

การศึกษาลักษณะสมบัติและความเป็นพิษต่อพืชของกากตะกอนน้ำเสียชุมชน เพื่อนำไปใช้ในการเกษตร

Characteristics and Phototoxic Effects of Sewage Sludge for Agricultural Uses

อุษณีย์ อูยะเสถียร , สิริพร เอกวรรณกุลศิริ และ ปิพิชญา ศรีเทพ

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม 73170

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่จะนำไปใช้ในการเกษตร โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนและทดสอบการงอกของเมล็ดพืช กากตะกอน 3 ชนิดที่ได้มาจากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม ได้แก่ กากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน ลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนที่ศึกษา ได้แก่ ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ความชื้น อินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณธาตุอาหารหลัก และปริมาณโลหะหนัก ในการทดสอบการงอกของเมล็ด ใช้เมล็ดจากกากตะกอนทั้ง 3 ชนิดและใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม มาเพาะเมล็ดผัก 2 ชนิด คือเมล็ดกวางตุ้งต้น และเมล็ดผักกาดขาวปลี ผลการศึกษาพบว่าลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนทั้ง 3 ชนิดที่วิเคราะห์ได้ ยังมีสมบัติบางประการ เช่น ปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่ามาตรฐาน ปุ๋ยอินทรีย์ และปริมาณทองแดงและนิกเกิล สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกากตะกอนที่นำไปใช้เพื่อการเกษตร สำหรับการทดสอบการงอกของเมล็ด พบว่าการงอกของเมล็ดและความยาวรากเฉลี่ยของกวางตุ้งต้นและผักกาดขาวปลีที่เพาะในน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชน น่าจะใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ ถ้าสามารถควบคุมปริมาณปุ๋ยหมักที่ใช้ หรือแก้ปัญหาเรื่องความเข้มข้นของ ที่สูงได้ โดยอาจใช้วิธีการตรึงด้วยสารเคมี เพื่อลดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งควรจะทำการศึกษาต่อไป

คำสำคัญ: กากตะกอนน้ำเสียชุมชน / การงอกของเมล็ด / ปุ๋ยหมักจากกากตะกอน / โลหะหนัก

Abstract

The objective of this study was to assess the suitability of utilizing sewage sludge in agriculture. Sewage sludge samples, namely non digested sludge, digested sludge and composted sludge were taken from the wastewater treatment plant at “Nongkham”. Chemical characteristic analysis and seed germination testing were carried out. Chemical characteristics analyzed were pH, electrical conductivity, moisture content, organic matter, organic carbon, C/N ratio, macronutrient and heavy metals. In seed germination, Pak-choi (*Brassica campestris* L. var. *parachinensis* Bailey) and Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. subsp. *pekinensis* var. *cylindrical*) seeds were tested in the 3 extracted sewage sludges and distilled water for control. The results showed that some parameters such as K was below the standards of organic fertilizer and concentrations of Cu and Ni were above the maximum permitted of sewage sludge for agriculture. For seed germination test with Pak-choi and Chinese

cabbage seeds in composted sludge extract, no significant differences were observed in seed germination and in mean root length when compared with control (distilled water). Composted sludge might be used as soil conditioner, if the amount of composted sludge used can be controlled or the problem of high concentrations of Cr and Cu can be solved. Immobilization of Cr and Cu to reduce environmental contamination is recommended for further study.

Key words: sewage sludge / seed germination / composted sludge / heavy metals

1. บทนำ

ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจะมีตะกอนเกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ของการบำบัด ทั้งจากถังตกตะกอนแรก จากการใช้สารเคมี จากถังเติมอากาศ และจากถังย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน และเนื่องจาก ปัจจุบันมีการให้ความสำคัญกับสภาพแหล่งน้ำสาธารณะที่เป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งไม่ให้เกิดการเน่าเสีย และการมีกฎหมายสิ่งแวดล้อมขึ้นมาควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งก่อนปล่อย ทำให้ต้องมีการบำบัดน้ำเสียเพื่อให้คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545; Walter, Martinez and Cala, 2006) จึงทำให้มีโรงบำบัดน้ำเสียเพิ่มมากขึ้นจากอดีต ส่งผลให้ตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียมีเพิ่มมากขึ้น

กระบวนการกำจัดกากตะกอนขั้นสุดท้ายที่เคยใช้กันมาและมีการนำไปใช้ในหลายๆ ประเทศ คือ การฝังกลบและการนำไปเผา แต่ทั้ง 2 วิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงและอาจเป็นปัญหาล้างแฉะต่อไปได้ (Walter, Martinez and Cala, 2006; Dai et al., 2007) การจัดการกากตะกอนวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ คือ การนำมาใช้ในพื้นที่การเกษตร ป่าไม้ และพื้นที่ใช้ประโยชน์อื่นๆ (Dai et al., 2007)

กากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีองค์ประกอบของธาตุอาหารและอินทรีย์สารที่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช กากตะกอนสามารถให้ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช แต่จะมีปริมาณโพแทสเซียม (K) น้อย อินทรีย์สารที่อยู่ในกากตะกอนจะมีปริมาณใกล้เคียงกับในดินที่มีความเหมาะสมในการปลูกพืช ในการนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมาใช้ในการเกษตรมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่ กลิ่น ลักษณะตะกอน จุลินทรีย์ก่อโรค ความเหมาะสมของพื้นที่และดิน ความเป็นพิษของสารอินทรีย์ในกากตะกอน เกลือและโลหะหนัก (Jacobs, 1981)

เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียรวมสำหรับชุมชนไม่ได้มีเพียงน้ำเสียจากชุมชนเท่านั้นแต่มียังมีน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมรวมอยู่ด้วย ทำให้ต้องคำนึงปริมาณของโลหะหนักเป็นสำคัญ เช่น สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) ปรอท (Hg) นิกเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) และ สังกะสี (Zn) ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้สามารถเกาะกับอนุภาคดินและสะสมอยู่ในดินได้เป็นเวลานาน ความเข้มข้นของโลหะหนักที่สะสมในดิน อาจก่อให้เกิดปัญหาได้ 2 ปัญหาใหญ่ๆ คือ (1) ความเป็นพิษของโลหะหนักที่มีต่อพืช และ (2) การปนเปื้อนของโลหะหนักในห่วงโซ่อาหาร (Jacobs, 1981)

ดังนั้นในการศึกษานี้ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ กากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย (non digested sludge) กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว (digested sludge) และปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน (composted sludge) และทำการศึกษาความเป็นพิษของกากตะกอนชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพืช เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

2. วิธีการวิจัย

การเก็บและเก็บรักษาตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างกากตะกอน 3 ชนิด ได้แก่ กากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน จากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม เมื่อวันที่ 8 พฤศจิกายน 2549 เพื่อนำมาใช้ทดลองการทดลอง โดยการสุ่มตัวอย่างกากตะกอนจากหลายๆ จุด แล้วนำมาคลุกเคล้าผสมกัน นำกากตะกอนมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 65-70 °C จนกว่าจะแห้งสนิท นำกากตะกอนที่ได้มาบดให้ละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20-60 เมช (mesh) (0.841-0.250 มม.) และเก็บรักษาตัวอย่างที่บดแล้วในถุงพลาสติกหรือขวดพลาสติกที่สะอาด

พารามิเตอร์และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการศึกษากากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) วิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ความชื้น อินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และปริมาณธาตุอาหารพืช (N, P, K) ในกากตะกอน โดยใช้วิธีวิเคราะห์ตามการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช ปุ๋ย และวัสดุปรับปรุงดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) การวิเคราะห์โลหะหนัก (As, Cd, Cr, Cu, Pb และ Zn) ในกากตะกอนโดยการย่อยสลายด้วย HNO₃ และ HCl ใน microwave digester แล้ววิเคราะห์โลหะหนักโดย ICP (Inductively Coupled Plasma) Emission Spectrometer ยกเว้น As ที่ใช้ Flame Atomic Absorption Spectrophotometer (FAAS) ส่วน Hg และ Ni ใช้ข้อมูลหตุยภูมิจากสำนักกระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร และ 2) การทดสอบการงอกของเมล็ดใช้การทดลองเช่นเดียวกับ Walter, Martinez และ Cala (2006) โดยการนำเมล็ดถั่วงาตั้งต้น และฝักถั่วขาวปาลีไปเพาะในน้ำสกัดจากกากตะกอนทั้ง 3 ชนิด (ซึ่งได้จากการนำกากตะกอน 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 100 มล. ใส่เครื่องเขย่า 15 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1) และใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม ทำการเพาะที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 120 ชั่วโมง แล้วนับจำนวนเมล็ดฝักที่งอก และวัดความยาวรากคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด (percentage of relative seed germination : %RSG) เปอร์เซ็นต์ความยาวรากสัมพัทธ์ (percentage of relative root growth : %RRG) และ เปอร์เซ็นต์ดัชนีการงอกของเมล็ด (percentage of the germination index : %GI)

$$\% \text{ RSG} = \frac{\text{number of seeds germinated in sludge extract}}{\text{number of seeds germinated in control}} \times 100$$

$$\% \text{ RRG} = \frac{\text{mean root length in sludge extract}}{\text{mean root length in control}} \times 100$$

$$\% \text{ GI} = \frac{\text{RSG} \times \text{RRG}}{100}$$

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกากตะกอน

ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ความชื้น อินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนค่าพีเอชของกากตะกอนทั้ง 3 ชนิด แสดงในตารางที่ 1 โดยที่พีเอชของกากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลายมีค่า 6.79 นั่นคือเป็นกรดอ่อนๆ กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้วมีค่าพีเอช 7.08 ซึ่งจัดว่ามีสภาพเป็นกลาง และปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนมีค่าพีเอช 8.12 ซึ่งจัดว่ามีสภาพเป็นด่าง เนื่องจากในช่วงแรกของการย่อยสลาย จุลินทรีย์ชนิดสร้างกรดจะเจริญเติบโตและสร้างกรดออกมาจึงทำให้กากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลายมีสภาพค่อนข้างเป็นกรด แต่เมื่อย่อยสลายไปสักระยะหนึ่งกิจกรรมของจุลินทรีย์ชนิดสร้างกรดจะลดลง ประกอบกับการย่อยสลายอินทรีย์ในโตรเจนให้แอมโมเนียจึงทำให้ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนมีสภาพเป็นด่าง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hartz (n.d.: Online) ที่พบว่ากระบวนการหมักปุ๋ยแบบ windrow ในระยะแรกของการหมักปุ๋ยจะมีค่าพีเอชต่ำกว่า 7 และหลังจากนั้นค่าพีเอชจะสูงขึ้นจนเกือบเท่ากับ 8 หรือมากกว่า 8

ค่าการนำไฟฟ้าของกากตะกอนทั้ง 3 ชนิด อยู่ในช่วง 1.49-2.06 มิลลิซีเมนส์ต่อเมตร (ตารางที่ 1) ซึ่งตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร 2551 ต้องมีค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 10 มิลลิซีเมนส์ต่อเมตร และปุ๋ยหมักส่วนใหญ่จะมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 1.0 ถึง 10.0 มิลลิซีเมนส์ต่อเมตร (US Composting Council, n.d.: Online) ค่าการนำไฟฟ้านี้เป็นค่าเกลือที่ละลายน้ำได้ซึ่งถ้ามีปริมาณเกลือที่ละลายน้ำอยู่ในปริมาณมาก จะทำให้รากพืชดูดน้ำได้ยากขึ้น ทำให้พืชเกิดอาการขาดน้ำ

กากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลายมีความชื้นมากที่สุด (75.41%) และปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนมีความชื้นน้อยที่สุด (54.35%) (ตารางที่ 1) โดยที่มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร 2551 จะต้องมีปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ไม่เกิน 30% โดยน้ำหนัก แต่จากผลการวิเคราะห์ความชื้นของกากตะกอนทั้ง 3 ชนิดมีค่าเกินมาตรฐาน คือ มีค่า 75.41 , 72.50 และ 54.35% ในกากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน ตามลำดับ ซึ่งปุ๋ยหมักที่เปียกมากๆ (55 ถึง 60%) จะจับตัวเป็นก้อนและมีน้ำหนักมากยากต่อการนำไปใช้งานและเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งมาก(US Composting Council , n.d.: Online)

กากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้วและปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 30.09, 26.20 และ 24.97% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร 2551 (ไม่น้อยกว่า 20% โดยน้ำหนัก)

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของกากตะกอนทั้ง 3 ชนิดมีค่าอยู่ในช่วง 14.48-17.45% และมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของกากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน เท่ากับ 4.53, 4.28 และ 5.89 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร 2551 (C/N ratio ไม่เกิน 20)

ตารางที่ 1 ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ความชื้น อินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอนและ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของกากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนที่เก็บมาจากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม เมื่อวันที่ 8 พฤศจิกายน 2549

พารามิเตอร์	กากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย	กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว	ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์*
ค่าพีเอช	6.97	7.08	8.12	-
ค่าการนำไฟฟ้า(มิลลิซีเมนส์ต่อเมตร)	1.89	2.06	1.49	≤ 10
ความชื้น(%)	75.41	72.50	54.35	≤ 30
อินทรีย์วัตถุ (%)	30.09	26.20	24.97	≥ 20
อินทรีย์คาร์บอน (%)	17.45	15.20	14.48	-
คาร์บอนต่อไนโตรเจน	4.53	4.28	5.89	≤ 20

* มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร 2551

ปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P, K) จากการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในกากตะกอน 3 ชนิดพบว่าปริมาณไนโตรเจนและปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร 2551 (ไนโตรเจนไม่น้อยกว่า 1.0 และฟอสฟอรัสไม่น้อยกว่า 0.5 %โดยน้ำหนัก) ซึ่งกากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และ ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน มีปริมาณไนโตรเจน (% total N) 3.85, 3.55 และ 2.46% ตามลำดับ และมีปริมาณฟอสฟอรัส (% total P as P_2O_5) 0.73, 0.85, และ 0.85% ตามลำดับ สำหรับปริมาณโพแทสเซียม (%total K as K_2O) ของกากตะกอนทั้ง 3 ชนิด มีค่า 0.19, 0.24 และ 0.25% ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร 2551 (ไม่น้อยกว่า 0.5 %โดยน้ำหนัก) (ตารางที่ 2)

ปริมาณโลหะหนัก (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) ปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้ในกากตะกอนทั้ง 3 ชนิดเรียงตามลำดับจากมากไปน้อย ได้ดังนี้ $Cu > Zn > Cr > Pb > Cd > As$ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P, K) ในกากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และ ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน ที่เก็บมาจากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม เมื่อวันที่ 8 พฤศจิกายน 2549

พารามิเตอร์	กากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย	กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว	ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์*
ไนโตรเจน (%total N)	3.85	3.55	2.46	≥ 1.0
ฟอสฟอรัส (%total P as P_2O_5)	0.73	0.85	0.85	≥ 0.5
โพแทสเซียม (%total K as K_2O)	0.19	0.24	0.25	≥ 0.5

* มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร 2551

ตารางที่ 3 ปริมาณโลหะหนัก (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Hg, Ni) ในกากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลายกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน ที่เก็บมาจากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม เมื่อวันที่ 8 พฤศจิกายน 2549 เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตาม ประกาศกรมวิชาการเกษตร 2548 ค่ามาตรฐานกากตะกอนเพื่อการเกษตรของประเทศไทย และ สหรัฐอเมริกา

พารามิเตอร์	กากตะกอนที่ไม่ย่อยสลาย	กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว	ปุ๋ยหมักที่เกิดจากกากตะกอน	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร*	มาตรฐานกากตะกอนเพื่อการเกษตรของประเทศไทย		มาตรฐานกากตะกอนเพื่อการเกษตรของสหรัฐอเมริกา**
					pH ของดิน < 6.5	pH ของดิน ≥ 6.5	
As(มก./กก.)	0.299	0.804	0.629	50	75	75	75
Cd(มก./กก.)	0.31	1.49	0.72	5	5	20	85
Cr(มก./กก.)	245.7	946.0	310.1	300	600	1,000	3,000
Cu(มก./กก.)	1,451.3	1,846.7	1,928.2	500	800	1,500	4,300
Pb(มก./กก.)	103.2	195.4	109.4	500	300	1,000	840
Zn(มก./กก.)	1,150.8	1,836.5	1,106.5	-	2,000	3,000	7,500
Hg(มก./กก.)	-	4.39***	-	2	5	15	57
Ni(มก./กก.)	-	232.96***	-	-	100	200	420

* มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร 2548

** ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนที่ขอมรับได้ในประเทศสหรัฐอเมริกา

*** ค่าเฉลี่ยปริมาณ Hg และ Ni ในกากตะกอน วิเคราะห์โดยสำนักการระบายน้ำ กทม. ประจำปี พ.ศ. 2549 เดือนมกราคม - มิถุนายน

ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนที่วิเคราะห์ได้เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการ เกษตร 2548 (ยังไม่มีข้อกำหนดค่าโลหะหนัก ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร 2551) พบว่า ปริมาณ As, Cd และ Pb ในกากตะกอนทั้ง 3 ชนิด และปริมาณ Cr ในกากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย มีค่าอยู่ในมาตรฐานคือมี ปริมาณน้อยกว่า 50, 5, 500 และ 300 มก./กก. ตามลำดับ สำหรับปริมาณโลหะหนักที่สูงกว่ามาตรฐาน ได้แก่ Cu ในกากตะกอนทั้ง 3 ชนิด Cr ในกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้วและปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน และ Hg ใน กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว มีค่าสูงกว่า 500, 300 และ 2 มก./กก. ตามลำดับ ส่วนปริมาณ Zn และ Ni ไม่มี กำหนดไว้ในมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร 2548

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนกับค่ามาตรฐานกากตะกอนที่ใช้ในการเกษตรของประเทศไทย พบว่า ปริมาณ As, Cd, Pb และ Zn ในกากตะกอนทั้ง 3 ชนิด Hg ในกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และ Cr ใน กากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลายและปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือมีค่าไม่เกิน 75, 5, 300, 2000, 5 และ 600 มก./กก. ตามลำดับ สำหรับดินที่มี pH < 6.5 และมีค่าไม่เกิน 75, 20, 1,000, 3,000, 15 และ 1,000 มก./กก. ตามลำดับ สำหรับดินที่มีค่า pH $\geq$ 6.5 ส่วน Cr ในกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้วมีค่าเกินค่า มาตรฐานกากตะกอนสำหรับดินที่มี pH < 6.5 แต่ยังไม่เกินค่ามาตรฐานกากตะกอนสำหรับดินที่มี pH $\geq$ 6.5 สำหรับปริมาณโลหะหนักที่มีค่าเกินมาตรฐานกากตะกอนเพื่อการเกษตรของประเทศไทย ได้แก่ Cu ในกากตะกอน ทั้ง 3 ชนิด และ Ni ในกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว ซึ่งมีปริมาณมากกว่า 800 และ 100 มก./กก. ตามลำดับ สำหรับ ดินที่มี pH < 6.5 และมีปริมาณมากกว่า 1,500 และ 200 มก./กก. ตามลำดับสำหรับดินที่มี pH $\geq$ 6.5

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนกับค่ามาตรฐานกากตะกอนเพื่อการเกษตรที่อนุโลมให้มีได้ใน ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า ปริมาณ As, Cd, Cr, Cu, Pb และ Zn ในกากตะกอนทั้ง 3 ชนิด และ Hg และ Ni ใน กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้วมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน คือไม่เกิน 75, 85, 3,000, 4,300, 840, 7,500, 57 และ 420 มก./กก. ตามลำดับ

ถ้าใช้ตามเกณฑ์มาตรฐานกากตะกอนในประเทศไทย จะมีโลหะหนัก 2 ชนิดที่มีปริมาณเกินค่ามาตรฐาน ได้แก่ Cu และ Ni จึงต้องมีการควบคุมปริมาณตะกอนที่ใช้ หรือปรับปรุงคุณภาพของกากตะกอนเพื่อให้มีความเหมาะสมใน การนำไปใช้ทางการเกษตรและมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ซึ่งอาจใช้วิธีการตรึงโลหะหนักทางเคมี (heavy metal immobilization) เพื่อลดการชะล้างของ Cu และ Ni ที่จะออกมาปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม (Zupancic et al., 2004)

ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้วและปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน มีค่าสูงกว่าปริมาณโลหะ หนักในกากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย อาจเนื่องมาจากการสูญหายของอินทรีย์วัตถุ CO₂ และน้ำ จากระบวนการ ย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic digestion) ของกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และกระบวนการหมักทำปุ๋ย ของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน (Liu et al., 2007)

ผลการทดสอบการงอกของเมล็ด

การงอกของเมล็ดกวางตุ้งต้น จากการทดสอบการงอกของเมล็ดกวางตุ้งต้น พบว่า เมล็ดกวางตุ้งต้นมีเปอร์เซ็นต์การงอกมากที่สุด (% seed germination) และมีความยาวรากเฉลี่ย (mean root length) มากที่สุดเมื่อทำการทดสอบในน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน โดยกวางตุ้งต้นมีจำนวนเมล็ดที่งอกคิดเป็น 94% มีความยาวรากเฉลี่ย 3.42 ซม. เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดกวางตุ้งต้นและความยาวรากเฉลี่ยจะลดลงเมื่อทดสอบในกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และกากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย ตามลำดับ สำหรับการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด (percentage of relative seed germination , %RSG) เปอร์เซ็นต์ความยาวรากสัมพัทธ์ (percentage of relative root growth , %RRG) และเปอร์เซ็นต์ดัชนีการงอกของเมล็ด (percentage of relative germination index , %GI) จากการทดสอบการงอกของเมล็ดในน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน มีค่า 104.44 , 84.65 และ 88.41% ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

การงอกของเมล็ดผักกาดขาวปลี จากการทดสอบการงอกของเมล็ดผักกาดขาวปลี พบว่า เมล็ดผักกาดขาวปลีมีเปอร์เซ็นต์การงอก (% seed germination) มากที่สุดและมีความยาวรากเฉลี่ย (mean root length) มากที่สุดเมื่อทำการทดสอบในน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน โดยเมล็ดผักกาดขาวปลีมีเปอร์เซ็นต์การงอกคิดเป็น 94% มีความยาวรากเฉลี่ย 1.96 ซม. เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดผักกาดขาวปลีและความยาวรากเฉลี่ยจะลดลงเมื่อทดสอบในกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และกากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย ตามลำดับ สำหรับการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด (percentage of relative seed germination , %RSG) เปอร์เซ็นต์ความยาวรากสัมพัทธ์ (percentage of relative root growth , %RRG) และเปอร์เซ็นต์ดัชนีการงอกของเมล็ด (percentage of relative germination index , %GI) จากการทดสอบการงอกของเมล็ดในน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน มีค่า 97.92, 100.51 และ 98.42% ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

การเพาะเมล็ดผักทั้งสองชนิดด้วยน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนให้ผลการงอก และความยาวรากดีที่สุดที่เป็นเช่นเป็นเพราะปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนถูกย่อยสลายจนสมบูรณ์มากกว่ากากตะกอนอีก 2 ชนิด โดยที่กระบวนการหมักทำปุ๋ยทำให้เกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ให้ธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และมีการควบคุมคุณสมบัติของปุ๋ยให้มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืช นอกจากนี้เมื่อการหมักปุ๋ยยังสมบูรณ์เท่าใดจะให้สารประกอบ (intermediate compounds เช่น แอมโมเนียอิสระ และ กรดอินทรีย์) ที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชลดลง ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะยับยั้งการงอกของเมล็ดและความยาวรากได้ จึงทำให้ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนมีคุณสมบัติที่ดีกว่ากากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย และกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว ซึ่งยังขาดคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ทางการเกษตร

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบการงอกของเมล็ดและความยาวรากเฉลี่ยเมื่อเพาะเมล็ดผักในน้ำสกัดจากกากตะกอนแต่ละชนิดกับชุดควบคุม พบว่าความยาวรากเฉลี่ยของกวางตุ้งต้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพาะเมล็ดในน้ำสกัดจากกากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลายและกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้วเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และการงอกของเมล็ดผักกาดขาวปลีมีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 4 การรอกของเมล็ดกวาดุ้งต้นและผักกาดขาวปลี เมื่อเพาะในน้ำสกัดจากกากตะกอนชนิดต่างๆ เป็นเวลา 120 ชั่วโมง

	จำนวน เมล็ดที่งอก	% การรอก ของเมล็ด	ความยาว รากเฉลี่ย (ซม.)	การรอก สัมพัทธ์ ของเมล็ด (%)	ความยาว ราก สัมพัทธ์ (%)	ดัชนีการ รอกของ เมล็ด (%)
กวาดุ้งต้น						
ชุดควบคุม	45	90a	4.04a	100	100	100
กากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย	36	72a	1.84b	80.00	45.54	36.43
กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว	40	80a	2.33b	88.89	57.67	51.26
ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน	47	94a	3.42a	104.44	84.65	88.41
ผักกาดขาวปลี						
ชุดควบคุม	48	96a	1.95a	100	100	100
กากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลาย	27	54b	1.53a	56.25	78.46	44.13
กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว	38	76a	1.68a	79.17	86.15	68.20
ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน	47	94a	1.96a	97.92	100.51	98.42

หมายเหตุ: ค่าที่ตามด้วยอักษรเดียวกันในผักชนิดเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

โดยสรุป น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนให้ผลการรอกของเมล็ดและความยาวรากเฉลี่ยของกวาดุ้งต้น และผักกาดขาวปลีไม่แตกต่างจากน้ำกลั่น และดีกว่าน้ำสกัดจากกากตะกอนที่ไม่ได้ย่อยสลายและกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว ทั้งนี้เนื่องจากระดับการย่อยสลายของกากตะกอนทั้ง 3 ชนิดที่แตกต่างกัน ซึ่งค่าระดับการย่อยสลายนี้จะบอกระดับความพร้อมของปุ๋ยหมักที่จะถูกนำไปใช้งาน โดย US Composting Council ได้กล่าวว่า ปุ๋ยหมักบางชนิดที่ยังหมักไม่ได้ที่ (immaturity) อาจจะมีปริมาณแอมโมเนียอิสระ กรดอินทรีย์ หรือสารประกอบที่ละลายน้ำอื่นๆ ในปริมาณสูง ซึ่งสามารถไปจำกัดการรอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของรากได้ (US Composting Council, n.d.: Online)

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา สรุปได้ว่า (1) กากตะกอนยังมีลักษณะสมบัติบางประการที่ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร 2551 เช่น มีปริมาณความชื้นมากเกินไป ส่วนค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณ อินทรีย์วัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (2) ปริมาณธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร 2551 แต่มีปริมาณ โพแทสเซียมอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (3) ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน มีทั้งที่อยู่ในเกณฑ์และสูงกว่า เกณฑ์มาตรฐานกากตะกอนสำหรับการเกษตรของปะเทศจีน โดยโลหะหนักที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน ได้แก่ Cu และ Ni สำหรับโลหะหนักที่เหลือ ได้แก่ As, Cd, Cr, Hg, Pb และ Zn มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (4) ในการทดสอบการงอกของเมล็ด พบว่า กวางตุ้งต้นและผักกาดขาวปลีมีจำนวนเมล็ดที่งอกและความยาวรากเฉลี่ยมากที่สุด เมื่อทำการเพาะในน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน และ (5) ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำเสีย ขุมชนน่าจะใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ ถ้าสามารถควบคุมปริมาณปุ๋ยหมักที่ใช้ หรือแก้ปัญหาในเรื่อง Cr และ Cu โดยอาจใช้วิธีการตรึงด้วยสารเคมี ซึ่งควรจะทำการศึกษาต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2547). คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุ ปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์ เพื่อตรวจ
รับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์วิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2545). ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
แห่งประเทศไทย.
- Dai, J., Xu, M., Chen, J., Yang, X. & Ke, Z. 2007. PCDD/F, PAH and heavy metals in the sewage
sludge from six wastewater treatment plants in Beijing, China. **Chemosphere**, 66(2), 353-61.
- Hartz, T. K. (n.d.). **Assessing compost maturity and suitability for agricultural uses**. Retrieved
February 9, 2007, from <http://p2pay.org/ref/11/10513.htm>.
- Jacobs, L.W. 1981. **Sludge and its ultimate disposal : Agricultural application of sewage sludge**.
Michigan: Ann Arbor Science Publishers.
- Liu, Y., Ma, L., Li, Y. & Zheng, L. 2007. Evolution of heavy metal speciation during the aerobic
composting process of sewage sludge. **Chemosphere**, 67(5), 1025-32.
- US Composting Council. (n.d.). **Evaluating compost quality**. Retrieved January 1, 2007,
from <http://www.compostingcouncil.org/section.cfm?id=39>.
- Walter, I., Martinez, F. & Cala, V. 2006. Heavy metal speciation and phytotoxic effects of three
representative sewage sludges for agricultural uses. **Environmental Pollution**, 139, 507-14.
- Zupancic, M., Bukovec, N., Milacic, R. & Scanner, J. 2004. Comparison of various phosphate
stabilization agents for the immobilization of Ni and Zn in sewage sludge. **Water, Air and Soil
Pollution**, 156, 57-69.

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนสนับสนุนงานวิจัยและบริการวิชาการแก่สังคมของคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล สำหรับเงินทุนสนับสนุนบางส่วนในการวิจัยครั้งนี้