ผลของการขาดไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถัน ต่อการเจริญเติบโตและการดูดดึงธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

Effect of nitrogen, potassium and sulfur deficiency on growth and nutrients uptake in cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz)

สุกัญญา แย้มประชา [1*], นุชรีย์ พรำนัก [1], นุกูล ถวิลถึง [1], วัลลีย์ อมรพล [2], สมฤทัย ตันเจริญ [3] และ วรางคณา ธรรมนารถสกุล [1]

Sukunya Yampracha [1*], Nucharee Phumnuk [1], Nukoon Tawinteung [1], Wanlee Amornpon [2], Somrutai Tancharoen [3] and Varangkhana Thummanatsakun [1]

บทคัดย่อ

ไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถัน เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับมันสำปะหลัง จึงทำการศึกษาผลของการขาดธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียมและกำมะถันต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและการดูดดึงธาตุอาหารของมันสำปะหลัง โดยปลูกมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (KU50) ด้วยเทคนิค Omission trial โดยใช้ทรายเป็นวัสดุปลูก ให้ธาตุอาหารในรูปของสารละลาย วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ ประกอบด้วย 5 ตำรับการทดลอง 4 ซ้ำ ได้แก่ ไม่มีการให้ธาตุอาหาร (Control) ให้ธาตุอาหารครบทุกธาตุ (All) ไม่มีการให้ไนโตรเจน (-N) ไม่มีการให้โพแทสเซียม (-K) และไม่มีการให้กำมะถัน (-S) ทำการทดลองเป็นเวลา 4 เดือน จากผลการทดลองพบว่าการขาดไนโตรเจน (N) โพแทสเซียม (K) และกำมะถัน (S) ส่งผลให้ความสูง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของแผ่นใบ ลำต้น+ก้านใบ เหง้า และรากมันสำปะหลัง ในตำรับการทดลอง –N ,–K, -S และ control ต่ำกว่าตำรับการทดลอง All อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ตำรับการทดลอง –N, –S และ –K ส่งผลให้น้ำหนักแห้งหัวมันสำปะหลังลดลง 100.00, 28.40 และ 33.35% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตำรับการทดลอง All การขาดไนโตรเจนในตำรับการทดลอง -N และ control ส่งผลให้ค่า SPAD ต่ำที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับการทดลองอื่นๆ ในตำรับการทดลอง –N ,–K, -S ความเข้มข้นของ N K และ S ในทุกส่วนของพืชต่ำ และในตำรับการทดลอง –N พบความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูง

[1] ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

[1] Department of Plant Production Technology, Faculty of Agriculture, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

[2] ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน ต.ห้วยโป่ง อ.เมือง จ.ระยอง 21150

[2] Rayong Field Crop Research Center, Field and Renewable Energy Crops Research Institute, Huaipong, Muang, Rayong 21150

[3] กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ 10900

[3] Soil science Research Group Agricultural Production Science Research and Development Division, Bangkok 10900

* Corresponding author: sukunya.ya@kmitl.ac.th

แต่ความเข้มข้นของกำมะถันต่ำในทุกส่วนของพืช นอกจากนี้ตำรับการทดลอง -N ส่งผลต่อการดูดดึงธาตุอาหารทุกธาตุต่ำ ตำรับการทดลอง -K ทำให้ดูดดึงโพแทสเซียม แคลเซียมและกำมะถันต่ำ และตำรับการทดลอง -S ทำให้การดูดดึงไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และกำมะถันต่ำ

Abstract

Nitrogen, potassium, and sulfur are significant to growth and yield of cassava. The objective of this experiment was to study effects of nitrogen potassium and sulfur deficiency on growth and nutrients uptake of cassava. Kasetsart 50 (KU50) variety was planted with omission trials in sand culture and provided nutrients in the solution form. The experimental design was randomized complete block design (RCBD) with five treatments i.e. distillation water (control), All nutrients (All), minus N (-N), minus K (-K) and minus S (-S) with 4 replications. The cassava was harvested at 4 months after planting. The results showed that deficiency of nitrogen, potassium, and sulfur were affected to height, fresh and dry weight of leave blade, stalk+petio, crown and root which –N, -K and –S treatments was significant decreased as compared to that of treatment All. Moreover, tuber yield was decreased 100.00, 28.40 and 33.35% in treatments –N, -K and –S respectively as compared with All treatment, respectively. SPAD value of cassava in control and -N treatment was lower than those of other treatments. Total N, K and S in -N, -K and -S treatment was low concentration in all plant parts. In addition, -N treatment enhanced high concentration of total K and low total S concentration in all plant part. Moreover, nitrogen deficiency affected to low nutrient uptake. Total potassium, total calcium, and total sulfur uptake in -K treatment was significant decreased when compared with All treatment while total nitrogen, potassium, calcium and sulfur uptake in -S treatment was low.

คำสำคัญ : มันสำปะหลัง, ไนโตรเจน, โพแทสเซียม, กำมะถัน

บทนำ

มันสำปะหลัง Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) เป็นพืชอาหารที่สำคัญของประเทศในเขตร้อน โดยเฉพาะประเทศต่างๆ ในทวีปอัฟริกา และอเมริกาใต้ ในทวีปเอเชีย ประเทศอินโดนีเซียและอินเดียมีการบริโภคมันสำปะหลังกันเป็นจำนวนมาก (จรุงสิทธิ์ และอัจฉรา, 2547) ในปี 2558 ประเทศไทยมีผลผลิตมันสำปะหลัง 32.35 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) รายได้จากการส่งออกมันสำปะหลัง 7.07 พันล้านบาทต่อปี (กระทรวงพาณิชย์, 2559) อย่างไรก็ตาม ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ

Key words : Cassava, Nitrogen, Potassium, Sulfur

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง เมื่อเทียบกับพืชไร่อื่นๆ ธาตุอาหารจึงถูกเคลื่อนย้ายออกจากพื้นที่เป็นจำนวนมาก ประกอบกับเกษตรกรมักปลูกมันสำปะหลังติดต่อกันหลายปีในพื้นที่เดิม ธาตุอาหารในดินจึงลดลง การปลูกมันสำปะหลังจึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตและรักษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2558) ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของโปรตีน คลอโรฟิลล์ เอนไซม์ ฮอร์โมน และวิตามิน มีความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงและระบบเมทาบอลิซึมในพืช มันสำปะหลังที่ขาดไนโตรเจนจึงเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ ในบางพันธุ์หากขาดไนโตรเจนอย่างรุนแรงจะแสดงอาการใบพืชเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เรียกว่า chlorosis ต้นแคระเกร็น ชะงักการเจริญเติบโต และผลผลิตลดลง งานทดลองของ Sangakkara and Wijesinghe (2014) พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้จำนวนหัวและผลผลิตเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับ Cardoso *et al*. (2005) พบว่าไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับการสร้างหัว ในพืชประเภทหัว โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมทาบอลิซึม โดยช่วยกระตุ้นกิจกรรมการสังเคราะห์แสง เพิ่มพื้นที่ใบ และส่งเสริมการเคลื่อนย้ายสารอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงเพื่อไปสะสมในราก Blin (1905) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมไม่ได้ทำให้ผลผลิตมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นเท่านั้น แต่ยังทำให้ปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ปุ๋ยธาตุรองและจุลธาตุก็มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังด้วย นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมและไนโตรเจนในอัตราส่วนที่เหมาะสมยังช่วยลดการสร้างสารประกอบไซยาไนส์ในหัวมันสำปะหลัง รวมทั้งทำให้อายุใบมันสำปะหลังสั้นลง ส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงและการสะสมแป้งในหัวมันสำปะหลัง (Howeler, 2014) การขาดกำมะถันทำให้พืชมีการสะสมอนินทรีย์ไนโตรเจนและกรดอะมิโนในใบพืชสูงมากเกินไป แต่ไม่สามารถสร้างสารประกอบโปรตีนได้เพียงพอ จากงานทดลองของ Panitnok *et al*. (2013) พบว่า การใช้ปุ๋ยกำมะถันทางใบมีแนวโน้มจะเพิ่มจำนวนหัวต่อต้นและปริมาณแป้งในหัวของมันสำปะหลัง

ดังนั้นการขาดธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม หรือกำมะถันจึงส่งผลต่อการเจริญและผลผลิตของมันสำปะหลัง แต่อิทธิพลจากการขาดธาตุทั้งสามที่มีต่อผลผลิต อาจมีข้อมูลที่ยังไม่ชัดเจนถึงระดับความรุนแรงที่มีต่อผลผลผลิต นอกจากนี้การขาดธาตุอาหารทั้งสามธาตุ อาจส่งผลต่อความเข้มข้นและการดูดดึงธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชธาตุอื่นๆ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาอิทธิพลของการขาดธาตุอาหารและการจัดการธาตุอาหารของมันสำปะหลัง ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาผลของการขาดไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต ความเข้มข้น และการดูดดึงธาตุอาหารในมันสำปะหลัง

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. การปลูกพืช

ทำการทดลองในเดือนมิถุนายน-พฤศจิกายน พ.ศ. 2559 ในโรงเรือนปลูกพืช โดยใช้เทคนิค Omission trial คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (KU50)

ในกระถางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 นิ้ว บรรจุทรายหนัก 26 กก. ล้างธาตุอาหารที่อยู่ในทรายด้วยน้ำกลั่นและกรดไฮโดรคลอริก 0.01% และชะด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ก่อนการปลูกพืช เก็บตัวอย่างน้ำที่ชะผ่านทรายไปวิเคราะห์ธาตุอาหารเพื่อตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีธาตุอาหารเหลืออยู่ในทราย ปลูกมันสำปะหลัง 1 ต้นต่อ 1 กระถาง ก่อนให้ธาตุอาหารตามแต่ละตำรับการทดลอง ให้น้ำกลั่นเป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วเริ่มให้ธาตุอาหารตามตำรับการทดลองการทดลองที่กำหนด ให้น้ำและธาตุอาหารผ่านระบบน้ำหยด

2. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) ประกอบด้วย 5 ตำรับการทดลอง 4 ซ้ำ คือ

1) ไม่มีการให้ธาตุอาหาร (Control)
2) ให้ธาตุอาหารครบทุกธาตุ (All)
3) ไม่มีการให้ธาตุอาหารไนโตรเจน (-N)
4) ไม่มีการให้โพแทสเซียม (-K)
5) ไม่มีการให้กำมะถัน (-S)

ทุกตำรับการทดลองให้น้ำและสารละลายธาตุอาหารทุกวัน เวลา 10.00-15.00 น. โดยสารละลายธาตุอาหารจะเตรียมจากสารตั้งต้นและมีความเข้มข้นดังที่แสดงใน Table 1 ซึ่งสารละลายธาตุอาหารเตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละธาตุซึ่งอธิบายโดย Howeler *et al*. (1981) ทุกตำรับการทดลองจะได้รับธาตุอาหารอื่นๆ ที่ไม่ได้ทำการทดลองครบทุกธาตุ ยกเว้นตำรับการทดลอง control และในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารไม่ใช้สารเคมีที่มีธาตุอาหารซึ่งเป็นตำรับในการทดลอง

Table 1 Concentration and source of plant nutrients solution

No.	Nutrients	Concentration (µmol/L)	Source
1	N	1,000	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$
2	P	100	$Ca(H_2PO_4)2.H_2O$
3	K	500	K_2SO_4, KCl
4	S	1,000	Na_2SO_4
5	Mg	200	$MgSO_4.7H_2O$, $MgCl_2.6H_2O$
6	Ca	825	$CaCl_2.2H_2O$
7	Fe	20	Fe-EDTA
8	Zn	0.50	$ZnSO_4.7H_2O$, $Zn(NO_3).6H_2O$
9	Mn	0.25	$MnCl_2.4H_2O$
10	Cu	0.10	$CuSO_4.5H_2O$, $Cu(NO_3)_2$
11	Ni	0.02	$NiCl_2.6H_2O$
12	Mo	0.02	$Na_2MoO_4.2H_2O$

3. การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

วัดความสูงโดยวัดจากผิวดินไปจนใบอ่อนที่คลี่เต็มที่ของยอดที่สูงที่สุดของต้น วัดคลอโรฟิลล์ใบบนที่เจริญเติบโตเต็มที่ ในตำแหน่งที่ 3-5 และใบล่าง (ใบแก่) โดยใช้เครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ทุกๆ สัปดาห์ หลังพืชอายุครบ 4 เดือน เก็บตัวอย่างพืชแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้ ลำต้น+ก้านใบ แผ่นใบ ราก เหง้า และหัว ล้างตัวอย่างพืชด้วยน้ำกลั่น นำตัวอย่างแต่ละส่วนชั่งน้ำหนักสด อบที่อุณหภูมิ 70°C จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ ตัวอย่างแต่ละส่วนจะถูกนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหาร โดยแต่ละส่วนจะถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดด้วยวิธี Kjeldahl method วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันทั้งหมด ย่อยสลายตัวอย่างด้วยวิธี wet oxidation (กรมวิชาการเกษตร, 2544) ด้วยกรดไนตริกเข้มข้นและไฮเปอร์คลอริกเข้มข้นในอัตราส่วน 2:1 และนำไปวัดความเข้มข้นจากเครื่อง Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างตำรับการทดลอง โดยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และ 0.01

ผลและวิจารณ์

1. การเจริญเติบโตของพืช

ความสูงที่อายุ 4 เดือนของมันสำปะหลังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p<0.01$ โดยพบว่าความสูงของลำต้นสูงที่สุดในตำรับการทดลอง All รองลงมา คือ ตำรับการทดลอง –S, –K, –N และ Control ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 284.3, 237.5, 229.0, 85.5 และ 81.8 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 2) ซึ่งความสูงของ –S ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับ All และ -K ในขณะที่ –N และ control ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จะเห็นได้ว่าการที่

Table 2 Height and SPAD value of upper and lower leaf of cassava at 4 months

Treatment	Height (cm)	SPAD	
		leaf 3-5	lower leaf
Control	81.8 ± 7.2c	28.79 ± 1.7c	27.59 ± 0.9b
All	284.3 ± 31.3a	35.67 ± 0.7b	42.13 ± 2.3a
-N	85.5 ± 5.9c	28.93 ± 0.6c	24.02 ± 1.7b
-K	229.0 ± 6.5b	39.70 ± 0.9a	41.03 ± 1.0a
-S	237.5 ± 10.9ab	37.23 ± 1.0ab	40.15 ± 0.9a
F-test	**	**	**
CV (%)	17.1	11.8	15.7

* Significant at $p \leq 0.05$,

** Significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant values followed by the same lowercase letter in column are not significantly difference at $p \leq 0.05$

พืชได้รับธาตุอาหารครบทุกธาตุอย่างเพียงพอ จะทำให้การเจริญเติบโตของพืชเป็นไปอย่างปกติ และเมื่อพืชขาดไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารหลัก และมีผลอย่างมากกับการเจริญเติบโตของพืช จะทำให้ความสูงของพืชต่ำมาก ซึ่งในตำรับการทดลองที่ขาดโพแทสเซียมนั้น ความสูงของพืชลดลงเพียงเล็กน้อย Howeler (2014) พบว่าเมื่อพืชขาดไนโตรเจนและโพแทสเซียม จะให้ความสูงของพืชลดลง เนื่องจากข้อและปล้องจะสั้นกว่าปกติ ค่า SPAD ของพืชมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $p<0.01$ (Table 2) ค่า SPAD ในใบบนที่เจริญเติบโตเต็มที่ในตำแหน่งที่ 3-5 สูงสุดภายใต้ตำรับการทดลอง –K รองลงมา คือ –S, All, –N แดับ มีค่าเท่ากับ 39.70, 37.23, 35.67, 28.93 และ 28.79 ตามลำดับ ค่า SPAD ของใบล่างสูงสุดภายใต้ตำรับการทดลอง All รองลงมา คือ –K, –S, control และ -N ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 42.13, 41.03, 40.15, 27.59 และ 24.02 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการขาดโพแทสเซียมไม่ส่งผลต่อค่า SPAD อาจเนื่องจากโพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมทาบอลิซึมและช่วยในการเคลื่อนย้ายสารอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงเพื่อไปสะสมในราก ไม่ได้เกี่ยวข้องโดยตรงกับการสังเคราะห์แสงของพืช (Bryson and Mill, 2015) นอกจากนี้ในตำรับการทดลองที่ขาดกำมะถัน ค่า SPAD ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลอง -K อาจเนื่องจากในตำรับการทดลองที่ขาดกำมะถันพืชยังได้รับธาตุไนโตรเจนทำให้พืชสามารถสร้างคลอโรฟิลล์ได้จึงทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อความเขียวของพืชอย่างชัดเจนเหมือนในกรณีที่ขาดไนโตรเจน

น้ำหนักสดของพืชมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $p<0.01$ (Table 3) โดยน้ำหนักสดของแผ่นใบทั้งหมด และลำต้น+ก้านใบ สูงสุดในตำรับการทดลอง All รองลงมาเป็น –K, –S, –N, control ตามลำดับ โดยที่น้ำหนักสดของใบมีค่าเท่ากับ 198.6, 124.3, 107.0, 5.3 และ 2.8 กรัมต่อต้น ตามลำดับ น้ำหนักสดของลำต้นมีค่าเท่ากับ

Table 3 Fresh and dry weight (g/plant) of leaf blades, stalk+petio and crown of cassava at 4 months

Treatment	Leaf		Stalk + Petio		Crown	
	fresh	dry	fresh	dry	fresh	dry
Control	2.8±0.7c	0.3±0.1c	18.0±3.9d	4.6±1.1c	75.2±4.6c	24.2±1.0b
All	198.6±14.1a	54.0±3.3a	429.7±22.3a	127.5±8.7a	120.2±2.7a	37.5±2.0a
-N	5.3±0.6c	0.9±0.2c	21.5±1.0d	5.7±0.3c	76.6±5.7c	24.0±1.8b
-K	124.3±2.9b	32.9±1.0b	304.8±9.7b	88.2±6.2b	106.5±1.9b	32.8±0.9a
-S	107.0±4.3b	30.4±1.2b	243.6±30.4c	73.5±7.2b	103.8±5.5b	32.8±2.2a
F-test	**	**	**	**	**	**
CV(%)	15.4	13.9	17.2	19.4	9.0	10.9

** significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant values followed by the same lowercase letter in column are not significantly difference at $p \leq 0.05$

429.7, 304.8, 243.6, 21.5 และ 18.0 กรัมต่อต้นตามลำดับ น้ำหนักสดของเหง้าก็เป็นไปในทางเดียวกันกับน้ำหนักสดของแผ่นใบและก้านใบ+ลำต้น น้ำหนักสดของหัวสูงสุดในตำรับการทดลอง All รองลงมาเป็น –S และ–K ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 721.0, 553.7 และ 516.4 กรัมต่อต้น ในขณะที่ตำรับการทดลอง control และ –N ไม่มีการสร้างหัว น้ำหนักสดของรากสูงสุดในตำรับการทดลอง All รองลงมาเป็น –K, –S, –N, control ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 225.7, 195.2, 161.1, 22.9 และ 12.7 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (Table 4)

น้ำหนักแห้งของแผ่นใบ และลำต้น+ก้านใบสูงสุดในตำรับการทดลอง All รองลงมาเป็น –K, –S, –N, control ตามลำดับ น้ำหนักแห้งของแผ่นใบมีค่าเท่ากับ 54.0, 32.9, 30.4, 0.9 และ 0.3 กรัมต่อต้น ตามลำดับ น้ำหนักแห้งของลำต้น+ก้านใบ มีค่าเท่ากับ 127.5, 88.2, 73.5, 5.7 และ 4.6 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (Table 3) น้ำหนักแห้งของเหง้าก็เป็นไปในทางเดียวกันกับน้ำหนักแห้งของแผ่นใบและก้านใบ+ลำต้น น้ำหนักแห้งของหัวสูงสุดในตำรับการทดลอง All, –S และ -K เท่ากับ 248.0 177.6 และ 165.3 ตามลำดับ (Table 4) ซึ่งในขณะที่ตำรับการทดลอง control และ –N ไม่มีการสร้างหัว น้ำหนักแห้งของรากสูงสุดในตำรับการทดลอง All รองลงมาเป็น –S, –K, –N และ control ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 17.5, 14.7, 13.7, 2.0 และ 1.5 กรัมต่อต้น ตามลำดับ

ผลการทดลองจะเห็นได้ว่าในตำรับการทดลอง control และ –N มีการเจริญเติบโตลดลง ความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของแผ่นใบและก้านใบ+ลำต้น ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับตำรับการทดลอง All ที่พืชได้รับธาตุอาหารครบทุกธาตุอย่างเพียงพอ นอกจากนี้ในตำรับการทดลอง control และ –N พืชไม่สามารถสร้างหัวได้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของแป้ง จึงส่งผลให้ไม่มีการสร้างหัว และในตำรับการทดลอง

Table 4 Fresh and dry weight (g/plant) of root and tuber of cassava at 4 months

Treatment	Tuber		Root	
	fresh	dry	fresh	dry
Control	0.0±0.0c	0.0±0.0c	12.7±2.1c	1.5±0.4b
All	721.0±67.9a	248.0±29.8a	225.7±21.7a	17.5±2.5a
-N	0.0±0.0c	0.0±0.0c	22.9±3.5c	2.0±0.3b
-K	516.4±19.7b	165.3±5.5b	195.2±28.2ab	13.7±1.8a
-S	553.7±31.6b	177.6±9.1b	161.1±18.4b	14.7±2.8a
F-test	**	**	**	**
CV(%)	19.4	24.0	29.2	37.7

** significant at p ≤ 0.01, ns= not significant values followed by the same lowercase letter in column are not significantly difference at p ≤ 0.05

–K และ –S ส่งผลให้การเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินลดลงเช่นกันแต่ยังสามารถให้ผลผลิตหัวได้แต่ผลผลิตลดลง เมื่อเทียบกับตำรับการทดลอง All Sangakkara and Wijesinghe (2014) ศึกษาผลของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้ดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับ Cardoso *et al*. (2005) พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อัตรา 90 และ 150 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ ทำให้มีดัชนีพื้นที่ใบสูงสุด จำนวนหัวและผลผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ พบทั้งอาการขาดธาตุไนโตรเจนที่แสดงออกทางใบและการเจริญเติบโตที่ช้าลงอย่างรุนแรง

โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมทาบอลิซึม โพแทสเซียมจะช่วยกระตุ้นกิจกรรมการสังเคราะห์แสง และช่วยในการเคลื่อนย้ายสารอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงเพื่อไปสะสมในราก Howeler (1985) รายงานว่าปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นตามปริมาณโพแทสเซียมที่มากขึ้น Howeler (2014) พบว่าพืชที่ขาดโพแทสเซียม ใบบนจะเหลืองและมีขนาดเล็ก นอกจากนี้การขาดโพแทสเซียมอาจส่งผลให้เกิดโรคแอนแทรคโนสด้วย หรือขอบใบอาจจะม้วนคล้ายอาการขาดน้ำ ในขณะที่กำมะถันเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของกรดอะมิโนหลายชนิด ดังนั้นจึงมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งการศึกษาที่ผ่านมารายงานว่าการให้ปุ๋ยสังกะสี แมกนีเซียมและกำมะถันทางใบในมันสำปะหลังมีแนวโน้มให้น้ำหนักลำต้นสูงขึ้น การฉีดพ่นปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟตมีแนวโน้มทำให้จำนวนหัวต่อต้นสูงขึ้น นอกจากนี้การฉีดพ่นสังกะสี แมกนีเซียมและซัลเฟต ทำให้ปริมาณแป้งในหัวสูงขึ้นด้วย (Panitnok *et al*., 2013)

2. ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช

จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในแผ่นใบ ก้านใบ+ลำต้น เหง้า ราก และหัว มีความเข้มข้นสูงในตำรับการทดลอง –K และแตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองอื่นๆ โดยที่มีค่าเท่ากับ 33.3, 8.0, 6.5, 19.6 และ

Table 5 Total concentration of nitrogen, potassium and sulfur (g/kg) in leaf blade, stalk+petio and crown of cassava at 4 months

Treatment	Leaf blade			Stalk + Petio			Crown		
	N	K	S	N	K	S	N	K	S
Control	13.2±3.0b	13.5±0.2ab	16.3±0.1ab	4.2±0.3b	5.3±0.2b	2.2±0.04	3.5±0.2c	3.2±1.0	24.6±2.0
All	30.9±2.0a	11.9b±1.0c	19.4±0.1a	5.4±0.1b	1.8±0.3cd	3.5±0.06	5.1±0.2b	4.8±1.0	13.6±0.6
-N	12.8±1.0b	14.9±0.7a	14.3±0.1b	4.4±0.9b	11.1±0.4a	6.2±0.04	3.2±0.2c	2.9±1.0	71.2±0.1
-K	33.3±1.0a	5.9±0.3d	18.8±0.09a	8.0±0.3a	1.2±0.1d	4.8±0.09	6.5±0.5a	4.5±1.0	11.5±0.3
-S	30.6±0.5a	11.1±0.4c	17.5±0.1ab	5.2±0.7b	3.2±1.0c	5.9±0.2	4.7±0.5b	4.6±0.9	13.1±0.7
F-test	**	**	ns	**	**	ns	**	ns	ns
CV(%)	13.6	10.9	13.6	16.2	24.2	41.8	15.3	55.0	137.7

**significant at p ≤ 0.01, ns= not significant values followed by the same lowercase letter in column are not significantly difference at p ≤ 0.05

Table 6 Total concentration of nitrogen, potassium and sulfur (g/kg) in tuber and root at 4 months

Treatment	Root			Tuber		
	N	K	S	N	K	S
Control	12.1±0.9b	18.2±4.0b	14.1±0.2	n.d.	n.d.	n.d.
All	19.0±1.0a	2.9±0.5c	19.4±0.4	2.4±0.1b	3.1±0.1b	3.1±0.02
-N	14.8±3.0ab	37.3±0.9a	21.9±0.3	n.d.	n.d.	n.d.
-K	19.6±1.0a	1.7±0.2c	18.5±0.2	3.6±0.3a	1.8±0.1c	2.8±0.02
-S	19.9±1.0a	3.4±0.4c	13.1±0.2	1.6±0.4b	4.8±0.1a	2.8±0.0
F-test	*	*	ns	*	**	ns
CV (%)	19.5	26.8	28.6	21.3	8.4	14.1

** significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant values followed by the same lowercase letter in column are not significantly difference at $p \leq 0.05$
n.d. = not detected

3.6 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (Table 5 และ 6) ส่วนความเข้มข้นของไนโตรเจนในตำรับการทดลอง control และ –N ในทุกส่วน มีความเข้มข้นต่ำและแตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองอื่นๆ

ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในส่วนแผ่นใบ ก้านใบ+ลำต้น และราก มีความเข้มข้นสูงในตำรับการทดลอง –N โดยมีค่าเท่ากับ 14.9, 11.1 และ 37.3 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจาก dilution effect เนื่องจากตำรับการทดลอง –N มีขนาดลำต้นเล็ก ทำให้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับการทดลองอื่น และความเข้มข้นของโพแทสเซียมในตำรับการทดลอง -N ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลอง control ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในหัวสูงสุดในตำรับการทดลอง –S มีค่าเท่ากับ 4.8 กรัมต่อกิโลกรัม และมีความเข้มข้นต่ำสุดในตำรับการทดลอง –K เท่ากับ 1.8 กรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของกำมะถันในทุกส่วนไม่แตกต่างกันทางสถิติ

3. การดูดดึงธาตุอาหารของพืช

การดูดดึงธาตุอาหารของพืชมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01$ (Table 7 และ 8) จากผลการทดลองพบว่าการขาดไนโตรเจนในตำรับการทดลอง -N ทำให้พืชดูดดึงธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และกำมะถันต่ำ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับการทดลอง All เนื่องจากในตำรับการทดลอง –N พืชมีอาการขาดไนโตรเจน ทำให้เจริญเติบโตช้า แคระแกร็น และมีขนาดต้นเล็ก Bryson and Mill (2015) พบว่า ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อพืชที่ต่ำมีผลทำให้การดูดดึงฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันในใบผักกาดหอมต่ำ นอกจากนี้การใส่ไนโตรเจนในอัตราที่ต่ำยังส่งผลให้การดูดดึงแคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส โมลิบดีนัมและสังกะสีในพืแคนลดลงอีกด้วย ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับชนิดของพืช pH ของดิน และระดับของไอออนอื่นที่ใส่ร่วมกัน

Table 7 Total uptake (g/plant) of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sulfur of cassava at 4 months

Treatment	N	P	K	Ca	Mg	S
Control	39.0±9.7c	0.01±0.001b	52.5±7.9d	0.06±0.01c	0.03±0.01b	3.9±0.9b
All	12,787.0±1,592.5a	0.24±0.02a	1687.5±81.9a	2.75±0.4a	0.99±0.1a	63.2±29.0a
-N	55.0±4.0c	0.03±0.01b	110.8±35.2d	0.08±0.01c	0.04±0.003b	7.9±1.2b
-K	8,855.0±291.1b	0.21±0.03a	728.1±107.6c	1.71±0.1b	0.79±0.05a	176.5±8.5b
-S	9,006.0±538.8b	0.21±0.03a	1,245.8±272.9b	1.85±0.3b	0.78±0.2a	46.8±25.4b
F-test	**	**	**	**	**	**
CV(%)	24.82	30.92	35.86	36.24	34.72	29.52

**significant at $p \leq 0.01$, ns= not significant values followed by the same lowercase letter in column are not significantly difference at $p \leq 0.05$

การขาดโพแทสเซียมในตำรับการทดลอง -K ส่งผลต่อการดูดดึงโพแทสเซียม แคลเซียม และกำมะถัน Bryson and Mill (2015) พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนและโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อพืชในระดับที่ต่ำ จะส่งผลให้ตอซังของข้าวโอ๊ตมีการดูดดึงแมกนีเซียมสูงขึ้นแต่การดูดดึงแคลเซียมจะลดลง ส่วนการขาดกำมะถันส่งผลให้การดูดดึงไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และกำมะถันลดลง Bryson and Mill (2015) พบว่า การใส่กำมะถันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในพืชสูงขึ้น นอกจากนี้การขาดกำมะถันที่ส่งผลให้แคลเซียมลดลงนั้นอาจเป็นผลต่อเนื่องมาจากการขาดกำมะถันทำให้โพแทสเซียมลดลง

จากผลการทดลองพบว่าการขาดธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถัน ส่งผลต่อการดูดดึงกำมะถันทั้งหมดในมันสำปะหลัง (Table 7) จะเห็นได้ว่าการดูดดึงกำมะถันทั้งหมดจะสูงสุดภายใต้ตำรับการทดลอง All รองลงมาเป็นตำรับการทดลอง –K และ –S และต่ำที่สุดในตำรับการทดลอง control และ –N ตามลำดับ

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าไนโตรเจน โพแทสเซียมและกำมะถันมีผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ความสูงของต้นของตำรับการทดลอง –N, –K, -S ลดลง เมื่อเทียบกับตำรับการทดลอง All ในตำรับการทดลอง –N, –K และ -S ทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบ ลำต้น และเหง้าลดลง และในตำรับการทดลอง –N, –S และ –K ส่งผลให้ผลผลิตลดลง 100.00, 28.40 และ 33.35% ตามลำดับ ค่า SPAD ในใบบนและใบล่าง พบว่าการขาดไนโตรเจนส่งผลให้ค่า SPAD ลดลง เมื่อเทียบกับตำรับการทดลองอื่นๆ การขาดธาตุอาหารแต่ละธาตุทำให้ความเข้มข้น

ของธาตุอาหารที่ทำการทดลองในแต่ละตำรับการทดลองต่ำ นอกจากนี้ในตำรับการทดลอง –N ส่งเสริมให้มีการสะสมโพแทสเซียมสูงขึ้นและทำให้ความเข้มข้นของกำมะถันต่ำ นอกจากนี้ การขาดไนโตรเจน โพแทสเซียม และกำมะถันส่งผลต่อการดูดดึงธาตุอาหารของมันสำปะหลัง โดยเฉพาะเมื่อขาดธาตุไนโตรเจน จะส่งผลให้การดูดดึงธาตุอาหารทุกธาตุต่ำ ส่วนการขาดโพแทสเซียมจะส่งผลให้การดูดดึงโพแทสเซียม แคลเซียม และกำมะถันลดลง และการขาดกำมะถันจะส่งผลให้การดูดดึงไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และกำมะถันลดลง

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติและสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ รหัสโครงการ P15-51192

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพาณิชย์. 2559. สินค้าเกษตร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.moc.go.th/index.php/home.html

กรมวิชาการเกษตร. 2544. *ใน* คู่มือวิเคราะห์ดินและพืช. กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กองปฐพีวิทยา น.108-126. กรุงเทพ : โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด

จรุงสิทธิ์ ลิ่มศิลา และ อัจฉรา ลิ่มศิลา. 2547. ประวัติและความสำคัญ. น.1-7. เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. สถิติการนำเข้า-ส่งออกข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export.php

Blin, H. 1905. La fumure du manioc (Cassava fertilization). Bulletin Economique de Madagascar 3: 419-421.

Bryson, G.M. and H.A. Mills. 2015. Plant Analysis; Handbook IV. vol.4, pp.62-131. Athens: Paradise Blvd.

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

Howeler, R.H., Edwards, D.G. and C.J. Asher, 1981. Application of the flowing solution culture techniques to studies involving mycorrhizas. Plant and Soil 59: 179-183.

Howeler, R.H. 2014. Sustainable Soil and Crop Management of Cassava in Asia. Centro Internacional de Agricultura Tropical International Center. pp.57-97.

Panitnok, K., S. Chaisri, E.D. Sarobol, S.

Ngamprasitthi, P. Chaisri, P. Changle and P. Thongluang. 2013. The Combination effects of Zinc, Magnesium, Sulphurfoliar fertilizer management on cassava growth and yield grown on Map Bon, coarse-variant Soil. Procedia-Social and Behavioral Sciences 91: 288-293.

Sangakkara, U.R. and D.B. Wijesinghe. 2014. Nitrogen fertilizer affects growth, yield and N recovery in cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz). Communications in Soil Science and Plant Analysis. pp.1446-1452.