



การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียเพื่อปรับปรุงดิน สำหรับปลูกข้าวชาวดอกมะลิ 105

Utilization of Wastewater Sludge to Improve Soil for Khao Dawk Mali 105 Rice Planting

กัญจมาศ อยู่เจริญ¹ และ ชมพูนุท ไชยรักษ์¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียเพื่อปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าวชาวดอกมะลิ 105 ทำการทดลองโดยใช้กากตะกอนน้ำเสียผสมกับดิน ตามอัตราส่วนกากตะกอนน้ำเสีย 0 12 24 36 และ 48 kg/m² ดินที่ไ้มาจากแปลงนา 2 แห่ง คือ แปลงนาในจังหวัดสมุทรปราการ และแปลงนาในจังหวัดสุพรรณบุรี พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการปลูก คือ ข้าวชาวดอกมะลิ 105 ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวประมาณ 97 วัน นับจากวันเพาะกล้า ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ คุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสีย และดิน (ดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี) ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว หลังการเก็บเกี่ยวทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในเมล็ด และลำต้น ความสูงของลำต้น น้ำหนักเมล็ด และผลผลิต ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียทำให้ดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี ในทุกชุดการทดลองมีคุณสมบัติทางเคมี คือ ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ความชื้น อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และโลหะหนัก (Fe Zn Cu และ Mn) เพิ่มขึ้น แต่หลังการปลูกข้าว ดินในทุกชุดการทดลองมีคุณสมบัติทางเคมีดังกล่าวลดลง ความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดในเมล็ด และลำต้นของข้าวชาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินทั้ง 2 แห่ง มีค่าความเข้มข้นอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ยกเว้น Fe ในส่วนของต้นข้าวที่มีความเข้มข้นเกินมาตรฐาน เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียลงในดินทำให้ข้าวมีความสูง ผลผลิต และน้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้น ข้าวที่ปลูกในดินสุพรรณบุรีมีความสูงมากที่สุด เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 36 kg/m² ข้าวที่ปลูกในดินสมุทรปราการมีน้ำหนักเมล็ด และผลผลิตมากที่สุด เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 36 kg/m² และ 12 kg/m² ตามลำดับ ส่วนข้าวที่ปลูกในดินสุพรรณบุรีมีน้ำหนักเมล็ด และผลผลิตมากที่สุด เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 48 kg/m²

¹สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

ABSTRACT

The aim of this research was to study the utilization of wastewater sludge from peanut food factory to improve soil for rice planting. Experimental soil was from Samutprakarn and Suphanburi farmland. In the experiments, the ratio of wastewater sludge to soil was varied as followed 0, 12, 24, 36 and 48 kg/m². Khao Dawk Mali 105 was planted for 97 days before harvesting. Chemical characteristics of soil and wastewater sludge were analyzed both before and after planting. After harvesting, the concentration of heavy metals in grain and shoot, shoot length, yield and grain mass were analyzed. It was found from experiments that the value of pH, EC, Moisture, OC, total N, Available P, Available K, total content of Fe, Zn, Cu and Mn in the mixture of wastewater sludge and soil were decreased after planting. The concentration of all heavy metals in grain and shoot were found in the safe limits of human consumption except Fe in shoot. The results indicated that the shoot length, yield and grain mass were higher in the wastewater sludge soil. Mixture treatment 36 kg/m² wastewater sludge content in the soil was gave the highest shoot length. However, the 36 kg/m² and 12 kg/m² mined in the Samutprakarn soil aim the highest grain mass and yield respectively While the 48 kg/m² mixed treatment of Suphanburi soil affected to the highest grain mass and yield.

คำสำคัญ: กากตะกอนน้ำเสีย โลหะหนัก ข้าว ข้าวขาวดอกมะลิ 105 การปรับปรุงดิน

Keywords: Wastewater sludge, Heavy metals, Rice, Khao Dawk Mali 105, Soil improvement

บทนำ

การบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพในขั้นตอนต่างๆ จะมีกากตะกอนน้ำเสียเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก กระบวนการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียขั้นสุดท้ายที่เคยใช้กันมา และมีการนำไปใช้ในหลายๆ ประเทศ คือ การฝังกลบ และการนำไปเผา แต่ทั้ง 2 วิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูง และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ (Walter et al., 2006; Dai et al., 2007) เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การจัดการกากตะกอนน้ำเสียที่เหมาะสม และประหยัดที่สุด คือ การนำกากตะกอนน้ำเสีย ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เพราะในกากตะกอนน้ำเสีย มีองค์ประกอบที่เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช เช่น N P K และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ

(Martinez et al., 2003) แต่การนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ในการเกษตร มีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่ กลิ่น ลักษณะตะกอนน้ำเสีย ความเหมาะสมของพื้นที่และดิน ความเป็นพิษของสารอินทรีย์ในกากตะกอนน้ำเสีย เกลือ และโลหะหนัก (Jacobs, 1981) ดังนั้น การศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำเสียเพื่อปรับปรุงดินช่วยเพิ่มมวลชีวภาพให้กับพืช (Tsadilas et al., 1995) พืชที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้าว ซึ่งเป็นอาหารหลัก และเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งยังไม่มีการศึกษาที่เกี่ยวกับการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าว ทำการศึกษาโดยนำกากตะกอนน้ำเสียผสมลงในดินที่มีอัตราส่วนแตกต่างกัน

เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม ที่ทำให้ข้าวเจริญเติบโตได้ดี และมีผลผลิตสูงที่สุด ทั้งนี้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงที่นำมาใช้ อาจมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์หาโลหะหนักที่สะสมอยู่ในกากตะกอนน้ำเสียดิน และผลผลิตของข้าว เพราะโลหะหนักมีความเป็นพิษทั้งทางตรง และทางอ้อมกับพืช สัตว์ และมนุษย์ โดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในระยะยาว ในการนำกากตะกอนจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินที่ใช้ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. แผนการทดลอง และตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียดิน และพืช

กากตะกอนน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัย เก็บรวบรวมจากบ่อฝังกากตะกอนน้ำเสีย ของระบบการจัดการกากตะกอนชีวภาพ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบบำบัดน้ำเสีย โรงงาน แม่รวย จำกัด (โก๊แก) โดยสุ่มตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียจากหลาย ๆ จุด แล้วนำมาคลุกเคล้าผสมกัน

ดินที่ใช้ในการทดลอง เก็บตัวอย่างดินมาจากแปลงนา 2 แห่ง โดยสุ่มตัวอย่างดินจากหลายๆ จุด แล้วนำมาคลุกเคล้าผสมกัน เป็นการเก็บตัวอย่างดินแบบผสมรวม แปลงนาที่ 1 เป็นดินเหนียว อยู่ในพื้นที่อำเภอบางบ่อจังหวัดสมุทรปราการ และแปลงนาที่ 2 เป็นดินร่วนปนทราย อยู่ในพื้นที่ อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี

ข้าวที่ใช้ในการทดลอง คือ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้าไวแสง อายุการเก็บเกี่ยว 97 วัน (5 ก.ย. - 11 ธ.ค. 2554) นับจากวันเพาะกล้าข้าวแหล่งที่มาจากแปลงนาทดลองโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จังหวัดนครนายก การเตรียมกล้าข้าว นำ

เมล็ดข้าวไปเพาะในถาดเพาะเมล็ดจนมีความสูงประมาณ 10 cm จึงย้ายลงปลูกในถาดพลาสติก ใส่กากตะกอนน้ำเสียอัตราส่วน 0 12 24 36 และ 48 kg/m² ลงในดิน (น้ำหนัก 5 kg ต่อถาด) ผสมให้เข้ากัน แล้วใส่ลงในถาดพลาสติกขนาด 25 × 25 × 20 cm ทิ้งไว้ 10 วัน เพื่อให้ดินเกิดความเสถียร จากนั้นจึงนำกล้าข้าวลงปลูก โดยแบ่งเป็นดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี ให้ดินที่ไม่ได้ใส่กากตะกอนน้ำเสียเป็นชุดควบคุม แบ่งชุดการทดลองได้เป็น T₁ กากตะกอนน้ำเสีย 0 kg/m² (ดินชุดควบคุม), T₂ กากตะกอนน้ำเสีย 12 kg/m², T₃ กากตะกอนน้ำเสีย 24 kg/m², T₄ กากตะกอนน้ำเสีย 36 kg/m² และ T₅ กากตะกอนน้ำเสีย 48 kg/m² วางแผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD)

2. พารามิเตอร์และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์

เก็บตัวอย่างดินในทุกชุดการทดลองทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว และกากตะกอนน้ำเสีย ฝั่งให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C จนแห้งสนิท บดให้ละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 12 Mesh แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 1) วิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าพีเอช (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ความชื้น (moisture) อินทรีย์วัตถุ (OM) ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยใช้วิธีวิเคราะห์ตามการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช ปุ๋ย และวัสดุปรับปรุงดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) 2) การวิเคราะห์โลหะหนัก (Fe Zn Cu และ Mn) ใช้วิธีการของ Allen et al. (1986) ส่วนการเก็บตัวอย่างพืช นำเมล็ดข้าว และต้นข้าว (ล้างดินออกจนหมด) มาอบที่อุณหภูมิ 65 °C จนแห้ง บดให้ละเอียด และนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 12 Mesh แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 1) การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในเมล็ด และต้นข้าว หลังการเก็บ

เกี่ยว (Fe Zn Cu และ Mn) ใช้วิธีการของ Allen et al. (1986) (2) การศึกษาการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว โดยการวัดความสูงของต้นข้าวทุกสัปดาห์โดยใช้ตลับเมตร ชั่งน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าว 1,000 เมล็ด และชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวที่เป็นผลผลิตทั้งหมดของแต่ละชุดการทดลอง

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแบบ one-way (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม MINITAB version 15 เพื่อทดสอบความแตกต่างของแต่ละชุดการทดลอง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสีย และดิน (ดินสมุทรปรากร และดินสุพรรณบุรี)

ก่อนการปลูกข้าว

ในการนำกากตะกอนน้ำเสียมาปลูกพืชจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสีย เพื่อศึกษาผลกระทบที่อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวจากผลการวิเคราะห์พบว่ากากตะกอนน้ำเสียมีค่าพีเอช 9.26 ซึ่งจัดว่ามีสภาพเป็นด่างจัด ค่าการนำไฟฟ้า 11.35 mS/cm กากตะกอนน้ำเสียมีความเค็มปานกลาง ความชื้น 9.78 % อินทรีย์วัตถุ 13.25 % ไนโตรเจนทั้งหมด 0.49 % ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 9,375.79 mg/kg และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 1,751.08 mg/kg ส่วนโลหะหนักที่พบมากที่สุดในการกากตะกอนน้ำเสียคือ Fe มีความเข้มข้น 669.52 mg/kg รองลงมาคือ Zn มีความเข้มข้น 462.42 mg/kg Mn มีความเข้มข้น 210.22 mg/kg และ Cu มีความเข้มข้น 1.4 mg/kg ตามลำดับ กากตะกอนน้ำเสียมีความเข้มข้นของโลหะหนักไม่เกินมาตรฐานกากตะกอนน้ำเสียที่จะนำไปใช้ในการเกษตร

คือ Zn มีความเข้มข้น 3,000 mg/kg และ Cu มีความเข้มข้น 900 mg/kg (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ค่าพีเอชของดินสมุทรปรากร (T_1) จัดว่าเป็นกรดจัด และค่าพีเอชของดินสุพรรณบุรี (T_1) จัดว่าเป็นกรดปานกลาง (ตารางที่ 1) ดินสมุทรปรากรจึงมีความเป็นกรดมากกว่าดินสุพรรณบุรี ในดินสมุทรปรากรเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้นทำให้แต่ละชุดการทดลองมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น เนื่องจากในกากตะกอนน้ำเสียมีความเป็นด่างจัดสารพวกต่างจึงทำปฏิกิริยาสะเทินกับ H^+ ในสารละลายดิน ทำให้ H^+ ลดลง ค่าพีเอชจึงเพิ่มขึ้น (สุวรรณ, 2555) แต่ค่าพีเอชในดินสุพรรณบุรีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในแต่ละชุดการทดลอง (ตารางที่ 1)

ค่าการนำไฟฟ้าของดินสมุทรปรากร (T_1) และดินสุพรรณบุรี (T_1) (ตารางที่ 1) มีความเค็มน้อยมาก เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้นในชุดการทดลอง T_2 T_3 T_4 และ T_5 ทำให้มีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในดินทั้ง 2 แห่ง การนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ในการเกษตรจึงทำให้ดินมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากในกากตะกอนน้ำเสียมีค่าการนำไฟฟ้าสูง คือ มีสารละลายเกลือเข้มข้นมากกว่าในดิน ทำให้เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียเพิ่มมากขึ้นค่าการนำไฟฟ้าจึงสูงขึ้นตามไปด้วย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

ความชื้น อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินสมุทรปรากร และดินสุพรรณบุรี มีค่ามากขึ้นเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้นเทียบกับดินชุดควบคุม (T_1) (ตารางที่ 1) ดังนั้นการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ในการเกษตร จึงช่วยเพิ่มสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้แก่ดิน (Singh and Agrawal, 2008)

ความเข้มข้นของโลหะหนักในดิน สมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้น พบว่ามีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับชุดดินควบคุม (T_1) ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินสมุทรปราการมีค่าสูงที่สุด เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 48 kg/m^2 เรียงลำดับความเข้มข้นได้ดังนี้ $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$ และในดินสุพรรณบุรีมีความเข้มข้นของโลหะหนักสูงที่สุด เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 48 kg/m^2 เรียงลำดับความเข้มข้นได้ดังนี้ $\text{Fe} >$

$\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Mn}$ (ตารางที่ 1) Fe Mn Zn และ Cu เป็นกลุ่มจุลธาตุ (micronutrient elements) หรือธาตุอาหารเสริม ซึ่งพืชต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของพืชเท่ากับธาตุอาหารอื่น ๆ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) การนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ในการเกษตร จึงถือได้ว่าเป็นการเพิ่มธาตุอาหารเสริมให้กับดิน ซึ่งความเข้มข้นของโลหะหนักยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของโลหะหนักในดิน (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสีย ดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลอง

| พารามิเตอร์ | อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียของดินสมุทรปราการ | | | | | อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียของดินสุพรรณบุรี | | | | |
|------------------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | 0 kg/m^2 | 12 kg/m^2 | 24 kg/m^2 | 36 kg/m^2 | 48 kg/m^2 | 0 kg/m^2 | 12 kg/m^2 | 24 kg/m^2 | 36 kg/m^2 | 48 kg/m^2 |
| pH (1:5) | 5.55 | 5.66 | 5.71 | 5.86 | 6.09 | 5.83 | 5.84 | 5.85 | 5.96 | 5.95 |
| EC (mS/cm) | 3.00 | 3.98 | 5.54 | 6.94 | 8.30 | 3.06 | 3.92 | 3.99 | 4.09 | 5.13 |
| Moisture (%) | 4.77 | 4.80 | 4.84 | 4.98 | 5.14 | 4.21 | 4.47 | 4.55 | 4.67 | 4.80 |
| OM (%) | 3.65 | 3.74 | 3.80 | 3.93 | 3.97 | 2.42 | 2.81 | 2.82 | 2.84 | 2.86 |
| Total N (%) | 0.20 | 0.37 | 0.60 | 0.74 | 0.77 | 0.21 | 0.35 | 0.41 | 0.61 | 0.67 |
| Avail. P (mg/kg) | 121.15 | 359.34 | 420.71 | 409.98 | 492.61 | 62.25 | 123.38 | 172.00 | 207.11 | 387.55 |
| Avail. K (mg/kg) | 591.00 | 565.07 | 606.66 | 630.00 | 940.00 | 224.66 | 286.52 | 421.66 | 434.66 | 463.66 |
| Total Fe (mg/kg) | 972.72 | 1,038.66 | 1,136.23 | 1,151.86 | 1,161.71 | 1,030.30 | 1,060.43 | 1,101.73 | 1,100.73 | 1,101.96 |
| Total Zn (mg/kg) | 278.25 | 278.73 | 293.02 | 344.63 | 363.45 | 246.00 | 306.48 | 350.82 | 345.32 | 388.65 |
| Total Cu (mg/kg) | 44.11 | 45.81 | 52.88 | 66.74 | 67.42 | 52.13 | 54.05 | 63.43 | 65.74 | 75.78 |
| Total Mn (mg/kg) | 70.92 | 99.86 | 104.16 | 105.30 | 112.67 | 50.65 | 52.84 | 57.55 | 57.90 | 59.69 |

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย T_1 : 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), T_2 : 12 kg/m^2 , T_3 : 24 kg/m^2 , T_4 : 36 kg/m^2 และ T_5 : 48 kg/m^2 และมาตรฐานของโลหะหนักในดินกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป; Zn: 100 mg/kg และ Cu: 300 mg/kg (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองหลังปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

| พารามิเตอร์ | อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียของดินสมุทรปราการ | | | | | อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียของดินสุพรรณบุรี | | | | |
|------------------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | 0 kg/m^2 | 12 kg/m^2 | 24 kg/m^2 | 36 kg/m^2 | 48 kg/m^2 | 0 kg/m^2 | 12 kg/m^2 | 24 kg/m^2 | 36 kg/m^2 | 48 kg/m^2 |
| pH (1:5) | 5.30 | 5.64 | 5.69 | 5.76 | 6.04 | 5.43 | 5.56 | 5.66 | 5.69 | 5.76 |
| EC (mS/cm) | 1.50 | 1.48 | 3.74 | 3.75 | 3.81 | 1.30 | 1.32 | 1.58 | 1.68 | 1.64 |
| Moisture (%) | 1.00 | 0.60 | 0.78 | 0.79 | 0.81 | 0.70 | 0.85 | 0.95 | 0.94 | 0.92 |
| OM (%) | 1.62 | 1.98 | 2.48 | 2.58 | 2.74 | 1.59 | 1.66 | 1.81 | 1.93 | 2.04 |
| Total N (%) | 0.13 | 0.24 | 0.33 | 0.38 | 0.42 | 0.16 | 0.21 | 0.23 | 0.33 | 0.36 |
| Avail. P (mg/kg) | 71.94 | 243.54 | 282.34 | 327.94 | 329.44 | 23.76 | 56.13 | 92.65 | 140.95 | 156.15 |
| Avail. K (mg/kg) | 322.33 | 333.33 | 336.66 | 328.10 | 618.52 | 91.33 | 94.28 | 107.23 | 116.00 | 121.18 |
| Total Fe (mg/kg) | 1,038.44 | 1,087.21 | 1,087.40 | 1,086.04 | 1,185.95 | 1,012.16 | 1,017.50 | 1,078.19 | 1,018.70 | 1,063.21 |
| Total Zn (mg/kg) | 207.80 | 206.43 | 210.14 | 276.43 | 322.57 | 215.84 | 234.64 | 236.92 | 284.84 | 339.83 |
| Total Cu (mg/kg) | 5.50 | 15.21 | 29.00 | 31.14 | 36.40 | 12.95 | 19.84 | 30.52 | 38.57 | 44.87 |
| Total Mn (mg/kg) | 75.06 | 99.64 | 101.41 | 100.89 | 108.89 | 14.54 | 15.74 | 23.96 | 44.97 | 53.07 |

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย T_1 : 0 kg/m^2 (ดินชุดควบคุม), T_2 : 12 kg/m^2 , T_3 : 24 kg/m^2 , T_4 : 36 kg/m^2 และ T_5 : 48 kg/m^2 และมาตรฐานของโลหะหนักในดินกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป; Zn: 100 mg/kg และ Cu: 300 mg/kg (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ตารางที่ 3 ปริมาณโลหะหนักในเมล็ด และต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105

| พารามิเตอร์ | อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียของดินสมุทรปราการ | | | | | อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียของดินสุพรรณบุรี | | | | | |
|---------------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|
| | 0 | 12 | 24 | 36 | 48 | 0 | 12 | 24 | 36 | 48 | |
| | kg/m ² | kg/m ² | kg/m ² | kg/m ² | kg/m ² | kg/m ² | kg/m ² | kg/m ² | kg/m ² | kg/m ² | |
| Fe เมล็ด (mg/kg) | ต้น | 34.52 | 54.84 | 67.58 | 108.30 | 164.64 | 14.12 | 24.58 | 42.04 | 69.89 | 89.38 |
| | ต้น | 349.75 | 388.42 | 451.64 | 467.64 | 539.50 | 120.35 | 145.80 | 149.80 | 160.25 | 212.10 |
| Zn เมล็ด (mg/kg) | ต้น | 46.21 | 57.82 | 67.92 | 87.33 | 91.20 | 62.54 | 51.81 | 79.27 | 75.94 | 98.11 |
| | ต้น | 75.60 | 79.06 | 89.60 | 91.47 | 133.98 | 78.76 | 84.17 | 85.93 | 129.30 | 139.43 |
| Cu เมล็ด (mg/kg) | ต้น | 0.39 | 1.98 | 4.67 | 4.25 | 5.48 | 0.86 | 1.83 | 2.80 | 3.87 | 6.26 |
| | ต้น | 4.62 | 7.17 | 11.13 | 15.36 | 28.86 | 6.21 | 9.83 | 9.93 | 12.64 | 13.43 |
| Mn เมล็ด (mg/kg) | ต้น | 1.79 | 6.39 | 14.69 | 15.98 | 22.34 | 6.36 | 13.17 | 13.70 | 16.82 | 20.62 |
| | ต้น | 24.78 | 28.83 | 33.47 | 37.64 | 38.85 | 25.70 | 37.66 | 41.22 | 45.06 | 45.06 |

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย T_1 : 0 kg/m² (ดินชุดควบคุม), T_2 : 12 kg/m², T_3 : 24 kg/m², T_4 : 36 kg/m² และ T_5 : 48 kg/m² ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่ยอมรับได้ในพืช Fe : 50-200 mg/kg, Zn : 80-200 mg/kg และ Cu : 100 mg/kg (Fergusson, 1990)

หลังการปลูกข้าว

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินหลังการปลูกพืชเพื่อศึกษาปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืชที่สะสมในดิน จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าพีเอชของดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี ในทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2) เมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว (ตารางที่ 1) สาเหตุที่ดินมีค่าพีเอชลดลง เนื่องจากการตรึงมิถิลถูกปล่อยออกมาจากการย่อยสลายทางชีวภาพ ของสารอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในกากตะกอนน้ำเสีย (Moreno et al., 1997)

ค่าการนำไฟฟ้าของดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี ในทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2) เมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ravindran et al., (2007) พบว่า ในดินที่ใช้ในการปลูก ผักเบี้ยทะเล (*S. portulacastrum*) เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้ว จะมีค่าการนำไฟฟ้าลดลง

ความชื้น อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี ในทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงอย่างมี

นัยสำคัญ (ตารางที่ 2) เมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว (ตารางที่ 1) ความชื้นที่ลดลงเนื่องจากก่อนการเก็บเกี่ยวจะปล่อยให้แห้งในถังพลาสติกที่ใช้ปลูกข้าวแห้งโดยตามธรรมชาติ เพราะในช่วงนี้ต้นข้าวไม่จำเป็นต้องใช้น้ำในการเจริญเติบโต และในช่วงการเจริญเติบโต ข้าวจะดูดซึมธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ส่งผลให้ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง ในทุกชุดการทดลอง

ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี ในทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2) เมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว (ตารางที่ 1) เรียงลำดับความเข้มข้นของโลหะหนักในดินทั้ง 2 แห่งเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 48 kg/m² ได้ดังนี้ Fe > Zn > Mn > Cu (ตารางที่ 2) Fe, Mn, Zn และ Cu เป็นกลุ่มจุลธาตุ (micronutrient elements) หรือธาตุอาหารเสริม ซึ่งพืชต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของพืชเท่ากับธาตุอาหารอื่น ๆ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ภายหลังจากปลูกข้าวจึงทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักลดลง

2. ปริมาณโลหะหนักในข้าวขาวดอกมะลิ 105

ความเข้มข้นของโลหะหนักในส่วนต่าง ๆ ของข้าว ขึ้นอยู่กับอัตราการใส่กากตะกอนน้ำเสียที่แตกต่างกัน ความเข้มข้นของโลหะหนักในเมล็ดข้าว ที่ปลูกในดินสมุทรปรกการ และดินสุพรรณบุรี มีความเข้มข้นสูงชันอย่างมีนัยสำคัญในทุกชุดการทดลอง เมื่อเทียบกับดินชุดควบคุม (T_1) (ตารางที่ 3) ข้าวขาวดอกมะลิที่ปลูกในดินสมุทรปรกการมีความเข้มข้นของโลหะหนักในเมล็ดข้าวสูงที่สุดเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 48 kg/m^2 คือ $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$ ตามลำดับ และข้าวขาวดอกมะลิที่ปลูกในดินสุพรรณบุรีมีความเข้มข้นของโลหะหนักในเมล็ดข้าวสูงที่สุดเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 48 kg/m^2 คือ $\text{Zn} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Cu}$ ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดในเมล็ดข้าวในทุกชุดการทดลอง มีค่าความเข้มข้นไม่เกินมาตรฐานที่ยอมให้มีได้ในพืช (Fergusson, 1990)

ความเข้มข้นของโลหะหนักในต้นข้าว ที่ปลูกในดินสมุทรปรกการ และดินสุพรรณบุรี มีความเข้มข้นสูงชันอย่างมีนัยสำคัญในทุกชุดการทดลอง เมื่อเทียบกับดินชุดควบคุม (T_1) (ตารางที่ 3) ข้าวขาวดอกมะลิที่ปลูกในดินสมุทรปรกการ และดินสุพรรณบุรี มีความเข้มข้นของโลหะหนักในต้นข้าวสูงที่สุดเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 48 kg/m^2 คือ $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$ ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของโลหะหนักในต้นข้าวทั้งหมดของทุกชุดการทดลองยังอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมให้มีได้ในพืช ยกเว้น Fe ที่มีความเข้มข้นเกินมาตรฐาน (Fergusson, 1990)

ความเข้มข้นของ Fe ในเมล็ดและต้นข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีความเข้มข้นสูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่น ทั้งที่ความเข้มข้นของ Fe ในดินหลังปลูกข้าว เปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว อาจเนื่องมาจากกระบวนการสะสมตัวอย่างพืช ยังมีอนุภาค

ดินหลงเหลืออยู่ ทำให้การวิเคราะห์ผลความเข้มข้นของ Fe จึงมีปริมาณสูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

3. การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105

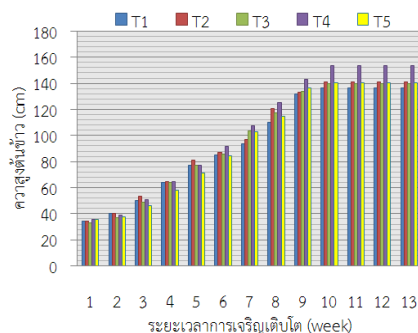
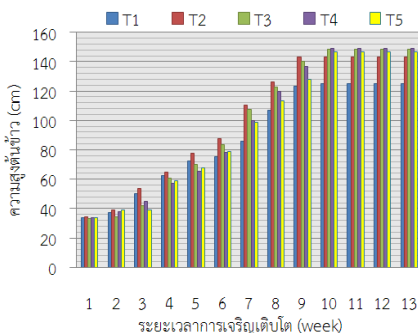
ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินสมุทรปรกการ (รูปที่ 1) และดินสุพรรณบุรี (รูปที่ 2) สัปดาห์แรกต้นข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 34 cm ข้าวเริ่มมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2-9 ในสัปดาห์ที่ 10-13 ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตคงที่ ข้าวที่ปลูกในดินสมุทรปรกการมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดในชุดการทดลอง T_3 และ T_4 รองลงมา คือ T_5 T_2 และ T_1 ตามลำดับ (รูปที่ 1) มีความสูงดังนี้ 148 148 146 143 และ 125 cm ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความสูงของต้นข้าวในแต่ละชุดการทดลองกับข้อมูลของกรมการข้าว (140 - 150 cm) (สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว, 2552) พบว่าชุดการทดลอง T_2 T_3 T_4 และ T_5 มีความสูงอยู่ในเกณฑ์ของกรมการข้าว ส่วนข้าวที่ปลูกในดินสุพรรณบุรีมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดในชุดการทดลอง T_4 รองลงมา คือ T_2 T_5 T_3 และ T_1 ตามลำดับ (รูปที่ 2) มีความสูงดังนี้ 153 141 140 143 และ 136 cm ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความสูงของต้นข้าวในแต่ละชุดการทดลองกับข้อมูลของกรมการข้าว (140 - 150 cm) (สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว, 2552) พบว่าชุดการทดลอง T_2 T_3 T_4 และ T_5 มีความสูงอยู่ในเกณฑ์ของกรมการข้าว โดยข้าวที่ปลูกในดินสุพรรณบุรีมีการเจริญเติบโตต่ำกว่าในดินสมุทรปรกการในทุกชุดการทดลอง ยกเว้น T_4 (กากตะกอนน้ำเสีย 36 kg/m^2) ข้าวที่ปลูกในดินสมุทรปรกการ และดินสุพรรณบุรี ในดินชุดควบคุม (T_1) มีความสูงต่ำกว่าเกณฑ์ของกรมการข้าว เนื่องจากดินชุดควบคุมไม่มีการเติมปุ๋ย และกากตะกอนน้ำเสีย ทำ

ให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมีไม่เพียงพอ

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินสมุทรปราการ เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสีย 36 kg/m² พบว่ามีน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ดมากที่สุด คือ 20.65 g (ตารางที่ 4) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ดของดินชุดควบคุม เนื่องจากในดินชุดควบคุมไม่มีการเติมปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช ผลผลิตของเมล็ดข้าวที่ได้จึงเกิดความไม่สมบูรณ์บางส่วน (เมล็ดลีบ) ส่งผลให้น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ดของดินชุดควบคุมมีความแตกต่างกับชุดการทดลองอื่น ส่วนน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ดของข้าวที่ปลูกในดินสุพรรณบุรีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกชุดการทดลอง เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสีย 48 kg/m² พบว่ามีน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ดมากที่สุด คือ 19.17 g (ตารางที่ 4) น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด บ่งชี้ถึงคุณภาพของเมล็ดข้าว ดังนั้น เมื่อเทียบกับระหว่างชุดการทดลองที่มีน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ดสูงสุด ข้าวที่ปลูกในดินสมุทรปราการจึงมีคุณภาพมากกว่าดินสุพรรณบุรี

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินสมุทรปราการ เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสีย 12 kg/m² พบว่ามีผลผลิตสูงสุด คือ 1,287.85 กก./ไร่ (ตารางที่ 4) และข้าวที่ปลูกในดินชุดควบคุมมีผลผลิตของข้าว

น้อยที่สุด คือ 559.27 กก./ไร่ ส่วนในชุดการทดลอง T₅ ใส่กากตะกอนน้ำเสียมากที่สุดทำให้ดินมีค่าการนำไฟฟ้าสูงถึง 8.30 mS/cm (ตารางที่ 1) เมื่อดินมีความเค็มสูงขึ้นทำให้ข้าวมีผลผลิตลดลง จากข้อมูลของกรมการข้าว ระบุว่าดินที่มีความเค็มมากกว่า 6 mS/cm ทำให้ผลผลิตของข้าวลดลงปานกลาง คือ ลดลง ร้อยละ 20-50 (สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว, 2552) ส่วนข้าวที่ปลูกในดินสุพรรณบุรี เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสีย 48 kg/m² พบว่าข้าวมีผลผลิตสูงสุด คือ 966.48 กก./ไร่ และข้าวที่ปลูกในดินชุดควบคุม มีผลผลิตของข้าวน้อยที่สุด คือ 453.71 กก./ไร่ (ตารางที่ 4) แต่หากจะนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ในการปลูกข้าวในแปลงนาที่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย ควรใส่กากตะกอนน้ำเสีย 36 kg/m² เนื่องจากถ้าใส่กากตะกอนน้ำเสียมากกว่านี้ จะทำให้ต้นข้าวมีลักษณะเพื่อใบมากเกินไป เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินสมุทรปราการ (1,287.85 กก./ไร่) กับดินสุพรรณบุรี (966.48 กก./ไร่) พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินสมุทรปราการมีผลผลิตมากกว่าข้าวที่ปลูกในดินสุพรรณบุรี ซึ่งผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินทั้ง 2 แห่ง ในทุกชุดการทดลองมีน้ำหนักสูงกว่าเกณฑ์ผลผลิตของกรมการข้าว (363 กก./ไร่) (สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว, 2554)



รูปที่ 1 และ 2 การเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในดินสมุทรปราการ และสุพรรณบุรี ตามลำดับ

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย T₁: 0 kg/m² (ดินชุดดินควบคุม), T₂: 12 kg/m², T₃: 24 kg/m², T₄: 36 kg/m² และ T₅: 48 kg/m²

ตารางที่ 4 ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในแต่ละชุดการทดลอง

| อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย | ดินสมุทรปราการ | | ดินสุพรรณบุรี | |
|-----------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|------------------|
| | น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด (g) | ผลผลิต (กก./ไร่) | น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด (g) | ผลผลิต (กก./ไร่) |
| 0 kg/m ² | 13.55 | 559.27 | 17.40 | 453.71 |
| 12 kg/m ² | 19.73 | 1,287.85 | 17.67 | 562.43 |
| 24 kg/m ² | 19.95 | 1,089.45 | 18.91 | 578.13 |
| 36 kg/m ² | 20.65 | 955.73 | 18.44 | 879.10 |
| 48 kg/m ² | 14.55 | 471.98 | 19.17 | 966.48 |

หมายเหตุ: อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย T₁ : 0 kg/m² (ดินชุดควบคุม), T₂ : 12 kg/m², T₃ : 24 kg/m², T₄ : 36 kg/m² และ T₅ : 48 kg/m²

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสรุปได้ว่า เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้นทำให้ดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี ในทุกชุดการทดลองมีคุณสมบัติทางเคมี คือ ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุ ความชื้น ไนโตรเจน ทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โพแทสเซียม ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และปริมาณโลหะหนัก (จุลธาตุ) เพิ่มขึ้น แต่หลังจากปลูกข้าว ดินในทุกชุดการทดลองมีคุณสมบัติทางเคมีลดลง ความเข้มข้นของโลหะหนัก ทั้งหมดในเมล็ด และลำต้นของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินทั้ง 2 แห่ง มีค่าความเข้มข้นอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ยกเว้น Fe ในส่วนของต้นข้าวที่มีความเข้มข้นเกินมาตรฐาน การเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในดินสุพรรณบุรีมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 36 kg/m² น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด ในดินสมุทรปราการ มีน้ำหนักมากกว่าในดินสุพรรณบุรี ข้าวที่ปลูกในดินสมุทรปราการให้ผลผลิตมากที่สุด เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 12 kg/m² ส่วนข้าวที่ปลูกในดินสุพรรณบุรีให้ผลผลิตมากที่สุด เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 48 kg/m² สำหรับการนำกากตะกอนน้ำเสีย จากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินในอนาคต ควรใส่กากตะกอนน้ำเสีย 12 kg/m² หรือน้อยกว่า ในพื้นที่ที่เป็นดินเหนียว และควรใส่กากตะกอนน้ำเสีย 36 kg/m² ในพื้นที่ที่เป็นดินร่วนปนทราย จะทำให้พืชมี

ผลผลิตสูงที่สุด นอกจากนี้ควรเติมเศษใบไม้ หรืออินทรีย์วัตถุอื่น ๆ เพื่อปรับสภาพให้กากตะกอนน้ำเสียมีความเค็มลดลง ก่อนนำไปใช้ในการเกษตรเพื่อให้ดินมีความเหมาะสมในการปลูกพืชต่อไปในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ “การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงเพื่อใช้ปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าว” ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจาก คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. (2547). คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า. (เล่มที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์วิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 81-210.

กรมวิชาการเกษตร. (2551). เอกสารสนับสนุนระบบการจัดการคุณภาพ:GMP พืช พริก. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 27.

สุวรรณ สาสรักกิจ. (2555). การวิเคราะห์ดินและการแปลความหมายในระดับห้องปฏิบัติการและไร่นา. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. แหล่งข้อมูล: <http://118.175.21.24/wbi1/index.htm>, 23 เมษายน 2555.

สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว. (2552). พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105. กรมการข้าว. กรุงเทพฯ. แหล่งข้อมูล:

- <http://www.brrd.in.th/rkb/varieties/index.php-file=19.htm>, 28 กรกฎาคม 2554.
- Allen, S.E., Grimshaw, H.M., Rowland, A.P. (1986). Chemical analysis. In: Moore, P.D., Chapman, S.B. (Eds.), *Methods in Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publication. Oxford. London. 285–344.
- Dai, J., Xu, M., Chen, J., Yang, X. & Ke, Z. (2007). PCDD/F, PAH and heavy metals in the sewage sludge from six Waste water treatment plants in Beijing. China. *Chemosphere*, 66 (2). 353-61.
- Fergusson, J.E. (1990). *The Heavy Elements: Chemistry Environmental Impact and Health Effects*. Pergamon Press. England.
- Jacobs, L.W. (1981). *Sludge and its ultimate disposal : Agricultural application of sewage sludge*. Michigan: Ann Arbor Science Publishers.
- Martinez, F., Cuevas, G., Calvo, R., Walter, I. (2003). Biowaste effects on soil and native plants in a semiarid Ecosystem. *J. Environ. Qual.* (32). 472–479.
- Moreno, J.L., Garcia, C., Hernandez, T., Ayuso, M. (1997). Application of composted sewage sludges contaminated with heavy metals to an agricultural soil: effect on lettuce growth. *Soil Sci. Plant Nutr.* (4). 565–573.
- Ravindran, K.C., Venkatesan, K., Balakrishnan, V., Chellappan, K. P. and Balasubramanian, T. (2007). Restoration of saline land by halophytes for Indian soils. *Soil Biol. Biochem.* (39). 2661- 2664.
- Singh, R.P., Agrawal, M. (2008). Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Manage.* (28). 347–358.
- Tsadilas, C.D., Matsi, T., Barbayiannis, N., Dimoyiannis, D. (1995). Influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metal fractions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* (26). 2603–2619.
- Walter, I., Martinez, F. & Cala, V. (2006). Heavy metal speciation and phytotoxic effects of three representative sewage sludges for agricultural uses. *Environ. Pollut.* (139). 507-14.

