ศึกษาประสิทธิภาพของกากตะกอนบ่อเกรอะในการปรับปรุงดิน ชุดดินปากช่องภายใต้การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี *เข็มพร เพชราภรณ์* *สมฤทัย ตันเจริญ* *อนันต์ ทองภู*
กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

บทคัดย่อ

กากตะกอนบ่อเกรอะเป็นแหล่งของวัสดุอินทรีย์ที่สำคัญแต่มีข้อจำกัดในการนำมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนของเชื้อโรค การผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยการอบความร้อนเป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากกากตะกอนบ่อเกรอะ ทำให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ปราศจากเชื้อโรคและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ อย่างไรก็ตามปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตโดยวิธีดังกล่าวอาจมีประสิทธิภาพแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของวัตถุดิบและวิธีการผลิต ดังนั้นจึงนำกากตะกอนบ่อเกรอะที่อบความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส มาทดสอบประสิทธิภาพในการปรับปรุงดิน โดยวางแผนการทดลองแบบ 3x4 factorials in RCB มี 12 กรรมวิธี 4 ซ้ำ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของกากตะกอนบ่อเกรอะที่ผ่านการอบความร้อนกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ กรรมวิธีที่ใส่กากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในระบบ activated sludge และกรรมวิธีที่ใส่มูลไก่อัดเม็ด โดยใส่ในอัตราที่ให้ไนโตรเจน 20 กิโลกรัม N ต่อไร่ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี 0-8-4 8-8-4 และ 16-8-4 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่ ทำการทดลองในชุดดินปากช่องและปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 2

ผลการทดลองพบว่า การใส่กากตะกอนบ่อเกรอะที่อบความร้อนทำให้ดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นโดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย 17-25 มิลลิกรัม P ต่อดิน 1 กิโลกรัม 128-174 มิลลิกรัม K ต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ แต่ต่ำกว่ากรรมวิธีที่ใส่มูลไก่อัดเม็ดซึ่งพบว่าดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 47-60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 215-259 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในขณะที่การใส่กากตะกอน activated sludge ทำให้ดินมีทองแดงและสังกะสีเพิ่มขึ้นสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในดินในกรรมวิธีต่างๆ ไม่แตกต่างกัน การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ร่วมกับปุ๋ยเคมี 0-8-4 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวโพด 1,076 – 1,159 กิโลกรัม ต่อไร่ สูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งให้ผลผลิต 952 กิโลกรัมต่อไร่ แต่เมื่อใส่ปุ๋ยเคมี 8-8-4 และ 16-8-4 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่ พบว่าทุกกรรมวิธีทั้งไม่ใสและใส่ปุ๋ยอินทรีย์ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน โดยให้ผลผลิตอยู่ในช่วง 1,068 – 1,157 กิโลกรัม/ไร่ ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากากตะกอนจากบ่อเกรอะที่อบความร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส สามารถใช้ในการปรับปรุงดินและการผลิตพืชได้ โดยมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากกากตะกอน activated sludge แต่ด้อยกว่ามูลไก่อัดเม็ด

บทนำ

กากตะกอนจากบ่อเกรอะเป็นแหล่งของวัสดุอินทรีย์ที่สำคัญและมีศักยภาพในการนำมาใช้ในการปรับปรุงดินหรือเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืช Gurung (1997) รายงานว่าในอุจจาระมนุษย์มีพีเอช 5.2-5.6 มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 4 1.53 และ 1.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การใช้กากตะกอนจากบ่อเกรอะหรืออุจจาระของมนุษย์มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการปนเปื้อนจากเชื้อโรคและมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากกากตะกอนบ่อเกรอะโดยการอบความร้อน โรงบำบัดน้ำเสียแห่งเมือง Milwaukee รัฐ Wisconsin ใช้วิธีการอบความร้อนกับกากตะกอนน้ำเสียในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1920 และเทคโนโลยีดังกล่าวได้รับความนิยมมากขึ้นในปี 1980 เป็นต้นมา (US EPA., 1979) นอกจากนี้ United State Environmental Protection Agency (USEPA) ยังได้กำหนดให้ใช้วิธีการอบความร้อนในการผลิต Biosolids จากกากตะกอนน้ำเสียอีกด้วย มีผู้ทำการศึกษาการลดปริมาณเชื้อโรคในมูลของสัตว์ปีกโดยใช้วิธีอบแห้ง พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรีย coliform ทุกชนิด และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรคในมูลสัตว์ปีก (Bellows and Baker, 2005) แต่การใช้วิธี Autoclave ที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 ถึง 120 นาที ไม่เพียงพอในการลดปริมาณของเชื้อโรค (Bellows and Baker, 2005) ในขณะที่ Moce-Llivina et al (2003) พบว่า การอบความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 – 60 นาที ได้รับการยอมรับในการผลิต Class A biosolids ส่วน Turner (2002) พบว่า ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในการยับยั้งเชื้อ *E. Coli* และ Jiang (2003) พบว่า ปุ๋ยหมักที่ผ่านการอบนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclaved compost) มีเชื้อ *E. Coli* ลดลงเหลือ 10^4 CFU/g เมื่อใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หรือ 55 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง หรือ 60 องศาเซลเซียส 15 นาที หรือ 65 องศาเซลเซียส 2 นาที หรือ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาน้อยกว่า 1 นาที นอกจากนี้ The European Commission ได้แนะนำให้อบความร้อนกากตะกอนน้ำเสียเพื่อกำจัดความชื้นให้เหลือน้อยกว่า 10% พร้อมทั้งกำจัดเชื้อโรค โดยการอบความร้อนกากตะกอนน้ำเสียในระบบ Moist heat ที่อุณหภูมิอย่างน้อย 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หรือใช้อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส 20 นาที หรือ 70 องศาเซลเซียส 30 นาที หรือ 55 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง (Carrington, 2001) สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของกากตะกอนบ่อเกรอะที่ผ่านการอบความร้อนแบบ Indirect-heating เปรียบเทียบกับวัสดุอินทรีย์ชนิดอื่น ในการปรับปรุงดินชุดดินปากช่องภายใต้การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

วิธีดำเนินการและอุปกรณ์

ดำเนินการทดลองในชุดดินปากช่อง (Very fine, kaolinitic, isohyperthermic Rhodic Kandiustox) ใช้แผนการทดลองแบบ 3x4 factorials in RCB มี 4 ซ้ำ ๆ ละ 12 กรรมวิธี ดังตารางที่ 1 เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ทำการทดลองที่ระดับความลึก 0 -15 เซนติเมตร นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนทำการ และสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ นำมาวิเคราะห์ความชื้น และปริมาณธาตุอาหาร

ไถดะเตรียมดินพื้นที่ 36 x 44 เมตร และแบ่งแปลงย่อยให้มีขนาด 4.5 × 5.0 เมตร ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ก่อนปลูกข้าวโพด 1 สัปดาห์ ตามอัตราที่กำหนดและพรวนกลบลงไปในดิน โดยใส่ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทชครั้งเดียวคือใส่พร้อมปลูก ส่วนปุ๋ยไนโตรเจนแบ่งใส่ 2 ครั้ง ๆ ละครึ่งอัตราที่กำหนด โดยครั้งที่ 1 ใส่พร้อมปลูก และ ครั้งที่ 2 หลังปลูก 1 เดือน ปลูกข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์ 2 โดยใช้ระยะระหว่างแถว 0.75 เมตร และระยะระหว่างต้น 0.25 เมตร (ได้ 6 แถว ๆ ละ 20 ต้น) ถอนแยกข้าวโพดให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม และ เก็บเกี่ยวข้าวโพดที่อายุ 110-120 วัน ในพื้นที่เก็บเกี่ยว 3 × 3 เมตร (เก็บเกี่ยวจากแถวกลาง 4 แถว เว้นแถวริม ข้างละ 1 แถว และเว้นระยะจากหัวแปลงและท้ายแปลง ด้านละ 1 เมตร) เก็บเกี่ยวผลผลิต พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างดินและพืชมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 1. กรรมวิธีการทดลอง พร้อมอักษรย่อของแต่ละกรรมวิธี

Treatments	Treatment abbreviation
1. CF 0-8-4 kg N-P_2O_5-K_2O/rai	0-8-4 No OF
2. CF 0-8-4 kg N-P_2O_5-K_2O/rai + Heated sludge	0-8-4 + HS
3. CF 0-8-4 kg N-P_2O_5-K_2O/rai + Activated sludge	0-8-4 + AS
4. CF 0-8-4 kg N-P_2O_5-K_2O/rai + Chicken manure	0-8-4 + CM
5. CF 8-8-4 kg N-P_2O_5-K_2O/rai	8-8-4 No OF
6. CF 8-8-4 kg N-P_2O_5-K_2O/rai + Heated sludge	8-8-4 + HS
7. CF 8-8-4 kg N-P_2O_5-K_2O/rai + Activated sludge	8-8-4 + AS
8. CF 8-8-4 kg N-P_2O_5-K_2O/rai + Chicken manure	8-8-4 + CM
9. CF 16-8-4 kg N-P_2O_5-K_2O/rai	16-8-4 No OF
10. CF 16-8-4 kg N-P_2O_5-K_2O/rai + Heated sludge	16-8-4 + HS
11. CF 16-8-4 kg N-P_2O_5-K_2O/rai + Activated sludge	16-8-4 + AS
12. CF 16-8-4 kg N-P_2O_5-K_2O/rai + Chicken manure	16-8-4 + CM

ระยะเวลา (เริ่มต้น – สิ้นสุด) ตุลาคม 2548 – กันยายน 2553

สถานที่ดำเนินการ

1) แปลงทดลองในไร่เกษตรกร ตำบลโป่งตาลอง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา
2) ห้องปฏิบัติการวิจัยเคมีดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. คุณสมบัติของดินก่อนทำการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ดิน เฉลี่ยจาก 4 ซ้ำๆ ละ 12 ตัวอย่าง (12 แปลงย่อย) พบว่า ดินเป็นกรดจัดมีพีเอช 5.0 มีอินทรียวัตถุปานกลาง 2.5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง 13 มิลลิกรัม P ต่อดิน 1 กิโลกรัม ส่วนโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงมาก 208 มิลลิกรัม K ต่อดิน 1 กิโลกรัม และมีทองแดง สังกะสี ที่สามารถสกัดได้ 2.4 และ 1.1 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2. คุณสมบัติของดินก่อนทำการทดลอง (ที่ระดับความลึก 0 – 15 เซนติเมตร)

Parameters	Rep 1[1/]	Rep 2[1/]	Rep 3[1/]	Rep 4[1/]	Average
pH	4.8	4.9	5.2	5.1	5.0
Organic matter (%)	2.3	2.5	2.7	2.6	2.5
Available P (mg P/kg soil)	12	16	15	11	13
Exchangeable K (mg K/kg soil)	166	207	244	214	208
Extractable Cu (mg Cu/kg soil)	2.3	2.2	2.4	2.6	2.4
Extractable Zn (mg Cu/kg soil)	1.0	1.0	1.2	1.3	1.1

หมายเหตุ [1/] เป็นค่าเฉลี่ยจาก 12 ตัวอย่าง (12 แปลงย่อย)

2. ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์

กากตะกอนบ่อเกรอะที่ผ่านการอบความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ตามวิธีของ Kurita Co. Ltd, Japan มีความชื้นน้อยมากเพียง 0.6 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ง่ายต่อการขนส่งและการหว่านในแปลง ในขณะที่กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแขมที่ผ่านการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในระบบ activated sludge หลังจากนำมาตากแห้งทิ้งไว้สักระยะยังคงมีความชื้นสูงถึง 47.1 เปอร์เซ็นต์ อาจทำให้ไม่สะดวกในการขนย้ายหรือการนำไปใช้ประโยชน์ ส่วนมูลไก่อัดเม็ดมีความชื้น 22.1 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3) พีเอชของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าอยู่ระหว่าง 6.3 – 7.2 ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่เหมาะสม ค่าการนำไฟฟ้าของกากตะกอนบ่อเกรอะเท่ากับ 1.8 เดซิซีเมนต่อเมตร ส่วนกากตะกอน activated sludge มีค่าการนำไฟฟ้า 3.8 เดซิซีเมนต่อเมตร ในขณะที่มูลไก่อัดเม็ดมีค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างสูง 5.5 เดซิซีเมนต่อเมตร (ตารางที่ 3) สัดส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าอยู่ระหว่าง 5.2 – 9.9 จัดว่าเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ กากตะกอนบ่อเกรอะและกากตะกอนน้ำเสียจากระบบ activated sludge มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง แต่มีโพแทสเซียมต่ำ ส่วนมูลไก่อัดเม็ดมีธาตุอาหารสูงทั้ง 3 ธาตุ โดยมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด 3.1 8.0 และ 2.7 เปอร์เซ็นต์ N, P_2O_5, K_2O ตามลำดับ (ตารางที่ 3) กากตะกอนบ่อเกรอะและกากตะกอนน้ำเสียจากระบบ activated sludge มีสังกะสีทั้งหมดอยู่ในปริมาณสูงถึง 1,330 และ 1,563 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีเพียงกากตะกอนน้ำเสียจากระบบ activated sludge เท่านั้นที่มีทองแดงทั้งหมดอยู่ในปริมาณสูง (2,187 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับ

รายงานของ Parkpian *et al.* (2000) ซึ่งพบว่า กากตะกอนน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีทองแดงและสังกะสีทั้งหมดอยู่ในปริมาณสูง 801 และ 1,326 มิลลิกรัม Cu, Zn ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และ Parkpian *et al* (2001) พบว่า กากตะกอนน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวางมีทองแดงและสังกะสีทั้งหมด 300 และ 2,462 มิลลิกรัม Cu, Zn ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ดังนั้น เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดในอัตราที่ให้ไนโตรเจน 20 กิโลกรัม N ต่อไร่ เท่ากัน ทำให้กรรมวิธีที่ใส่กากตะกอนบ่อเกรอะอบความร้อนให้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม 25 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และ 1.9 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ กรรมวิธีที่ใส่กากตะกอน activated sludge ให้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม 49.6 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และ 5.2 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีที่ใส่มูลไก่อัดเม็ดให้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูงถึง 51.6 กิโลกรัม P_2O_5 ต่อไร่ และ 17.4 กิโลกรัม K_2O ต่อไร่ ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีที่ใส่กากตะกอน activated sludge ให้ทองแดงและสังกะสี 1.62 กิโลกรัม Cu ต่อไร่ และ 1.16 กิโลกรัม Zn ต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3. คุณสมบัติและระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

Parameters	Heated sludge	Activated sludge	Chicken manure
Moisture (% Dry weight basis)	0.6	47.1	22.1
pH	6.3	6.5	7.2
EC (dS/m)	1.8	3.8	5.5
Organic carbon (%C)	26.8	17.4	30.6
Total N (%N)	5.2	2.7	3.1
C/N ratio	5.2	6.4	9.9
Total P (%P_2O_5)	6.5	6.7	8.0
Total K (%K_2O)	0.5	0.7	2.7
Total Cu (mg/kg)	316	2,187	195
Total Zn (mg/kg)	1,330	1,563	306

ตารางที่ 4. ปริมาณธาตุอาหารที่ได้จากการใส่กากตะกอนบ่อเกรอะ กากตะกอน activated sludge และมูลไก่อัดเม็ด

Materials	Application rate		N	P	K	Cu	Zn
	kg fresh weight	kg dry weight	kg N/rai	kg P_2O_5/rai	kg K_2O/rai	kg Cu/rai	kg Zn/rai
Heated sludge	387	385	20	25.0	1.9	0.12	0.51
Activated sludge	1,090	741	20	49.6	5.2	1.62	1.16
Chicken manure	788	645	20	51.6	17.4	0.13	0.20

3. ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อปริมาณธาตุอาหารในดิน

การใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-8-4 8-8-8 และ 16-8-4 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ พบว่าไม่ทำให้ดินมีคุณสมบัติแตกต่างกัน (ตารางที่ 5) แต่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ทำให้ดินมีพีเอช ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ทองแดงและสังกะสีที่สามารถสกัดได้ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) แต่ระดับอินทรียวัตถุไม่แตกต่างกัน

การใส่กากตะกอนบ่อเกรอะร่วมกับปุ๋ยเคมีทั้ง 3 อัตรา มีแนวโน้มว่าทำให้ดินมีอินทรียวัตถุและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ การใส่กากตะกอน activated sludge ทำให้ดินมีการสะสมทองแดงและสังกะสีอย่างเด่นชัด โดยพบว่าดินมีทองแดงเฉลี่ย 6.3 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม และมีสังกะสีเฉลี่ย 2.8 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม (ตารางที่ 6) ในขณะที่การใส่มูลไก่อัดเม็ดทำให้ดินมีพีเอชเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด โดยมีพีเอชเฉลี่ย 5.6 ทั้งนี้เนื่องจากมูลไก่อัดเม็ดมีพีเอชสูงถึง 7.2 ในขณะที่กากตะกอนบ่อเกรอะ และกากตะกอน activated sludge มีพีเอช 6.3 และ 6.5 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) นอกจากนี้ยังพบว่ากรรมวิธีที่ใส่มูลไก่อัดเม็ดมีการสะสมของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินสูง โดยมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เฉลี่ย 54 กิโลกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม และ 237 กิโลกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 5. ผลของปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินที่ระดับความลึก 0-15 ซม. หลังเก็บเกี่ยวข้าวโพด

Chemical fertilizer application (CF)	pH	OM (%)	Avail.P (mg/kg)	Exch.K (mg/kg)	Extr.Cu (mg/kg)	Extr.Zn (mg/kg)
0-8-4	5.4	2.48	28	167	3.4	2.0
8-8-4	5.4	2.53	26	162	3.4	1.9
16-8-4	5.3	2.53	27	176	3.4	1.9
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4.8	7.0	93.9	31.2	48.5	45.9

หมายเหตุ ns :ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินที่ระดับความลึก 0-15 ซม. หลังเก็บเกี่ยวข้าวโพด

Organic fertilizer application (OF)	pH	OM (%)	Avail.P (mg/kg)	Exch.K (mg/kg)	Extr.Cu (mg/kg)	Extr.Zn (mg/kg)
No OF	5.3 b	2.48	15 b	155 b	2.5 b	1.2 c
HS	5.2 b	2.56	21 b	152 b	2.5 b	1.6 c
AS	5.3 b	2.51	17 b	129 c	6.3 a	2.8 a
CM	5.6 a	2.52	54 a	237 a	2.3 b	2.1 b
F-test	*	ns	**	**	**	**
CV (%)	4.8	7.0	93.9	31.2	48.5	45.9

หมายเหตุ ตัวเลขในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT ns :ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ *, **: แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 7. ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ต่อคุณสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินที่ระดับความลึก 0-15 ซม. หลังเก็บเกี่ยวข้าวโพด

Treatments (CF x OF)	pH	OM (%)	Avail.P (mg/kg)	Exch.K (mg/kg)	Extr.Cu (mg/kg)	Extr.Zn (mg/kg)
0-8-4	5.3	2.45 bc	23	159	2.1 d	1.2
0-8-4 + HS	5.3	2.59 ab	25	155	2.7 cd	1.7
0-8-4 + AS	5.4	2.52 abc	16	137	6.5 ab	2.9
0-8-4 + CM	5.5	2.38 c	47	215	2.2 d	2.0
8-8-4	5.4	2.45 bc	10	139	3.5 c	1.5
8-8-4 + HS	5.2	2.52 abc	21	128	2.3 cd	1.4
8-8-4 + AS	5.3	2.55 ab	16	123	5.5 b	2.6
8-8-4 + CM	5.8	2.64 a	55	259	2.4 cd	2.2
16-8-4	5.3	2.55 ab	13	166	2.0 d	0.8
16-8-4 + HS	5.2	2.58 ab	17	174	2.6 cd	1.6
16-8-4 + AS	5.2	2.45 bc	20	128	6.9 a	3.0
16-8-4 + CM	5.4	2.55 ab	60	237	2.2 d	2.0
F-test	ns	*	ns	ns	*	ns
CV %	4.8	7.0	93.9	31.2	48.5	45.9

หมายเหตุ ตัวเลขในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT ns: ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ * : แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4. การให้ผลผลิตของข้าวโพด

การใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-8-4 8-8-8 และ 16-8-4 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่ พบว่าข้าวโพดให้ผลผลิตเฉลี่ย 1,079 1,101 และ 1,123 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลผลิตของข้าวโพดเพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยเคมี อย่างไรก็ตามผลจากการใส่ปุ๋ยเคมีทั้ง 3 ระดับต่อการให้ผลผลิตของข้าวโพดไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 8) เช่นเดียวกับผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ซึ่งพบว่าข้าวโพดให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่ากรรมวิธีที่ใส่มูลไก่อัดเม็ดให้ผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่กากตะกอนบ่อเกรอะ อบความร้อน กากตะกอน activated sludge และกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อการให้ผลผลิตของข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 0-8-4 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ทำให้ข้าวโพดให้ผลผลิต 1,076 – 1,159 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวในอัตรา 0-8-4 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่ ซึ่งให้ผลผลิต 952 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 10) แสดงว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดในอัตราที่ให้ไนโตรเจน 20 กิโลกรัม N ต่อไร่ สามารถปลดปล่อยไนโตรเจนให้พืชนำไปใช้

ได้อย่างเพียงพอต่อการให้ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินปากช่อง ซึ่งสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนได้ 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 8-8-4 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดพบว่า ข้าวโพดให้ผลผลิต 1,068 – 1,157 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างกันกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวในอัตรา 8-8-4 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ซึ่งให้ผลผลิต 1,110 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 10) อาจเป็นเพราะการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตรา 8-8-4 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ เพียงอย่างเดียวนั้นอยู่ในระดับที่เพียงพอแก่ความต้องการของพืชแล้ว ดังนั้นเพิ่มเติมปริมาณธาตุอาหารโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จึงไม่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของข้าวโพด

นอกจากนี้ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวในอัตรา 16-8-4 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราดังกล่าวร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด อาจเป็นเพราะการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 16-8-4 กิโลกรัม $N-P_2O_5-K_2O$ ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ที่ให้ไนโตรเจนสูงถึง 20 กิโลกรัม N ต่อไร่ นั้นอาจสูงเกินกว่าความต้องการของพืช จึงทำให้ข้าวโพดมีแนวโน้มให้ผลผลิตลดลง (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 8. ผลของปุ๋ยเคมีต่อการให้ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 2 ที่ปลูกในชุดดินปากช่อง ตำบลโป่งตาลอง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

Chemical fertilizers application (CF)	Yield (kg/rai)
0-8-4	1,079
8-8-4	1,101
16-8-4	1,123
F-test	ns
CV (%)	10.68

หมายเหตุ ns :ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 9. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการให้ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 2 ที่ปลูกในชุดดินปากช่อง ตำบลโป่งตาลอง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

Organic fertilizers application (OF)	Yield (kg/rai)
No OF	1,082
HS	1,104
AS	1,082
CM	1,136
F-test	ns
CV (%)	10.68

หมายเหตุ ns :ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 10. ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ต่อการให้ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์นครสวรรค์ 2 ที่ปลูกในชุดดินปากช่อง ตำบลโป่งตาลอง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

Treatments (CF x OF)	Yield (kg/rai)
0-8-4	952 c
0-8-4 + HS	1,128 ab
0-8-4 + AS	1,076 b
0-8-4 + CM	1,159 ab
8-8-4	1,110 ab
8-8-4 + HS	1,069 b
8-8-4 + AS	1,068 b
8-8-4 + CM	1,157 ab
16-8-4	1,184 a
16-8-4 + HS	1,117 ab
16-8-4 + AS	1,101 ab
16-8-4 + CM	1,1091 ab
F-test	**
CV %	10.7

หมายเหตุ ตัวเลขในสดมภ์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT ** : แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

5. ปริมาณธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพด

ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์ 2 ที่ปลูกในชุดดินปากช่อง เป็นดังนี้ คือ ส่วนของต้นและใบมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 0.94 0.06 และ 1.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่เมล็ดมีธาตุดังกล่าว 1.90 0.60 และ 0.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 11) โดยส่วนของต้นและใบนั้นให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1,302 กิโลกรัม ดังนั้นจะมีปริมาณธาตุอาหารที่อยู่ในส่วนของต้นและใบเทียบเท่าเนื้อปุ๋ย 12.2 - 1.8 - 24.8 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ในขณะที่เมล็ดมีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1,007 กิโลกรัมต่อไร่ คำนวณปริมาณธาตุอาหารในส่วนของเมล็ดได้เทียบเท่าเนื้อปุ๋ย 19.1 – 13.8 – 8.7 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ดังนั้นหากต้องการรักษาศักยภาพของดินสำหรับการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ควรใส่ปุ๋ยให้ได้เนื้อธาตุอย่างน้อยเท่ากับส่วนที่สูญหายออกไปจากพื้นที่หรือในส่วนของผลผลิต

ตารางที่ 11. ปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในส่วนต่างๆ ของข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์ 2 ที่ปลูกในชุดดินปากช่อง

Plant parts	Dry matter (kg/rai)	Nutrient concentration (%)			Amount of nutrient (kg/rai)		
		N	P	K	N	P_2O_5	K_2O
Stover	1,302	0.94	0.06	1.59	12.2	1.8	24.8
Grain	1,007	1.90	0.60	0.72	19.1	13.8	8.7
Total	2,309				31.3	15.6	33.5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. กากตะกอนบ่อเกรอะที่ผ่านกรรมวิธีอบความร้อนมีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ โดยมีความชื้นต่ำ สามารถขนย้ายได้ง่าย มีลักษณะทางเคมีที่เหมาะสม และมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง แต่มีโพแทสเซียมค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการนำกากตะกอนบ่อเกรอะมาใช้ประโยชน์อาจลดการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนและฟอสเฟตได้ แต่ต้องใส่ปุ๋ยโพแทชเพิ่มเติมให้เพียงพอแก่ความต้องการของพืช

2. กากตะกอนน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการ activated sludge มีความชื้นสูงมาก ดังนั้นก่อนนำมาใช้ประโยชน์ควรรีดน้ำหรือปล่อยทิ้งไว้ให้แห้งเสียก่อน ส่วนปริมาณธาตุอาหารในกากตะกอน activated sludge นั้นมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง แต่มีโพแทสเซียมต่ำเช่นเดียวกับกากตะกอนบ่อเกรอะ การใช้กากตะกอนน้ำเสียเป็นปุ๋ยอินทรีย์สามารถลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยฟอสเฟตได้ แต่ทำให้มีทองแดงและสังกะสีตกค้างสะสมในดินสูง

3. มูลไก่อัดเม็ดมีธาตุอาหารสูงทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ดังนั้นการใช้มูลไก่อัดเม็ดในการผลิตพืชสามารถลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสเฟต และโพแทชได้

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลงานวิจัยนี้สามารถนำไปถ่ายทอดเพื่อเป็นแนวทางให้กับสำนักงานกรุงเทพมหานครเพื่อนำไปใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากกากตะกอนบ่อเกรอะ หรือถ่ายทอดให้กับเอกชนหรือชุมชนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากกากตะกอนบ่อเกรอะหรือวัสดุอินทรีย์ชนิดอื่นที่มีความชื้นสูง

เอกสารอ้างอิง

Bellows, B. and Baker, B. 2005. Dehydrated manure in organic farming. Organic Materials Review Institute. 16 P.

Gurung, J.B. 1997. Review of Literature on Effects of Slurry Use on Crop Production. Nepal. 96 p.

Jiang, X.P., J. Morgan, and M.P. Doyle. 2003. Thermal Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in cow manure compost. Journal of Food Protection. 66: 1771 – 1777.

Moce-Llivina, L., M. Munisa, H. Pimenta-Vale, F. Lucena, and J. Jofre. 2003. Survival of bacterial indicator species and bacteriophages after thermal treatment of sludge and sewage. Applied and Environmental Microbiology. 69: 1452 – 1456.

Parkpian, P., S. Sreesai, D. Delaune. 2000. Bioavailability of heavy metals in sewage sludge-amended Thai soils. Water, Air, and Soil Pollution. 122: 163-182.

Parkpian, P., S.T. Leong, P. Laortanakul, J. Juntaramitree. 2001. An environmentally sound method for disposal of both ash and sludge wastes by mixing with soil: a case study of Bangkok plain. Environmental Monitoring and Assessment 00: 1-17

Petrick, M. 1954. Utilization of night-soil, sewage, and sewage sludge in agriculture. Bull. Wld Hlth Org., 10: 207-228.

Turner, C. 2002. The thermal inactivation of *E. coli* in straw and pig manure. Bioresource Technology. 84: 57 – 61.

US EPA. 1979. Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal. U.S. Environmental Protection Agency. Washington DC.