



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันต่อการเจริญเติบโต
และการดูดใช้ธาตุอาหารของลำปะหลัง
Effect of nitrogen, potassium and sulfur fertilizer on growth
and nutrients uptake of cassava

ดร.สุกัญญา แยมประชา

นางสาววรางคณา ธรรมนารตสกุล

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันต่อการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุ
อาหารของลำปะหลัง

Effect of nitrogen, potassium and sulfur fertilizer on growth and nutrients uptake
of cassava

ดร.สุกัญญา แยมประชา

นางสาววรางคณา ธรรมนารตสกุล

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ ผลของไนโตรเจน โปแทสเซียม และกำมะถันต่อการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของลำปะหลัง

แหล่งเงิน ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2561 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 70,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2560 ถึง กันยายน 2561

หัวหน้าโครงการ ดร.สุกัญญา แยมประชา คณะเทคโนโลยีการเกษตร

ผู้ร่วมโครงการวิจัย นางสาวรวงคณา ธรรมนารอดสกุล คณะเทคโนโลยีการเกษตร

บทคัดย่อ

มันสำปะหลังเป็นพืชอาหารที่สำคัญของโลก การจัดการธาตุอาหารเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญเพื่อเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลังให้เพียงพอต่อความต้องการ ไนโตรเจน โปแทสเซียม และกำมะถันเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับมันสำปะหลัง การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจน โปแทสเซียม และกำมะถันต่อการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง งานทดลองได้ดำเนินการที่โรงเรียนชั้น 5 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วางแผนการทดลองแบบ 3×3 Factorial in Randomized Complete Block Design (RCBD) 4 ซ้ำ โดยการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 การทดลองคือ 1) ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและโปแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง ปัจจัย A ที่ใช้ในการทดลองคือ อัตราปุ๋ยไนโตรเจน 3 อัตรา คือ 500 $\mu\text{mol/L}$ (N1) 1000 $\mu\text{mol/L}$ (N2) และ 1500 $\mu\text{mol/L}$ (N3) ปัจจัย B คือ อัตราปุ๋ยโปแทสเซียม 3 อัตรา คือ 500 $\mu\text{mol/L}$ (K1) 1000 $\mu\text{mol/L}$ (K2) และ 1500 $\mu\text{mol/L}$ (K3) 2) ศึกษาผลของไนโตรเจนและกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง ปัจจัย A ที่ใช้ในการทดลองเหมือนกับทดลองที่ 1 ปัจจัย B คือ อัตราปุ๋ยกำมะถัน 3 อัตรา คือ 500 $\mu\text{mol/L}$ (S1) 1000 $\mu\text{mol/L}$ (S2) และ 1500 $\mu\text{mol/L}$ (S3) จากผลการศึกษาในทั้ง 2 การทดลองพบว่าไนโตรเจนส่งผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังทั้งทางด้านความสูง ค่า SPAD ในใบบน และใบล่าง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงในทรีทเมนต์ N3 จะส่งผลให้มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนและกำมะถัน การดูดดึงไนโตรเจนในทุกส่วนของมันสำปะหลัง การดูดดึงโปแทสเซียมในใบ หัว และการดูดดึงโปแทสเซียมทั้งหมด การดูดดึงกำมะถันในราก และการดูดดึงกำมะถันทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่สูงขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส ทองแดง และโมลิบดีนัมลดลงตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น อัตราปุ๋ยโปแทสเซียมที่แตกต่าง

กันส่งผลต่อค่า SPAD ในใบล่างของมันสำปะหลังเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่สูงยังส่งผลต่อการดูดดึงไนโตรเจนในเหง้า หัว และการดูดดึงโพแทสเซียมในทุกส่วนยกเว้นในใบ ส่วนกัมมะถันในอัตราที่แตกต่างกันส่งผลต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งในหัวเท่านั้น โดยอัตราปุ๋ยกัมมะถันที่สูงขึ้นในทริทเมนต์ S3 มีน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของหัวสูงที่สุด นอกจากนี้ความเข้มข้นของกัมมะถันในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ การดูดดึงไนโตรเจนทั้งหมด การดูดดึงกัมมะถันในราก และการดูดดึงกัมมะถันทั้งหมดสูงขึ้นตามอัตราปุ๋ยกัมมะถันที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมลดลงตามอัตราปุ๋ยกัมมะถันที่สูงขึ้น

การดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงโพแทสเซียมในใบ ก้านใบ+ต้น และหัวมีความสัมพันธ์ในเชิงบวก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.86, 0.84 และ 0.87 ตามลำดับ และยังพบว่ามี การดูดดึงไนโตรเจนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งทุกส่วนยกเว้นน้ำหนักแห้งในเหง้า ค่า r ของน้ำหนักสดในใบ ก้านใบ+ต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดเท่ากับ 0.78, 0.84, 0.34, 0.39, 0.85 และ 0.94 ตามลำดับ ค่า r ของน้ำหนักแห้งในใบ ก้านใบ+ต้น หัว และน้ำหนักแห้งทั้งหมดเท่ากับ 0.85, 0.85, 0.37, 0.89 และ 0.97 นอกจากนี้การดูดดึงโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดในทุกส่วนยกเว้นเหง้า และน้ำหนักแห้งในใบ ก้านใบ+ต้น หัว และน้ำหนักแห้งทั้งหมด ค่า r ของน้ำหนักสดในใบ ก้านใบ+ต้น เหง้า หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดเท่ากับ 0.39, 0.53, 0.35, 0.40 และ 0.47 ค่า r ของน้ำหนักแห้งในใบ ก้านใบ+ต้น หัว และน้ำหนักแห้งทั้งหมดเท่ากับ 0.46, 0.46, 0.52 และ 0.57 ตามลำดับ

การดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงกัมมะถันในใบ ก้านใบ+ต้น และหัวมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกที่ค่า r^2 เท่ากับ 0.97, 0.68 และ 0.96 ตามลำดับ และยังพบว่ามี การดูดดึงไนโตรเจนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งในทุกส่วน ค่า r ของน้ำหนักสดในใบ ก้านใบ+ต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดเท่ากับ 0.88, 0.89, 0.42, 0.66, 0.88 และ 0.96 ตามลำดับ ค่า r ของน้ำหนักแห้งในใบ ก้านใบ+ต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักแห้งทั้งหมดเท่ากับ 0.82, 0.89, 0.45, 0.71, 0.88 และ 0.99 ตามลำดับ นอกจากนี้การดูดดึงไนโตรเจนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งทุกส่วนของมันสำปะหลัง ค่า r ของน้ำหนักสดในใบ ก้านใบ+ต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดเท่ากับ 0.80, 0.83, 0.38, 0.56, 0.82 และ 0.88 ตามลำดับ ค่า r ของน้ำหนักแห้งในใบ ก้านใบ+ต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักแห้งทั้งหมดเท่ากับ 0.74, 0.83, 0.38, 0.61, 0.83 และ 0.95 ตามลำดับ

Research Title: Effect of nitrogen, potassium and sulfur fertilizer on growth and nutrients uptake of cassava

Researcher: Dr. Sukunya Yampracha and Miss Varangkha Thummanatsakun

Faculty: Agricultural Technology

Department: Plant Production Technology

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is the important food crop in the world, so nutrient management is necessary to increase the product of cassava for enough to requirement. Nitrogen (N) potassium (K) and sulfur(S) are required nutrients for cassava. The objective of this study was therefore to study the interaction effects between nitrogen with potassium and sulfur on the growth and nutrients uptake of cassava. The experiment was conducted in a greenhouse at the Faculty of Agriculture at 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. This study is divided into 2 experiments: experiment 1; 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) $\mu\text{mol/L}$) were combined with three different potassium rates (500 (K1), 1000 (K2) and 1500 (K3) $\mu\text{mol/L}$). Experiment 2; effects of interaction between nitrogen and sulfur on the growth and nutrients uptake of cassava. Three different nitrogen rates (500 (N1), 1000 (N2) and 1500 (N3) $\mu\text{mol/L}$) were combined with three different sulfur rates (500 (S1), 1000 (S2) and 1500 (S3) $\mu\text{mol/L}$). The results show that increasing nitrogen rates significantly increased plant height, SPAD value of the upper and lower leaf, the fresh and dry weight of leaf blade, stem+petio, tuber and total weight in both experiments. In addition, the concentration of nitrogen, sulfur, nitrogen uptake in all plant organs, potassium uptake in leaf blade tuber and total, sulfur in root and total increased with higher nitrogen fertilizer rates. While the concentration of calcium, magnesium, manganese, copper, and molybdenum decreased with increasing nitrogen fertilizer rates. Different potassium fertilizer rates affected to the SPAD values in the lower leaves of cassava. In addition, high potassium fertilizer rates affected nitrogen uptake in tuber, rhizomes and potassium uptake in all plant organs except for leaves blade. The different sulfur rates affected the fresh and dry weight in the tuber. The higher sulfur fertilizer rates in S3 treatments have highest

the fresh and dry weight of tuber. Furthermore, the concentration of sulfur in the youngest fully-expanded leaves, total nitrogen uptake, sulfur uptake in the roots totals increased with increasing sulfur fertilizer rate. While the concentration of molybdenum decreased with the higher sulfur fertilizer rate.

Nitrogen and potassium uptake in leave blade, stem+petio and tuber had a high positive correlation with the correlation coefficient (r) were 0.86, 0.84 and 0.87, respectively. The positive correlation between nitrogen uptake with fresh and dry weight of all plant organs except old stem cutting (OSC) r -value of leave blade, stem+petio, OSC, root, tuber, and total fresh weight were 0.78, 0.84, 0.34, 0.39, 0.85 and 0.94, respectively and r value of leave blade, stem+petio, root, tuber, and total dry weight were 0.85, 0.85, 0.37, 0.89 and 0.97, respectively. Meanwhile, potassium uptake positive correlated with fresh weight in all plant organs except OSC and dry weight in leave blade, stem+petio, tuber, and total dry weight. The r -value of leave blade, stem+petio, root, tuber, and total fresh weight were 0.39, 0.53, 0.35, 0.40 and 0.47, respectively and r value of leave blade, stem+petio, tuber, and total dry weight were 0.46, 0.46, 0.52 and 0.57, respectively.

Nitrogen and sulfur uptake in leave blade, stem+petio and tuber had a high positive correlation and r -value were 0.97, 0.68 and 0.96, respectively. Other than found that the positive correlation between nitrogen uptake and fresh and dry weight all plant organs r of leave blade, stem+petio, OSC, root, tuber, and total fresh weight were 0.88, 0.89, 0.42, 0.66, 0.88 and 0.96, respectively and r value of leave blade, stem+petio, OSC, root, tuber and total dry weight were 0.82, 0.89, 0.45, 0.71, 0.88 and 0.99, respectively. Meanwhile sulfur uptake positive correlation with fresh and dry weight in all plant organs, the r -value of leave blade, stem+petio, OSC, root, tuber, and total fresh weight were 0.80, 0.83, 0.38, 0.56, 0.82 and 0.88, respectively and r value of leave blade, stem+petio, OSC, root, tuber, and total dry weight were 0.74, 0.83, 0.38, 0.61, 0.83 and 0.95, respectively

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากโครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากรายงานโครงการวิจัยฉบับนี้ของข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า



ดร.สุกัญญา เข้มประชา
วารางคณา ธรรมนารอดสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 มันท่ำปะหลัง.....	6
2.2 ชาติโนโตรเจน โปแทสเซียม และกำมะถันในดิน.....	15
2.3 อิทธิพลของไนโตรเจน โปแทสเซียมและกำมะถันที่มีต่อการเจริญเติบโตและ ผลผลิตของพืช.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	27

3.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโตและคุณค่าอาหารในมันสำปะหลัง.....	27
3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของไนโตรเจนและกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโต และคุณค่าอาหารในมันสำปะหลัง.....	29
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	31
4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโตและคุณค่าอาหารในมันสำปะหลัง.....	31
4.2 การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและกำมะถัน ต่อการ เจริญเติบโตและคุณค่าอาหารในมันสำปะหลัง.....	50
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียม ต่อการ เจริญเติบโตและคุณค่าอาหารในมันสำปะหลัง.....	65
5.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและกำมะถัน ต่อการ เจริญเติบโตและคุณค่าอาหารในมันสำปะหลัง.....	66
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย.....	67
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก.....	73
ภาคผนวก ข.....	84
ภาคผนวก ค.....	95
ภาคผนวก ง.....	110
ประวัติผู้เขียน.....	111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ผลผลิตมันสำปะหลังโลกในปี 2014-2017 (ตัน/ปี).....	12
ตารางที่ 2.2 พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต ราคา และมูลค่าของมันสำปะหลัง ในประเทศไทยในปี 2551-2560.....	13
ตารางที่ 2.3 พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว และผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทยในปี 2560.....	15
ตารางที่ 2.4 แสดงลักษณะดินทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินที่มันสำปะหลังต้องการ.....	21
ตารางที่ 2.5 แสดงค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบบนที่เจริญเติบโตเต็มที่ของมันสำปะหลัง ที่อายุ 3-4 เดือน : ข้อมูลเฉลี่ยของการทดลองภายในโรงเรือน.....	22
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร.....	28
ตารางที่ 4.1 ค่า SPAD ของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และ โปแตสเซียมที่แตกต่างกัน.....	33
ตารางที่ 4.2 น้ำหนักสดใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และ โปแตสเซียมที่แตกต่างกัน.....	37
ตารางที่ 4.3 น้ำหนักแห้งใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และ โปแตสเซียมที่แตกต่างกัน.....	38
ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL)ของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และ โปแตสเซียมที่แตกต่างกัน.....	40
ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL)ของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และ โปแตสเซียมที่แตกต่างกัน.....	41
ตารางที่ 4.6 การดูดคืนไนโตรเจนของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และ โปแตสเซียมที่ แตกต่างกัน.....	44

ตารางที่ 4.7 การดูดดึงโพแทสเซียมของมันสำปะหลัง ภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....	45
ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงโพแทสเซียม และน้ำหนักรากของมันสำปะหลัง ภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....	46
ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงโพแทสเซียม และน้ำหนักรากของมันสำปะหลัง ภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....	47
ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดดึงไนโตรเจนและการดูดดึงโพแทสเซียมของมันสำปะหลัง ภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....	49
ตารางที่ 4.11 ค่า SPAD ของมันสำปะหลังภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	51
ตารางที่ 4.12 น้ำหนักสดใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลัง ภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	53
ตารางที่ 4.13 น้ำหนักแห้งใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลัง ภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	54
ตารางที่ 4.14 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองไนโบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL)ของมันสำปะหลัง ภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	56
ตารางที่ 4.15 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารไนโบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL)ของมันสำปะหลัง ภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	57
ตารางที่ 4.16 การดูดดึงไนโตรเจนของมันสำปะหลัง ภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	59
ตารางที่ 4.17 การดูดดึงกำมะถันของมันสำปะหลัง ภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	60

ตารางที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับไนโตรเจนและการดูดซับกำมะถัน และน้ำหนักสดของ มันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	63
ตารางที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับไนโตรเจนและการดูดซับกำมะถัน และน้ำหนักแห้งของ มันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	63
ตารางที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับไนโตรเจนและการดูดซับกำมะถันของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	64
ตารางภาคผนวกที่ 1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในแผ่นใบทั้งหมดของมัน สำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....	74
ตารางภาคผนวกที่ 2 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในแผ่น ใบทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตรา ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....	75
ตารางภาคผนวกที่ 3 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในก้าน ใบ+ต้นของมัน สำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....	76
ตารางภาคผนวกที่ 4 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในก้าน ใบ+ต้นของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ย ไนโตรเจนและ โพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....	77
ตารางภาคผนวกที่ 5 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในเหง้าของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....	78
ตารางภาคผนวกที่ 6 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในเหง้าของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ย ไนโตรเจนและ โพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....	79
ตารางภาคผนวกที่ 7 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในรากของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....	80
ตารางภาคผนวกที่ 8 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในรากของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ย ไนโตรเจนและ โพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....	81

ตารางภาคผนวกที่ 9 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในหัวของมันสำปะหลัง ภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....	82
ตารางภาคผนวกที่ 10 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในหัวของมันสำปะหลังภายใต้้อตราปุ๋ย ไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....	83
ตารางภาคผนวกที่ 11 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในแผ่นใบทั้งหมดของมัน สำปะหลังภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	85
ตารางภาคผนวกที่ 12 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในแผ่นใบทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้้อตรา ปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	86
ตารางภาคผนวกที่ 13 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในก้านใบ+ต้นของมัน สำปะหลังภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	87
ตารางภาคผนวกที่ 14 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในก้านใบ+ต้นของมันสำปะหลังภายใต้้อตราปุ๋ย ไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	88
ตารางภาคผนวกที่ 15 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในเหง้าของมันสำปะหลัง ภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	89
ตารางภาคผนวกที่ 16 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในเหง้าของมันสำปะหลังภายใต้้อตราปุ๋ย ไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	90
ตารางภาคผนวกที่ 17 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในรากของมันสำปะหลัง ภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	91
ตารางภาคผนวกที่ 18 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในรากของมันสำปะหลังภายใต้้อตราปุ๋ย ไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	92
ตารางภาคผนวกที่ 19 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในหัวของมันสำปะหลัง ภายใต้้อตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	93

ตารางภาคผนวกที่ 20 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในหัวของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ย ไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน.....	94
ตารางภาคผนวกที่ 21 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการดำเนิน โครงการวิจัย.....	110



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 1 ลักษณะรากของมันสำปะหลัง.....	6
ภาพที่ 2 ลักษณะดอกตัวผู้ และดอกตัวเมียของมันสำปะหลัง.....	8
ภาพที่ 4.1 ความสูงของมันสำปะหลังที่อายุ 4 เดือนภายใต้อัตราปุ๋ยในโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน.....	32
ภาพที่ 4.2 ใบบนของมันสำปะหลังที่อายุ 1 เดือน ที่แสดงอาการ Chlorosis จากขาดไนโตรเจนในทริทเมนต์ N1 (a)ใบบนของมันสำปะหลังในทริทเมนต์ N1K1 (b)ใบบนของมันสำปะหลังในทริทเมนต์ N1K2 (c)ใบบนของมันสำปะหลัง ในทริทเมนต์ N1K3.....	34
ภาพที่ 4.3 ใบบนของมันสำปะหลังที่อายุ 1 เดือน ที่แสดงอาการ Chlorosis จากขาดโพแทสเซียมใน ทริทเมนต์ K1 (a)ใบบนของมันสำปะหลังในทริทเมนต์ N1K1 (b)ใบบนของมันสำปะหลัง ในทริทเมนต์ N2K1 (c)ใบบนของมันสำปะหลังในทริทเมนต์ N3K1.....	34
ภาพที่ 4.4 ความสูงของมันสำปะหลังที่อายุ 4 เดือนภายใต้อัตราปุ๋ยในโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่าง กัน.....	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มันสำปะหลัง Cassava หรือ Tapioca (*Manihot esculenta* L.Crantz) เป็นพืชอาหารที่สำคัญอันดับ 5 ของโลกรองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง เป็นพืชอาหารที่สำคัญของประเทศในเขตร้อน โดยเฉพาะประเทศต่างๆ ในทวีปแอฟริกา อเมริกาใต้ และเอเชีย โดยเฉพาะประเทศอินโดนีเซีย และอินเดียมีการบริโภคมันสำปะหลังกันเป็นจำนวนมาก นอกจากมันสำปะหลังเป็นอาหารของมนุษย์แล้ว หัวสด ใบสด และลำต้นยังเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ และมีความสำคัญในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังอีกด้วย ซึ่งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ผงชูรส (monosodium glutamate) โลซิโน สารให้ความหวาน ได้แก่ กลูโคสเหลว กลูโคสผง เดกซ์โทรสแอนไฮดรัส และซอร์บิทอล (ใช้ในอุตสาหกรรมยาสีฟันและเครื่องสำอาง) อุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมไม้อัด อุตสาหกรรมกาว อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม รวมไปถึงผลิตภัณฑ์ชะหมีกึ่งสำเร็จรูปต่าง ๆ เส้นก๊วยเตี๋ยว วุ้นเส้น สาเก ซอสต่าง ๆ ไอศกรีม เป็นต้น ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ มากมายที่ได้จากแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่ พลาสติกที่สลายได้ทางชีวภาพ สารดูดน้ำ และ“ก๊าซโซฮอล” (gasohol) แอลกอฮอล์ที่สามารถนำมาผสมกับน้ำมันเบนซินใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ ได้ มันสำปะหลังจึงเป็นพืชที่สามารถทำรายได้ให้กับเกษตรกรไทยได้มากเป็นอันดับ 4 (รองจากข้าว ยางพารา และอ้อย) ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับมันสำปะหลังมากที่สุดในโลก ในปี 2560 ประเทศไทยมีผลผลิตมันสำปะหลัง 30.50 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) รายได้จากการส่งออกมันสำปะหลัง 10.80 ล้านบาท/ปี (สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, 2560) มันสำปะหลังเป็นพืชที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงเมื่อเทียบกับพืชไร่อื่นๆ ดังนั้นจึงต้องการธาตุอาหารจากดินปริมาณมากเมื่อมีการปลูกมันสำปะหลังติดต่อกันหลายปี ธาตุอาหารในดินย่อมลดลง ดังนั้นการปลูกมันสำปะหลังจึงจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตและรักษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2556)

จากภาวะการผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทยในปี 2560 มีพื้นที่เก็บเกี่ยว 8.91 ล้านไร่ ผลผลิต 30.94 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ 3.472 ตัน ในปี 2561 มีพื้นที่เก็บเกี่ยว 8.02 ล้านไร่ พบว่าพื้นที่เก็บเกี่ยว ลดลงร้อยละ 9.93 (สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, 2561) จากพื้นที่เพาะปลูกที่ลดลงและผลผลิตต่อไร่ ที่ต่ำ รัฐบาลมีเป้าหมายในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 พ.ศ. 2560-2564 ในการ ปรับระบบการผลิตทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าให้สินค้าเกษตร มีความปลอดภัย ไม่ส่งผลกระทบต่อ คุณภาพชีวิตของประชาชนและสิ่งแวดล้อมของประเทศ เน้นการพัฒนาระบบเกษตรกรรมที่ยั่งยืนและ การขยายโอกาสในการเข้าถึงพื้นที่ทำกินของเกษตรกร จากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 รัฐบาลมีเป้าหมายการพัฒนาภาคการเกษตร โดย 1)เสริมสร้างฐานการผลิตภาคเกษตรให้ เข้มแข็งและยั่งยืน 2) สร้างและถ่ายทอดองค์ความรู้ทางวิชาการ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม และภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านการเกษตรแบบมีส่วนร่วม 3)ยกระดับการผลิตสินค้าเกษตรและอาหารเข้าสู่ ระบบมาตรฐานและสอดคล้องกับความต้องการของตลาดและการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ 4) เสริมสร้างขีดความสามารถการผลิตในห่วงโซ่อุตสาหกรรมเกษตร 5)ส่งเสริมและเร่งขยายผลแนวคิด การทำการเกษตรตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง 6)พัฒนาปัจจัยสนับสนุนในการบริหารจัดการ ภาคเกษตรและสนับสนุนเกษตรกรรุ่นใหม่ (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคม แห่งชาติ, 2560) การจัดการธาตุอาหารจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญเพื่อเป็นการรักษาระดับความอุดม สมบูรณ์ของดินและเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลังให้สูงขึ้น นอกจากนี้การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังทำให้ ธาตุอาหารเคลื่อนย้ายไปพร้อมผลผลิตสูง ประกอบกับการปลูกมันสำปะหลังมักปลูกในพื้นที่เดิม ต่อเนื่องเป็นเวลานาน ธาตุอาหารในดินจึงลดลง เกษตรกรส่วนใหญ่มักใส่ปุ๋ยในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ให้แก่มันสำปะหลังเท่านั้น แต่ไม่ได้ให้ความสำคัญกับธาตุอาหารรอง โดยเฉพาะ กำมะถัน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญสำหรับมันสำปะหลัง โดยช่วยเพิ่มจำนวนหัวต่อต้น เเปอร์เซ็นต์แป้งและผลผลิต แต่ฟอสฟอรัสจะสูญเสียไปจากดิน ได้ต่ำกว่า ไนโตรเจนและโพแทสเซียม นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยกำมะถันทางใบมีแนวโน้มจะเพิ่มจำนวนหัวต่อต้น และปริมาณแป้งในหัว ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญในการเจริญเติบโตในช่วงแรกของมัน สำปะหลัง ประกอบกับไนโตรเจนในดินประเทศไทยมีอยู่ในปริมาณที่ต่ำจึงมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนใน ปริมาณสูง จากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงอาจมีผลต่อการดูดใช้ธาตุ โพแทสเซียม กำมะถัน และ ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต เพราะไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีอันตรกิริยา (interaction) ต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจน และ โพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจน และกำมะถันต่อการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1.3.1 มีอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและ โพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง

1.3.2 มีอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและกำมะถันต่อการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงรูปของโพแทสเซียมและกำมะถันหลังจากใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่ต่างกัน และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้นอาจส่งผลให้พืชดูดใช้โพแทสเซียมและกำมะถันสูงขึ้นด้วย ซึ่งอาจจำเป็นต้องมีการใช้โพแทสเซียม และกำมะถันในอัตราที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง

1.5.2 ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนและกำมะถันต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของไนโตรเจนและกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มันสำปะหลัง

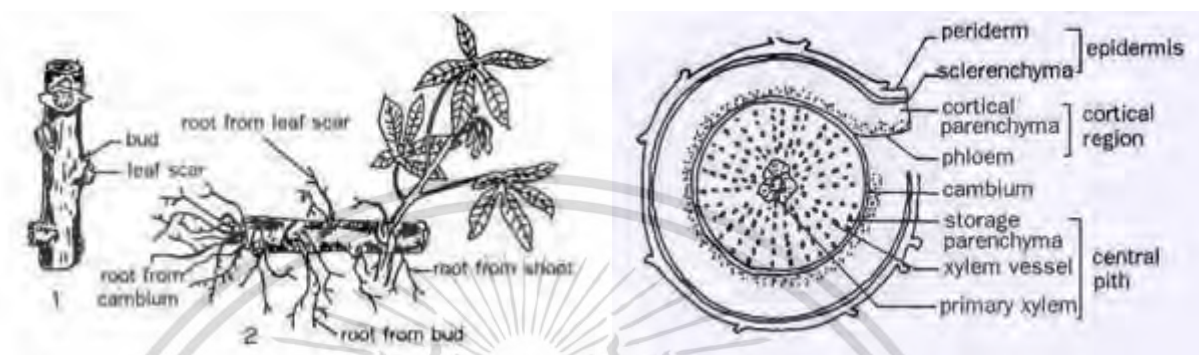
มันสำปะหลัง Cassava หรือ Tapioca (*Manihot esculenta* Crantz) เป็นพืชอาหารที่สำคัญเป็นอันดับ 5 ของโลกรองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง (ธีระ สมหวัง, 2550) เป็นพืชอาหารที่สำคัญของประเทศในเขตร้อน โดยเฉพาะประเทศต่างๆ ในทวีปแอฟริกา และ อเมริกาใต้ ในทวีปเอเชีย ประเทศอินโดนีเซีย และอินเดียมีการบริโภคมันสำปะหลังกันเป็นจำนวนมาก (จรุงสิทธิ์ ลิ่มศิลา และ อัจฉรา ลิ่มศิลา, 2547) ในปี 2561 ประเทศไทยมีการปลูกมันสำปะหลัง 30.50 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) รายได้จากการส่งออกมันสำปะหลัง 10.80 ล้านบาท/ปี (สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, 2560)

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง

ราก : มันสำปะหลังมีราก 2 ชนิด คือ รากจริงเป็นแบบรากฝอย และรากสะสมอาหารที่เรียกกันทั่วไปว่าหัว รากจริงเป็นระบบรากแบบ adventitious root system รากที่งอกจากท่อนพันธุ์ (cutting) สามารถงอกได้จาก 3 ส่วนคือ รากจากส่วนเนื้อเยื่อ root from cambium รากจากส่วนตา (root from bud) และรากจากส่วนรอยหลุดร่วงของใบ (root from leaf scar) ส่วนหัว (tuber) ของมันสำปะหลัง คือส่วนรากที่ขยายใหญ่เพื่อสะสมอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรต ในส่วน parenchyma cell รากสะสมอาหารมีปริมาณแป้งประมาณ 15 – 40 % มีกรดไฮโดรไซยานิก (HCN) หรือ กรดพรัสซิก (prussic acid) ซึ่งมีพิษจะมีอยู่มากในส่วนของเปลือกมากกว่าเนื้อของหัว หัวมันสำปะหลังเมื่อตัดตามขวางมีส่วนประกอบดังนี้

1. เปลือกชั้นนอก (periderm) เป็นชั้นของเซลล์ผิวชั้นนอก (epidermal cell) และชั้นของคอร์ค (cork layer) รวมกัน มีสีขาว หรือสีน้ำตาลอ่อนถึงแก่ หรือสีชมพู
2. เปลือกชั้นใน (cortical region) เป็นส่วนของคอร์เทกซ์ (cortex) และกลุ่มโฟลเอ็ม (phloem bundle) มีสีขาวย ความหนา 0.1-0.3 ซม. เปลือกชั้นนอกและเปลือกชั้นใน เรียกรวมกันว่า เปลือก (peel)

3. ส่วนแกนกลางหรือส่วนสะสมแป้ง (central pith หรือ starchy flesh) มีสีขาว เหลือง หรือสีชมพู ประกอบด้วยเซลล์พารานไคมา (parenchyma cell) กลุ่มท่อน้ำ (xylem bundle) และท่อน้ำยาง (latex tube) ลักษณะปรากฏแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะรากของมันสำปะหลัง

ที่มา : สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559

ใบ : เป็นแบบใบเดี่ยว (simple leaf) การเกิดของใบจะหมุนเวียนรอบลำต้น (spiral) มีการจัดเรียงตัว (phyllotaxy) ก่อนข้างคกที่แน่นอนคือ $2/5$ ก้านใบ (petiole) ต่อระหว่างลำต้นหรือกิ่งกับตัวแผ่นใบ ก้านใบอาจมีสีเขียวหรือสีแดง ตัวใบหรือแผ่นใบ (lamina) จะเว้าเป็นหยักลึกเป็นแฉก (palmately lobe) จำนวนหยักมีตั้งแต่ 3-9 หยัก ที่โคนก้านใบติดกับลำต้นมีหูใบ (stipule)

ลำต้น : มันสำปะหลังเป็นไม้เนื้อแข็ง ลำต้นตั้งตรง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-6 ซม. สีของลำต้นแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ส่วนที่อยู่ใกล้ยอดมีสีเขียว ส่วนแก่ที่ต่ำลงมาอาจมีสีน้ำเงิน สีเหลือง หรือสีน้ำตาลตามความสูงของต้น 1-5 เมตร ขึ้นกับพันธุ์ โดยพันธุ์ที่ไม่แตกกิ่ง (unbranched) ต้นจะสูง ส่วนพันธุ์ที่แตกกิ่งต้นจะสูงน้อยกว่า การแตกกิ่งของมันสำปะหลังจะแตกออกเป็น 2 กิ่ง (dichotomous branching) หรือ 3 กิ่ง (trichotomous branching) กิ่งที่แตกออกจากลำต้นหลักเรียกว่า กิ่งชุดแรก (primary branch) ส่วนกิ่งที่แตกออกจาก กิ่งชุดแรก เรียกว่า กิ่งชุดที่สอง (secondary branch) บนลำต้นหรือกิ่งของมันสำปะหลังจะเห็นรอยหลุมร่องของก้านใบ เรียกว่า รอยแผลใบ (leaf scar) ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างก้านใบกับลำต้นหรือกิ่ง ระยะระหว่างรอยแผลใบ 2 รอยต่อกันเรียกว่าความยาวของชั้น (storey length) ด้านบนเหนือรอยแผลใบจะมีตา (bud) ซึ่งจะงอกเป็นต้นใหม่เมื่อนำท่อนพันธุ์ไปปลูก

ช่อดอก และดอก : มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีช่อดอกเป็นแบบ panicle คือมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกัน (monoecious plant) แต่แยกกันอยู่คนละดอกในช่อเดียวกัน ช่อดอกจะเกิดตรงปลายยอดของลำต้นหรือกิ่ง หรืออาจเกิดตรงรอยต่อที่เกิดการแตกกิ่ง ดอกตัวผู้ (staminate flower) มักเกิดบริเวณส่วนปลายหรือยอดของช่อดอก มีก้านดอก (pedicel) กลีบรองดอก หรือกลีบเลี้ยง (sepal) 5 กลีบ แต่ไม่มีกลีบดอก (petal) ภายในดอกมีเกสรตัวผู้ (stamen) 10 อัน แบ่งเป็น 2 วง ๆ ละ 5 อัน เกสรตัวผู้วงในมีก้านชูเกสรตัวผู้ (filament) สั้นกว่าวงนอก ดอกตัวเมีย (pistillate flower) มีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้ มักเกิดอยู่บริเวณส่วนโคนของช่อดอก ไม่มีกลีบดอก แต่มีกลีบรองดอกหรือกลีบเลี้ยง 5 กลีบ เช่นเดียวกับดอกตัวผู้ ตรงกลางจะเป็นเกสรตัวเมีย (pistil) รังไข่ (ovary) มี 3 carpel ภายในแต่ละ carpel มีไข่ (ovule) อยู่ 1 ใบ ในช่อดอกเดียวกันดอกตัวเมียจะบานก่อนดอกตัวผู้ 7-10 วัน การบานของดอกตัวผู้และดอกตัวเมียจะบานในเวลา 11.30-12.30 น.

ผล และเมล็ด : หลังการผสมเกสรแล้ว รังไข่ก็จะเจริญเติบโตขยายใหญ่กลายเป็นผลแบบ capsule ขนาดโตเต็มที่ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ซม. ยาว 1-1.5 ซม. ภายในมี 3 ช่อง แต่ละช่องมีเมล็ด 1 เมล็ด รูปร่างยาวรี มีสีน้ำตาล และมีลายดำ เมื่อแก่จะแตกดีดเมล็ดกระเด็นออกไป

การขยายพันธุ์ : ขยายพันธุ์โดยใช้ท่อนพันธุ์ปักลงในดิน คือ ใช้ส่วนของลำต้นที่มีอายุตั้งแต่ 6 เดือน ขึ้นไป นำมาตัดเป็นท่อนให้มีขนาดยาว 20-30 ซม. (มีตาประมาณ 7 – 10 ตา) แล้วปักลงในดิน ไม่นิยมปลูกด้วยเมล็ดเนื่องจากมันสำปะหลังไม่ค่อยติดเมล็ด และเก็บเมล็ดลำบาก เพราะฝักแก่จะแตกทำให้เมล็ดร่วง เมล็ดมีระยะพักตัวกว่า 2 เดือน ต้องเพาะต้นกล้าก่อนย้ายปลูก นาน 1 เดือน และ มักเกิด inbreeding ได้ง่ายและใช้เวลาปลูกนานกว่า การปลูกด้วยเมล็ดจึงทำเฉพาะในโครงการผสมพันธุ์และปรับปรุงพันธุ์เท่านั้น



ภาพที่ 2 ลักษณะดอกตัวผู้ และดอกตัวเมียของมันสำปะหลัง

ที่มา : สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559

2.1.2 การเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

ระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังแบ่งออกเป็น 5 ระยะ คือระยะที่ 1 ระยะท่อนพันธุ์งอก และตั้งตัว อยู่ในช่วงระยะเวลา 2-3 สัปดาห์หลังปลูก ระยะที่ 2 ระยะพัฒนาทรงพุ่ม เป็นระยะที่เริ่มแตกกิ่งก้านและสร้างใบ เริ่มต้นตั้งแต่เดือนที่ 2 ระยะที่ 3 ระยะพัฒนารากและสะสมอาหารจึงเป็นระยะที่มันสำปะหลังต้องการธาตุอาหารมากที่สุด ระยะนี้มันสำปะหลังจะลำเลียงแป้งไปสะสมไว้ที่หัว ตั้งแต่เดือนที่ 3 เป็นต้นไป ระยะที่ 4 ระยะพักตัว เป็นช่วงที่มันสำปะหลังชะงักการเจริญเติบโต และมีการทิ้งใบหลังจากเดือนที่ 4 และระยะที่ 5 ระยะฟื้นตัว มันสำปะหลังจะนำเอาอาหารจากหัวขึ้นมาสร้างใบใหม่ การปลูกมันสำปะหลังเราจะไม่ปล่อยให้เลยไปจนถึงระยะที่ 4 ควรขุดขึ้นมาในช่วงอายุ 10 – 14 เดือน หรือต่ำกว่าตามความเหมาะสม มันสำปะหลังนิยมปลูกโดยใช้วิธีปักท่อนพันธุ์ลงดินที่ความลึก 10-20 ซม. การปักต้องปักให้ตาอยู่ด้านบนจะทำให้เจริญเติบโตได้เร็วขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสดของท่อนพันธุ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอุณหภูมิ ตาจะแตกหน่อภายใน 5-10 วัน ในช่วงแรกจะยังไม่มีรากในช่วงนี้จะใช้ธาตุอาหารเดิมที่อยู่
ในท่อนพันธุ์ หลังจากนั้น 2 สัปดาห์ รากจะเริ่มงอกเหลือและดูดใช้น้ำและธาตุอาหารจากดิน
(สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559)

2.1.3 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการปลูกมันสำปะหลัง

ลักษณะดิน : ควรเป็นพื้นที่ที่มีน้ำดินลึกระดับหน้าดินลึกไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร เนื้อดิน
เป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย หรือดินทราย มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง มีอินทรีย์วัตถุไม่ต่ำกว่า 1.0
เปอร์เซ็นต์ มีการระบายน้ำดีและถ่ายเทอากาศดี มีค่าความเป็นกรดค่าระหว่าง 5.5 – 7.5 อุณหภูมิที่
เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต 25 - 37 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนกระจายสม่ำเสมอ 1,000 -1,500
มิลลิเมตรต่อปี มีการเตรียมดินอย่างถูกวิธี และปรับปรุงดินเพื่อรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินอย่าง
สม่ำเสมอ (ชยพร แอคะรัตน์, 2558; สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2561)

ฤดูปลูก : สามารถปลูกได้ตลอดปี แต่ส่วนใหญ่ปลูกอยู่ 3 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงต้นฤดูฝน
(มีนาคม-พฤษภาคม) มักจะได้ผลผลิตสูง 2) ปลายฤดูฝนหรือในฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) 3) ฤดู
ฝน (มิถุนายน-ตุลาคม)

การเตรียมดิน : ไถดินลึก 20-30 เซนติเมตร การไถควรทำ 1-2 ครั้ง ด้วยยาน 3-4 สลับกับพาน
7 ตากดินทิ้งไว้ 7-10 วัน แล้วคราดเก็บเศษซาก ราก เหง้า หัว ไหลของวัชพืชข้ามปี ออกจากแปลง พื้นที่
ลุ่มหรือลาดเอียง ให้ยกร่องขวางแนวลาดเอียง ความสูงสันร่องประมาณ 30-40 เซนติเมตร ระยะระหว่าง
ร่อง 80 เซนติเมตร สำหรับพื้นที่ราบไม่ต้องยกร่อง พื้นที่ลาดเอียงมากกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่ปลูกมัน
สำปะหลังต่อเนื่องเป็นเวลานาน ควรเพิ่มอินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงดิน โดยหว่านปุ๋ยมูลไก่ที่ย่อยสลายดี
แล้ว อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทุก 2 ปี หรือ ควรปลูกพืชบำรุงดิน เช่น ปอเทือง หรือถั่วพุ่ม อัตรา 5
กิโลกรัมต่อไร่ โดยโรยเป็นแถว ระยะระหว่างแถว 50 เซนติเมตร หรือปลูกถั่วพุ่มอัตรา 15 กิโลกรัมต่อ
ไร่ ระยะระหว่างแถว 50-100 เซนติเมตร แล้วไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสดเมื่ออายุประมาณ 2 เดือน ก่อนปลูก
มันสำปะหลังทุกปี (ชยพร แอคะรัตน์, 2558; กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561)

วิธีปลูก : ระยะปลูก 80x80 หรือ 80x100 หรือ 100x100 เซนติเมตร จำนวนต้น 1,600 - 2,500
ต้นต่อไร่ กรณียกร่องปลูก ให้ปลูกบนสันร่อง ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ปลูกควรได้จากต้นที่มีอายุ

ตั้งแต่ 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 แอคะรัตน์, 2558; กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561)

คำแนะนำปุ๋ย : ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 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 แอคะรัตน์, 2558; กรมวิชาการเกษตร, 2545)

การเก็บเกี่ยว : ระยะเก็บเกี่ยวเหมาะสมคือ 12-18 เดือนหลังปลูก ไม่ควรเก็บเกี่ยวในช่วงที่มีฝนชุก เนื่องจากหัวมันสำปะหลังจะมีเปอร์เซ็นต์แป้งต่ำ วิธีการเก็บเกี่ยว 1) ใช้แรงงานคนใช้มีดตัดต้นเหนือระดับพื้นดินประมาณ 30 เซนติเมตร ถอน ใช้จอบขุด หรือเครื่องมือขุดหัวมันสำปะหลัง ตัดแยกส่วนของหัวมันสำปะหลังออกจากต้น หรือเหง้า 2) ใช้เครื่องทุ่นแรง ในพื้นที่ที่มีปัญหาขาดแคลนแรงงานจะมีการใช้เครื่องทุ่นแรงตัดท้าย รถแทรกเตอร์ สำหรับการพลิกหน้าดินเพื่อให้หัวมันสำปะหลังหลุดจากดิน จากนั้นใช้แรงงานคนเดินตามไปตัดหัวมันออกจากเหง้า หลังเก็บเกี่ยวแล้ว ควรปล่อยให้ใบและยอดมันสำปะหลังคลุมดิน เพื่อเป็นปุ๋ยพืชสด จะช่วยให้ดินร่วน มีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศดี (ชยพร แอคะรัตน์, 2558; กรมวิชาการเกษตร, 2545)

วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว : การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว นำผลผลิตหัวมันสดส่งโรงงานทันที ไม่ควรเก็บไว้เกิน 2 วัน เพราะจะเน่าเสีย การขนส่ง รถบรรทุกหัวมันสำปะหลังต้องสะอาดและเหมาะสมกับปริมาณหัวมันสด ไม่ควรเป็นรถที่ใช้บรรทุกดิน สัตว์ หรือมูลสัตว์ เพราะอาจมีการปนเปื้อนของเชื้อโรคปากและเท้าเปื่อย และไม่ควรเป็นรถที่บรรทุกข้าว โปดเลี้ยงสัตว์ หรือถั่วลิสง เพราะอาจมีการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซิน ยกเว้น จะมีการทำความสะอาดอย่างเหมาะสมก่อน

นำมาบรรทุกหัวมันสำปะหลัง และไม่ควรเป็นรถที่ใช้บรรทุกปุ๋ยเคมีและสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช (ชยพร แอคะรัตน์, 2558)

2.1.4 สถานการณ์การผลิตมันสำปะหลัง

2.1.4.1 การผลิตมันสำปะหลัง: ในปี 2016 FAO รายงานผลผลิตมันสำปะหลังโลกมีปริมาณ 278 ล้านตัน เมื่อเทียบกับปีเพาะปลูก 2017 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 สำหรับผลผลิตและผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.06 และ 5.40 ตามลำดับ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศเอื้ออำนวย ทำให้ต้นมันสำปะหลังเจริญเติบโตดี จึงส่งผลให้ผลผลิตโดยรวมเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2.2)

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, Democratic Republic 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, United Republic of	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
Viet Nam	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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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, 2560

2.1.4.2 สถานการณ์การตลาด ผลผลิตมันสำปะหลังเข้าสู่กระบวนการแปรรูปทั้งหมด โดยแปรรูปเป็น มันเส้น มันอัดเม็ด แป้งมันสำปะหลัง และเอทานอล เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น อาหาร อาหารสัตว์ สารความหวาน ผงชูรส กระจก ยาง สิ่งทอ เป็นต้น โดยความต้องการใช้ภายในประเทศ ในแต่ละปีประมาณ 20 - 25% ที่เหลือเป็นการส่งออก ความต้องการใช้มันสำปะหลังในประเทศ จากปี 2553 - 2557 ขยายตัวเพิ่มขึ้น 3.80% ต่อปี โดยเฉพาะความต้องการใช้เพื่อผลิตเอทานอลที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก ขณะที่ความต้องการใช้เพื่อผลิตแป้งมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไม่มากนัก และความต้องการใช้เพื่อผลิตมันเส้นเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์มีแนวโน้มลดลง โดยผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอาหารสัตว์หันไปใช้กากมันสำปะหลังหรือ ฟืชทดแทนอื่นๆ เนื่องจากราคามันเส้นปรับตัวสูงขึ้น ประเทศไทยส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ได้แก่ มันเส้น

มันอัดเม็ด และแป้งมันสำปะหลัง มีปริมาณและมูลค่าการส่งออกขยายตัวเพิ่มขึ้น 13.26% และ 12.76% ต่อปี ตามลำดับ

ความต้องการใช้มันสำปะหลังภายในประเทศของไทย ปี 2560 เพิ่มขึ้นจากปี 2559 โดยเฉพาะอย่างยิ่งความต้องการใช้มันสำปะหลังเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ปัจจุบันมีโรงงานที่ใช้เฉพาะมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล 7 แห่ง ความต้องการใช้เพื่อผลิตแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นเนื่องจากใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องได้หลากหลาย และมันเส้นมีความต้องการใช้ใกล้เคียงกับปี 2559 ทั้งนี้ความต้องการใช้ภายในประเทศ มีประมาณร้อยละ 20 ที่เหลือร้อยละ 80 เป็นการส่งออก

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

2.1.5 พื้นที่การเพาะปลูกมันสำปะหลัง

2.1.5.1 พื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทย

ประเทศไทยมีเนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ขยายตัวเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากราคามันสำปะหลังอยู่ในเกณฑ์ ภาครัฐมีการดำเนิน โครงการแทรกแซงตลาดมันสำปะหลังอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูก อย่างไรก็ตาม ในปี 2560 มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว 8.71 ล้านไร่ ผลผลิต 30.50 ล้านตัน และผลผลิตต่อไร่ 3.50 ตัน โดยที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นภาคที่มีพื้นที่เพาะปลูกสูงสุด รองมาเป็นภาคกลาง และภาคเหนือ ตามลำดับ มีพื้นที่เพาะปลูกเท่ากับ 4.81 2.13 และ 1.98 ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 53.92 23.88 และ 22.20 ของพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังของประเทศ ไทย โดยการส่งออกมันเส้นและแป้งมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ส่วนการส่งออกมันอัดเม็ด มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอดีตไทยส่งออกมันอัดเม็ดไปสหภาพยุโรปเป็นหลัก แต่ปัจจุบันราคามัน

อัดเม็ด จากไทยไม่สามารถแข่งขันกับรัฐพืชของสหภาพยุโรปได้ ประกอบกับการค้ำประกันอัดเม็ดที่ซบเซามาเป็น เวลานานทำให้การกระตุ้นความต้องการใช้มันอัดเม็ดมีค่าใช้จ่ายมาก แม้ว่าจะยังคงได้รับโควตาเข้าใน ปริมาณเดิม ผู้ประกอบการไทยจึงหันไปหาตลาดใหม่ๆ ทดแทนปัจจุบัน จีนเป็นประเทศผู้นำเข้าผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของไทย 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, 2560

2.2 ธาตุไนโตรเจน โปแตสเซียม และกำมะถันในดิน

2.2.1 ธาตุไนโตรเจน

ไนโตรเจนจัดเป็นธาตุอาหารหลักของพืชที่พืชต้องการปริมาณมาก (macronutrient elements) ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบหลายชนิดในพืช เช่น โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลีอิกและวิตามิน เป็นต้น เมื่อพืชได้รับธาตุนี้เป็นปริมาณที่พอเพียงแล้วพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี มีความแข็งแรง โดยเฉพาะที่ใบจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีสีเขียวเข้ม ไนโตรเจนเป็นธาตุที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชให้ตั้งตัวได้เร็วในระยะแรก นอกจากนั้นยังช่วยทำให้ผลผลิตของพืชมีคุณภาพด้วยการปิดกั้นของพืชเมื่อขาดธาตุไนโตรเจน เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ภายในพืช อาการผิดปกติเมื่อพืชขาดจะแสดงออกที่ใบแก่ก่อน กล่าวคือ ใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือสีเหลืองอมส้ม หรือสีเขียวอ่อน หรือสีขาว ซึ่งลักษณะอาการดังกล่าวนี้เรียกว่าคลอโรซิส (chlorosis) นอกจากนี้ที่ปลายใบและขอบใบจะค่อย ๆ แห้งและลุกลามเข้ามาเรื่อยๆ จนในที่สุดใบที่แสดงอาการผิดปกติจะร่วงหล่นจากลำต้นก่อนเวลาอันสมควร นอกจากอาการผิดปกติจะเกิดขึ้นที่ใบแล้ว ที่ส่วนอื่น

ๆ เช่น ลำต้นยังอาจมีสีเหลือง บางครั้งก็มีสีชมพูเกือบปน ลำต้นพอมสูง กิ่งก้านลีบเล็กและมีจำนวนน้อยกว่าปกติ พืชเจริญเติบโตช้ามาก

แหล่งธาตุไนโตรเจนในดินที่สำคัญ คือ อินทรีย์วัตถุ ซึ่งอินทรีย์วัตถุจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ชนิดชนิดต่าง ๆ จะทำให้ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจน รูปของไนโตรเจนในดินแบ่งออกเป็น 2 รูปใหญ่ๆคือ

1) อินทรีย์ไนโตรเจน พบว่ามีอยู่ประมาณร้อยละ 97 – 98 ของไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโน และกรดนิวคลีอิก แต่ไนโตรเจนรูปที่กล่าวถึงนี้ พืชไม่อาจนำไปใช้ได้โดยตรง จะต้องถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจนเสียก่อน

2) รูปอนินทรีย์ไนโตรเจน 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) ซึ่งรูปของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยตรงคือ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ไนเตรทไอออน (NO_3^-) ไนโตรเจนในดินได้มาจากกระบวนการตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ดิน และสิ่งมีชีวิตและได้มากับน้ำฝน ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่ก๊าซไนโตรเจนในอากาศถูกออกซิไดส์ให้เปลี่ยนรูปเป็นไนตรัสออกไซด์ (NO) และไนตริกออกไซด์ (NO_2) ไนโตรเจนทั้งสองรูปนี้จะละลายในน้ำฝนที่ตกลงมาสู่พื้นดิน

การปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานานรวมทั้งการจัดการดินหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่ถูกต้องและเหมาะสม เช่น การเผาตอซัง หรือ เคลื่อนย้ายตอซังออกไปจากพื้นที่เพาะปลูก จะมีผลทำให้ดินสูญเสียธาตุไนโตรเจน และอาจทำให้ดินมีปริมาณธาตุไนโตรเจนไม่เพียงพอกับความต้องการของพืชในการปลูกครั้งต่อไป ถึงแม้ว่าธาตุไนโตรเจนในดินจะได้รับเพิ่มเติมจากการที่ไนโตรเจนละลายมากับน้ำฝนและการตรึงของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตในดิน แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช การเพิ่มเติมโดยการใส่ปุ๋ยเคมีจึงมีความจำเป็น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงในดินต้องปฏิบัติอย่างระมัดระวัง โดยเฉพาะการเลือกชนิดของปุ๋ยไนโตรเจน ปริมาณที่ต้องการใส่ จำนวนครั้งในการแบ่งใส่ ตลอดจนช่วงเวลาที่เหมาะสมในการใส่ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงชนิดของพืชและชนิดของดินด้วย

2.2.1 ธาตุโพแทสเซียม

ธาตุโพแทสเซียมเป็นธาตุที่สำคัญรองมาจากไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โพแทสเซียมมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช อาการขาดธาตุโพแทสเซียมจะปรากฏในใบแก่ก่อน ในพืชใบเลี้ยงคู่ใบจะเกิดอาการคลอโรซิส (chlorosis) มีอาการใบสีเหลืองซีดต่อมาจะกลายเป็นจุดแห้งตาย (necrotic lesion) ในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น กล้วยพืช เซลล์ที่ปลายใบและขอบใบจะตายก่อน และปลายใบจะแห้งไปหาโคนใบซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่อ่อนกว่า ข้าวโพดที่ขาดโพแทสเซียมจะมีก้านที่อ่อนแอและรากมักถูกทำลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดรากเน่า โพแทสเซียมเป็นธาตุที่กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ รวมทั้งกระตุ้นเอนไซม์ที่จำเป็นต่อการสร้างแป้งและโปรตีนนอกจากนั้นยังทำหน้าที่เป็นไอออนที่สำคัญที่ก่อให้เกิดออสโมติกโพเทนเชียลแก่เซลล์ทำให้เซลล์เต่งขึ้น

ธาตุโพแทสเซียมในดิน ในดินโดยทั่วไปจะมีธาตุโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่มากกว่าธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เนื่องจากหินและแร่หลายชนิดเป็นวัตถุดิบกำเนิดดินจะมีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ดินประเภทต่าง ๆ จะมีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ ประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วัตถุดิบกำเนิดดินกล่าวคือ ถ้าวัตถุดิบกำเนิดดินมีส่วนและปริมาณของแร่เฟลด์สปาร์และไมกาอยู่จำนวนมาก จะทำให้ดินมีปริมาณโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่มากด้วย ทั้งนี้เพราะแร่ทั้งสองชนิดนี้เมื่อสลายตัวกลายเป็นดินจะให้โพแทสเซียมตกค้างอยู่ในดินในส่วนที่เรียกว่า ดินเหนียว หรือ แร่ดินเหนียว จึงมักพบอยู่เสมอว่าดินที่มีเนื้อละเอียดหรือมีอนุภาคดินเหนียวเป็นองค์ประกอบอยู่มากจะมีโพแทสเซียมในปริมาณมากกว่าดินที่มีเนื้อดินหยาบกว่า โพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบในดินเนื้อหยาบ หรือ ดินทราย โพแทสเซียมที่มีอยู่ในดินแบ่งออกเป็น 3 รูป ที่สำคัญคือ

1) รูปที่ละลายน้ำได้ (water soluble forms) โพแทสเซียมรูปนี้จะอยู่ในสภาพของไอออน ที่มีประจุบวกละลายอยู่ในสารละลายดิน พืชสามารถใช้ประโยชน์ของโพแทสเซียมรูปนี้ได้ทันที โดยดูดเข้าไปทางราก แต่โพแทสเซียมรูปนี้ก็จะมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปอื่น ๆ

2) รูปที่ไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable forms) โปแทสเซียมรูปนี้จะคูยึดอยู่กับผิวของคอลลอยด์ดิน โดยเฉพาะแร่ดินเหนียว และบางส่วนจะถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในสภาพไอออนในสารละลายดินและเป็นประโยชน์ต่อพืช

3) รูปที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (non – exchangeable forms) โปแทสเซียมรูปนี้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ยากมาก ได้แก่ โปแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ชนิดต่าง ๆ ในดิน และโปแทสเซียมส่วนที่ถูกตรึงเอาไว้โดยอนุภาคดินเหนียว

การตรึงโปแทสเซียมในดินเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปของโปแทสเซียม ที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันทีไปอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้โดยตรง ซึ่งโปแทสเซียมส่วนที่ถูกตรึงอยู่นี้จะอยู่ในสภาพไอออนที่ถูกคูยึดเอาไว้ด้วยแรงจำนวนมากระหว่างแร่ดินเหนียว 2 อนุภาค ดังนั้นการที่จะทำให้โปแทสเซียมถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมักน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับ ชนิดของแร่ดินเหนียวที่ตรึงโปแทสเซียมไอออนเอาไว้ และขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของดินเองด้วย กล่าวคือ ดินที่มีแร่ดินเหนียวหรือดินเหนียวชนิดอิลไลต์ เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมาก ก็จะทำให้การปลดปล่อยโปแทสเซียมกลับคืนมาได้ยากกว่าแร่ดินเหนียวชนิดมอนทอร์มิลโลไนต์ สำหรับสภาพแวดล้อมที่จะส่งเสริมให้โปแทสเซียมที่ถูกตรึงอยู่ถูกปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้แก่ สภาพที่ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น หรือ ดินอยู่ในสภาพน้ำขังเป็นเวลานาน เช่น ดินที่ใช้ทำนา

การจัดการเกี่ยวกับธาตุโปแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกพืช ดินโดยทั่วไปที่มีเนื้อดินละเอียดและอยู่ในกลุ่มของดินเหนียวส่วนใหญ่ก็มีปริมาณธาตุโปแทสเซียมเพียงพอต่อการปลูกพืช ไม่จำเป็นต้องเพิ่มเติมโดยการใส่ปุ๋ยโปแทสเซียมอีกหรือใส่ปริมาณเพียงเล็กน้อย ส่วนในกรณีดินเนื้อหยาบ เช่น ดินร่วนและดินทราย อาจจะต้องใส่ปุ๋ยโปแทสเซียมในปริมาณที่มากกว่าในดินเหนียว โดยเฉพาะในดินทรายอาจจะต้องใส่ปุ๋ยโปแทสเซียมเพิ่มมากขึ้น นอกเหนือจากการใส่ปุ๋ยโปแทสเซียมโดยตรงแล้ว การจัดการดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ก็ช่วยลดการใส่ปุ๋ยโปแทสเซียมให้น้อยลงได้ การป้องกันการสูญเสียหน้าดินโดยการชะล้างและพังทลายของดินโดยน้ำพัดพาไป ก็จะช่วยรักษาธาตุโปแทสเซียมไว้ได้อีกทางหนึ่ง

2.2.3 ธาตุกำมะถัน

ธาตุกำมะถันจัดเป็นธาตุอาหารพืชในกลุ่มธาตุอาหารรองโดยทั่วไปพืชต้องการใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าธาตุหลัก แต่มีความจำเป็นต่อพืชมาก เนื่องจากธาตุกำมะถันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน(amino acid) 2 ชนิด คือ ซีสเตอิน (cysteine) และ เมไทโอนีน (methiomine) กำมะถันยังเป็นองค์ประกอบของวิตามิน เช่น ไทอามีน (thiamine) ใน โคเอนไซม์ (coenzyme) และกำมะถันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารระเหยของพืช ทำให้พืชมีกลิ่นเฉพาะตัว เช่น กลิ่นของกระเทียม และกลิ่นของทุเรียน เป็นต้น กำมะถันที่พบบนเปลือกโลก ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปซัลไฟด์ (sulfide) ซัลเฟต (sulfates) แร่ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่จะเป็นองค์ประกอบของหินอัคนีที่พุพองสลายตัวในรูปของโลหะซัลไฟด์ เมื่อซัลไฟด์อยู่ในสภาพที่พอเหมาะก็จะถูกออกซิไดส์ให้อยู่ในรูปของซัลเฟต เช่นเกลือของซัลเฟตส่วนใหญ่พบในดินบริเวณแห้งแล้ง หรือกึ่งแห้งแล้ง กำมะถันบางส่วนได้มาจากซากพืชซากสัตว์ซึ่งสะสมอยู่ในรูปของอินทรีย์กำมะถัน บางส่วนได้มาจากการละลายมากับน้ำฝนของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่ตกลงมาสู่ดิน จากนั้นจะเปลี่ยนรูปจาก อนุมูลซัลเฟต (SO_4^{2-}) ไปอยู่ในรูปของซัลไฟด์ด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ และกำมะถันบางส่วนได้จากการใส่ปุ๋ยลงในดิน รูปของกำมะถันในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช มี 2 รูปดังต่อไปนี้

1) อินทรีย์กำมะถัน กำมะถันชนิดนี้มีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับสภาพของภูมิอากาศ เช่น ภูมิอากาศแบบชื้น กำมะถันจะอยู่ในรูปของอนุมูลซัลเฟตละลายอยู่ในสารละลายดิน พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และมีบางส่วนจะคูยึดอยู่กับคอลลอยด์ของดิน ในภูมิอากาศแบบแห้งแล้ง หรือกึ่งแห้งแล้ง กำมะถันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปซัลไฟด์ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และเฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) ซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปอนุมูลซัลเฟตก่อน ในภูมิอากาศแบบฝนตกชุก(ดินนา) กำมะถันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปซัลไฟด์ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปอนุมูลซัลเฟตก่อน

2) อินทรีย์กำมะถัน พบได้ในกรดอะมิโนชนิด เมไทโอนีน (methiomine) และ ซีสทีน (cysteine) ซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์สำหรับพืช จะเป็นประโยชน์แก่พืชเมื่อจุลินทรีย์ในดินเปลี่ยนอินทรีย์กำมะถันให้อยู่ในรูปของอินทรีย์กำมะถัน โดยผ่านกระบวนการ mineralization ซึ่งมีปฏิกิริยาที่สำคัญ 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) หมายถึงสภาพที่ดินมีการถ่ายเทอากาศได้ดีมี

ออกซิเจนเพียงพอ พบในดินไร่โดยเปลี่ยนจากอินทรีย์กัมมะถันไปเป็นอนุโมลซัลเฟต และปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) หมายถึงสภาพที่ดินมีการถ่ายเทอากาศได้ไม่ดี ดินขาดออกซิเจนพบได้ในดินนาข้าว ซึ่งโดยเปลี่ยนจากอินทรีย์กัมมะถันไปเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ สะสมในดินพืชไม่สามารถเอาไปใช้ประโยชน์ได้ ถ้าสะสมมากก็จะเป็นอันตรายต่อรากพืชได้

อาการขาดธาตุกัมมะถัน ทำให้การเจริญเติบโตและขนาดของใบพืชจะเล็กลง บางครั้งใบอ่อนจะมีสีเหลืองซีด ถ้าขาดอย่างรุนแรง ใบจะเหี่ยวยุบ ลำต้นเล็ก พบในพืชที่ขึ้นอยู่บนดินที่อินทรีย์วัตถุต่ำ บริเวณที่ฝนตกปานกลางและตกรุนแรง ธาตุกัมมะถันพืชต้องการในปริมาณที่น้อยกว่า ธาตุอาหารหลัก โดยปกติแล้วดินมักจะไม่ว่างธาตุ ธาตุกัมมะถันอาจจะสูญเสียไปจากดินในส่วนของดินที่ติดไปกับผลผลิตของพืช หรือกระบวนการชะล้าง (leaching) ตลอดจนการระเหยไปในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้ดินมีโอกาสขาดธาตุกัมมะถันได้

2.2.4 ความต้องการธาตุอาหารในโครเจน โปแทสเซียม และกัมมะถันของมันสำปะหลัง

การวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการประเมินระดับและสถานะของธาตุอาหารในดิน โดยนำค่าที่วิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานว่าธาตุอาหารแต่ละธาตุอยู่ในระดับที่ขาด เพียงพอ หรือมากเกินไปสำหรับพืช เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการดินสำหรับการเพาะปลูกพืช ค่ามาตรฐานในดินที่มันสำปะหลังต้องการแสดงในตารางที่ 2.4

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีอายุในแปลงก่อนข้างยาวกว่าพืชไร่ชนิดอื่น แม้ว่าธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน จะมีอยู่อย่างพอเพียง แต่พืชอาจมีระดับธาตุอาหารไม่เพียงพอหรือไม่สมดุล ทำให้พืชอาจมีการขาดธาตุอาหารแอบแฝง (hidden hunger) โดยที่ยังไม่แสดงอาการให้เห็นถ้าการขาดธาตุอาหารไม่รุนแรง การวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบพืชและนำผลวิเคราะห์มาเทียบกับค่ามาตรฐานจะบอกให้ทราบได้ว่าพืชมีระดับธาตุอาหารอยู่ในระดับใด ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลังจึงสามารถใช้บ่งชี้สถานะของธาตุอาหารได้ ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของมันสำปะหลังถูกแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 แสดงลักษณะดินทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินที่มันสำปะหลังต้องการ

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 1N NH₄-acetate ⁵ Ca-phosphate

⁶ hot water ⁷ 0.05 N HCl+0.025 N H₂SO₄

ที่มา : Howeler (2014)

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจนที่เจริญเติบโตเต็มที่ของมันสำปะหลังที่อายุ 3-4 เดือน : ข้อมูลเฉลี่ยของการทดลองภายในโรงเรือน

Nutrient	Nutritional states					
	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

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของโปรตีน คลอโรฟิลล์ เอนไซม์ ฮอร์โมน และวิตามิน สำหรับมันสำปะหลังไนโตรเจนยังเป็นส่วนประกอบของไกลโคไซด์ ไซยาโนจีนิก ลินามาลิน และไลทอสตราลินซึ่งผลิตกรดไฮโดรไซยานิก (HCN) เมื่อเซลล์ได้รับความเสียหาย กรดไฮโดรไซยานิกในใบ ลำต้น และหัวของมันสำปะหลังมีความเป็นพิษสูง ซึ่งสามารถกำจัดได้โดยนำไปอบแห้งของปรุงอาหารหรือนำหัวไปบริโภค มันสำปะหลังที่ขาดไนโตรเจนจะเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ ในบางพันธุ์การขาดไนโตรเจนอย่างรุนแรงจะทำให้ใบพืชมีสีเหลืองเรียกว่า chlorosis ทั่วทั้งต้นพืช Forno (1977) รายงานว่าการขาดไนโตรเจนในมันสำปะหลังจะแสดงอาการ chlorosis ที่ปรากฏทางใบเพียงเล็กน้อย

ในขณะที่ข้าวฟ่าง ข้าวโพดและฝ้ายจะแสดงอาการอย่างรุนแรง การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่ขาดไนโตรเจนจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับ Lozano *et al.* (1981) ที่ไม่พบอาการขาดไนโตรเจนในมันสำปะหลังนอกจากการเจริญเติบโตที่ช้าลง อย่างไรก็ตามอาจขึ้นอยู่กับพันธุ์ มันสำปะหลังบางพันธุ์จะแสดงอาการ chlorosis อย่างชัดเจนในขณะที่บางพันธุ์ไบบยังคงเป็นสีเขียวเข้มแต่การเจริญเติบโตของช้าลง อาการขาดไนโตรเจนมักพบในดินทรายที่มีอินทรีย์วัตถุต่ำ แต่ในบางกรณีอาจพบอาการขาดไนโตรเจนแม้ในดินมีอินทรีย์วัตถุสูงแต่ดินเป็นกรดซึ่งทำให้อัตราการย่อยสลายไนโตรเจนต่ำ

Sangakkara and Wijesinghe (2014) ศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและประสิทธิภาพของไนโตรเจนที่ถูกนำกลับมาใช้ในมันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* L. Crantz) พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้ดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่อายุ 100 วัน การเน้นการใช้ธาตุอาหารอย่างเต็มที่ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในช่วงแรกภายใต้ระบบฟาร์มของเกษตรกรรายย่อยในเอเชียรายงานไว้โดย Cardoso *et al.* (2005) โดยทั่วไปการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 90 และ 150 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ ทำให้ดัชนีพื้นที่ใบสูงสุด ทำให้จำนวนหัวและผลผลิตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Cardoso *et al.* (2005) พบว่าเกษตรกรเลือกใช้ไนโตรเจนอัตราสูงเนื่องจากเห็นผลชัดเจนจากการเจริญเติบโตของพืช และการแบ่งใส่ปุ๋ย 2 ครั้งมีเหมาะสมมากกว่าการใส่ครั้งเดียวหรือแบ่งใส่สามครั้ง โดยทำให้พืชการเจริญเติบโตและมีผลดีต่อการรักษาระดับธาตุอาหารในดินในระยะยาว ดังนั้นการใช้ไนโตรเจนที่ 90 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ แบ่งใส่ 2 ครั้งหลังปลูก และหลังพืชอายุ 45 วัน ในอัตราครั้งละ 45 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ ทำให้มีจำนวนหัวและน้ำหนักหัวสูงที่สุด ประสิทธิภาพการนำไนโตรเจนมาใช้ (Nitrogen recovery) และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงที่สุดอีกด้วย

นอกจากนี้งานทดลองของ Sangakkara and Wijesinghe (2014) พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้จำนวนหัวและผลผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Cardoso *et al.* (2005) ซึ่งกล่าวว่าไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืชหัว โดยเฉพาะในการเจริญเติบโตในช่วงแรกของมันสำปะหลัง (Sangakkara and Wijesinghe, 2014) โพแทสเซียมมีความสำคัญในด้านส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก ทำให้รากดูดน้ำ และธาตุอาหารได้ดีขึ้น จำเป็นต่อการสร้างเนื้อผลไม้ การสร้างแป้งของผล และหัว นอกจากนี้ปุ๋ยธาตุรองและจุลธาตุก็มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังด้วย จากงาน

ทดลองของ Panitnok *et al.* (2013) พบว่าการใช้ปุ๋ยกำมะถันทางใบมีแนวโน้มจะเพิ่มจำนวนหัวต่อต้น และปริมาณแป้งในหัวของมันสำปะหลัง

2.3.2 ธาตุโพแทสเซียม

โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึม โดยช่วยกระตุ้นกิจกรรมการสังเคราะห์แสง และช่วยในการเคลื่อนย้ายสารอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงเพื่อไปสะสมในราก ซึ่งจะส่งผลให้คาร์โบไฮเดรตในใบต่ำจึงกระตุ้นการสังเคราะห์แสง Blin (1905) รายงานว่าการให้โพแทสเซียมไม่ได้เพิ่มขึ้นเพียงผลผลิตมันสำปะหลังแต่ยังทำให้ปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นด้วย Howeler (1985) รายงานว่า ปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นตามปริมาณโพแทสเซียมที่มากขึ้น โดยทั่วไปปริมาณแป้งเพิ่มสูงสุดเมื่อมีการใส่โพแทสเซียมที่อัตรา 80-100 กิโลกรัมโพแทสเซียมต่อเฮกตาร์ (12.8-16 กิโลกรัมโพแทสเซียมต่อไร่) และจะลดลงเมื่อโพแทสเซียมสูงมากขึ้น Obigbesan (1973) และ Kabeerathumma *et al.* (1990) รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของโพแทสเซียมจะทำให้ความเข้มข้นของกรดไฮโดรไซยานิกในหัวลดลง และ Payne and Webster (1956) พบว่ากรดไฮโดรไซยานิกในหัวต่ำในดินที่มีโพแทสเซียมต่ำ

เมื่อพืชขาดไนโตรเจนและโพแทสเซียมจะให้ความสูงของพืชลดลงเนื่องจากข้อและปล้องจะสั้นกว่าปกติ อาการขาดที่แสดงส่วนใบจะไม่แสดงให้เห็นชัดเจนมากนัก พืชที่ขาดโพแทสเซียมใบบนจะเหลืองและมีขนาดเล็ก นอกจากนี้การขาดโพแทสเซียมอาจส่งผลให้เกิดโรคแอนแทรคโนสด้วยหรือขอบใบอาจจะม้วนคล้ายอาการขาดน้ำ การขาดโพแทสเซียมพบโดยทั่วไปในดินเขตร้อนที่มีอนุภาคดินเหนียวต่ำโพแทสเซียมจะสูญเสียไปอย่างรวดเร็วจากการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง การทดลองในระยะยาวในแถบเอเชียแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าโพแทสเซียมเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในดินที่ไม่ได้รับปุ๋ยโพแทสเซียมอย่างเพียงพอ

2.3.3 ธาตุกำมะถัน

กำมะถันเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญมากในระบบการเกษตรทั่วโลก กำมะถันเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของกรดอะมิโนหลายชนิดดังนั้นจึงมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน เมื่อพืชขาดกำมะถันจะทำให้เกิดการสะสมของอินทรีย์ในโตรเจนเนื่องจากกรดอะมิโนและเอไมน์ไม่เพียงพอสำหรับการสังเคราะห์โปรตีน อาการขาดกำมะถันในมันสำปะหลังจะเห็นได้ชัดเจนโดยใบบน

จะมีสีเหลืองคล้ายการขาดไนโตรเจน โดยทั่วไปจะมีสีจางและใบมีขนาดเล็ก สาเหตุของการขาดกำมะถันอาจมาจากการที่มีโพแทสเซียมสูง หรือการสูญเสียแหล่งของกำมะถันไป ในพื้นที่อุตสาหกรรมจะไม่พบปัญหาการขาดกำมะถันมากนักเนื่องจากพืชได้รับกำมะถันจากบรรยากาศ แต่ในพื้นที่ที่ห่างไกลจากอุตสาหกรรมอาจมีผลให้มันสำปะหลังขาดกำมะถันได้ ค่าวิกฤตของกำมะถันอยู่ที่ 0.27%-0.33% (Howeler, 2014)

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

2.3.4 อิทธิพลร่วมกันระหว่างไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถัน ต่อผลผลิตและการเจริญเติบโตของพืช

Shield *et al.* (2014) ศึกษาผลของไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันต่อเจริญเติบโตของหญ้าพลังงานที่สแคนดิเนเวีย พบว่าการใส่ไนโตรเจนในอัตรา 100 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ทำให้มีผลผลิตสูงขึ้น อัตราการใส่ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน โพแทสเซียม และคลอรีน ในพืชสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ใส่ไนโตรเจน โพแทสเซียมและกำมะถันที่เพียงพอเป็นตัวจำกัดผลผลิตที่สูงสุดจากการใส่ 100 กิโลกรัมโพแทสเซียมต่อเฮกตาร์ ในรูป K_2SO_4 ร่วมกับไนโตรเจนในอัตราที่เหมาะสมทำให้คุณภาพและผลผลิตหญ้าที่สแคนดิเนเวียสูง

Panitnok *et al.* (2013) ศึกษาผลจากการให้ปุ๋ยสังกะสี แมกนีเซียม และกำมะถัน ทางใบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังในดินร่วนปนทรายมาบบอน จากผลการทดลองพบว่า พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้น้ำหนักลำต้นสูงสุด พันธุ์ หัวยบง 60 มีผลให้ผลผลิตหัวสดสูงสุด ในขณะที่ พันธุ์ หัวยบง 80 มีผลให้จำนวนรากและปริมาณแป้งสูงขึ้น ในทริคเมนต์ที่ให้ปุ๋ยทางใบ Zn+Mg+S ทำให้น้ำหนักลำต้นสูงสุด และทั้งหมดให้ปริมาณแป้งสูงสุด Mg+S มีแนวโน้มให้จำนวนรากต่อต้นสูงขึ้น และ Zn + Mg มีแนวโน้มให้ผลผลิตหัวสดสูงขึ้น พันธุ์และการให้ปุ๋ยทางใบ พันธุ์ HB 60 กับการให้ปุ๋ย Zn+Mg ให้ผลผลิตหัวสดสูงสุด พันธุ์ HB 80 กับการให้ปุ๋ย Zn + Mg + S ให้ปริมาณแป้งในหัวสูงสุด

วิชญากรณ์ วงษ์บำรุง และคณะ (2559) ศึกษาการตอบสนองของมันสำปะหลังพันธุ์หัวยบง 80 ต่ออัตราปุ๋ยเคมีในชุดดินยโสธร จำนวน 7 ดำรับการทดลองที่มีอัตราของ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมแตกต่างกันพบว่า การเจริญเติบโตและผลผลิตมันสำปะหลังตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยเคมีอย่างชัดเจน การใส่ปุ๋ยเคมีเรโซ 3:1:3 อัตรา 12-4-12 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O/ไร่ ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลัง ผลผลิตแป้ง และน้ำหนักชีวมวลส่วนเหนือดินสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อใส่ปุ๋ยในปริมาณที่เพิ่มเป็นสองเท่า (อัตรา 24-8-24 กิโลกรัม N-P₂O₅-K₂O/ไร่) ส่งผลให้ผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจนไม่แตกต่างจากดำรับควบคุม เช่นเดียวกันกับในกรณีของเรโซ 1:1:1 และ 2:1:2 ที่การใส่ในอัตราต่ำ (8-8-8 และ 8-4-8 กก.N-P₂O₅-K₂O/ไร่) ให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ในอัตราสูง (16-16-16 และ 16-8-16 กก.N-P₂O₅-K₂O/ไร่) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในส่วนหัวมันสำปะหลังมีสหสัมพันธ์เชิงเส้นกับผลผลิตสูงที่สุด การใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มปริมาณการสะสมและการดูใช้ธาตุอาหารหลักของมันสำปะหลังเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ใส่ปุ๋ย แต่การใส่ปุ๋ยเคมีในสัดส่วนที่มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นกลับมีผลให้ปริมาณการดูใช้ธาตุอาหารหลักลดลง

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลองมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานดังนี้

3.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโต และดูค่าใช้จ่ายธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

3.1.1 การเตรียมวัสดุปลูกและท่อนพันธุ์ในการปลูกมันสำปะหลัง

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

ปัจจัย A ที่ใช้ในการทดลอง คือ อัตราปุ๋ยไนโตรเจน 3 อัตรา คือ

- (1) ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 500 $\mu\text{mol/L}$ (N1)
- (2) ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 1000 $\mu\text{mol/L}$ (N2)
- (3) ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 1500 $\mu\text{mol/L}$ (N3)

ปัจจัย B คือ อัตราปุ๋ยโพแทสเซียม 3 อัตรา

- (1) ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 500 $\mu\text{mol/L}$ (K1)
- (2) ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 1000 $\mu\text{mol/L}$ (K2)
- (3) ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 1500 $\mu\text{mol/L}$ (K3)

ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (KU50) ท่อนพันธุ์แต่ละท่อนยาวประมาณ 25 ซม. ในกระถางขนาด 37 ลิตร โดยใช้ฟองน้ำเป็นวัสดุปลูกและให้ธาตุอาหารในรูปสารละลาย ปลูกเป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยกรรมวิธีในการทดลองมีการให้ธาตุอาหารเป็นสารละลายโดยจะมีการเติมสารละลายธาตุอาหารในทุกๆ 2 สัปดาห์ โดยพืชจะได้รับธาตุอาหารธาตุอื่นๆครบทุกธาตุเพียงพอต่อความต้องการของพืช ซึ่งความเข้มข้นและแหล่งของธาตุอาหารแต่ละธาตุในสารละลายธาตุอาหารแสดงในตารางที่ 3.1

3.1.2 การเก็บข้อมูล

วัดความสูงโดยจากผิวดินไปจนใบอ่อนที่ใกล้เต็มที่ของยอดที่สูงที่สุดของต้น วัดค่า SPAD ใบบนที่เจริญเติบโตเต็มที่ และใบแก่โดยใช้เครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ทุกๆสัปดาห์ หลังพืชอายุครบ 4 เดือน เก็บตัวอย่างแบ่งออกเป็น 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 นำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ นำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี combustion และ โปแทสเซียมโดยสกัดตัวอย่างด้วยวิธี dry ashing ละลายเถ้าด้วย aqua regia และ วัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง ICP-OES

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร

ลำดับ	ธาตุอาหาร	ความเข้มข้น($\mu\text{mol/L}$)	แหล่ง
1	Nitrogen (N)	depend on treatment	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
2	Phosphorus (P)	100.00	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
3	Potassium (K)	depend on treatment	K_2SO_4 , KCl
4	Calcium (Ca)	825.00	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
5	Magnesium (Mg)	200.00	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
6	Sulfur (S)	depend on treatment	Na_2SO_4
7	Iron (Fe)	20.00	Fe-EDTA
8	Zinc (Zn)	0.50	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
9	Manganese (Mn)	0.25	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
10	Copper (Cu)	0.10	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
11	Nickel (Ni)	0.02	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
12	Molybdenum (Mo)	0.02	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

ที่มา: Howeler *et al.* (1981)

3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของไนโตรเจนและกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโตและดูใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

3.2.1 การเตรียมวัสดุปลูกและท่อนพันธุ์ในการปลูกมันสำปะหลัง

การทดลองดำเนินการที่โรงเรียนชั้น 5 อาคารเจ้าคุณทหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วางแผนการทดลองแบบ 3×3 Factorial in Randomized Complete Block Design (RCBD) 4 ซ้ำ มีทรีทเมนต์ในการทดลองดังนี้

ปัจจัย A ที่ใช้ในการทดลอง คือ อัตราปุ๋ยไนโตรเจน 3 อัตรา คือ

- (1) ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 500 $\mu\text{mol/L}$ (N1)
- (2) ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 1000 $\mu\text{mol/L}$ (N2)
- (3) ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 1500 $\mu\text{mol/L}$ (N3)

ปัจจัย B คือ อัตราปุ๋ยกำมะถัน 3 อัตรา

- (1) ปุ๋ยกำมะถันอัตรา 500 $\mu\text{mol/L}$ (S1)
- (2) ปุ๋ยกำมะถันอัตรา 1000 $\mu\text{mol/L}$ (S2)
- (3) ปุ๋ยกำมะถันอัตรา 1500 $\mu\text{mol/L}$ (S3)

ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50(KU50) ท่อนพันธุ์แต่ละท่อนยาวประมาณ 25 ซม. ปลูกมันสำปะหลังในกระถางขนาด 37 ลิตร โดยใช้ฟองน้ำเป็นวัสดุปลูกและให้ธาตุอาหารในรูปสารละลาย ปลูกเป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยกรรมวิธีในการทดลองมีการให้ธาตุอาหารเป็นสารละลาย โดยจะมีการเติมสารละลายธาตุอาหารในทุกๆ 2 สัปดาห์ โดยพืชจะได้รับธาตุอาหารธาตุอื่นๆครบทุกธาตุเพียงพอต่อความต้องการของพืช ซึ่งความเข้มข้นและแหล่งของธาตุอาหารแต่ละธาตุในสารละลายธาตุอาหารแสดงในตารางที่ 3.1

3.2.2 การเก็บข้อมูล

วัดความสูงโดยจากผิวดินไปจนใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ของยอดที่สูงที่สุดของต้น วัดค่า SPAD ใบบนที่เจริญเติบโตเต็มที่ และใบแก่โดยใช้เครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ทุกๆสัปดาห์ หลังพืชอายุครบ 4 เดือน

เก็บตัวอย่างพืชเต็มที่ 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 นำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ นำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและกำมะถันด้วยวิธี combustion

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

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



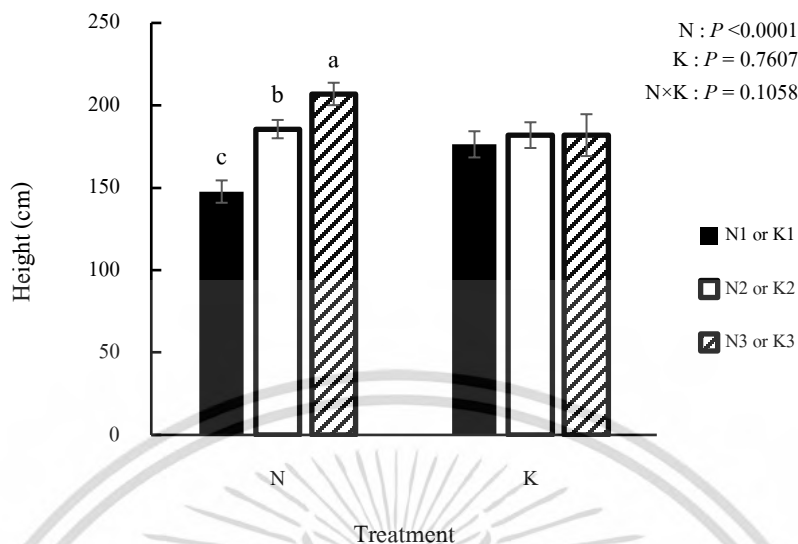
บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโต และดูการใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

4.1.1 การเจริญเติบโต

ความสูงของมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (รูปที่ 4.1) ความสูงของมันสำปะหลังสูงที่สุดในที่รทเริ่มต้น N3 รองลงมาเป็น N2 และ N1 เท่ากับ 206.92 185.58 และ 147.64 เซนติเมตรตามลำดับ ในขณะที่อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมไม่ส่งผลต่อความสูงของมันสำปะหลัง และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อความสูงของมันสำปะหลัง Uwah *et al.* (2013) ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมในมันสำปะหลังพบว่าความสูงของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นตามอัตราของไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่สูงขึ้น ซึ่งความสูงของมันสำปะหลังสูงที่สุดเมื่อได้รับไนโตรเจนในอัตรา 120 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และโพแทสเซียมที่อัตรา 80 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ Dkhil *et al.* (2011): อ้างโดย Uwah *et al.* (2013) รายงานว่าการใช้อัตราของธาตุอาหารในระดับที่เหมาะสมและเพียงพอส่งผลให้พืชมีการตอบสนองต่อการเจริญเติบโตในเชิงบวกต่อการเพิ่มจำนวนเซลล์และการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งทำให้ขนาดและความยาวของใบและลำต้นเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับงานทดลองของ Cempukdee and Fukai (1991) รายงานว่าความสูงของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้ยังมีรายงานของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพืชอื่นๆ เช่น ข้าวโพด มันเทศ และจิง ส่งผลให้ความสูงของพืชเพิ่มขึ้น (Wang and Xing, 2017; Panddey *et al.*, 2018; Singh *et al.*, 2016)



ภาพที่ 4.1 ความสูงของต้นสำปะหลังที่อายุ 4 เดือนภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และ โพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

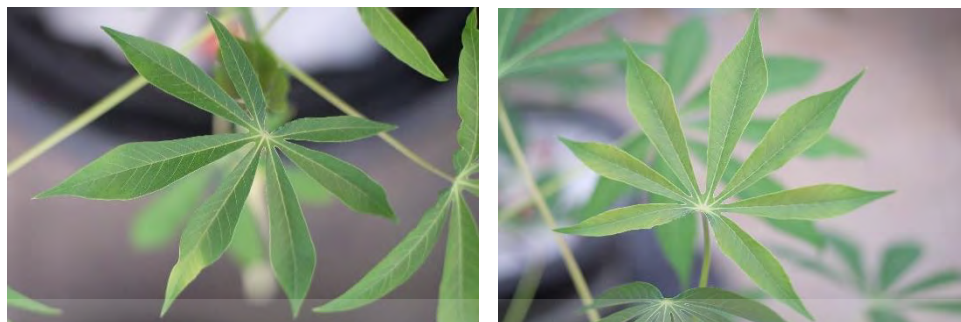
ค่า SPAD ในใบบนและใบล่างของต้นสำปะหลังมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.1) ค่า SPAD ของต้นสำปะหลังในใบบนสูงสุดในทริทเมนต์ N3 เท่ากับ 42.34 และ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทริทเมนต์ N2 เท่ากับ 41.31 และต่ำที่สุดในทริทเมนต์ N1 เท่ากับ 38.04 ตามลำดับ ค่า SPAD ของต้นสำปะหลังในใบล่างต่ำกว่าใบบนอย่างชัดเจน โดยจะสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 เท่ากับ 34.64 และต่ำที่สุดในทริทเมนต์ N1 เท่ากับ 30.39 และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับทริทเมนต์ N2 เท่ากับ 32.09 ในขณะที่ค่า SPAD ในใบล่างของต้นสำปะหลังมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.1) โดยค่า SPAD ในใบล่างของต้นสำปะหลังสูงสุดในทริทเมนต์ K2 เท่ากับ 33.75 และต่ำที่สุดในทริทเมนต์ K3 เท่ากับ 31.23 ส่วนในทริทเมนต์ K1 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทริทเมนต์ K1 และ K3 ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อค่า SPAD ของต้นสำปะหลัง Howeler (2014) รายงานว่าการขาดไนโตรเจนส่งผลให้ต้นสำปะหลังแสดงอาการ chlorosis (รูปที่ 4.2) ในใบเริ่มจากใบล่างและกระจายไปทั่วทั้งต้น ไนโตรเจนเพิ่มคลอโรฟิลล์ในใบซึ่งจะส่งเสริมความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืชจึงทำให้ค่า SPAD ในทริทเมนต์ N1 ต่ำที่สุด (Uwah *et al.*, 2013) นอกจากนี้ Howeler (2014) รายงานว่าการขาดโพแทสเซียมต้นสำปะหลังจะแสดงอาการ chlorotic ในใบบน แต่ในบางพันธุ์จะแสดงอาการในใบล่าง (รูปที่ 4.3) Sullivan (2010) พบว่าการขาดโพแทสเซียมในมันเทศจะแสดงอาการ

chlorosis อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามการแสดงผลการขาดโพแทสเซียมอาจจะแสดงออกมามากน้อยไป
ตามพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด

ตารางที่ 4.1 ค่า SPAD ของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	SPAD			
	Upper leave		Lower leave	
	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)				
N1	38.04b	0.56	30.39b	0.60
N2	41.31a	0.39	32.09b	0.57
N3	42.34a	0.42	34.64a	1.10
Potassium (K)				
K1	40.94	0.59	32.13AB	0.58
K2	40.82	0.53	33.75A	1.17
K3	39.92	0.93	31.23B	0.86
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 $p \leq 0.05$



ภาพที่ 4.2 ใบบนของมันสำปะหลังที่อายุ 1 เดือน ที่แสดงอาการ Chlorosis จากขาดไนโตรเจนในทริทเมนต์ N1 (a) ใบบนของมันสำปะหลังในทริทเมนต์ N1K1 (b) ใบบนของมันสำปะหลังในทริทเมนต์ N1K2 (c) ใบบนของมันสำปะหลังในทริทเมนต์ N1K3



ภาพที่ 4.3 ใบบนของมันสำปะหลังที่อายุ 1 เดือน ที่แสดงอาการ Chlorosis จากขาดโพแทสเซียมในทริทเมนต์ K1 (a) ใบบนของมันสำปะหลังในทริทเมนต์ N1K1 (b) ใบบนของมันสำปะหลังในทริทเมนต์ N2K1 (c) ใบบนของมันสำปะหลังในทริทเมนต์ N3K1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักสดของใบ ลำต้น+ก้านใบ หัว ราก และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.2) โดยน้ำหนักสดของใบสูงสุดในทริทเมนต์ N3 เท่ากับ 146.67 กรัมต่อต้น ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทริทเมนต์ N2 เท่ากับ 153.10 กรัมต่อต้น และ ต่ำที่สุดในทริทเมนต์ N1 เท่ากับ 780.80 กรัมต่อต้นตามลำดับ ซึ่งน้ำหนักสดของรากมีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกันกับน้ำหนักสดของใบคือสูงสุดที่ทริทเมนต์ N3 และ N2 เท่ากับ 181.81 และ 178.06 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และต่ำที่สุดในทริทเมนต์ N1 เท่ากับ 114.29 กรัมต่อต้น น้ำหนักสดของก้านใบ+ลำต้น หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลังสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 รองมาเป็น N2 และ N1 ตามลำดับ น้ำหนักสดของก้านใบ+ลำต้น เท่ากับ 276.24 213.01 และ 118.11 กรัมต่อต้น ตามลำดับ น้ำหนักสดของหัวเท่ากับ 267.53 206.85 และ 97.73 กรัมต่อต้นตามลำดับ และ น้ำหนักสดทั้งหมดเท่ากับ 1110.62 910.14 และ 565.07 กรัมต่อต้นตามลำดับ ในขณะที่น้ำหนักสดของ มันสำปะหลังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน(ตารางที่ 4.2) และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างปุ๋ยไนโตรเจน และ โพแทสเซียมต่อน้ำหนักสดของมันสำปะหลัง

น้ำหนักแห้งของใบ ลำต้น+ก้านใบ หัว ราก และน้ำหนักแห้งทั้งหมดของมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน(ตารางที่ 4.3) โดยน้ำหนักแห้งของใบ สูงสุดในทริทเมนต์ N3 เท่ากับ 40.15 กรัมต่อต้น ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทริทเมนต์ N2 เท่ากับ 39.26 กรัมต่อต้น และต่ำที่สุดในทริทเมนต์ N1 เท่ากับ 20.71 กรัมต่อต้นตามลำดับ น้ำหนักแห้งของรากเป็นไปในทิศทางเดียวกับใบ โดยสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 และ N2 เท่ากับ 15.83 และ 14.42 กรัมต่อต้น และต่ำสุดที่ทริทเมนต์ N1 เท่ากับ 9.86 กรัมต่อต้น น้ำหนักแห้งของหัวมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับใบและราก โดยน้ำหนักแห้งของหัวสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 และ N2 เท่ากับ 111.80 และ 103.27 กรัมต่อต้น และต่ำสุดในทริทเมนต์ N1 เท่ากับ 53.03 กรัมต่อต้น ในขณะที่น้ำหนักแห้งของ ลำต้น+ก้านใบ และน้ำหนักแห้งทั้งหมดของมันสำปะหลังเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 รองลงมาเป็น N2 และ N1 ตามลำดับ ในขณะที่น้ำหนักแห้งของมันสำปะหลังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน(ตารางที่ 4.3) และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างปุ๋ยไนโตรเจน และ โพแทสเซียมต่อน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง Cempukdee and Fukai (1991) รายงานว่ากิ่ง+ก้าน พื้นที่ใบ และความสูงของมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นตามอัตราของไนโตรเจนที่สูงซึ่งอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลังสูงขึ้น Cuvaca *et al.* (2017) พบว่าการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตรา 150 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์เพียงอย่างเดียวทำให้มีผลผลิตสูงกว่าการ

ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่อัตรา 60-60-0 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ส่งผลให้มีผลผลิตสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้พบว่าโพแทสเซียมไม่ได้ส่งผลต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.2-4.3) นอกจากนี้ Agbaje and Akinlosotu (2004) รายงานว่าการใส่ปุ๋ย NPK 20-10-10 ที่อัตรา 400 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ส่งผลให้มีผลผลิตสูงที่สุด แต่เมื่อใส่ที่อัตรา 800 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ส่งผลให้ผลผลิตมันสำปะหลังลดลง



ตารางที่ 4.2 น้ำหนักสดใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Fresh weight (g/plant)											
	Leaf blade		Stem+Petio		OSC		Root		Tuber		Total	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	78.80b	7.38	118.11c	6.00	152.83	5.09	114.29b	14.45	97.73c	11.66	565.07c	20.45
N2	153.10a	16.47	213.01b	10.13	161.66	6.30	178.06a	11.05	206.85b	23.47	910.14b	42.21
N3	146.67a	16.83	276.24a	8.01	169.87	5.43	181.81a	18.99	267.53a	31.09	1110.62a	34.47
Potassium (K)												
K1	118.25	16.77	198.96	21.28	156.43	6.41	153.99	23.505	175	34.81	877.38	85.97
K2	129.49	19.78	210.02	21.56	162.71	5.70	146.2	16.99	19.06	31.30	844.85	69.82
K3	130.82	17.93	198.37	20.72	165.22	5.57	173.97	8.4521	207.05	37.65	863.59	70.14
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 $p \leq 0.05$

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักแห้งใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Dry weight (g/plant)											
	Leave blade		Stem+Petio		OSC		Root		Tuber		Total	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	20.71b	1.83	47.72c	1.49	70.55	2.19	9.86b	0.80	53.03b	3.55	200.96c	5.55
N2	39.26a	3.60	70.76b	3.51	70.02	3.23	14.42a	0.97	103.27a	10.33	294.01b	14.77
N3	40.15a	3.11	87.38a	2.76	74.83	1.96	15.83a	2.03	111.80a	10.39	339.48a	10.22
Potassium (K)												
K1	30.30	3.90	70.44	5.99	68.25	3.04	13.75	2.24	82.79	12.06	278.57	22.52
K2	34.39	4.15	68.53	5.62	73.72	2.12	12.29	1.29	84.58	9.84	271.33	18.02
K3	35.43	4.40	66.89	5.11	73.42	2.20	14.06	0.67	100.73	13.58	284.55	20.85
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 $p \leq 0.05$

4.1.2 ความเข้มข้นและการดูดดึงธาตุอาหาร

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบอ่อนที่ขยายตัวเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL) ของมันสำปะหลังอายุ 4 เดือน ซึ่งแสดงถึงสถานะของธาตุอาหารในมันสำปะหลังพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจน เหล็ก ทองแดง และสังกะสีในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าวิกฤติของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.4-4.5) ในขณะที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และกำมะถันอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อมันสำปะหลัง และความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส และโบรอนเกินค่าวิกฤติของมันสำปะหลัง ความเข้มข้นของไนโตรเจน กำมะถัน แคลเซียม แมกนีเซียม ในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ที่มีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.4) โดยความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 เท่ากับ 4.1329 กรัมต่อร้อยกรัม และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติกับทริทเมนต์ N2 เท่ากับ 4.0234 กรัมต่อร้อยกรัม และต่ำที่สุดในทริทเมนต์ N1 เท่ากับ 3.6099 กรัมต่อร้อยกรัม ความเข้มข้นของกำมะถันในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่สูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 เท่ากับ 0.3256 กรัมต่อร้อยกรัม และต่ำสุดที่ทริทเมนต์ N1 เท่ากับ 0.3026 กรัมต่อร้อยกรัม ในขณะที่ทริทเมนต์ N2 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับทริทเมนต์ N1 และ N3 เท่ากับ 0.3202 กรัมต่อร้อยกรัม ความเข้มข้นของแคลเซียม และแมกนีเซียมในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่สูงที่สุดในทริทเมนต์ N1 และต่ำสุดที่ทริทเมนต์ N2 และ N3 นอกจากนี้ความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และโมลิบดีนัมในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ที่มีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.5) โดยความเข้มข้นของแมงกานีส ทองแดง และโมลิบดีนัมสูงที่สุดในทริทเมนต์ N1 และต่ำสุดที่ทริทเมนต์ N2 และ N3 ความเข้มข้นของเหล็กสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 เท่ากับ 60.98 กรัมต่อร้อยกรัม และต่ำสุดที่ทริทเมนต์ N1 เท่ากับ 38.95 กรัมต่อร้อยกรัม ในขณะที่ทริทเมนต์ N2 เท่ากับ 46.52 กรัมต่อร้อยกรัม และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติกับทริทเมนต์ N1 และ N3 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.4-4.5) มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อความเข้มข้นของเหล็ก โบรอน และโมลิบดีนัมในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL)ของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

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	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	3.6099b	0.079	0.4042	0.010	1.6005	0.034	0.3026b	0.006	1.0692a	0.054	0.4712a	0.015
N2	4.0234a	0.090	0.3919	0.021	1.6091	0.089	0.3202ab	0.007	0.8018b	0.050	0.4090b	0.021
N3	4.1329a	0.087	0.3545	0.021	1.5289	0.080	0.3256a	0.007	0.7186b	0.044	0.3894b	0.023
Potassium (K)												
K1	3.9678	0.099	0.4150	0.010	1.5610	0.048	0.3221	0.006	0.9022	0.044	0.4370	0.011
K2	3.9362	0.094	0.4060	0.009	1.6360	0.039	0.3197	0.007	0.8420	0.045	0.4190	0.016
K3	3.8633	0.129	0.3590	0.026	1.5420	0.108	0.3066	0.009	0.8451	0.087	0.4130	0.033
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		16.2		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 $p \leq 0.05$

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารไนโตรเจนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (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		-	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	38.96b	15.73	413.12a	16.92	4.0203a	0.108	38.77	3.66	50.42	2.69	3.6657a	0.269
N2	46.52ab	17.24	318.97b	14.33	3.3277b	0.194	30.73	3.00	41.89	2.36	2.6321b	0.241
N3	60.98a	12.71	279.96b	10.20	3.3438b	0.238	30.18	2.98	43.05	2.55	2.2895b	0.224
Potassium (K)												
K1	48.740	18.86	355.44	20.41	3.6346	0.206	33.36	2.10	46.13	1.87	2.9148	0.213
K2	41.930	17.17	334.90	15.61	3.6562	0.082	32.51	1.58	44.66	1.57	3.0485	0.243
K3	54.420	7.41	321.69	27.12	3.4010	0.286	33.81	5.10	44.57	4.13	2.6239	0.383
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		17.2		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 $p \leq 0.05$

การดูดคิ่งไนโตรเจนในใบ เหง้า หัว ราก และการดูดคิ่งไนโตรเจนทั้งหมดมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.6) การดูดคิ่งไนโตรเจนในใบสูงสุดที่ทรีทเมนต์ N3 และ N2 เท่ากับ 1.1076 และ 1.0715 กรัมต่อต้น และต่ำสุดที่ทรีทเมนต์ N1 เท่ากับ 0.5223 กรัมต่อต้น การดูดคิ่งไนโตรเจนในเหง้าสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 เท่ากับ 0.4575 กรัมต่อต้น และแตกต่างกันทางสถิติกับทรีทเมนต์ N2 และ N1 เท่ากับ 0.3807 และ 0.3718 กรัมต่อต้น ตามลำดับ การดูดคิ่งไนโตรเจนในหัวสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 และ N2 เท่ากับ 0.5889 และ 0.5078 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และต่ำสุดในทรีทเมนต์ N1 เท่ากับ 0.2469 กรัมต่อต้น การดูดคิ่งไนโตรเจนในรากสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 และ N2 เท่ากับ 0.2217 และ 0.1969 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และต่ำสุดในทรีทเมนต์ N1 เท่ากับ 0.1284 กรัมต่อต้น การดูดคิ่งไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 รองลงมาเป็น N2 และ N1 เท่ากับ 32.52 27.17 และ 17.15 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ในขณะที่การดูดคิ่งไนโตรเจนในเหง้า และหัวของมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.6) การดูดคิ่งไนโตรเจนในเหง้าสูงที่สุดในทรีทเมนต์ K3 เท่ากับ 0.4289 กรัมต่อต้น และต่ำสุดที่ทรีทเมนต์ K2 เท่ากับ 0.4100 กรัมต่อต้น โดยที่ทรีทเมนต์ K1 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทรีทเมนต์ K2 และ K3 การดูดคิ่งไนโตรเจนในหัวสูงที่สุดที่ทรีทเมนต์ K3 เท่ากับ 0.5223 กรัมต่อต้น และต่ำสุดในทรีทเมนต์ K2 และ K1 เท่ากับ 0.4263 และ 0.3950 กรัมต่อต้น

การดูดคิ่งโพแทสเซียมในใบ เหง้า และการดูดคิ่งโพแทสเซียมทั้งหมดมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.7) การดูดคิ่งโพแทสเซียมในใบสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 และ N2 เท่ากับ 0.4659 และ 0.4199 กรัมต่อต้น และต่ำสุดที่ทรีทเมนต์ N1 เท่ากับ 0.2065 กรัมต่อต้น การดูดคิ่งโพแทสเซียมในหัวสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 และ N2 เท่ากับ 1.0735 และ 1.0283 กรัมต่อต้น และต่ำสุดที่ทรีทเมนต์ N1 เท่ากับ 0.5369 กรัมต่อต้น การดูดคิ่งโพแทสเซียมทั้งหมดสูงที่สุดในทรีทเมนต์ N3 และ N2 เท่ากับ 28.60 และ 26.64 กรัมต่อต้น ในขณะที่การดูดคิ่งโพแทสเซียมในทุกส่วนยกเว้นในใบของมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.7) การดูดคิ่งโพแทสเซียมในก้านใบ+ลำต้นของมันสำปะหลังสูงที่สุดที่ทรีทเมนต์ K3 เท่ากับ 1.2555 กรัมต่อต้น และต่ำสุดที่ทรีทเมนต์ K1 เท่ากับ 0.7597 กรัมต่อต้น โดยทรีทเมนต์ K2 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับทรีทเมนต์ K1 และ K3 การดูดคิ่งโพแทสเซียมในเหง้าสูงที่สุดในทรีทเมนต์ K3 รองลงมาเป็น K2 และ K1 เท่ากับ 0.8905 0.7182 และ 0.6092 กรัมต่อต้น ตามลำดับ การดูดคิ่งโพแทสเซียมในหัวสูงที่สุดในทรีทเมนต์ K3 เท่ากับ 1.1663 กรัมต่อต้น และต่ำสุด

ที่ทริทเมนต์ K2 และ K1 เท่ากับ 0.80547 และ 0.6178 กรัมต่อต้น การดูดดึงโพแทสเซียมในรากสูงที่สุดในทริทเมนต์ K3 รองลงมาเป็น K2 และ K1 เท่ากับ 0.5829 0.4169 และ 0.2058 กรัมต่อต้น ตามลำดับ การดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมดสูงที่สุดในทริทเมนต์ K3 รองลงมาเป็น K2 และ K1 เท่ากับ 30.68 26.57 และ 18.52 กรัมต่อต้นตามลำดับ มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อการดูดดึงโพแทสเซียมในหัว และการดูดดึงโพแทสเซียมทั้งหมด

ไนโตรเจนและโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่เป็น Synergistic ต่อกัน นอกจากมีความสำคัญต่อผลผลิตแล้ว ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหาร (Nutrients Use Efficiency: NUE) ดีขึ้นอีกด้วย (Rietra *et al.*, 2017) ไนโตรเจนส่งเสริมการดูดดึงธาตุอาหารอื่นๆ เช่น โพแทสเซียม และ ฟอสฟอรัส (Leghari *et al.*, 2016) Rezaei *et al.* (2016) รายงานว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบ ต้น หัว และรากสูงขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน Singh *et al.* (2016) ศึกษาผลของไนโตรเจนในมันฝรั่ง พบว่าการดูดดึงไนโตรเจนเพิ่มขึ้นตามอัตราของไนโตรเจนที่สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Petropoulos *et al.* (2008) ในข้าวสาลีพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในข้าวสาลีเพิ่มขึ้น ตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่สูงขึ้น นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราต่ำส่งผลให้มีไนโตรเจนในเนื้อเยื่อต่ำ พืชจะตอบสนองต่อโพแทสเซียมได้ดีเมื่อได้รับไนโตรเจนในอัตราที่เพียงพอ (Rietra *et al.*, 2017)

ตารางที่ 4.6 การดูดตั้งไนโตรเจนของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Nitrogen Uptake (g/plant)											
	Leave blade	SE	Stem+Petio	SE	OSC	SE	Tuber	SE	Root	SE	Total	SE
Nitrogen (N)												
N1	0.5223b	0.0444	0.0769	0.0084	0.3718b	0.0206	0.2469b	0.0135	0.1284b	0.0117	17.15c	0.5011
N2	1.0715a	0.0915	0.0701	0.0070	0.3807b	0.0115	0.5078a	0.0464	0.1969a	0.0107	27.17b	1.4086
N3	1.1076a	0.0881	0.0753	0.0075	0.4575a	0.0149	0.5889a	0.0430	0.2217a	0.0158	32.52a	1.0123
Potassium (K)												
K1	0.7982	0.0997	0.0733	0.0077	0.4100AB	0.0212	0.3950B	0.0480	0.1849	0.0203	25.429	2.1670
K2	0.9344	0.0932	0.0686	0.0080	0.3712B	0.0201	0.4263B	0.0429	0.1635	0.0184	24.966	1.9517
K3	0.9687	0.1325	0.0805	0.0074	0.4289A	0.0131	0.5223A	0.0640	0.1985	0.0110	26.452	2.3914
F-test												
N	**		ns		*		**		**		**	
K	ns		ns		**		*		ns		ns	
N×K	ns		ns		ns		ns		ns		ns	
%CV	28.14		35.41		12.77		24.43		22.46		14.16	

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 $p \leq 0.05$

ตารางที่ 4.7 การดูดดึงโพแทสเซียมของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Potassium Uptake (g/plant)											
	Leave blade	SE	Stem+Petio	SE	OSC	SE	Tuber	SE	Root	SE	Total	SE
Nitrogen (N)												
N1	0.2065b	0.0196	1.1357	0.1168	0.7058	0.0349	0.5369b	0.0359	0.4037	0.0559	20.52b	0.8861
N2	0.4199a	0.0427	0.9154	0.1068	0.7236	0.0477	1.0283a	0.1398	0.4278	0.0576	26.64a	2.0427
N3	0.4659a	0.0744	0.9751	0.1309	0.7884	0.0575	1.0735a	0.1386	0.3741	0.0613	28.60a	2.2989
Potassium (K)												
K1	0.3013	0.0403	0.7597B	0.1053	0.6092C	0.0317	0.6178B	0.0655	0.2058C	0.0265	18.52C	0.4137
K2	0.3679	0.0443	1.0111AB	0.1037	0.7182B	0.0313	0.8547B	0.0862	0.4169B	0.0398	26.57B	1.4189
K3	0.4231	0.0834	1.2555A	0.1300	0.8905A	0.0388	1.1663A	0.1647	0.5829A	0.0395	30.68A	2.0820
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		11.37	

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 $p \leq 0.05$

4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการดูดตั้งธาตุอาหาร

น้ำหนักสดของใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดของก้านใบ+ลำต้น หัว และน้ำหนักสดทั้งหมด และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดตั้งไนโตรเจนและโพแทสเซียมทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.7423 0.5574 0.7735 0.7798 และ 0.3975 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) น้ำหนักสดของก้านใบ+ต้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดทุกส่วน การดูดตั้งไนโตรเจนและโพแทสเซียมค่า r^2 เท่ากับ 0.3367 0.5052 0.5853 0.8734 0.8402 และ 0.5322 ตามลำดับ น้ำหนักสดของเหง้ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดทุกส่วนยกเว้นน้ำหนักสดของหัว และการดูดตั้งไนโตรเจนและโพแทสเซียม ค่า r^2 เท่ากับ 0.3561 0.3872 0.3415 และ 0.3509 ตามลำดับ น้ำหนักสดของรากมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดในหัว น้ำหนักสดทั้งหมด การดูดตั้งไนโตรเจนและโพแทสเซียม ค่า r^2 เท่ากับ 0.3402 0.6218 และ 0.3927 ตามลำดับ น้ำหนักสดของหัวมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดทั้งหมด การดูดตั้งไนโตรเจนและโพแทสเซียม 0.8539 0.8567 และ 0.4008 ตามลำดับ น้ำหนักสดทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดตั้งไนโตรเจนและโพแทสเซียมทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.9358 และ 0.4712 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดตั้งไนโตรเจนและการดูดตั้งโพแทสเซียม และน้ำหนักสดของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Parameter	Fresh wt.	Fresh wt.	Fresh wt.	Fresh wt.	Fresh wt.	Fresh wt.	N uptake	K uptake
	Leaf blade	Stem+Petio	OSC	Root	Tuber	Total	Total	Total
Fresh wt. Leaf blade	1.0000							
Fresh wt. Stem+Petio	0.7423**	1.0000						
Fresh wt. OSC	0.1250	0.3367*	1.0000					
Fresh wt. Root	0.2493	0.5052**	0.3561*	1.0000				
Fresh wt. Tuber	0.5574**	0.5853**	0.2169	0.3402*	1.0000			
Fresh wt. Total	0.7735**	0.8734**	0.3872*	0.6218**	0.8539**	1.0000		
N uptake Total	0.7798**	0.8402**	0.3415*	0.3927*	0.8567**	0.9358**	1.0000	
K uptake Total	0.3975*	0.5322**	0.3509*	0.0624	0.4008*	0.4712**	0.5753**	1.0000

*Significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$

น้ำหนักแห้งในใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักแห้งในก้านใบ+ต้น ราก หัว น้ำหนักแห้งทั้งหมด และการดูดตั้งไนโตรเจนและโพแทสเซียม ค่า r^2 เท่ากับ 0.8539 0.3567 0.6899 0.8736

0.8546 และ 0.4649 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) น้ำหนักแห้งในก้านใบ+ต้นมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งทุกส่วนยกเว้นน้ำหนักแห้งในเหง้า และมีความสัมพันธ์กับการดูดตั้งไนโตรเจนและโพแทสเซียม ค่า r^2 เท่ากับ 0.5544 0.5856 0.8574 0.8498 และ 0.4579 ตามลำดับ น้ำหนักแห้งในรากมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักแห้งทั้งหมด แลการดูดตั้งไนโตรเจน ค่า r^2 เท่ากับ 0.4288 และ 0.3720 ตามลำดับ น้ำหนักแห้งในหัวมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักแห้งทั้งหมด การดูดตั้งไนโตรเจน และการดูดตั้งโพแทสเซียม ค่า r^2 เท่ากับ 0.9024 0.8923 และ 0.5186 ตามลำดับ น้ำหนักแห้งทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดตั้งไนโตรเจนและโพแทสเซียม ค่า r^2 เท่ากับ 0.9739 และ 0.5633 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดตั้งไนโตรเจนและการดูดตั้งโพแทสเซียม และน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และ โพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Parameter	Dry wt.	Dry wt.	Dry wt.	Dry wt.	Dry wt.	Dry wt.	N uptake	K uptake
	Leaf blade	Stem+Petio	OSC	Root	Tuber	Total	Total	Total
Dry wt. Leaf blade	1.0000							
Dry wt. Stem+Petio	0.8539**	1.0000						
Dry wt. OSC	0.1140	0.2642	1.0000					
Dry wt. Root	0.3567*	0.5544**	0.2040	1.0000				
Dry wt. Tuber	0.6899**	0.5856**	0.0831	0.1963	1.0000			
Dry wt. Total	0.8736**	0.8574**	0.2836	0.4388**	0.9024**	1.0000		
N uptake Total	0.8546**	0.8498**	0.2104	0.3720*	0.8923**	0.9739**	1.0000	
K uptake Total	0.4649**	0.4579**	0.3789	-0.0240	0.5186**	0.5633**	0.5753**	1.0000

*Significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$

การดูดตั้งไนโตรเจนทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดตั้งโพแทสเซียมทั้งหมดการดูดตั้งไนโตรเจนในใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดตั้งไนโตรเจนในราก หัว และการดูดตั้งไนโตรเจนทั้งหมด นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับการดูดตั้งโพแทสเซียมในใบ หัว และการดูดตั้งโพแทสเซียมทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.4589 0.6699 0.6988 0.8584 0.5089 และ 0.4764 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.10) การดูดตั้งไนโตรเจนในก้านใบ+ต้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดตั้งโพแทสเซียมในลำต้น ค่า r^2 เท่ากับ 0.8376 การดูดตั้งไนโตรเจนในเหง้ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดตั้งไนโตรเจนในราก และการดูดตั้งโพแทสเซียมในเหง้า ค่า r^2 เท่ากับ 0.5220 และ 0.3504 ตามลำดับ การดูดตั้งไนโตรเจนใน

ห้วมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูคั้งโนโตรเจนทั้งหมด และการดูคั้งโพแทสเซียมในห้วและการดูคั้งโพแทสเซียมทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.8099 0.4686 0.8732 และ 0.6334 ตามลำดับ การดูคั้งโนโตรเจนทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูคั้งโพแทสเซียมในใบ ห้ว และการดูคั้งโพแทสเซียมทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.6082 0.6531 และ 0.5753 ตามลำดับ การดูคั้งโพแทสเซียมในใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูคั้งโพแทสเซียมทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.5328 (ตารางที่ 4.8) การดูคั้งโพแทสเซียมในก้านใบ+ต้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูคั้งโพแทสเซียมในเหง้า และราก ค่า r^2 เท่ากับ 0.4051 และ 0.6161 ตามลำดับ การดูคั้งโพแทสเซียมในเหง้ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูคั้งโพแทสเซียมในราก ห้ว และการดูคั้งโพแทสเซียมทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.5461 0.4423 และ 0.6358 ตามลำดับ การดูคั้งโพแทสเซียมในรากและห้ว มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูคั้งโพแทสเซียมทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.6484 และ 0.7412 ตามลำดับ



ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดตั้งไนโตรเจนและการดูดตั้งโพแทสเซียมของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และ โพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

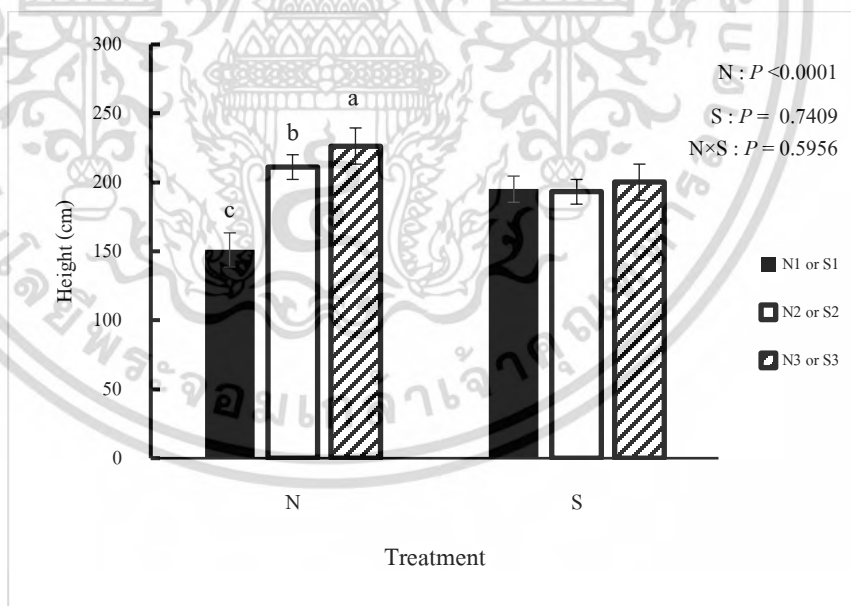
Parameter	N	N	N	N	N	N	K	K	K	K	K	K
	uptake Leave blade	uptake Stem+petio	uptake OSC	uptake Root	uptake Tuber	uptake Total	uptake Leave blade	uptake Stem+petio	uptake OSC	uptake Root	uptake Tuber	uptake Total
N uptake _{Leave blade}	1.0000											
N uptake _{Stem+petio}	-0.2270	1.0000										
N uptake _{OSC}	0.2167	0.3147	1.0000									
N uptake _{Root}	0.4589**	0.1715	0.5220**	1.0000								
N uptake _{Tuber}	0.6699**	0.0232	0.3273	0.5659**	1.0000							
N uptake _{Total}	0.6988**	-0.1850	0.3158	0.6459**	0.8099**	1.0000						
K uptake _{Leave blade}	0.8584**	-0.2146	0.1334	0.3234	0.4686**	0.6082**	1.0000					
K uptake _{Stem+petio}	-0.1792	0.8376**	0.2589	0.0641	-0.0569	-0.3111	-0.0836	1.0000				
K uptake _{OSC}	0.2739	0.1205	0.3504*	0.2001	0.3276	0.1808	0.3079	0.4051*	1.0000			
K uptake _{Root}	-0.0370	0.3182	0.1245	0.1911	0.0878	-0.0887	0.0420	0.6161**	0.5461**	1.0000		
K uptake _{Tuber}	0.5089**	0.0657	0.1809	0.3781*	0.8732**	0.6531**	0.3501	0.0702	0.4423**	0.2904	1.0000	
K uptake _{Total}	0.4764**	0.0312	0.1434	0.3123	0.6334**	0.5753**	0.5328**	0.1443	0.6358**	0.6484**	0.7412**	1.0000

*Significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$

4.2 การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโตและ ดูใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

4.2.1 การเจริญเติบโต

ความสูงของมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (รูปที่ 4.4) โดยความสูงของมันสำปะหลังในทริทเมนต์ N3 สูงที่สุดรองลงมาเป็น N2 และ N1 ตามลำดับ เท่ากับ 226.33 211.08 และ 151.00 เซนติเมตร ตามลำดับ ความสูงของมันสำปะหลังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ภายใต้อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันและไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อความสูงของมันสำปะหลัง 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 al.*, 2005) พบว่าความสูงเพิ่มขึ้นตามเมื่อมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน



ภาพที่ 4.4 ความสูงของมันสำปะหลังที่อายุ 4 เดือนภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถัน
ที่แตกต่างกัน

ค่า SPAD ทั้งในใบล่างของมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.11) ค่า SPAD ของมันสำปะหลังในใบล่างสูงสุดในทรีทเมนต์ N3 รองลงมาเป็น N2 และต่ำที่สุดในทรีทเมนต์ N1 เท่ากับ 34.90 33.06 และ 29.89 ตามลำดับ ในขณะที่อัตราปุ๋ยกัมมะถันไม่ส่งผลต่อค่า SPAD ของมันสำปะหลัง ในโตรเจนมีบทบาทสำคัญในการผลิตคลอโรฟิลล์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้สถานะของไนโตรเจนได้ ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสูงขึ้น Sen *et al.* (2016) รายงานศึกษาผลของไนโตรเจนในอัตราต่ำต่อความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในข้าวโพดพบว่าไนโตรเจนในอัตราต่ำส่งผลให้ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ลดลง

ตารางที่ 4.11 ค่า SPAD ของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกัมมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	SPAD			
	Upper leave		Lower leave	
	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)				
N1	40.13	0.56	29.89b	0.86
N2	41.04	0.36	33.06a	0.55
N3	41.91	0.55	34.90a	0.86
Sulfur (S)				
S1	40.86	0.48	31.53	0.99
S2	40.75	0.39	33.32	1.02
S3	41.48	0.69	32.99	0.87
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 $p \leq 0.05$

น้ำหนักสดในทุกส่วนของมันสำปะหลังยกเว้นน้ำหนักสดของเหง้ามีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.12) น้ำหนักสดใบในสูงสุดในทริทเมนต์ N3 รองลงมาเป็น N2 และต่ำสุดที่ทริทเมนต์ N1 เท่ากับ 216.87 160.34 และ 99.84 กรัมต่อต้น ตามลำดับ น้ำหนักสดก้านใบ+ต้นเป็นไปในทิศทางเดียวกับน้ำหนักสดของใบเท่ากับ 301.33 223.76 และ 125.69 กรัมต่อต้น ตามลำดับ น้ำหนักสดของรากสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 และ N2 เท่ากับ 226.64 และ 191.98 กรัมต่อต้น และต่ำที่สุดในทริทเมนต์ N1 เท่ากับ 134.04 กรัมต่อต้น น้ำหนักสดในหัวสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 รองลงมาเป็น N2 และต่ำสุดที่ทริทเมนต์ N1 เท่ากับ 324.11 254.74 และ 162.93 กรัมต่อต้น ตามลำดับ น้ำหนักสดทั้งหมดสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 รองลงมาเป็น N2 และต่ำสุดที่ทริทเมนต์ N1 เท่ากับ 1,274.03 999.74 และ 659.93 กรัมต่อต้น ตามลำดับ น้ำหนักสดในหัวมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยกัมมะถันที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.12) น้ำหนักสดของหัวสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 และ N1 เท่ากับ 281.06 และ 258.21 และต่ำที่สุดในทริทเมนต์ 202.51 กรัมต่อต้น

น้ำหนักแห้งในทุกส่วนของมันสำปะหลังยกเว้นเหง้ามีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.13) น้ำหนักแห้งในใบสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 รองลงมาเป็น N2 และต่ำสุดในทริทเมนต์ N1 เท่ากับ 52.82 39.90 และ 27.54 กรัมต่อต้น ตามลำดับ น้ำหนักแห้งในก้านใบ+ต้น ราก หัว และน้ำหนักแห้งทั้งหมดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับน้ำหนักแห้งในใบ น้ำหนักแห้งในก้านใบ+ต้น เท่ากับ 96.54 75.61 และ 52.77 กรัมต่อต้นตามลำดับ น้ำหนักแห้งในราก เท่ากับ 16.84 13.50 และ 8.97 กรัมต่อต้นตามลำดับ น้ำหนักแห้งในหัวเท่ากับ 129.52 101.91 และ 69.58 กรัมต่อต้นตามลำดับ น้ำหนักแห้งทั้งหมดเท่ากับ 378.64 304.46 และ 227.14 กรัมต่อต้นตามลำดับ น้ำหนักแห้งในหัวมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยกัมมะถันที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.13) น้ำหนักแห้งในหัวสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 เท่ากับ 114.28 กรัมต่อต้น และต่ำที่สุดในทริทเมนต์ N2 และ N1 เท่ากับ 83.96 และ 12.77 กรัมต่อต้น ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญในการสร้างส่วนประกอบต่างๆของพืช (Sullivan, 2010) กัมมะถันมีบทบาทสำคัญต่อสรีระวิทยาของพืช (Barczak and Nowak, 2014) นอกจากนี้ไนโตรเจนและกัมมะถันยังมีบทบาทและหน้าที่ที่คล้ายคลึงกัน การใช้กัมมะถันที่ 30 กิโลกรัมกัมมะถัน/เฮกตาร์ ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 120 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้มีผลผลิตเมล็ดมันสำปะหลังสูงที่สุด (Jamal *et al.*, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Islam *et al.* (2014) ในมันฝรั่งพบว่าการใช้ปุ๋ยกัมมะถันส่งผลให้น้ำหนักแห้ง และผลผลิตของมันฝรั่งสูงขึ้น

ตารางที่ 4.12 น้ำหนักสดใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Fresh weight (g/plant)											
	Leaf blade		Stem+Petio		OSC		Root		Tuber		Total	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	99.84c	6.50	125.69c	6.00	161.32	5.35	134.04b	8.35	162.93c	17.63	659.93c	24.89
N2	160.34b	17.90	223.76b	9.19	172.7	3.40	191.98a	17.21	254.74b	25.26	999.74b	47.68
N3	216.87a	12.46	301.33a	9.77	179.31	5.20	226.64a	15.81	324.11a	33.78	1,274.03a	57.92
Sulfur (S)												
S1	159.41	20.56	218.36	26.83	174.03	4.59	202.52	22.60	258.21A	39.95	1,019.72	104.52
S2	165.37	19.98	211.13	18.68	171.04	5.64	176.41	17.55	202.51B	32.48	920.63	75.45
S3	152.27	19.49	221.29	23.47	168.26	5.28	173.73	15.38	281.06A	30.13	993.35	79.74
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		23.0		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 $p \leq 0.05$

ตารางที่ 4.13 น้ำหนักแห้งใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก หัว และน้ำหนักสดทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Dry weight (g/plant)											
	Leave blade		Stem+Petio		OSC		Root		Tuber		Total	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	27.54c	4.13	52.77c	2.62	70.13	2.08	8.97c	0.67	69.58c	7.63	227.14c	9.11
N2	39.90b	4.12	75.61b	2.68	75.39	1.81	13.50b	1.13	101.91b	8.19	304.46b	12.80
N3	52.82a	2.88	96.54a	2.94	78.76	1.69	16.84a	1.16	129.52a	11.95	378.64a	15.13
Sulfur (S)												
S1	39.96	5.07	73.25	6.91	76.49	1.86	14.54	1.69	12.77AB	14.80	287.96	27.46
S2	42.69	5.08	75.03	4.52	75.25	2.24	12.39	1.19	83.96B	10.19	310.18	17.43
S3	37.60	4.87	76.65	6.41	72.54	2.17	12.38	1.41	114.28A	11.57	312.11	22.82
F-test												
N	**		**		ns		**		**		**	
S	ns		ns		ns		ns		*		ns	
N×S	ns		ns		ns		ns		ns		ns	
%CV	31.0		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 $p \leq 0.05$

4.2.2 ความเข้มข้นและการดูดดึงธาตุอาหาร

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบอ่อนที่ขยายตัวเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL) ของมันสำปะหลังอายุ 4 เดือน ซึ่งแสดงถึงสถานะของธาตุอาหารในมันสำปะหลังพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจน เหล็ก และทองแดง ใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่าวิกฤติของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.14-4.15) ในขณะที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และกำมะถันอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อมันสำปะหลัง และความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส สังกะสี และโบรอนเกินค่าวิกฤติของมันสำปะหลัง ความเข้มข้นของไนโตรเจน กำมะถัน แคลเซียม และแมกนีเซียมในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.14) ความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 เท่ากับ 4.2066 กรัมต่อร้อยกรัม และต่ำที่สุดในทริทเมนต์ N2 และ N1 เท่ากับ 3.8666 และ 3.7016 กรัมต่อร้อยกรัม ความเข้มข้นของกำมะถันสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 เท่ากับ 0.3533 กรัมต่อร้อยกรัม และต่ำที่สุดในทริทเมนต์ N2 กรัม N1 เท่ากับ 0.3183 และ 0.3163 กรัมต่อร้อยกรัม ความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมสูงที่สุดในทริทเมนต์ N1 และต่ำที่สุดในทริทเมนต์ N2 และ N1 ความเข้มข้นของแคลเซียมเท่ากับ 1.0169 0.8287 และ 0.7421 กรัมต่อร้อยกรัม ความเข้มข้นของแมกนีเซียมเท่ากับ 0.4927 0.4272 และ 0.4329 กรัมต่อร้อยกรัม นอกจากนี้ความเข้มข้นของแมงกานีส สังกะสี และโมลิบดีนัมมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.15) โดยความเข้มข้นของแมงกานีสสูงที่สุดในทริทเมนต์ N1 รองลงมาเป็น N2 และต่ำที่สุดในทริทเมนต์ N3 เท่ากับ 394.09 321.67 และ 267.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นของทองแดงและโมลิบดีนัมสูงที่สุดในทริทเมนต์ N1 และต่ำที่สุดในทริทเมนต์ N2 และ N3 ความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 4.6860 3.9641 และ 3.6366 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความเข้มข้นของกำมะถันมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยกำมะถันที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.14) โดยความเข้มข้นของกำมะถันสูงที่สุดในทริทเมนต์ S3 และ S2 เท่ากับ 0.3347 และ 0.3341 กรัมต่อร้อยกรัม และต่ำสุดที่ทริทเมนต์ S1 เท่ากับ 0.3190 กรัมต่อร้อยกรัม ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยกำมะถันที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.15) ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมสูงที่สุดในทริทเมนต์ S3 เท่ากับ 3.7283 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต่ำที่สุดในทริทเมนต์ S2 และ S3 เท่ากับ 3.1778 และ 2.7478 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 4.14 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL) ของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน

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	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	3.7016b	0.043	0.4225	0.009	1.6691	0.043	0.3163b	0.004	1.0169a	0.041	0.4927a	0.016
N2	3.8666b	0.083	0.4235	0.013	1.7052	0.051	0.3183b	0.005	0.8287b	0.041	0.4272b	0.015
N3	4.2066a	0.079	0.4244	0.012	1.7333	0.065	0.3533a	0.006	0.7421b	0.044	0.4329b	0.019
Sulfur (S)												
S1	3.8433	0.067	0.4090	0.010	1.6561	0.041	0.3190b	0.004	0.8809	0.042	0.4451	0.016
S2	3.9379	0.102	0.4438	0.011	1.7937	0.062	0.3341a	0.007	0.8841	0.047	0.4736	0.019
S3	3.9836	0.106	0.4176	0.011	1.6579	0.047	0.3347a	0.009	0.8226	0.069	0.4340	0.020
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 $p \leq 0.05$

ตารางที่ 4.15 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ (Youngest Fully-Expanded Leaves: YFEL)ของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราน้ำในโตรเจน 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		-	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	56.24	42.41	394.09a	17.79	4.6860a	0.21	40.95	1.85	43.27	2.03	3.9665a	0.41
N2	43.99	16.60	321.67b	9.01	3.9641b	0.28	40.65	2.50	41.99	1.42	2.9363b	0.17
N3	62.68	7.31	267.06c	10.61	3.6366b	0.25	43.84	3.22	38.30	1.17	2.7511b	0.16
Sulfur (S)												
S1	53.62	12.51	316.99	17.89	4.0146	0.26	42.73	2.45	40.96	1.41	3.7283A	0.22
S2	50.90	42.81	350.80	19.83	4.0296	0.31	41.17	2.71	41.22	1.71	3.1778B	0.27
S3	60.47	17.82	315.02	21.49	4.2425	0.27	41.55	2.80	40.74	1.93	2.7478B	0.43
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 $p \leq 0.05$

การดูดคิ่งไนโตรเจนในใบ หัว ราก และการดูดคิ่งไนโตรเจนทั้งหมดมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.16) การดูดคิ่งไนโตรเจนในใบสูงที่สุดในทริทเม้นต์ N3 และ N2 เท่ากับ 1.1564 และ 1.0734 กรัมต่อต้น และต่ำที่สุดในทริทเม้นต์ N1 เท่ากับ 0.5389 กรัมต่อต้น การดูดคิ่งไนโตรเจนในหัวสูงที่สุดในทริทเม้นต์ N3 และ N2 เท่ากับ 0.5878 และ 0.5377 กรัมต่อต้น การดูดคิ่งไนโตรเจนในรากสูงที่สุดในทริทเม้นต์ N3 และ N2 เท่ากับ 0.2382 และ 0.2121 กรัมต่อต้น และต่ำที่สุดในทริทเม้นต์ N1 เท่ากับ 0.1324 กรัมต่อต้น การดูดคิ่งไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุดในทริทเม้นต์ N3 รองลงมาเป็น N2 และต่ำที่สุดในทริทเม้นต์ N1 เท่ากับ 37.355 28.198 และ 19.765 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ในขณะที่อัตราปุ๋ยกัมมะถันไม่ส่งผลต่อการดูดคิ่งไนโตรเจนในทุกลำต้นของมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.16) มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนและกัมมะถันต่อการดูดคิ่งไนโตรเจนในหัว

การดูดคิ่งกัมมะถันในใบ หัว ราก และการดูดคิ่งกัมมะถันทั้งหมดมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.17) การดูดคิ่งกัมมะถันในใบสูงที่สุดในทริทเม้นต์ N3 และ N2 เท่ากับ 0.1046 และ 0.0958 กรัมต่อต้น และต่ำที่สุดในทริทเม้นต์ N1 เท่ากับ 0.0487 กรัมต่อต้น การดูดคิ่งกัมมะถันในหัวสูงที่สุดในทริทเม้นต์ N3 และ N2 เท่ากับ 0.0943 และ 0.0922 กรัมต่อต้น และต่ำที่สุดในทริทเม้นต์ N1 เท่ากับ 0.0428 กรัมต่อต้น การดูดคิ่งกัมมะถันในรากสูงที่สุดในทริทเม้นต์ N3 และ N2 เท่ากับ 0.1449 และ 0.1338 กรัมต่อต้น และต่ำที่สุดในทริทเม้นต์ N1 เท่ากับ 0.0884 กรัมต่อต้น การดูดคิ่งกัมมะถันทั้งหมดสูงที่สุดในทริทเม้นต์ N3 รองลงมาเป็น N2 และต่ำที่สุดในทริทเม้นต์ N1 เท่ากับ 6.9359 5.4187 และ 3.8555 กรัมต่อต้น การดูดคิ่งกัมมะถันในราก และการดูดคิ่งกัมมะถันทั้งหมดมีความแตกต่างกันทางสถิติภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.17) การดูดคิ่งกัมมะถันในรากสูงที่สุดในทริทเม้นต์ S3 เท่ากับ 0.1527 กรัมต่อต้น และต่ำที่สุดในทริทเม้นต์ S2 และ S1 เท่ากับ 0.115 และ 0.1029 กรัมต่อต้น การดูดคิ่งกัมมะถันทั้งหมดสูงที่สุดในทริทเม้นต์ S3 เท่ากับ 6.2017 กรัมต่อต้น และต่ำที่สุดในทริทเม้นต์ S2 และ S1 เท่ากับ 5.0890 และ 4.9275 กรัมต่อต้น

ตารางที่ 4.16 การดูดคิ่งไนโตรเจนของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Nitrogen Uptake (g/plant)											
	Leave blade	SE	Stem+Petio	SE	OSC	SE	Tuber	SE	Root	SE	Total	SE
Nitrogen (N)												
N1	0.5389b	0.0488	0.0725	0.0392	0.4002	0.0149	0.2485b	0.0284	0.1324b	0.0110	19.765c	0.5112
N2	1.0734a	0.0726	0.0778	0.0509	0.4407	0.0218	0.5377a	0.0727	0.2121a	0.0108	28.198b	1.3400
N3	1.1564a	0.0857	0.0685	0.0442	0.4625	0.0191	0.5878a	0.0416	0.2382a	0.0215	37.355a	1.5022
Sulfur (S)												
S1	0.8504	0.1069	0.0759	0.0497	0.4373	0.0225	0.4164	0.0676	0.2023	0.0264	28.653	2.6405
S2	0.9544	0.0958	0.0785	0.0300	0.4344	0.0202	0.4414	0.0422	0.1762	0.0183	27.132	2.0844
S3	0.9639	0.1187	0.0644	0.0459	0.4318	0.0180	0.5202	0.0728	0.2042	0.0133	29.535	2.6078
F-test												
N	**		ns		ns		**		**		**	
S	ns		ns		ns		ns		ns		ns	
N×S	ns		ns		ns		*		ns		ns	
%CV	25.48		32.3		16.32		28.41		25.54		15.30	

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 $p \leq 0.05$

ตารางที่ 4.17 การดูดคั่งกัมมะถันของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกัมมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Sulfur Uptake (g/plant)											
	Leave blade	SE	Stem+Petio	SE	OSC	SE	Tuber	SE	Root	SE	Total	SE
Nitrogen (N)												
N1	0.0487b	0.0044	0.0724	0.0066	0.0761	0.0025	0.0428b	0.0055	0.0884b	0.0105	3.8555c	0.1200
N2	0.0958a	0.0068	0.0778	0.0093	0.0741	0.0025	0.0922a	0.0124	0.1338a	0.0108	5.4187b	0.3414
N3	0.1046a	0.0091	0.0685	0.0056	0.0734	0.0031	0.0943a	0.0073	0.1449a	0.0111	6.9359a	0.3728
Sulfur (S)												
S1	0.0748	0.0093	0.0759	0.0080	0.0741	0.0033	0.0665	0.0106	0.1029B	0.0102	4.9275B	0.4284
S2	0.0838	0.0081	0.0785	0.0076	0.0744	0.0024	0.0761	0.0077	0.1115B	0.0129	5.0809B	0.3225
S3	0.0905	0.0123	0.0644	0.0061	0.0749	0.0024	0.0865	0.0120	0.1527A	0.0107	6.2017A	0.5708
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		16.09	

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 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและการดูดistingธาตุอาหาร

น้ำหนักสดของใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดของในท่อกส่วน และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดistingในโตรเจนและกำมะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.8219 0.3993 0.6294 0.6979 0.8858 0.8800 และ 0.8038 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.18) น้ำหนักสดในก้านใบ+ต้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดในเหง้า ราก หัว น้ำหนักสดทั้งหมด การดูดistingในโตรเจน และการดูดistingกำมะถันทั้งหมด 0.4557 0.7255 0.6837 0.9107 0.8982 และ 0.8280 ตามลำดับ น้ำหนักสดในเหง้ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดในราก น้ำหนักสดทั้งหมด การดูดistingในโตรเจน และการดูดistingกำมะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.6235 0.2731 0.5152 0.4236 และ 0.3804 ตามลำดับ น้ำหนักสดในรากมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดในหัว น้ำหนักสดทั้งหมด การดูดistingในโตรเจน และการดูดistingกำมะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.5345 0.8036 0.6563 และ 0.5612 ตามลำดับ น้ำหนักสดในหัวมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักสดทั้งหมด การดูดistingในโตรเจน และการดูดistingกำมะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.8756 0.8770 และ 0.8186 ตามลำดับ น้ำหนักสดทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดistingในโตรเจน และการดูดistingกำมะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.9587 และ 0.8761 ตามลำดับ

น้ำหนักแห้งของใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักแห้งของในท่อกส่วน และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดistingในโตรเจนและกำมะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.7916 0.3293 0.6318 0.5575 0.8168 0.8156 และ 0.7485 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.19) น้ำหนักแห้งในก้านใบ+ต้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักแห้งในเหง้า ราก หัว น้ำหนักแห้งทั้งหมด การดูดistingในโตรเจน และการดูดistingกำมะถันทั้งหมด 0.4036 0.6919 0.6278 0.8755 0.8928 และ 0.8345 ตามลำดับ น้ำหนักแห้งในเหง้ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักแห้งในราก น้ำหนักแห้งทั้งหมด การดูดistingในโตรเจน และการดูดistingกำมะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.5576 0.4677 0.4536 และ 0.3816 ตามลำดับ น้ำหนักแห้งในรากมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักแห้งในหัว น้ำหนักแห้งทั้งหมด การดูดistingในโตรเจน และการดูดistingกำมะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.5217 0.7363 0.70363 และ 0.6069 ตามลำดับ น้ำหนักแห้งในหัวมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักแห้งทั้งหมด การดูดistingในโตรเจน และการดูดistingกำมะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.8962 0.8767 และ 0.8363 ตามลำดับ น้ำหนักแห้งทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดistingในโตรเจน และการดูดistingกำมะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.9907 และ 0.9242 ตามลำดับ

การดูดคิ่งไนโตรเจนในใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดคิ่งไนโตรเจนในราก หัว และ การดูดคิ่งไนโตรเจนทั้งหมด นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับการดูดคิ่งก้ามะถันในใบ ราก หัว และการดูดคิ่งก้ามะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.4696 0.6471 0.6447 0.9758 0.4032 0.6448 และ 0.6050 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.20) การดูดคิ่งไนโตรเจนในก้านใบ+ต้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดคิ่งไนโตรเจนในเหง้า และการดูดคิ่งก้ามะถันในก้านใบ+ต้น ค่า r^2 เท่ากับ 0.3168 0.3294 และ 0.6819 ตามลำดับ การดูดคิ่งไนโตรเจนในเหง้ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดคิ่งไนโตรเจนในหัว การดูดคิ่งก้ามะถันในใบ ต้น เหง้า และหัว ค่า r^2 เท่ากับ 0.4839 0.3450 0.4006 0.5950 และ 0.4161 ตามลำดับ การดูดคิ่งไนโตรเจนในรากมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดคิ่งไนโตรเจนในหัว การดูดคิ่งไนโตรเจนทั้งหมด การดูดคิ่งก้ามะถันในใบ ราก หัว และการดูดคิ่งก้ามะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.4086 0.5230 0.4659 0.7612 0.3698 และ 0.4222 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับการดูดคิ่งก้ามะถันในเหง้า ค่า r^2 เท่ากับ -0.3953 การดูดคิ่งไนโตรเจนในหัวมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดคิ่งไนโตรเจนทั้งหมด การดูดคิ่งก้ามะถันในใบ ราก หัว และการดูดคิ่งก้ามะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.5403 0.6424 0.4242 0.9654 และ 0.5752 ตามลำดับ การดูดคิ่งไนโตรเจนทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดคิ่งก้ามะถันในใบ ราก หัว และการดูดคิ่งก้ามะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.6062 0.5448 0.4912 และ 0.9324 ตามลำดับ การดูดคิ่งก้ามะถันในใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดคิ่งก้ามะถันในราก หัว และการดูดคิ่งก้ามะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.3558 0.6364 และ 0.5889 ตามลำดับ การดูดคิ่งก้ามะถันในก้านใบ+ต้น และเหง้ามีความสัมพันธ์เชิงลบกับการดูดคิ่งก้ามะถันในราก ค่า r^2 เท่ากับ -0.3254 และ -0.3200 ตามลำดับ การดูดคิ่งก้ามะถันในรากมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดคิ่งก้ามะถันในหัว และการดูดคิ่งก้ามะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.3814 และ 0.6508 ตามลำดับ การดูดคิ่งก้ามะถันในหัวมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูดคิ่งก้ามะถันทั้งหมด ค่า r^2 เท่ากับ 0.5413

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญในการเพิ่มปริมาณ และคุณภาพของผลผลิต นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนยังช่วยเพิ่มปริมาณของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ Metabolism และเพิ่มประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แป้ง ก้ามะถันเป็นธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และมีความเชื่อมโยงกับไนโตรเจน การใส่ปุ๋ยก้ามะถันส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนสูงขึ้น (Li *et al.*, 2013) Jamal *et al.* (2010) รายงานว่าการใช้ก้ามะถันในอัตราสูง แต่ได้รับไนโตรเจนในอัตราที่ไม่เพียงพอส่งผลให้ผลผลิตของหญ้าลดลง ในทำนองเดียวกันการใช้ไนโตรเจนในอัตราสูง แต่ได้รับก้ามะถันในอัตราที่ไม่เพียงก็ส่งผลให้ผลผลิตลดลงเช่นกัน พืชโดยทั่วไปมีอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจน

และกัมมะถัน (N:S ratio) อยู่ที่ 15-20:1 อัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนและกัมมะถันทั้งหมดในเนื้อเยื่อพืช จะสะท้อนความสามารถของไนโตรเจนและกัมมะถันในการสังเคราะห์โปรตีน การเปลี่ยนแปลงของ N:S ratio จะส่งผลต่อกระบวนการ Metabolism และการสังเคราะห์โปรตีนในพืช

ตารางที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับไนโตรเจนและการดูดซับกัมมะถัน และน้ำหนักสดของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกัมมะถันที่แตกต่างกัน

Parameter	Fresh wt.	Fresh wt.	Fresh wt.	Fresh wt.	Fresh wt.	Fresh wt.	N uptake	S uptake
	Leaf blade	Stem+Petio	OSC	Root	Tuber	Total	Total	Total
Fresh wt. Leaf blade	1.0000							
Fresh wt. Stem+Petio	0.8219**	1.0000						
Fresh wt. OSC	0.3993*	0.4557**	1.0000					
Fresh wt. Root	0.6294**	0.7255**	0.6235**	1.0000				
Fresh wt. Tuber	0.6979**	0.6837**	0.2731	0.5345**	1.0000			
Fresh wt. Total	0.8858**	0.9107**	0.5152**	0.8036**	0.8756**	1.0000		
N uptake Total	0.8800**	0.8982**	0.4236**	0.6563**	0.8770**	0.9587**	1.0000	
S uptake Total	0.8038**	0.8280**	0.3804*	0.5612**	0.8186**	0.8761**	0.9324**	1.0000

*Significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$

ตารางที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับไนโตรเจนและการดูดซับกัมมะถัน และน้ำหนักแห้งของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกัมมะถันที่แตกต่างกัน

Parameter	Dry wt.	Dry wt.	Dry wt.	Dry wt.	Dry wt.	Dry wt.	N uptake	S uptake
	Leaf blade	Stem+Petio	OSC	Root	Tuber	Total	Total	Total
Dry wt. Leaf blade	1.0000							
Dry wt. Stem+Petio	0.7916**	1.0000						
Dry wt. OSC	0.3293*	0.4036*	1.0000					
Dry wt. Root	0.6318**	0.6919**	0.5576**	1.0000				
Dry wt. Tuber	0.5575**	0.6278**	0.2758	0.5271**	1.0000			
Dry wt. Total	0.8168**	0.8755**	0.4677**	0.7363**	0.8962**	1.0000		
N uptake Total	0.8156**	0.8928**	0.4536**	0.7063**	0.8767**	0.9907**	1.0000	
S uptake Total	0.7485**	0.8345**	0.3816*	0.6069**	0.8363**	0.9242**	0.9324**	1.0000

*Significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$

ตารางที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดตั้งไนโตรเจนและการดูดตั้งกำมะถันของมันสำปะหลัง ภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจน และกำมะถันที่แตกต่างกัน

Parameter	N uptake						S uptake					
	Leave blade	Stem+petio	OSC	Root	Tuber	Total	Leave blade	Stem+petio	OSC	Root	Tuber	Total
N uptake Leave blade	1.0000											
N uptake Stem+petio	0.2332	1.0000										
N uptake OSC	0.3098	0.3168*	1.0000									
N uptake Root	0.4696**	0.1646	0.0787	1.0000								
N uptake Tuber	0.6471**	-0.0641	0.4839**	0.4086*	1.0000							
N uptake Total	0.6447**	0.3294*	0.2006	0.5230**	0.5403**	1.0000						
S uptake Leave blade	0.9758**	0.2189	0.3450*	0.4659**	0.6424**	0.6062**	1.0000					
S uptake Stem+petio	-0.0007	0.6819**	0.4006*	-0.0431	-0.1209	-0.1393	0.0575	1.0000				
S uptake OSC	-0.0029	0.0761	0.5950**	-0.3953*	0.0537	-0.1055	0.0363	0.2239	1.0000			
S uptake Root	0.4032*	-0.1355	-0.0571	0.7612**	0.4242*	0.5448**	0.3858*	-0.3254*	-0.3200*	1.0000		
S uptake Tuber	0.6448**	-0.0892	0.4161**	0.3698*	0.9654**	0.4912**	0.6364**	-0.1254	0.0746	0.3814*	1.0000	
S uptake Total	0.6050**	0.1401	0.1426	0.4222**	0.5752**	0.9324**	0.5889**	-0.2121	-0.0601	0.6508**	0.5413**	1.0000

*Significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโต และดูการใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

1) จากการปลูกมันสำปะหลังโดยให้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกันพบว่า ไนโตรเจนส่งผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงในทริทเมนต์ N3 จะมีความสูง ค่า SPAD ในใบบน และใบล่าง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งสูงที่สุด ในขณะที่อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ยกเว้นค่า SPAD ในใบล่างของมันสำปะหลังเท่านั้น โดยค่า SPAD ในใบล่างสูงที่สุดในทริทเมนต์ K2

2) อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันยังส่งผลต่อความเข้มข้นของธาตุไนโบรอนที่เจริญเติบโตเต็มที่ โดยความเข้มข้นของไนโตรเจน กำมะถัน และเหล็กสูงที่สุดในทริทเมนต์ N2 และ N3 ในขณะที่ความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส ทองแดง และ โมลิบดีนัมสูงที่สุดในทริทเมนต์ N1 ในขณะที่อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโบรอนที่เจริญเติบโตเต็มที่ของมันสำปะหลัง

3) อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันยังส่งผลต่อการดูดคืนไนโตรเจนในใบ หัว และรากสูงที่สุดในทริทเมนต์ N2 และ N3 ในขณะที่การดูดคืนไนโตรเจนในเหง้า และการดูดคืนไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุดในทริทเมนต์ N3 การดูดคืนโพแทสเซียมในใบ หัว และการดูดคืนโพแทสเซียมทั้งหมดสูงที่สุดในทริทเมนต์ N2 และ N3 ในขณะที่อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกันยังส่งผลต่อการดูดคืนไนโตรเจนในเหง้า และในหัวสูงที่สุดในทริทเมนต์ K3 การดูดคืนโพแทสเซียมในทุกส่วนยกเว้นในใบสูงที่สุดในทริทเมนต์ K3

4) การดูดคืนไนโตรเจนและการดูดคืนโพแทสเซียมในใบ ก้านใบ+ต้น และหัวมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกที่ค่อนข้างสูง นอกจากนี้การดูดคืนไนโตรเจนยังมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับน้ำหนักสดทุกส่วนของมันสำปะหลัง และน้ำหนักแห้งในทุกส่วนยกเว้นน้ำหนักแห้งในเหง้า ในขณะที่การดูดคืนโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับน้ำหนักสดในทุกส่วนยกเว้นน้ำหนักสดในราก และมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับน้ำหนักแห้งในทุกส่วนยกเว้นน้ำหนักแห้งในเหง้าและราก

5.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโตและ การใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

1) จากการปลูกมันสำปะหลัง โดยให้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกันพบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงที่ระดับ N3 จะมีความสูง ค่า SPAD ในใบบน และใบล่าง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งสูงสุด ในขณะที่อัตราปุ๋ยกำมะถันที่แตกต่างกันส่งผลต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งในหัวเท่านั้น โดยน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งในหัวสูงที่สุดในที่ระดับ S3

2) อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อธาตุอาหารในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ โดยความเข้มข้นของไนโตรเจน และกำมะถันสูงที่สุดในที่ระดับ N3 ในขณะที่ความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส ทองแดง และโมลิบดีนัมสูงที่สุดในที่ระดับ N1 ในขณะที่อัตราปุ๋ยกำมะถันที่แตกต่างกันส่งผลต่อความเข้มข้นของธาตุกำมะถัน และโมลิบดีนัมในใบอ่อนที่เจริญเติบโตเต็มที่ของมันสำปะหลัง โดยความเข้มข้นของกำมะถันสูงที่สุดในที่ระดับ S3 ส่วนความเข้มข้นของโมลิบดีนัมสูงที่สุดในที่ระดับ S1

3) อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกันส่งผลต่อการดูดซึมไนโตรเจนในใบ หัว ราก และการดูดซึมไนโตรเจนทั้งหมด โดยสูงที่สุดในที่ระดับ N2 และ N3 การดูดซึมกำมะถันในราก และการดูดซึมกำมะถันทั้งหมดสูงที่สุดในที่ระดับ N3 ในขณะที่อัตราปุ๋ยกำมะถันที่แตกต่างกันส่งผลต่อการดูดซึมไนโตรเจนในราก และการดูดซึมไนโตรเจนทั้งหมด โดยสูงที่สุดในที่ระดับ S3 การดูดซึมกำมะถันในราก และการดูดซึมกำมะถันทั้งหมดสูงที่สุดในที่ระดับ S3

4) การดูดซึมไนโตรเจนและการดูดซึมกำมะถันในใบ ก้านใบ+ต้น และหัวมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกที่ค่อนข้างสูง นอกจากนี้การดูดซึมไนโตรเจน และการดูดซึมกำมะถันยังมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งทุกส่วนของมันสำปะหลัง โดยเฉพาะใบ ก้านใบ+ต้น และหัว

บทที่ 6

สรุปผลผลิตงานวิจัย

6.1 สรุปรายชื่อและรายละเอียดผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้

ผลงาน	รายละเอียด	จำนวน	วัน/เดือน/ปี
1. การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ(Publications)			
ระดับนานาชาติ			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ การประชุม / สัมมนา ระดับนานาชาติ (International Conference) 	The 7th International Conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development (7th ICIST)	1	27-28/11/2018
<ul style="list-style-type: none"> ▪ วารสาร ระดับนานาชาติ (International Journal) 	International Journal of Agricultural Technology	1	ปีที่ 14 (ฉบับที่ 7): 2018
ระดับชาติ			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ วารสาร ระดับชาติ (National Journal) 			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ การประชุม / สัมมนา ระดับชาติ (National Conference) 			
2. การผลิตบัณฑิต			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ ป.ตรี/โท/เอก 	ปริญญาโท	1	2562
3. ต้นแบบ กระบวนการระดับของต้นแบบ ดังนี้			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ พร้อมใช้ (ผลิตภัณฑ์) (Product) 			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ ระดับภาคสนาม (Field Prototype) 			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ ระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Prototype) 			
4. ทรัพย์สินทางปัญญา (Intellectual Property)			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ สิทธิบัตร (Patent) 			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ อนุสิทธิบัตร (Petty Patent) 			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ ลิขสิทธิ์ เช่น ซอฟต์แวร์ 			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ เครื่องหมายทางการค้า (Trademark) 			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม


- กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2561. การเตรียมดินปลูกมันสำปะหลัง. [Online]. เข้าถึงได้จาก:
<http://www.most.go.th/main/th/>
- กรมวิชาการเกษตร. 2545. คำแนะนำปุ๋ยมันสำปะหลัง. [Online]. เข้าถึงได้จาก:
<http://www.doa.go.th/main/>
- จรุงสิทธิ์ ลิ้มศิลา และ อัจฉรา ลิ้มศิลา. 2547. ประวัติ และความสำคัญ. เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง.
กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. น.1-7
- ชยพร แอคะรัตน์. 2558. สภาพแวดล้อมและการเขตกรรมมันสำปะหลัง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
<https://www.gotoknow.org/posts/298494>
- ธีระ สมหวัง. 2550. มันกินสด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
http://www.eto.ku.ac.th/magazine/y52vol_2/p23_28.pdf
- วิทยากรณ์ วงษ์บำรุง สุภิมา ณะจิตต์ สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม และวราชาติ วิชาพิพัฒน์. 2559. การ
ตอบสนองของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ต่ออัตราปุ๋ยเคมีในชุดดินยโสธร. เกษนเกษตร 44
(4): 585-594
- สมาคมการค้ามันสำปะหลัง. 2560. การนำเข้า-ส่งออกมันสำปะหลัง. [Online]. เข้าถึงได้จาก:
<http://www.ttta-tapioca.org/>
- สมาคมการค้ามันสำปะหลัง. 2561. ภาวะการผลิตมันสำปะหลัง. [Online]. เข้าถึงได้จาก:
<http://www.ttta-tapioca.org/>
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2560. แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม
แห่งชาติ ฉบับที่สิบสอง พ.ศ. ๒๕๖๐ – ๒๕๖๔. [Online]. เข้าถึงได้จาก:
https://www.nesdb.go.th/ewt_dl_link.php?nid=6422
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. 2556. มันสำปะหลัง. [Online]. เข้าถึงได้จาก:
<http://www.arda.or.th/>
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2561. การปลูกมันสำปะหลัง. [Online]. เข้าถึงได้
จาก: <http://www.acfs.go.th/foodsafety/acfs.php>
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. ข้อมูลการผลิตสินค้าการเกษตร. [Online]. เข้าถึงได้จาก:
<http://www.oae.go.th/download/prcai/DryCrop/amphoe/casava-amphoe58.pdf>
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. สถิติการนำเข้า-ส่งออกข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร. [Online].
เข้าถึงได้จาก : http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export.php

- สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2559. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง. [Online]. 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, Academic Journals*: 547-551.
- Barczak, B. and Nowak, K. 2014. Effect of sulphur fertilization on the content of macroelements and their ionic ratios in potato tubers. *Journal of Elementology, Agrochimica*: 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*: 70-75
- Blin, H. 1905. La fumure du manioc (Cassava fertilization). *Bulletin Economique de Madagascar* 3: 419-421.
- Bryson, G.M. and Mills, H.A. (2015). Nitrogen (N) and Potassium (K). In: Bryson, G.M. and Mills, H.A. eds. *Plant Analysis Handbook IV*, Athens, Georgia: 62-103.
- Cardoso, J., Santos D. S., Silveira, V., Anselmo, E., Matsumoto, S. N., Sedyama, T., Carvalho, F. M. 2005. Effect of nitrogen in the agronomic characteristics of cassava, *Bragantia* 64:651-659.
- 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, Academic journal*: 3112-3119
- Eriksen, J. 2008. Soil sulfur cycling in temperate agricultural systems. In: *Sulfur: a missing link between soils, crops, and nutrition*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison: 25-44.
- Food and Agriculture Organization of the United Nation. 2017. Cassava production situation. In. *Food Outlook Biannual Report on Global Food Markets*, FAO, 20-27.
- 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.

- Howeler, R.H. 1985. Mineral nutrition and fertilization of cassava. Colombia: United Nations Development Programme (UNDP). 249–320.
- Howeler, R.H. 2014. Sustainable Soil and Crop Management of Cassava in Asia. Centro Internacional de Agricultura Tropical International Center for Tropical Agriculture. CIAT Publication, Vietnam.
- 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, G-Science Implementation: 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. The Korean Society of Crop Science, Gyeonggi-do: 340-345.
- Jamal, A., Moon, Y.S., and Abdin, M.Z. 2010. Sulphur -a general overview and interaction with nitrogen. Australian Journal of Crop Science, Southern Cross: 523-529
- 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. In: Howeler RH, ed. Proceedings of the 8th Symposium of the International Society of Tropical Root Crops, held in Bangkok, Thailand: 259–269.
- Laghari, 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, American-Eurasian Network for Scientific Information Publications: 209-218
- Li, W., Shan, Y., Xiao, X., Zheng, J., Luo, Q., Ouyang, S. and Zhang, G. 2010. 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: 2418-2425.
- Lozano, J.C., Bellotti, A., Reyes, J.A., Howeler, R., Leihner, D., and Doll, J. 1981. Field problems in cassava. Cali, Colombia. 205.

- Obigbesan GO. 1973. The influence of potassium nutrition on the yield and chemical composition of some tropical root and tuber crops. Colloquium International Potash Institute: 439–451.
- Pal, M., Rao, L.S., Jain, V., Srivastava, A.C., Pandey, R. and Singh, K.P. 2005. Effects of elevated CO₂ and nitrogen on wheat growth and photosynthesis. *Biologia Plantarum*, Springer: 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.). *Pharmacognosy and Phytochemistry, Society of Pharmacognosy and Phytochemistry*: 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, Elsevier*: 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, Taylor & Francis Group, LLC*: 211–219(402).
- 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, Elsevier*: 255-259
- Rietraa, 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, Taylor & Francis Group, LLC*: 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, Taylor & Francis Group, LLC*: 1446-145.
- Sen, S., Smith, M.E. and Setter T. 2015. Effects of low nitrogen on chlorophyll content and dry matter accumulation in maize. *African Journal of Agricultural Research, Academic journal*: 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, Elsevier*: 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, Elsevier: 171–178
- Sullivan, J.N. (2010). Nutrient deficiencies: 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*: 160–172
- Wang, K. and Xing Y. 2018. Effects of Irrigation and Nitrogen on Maize Growth and Yield Components. *Plant and Soil*, Springer International Publishing: 63-74
- 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 in Uyo, Nigeria, *The Journal of Animal and Plant Sciences*: 550-555.
- Zhao, D., Reddy, K.R., Kakania, V.G. and Reddy, V.R. 2005. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *European Journal of Agronomy*, Elsevier: 391-403.



ภาคผนวก ก
การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียม ต่อการเจริญเติบโตและดูด
ใช้ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในแผ่นใบทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	N (g/100g)		P (g/100g)		K (g/100g)		S (g/100g)		Ca (g/100g)		Mg (g/100g)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	2.5247b	0.0426	0.2672a	0.011	0.9855	0.041	0.2253b	0.0060	2.1035	0.0812	0.6957	0.0122
N2	2.7090a	0.0541	0.2130b	0.006	1.0658	0.071	0.2580a	0.0126	2.0370	0.0958	0.6822	0.0158
N3	2.7893a	0.0644	0.1896b	0.009	1.1130	0.095	0.2685a	0.0091	2.1370	0.0875	0.7034	0.0215
Potassium (K)												
K1	2.6185	0.0371	0.2203	0.011	0.9798	0.04	0.2505	0.0116	2.1429	0.0844	0.6957	0.0145
K2	2.7031	0.0710	0.2292	0.011	1.0653	0.075	0.2530	0.0118	2.0405	0.1040	0.6888	0.0205
K3	2.7014	0.0734	0.2304	0.016	1.1364	0.092	0.2483	0.0098	2.0584	0.0721	0.7167	0.0146
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 2 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในแผ่นใบทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยในโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Fe (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Zn (mg/kg)		B (mg/kg)		Mo (mg/kg)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	101.44b	8.90	358.79	34.74	3.62	0.17	64.95a	7.51	122.96	5.61	4.93a	0.28
N2	120.92b	18.24	318.50	27.66	3.31	0.17	54.53ab	5.55	121.41	6.19	3.59b	0.15
N3	173.93a	23.06	315.39	28.54	3.23	0.12	45.74b	2.96	118.91	6.45	3.48b	0.36
Potassium (K)												
K1	93.65B	14.91	322.30	32.74	3.39	0.17	49.89	2.27	123.13	7.57	3.83	0.22
K2	155.94A	18.18	350.58	30.36	3.36	0.15	54.88	5.90	120.60	4.88	3.86	0.36
K3	152.13A	20.93	319.80	29.08	3.41	0.17	60.46	8.23	119.56	5.51	4.31	0.40
F-test												
N	*		ns		ns		*		ns		*	
K	*		ns		ns		ns		ns		ns	
N×K	ns		ns		ns		*		*		ns	
%CV	35.90		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 3 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในก้านใบ+ต้นของมันสำปะหลังภายใต้อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	N (g/100g)		P (g/100g)		K (g/100g)		S (g/100g)		Ca (g/100g)		Mg (g/100g)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	0.1115	0.01	0.3567a	0.01	1.6464a	0.0829	0.11	0.01	1.21	0.0349	0.3215	0.01
N2	0.1081	0.01	0.2221b	0.01	1.4144ab	0.1234	0.11	0.01	1.13	0.0552	0.3148	0.02
N3	0.1064	0.01	0.1569c	0.01	1.3577b	0.1477	0.11	0.01	1.00	0.0316	0.3418	0.02
Potassium (K)												
K1	0.1051	0.01	0.2357	0.03	1.0800B	0.1022	0.11	0.01	1.11	0.0421	0.3837A	0.01
K2	0.1086	0.01	0.2528	0.03	1.5985A	0.0838	0.11	0.01	1.18	0.0597	0.3029B	0.01
K3	0.1051	0.01	0.2472	0.03	1.7400A	0.0935	0.11	0.01	1.05	0.0339	0.2914B	0.01
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 4 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในก้านใบ+ต้นของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Fe (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Zn (mg/kg)		B (mg/kg)		Mo (mg/kg)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	144.98	16.85	326.42a	10.87	2.89a	0.10	25.64	2.51	17.5	1.81	3.85a	0.39
N2	184.04	23.11	212.28ab	11.76	2.58b	0.10	24.26	2.11	15.81	0.81	2.93ab	0.29
N3	133.57	10.33	186.86b	6.82	2.58b	0.05	23.54	3.12	14.84	1.46	2.49b	0.25
Potassium (K)												
K1	181.72	23.24	220.15	12.07	2.74	0.10	23.43	2.05	17.04	1.85	2.95	0.45
K2	141.88	14.22	219.8	12.72	2.55	0.08	21.87	1.12	15.69	1.62	3.04	0.28
K3	146.34	12.74	195.6	8.43	2.75	0.09	28.14	3.64	15.41	0.49	3.28	0.30
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 5 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในเหง้าของมันสำปะหลังภายใต้การปลูกในโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	N (g/100g)		P (g/100g)		K (g/100g)		S (g/100g)		Ca (g/100g)		Mg (g/100g)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	0.5131c	0.01	0.1345a	0.00	0.9891	0.04	0.0935	0.00	0.6570	0.02	0.1884	0.01
N2	0.5572b	0.01	0.1323a	0.01	1.0562	0.06	0.1034	0.00	0.6983	0.06	0.1868	0.01
N3	0.6118a	0.01	0.1119b	0.00	1.0545	0.07	0.1020	0.00	0.7031	0.03	0.1915	0.02
Potassium (K)												
K1	0.5599	0.02	0.1222	0.01	0.8394B	0.04	0.0949	0.00	0.7603	0.06	0.2123A	0.01
K2	0.5569	0.02	0.1338	0.01	1.0872A	0.04	0.1028	0.00	0.6500	0.02	0.1804B	0.01
K3	0.5653	0.02	0.1226	0.00	1.1731A	0.05	0.1011	0.00	0.6482	0.02	0.1740B	0.01
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 6 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในเหง้าของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Fe (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Zn (mg/kg)		B (mg/kg)		Mo (mg/kg)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	41.24b	4.12	57.35	2.19	2.1428	0.08	15.87	1.04	9.2353	0.20	3.1774	0.21
N2	66.80b	10.56	65.92	8.78	2.2158	0.10	15.28	0.56	8.7952	0.36	3.0818	0.18
N3	103.07a	17.34	74.59	8.49	2.136	0.06	15.11	1.05	9.3029	0.40	3.6138	0.23
Potassium (K)												
K1	100.30A	15.98	79.14	10.54	2.1147	0.05	15.08	0.73	8.8894	0.34	3.1402	0.20
K2	62.29B	14.85	61.58	5.00	2.0741	0.08	15.24	1.03	9.0380	0.28	3.2958	0.19
K3	52.29B	9.74	57.14	2.60	2.3058	0.09	15.94	0.95	9.4060	0.36	3.4402	0.26
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 7 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในรากของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	N (g/100g)		P (g/100g)		K (g/100g)		S (g/100g)		Ca (g/100g)		Mg (g/100g)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	1.3066	0.03	1.0342a	0.05	3.9575a	0.26	0.7916	0.02	0.9815	0.07	0.8161c	0.06
N2	1.3690	0.06	0.2908b	0.02	3.0184b	0.39	0.8540	0.04	0.8495	0.02	1.0593b	0.12
N3	1.4181	0.04	0.1661c	0.00	2.4968b	0.42	0.8631	0.03	0.8196	0.04	1.1871c	0.10
Potassium (K)												
K1	1.3466	0.04	0.5104	0.13	1.8181C	0.36	0.8552	0.02	0.8989	0.04	1.4220A	0.09
K2	1.3282	0.03	0.5091	0.12	3.4850B	0.21	0.8152	0.04	0.8793	0.07	0.9056B	0.05
K3	1.4191	0.06	0.4717	0.10	4.1696A	0.25	0.8377	0.03	0.8723	0.05	0.7366C	0.03
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 8 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในรากของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Fe (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Zn (mg/kg)		B (mg/kg)		Mo (mg/kg)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	280.08	43.09	1408.6	61.36	11.013	1.67	194.12a	21.36	16.48	0.3708	23.88	2.33
N2	354.61	37.75	1467.0	85.55	8.987	0.86	126.64b	6.83	16.79	0.5636	23.59	2.10
N3	336.63	40.06	1523.5	70.90	8.654	0.54	135.46b	11.57	17.85	0.6879	22.02	2.05
Potassium (K)												
K1	279.86B	36.73	1516.5	51.63	9.991	1.57	138.73	14.29	16.98	0.3823	18.90B	1.36
K2	303.51B	14.97	1446.9	93.68	8.555	0.56	151.33	8.85	17.15	0.7356	23.63AB	1.94
K3	403.00A	51.04	1435.8	70.16	10.108	1.10	166.19	23.76	16.98	0.5770	26.97A	2.37
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 9 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในหัวของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	N (g/100g)		P (g/100g)		K (g/100g)		S (g/100g)		Ca (g/100g)		Mg (g/100g)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	0.4734b	0.018	0.1593a	0.004	1.0386	0.054	0.0808	0.004	0.3777a	0.039	0.0707b	0.003
N2	0.5005ab	0.022	0.1341b	0.005	0.9768	0.058	0.0803	0.004	0.2538b	0.031	0.0707b	0.002
N3	0.5271a	0.012	0.1193c	0.004	0.9311	0.068	0.0879	0.004	0.2586b	0.035	0.0812a	0.005
Potassium (K)												
K1	0.4707B	0.014	0.1293B	0.007	0.7657C	0.039	0.0819	0.004	0.2702	0.034	0.0812A	0.006
K2	0.5044AB	0.018	0.1403AB	0.005	1.0118B	0.033	0.0834	0.004	0.3042	0.044	0.0683B	0.002
K3	0.5258A	0.020	0.1431A	0.006	1.1589A	0.040	0.0837	0.004	0.3157	0.038	0.0729AB	0.002
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 10 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในหัวของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน

Factor	Fe (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Zn (mg/kg)		B (mg/kg)		Mo (mg/kg)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	68.70	3.81	41.94a	2.07	1.8743a	0.12	13.56	0.88	6.2846	0.38	5.4970	3.13
N2	64.03	2.38	33.69b	1.41	1.4649b	0.07	12.75	0.60	6.1301	0.49	1.4730	0.13
N3	79.81	3.57	34.13b	1.67	1.3847b	0.06	12.35	0.54	6.0955	0.19	1.3610	0.08
Potassium (K)												
K1	64.67	2.44	35.04	2.16	1.5362	0.09	11.47B	0.41	5.5939B	0.29	1.5820	0.15
K2	65.29	4.36	37.35	1.62	1.5254	0.05	13.13AB	0.58	6.8893A	0.39	4.8340	3.19
K3	79.94	2.72	37.37	2.32	1.6622	0.15	14.05A	0.82	6.0270AB	0.33	1.9130	0.26
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 ข

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างไนโตรเจนและกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโตและดูดีใช้
ธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 11 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในแผ่นใบทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	N (g/100g)		P (g/100g)		K (g/100g)		S (g/100g)		Ca (g/100g)		Mg (g/100g)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	2.5949c	0.043	0.2539a	0.009	1.1113	0.043	0.2344b	0.004	2.1099	0.086	0.6964	0.026
N2	2.7503b	0.083	0.1982b	0.005	1.0796	0.063	0.2451b	0.005	2.1326	0.095	0.7039	0.023
N3	2.9131c	0.079	0.1879b	0.004	1.2157	0.061	0.2608a	0.006	1.9332	0.039	0.6819	0.015
Sulfur(S)												
S1	2.7772	0.067	0.2117	0.009	1.1108	0.041	0.2443	0.004	2.0590	0.073	0.6871	0.019
S2	2.7575	0.102	0.2210	0.012	1.1584	0.068	0.2433	0.007	2.1288	0.107	0.7271	0.028
S3	2.7238	0.106	0.2107	0.011	1.1394	0.064	0.2528	0.009	1.9766	0.046	0.6733	0.015
F-test												
N	**		**		ns		**		ns		ns	
S	ns		ns		ns		ns		ns		ns	
N×S	ns		ns		ns		ns		ns		ns	
%CV	6.10		10.85		18.30		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 12 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในแผ่นใบทั้งหมดของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Fe (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Zn (mg/kg)		B (mg/kg)		Mo (mg/kg)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	132.55	11.64	283.73	32.33	3.97	0.11	79.76	7.61	116.81	6.14	4.63	0.50
N2	97.16	14.20	302.08	29.85	3.74	0.19	73.19	4.79	121.42	3.51	3.99	0.45
N3	135.93	11.10	210.79	13.04	3.54	0.13	65.68	6.33	129.88	2.85	3.81	0.34
Sulfur(S)												
S1	119.88	9.63	256.38	30.78	3.65	0.11	70.32	5.35	122.31	3.60	5.4A	0.37
S2	125.80	11.88	288.81	32.13	3.72	0.18	69.52	5.68	121.08	5.06	3.89B	0.40
S3	123.83	14.88	251.41	21.80	3.87	0.16	78.79	8.02	124.72	5.20	3.15B	0.26
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 13 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในก้านใบ+ต้นของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	N (g/100g)		P (g/100g)		K (g/100g)		S (g/100g)		Ca (g/100g)		Mg (g/100g)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	0.0972	0.039	0.3375a	0.012	1.4986a	0.053	0.0972	0.004	1.2847	0.042	0.3514	0.009
N2	0.0991	0.050	0.2076b	0.015	1.4476a	0.075	0.0991	0.006	1.2323	0.114	0.3245	0.014
N3	0.0964	0.048	0.1460c	0.008	1.2540b	0.039	0.0965	0.007	1.0866	0.050	0.3451	0.010
Sulfur(S)												
S1	0.0958	0.036	0.2279	0.030	1.4048	0.065	0.0959	0.006	1.1513	0.042	0.3379	0.009
S2	0.0951	0.068	0.2361	0.024	1.4396	0.068	0.0951	0.006	1.2262	0.076	0.3500	0.010
S3	0.1018	0.070	0.2271	0.026	1.3558	0.063	0.1018	0.005	1.2260	0.106	0.3330	0.014
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 14 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในก้านใบ+ต้นของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Fe (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Zn (mg/kg)		B (mg/kg)		Mo (mg/kg)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	326.4	35.95	244.76	10.38	3.3830	0.16	26.76	2.73	14.66	1.16	4.81	0.95
N2	206.81	36.18	222.63	20.21	3.4109	0.23	24.27	1.43	13.68	1.13	4.25	0.95
N3	248.44	36.27	194.02	12.17	3.2549	0.22	25.82	1.91	12.46	0.93	5.09	0.93
Sulfur(S)												
S1	234.55	30.93	201.30	11.94	3.2811	0.17	26.58	1.31	13.34	1.17	4.87	0.93
S2	294.94	34.42	234.21	10.35	3.4131	0.21	23.59	1.53	13.94	0.96	4.31	0.83
S3	232.39	42.38	225.90	21.88	3.3545	0.24	26.68	2.96	13.51	1.19	4.97	1.06
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 15 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในเหง้าของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	N (g/100g)		P (g/100g)		K (g/100g)		S (g/100g)		Ca (g/100g)		Mg (g/100g)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	0.5266b	0.004	0.1205a	0.004	0.9535	0.034	0.1003	0.003	0.6788	0.045	0.1916	0.008
N2	0.5946a	0.006	0.1180a	0.007	0.9372	0.038	0.1006	0.003	0.6242	0.018	0.1873	0.006
N3	0.6209a	0.007	0.1018b	0.004	0.8801	0.023	0.0985	0.003	0.6363	0.017	0.2023	0.006
Sulfur(S)												
S1	0.5821	0.006	0.1099	0.007	0.9106	0.030	0.0988	0.003	0.6352	0.020	0.1956	0.007
S2	0.5678	0.006	0.1171	0.004	0.9102	0.035	0.0975	0.002	0.6507	0.044	0.1955	0.008
S3	0.5921	0.005	0.1132	0.006	0.9500	0.034	0.1031	0.003	0.6534	0.020	0.1902	0.006
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 16 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในเหง้าของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Fe (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Zn (mg/kg)		B (mg/kg)		Mo (mg/kg)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	48.85	32.59	65.76	4.10	2.6980	0.12	16.05	0.74	9.3696	0.36	2.6568	0.22
N2	78.91	13.24	59.01	2.97	2.6329	0.12	15.34	0.79	8.9977	0.16	2.8786	0.16
N3	47.69	10.82	60.75	7.21	2.6572	0.09	16.46	0.77	9.3765	0.26	2.3579	0.15
Sulfur(S)												
S1	45.92B	17.81	64.23	7.24	2.6959	0.11	16.14	0.89	8.9194	0.25	2.8231	0.16
S2	83.56A	31.30	62.54	4.40	2.5079	0.09	15.22	0.57	9.4264	0.33	2.6575	0.25
S3	46.02B	6.61	58.74	2.58	2.7843	0.11	16.50	0.79	9.3980	0.21	2.4127	0.11
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 17 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในรากของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยในโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	N (g/100g)		P (g/100g)		K (g/100g)		S (g/100g)		Ca (g/100g)		Mg (g/100g)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	1.3514b	0.02	0.9681a	0.13	3.7567a	0.17	0.8768	0.03	0.8672	0.05	0.7991c	0.03
N2	1.4702a	0.03	0.3108b	0.05	3.6387a	0.19	0.9256	0.05	0.794	0.04	0.9137b	0.03
N3	1.4997a	0.03	0.1760b	0.01	2.5653b	0.18	0.9365	0.06	0.7621	0.04	1.1367a	0.05
Sulfur(S)												
S1	1.4379	0.04	0.5494	0.17	3.3361	0.27	0.7568C	0.02	0.8135	0.04	0.9756	0.05
S2	1.4396	0.02	0.4703	0.11	3.1932	0.24	0.9018B	0.02	0.8853	0.05	0.9779	0.06
S3	1.4438	0.04	0.4351	0.11	3.4062	0.19	1.0803A	0.04	0.7244	0.04	0.8959	0.05
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 18 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในรากของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Fe (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Zn (mg/kg)		B (mg/kg)		Mo (mg/kg)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	72.27	47.19	1113.7b	58.44	9.06	0.28	265.66a	18.12	17.10	0.42	30.51	2.31
N2	89.76	46.87	1370.6a	52.88	10.42	1.27	219.34ab	19.57	16.60	0.66	27.92	1.20
N3	90.91	55.07	1455.0a	104.97	8.22	0.35	169.90b	13.32	16.43	0.81	26.53	2.14
Sulfur(S)												
S1	74.20	42.52	1201.7	53.37	8.47	0.36	227.11	23.74	16.35	0.64	26.99	1.49
S2	95.21	65.92	1348.4	102.38	10.14	1.28	233.75	13.11	17.03	0.75	30.06	2.66
S3	84.66	31.66	1388.2	88.95	9.08	0.38	194.05	22.09	16.76	0.55	27.91	1.52
F-test												
N	ns		**		ns		**		ns		ns	
S	ns		ns		ns		ns		ns		ns	
N×S	*		ns		ns		ns		ns		ns	
%CV	28.85		18.9		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 19 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองในหัวของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	N (g/100g)		P (g/100g)		K (g/100g)		S (g/100g)		Ca (g/100g)		Mg (g/100g)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	0.4639b	0.040	0.1582a	0.004	1.3419a	0.059	0.0793	0.008	0.3190	0.036	0.0738b	0.003
N2	0.5150ab	0.047	0.1393b	0.005	1.3463a	0.045	0.0888	0.009	0.3393	0.038	0.0841a	0.003
N3	0.5330a	0.025	0.1219c	0.004	1.1676b	0.038	0.0853	0.004	0.3151	0.050	0.0890a	0.002
Sulfur(S)												
S1	0.4851	0.057	0.1350	0.006	1.3152	0.035	0.0777	0.009	0.3772	0.049	0.0809	0.003
S2	0.5248	0.023	0.1473	0.007	1.2761	0.060	0.0912	0.005	0.3100	0.039	0.0864	0.004
S3	0.5013	0.020	0.1370	0.006	1.2645	0.063	0.0835	0.003	0.2863	0.032	0.0795	0.003
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 20 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในหัวของมันสำปะหลังภายใต้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนและกำมะถันที่แตกต่างกัน

Factor	Fe (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Zn (mg/kg)		B (mg/kg)		Mo (mg/kg)	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)												
N1	39.52	5.9663	36.34a	2.2244	1.7769a	0.1425	14.68	0.5377	6.5231	0.4174	1.8559	0.2279
N2	43.21	4.6174	35.05ab	1.1368	1.4973ab	0.0438	13.57	0.5385	6.2221	0.3507	1.7381	0.2068
N3	42.01	3.9029	33.55b	1.3533	1.2143b	0.0738	13.95	0.4859	6.0429	0.3698	1.3498	0.1457
Sulfur(S)												
S1	34.70	1.8380	35.13	1.2730	1.4203	0.0885	13.13B	0.4505	6.0079	0.3611	1.9738	0.1964
S2	41.12	4.5708	38.79	2.3114	1.5189	0.1187	14.04AB	0.4559	5.8201	0.2694	1.6484	0.2481
S3	48.92	6.2699	34.01	1.2667	1.5493	0.1390	15.06A	0.5416	6.9602	0.4169	1.3216	0.0961
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 $p \leq 0.05$

ภาคผนวก ค

หลักฐานเอกสารผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้

- 1) หนังสือรับรองการนำเสนอผลงานในงาน The 7th International Conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development (7th ICIST)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ผลงานที่เผยแพร่ในวารสาร International Journal of Agricultural Technology ปีที่ 14 (ฉบับที่ 7)

หน้า 2137-2150

International Journal of Agricultural Technology 2018 Vol. 14(7): 2137-2150
Available online <http://www.ijat-aatsea.com>
ISSN: 2630-0613 (Print) 2630-0192 (Online)

Effects of interaction between nitrogen and potassium on the growth and yield of cassava

Thummanatsakun, V. and Yampracha, S.*

Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

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

Abstract Nitrogen and potassium are necessary nutrients for cassava and are generally deficient in soil, particularly nitrogen. High nitrogen fertilizer applications may induce greater a potassium requirement. The results showed that increasing nitrogen rates significantly increased plant height, SPAD value of the upper and lower leaf, the fresh and dry weight of leaf blade, stem+petiole, tuber and total weight. Increasing potassium rates was decreased the SPAD value of lower leaves. Nitrogen uptake in OSC and tuber was significantly affected by interaction between N and K, but N uptake in the leaf blade and the total N uptake were affected by increasing N rates. Potassium uptake in tuber and total K uptake were significantly affected by interaction between N and K but K uptake in stem+petiole and OSC affected by increasing K rates. Furthermore, the total uptake of N and K gave a high positive correlation with the fresh and dry weight of all plant parts except OSC. The correlation coefficient between uptake N and K in the leaf blade, stem+petiole, OSC, and tuber were 0.85**, 0.83**, 0.35* and 0.87**, respectively.

Keywords: cassava, nitrogen, potassium, interaction

Introduction

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is the fifth most important food crop in the world (Somwhang, 2007) and is a major food crop in tropical countries in Africa, America and Asia. Global cassava production in 2016 was 202.65 million tonnes (Food Intelligence Center Thailand, 2016). Cassava is the fourth most abundant crop in Thailand after rice, rubber and sugarcane, respectively. Approximately 31.16 million tonnes of cassava products were exported from Thailand in 2016, equal to 14.86% of total world cassava production (Food Intelligence Center Thailand, 2016). Around one and a half million hectares of agricultural area is used for cassava cultivation in Thailand (Office of Agricultural Economics, 2017) and most of the soil used is a coarsely textured with low fertility. Moreover, repeated cassava cultivation in low fertility soil may decrease soil nutrients, meaning that fertilizer is necessary to increase yield and maintain soil fertility.

* Coressponding Author: Yampracha, S.; Email: sukunya.ya@kmitl.ac.th

Nitrogen (N) and potassium (K) are required nutrients for cassava and are always deficient in the coarse-textured soils that are most commonly used for cassava cultivation in Thailand. Nitrogen is an essential component of protein, chlorophyll, enzymes, hormones, and vitamins. It's also essential for cyanogenic glycosides linamarin and lotaustralin which produce hydrocyanic acid (HCN) when cells are damaged (Howeler, 2014). Cardoso *et al.* (2005) showed that nitrogen is a necessary nutrient for tuber crops. Sangakkara and Wijesinghe (2014) reported that applying nitrogen fertilizer increased root numbers and yield. Meanwhile, Howeler (2014) found that nitrogen deficiencies in cassava reduced plant growth and yield. Potassium plays an important role in metabolism, stimulates net photosynthetic activity, and increases the translocation of photosynthates to tuberous roots (Howeler, 2014).

It is well known that N and K have synergistic interactions (Rietra *et al.*, 2015). Baligar *et al.* (2001) observed the synergetic effect between nitrogen and potassium in plant tissue, finding that low applications of N resulted in low plant tissue potassium concentration, while high applications of N resulted in high potassium concentration. Johnston and Milford (2012) reported that yield responses to applied N fertilizer decreased when the exchangeable K content of a soil is below a critical target level. In addition, the application of high N fertilizer rate at high K rates increased the yields of spring barley, potatoes, winter wheat and maize (Stromberger *et al.*, 1994; Johnston and Milford, 2012). Nevertheless, there is less information on the interaction between nitrogen and potassium on cassava growth and yields. The objective of this study was therefore to study the interaction effects between nitrogen and potassium on the growth of cassava.

Materials and methods

Experimental set up

The experiment was conducted in a greenhouse at the Faculty of Agriculture at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang in Bangkok, Thailand from July 7, - October 22, 2017. The cassava stem cutting, Kasetsart 50 (KU50) cultivar was planted in 37 liter pots. Uniform cassava stems were selected before cutting them to 25 cm and immersing them in 2% thiamethoxam for 30 minutes before planting to prevent Mealybug damage. The pots were filled with 3 cm³ sponges and the cassava stem cuttings were individually planted in them. Each pot was provided with an individual supply of water and nutrient solutions by a drip irrigation system throughout the 108-day experiment period. The 108-days experiment period enough for study effect of plant nutrient on cassava growth (Howeler, 2014).

The experimental design was a 3×3 factorial arrangements in randomized complete block design (RCBD) with 4 replications. Three

different nitrogen rates consisting of 500 (N1), 1000 (N2) and 1500 (N3) $\mu\text{mol/L}$ combined with three different potassium rates consisting of 500 (K1), 1000 (K2) and 1500 (K3) $\mu\text{mol/L}$ were used. Other nutrients were also provided to all the treatments (Table 1) and the concentration of the other nutrient solutions were adequate for cassava growth, based on the experiment in Howeler *et al.* (1981). The nutrient solution concentration was maintained every two weeks by adding new solution which was collected to measure pH, electric conductivity (EC) and nutrient concentrations a day after replacement. Nutrient solution pH and EC was maintained at 5.96 - 6.04 and 0.64 – 1.04 mS/cm, respectively during the experiment.

Samples collection and analysis

The height and SPAD values of the upper and lower leaves were determined every week after planting. One hundred and eight days after planting, the cassava plants were collected and separated into four parts i.e. leave blades, stem, original stem cutting (OSC) and tuber. All plant parts were washed with distilled water, half-dried, and then dried at 70° C for 48 hours, or until the weight of the plant was constant. Plant samples were ground, and the total nitrogen content was analyzed by a CNS analyzer (LECO, TruMac CNS analyzer) (LECO Corporation, 2016). The total potassium in the plant samples was measured by dissolving plant ash residue in aqua regia after drying the ash at 550 °C for 5 hours (Bryson and Mill, 2015). The total potassium was determined by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (Perkin, Optima 4300DV) (Chongpradithnun, 2001). Nitrogen and potassium uptakes were calculated by multiplying the dry weight with total nitrogen and total potassium concentration in each plant part.

Table 1. Concentration and source of the plant nutrients solution

No.	nutrients	concentration ($\mu\text{mol/L}$)	source
1	Nitrogen (N)	depend on treatment	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
2	Phosphorus (P)	100	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
3	Potassium (K)	depend on treatment	K_2SO_4 , KCl
4	Sulfur (S)	500	Na_2SO_4
5	Magnesium (Mg)	200	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
6	Calcium (Ca)	825	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
7	Iron (Fe)	20.0	Fe-EDTA
8	Zinc (Zn)	0.50	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
9	Manganese (Mn)	2.00	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
10	Copper (Cu)	0.10	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$
11	Nickel (Ni)	0.02	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
12	Molybdenum (Mo)	0.02	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
13	Boron (B)	3.00	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Source: Howeler *et al.* (1981)

Data analysis

The analysis of variance (ANOVA) was measured by statistical package and determined the mean significant difference at a 0.05 significance level using Duncan's multiple range test (DMRT). Total N was related to total K to determine the correlation coefficient between both nutrients at a 0.05 significance level. Total N and total K in all plant parts were also correlated with fresh and dry weight at a 0.05 significance level.

Results

Effect of nitrogen and potassium on cassava growth

The results showed that the different nitrogen rates affected the cassava height (Figure 1) which with increased rates of N. The maximum cassava height in the N3 treatment was 206.92 cm, followed by N2 and N1 at 185.58 and 147.67 cm, respectively. Meanwhile, there was no significant difference of cassava height under the different potassium rates.

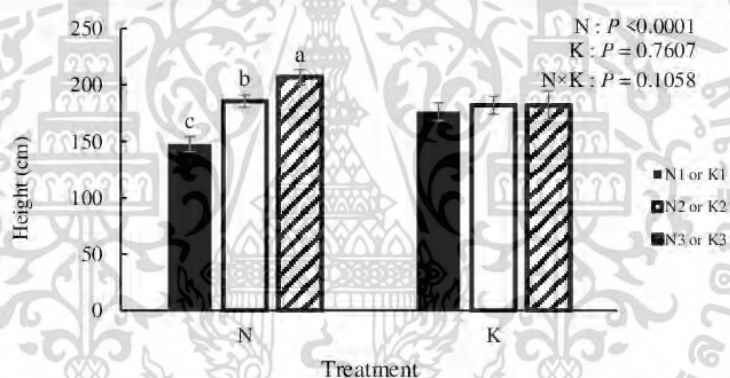


Figure 1. Height of cassava at 108 days after planting, as affected by three nitrogen rates (N1, N2, and N3) combined with three potassium rates (K1, K2, and K3). Statistical comparisons between the treatments are presented for each variable which are indicated by the different letter on the bar. Error bars indicate the standard error of mean (S.E.). ns: not significant, * and ** significance at $P < 0.05$ and 0.01 levels, respectively

The different nitrogen rates affected the SPAD values in the upper and lower cassava leaves (Table 2). The SPAD values in the upper leaves of N1 were the lowest and significantly different to N2 and N3, with SPAD values at 38.04, 41.31 and 42.34, respectively. SPAD values in the lower leaves of N3 were the highest with a value of 34.64, which was significantly different to N1 and N2 with values of 30.39 and 32.09, respectively (Table 2). By

2140

contrast, different potassium rates were not found to affect the SPAD values in the upper cassava leaves. However, the SPAD values of the lower leaves in K3 were the lowest and were significantly differed from K2 (Table 2). Nonetheless, no interactive effect was found between nitrogen and potassium rates on the SPAD values in both the upper and lower leaves.

Table 2. SPAD value in the upper and lower cassava leaves at 108 days after planting, as affected by three nitrogen rates (N1, N2, and N3) combined with three potassium rates (K1, K2, and K3)

Factor	SPAD value			
	Upper leave		Lower leave	
	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)				
N1	38.04b	0.56	30.39b	0.60
N2	41.31a	0.39	32.09b	0.57
N3	42.34a	0.42	34.64a	1.10
Potassium (K)				
K1	40.94	0.59	32.13AB	0.58
K2	40.82	0.53	33.75A	1.17
K3	39.92	0.93	31.23B	0.86
F-test				
N	**		**	
K	ns		*	
N×K	ns		ns	
CV (%)	3.70		7.30	

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 column of each factor are not significantly different at $p \leq 0.05$.

The fresh and dry weights responded to the different N and K rates similarly (Table 3 and 4). Increased nitrogen rates had a highly significant increase to the fresh and dry weights of stem+petio, tuber and total weight (Table 3 and 4). The total fresh weights of N1, N2 and N3 were 451.00, 749.90 and 900.62 g/plant, respectively (Table 3), while the total dry weights were 190.26, 279.00 and 321.86 g/plant, respectively (Table 4). The fresh and dry weights of the leaf blades of N1 were the lowest and significantly different in comparison to N2 and N3. The values of N1, N2 and N3 were 78.80, 153.10 and 146.67 g/plant, respectively for fresh weight (Table 3), while 17.59, 32.55 and 41.32 g/plant, respectively for dry weight (Table 4). However, the fresh and dry weights of OSC were not significantly different (Table 3 and 4). The different potassium rates were not found to affect either the fresh or and dry weights of all the plant parts. The interaction between N and K rates was found only in the fresh weight of leaf blades, where the fresh weight of leaf blades was highest with high rates of N and K (Table 3).

Table 3. Fresh weight of leaf blade, stem, old stem cutting (OSC), tuber and total cassava fresh weight at 108 days after planting, as affected by three nitrogen rates (N1, N2 and N3) combined with three potassium rates (K1, K2 and K3)

Factor	Fresh weight (g/plant)									
	Leave blade		Stem+Petio		OSC		Tuber		Total	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)										
N1	78.80b	7.38	118.11c	6.00	152.83	5.09	101.27c	11.66	451.00c	15.43
N2	153.10a	16.47	213.01b	10.13	161.66	6.30	222.13b	23.47	749.90b	27.01
N3	146.67a	16.83	276.24a	8.01	169.87	5.43	307.84a	31.09	900.62a	34.85
Potassium (K)										
K1	118.25	15.34	198.96	21.28	156.43	6.41	212.26	34.81	685.89	66.31
K2	129.49	14.44	210.02	21.56	162.71	5.70	206.01	31.30	708.24	54.23
K3	130.82	17.29	198.37	20.72	165.22	5.57	212.97	37.65	707.39	65.84
F-test										
N	**		**		ns		**		**	
K	ns		ns		ns		ns		ns	
N×K	*		ns		ns		ns		ns	
%CV	30.3		14.9		12.5		33.7		14.0	

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 $p \leq 0.05$.

Table 4. Dry weight of leaf blade, stem, old stem cutting (OSC), tuber and total cassava dry weight at 108 days after planting plants, as affected by three nitrogen rates (N1, N2, and N3) combined with three potassium rates (K1, K2, and K3)

Factor	Dry weight (g/plant)									
	Leave blade		Stem+Petio		OSC		Tuber		Total	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Nitrogen (N)										
N1	17.59b	1.83	47.72c	1.49	70.55	2.19	54.40b	3.55	190.26c	5.80
N2	32.55a	3.60	70.76b	3.51	70.02	3.23	105.68a	10.33	279.00b	15.54
N3	41.32a	3.11	87.38a	2.76	74.83	1.96	128.33a	10.39	321.86a	10.92
Potassium (K)										
K1	32.14	3.90	70.44	5.99	68.25	3.04	91.08	12.06	261.91	20.28
K2	29.57	4.15	68.53	5.62	73.72	2.12	86.91	9.84	258.72	17.42
K3	29.57	4.40	66.89	5.11	73.42	2.20	100.42	13.58	270.49	22.18
F-test										
N	**		**		ns		**		**	
K	ns		ns		ns		ns		ns	
N×K	ns		ns		ns		ns		ns	
%CV	27.4		14.1		12.7		27.2		15.5	

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 $p \leq 0.05$.

Effect of nitrogen and potassium on plant nutrient uptake

Cassava nitrogen uptake differed between different the plant parts. The sequence of N uptake was leaf blade > tuber > OSC > stem+petiole (Table 5). Nitrogen uptake in leaf blade, OSC, tuber and the total uptake increased markedly with increasing nitrogen rates, which is clearly shown in the total N uptake (Table 5). The total N uptake of cassava was 14.54, 23.14 and 27.70 g/plant in N1, N2 and N3, respectively (Table 5). Nitrogen uptake in the leaf blade and tuber of N1 was the lowest and significantly different to N2 and N3 (Table 5). Nitrogen uptake in OSC was also lowest in N1 as 0.37 g/plant and was significantly different only to N3. The different potassium rates affected nitrogen uptake in OSC and tuber, but no significant difference was found with the other plant parts and total N uptake (Table 5). Nitrogen uptake by OSC and tuber were highest in K3 and was significantly different to K2 and K1 (Table 5).

Table 5. Nitrogen uptake in leaf blade, stem+petio, old stem cutting (OSC), tuber and total cassava nitrogen uptake at 108 days after planting, as affected by three nitrogen rates (N1, N2, and N3) combined with three potassium rates (K1, K2, and K3)

Factor	Nitrogen Uptake (g/plant)									
	Leave blade	SE	Stem+Petio	SE	OSC	SE	Tuber	SE	Total	SE
Nitrogen (N)										
N1	0.52b	0.04	0.08	0.01	0.37b	0.02	0.25b	0.01	14.54c	0.45
N2	1.07a	0.09	0.07	0.01	0.38b	0.01	0.51a	0.05	23.14b	1.15
N3	1.11a	0.09	0.07	0.01	0.46a	0.01	0.59a	0.04	27.70a	0.82
Potassium (K)										
K1	0.80	0.10	0.07	0.01	0.41AB	0.02	0.40B	0.05	21.69	1.87
K2	0.93	0.09	0.07	0.01	0.37B	0.02	0.43B	0.04	21.32	1.64
K3	0.97	0.13	0.08	0.01	0.43A	0.01	0.52A	0.06	22.38	2.02
F-test										
N	**		ns		*		**		**	
K	ns		ns		**		*		ns	
N×K	ns		ns		ns		ns		ns	
%CV	28.14		35.41		12.77		24.43		13.72	

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 $p \leq 0.05$.

Potassium uptake by cassava changed with different plant parts and the sequence of K uptake was stem+petiole > tuber > OSC > leaf blade (Table 5). Potassium uptake in N1, N2 and N3 of leaf blade was 0.21, 0.42 and 0.47 g/plant, respectively, while K uptake in N1 was significantly different with N2

and N3 (Table 6). Nitrogen rates also affected K uptake in the same way for tuber. The total K uptake of cassava was 12.55, 17.78 and 20.27 g/plant in N1, N2 and N3, respectively, which the three different N rates were significantly different. Potassium uptake in stem+petiole, OSC, tuber and total K uptake significantly increased with increasing K rates (Table 6). The total cassava K uptake was 14.21, 17.27 and 19.12 g/plant in K1, K2 and K3, respectively, which were significantly different (Table 6). Interaction between N and K affected tuber and the total K uptake. High application rates of N and K produced high tuber and total K uptake (Table 6).

Table 6. Potassium uptake in leaf blade, stem+petio, old stem cutting (OSC), tuber and total cassava potassium uptake at 108 days after planting as affected by three nitrogen rates (N1, N2, and N3) combined with three potassium rates (K1, K2, and K3)

Factor	Potassium Uptake (g/plant)									
	Leaf blade	SE	Stem+Petio	SE	OSC	SE	Tuber	SE	Total	SE
Nitrogen (N)										
N1	0.21b	0.02	1.14	0.12	0.71	0.03	0.55b	0.04	12.55c	0.40
N2	0.42a	0.04	0.92	0.11	0.72	0.05	1.03a	0.14	17.78b	0.88
N3	0.47a	0.07	0.98	0.13	0.79	0.06	1.07a	0.14	20.27a	1.05
Potassium (K)										
K1	0.30	0.04	0.76B	0.11	0.61C	0.03	0.62B	0.07	14.21C	0.72
K2	0.37	0.04	1.01AB	0.11	0.72B	0.03	0.85B	0.09	17.27B	1.05
K3	0.42	0.08	1.26A	0.13	0.89A	0.04	1.17A	0.16	19.12A	1.46
F-test										
N	**		ns		ns		**		**	
K	ns		**		**		**		**	
N×K	ns		ns		ns		*		**	
%CV	47.65		35.45		15.74		33.33		9.89	

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 $p \leq 0.05$.

Correlation between fresh and dry weight and nutrient uptake

Total nitrogen uptake was positively correlated with the fresh weight of stem+petio, OSC, tuber, the total fresh weight, with correlation coefficients of 0.79**, 0.85**, 0.35**, 0.86** and 0.97**, respectively (Table 7). The total potassium uptake was also positively correlated with the fresh weight of leaf blade, stem+petio, OSC, tuber and the total fresh weight, with correlation coefficients of 0.61**, 0.74**, 0.36*, 0.69**, and 0.80**, respectively (Table 7).

2144

Total nitrogen uptake was positively correlated with the dry weight of leaf blade, stem+petio, tuber and the total dry weight, with correlation coefficients at 0.86**, 0.86**, 0.89** and 0.98**, respectively (Table 7). The total potassium uptake was also positively correlated with the dry weight of leaf blade, stem+petio, tuber and the total dry weight, with correlation coefficients of 0.70**, 0.68**, 0.74** and 0.82**, respectively (Table 7).

Table 7. Correlation coefficient (r) between fresh and dry weight of leaf blade, stem+petio, old stem cutting (OSC), tuber, total dry weight with total N uptake and total K uptake of cassava at 108 days after planting, as affected by three nitrogen rates (N1, N2, and N3) combined with three potassium rates (K1, K2, and K3)

Parameter	N uptake _{Total}	K uptake _{Total}
Leaf blade fresh weight	0.79**	0.61**
Stem+petio fresh weight	0.85**	0.74**
Old stem cutting fresh weight	0.35*	0.36*
Tuber fresh weight	0.86**	0.69**
Total fresh weight	0.97**	0.80**
Leaf blade dry weight	0.86**	0.70**
Stem+petio dry weight	0.86**	0.68**
Old stem cutting dry weight	0.21	0.29
Tuber dry weight	0.89**	0.74**
Total dry weight	0.98**	0.82**

*Significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$.

Nitrogen uptake in the leaf blades were positively correlated with nitrogen and potassium uptake in tuber and the total K uptake (Table 8). However, N uptake by stem+petio and OSC was positively correlated with K uptake in the plant parts, with correlation coefficients of 0.84** and 0.35*, respectively. Nitrogen uptake by tuber was positively correlated with K uptake by leaf blade, tuber and the total K uptake, with correlation coefficients of 0.47**, 0.87** and 0.82**, respectively (Table 8). Total N uptake was positively correlated with K uptake by leaf blade, tuber and total K uptake, and the correlation coefficients were 0.60**, 0.65** and 0.84**, respectively. There was a positive correlation for the relationship between potassium uptake by leaf blade and OSC and K uptake by tuber and the total K uptake. Total K uptake had a highly significant correlation with K uptake in tuber (Table 8).

Table 8. Correlation coefficient (r) between N uptake and K uptake in leaf blade, stem+petio, old stem cutting (OSC), tuber and total uptake of cassava at 4 months after planting, as affected by three nitrogen rates (N1, N2, and N3) combined with three potassium rates (K1, K2, and K3)

Parameter	N uptake	N uptake	N uptake	N uptake	N uptake	K uptake	K uptake	K uptake	K uptake	K uptake
	blade	Stem+petio	OSC	Tuber	Total	blade	Stem+petio	OSC	Tuber	Total
N uptake										
Leave										
blade	1.00									
Stem+petio	-0.23	1.00								
OSC	0.22	0.32	1.00							
Tuber	0.67**	0.02	0.33	1.00						
Total	0.69**	-0.19	0.32	0.80**	1.00					
Leave										
blade	0.86**	-0.22	0.13	0.47**	0.60**	1.00				
Stem+petio	-0.18	0.84**	0.26	-0.06	-0.32	-0.08	1.00			
OSC	0.27	0.12	0.35*	0.33	0.17	0.31	0.41*	1.00		
Tuber	0.51**	0.07	0.18	0.87**	0.65**	0.35*	0.07	0.44**	1.00	
Total	0.68**	-0.03	0.29	0.82**	0.84**	0.66**	0.06	0.56**	0.79**	1.00

*Significant at $p \leq 0.05$, **significant at $p \leq 0.01$.

Discussion

Effect of nitrogen and potassium on cassava growth

As result, it showed that nitrogen plays an important role on the growth of cassava. Higher nitrogen rates increased height as well as the fresh and dry cassava weights, while the effect of different potassium rates was unclear. Uwah *et al.* (2013) found that the highest application rates of nitrogen significantly increased plant height. Cenpukdee and Fukai (1991) showed that branch production, leaf area and plant height were promoted by N application, and this enhanced assimilation sink in the tops reduced partitioning and simulated to tubers. Nitrogen fertilizer is the most limiting factor to growth and yield, so the most commonly used nitrogen fertilizer must be applied to maintain productivity (Sangakkara and Wijesinghe, 2014). From their experiment, Cenpukdee and Fukai (1991) reported that nitrogen increased the height and canopy size of cassava when compared to not applying nitrogen fertilizer. Low SPAD values in the lower and upper leaves of N1 were consistent with symptoms of chlorosis which was found in N1. Howeler (2014) showed that in some cassava cultivars, nitrogen deficiency affected the uniform chlorosis of leaves, beginning with lower leaves, but soon spreading throughout the plant. Nitrogen increases the leaves chlorophyll which thereby promotes the photosynthetic capacity of the plant, plays a part in the manufacture of proteins and is also responsible for high plant yields (Uwah *et al.*, 2013).

Howeler (2014) reported that potassium deficiency affected chlorotic upper leaves, but in some cultivars lower leaves were subject to yellowing and border necrosis. Potassium deficiencies in yam result in the leaves usually show chlorosis symptoms the most distinctly. However, chlorosis patterns may be diffusely interveinal (Sullivan, 2010). Meanwhile, potassium deficiency symptoms were not found in the lower and upper leaves of all the treatments in the experiment. In addition, different potassium rates did not affect the fresh and dry cassava weights (Table 3 and 4). Usually, potassium fertilizer affects to cassava tuber weight because K importance to cassava tuberization (Imas and John, 2013). But the effect of K on the fresh and dry weight in this study were not found. It might because 108 days after planting, the cassava plants were at an initial stage of tuberization. This finding is consistent with Panique *et al.* (1997) experiment which found no evidence for significant differences in tuber yield based on the application of K fertilizer. Contradictorily, Carsky and Toukourou (2005) reported that potassium fertilizer increased the dry and fresh weights of tuber, but both weights were highest with the application of NPK fertilizer. The positive growth response to the applied potassium is attributable to their role in cell multiplication and photosynthesis which increased the size and length of the leaves and stems (Uwah *et al.*, 2013).

2147

No interactive effect was found between the nitrogen and potassium rates on the fresh and dry cassava weights. This result is in harmony with the findings of Uwah *et al.* (2013) which showed no interactive effect between nitrogen and potassium on the growth of cassava. Nitrogen and potassium deficiencies mainly resulted in reduced plant height and vigor (Howeler, 2014). Sufficient plant nutrients were attributable to their role in cell multiplication and photosynthesis, which gave rise to increases in the size and length of the leaves and stems (Uwah *et al.*, 2013).

Effect of nitrogen and potassium on plant nutrient uptake

The different rates of N affected the uptake of N and K in all the plant parts besides the uptake of N in stem+petiole and the uptake of K for stem+petio and old stem cutting. Whereas the different K rates affected the N uptake in old stem cutting and tuber, while it affected the K uptake of all plant parts except leaf blade. It seems that nitrogen highly affected the N and K uptake of cassava in all plant parts except stem+petiole. Potassium, however, was more affected to N uptake in belowground than aboveground but did not affected to K uptake in leaf blade. It might be suggest that interactive effect between N and K may affected to cassava tuberization. Imas and John (2013) reported that only N did not affect cassava tuberization but significant increased the numbers of tuberous roots. Conversely, cassava tuber fresh weight, size, number, and dry matter were all significantly higher in plants supplied with either K alone or in combination with N. It might be due to the activity of starch synthase, enzyme that catalyze glucose to starch, depend on K ion as activates enzyme (Hawkesford *et al.*, 2012).

Moreover, the interaction effect between N and K was affected to the K uptake in tuber and the total K uptake. The positive correlation between the total N and K uptakes with the fresh and dry cassava weights confirms that N and K affected cassava growth. Furthermore, the positive correlation between N and K uptake in each plant part was found (Table 8), confirming the synergistic effect of N and K on cassava nutrient uptake. Application of K fertilizer increases the N content in the yield and the total N uptake of the crops, leading to improved nitrogen use efficiency (Aulakh and Malhi, 2005). The effect of increasing N bioavailability on tissue K concentrations depended on K bioavailability in the soil solution. Then, under the conditions of high K availability, increasing the N supply increases K concentration and uptake (Aulakh and Malhi, 2005).

It concluded that the experiment findings showed that nitrogen and potassium affect the growth and nutrient uptake of cassava. Height and the fresh and dry cassava weights increased in turn with increasing nitrogen rates, but there was no significant difference based on different rates of potassium. Nitrogen and potassium uptake in leaf blade, OSC, tuber and

total uptake increased with higher nitrogen and potassium rates. The total N and K uptakes were positively correlated with the fresh and dry weights, and a high positive correlation between the total N uptake and the total K uptake was found. It might be suggested that nitrogen and potassium had a synergistic effect on the nutrient uptake of cassava, and their synergistic effect on cassava growth was found only leaf blade.

Acknowledgement

This research was supported by Graduate Research Fund from Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

References

- 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*. 32:921-950.
- Bryson, G. M. and Mills, H. A. (2015). Nitrogen (N) and Potassium (K). In: *Plant Analysis Handbook IV*, Athens, Georgia, pp. 62-103.
- Cardoso, J., Santos D.S., Silveira V., Anselmo E., Matsumoto S. N., Sedyama T. and de Caryvalho, F. M. (2005). Effect of nitrogen in the agronomic characteristics of cassava. *Bragantia*. 64:651-659.
- Carsky, R. J. and Toukourou, M. A. (2005). Identification of nutrients limiting cassava yield maintenance on a sedimentary soil in southern Benin, West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 71:151-162.
- Cenpukdee, U. and Fukai, S. (1991). Effects of nitrogen supply on cassava/pigeonpea intercropping with three contrasting cassava cultivars. *Fertilizer Research*. 29:275-280.
- Food Intelligence Center Thailand (2016). Situation Report on Thai Food Industry. Food Institute. Retrieved from http://fic.nfi.or.th/foodindustry_monthly_situation_detail.php?smid=1328.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Shjoerring, J., Moller, I. S. and White, P. (2012). Functions of Macronutrients. In: *Mineral Nutrition of Higher Plants*, U.K., Elsevier, pp. 135-189.
- Howeler, R. H. (1985). Mineral nutrition and fertilization of cassava. Colombia, United Nations Development Programme (UNDP), pp. 249-320.
- Howeler, R. H. (2014). In: *Sustainable Soil and Crop Management of Cassava in Asia, Vietnam*, CIAT Publication, pp. 57-97.
- Imas, P. and John, K. S. (2013) Potassium Nutrition of Cassava. *International Potash Institute*. 34:13-18.
- Johnston, A. E. and Milford, G. F. J. (2012). Potassium and nitrogen interactions in crops. In: *Potash Development Association*. England, rothamsted research, pp. 4-16.
- LECO Corporation. (2016). Operation. In: *TruMac CNS/NS Carbon/Nitrogen/Sulfur Determinators Instruction Manual*, U.S., LECO Europe B.V. pp. 1-56.
- Office of Agricultural Economics (2017). Agricultural production information. Retrieved from <http://www.oae.go.th/>
- Osotsapa, Y. (2009). Macronutrient of plant. In *Plant nutrients, Thailand*, Kasetsart University Press, pp. 36-57.

- Panique, E., Kelling, K. A., Schulte, E. E., Hero, D. E., Stevenson, W. R. and James, R. V. (1997). Potassium rate and source effects on potato yield, quality, and disease interaction. *American potato journal*. 74:379-398.
- Rietra, R. P. J. J., Heinen, M., Dimkpa, C. and Bindraban, P. S. (2015). Effects of nutrient antagonism and synergism on fertilizer use efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 48:1895-1920.
- 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*. 45:1446-1452.
- Somwhang, T. (2007). Eat fresh cassava. *Kasetsart Extension Journal*. 52:23-28.
- Chongpradithnun, P. (2001). Analysis of potassium, calcium and magnesium in plants. In: *Soil and plant analysis handbook*, Thailand, The Agricultural Co-operative Federation of Thailand, pp. 117-123.
- Stromberger, J. A., Tsai, C. Y. and Huber, D. M. (1994). Interactions of potassium with nitrogen and their influence on growth and yield potential in maize. *Journal of Plant Nutrition*. 17:19-37.
- Sullivan, J. N. (2010). Nutrient deficiencies. In: *Yam nutrition*, Australia, Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), pp. 41-72.
- 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 in Uyo, Nigeria. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 23:550-555.

(Received: 4 September 2018, accepted: 31 October 2018)

ภาคผนวก ง

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย

ตารางภาคผนวกที่ 21 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการวิจัย

หมวด	งบประมาณ รวม ทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย จาก รายงาน ครั้งก่อน	ค่าใช้จ่าย งวด ปัจจุบัน	รวม ค่าใช้จ่าย สะสมถึง ปัจจุบัน	งบประมาณ คงเหลือ
1. งบประมาณ : ค่าจ้างชั่วคราว ค่าตอบแทนคณະนักวิจัย ค่าจ้างผู้ช่วยนักวิจัย	60,000.00				
2. งบดำเนินงาน ค่าตอบแทน ค่าใช้สอย ค่าวัสดุ ค่าสาธารณูปโภค	10,000.00			10,000.00	0.00
3. งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์					
รวม	70,000.00	0.00	0.00	10,000.00	0.00

จำนวนเงินที่ได้รับและจำนวนเงินคงเหลือ

1.) จำนวนเงินที่ได้รับ

งวดที่ 1 จำนวน 59,500.00 บาท เมื่อวันที่ 18/12/60

งวดที่ 2 จำนวน 10,500.00 บาท เมื่อวันที่ 30/05/60

ดอกเบียธนาคาร จำนวน 73.26 บาท

รวมรับทั้งสิ้น จำนวน 70,073.26 บาท

2.) ค่าใช้จ่ายรายงวด

งวดที่ 1 จำนวน 15,000.00 บาท เมื่อวันที่ 26/12/60

งวดที่ 2 จำนวน 14,951.00 บาท เมื่อวันที่ 31/01/61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งวดที่ 3 จำนวน 5,000.00	บาท	เมื่อวันที่ 27/02/61
งวดที่ 4 จำนวน 5,000.00	บาท	เมื่อวันที่ 27/03/61
งวดที่ 5 จำนวน 5,000.00	บาท	เมื่อวันที่ 27/04/61
งวดที่ 6 จำนวน 5,000.00	บาท	เมื่อวันที่ 30/05/61
งวดที่ 7 จำนวน 5,000.00	บาท	เมื่อวันที่ 29/06/61
งวดที่ 8 จำนวน 5,000.00	บาท	เมื่อวันที่ 31/07/61
งวดที่ 9 จำนวน 5,000.00	บาท	เมื่อวันที่ 28/08/61
งวดที่ 10 จำนวน 5,049.00	บาท	เมื่อวันที่ 27/09/61
รวมจ่ายทั้งสิ้น จำนวน 70,000.00	บาท	
จำนวนเงินคงเหลือ 73.26	บาท	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ-นามสกุล นางสาวสุกัญญา เข้มประชา
สถานที่ติดต่อ (ที่ทำงาน) ภาคเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์/โทรสาร 02-3298151

E-mail – address sukunya.ya@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี	วท.บ. (เคมีการเกษตร)	สาขาเคมีการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปริญญาโท	วท.ม. (เกษตรศาสตร์)	สาขาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปริญญาเอก	ปร.ด. (ปฐพีวิทยา)	สาขาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลงานวิจัย

ก. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติและนานาชาติ

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

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.

Phakamas, N. and **S. Yampracha**. 2018. Application of soil test kit for evaluating nitrogen fertilizer requirement of Napier Pakchong 1 grass in Thailand. *International Journal of Agricultural Technology* 14(7): 1599-1610.

Souliyavongsa, X., S. Yampracha, T. Attanandana, R. Yost and P. Kanghae. 2015. Phosphorus-sorption Characteristics and Phosphorus Buffer Coefficient of some Important Soils in Lao PDR. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 46:666-681.

- Kaweewong J., T. Kongkaew, S. Tawornprek, S. Yampracha, R. Yost.* 2013. Nitrogen requirements of cassava in selected soils of Thailand. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*. Vol. 114(1), 13-19.
- Kaweewong J., S. Tawornprek, **S. Yampracha**, R. Yost, S. Kongton, T. Kongkeaw. 2013. *Cassava Nitrogen Requirements in Thailand and Crop Simulation Model Predictions*; *Journal: Soil Science*. Vol. 178(5), 248-255.
- Yampracha S.**, T. Attanandana, A.S. Diarra, A. Srivihok, and R.S. Yost. 2006. Predicting the dissolution of four rock phosphates in flooded acid sulfate soils of Thailand. *Soil Science*. 171(3):200-209.
- Yampracha, S.**, T. Attanandana, A. Sidibe-Diarra and R.S. Yost, 2005. Predicting the dissolution of rock phosphates in flooded acid sulfate soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69: 2000-2011.
- P. Surin, S. Pronkanung, K. Lachitavong and **S. Yampracha**. 2018. Effect of Limestone and Drainage on Ameliorate Acidity, Salinity and Toxicity of Aluminum, Iron and Manganese in Acid Sulfate Soil. *King Mongkut's Agricultural Journal*. Vol 36 (Supplement), 45 – 53 (In Thai).
- Yampracha S.** and P. Wathakiattikul. 2015. Effect of Organic Fertilizers on Soil Phosphorus Sorption Capacity. In *Proceeding of 2nd International Symposium Agricultural Technology*, 1-3 July 2015, A-One The Royal Cruise Hotel, Pattaya, Thailand
- Yampracha S.**, S. Ratanasriwong, W. Amornpon, B. Khamsueb and A. Jintrawet. 2014. Effects of Phosphorus Fertilizer Rates on Changes of Soil Phosphorus Fractions in Cassava Growing Soils of Thailand. *20th World Congress of Soil Science*, June 8-13, 2014 Jeju, Korea.
- Yampracha, S.**, N. Boonplang and N. Phanchindawan. 2010. Nutrient Status of Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) Leave and Soils in Western Thailand. In *Proceeding of the 16th Asian Agricultural Symposium and 1st International Symposium Agricultural Technology*, 25-27 August 2010, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

- Pornkanung, S., P. Surin, K. Lachitavong and **S. Yampracha**. 2018. Effects of limestone application and water drainage on nutrients availability in acid sulfate soils for rice cultivation. In Proceeding of the 5th King Mongkut's Agriculture Conference, 16 February, 2018. Chaokhunthahan building, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.
- Worphet, A., Y. Khamdee, W. Srithongnu, P. Teamkao and **S. Yampracha**. 2018. Purchasing chemical fertilizers behavior of farmers for field crops in Lopburi province. In Proceeding of the 5th King Mongkut's Agriculture Conference, 16 February 2018. Chaokhunthahan building, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.
- Nuamyakul, T., **S. Yampracha** and V. Udompetaikul. 2017. Measurement and Analysis of Soil Nutrient Content using Near-infrared Spectroscopy Technique. In Proceeding of the 18th TSAE National Conference and 10th TSAE International Conference. 7-9 September 2017, IMPACT Exhibition Center, Nonthaburi, Thailand (In Thai).
- 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).
- Supuan, P., S. Seubkrasair, S. Boonmee and **S. Yampracha**. 2017. Effects of leonardite and cow manure on growth and yield of marigold (*Tagetes erecta* L.) and change of soil properties after harvesting. In 5th Thailand National Conference of Soil Science and Fertilizers, 1-2 August 2017, Centra by Centrara Hotel, Bangkok, Thailand (In Thai).
- Teemaungsong, K., **S. Yampracha** and N. Tawinteung. 2015. Changes in soil inorganic nitrogen and hydrolysable nitrogen of soil amended with animal manures. In Proceeding of 53rd Kasetsart University Annual Conference, 3-6 February 2015, Kasetsart University, Bangkok, Thailand (In Thai).

ข. ผลงานวิจัยที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

Dissolution and availability of rock phosphates for rice cultivation in acid sulfate soils of Thailand. เป็นส่วนหนึ่งของสมการคำนวณอัตราปุ๋ยหินฟอสเฟตสำหรับนาข้าวในโปรแกรมสำเร็จรูป PDSS

ค. ผลงานอื่นๆ เช่น ตำรา บทความ สิทธิบัตร ฯลฯ

-

จ. รางวัลผลงานวิจัยที่เคยได้รับ

-

ฉ. สาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง (สามารถตอบได้มากกว่า 1 สาขา)

ความอุดมสมบูรณ์ของดิน เคมีดิน การจัดการธาตุอาหารเฉพาะพื้นที่

ช. ภาระงานในปัจจุบัน

1. งานประจำ อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ชื่อ-นามสกุล

นางสาวรวงคณา ธรรมนารตสกุล

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.