การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน

Utilization of By-product from Ethanol Factory on Growth, Yield and Yield Components of Cassava Planted in Kamphaeng Saen Soil Series

ณัฐวุฒิ อ่อนเฉียบ[1] ชัยสิทธิ์ ทองจู[1*] ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย[1] อัญธิชา พรมเมืองคุก[1] และธีรยุทธ คล้ำชื่น[2]

Nattawut Onchiab[1], Chaisit Thongjoo[1*], Tawatchai Inboonchuay[1], Aunthicha Phommuangkhuk[1] and Teerayut Klumchaun[2]

Received: January 10, 2022
Revised: March 4, 2022
Accepted: March 9, 2022

Abstract: The effects of by-products from ethanol factory (spent wash liquor (SWL) and treated waste water (TWW)) on growth, yield and yield components of cassava (var. Huay Bong 60) planted in Kamphaeng Saen soil series was investigated. The experimental design was Randomized Complete Block (RCBD) consisting of 11 treatments and 3 replications. The results revealed that the application of chemical fertilizer based on soil chemical analysis (CF_{DOA}) in combination with SWL of 20 m^3/rai and TWW of 20 m^3/rai (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$, T_{10}) provided the highest plant height, average weight/root and root width which were not significantly different from the application of CF_{DOA} in combination with SWL of 10 m^3/rai and TWW of 10 m^3/rai (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$, T_9) and the application of CF_{DOA} in combination with SWL of 20 m^3/rai (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$, T_3). Furthermore, the CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) gave the highest fresh root yield and starch content which were not significantly different from the CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$ (T_9), the CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$ (T_3), the application of CF_{DOA} in combination with SWL of 40 m^3/rai and TWW of 40 m^3/rai (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$, T_{11}), the application of CF_{DOA} in combination with SWL of 40 m^3/rai (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$, T_4), the application of CF_{DOA} in combination with of 80 and 40 m^3/rai (CF_{DOA}+$TWW_{80\ m3}$ (T_8) and CF_{DOA}+$TWW_{40\ m3}$ (T_7)). The CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) provided the highest starch yield/unit area, concentration of P and K in fresh root which were not significantly different from the CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$ (T_9).

Keywords: by-product, cassava, spent wash liquor, treated waste water

บทคัดย่อ: ศึกษาผลของการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอล 2 ชนิด คือ น้ำกากส่า (spent wash liquor, SWL) และน้ำบำบัด (treated waste water, TWW) ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD

[1] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

[2] คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12130

[1] Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140

[2] Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12130

* Corresponding author: agrcht@ku.ac.th and thongjuu@yahoo.com

จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 11 ตำรับทดลอง ผลการศึกษา พบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$, T_{10}) มีผลให้ความสูงต้น น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว และความกว้างหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$, T_9) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$, T_3) นอกจากนี้ CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) มีผลให้ผลผลิตหัวสด และเปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$ (T_9), CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$ (T_3), การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$, T_{11}) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$, T_4) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำบำบัดอัตรา 80 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$TWW_{80\ m3}$, T_8) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$TWW_{40\ m3}$, T_7) CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) มีผลให้ผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ ความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$ (T_9)

คำสำคัญ: ผลพลอยได้, มันสำปะหลัง, น้ำกากส่า, น้ำบำบัด

คำนำ

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2562) รายงานว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง 8.94 ล้านไร่ ได้ผลผลิตหัวมันสด 31.10 ล้านตัน คิดเป็นผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ 3.56 ตัน/ไร่ โดยมันสำปะหลังมีการขยายการส่งออกและการเปิดตลาดในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรปและสาธารณรัฐประชาชนจีน ทำให้มีโอกาสเพิ่มการส่งออกมันสำปะหลังได้มากขึ้น ประกอบกับรัฐบาลไทยได้สนับสนุนการสร้างโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ส่งผลให้ความต้องการผลผลิตหัวสดมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) โรงงานอุตสาหกรรมมักมีผลพลอยได้เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก เช่น กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ กากตะกอนยีสต์ และน้ำวีแนสจากโรงงานผลิตเอทานอล กากมันสำปะหลังจากโรงงานผลิตแป้งมัน เป็นต้น โดยผลพลอยได้ดังกล่าวมีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อยและมักก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al*., 2005) ที่ผ่านมามีรายงานเกี่ยวกับการนำผลพลอยได้มาใช้ประโยชน์ในแง่ปุ๋ยกับมันสำปะหลังค่อนข้างน้อย เช่น การใช้ผลพลอยได้จากโรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) (ภาณุพงศ์และคณะ, 2557) วัสดุอินทรีย์ผสมระหว่างกากตะกอนยีสต์และน้ำวีแนส (ทิพวรรณ และคณะ, 2557) วัสดุอินทรีย์ผสมระหว่างผลพลอยได้จากโรงงานผงชูรสและขี้เถ้าลอย (ธีรยุทธ และคณะ, 2560) กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย (ณิชากร และคณะ, 2562) เป็นต้น ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งปริมาณน้ำมันดิบจากธรรมชาติลดน้อยลง โดยผลผลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลที่สำคัญ ได้แก่ น้ำกากส่า (spent wash liquor, SWL) และน้ำที่ผ่านการบำบัด (treated waste water, TWW) ซึ่งมีปริมาณมากถึง 839,500 และ 912,500 ลูกบาศก์เมตร/ปี ตามลำดับ (ปริศนะ และคณะ, 2561) จึงเกิดแนวคิดในการศึกษาการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำผลพลอยได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมแล้ว ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรที่ปลูกมันสำปะหลังในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งของผลพลอยได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen soil series, Ks; Typic Haplustalfs; fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic, Soil Survey Staff, 2003) เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติบางประการของดิน ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์ดินตามหลักคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2542) ได้แก่ ค่า pH (1:1) ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC_e) ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ รวมทั้งเนื้อดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2558) สำหรับสมบัติบางประการของดินก่อนการทดลองได้แสดงไว้ใน (Table 1) ปลูกมันสำปะหลัง ในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563-เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 จำนวน 33 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 5 เมตร และยาว 8 เมตร จำนวน 5 แถว ทำการเก็บเกี่ยวเฉพาะ 3 แถวกลาง เว้นหัวและท้ายแถวประมาณ 1 เมตร โดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงย่อยเท่ากับ 3 x 6 ตารางเมตร มีระยะห่างระหว่างต้น 1 เมตร และระยะห่างระหว่างแถว 1 เมตร วางแผนทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCBD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จำนวน 11 ตำรับทดลอง ดังนี้

ตำรับทดลอง	คำบรรยาย	สัญลักษณ์	ปริมาณธาตุอาหารหลัก (กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่)
T_1	ตำรับควบคุม	control	0 - 0 - 0
T_2	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน	CF_{DOA}	16 - 0 - 4
T_3	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$	16.6 – 0.6 – 12.8
T_4	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$	17.2 – 1.2 – 21.6
T_5	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 80 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$SWL_{80\ m3}$	18.4 – 2.4 – 39.2
T_6	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$TWW_{20\ m3}$	16 - 0 - 4
T_7	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$TWW_{40\ m3}$	16 - 0 - 4
T_8	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำบำบัดอัตรา 80 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$TWW_{80\ m3}$	16 - 0 - 4
T_9	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$	16.3 – 0.3 – 8.4
T_{10}	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$	16.6 – 0.6 – 12.8
T_{11}	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$	17.2 – 1.2 – 21.6

หมายเหตุ CF = chemical fertilizer
DOA = Department of Agriculture
SWL = spent wash liquor
TWW = treated waste water

การใส่ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21 %N) ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (46 %P_2O_5) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (60 %K_2O) โดยแบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละครึ่งอัตรา ในแต่ละตำรับทดลองที่อายุ 2 และ 4 เดือนหลังปลูก ยกเว้น ตำรับควบคุม (control) อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับมันสำปะหลัง คือ 16 และ 4 กิโลกรัม N และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) สำหรับผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดมาจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง บริษัท อินทิเกรทเต็ด รีเสิร์ช เซ็นเตอร์ จำกัด และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดนครปฐม (Table 2) โดยการใส่ผลพลอยได้ดังกล่าวจะแบ่งใส่ 4 ครั้ง ที่อายุ 2, 3, 4 และ 5 เดือนหลังปลูก กล่าวคือ ตำรับทดลองที่ 3, 4, 5, 9, 10 และ 11 ใส่น้ำกากส่าอัตรา 20, 40, 80, 10, 20 และ 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ตามลำดับ ส่วนตำรับทดลองที่ 6, 7, 8, 9, 10 และ 11 ใส่น้ำที่ผ่านการบำบัดอัตรา 20, 40, 80, 10, 20 และ 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ตามลำดับ

การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูก (จำนวน 10 ต้น/แปลงย่อย) ได้แก่ ความสูงต้น และค่าความเขียวของใบ (SPAD unit) (วัดตำแหน่งใบที่ 3-5 จากปลายยอด) โดยใช้เครื่อง chlorophyll meter (Minolta Co., Ltd., JAPAN: SPAD-502 model) สำหรับการเก็บผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือน (จำนวน 10 ต้น/แปลงย่อย) ได้แก่ ผลผลิตหัวสด น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว ความกว้างและความยาวหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสด (ใช้เครื่อง Remain Scale) ผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในผลผลิตหัวสด

ข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม Statistical Package for the Social Science for Windows (SPSS)

Table 1 Chemical and physical properties of soil before the experiment.

Properties	Results (0-30 cm)	Rating
pH (1:1)	7.46	slightly alkaline
EC_e (dS/m)	0.73	non-saline
Organic matter (%)	0.81	low
Available P (mg/kg)	33.55	high
Exchangeable K (mg/kg)	93.74	high
Exchangeable Ca (mg/kg)	1,185	high
Exchangeable Mg (mg/kg)	115.61	moderate
Exchangeable Na (mg/kg)	29.54	-
Texture	sandy loam	-

Table 2 Properties of by-product from ethanol factory before the experiment.

Properties	Results	
	Spent wash liquor (SWL)	Treated waste water (TWW)
pH	4.10	7.08
EC (dS/m)	16.15	2.85
Organic matter (%)	5.60	n.d.
Total N (mg/l)	300	n.d.
Available P_2O_5 (mg/l)	300	n.d.
Exchangeable K_2O (mg/l)	4,400	n.d.
Total Ca (mg/l)	1,200	100
Total Mg (mg/l)	600	n.d.
Total S (mg/l)	500	300
Total Fe (mg/l)	n.d.	n.d.
Total Mn (mg/l)	n.d.	n.d.
Total Cu (mg/l)	n.d.	n.d.
Total Zn (mg/l)	n.d.	n.d.
Total B (mg/l)	n.d.	n.d.
Total Na (mg/l)	n.d.	200
Soluble Na (%)	0.16	0.47

Note n.d. = not detected

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง ปรากฏผลดังนี้

1. การเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

1.1 ความสูงต้น

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 3) กล่าวคือ ที่อายุ 3 และ 6 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$, T_{10}) มีผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$, T_9) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$, T_3) ที่อายุ 9 เดือนหลังปลูก พบว่า CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) มีผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังมากที่สุด (251.46 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับ CF_{DOA}+SWL_{10m3}+$TWW_{10\ m3}$ (T_9) ขณะที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก พบว่า CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) มีผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังมากที่สุด (310.64 เซนติเมตร) รองลงมา คือ CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$ (T_9) ซึ่งไม่แตกต่างกับ CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$ (T_3)

Agricultural Science and Management J. 5 (2) : 16-27 (2022)

Table 3 Plant height of cassava at different ages (months after planting, MAP).

Treatments	Plant height (cm)			
	3 MAP[1/]	6 MAP[1/]	9 MAP[1/]	12 MAP[1/]
T_1 = control	60.31^{g} [1/]	110.26^{i} [1/]	157.57^{h} [1/]	187.52^{h} [1/]
T_2 = CF_{DOA}	80.56^{e}	138.61^{g}	215.45^{g}	260.32^{f}
T_3 = CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$	108.45^{ab}	180.58^{ab}	243.36^{bc}	297.47^{bc}
T_4 = CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$	100.32^{cd}	172.59^{cd}	238.57^{cd}	290.45^{c}
T_5 = CF_{DOA}+$SWL_{80\ m3}$	73.43^{f}	130.44^{h}	209.40^{g}	236.40^{g}
T_6 = CF_{DOA}+$TWW_{20\ m3}$	93.63^{d}	160.51^{f}	225.52^{f}	273.47^{e}
T_7 = CF_{DOA}+$TWW_{40\ m3}$	95.51^{d}	165.39^{ef}	230.50^{ef}	276.44^{de}
T_8 = CF_{DOA}+$TWW_{80\ m3}$	97.67^{d}	169.78^{de}	233.57^{de}	281.65^{d}
T_9 = CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$	112.52^{ab}	183.52^{ab}	247.73^{ab}	302.42^{b}
T_{10} = CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$	114.69^{a}	187.46^{a}	251.46^{a}	310.64^{a}
T_{11} = CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$	106.68^{bc}	177.46^{bc}	240.50^{c}	293.53^{c}
F-test	**	**	**	**
CV (%)	13.40	12.42	13.68	12.61

[1/] means within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference by DMRT

** indicated significant difference at P< 0.01

1.2 ค่าความเขียวของใบ

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่าและน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก พบว่า ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่าและน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี มีผลให้ค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังใกล้เคียงกัน ส่วนที่อายุ 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูก พบว่า CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) มีผลให้ค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$ (T_9), CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$ (T_3), การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$, T_{11}), การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$, T_4), การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำบำบัดอัตรา 80, 40 และ 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$TWW_{80\ m3}$ (T_8), CF_{DOA}+$TWW_{40\ m3}$ (T_7) และ CF_{DOA}+$TWW_{20\ m3}$ (T_6)) โดยมีข้อสังเกตว่าค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังที่อายุ 6 เดือนหลังปลูกมีค่าสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการศึกษา สอดคล้องกับณิชากร และคณะ (2562) ที่ทดลองกับมันสำปะหลัง ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับต่ำ ดังนั้น ปริมาณปุ๋ยที่ปลดปล่อยไนโตรเจนลดลงตามระยะเวลา จึงส่งผลให้ค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังลดลง ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์นั่นเอง (ยงยุทธ, 2528) อย่างไรก็ตาม ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงต้น และค่าความเขียวของใบมันสำปะหลังน้อยที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโต

Table 4 Leaf greenness (SPAD unit) of cassava at different ages (months after planting, MAP).

Treatments	SPAD unit			
	3 MAP[1/]	6 MAP[1/]	9 MAP[1/]	12 MAP[1/]
T_1 = control	38.56[b 1/]	36.72[c 1/]	34.56[c 1/]	32.89[d 1/]
$T_2 = CF_{DOA}$	43.64[a]	46.39[b]	43.51[b]	41.27[bc]
$T_3 = CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}$	44.79[a]	50.36[a]	47.25[a]	45.36[a]
$T_4 = CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}$	44.60[a]	49.76[a]	46.51[ab]	44.21[a]
$T_5 = CF_{DOA}+SWL_{80\ m3}$	43.38[a]	45.12[b]	43.33[b]	40.34[c]
$T_6 = CF_{DOA}+TWW_{20\ m3}$	44.38[a]	49.28[a]	44.69[ab]	43.28[ab]
$T_7 = CF_{DOA}+TWW_{40\ m3}$	44.51[a]	49.53[a]	45.14[ab]	43.41[ab]
$T_8 = CF_{DOA}+TWW_{80\ m3}$	44.53[a]	49.64[a]	45.28[ab]	43.56[ab]
$T_9 = CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+TWW_{10\ m3}$	45.30[a]	51.18[a]	47.36[a]	45.42[a]
$T_{10} = CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+TWW_{20\ m3}$	45.33[a]	51.26[a]	47.64[a]	45.53[a]
$T_{11} = CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}+TWW_{40\ m3}$	44.63[a]	50.23[a]	46.69[ab]	44.29[a]
F-test	**	**	**	**
CV (%)	13.76	12.94	13.92	13.52

[1/] means within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference by DMRT

** indicated significant difference at P< 0.01

2. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลัง

2.1 ผลผลิตหัวสดและน้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่าและน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิตหัวสดและน้ำหนักเฉลี่ยต่อหัวของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) มีผลให้ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด (12.22 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+TWW_{10\ m3}$ (T_9), $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}$ (T_3), $CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}+TWW_{40\ m3}$ (T_{11}), $CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}$ (T_4), $CF_{DOA}+TWW_{80\ m3}$ (T_8) และ $CF_{DOA}+TWW_{40\ m3}$ (T_7) นอกจากนี้ $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) ยังมีผลให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัวของมันสำปะหลังมากที่สุด (0.57 กิโลกรัม) ไม่แตกต่างกับ $CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+TWW_{10\ m3}$ (T_9), $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}$ (T_3) และ $CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}+TWW_{40\ m3}$ (T_{11}) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ผลผลิตหัวสดและน้ำหนักเฉลี่ยต่อหัวของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (3.42 ตัน/ไร่ และ 0.21 กิโลกรัม ตามลำดับ)

2.2 ความกว้างและความยาวหัวสด

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่าและน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความกว้างและความยาวหัวสดของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) มีผลให้ความกว้างหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด (5.51 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับ $CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+TWW_{10\ m3}$ (T_9), $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}$ (T_3), $CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}+TWW_{40\ m3}$ (T_{11}) และ $CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}$ (T_4) ขณะที่ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมีมีผลให้ความกว้างหัวสดของมันสำปะหลังใกล้เคียงกันในช่วง 21.11-23.76 เซนติเมตร ส่วนตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความกว้างและความยาวหัวสดของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (3.52 และ 17.36 เซนติเมตร ตามลำดับ)

Agricultural Science and Management J. 5 (2) : 16-27 (2022)

Table 5 Fresh root yield, average weight/root, root width and root length of cassava at 12 months after planting.

Treatments	Fresh root yield (ton/rai)	Average weight/ root (kg)	Root width (cm)	Root length (cm)
T_1 = control	3.42$^{f\ 1/}$	0.21$^{f\ 1/}$	3.52$^{e\ 1/}$	17.36$^{b\ 1/}$
$T_2 = CF_{DOA}$	8.88^{de}	0.38^{e}	4.32^{d}	22.52^{a}
$T_3 = CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}$	11.67^{abc}	0.53^{abc}	5.41^{a}	23.51^{a}
$T_4 = CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}$	11.21^{abc}	0.48^{cd}	5.33^{a}	23.36^{a}
$T_5 = CF_{DOA}+SWL_{80\ m3}$	8.53^{e}	0.35^{e}	4.16^{d}	21.11^{a}
$T_6 = CF_{DOA}+TWW_{20\ m3}$	10.18^{cd}	0.45^{d}	4.72^{c}	23.12^{a}
$T_7 = CF_{DOA}+TWW_{40\ m3}$	10.51^{bc}	0.46^{d}	4.83^{c}	23.18^{a}
$T_8 = CF_{DOA}+TWW_{80\ m3}$	10.89^{abc}	0.47^{d}	5.12^{b}	23.24^{a}
$T_9 = CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+TWW_{10\ m3}$	11.88^{ab}	0.55^{ab}	5.43^{a}	23.54^{a}
$T_{10} = CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+TWW_{20\ m3}$	12.22^{a}	0.57^{a}	5.51^{a}	23.76^{a}
$T_{11} = CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}+TWW_{40\ m3}$	11.34^{abc}	0.51^{bcd}	5.38^{a}	23.42^{a}
F-test	**	**	**	**
CV (%)	13.81	12.13	12.31	11.67

$^{1/}$ means within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference by DMRT

** indicated significant difference at P< 0.01

2.3 เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสดและผลผลิตแป้งต่อพื้นที่

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสดและผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) มีผลให้เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด (28.33 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ $CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+TWW_{10\ m3}$ (T_{11}), $CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}+TWW_{40\ m3}$ (T_{11}), $CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}$ (T_4), $CF_{DOA}+TWW_{80\ m3}$ (T_8), $CF_{DOA}+TWW_{40\ m3}$ (T_7) และ $CF_{DOA}+TWW_{20\ m3}$ (T_6) นอกจากนี้ $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) ยังมีผลให้ผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังมากที่สุด (3.46 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับ $CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+TWW_{10\ m3}$ (T_{11}) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้เปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสดและผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (22.32 เปอร์เซ็นต์ และ 0.76 ตัน/ไร่ ตามลำดับ)

Table 6 Starch contents and starch yield of cassava at 12 months after planting.

Treatments	Starch contents (%)	Starch yield (ton/rai)
T_1 = control	22.32$^{d\ 1/}$	0.76$^{i\ 1/}$
$T_2 = CF_{DOA}$	25.12^{bc}	2.23^{h}
$T_3 = CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}$	27.63^{ab}	3.22^{bc}
$T_4 = CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}$	27.21^{abc}	3.05^{de}
$T_5 = CF_{DOA}+SWL_{80\ m3}$	24.86^{c}	2.12^{h}
$T_6 = CF_{DOA}+TWW_{20\ m3}$	26.18^{abc}	2.67^{g}
$T_7 = CF_{DOA}+TWW_{40\ m3}$	26.63^{abc}	2.80^{fg}
$T_8 = CF_{DOA}+TWW_{80\ m3}$	26.84^{abc}	2.92^{ef}
$T_9 = CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+TWW_{10\ m3}$	28.18^{a}	3.35^{ab}
$T_{10} = CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+TWW_{20\ m3}$	28.33^{a}	3.46^{a}
$T_{11} = CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}+TWW_{40\ m3}$	27.54^{ab}	3.12^{cd}
F-test	**	**
CV (%)	12.14	12.28

1/ means within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference by DMRT

** indicated significant difference at P< 0.01

2.4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สะสมในผลผลิตหัวสด

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สะสมในผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลังที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 7) กล่าวคือ $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด (0.235 เปอร์เซ็นต์) ไม่แตกต่างกับ $CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+TWW_{10\ m3}$ (T_9), $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}$ (T_3), $CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}+TWW_{40\ m3}$ (T_{11}) และ $CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}$ (T_4) นอกจากนี้ $CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) ยังมีผลให้ความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด (0.180 และ 1.502 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับ $CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+TWW_{10\ m3}$ (T_{11}) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังน้อยที่สุด (0.123, 0.074 และ 0.678 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

Agricultural Science and Management J. 5 (2) : 16-27 (2022)

Table 7 Concentrations of total N, P and K in fresh root of cassava at 12 months after planting.

Treatments	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)
T_1 = control	0.123$^{h\ 1/}$	0.074$^{f\ 1/}$	0.678$^{h\ 1/}$
$T_2 = CF_{DOA}$	0.208^{fg}	0.098^{e}	1.312^{f}
$T_3 = CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}$	0.231^{abc}	0.163^{b}	1.480^{b}
$T_4 = CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}$	0.223^{bcde}	0.132^{c}	1.463^{bc}
$T_5 = CF_{DOA}+SWL_{80\ m3}$	0.200^{g}	0.093^{e}	1.284^{g}
$T_6 = CF_{DOA}+TWW_{20\ m3}$	0.216^{ef}	0.118^{d}	1.428^{e}
$T_7 = CF_{DOA}+TWW_{40\ m3}$	0.217^{def}	0.122^{cd}	1.432^{de}
$T_8 = CF_{DOA}+TWW_{80\ m3}$	0.220^{cde}	0.128^{cd}	1.451^{cd}
$T_9 = CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+TWW_{10\ m3}$	0.233^{ab}	0.176^{a}	1.483^{ab}
$T_{10} = CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+TWW_{20\ m3}$	0.235^{a}	0.180^{a}	1.502^{a}
$T_{11} = CF_{DOA}+SWL_{40\ m3}+TWW_{40\ m3}$	0.228^{abcd}	0.154^{b}	1.472^{bc}
F-test	**	**	**
CV (%)	12.95	11.79	12.49

1/ means within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference by DMRT

** indicated significant difference at P< 0.01

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ให้ข้อสังเกตว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใส่น้ำกากส่าและน้ำที่ผ่านการบำบัด ($CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+TWW_{20\ m3}$ และ $CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+TWW_{10\ m3}$) มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใส่น้ำกากส่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใส่น้ำที่ผ่านการบำบัด และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์สมบัติบางประการของน้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัด (Table 2) พบว่า มีปริมาณธาตุอาหารพืชน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าระบบการบำบัดของเสียของโรงงานผลิตเอทานอลมีประสิทธิภาพสูง จึงมีปริมาณธาตุอาหารออกมาน้อยมากจนถึงระดับที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ โดยเฉพาะในกรณีของน้ำที่ผ่านการบำบัด นอกจากนี้ ตำรับทดลองที่มีการใส่น้ำกากส่าอย่างเดียวในอัตราสูง (80 ลูกบาศก์เมตร/ไร่) จะมีผลให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของมันสำปะหลังน้อยกว่าการใส่น้ำกากส่าอย่างเดียวในอัตราที่ต่ำกว่า (40 และ 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ตามลำดับ) ทั้งนี้เป็นเพราะน้ำกากส่ามีค่า pH ที่เป็นกรดรุนแรงมาก (extremely acid) และค่าการนำไฟฟ้าที่อยู่ในระดับเค็มมากที่สุด (> 16 dS/m) ดังนั้น การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดผสมร่วมกับน้ำกากส่าจะช่วยลดข้อจำกัดในด้านค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำกากส่าได้ อีกทั้งยังสามารถใช้เพื่อทดแทนน้ำชลประทานได้อีกด้วย

สรุป

การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ($CF_{DOA}+SWL_{20\ m3}+TWW_{20\ m3}$, T_{10}) มีผลให้ความสูงต้น น้ำหนักเฉลี่ยต่อหัว และความกว้างหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ($CF_{DOA}+SWL_{10\ m3}+TWW_{10\ m3}$, T_9) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา

20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$, T_3) นอกจากนี้ CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) มีผลให้ผลผลิตหัวสด และเปอร์เซ็นต์แป้งส่วนหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$ (T_9), CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$ (T_3), การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$ (T_{11}), การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$ (T_4), การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำบำบัดอัตรา 80 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$TWW_{80\ m3}$ (T_8) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$TWW_{40\ m3}$ (T_7) อย่างไรก็ตาม CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$ (T_{10}) มีผลให้ผลผลิตแป้งต่อพื้นที่ ความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่สะสมในส่วนหัวสดของมันสำปะหลังมากที่สุด ไม่แตกต่างกับ CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$ (T_{11})

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาวิชาการระหว่างภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดนครปฐม และบริษัท อินทิเกรทเต็ด รีเสิร์ช เซ็นเตอร์ จำกัด ภายใต้โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สวทช.

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 100 น.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2558. คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทางดิน ระบบโสตทัศนูปกรณ์. คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 174 น.

ณิชากร ทองมี, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, สิรินภา ช่วงโอภาส, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญธิชา พรมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ชาลินี คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้ำชื่น. 2562. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ 2 (2): 91-105.

ทิพวรรณ แก้วหนู, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธงชัย มาลา, ศุภชัย อำคา, วิภาวรรณ ท้ายเมือง, ชาลินี คงสุด, ธีรยุทธ คล้ำชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ และศิริสุดา บุตรเพชร. 2557. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากกากตะกอนยีสต์และน้ำวีแนสต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง, หน้า 53-66 *ใน* การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 11 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และจงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 108 น.

ธีรยุทธ คล้ำชื่น, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ทศพล พรพรหม และธวัชชัย อินทร์บุญช่วย. 2560. ผลของวัสดุอินทรีย์ผสมจากผลพลอยได้โรงงานผงชูรส (อามิ-อามิ) และขี้เถ้าลอยต่อผลผลิตของมันสำปะหลัง และสมบัติของดิน. วารสารแก่นเกษตร 45 (4): 711-720.

ปริศนะ จันทร์ลา, ประดิพัทธ์ บำรุงศรี และอภิสิทธิ์ คล้ายนิล. 2561. สรุปการศึกษาดูงาน ณ โรงงานเอทานอล มิตรผล ไบโอฟูเอล (ด่านช้าง), ปราจีนบุรี.

ภาณุพงศ์ ชลชลา, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธงชัย มาลา, ศุภชัย อำคา, วิภาวรรณ ท้ายเมือง, ชาลินี คงสุด, ธีรยุทธ คล้ำชื่น, ปิยพงศ์ เขตปิยรัตน์ และศิริสุดา บุตรเพชร. 2557. ผลของการใช้กากน้ำตาลผงชูรส (อามิ-อามิ) ต่อการ

เจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง, หน้า 67-80 *ใน* การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 11 สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ, นครปฐม.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2528. หลักการผลิตและการใช้ปุ๋ย. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ. 274 น.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2554-2556. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 237 น.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2560-2562. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 221 น.

Soil Survey Staff. 2003. Key to Soil Taxonomy: Ninth Edition. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C. 332 p.

Thongjoo, C., S. Miyagawa and N. Kawakubo. 2005. Effect of soil moisture and temperature on decomposition rates of some waste materials from agriculture and agro-industry. Plant Production Science 8(4): 475-481.