การใช้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงเพื่อปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

Utilization of Wastewater Sludge in Peanut Food Factory to Improve Soil for Pathumthani 80 Rice Planting

กัณฑมาศ อยู่เจริญ* และชมพูนุท ไชยรักษ์

สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

Kantamas Ujaroen* and Champunut Chairuksa

Program of Environmental Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงเพื่อปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ทำการทดลองโดยใช้กากตะกอนน้ำเสียผสมกับดิน ตามอัตราส่วนกากตะกอนน้ำเสีย 0, 12, 24, 36 และ 48 kg m^{-2} ดินที่ใช้มาจากแปลงนา 2 แห่ง คือ แปลงนาในจังหวัดสมุทรปราการ และแปลงนาในจังหวัดสุพรรณบุรี พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการปลูก คือ ปทุมธานี 80 ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวประมาณ 113 วัน นับจากวันเพาะกล้า ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ สมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสีย และชนิดของดิน (ดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี) ทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว หลังการเก็บเกี่ยวทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในเมล็ดและลำต้น ความสูงของลำต้น น้ำหนักเมล็ด และผลผลิต พบว่าเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียทำให้ดินสมุทรปราการและดินสุพรรณบุรีก่อนการปลูกข้าว ในทุกชุดการทดลองสมบัติทางเคมี ด้านอินทรียวัตถุไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ความชื้น ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช รวมทั้งปริมาณโลหะหนัก (Fe, Zn, Cu และ Mn) เพิ่มขึ้น แต่หลังจากปลูกข้าว ค่าการนำไฟฟ้า ความชื้น ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปลูกข้าว ความเข้มข้นของ Cu และ Mn ในดินมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในเมล็ดและลำต้นของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินทั้ง 2 แห่ง มีค่าความเข้มข้นอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ยกเว้น Fe พบว่าในส่วนของต้นข้าวมีความเข้มข้นเกินมาตรฐานโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในพืช ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินสมุทรปราการมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดเมื่อใส่กาก

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** tktoon_tk@hotmail.com

ตะกอนน้ำเสีย 24 kg m^{-2} และในดินสุพรรณบุรีมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 36 kg m^{-2} เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักข้าว 1,000 เมล็ด ที่ปลูกในดินทั้ง 2 ชนิด นั้น ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ข้าวที่ปลูกในดินสมุทรปราการให้ผลผลิตสูงที่สุดเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 12 kg m^{-2} ส่วนข้าวที่ปลูกในดินสุพรรณบุรีให้ผลผลิตสูงที่สุดเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 36 kg m^{-2}

คำสำคัญ : กากตะกอนน้ำเสีย, โลหะหนัก, ข้าว (ปทุมธานี 80), โรงงานแปรรูปถั่วลิสง, การปรับปรุงดิน

Abstract

The aim of this research was studied the utilization of wastewater sludge from peanut food factory for improving soil for planting rice (Pathumthani 80). Paddy soils from Samutprakarn and Suphanburi were use in this experiment, supplemented with vary concentration of wastewater sludge (0, 12, 24, 36 and 48 kg m^{-2}). Pathumthani 80 planted for 113 days before harvesting. Chemical characteristics components in soil and wastewater sludge were analyzed before and after planting. After harvesting, the concentration of heavy metals in grain and stem, plant height, yield and grain yield were analyzed. It was found that the value of pH, EC, moisture, total N, available P and K, total content of Fe, Zn, Cu and Mn in each treatments increased before planting, except for organic matter (OM) was not significantly different. After planting rice, the value of EC, moisture, total N, available P and K, total content of Cu and Mn were decreased significantly, where compared to those before planting. Total concentration of heavy metals in grain and stem were not higher then limit of human consumption except for Fe in the stem. The results indicated that the plant height and grain yield were higher in treatments on contained with wastewater sludge. Samutprakarn paddy soil contained with 24 kg m^{-2} wastewater sludge and Suphanburi paddy soil contained with 36 kg m^{-2} wastewater sludge gave the highest plant height. However, wastewater sludge 36 kg m^{-2} in Suphanburi paddy soil and 12 kg m^{-2} wastewater sludge in Samutprakarn paddy soil gave the highest yield.

Key words: wastewater sludge, heavy metals, rice (Pathumthani 80), peanut food factory, soil improvement

1. บทนำ

การบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพในขั้นตอนต่าง ๆ จะมีกากตะกอนน้ำเสียเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก กระบวนการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียขั้นสุดท้ายที่นิยมใช้ ได้แก่ การฝังกลบ การเผา แต่ทั้ง 2 วิธี นี้มีข้อจำกัด คือ มีค่าใช้จ่ายสูง และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ [1,2] การนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรเพื่อปรับปรุงดินและช่วยเพิ่มมวลชีวภาพให้กับพืชเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีผู้สนใจศึกษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากในกากตะกอนน้ำเสียมีสารประกอบที่เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช เช่น N, P, K และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ [3] แต่การนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ในการเกษตรมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่ กลิ่น ลักษณะตะกอนน้ำเสีย ความ

เหมาะสมของพื้นที่และดิน ความเป็นพิษของสารอินทรีย์ในกากตะกอนน้ำเสีย เกลือ และโลหะหนัก [4] ปัจจุบันได้มีงานวิจัยต่าง ๆ ที่ศึกษาการนำกากตะกอนน้ำเสียผสมลงในแปลงปลูกพืชเศรษฐกิจ [5] แต่ยังไม่มีการศึกษาการนำกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงมาใช้ปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าวซึ่งเป็นอาหารหลักและเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการนำกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงมาใช้ในการปลูกข้าว โดยผสมกากตะกอนน้ำเสียลงในดินที่อัตราส่วนแตกต่างกัน เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวและให้ผลผลิตสูงสุด นอกจากนี้ยังศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักที่ตกค้างในกากตะกอนน้ำเสียและปริมาณโลหะหนักที่สะสมในเมล็ดข้าว เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในระยะยาวในการนำกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินที่ใช้ปลูกข้าว

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

กากตะกอนน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัย เก็บรวบรวมจากบ่อผึ่งกากตะกอนน้ำเสียของระบบการจัดการกากตะกอนชีวภาพ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบบำบัดน้ำเสีย โรงงานแม่รวย จำกัด (โก๋แก่) โดยสุ่มตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียจากหลาย ๆ จุด แล้วนำมาคลุกเคล้าผสมกัน

ดินที่ใช้ในการทดลองได้มาจากแปลงนา 2 แหล่ง คือ แปลงนาที่ 1 เป็นดินเหนียว อยู่ในพื้นที่อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ และแปลงนาที่ 2 เป็นดินร่วนปนทราย อยู่ในพื้นที่อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี โดยสุ่มตัวอย่างดินจากหลาย ๆ จุด แล้วนำมาคลุกเคล้าผสมกัน เป็นการเก็บตัวอย่างดินแบบผสมรวม

ข้าวที่ใช้ในการทดลอง คือ ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 เป็นข้าวเจ้าไม่ไวแสง อายุการเก็บเกี่ยว 113 วัน (5 ก.ย. - 25 ธ.ค. 54) นับจากวันเพาะกล้าข้าว ซึ่งได้มาจากแปลงนาเพาะพันธุ์ข้าว จังหวัดสมุทรปราการ การเตรียมกล้าข้าว นำเมล็ดข้าวไปเพาะในถาดเพาะเมล็ดจนมีความสูงประมาณ 20 ซม. จึงย้ายลงปลูกในถังพลาสติก ใส่กากตะกอนน้ำเสียอัตราส่วน 0, 12, 24, 36 และ 48 kg m^{-2} ลงในดินผสมให้เข้ากัน แล้วใส่ลงในถังพลาสติกขนาด 25 x 25 x 20 ซม. ทิ้งไว้ 10 วัน เพื่อให้ดินเกิดความเสถียร จากนั้นจึงนำกล้าข้าวลงปลูก แผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) ประกอบด้วยดินนาสมุทรปราการและดินนาสุพรรณบุรีที่ไม่ได้ใส่กากตะกอนน้ำเสียเป็นชุดควบคุม (T_1) เติมกากตะกอนน้ำเสีย 12 kg m^{-2} (T_2) เติมกากตะกอนน้ำเสีย 24 kg m^{-2} (T_3) เติมกากตะกอนน้ำเสีย 36 kg m^{-2} (T_4) และเติมกากตะกอนน้ำเสีย 48 kg m^{-2} (T_5)

2.2 พารามิเตอร์และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์

เก็บตัวอย่างดินในทุกชุดการทดลองทั้งก่อนและหลังการปลูกข้าว และกากตะกอนน้ำเสีย ผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แล้วอบที่อุณหภูมิ 105 °C จนแห้งสนิท บดให้ละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 12 เมช (mesh) แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น (1) วิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าพีเอช (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ความชื้น (moisture) อินทรียวัตถุ (OM) ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยใช้วิธีวิเคราะห์ตามการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช ปุ๋ย และวัสดุปรับปรุงดิน [6] (2) การวิเคราะห์โลหะหนัก (Fe, Zn, Cu และ Mn) ใช้

วิธีการของ Allen *et al.* [7]

การเก็บตัวอย่างพืช นำเมล็ดข้าวและต้นข้าว (ล้างดินออกจนหมด) มาอบที่อุณหภูมิ 65 °C จนแห้ง บดให้ละเอียด และนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 12 เมช (mesh) แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น (1) การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (Fe, Zn, Cu และ Mn) ในเมล็ด และต้นข้าวหลังการเก็บเกี่ยว ใช้วิธีการของ Allen *et al.* [7] (2) การศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว โดยการวัดความสูงของต้นข้าวทุกสัปดาห์โดยใช้ตลับเมตร ชั่งน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าว 1,000 เมล็ด และชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวที่เป็นผลผลิตทั้งหมดของแต่ละชุดการทดลอง

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

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

3. ผลการการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสียและดิน (ดินสมุทรปราการและดินสุพรรณบุรี)

3.1.1 ก่อนการปลูกข้าว ในการนำกากตะกอนน้ำเสียผสมลงในดินนาเพื่อใช้ในการปลูกข้าวนั้น มีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสีย เพื่อศึกษาผลกระทบที่อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว จากการวิเคราะห์พบว่ากากตะกอนน้ำเสียมีค่าพีเอช 9.26 ซึ่งมีสภาพเป็นด่างจัด ค่าการนำไฟฟ้า 11.35 mS cm^{-1} กากตะกอนน้ำเสียมีความเค็มปานกลาง ความชื้น 9.78 % อินทรียวัตถุสูงถึง 13.25 % ไนโตรเจนทั้งหมด 0.49 % ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 9,375.79 mg kg^{-1} และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 1,751.08 mg kg^{-1} ส่วนโลหะหนักที่พบมากที่สุดในกากตะกอนน้ำเสีย คือ Fe มีความเข้มข้น 669.52 mg kg^{-1} รองลงมาคือ Zn, Mn และ Cu มีความเข้มข้น 462.42, 210.22 และ 1.4 mg kg^{-1} ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร คือ Zn และ Cu มีความเข้มข้น 3,000 และ 900 mg kg^{-1} [8]

ค่าพีเอชของดินสมุทรปราการ (T_1) และดินสุพรรณบุรี (T_1) (ตารางที่ 1) จัดว่าเป็นกรดจัด แต่เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่าง ๆ มีผลทำให้ดินสมุทรปราการมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น เนื่องจากในกากตะกอนน้ำเสียมีความเป็นเบสจัด สารพวกเบสจึงทำปฏิกิริยาสะเทินกับ H^+ ในสารละลายดิน ทำให้ปริมาณ H^+ ลดลง pH จึงเพิ่มขึ้น [9] แต่ค่าพีเอชในดินสุพรรณบุรีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในแต่ละชุดการทดลอง (ตารางที่ 1)

ค่าการนำไฟฟ้าของดินสมุทรปราการ (T_1) และดินสุพรรณบุรี (T_1) (ตารางที่ 1) มีความเค็มน้อยมาก แต่เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าค่าการนำไฟฟ้าในดินเพิ่มขึ้นในดินทั้ง 2 แหล่ง ทั้งนี้เนื่องจากในกากตะกอนน้ำเสียมีค่าการนำไฟฟ้าสูง มีสารละลายเกลือเข้มข้นสูง จึงเป็นเหตุให้มีสารละลายเกลือเข้มข้นมากกว่าในดิน ทำให้เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียเพิ่มมากขึ้นค่าการนำไฟฟ้าจึงสูงขึ้นตามไปด้วย [6]

อินทรียวัตถุที่พบในดินสมุทรปราการและดินสุพรรณบุรี หลังจากเติมกากตะกอนน้ำเสียลงไปแล้วค่าเปอร์เซ็นต์ของอินทรียวัตถุไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 1) ส่วนความชื้น ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี มีค่าเพิ่ม

มากขึ้นเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับดินชุดควบคุม (T_1) (ตารางที่ 1) ดังนั้นการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ในทางการเกษตรจึงช่วยเพิ่มสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้แก่ดิน [10] ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินสมุทรปราการและดินสุพรรณบุรีหลังจากใส่กากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับชุดดินควบคุม (T_1) จากการศึกษาพบว่าปริมาณโลหะหนักในดินสมุทรปราการมีค่าสูงที่สุด เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสีย 48 kg m^{-2} สามารถเรียงลำดับปริมาณธาตุโลหะหนักได้ดังนี้ Fe > Zn > Mn > Cu และในดินสุพรรณบุรีมีปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักสูงที่สุด เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสีย 48 kg m^{-2} สามารถเรียงลำดับปริมาณธาตุโลหะหนักได้ดังนี้ Fe > Zn > Cu > Mn (ตารางที่ 1) ซึ่ง Fe, Mn, Zn และ Cu เป็นกลุ่มจุลธาตุ (micronutrient elements) หรือธาตุอาหารเสริม พืชต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของพืชเท่ากับธาตุอาหารอื่น ๆ [6] ดังนั้นการเติมกากตะกอนน้ำเสียในการเพาะปลูกจึงเป็นการเพิ่มธาตุอาหารจำพวกจุลธาตุให้กับดิน ซึ่งปริมาณโลหะหนักที่ศึกษาวิจัยยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของโลหะหนักในดิน [8]

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของกากตะกอนน้ำเสีย ดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองก่อนปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

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^{-1})	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^{-1})	121.15	359.34	420.71	409.98	492.61	62.25	123.38	172.00	207.11	387.55
Avail. K (mg kg^{-1})	591.00	565.07	606.66	630.00	940.00	224.66	286.52	421.66	434.66	463.66
Total Fe (mg kg^{-1})	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^{-1})	278.25	278.73	293.02	344.63	363.45	246.00	306.48	350.82	345.32	388.65
Total Cu (mg kg^{-1})	44.11	45.81	52.88	66.74	67.42	52.13	54.05	63.43	65.74	75.78
Total Mn (mg kg^{-1})	70.92	99.86	104.16	105.30	112.67	50.65	52.84	57.55	57.90	59.69

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}
มาตรฐานของโลหะหนักในดินกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป; Zn : 100 mg kg^{-1} และ Cu : 300 mg kg^{-1} [8]

3.1.2 หลังการปลูกข้าว การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินหลังการปลูกข้าว เพื่อศึกษาปัจจัยในการเจริญเติบโตของพืชที่สะสมในดิน จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่าพีเอชของดินสมุทรปราการและดินสุพรรณบุรี ในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตาราง

ที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว (ตารางที่ 1) พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินสมุทรปราการและดินสุพรรณบุรีในทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ravindran *et al.* [11] พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินที่ใช้ปลูกผักเบี้ยทะเล *(S. portulacastrum)* เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้วจะมีค่าลดลง

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติของดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี ที่ผสมกากตะกอนน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองหลังปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

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)	5.63	5.64	5.75	5.89	6.06	5.76	5.67	5.63	5.77	5.89
EC (mS cm^{-1})	1.78	3.25	4.21	4.57	7.12	1.78	2.36	2.81	2.96	3.35
Moisture (%)	0.33	0.51	0.53	0.76	0.79	0.13	0.21	0.24	0.40	0.47
OM (%)	2.33	2.75	2.91	2.93	2.95	2.12	2.18	2.21	2.26	2.76
Total N (%)	0.16	0.17	0.24	0.24	0.38	0.11	0.17	0.21	0.25	0.27
Avail. P (mg kg^{-1})	45.35	84.99	102.22	200.19	234.65	32.55	61.27	130.16	132.76	141.61
Avail. K (mg kg^{-1})	194.32	229.62	231.58	237.03	265.75	199.15	202.05	203.67	209.73	381.27
Total Fe (mg kg^{-1})	1,088.03	1,094.49	1,101.93	1,144.95	1,155.12	1,029.02	1,037.42	1,046.84	1,050.35	1,112.95
Total Zn (mg kg^{-1})	200.30	208.83	246.29	308.46	425.15	160.68	204.85	260.43	346.10	392.26
Total Cu (mg kg^{-1})	0.95	3.76	10.99	10.80	17.54	3.70	8.61	16.57	16.78	20.10
Total Mn (mg kg^{-1})	73.76	86.37	89.29	98.98	109.42	23.79	26.42	30.97	31.36	37.19

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}
มาตรฐานของโลหะหนักในดินกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป; Zn : 100 mg kg^{-1} และ Cu : 300 mg kg^{-1} [8]

เปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุในดินสมุทรปราการในทุกชุดการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2) แต่อินทรียวัตถุในดินสุพรรณบุรีในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความชื้นปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินสมุทรปราการและดินสุพรรณบุรี ในทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2) ความชื้นที่ลดลงเนื่องจากก่อนการเก็บเกี่ยวจะปล่อยให้น้ำในถังพลาสติกที่ใช้ปลูกข้าวแห้งไปตามธรรมชาติ เพราะช่วงนี้ต้นข้าวไม่จำเป็นต้องใช้น้ำในการเจริญเติบโต และในช่วงการเจริญเติบโต ข้าวจะดูดซึมธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ส่งผลให้ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง ในทุกชุดการทดลอง

ความเข้มข้นของ Fe และ Zn ในดินสมุทรปราการและดินสุพรรณบุรี ในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว ส่วนความเข้มข้นของ Cu และ Mn ในดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี ใน

ทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2) โดยเรียงลำดับความเข้มข้นของโลหะหนักในดินทั้ง 2 แห่ง เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 48 kg m^{-2} ได้ดังนี้ Fe > Zn > Mn > Cu (ตารางที่ 2) Fe, Mn, Zn และ Cu เป็นกลุ่มจุลธาตุ (micronutrient elements) หรือธาตุอาหารเสริม ซึ่งพืชต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของพืชเท่ากับธาตุอาหารอื่น ๆ [6] ภายหลังการปลูกข้าวจึงทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักลดลง

3.2 ปริมาณโลหะหนักในข้าวพันธุ์ปทุมธานี80

ปริมาณโลหะหนักในส่วนต่าง ๆ ของข้าวขึ้นอยู่กับอัตราการใส่กากตะกอนน้ำเสียที่แตกต่างกัน จากการศึกษาปริมาณโลหะหนักในเมล็ดข้าวที่ปลูกในดินสมุทรปราการเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 48 kg m^{-2} พบว่าเมล็ดข้าวมีปริมาณ Mn และ Fe มากที่สุดตามลำดับ แต่ไม่พบ Zn และ Cu ส่วนเมล็ดข้าวที่ปลูกในดินสุพรรณบุรีพบว่าเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 48 kg m^{-2} ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีปริมาณ Fe, Mn และ Zn มากที่สุด ตามลำดับ แต่ไม่พบ Cu เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 กับมาตรฐานปริมาณของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในพืช พบว่าปริมาณโลหะหนักทั้งหมดไม่เกินมาตรฐาน [12]

ปริมาณโลหะหนักในต้นข้าวที่ปลูกในดินสมุทรปราการและดินสุพรรณบุรี พบว่ามีปริมาณสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในทุกชุดการทดลอง เมื่อเทียบกับดินชุดควบคุม (T_1) (ตารางที่ 3) ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินสมุทรปราการและดินสุพรรณบุรี มีปริมาณโลหะหนักในต้นข้าวสูงสุดเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 48 kg m^{-2} โดยมีปริมาณ Mn > Fe > Zn > Cu ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าปริมาณโลหะหนักในต้นข้าวทั้งหมดของทุกชุดการทดลองมีค่าไม่เกินมาตรฐานของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในพืช ยกเว้น Fe ที่มีปริมาณเกินมาตรฐาน [12]

ตารางที่ 3 ปริมาณโลหะหนักในเมล็ดและต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

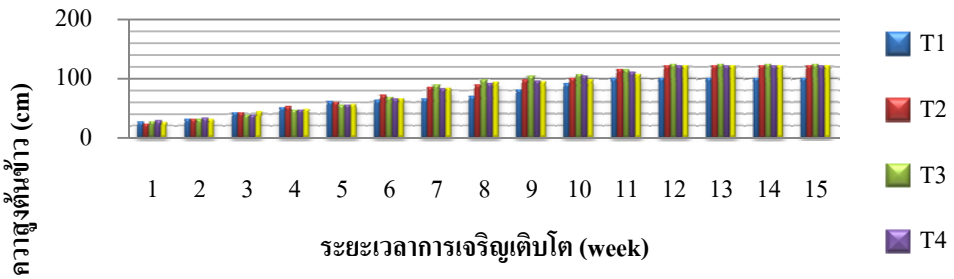
พารามิเตอร์		อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียของดินสมุทรปราการ					อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียของดินสุพรรณบุรี				
		0 kg m^{-2}	12 kg m^{-2}	24 kg m^{-2}	36 kg m^{-2}	48 kg m^{-2}	0 kg m^{-2}	12 kg m^{-2}	24 kg m^{-2}	36 kg m^{-2}	48 kg m^{-2}
Fe	เมล็ด	0.00	0.00	0.00	2.62	29.69	24.21	25.79	40.30	41.09	50.67
(mg kg^{-1})	ต้น	170.19	274.56	316.76	328.74	437.02	229.42	336.35	338.53	339.75	445.23
Zn	เมล็ด	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.26	8.59
(mg kg^{-1})	ต้น	12.67	13.14	22.76	42.31	47.37	19.68	20.09	21.38	22.66	23.46
Cu	เมล็ด	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(mg kg^{-1})	ต้น	5.42	8.16	9.42	10.20	10.85	6.51	7.75	8.53	10.20	10.49
Mn	เมล็ด	34.39	39.64	40.96	47.97	55.96	16.98	21.14	22.99	26.29	32.12
(mg kg^{-1})	ต้น	107.05	208.13	213.33	243.96	269.23	38.05	45.38	66.74	73.52	131.57

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}

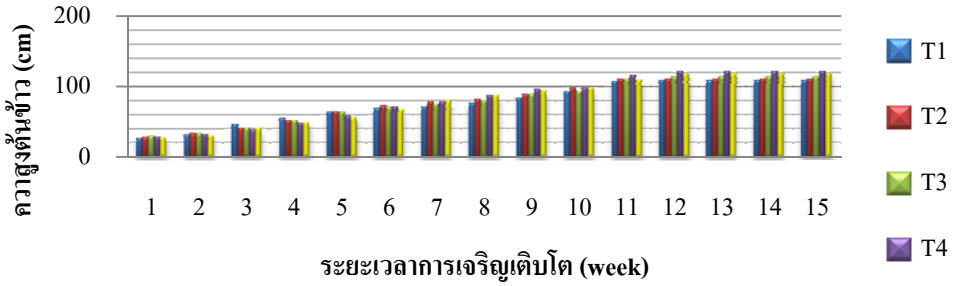
ปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในพืช Fe : 50-200 mg kg^{-1}, Zn : 80-200 mg kg^{-1} และ Cu : 100 mg kg^{-1} [12]

3.3 การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกด้วยดินสมุทรปราการ (รูปที่ 1) และดินสุพรรณบุรี (รูปที่ 2) พบว่าสัปดาห์แรกต้นข้าวมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 26 ซม. ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2-11 ข้าวเริ่มมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่ในสัปดาห์ที่ 11-15 ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตคงที่ ข้าวที่ปลูกในดินสมุทรปราการมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดในชุดการทดลอง T_3 รองลงมา คือ T_2, T_4, T_5 และ T_1ตามลำดับ (รูปที่1) มีความสูงของต้นดังนี้ 123, 121, 120, 120 และ 100 ซม. ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความสูงของต้นข้าวในแต่ละชุดการทดลองกับข้อมูลของกรมการข้าว (117 ซม.) [13] พบว่าชุดการทดลอง T_2, T_3, T_4 และ T_5 มีความสูงของต้นอยู่ในเกณฑ์ของกรมการข้าว ส่วนข้าวที่ปลูกด้วยดินสุพรรณบุรีมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดในชุดการทดลอง T_4 รองลงมา คือ T_2, T_5, T_3 และ T_1 ตามลำดับ (รูปที่ 2) โดยมีความสูงดังนี้ 122, 118, 114, 111 และ 108 ซม. ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความสูงของต้นข้าวในแต่ละชุดการทดลองกับข้อมูลของกรมการข้าว (117 ซม.) [13] พบว่าชุดการทดลอง T_2 และ T_5 มีความสูงอยู่ในเกณฑ์ของกรมการข้าว ส่วนข้าวที่ปลูกด้วยดินสมุทรปราการ และดินสุพรรณบุรี ในดินชุดควบคุม (T_1) มีความสูงต่ำกว่าเกณฑ์ของกรมการข้าวเนื่องจากดินชุดควบคุมไม่มีการเติมปุ๋ยและกากตะกอนน้ำเสีย ทำให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมีไม่เพียงพอ



รูปที่ 1 การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินสมุทรปราการ (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})



รูปที่ 2 การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินสุพรรณบุรี (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})

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกด้วยดินสมุทรปราการ เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสีย 12 kg m^{-2} พบว่ามีน้ำหนักเฉลี่ยของเมล็ดข้าว 1,000 เมล็ด มีค่าสูงสุด คือ 29.84 กรัม (ตารางที่ 4) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด ของดินชุดควบคุม เนื่องจากในดินชุดควบคุมไม่มีการเติมปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช ผลผลิตของข้าวที่ได้จึงเกิดความไม่สมบูรณ์บางส่วน (เมล็ดลีบ) ส่งผลให้น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด ของดินชุดควบคุมมีความแตกต่างกับชุดการทดลองอื่น ส่วนน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด ของข้าวที่ปลูกในดินสุพรรณบุรีในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นในดินชุดควบคุมที่มีน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด น้อยที่สุด เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสีย 36 kg m^{-2} พบว่ามีน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด มากที่สุด คือ 29.54 กรัม (ตารางที่ 4) น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด บ่งชี้ถึงคุณภาพของเมล็ดข้าว ดังนั้นเมื่อเทียบกันระหว่างชุดการทดลองที่มีน้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด สูงสุด ข้าวที่ปลูกในดินสมุทรปราการและดินสุพรรณบุรีมีคุณภาพไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4 ผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินสมุทรปราการและดินสุพรรณบุรี และเติมกากตะกอนน้ำเสียที่ระดับต่าง ๆ

อัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย	ดินสมุทรปราการ		ดินสุพรรณบุรี	
	น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด (g)	ผลผลิต (kg rai^{-1})	น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด (g)	ผลผลิต (kg rai^{-1})
0 kg m^{-2}	20.49	523.09	19.20	492.62
12 kg m^{-2}	29.84	1,922.64	29.46	963.41
24 kg m^{-2}	26.61	1,883.05	27.51	1,411.32
36 kg m^{-2}	22.86	1,194.49	29.54	1,511.16
48 kg m^{-2}	23.15	1,366.69	27.33	1,036.71

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}

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินสมุทรปราการ เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสีย 12 kg m^{-2} พบว่ามีผลผลิตสูงที่สุด คือ 1,922.64 kg rai^{-1} (ตารางที่ 4) และข้าวที่ปลูกในดินชุดควบคุมมีผลผลิตของข้าวน้อยที่สุด คือ 523.09 kg rai^{-1} ส่วนในชุดการทดลอง T_4 และ T_5 มีผลผลิตลดลง เนื่องจากใส่กากตะกอนน้ำเสียมากที่สุดทำให้ดินมีค่าการนำไฟฟ้าสูงถึง 6.94 และ 8.30 mS cm^{-1} (ตารางที่ 1) เมื่อดินมีความเค็มสูงขึ้นส่งผลให้ผลผลิตของเมล็ดข้าวลดลง จากข้อมูลของกรมการข้าว ระบุว่าดินที่มีความเค็มมากกว่า 6 mS cm^{-1} ส่งผลให้ผลผลิตของข้าวลดลงปานกลาง คือ ลดลงร้อยละ 20-50 [13] ส่วนข้าวที่ปลูกในดินสุพรรณบุรี เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสีย 36 kg m^{-2} พบว่าข้าวมีผลผลิตสูงที่สุดคือ 1,511.16 kg rai^{-1} และข้าวที่ปลูกในดินชุดควบคุม มีผลผลิตของข้าวน้อยที่สุดคือ 492.62 kg rai^{-1} (ตารางที่ 4) เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินสมุทรปราการ (1,922.64 kg rai^{-1}) กับดินสุพรรณบุรี (1,511.16 kg rai^{-1}) พบว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินสมุทรปราการมีผลผลิตมากกว่าข้าวที่ปลูกในดินสุพรรณบุรี ซึ่งผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินทั้ง 2 แห่ง ในทุกชุดการทดลองมีน้ำหนัก

สูงกว่าเกณฑ์ผลผลิตของกรมการข้าว (736 kg rai^{-1}) [13]

4. สรุป

การปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 เมื่อตรวจสอบเริ่มต้นดินสมุทรปราการและดินสุพรรณบุรีที่เติมกากตะกอนน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ผลปรากฏว่าดินสมุทรปราการและดินสุพรรณบุรีในทุกชุดการทดลองมีคุณสมบัติทางเคมีในด้านอินทรียวัตถุ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ความชื้น ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และปริมาณโลหะหนัก (จุลธาตุ) มีค่าเพิ่มขึ้น หลังจากปลูกข้าวค่าพีเอชไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับก่อนปลูกข้าว แต่มีค่าการนำไฟฟ้า ความชื้น ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ความเข้มข้นของ Cu และ Mn ในดินมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกข้าว ความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดในเมล็ดและลำต้นของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ที่ปลูกในดินทั้ง 2 แห่ง มีค่าความเข้มข้นอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ยกเว้น Fe ในส่วนของต้นข้าวที่มีความเข้มข้นเกินมาตรฐาน การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ในดินสมุทรปราการมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 24 kg m^{-2} และในดินสุพรรณบุรีมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 36 kg m^{-2} น้ำหนักเมล็ด 1,000 เมล็ด จากการเปรียบเทียบน้ำหนักสูงที่สุดในดินสมุทรปราการและดินสุพรรณบุรีมีน้ำหนักไม่แตกต่างกัน ข้าวที่ปลูกในดินสมุทรปราการให้ผลผลิตมากที่สุดเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 12 kg m^{-2} ส่วนข้าวที่ปลูกในดินสุพรรณบุรีให้ผลผลิตมากที่สุดเมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสีย 36 kg m^{-2} สำหรับการนำกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินในอนาคตควรใส่กากตะกอนน้ำเสีย 12 kg m^{-2} หรือน้อยกว่าในพื้นที่ที่เป็นดินเหนียว และควรใส่กากตะกอนน้ำเสีย 36 kg m^{-2} ในพื้นที่ที่เป็นดินร่วนปนทรายจะทำให้พืชมีผลผลิตสูงที่สุด นอกจากนี้ควรเติมเศษใบไม้ หรืออินทรียวัตถุอื่น ๆ เพื่อปรับสภาพให้กากตะกอนน้ำเสียที่ใช้มีความเค็มลดลง ก่อนนำไปใช้ในการเกษตร เป็นการปรับสภาพของดินให้เหมาะสมต่อการปลูกพืชระยะยาว

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ “การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปถั่วลิสงเพื่อใช้ปรับปรุงดินสำหรับปลูกข้าว” ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Walter, I., Martinez, F. and Cala, V., 2006, Heavy metal speciation and phytotoxic effects of three representative sewage sludges for agricultural uses. Environ. Pollut. 139: 507-514.

[2] Dai, J., Xu, M., Chen, J., Yang, X. and Ke, Z., 2007, PCDD/F, PAH and heavy metals in the sewage sludge from six waste water treatment plants in Beijing, China. Chemosphere 66: 353-361.

[3] Martinez, F., Cuevas, G., Calvo, R. and Walter, I., 2003, Biowaste effects on soil and native plants in a semiarid ecosystem, J. Environ. Qual. 32: 472-479.

[4] Jacobs, L.W., 1981, Sludge and Its Ultimate Disposal: Agricultural Application of Sewage Sludge, Ann Arbor Science Publishers, Inc., Michigan.

[5] Tsadilas, C.D., Matsi, T., Barbayiannis, N. and 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.

[6] กรมพัฒนาที่ดิน, 2547, คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า, เล่มที่ 2, สำนักพิมพ์วิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.

[7] Allen, S.E., Grimshaw, H.M. and Rowland, A.P., 1986, Chemical analysis, pp. 285-344, In Moore, P.D. and Chapman, S.B. (Eds.), Methods in Plant Ecology, Blackwell Scientific Publication, Oxford.

[8] กรมวิชาการเกษตร, 2551, เอกสารสนับสนุนระบบการจัดการคุณภาพ : GMP พืช พริก, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ, 27 น.

[9] สุวรรณา สาสนรักกิจ, การวิเคราะห์ดินและการแปลความหมายในระดับห้องปฏิบัติการและไร่นา, สำนักงานคณะกรรมการอาชีวศึกษา, แหล่งที่มา : http://118.175.21.24/wbi1/index.htm, 23 เมษายน 2555.

[10] Singh, R.P. and Agrawal, M., 2008, Potential benefits and risks of land application of sewage sludge, Waste Manag. 28: 347-358.

[11] 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.

[12] Fergusson, J.E., 1990, The Heavy Elements: Chemistry Environmental Impact and Health Effects, Pergamon Press, England.

[13] สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว, 2552, พันธุ์ปทุมธานี 80, แหล่งที่มา : http://www.brrd.in.th/rkb/varieties/index.php-file=19.html, 28 กรกฎาคม 2554.