง้า หัว ไหลของวัชพืชข้ามปี ออกจากแปลง พื้นที่ลุ่มหรือลาดเอียง ให้ยกร่องขวางแนวลาดเอียง ความสูงสันร่องประมาณ 30-40 เซนติเมตร ระยะ

ระหว่างร่อง 80 เซนติเมตร สำหรับพื้นที่ราบไม่ต้องยกร่อง พื้นที่ลาดเอียงมากกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังต่อเนื่องเป็นเวลานาน ควรเพิ่มอินทรียวัตถุเพื่อปรับปรุงดิน โดยหว่านปุ๋ยมูลไก่ที่ย่อยสลายดีแล้ว อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทุก 2 ปี หรือ ควรปลูกพืชบำรุงดิน เช่น ปอเทือง หรือถั่วพุ่ม อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ โดยโรยเป็นแถว ระยะระหว่างแถว 50 เซนติเมตร หรือปลูกถั่วพร้าอัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ ระยะระหว่างแถว 50-100 เซนติเมตร แล้วไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสดเมื่ออายุประมาณ 2 เดือน ก่อนปลูกมันสำปะหลังทุกปี (ชยพร แอคะรัจน์, 2558; กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561)

มันสำปะหลังสามารถปลูกได้ตลอดปี แต่ส่วนใหญ่ปลูกอยู่ 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงต้นฤดูฝน (มีนาคม-พฤษภาคม) มักจะได้ผลผลิตสูง ปลายฤดูฝนหรือในฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) และฤดูฝน (มิถุนายน-ตุลาคม)

ระยะปลูกที่เหมาะสมสำหับมันสำปะหลัง คือ 80x80 หรือ 80x100 หรือ 100x100 เซนติเมตร จำนวนต้น 1,600 - 2,500 ต้นต่อไร่ กรณียกร่องปลูก ให้ปลูกบนสันร่อง ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ปลูกควรได้จากต้นที่มีอายุตั้งแต่ 8 เดือนขึ้นไป และไม่ควรเกิน 18 เดือน ขนาดของท่อนพันธุ์ใหม่สด ปราศจากโรคแมลง ตัดต้นพันธุ์ ตัดท่อนพันธุ์ยาวประมาณ 20 เซนติเมตร เมื่อปลูกในฤดูฝน และตัดต้นพันธุ์ยาวประมาณ 25 เซนติเมตร เมื่อปลูกในช่วงปลายฤดูฝน โดยท่อนพันธุ์จะต้องมีตาอย่างน้อย 5-7 ตาต่อท่อนพันธุ์ ปักท่อนพันธุ์ตั้งตรง ลึกประมาณ 10 เซนติเมตร (ชยพร แอคะรัจน์, 2558; กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561)

คำแนะนำปุ๋ยสำหรับมันสำปะหลัง โดยทั่วไปกรมวิชาการเกษตร (2545ก) แนะนำให้ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร15-7-18 หรือสูตร 15-15-15 หรือ 16-8-14 อัตรา 70 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับดินร่วน หรือดินร่วนปนทราย และอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับดินทราย หลังจากใช้ปุ๋ยตามคำแนะนำติดต่อกัน 2-3 ปี ควรทำการตรวจสอบวิเคราะห์สภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพราะอัตราปุ๋ยที่จะใช้ในปีถัดไปอาจจะต้องเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากผลตกค้างของปุ๋ยในปีก่อน ผลการใช้ปุ๋ยจะมีประสิทธิภาพเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ตลอดจนการควบคุมวัชพืชและความชุ่มชื้นของดินตลอดฤดูปลูกด้วย (ชยพร แอคะรัจน์, 2558; กรมวิชาการเกษตร, 2545ก)

ระยะที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง คือ 12-18 เดือนหลังปลูก ไม่ควรเก็บเกี่ยวในช่วงที่มีฝนชุก เนื่องจากหัวมันสำปะหลังจะมีเปอร์เซ็นต์แป้งต่ำ วิธีการเก็บเกี่ยว 1) ใช้แรงงานคนใช้มีดตัดต้นเหนือระดับพื้นดินประมาณ 30 เซนติเมตร ถอน ใช้จอบขุด หรือเครื่องมือขุดหัวมันสำปะหลัง ตัดแยกส่วนของหัวมันสำปะหลังออกจากต้น หรือเหง้า 2) ใช้เครื่องทุ่นแรง ในพื้นที่ที่มีปัญหาขาดแคลนแรงงานจะมีการใช้เครื่องทุ่นแรงติดท้าย รถแทรกเตอร์ สำหรับการพลิกหน้าดินเพื่อให้หัวมันสำปะหลังหลุดจากดิน จากนั้นใช้แรงงานคนเดินตามไปตัดหัวมันออกจากเหง้า หลัง

เก็บเกี่ยวแล้ว ควรปล่อยให้ใบและยอดมันสำปะหลังคลุมดิน เพื่อเป็นปุ๋ยพืชสด จะช่วยให้ดินร่วน มีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศดี (ชยพร แอคะรัจน์, 2558; กรมวิชาการเกษตร, 2545ก)

2.1.6 มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ระยอง 9

พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (KU50) ยอดอ่อนจะมีสีม่วงไม่มีขน ก้านใบสีเขียวอมม่วง ลักษณะใบเป็นใบหอก ความสูงอยู่ประมาน 150 cm ลำต้นมีสีเขียวน้ำเงิน เนื้อหัวมีสีขาว ส่วนเปลือกของหัวเป็นสีน้ำตาลอ่อน ลักษณะหัวมีขนาดสม่ำเสมอ เปอร์เซ็นต์แป้งอยู่ระหว่าง 23-28% ผลผลิตประมาณ 4.4 tones/rai ลักษณะเด่นคือ สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี มีอัตราการงอกดี มีปริมาณแป้งสูง และมีการดูดใช้ธาตุอาหารน้อยเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นๆ ข้อจำกัด คือ มีการแตกกิ่งค่อนข้างดี ส่งผลต่อการปฏิบัติดูแลรักษา

พันธุ์ระยอง 9 (RY9) ยอดอ่อนจะมีสีเขียว ก้านใบสีเขียวอมชมพู ลักษณะใบเป็นใบหอก ความสูงอยู่ประมาน 160-190 cm ลำต้นมีสีน้ำตาลอมเหลือง เนื้อหัวมีสีขาว ส่วนเปลือกของหัวเป็นสีน้ำตาลอ่อน ลักษณะหัวเรียวยาว เปอร์เซ็นต์แป้งอยู่ระหว่าง 24-31% ผลผลิตประมาณ 4.9 tones/rai ลักษณะเด่น คือ ต้านทานโรค ผลผลิตและปริมาณแป้งสูง ข้อจำกัด คือ ไม่ต้านทานไรแดง ไม่เหมาะกับการเก็บเกี่ยวก่อนอายุ 12 เดือน และมีการดูดใช้ธาตุอาหารค่อนข้างสูง (กรมวิชาการเกษตร, 2560ข)

2.2 ธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันในดิน

2.2.1 ธาตุไนโตรเจน

ไนโตรเจนจัดเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการปริมาณมาก (macronutrient elements) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบหลายชนิดในพืช เช่น โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลิอิกและวิตามิน เป็นต้น (Sullivan, 2010; ยงยุทธ โอสถสภา, 2546) เมื่อพืชได้รับธาตุนี้ในปริมาณที่พอเพียงแล้วพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี มีความแข็งแรงโดยเฉพาะที่ใบ ปริมาณไนโตรเจนที่พืชต้องการอยู่ระหว่าง 2-5% ของน้ำหนักแห้งขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ไนโตรเจนเป็นธาตุที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชให้ตั้งตัวได้เร็วในระยะแรก นอกจากนั้นยังช่วยทำให้ผลผลิตของพืชมีคุณภาพด้วย (Sullivan, 2010; Bryson and Mills, 2015) อาการผิดปกติของพืชเมื่อขาดธาตุไนโตรเจนมีการแสดงออกอย่างรวดเร็ว เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ภายในพืช อาการผิดปกติเมื่อพืชขาดจะแสดงออกที่ใบแก่ก่อน กล่าวคือ ใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือสีเหลืองอมส้ม หรือสีเขียวอ่อน หรือสีขาว ซึ่งลักษณะอาการดังกล่าวนี้เรียกว่าคลอโรซีส (chlorosis) นอกจากนี้ที่ปลายใบและขอบใบจะค่อย ๆ แห้งและลุกลามเข้ามาเรื่อยๆ จนในที่สุดใบที่แสดงอาการผิดปกติจะร่วงหล่นจากลำต้นก่อนเวลาอันสมควร นอกจากอาการผิดปกติจะเกิดขึ้นที่ใบแล้ว

ที่ส่วนอื่น ๆ เช่น ลำต้นยังอาจมีสีเหลือง บางครั้งก็มีสีชมพูเจือปน ลำต้นผอมสูง กิ่งก้านลีบเล็กและมีจำนวนน้อยกว่าปกติ พืชเจริญเติบโตช้ามาก (Bryson and Mills, 2015; ยงยุทธ โอสถสภา, 2546)

ไนโตรเจนในดินได้มาจากกระบวนการตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ดิน และสิ่งมีชีวิตและได้มากับน้ำฝน แหล่งธาตุไนโตรเจนในดินที่สำคัญ คือ อินทรียวัตถุ ซึ่งอินทรียวัตถุจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ดินชนิดต่างๆ จะทำให้ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอนินทรียไนโตรเจน รูปของไนโตรเจนในดินซึ่งแบ่งออกเป็น 2 รูป คือ (Hofman and Cleemput, 2004)

1) อินทรียไนโตรเจน พบว่ามีอยู่ประมาณร้อยละ 97 – 98 ของไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ได้แก่ โปรตีน 20-40% กรดอะมิโน (5-10%) กรดนิวคลิอิก และสารประกอบเชิงซ้อนต่างๆ ไนโตรเจนรูปนี้พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรง ต้องถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจนก่อน (Hofman and Cleemput, 2004)

2) อนินทรีย์ไนโตรเจน พบว่ามีประมาณร้อยละ 2 – 3 ของไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ได้แก่ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ไนเตรทไอออน (NO_3^-) และไนไตรต์ไอออน (NO_2^-) รูปของก๊าซต่าง ๆ ประกอบด้วย ไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ซึ่งเป็นรูปของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยตรง (Hofman and Cleemput, 2004)

2.2.2 ธาตุโพแทสเซียม

ดินโดยทั่วไปจะมีธาตุโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่มากกว่าธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เนื่องจากหินและแร่หลายชนิดเป็นวัตถุต้นกำเนิดดินจะมีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ดินประเภทต่าง ๆ จะมีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ ประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วัตถุต้นกำเนิดดิน โพแทสเซียมแบ่งออกเป็น 3 รูป ที่สำคัญคือ

1) โพแทสเซียมที่ไม่เป็นประโยชน์ (Relatively unavailable K) โพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ชนิดต่าง ๆ ในดิน (Sefa and Kwakye, 2004)

2) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อย่างช้าๆ (Slowly available (fixed) K) โพแทสเซียมส่วนที่ถูกตรึงเอาไว้โดยอนุภาคดินเหนียวซึ่งโพแทสเซียมส่วนที่ถูกตรึงอยู่นี้จะอยู่ในสภาพไอออนที่ถูกดูดยึดเอาไว้ด้วยแรงจำนวนมากระหว่างแร่ดินเหนียว 2 อนุภาค ดังนั้นการที่จะทำให้โพแทสเซียมถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับ ชนิดของแร่ดินเหนียวที่ตรึงโพแทสเซียม (Sefa and Kwakye, 2004)

3) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Readily available K) โพแทสเซียมรูปนี้จะอยู่ในสภาพของไอออน ที่มีประจุบวกละลายอยู่ในสารละลายดิน และจะดูดยึดอยู่กับผิวของคอลลอยด์ดิน โดยเฉพาะแร่ดินเหนียวพืชสามารถใช้ประโยชน์ของโพแทสเซียมรูปนี้ได้ทันที โดยดูดเข้าไปทางราก แต่โพแทสเซียมรูปนี้ก็มีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปอื่นๆ (Sefa and Kwakye, 2004)

โพแทสเซียมในดินสูญเสียได้จากกระบวนการชะชาล กัดกร่อน และการไหลบ่าของหน้าดิน ดังนั้นการจัดการเกี่ยวกับธาตุโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกพืชจึงมีความสำคัญ (Mouhamad *et al*., 2016) ดินเนื้อดินละเอียดที่จัดอยู่ในกลุ่มของดินเหนียวส่วนใหญ่มักมีปริมาณธาตุโพแทสเซียมเพียงพอต่อการปลูกพืชไม่จำเป็นต้องเพิ่มเติมโดยการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอีกหรือใส่ปริมาณเพียงเล็กน้อย ส่วนดินเนื้อหยาบ เช่น ดินร่วนและดินทราย อาจจะต้องใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในปริมาณที่มากกว่าในดินเหนียว โดยเฉพาะในดินทรายอาจจะต้องใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มมากขึ้น นอกเหนือจากการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมโดยตรงแล้ว การจัดการดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ก็ช่วยลดการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมให้น้อยลงได้ (Sefa and Kwakye, 2004)

2.2.3 ธาตุกำมะถัน

กำมะถันที่พบบนเปลือกโลก ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปซัลไฟด์ (sulfide) และซัลเฟต (sulfates) แร่ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่จะเป็นองค์ประกอบของหินอัคนีที่ผุพังสลายตัวในรูปของโลหะซัลไฟด์ กำมะถันบางส่วนได้มาจากซากพืชซากสัตว์ซึ่งสะสมอยู่ในรูปของอินทรีย์กำมะถัน บางส่วนได้มาจากการละลายมากับน้ำฝนของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และกำมะถันบางส่วนได้จากการใส่ปุ๋ยลงไปในดิน (Mclaughlin, 2007) รูปของกำมะถันในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช มี 2 รูปดังนี้

1) อนินทรีย์กำมะถันมีอยู่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของกำมะถันในดิน ในภูมิอากาศแบบชื้น กำมะถันจะอยู่ในรูปของอนุมูลซัลเฟตละลายอยู่ในสารละลายดิน และมีบางส่วนจะดูดยึดอยู่กับคอลลอยด์ของดิน ในภูมิอากาศแบบแห้งแล้ง หรือกึ่งแห้งแล้ง กำมะถันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปซัลไฟด์ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และเฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) ในภูมิอากาศแบบฝนตกชุก(ดินนา) กำมะถันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปซัลไฟด์ (Germida and Wainwright, 1991)

2) อินทรีย์กำมะถัน พบได้ในกรดอะมิโนชนิด เมไทโอนีน (methiomine) และ ซีสทีน (cysteine) ซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์สำหรับพืช จะเป็นประโยชน์แก่พืชเมื่อจุลินทรีย์ในดินเปลี่ยนอินทรีย์กำมะถันให้อยู่ในรูปของอนินทรียกำมะถัน โดยผ่านกระบวนการ mineralization ซึ่งมีปฏิกิริยาที่สำคัญ 2 ปฏิกิริยาคือ ปฏิกริยาออกซิเดชัน (oxidation) และปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) (Germida and Wainwright, 1991)

2.2.4 ความต้องการธาตุอาหารไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันของมันสำปะหลัง

การวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการประเมินระดับและสถานะของธาตุอาหารในดิน โดยนำค่าที่วิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานว่าแต่ละธาตุอยู่ในระดับที่ขาด เพียงพอ หรือมากเกินไปสำหรับพืช เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการดินสำหรับการเพาะปลูกพืช

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีอายุค่อนข้างยาวกว่าพืชไร่ชนิดอื่น แม้ว่าธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินจะมีอยู่อย่างพอเพียง แต่พืชอาจมีระดับธาตุอาหารไม่เพียงพอหรือไม่สมดุล ทำให้พืชอาจมีการขาดธาตุอาหารแอบแฝง (hidden hunger) โดยที่ยังไม่แสดงอาการให้เห็นถ้าการขาดธาตุอาหารไม่รุนแรง การวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบพืชและนำผลวิเคราะห์มาเทียบกับค่ามาตรฐาน จะบอกให้ทราบได้ว่าพืชมีระดับธาตุอาหารอยู่ในระดับใด ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลังจึงสามารถใช้บ่งชี้สถานะของธาตุอาหารได้ ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของมันสำปะหลังถูกแสดงในตารางที่ 2.5 นอกจากนี้การพิจารณาสถานะของธาตุอาหาร สามารถทำได้โดยการใช้สัดส่วนของธาตุอาหาร โดยจะเห็นได้ว่าสัดส่วนระหว่างไนโตรเจนต่อโพแทสเซียมในระดับที่เพียงพอถึงในระดับสูงอยู่ที่ 1:2.4-3.6 ในขณะที่สัดส่วนระหว่างไนโตรเจนต่อกำมะถันในระดับที่เพียงพอถึงในระดับสูงอยู่ที่ 1:16-17 (Howeler, 2014)

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบบนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (youngest fully-expanded leaves: YFEL) ของมันสำปะหลังที่อายุ 3-4 เดือน : ข้อมูลเฉลี่ยของการทดลองภายในโรงเรือน

Nutrient	Nutritional status					
	very deficient	deficient	low	sufficient	high	toxic
Total N (g/100g)	<4.0	4.1-4.8	4.8-5.1	5.1-5.8	>5.8	-
Total P (g/100g)	<0.25	0.25-0.36	0.36-0.38	0.38-0.50	>5.0	
Total K (g/100g)	<0.85	0.85-1.26	1.26-1.42	1.42-1.88	1.88-2.40	>2.40
Total Ca (g/100g)	<0.25	0.25-0.41	0.41-0.50	0.50-0.72	0.72-0.88	>0.88
Total Mg (g/100g)	<0.15	0.15-0.22	0.22-0.24	0.24-0.29	>0.29	-
Total S (g/100g)	<0.20	0.20-0.27	0.27-0.30	0.30-0.36	>0.36	-
Total B (mg/kg)	<7	7-15	15-18	18-28	28-64	>64
Total Cu (mg/kg)	<1.5	1.5-4.8	4.8-6.0	6-10	10-15	>15
Total Fe (mg/kg)	<100	100-110	110-120	120-140	140-200	>200
Total Mn (mg/kg)	<30	30-40	40-50	50-150	150-250	>250
Total Zn (mg/kg)	<25	25-32	32-35	35-57	57-120	>120

ที่มา : Howeler, 2014

2.3 อิทธิพลของไนโตรเจน โพแทสเซียมและกำมะถันที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

2.3.1 ธาตุไนโตรเจน

การปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานานรวมทั้งการจัดการดินหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่ถูกต้องและเหมาะสม เช่น การเคลื่อนย้ายเศษซากพืชออกไปจากพื้นที่ หรือการเผาเศษซากพืช ส่งผลให้สูญเสียธาตุไนโตรเจนไปจากดิน นอกจากนี้ไนโตรเจนยังสูญเสียไปจากดินได้การกระบวนชะละลาย การไหลบ่าหรือการกัดกร่อนของดิน และการสูญเสียไปในรูปของก๊าซ ซึ่งจากการสูญเสียไนโตรเจนไป และไม่มีการเพิ่มเติมโดยการใส่ปุ๋ยอาจส่งผลให้ปริมาณธาตุไนโตรเจนไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช ถึงแม้ว่าธาตุไนโตรเจนในดินจะได้รับเพิ่มจากการละลายมากับน้ำฝน และการตรึงของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตในดิน แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช การใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารและรักษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินจึงมีความจำเป็น ซึ่งการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงในดินต้องปฏิบัติอย่างระมัดระวัง โดยเฉพาะการเลือกชนิดของปุ๋ยไนโตรเจน ปริมาณที่ต้องการใส่ จำนวนครั้งในการแบ่งใส่ ตลอดจนช่วงเวลาที่เหมาะสมในการใส่ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงชนิดของพืชและดินด้วย (Hofman and Cleemput, 2004)

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของโปรตีน คลอโรฟิลล์ เอนไซม์ ฮอร์โมน และวิตามิน มันสำปะหลังที่ขาดไนโตรเจนจะเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ ในบางพันธุ์การขาดไนโตรเจนอย่างรุนแรงจะทำให้ใบพืชมีสีเหลืองเรียกว่า chlorosis ทั่วทั้งต้นพืช Forno (1977) รายงานว่าการขาดไนโตรเจนในมันสำปะหลังจะแสดงอาการ chlorosis ที่ปรากฏทางใบเพียงเล็กน้อยในขณะที่ข้าวฟ่าง ข้าวโพดและฝ้ายจะแสดงอาการอย่างรุนแรง การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่ขาดไนโตรเจนจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับ Lozano *et al*. (1981) ที่ไม่พบอาการขาดไนโตรเจนในมันสำปะหลังนอกจากการเจริญเติบโตที่ช้าลง อย่างไรก็ตามอาจขึ้นอยู่กับพันธุ์ มันสำปะหลังบางพันธุ์จะแสดงอาการ chlorosis อย่างชัดเจนในขณะที่บางพันธุ์ใบยังคงเป็นสีเขียวเข้มแต่การเจริญเติบโตของช้าลง อาการขาดไนโตรเจนมักพบในดินทรายที่มีอินทรียวัตถุต่ำ แต่ในบางกรณีอาจพบอาการขาดไนโตรเจนแม้ในดินมีอินทรียวัตถุสูงแต่ดินเป็นกรดซึ่งทำให้อัตราการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนจากอินทรียวัตถุต่ำ

Sangakkara and Wijesinghe (2014) ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตผลผลิต และประสิทธิภาพของไนโตรเจนที่ถูกนำกลับมาใช้ในมันสำปะหลัง พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้ดัชนีพื้นที่ใบที่อายุ 100 วันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การใช้ธาตุอาหารอย่างเต็มที่ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในช่วงแรกภายใต้ระบบฟาร์มของเกษตรกรรายย่อยในเอเชียรายงานไว้โดย Cardoso *et al*. (2005) โดยทั่วไปการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 90 และ 150 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ ทำให้ดัชนีพื้นที่ใบสูงสุด จำนวนหัวและผลผลิตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้

Cardoso *et al*. (2005) พบว่าเกษตรกรเลือกใช้ไนโตรเจนอัตราสูงเนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นชัดเจน และการแบ่งใส่ปุ๋ย 2 ครั้งมีวามเหมาะสมมากกว่าการใส่ครั้งเดียวหรือแบ่งใส่สามครั้ง โดยทำให้พืชการเจริญเติบโตและมีผลผลิตดี นอกจากนี้ยังเป็นการรักษาระดับธาตุอาหารในดินในระยะยาว ดังนั้นการใช้ไนโตรเจนที่ 90 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ แบ่งใส่ 2 ครั้งหลังปลูกและหลังพืชอายุ 45 วันในอัตราครั้งละ 45 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ ทำให้มีจำนวนหัวและน้ำหนักหัวสูงที่สุด ประสิทธิภาพการนำไนโตรเจนมาใช้ (Nitrogen recovery) และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงที่สุดอีกด้วย

นอกจากนี้งานทดลองของ Sangakkara and Wijesinghe (2014) พบว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้จำนวนหัวและผลผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Cardoso *et al*. (2005) ซึ่งกล่าวว่าไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืชหัว โดยเฉพาะในการเจริญเติบโตในช่วงแรกของมันสำปะหลัง (Sangakkara and Wijesinghe, 2014) โพแทสเซียมมีความสำคัญในด้านส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก ทำให้รากดูดน้ำ และธาตุอาหารได้ดีขึ้น จำเป็นต่อการสร้างเนื้อผลไม้ การสร้างแป้งของผล และหัว นอกจากนี้ปุ๋ยธาตุรองและจุลธาตุก็มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังด้วย จากงานทดลองของ Panitnok *et al*. (2013) พบว่าการใช้ปุ๋ยกำมะถันทางใบมีแนวโน้มจะเพิ่มจำนวนหัวต่อต้น และปริมาณแป้งในหัวของมันสำปะหลัง

2.3.2 ธาตุโพแทสเซียม

ธาตุโพแทสเซียมเป็นธาตุที่สำคัญรองมาจากไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โพแทสเซียมมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช มีบทบาทหน้าที่ในการรักษาความเป็นกลางของโมเลกุล การปลุกฤทธิ์เอมไซม์ การสังเคราะห์โปรตีน การสังเคราะห์แสง การควบคุมศักย์ออสโมซิส การเปิดปิดปากใบ และการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารภายในเซลล์ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2546) โดยทั่วไปความต้องการโพแทสเซียมของพืชอยู่ระหว่าง 2-5% ของน้ำหนักแห้ง อาการขาดธาตุโพแทสเซียมจะปรากฏในใบแก่ก่อนเนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนได้ง่าย ในใบจะเกิดอาการคลอโรซีส (chlorosis) หรือนีโครซิส (necrosis) มีอาการใบสีเหลืองซีดต่อมาจะกลายเป็นจุดแห้งตาย (necrotic lesion) พืชอาจล้มง่ายเนื่องจากการสะสมลิกนินในกลุ่มท่อลำเลียงน้อยกว่าปกติ นอกจากนี้การขาดโพแทสเซียมอาจส่งผลให้พืชเหี่ยวเฉาง่ายถ้าความชื้นในดินมีอยู่อย่างจำกัด และพืชจะเป็นโรคง่ายอ่อนแอต่อโรค (ยงยุทธ โอสถสภา, 2546) การขาดโพแทสเซียมพบโดยทั่วไปในดินเขตร้อนที่มีอนุภาคดินเหนียวต่ำโพแทสเซียมจะสูญเสียไปอย่างรวดเร็วจากการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง การทดลองในระยะยาวในแถบเอเชียแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าโพแทสเซียมเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในดินที่ไม่ได้รับปุ๋ยโพแทสเซียมอย่างเพียงพอ (Howeler, 2014)

Blin (1905) รายงานว่าการให้โพแทสเซียมไม่ได้เพิ่มขึ้นเพียงผลผลิตมันสำปะหลังแต่ยังทำให้ปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นด้วย Howeler (1985) รายงานว่า ปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นตามปริมาณโพแทสเซียมที่มากขึ้น โดยทั่วไปปริมาณแป้งเพิ่มสูงสุดเมื่อมีการใส่โพแทสเซียมที่อัตรา 80-100 กิโลกรัมโพแทสเซียมต่อเฮกตาร์ (12.8-16 กิโลกรัมโพแทสต่อไร่) และจะลดลงเมื่อโพแทสเซียมสูงมากขึ้น Obigbesan (1973) และ Kabeerathumma *et al*. (1990) รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของโพแทสเซียมจะทำให้ความเข้มข้นของกรดไฮโดรไซยานิคในหัวลดลง และ Payne and Webster (1956) พบว่ากรดไฮโดรไซยานิคในหัวมันสำปะหลังต่ำในดินที่มีโพแทสเซียมต่ำ

2.3.3 ธาตุกำมะถัน

กำมะถันเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญมากในระบบการเกษตรทั่วโลก กำมะถันเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของกรดอะมิโนหลายชนิดดังนั้นจึงมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน ในพื้นที่อุตสาหกรรมจะไม่พบปัญหาการขาดกำมะถันมากนักเนื่องจากในย่านอุตสาหกรรมมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เพียงพอที่จะช่วยให้พืชไม่ขาดแคลนกำมะถัน แต่ในพื้นที่ที่ห่างไกลจากอุตสาหกรรมอาจมีผลให้มันสำปะหลังขาดกำมะถันได้ ค่าวิกฤตของกำมะถันอยู่ที่ 0.27%-0.33% (Howeler, 2014) อาการขาดธาตุกำมะถันทำให้การเจริญเติบโตและขนาดของใบพืชจะเล็กลง บางครั้งใบอ่อนจะมีสีเหลืองซีด ถ้าขาดอย่างรุนแรง ใบจะเหี่ยวย่น ลำต้นเล็ก ธาตุกำมะถันพืชต้องการในปริมาณที่น้อยกว่า ธาตุอาหารหลัก โดยปกติแล้วดินมักจะไม่ค่อยขาด ธาตุกำมะถันอาจจะสูญเสียไปจากดินในส่วนที่ติดไปกับผลผลิตของพืช หรือกระบวนการชะละลาย (leaching) ตลอดจนการระเหยไปในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้ดินมีโอกาสขาดธาตุกำมะถันได้ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2546)

ในอดีตกำมะถันได้รับมาจากบรรยากาศทำให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่อุตสาหกรรมทางซีกโลกเหนือ (Eriksen, 2008) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกำมะถันในดินเขตกึ่งร้อนของออสเตรเลียจากการปลูกพืชระยะยาว พบว่าการลดลงของกำมะถันในเนื้อเยื่อพืชหรือดินมาจากการลดลงของกำมะถันในบรรยากาศและการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในปริมาณสูงก็ทำให้ขาดแคลนกำมะถันด้วย Wang *et al*. (2006) พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของกำมะถันและระยะเวลาในการเพาะปลูก การเพาะปลูกในระยะยาวทำให้กำมะถันในดินลดลง 30% Bettany *et al*. (1980) พบว่าการเพาะปลูกต่อเนื่องในระยะยาวถึง 65 ปี สามารถลดระดับกำมะถันในดินได้ถึง 38% การปลูกพืชอย่างต่อเนื่องในระยะเวลา 30 ปีกำมะถันลดลงถึง 50% และการเพาะปลูกระยะยาว (มากกว่า 70ปี) ทำให้ความเข้มข้นของกำมะถันในดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามการเพาะปลูกเป็นเวลานานทำให้อัตราการย่อยสลายอินทรีย์กำมะถันลดลง ซึ่งการย่อยสลายอินทรีย์กำมะถันนั้นมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอน นอกจากนี้การเคลื่อนย้ายผลผลิตออกจากพื้นที่ก็ทำให้กำมะถันลดลงเช่นกัน

2.3.4 อิทธิพลร่วมกันระหว่างไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถัน ต่อผลผลิตและการเจริญเติบโตของพืช

Shield *et al*. (2014) พบว่าการใส่ไนโตรเจนอัตราสูง ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน โพแทสเซียม และคลอไรด์ ในเนื้อเยื่อพืชสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ใส่ไนโตรเจน Bryson and Mill (2015) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อพืชอยู่ในระดับต่ำทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียม และกำมะถันในใบผักกาดหอมต่ำ นอกจากนี้ยังส่งผลให้ แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส โมลิบดีนัม และสังกะสีในพืแคนลดลง การใส่โพแทสเซียมอัตราต่ำส่งผลให้ตอซังของข้าวโอ๊ตมีความเข้มข้นแมกนีเซียมสูงขึ้น แต่แคลเซียมลดลง และเมื่อกำมะถันในเนื้อเยื่อพืชมีความเข้มข้นสูงจะส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในพืชสูงขึ้น

Panitnok *et al.* (2013) ศึกษาผลจากการให้ปุ๋ยสังกะสี แมกนีเซียม และกำมะถัน ทางใบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังในดินร่วนปนทรายมาบบอน จากผลการทดลองพบว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้น้ำหนักลำต้นสูงสุด พันธุ์ห้วยบง 60 มีผลให้ผลผลิตหัวสดสูงสุด ในขณะที่ พันธุ์ห้วยบง 80 มีผลให้จำนวนรากและปริมาณแป้งสูงขึ้น ในทรีตเม้นต์ที่ให้ปุ๋ยทางใบ Zn+Mg+S ทำให้น้ำหนักลำต้นสูงสุด และทั้งหมดให้ปริมาณแป้งสูงสุด Mg+S มีแนวโน้มให้จำนวนหัวต่อต้นสูงขึ้น และ Zn + Mg มีแนวโน้มให้ผลผลิตหัวสดสูงขึ้น พันธุ์และการให้ปุ๋ยทางใบ พันธุ์ห้วยบง 60 กับการให้ปุ๋ย Zn+Mg ให้ผลผลิตหัวสดสูงสุด พันธุ์ห้วยบง 80 กับการให้ปุ๋ย Zn + Mg + S ให้ปริมาณแป้งในหัวสูงสุด

วิชญาภรณ์ วงษ์บำหรุ และคณะ (2559) ศึกษาการตอบสนองของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ต่ออัตราปุ๋ยเคมีในชุดดินยโสธร จำนวน 7 ตำรับการทดลองที่มีอัตราของ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมแตกต่างกันพบว่า การเจริญเติบโตและผลผลิตมันสำปะหลังตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยเคมีอย่างชัดเจน การใส่ปุ๋ยเคมีเรโช 3:1:3 อัตรา 12-4-12 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลัง ผลผลิตแป้ง และน้ำหนักชีวมวลส่วนเหนือดินสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อใส่ปุ๋ยในปริมาณที่เพิ่มเป็นสองเท่า (อัตรา 24-8-24 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่) ส่งผลให้ผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจนไม่แตกต่างจากตำรับควบคุม เช่นเดียวกันกับในกรณีของเรโช 1:1:1 และ 2:1:2 ที่การใส่ในอัตราต่ำ (8-8-8 และ 8-4-8 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่) ให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ในอัตราสูง (16-16-16 และ 16-8-16 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O/ไร่) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในส่วนหัวมันสำปะหลังมีสหสัมพันธ์เชิงเส้นกับผลผลิตสูงที่สุด การใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มปริมาณการสะสมและการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของมันสำปะหลังเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย แต่การใส่ปุ๋ยเคมีในสัดส่วนที่มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นกลับมีผลให้ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารหลักลดลง

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลองมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานดังนี้

3.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันในดินทราย

3.1.1 การวิเคราะห์รูปของไนโตรเจน โพแทสเซียมและกำมะถันในดินหลังปลูก

การทดลองโดยใช้ตัวอย่างดินหลังปลูกจากการทดลองเรื่อง การตอบสนองของมันสำปะหลังต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนซึ่งอยู่ในโครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาอัตราปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของไนโตรเจนที่มีต่อการเปลี่ยนรูปของโพแทสเซียม และกำมะถันในดิน ซึ่งการทดลองได้ดำเนินการที่ไร่เกษตรกร อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง พิกัดแปลง UTM 47 P X 0756374 Y 1427332 ซึ่งปลูกมันสำปะหลังตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2558 - พฤษภาคม 2559 วางแผนการทดลองแบบสปลิทพลอทมี 3 ซ้ำ

ปัจจัยหลักประกอบด้วยมันสำปะหลัง 2 พันธุ์ ได้แก่

1) พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (KU50)
2) พันธุ์ระยอง 9 (RY9)

ปัจจัยรองประกอบด้วย ปุ๋ยไนโตรเจน 6 ระดับ ส่วนปุ๋ยฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมใส่ตามค่าวิเคราะห์ดิน

1) 0-0-25 kg/rai ของ N-P_2O_5-K_2O (N0)
2) 4-0-25 kg/rai ของ N-P_2O_5-K_2O (N4)
3) 8-0-25 kg/rai ของ N-P_2O_5-K_2O (N8)
4) 16-0-25 kg/rai ของ N-P_2O_5-K_2O (N16)
5) 24-0-25 kg/rai ของ N-P_2O_5-K_2O (N24)
6) 32-0-25 kg/rai ของ N-P_2O_5-K_2O (N32)

3.1.2 การเก็บข้อมูล

เก็บตัวอย่างดินหลังปลูกที่ความลึก 0-30 และ 30-60 cm นำตัวอย่างดินไปผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บดและร่อนผ่านตระแกรงขนาด 2 mm เพื่อนำไปวิเคราะห์รูปของโพแทสเซียมและกำมะถัน โดยการเก็บตัวอย่างดินหลังปลูกแบบรวม (Composite Sample) ในแต่ละกรรมวิธี นำไปวิเคราะห์

รูปต่างๆของไนโตรเจน ดังนี้ อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic-N) อนินทรีย์ไนโตรเจน (Inorganic-N) ไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน (Hydrolyzable-N: HN) ไนโตรเจนทั้งหมด (Total-N) (Sparks *et al.*, 1996) วิเคราะห์โพแทสเซียมในรูปต่างๆ ดังนี้ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable-K) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (Non-Exchangeable K) และโพแทสเซียมทั้งหมด (Total-K) (Sparks *et al.*, 1996) และวิเคราะห์กำมะถันในรูปต่างๆ ดังนี้ อินทรีย์กำมะถัน (Organic-S) อนินทรีย์กำมะถัน (Inorganic-S) และกำมะถันทั้งหมด (Total-S) (Sparks *et al.*, 1996) ตามวิธีที่แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงวิธีวิเคราะห์โพแทสเซียม และกำมะถันรูปต่างๆในดิน

การวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total-N)	Dry combustion
อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic-N)	ได้จากผลต่างของไนโตรเจนทั้งหมด และอนินทรีย์ไนโตรเจน
อนินทรีย์ไนโตรเจน (Inorganic-N)	ได้จากผลรวมของแอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Colorimetric method
ไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน (Hydrolyzable-N: HN)	Illinois Soil Nitrogen Test (ISNT)
โพแทสเซียมทั้งหมด (Total-K)	HNO_3 and $HClO_4$ acid digestion method
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable-K)	น้ำยาสกัด 1*M* NH_4OAc วัดโดยเครื่อง Inductively Couple Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES)
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (Non-Exchangeable K)	สกัดด้วย 1*M* HNO_3 วัดโดยเครื่อง ICP-OES
กำมะถันทั้งหมด (Total-S)	Dry combustion
อินทรีย์กำมะถัน (Organic-S)	ได้จากผลต่างของกำมะถันทั้งหมด และอนินทรีย์กำมะถัน
อนินทรีย์กำมะถัน (Inorganic-S)	Methylene Blue Method

3.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ประเมินความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์โดยวิธี Ducan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

3.2.1 การเตรียมวัสดุปลูกและท่อนพันธุ์ในการปลูกมันสำปะหลัง

การทดลองดำเนินการที่โรงเรือนชั้น 5 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วางแผนการทดลองแบบ 3×3 แฟคทอเรียลแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (3×3 Factorial in Randomized Complete Block Design: RCBD) 4 ซ้ำ มีปัจจัยในการทดลองดังนี้

ปัจจัย A ที่ใช้ในการทดลอง คือ อัตราปุ๋ยไนโตรเจน 3 อัตรา คือ

(1) ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 500 µmol/L (N1)
(2) ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 1,000 µmol/L (N2)
(3) ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 1,500 µmol/L (N3)

ปัจจัย B คือ อัตราปุ๋ยโพแทสเซียม 3 อัตรา

(1) ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 500 µmol/L (K1)
(2) ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 1,000 µmol/L (K2)
(3) ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 1,500 µmol/L (K3)

ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (KU50) ด้วยท่อนพันธุ์แต่ละท่อนยาวประมาณ 25 cm ในกระถางขนาด 37 L โดยใช้ฟองน้ำเป็นวัสดุปลูกและให้ธาตุอาหารในรูปสารละลาย ปลูกเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม 2560 ถึงวันที่ 21 ตุลาคม 2560 เป็นระยะเวลา 3 เดือน 2 สัปดาห์ 1วัน โดยกรรมวิธีในการทดลองมีการให้ธาตุอาหารเป็นสารละลายโดยจะมีการเติมสารละลายธาตุอาหารในทุกๆ 2 สัปดาห์ โดยพืชจะได้รับธาตุอาหารธาตุอื่นๆครบทุกธาตุเพียงพอต่อความต้องการของพืช ซึ่งความเข้มข้นและแหล่งของธาตุอาหารแต่ละธาตุในสารละลายธาตุอาหารแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ความเข้มข้นและแหล่งของสารละลายธาตุอาหาร

No.	Element	Concentration (µmol/L)	Source
1	Nitrogen (N)	depend on treatment	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$
2	Phosphorus (P)	100.00	$Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$
3	Potassium (K)	depend on treatment	K_2SO_4, KCl
4	Calcium (Ca)	825.00	$CaCl_2.2H_2O$
5	Magnesium (Mg)	200.00	$MgSO_4.7H_2O$
6	Sulfur (S)	depend on treatment	Na_2SO_4
7	Iron (Fe)	20.00	Fe-EDTA
8	Zinc (Zn)	0.50	$ZnSO_4.7H_2O$
9	Manganese (Mn)	0.25	$MnCl_2.4H_2O$
10	Copper (Cu)	0.10	$CuSO_4.5H_2O$
11	Nickel (Ni)	0.02	$NiCl_2.6H_2O$
12	Molybdenum (Mo)	0.02	$Na_2MoO_4.2H_2O$

ที่มา: Howeler *et al.,* 1985

3.2.2 การเก็บข้อมูล

วัดความสูงโดยจากผิวดินไปจนใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ของยอดที่สูงที่สุดของต้น วัดค่า SPAD ใบบนที่เจริญเติบโตเต็มที่ และใบแก่โดยใช้เครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ทุกๆสัปดาห์ หลังพืชอายุครบ 4 เดือนเก็บตัวอย่างแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้ ใบบนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL) แผ่นใบ (Leaf blade) ลำต้น+ก้านใบ (Stem+Petio) ราก (Root) เหง้า (Old Stem Cutting: OSC) และหัว (Tuber) ล้างตัวอย่างพืชด้วยน้ำกลั่น ชั่งน้ำหนักสด นำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ นำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี combustion และโพแทสเซียมโดยสกัดตัวอย่างด้วยวิธี dry ashing ละลายเถ้าด้วย aqua regia และวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง ICP-OES

3.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ประเมินความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์โดยวิธี Ducan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง การดูดดึงไนโตรเจนและโพแทสเซียมของมันสำปะหลังโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

3.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

3.3.1 การเตรียมวัสดุปลูกและท่อนพันธุ์ในการปลูกมันสำปะหลัง

การทดลองดำเนินการที่โรงเรือนชั้น 5 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วางแผนการทดลองแบบ 3×3 แฟคทอเรียลแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (3×3 Factorial in Randomized Complete Block Design: RCBD) 4 ซ้ำ มีปัจจัยในการทดลองดังนี้

ปัจจัย A ที่ใช้ในการทดลอง คือ อัตราปุ๋ยไนโตรเจน 3 อัตรา คือ

(1) ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 500 µmol/L (N1)
(2) ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 1,000 µmol/L (N2)
(3) ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 1,500 µmol/L (N3)

ปัจจัย B คือ อัตราปุ๋ยกำมะถัน 3 อัตรา

(1) ปุ๋ยกำมะถันอัตรา 500 µmol/L (S1)
(2) ปุ๋ยกำมะถันอัตรา 1,000 µmol/L (S2)
(3) ปุ๋ยกำมะถันอัตรา 1,500 µmol/L (S3)

ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50(KU50) ท่อนพันธุ์แต่ละท่อนยาวประมาณ 25 cm ปลูกมันสำปะหลังในกระถางขนาด 37 L โดยใช้ฟองน้ำเป็นวัสดุปลูกและให้ธาตุอาหารในรูปสารละลาย ปลูกเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม 2560 ถึงวันที่ 21 ตุลาคม 2560 เป็นระยะเวลา 3 เดือน 2 สัปดาห์ 2 วัน โดยกรรมวิธีในการทดลองมีการให้ธาตุอาหารเป็นสารละลายโดยจะมีการเติมสารละลายธาตุอาหารในทุกๆ 2 สัปดาห์ โดยพืชจะได้รับธาตุอาหารธาตุอื่นๆครบทุกธาตุเพียงพอต่อความต้องการของพืช ซึ่งความเข้มข้นและแหล่งของธาตุอาหารแต่ละธาตุในสารละลายธาตุอาหารแสดงในตารางที่ 3.2

3.3.2 การเก็บข้อมูล

วัดความสูงโดยจากผิวดินไปจนใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ของยอดที่สูงที่สุดของต้น วัดค่า SPAD ใบบนที่เจริญเติบโตเต็มที่ และใบแก่โดยใช้เครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ทุกๆสัปดาห์ หลังพืชอายุครบ 4 เดือนเก็บตัวอย่างพืชเต็มที่ ออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้ ใบบนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL) แผ่นใบ (Leave blade) ลำต้น+ก้านใบ (Stem+Petio) ราก (Root) เหง้า (Old Stem Cutting: OSC) และหัว (Tuber) ล้างตัวอย่างพืชด้วยน้ำกลั่น ชั่งน้ำหนักสด นำไป

อบที่อุณหภูมิ 70°C จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ นำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและกำมะถันด้วยวิธี combustion ด้วยเครื่อง LECO TruMac CNS analyzer (LECO Corporation, 2016)

3.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ประเมินความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์โดยวิธี Ducan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง การดูดดึงไนโตรเจน และโพแทสเซียมของมันสำปะหลังโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันในดินทราย

4.1.1 ไนโตรเจน

ดินหลังปลูกที่ระดับความลึก 0-30 cm มีไนโตรเจนในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนคิดเป็นร้อยละ 92 ของไนโตรเจนทั้งหมด ในขณะที่ไนโตรเจนในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจนคิดเป็นร้อยละ 5 ของไนไตรเจนทั้งหมด และไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนคิดเป็นร้อยละ 4 ของไนโตรเจนทั้งหมด (ตารางที่ 4.1)

อิทธิพลของพันธุ์มันสำปะหลังที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อรูปของไนโตรเจนในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm ในขณะที่อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน ส่งผลต่ออินทรีย์ไนโตรเจนที่ระดับความลึก 0-30 cm ทำให้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.1) โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 24 kg/rai ทำให้มีอินทรีย์ไนโตรเจนเท่ากับ 624.77 mg/kg แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนซึ่งมีค่าเท่ากับ 389.56 mg/kg ในขณะที่ทรีทเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 4 8 16 และ 32 kg/rai ไม่แตกต่างทางสถิติและไม่แตกต่างกับทรีทเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้รูปอนินทรีย์ไนโตรเจน ไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน และไนโตรเจนทั้งหมดในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm (ตารางที่ 4.1) ไม่แตกต่างทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของพันธุ์ของมันสำปะหลัง และอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อรูปของไนโตรเจนในดินทุกรูปที่ระดับความลึก 0-30 cm (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 อินทรีย์ไนโตรเจน อนินทรีย์ไนโตรเจน ไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน และไนโตรเจนทั้งหมดที่ระดับความลึก 0-30 cm ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

Factor	Organic-N (mg/kg)	Inorganic-N (mg/kg)	Hydrolyzable-N (mg/kg)	Total-N (mg/kg)
Cultivar(C)				
KU50	527.53	30.57	21.37	581.58
RY9	514.44	32.79	23.56	544.89
Average	**520.99**	**31.68**	**22.47**	**563.24**
Nitrogen(N)				
0	389.56b	31.09	22.05	473.68
4	485.55ab	30.54	22.05	552.68
8	551.09ab	31.39	22.68	568.5
16	516.56ab	32.01	23.10	562.58
24	624.77a	34.08	23.97	658.85
32	527.92ab	30.72	21.00	563.13
Average	**520.99**	**31.68**	**22.47**	**563.24**
F-test				
C	ns	ns	ns	ns
N	*	ns	ns	ns
C×N	ns	ns	ns	ns
%CV (C)	23.31	13.52	18.95	21.60
%CV (N)	25.80	14.75	20.21	24.30

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ดินหลังปลูกที่ระดับความลึก 30-60 cm ไนโตรเจนในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนคิดเป็นร้อยละ 94 ของไนโตรเจนทั้งหมด ในขณะที่ไนโตรเจนในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจนคิดเป็นร้อยละ 6 ของไนไตรเจนทั้งหมด และไฮโดรไลซ์ไนโตรเจนคิดเป็นร้อยละ 4 ของไนโตรเจนทั้งหมด (ตารางที่ 4.2)

อิทธิพลของพันธุ์มันสำปะหลัง และอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อรูปของไนโตรเจนในดินทุกรูปที่ระดับความลึก 30-60 cm (ตารางที่ 4.2) และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของพันธุ์ของมันสำปะหลัง และอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อรูปของไนโตรเจนใน

ดินที่ระดับความลึก 30-60 cm (ตารางที่ 4.2) Mazzoncini *et al.* (2011) ศึกษาอิทธิพลของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 0-300 kgN/ha ในข้าวโพดอัตรา 0-180 kgN/ha ในข้าวสาลี และอัตรา 0-150 kgN/haในทานตะวัน ต่อความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในดินพบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 100-200 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์สำหรับข้าวโพดอัตรา 60-120 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ สำหรับข้าวสาลี 50-100 kgN/ha สำหรับทานตะวัน ส่งผลให้ไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูงขึ้น

ตารางที่ 4.2 อินทรีย์ไนโตรเจน อนินทรีย์ไนโตรเจน ไฮโดรไลซ์ไนโตรเจน และไนโตรเจนทั้งหมดที่ระดับความลึก 30-60 cm ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

Factor	Organic-N (mg/kg)	Inorganic-N (mg/kg)	Hydrolyzable-N (mg/kg)	Total-N (mg/kg)
Cultivar(C)				
KU50	550.53	30.05	21.06	580.58
RY9	495.00	32.72	23.22	527.72
Average	**522.77**	**31.39**	**22.14**	**554.15**
Nitrogen(N)				
0	514.74	31.56	22.58	546.3
4	486.62	32.35	23.63	518.97
8	528.45	29.50	20.13	557.95
16	461.95	30.97	21.53	492.92
24	573.60	31.72	22.23	603.43
32	571.23	32.21	22.75	605.32
Average	**522.77**	**31.39**	**22.14**	**554.15**
F-test				
C	ns	ns	ns	ns
N	ns	ns	ns	ns
C×N	ns	ns	ns	ns
%CV (C)	26.11	14.62	20.51	24.68
%CV (N)	29.03	19.41	24.82	27.61

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

4.1.2 โพแทสเซียม

ดินหลังปลูกที่ระดับความลึก 0-30 cm มีปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้คิดเป็นร้อยละ 2 ของโพแทสเซียมทั้งหมด ในขณะที่โพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้คิดเป็นร้อยละ 4 ของโพแทสเซียมทั้งหมด (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ และโพแทสเซียมทั้งหมดที่ระดับความลึก 0-30 cm ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

Factor	Exchangeable-K (mg/kg)	Non-Exchangeable K (mg/kg)	Total-K (mg/kg)
Cultivar(C)			
KU50	28.85	51.70	1687.71
RY9	28.83	54.93	1403.03
Average	**28.84**	**53.32**	**1,545.37**
Nitrogen(N)			
0	29.24ab	57.90	1674.34
4	28.37ab	57.68	1369.23
8	32.23a	53.82	1398.61
16	22.86b	45.54	1260.65
24	30.90a	55.13	1329.33
32	29.44ab	49.79	1120.11
Average	**28.84**	**53.32**	**1,545.37**
F-test			
C	ns	ns	ns
N	*	ns	ns
C×N	ns	ns	ns
%CV (C)	18.56	25.38	26.73
%CV (N)	17.46	24.02	25.64

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

อิทธิพลของพันธุ์มันสำปะหลังที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อรูปของโพแทสเซียมในดินทุกรูปที่ระดับความลึก 0-30 cm (ตารางที่ 4.3) ในขณะที่อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลให้โพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm ในทรีทเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 8 และ 24 kg/rai เท่ากับ 32.23 และ 30.90 mg/kg ตามลำดับ แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทรีทเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 16 kg/rai มีค่าเท่ากับ 22.86 mg/kg ในขณะที่ทรีทเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ทรีทเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 4 และ 32 kg/rai

ไม่ต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญและไม่แตกต่างกับทรีทเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 8 24 และ 16 kg/rai รูปอื่นๆของโพแทสเซียมในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้และโพแทสเซียมทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของพันธุ์มันสำปะหลัง และอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อรูปของโพแทสเซียมในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm (ตารางที่ 4.3)

ดินที่ระดับความลึก 30-60 cm โพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้คิดเป็นร้อยละ 2 ของโพแทสเซียมทั้งหมด ในขณะที่โพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้คิดเป็นร้อยละ 3 ของโพแทสเซียมทั้งหมด (ตารางที่ 4.4)

อิทธิพลของพันธุ์มันสำปะหลังที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อโพแทสเซียมในรูปต่างๆที่ระดับความลึก 30-60 cm (ตารางที่ 4.4) ในขณะที่อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อโพแทสเซียมทั้งหมดในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm (ตารางที่ 4.4) โพแทสเซียมทั้งหมดแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยในทรีทเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 1,737.1 mg/kg และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 32 24 และ 16 kg/rai ตามลำดับ เท่ากับ 1,206.4 1,326.4 และ 1,328.8 mg/kg ตามลำดับ รูปอื่นๆของโพแทสเซียมในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ไม่ต่างทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่าง ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของพันธุ์มันสำปะหลัง และอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อรูปของโพแทสเซียมในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm (ตารางที่ 4.4)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าโพแทสเซียมทั้งหมดมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่มีระบบรากค่อนข้างลึก และจากผลการทดลองที่ 2 พบว่าการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงโพแทสเซียมมีสหสัมพันธ์เชิงบวก คือการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้นพืชจะดูดดึงไนโตรเจนมากขึ้น พืชจะดูดดึงโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นในทรีทเมนต์ที่ไม่มีการใส่ไนโตรเจนจึงมีโพแทสเซียมที่คงเหลืออยู่ในดินสูงมากกว่าทรีทเมนต์ที่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้ในทรีทเมนต์ที่มีใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้นยังมีน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (ตารางภาคผนวกที่ 1) จึงส่งผลให้โพแทสเซียมติดไปกับผลผลิตพืชที่นำออกจากพื้นที่ได้

ตารางที่ 4.4 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ และโพแทสเซียมทั้งหมดที่ระดับความลึก 30-60 cm ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

Factor	Exchangeable-K (mg/kg)	Non-Exchangeable-K (mg/kg)	Total-K (mg/kg)
Cultivar(C)			
KU50	19.02	39.82	1,554.61
RY9	18.07	45.4	1,319.19
Average	**18.55**	**42.61**	**1,436.90**
Nitrogen(N)			
0	23.12	43.67	1,737.1a
4	16.11	44.27	1,520.4ab
8	16.90	46.48	1,459.8ab
16	19.41	42.73	1,328.8b
24	18.84	43.54	1,326.4b
32	23.12	34.98	1,206.4b
Average	**18.55**	**42.61**	**1,436.90**
F-test			
C	ns	ns	ns
N	ns	ns	*
C×N	ns	ns	ns
%CV (C)	33.48	34.17	17.22
%CV (N)	32.39	32.44	19.08

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

4.1.3 กำมะถัน

ดินหลังปลูกที่ระดับความลึก 0-30 cm กำมะถันในรูปอินทรีย์คิดเป็นร้อยละ 98 ของกำมะถันทั้งหมด ในขณะที่กำมะถันในรูปอนินทรีย์คิดเป็นร้อยละ 2 ของกำมะถันทั้งหมด (ตารางที่ 4.5) อิทธิพลของพันธุ์มันสำปะหลัง และอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อรูปของกำมะถันที่ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm (ตารางที่ 4.5) ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของ

พันธุ์มันสำปะหลัง และอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อรูปของกำมะถันในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 อินทรีย์กำมะถัน อนินทรีย์กำมะถน และกำมะถันทั้งหมดที่ระดับความลึก 0-30 cm ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

Factor	Organic-S (mg/kg)	Inorganic-S (mg/kg)	Total-S (mg/kg)
Cultivar(C)			
KU50	121.86	2.63	124.49
RY9	119.18	2.30	121.48
Average	**120.52**	**2.47**	**122.99**
Nitrogen(N)			
0	117.17	2.03	119.2
4	111.71	2.83	114.53
8	82.42	1.87	84.3
16	116.51	2.35	118.53
24	155.89	3.82	159.72
32	139.46	1.87	141.33
Average	**120.53**	**2.47**	**122.99**
F-test			
C	ns	ns	ns
N	ns	ns	ns
C×N	ns	ns	ns
%CV (C)	56.17	52.42	55.18
%CV (N)	55.73	55.48	54.56

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ดินที่ระดับความลึก 30-60 cm กำมะถันในรูปอินทรีย์คิดเป็นร้อยละ 98 ของกำมะถันทั้งหมด ในขณะที่กำมะถันในรูปอนินทรีย์คิดเป็นร้อยละ 2 ของกำมะถันทั้งหมด (ตารางที่ 4.6)

อิทธิพลของพันธุ์มันสำปะหลังที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อรูปของกำมะถันในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm (ตารางที่ 4.6) ในขณะที่อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อ

อินทรีย์กำมะถัน และกำมะถันทั้งหมดในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm (ตารางที่ 4.6) อินทรีย์กำมะถันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยในทรีทเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 164.64 mg/kg และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 24 kg/rai ซึ่งมีค่าเท่ากับ 69.01 mg/kg กำมะถันทั้งหมดสูงที่สุดในทรีทเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน เท่ากับ 124.75 mg/kg และพบว่าในทรีทเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 24 kg/rai มีกำมะถันทั้งหมดต่ำที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากทรีทเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 71.2 mg/kg และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของพันธุ์มันสำปะหลัง และอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อรูปของกำมะถันในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm (ตารางที่ 4.6)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าอินทรีย์กำมะถัน และกำมะถันทั้งหมดในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่มีระบบรากค่อนข้างลึก และจากผลการทดลองที่ 2 พบว่าการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงกำมะถันมีสหสัมพันธ์เชิงบวก คือการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้นพืชจะดูดดึงไนโตรเจนมากขึ้น จึงส่งผลให้ในทรีทเมนต์ที่ไม่มีการใส่ไนโตรเจนมีกำมะถันที่ยังเหลืออยู่ในดินสูงมากกว่าทรีทเมนต์ที่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้ในทรีทเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้นยังมีน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (ตารางภาคผนวกที่ 1) จึงส่งผลให้กำมะถันติดไปกับผลผลิตพืชที่นำออกจากพื้นที่ได้

ตารางที่ 4.6 รูปของกำมะถันที่ระดับความลึก 30-60 cm ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

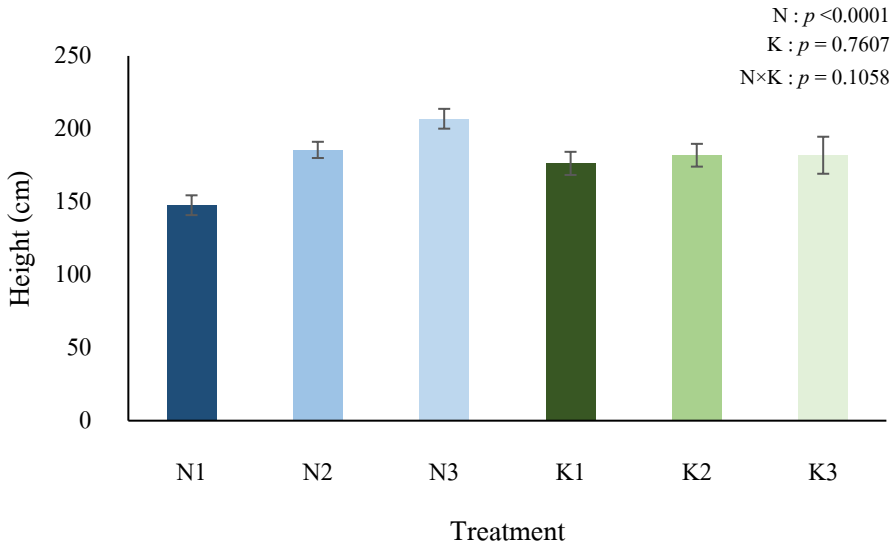
Factor	Organic-S (mg/kg)	Inorganic-S (mg/kg)	Total-S (mg/kg)
Cultivar(C)			
KU50	116.91	1.93	118.84
RY9	120.33	2.35	122.68
Average	**118.62**	**2.14**	**122.68**
Nitrogen(N)			
0	164.64a	2.99	167.63a
4	122.72ab	2.03	124.75ab
8	128.11ab	1.87	129.98ab
16	129.71ab	2.04	131.75ab
24	69.01b	2.19	71.2b
32	97.55ab	1.71	99.27ab
Average	**118.62**	**2.14**	**122.67**
F-test			
C	ns	ns	ns
N	*	ns	*
C×N	ns	ns	ns
%CV (C)	51.48	48.09	50.82
%CV (N)	50.22	53.80	49.58

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอันตรกิริยาของไนโตรเจนกับโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

4.2.1 การเจริญเติบโต

ความสูงของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นตามอายุของมันสำปะหลัง จากผลการทดลองพบว่าความสูงของมันสำปะหลังมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายใต้อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (รูปที่ 4.1) ความสูงของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วัน มีความแตกต่างทางสถิติโดยสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 รองลงมาเป็น N2 และ N1 เท่ากับ 206.92 185.58 และ 147.64 cm ตามลำดับ ในขณะที่อิทธิพลของอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมไม่ส่งผลต่อความสูงของมันสำปะหลัง (รูปที่ 4.1) และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยไนโตรเจนและอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมต่อความสูงของมันสำปะหลัง (รูปที 4.1)



รูปที่ 4.1 ความสูงของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วันภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Uwah *et al.* (2013) ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมในมันสำปะหลังพบว่าความสูงของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นตามอัตราของไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่สูงขึ้น ซึ่งความสูงของมันสำปะหลังสูงที่สุดเมื่อได้รับไนโตรเจนในอัตรา 120 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และโพแทสเซียมที่อัตรา 80 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ Dkhil *et al.* (2011): อ้างโดย Uwah *et al.* (2013) รายงานว่าการใช้อัตราของธาตุอาหารในระดับที่เหมาะสมและเพียงพอส่งผลให้พืชมีการตอบสนองต่อการเจริญเติบโตในเชิงบวก ต่อการเพิ่มจำนวนเซลล์และการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งทำให้ขนาดและความยาวของใบและลำต้นเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับงานทดลองของ

Cenpukdee and Fukai (1991) รายงานว่าความสูงของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้ยังมีรายงานของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพืชอื่นๆ เช่น ข้าวโพด มันเทศ และขิง ส่งผลให้ความสูงของพืชเพิ่มขึ้น (Wang and Xing, 2017; Panddey *et al.*, 2018; Singh *et al.*, 2016)

มันสำปะหลังที่อายุ 1 เดือนค่า SPAD ของมันสำปะหลังทั้งใบบนและใบล่างค่อนข้างแปรปรวนจนสิ้นสุดการทดลอง หลังสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่า SPAD ในใบบนและใบล่างของมันสำปะหลังแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายใต้อิทธิพลอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.7) โดยค่า SPAD ของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วัน แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยในใบบนสูงสุดในทรีทเมนต์ N3 เท่ากับ 42.34 และไม่แตกต่างทางสถิติกับทรีทเมนต์ N2 เท่ากับ 41.31 และต่ำที่สุดในทรีทเมนต์ N1 เท่ากับ 38.04 ตามลำดับ ในขณะค่า SPAD ของมันสำปะหลังในใบล่าง ค่า SPAD ของมันสำปะหลังในใบล่างต่ำกว่าใบบนอย่างชัดเจน เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่เคลื่อนที่ได้ การแสดงอาการขาดธาตุอาหารในใบจึงสังเกตเห็นได้ชัดเจนกว่าในใบล่าง (Howeler, 2014; Sullivan, 2010) โดยค่า SPAD ในใบล่างจะสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 เท่ากับ 34.64 และต่ำที่สุดในทรีทเมนต์ N1 เท่ากับ 30.39 และไม่แตกต่างทางสถิติกับทรีทเมนต์ N2 เท่ากับ 32.09 Howeler (2014) รายงานว่าการขาดไนโตรเจนส่งผลให้มันสำปะหลังแสดงอาการ chlorosis (รูปที่ 4.2) ในใบเริ่มจากใบล่างและกระจายไปทั่วทั้งต้น ไนโตรเจนเพิ่มคลอโรฟิลล์ในใบซึ่งจะส่งเสริมความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืชจึงทำให้ค่า SPAD ในทรีทเมนต์ N1 ต่ำที่สุด (Uwah *et al*., 2013)

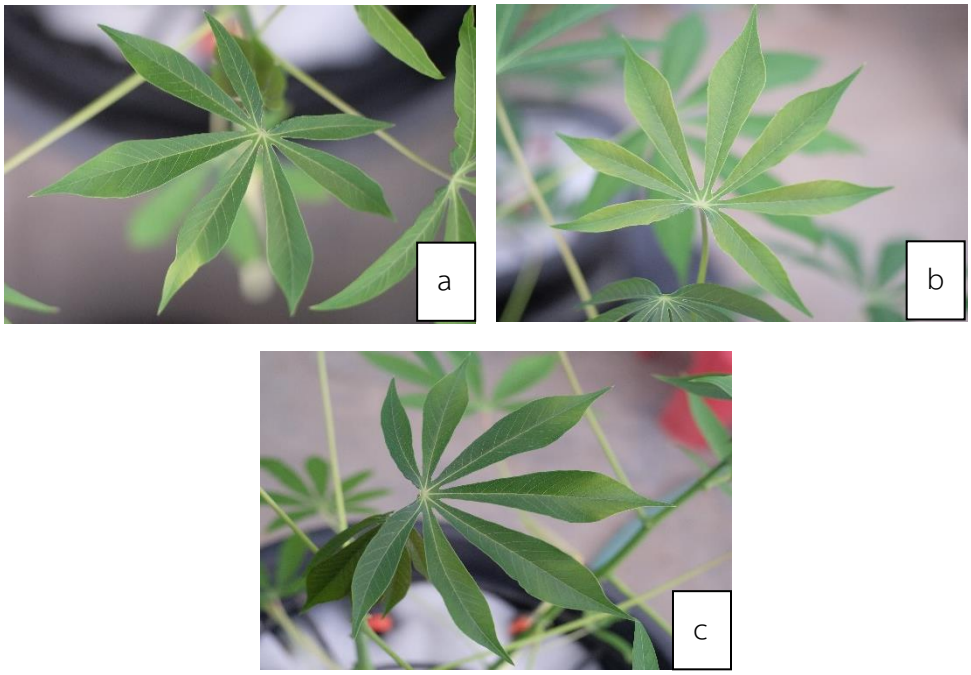
อิทธิพลของอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่า SPAD ในใบล่าง (ตารางที่ 4.7) ค่า SPAD ในใบล่างแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยสูงที่สุดในทรีทเมนต์ K2 เท่ากับ 33.75 และต่ำที่สุดในทรีทเมนต์ K3 เท่ากับ 31.23 ส่วนในทรีทเมนต์ K1 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทรีทเม้นทต์ K2 และ K3

Howeler (2014) รายงานว่าการขาดโพแทสเซียมมันสำปะหลังจะแสดงอาการ Chlorotic ในใบบน แต่ในบางพันธุ์จะแสดงอาการในใบล่าง (รูปที่ 4.3) Sullivan (2010) พบว่าการขาดโพแทสเซียมในมันเทศจะแสดงอาการ Chlorosis อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามการแสดงอาการขาดโพแทสเซียมอาจจะแสดงออกมาต่างกันไปตามพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด และนอกจากนี้ยังไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมต่อค่า SPAD ในใบของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.7)

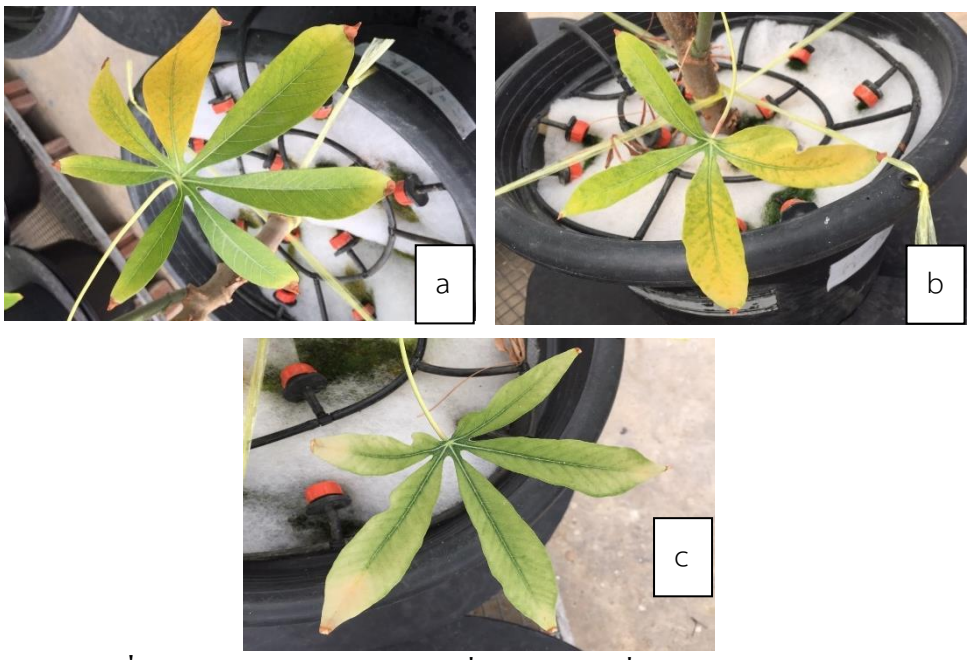
ตารางที่ 4.7 ค่า SPAD ของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วันภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	SPAD	
	Upper leaves	**Lower leaves**
Nitrogen (N)		
N1	38.04b	30.39b
N2	41.31a	32.09b
N3	42.34a	34.64a
Average	**40.56**	**32.37**
Potassium (K)		
K1	40.94	32.13AB
K2	40.82	33.75A
K3	39.92	31.23B
Average	**40.56**	**32.37**
F-test		
N	**	**
K	ns	*
N×K	ns	ns
%CV	3.7	7.3

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$



รูปที่ 4.2 ใบบนของมันสำปะหลังที่อายุ 1 เดือน ที่แสดงอาการ Chlorosis จากขาดไนโตรเจนในทรีทเมนต์ N1 (a)ใบบนของมันสำปะหลังในทรีทเมนต์ N1K1 (b)ใบบนของมันสำปะหลังในทรีทเมนต์ N1K2 (c)ใบบนของมันสำปะหลังในทรีทเมนต์ N1K3



รูปที่ 4.3 ใบบนของมันสำปะหลังที่อายุ 1 เดือน ที่แสดงอาการ Chlorosis จากขาดโพแทสเซียมในทรีทเมนต์ K1 (a)ใบบนของมันสำปะหลังในทรีทเมนต์ N1K1 (b)ใบบนของมันสำปะหลังในทรีทเมนต์ N2K1 (c)ใบบนของมันสำปะหลังในทรีทเมนต์ N3K1

การสะสมน้ำหนักสดของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วันสูงที่สุดในส่วนลำต้น+ก้านใบ รองลงมาเป็นหัว เหง้า ราก และต่ำสุดที่ใบของมันสำปะหลัง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อน้ำหนักสดในใบ ลำต้น+ก้านใบ หัว ราก และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.8) น้ำหนักสดของใบและรากมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสูงสุดในทรีทเมนต์ N3 ซึ่งไม่ต่างทางสถิติกับทรีทเมนต์ N2 และต่ำที่สุดในทรีทเมนต์ N1 โดยน้ำหนักสดของใบมันสำปะหลังในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 78.80 153.10 และ 146.67 g/plant ตามลำดับ และน้ำหนักสดของรากในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 114.29 178.06 และ 181.81 g/plant ตามลำดับ นอกจากนี้อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันยังส่งผลต่อน้ำหนักสดในก้านใบ+ลำต้น หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.8) โดยมีค่าสูงสุดในทรีทเมนต์ N3 รองลงมาเป็น N2 และ N1 ตามลำดับ น้ำหนักสดของก้านใบ+ลำต้นในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 118.11 213.01 และ 276.24 g/plant ตามลำดับ น้ำหนักสดของหัวในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 97.73 206.85 และ 267.53 g/plant ตามลำดับ น้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลังในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 565.07 910.14 และ 1110.62 g/plant ตามลำดับ ผลการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังด้านน้ำหนักสดสอดคล้องกับการเจริญเติบโตด้านความสูง เนื่องจากความสูงของมันสำปะหลังสูงสุดในทรีทเมนต์ N3 จึงส่งผลให้ในทรีทเมนต์ N3 มีการสะสมน้ำหนักของมันสำปะหลังสูงที่สุด

ในขณะที่อิทธิพลของอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อน้ำหนักสดของมันสำปะหลังในทุกส่วน (ตารางที่ 4.8) ซึ่งมีความสอดคล้องกับการเจริญเติบโตด้านความสูงเช่นกัน เนื่องจากความสูงของมันสำปะหลังภายใต้อิทธิพลของอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันไม่แตกต่างกันทางสถิติจึงส่งผลให้น้ำหนักสดไม่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมต่อน้ำหนักสดของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.8 น้ำหนักสดใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Fresh weight (g/plant)					
	Leaf blade	**Stem+Petio**	**OSC**	**Root**	**Tuber**	**Total**
Nitrogen (N)						
N1	78.80b	118.11c	152.83	114.29b	97.73c	565.07c
N2	153.10a	213.01b	161.66	178.06a	206.85b	910.14b
N3	146.67a	276.24a	169.87	181.81a	267.53a	1110.62a
Average	**126.19**	**202.45**	**161.45**	**158.05**	**190.73**	**861.95**
Potassium (K)						
K1	118.25	198.96	156.43	153.99	175.00	877.38
K2	129.49	210.02	162.71	146.2	190.06	844.85
K3	130.82	198.37	165.22	173.97	207.05	863.59
Average	**126.19**	**202.45**	**161.45**	**158.05**	**190.73**	**861.95**
F-test						
N	**	**	ns	**	**	**
K	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×K	*	ns	ns	**	ns	ns
%CV	30.3	14.9	12.5	22.4	33.7	14.1

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

การสะสมน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วัน เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการสะสมน้ำหนักสดโดยสูงที่สุดในส่วนหัว รองลงมาเหง้า ลำต้น+ก้านใบ ใบ และราก ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อน้ำหนักแห้งในทุกส่วนยกเว้นเหง้า (ตารางที่ 4.9) โดยน้ำหนักแห้งในใบ ราก และหัวสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 และไม่แตกต่างทางสถิติกับทรีทเมนต์ N2 และต่ำที่สุดในทรีทเมนต์ N1 น้ำหนักแห้งของใบมันสำปะหลังในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 20.71 39.26 และ 40.15 g/plant ตามลำดับ น้ำหนักแห้งของรากในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 9.86 14.42 และ 15.83 g/plant ตามลำดับ น้ำหนักแห้งของหัวในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 53.03 103.27 และ 111.80 g/plant ตามลำดับ น้ำหนักแห้งใบก้านใบ+ลำต้น และน้ำหนักแห้งทั้งหมดของมันสำปะหลังสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 รองลงมาเป็น N2 และ N1 ตามลำดับ โดยน้ำหนักแห้งของก้านใบ+ล้ำต้นในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 87.38 70.76 และ 47.72 g/plant ตามลำดับ น้ำหนักแห้งทั้งหมดในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 339.48 294.01 และ 200.96 g/plant ตามลำดับ

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันไม่ส่งผลน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลังในทุกส่วน (ตารางที่ 4.9) และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง

Cenpukdee and Fukai (1991) รายงานว่ากิ่ง+ก้าน พื้นที่ใบ และความสูงของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นตามอัตราของไนโตรเจนที่สูง ซึ่งอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลังสูงขึ้น Cuvaca *et al*. (2017) พบว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 150 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์เพียงอย่างเดียวทำให้มีผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่อัตรา 60-60-0 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้มีผลผลิตสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้พบว่าโพแทสเซียมไม่ได้ส่งผลต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.2-4.3) นอกจากนี้ Agbaje and Akinlosotu (2004) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 20-10-10 ที่อัตรา 400 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้มีผลผลิตสูงที่สุด แต่เมื่อใส่ที่อัตรา 800 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้ผลผลิตมันสำปะหลังลดลง

ตารางที่ 4.9 น้ำหนักแห้งใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Dry weight (g/plant)					
	Leaf blade	**Stem+Petio**	**OSC**	**Root**	**Tuber**	**Total**
Nitrogen (N)						
N1	20.71b	47.72c	70.55	9.86b	53.03b	200.96c
N2	39.26a	70.76b	70.02	14.42a	103.27a	294.01b
N3	40.15a	87.38a	74.83	15.83a	111.80a	339.48a
Average	**33.37**	**68.62**	**71.79**	**13.37**	**89.37**	**278.15**
Potassium (K)						
K1	30.3	70.44	68.25	13.75	82.79	278.57
K2	34.39	68.53	73.72	12.29	84.58	271.33
K3	35.43	66.89	73.42	14.06	100.73	284.55
Average	**33.37**	**68.62**	**71.79**	**13.37**	**89.37**	**278.15**
F-test						
N	**	**	ns	*	**	**
K	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×K	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	27.4	14.1	12.7	22.8	27.2	14.6

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

4.2.2 ความเข้มข้นและการดูดดึงธาตุอาหาร

4.2.2.1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบอ่อนที่ขยายตัวเต็มที่ (Youngest Fully Expanded Leaves: YFEL)

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบอ่อนที่ขยายตัวเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL) ของมันสำปะหลังอายุ 4 เดือน ซึ่งแสดงถึงสถานะของธาตุอาหารในมันสำปะหลังโดยจากประเมินจากค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าวิกฤติของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.10) แต่พบว่าสัดส่วนของไนโตรเจนต่อโพแทสเซียมจากการทดลองครั้งนี้มีค่าเท่ากับ 1:2.5 ซึ่งอยู่ในระดับสูงเมื่อเทียบกับสัดส่วนไนโตรเจนต่อโพแทสเซียมจากค่าวิกฤตมีค่าเท่ากับ 1:2.4-3.6 (ตารางที่ 2.5) ในขณะที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และกำมะถันอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อมันสำปะหลัง และความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมเกินค่าวิกฤติของมันสำปะหลัง

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อความเข้มข้นของไนโตรเจน กำมะถัน แคลเซียม แมกนีเซียมในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็ม (ตารางที่ 4.10) โดยความเข้มข้นของไนโตรเจนในทรีทเมนต์ N3 มีค่าเท่ากับ 4.13 g/100g และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับทรีทเมนต์ N2 มีค่าเท่ากับ 4.02 g/100g แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ N1 โดยมีค่าเท่ากับ 3.61 g/100g

ความเข้มข้นของกำมะถันในทรีทเมนต์ N3 มีค่าเท่ากับ 0.33 g/100g ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ N1 มีค่าเท่ากับ 0.30 g/100g โดยทั้งสองทรีทเมนต์ไม่แตกต่างทางสถิติกับทรีทเมนต์ N2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.32 g/100g ความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นไปในทิศทางเดียวกันโดยสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N1 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ N2 และ N3 ความเข้มข้นของแคลเซียมในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 1.07 0.80 และ 0.72 g/100g ตามลำดับ ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 0.47 0.41 และ 0.39 g/100g ตามลำดับ

ในขณะที่อิทธิพลของอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็ม (ตารางที่ 4.10) และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่

ตารางที่ 4.10 ความเข้มข้นทั้งหมดของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL)ของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Total N (g/100g)	Total P (g/100g)	Total K (g/100g)	Total S (g/100g)	Total Ca (g/100g)	Total Mg (g/100g)
Critical level	5.1-5.8	0.38-0.50	1.42-1.88	0.30-0.36	0.50-0.72	0.24-0.29
Nitrogen (N)						
N1	3.61b	0.40	1.60	0.30b	1.07a	0.47a
N2	4.02a	0.39	1.61	0.32ab	0.80b	0.41b
N3	4.13a	0.35	1.53	0.33a	0.72b	0.39b
Average	**3.92**	**0.39**	**1.58**	**0.32**	**0.86**	**0.42**
Potassium (K)						
K1	3.97	0.42	1.56	0.32	0.9	0.44
K2	3.94	0.41	1.64	0.32	0.84	0.42
K3	3.86	0.36	1.54	0.31	0.85	0.41
Average	**3.92**	**0.39**	**1.58**	**0.32**	**0.86**	**0.42**
F-test						
N	**	ns	ns	*	**	*
K	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×K	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	7.96	15.96	16.95	7.82	16.20	16.69

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

จากค่าวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบอ่อนที่ขยายตัวเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL) ของมันสำปะหลังอายุ 4 เดือน แสดงถึงสถานะของธาตุอาหารในมันสำปะหลังโดยจากประเมินจากค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์พบว่า ความเข้มข้นของ เหล็ก ทองแดง และสังกะสีใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าวิกฤติของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.11) ในขณะที่ความเข้มข้นของแมงกานีส และโบรอนเกินค่าวิกฤติในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ของมันสำปะหลัง

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และโมลิบดีนัมในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (ตารางที่ 4.11) มีความเข้มข้นของเหล็กสูงสุดในทรีทเมนต์ N3 มีค่าเท่ากับ 60.98 mg/kg และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทรีทเมนต์ N1 มีค่าเท่ากับ 38.96 mg/kg โดยทั้งสองทรีทเมนต์ไม่ต่างทางสถิติกับทรีทเมนต์ N2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 46.52 mg/kg ในขณะที่ความเข้มข้นของแมงกานีส ทองแดง และโมลิบดีนัมสูงสุดในทรีทเมนต์ N1 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ N2 และ N3 ความเข้มข้นของแมงกานีสในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 413.12 318.97 และ 279.96 mg/kg ตามลำดับ ความเข้มข้นของทองแดงในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 4.02 3.33 และ 3.34 mg/kg ตามลำดับ ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 3.67 2.63 และ 2.29 mg/kg ตามลำดับ

ในขณะที่อิทธิพลของอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ของมันสำปะหลัง (ตางราที่ 4.11) มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อความเข้มข้นของเหล็ก โบรอน และโมลิบดีนัมในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (ตารางที่ 4.11)

ตารางที่ 4.11 ความเข้มข้นทั้งหมดของจุลธาตุอาหารในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL)ของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Total Fe (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total B (mg/kg)	Total Mo (mg/kg)
Critical level	120-140	150-250	6-10	35-57	18-28	-
Nitrogen (N)						
N1	38.96b	413.12a	4.02a	38.77	50.42	3.67a
N2	46.52ab	318.97b	3.33b	30.73	41.89	2.63b
N3	60.98a	279.96b	3.34b	30.18	43.05	2.29b
Average	**48.36**	**337.34**	**3.56**	**33.23**	**45.12**	**2.86**
Potassium (K)						
K1	48.74	355.44	3.63	33.36	46.13	2.91
K2	41.93	334.9	3.65	32.51	44.66	3.05
K3	54.42	321.69	3.4	33.81	44.57	2.62
Average	**48.36**	**337.34**	**3.56**	**33.23**	**45.12**	**2.86**
F-test						
N	*	**	*	ns	ns	**
K	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×K	**	ns	ns	ns	*	*
%CV	30.45	14.49	17.56	24.38	17.20	21.45

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ความเข้มข้นของไนโตรเจนและกำมะถันเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.10) Aulakh and Malhi (2005) รายงานว่า ไนโตรเจนและกำมะถันเป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีนในพืช ด้วยบทบาทหน้าที่ที่คล้ายคลึงกันส่งผลให้ธาตุไนโตรเจนและกำมะถันเป็นธาตุที่ส่งเสริมกัน (synergistic) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนโดยไม่มีการใส่ปุ๋ยกำมะถันร่วมด้วยส่งผลต่อการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ คือ เมไทโอนีน (methiomine) และ ซีสเทอีน (cysteine) ในขณะที่แคลเซียมและแมกนีเซียมลดลงเมื่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.10) Aulakh and Malhi (2005) เมื่อพืชได้รับไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมจะมีการสะสมไอออนบวก เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมมากกว่าการได้รับได้รับไนโตรเจนในรูปไนเตรท ซึ่งการทดลองนี้ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปไนเตรท (ตารางที่ 3.2) จึงส่งผลให้การสะสมแคลเซียมและแมกนีเซียมลดลงเมื่อไนโตรเจนสูงขึ้น

ความเข้มข้นของแมงกานีส ทองแดง และโมลิบดีนัมลดลงตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น Aulakh and Malhi (2005) รายงานไนโตรเจน และทองแดงเป็นธาตุอาหารที่เป็นปฏิปักษ์ต่อกันในพืชบางชนิดโดยเฉพาะพืชที่มีโปรตีนสูงเมื่อมีการใช้ไนโตรเจนในอัตราสูงในดินที่ขาดทองแดง พืชจะแสดงอาการขาดอย่างรุนแรง ในขณะที่การดูดใช้แมงกานีสขึ้นอยู่กับรูปของไนโตรเจน คือ ไนโตรเจนในรูปไนเตรทจะส่งเสริมการดูดดึงแมงกานีส ในทางตรงกันข้ามแอมโมเนียมเป็นรูปที่ขัดขวางกาดูดดึงแมงกานีสเช่นกัน (Aulakh and Malhi, 2005) นอกจากนี้ Aulakh and Malhi (2005) พบว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นเวลานานส่งผลให้พืชดูดดึงโมลิบดีนัมลดลง

4.2.2.2 การดูดดึงธาตุอาหาร

การดูดดึงไนโตรเจนของมันสำปะหลังในแต่ละส่วนมีความแตกต่างกัน โดยการดูดดึงไนโตรเจนของมันสำปะหลังสูงที่สุดในใบ รองลงมาเป็นหัว เหง้า ราก และลำต้น+ก้านใบ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12)

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อการดูดดึงไนโตรเจนในใบ เหง้า หัว ราก และการดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมด (ตารางที่ 4.12) การดูดดึงไนโตรเจนในใบ หัว ราก และการดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมดมีความต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยสูงสุดในทรีทเมนต์ N3 โดยไม่มีความต่างทางสถิติกับทรีทเมนต์ N2 และมีความต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทรีทเมนต์ N1 การดูดดึงไนโตรเจนในใบในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 0.52 1.07 และ 1.12 g/plant ตามลำดับ การดูดดึงไนโตรเจนในหัวในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 0.25 0.51 และ 0.59 g/plant ตามลำดับ การดูดดึงไนโตรเจนในรากในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 0.13 0.19 และ 0.22 g/plant ตามลำดับ การดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมดในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 1.35 2.23 และ 2.45 g/plant ตามลำดับ ในขณะที่การดูดดึงไนโตรเจนในเหง้าสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3

เท่ากับ 0.46 g/plant และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทรีทเมนต์ N2 และ N1 เท่ากับ 0.38 และ 0.37 g/plant ตามลำดับ

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันส่งผลต่อการดูดดึงไนโตรเจนในเหง้า และหัวของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.12) การดูดดึงไนโตรเจนในเหง้ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยสูงสุดในทรีทเมนต์ K3 เท่ากับ 0.43 g/plant และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทรีทเมนต์ K2 เท่ากับ 0.41 g/plant โดยที่ทรีทเมนต์ K1ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทรีทเมนต์ K2 และ K3 การดูดดึงไนโตรเจนในหัวสูงสุดที่ทรีทเมนต์ K3 เท่ากับ 0.52 g/plant และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทรีทเมนต์ K2 และ K1 เท่ากับ 0.43 และ 0.39 g/plant ในขณะที่การดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุดในทรีทเมนต์ K3 เท่ากับ 2.20 g/plant และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับกับทรีทเมนต์ K1 มีค่าเท่ากับ 1.86 g/plant โดยทรีทเมนต์ K2 ไม่แตกต่างทางสถิติกับทรีทเมนต์ K1 และ K3 มีค่าเท่ากับ 1.96 g/plant ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกันต่อการดูดดึงไนโตรเจนของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.12)

ตารางที่ 4.12 การดูดดึงไนโตรเจนของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Nitrogen Uptake (g/plant)					
	Leave blade	**Stem+Petio**	**OSC**	**Tuber**	**Root**	**Total**
Nitrogen (N)						
N1	0.52b	0.08	0.37b	0.25b	0.13b	1.35b
N2	1.07a	0.07	0.38b	0.51a	0.20a	2.23a
N3	1.11a	0.08	0.46a	0.59a	0.22a	2.45a
Average	**0.90**	**0.07**	**0.40**	**0.45**	**0.18**	**25.26**
Potassium (K)						
K1	0.79	0.07	0.41AB	0.39B	0.18	1.86B
K2	0.93	0.07	0.37B	0.43B	0.16	1.96AB
K3	0.97	0.08	0.43A	0.52A	0.19	2.20A
Average	**0.90**	**0.07**	**0.40**	**0.45**	**0.18**	**25.26**
F-test						
N	**	ns	*	**	**	**
K	ns	ns	**	*	ns	*
N×K	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	28.14	35.41	12.77	24.43	22.46	15.11

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

การดูดดึงไนโพแทสเซียมของมันสำปะหลังในแต่ละส่วนมีความแตกต่างกัน โดยการดูดดึงโพแทสเซียมของมันสำปะหลังสูงที่สุดในลำต้น+ก้านใบ รองลงมาเป็นหัว เหง้า ราก และใบ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13)

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อการดูดดึงโพแทสซียมในใบ หัว และการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมด (ตารางที่ 4.13) การดูดดึงโพแทสซียมในใบ หัว และการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมดมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 และไม่มีแตกต่างทางสถิติกับทรีทเมนต์ N2 แต่ต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทรีทเมนต์ N1 การดูดดึงโพแทสเซียมในใบในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 0.21 0.42 และ 0.47 g/plant ตามลำดับ การดูดดึงโพแทสเซียมในหัวในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 0.54 1.03 และ 1.07 g/plant ตามลำดับ การดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมดในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 2.99 3.52 และ 3.68 g/plant ตามลำดับ

ในขณะที่อิทธิพลของอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันส่งผลต่อการดูดดึงโพแทสเซียมในทุกส่วนยกเว้นในใบของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.13) การดูดดึงโพแทสเซียมในก้านใบ+ลำต้นของมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญโดยสูงที่สุดที่ทรีทเมนต์ K3 เท่ากับ 1.26 g/plant และแตกต่างทางสถิติกับทรีทเมนต์ K1 เท่ากับ 0.76 g/plant โดยทรีทเมนต์ K2 ไม่แตกต่างทางสถิติกับทรีทเมนต์ K1 และ K3 ในขณะที่การดูดดึงโพแทสเซียมในเหง้า ราก และการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมดแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยสูงสุดในทรีทเมนต์ K3 รองลงมาเป็น K2 และ K1 ตามลำดับ การดูดดึงโพแทสเซียมในเหง้าในทรีทเมนต์ K1 K2 และ K3 เท่ากับ 0.61 0.72 และ 0.89 g/plant ตามลำดับ การดูดดึงโพแทสเซียมในรากในทรีทเมนต์ K1 K2 และ K3 เท่ากับ 0.21 0.42 และ 0.58 g/plant ตามลำดับ การดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมดในทรีทเมนต์ K1 K2 และ K3 เท่ากับ 2.49 3.37และ 4.32 g/plant ตามลำดับ การดูดดึงโพแทสเซียมในหัวสูงสุดในทรีทเมนต์ K3 เท่ากับ 1.17 g/plant และแตกต่างทางสถิติกับทรีทเมนต์ K2 และ K1 เท่ากับ 0.81 และ 0.62 g/plant ตามลำดับ พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อการดูดดึงโพแทสเซียมในหัว และการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมด (ตารางที่ 4.13)

ไนโตรเจนและโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่เป็นส่งเสริมกัน (Synergistic) นอกจากมีความสำคัญต่อผลผลิตแล้ว ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหาร (Nutrients use efficiency: NUE) ดีขึ้นอีกด้วย (Rietra *et al*., 2017) ไนโตรเจนส่งเสริมการดูดดึงธาตุอาหาร เช่น โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส (Leghari *et al*., 2016) Rezaei *et al*. (2016) รายงานว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบ ต้น หัว และรากสูงขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน Singh *et al*. (2016) ศึกษาผล

ของไนโตรเจนในมันฝรั่งพบว่าการดูดดึงไนโตรเจนเพิ่มขึ้นตามอัตราของไนโตรเจนที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Petropoulos *et al.* (2008) ในข้าวสาลีพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในข้าวสาลีเพิ่มขึ้น ตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่สูงขึ้น นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราต่ำส่งผลให้มีไนโตรเจนในเนื้อเยื่อต่ำ พืชจะตอบสนองต่อโพแทสเซียมได้ดีเมื่อได้รับไนโตรเจนในอัตราที่เพียงพอ (Rietra *et al*., 2017)

ตารางที่ 4.13 การดูดดึงโพแทสเซียมของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Potassium Uptake (g/plant)					
	Leaf blade	**Stem+Petio**	**OSC**	**Tuber**	**Root**	**Total**
Nitrogen (N)						
N1	0.21b	1.13	0.71	0.54b	0.40	2.99b
N2	0.42a	0.91	0.72	1.03a	0.43	3.52a
N3	0.47a	0.97	0.78	1.07a	0.37	3.68a
Average	**0.36**	**1.01**	**0.74**	**0.88**	**0.40**	**15.72**
Potassium (K)						
K1	0.30	0.76B	0.61C	0.62B	0.21C	2.49C
K2	0.37	1.01AB	0.72B	0.86B	0.42B	3.37B
K3	0.42	1.26A	0.89A	1.17A	0.58A	4.32A
Average	**0.36**	**1.01**	**0.74**	**0.88**	**0.40**	**15.72**
F-test						
N	**	ns	ns	**	ns	**
K	ns	**	**	**	**	**
N×K	ns	ns	ns	*	ns	**
%CV	47.65	35.45	15.74	33.33	29.18	13.29

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

4.2.3 สหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการดูดดึงธาตุอาหาร

4.2.3.1 สหสัมพันธ์ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจน การดูดดึงโพแทสเซียม และน้ำหนักสดของมันสำปะหลัง

น้ำหนักสดของใบมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักสดของก้านใบ+ลำต้น หัว และน้ำหนักสดทั้งหมด และมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับและการดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (*r*) เท่ากับ 0.74** 0.57** 0.77** และ 0.84* ตามลำดับ (ตารางที่ 4.14) น้ำหนักสดของก้านใบ+ต้นมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักสดทุกส่วน และการดูดดึงไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า *r* เท่ากับ 0.34* 0.51** 0.59** 0.87** และ 0.71** ตามลำดับ น้ำหนักสดของเหง้ามีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักสดทุกส่วน ยกเว้นน้ำหนักสดของหัวซึ่งมีค่า *r* เท่ากับ 0.36* และ 0.39* ตามลำดับ น้ำหนักสดของรากมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักสดในหัว น้ำหนักสดทั้งหมด และการดูดดึงไนโตรเจนซึ่งมีค่า *r* เท่ากับ 0.34* 0.62** และ 0.40* ตามลำดับ น้ำหนักสดของหัวมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักสดทั้งหมด และการดูดดึงไนโตรเจนซึ่งมีค่า *r* เท่ากับ 0.85** และ 0.67** ตามลำดับ น้ำหนักสดทั้งหมดมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมดซึ่งมีค่า *r* เท่ากับ 0.82**

ตารางที่ 4.14 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (*r*) ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงโพแทสเซียม และน้ำหนักสดของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Parameter		Fresh wt.						Uptake	
		Leaf blade	Stem+Petio	OSC	Root	Tuber	Total	N	K
Fresh wt.	**Leaf blade**	1.00							
	Stem+Petio	0.74**	1.00						
	OSC	0.13	0.34*	1.00					
	Root	0.25	0.51**	0.36*	1.00				
	Tuber	0.57**	0.59**	0.21	0.34*	1.00			
	Total	0.77**	0.87**	0.39*	0.62**	0.85**	1.00		
Uptake	**N**	0.84**	0.71**	0.19	0.40*	0.67**	0.82**	1.00	
	K	0.27	0.27	0.17	0.08	0.21	0.28	0.54**	1.00

*Significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$ (n=36)

4.2.3.2 สหสัมพันธ์ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจน การดูดดึงโพแทสเซียม และน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง

น้ำหนักแห้งในใบมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักแห้งในก้านใบ+ต้น ราก หัว น้ำหนักแห้งทั้งหมด และการดูดดึงไนโตรเจน ซึ่งมีค่า *r* เท่ากับ 0.85** 0.36* 0.69** 0.87** และ 0.59** ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15) น้ำหนักแห้งในก้านใบ+ต้น มีสหสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งทุกส่วนยกเว้นน้ำหนักแห้งในเหง้า และมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงไนโตรเจน ซึ่งมีค่า *r* เท่ากับ 0.55** 0.59** 0.86** และ 0.67** ตามลำดับ น้ำหนักแห้งในรากมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักแห้งทั้งหมด และการดูดดึงไนโตรเจน ค่า *r* เท่ากับ 0.43** และ 0.35* ตามลำดับ น้ำหนักแห้งในหัวมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักแห้งทั้งหมด การดูดดึงไนโตรเจน และการดูดดึงโพแทสเซียม ค่า *r* เท่ากับ 0.90** 0.70** และ 0.45** ตามลำดับ น้ำหนักแห้งทั้งหมดมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงไนโตรเจน มีค่า *r* เท่ากับ 0.74**

ตารางที่ 4.15 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (*r*) ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงโพแทสเซียม และน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Parameter		Dry wt.						Uptake	
		Leaf blade	Stem+Petio	OSC	Root	Tuber	Total	N	K
Dry wt.	Leaf blade	1.00							
	Stem+Petio	0.85**	1.00						
	OSC	0.11	0.26	1.00					
	Root	0.36*	0.55**	0.20	1.00				
	Tuber	0.69**	0.59**	0.08	0.19	1.00			
	Total	0.87**	0.86**	0.28	0.44**	0.90**	1.00		
Uptake	N	0.59**	0.67**	0.04	0.35*	0.70**	0.74**	1.00	
	K	0.14	0.17	0.20	0.02	0.45*	0.30	0.55**	1.00

*Significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$ (n=36)

จากผลสหสัมพันธ์ของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งในแต่ละส่วนของมันสำปะหลังเป็นเชิงบวก คือการที่มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งใบ ลำต้น+ก้านใบ เหง้า และรากจะส่งผลให้มีน้ำหนักสดของหัวเพิ่มขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าหากการเจริญเติบโตทางลำต้นสูง อาจจะส่งผลให้ได้ผลผลิตที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีการดูดดึงไนโตรเจน และการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมดยังมี

สหสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลังสูง แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมจะส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้น และส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

4.2.3.3 สหสัมพันธ์ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจน และการดูดดึงโพแทสเซียมในส่วนต่างๆ ของมันสำปะหลัง

การดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมดมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมด การดูดดึงไนโตรเจนในใบมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงไนโตรเจนในราก หัว และการดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมด นอกจากนี้ยังมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงโพแทสเซียมในใบ หัว และการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมด โดยค่า *r* เท่ากับ 0.46** 0.67** 0.93** 0.86** 0.51** และ 0.39** ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16) การดูดดึงไนโตรเจนในก้านใบ+ต้นมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงโพแทสเซียมในลำต้น+ก้านใบ ค่า *r* เท่ากับ 0.84** การดูดดึงไนโตรเจนในเหง้ามีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงไนโตรเจนในราก และการดูดดึงโพแทสเซียมในเหง้า ค่า *r* เท่ากับ 0.52** และ 0.35* ตามลำดับ การดูดดึงไนโตรเจนในหัวมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงไนโตรเจนในหัว การดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมด การดูดดึงโพแทสเซียมในหัว และการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.86** 0.47** 0.87** และ 0.56** ตามลำดับ การดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมดมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงโพแทสเซียมในใบ หัว และการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.74** 0.68** และ 0.54** ตามลำดับ เช่นเดียวกับการดูดดึงโพแทสเซียมในใบมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.41** (ตารางที่ 4.16) การดูดดึงโพแทสเซียมในก้านใบ+ต้นมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงโพแทสเซียมในเหง้า ราก และการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.41* 0.62** และ 0.65** ตามลำดับ การดูดดึงโพแทสเซียมในเหง้ามีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงโพแทสเซียมในราก หัว และการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.55** 0.44** และ 0.74** ตามลำดับ การดูดดึงโพแทสเซียมในรากและหัว มีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.72** และ 0.73** ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (*r*) ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงโพแทสเซียมของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Parameter		N uptake						K uptake					
		Leaf blade	**Stem+ Petio**	**OSC**	**Root**	**Tuber**	**Total**	**Leaf blade**	**Stem+ Petio**	**OSC**	**Root**	**Tuber**	**Total**
N uptake	**Leaf blade**	1.00											
	Stem+Petio	-0.22	1.00										
	OSC	0.21	0.31	1.00									
	Root	0.46**	0.17	0.52**	1.00								
	Tuber	0.67**	0.02	0.32	0.57**	1.00							
	Total	0.93**	-0.04	0.43	0.65**	0.86**	1.00						
K uptake	**Leaf blade**	0.86**	-0.21	0.13	0.32	0.47**	0.74**	1.00					
	Stem+Petio	-0.17	0.84**	0.25	0.06	-0.05	-0.06	-0.08	1.00				
	OSC	0.27	0.12	0.35*	0.20	0.32	0.35	0.31	0.41*	1.00			
	Root	-0.03	0.31	0.12	0.19	0.08	-0.05	0.04	0.62**	0.55**	1.00		
	Tuber	0.51**	0.06	0.18	0.38*	0.87**	0.68**	0.35	0.07	0.44**	0.29	1.00	
	Total	0.39**	0.43**	0.31	0.35*	0.56**	0.54**	0.41**	0.65**	0.74**	0.72**	0.73**	1.00

*Significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$ (n=36)

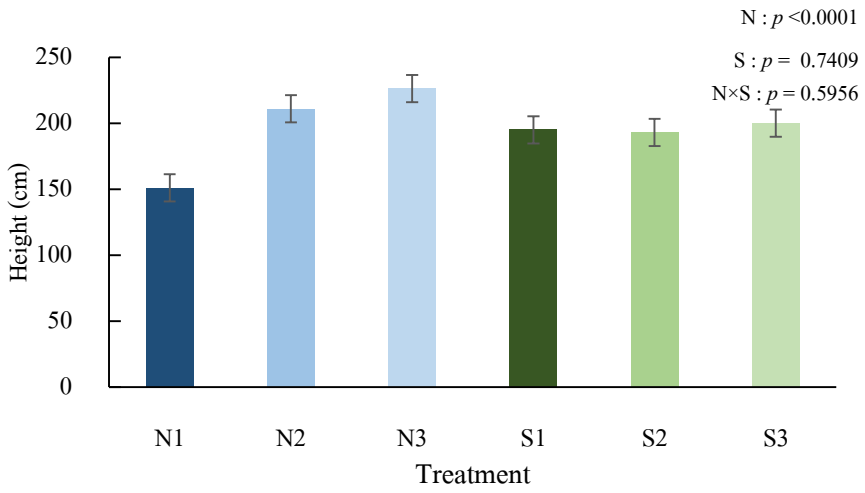
จากผลสหสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมส่งผลให้การดูดดึงไนโตรเจนและโพแทสเซียมทุกส่วนมีสหสัมพันธ์เชิงบวก ยกเว้นในรากแสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้น พืชมีการดูดใช้ไนโตรเจนมากขึ้น และพืชจะดูดใช้โพแทสเซียมมากขึ้นด้วยเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าหากมีใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้นจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราที่สูงขึ้นเช่นกัน Johnston and Milford (2012) รายงานว่าไนโตรเจนและโพแทสเซียมส่งผลต่อกระบวนการสร้างหัวของมันสำปะหลัง การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับโพแทสเซียมส่งผลให้มีขนาดของหัว จำนวนหัว น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของหัวเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะทั้งสองธาตุนี้กระตุ้นเอนไซม์ starch synthase ที่เร่งการสร้างแป้งและน้ำตาลกลูโคส (Hawkesford *et al.*, 2012) นอกจากนี้ Aulakh and Malhi (2005) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงส่งผลให้พืชมีการดูดดึงโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันการใช้โพแทสเซียมในอัตราสูงพืชจะดูดดึงไนโตรเจนในปริมาณมากขึ้นด้วยเช่นกัน

4.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

4.3.1 การเจริญเติบโต

ความสูงของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นตามอายุของมันสำปะหลัง จากผลการทดลองพบว่าความสูงของมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญภายใต้อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (รูปที่ 4.4) โดยความสูงของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 รองลงมาเป็น N2 และ ต่ำที่สุดในทรีทเมนต์ N1 เท่ากับ 226.33 211.08 และ 151.00 cm ตามลำดับ ในขณะที่อิทธิพลของอัตราปุ๋ยกำมะถันไม่ส่งผลต่อความสูงของมันสำปะหลัง (รูปที่ 4.4) และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยไนโตรเจนและอัตราปุ๋ยกำมะถันต่อความสูงของมันสำปะหลัง (รูปที่ 4.4)

Sullivan (2010) รายงานว่าการขาดไนโตรเจนส่งผลให้พืชชะงักการเจริญเติบโต ข้อและปล้องสั้นลงจึงส่งผลทำให้ความสูงของมันสำปะหลังผิดปกติ Cenpukdee and Fukai (1991) รายงานว่าไนโตรเจนช่วยเพิ่มความสูงของมันสำปะหลังในช่วง 100 วันหลังปลูก ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานทดลองในมันสำปะหลัง ข้าวสาลี ผักชีฝรั่ง และข้าวฟ่าง (Uwah *et al*., 2013; Pal *et al*., 2005; Petropoulos *et al.*, 2008; Zhao *et at*., 2005) พบว่าความสูงเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.4 ความสูงของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วันภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน

หลังมันสำปะหลังอายุ 1 เดือนค่า SPAD ของมันสำปะหลังลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง หลังสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่า SPAD ทั้งในใบล่างของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.17) ค่า SPAD ของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่า SPADในใบล่างสูงสุดในทรีทเมนต์ N3 รองลงมาเป็น N2 และต่ำสุดในทรีทเมนต์ N1 เท่ากับ 34.90 33.06 และ 29.89 ตามลำดับ ไนโตรเจนมีบทบาทสำคัญในการผลิตคลอโรฟิลล์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้สถานะของไนโตรเจนได้ ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสูงขึ้น Sen *et al*. (2016) รายงานการศึกษาอิทธิพลของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราต่ำต่อความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในข้าวโพดพบว่าไนโตรเจนในอัตราต่ำส่งผลให้ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ลดลง

ในขณะที่อิทธิพลอัตราปุ๋ยกำมะถันที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อค่า SPAD ของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วัน (ตารางที่ 4.17) เนื่องจากบทบาทและหน้าที่ที่คล้ายคลึงกันของไนโตรเจนและกำมะถันจึงทำให้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก (Jamal *et al*., 2010) และกำมะถันเป็นธาตุอาหารรองที่พืชต้องการในปริมาณที่น้อยกว่าธาตุอาหารหลัก (ยงยุทธ โอสถสภา, 2546) อาจเป็นเหตุผลให้การแสดงออกทางใบไม่ชัดเจนเท่ากันขาดไนโตรเจน หรืออาจมีธาตุอาหารอื่นที่มีบทบาทหน้าที่คล้ายคลึงกัน เช่น ไนโตรเจนในปริมาณที่เพียงพอสามารถทดแทนกันได้จึงให้การแสดงออกยังไม่ชัดเจนมากนัก

ตารางที่ 4.17 ค่า SPAD ของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	SPAD	
	Upper leaves	**Lower leaves**
Nitrogen (N)		
N1	40.13	29.89b
N2	41.04	33.06a
N3	41.91	34.90a
Average	**41.03**	**32.61**
Sulfur (S)		
S1	40.86	31.53
S2	40.75	33.32
S3	41.48	32.99
Average	**41.03**	**32.61**
F-test		
N	ns	**
S	ns	ns
N×S	ns	ns
%CV	4.2	8.0

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

การสะสมน้ำหนักสดของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วันสูงที่สุดในส่วนหัว รองลงมาเป็น ลำต้น+ก้านใบ ราก เหง้า และต่ำสุดที่ใบของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.18)

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อน้ำหนักสดของมันสำปะหลังในทุกส่วนยอกเว้นในเหง้า (ตารางที่ 4.18) น้ำหนักสดของมันสำปะหลังแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำหนักสดในใบ ลำต้น+ก้านใบ หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N1 รองลงมาเป็น N2 และ N3 ตามลำดับ น้ำหนักสดของใบในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 99.84 160.34 และ 216.87 g/plant ตามลำดับ น้ำหนักสดของลำต้น+ก้านใบในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 125.69 223.76 และ 301.33 g/plant ตามลำดับ น้ำหนักสดของหัวในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 162.93 254.74 และ 324.11 g/plant ตามลำดับ น้ำหนักสดทั้งหมดในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 659.93 99.74 และ 1,274.03 g/plant ตามลำดับ ในขณะที่น้ำหนักสดของรากสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 และ N2 เท่ากับ 226.64 191.98 g/plant ตามลำดับ และต่ำที่สุดในทรีทเมนต์ N1 เท่ากับ 134.04 g/plant

นอกจากนี้อิทธิพลของอัตราปุ๋ยกำมะถันที่แตกต่างกันส่งผลต่อน้ำหนักสดในหัวของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.18) น้ำหนักสดของหัวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยสูงสุดในทรีทเม้นต์ S3 และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทรีทเมนต์ S1 เท่ากับ 281.06 และ 258.21 g/plant และต่ำสุดในทรีทเมนต์ S2 มีค่าเท่ากับ 202.51 g/plant และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกันต่อน้ำหนักสดของมันสำปะหลังในทุกส่วน (ตารางที่ 4.18)

ผลการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังด้านน้ำหนักสดสอดคล้องกับการเจริญเติบโตด้านความสูง เนื่องจากความสูงของมันสำปะหลังสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 จึงส่งผลให้ในทรีทเมนต์ N3 มีการสะสมน้ำหนักของมันสำปะหลังสูงที่สุด ในขณะที่อิทธิพลของอัตราปุ๋ยกำมะถันที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงจึงส่งผลให้การสะสมน้ำหนักสดของมันสำปะหลังในใบ ลำต้น+ก้านใบ ราก เหง้า และน้ำหนักสดทั้งหมดไม่ต่างทางสถิติเช่นกัน

ตารางที่ 4.18 น้ำหนักสดใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Fresh weight (g/plant)					
	Leaf blade	Stem+Petio	OSC	Root	Tuber	Total
Nitrogen (N)						
N1	99.84c	125.69c	161.32	134.04b	162.93c	659.93c
N2	160.34b	223.76b	172.70	191.98a	254.74b	999.74b
N3	216.87a	301.33a	179.31	226.64a	324.11a	1,274.03a
Average	**159.02**	**216.93**	**171.11**	**184.22**	**247.26**	**977.90**
Sulfur (S)						
S1	159.41	218.36	174.03	202.52	258.21A	1,019.72
S2	165.37	211.13	171.04	176.41	202.51B	920.63
S3	152.27	221.29	168.26	173.73	281.06A	993.35
Average	**159.02**	**216.93**	**171.11**	**184.22**	**247.26**	**977.90**
F-test						
N	**	**	ns	**	**	**
S	ns	ns	ns	ns	*	ns
N×S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	26.4	13.6	9.7	23	24.1	16.4

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

การสะสมน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลังที่อายุ 108 วัน เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการสะสมน้ำหนักสดโดยสูงที่สุดในส่วนหัว รองลงมาลำต้น+ก้านใบ เหง้า ราก และใบตามลำดับ (ตารางที่ 4.19)

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อน้ำหนักสดของมันสำปะหลังในทุกส่วนยกเว้นเหง้า (ตารางที่ 4.19) น้ำแห้งในทุกส่วน ยกเว้นเหง้ามีความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำหนักแห้งใบ ลำต้น+ก้านใบ ราก หัว และน้ำหนักแห้งทั้งหมดสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 รองมาลงเป็น N2 และต่ำที่สุดในทรีทเมนต์ N1 ตามลำดับ น้ำหนักแห้งของใบในทรีทเมนต์ N1 N2

และ N3 เท่ากับ 27.54 39.90 และ 52.82 g/plant ตามลำดับ น้ำหนักแห้งของลำต้น+ก้านใบในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 52.77 75.61 และ 96.54 g/plant ตามลำดับ น้ำหนักแห้งของรากในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 8.97 13.50 และ 16.84 g/plant ตามลำดับ น้ำหนักแห้งของหัวในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 69.58 101.91 และ 129.52 g/plant ตามลำดับ น้ำหนักแห้งทั้งหมดในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 เท่ากับ 227.41 304.46 และ 378.64 g/plant ตามลำดับ

ในขณะที่อิทธิพลของอัตราปุ๋ยกำมะถันที่ต่างกันส่งผลต่อน้ำหนักแห้งในหัวของมันสำปะหลังเท่านั้น (ตารางที่ 4.19) น้ำหนักแห้งในหัวต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยสูงสุดในทรีทเมนต์ S3 เท่ากับ 114.28 g/plant และต่ำสุดในทรีทเมนต์ S2 และ S1 เท่ากับ 83.96 และ 12.77 g/plant ตามลำดับ และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันต่อน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญในการสร้างส่วนประกอบต่างๆของพืช (Sullivan, 2010) กำมะถันมีบทบาทสำคัญต่อสรีระวิทยาของพืช (Barczak and Nowak, 2014) นอกจากนี้ไนโตรเจนและกำมะถันยังมีบทบาทและหน้าที่ที่คล้ายคลึงกัน การใช้กำมะถันที่ 30 กิโลกรัมกำมะถัน/เฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 120 kgN/ha ส่งผลให้มีผลผลิตเมล็ดมัสตาร์ดสูงที่สุด (Jamal *et al.*, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Islam *et al.* (2014) ในมันฝรั่งพบว่าการใช้ปุ๋ยกำมะถันส่งผลให้น้ำหนักแห้ง และผลผลิตของมันฝรั่งสูงขึ้น

ตารางที่ 4.19 น้ำหนักแห้งใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Dry weight (g/plant)					
	Leaf blade	**Stem+Petio**	**OSC**	**Root**	**Tuber**	**Total**
Nitrogen (N)						
N1	27.54c	52.77c	70.13	8.97c	69.58c	227.14c
N2	39.90b	75.61b	75.39	13.50b	101.91b	304.46b
N3	52.82a	96.54a	78.76	16.84a	129.52a	378.64a
Average	**40.08**	**74.98**	**74.76**	**13.1**	**100.34**	**303.42**
Sulfur (S)						
S1	39.96	73.25	76.49	14.54	102.77AB	287.96
S2	42.69	75.03	75.25	12.39	83.96B	310.18
S3	37.60	76.65	72.54	12.38	114.28A	312.11
Average	**40.08**	**74.98**	**74.76**	**13.1**	**100.34**	**303.42**
F-test						
N	**	**	ns	**	**	**
S	ns	ns	ns	ns	*	ns
N×S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	31	12.7	8.4	23.8	24.5	13.8

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

4.3.2 ความเข้มข้นและการดูดดึงธาตุอาหาร

4.2.2.1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบอ่อนที่ขยายตัวเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL)

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบอ่อนที่ขยายตัวเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL) ของมันสำปะหลังอายุ 4 เดือน ซึ่งแสดงถึงสถานะของธาตุอาหารในมันสำปะหลังพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าวิกฤติของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.20) แต่พบว่าสัดส่วนของไนโตรเจนต่อกำมะถันจากการทดลองครั้งนี้มีค่าเท่ากับ 1:11 ซึ่งอยู่ในระดับสูงเมื่อเทียบกับสัดส่วนไนโตรเจนต่อกำมะถันจากค่าวิกฤตมีค่าเท่ากับ 1:16-17 ในขณะที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และกำมะถันอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อมันสำปะหลัง และความเข้มข้นของแคลเซียม และแมกนีเซียมเกินค่าวิกฤติของมันสำปะหลัง

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อความเข้มข้นของไนโตรเจน กำมะถัน แคลเซียม และแมกนีเซียมในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (ตารางที่ 4.20) ความเข้มข้นของไนโตรเจน และกำมะถันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยสูงสุดในทรีทเมนต์ N3 รองลงมาเป็นทรีทเมนต์ N2 และ N1 ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของไนโตรเจนในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 มีค่าเท่ากับ 3.70 3.87 และ 4.21 g/100g ตามลำดับ ความเข้มข้นของกำมะถันในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 มีค่าเท่ากับ 0.32 0.32 และ 0.35 g/100g ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมลดลงตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น โดยจะสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N1 และแตกต่างทางสถิติกับทรีทเม้นต์ N2 และ N3 ความเข้มข้นของแคลเซียมในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 มีค่าเท่ากับ 1.02 0.83 และ 0.74 g/100g ตามลำดับ ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 มีค่าเท่ากับ 0.49 0.43 และ 0.43 g/100g ตามลำดับ

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยกำมะถันที่แตกต่างส่งผลต่อความเข้มข้นของกำมะถันในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (ตารางที่ 4.20) ความเข้มข้นของกำมะถันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยสูงสุดในทรีทเมนต์ S3 และไม่แตกต่างกับ S2 เท่ากับ 0.33 g/100g และต่ำที่สุดในทรีทเมนต์ S1 เท่ากับ 0.32 g/100g และพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันต่อความเข้มข้นของกำมะถันใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (ตารางที่ 4.20) ความเข้มข้นของไนโตรเจน และกำมะถันเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่สูงขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมลดลงตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่สูงขึ้น (ตารางที่ 4.20) ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองที่ 2

ตารางที่ 4.20 ความเข้มข้นทั้งหมดของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL)ของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Total N (g/100g)	Total P (g/100g)	Total K (g/100g)	Total S (g/100g)	Total Ca (g/100g)	Total Mg (g/100g)
Critical level	5.1-5.8	0.38-0.50	1.42-1.88	0.30-0.36	0.50-0.72	0.24-0.29
Nitrogen (N)						
N1	3.70b	0.42	1.67	0.32b	1.02a	0.49a
N2	3.87b	0.42	1.70	0.32b	0.83b	0.43b
N3	4.21a	0.42	1.73	0.35a	0.74b	0.43b
Average	**3.92**	**0.42**	**1.70**	**0.33**	**0.86**	**0.45**
Sulfur (S)						
S1	3.84	0.4	1.66	0.32b	0.88	0.45
S2	3.93	0.44	1.79	0.33a	0.88	0.47
S3	3.98	0.41	1.66	0.33a	0.82	0.43
Average	**3.92**	**0.42**	**1.70**	**0.33**	**0.86**	**0.45**
F-test						
N	**	ns	ns	**	**	*
S	ns	ns	ns	*	ns	ns
N×S	ns	ns	ns	*	ns	ns
%CV	6.01	8.56	9.68	4.62	15.78	13.24

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบอ่อนที่ขยายตัวเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL) ของมันสำปะหลังอายุ 4 เดือน ซึ่งแสดงถึงสถานะของธาตุอาหารในมันสำปะหลังพบว่าความเข้มข้นของเหล็ก และทองแดง ใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าวิกฤติของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.21) ในขณะที่ความเข้มข้นของแมงกานีส สังกะสี และโบรอนเกินค่าวิกฤตของมันสำปะหลัง

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อความเข้มข้นของแมงกานีส ทองแดง และโมลิบดีนัมใบในอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (ตารางที่ 4.21) โดยความเข้มข้นของแมงกานีส ทองแดง และโมลิบดีนัมใบในอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N1 และแตกต่างทางสถิติติอย่างมีนัยสำคัญกับทรีทเมนต์ N2 และ N3 โดยความเข้มข้นของแมงกานีสในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 มีค่าเท่ากับ 394.09 321.67 และ 267.06 mg/kg ตามลำดับ ความเข้มข้นของทองแดงในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 มีค่าเท่ากับ 4.69 3.96 และ 3.64 mg/kg ตามลำดับ ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 มีค่าเท่ากับ 3.97 2.94 และ 2.75 mg/kg ตามลำดับ

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยกำมะถันที่แตกต่างกันส่งผลต่อความเข้มข้นของโมลิบดีนัมใบในอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (ตารางที่ 4.21) ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมใบในอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยสูงที่สุดในทรีทเมนต์ S1 มีค่าเท่ากับ 3.73 mg/kg และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทรีทเมนต์ S2 และ S3 มีค่าเท่ากับ 3.18 และ 2.75 mg/kg ตามลำดับ ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันต่อความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่

ความเข้มข้นของแมงกานีส ทองแดง และโมลิบดีนัมลดลงตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.21) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองที่ 2 นอกจากนี้ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมลดลงตามอัตราปุ๋ยกำมะถันที่สูงขึ้น กำมะถันในรูปซัลเฟต(SO_4^{2-}) และโมลิบดีนัมในรูปโมลิบเดต (MoO_4^{2-}) เป็นปฏิปักษ์ต่อกัน (Antagonism) (Bryson and Mills, 2015) การใส่ปุ๋ยกำมะถันในอัตราที่สูงขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมในเนื้อเยื่อลดลง

ตารางที่ 4.21 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL)ของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Total Fe (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total B (mg/kg)	Total Mo (mg/kg)
Critical level	120-140	150-250	6-10	35-57	18-28	-
Nitrogen (N)						
N1	56.24	394.09a	4.69a	40.95	43.27	3.97a
N2	43.99	321.67b	3.96b	40.65	41.99	2.94b
N3	62.68	267.06c	3.64b	43.84	38.30	2.75b
Average	**55.00**	**327.60**	**4.10**	**41.82**	**40.97**	**3.22**
Sulfur (S)						
S1	53.62	316.99	4.01	42.73	40.96	3.73A
S2	50.90	350.80	4.03	41.17	41.22	3.18B
S3	60.47	315.02	4.24	41.55	40.74	2.75B
Average	**55.00**	**327.60**	**4.10**	**41.82**	**40.97**	**3.22**
F-test						
N	ns	*	**	ns	ns	**
S	ns	ns	ns	ns	ns	**
N×S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	46.27	13.50	16.77	19.33	14.40	17.37

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

4.2.2.2 การดูดดึงธาตุอาหาร

การดูดดึงไนโตรเจนของมันสำปะหลังสูงที่สุดในใบ รองลงมาเป็นหัว เหง้า ราก และต่ำที่สุดในลำต้น+ก้านใบ (ตารางที่ 4.22) อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อการดูดดึงไนโตรเจนในใบ หัว ราก และการดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมดของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.22) การดูดดึงไนโตรเจนในใบ หัว และรากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยสูงสุดในทรีทเมนต์ N3 และไม่แตกต่างทางสถิติกับ N2 และต่ำสุดในทรีทเมนต์ N1 การดูดดึงไนโตรเจนในใบในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 มีค่าเท่ากับ 0.54 1.07และ 1.16 g/plant ตามลำดับ การดูดดึงไนโตรเจนในหัวในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 มีค่าเท่ากับ 0.25 0.54 และ 0.59 g/plant ตามลำดับ การดูดดึงไนโตรเจนในรากในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 มีค่าเท่ากับ 0.13 0.21 และ 0.24 g/plant ตามลำดับ การดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมดมีความแตกต่างกันทางสถิติโดยสูงสุดในทรีทเมนต์ N3 รองลงมาเป็น N2 และ N1 เท่ากับ 1.76 2.74 และ 3.03 g/plant ตามลำดับ

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยกำมะถันที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการดูดดึงไนโตรเจนในทุกส่วนของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.22) และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันต่อการดูดดึงไนโตรเจนในทุกส่วนของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.22)

ตารางที่ 4.22 การดูดดึงไนโตรเจนของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Nitrogen Uptake (g/plant)					
	Leaf blade	**Stem+Petio**	**OSC**	**Tuber**	**Root**	**Total**
Nitrogen (N)						
N1	0.54b	0.07	0.40	0.25b	0.13b	1.76c
N2	1.07a	0.08	0.44	0.54a	0.21a	2.74b
N3	1.16a	0.07	0.46	0.59a	0.24a	3.03a
Average	**0.92**	**0.07**	**0.43**	**0.46**	**0.19**	**28.44**
Sulfur (S)						
S1	0.85	0.08	0.44	0.42	0.20	2.38
S2	0.95	0.09	0.43	0.44	0.18	2.6
S3	0.96	0.06	0.43	0.52	0.20	2.55
Average	**0.92**	**0.07**	**0.43**	**0.46**	**0.19**	**28.44**
F-test						
N	**	ns	ns	**	**	**
S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×S	ns	ns	ns	*	ns	ns
%CV	25.48	32.30	16.32	28.41	25.54	13.43

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

การดูดดึงกำมะถันของมันสำปะหลังสูงที่สุดในราก รองลงมาเป็นใบ หัว ลำต้น+ก้านใบ และต่ำที่สุดในเหง้า (ตารางที่ 4.23) อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อการดูดดึงกำมะถันใบใน หัว ราก และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด การดูดดึงกำมะถันในใบ หัว รากและการดูดดึงกำมะถันทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสูงสุดในทรีทเมนต์ N3 และไม่ต่างกันทางสถิติกับทรีทเมนต์ N2 และต่ำสุดในทรีทเมนต์ N1 การดูดดึงกำมะถันในใบในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 มีค่าเท่ากับ 0.05 0.09 และ 0.10 g/plant ตามลำดับ การดูดดึงกำมะถันในหัวในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 มีค่าเท่ากับ 0.04 0.09 และ 0.09 g/plant ตามลำดับ การดูดดึง

กำมะถันในรากในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 มีค่าเท่ากับ 0.09 0.13 และ 0.14 g/plant ตามลำดับ การดูดดึงกำมะถันทั้งหมด ในทรีทเมนต์ N1 N2 และ N3 มีค่าเท่ากับ 0.32 0.47 และ 0.49 g/plant ตามลำดับ

อิทธิพลของอัตราปุ๋ยกำมะถันที่แตกต่างกันส่งผลต่อการดูดดึงกำมะถันในราก และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด (ตารางที่ 4.23) การดูดดึงกำมะถันในรากสูงสุดในทรีทเมนต์ S3 และมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ กับทรีทเมนต์ S2 และ S1 การดูดดึงกำมะถันในรากในทรีทเมนต์ S1 S2 และ S3 เท่ากับ 0.10 0.11 และ 0.15 g/plant ตามลำดับ การดูดดึงกำมะถันทั้งหมดมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยสูงที่สุดในทรีทเมนต์ S3 รองลงมาเป็น S2 และ S1 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.47 0.42 และ 0.38 g/plant ตามลำดับ และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันต่อการดูดดึงกำมะถันในทุกส่วนของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.23)

ตารางที่ 4.23 การดูดดึงกำมะถันของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Sulfur Uptake (g/plant)					
	Leaf blade	**Stem+Petio**	**OSC**	**Tuber**	**Root**	**Total**
Nitrogen (N)						
N1	0.05b	0.07	0.07	0.04b	0.09b	0.32b
N2	0.10a	0.08	0.07	0.09a	0.13a	0.47a
N3	0.10a	0.07	0.07	0.09a	0.14a	0.49a
Average	**0.08**	**0.07**	**0.07**	**0.08**	**0.12**	**5.40**
Sulfur (S)						
S1	0.07	0.08	0.07	0.07	0.10B	0.38C
S2	0.08	0.08	0.07	0.08	0.11B	0.42B
S3	0.09	0.06	0.07	0.09	0.15A	0.47A
Average	**0.08**	**0.07**	**0.07**	**0.08**	**0.12**	**5.40**
F-test						
N	**	ns	ns	**	**	**
S	ns	ns	ns	ns	**	**
N×S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	28.55	32.31	12.93	30.36	25.46	10.37

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

4.3.3 สหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการดูดดึงธาตุอาหาร

4.2.3.1 สหสัมพันธ์ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจน การดูดดึงกำมะถัน และน้ำหนักสดของมันสำปะหลัง

น้ำหนักสดของใบมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักสดของในทุกส่วน และมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดดึงไนโตรเจนและกำมะถันทั้งหมด โดยค่า r เท่ากับ 0.82** 0.39* 0.63** 0.69** 0.89** 0.49** และ 0.43** ตามลำดับ (ตารางที่ 4.24) น้ำหนักสดในก้านใบ+ลำต้นมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักสดในเหง้า ราก หัว

น้ำหนักสดทั้งหมด การดูดดึงไนโตรเจน และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด 0.46** 0.73** 0.68** 0.91** 0.76** และ 0.72** ตามลำดับ น้ำหนักสดในเหง้ามีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักสดในราก และน้ำหนักสดทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.62** และ 0.53** ตามลำดับ น้ำหนักสดในรากมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักสดในหัว น้ำหนักสดทั้งหมด การดูดดึงไนโตรเจน และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.53** 0.80** 0.48** และ 0.47** ตามลำดับ น้ำหนักสดในหัวมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักสดทั้งหมด การดูดดึงไนโตรเจน และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.88** 0.64** และ 0.61**ตามลำดับ น้ำหนักสดทั้งหมดมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับการดูดดึงไนโตรเจน และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.69** และ 0.65** ตามลำดับ

ตารางที่ 4.24 สหสัมพันธ์ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงกำมะถัน และน้ำหนักสดของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน

Parameter		Fresh wt.						Uptake	
		Leaf blade	Stem+Petio	OSC	Root	Tuber	Total	N	S
Fresh wt.	**Leaf blade**	1.00							
	Stem+Petio	0.82**	1.00						
	OSC	0.39*	0.46**	1.00					
	Root	0.63**	0.73**	0.62**	1.00				
	Tuber	0.69**	0.68**	0.27	0.53**	1.00			
	Total	0.89**	0.91**	0.52**	0.80**	0.88**	1.00		
Uptake	**N**	0.49**	0.76**	0.28	0.48**	0.64**	0.69**	1.00	
	S	0.43**	0.72**	0.26	0.47**	0.61**	0.65**	0.91**	1.00

*Significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$ (n=36)

4.2.3.2 สหสัมพันธ์ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจน การดูดดึงกำมะถัน และน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง

น้ำหนักแห้งของใบมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักแห้งของในทุกส่วน และมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงไนโตรเจนและกำมะถันทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.79** 0.33* 0.63** 0.56** 0.82** 0.43** และ 0.37* ตามลำดับ (ตารางที่ 4.25) น้ำหนักแห้งในก้านใบ+ต้นมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักแห้งในเหง้า ราก หัว น้ำหนักแห้งทั้งหมด การดูดดึงไนโตรเจน และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด 0.40* 0.69** 0.63** 0.88** 0.74** และ 0.67** ตามลำดับ น้ำหนักแห้งในเหง้ามี

สหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักแห้งในราก น้ำหนักแห้งทั้งหมด และการดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.56** 0.47** และ 0.37* ตามลำดับ น้ำหนักแห้งในรากมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักแห้งในหัว น้ำหนักแห้งทั้งหมด การดูดดึงไนโตรเจน และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.53** 0.74** 0.55** และ 0.51* ตามลำดับ น้ำหนักแห้งในหัวมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักแห้งทั้งหมด การดูดดึงไนโตรเจน และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.89** 0.61** และ 0.58** ตามลำดับ น้ำหนักแห้งทั้งหมดมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงไนโตรเจน และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.71** และ 0.65** ตามลำดับ

ตารางที่ 4.25 สหสัมพันธ์ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงกำมะถัน และน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน

Parameter		Dry wt.						Uptake	
		Leaf blade	Stem+Petio	OSC	Root	Tuber	Total	N	S
Dry wt.	**Leaf blade**	1.00							
	Stem+Petio	0.79**	1.00						
	OSC	0.33*	0.40*	1.00					
	Root	0.63**	0.69**	0.56**	1.00				
	Tuber	0.56**	0.63**	0.27	0.53**	1.00			
	Total	0.82**	0.88**	0.47**	0.74**	0.89**	1.00		
Uptake	**N**	0.43**	0.74**	0.37**	0.55**	0.61**	0.71**	1.00	
	S	0.37*	0.67**	0.28	0.51**	0.58**	0.68**	0.89**	1.00

*Significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$ (n=36)

4.2.3.3 สหสัมพันธ์ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจน และการดูดดึงกำมะถันในส่วนต่างๆ ของมันสำปะหลัง

การดูดดึงไนโตรเจนในใบมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงไนโตรเจนในราก หัว และการดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมด นอกจากนี้ยังมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงกำมะถันในใบ ราก หัว และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.47** 0.65** 0.93** 0.98** 0.40* 0.64** และ 0.83** ตามลำดับ (ตารางที่ 4.26) การดูดดึงไนโตรเจนในก้านใบ+ต้นมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงไนโตรเจนในเหง้า และการดูดดึงกำมะถันในก้านใบ+ต้น ค่า *r* เท่ากับ 0.32* 0.40* และ 0.68** ตามลำดับ การดูดดึงไนโตรเจนในเหง้ามีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึง

ไนโตรเจนในหัว การดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมด การดูดดึงกำมะถันในใบ ต้น เหง้า หัว และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.48** 0.46** 0.35* 0.40* 0.59** 0.42** และ 0.36* ตามลำดับ การดูดดึงไนโตรเจนในรากมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงไนโตรเจนในหัว การดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมด การดูดดึงกำมะถันในใบ ราก หัว และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.41* 0.54** 0.47** 0.76** 0.37** และ 0.62** ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีสหสัมพันธ์ในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงกำมะถันในเหง้า ค่า *r* เท่ากับ -0.39* การดูดดึงไนโตรเจนในหัวมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมด การดูดดึงกำมะถันในใบ ราก หัว และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.78** 0.64** 0.42* 0.97** และ 0.82** ตามลำดับ การดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมดมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงกำมะถันในใบ ราก หัว และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.90** 0.43** 0.75** และ 0.90** ตามลำดับ การดูดดึงกำมะถันในใบมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงกำมะถันในราก หัว และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.36* 0.64** และ 0.83** ตามลำดับ การดูดดึงกำมะถันในก้านใบ+ต้น และเหง้ามีสหสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงกำมะถันในราก ค่า *r* เท่ากับ -0.33* การดูดดึงกำมะถันในรากมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงกำมะถันในหัว และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.38* และ 0.68** ตามลำดับ การดูดดึงกำมะถันในหัวมีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการดูดดึงกำมะถันทั้งหมด ค่า *r* เท่ากับ 0.81**

ตารางที่ 4.26 สหสัมพันธ์ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงกำมะถันของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน

Parameter		N uptake						S uptake					
		Leaf blade	**Stem+Petio**	**OSC**	**Root**	**Tuber**	**Total**	**Leaf blade**	**Stem+Petio**	**OSC**	**Root**	**Tuber**	**Total**
N uptake	**Leaf blade**	1.00											
	Stem+Petio	0.23	1.00										
	OSC	0.31	0.32*	1.00									
	Root	0.47**	0.16	0.08	1.00								
	Tuber	0.65**	-0.06	0.48**	0.41*	1.00							
	Total	0.93**	0.40*	0.46**	0.54**	0.78**	1.00						
S uptake	**Leaf blade**	0.98**	0.23	0.35*	0.47**	0.64**	0.90**	1.00					
	Stem+Petio	-0.01	0.68**	0.40*	-0.04	-0.12	0.13	0.06	1.00				
	OSC	-0.01	0.08	0.59**	-0.39*	0.05	0.03	0.04	0.22	1.00			
	Root	0.40*	-0.14	-0.06	0.76**	0.42*	0.43**	0.39*	-0.33*	-0.32*	1.00		
	Tuber	0.64**	-0.09	0.42**	0.37*	0.97**	0.75**	0.64**	-0.13	0.07	0.38*	1.00	
	Total	0.83**	0.17	0.36*	0.62**	0.82**	0.90**	0.83**	0.07	0.03	0.68**	0.81**	1.00

*Significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$ (n=36)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญในการเพิ่มปริมาณ และคุณภาพของผลผลิต นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนยังช่วยเพิ่มปริมาณของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมทาบอลิซึม และเพิ่มประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แป้ง กำมะถันเป็นธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และมีความเชื่อมโยงกับไนโตรเจน การใส่ปุ๋ยกำมะถันส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนสูงขึ้น (Li *et al.*, 2013) Jamal *et al*. (2010) รายงานว่าการใช้กำมะถันในอัตราสูงแต่ได้รับไนโตรเจนในอัตราที่ไม่เพียงพอส่งผลให้ผลผลิตของหญ้าลดลง ในทำนองเดียวกันการใช้ไนโตรเจนในอัตราสูง แต่ได้รับกำมะถันในอัตราที่ไม่เพียงก็ส่งผลให้ผลผลิตลดลงเช่นกัน Aulakh and Malhi (2005) รายงานว่าไนโตรเจนและกำมะถันเป็นธาตุที่ส่งเสริมกัน การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนโดยไม่มีการใส่ปุ๋ยกำมะถันร่วมด้วยส่งผลต่อการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่มีกะมะถันเป็นองค์ประกอบ คือ เมไทโอนีน (methiomine) และ ซีสเทอีน (cysteine) เมทไทโอนีน เป็นกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของสารตั้งต้นในกระบวนการเมทาบอลิซึมเร่งการเจริญเติบโต และการแบ่งเซลล์ของพืช (Ravanel *et al*., 2004) ในขณะที่ซีสเทอีนมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน ทำให้โครงสร้างของโปรตีนมีเสถียรภาพ ทำให้เอนไซม์ทำหน้าที่ได้สมบูรณ์ ส่งเสริมการสังเคราะห์โปรตีนที่ยอดอ่อน ผล ปลายราก และช่วยควบคุมการดูดซัลเฟตของราก (Wirtz and Droux, 2005) พืชโดยทั่วไปมีสัดส่วนระหว่างไนโตรเจนและกำมะถัน (N:S ratio) อยู่ที่ 15-20:1 สัดส่วนระหว่างไนโตรเจนและกำมะถันทั้งหมดในเนื้อเยื่อพืชจะสะท้อนความสามารถของไนโตรเจนและกำมะถันในการสังเคราะห์โปรตีน การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนระหว่างไนโตรเจนต่อกำมะถันจะส่งผลต่อกระบวนเมทาบอลิซึม และการสังเคราะห์โปรตีนในพืช การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันในอัตราที่สมดุลกันจะส่งให้พืชมีการเจริญเติบโตและได้ผลผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (Aulakh and Malhi, 2005)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันในดินทราย

1) อินทรีย์ไนโตรเจนที่ระดับความลึก 0-30 cm มีค่าสูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 24 kg/rai และต่ำที่สุดเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน เนื่องจากการใส่ไนโตรเจนในอัตราที่สูงส่งผลให้ไนโตรเจนตกค้างอยู่ในดินมากขึ้น

2) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm เมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 8 และ 24 kg/rai สูงกว่าทรีทเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 16 kg/rai นอกจากนี้โพแทสเซียมทั้งหมดในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm สูงกว่าทรีทเมนต์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสูงขึ้น เนื่องจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงส่งผลให้ผลผลิตสูงขึ้น โพแทสเซียมจึงติดไปกับผลผลิตที่นำออกจากพื้นที่ทำให้โพแทสเซียมในดินลดลง

3) อินทรีย์กำมะถัน และกำมะถันทั้งหมดที่ระดับความลึก 30-60 cm มีค่าสูงสุดเมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อทรีทเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 24 kg/rai เนื่องจากใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงส่งผลให้ผลผลิตสูงขึ้น กำมะถันจึงติดไปกับผลผลิตที่นำออกจากพื้นที่ทำให้กำมะถันในดินลดลง

5.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

1) อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้ความสูง ค่า SPAD ในใบบน และใบล่าง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของไนโตรเจน กำมะถันและเหล็กในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ การดูดดึงไนโตรเจนในทุกส่วนยกเว้นในเหง้า การดูดดึงโพแทสเซียมในใบ หัว และการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส ทองแดง และโมลิบดีนัมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น

2) อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้ค่า SPAD ในใบล่าง การดูดดึงไนโตรเจนในเหง้า และหัว การดูดดึงโพแทสเซียมในทุกส่วนยกเว้นในใบ

3) การดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงโพแทสเซียมในใบ ก้านใบ+ต้น และหัวมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้การดูดดึงไนโตรเจนยังมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกกับน้ำหนักสดทุกส่วนของมันสำปะหลัง และน้ำหนักแห้งในทุกส่วนยกเว้นน้ำหนักแห้งในเหง้า ในขณะที่การดูดดึงโพแทสเซียมมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกกับน้ำหนักสดในทุกส่วนยกเว้นน้ำหนักสดในราก และมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกกับน้ำหนักแห้งในทุกส่วน ยกเว้นน้ำหนักแห้งในเหง้าและราก

5.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

1) อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้ความสูง ค่า SPAD ในใบบน และใบล่าง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของไนโตรเจน และกำมะถันสูงในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ การดูดดึงไนโตรเจนในใบ หัว ราก และการดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้น ในขณะความเข้มข้นของธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส ทองแดง และโมลิบดีนัมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น

2) อัตราปุ๋ยกำมะถันที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของหัว ความเข้มข้นของธาตุกำมะถันในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ การดูดดึงไนโตรเจนในราก และการดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของแมงกานีส ทองแดง และโมลิบดีนัมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามอัตราปุ๋ยกำมะถันที่เพิ่มขึ้น

3) การดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงกำมะถันในใบ ก้านใบ+ต้น และหัวมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้การดูดดึงไนโตรเจน และการดูดดึงกำมะถันยังมีสหสัมพันธ์ในเชิงบวกกับน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งทุกส่วนของมันสำปะหลังโดยเฉพาะใบ ก้านใบ+ลำต้น และหัว

บรรณานุกรม

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2561**. การเตรียมดินปลูกมันสำปะหลัง.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.most.go.th/main/th/

กรมวิชาการเกษตร. 2545ก. **คำแนะนำปุ๋ยมันสำปะหลัง.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.doa.go.th/main/

กรมวิชาการเกษตร. 2560ข. **จำแนกพันธุ์มันสำปะหลัง.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://at.doa.go.th/cassvar/var.html

ชยพร แอคะรัจน์. 2558. **สภาพแวดล้อมและการเขตกรรมมันสำปะหลัง.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.gotoknow.org/posts/298494

เชฐชุดา เชื้อสุวรรณ. 2561. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรมมันสำปะหลังปี 2561-2563. **อุตสาหกรรมมันสำปะหลัง .** 1-8.

ธีระ สมหวัง. 2550. **มันกินสด.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.eto.ku.ac.th/magazine/y52vol_2/p23_28.pdf

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. **ธาตุอาหารพืช.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเพทฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิชญาภรณ์ วงษ์บำหรุ ศุภิฌา ธนะจิตต์ สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม และวรชาติ วิศวพิพัฒน์. 2559. การตอบสนองของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ต่ออัตราปุ๋ยเคมีในชุดดินยโสธร. **แก่นเกษตร.** 44 (4): 585-594.

สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย. 2560. **ข้อมูลการส่งออกมันสำปะหลัง.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://ttta-tapioca.org

สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย. 2561. **ข้อมูลการส่งออกมันสำปะหลัง.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://ttta-tapioca.org

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2560. **แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.nesdb.go.th.

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. 2556. **การใช้ปุ๋ย.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.arda.or.th/

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2560**. แผนยุทธศาสตร์ 5 ปี โปรแกรมมันสำปะหลัง**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.nstda.or.th/th/th/industrial-research/907-cassava

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2561. **การปลูกมันสำปะหลัง.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.acfs.go.th/foodsafety/acfs.php

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560ก. **พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.oae.go.th

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560ข. **ผลผลิตมันสำปะหลัง.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.oae.go.th

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2559. **ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www3.rdi.ku.ac.th/?p=17856

Agbaje, G.O. and Akinlosotu, T.A. 2004. "Influence of NPK fertilizer on tuber yield of early and late-planted cassava in a forest alfisol of south-western Nigeria." **African Journal of Biotechnology**. 3(10) : 547-551.

Aulakh, M.S. and Malhi, S.S. 2005. "Interactions of nitrogen with other nutrients and water: Effect on crop yield and quality, nutrient use efficiency, carbon, sequestration, and environmental pollution." **Advances in Agronomy** 86 : 341-409.

Baligar, V.C., Fageria, N.K. and He, Z.L. 2001. "Nutrient use efficiency in plants." **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. 32(7&8) : 921-950.

Barczak, B. and Nowak, K. 2014. "Effect of sulphur fertilisation on the content of macroelements and their ionic ratios in potato tubers." **Journal of Elementology**. 20(1) : 37-47.

Bettany, J.R., Saggar, S. and Stewart, J.W.B. 1980. "Comparison of the amounts and forms of sulfur in soil organic matter fractions after 65 years of cultivation." **Soil Science Society of America.** 44 : 70-75.

Blin, H. 1905. "La fumure du manioc (Cassava fertilization**)." International Journal of Innovation and Applied Studies (IJIAS).** 14(3) : 419-421.

Bryson, G.M. and Mills, H.A. 2015. **Plant Analysis Handbook IV**. Athens : Georgia.

Cardoso, J., Santos D. S., Silveira, V., Anselmo, E., Matsumoto, S. N., Sediyama, T., Carvalho, F. M. 2005. "Effect of nitrogen in the agronomic characteristics of cassava." **Bragantia**. 64(4) : 651-659.

Cenpukdee, U. and Fukai, S. 1991. "Effects of nitrogen supply on cassava pigeonpea intercropping with three contrasting cassava cultivars." **Fertilizer Research**. 29 : 275-280.

Cuvaca, I.B., Eash, N.S., Lambert, D.M., Walker, F.R. and Rustrick W. 2017. "Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizer effects on cassava tuber yield in the coastal district of Dondo, Mozambique." **African Journal of Agricultural Research.** 12(42) : 3112-3119.

Eriksen, J. 2008. "Soil Sulfur Cycling in temperate agricultural systems." **American Society of Agronomy.** 20(3) : 25-44.

Food and Agriculture Organization of the United Nation. 2017. **Food Outlook Biannual Report on Global Food Markets**. [Online]. Available : www.fao.org/publications

Forno D.A. 1977. "The mineral nutrition of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) with particular reference to nitrogen." Dissertation. University of Queensland, St. Lucia, Qld., Australia.

Germida, J.J. and Wainwright, M. 1991. "Biochemistry of sulfur cycling in soil." **Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization.** 1-53.

Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Shjoerring, J., Moller, I.S. and White, P. (2012). **Mineral Nutrition of Higher Plants**. UK : Elsevier.

Hofman, G. and Cleemput, O.V. 2004. **Soil and Plant Nitrogen.** France: International fertilizer industry association.

Howeler, R.H. 1985. Diagnosis of nutrient deficiencies and toxicities. 52. 9-12. **Mineral nutrition and fertilization of cassava.** Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Howeler, R.H. 2014. **Sustainable Soil and Crop Management of Cassava in Asia.** Vietnam: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Islam, M.R., Roy, T. S., Rahman, M. M., I. Pulok, M. A. and Husain, M. A. 2014. "Influence of potassium and sulfur on growth and yield of potato crop derived from TPS Seeding

tuber." **International Journal of Sustainable Agricultural Technology.** 10(8) : 15-21.

Jamal, A., Fazli, I.S., Ahmad, S., Abdin, M.Z. and Yuu, S.J. 2005. "Effect of sulphur and nitrogen application on growth characteristics, seed and oil yields of soybean cultivars." **Korean journal of Crop Science**. 50(5) : 340-345.

Jamal, A., Moon1, Y.S., and Abdin, M.Z. 2010. "Sulphur -a general overview and interaction with nitrogen." Australian Journal of Crop Science. 4(7) : 523-529

Johnston, A.E. and Milford, G. F. J. 2012. "Potassium and nitrogen interactions in crops." **Rothamsted Research**. 4-16.

Kabeerathumma, S., Mohankumar, B., Mohankumar, CR., Nair, GM., Prabhakar, M. and Pillai, NG. 1990. "Long-range effect of continuous cropping and manuring on cassava production and fertility status." **International Society of Tropical Root Crops.** 8 : 249-320.

Leghari, S.J., Wahocho, N.A., Laghari, G.M., HafeezLaghari, A., MustafaBhabhan, G., Talpur, K.H., Bhutto, T.A., Wahocho, S.A. and Lashari, A.A. 2016. "Role of nitrogen for plant growth and development: A review. Advances in environmental biology." **Advances in Environmental Biology.** 10(9) : 209-218.

Li, W., Shan, Y., Xiao, X., Zheng, J., Luo, Q., Ouyang, S. and Zhang, G. 2013. "Effect of nitrogen and sulfur fertilization on accumulation characteristics and physicochemical properties of A- and B-wheat starch. Journal of agricultural and food chemistry." **American Chemical Society.** 61 : 2418-2425.

LECO Corporation. (2016). **TruMac CNS/NS Carbon/Ntrogen/Sulfur Determinators Instruction Manual**. U.S.A : LECO Europe B.V.

Lozano, J.C., Bellotti, A., Reyes, J.A., Howeler, R., Leihner, D., and Doll, J. 1981. **Field Problems in Cassava.** Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Mazzoncini, M., Sapkota, T.B., Barberi, P., Antichi, D. and Risaliti, R. 2011. "Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content." **Soil & Tillage Research.** 144 : 166-174.

Mclaughlin, M. 2007. "Technical bulletin: sulfur in soils." **Fertilizer Technology Research Centre.** 1-4.

Mouhamad, R., Alsaede, A. and Iqbal, M. 2016. "Behavior of potassium in soil: A mini review." **Chemistry International.** 2(1) : 58-69.

Obigbesan G.O. 1973. "The influence of potassium nutrition on the yield and chemical omposition of some tropical root and tuber crops." **Colloquium International Potash Institute**. 19(4) : 439-451.

Pal, M., Rao, L.S., Jain, V., Srivastava, A.C., Pandey, R. and Singh, K.P. 2005. "Effects of elevated CO_2 and nitrogen on wheat growth and photosynthesis." **Biologia Plantarum**. 49(3) : 467-470.

Pandey, P., Raghav, M., Bajeli, J. and Tripathi, A. 2018. "Effect of nitrogen scheduling on growth and yield performance of potato (*Solanum tuberosum* L.)." **Society of Pharmacognosy and Phytochemistry.** 7(6) : 785-789

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.

Payne, H. and Webster, D.C. 1956. "The toxicity of cassava varieties on two Jamaican soil types of differing K status." **Plant and Soil.** 402 : 211-219

Petropoulos, S.A., Olympios, C.M. and Passam, H.C. 2008. 'The effect of nitrogen fertilization on plant growth and the nitrate content of leaves and roots of parsley in the Mediterranean region." **Scientia Horticulturae**. 188 : 256-259.

Ravanel, S., Block, M.A., Rippert, P., Jabrin, S., Curien, G., Rebeille, F. and Douce, R. 2004. "Methionine metabolism in plants." **Biological Chemistry.** 279(21) : 22548–22557.

Rezaei, A.Q., Kikuno, H., Sugiyama, K., Babil, P., Park, B.J., Onjo, M., and Shiwachi, H. 2016. "Effect of nitrogen fertilizer on growth of the lesser yam (*Dioscorea esculenta* L.)." **Tropical Agriculture and Development.** 60(3) : 185-190.

Rietra, R.P.J.J., Heinena, M., Dimkpab, C.O. and Bindrabanb, P.S. 2017. "Effects of nutrient antagonism and synergism on yield and fertilizer use efficiency**." Communications in Soil Science and Plant Analysis.** 48(16) : 1895-1920

Sangakkara, U. R. and Wijesinghe, D. B. 2014. "Nitrogen fertilizer affects growth, yield, and N recovery in cassava (*Manihot esculenta L.* Crantz)." **Communications in Soil Science and Plant Analysis.** 11(4) : 1446-1450.

Sefa, V.A. and Kwakye P.K. 2004. "Potassium availability in soils forms and spatial Distribution". **United Nations Educational Scientific and Cultural Organization and International Atomic Energy Agency.** 1-18.

Sen, S., Smith, M.E. and Setter T. 2016. "Effects of low nitrogen on chlorophyll content and dry matter accumulation in maize." **African Journal of Agricultural Research**. 11(12) : 1001-1007.

Shield, I.F., Barraclough, J.P., Riche, A.B. and Yates, N.E. 2014. "The yield and quality response of the energy grass Miscanthus × giganteus to fertiliser applications of nitrogen, potassium and sulphur." **biomass and bioenergy**. 68 : 185-194.

Singh, M., Khan, M.M.A. and Naeem, M. 2016. "Effect of nitrogen on growth, nutrient assimilation, essential oil content, yield and quality attributes in *Zingiber officinale Rosc*." **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.** 15 : 171-178

Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T. and Sumner, M.E. 1996. **Method of soil analysis part3 chemical methods.** USA: Soil Science Society of America.

Sullivan, J.N. 2010. **Yam Nutrition**. Australia: Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR).

Wang, J., Solomon, D., Lehmann, J., Zhang, X. and Amelung, W. 2006. "Soil organic sulfur forms and dynamics in the Great Plains of North America as influenced by long-term cultivation and climate." **Geoderma**. 133(3&4) : 160-172.

Wang, K. and Xing Y. 2017. "Effects of irrigation and nitrogen on maize growth and yield components. plant and soil." **Global Changes and Natural Disaster Management**. 63-67

Wirtz, M. and Droux, M. 2005. **"**Synthesis of the sulfur amino acids: cysteine and methionine." **Photosynthesis Research.** 86 : 345-362.

Uwah, D.F., Effa, E.B., Ekpenyong, L.E. and Akpan, I.E. 2013. "Cassava (Manihot esculenta Crantz) performance as influenced by nitrogen and potassium fertilizers." **The Journal of Animal and Plant Sciences.** 23(2) : 550-555.

Zhao, D., Reddya, K.R., Kakania, V.G. and Reddyb, V.R. 2005. "Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum." **European Journal of Agronomy**. 22 : 391-403

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันในดินทราย

ตารางภาคผนวกที่ 1 น้ำหนักสดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Factor	Leaf (kg/ha)	Stem+Petio (kg/ha)	Storage root (kg/ha)	Above Ground (kg/ha)	Total (kg/ha)
Cultivar(C)					
KU50	275	14,012B	33,500	14,281	47,788
RY9	219	16,169A	35,812	16.388	52,206
Nitrogen(N)					
0	219	11,194c	28,675	11,413c	40,088b
4	256	12,760bc	32,356	13,030bc	45,388bc
8	256	14,500abc	34,656	14,756abc	49,413abc
16	219	17,950a	39,631	18,175a	57,806a
24	231	16,606ab	35,488	16,838ab	52,325ab
32	281	17,525a	37,138	17,806a	54,950ab
F-test					
C	ns	**	ns	ns	ns
F	ns	**	ns	**	**
C×F	ns	ns	ns	ns	ns
%CV (C)	25.6	12.9	23.1	13.4	13.4
%CV (F)	27.5	21	19	20.8	20.8

ตารางภาคผนวกที่ 2 น้ำหนักแห้งของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Factor	Leaf (kg/ha)	Stem+Petio (kg/ha)	Storage root (kg/ha)	Above Ground (kg/ha)	Total (kg/ha)
Cultivar(C)					
KU50	100	4,006B	12,188B	4,113B	16,294B
RY9	81	4,725A	15,900A	4,806A	20,525A
Nitrogen(N)					
0	88	3,294b	11,463	3,382b	14,845b
4	94	3,606b	13,325	3,700b	17,025ab
8	100	4,188ab	14,050	4,288ab	18,338ab
16	88	5,150a	16,231	5,238a	21,469a
24	88	4,894a	14,588	4,982a	19,570a
32	106	5,056a	14,613	5,162a	19,775a
F-test					
C	ns	**	*	**	**
F	ns	**	ns	**	*
C×F	ns	ns	ns	ns	ns
%CV (C)	18.4	11.4	23.4	11.9	18.8
%CV (F)	23	21.6	19.5	21.5	19.6

ตารางภาคผนวกที่ 3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ระดับความลึก 0- 30 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	4.94	5.42	5.58	5.31
	4	5.42	5.85	5.53	5.60
	8	5.11	5.25	4.99	5.11
	16	4.94	5.72	4.96	5.20
	24	0.04	5.49	4.48	3.34
	32	4.87	5.32	5.30	5.16
R9	0	5.10	5.26	5.45	5.27
	4	4.94	5.03	5.58	5.18
	8	5.31	5.30	5.49	5.36
	16	5.03	5.14	5.48	5.22
	24	5.27	4.91	5.79	5.32
	32	5.75	5.09	5.32	5.39

ตารางภาคผนวกที่ 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	4.70	5.09	5.42	5.07
	4	5.14	5.36	4.84	5.11
	8	5.12	5.06	4.61	4.93
	16	4.85	5.52	5.10	5.15
	24	4.73	5.43	5.28	5.14
	32	4.90	5.26	4.96	5.04
R9	0	5.25	5.03	5.12	5.13
	4	4.87	4.82	5.26	4.98
	8	5.22	5.05	5.28	5.18
	16	4.98	4.95	5.15	5.03
	24	5.70	4.75	5.62	5.36
	32	5.31	5.03	5.26	5.20

ตารางภาคผนวกที่ 5 ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm) ของดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	17.85	14.25	17.60	16.57
	4	16.95	13.25	17.20	15.80
	8	16.40	14.45	14.10	14.98
	16	14.45	17.00	19.05	16.83
	24	15.85	20.25	16.95	17.68
	32	14.65	14.65	19.85	16.38
R9	0	16.85	15.20	14.05	15.37
	4	15.65	16.55	17.40	16.53
	8	17.70	14.80	19.05	17.18
	16	13.60	17.15	17.20	15.98
	24	18.25	20.35	19.20	19.27
	32	17.35	17.00	14.00	16.12

ตารางภาคผนวกที่ 6 ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm) ของดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	13.50	13.65	15.95	14.37
	4	16.60	12.90	15.60	15.03
	8	14.70	13.25	16.70	14.88
	16	14.25	16.60	15.75	15.53
	24	15.10	16.05	13.70	14.95
	32	13.70	16.40	18.10	16.07
R9	0	19.40	16.05	15.50	16.98
	4	24.30	17.13	17.20	19.54
	8	15.95	14.85	16.15	15.65
	16	12.60	18.40	15.30	15.43
	24	14.65	17.85	17.80	16.77
	32	13.45	15.60	15.85	14.97

ตารางภาคผนวกที่ 7 อินทรียวัตถุ (%) ของดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	1.17	1.72	0.83	1.24
	4	1.54	1.30	1.42	1.42
	8	1.35	1.42	1.01	1.26
	16	1.00	1.20	0.95	1.05
	24	1.42	1.10	1.27	1.27
	32	1.14	1.28	1.06	1.16
R9	0	1.77	1.09	0.91	1.25
	4	1.32	1.23	1.14	1.23
	8	1.41	1.10	1.58	1.36
	16	1.51	1.46	1.49	1.48
	24	1.67	1.59	1.10	1.45
	32	1.59	1.09	1.01	1.23

ตารางภาคผนวกที่ 8 อินทรียวัตถุ (%) ของดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	1.18	1.64	1.05	1.29
	4	1.46	1.37	1.24	1.36
	8	1.33	1.55	1.26	1.38
	16	0.89	1.34	0.95	1.06
	24	1.24	1.15	1.29	1.23
	32	1.16	1.23	1.24	1.21
R9	0	1.88	1.23	0.95	1.35
	4	0.79	1.37	1.10	1.09
	8	0.60	1.15	1.43	1.06
	16	1.30	1.50	1.44	1.42
	24	1.54	1.46	1.22	1.41
	32	1.56	1.14	1.53	1.41

ตารางภาคผนวกที่ 9 แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	118.10	181.02	222.97	174.03
	4	253.24	174.41	237.37	221.67
	8	167.41	178.84	79.98	142.08
	16	87.34	168.79	140.38	132.17
	24	137.05	150.18	303.90	197.05
	32	112.51	148.61	181.46	147.52
R9	0	193.15	127.55	148.69	156.46
	4	132.45	84.41	234.65	150.50
	8	180.07	153.83	252.49	195.46
	16	149.46	136.38	212.01	165.95
	24	181.76	132.80	226.94	180.50
	32	233.81	163.00	98.13	164.98

ตารางภาคผนวกที่ 10 แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	138.30	170.13	225.36	177.93
	4	198.39	161.17	120.74	160.10
	8	197.28	158.60	53.68	136.52
	16	130.33	181.19	123.65	145.06
	24	178.28	172.14	97.09	149.17
	32	126.99	152.38	349.26	209.54
R9	0	285.60	95.07	157.68	179.45
	4	155.01	75.27	218.27	149.52
	8	192.21	128.78	174.70	165.23
	16	150.72	109.67	161.21	140.54
	24	184.47	84.47	240.43	169.79
	32	184.40	129.01	154.81	156.08

ตารางภาคผนวกที่ 11 แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	15.12	18.96	29.31	21.13
	4	21.14	16.76	20.49	19.46
	8	21.74	21.38	10.21	17.77
	16	13.36	17.64	17.16	16.05
	24	20.68	18.39	19.47	19.52
	32	14.10	14.60	17.23	15.31
R9	0	21.11	23.63	16.78	20.51
	4	14.93	10.73	25.88	17.18
	8	16.65	15.79	22.67	18.37
	16	16.86	14.61	24.45	18.64
	24	20.62	24.38	21.58	22.19
	32	18.19	14.66	13.75	15.53

ตารางภาคผนวกที่ 12 แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	13.92	16.03	24.25	18.07
	4	18.00	14.32	17.02	16.44
	8	17.69	15.94	8.52	14.05
	16	16.83	18.85	13.47	16.38
	24	17.15	16.93	11.27	15.12
	32	13.91	14.62	14.73	14.42
R9	0	28.48	20.40	17.74	22.21
	4	15.47	11.77	23.18	16.81
	8	15.75	16.24	16.11	16.03
	16	15.85	13.13	18.92	15.97
	24	16.67	13.48	23.82	17.99
	32	15.95	15.90	15.21	15.68

ตารางภาคผนวกที่ 13 เหล็กที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	32.53	34.55	9.72	25.60
	4	34.16	23.87	15.97	24.67
	8	36.89	32.57	12.39	27.28
	16	29.81	26.87	14.25	23.64
	24	26.58	22.14	18.81	22.51
	32	28.64	27.08	14.23	23.32
R9	0	26.61	20.72	18.46	21.93
	4	29.18	17.44	14.49	20.37
	8	34.34	18.18	22.13	24.88
	16	33.48	22.44	24.26	26.73
	24	34.29	16.36	14.57	21.74
	32	28.44	18.66	16.56	21.22

ตารางภาคผนวกที่ 14 เหล็กที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	32.88	42.24	14.04	29.72
	4	40.23	31.51	17.89	29.88
	8	37.15	41.48	12.60	30.41
	16	31.44	29.69	15.15	25.42
	24	25.28	22.94	19.37	22.53
	32	38.17	28.60	16.69	27.82
R9	0	28.87	23.62	14.60	22.36
	4	35.43	16.28	18.11	23.27
	8	41.14	19.59	30.21	30.31
	16	33.32	25.93	27.64	28.96
	24	33.58	20.78	19.70	24.69
	32	39.25	22.04	21.19	27.49

ตารางภาคผนวกที่ 15 แมงกานีสที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	13.52	15.24	18.60	15.78
	4	14.87	16.21	9.72	13.60
	8	17.57	16.98	4.32	12.96
	16	11.88	12.46	10.93	11.76
	24	15.62	15.66	13.09	14.79
	32	15.60	17.36	8.86	13.94
R9	0	24.18	10.08	13.84	16.03
	4	16.70	9.29	12.29	12.76
	8	13.55	8.23	16.94	12.90
	16	16.59	10.67	13.71	13.66
	24	18.66	11.95	16.84	15.82
	32	15.65	9.77	13.22	12.88

ตารางภาคผนวกที่ 16 แมงกานีสที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	14.62	18.71	17.48	16.94
	4	18.78	19.98	10.28	16.35
	8	24.98	22.41	3.46	16.95
	16	13.74	14.21	14.09	14.02
	24	14.12	19.56	11.56	15.08
	32	21.37	21.77	8.26	17.13
R9	0	32.96	10.81	11.25	18.34
	4	17.13	10.95	13.36	13.82
	8	17.91	9.39	18.89	15.40
	16	18.15	13.30	12.27	14.57
	24	20.90	12.76	19.45	17.70
	32	18.29	9.70	14.96	14.32

ตารางภาคผนวกที่ 17 ทองแดงที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	0.2463	0.2912	0.3058	0.2811
	4	0.3587	0.2749	0.2127	0.2821
	8	0.3635	0.3075	0.1161	0.2624
	16	0.1879	0.2512	0.2033	0.2141
	24	0.2869	0.2730	0.2484	0.2695
	32	0.1967	0.3436	0.1425	0.2276
R9	0	0.3598	0.1563	0.1866	0.2342
	4	0.2372	0.1512	0.2251	0.2045
	8	0.3008	0.1507	0.2806	0.2440
	16	0.3213	0.1893	0.2562	0.2556
	24	0.3066	0.1520	0.2383	0.2323
	32	0.2910	0.1637	0.1545	0.2030

ตารางภาคผนวกที่ 18 ทองแดงที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	0.2815	0.3574	0.3346	0.3245
	4	0.4881	0.3389	0.2114	0.3461
	8	0.4019	0.3854	0.1171	0.3015
	16	0.2183	0.2846	0.1789	0.2273
	24	0.2709	0.3190	0.2339	0.2746
	32	0.2371	0.4443	0.1477	0.2763
R9	0	0.8100	0.2120	0.1690	0.3970
	4	0.2925	0.1596	0.2636	0.2386
	8	0.3543	0.1751	0.2910	0.2735
	16	0.3373	0.2213	0.2719	0.2768
	24	0.3481	0.2236	0.3374	0.3030
	32	0.4204	0.1959	0.2403	0.2855

ตารางภาคผนวกที่ 19 สังกะสีที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 0-30 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	0.8168	1.0266	0.2334	0.6923
	4	1.0313	1.1893	0.3479	0.8562
	8	1.1271	1.0522	0.1518	0.7770
	16	0.5472	1.1037	0.3456	0.6655
	24	0.6947	0.7992	0.4860	0.6600
	32	0.5433	1.0358	0.3620	0.6470
R9	0	0.9237	0.3779	0.4498	0.5838
	4	0.7777	0.2677	0.3941	0.4798
	8	0.8509	0.3671	1.0995	0.7725
	16	0.8428	0.5389	0.8191	0.7336
	24	1.1488	0.5157	0.5480	0.7375
	32	0.9395	0.4089	0.4238	0.5907

ตารางภาคผนวกที่ 20 สังกะสีที่สกัดได้ (mg/kg) ในดินที่ระดับความลึก 30-60 cm หลังปลูกมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และพันธุ์ของมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน

Cultivar	N rate	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Mean
KU50	0	0.8395	1.2153	0.2109	0.7552
	4	1.3133	1.4629	0.3185	1.0316
	8	1.1848	0.9279	0.1311	0.7479
	16	0.7355	1.1763	0.3818	0.7645
	24	0.5343	1.0124	0.5379	0.6948
	32	0.5485	1.2532	0.2942	0.6986
R9	0	1.1259	0.3781	0.3689	0.6243
	4	0.8100	0.2995	0.3712	0.4936
	8	1.0596	0.4298	1.1826	0.8907
	16	0.8606	0.5638	0.6013	0.6752
	24	1.1760	0.3789	0.5988	0.7179
	32	1.2131	0.3588	0.5764	0.7161

ภาคผนวก ข.

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

ตารางภาคผนวกที่ 21 ความเข้มข้นทั้งหมดของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในแผ่นใบทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Total N (g/100g)	Total P (g/100g)	Total K (g/100g)	Total S (g/100g)	Total Ca (g/100g)	Total Mg (g/100g)
Nitrogen (N)						
N1	2.52b	0.26a	0.98	0.22b	2.10	0.69
N2	2.70a	0.21b	1.06	0.25a	2.03	0.68
N3	2.78a	0.18b	1.11	0.26a	2.13	0.70
Potassium (K)						
K1	2.61	0.22	0.97	0.25	2.14	0.69
K2	2.70	0.22	1.06	0.25	2.04	0.68
K3	2.70	0.23	1.13	0.24	2.05	0.71
F-test						
N	**	**	ns	*	ns	ns
K	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×K	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	7.15	14.39	24.75	13.68	14.83	8.61

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 22 ความเข้มข้นทั้งมดของจุลธาตุอาหารในแผ่นใบทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Total Fe (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total B (mg/kg)	Total Mo (mg/kg)
Nitrogen (N)						
N1	101.44b	358.79	3.62	64.95a	122.96	4.93a
N2	120.92b	318.50	3.31	54.53ab	121.41	3.59b
N3	173.93a	315.39	3.23	45.74b	118.91	3.48b
Potassium (K)						
K1	93.65B	322.30	3.39	49.89	123.13	3.83
K2	155.94A	350.58	3.36	54.88	120.60	3.86
K3	152.13A	319.80	3.41	60.46	119.56	4.31
F-test						
N	*	ns	ns	*	ns	*
K	*	ns	ns	ns	ns	ns
N×K	ns	ns	ns	*	*	ns
%CV	35.9	33.51	16.95	30.45	15.89	23.69

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 23 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในก้านใบ+ต้นของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Total N (g/100g)	Total P (g/100g)	Total K (g/100g)	Total S (g/100g)	Total Ca (g/100g)	Total Mg (g/100g)
Nitrogen (N)						
N1	0.11	0.35a	1.64a	0.11	1.21	0.32
N2	0.10	0.22b	1.41ab	0.11	1.13	0.31
N3	0.10	0.15c	1.35b	0.11	1.00	0.34
Potassium (K)						
K1	0.11	0.23	1.08B	0.11	1.11	0.38A
K2	0.10	0.25	1.59A	0.11	1.18	0.30B
K3	0.11	0.24	1.74A	0.11	1.05	0.29B
F-test						
N	ns	**	*	ns	ns	ns
K	ns	ns	**	ns	ns	**
N×K	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	22.23	18.49	19.53	22.24	12.87	12.67

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 24 ความเข้มข้นทั้งหมดของจุลธาตุอาหารในก้านใบ+ต้นของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Total Fe (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total B (mg/kg)	Total Mo (mg/kg)
Nitrogen (N)						
N1	144.98	326.42a	2.89a	25.64	17.50	3.85a
N2	184.04	212.28ab	2.58b	24.26	15.81	2.93ab
N3	133.57	186.86b	2.58b	23.54	14.84	2.49b
Potassium (K)						
K1	181.72	220.15	2.74	23.43	17.04	2.95
K2	141.88	219.80	2.55	21.87	15.69	3.04
K3	146.34	195.60	2.75	28.14	15.41	3.28
F-test						
N	ns	*	*	ns	ns	*
K	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×K	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	36.80	15.89	11.19	33.81	29.83	37.91

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 25 ความเข้มข้นทั้งหมดของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในเหง้าของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Total N (g/100g)	Total P (g/100g)	Total K (g/100g)	Total S (g/100g)	Total Ca (g/100g)	Total Mg (g/100g)
Nitrogen (N)						
N1	0.51c	0.13a	0.98	0.09	0.65	0.18
N2	0.55b	0.13a	1.05	0.10	0.69	0.18
N3	0.61a	0.11b	1.05	0.10	0.70	0.19
Potassium (K)						
K1	0.55	0.12	0.83B	0.09	0.76	0.21A
K2	0.55	0.13	1.08A	0.10	0.65	0.18B
K3	0.56	0.12	1.17A	0.10	0.64	0.17B
F-test						
N	**	**	ns	ns	ns	ns
K	ns	ns	**	ns	ns	*
N×K	ns	ns	ns	ns	ns	*
%CV	7.69	14.24	13.41	13.63	21.1	19.38

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 26 ความเข้มข้นทั้งหมดของจุลธาตุอาหารในเหง้าของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Total Fe (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total B (mg/kg)	Total Mo (mg/kg)
Nitrogen (N)						
N1	41.24b	57.35	2.142	15.87	9.23	3.17
N2	66.80b	65.92	2.2158	15.28	8.79	3.08
N3	103.07a	74.59	2.136	15.11	9.30	3.61
Potassium (K)						
K1	100.30A	79.14	2.1147	15.08	8.88	3.140
K2	62.29B	61.58	2.0741	15.24	9.03	3.29
K3	52.29B	57.14	2.3058	15.94	9.40	3.44
F-test						
N	**	ns	ns	ns	ns	ns
K	**	ns	ns	ns	ns	ns
N×K	**	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	37.81	34.96	12.12	18.24	13.31	22.94

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 27 ความเข้มข้นทั้งหมดของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในรากของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Total N (g/100g)	Total P (g/100g)	Total K (g/100g)	Total S (g/100g)	Total Ca (g/100g)	Total Mg (g/100g)
Nitrogen (N)						
N1	1.31	1.03a	3.95a	0.79	0.98	0.81c
N2	1.37	0.29b	3.01b	0.85	0.84	1.05b
N3	1.42	0.16c	2.49b	0.86	0.81	1.18c
Potassium (K)						
K1	1.35	0.51	1.81C	0.85	0.89	1.42A
K2	1.33	0.50	3.48B	0.81	0.87	0.90B
K3	1.42	0.47	4.16A	0.83	0.87	0.73C
F-test						
N	ns	**	**	ns	ns	**
K	ns	ns	**	ns	ns	**
N×K	ns	ns	ns	ns	ns	**
%CV	11.48	19.88	21.82	13.63	19.69	10.92

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 28 ความเข้มข้นทั้งหมดของจุลธาตุอาหารในรากของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Total Fe (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total B (mg/kg)	Total Mo (mg/kg)
Nitrogen (N)						
N1	280.08	1408.60	11.01	194.12a	16.48	23.88
N2	354.61	1467.00	8.98	126.64b	16.79	23.59
N3	336.63	1523.50	8.65	135.46b	17.85	22.02
Potassium (K)						
K1	279.86B	1516.50	9.99	138.73	16.98	18.90B
K2	303.51B	1446.90	8.55	151.33	17.15	23.63AB
K3	403.00A	1435.80	10.10	166.19	16.98	26.97A
F-test						
N	ns	ns	ns	**	ns	ns
K	*	ns	ns	ns	ns	*
N×K	*	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	26.79	18.13	41.52	35.11	12.17	30.97

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 29 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในหัวของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Total N (g/100g)	Total P (g/100g)	Total K (g/100g)	Total S (g/100g)	Total Ca (g/100g)	Total Mg (g/100g)
Nitrogen (N)						
N1	0.47b	0.15a	1.03	0.08	0.37a	0.07b
N2	0.50ab	0.13b	0.97	0.08	0.25b	0.07b
N3	0.52a	0.11c	0.93	0.08	0.25b	0.08a
Potassium (K)						
K1	0.47B	0.12B	0.76C	0.08	0.27	0.08A
K2	0.50AB	0.14AB	1.01B	0.08	0.30	0.06B
K3	0.52A	0.14A	1.15A	0.08	0.31	0.07AB
F-test						
N	*	**	ns	ns	*	**
K	*	**	**	ns	ns	**
N×K	ns	ns	ns	ns	ns	**
%CV	11.99	9.67	13.52	15.9	42.62	13.89

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 30 ความเข้มข้นทั้งหมดของจุลธาตุอาหารในหัวของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Total Fe (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total B (mg/kg)	Total Mo (mg/kg)
Nitrogen (N)						
N1	68.70	41.94a	1.87a	13.56	6.28	5.49
N2	64.03	33.69b	1.46b	12.75	6.13	1.47
N3	79.81	34.13b	1.38b	12.35	6.09	1.36
Potassium (K)						
K1	64.67	35.04	1.53	11.47B	5.59B	1.58
K2	65.29	37.35	1.52	13.13AB	6.88A	4.83
K3	79.94	37.37	1.66	14.05A	6.02AB	1.91
F-test						
N	ns	**	**	ns	ns	ns
K	ns	ns	ns	**	**	ns
N×K	*	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	30.85	16.7	18.35	16.53	18.36	228.98

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ภาคผนวก ค

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

ตารางภาคผนวกที่ 31 ความเข้มข้นทั้งหมดของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในแผ่นใบทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Total N (g/100g)	Total P (g/100g)	Total K (g/100g)	Total S (g/100g)	Total Ca (g/100g)	Total Mg (g/100g)
Nitrogen (N)						
N1	2.59c	0.25a	1.11	0.23b	2.10	0.69
N2	2.75b	0.19b	1.07	0.24b	2.13	0.70
N3	2.91c	0.18b	1.21	0.26a	1.93	0.68
Sulfur(S)						
S1	2.77	0.21	1.11	0.24	2.05	0.68
S2	2.75	0.22	1.15	0.24	2.12	0.72
S3	2.72	0.21	1.13	0.25	1.97	0.67
F-test						
N	**	**	ns	**	ns	ns
S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	6.1	10.85	18.3	6.02	13.52	11.32

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 32 ความเข้มข้นทั้งหมดของจุลธาตุอาหารในแผ่นใบทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Total Fe (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total B (mg/kg)	Total Mo (mg/kg)
Nitrogen (N)						
N1	132.55	283.73	3.97	79.76	116.81	4.63
N2	97.16	302.08	3.74	73.19	121.42	3.99
N3	135.93	210.79	3.54	65.68	129.88	3.81
Sulfur(S)						
S1	119.88	256.38	3.65	70.32	122.31	5.40A
S2	125.80	288.81	3.72	69.52	121.08	3.89B
S3	123.83	251.41	3.87	78.79	124.72	3.15B
F-test						
N	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S	ns	ns	ns	ns	ns	**
N×S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	24.39	36.73	14.36	27.93	12.02	29.52

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 33 ความเข้มข้นทั้งหมดของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในก้านใบ+ต้นของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Total N (g/100g)	Total P (g/100g)	Total K (g/100g)	Total S (g/100g)	Total Ca (g/100g)	Total Mg (g/100g)
Nitrogen (N)						
N1	0.09	0.33a	1.49a	0.09	1.28	0.35
N2	0.09	0.20b	1.44a	0.09	1.23	0.32
N3	0.10	0.14c	1.25b	0.10	1.08	0.34
Sulfur(S)						
S1	0.09	0.22	1.40	0.09	1.15	0.33
S2	0.10	0.23	1.43	0.09	1.22	0.35
S3	0.10	0.22	1.35	0.10	1.22	0.33
F-test						
N	ns	**	*	ns	ns	ns
S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	22.45	19.65	15.38	22.45	23.51	11.13

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 34 ความเข้มข้นทั้งหมดของจุลธาตุอาหารในก้านใบ+ต้นของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Total Fe (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total B (mg/kg)	Total Mo (mg/kg)
Nitrogen (N)						
N1	326.40	244.76	3.38	26.76	14.66	4.81
N2	206.81	222.63	3.41	24.27	13.68	4.25
N3	248.44	194.02	3.25	25.82	12.46	5.09
Sulfur(S)						
S1	234.55	201.30	3.28	26.58	13.34	4.87
S2	294.94	234.21	3.41	23.59	13.94	4.31
S3	232.39	225.90	3.35	26.68	13.51	4.97
F-test						
N	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	43.49	23.85	22.75	28.94	28.39	73.64

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 35 ความเข้มข้นทั้งหมดของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในเหง้าของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Total N (g/100g)	Total P (g/100g)	Total K (g/100g)	Total S (g/100g)	Total Ca (g/100g)	Total Mg (g/100g)
Nitrogen (N)						
N1	0.52b	0.12a	0.95	0.10	0.67	0.19
N2	0.59a	0.11a	0.93	0.10	0.62	0.18
N3	0.62a	0.10b	0.88	0.09	0.63	0.20
Sulfur(S)						
S1	0.58	0.10	0.91	0.09	0.63	0.19
S2	0.56	0.11	0.91	0.09	0.65	0.19
S3	0.59	0.11	0.95	0.10	0.65	0.19
F-test						
N	**	*	ns	ns	ns	ns
S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×S	ns	ns	ns	*	ns	ns
%CV	10.42	15.59	11.91	8.54	16.81	13.17

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 36 ความเข้มข้นทั้งหมดของจุลธาตุอาหารในเหง้าของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Total Fe (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total B (mg/kg)	Total Mo (mg/kg)
Nitrogen (N)						
N1	48.85	65.76	2.69	16.05	9.36	2.65
N2	78.91	59.01	2.63	15.34	8.99	2.87
N3	47.69	60.75	2.65	16.46	9.37	2.35
Sulfur(S)						
S1	45.92B	64.23	2.69	16.14	8.91	2.82
S2	83.56A	62.54	2.50	15.22	9.42	2.65
S3	46.02B	58.74	2.78	16.50	9.39	2.41
F-test						
N	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S	*	ns	ns	ns	ns	ns
N×S	*	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	51.92	29.28	14.52	16.3	10.71	23.07

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 37 ความเข้มข้นทั้งหมดของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในรากของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Total N (g/100g)	Total P (g/100g)	Total K (g/100g)	Total S (g/100g)	Total Ca (g/100g)	Total Mg (g/100g)
Nitrogen (N)						
N1	1.35b	0.96a	3.75a	0.87	0.86	0.79c
N2	1.47a	0.31b	3.63a	0.92	0.79	0.91b
N3	1.49a	0.17b	2.56b	0.93	0.76	1.13a
Sulfur(S)						
S1	1.43	0.54	3.33	0.75C	0.81	0.97
S2	1.43	0.47	3.19	0.90B	0.88	0.97
S3	1.44	0.43	3.40	1.08A	0.72	0.89
F-test						
N	**	**	**	ns	ns	**
S	ns	ns	ns	**	ns	ns
N×S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	6.71	57.24	19.52	11.33	19.19	13.41

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 38 ความเข้มข้นทั้งหมดของจุลธาตุอาหารในรากของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Total Fe (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total B (mg/kg)	Total Mo (mg/kg)
Nitrogen (N)						
N1	72.27	1113.70b	9.06	265.66a	17.10	30.51
N2	89.76	1370.60a	10.42	219.34ab	16.06	27.92
N3	90.91	1455.00a	8.22	169.90b	16.43	26.53
Sulfur(S)						
S1	74.20	1201.70	8.47	227.11	16.35	26.99
S2	95.21	1348.40	10.14	233.75	17.03	30.06
S3	84.66	1388.20	9.08	194.05	16.76	27.91
F-test						
N	ns	**	ns	**	ns	ns
S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×S	*	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	28.85	18.90	29.82	27.1	13.38	23.69

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 39 ความเข้มข้นทั้งหมดของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในหัวของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Total N (g/100g)	Total P (g/100g)	Total K (g/100g)	Total S (g/100g)	Total Ca (g/100g)	Total Mg (g/100g)
Nitrogen (N)						
N1	0.46b	0.15a	1.34a	0.07	0.31	0.07b
N2	0.51ab	0.13b	1.34a	0.08	0.33	0.08a
N3	0.53a	0.12c	1.16b	0.08	0.31	0.08a
Sulfur(S)						
S1	0.48	0.13	1.31	0.07	0.37	0.08
S2	0.52	0.14	1.27	0.09	0.31	0.08
S3	0.50	0.13	1.26	0.08	0.28	0.07
F-test						
N	*	**	**	ns	ns	**
S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N×S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	13.48	11.25	14.14	17.41	40.3	12.29

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 40 ความเข้มข้นทั้งหมดของจุลธาตุอาหารในหัวของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Total Fe (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total B (mg/kg)	Total Mo (mg/kg)
Nitrogen (N)						
N1	39.52	36.34a	1.77a	14.68	6.52	1.85
N2	43.21	35.05ab	1.49ab	13.57	6.22	1.73
N3	42.01	33.55b	1.21b	13.95	6.04	1.34
Sulfur(S)						
S1	34.7	35.13	1.42	13.13B	6.01	1.97
S2	41.12	38.79	1.51	14.04AB	5.82	1.64
S3	48.92	34.01	1.54	15.06A	6.96	1.32
F-test						
N	ns	*	**	ns	ns	ns
S	ns	ns	ns	*	ns	ns
N×S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	38.81	15.51	23.37	12.22	19.25	40.33

SE = standard error of mean, *significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant, values followed by the same uppercase and lowercase letter in the column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาววรางคณา ธรรมนารถสกุล

E-mail – address varanggg4199@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี วท.บ. (เกษตรศาสตร์) วิชาเอกปฐพีวิทยา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัย

Thummanatsakun, V., N. Phumnuk, N. Tawinteung, W. Amornpon, S. Tancharoen and **S.** Yampracha. 2017. Effect of nitrogen, potassium and sulfur deficiency on growth and nutrients uptake in cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz). In 5th Thailand National Conference of Soil Science and Fertilizers, 1-2 August 2017, Centra by Centrara Hotel, Bangkok, Thailand (In Thai).

Thummanatsakun, V. and S. Yampracha. 2018. Effects of interaction between nitrogen and potassium on the growth and yield of cassava. International Journal of Agricultural Technology 14(7): 2137-2150.