ผลของเบนทอไนต์และปุ๋ยเคมีต่อมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่ปลูกบนดิน Ustic Quartzipsamment

Effects of bentonite and chemical fertilizer on cassava, Huay Bong 80 variety, grown on an Ustic Quartzipsamment

เบญญาทิพย์ มณีทุม[1], สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม[1*], ศุภิฌา ธนะจิตต์[1] และ ดาวจรัส เกตุโรจน์[1]

Benyathip Maneethum[1], Somchai Anusontpornperm[1*], Suphicha Thanachit[1] and Daojarus Ketrot[1]

บทคัดย่อ: ศึกษาผลของเบนทอไนต์และปุ๋ยเคมีต่อสมบัติดิน ผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่ปลูกบนดิน Ustic Quartzipsamment ในจังหวัดนครราชสีมา วางแผนการทดลอง Spit-Plot in RCBD โดยแปลงทดลองหลัก ได้แก่ ไม่ใส่เบนทอไนต์ (T1) ใส่เบนทอไนต์อัตรา 100, 200 และ 300 กก./ไร่ ก่อนการไถครั้งแรก (T2-T4) เบนทอไนต์อัตราข้างต้นใส่พร้อมกับปุ๋ยเคมี (T5-T7) และเบนทอไนต์อัตราข้างต้น ครึ่งหนึ่งใส่ก่อนการไถครั้งแรกและอีกครึ่งหนึ่งใส่พร้อมกับปุ๋ยเคมี (T8-T10) แปลงทดลองรอง ใส่ปุ๋ยเคมี 2 อัตรา ได้แก่ 7.5-3.725-7.5 (L) และ 7.5-7.5-7.5 (H) กก. N-P_2O_5-K_2O /ไร่ โดยใส่เมื่อมันสำปะหลังอายุ 2 เดือน ผลการศึกษาพบว่า การแบ่งใส่เบนทอไนต์ในอัตรา 200 กก./ไร่ ในช่วงของเตรียมดินและใส่พร้อมปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 4.35 ตัน/ไร่ แต่ไม่ต่างกับตำรับอื่นที่ใส่ในลักษณะเดียวกันแต่ต่างอัตรา และไม่ต่างกับการใส่พร้อมปุ๋ยเคมีในทุกอัตรา ตำรับที่ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดสูงสุดยังทำให้ได้น้ำหนักชีวมวลส่วนเหนือดินสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (541.67 กก./ไร่) รวมทั้งส่งผลให้มันสำปะหลังดูดใช้ธาตุอาหารหลักไปสะสมยังส่วนต่างๆ ได้มากที่สุด การใส่เบนทอไนต์ส่งผลต่อปริมาณอินทรียวัตถุและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่หลงเหลือในดินหลังปลูกมันสำปะหลังไป 1 ฤดูกาล แต่ไม่ส่งผลต่อสมบัติดินอื่นๆ โดยเฉพาะความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

คำสำคัญ: การปรับปรุงดิน, ดินเนื้อหยาบ, เบนทอไนต์, มันสำปะหลัง

ABSTRACT: The effects of bentonite and chemical fertilizer on soil properties, plant nutrient uptake and yield of cassava, Huay Bong 80 variety, was conducted on an Ustic Quartzipsamment in Nakhon Ratchasima province. Split plot in Randomized Complete Block design with four replications was employed. Main plot consisted of no application of bentonite as the control (T1), the application of bentonite at the rates of 100, 200 and 300 kg/rai before the first plough (T2-T4), the same rates as above applied together with chemical fertilizer (T5-T7), and equally split application of the same rates as above with the first half being applied before the first plough and the other half together with chemical fertilizer. Subplot was composed of two rates of chemical fertilizer, 7.5-3.725-7.5 (L) and 7.5-7.5-7.5 (H) kg N-P_2O_5-K_2O/rai. Chemical fertilizer was applied when cassava was two months old. The results showed that the addition of bentonite at the rate of 200 kg/rai with equally split with the first half being applied before the first plough and the other half at the same time as chemical fertilizer significantly gave the highest fresh tuber yield of 4.35 t/rai, nonetheless, it was not significantly different from other two rates with the same method of application, and those applied at the same time as chemical fertilizer. The treatment that gave the highest fresh tuber yield also highly significantly gave the greatest aboveground biomass (541.67 kg/rai) induced the highest uptake of plant nutrient in various parts of cassava. The application of bentonite resulted in different amounts of organic matter, and available phosphorus at all depths measured. There were no different effects of bentonite applied on other soil properties, especially cation exchange capacity.

Keywords: soil improvement, coarse-textured soil, bentonite, cassava

[1] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 10900

* Corresponding author: somchai.a@ku.ac.th

บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่มีแนวโน้มในการผลิตขยายตัวขึ้นอย่างต่อเนื่อง ผลผลิตมันสำปะหลังส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 80 ใช้ในการบริโภคและ อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ พื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญของโลกมีประมาณ 19.6 ล้านเฮกตาร์ แหล่งเพาะปลูกที่สำคัญอยู่ในแอฟริกา รองลงมาเป็นเอเชีย และอเมริกาตามลำดับ (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016) ในประเทศไทย การปลูกมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่เพาะปลูกและเก็บเกี่ยวมากที่สุดโดยเฉพาะในจังหวัดนครราชสีมาแต่ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ในภูมิภาคนี้กลับมีค่าต่ำที่สุด (สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2557) เนื่องจากดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มดินใหญ่ Paleustults ซึ่งมีปัญหาหลักคือ เนื้อดินเป็นค่อนข้างเป็นทราย ความอุดมสมบูรณ์ ปริมาณอินทรียวัตถุ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ และมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ เกิดการกร่อนดินเกิดได้ง่าย (Mitsuchi et al., 1986; Sittibusaya et al., 1987) ปัญหาที่กล่าวมาจำเป็นอย่างยิ่งจะต้องมีการปรับปรุงสมบัติดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เพื่อเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังในภูมิภาคนี้ การใช้เบนทอไนต์ในการปรับปรุงดินเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยปรับปรุงสมบัติของดินที่ไม่เหมาะสมต่อพืชให้ดีขึ้นในด้านการดูดยึดธาตุอาหารและการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Inglethorpe et al., 1993) Croker et al. (2004) พบว่า การใส่เบนทอไนต์ทำให้ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินเพิ่มขึ้นซึ่งช่วยฟื้นฟูสมบัติในการแลกเปลี่ยนของดินเหล่านี้ในระยะยาว สอดคล้องกับ ภัทรสวันต์ (2552) พบว่าปริมาณการใส่เบนทอไนต์มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นกับความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน Rezvan and Ali (2012) พบว่าการใส่เบนทอไนต์ช่วยลดอัตราการซาบซึมน้ำในดินทรายร่วน ทำให้ลดอัตราการสูญเสียธาตุอาหารออกไปจากเขตรากพืชจึงช่วยเพิ่มผลผลิตพืชดังเช่นในรายงานของดาราพร (2556) พบว่าใช้เบนทอไนต์ปรับปรุงดินยโสธรทำให้ได้ผลผลิตมันสำปะหลังเพิ่มสูงกว่าการไม่ใช้วัสดุปรับปรุงดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับ ดารารัตน์ และคณะ (2557) ที่ทำการศึกษาในชุดดินสตึกที่มีเนื้อดินเป็นทรายโดยการใส่เบนทอไนต์อัตรา 100 และ200 กก./ไร่ และใส่ร่วมกับปุ๋ยโพแทสเซียมให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดและผลผลิตแป้งสูงที่สุดไม่แตกต่างกัน Croker et al. (2004) พบว่าการใช้เบนทอไนต์ในดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีแนวโน้มในการทำให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน ข้าว และถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น เนื่องจาก เบนทอไนต์มีลักษณะเด่นคือ สามารถดูดซับความชื้นได้ดี และมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนค่อนข้างสูง จึงน่าจะใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินในลักษณะการคลุกเคล้าลงไปในดินเพื่อปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ของดินทราย และการใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อลดการสูญเสียธาตุปุ๋ยจากการชะละลาย การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบผลของการใส่เบนทอไนต์ในอัตราและวิธีการที่แตกต่างกัน และอัตราปุ๋ยเคมีต่อให้ผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารพืชของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่ปลูกบนดิน Ustic Quartzipsamment และ 2) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินที่ได้รับอิทธิพลจากเบนทอไนต์ ซึ่งน่าจะเป็นแนวทางที่ช่วยเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังที่ปลูกบนดินทรายที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ซึ่งเป็นดินที่พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษาเป็นแปลงเกษตรกร บ้านโนนสมบูรณ์ ตำบลกฤษณา อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา (47P 0768609E, 1671557N) สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดมีความลาดชันร้อยละ 3 เป็นบริเวณของชุดดินด่านขุนทด (กองสำรวจดิน, 2526) ซึ่งจำแนกดินใน

ระดับกลุ่มดินย่อยเป็น Ustic Quartzipsamment โดยดินมีอนุภาคขนาดทรายเด่นมาก (835-885 ก./กก.) โดยเฉพาะในชั้นดินบนซึ่งเป็นผลโดยตรงมาจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นตะกอนน้ำพาท้องถิ่นที่ทับถมอยู่บนวัสดุตกค้างจากหินทราย ส่งผลให้มีเนื้อดินเป็นทรายร่วน ประกอบกับสภาพการนำน้ำขณะดินอิ่มตัวของดินที่อยู่ในระดับปานกลางถึงเร็ว (4.64-24.9 ซม./ชม.) จึงส่งผลให้มันสำปะหลังเสี่ยงต่อการขาดน้ำ นอกจากนี้สมบัติทางเคมีของดินไม่ค่อยเหมาะสมต่อการปลูกพืช โดยดินเป็นกรดจัดปานกลางถึงกรดจัดมาก ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุ (0.03-0.50 ก/กก.) และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับต่ำมาก (0.8-2.8 ก/กก.) ส่งผลให้ความสามารถในการดูดยึดธาตุอาหารต่ำ ธาตุอาหารพืชจึงเกิดการสูญหายอย่างรวดเร็ว ปริมาณที่คงอยู่ในดินจึงมีอยู่น้อยมาก (**Table 1**) ซึ่งเบนทอไนต์เป็นวัสดุปรับปรุงดินที่มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง (**Table 2**) อาจช่วยแก้ไขปัญหาของดินนี้โดยเพิ่มความสามารถของดินในการดูดจับธาตุอาหารและน้ำให้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้นานขึ้น จึงได้จัดทำแปลงทดลองโดยวางแผน Split-plot in Randomized Complete Block Design จำนวน 4 ซ้ำ แปลงทดลองหลักมีขนาด 8×10 ม. ระยะห่างระหว่างแปลงเท่ากับ 1 ม. โดยแปลงทดลองหลัก (main plot) ประกอบด้วย 10 ตำรับการทดลอง ได้แก่ ไม่ใส่เบนทอไนต์ (T1) ใส่เบนทอไนต์อัตรา 100, 200 และ 300 กก./ไร่ ก่อนการไถครั้งแรก (T2-T4) เบนทอไนต์อัตราข้างต้นใส่พร้อมกับปุ๋ยเคมี (T5-T7) และเบนทอไนต์อัตราข้างต้น ครึ่งหนึ่งใส่ก่อนการไถครั้งแรกและอีกครึ่งหนึ่งใส่พร้อมกับปุ๋ยเคมี (T8-T10) การเตรียมดินเริ่มต้นในเดือนกันยายน พ.ศ.2556 โดยการหว่านเบนทอไนต์ทั่วแปลงย่อยตามตำรับการทดลอง (T2-T4 และ T8-T10) ก่อนทำการไถเปิดหน้าดินด้วยไถจานผาล 3 ทิ้งไว้ประมาณ 2 สัปดาห์ ไถพรวนดินด้วยไถจานผาล 7 แล้วทำการยกร่องปลูกขวางความลาดเทโดยมีระยะห่างระหว่างร่องเท่ากับ 120 ซม. ปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 บนสันร่องโดยใช้ระยะปลูกระหว่างต้นเท่ากับ 80 ซม. เมื่อมันสำปะหลังอายุ 2 เดือน ในแต่ละแปลงทดลองหลักจะทำการแบ่งออกเป็น 2 แปลงทดลองย่อย (sub plot) ที่มีขนาดเท่าๆ กัน ซึ่งจะทำการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่แตกต่างกัน 2 อัตรา ซึ่งมีเรโชของธาตุอาหารหลักต่างกันเปรียบเทียบระหว่าง เรโช 1:1:1 และ 2:1:2 ได้แก่ อัตรา 7.5-7.5-7.5 กก. N-P_2O-K_2O/ไร่ (H) และอัตรา 7.5-3.725-7.5 กก. N-P_2O-K_2O/ไร่ (L) โดยทำการขุดหลุมใส่ข้างทรงพุ่มแล้วทำการกลบ ในกรณีของการเปรียบเทียบอัตราปุ๋ยซึ่งมีปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน เนื่องจากผลการศึกษาที่ผ่านมา มันสำปะหลังมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสค่อนข้างต่ำ และพบว่า การใช้ปุ๋ยที่มีเรโช 1:1:1 ให้ผลไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยที่มีเรโช 2:1:2 ในกรณีที่มีการใส่ไนโตรเจน และโพแทสเซียมในปริมาณที่เท่ากัน โดยเฉพาะอย่างเมื่อทดสอบในดินที่มีเนื้อค่อนข้างหยาบถึงหยาบ

การเก็บข้อมูลประกอบด้วย 1) เก็บข้อมูลพืช เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังที่อายุประมาณ 10 เดือนในเดือนกันยายน พ.ศ.2557 พื้นที่เก็บเกี่ยว 13.44 $ม^2$ ประกอบด้วยชีวมวลส่วนเหนือดิน (ลำต้น เหง้า กิ่งก้านและใบ) น้ำหนักหัวมันสด และร้อยละการสะสมแป้งซึ่งวัดโดยใช้เครื่อง Reimann scale และเก็บตัวอย่างพืชแบบแยกส่วนได้แก่ เหง้า ลำต้น กิ่งก้านและใบ และหัวมันสำปะหลังเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารโดยการย่อยสลายด้วยกรดและวัดโดยวิธีมาตรฐาน (Johnson and Ulrich, 1959; Murphy and Riley, 1992) 2) เก็บตัวอย่างดินในทุกแปลงทดลองหลักที่มีการใส่ปุ๋ยในอัตราสูงที่ 3 ระดับความลึก ได้แก่ 0-15, 15-30 และ 30-45 ซม.ในช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติดิน ได้แก่ความหนาแน่นรวม พีเอชดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และ 3) การวิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 21

Table 1 Property of an Ustic Quartzipsamment, representative soil of the experimental area.

Soil depth	Hor.[1]	Particle size distribution			Textural class[2]	BD[3]	Ksat[4]	pH 1:1	OM[5]	CEC[6]	Available	
		sand	silt	clay					P[7]	K[8]		
(cm)		(g/kg)				(Mg/m^3)	(cm/hr)	H_2O	(g/kg)	($cmol_c/kg$)	(--mg/kg--)	
0-15	Ap1	885	31	84	LS	1.34	23.1	5.9	0.50	2.3	26.6	60.6
15-29	Ap2	879	37	84	LS	1.45	21.6	5.6	0.12	2.5	17.7	16.0
29-48	Ap3	855	53	92	LS	1.55	24.9	6.0	0.41	2.5	17.3	40.5
48-85	C1	854	74	72	LS	1.59	4.64	6.3	0.09	0.8	2.70	21.9
85-110	C2	847	77	76	LS	1.55	11.0	5.7	0.07	1.0	1.70	12.7
112-141	Cg1	845	79	76	LS	1.52	9.34	4.9	0.03	1.3	2.00	9.10
141-170	Cg2	847	97	56	LS	1.56	8.59	4.7	0.03	2.8	2.00	12.4
170-200+	Cg3	835	117	48	LS	1.40	12.1	5.8	0.03	2.5	1.30	4.90

[1]Hor.= Horizon, [2]LS = Loamy sand, [3]BD = Bulk density; [4]Ksat = Hydraulic conductivity by variable head method; [5]OM = organic matter by Walkley and Black method; [6]CEC = Cation exchange capacity by NH_4OAc at pH 7.0 method; [7]Available P = Soil extracted by BrayII solution; [8]Available K = Soil extracted by 1 M NH_4OAc at pH 7.0

Table 2 Property of bentonite used in the experiment.

Properties	Bentonite
pH (H_2O 1:1)	4.43
Cation Exchange Capacity ($cmol_c/kg$)	16.4
Total N (g/kg)	0.70
Total P (g/kg)	0.07
Total K (g/kg)	0.05
Total Ca (g/kg)	0.57
Total Mg (g/kg)	0.10
Total Na (g/kg)	1.88
Total Fe (g/kg)	102
Total Zn (g/kg)	15.5
Total Cu (mg/kg)	23.2
Total Mn (mg/kg)	85.1
Total S (mg/kg)	15.0

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของวิธีการใส่เบนทอไนต์และปุ๋ยเคมีต่อมันสำปะหลัง

การใส่เบนทอไนต์ส่งให้ผลผลิตมันสำปะหลังสดสูงกว่าการไม่ใส่เบนทอไนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) ยกเว้นการใส่ในอัตรา 100-300 กก./ไร่ ในช่วงการเตรียมดินที่ให้ผลไม่แตกต่างจากตำรับควบคุมโดยให้ค่าอยู่ในพิสัย 2.95-3.31กก./ไร่ (Table 3) ทั้งนี้อาจเนื่องจากดินที่ทำการศึกษาเป็นทรายร่วน มีระบายน้ำดี อาจส่งผลให้เบนทอไนต์ที่ใส่ในช่วงของการเตรียมดินเกิดชะละลายออกไปดินอย่าง

รวดเร็ว จึงทำให้ผลของเบนทอไนต์ที่มีผลต่อมันสำปะหลังไม่ชัดเจนจึงให้ผลไม่แตกต่างจากตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่วัสดุปรับปรุงดิน แต่เมื่อปรับเปลี่ยนวิธีการใส่เบนทอไนต์เป็นการใส่พร้อมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งการแบ่งใส่ 2 ครั้งจะส่งเสริมประสิทธิภาพของเบนทอไนต์ในการแก้ไขปัญหาของดินได้ดีขึ้น ซึ่งเบนทอไนต์ช่วยในการดูดยึดธาตุอาหารพืชไว้ในดินไม่ให้สูญเสียไปกับการชะละลาย (Brady and Weil, 2008; Croker et al., 2004; Talebnezhad and Sepaskhah, 2012) และยังมีส่วนลดอัตราการซาบซึมน้ำของดินซึ่งมีส่วนช่วยในการลดการสูญเสียธาตุอาหารไปจากดิน (Rezvan and Ali, 2012) และเพิ่มความสามารถในอุ้มน้ำให้แก่ดิน (Brady and Weil, 2008) เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนค่อนข้างสูง มันสำปะหลังจึงตอบสนองทั้งด้านการสร้างชีวมวลและผลผลิต โดยการแบ่งใส่เบนทอไนต์ในอัตรา 200 กก./ไร่ ในช่วงของเตรียมดินและใส่พร้อมปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดและชีวมวลส่วนเหนือดินสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 4.35 ตัน/ไร่ และ 541.67 กก./ไร่ตามลำดับ ซึ่งให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังไม่แตกต่างกับการใส่ในอัตราที่เหลือที่ใส่พร้อมกับปุ๋ยเคมี หรือที่มีการแบ่งใส่ 2 ครั้งในทุกอัตรา (**Table 3**) อย่างไรก็ตาม การใส่เบนทอไนต์ในวิธีการต่างๆ ในอัตราที่เพิ่มขึ้นเป็น 300 กก./ไร่ กลับมีแนวโน้มให้ผลผลิตและชีวมวลส่วนเหนือของมันสำปะหลังลดลงโดยเฉพาะการใส่ในช่วงของการเตรียมดินที่ให้ค่าลดลงจนไม่แตกต่างจากตำรับควบคุม (**Table 3**) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ ดารารัตน์ และคณะ (2558) ที่พบว่า ผลผลิตและผลผลิตแป้งของมันสำปะหลังที่ปลูกในดินคล้ายชุดดินสตึกที่มีเนื้อดินบนเป็นทรายจะเพิ่มขึ้นตามอัตราของเบนทอไนต์ที่ใส่ในอัตรา 100-200 กก./ไร่ โดยเฉพาะเมื่อมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มเติม แต่เมื่อใส่ในอัตรา 300 กก./ไร่ ทั้งในกรณีที่มีและไม่มีการใส่โพแทสเซียมเพิ่มเติมทำให้ผลผลิตลดลงไปเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มเติมเพียงอย่างเดียวและการไม่ใส่เบนทอไนต์ ซึ่งสาเหตุน่าจะเป็นเพราะว่าเบนทอไนต์มีฤทธิ์เป็นกรดแก่ (pH = 4.43) การใส่ในปริมาณที่มากเกิน อาจทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารบางชนิดลดลงในระยะแรกของการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง แต่ไม่น่าจะเกี่ยวกับการอุดตันในช่องว่าง เนื่องจากดินในพื้นที่ทดลองมีเนื้อหยาบขณะที่เบนทอไนต์มีลักษณะเป็นผงคล้ายดินเหนียวบดละเอียด ซึ่งคาดว่าส่วนใหญ่น่าจะสูญเสียไปกับการชะละลายเมื่อเวลาผ่านไป อย่างไรก็ตาม การใส่ในปริมาณที่สูงควรที่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงที่ส่งผลต่อการลดลงของผลผลิตมันสำปะหลัง

การใส่เบนทอไนต์ในอัตรา 100-300 กก./ไร่ ในวิธีการที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อผลิตแป้งและร้อยละการสะสมแป้งทางสถิติ แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการไม่ใส่เบนทอไนต์และให้ผลไปทิศทางเดียวกับผลผลิตและชีวมวลส่วนเหนือดิน เช่นเดียวกันกับการใส่ปุ๋ยเคมีทั้ง 2 อัตรา และ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยเคมีและการใส่เบนทอไนต์ในวิธีการต่างๆ ไม่ทำให้ได้ผลผลิตมันสำปะหลังชีวมวลส่วนเหนือดิน ผลิตแป้งและร้อยละการสะสมแป้งแตกต่างกันทางสถิติ (**Table 3**)

Table 3 Effect of bentonite and chemical fertilizer on plant parameters of cassava, Huay Bong 80 variety, grown on an Ustic Quartzipsamment

Treatment	Fresh tuber yield	Starch yield	Aboveground biomass	Starch content
	(----------t/rai----------)			(%)
Bentonite (main plot)				
T1	3.31b	0.94	1.00bc	28.4
T2	3.21b	0.87	0.97c	27.3
T3	2.95b	0.80	0.96c	27.7
T4	3.03b	0.81	0.93c	25.9
T5	3.60ab	0.95	1.26a	26.4
T6	3.95ab	1.07	1.36a	26.8
T7	3.93ab	1.03	1.26a	26.1
T8	3.97ab	1.05	1.31a	26.4
T9	4.35a	1.21	1.37a	28.0
T10	3.52ab	0.96	1.21ab	27.2
F-test	*	ns	**	ns
Chemical fertilizer (subplot)				
H	3.46b	0.94	1.17	27.1
L	3.71a	1.00	1.16	26.9
F-test	*	ns	ns	ns
Bentonite × Chemical fertilizer (main plot × subplot)				
T1H	3.14	0.90	1.00	28.3
T2H	3.34	0.88	1.04	27.0
T3H	3.04	0.81	1.06	27.4
T4H	2.84	0.76	0.83	26.9
T5H	2.98	0.81	1.05	26.8
T6H	3.47	0.93	1.25	26.8
T7H	3.72	0.96	1.31	25.9
T8H	4.01	1.09	1.37	27.1
T9H	4.60	1.28	1.53	27.8
T10H	3.44	0.96	1.22	27.6
T1L	3.48	0.98	0.99	28.5
T2L	3.08	0.86	0.91	27.5
T3L	2.86	0.79	0.86	28.0
T4L	3.23	0.87	1.02	24.9
T5L	4.21	1.09	1.47	26.0
T6L	4.43	1.21	1.47	26.7
T7L	4.15	1.10	1.22	26.3
T8L	3.97	1.02	1.26	25.8
T9L	4.09	1.14	1.22	28.2
T10L	3.59	0.97	1.20	26.8
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	25	29	19	8

Remark: ns = non significant, *, ** = significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively, means with different letters in column are significantly different from each other according to DMRT

T1 = control, T2-T4 = bentonite 100, 200 and 300 kg/rai, respectively, incorporated into the soil during the first plough, T5-T7 = bentonite 100, 200 and 300 kg/rai, respectively, applied at the same time as chemical fertilizer, T8-T10 = bentonite 100, 200 and 300 kg/rai, respectively, equally split with the ½ amount incorporated into the soil during the first plough and the other ½ applied at the same time as chemical fertilizer.

H = 7.5-7.5-7.5 kg N-P_2O_5-K_2O /rai, L = 7.5-3.725-7.5 kg N-P_2O_5-K_2O /rai

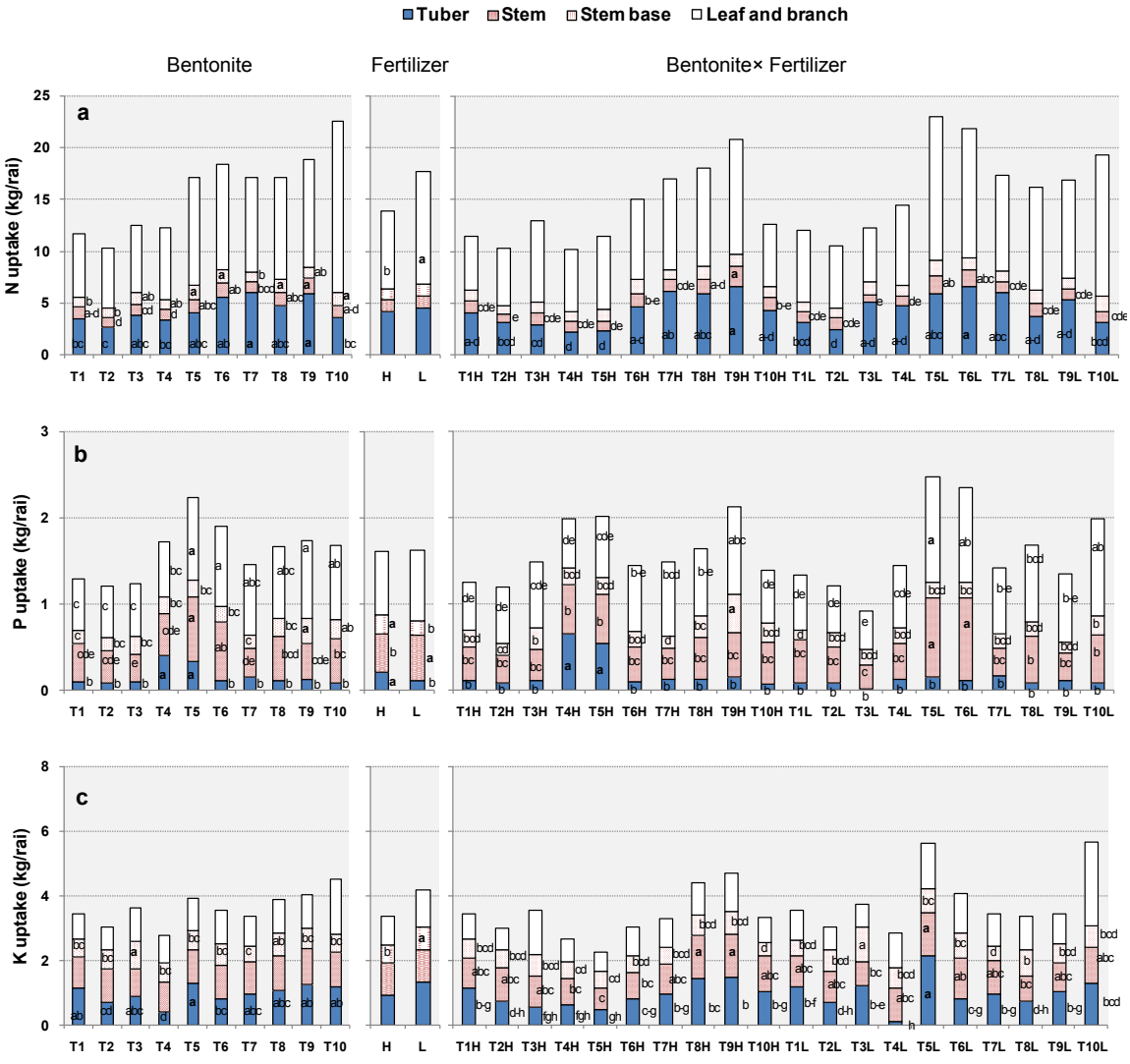
ผลของวิธีการใส่เบนทอไนต์และปุ๋ยเคมีต่อการดูดใช้ธาตุอาหารหลัก

การใส่เบนทอไนต์ส่งผลให้ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนของหัว ลำต้น และเหง้าของมันสำปะหลังแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นโพแทสเซียมในส่วนลำต้น ส่วนปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารหลักในส่วนกิ่งก้านใบของมันสำปะหลังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อทำการใส่เบนทอไนต์ในอัตราที่แตกต่างกันยกเว้นฟอสฟอรัสในส่วนกิ่งก้านใบ (Figure 1)

การใส่เบนทอไนต์อัตรา 300 กก./ไร่ ที่ใส่พร้อมกับปุ๋ยเคมีให้การดูดใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในส่วนหัวสูงสุด (6.04 และ 1.50 กก./ไร่) ขณะที่การใส่ในวิธีการเดียวกันในอัตรา 100 กก./ไร่ ให้ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงสุดในกิ่งก้านใบ (0.96 กก./ไร่) แต่การแบ่งใส่เบนทอไนต์ 2 ครั้งในอัตรา 200 กก./ไร่ ส่งผลให้มันสำปะหลังดูดใช้ไนโตรเจนในส่วนลำต้นและฟอสฟอรัสในเหง้าสูงสุดเท่ากับ 1.48 และ 0.29 กก./ไร่ (Figure 1) ส่วนเมื่อใส่ในอัตรา 100 กก./ไร่ ในวิธีการเดียวกันส่งผลให้การดูดใช้ไนโตรเจนในส่วนเหง้าสูงสุดเท่ากับ1.30 กก./ไร่ และการใส่ในอัตรานี้พร้อมกับปุ๋ยเคมีจะให้ปริมาณดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงสุดในส่วนลำต้น (0.75 กก./ไร่) และโพแทสเซียมในส่วนหัว (1.32 กก./ไร่) (Figure 1)

การใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่ำ 7.5-3.725-7.5 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ทำให้มีการดูดใช้ไนโตรเจนในส่วนกิ่งก้านและใบ โพแทสเซียมในส่วนลำต้นสูงกว่าการใส่ในอัตราสูงที่ 7.5-7.5-7.5 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 1) แต่การใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่ำซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสลดลงไปครึ่งหนึ่ง จึงส่งผลให้มันสำปะหลังดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนหัว และลำต้นต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยอัตราสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 1) ส่วนปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารในส่วนที่เหลือของมันสำปะหลัง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างเบนทอไนต์กับปุ๋ยเคมีส่งผลให้ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนของหัว ลำต้น และเหง้าของมันสำปะหลังแตกต่างกันทางสถิติยกเว้นไนโตรเจนในส่วนลำต้น (Figure 1) โดยปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารหลักเหล่านี้ในส่วนต่างๆ ของมันสำปะหลังมีความแปรปรวนซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับผลผลิตที่ได้รับ โดยภาพรวมปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารจะเพิ่มขึ้นตามอัตราของเบนทอไนต์มากกว่าวิธีการใส่เบนทอไนต์ และจะมีค่ามากขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราสูง ยกเว้นปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัส ซึ่งตำรับที่แบ่งใส่เบนทอไนต์ 2 ครั้ง ในอัตรา 200 กก./ไร่ ร่วมกับใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง ส่งเสริมให้มันสำปะหลังดูดใช้ไนโตรเจนและโพแทสเซียมได้ดีที่สุด (Figure 1)



T1 = control, T2-T4 = bentonite 100, 200 and 300 kg/rai, respectively, incorporated into the soil during the first plough, T5-T7 = bentonite 100, 200 and 300 kg/rai, respectively, applied at the same time as chemical fertilizer, T8-T10 = bentonite 100, 200 and 300 kg/rai, respectively, equally split with the ½ amount incorporated into the soil during the first plough and the other ½ applied at the same time as chemical fertilizer.

H = 7.5-7.5-7.5 kg N-P_2O_5-K_2O /rai, L = 7.5-3.725-7.5 kg N-P_2O_5-K_2O /rai

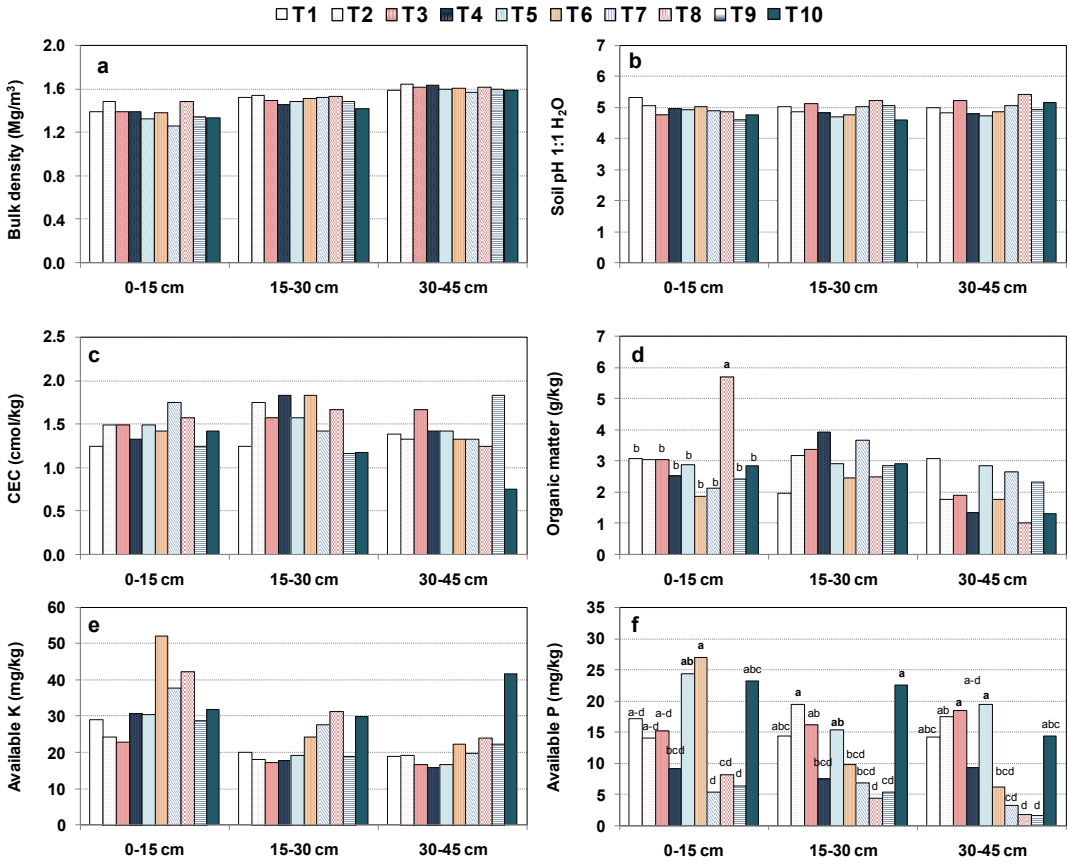
Different letters on bar are significantly different from each other according to DMRT

Figure 1 Effects of bentonite and chemical fertilizer on nitrogen (a), phosphorus (b) and potassium (c) uptake in cassava plant parts.

ผลของเบนทอไนต์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินและธาตุอาหารพืชในดิน

ผลของการใส่การใส่เบนทอไนต์ในวิธีการต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินที่ 3 ระดับความลึก ได้แก่ 0-15, 15-30 และ 30-45 ซม. โดยทำการวิเคราะห์หลังจากปลูกมันสำปะหลังไป 1 ฤดูกาล ถึงแม้ว่าเบนทอไนต์มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง เนื่องจากมีแร่องค์ประกอบหลักเป็นแร่สเมกไทต์ (กรมทรัพยากรธรณี, 2539; Noble et al., 2004) แต่อย่างไรก็ตาม การใส่เบนทอไนต์ในอัตราและวิธีการที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ความหนาแน่น (1.26-1.64 เมกะกรัม/ม^3) พีเอชดิน (pH 4.6-5.3) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (15.9-52.1 มก./กก.) และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (0.75-1.83 เซนติโมล/กก.) ของดินทั้ง 3 ระดับความลึกแตกต่างกันทางสถิติ (**Figure 2**) แสดงให้เห็นว่าการใส่เบนทอไนต์ในอัตรา 100-300 กก./ไร่ น่าจะเป็นอัตราที่ไม่สูงพอที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินนี้อย่างชัดเจน และเป็นการใส่เพียงแค่ปีเดียว อีกทั้งเนื้อดินที่เป็นทรายร่วนของดินที่ทำการศึกษาอาจส่งผลให้เบนทอไนต์ที่ใส่เกิดการสูญหายไปจากเขตรากพืชอย่างรวดเร็ว สำหรับในกรณีของพีเอชดิน ถึงแม้ว่าเบนทอไนต์จะเป็นกรดแก่ ซึ่งอาจส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารบางชนิดในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในตำรับที่มีการใส่ในอัตรา 300 กก./ไร่ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่เนื่องจาก การที่ดินเป็นดินเนื้อหยาบ การชะละลายมีผลทำให้ไฮโดรเนียมไอออนที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุนี้สูญหายไปจาดเขตรากพืชเมื่อปลูกมันสำปะหลังไปหนึ่งฤดูปลูก ดังนั้น จึงไม่ส่งผลทำให้ดินมีพีเอชแตกต่างกัน

ปริมาณอินทรียวัตถุและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่หลงเหลือในดินมีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อได้รับเบนทอไนต์ในอัตราและวิธีการต่างๆ โดยในกรณีของอินทรียวัตถุจะเห็นผลในระดับความลึก 0-15 ซม. เท่านั้น (**Figure 2**) การแบ่งใส่เบนทอไนต์ 2 ครั้ง ในอัตรา 200 กก./ไร่ ให้ปริมาณอินทรียวัตถุหลงเหลือในดินสูงที่สุดเท่ากับ 5.72 ก./กก. ขณะที่ตำรับการทดลองที่เหลือให้ผลไม่แตกต่างกันโดยมีค่าอยู่ในพิสัย 2.13-3.09 ก./กก. (**Figure 2**) อย่างไรก็ตามปริมาณอินทรียวัตถุในทุกชั้นความลึกอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก (1.03-5.72ก./กก.) ถึงแม้ว่าจะได้ทำการปรับปรุงดินด้วยเบนทอไนต์ก็ตาม ทั้งนี้เบนทอไนต์เป็นวัสดุอนินทรีย์ซึ่งมีอินทรีย์คาร์บอนอยู่น้อยมาก (กรมทรัพยากรธรณี, 2539; Noble et al., 2004) ดังนั้นการใส่ในอัตรา 100-300 ก./กก. จึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุที่ตกค้างในดินโดยเฉพาะในชั้นดินล่าง อีกทั้งสภาพแวดล้อมในเขตร้อนส่งเสริมการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเขตร้อนส่วนใหญ่จึงมีค่าต่ำ (Sanchez, 1976; Virgo and Holmes, 1977) รวมถึงเศษเหลือของมันสำปะหลังที่ถูกไถกลบคืนลงไปในดินมีค่อนข้างน้อย จะมีเพียงเหง้ากับส่วนกิ่งก้าน และใบเท่านั้นที่คงเหลืออยู่ในแปลง ขณะที่ส่วนหัวและลำต้นจะถูกนำออกไปจากแปลงเพื่อการขายและขยายพันธุ์ตามลำดับ จึงทำให้การคืนอินทรียวัตถุรวมถึงธาตุอาหารพืชสู่ดินนั้นต่ำ



T1 = control, T2-T4 = bentonite 100, 200 and 300 kg/rai, respectively, incorporat

T1 = control, T2-T4 = bentonite 100, 200 and 300 kg/rai, respectively, incorporated into the soil during the first plough, T5-T7 = bentonite 100, 200 and 300 kg/rai, respectively, applied at the same time as chemical fertilizer, T8-T10 = bentonite 100, 200 and 300 kg/rai, respectively, equally split with the ½ amount incorporated into the soil during the first plough and the other ½ applied at the same time as chemical fertilizer.

H = 7.5-7.5-7.5 kg N-P_2O_5-K_2O /rai, L = 7.5-3.725-7.5 kg N-P_2O_5-K_2O /rai

Different letters on bar are significantly different from each other according to DMRT

Figure 2 Effects of bentonite on property of an Ustic Quartzipsamment at depth of 0-15 cm, 15-30 cm and 30-40 cm; bulk density (a), soil pH (b), cation exchange capacity: CEC (c), organic matter (d), and ExchangeableK (e) and Available P (f)

การใส่เบนทอไนต์อัตรา 200 กก./ไร่ พร้อมกับปุ๋ยเคมีให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในชั้นความลึก 0-15 ซม. สูงสุดเท่ากับ 27.1 มก./กก. ขณะที่ในความลึก 15-30 และ 30-45 ซม. มีปริมาณสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในตำรับที่มีการแบ่งใส่เบนทอไนต์ 2 ครั้ง ในอัตรา 300 กก./ไร่ และตำรับที่ใส่เบนทอไนต์อัตรา 100 กก./ไร่ พร้อมกับปุ๋ยเคมีตามลำดับ ซึ่งให้เท่ากับ 22.5 และ 19.5 มก./กก. (**Figure 2**) ถึงแม้ว่าฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เกิดการสูญหายได้น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับไนโตรเจนและโพแทสเซียม (Brady and Weil, 2008) อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้ปริมาณฟอสฟอรัสที่หลงเหลือแตกต่างกันในดินทั้งสามชั้นความลึกไม่น่าจะเกิดจากผลของเบนทอไนต์ที่ใส่ เนื่องจากผลที่พบไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณของเบนทอไนต์ที่ใส่ อีกทั้งเบนทอไนต์มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนค่อนข้างสูงซึ่งน่าจะมีผลต่อการดูดจับธาตุซึ่งรูปที่เป็นประโยชน์เป็นแคตไอออนมากกว่าแอนไอออนดังเช่นในกรณีของฟอสฟอรัส (Brady and Weil, 2008; Noble et al., 2004)

สรุป

การปรับปรุงดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (Ustic Quartzipsamment) ด้วยการใส่เบนทอไนต์ในอัตรา 100-300 กก./ไร่ ในวิธีการที่แตกต่างกันช่วยเพิ่มผลผลิตและชีวมวลเหนือดินของมันสำปะหลังแต่ไม่ส่งเสริมผลผลิตแป้งและร้อยละการสะสมแป้ง โดยวิธีการแบ่งใส่ 2 ครั้ง (ครั้งแรกก่อนการถเปิดดิน และครั้งที่ 2 ใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี) ให้ผลไม่แตกต่างกับการใส่ทั้งหมดเพียงครั้งเดียวพร้อมกับการใส่ปุ๋ยเคมี แต่ให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ในช่วงเตรียมดินในทุกอัตรา อัตราปุ๋ยเคมีที่แตกต่างกันเช่นเดียวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างการใส่เบนทอไนต์และปุ๋ยเคมีไม่มีผลต่อการเพิ่มองค์ประกอบผลผลิตมันสำปะหลังสด แสดงให้เห็นว่า การลดปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสลงมาครึ่งหนึ่งหรือเรโช 2:1:2 ในอัตรา 7.5-3.725-7.5 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเรโช 1:1:1 ในอัตรา 7.5-7.5-7.5 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ แต่จะมีต้นทุนต่ำกว่า เบนทอไนต์มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงแต่ไม่มีผลให้ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินเปลี่ยนแปลง แต่ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่หลงเหลือในดินแตกต่างกันแต่ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณของเบนทอไนต์ที่ใส่เพิ่มเติม

การแบ่งใส่เบนทอไนต์อัตรา 200 กก./ไร่ โดยครึ่งหนึ่งใส่ก่อนการไถเปิดดิน และอีกครึ่งหนึ่งใส่พร้อมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 7.5-7.5-7.5 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ มีความเหมาะสมที่สุดที่ควรแนะนำให้ใช้สำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในดินนี้เนื่องจากให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดและชีวมวลส่วนเหนือดินสูงสุด รวมทั้งส่งเสริมให้มันสำปะหลังมีการดูดใช้ธาตุอาหารหลักมากที่สุด โดยที่การใส่เบนทอไนต์ในอัตราที่มากขึ้นเป็น 300 กก./ไร่ มีแนวโน้มทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดลดลง

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (สวพ.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. 2539. เบนทอไนต์. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กองสำรวจดิน. 2526. แผนที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มาตราส่วน 1:100,000. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ดาราพร กาญจนะ. 2556. ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อมันสำปะหลังที่ปลูกบนดินยโสธรเสื่อมโทรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ดารารัตน์ อุ่นเสนีย์, ศุภิฌา ธนะจิตต์, สมชัย อนุสนธิพรเพิ่ม และเอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2558. ผลของเบนทอไนต์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพปุ๋ยโพแทสเซียมและผลผลิตมันสำปะหลังที่ปลูกในดินสตึก. แก่นเกษตร. 43: 707-716.

ภัทรสวันต์ แสงคำ. 2552. ผลของโซเดียมเบนทอไนต์ต่อสมบัติดินและการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง5. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กำแพงแสน.

สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร. 2555. สถาณการณ์ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจ. สำนักงาเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. 2557. การสำรวจ และการค้ามันสำปะหลัง. แหล่งข้อมูล: http://goo.gl/phxnrp. ค้นเมื่อ 12 กันยายน 2557.

สำนักงานคณะกรรมการกำกับการซื้อขายเกษตรล่วงหน้า. 2554. รายงานผลการศึกษาสินค้าเกษตรประเภทมันสำปะหลัง. ตลาดสิค้าเกษตรล่วงหน้าแห่งประทศไทย, กรุงเทพฯ.

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

Croker, J., R. Poss, C. Hartmann, and S. Bhuthorndharaj. 2004. Effects of recycled bentonite addition on soil properties, plant growth and nutrient uptake in a tropical sandy soil. Plant Soil 267: 155-163.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. Save and Grow: Cassava. Available: http://goo.gl/hnhZmJ. Accessed Jul. 5, 2016

Inglethorpe, S.D.J., D.J. Morgan, D.E. Highley, and A.J. Bloodworth. 1993. Industrial Minerals Laboratory Manual Bentonite. Mineralogy and Petrology Group, British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, United Kingdom.

Johnson, C.M., and A. Ulrich. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. Calif. Agri. Exp. Stat. Bull. 767: 25-78.

Mitsuchi M., P. Wichaidit, and S. Jeungnijnirund. 1986. Outline of Soils of the Northeast Plateau, Thailand. Their Characteristics and Constraints .ADR, Khon Kean, Thailand.

Murphy, J., and J.P. Rilry. 1992. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. .Anal. Chim. Acta. 27: 31-56.

Noble A.D., G.P. Gillman, S. Nath, and R.J. Srivastava. 2004. Changes in the surface charge characteristics of degraded soils in the wet tropics through the addition of beneficiated bentonite. J. Soil Res. 39: 991-1001.

Rezvan, T., and R.S. Ali. 2012. Effects of bentonite on water infiltration in a loamy sand soil. Agronomy and Soil Science. 59: 1409-1418.

Sanchez, P.A. 1976. Properties and Management of Soils in the Tropics. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Sittibusaya, C., C. Narkaviroj, and D.Tunrnaphirom. 1987. Cassava soil research in Thailand, pp. 145-156. In R.H. Howeler and K. Kawano, eds. Cassava Breeding and Agronomy Research in Asia. Proceedings of a Regional Workshop Held in Rayong, Thailand.

Talebnezhad, R., and A.R. Sepaskhah. 2012. Effects of bentonite on water infiltration in a loamy sand soil. Archives Agron. Soil Sci. 59: 1049-1418.

Virgo, K.J., and D.A. Holmes. 1977. Soil and landform features of mountainous terrain in South Thailand. Geoderma. 18: 207-225.