การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตมวลชีวภาพของยูคาลิปตัส

Utilization of By-product from Ethanol Factory on Growth and Biomass Yield of Eucalyptus

ศิริพร พันธุ์วงษ์[1] ชัยสิทธิ์ ทองจู[1*] ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย[1] อัญธิชา พรมเมืองคุก[1] และธีรยุทธ คล้ำชื่น[2]

Siriporn Phanwong[1] Chaisit Thongjoo[1*] Tawatchai Inboonchuay[1] Aunthicha Phommuangkhuk[1] and Teerayut Klumchaun[2]

Received: November 29, 2021
Revised: January 14, 2022
Accepted: January 24, 2022

Abstract: The utilization of by-product from ethanol factory (spent wash liquor (SWL) and treated waste water (TWW)) on growth and biomass yield of eucalyptus planted in Kamphaeng Saen soil series was investigated. The experimental design was Randomized Complete Block (RCBD) with 3 replications consisting of 11 treatments. The results revealed that the application of chemical fertilizer (CF) based on soil chemical analysis in combination with SWL of 20 m^3/rai and TWW of 20 m^3/rai (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$) gave the highest plant height, plant diameter, total fresh and dry biomass which was not significantly different from the application of CF based on soil chemical analysis in combination with SWL of 10 m^3/rai and TWW of 10 m^3/rai (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$), or the application of CF based on soil chemical analysis in combination with SWL of 20 m^3/rai (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$) and also the application of CF based on soil chemical analysis in combination with SWL of 40 m^3/rai and TWW of 40 m^3/rai (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$).

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

บทคัดย่อ: ศึกษาผลของการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอล 2 ชนิด คือ น้ำกากส่า (spent wash liquor, SWL) และน้ำบำบัด (treated waste water, TWW) ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 11 ตำรับทดลอง ผลการศึกษา พบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$) มีผลให้ความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น มวลชีวภาพสดรวม และมวลชีวภาพแห้งรวมของยูคาลิปตัสมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$)

คำสำคัญ: ผลพลอยได้, ยูคาลิปตัส, น้ำกากส่า, น้ำบำบัด

[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

คำนำ

ยูคาลิปตัสได้รับการส่งเสริมให้ปลูกกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นไม้ที่สามารถปลูกได้ในทุกสภาพดินและเป็นไม้ที่โตเร็ว จึงเป็นที่นิยมปลูกกันทั่วโลกทั้งในประเทศเขตร้อนและเขตอบอุ่น (เนติธร และคณะ, 2562) กรมป่าไม้ได้ส่งเสริมให้มีการปลูกไว้ใช้สอยในที่ดินกรรมสิทธิ์ของเกษตรกรเอง และส่งเสริมให้ปลูกยูคาลิปตัสแทนพืชไร่บางชนิด เช่น มันสำปะหลัง เป็นต้น (ภูวดล และคณะ, 2562) ปัจจุบันภาคเอกชนได้ให้ความสนใจต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมที่ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบมากขึ้น ส่งผลให้มีความต้องการใช้ไม้ยูคาลิปตัสเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษ (ชัยสิทธิ์ และธนัตศรี, 2553) โดยทั่วไปโรงงานอุตสาหกรรมมีผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก เช่น กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย กากตะกอนเยื่อกระดาษ กากตะกอนยีสต์ เป็นต้น โดยผลพลอยได้ดังกล่าวมีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย จึงมักถูกทิ้งไว้ในแหล่งผลิตหรือบริเวณข้างเคียง ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหากระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ (Thongjoo *et al*., 2005) 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 และผลผลิตมวลชีวภาพของยูคาลิปตัส ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำผลพลอยได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมแล้ว ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรที่ปลูกยูคาลิปตัสในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งของผลพลอยได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตมวลชีวภาพของยูคาลิปตัส ณ แปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน 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) ปลูกยูคาลิปตัส (อายุ 3 เดือน) สายพันธุ์ K 7 ในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 - เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 จำนวน 33 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยมีขนาดกว้าง 6 เมตร และยาว 6 เมตร มีระยะห่างระหว่างต้น 1 เมตร และระยะห่างระหว่างแถว 1 เมตร (จำนวน 1,600 ต้น/ไร่) 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}	24 - 4 - 14
T_3	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่า อัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$	24.6 – 4.6 – 22.8
T_4	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่า อัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$	25.2 – 5.2 – 31.6
T_5	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่า อัตรา 80 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$SWL_{80\ m3}$	26.4 – 6.4 – 49.2
T_6	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำบำบัด อัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$TWW_{20\ m3}$	24 - 4 - 14
T_7	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำบำบัด อัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$TWW_{40\ m3}$	24 - 4 - 14
T_8	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำบำบัด อัตรา 80 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$TWW_{80\ m3}$	24 - 4 - 14
T_9	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่า อัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$	24.3 – 4.3 – 18.4
T_{10}	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่า อัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$	24.6 – 4.6 – 22.8
T_{11}	ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่า อัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่	CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$	25.2 – 5.2 – 31.6

หมายเหตุ CF = chemical fertilizer
SWL = spent wash liquor
DOA = Department of Agriculture
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) อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับไม้ยืนต้น (ยูคาลิปตัส) คือ 24, 4 และ 14 กิโลกรัม N, P_2O_5 และ K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) สำหรับผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ น้ำกากส่า (spent wash liquor, SWL) และน้ำที่ผ่านการบำบัด (treated waste water, TWW) มาจากโครงการพัฒนาวิชาการระหว่าง 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 ใส่น้ำกากส่า อัตรา 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

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของยูคาลิปตัสที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูก จำนวน 10 ต้น/แปลงย่อย ได้แก่ ความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับ 5 เซนติเมตร จากผิวดิน และค่าความเขียวของใบ (SPAD reading) (วัดตำแหน่งใบที่ 3-5 จากปลายยอด) โดยใช้เครื่อง chlorophyll meter (Minolta Co., Ltd., JAPAN: SPAD-502 model) สำหรับการเก็บข้อมูลมวลชีวภาพสดและแห้งส่วน

เหนือดินของยูคาลิปตัสที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก โดยการตัดต้นยูคาลิปตัสที่ระดับ 5 เซนติเมตร จากผิวดิน จำนวน 10 ต้น/แปลงย่อย จากนั้น แยกส่วนต้น แขนง และใบ เพื่อชั่งน้ำหนักสดและอบหาน้ำหนักแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (ภูวดล และคณะ, 2562) นำข้อมูลการเจริญเติบโต และผลผลิตมวลชีวภาพสดและแห้งส่วนเหนือดินของยูคาลิปตัสมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (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)	7.56	slightly alkaline
EC_e (dS/m)	0.77	non-saline
Organic matter (%)	0.73	low
Available P (mg/kg)	30.58	high
Exchangeable K (mg/kg)	103.58	high
Exchangeable Ca (mg/kg)	1,114	high
Exchangeable Mg (mg/kg)	118.54	moderate
Exchangeable Na (mg/kg)	31.42	-
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

จากการศึกษาการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากโรงงานผลิตเอทานอลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตมวลชีวภาพของยูคาลิปตัส ปรากฏผลดังนี้

1. การเจริญเติบโตของยูคาลิปตัส

1.1 ความสูงต้น

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่าและน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงต้นของยูคาลิปตัสที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 3) กล่าวคือ ที่อายุ 3 และ 12 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$) มีผลให้ความสูงต้นของยูคาลิปตัสมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$) ที่อายุ 6 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$) มีผลให้ความสูงต้นของยูคาลิปตัสมากที่สุด (388.54 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$) ส่วนที่อายุ 9 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$) มีผลให้ความสูงต้นของยูคาลิปตัสมากที่สุด (455.50 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$)

Table 3 Plant height of eucalyptus at different stages.

Treatments	Plant height (cm)			
	3 MAP[1/]	6 MAP[1/]	9 MAP[1/]	12 MAP[1/]
T_1 = control	118.22^{e} [2/]	187.36^{f} [2/]	247.34^{i} [2/]	312.34^{i} [2/]
T_2 = CF_{DOA}	138.33^{d}	360.54^{d}	412.59^{g}	576.61^{g}
T_3 = CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$	159.43^{a}	385.42^{a}	446.36^{bc}	633.49^{ab}
T_4 = CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$	150.32^{bc}	376.47^{bc}	438.39^{de}	622.64^{cd}
T_5 = CF_{DOA}+$SWL_{80\ m3}$	135.34^{d}	342.29^{e}	389.51^{h}	553.58^{h}
T_6 = CF_{DOA}+$TWW_{20\ m3}$	145.36^{c}	368.58^{c}	430.22^{f}	587.57^{f}
T_7 = CF_{DOA}+$TWW_{40\ m3}$	147.49^{bc}	370.33^{c}	433.55^{ef}	607.45^{e}
T_8 = CF_{DOA}+$TWW_{80\ m3}$	148.57^{bc}	374.65^{bc}	435.40^{ef}	613.60^{de}
T_9 = CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$	161.47^{a}	387.47^{a}	450.31^{ab}	636.42^{ab}
T_{10} = CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$	163.53^{a}	388.54^{a}	455.50^{a}	640.53^{a}
T_{11} = CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$	153.29^{b}	380.30^{ab}	442.63^{cd}	628.49^{bc}
F-test	**	**	**	**
CV (%)	12.43	12.95	13.95	12.91

[1/] Months after planting

[2/] 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 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่าและน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของยูคาลิปตัสที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 4) กล่าวคือ ที่อายุ 3, 6 และ 9 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$) มีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของยูคาลิปตัสมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำบำบัดอัตรา 80 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$WT_{80\ m3}$) ส่วนที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก พบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$) มีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของยูคาลิปตัสมากที่สุด (8.55 เซนติเมตร) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$)

Table 4 Plant diameters of eucalyptus at different stages.

Treatments	Plant diameters (cm)			
	3 MAP[1/]	6 MAP[1/]	9 MAP[1/]	12 MAP[1/]
T_1 = control	$0.74^{f\ 2/}$	$1.62^{g\ 2/}$	$2.47^{f\ 2/}$	$3.58^{g\ 2/}$
T_2 = CF_{DOA}	1.20^{d}	3.35^{e}	4.87^{d}	7.36^{e}
T_3 = CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$	1.50^{a}	3.63^{abc}	5.25^{abc}	8.47^{ab}
T_4 = CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$	1.47^{ab}	3.60^{abc}	5.20^{abc}	8.36^{b}
T_5 = CF_{DOA}+$SWL_{80\ m3}$	1.03^{e}	2.71^{f}	4.24^{e}	6.26^{f}
T_6 = CF_{DOA}+$TWW_{20\ m3}$	1.38^{c}	3.45^{de}	5.11^{c}	7.88^{d}
T_7 = CF_{DOA}+$TWW_{40\ m3}$	1.41^{bc}	3.50^{cd}	5.15^{bc}	8.00^{d}
T_8 = CF_{DOA}+$TWW_{80\ m3}$	1.45^{abc}	3.57^{bcd}	5.18^{abc}	8.21^{c}
T_9 = CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$	1.51^{a}	3.68^{ab}	5.27^{ab}	8.51^{a}
T_{10} = CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$	1.52^{a}	3.72^{a}	5.31^{a}	8.55^{a}
T_{11} = CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$	1.48^{ab}	3.62^{abc}	5.22^{abc}	8.43^{ab}
F-test	**	**	**	**
CV (%)	12.87	13.18	11.41	11.33

[1/] Months after planting

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

** indicated significant difference at P< 0.01

1.3 ค่าความเขียวของใบ

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้ค่าความเขียวของใบยูคาลิปตัสที่อายุ 3, 6, 9 และ 12 เดือนหลังปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 5) กล่าวคือ ทุกตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี มีผลให้ค่าความเขียวของใบยูคาลิปตัสใกล้เคียงกัน โดยมีข้อสังเกตว่าค่าความเขียวของใบยูคาลิปตัสที่อายุ 6 เดือนหลังปลูก มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการศึกษา สอดคล้องกับผลการทดลองของชัยสิทธิ์ และธนัตศรี (2553) ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินกำแพงแสนมีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับต่ำ (Table 1) ดังนั้น ปริมาณปุ๋ยที่ปลดปล่อยไนโตรเจนลดลงตามระยะเวลา จึงส่งผลให้ค่าความเขียวของใบยูคาลิปตัสลดลง ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์นั่นเอง (ยงยุทธ, 2528) อย่างไรก็ตาม ตำรับควบคุม (control) มีผลให้ความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และค่าความเขียวของใบยูคาลิปตัสน้อยที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโต

Table 5 Leaf greenness (SPAD reading) of eucalyptus at different stages.

Treatments	SPAD reading			
	3 MAP[1/]	6 MAP[1/]	9 MAP[1/]	12 MAP[1/]
T_1 = control	33.49^{b} [2/]	32.93^{d} [2/]	31.63^{b} [2/]	30.69^{d} [2/]
T_2 = CF_{DOA}	36.12^{ab}	43.18^{bc}	41.52^{a}	38.76^{bc}
T_3 = CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$	37.33^{a}	45.67^{abc}	43.16^{a}	41.22^{a}
T_4 = CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$	36.89^{a}	45.18^{abc}	42.76^{a}	40.39^{abc}
T_5 = CF_{DOA}+$SWL_{80\ m3}$	36.00^{ab}	42.67^{c}	40.62^{a}	38.21^{c}
T_6 = CF_{DOA}+$TWW_{20\ m3}$	36.71^{a}	44.11^{abc}	42.11^{a}	39.57^{abc}
T_7 = CF_{DOA}+$TWW_{40\ m3}$	36.80^{a}	44.32^{abc}	42.53^{a}	40.17^{abc}
T_8 = CF_{DOA}+$TWW_{80\ m3}$	36.83^{a}	44.38^{abc}	42.63^{a}	40.33^{abc}
T_9 = CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$	37.38^{a}	46.32^{ab}	43.32^{a}	41.27^{a}
T_{10} = CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$	37.42^{a}	46.68^{a}	43.38^{a}	41.38^{a}
T_{11} = CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$	37.12^{a}	45.32^{abc}	43.00^{a}	41.12^{ab}
F-test	*	**	**	**
CV (%)	11.42	13.87	12.77	13.26

[1/] Months after planting

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

** indicated significant difference at P< 0.01

2. มวลชีวภาพสดและมวลชีวภาพแห้งของยูคาลิปตัส

2.1 มวลชีวภาพสดของยูคาลิปตัส

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้มวลชีวภาพสดส่วนต้น ส่วนแขนง ส่วนใบ และมวลชีวภาพสดรวมของยูคาลิปตัสที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 6) กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$) มีผลให้มวลชีวภาพสดส่วนต้นของยูคาลิปตัสมากที่สุด (12.74 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่

(CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$) นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$) ยังมีผลให้มวลชีวภาพสดส่วนแขนงของยูคาลิปตัสมากที่สุด (2.36 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$) ส่วนการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$) มีผลให้มวลชีวภาพสดส่วนใบของยูคาลิปตัสมากที่สุด (2.25 ตัน/ไร่) รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$) ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$) อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$) มีผลให้มวลชีวภาพสดรวมของยูคาลิปตัสมากที่สุด (17.35 ตัน/ไร่) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้มวลชีวภาพสดส่วนต้น ส่วนแขนง ส่วนใบ และมวลชีวภาพสดรวมของยูคาลิปตัสน้อยที่สุด คือ 4.89, 0.93, 0.38 และ 6.20 ตัน/ไร่ ตามลำดับ

Table 6 Total fresh biomass of eucalyptus at 12 MAP[1/].

Treatments	Fresh biomass (ton/rai)			
	Stems	Branches	Leaves	Total
T_1 = control	4.89$^{e\ 2/}$	0.93$^{g\ 2/}$	0.38$^{g\ 2/}$	6.20$^{f\ 2/}$
T_2 = CF_{DOA}	8.83^{d}	1.54^{e}	1.43^{f}	11.80^{e}
T_3 = CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$	11.83^{b}	2.25^{ab}	1.97^{c}	16.05^{abc}
T_4 = CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$	11.36^{b}	2.08^{c}	1.80^{d}	15.24^{bcd}
T_5 = CF_{DOA}+$SWL_{80\ m3}$	8.43^{d}	1.34^{f}	1.40^{f}	11.17^{e}
T_6 = CF_{DOA}+$TWW_{20\ m3}$	10.33^{c}	1.82^{d}	1.63^{e}	13.78^{d}
T_7 = CF_{DOA}+$TWW_{40\ m3}$	10.65^{c}	1.87^{d}	1.72^{de}	14.24^{cd}
T_8 = CF_{DOA}+$TWW_{80\ m3}$	10.73^{c}	1.93^{d}	1.76^{d}	14.42^{cd}
T_9 = CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$	12.53^{a}	2.33^{a}	2.13^{b}	16.99^{ab}
T_{10} = CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$	12.74^{a}	2.36^{a}	2.25^{a}	17.35^{a}
T_{11} = CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$	11.64^{b}	2.18^{bc}	1.83^{d}	15.65^{abc}
F-test	**	**	**	**
CV (%)	14.66	14.30	13.42	13.16

[1/] Months after planting

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

** indicated significant difference at P< 0.01

2.2 มวลชีวภาพแห้งของยูคาลิปตัส

การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่น้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัดร่วมกับปุ๋ยเคมี รวมทั้งตำรับควบคุม (control) มีผลให้มวลชีวภาพแห้งส่วนต้น ส่วนแขนง ส่วนใบ และมวลชีวภาพแห้งรวมของยูคาลิปตัสที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 7) กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$) มีผลให้มวลชีวภาพแห้งส่วนต้นและมวลชีวภาพแห้งรวมของยูคาลิปตัสมากที่สุด (5.28 และ 8.56 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$) นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$) ยังมีผลให้มวลชีวภาพแห้งส่วนแขนงและส่วนใบของยูคาลิปตัสมากที่สุด (1.77 และ 1.51 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$) ขณะที่ตำรับควบคุม (control) มีผลให้มวลชีวภาพแห้งส่วนต้น ส่วนแขนง ส่วนใบ และมวลชีวภาพแห้งรวมของยูคาลิปตัสน้อยที่สุด คือ 2.83, 0.42, 0.28 และ 3.53 ตัน/ไร่ ตามลำดับ

Table 7 Total dry biomass of eucalyptus at 12 MAP[1/].

Treatments	Fresh biomass (ton/rai)			
	Stems	Branches	Leaves	Total
T_1 = control	2.83$^{e\ 2/}$	0.42$^{f\ 2/}$	0.28$^{g\ 2/}$	3.53$^{g\ 2/}$
T_2 = CF_{DOA}	4.27^{d}	1.37^{e}	1.11^{e}	6.75^{f}
T_3 = CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$	5.17^{a}	1.71^{abc}	1.43^{ab}	8.31^{ab}
T_4 = CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$	5.11^{a}	1.60^{cd}	1.33^{cd}	8.04^{bc}
T_5 = CF_{DOA}+$SWL_{80\ m3}$	4.22^{d}	1.33^{e}	1.00^{f}	6.55^{f}
T_6 = CF_{DOA}+$TWW_{20\ m3}$	4.53^{c}	1.51^{d}	1.25^{d}	7.29^{e}
T_7 = CF_{DOA}+$TWW_{40\ m3}$	4.67^{c}	1.55^{d}	1.27^{d}	7.49^{de}
T_8 = CF_{DOA}+$TWW_{80\ m3}$	4.89^{b}	1.58^{d}	1.30^{d}	7.77^{cd}
T_9 = CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$	5.23^{a}	1.75^{ab}	1.46^{ab}	8.44^{ab}
T_{10} = CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$	5.28^{a}	1.77^{a}	1.51^{a}	8.56^{a}
T_{11} = CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$	5.15^{a}	1.63^{bcd}	1.40^{bc}	8.18^{ab}
F-test	**	**	**	**
CV (%)	13.26	13.47	13.45	13.06

[1/] Months after planting

[2/] 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}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$) มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตมวลชีวภาพสด และมวลชีวภาพแห้งของยูคาลิปตัสดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใส่น้ำกากส่า การใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใส่น้ำที่ผ่านการบำบัด และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียว ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์สมบัติบางประการของน้ำกากส่า และน้ำที่ผ่านการบำบัด (Table 2) พบว่า มีปริมาณธาตุอาหารพืชน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าระบบการบำบัดของเสียของโรงงานผลิตเอทานอลมีประสิทธิภาพสูง จึงมีปริมาณธาตุอาหารออกมาน้อยมากจนถึงระดับที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ โดยเฉพาะในกรณีของน้ำที่ผ่านการบำบัด นอกจากนี้ ตำรับทดลองที่มีการใส่น้ำกากส่าอย่างเดียวในอัตราสูง (80 ลูกบาศก์เมตร/ไร่) จะมีผลให้การเจริญเติบโตมวลชีวภาพสด และมวลชีวภาพแห้งของยูคาลิปตัสน้อยกว่าการใส่น้ำกากส่าอย่างเดียวในอัตราที่ต่ำกว่า (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}+$SWL_{20\ m3}$+$TWW_{20\ m3}$) มีผลให้ความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น มวลชีวภาพสดรวม และมวลชีวภาพแห้งรวมของยูคาลิปตัสมากที่สุด ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{10\ m3}$+$TWW_{10\ m3}$) การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 20 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{20\ m3}$) และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการใช้น้ำกากส่าอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และน้ำบำบัดอัตรา 40 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ (CF_{DOA}+$SWL_{40\ m3}$+$TWW_{40\ m3}$)

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.

ชัยสิทธิ์ ทองจู และธนัตศรี สอนจิตร. 2553. ผลของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 28 (1) : 99-109.

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

เนติธร กรุณา, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, กนกกร สินมา, สิรินภา ช่วงโอภาส, เกวลิน ศรีจันทร์, อัญธิชา พรมเมืองคุก, สุชาดา กรุณา, ศิริสุดา บุตรเพชร, ภูวดล แท่นทอง, ชาลินี คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม และ

ธีรยุทธ คล้ำชื่น. 2562. การใช้ประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์จากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสและสมบัติของดินบางประการ. วารสารวิชาการเกษตรศาสตร์กำแพงแสนสายวิทยาศาสตร์ 2(1): 14-27.

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

ภูวดล แท่นทอง, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย, วนิดา สืบสายพรหม, ชาลินี คงสุด, ธรรมธวัช แสงงาม และธีรยุทธ คล้ำชื่น. 2562. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากศูนย์ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของสวนอุตสาหกรรมเครือสหพัฒน์ต่อการเพิ่มมวลชีวภาพของยูคาลิปตัส และสมบัติของดินบางประการ.หน้า 41-53. *ใน* การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 6 “ดิน: กำเนิดของอาหารเพื่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม”, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

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