บทที่ 4

ผลการทดลอง

สมบัติทางเคมี ของกากตะกอนน้ำเสียก่อนหมักและหลังหมัก

1. สมบัติทางเคมีของกากตะกอนก่อนหมัก

จากผลการศึกษาสมบัติทางเคมี ธาตุอาหารพืช และโลหะหนักที่เป็นพิษ ในกากตะกอนน้ำเสียของโรงพยาบาล (ตาราง 7) พบว่าค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของกากตะกอนที่ใช้ทดลอง เท่ากับ 6.35 ปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง เท่ากับ 24.4 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 14.2 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนระหว่างอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C/N Ratio) ของกากตะกอน เท่ากับ 3.46 : 1 และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย 4.10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 1,300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 4.83 cmol(+)/kg จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุอาหารหลักทั้งสามชนิดมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ที่สูง นอกจากยังมีปริมาณธาตุอาหารรองทั้งหมดในกากตะกอน อาทิ แคลเซียมมีค่าเฉลี่ย 65.9 cmol(+)/kg และแมกนีเซียม 4.18 cmol(+)/kg ซึ่งก็อยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างสูง และปริมาณจุลธาตุอาหารพืช ได้แก่ เหล็ก สังกาสี ทองแดง และแมงกานีส เท่ากับ 399, 587, 121, และ 47.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ส่วนปริมาณโลหะหนักที่เป็นพิษในกากตะกอนน้ำเสียที่นำมาใช้ในการวิจัย พบว่ามีปริมาณแคดเมียม เท่ากับ 0.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตะกั่ว เท่ากับ 3.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

กล่าวได้ว่ากากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลพุทธชินราช จังหวัดพิษณุโลก มีคุณค่าทางธาตุอาหารพืชโดยมีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะในกากตะกอนมีปริมาณค่อนข้างสูง นอกจากนั้นปริมาณจุลธาตุอาหารพืชและโลหะหนักที่เป็นพิษ ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการนำกากตะกอนไปใช้ในพื้นที่เกษตรกรรม เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของประเทศต่าง ๆ ที่ Webber *et al.*, (1984) ได้เสนอไว้ (ตาราง 19 ภาคผนวก ข) จะเห็นได้ว่ากากตะกอนน้ำเสียของโรงพยาบาลสามารถนำไปใส่ในพื้นที่การเกษตรได้อย่างปลอดภัยจากความเป็นพิษของโลหะหนักที่จะมีต่อพืชและดิน

2. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของกากตะกอนหมัก

ค่าความเป็นกรด – ด่าง ของการหมักกากตะกอน พบว่าสัปดาห์แรกของการหมักค่าความเป็นกรด – ด่าง ลดลงจากก่อนหมักเหลือเพียง 5.72 และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในสัปดาห์ที่ 2 เท่ากับ 6.31 และสัปดาห์ที่ 3 เท่ากับ 6.84 และเมื่อสิ้นสุดการหมักกากตะกอน พบว่าค่าความเป็นกรด – ด่าง เพิ่มขึ้น เท่ากับ 7.35 (ภาพ 12 ภาคผนวก ก) ซึ่งค่าความเป็นกรด – ด่าง ของกากตะกอนหมักอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง และพืชทั่วไปมักเจริญได้ดีในช่วง 6.5 – 7.5 และเป็นช่วงที่เอื้อให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช (Tirdale *et al.*, 1985)

การหมักกากตะกอนด้วยเชื้อจุลินทรีย์ (พด.-1) เพื่อกำจัดพยาธิที่ปนเปื้อนในกากตะกอนก่อนการนำไปใช้ประโยชน์นั้น มีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงจาก 4.10 เปอร์เซ็นต์ เป็น 3.48 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C /N Ratio) ของกากตะกอน เท่ากับ 3.46 : 1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ต่ำเกินไปจึงง่ายต่อการสลายตัว และหลังจากการกองตะกอนหมัก 3 – 4 วัน อุณหภูมิภายในเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ถึง 55 – 65 องศาเซลเซียส เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยจากกระบวนการย่อยสลายแบบ Mineralization จึงทำให้เกิดการสูญเสียอนินทรีย์ไนโตรเจน (NH_4^+-N) ในรูปของการระเหย (Volatilization) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของนักวิจัยหลายท่าน (FAO. 1987 ; กรมพัฒนาที่ดิน. 2542 ; มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544) ในขณะเดียวกันเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดก็มีความต้องการใช้สารประกอบไนโตรเจนด้วย (Poincelot. 1975) ส่วนโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีปริมาณลดลงจาก 4.83 cmol(+)/kg เหลือเพียง 3.27 cmol(+)/kg เช่นกัน แต่กระบวนการแปรสภาพอินทรีย์วัตถุ (Mineralization) ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 1,300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 2,700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 7) การลดลงของปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียม และการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัส ในกากตะกอนหมักยังอยู่ในเกณฑ์ที่สูง ดังนั้นการใส่กากตะกอนหมักลงในดินของแปลงทดลองน่าจะเป็นการทดแทนปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในดินที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที

สำหรับแคลเซียมและแมกนีเซียมในกากตะกอนหมัก พบว่ามีความผันแปรเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (ตาราง 7) โดยปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นจาก 65.9 cmol(+)/kg เป็น 68.8 cmol(+)/kg และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นจาก 4.18 cmol(+)/kg เป็น 5.97 cmol(+)/kg ซึ่งถือได้ว่าเป็นปริมาณที่พบได้ในดินทั่ว ๆ ไป กล่าวได้ว่า การใส่กากตะกอนหมักลงในแปลงดินทดลอง กากตะกอนหมักมีศักยภาพในการเพิ่มแคลเซียมและแมกนีเซียม ในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

ในขณะที่จุลธาตุอาหาร ได้แก่ เหล็ก สังกาสี และแมงกานีสมีปริมาณเพิ่มขึ้น ยกเว้นทองแดงมีปริมาณลดลง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณจุลธาตุอาหารนั้นเป็นผลจากการย่อยสลายตัวของกากตะกอน ดังนี้ เหล็กเพิ่มขึ้นจาก 399 เป็น 404 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกาสีเพิ่มขึ้นจาก 587 เป็น 684 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแมงกานีสเพิ่มขึ้นจาก 47.1 เป็น 57.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการลดลงของปริมาณธาตุอาหารอาจเป็นเพราะความชื้นในกองตะกอนหมักสูงจึงมีผลต่อการสูญเสียธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ทองแดงที่มีปริมาณลดลงจาก 121 เป็น 110 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

นอกจากนั้นการหมักกากตะกอนยังส่งผลให้โลหะหนักที่เป็นพิษมีปริมาณเพิ่มขึ้น ดังนี้ ตะกั่วเพิ่มขึ้นจาก 3.10 เป็น 4.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแคดเมียมเพิ่มขึ้นจาก 0.98 เป็น 1.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 7) เนื่องจากกระบวนการหมักกากตะกอนเพื่อกำจัดพยาธินั้น มีการย่อยสลายเกิดขึ้นเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดประกอบกับสภาพแวดล้อม และปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ และความเป็นกรด – ด่าง (Boddy *et al.*, 1985) จึงทำให้ธาตุอาหารพืชบางชนิดในกากตะกอนถูกแปรสภาพจากรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และจุลินทรีย์มากขึ้น เช่น ฟอสฟอรัส แคลเซียม เหล็ก และ แมงกานีส เป็นต้น

ตาราง 7 สมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหารพืช และโลหะหนักที่เป็นพิษ ในกากตะกอนน้ำเสีย จากโรงพยาบาลพุทธชินราช จ.พิษณุโลก ก่อนและหลังการหมัก

สมบัติทางเคมี	กากตะกอน ก่อนหมัก	กากตะกอน หลังหมัก
PH (กากตะกอน : น้ำ = 1 : 5)	6.35	7.35
C/N Ratio	3.46 : 1	3.25 :1
OC (%)	14.2	11.3
OM (%)	24.4	19.4
Total N (%)	4.10	3.48
Available Phosphorus (mg/kg)	1,300	2,700
Exchangeable Cations (cmol (+) /kg)		
- K^{+}	4.83	3.27
- Ca^{2+}	65.9	68.8
- Mg^{2+}	4.18	5.97
Extractable Metals (mg/kg)		
- Fe^{2+}	399	404
- Zn^{2+}	587	684
- Cu^{2+}	121	110
- Mn^{2+}	47.1	57.1
- Pb^{2+}	3.10	4.68
- Cd^{2+}	0.98	1.02

ปริมาณพยาธิในกากตะกอนก่อนและหลังหมัก

จากการตรวจกากตะกอนน้ำเสียของโรงพยาบาลพุทธชินราช จังหวัดพิษณุโลก พบว่ากากตะกอน จำนวน 54 ตัวอย่าง ที่ทำการเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ครั้งละ18 ตัวอย่าง กากตะกอนที่ใช้ในการวิจัยมีความชื้นอยู่ระหว่าง 9.09 – 10.57 เปอร์เซ็นต์ อัตราการตรวจพบพยาธิ 18.5 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งเป็นชนิดของพยาธิดังนี้ คือ พยาธิไส้เดือนกลม 5.56 เปอร์เซ็นต์ พยาธิปากขอ 7.41 เปอร์เซ็นต์ พยาธิแส้ม้า 3.70 เปอร์เซ็นต์ และพยาธิตืดทีเนีย 1.85 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 8) ดังนั้นผลการตรวจพยาธิในกากตะกอนน้ำเสียของโรงพยาบาลพุทธชินราช แสดงให้เห็นได้ว่ากากตะกอนไม่ปลอดภัยต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นวัสดุบำรุงดินถึงแม้ว่ากากตะกอนน้ำเสียของโรงพยาบาลพุทธชินราช จังหวัดพิษณุโลก จะมีความปลอดภัยจากความเป็นพิษของโลหะหนัก และสามารถใช้เป็นวัสดุบำรุงดินได้โดยไม่มีปัญหาในเรื่องการสลายตัว แต่ในขณะเดียวกันกากตะกอนมีความไม่ปลอดภัยจากการปนเปื้อนของพยาธิ หากไม่กำจัดหรือลดความเสี่ยงต่อพยาธิเสียก่อนจะเป็นการแพร่กระจายพยาธิไปสู่สิ่งแวดล้อม เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ สำหรับการกำจัดเชื้อโรคและพยาธิในกากตะกอนนั้นสามารถทำได้หลายวิธีจากการศึกษารายงานการวิจัยต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วในหน้า 32

จากการเก็บตัวอย่างในกองกากตะกอนหมัก เพื่อยืนยันผลว่าการหมักกากตะกอนเป็นเวลา 1 เดือน ว่ามีผลต่อการกำจัดพยาธิที่ปนเปื้อนในกากตะกอนหรือไม่ พบว่าหลังการหมักกากตะกอน ตรวจไม่พบไข่พยาธิ (ตาราง 8) ด้วยวิธีทำให้ไข่พยาธิลอยตัว (Floatation Techinque) จึงสรุปได้ว่า การนำกากตะกอนผึ่งแดดกลางแจ้งเป็นเวลา 7 – 9 วัน จนมีความชื้นประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ (ภาพ 9 ภาคผนวก ก) และผลจากการหมักกากตะกอนด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ (พด.-1) ของกรมพัฒนาที่ดิน ในระยะเวลา 1 เดือนของการหมักส่งผลให้อุณหภูมิที่ขึ้นสูงสุด 65 องศาเซลเซียส และความชื้นที่ 73.5 เปอร์เซ็นต์ (ภาพ 11 ภาคผนวก ก) สามารถลดความเสี่ยงจากพยาธิได้ ซึ่งสามารถยืนยันผลได้จากการศึกษาของ Caby *et al.,* (1972) พบว่าอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักที่ทำจากขยะเทศบาลมีผลโดยตรงที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคในระบบลำไส้ของคน (Pathogenic Enteric Microorganisms) จึงสามารถสรุปได้ว่าระดับอุณหภูมิและระยะเวลาการหมักมีผลต่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์และพาราไซต์บางชนิดที่ก่อให้เกิดโรค (Cosico.1985) ประกอบกับมนุษย์ไม่ได้บริโภคกากตะกอนโดยตรง ความเสี่ยงจากพยาธิและเชื้อโรคที่ปนเปื้อนในกากตะกอนน่าจะมีน้อยมาก ยกเว้นจะมีไข่หรือตัวอ่อนของพยาธิติดมากับพืชผักที่บริโภค

ตาราง 8 ปริมาณพยาธิชนิดต่าง ๆ ที่ตรวจพบในกากตะกอนก่อนและหลังการหมัก (เปอร์เซ็นต์) ที่เก็บจากโรงพยาบาลพุทธชินราช จังหวัดพิษณุโลก ที่ใช้ในการทดลอง

ลักษณะตัวอย่าง / จำนวนซ้ำ	จำนวนตัวอย่าง	ตรวจพบพยาธิ		ชนิดของพยาธิ							
		จำนวนชนิด	%	พยาธิไส้เดือนกลม		พยาธิปากขอ		พยาธิแส้ม้า		พยาธิตืดทีเนีย	
				จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%	จำนวน	%
กากตะกอน											
1	18	4	22.2	2	11.1	1	8.33	-	-	1	5.56
2	18	3	16.7	1	5.56	1	5.56	1	5.56	-	-
3	18	3	16.7	-	-	2	11.1	1	5.56	-	-
รวม	54	10	18.5	3	5.56	4	7.41	2	3.70	1	1.85
กากตะกอนหมัก											
1	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ

- หมายถึง ตรวจหาไม่พบ

กากตะกอน หมายถึง กากตะกอนที่สุ่มเก็บจากลานตากตะกอน ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน โรงพยาบาลพุทธชินราช

กากตะกอนหมัก หมายถึง กากตะกอนที่ผ่านการผึ่งแดดและมีความชื้นประมาณ 2 % และหมักกากตะกอนด้วยเชื้อจุลินทรีย์ พด. -1

การทดลองที่ 1 อัตรากากตะกอนหมักที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช ในสภาพเรือนทดลอง

ผลของการทดลองพบว่าอัตรากากตะกอนหมักที่ทำให้ข้าวโพดเจริญเติบโตสูงสุด คือที่อัตรา 2 ตันต่อไร่ และแตกต่างจากการไม่ใส่กากตะกอนหมัก (0 ตันต่อไร่) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังตาราง 9 การเพิ่มอัตรากากตะกอนหมักจาก 2 ตันต่อไร่ เป็น 4 และ 6 ตันต่อไร่ ไม่ทำให้ผลผลิตข้าวโพดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มอัตราที่สูงกว่า 6 ตันต่อไร่ ทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอัตรา 10 ตันต่อไร่ ทำให้ผลผลิตลดต่ำกว่าการไม่ใส่กากตะกอนหมักถึง 50 เปอร์เซ็นต์ (จาก 35.8 กรัมต่อกระถาง เหลือเพียง 1.54 กรัมต่อกระถาง) ซึ่งผลการทดลองนี้ไปในทิศทางเดียวกันกับความสูง ซึ่งลดลงจาก 14.8 เหลือ 4.10 เซ็นติเมตร (ภาพ 14 ภาคผนวก ค)

ตาราง 9 อิทธิพลของกากตะกอนหมักต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด

อัตรากากตะกอนหมัก (ตันต่อไร่)	ความสูงของข้าวโพด (ซม.)	น้ำหนัก (กรัมต่อกระถาง)	
		น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
0	28.0a*	446b	33.7b
2	29.9a	1071a	50.8a
4	25.3a	991a	50.1a
6	26.4a	962a	49.2a
8	14.8b	592b	35.8b
10	4.10c	12.8c	1.54c
CV (%)	21.5	24.0	16.1

* ค่าเฉลี่ยที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) โดยวิธี DMRT

การทดลองที่ 2 อัตรากากตะกอนหมักที่เหมาะสมต่อผลผลิตผักคะน้า มะเขือเทศ และดาวเรืองที่ปลูกในแปลงทดลอง

1. ผลผลิตผักคะน้าและผลมะเขือเทศ

ผลการศึกษาทดลองปลูกผักคะน้า พบว่า การใส่กากตะกอนหมักมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำหนักสดทั้งต้นของผักคะน้าที่ปลูกในแปลงทดลอง (ตาราง 10) คือการใส่กากตะกอนหมักในอัตรา 2 ตันต่อไร่ เพิ่มผลผลิตต้นสดของผักคะน้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก และการใส่กากตะกอนหมักเพิ่มขึ้นจาก 2 ตันต่อไร่ เป็น 4 ตันต่อไร่ ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (10 เปอร์เซ็นต์ หรือน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 425 กก.ต่อไร่) ซึ่งแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ในทำนองเดียวกันกากตะกอนหมักมีอิทธิผลต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ โดยมะเขือเทศจะเจริญเติบโตสูงสุด เมื่อได้รับกากตะกอนหมักในอัตรา 4 ตันต่อไร่ โดยน้ำหนักสดของผลมะเขือเทศ เท่ากับ 6.21 ตันต่อไร่ ตามด้วยการใช้กากตะกอนหมักในอัตรา 2 ตันต่อไร่ มีน้ำหนักสดของผลมะเขือเทศ เท่ากับ 4.95 ตันต่อไร่ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่กากตะกอนหมัก

ตาราง 10 อิทธิพลของอัตรากากตะกอนหมัก ที่มีต่อผลผลิตน้ำหนักสดของต้นผักคะน้า ผลของมะเขือเทศ (ตันต่อไร่) และมวลชีวภาพแห้ง ที่ปลูกในแปลงทดลอง

อัตรากากตะกอนหมัก (ตันต่อไร่)	ผลผลิตผัก (ตันต่อไร่)			
	ผักคะน้า		ผลมะเขือเทศ	
	น้ำหนักสด	มวลชีวภาพ	น้ำหนักสด	มวลชีวภาพ
0	1.66b*	0.24b	2.97b	0.40b
2	3.92a	0.48a	4.95ab	0.69a
4	4.35a	0.51a	6.21a	0.74a
CV (%)	15.4	13.4	23.3	19.4

* ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) โดยวิธี DMRT

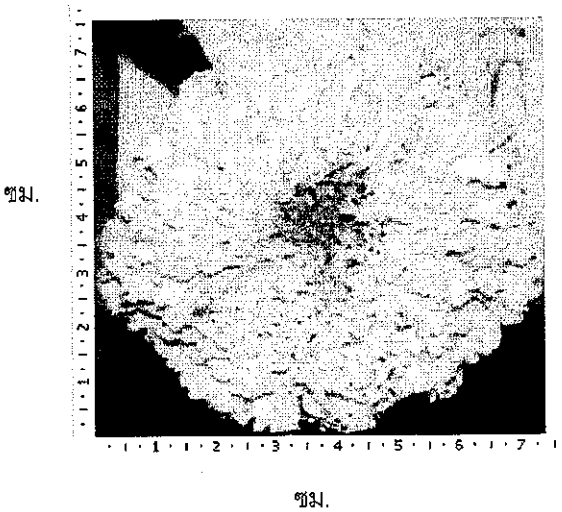
2. ผลผลิตดาวเรือง

การใส่กากตะกอนหมักที่อัตรา 2 ตันต่อไร่ ส่งผลให้มีจำนวนดอกต่อไร่ มากที่สุด รองลงมาได้แก่ อัตราใส่กากตะกอนหมักที่ 4 ตันต่อไร่, 6 ตันต่อไร่ และ ไม่ใส่กากตะกอนหมัก (ตาราง 11) โดยการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 4 ตันต่อไร่ ทำให้มีดอกขนาดใหญ่มากที่สุด ส่วนดอกขนาดกลางมีมากที่สุดในแปลงที่ไม่ได้ใส่กากตะกอนหมัก ในขณะที่ดอกขนาดเล็กมีมากที่สุดในแปลงทดลองที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก ซึ่งผลผลิตในรูปของจำนวนดอก ขนาดดอก และรูปทรงของดอก (ภาพ 8) เป็นดัชนีบ่งชี้ความสามารถในการเจริญเติบของดาวเรืองได้อย่างดี เมื่อจำแนกของขนาดดอก โดยจำแนกเป็นขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก พบว่าการใส่กากตะกอนหมักที่อัตรา 4 ตันต่อไร่ ให้เปอร์เซ็นต์ของขนาดดอกใหญ่มากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ กับการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ และการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 6 ตันต่อไร่ กลับส่งผลให้ขนาดดอกใหญ่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับแปลงที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก ส่วนดอกดาวเรืองขนาดกลาง (เปอร์เซ็นต์) พบว่าแปลงที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก มีดอกขนาดกลางมากที่สุด รองลงมาได้แก่ อัตราการใส่กากตะกอนหมักที่ 6, 2 และ 4 ตันต่อไร่ ตามลำดับ

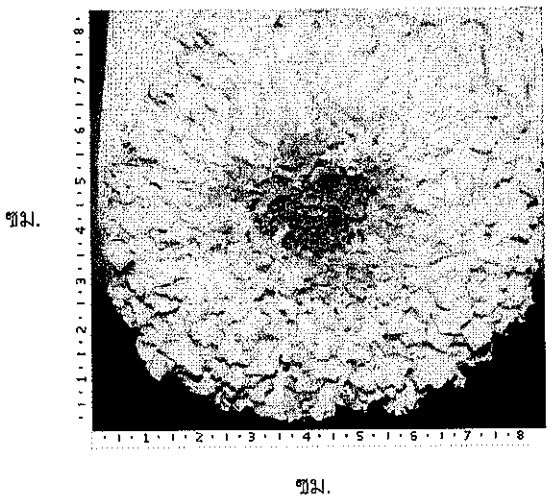
ตาราง 11 อิทธิพลของอัตรากากตะกอนหมักที่มีต่อจำนวนดอก ขนาดของดอกดาวเรือง (จำนวนดอกต่อไร่) ที่ปลูกในแปลงทดลอง

อัตรากากตะกอน ตันต่อไร่	ผลผลิต ดอกต่อไร่	ขนาดดอก		
		ขนาดใหญ่	ขนาดกลาง	ขนาดเล็ก
		←	(เปอร์เซ็นต์)	→
0	478,933c*	32.0c	59.0a	9.06a
2	686,933a	58.0ab	39.2ab	2.87ab
4	678,933a	61.6a	37.2b	1.18b
6	565,867b	57.6b	41.1b	1.30b
CV (%)	18.4	12.1	14.5	39.8

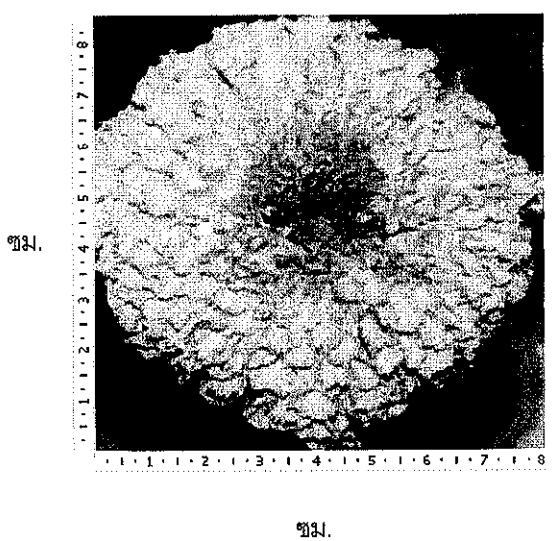
* ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่พิมพ์ด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) โดยวิธี DMRT



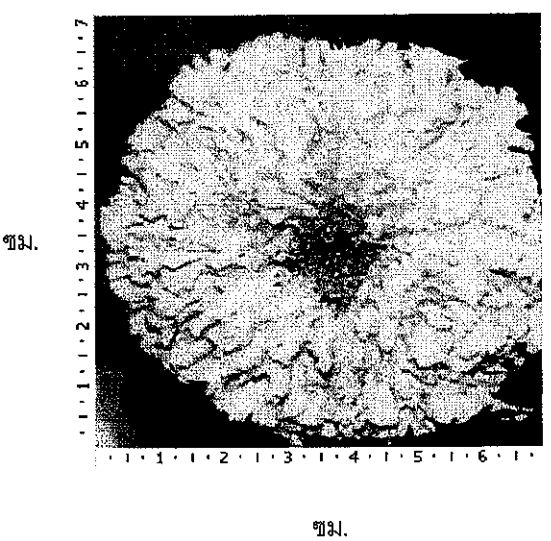
ไม่ใส่กากตะกอนหมัก



กากตะกอนหมัก 2 ตันต่อไร่



กากตะกอนหมัก 4 ตันต่อไร่



กากตะกอนหมัก 6 ตันต่อไร่

ภาพ 8 ลักษณะของดอกดาวเรืองขนาดใหญ่ที่ปลูกในดินผสมกากตะกอนหมักในแต่ละอัตรา

การสะสมของธาตุอาหาร ในส่วนต่าง ๆ ของพืชทดลอง

ผลการศึกษาธาตุอาหารพืช ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง เหล็ก สังกาสี และแมงกานีส ที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืชทดลองทั้งสามชนิด เมื่อปลูกบนดินผสมกากตะกอนหมักในอัตรากากตะกอนหมัก 0, 2 และ 4 ตันต่อไร่ ในการปลูกผักคะน้าและมะเขือเทศ และในอัตรากากตะกอนหมัก 0, 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่ ในดาวเรือง ซึ่งปริมาณของ ทองแดง เหล็ก สังกาสี และแมงกานีส นับว่าเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิต และการมีมากหรือมีน้อยเกินไปล้วนแต่สร้างปัญหาให้กับความสามารถในการเจริญเติบโตของพืชได้ทั้งสิ้น ดังผลการวิเคราะห์ทางเคมี แสดงในตาราง 12, 13 และ 14 สามารถแยกอธิบายได้ดังนี้

1. แคลเซียม

แคลเซียมที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืชทดลองที่ปลูกในดินผสมกากตะกอนหมักในแต่ละอัตรา พบว่าการสะสมแคลเซียมของพืชทดลองมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมัก การใส่กากตะกอนหมักในอัตรา 4 ตันต่อไร่ ทำให้มีการสะสมแคลเซียมในผักคะน้าและมะเขือเทศมากที่สุด รองลงมา คืออัตรากากตะกอนหมักที่ 2 ตันต่อไร่ และไม่ใส่กากตะกอนหมัก ส่วนการสะสมปริมาณแคลเซียมในดอกดาวเรืองจะสะสมตามปริมาณการใส่กากตะกอนหมักเช่นกัน คืออัตราการใส่กากตะกอนหมักที่ 6 ตันต่อไร่ มีการสะสมแคลเซียมมากที่สุด รองลงมา คือการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 4 และ 2 ตันต่อไร่ และ ไม่ใส่กากตะกอนหมัก ตามลำดับ โดยการสะสมแคลเซียมในส่วนต่าง ๆ ของพืชทดลองทั้งสามชนิด สามารถแยกอธิบายได้ดังนี้

การสะสมแคลเซียมในส่วนของผล ใบ ลำต้น และรากของมะเขือเทศ พบว่ามะเขือเทศเป็นพืชที่มีการสะสมแคลเซียมมากที่สุด ระหว่าง 1.97 – 6.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 4 ตันต่อไร่ มีผลให้ส่วนใบมีการสะสมแคลเซียม 6.11 เปอร์เซ็นต์ เป็นปริมาณมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ราก เท่ากับ 4.53 เปอร์เซ็นต์ ผล เท่ากับ 4.36 เปอร์เซ็นต์ และลำต้น เท่ากับ 4.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 13) ซึ่งการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2 และ 4 ตันต่อไร่ ไม่ทำให้ส่วนของใบและลำต้นมีการสะสมแคลเซียมในปริมาณที่แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) แต่การใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ และ 4 ตันต่อไร่ ทำให้การสะสมแคลเซียมในส่วนของผล ใบ และลำต้นของมะเขือเทศ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับการไม่ใส่กากตะกอนหมัก ส่วนการสะสมแคลเซียมในส่วนรากไม่มีความต่างกันทางสถิติ ระหว่างการใส่กากตะกอนหมักและไม่ใส่กากตะกอนหมัก

ผักคะน้ามีการสะสมแคลเซียมในส่วนต่าง ๆ อยู่ระหว่าง 2.08 – 3.97 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 12) โดยพบมากที่สุดที่ราก 3.97 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา ก้านใบ เท่ากับ 3.78 เปอร์เซ็นต์ ใบ 3.42 เปอร์เซ็นต์ และลำต้น 2.24 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ปริมาณของการสะสมแคลเซียมในส่วนของก้านใบ ลำต้น และรากของผักคะน้า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ระหว่างการใส่กากตะกอนหมักกับการไม่ใส่กากตะกอนหมัก ยกเว้นการสะสมแคลเซียมในส่วนใบของผักคะน้าที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ระหว่างการใส่กากตะกอนหมักและไม่ใส่กากตะกอนหมัก

ดาวเรืองมีการสะสมแคลเซียมไว้ส่วนดอก ระหว่าง 1.39 – 2.03 เปอร์เซ็นต์ โดยการสะสมจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมัก (ตาราง 14) ดังนี้ การใส่กากตะกอนหมักอัตรา 6 ตันต่อไร่ มีการสะสมแคลเซียม เท่ากับ 2.03 เปอร์เซ็นต์ รองมา อัตราที่ 4 ตันต่อไร่ 2 ตันต่อไร่ และไม่ใส่กากตะกอนหมัก มีการสะสมแคลเซียม เท่ากับ 1.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 4 ตันต่อไร่ และ 6 ตันต่อไร่ มีปริมาณในการสะสมที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับแปลงที่ไม่มีการใส่กากตะกอนหมัก

2. แมกนีเซียม

การสะสมแมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้า มะเขือเทศ และดาวเรือง มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมัก ผักคะน้าและมะเขือเทศมีการสะสมแมกนีเซียม ในอัตราการใส่กากตะกอนหมักที่ 4 ตันต่อไร่ มากที่สุด รองลงมา คือ อัตราการใส่กากตะกอนหมักที่ 2 ตันต่อไร่ และไม่ใส่กากตะกอนหมัก ตามลำดับ ส่วนดาวเรืองมีการสะสมแมกนีเซียมตามปริมาณการใส่กากตะกอนหมักเช่นกัน คือ อัตราการใส่กากตะกอนหมักที่ 6 ตันต่อไร่ มีมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ อัตราการใส่กากตะกอนหมักที่ 4 และ 2 ตันต่อไร่ และ ไม่ใส่กากตะกอนหมัก ตามลำดับ

การสะสมแมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของมะเขือเทศ พบว่ามีการสะสมแมกนีเซียมอยู่ระหว่าง 1.12 – 2.40 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 13) การใส่กากตะกอนหมักอัตรา 4 ตันต่อไร่ ทำให้ส่วนรากมีการสะสมแมกนีเซียมมากที่สุด เท่ากับ 2.40 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ใบ 1.58 เปอร์เซ็นต์ ลำต้น 1.27 เปอร์เซ็นต์ และผล 1.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนั้นการใส่กากตะกอนหมักที่เพิ่มขึ้นจาก 2 ตันต่อไร่ เป็น 4 ตันต่อไร่ ไม่ทำให้สะสมแมกนีเซียมในส่วนของผล ลำต้น และราก มีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นส่วนใบที่มีความแตกต่างกันตามอัตราการใส่กากตะกอนหมัก ส่วนการสะสมแมกนีเซียมส่วนรากของมะเขือเทศมีลักษณะเหมือนกับการสะสม

แคลเซียมที่ราก คือการใส่กากตะกอนหมักทั้งสองอัตราไม่ทำให้ปริมาณของแมกนีเซียมมีความแตกต่างกันทางสถิติกับไม่ใส่กากตะกอนหมัก

ผักคะน้ามีสะสมแมกนีเซียมอยู่ระหว่าง 1.12 – 2.26 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 12) ผักคะน้าจะสะสมแมกนีเซียมมากที่สุดไว้ที่ราก เท่ากับ 2.26 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ใบ 1.35 เปอร์เซ็นต์ ก้านใบ 1.32 เปอร์เซ็นต์ และ ลำต้น 1.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งการใส่กากตะกอนหมักในอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 2 ตันต่อไร่ เป็น 4 ตันต่อไร่ ไม่ทำให้การสะสมแมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของ ผักคะน้ามีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของการสะสมแมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้า ที่ปลูกจากดินผสมกากตะกอนหมักจะมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) กับผักคะน้าที่ปลูกในดินที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก

ดาวเรืองมีการสะสมแมกนีเซียมไว้ส่วนดอกอยู่ระหว่าง 0.12 – 0.15 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 14) โดยการสะสมแมกนีเซียมของดอกดาวเรืองจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมัก และการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 4 ตันต่อไร่ และ 6 ตันต่อไร่ ทำให้การสะสมแมกนีเซียมในส่วนดอกดาวเรืองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) กับการสะสมแมกนีเซียมในส่วนดอกดาวเรืองที่ปลูกในแปลงที่ไม่มีการใส่กากตะกอนหมัก

3. เหล็ก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของเหล็กที่พบในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้า และมะเขือเทศ มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมักที่ 2 ตันต่อไร่ และ 4 ตันต่อไร่ ส่วนการสะสมเหล็กในดอกดาวเรือง มีปริมาณของการสะสมตามปริมาณการใส่กากตะกอนหมักเช่นกัน คืออัตราการใส่กากตะกอนหมักที่ 6 ตันต่อไร่ มีการสะสมเหล็กมากที่สุด รองลงมา คือการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 4 และ 2 ตันต่อไร่ และ ไม่ใส่กากตะกอนหมัก ตามลำดับ โดยการสะสมเหล็กในส่วนต่าง ๆ ของพืชทดลองทั้งสามชนิด สามารถแยกอธิบายได้ดังนี้

เหล็กที่พบในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้า อยู่ระหว่าง 48.8 – 147 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 12) พบว่าการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 0, 2 และ 4 ตันต่อไร่ มีผลทำให้รากมีการสะสมเหล็กมากที่สุด ระหว่าง 359 – 428 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และการใส่กากตะกอนหมักในอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 2 ตันต่อไร่ เป็น 4 ตันต่อไร่ ทำให้ใบ และก้านใบมีการสะสมเหล็กในปริมาณที่แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) กับอัตราที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก เห็นได้ว่าการใส่กากตะกอนหมักในอัตรา 4 ตันต่อไร่ ส่งผลให้ผักคะน้ามีการสะสมเหล็กในส่วนที่ใช้บริโภค มีปริมาณที่มากกว่าในส่วนดังกล่าวของผักคะน้าที่ปลูกแปลงที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก

แต่การสะสมเหล็กของผักคะน้าที่พบยังอยู่ในระดับธาตุอาหารที่พบในพืชทั่ว ๆ ไป (Chaney. 1982)

มะเขือเทศเป็นพืชที่มีการสะสมเหล็กในส่วนต่าง ๆ ระหว่าง 100 – 3,074 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีปริมาณของการสะสมในส่วนต่าง ๆ สูงกว่าผักคะน้า (ตาราง 13) พบว่า รากมีการสะสมเหล็กมากที่สุด ระหว่าง 1,130 – 3,074 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือลำต้นระหว่าง 306 – 793 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใบระหว่าง 288 – 552 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และผลระหว่าง 100 – 124 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การใส่กากตะกอนหมักในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจาก 2 ตันต่อไร่ เป็น 4 ตันต่อไร่ ไม่ทำให้การสะสมเหล็กที่ผลมะเขือเทศมีความแตกต่างกันทางสถิติ กับการไม่ใส่กากตะกอนหมัก แต่ในขณะที่การใส่กากตะกอนหมักที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ ราก ลำต้น และใบ มีการสะสมเหล็กเพิ่มขึ้นและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่กากตะกอนหมัก โดยที่การใส่กากตะกอนหมัก 4 ตันต่อไร่ มีการสะสมเหล็กในส่วนต่าง ๆ ของมะเขือเทศมากที่สุด แต่ก็ไม่น่าจะเป็นความกังวลใจเกี่ยวกับความเป็นพิษเพราะเหล็กจัดว่าเป็นจุลธาตุอาหารของพืช และปริมาณของเหล็กที่สะสมในส่วนที่ใช้บริโภค (ผล) มีความเข้มข้นที่ไม่แตกต่างจากแปลงที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก นอกจากนั้นเป็นระดับที่สามารถพบได้ในพืชทั่ว ๆ ไป (30 – 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ปริมาณของเหล็กที่พบในส่วนของดอกดาวเรือง ระหว่าง 92.8 – 143 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 14) พบว่ามีการสะสมเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมัก โดยอัตราการใส่กากตะกอนหมักที่ 6 ตันต่อไร่ มีการสะสมเหล็กมากที่สุด 143 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาอัตรากากตะกอนหมักที่ 4 ตันต่อไร่ พบเหล็กในส่วนดอกดาวเรือง เท่ากับ 102 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และอัตรากากตะกอนหมัก 2 ตันต่อไร่ และไม่ใส่กากตะกอนหมัก มีการสะสมเหล็ก เท่ากับ 108 และ 92.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การสะสมเหล็กในส่วนดอกดาวเรือง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ตามอัตราการใส่กากตะกอนหมักที่ 0, 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่

4. สังกาสี

การใส่กากตะกอนหมักในอัตราที่เพิ่มจาก 0, 2 และ 4 ตันต่อไร่ ทำให้ผักคะน้าและมะเขือเทศมีการสะสมสังกาสีในส่วนต่าง ๆ เพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมัก ส่วนดาวเรืองมีการสะสมสังกาสีในปริมาณที่แตกต่างกัน ตามอัตราการใส่กากตะกอนหมัก 0, 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่ ซึ่งปริมาณของการสะสมสังกาสีที่แตกต่างกันทั้งชนิดของพืชและส่วนต่าง ๆ ของพืชสามารถแยกอธิบายได้ดังนี้

ผักคะน้ามีการสะสมสังกาสี ระหว่าง 5.55 – 24.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 12) จากการทดลอง พบว่าอิทธิพลของอัตราการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2 และ 4 ตันต่อไร่ มีผลทำให้การสะสมสังกาสีในส่วนของใบ ก้านใบ ลำต้น และราก ของผักคะน้า มีปริมาณของสังกาสีเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมักแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มีการสะสมสังกาสีที่ก้านใบมากที่สุด เท่ากับ 24.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือส่วนใบ 23.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ราก และลำต้น เท่ากับ 22.3 และ 21.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณของสังกาสีในผักคะน้าที่ปลูกบนดินผสมกากตะกอนหมักมีมากกว่าปริมาณของสังกาสีในผักคะน้าที่ปลูกบนดินที่ไม่มีการใส่กากตะกอนหมัก แสดงว่าปริมาณของสังกาสีที่สะสมในผักคะน้าจะขึ้นอยู่กับปริมาณการใส่กากตะกอนหมัก

มะเขือเทศมีการสะสมสังกาสี ระหว่าง 11.0 – 84.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 13) พบว่าการสะสมสังกาสีมีมากที่สุดในส่วนของราก รองลงมา คือลำต้น ใบ และผล ซึ่งการใส่กากตะกอนหมักอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 2 ตันต่อไร่ เป็น 4 ตันต่อไร่ ทำให้รากมีการสะสมสังกาสีเพิ่มขึ้นจาก 72.5 เป็น 84.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งการสะสมสังกาสีในส่วนรากของมะเขือเทศไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับปริมาณของสังกาสีที่สะสมในรากมะเขือเทศที่ปลูกบนดินที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก ในขณะที่การใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2 และ 4 ตันต่อไร่ ไม่ทำให้การสะสมสังกาสีในส่วนผลมะเขือเทศมีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่การใส่กากตะกอนหมักอัตรา 4 ตันต่อไร่ มีผลต่อปริมาณของสังกาสีที่สะสมในส่วนผล ใบ และลำต้นของมะเขือเทศ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับการสะสมในส่วนดังกล่าวของมะเขือเทศที่ปลูกในดินที่ไม่มีการใส่กากตะกอนหมัก

ดาวเรืองมีการสะสมสังกาสี ระหว่าง 25.9 – 31.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 14) ซึ่งการใส่กากตะกอนหมักในอัตรา 0, 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่ ไม่ทำให้การสะสมสังกาสีในส่วนดอกดาวเรืองมีความแตกต่างกันทางสถิติ และการใส่กากตะกอนหมักที่เพิ่มขึ้นจาก 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่ จะมีการสะสมสังกาสีในส่วนดอกดาวเรืองอยู่ระหว่าง 27.7 – 31.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

5. ทองแดง

พบว่าส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้าและมะเขือเทศมีการสะสมทองแดงเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมักที่ 0, 2 และ 4 ตันต่อไร่ ในขณะที่การใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่ ทำให้ปริมาณของทองแดงในดอกดาวเรืองมีการสะสมในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน จะเห็นได้

ว่าการสะสมทองแดงในส่วนต่าง ๆ ของพืชทดลองทั้งสามชนิดมีการสะสมที่แตกต่างกัน สามารถแยกอธิบายได้ดังนี้

การสะสมทองแดงในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้ามีปริมาณระหว่าง 3.89 – 12.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 12) การใส่กากตะกอนหมักในอัตราที่เพิ่มขึ้น 0, 2 และ 4 ตันต่อไร่ พบว่า ส่วนรากมีการสะสมทองแดงมากที่สุด ระหว่าง 5.93 – 12.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ ลำต้น 4.11 – 10.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ก้านใบ 4.55 – 9.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และใบ 3.89 – 9.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ และ 4 ตันต่อไร่ ทำให้ส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้ามีการสะสมทองแดงในปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการสะสมทองแดงในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้าที่ปลูกในแปลงทดลองที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก ซึ่งปริมาณของการสะสมทองแดงในส่วนที่ใช้บริโภค (ใบ ก้าน และลำต้น) มีเพียง 3.89 – 10. 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถือได้ว่ามีอยู่ในระดับที่พบในพืชทั่ว ๆ ไป (5 – 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ที่เสนอโดย สุมาลี สุทธิประดิษฐ์ (2535)

มะเขือเทศมีการสะสมทองแดงไว้ในส่วนต่าง ๆ อยู่ระหว่าง 7.08 – 23.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 13) พบว่า โดยเฉพาะส่วนรากมีการสะสมทองแดงมากที่สุด ระหว่าง 19.3 - 23.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือลำต้น ระหว่าง 10.1 – 12.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใบ ระหว่าง 8.43 – 10.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และผล ระหว่าง 7.08 – 10.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยส่วนต่าง ๆ ของมะเขือเทศจะสะสมทองแดงมากที่สุด เมื่อใส่กากตะกอนหมักในอัตรา 4 ตันต่อไร่ ตามด้วยการใส่กากตะกอนหมักในอัตรา 2 ตันต่อไร่ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่กากตะกอนหมัก

การสะสมทองแดงของดอกดาวเรืองมีปริมาณเพิ่มขึ้น (ตาราง 14) เพราะอิทธิพลจากการใส่กากตะกอนหมักในอัตราที่เพิ่มจาก 0, 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่ พบว่าการใส่กากตะกอนหมักในอัตรา 6 ตันต่อไร่ มีการสะสมทองแดงมากที่สุด เท่ากับ 12.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามด้วยการใส่กากตะกอนหมัก 4 ตันต่อไร่ มีทองแดงสะสมเท่ากับ 10.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยที่การใส่กากตะกอนหมัก 2 ตันต่อไร่ มีการสะสมทองแดงน้อยที่สุด เท่ากับ 8.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่กากตะกอนหมัก

จึงกล่าวได้ว่าพืชแต่ละชนิดจะสะสมแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ได้ต่างกัน เนื่องจากความต้องการแร่ธาตุและความสามารถในการดูดดึงแร่ธาตุของพืชแต่ละชนิดก็จะสะสมได้แตกต่างชนิดกัน (Elsokkary and Elkiy. 1988)

6. แมงกานีส

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแมงกานีสที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้า มะเขือเทศ และดาวเรือง พบว่าผักคะน้ามีการสะสมแมงกานีส อยู่ระหว่าง 10.2 – 36.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มะเขือเทศ 1.85 – 23.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และส่วนดอกดาวเรืองมีแมงกานีสสะสม 8.47 – 12.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การใส่กากตะกอนหมักในอัตราที่เพิ่มขึ้นมีผลให้พืชทดลองทั้งสามชนิดมีการสะสมแมงกานีสเพิ่มขึ้นในส่วนต่าง ๆ ของพืชทดลอง ดังต่อไปนี้

ผักคะน้ามีการสะสมแมงกานีสมากที่สุดส่วนใบ ระหว่าง 11.5 – 29.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และรองมา คือ ราก 11.5 - 29.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ก้านใบ 10.6 – 27.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และลำต้น 10.2 – 25.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 12) การใส่กากตะกอนหมักในอัตรา 2 ตันต่อไร่ และ 4 ตันต่อไร่ มีผลต่อปริมาณของแมงกานีสที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้าและมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก

ในทำนองเดียวกันปริมาณของแมงกานีสในส่วนต่าง ๆ ของมะเขือเทศ มีการสะสมมากที่สุดที่ใบ ระหว่าง 16.9 – 23.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือลำต้น 6.08 – 8.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ราก 13.3 – 16.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และผลของมะเขือเทศ 1.85 – 6.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การสะสมแมงกานีสส่วนผลมะเขือเทศ ใบ และราก มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2 และ 4 ตันต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P <0.05$) เมื่อเทียบกับการไม่ใส่กากตะกอนหมัก ยกเว้นการสะสมแมงกานีสในส่วนลำต้นที่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ของการใส่กากตะกอนหมักกับไม่การใส่กากตะกอนหมัก (ตาราง 13)

ส่วนของดอกดาวเรือง พบว่าการใส่กากตะกอนหมักในแต่ละอัตรา มีผลทำให้ดอกดาวเรือง มีการสะสมแมงกานีสในปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P <0.05$) โดยที่การใส่กากตะกอนหมักอัตรา 6 ตันต่อไร่ มีการสะสมแมงกานีสในปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 12.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ในขณะที่การใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ ไม่ทำให้การสะสมมีความแตกต่างกันทางสถิติ กับการไม่ใส่กากตะกอนหมัก (ตาราง 14)

การสะสมของโลหะบางชนิดในส่วนต่าง ๆ ของพืชทดลอง

1. ตะกั่ว

ผลการศึกษาการสะสมตะกั่วในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้า (ตาราง 12) พบว่า การสะสมตะกั่วในส่วนใบ ก้านใบ ลำต้น และราก ของผักคะน้ามีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ สรุปได้ว่าการใส่กากตะกอนหมักลงดินในอัตรา 2 ตันต่อไร่ และ 4 ตันต่อไร่ ไม่มีผลทำให้ผักคะน้ามีการสะสมตะกั่ว

การสะสมตะกั่วในส่วนต่าง ๆ ของมะเขือเทศอยู่ระหว่าง 2.58 – 5.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า การใส่กากตะกอนหมักอัตรา 4 ตันต่อไร่ มีผลทำให้ส่วนรากของมะเขือเทศมีการสะสมตะกั่วมากที่สุด คือ 5.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) กับการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ และการไม่ใส่กากตะกอนหมัก แต่การใส่กากตะกอนหมักจาก 2 ตันต่อไร่ เป็น 4 ตันต่อไร่ ไม่ทำให้การสะสมตะกั่วในส่วนของลำต้น ใบ และผล ที่พบระหว่าง 2.83 – 4.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการสะสมตะกั่วทั้งสามส่วนดังกล่าวที่ได้จากการปลูกในแปลงทดลองที่ไม่ใส่กากตะกอนหมักซึ่งมีการสะสมตะกั่ว ระหว่าง 2.58 – 3.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 13)

ส่วนดาวเรืองมีการสะสมตะกั่วในส่วนของดอก ระหว่าง 0.94 – 2.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า เมื่อมีการใส่กากตะกอนหมักในอัตรา 4 และ 6 ตันต่อไร่ ทำให้ส่วนดอกของดาวเรืองมีการสะสมตะกั่วเพิ่มขึ้นจาก 1.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 2.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 14) และปริมาณของตะกั่วที่สะสมในส่วนดอกดาวเรืองมีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก ส่วนการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ ไม่มีผลทำให้ปริมาณของตะกั่วที่สะสมในส่วนดอกดาวเรืองมีความแตกต่างกันทางสถิติกับปริมาณของตะกั่วที่สะสมในส่วนดอกดาวเรืองที่ปลูกในแปลงที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก

2. แคดเมียม

แคดเมียมที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้า อยู่ระหว่าง 0.53 – 1.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 12) พบว่าการสะสมแคดเมียมมีมากที่สุดในส่วนของราก ระหว่าง 0.71 – 1.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองมา ได้แก่ใบ ระหว่าง 0.53 – 1.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ก้านใบ ระหว่าง 0.50 – 0.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และลำต้น ระหว่าง 0.67 – 0.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การใส่กากตะกอนหมักที่เพิ่มขึ้นจาก 2 ตันต่อไร่ เป็น 4 ตันต่อไร่ ทำให้มีการสะสมแคดเมียมเพิ่มขึ้นในส่วนของใบ ก้านใบ ลำต้น และราก แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และ

นอกจากนั้นการใส่กากตะกอนหมักเพิ่มขึ้นจาก 2 ตันต่อไร่ เป็น 4 ตันต่อไร่ ไม่ทำให้การสะสมแคดเมียมในส่วนก้านใบและลำต้นของผักคะน้ามีความแตกต่างกันทางสถิติ กับการสะสมแคดเมียมในส่วนดังกล่าวของผักคะน้าที่ปลูกในดินที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก

มะเขือเทศมีการสะสมแคดเมียมในส่วนต่าง ๆ อยู่ระหว่าง 1.08 – 3.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 13) พบว่า ส่วนรากของมะเขือเทศมีการสะสมแคดเมียมมากที่สุด ระหว่าง 1.44 – 3.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองมา คือลำต้นระหว่าง 1.73 – 2.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใบระหว่าง 1.55 – 2.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และผลมะเขือเทศระหว่าง 1.08 – 1.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งอัตราการใส่กากตะกอนหมักที่ 2 และ 4 ตันต่อไร่ ส่งผลให้ส่วนของรากและลำต้นมีการสะสมแคดเมียมเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่การใส่กากตะกอนหมัก ที่เพิ่มขึ้นทำให้การสะสมแคดเมียมในส่วนใบและผลมะเขือเทศ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) จะเห็นได้ว่าการใส่กากตะกอนหมักทั้งสองอัตราทำให้การสะสมแคดเมียมในส่วนต่าง ๆ ของมะเขือเทศเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก และการสะสมแคดเมียมในส่วนของใบ ลำต้น และรากของมะเขือเทศ มีปริมาณของแคดเมียมที่สูงกว่าในพืชทั่ว ๆ ไป แต่ในผลมะเขือเทศมีแคดเมียมสะสมอยู่ระหว่าง 0.64 – 1.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่ก่อเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Chnningham *et al.*, 1975) ดังนั้นผลมะเขือเทศสามารถนำมารับประทานได้

สำหรับการสะสมแคดเมียมของดอกดาวเรืองมีแคดเมียมเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมกากตะกอนหมักที่เพิ่มขึ้นจาก 0, 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่ โดยสะสมอยู่ระหว่าง 0.39 – 1.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากดอกดาวเรืองมีการสะสมแคดเมียมเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมัก จึงกล่าวได้ว่าดาวเรืองซึ่งเป็นพืชไม้ดอกชนิดหนึ่งที่สามารถสะสมแคดเมียมได้ (ตาราง 14)

ตาราง 12 อิทธิพลของอัตราการใส่กากตะกอนหมัก ที่มีต่อความเข้มข้น เฉลี่ย (9 ซ้ำ) ของแร่ธาตุและโลหะหนักที่พบในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้า

อัตรากากตะกอนหมัก (ตันต่อไร่)	ความเข้มข้นที่พบในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้า							
	Ca (%)	Mg (%)	Fe	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd
			← (mg/kg) →					
				ใบ				
0	2.95b*	1.20b	59.5b	13.3b	3.89c	14.4b	trace	0.53b
2	3.03a	1.35a	117a	21.3a	6.14b	31.2a	trace	1.00a
4	3.42a	1.33a	147a	23.4a	9.67a	36.7a	trace	1.06a
% C.V.	5.32	8.61	16.3	10.4	8.85	11.3	-	16.4
				ก้านใบ				
0	3.03a	1.12b	48.8c	5.55b	4.55b	10.6c	trace	0.50a
2	3.42a	1.27a	76.6b	19.7a	7.90ab	19.7b	trace	0.58a
4	3.78a	1.32a	110a	24.9a	9.96a	27.2a	trace	0.71a
% C.V.	20.3	24.5	16.4	13.3	22.9	14.3	-	25.1
				ลำต้น				
0	2.08a	1.12b	76.9b	11.1b	4.11c	10.2c	trace	0.67a
2	2.13a	1.25a	85.4b	17.4a	6.83b	20.4b	trace	0.79a
4	2.24a	1.27a	106a	21.0a	10.2a	25.9a	trace	0.83a
% C.V.	18.6	21.4	9.96	17.7	7.39	7.86	-	21.3
				ราก				
0	3.83a	2.12b	359a	10.3b	5.93c	11.5c	trace	0.71b
2	3.94a	2.18ab	428a	19.4a	9.10b	23.5b	trace	1.22a
4	3.97a	2.26a	387a	22.3a	12.2a	29.3a	trace	1.34a
% C.V.	25.8	3.31	22.0	15.0	4.75	8.76	-	13.8

* ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่พิมพ์ด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) โดยวิธี DMRT

ตาราง 13 อิทธิพลของอัตราการใส่กากตะกอนหมัก ที่มีต่อความเข้มข้น เฉลี่ย (9 ซ้ำ) ของแร่ธาต
และโลหะหนักที่พบในส่วนต่าง ๆ ของมะเขือเทศ

อัตรากากตะกอนหมัก (ตันต่อไร่)	ความเข้มข้นที่พบในส่วนต่าง ๆ ของมะเขือเทศ							
	Ca (%)	Mg (%)	Fe	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd
			← (mg/kg) →					
				ผล				
0	2.74b*	1.12b	100a	14.1b	7.08c	1.61b	2.58b	1.08b
2	3.77b	1.16a	117a	19.7a	9.48a	2.79b	2.83ab	1.48a
4	4.36a	1.18a	124a	21.8a	10.8a	5.44a	3.78a	1.70a
% C.V.	12.1	20.8	24.2	23.6	20.9	18.8	24.1	12.6
				ใบ				
0	3.97b	1.32b	288b	11.0b	8.43b	16.9b	3.35a	1.55b
2	5.97a	1.40b	515a	12.6b	9.28ab	22.5ab	3.73a	1.59b
4	6.11a	1.58a	552a	20.7a	10.7a	23.9a	4.20a	2.06a
% C.V.	16.1	13.3	20.9	28.3	17.3	27.4	24.0	11.9
				ลำต้น				
0	1.97b	1.16b	306c	41.2b	10.1b	6.08b	4.10a	1.73b
2	3.59a	1.23a	637b	45.4b	11.4ab	7.45ab	4.30a	2.00a
4	4.19a	1.27a	793a	56.7a	12.2a	8.85a	4.57a	2.20a
% C.V.	23.2	24.9	14.8	23.5	12.7	19.9	24.4	11.2
				ราก				
0	2.73a	2.28a	1130b	61.3a	19.3b	13.3a	3.95b	1.44b
2	3.72a	2.32a	1276b	72.5a	19.4b	14.3a	4.23b	2.53a
4	4.53a	2.40a	3074a	84.9a	23.8a	16.2a	5.66a	3.04a
% C.V.	15.7	13.8	16.2	12.8	20.7	19.1	22.6	19.9

* ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่พิมพ์ด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) โดยวิธี DMRT

ตาราง 14 อิทธิพลของอัตราการใส่กากตะกอนหมัก ที่มีต่อความเข้มข้น เฉลี่ย (9 ซ้ำ) ของแร่ธาต
และโลหะหนักที่พบในส่วนของดอกดาวเรือง

อัตรากากตะกอนหมัก (ตันต่อไร่)	ความเข้มข้นที่พบในส่วนดอกของดาวเรือง							
	Ca (%)	Mg (%)	Fe	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd
			← (mg/kg) →					
0	1.39c*	0.12c	92.8c	25.9b	4.37c	8.47c	0.94c	0.39d
2	1.51bc	0.12cb	108cb	27.7ab	8.23b	9.24cb	1.47bc	0.79c
4	1.66b	0.14ab	102ab	31.0a	10.5ab	11.5ab	1.89b	1.04b
6	2.03a	0.15a	143a	29.8a	12.1a	12.8a	2.42a	1.34a
% C.V.	14.2	20.3	27.7	13.9	33.1	31.1	25.1	24.6

* ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่พิมพ์ด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) โดยวิธี DMRT

สมบัติของดินในแปลงทดลองก่อนใส่กากตะกอนหมัก

1. เนื้อดิน (Soil Texture)

ผลการศึกษาเนื้อดินบริเวณแปลงทดลองพบว่า มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว โดยมีองค์ประกอบของเนื้อดินที่เป็นอนุภาคดินเหนียว 64.4 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคทรายแป้ง 24.9 เปอร์เซ็นต์ และอนุภาคทราย 10.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อประเมินค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินที่ใช้ทดลองกับเกณฑ์ของ ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. (2539 : 47) พบว่าดินที่ใช้ทดลองมีระดับค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในช่วงปานกลาง คือ 10 – 15 cmol(+)/kg และอยู่ระหว่างค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินเหนียวทั่วไป (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2530)

2. สมบัติทางเคมี

ผลการศึกษาดินก่อนใส่กากตะกอนหมัก (ตาราง 15) พบว่า ระดับความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 6.96 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 0.99 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.03 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 23.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 0.47 cmol(+)/kg แคลเซียม เท่ากับ 12.6 cmol(+)/kg และแมกนีเซียม เท่ากับ 2.32 cmol(+)/kg สำหรับค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) เท่ากับ 12.2 cmol(+)/kg

ค่าเฉลี่ยของจุลธาตุที่มีอยู่ในดินของแปลงทดลอง ได้แก่ เหล็ก เท่ากับ 32.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกาสี เท่ากับ 14.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทองแดง เท่ากับ 4.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแมงกานีส เท่ากับ 28.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ในขณะที่โลหะหนักที่เป็นพิษ ได้แก่ ตะกั่ว และแคดเมียม พบว่า ดินของแปลงทดลองก่อนมีการใส่กากตะกอนหมักมีตะกั่ว เท่ากับ 2.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแคดเมียม เท่ากับ 0.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 15)

จะเห็นได้ว่าปริมาณจุลธาตุอาหารพืชทั้ง 4 ชนิด และปริมาณตะกั่ว และแคดเมียม ที่มีอยู่ในดินของแปลงการทดลอง อยู่ในระดับปรกติที่พบได้ในดินทั่ว ๆ ไป เมื่อเทียบกับปริมาณที่ Forstner (1991) ; Allaway (1990) ; Schlipkoter and Brockhaus (1988) ซึ่งได้เสนอค่าปรกติไว้ในตาราง 2 ถือได้ว่าซึ่งดินที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณเหล็ก ทองแดง สังกาสี แมงกานีส ตะกั่ว และแคดเมียม ในปริมาณน้อยมาก หรือกล่าวได้ว่าดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินที่ยังไม่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตจากสิ่งแวดล้อม

ตาราง 15 สมบัติทางเคมี ธาตุอาหาร และโลหะหนักที่เป็นพิษ ของดินในแปลงทดลอง

สมบัติทางเคมี	ดินในแปลงทดลอง
pH (กากตะกอน :น้ำ = 1 :5)	6.96
OC (%)	0.67
OM (%)	0.99
Total N (%)	0.03
CEC (cmol (+) /kg)	12.2
C/N Ratio	22.3 : 1
Available Phosphorus (mg/kg)	23.7
Exchangeable Cations (cmol (+) /kg)	
- K^{+}	0.47
- Ca^{2+}	12.6
- Mg^{2+}	2.32
Extractable Metals (mg/kg)	
- Fe^{2+}	32.5
- Zn^{2+}	14.1
- Cu^{2+}	4.00
- Mn^{2+}	28.8
- Pb^{2+}	2.97
- Cd^{2+}	0.33

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินผสมกากตะกอนหมักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

1. ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

การเติมกากตะกอนหมักลงดิน ทำให้ดินในแปลงทดลองปลูกผักคะน้า มะเขือเทศ และดาวเรือง มีค่าความเป็นกรด – ด่าง เพิ่มขึ้นจากดินก่อนมีการใส่กากตะกอนหมัก (ตาราง 16) โดยการใส่กากตะกอนหมักที่อัตรา 0, 2 และ 4 ตันต่อไร่ ทำให้ดินผสมกากตะกอนหมักของแปลงผักคะน้ามีค่าความเป็นกรด – ด่าง ระหว่าง 7.09 – 7.22 และแปลงมะเขือเทศ ระหว่าง 7.06 – 7.47 เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่การไม่ใส่กากตะกอนหมัก กับการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ ของแปลงดาวเรือง ไม่ทำให้ค่าความเป็นกรด – ด่าง ที่เพิ่มขึ้น ระหว่าง 7.08 – 7.14 มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่กลับพบว่าการใส่กากตะกอนที่เพิ่มขึ้นจาก 2 ตันต่อไร่ เป็น 4 และ 6 ตันต่อไร่ ทำให้ค่าความเป็นกรด – ด่าง ลดลงอยู่ระหว่าง 6.83 – 6.89 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และค่าที่ลดลงยังต่ำกว่าดินก่อนใส่กากตะกอนหมัก อย่างไรก็ตาม ดินผสมกากตะกอนหมักเมื่อสิ้นสุดการทดลองปลูกพืชทั้ง 3 ชนิด ยังมีค่าความเป็นกรด – ด่าง อยู่ระหว่างที่เป็นกลาง อาจเป็นเพราะกากตะกอนหมักที่ใส่ลงดินในการทดลองครั้งนี้มีค่าความเป็นกรด – ด่าง เป็นกลางด้วย และอินทรีย์วัตถุในกากตะกอนหมักสามารถส่งเสริมให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด – ด่างได้ดี (Kuntz *et al.*, 1984 ; Siriratpiriya *et al.*, 1985) การใส่กากตะกอนหมักจึงมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด – ด่างของดิน

2. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

จากตาราง 16 พบว่า การใส่กากตะกอนหมักทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของแปลงทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมัก ซึ่งก่อนใส่กากตะกอนหมักพบว่าดินในแปลงทดลองมีอินทรีย์วัตถุ เท่ากับ 0.99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 0, 2 และ 4 ตันต่อไร่ ทำให้ดินผสมกากตะกอนหมักของแปลงผักคะน้าและมะเขือเทศ มีอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.26 – 1.97 เปอร์เซ็นต์ และ 1.21 – 1.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ตามอัตราการใส่กากตะกอนหมัก ในทำนองเดียวกันการใส่กากตะกอนหมักมีอิทธิพลต่อการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของแปลงทดลองดาวเรืองอย่างเห็นได้ชัดเจน พบว่าดินในแปลงทดลองที่ไม่ใส่กากตะกอนหมักจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงเหลือ 0.10 เปอร์เซ็นต์

ในขณะที่การใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยที่แปลงทดลองที่ใส่กากตะกอนหมักในอัตรา 6 ตันต่อไร่ มีอินทรีย์วัตถุตกค้างถึง 1.54 เปอร์เซ็นต์ ตามด้วยการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 4 และ 2 ตันต่อไร่ มีผลทำให้อินทรีย์วัตถุตกค้าง 1.29 และ 1.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินผสมกากตะกอนหมัก หลังการปลูกพืชทดลองทั้ง 3 ชนิด พบว่าการเพิ่มกากตะกอนหมักจาก 0, 2 และ 4 ตันต่อไร่ ของแปลงผักคะน้า และมะเขือเทศ ทำให้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจาก 12.2 เป็น 13.9 cmol(+)/kg (ตาราง 16) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การใส่กากตะกอนหมักมีผลต่อการทำให้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินผสมกากตะกอนหมักหลังการปลูกดาวเรือง มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้น เท่ากับ 15.1 cmol(+)/kg เมื่อใส่กากตะกอนหมักในอัตรา 6 ตันต่อไร่ และเมื่อเทียบกับการใส่กากตะกอนหมัก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และการใส่กากตะกอนหมัก 2 และ 4 ตันต่อไร่ ก็มีผลทำให้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการไม่ใส่กากตะกอนหมัก

4. ไนโตรเจน

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินในแปลงทดลอง เท่ากับ 0.03 เปอร์เซ็นต์เมื่อมี การใส่กากตะกอนหมักในอัตรา 2 และ 4 ตันต่อไร่ ของแปลงทดลองปลูกผักคะน้าและมะเขือเทศ ทำให้ดินผสมกากตะกอนหมักของแปลงผักมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้น อยู่ระหว่าง 0.032 – 0.056 เปอร์เซ็นต์ และแปลงมะเขือเทศระหว่าง 0.032 – 0.044 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 16) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนของแปลงทดลองที่ไม่ใส่กากตะกอนหมักทั้งสองชนิด และการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่ ของดินผสมกากตะกอนหมักหลังการปลูกดาวเรือง พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในแปลงทดลอง ระหว่าง 0.033 – 0.047 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจน ที่มีอยู่ในดินผสมกากตะกอนภายหลังการเพาะปลูกพืชทั้งสามชนิดมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ตามอัตราการใส่กากตะกอนหมักที่เพิ่มขึ้นและในขณะแปลงทดลองปลูกพืชทั้งสามชนิดที่ไม่การใส่กากตะกอนหมัก ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงจาก 0.030 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 0.011 เปอร์เซ็นต์ ของแปลงผักคะน้า และ 0.021 เปอร์เซ็นต์

ของแปลงมะเขือเทศ และ 0.015 เปอร์เซ็นต์ ของแปลงดาวเรือง แสดงว่าการใส่กากตะกอนหมักลงดินมีผลให้ปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราใส่กากตะกอนหมัก

5. ฟอสฟอรัส

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ของดินผสมกากตะกอนหมักเมื่อสิ้นสุดการทดลองปลูกพืชทดลองทั้งสามชนิดมีปริมาณฟอสฟอรัสในพื้นที่แปลงทดลองอยู่ประมาณ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 16) ซึ่งเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณที่มีอยู่ในดินก่อนทดลอง การใส่กากตะกอนหมักเพิ่มขึ้นจาก 0, 2 และ 4 ตันต่อไร่ มีผลทำให้ดินผสมกากตะกอนหมักหลังปลูกคะน้ามีปริมาณฟอสฟอรัส ระหว่าง 60.2 – 132 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และหลังปลูกมะเขือเทศระหว่าง 66.3 – 112 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และการใส่กากตะกอนหมักในอัตรา 0, 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่ ทำให้ดินผสมกากตะกอนหมักหลังปลูกดาวเรือง มีฟอสฟอรัส 23.8 – 130 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัสที่พบในดินผสมกากตะกอนหมักหลังการปลูกพืชทั้งสามชนิดมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมัก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่เมื่อเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในดินหลังการใส่กากตะกอนหมักที่อัตรา 4 ตันต่อไร่ ของแปลงผักคะน้า และการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 6 ตันต่อไร่ ของแปลงดาวเรือง จะเห็นได้ว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เท่ากัน แสดงว่าดาวเรืองเป็นพืชที่มีความต้องการธาตุฟอสฟอรัสที่สูงกว่าผักคะน้า

6. โพแทสเซียม

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ของดินผสมกากตะกอนหมัก (ตาราง 16) หลังการปลูกผักคะน้า มะเขือเทศ และดาวเรือง โดยหลังการปลูกพืชทดลองทั้งสามชนิด พบว่าโพแทสเซียมในดินผสมกากตะกอนหมักในแปลงทดลองมีปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนี้แปลงผักคะน้ามีโพแทสเซียม ระหว่าง 0.21 – 0.48 cmol(+)/kg แปลงมะเขือเทศ 0.17 – 0.29 cmol(+)/kg และแปลงดาวเรือง 0.18 – 0.37 cmol(+)/kg การใส่กากตะกอนหมักในอัตรา 4 และ 6 ตันต่อไร่ จะมีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อเทียบกับการไม่ใส่กากตะกอนหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ ก็มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นเช่นกันแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับการไม่ใส่กากตะกอนหมักจากการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการใส่กากตะกอนหมักลงดินในอัตราที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในดินเพิ่มขึ้น และการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมมีผลทำให้ระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินเพิ่มมากขึ้นด้วย

7. แคลเซียม

สำหรับปริมาณแคลเซียมในดินผสมกากตะกอนหมัก หลังการปลูกพืชทดลองทั้งสามชนิด มีแคลเซียมอยู่ในดินในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนี้ การใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2 และ 4 ตันต่อไร่ ทำให้ดินผสมกากตะกอนหมักหลังปลูกมะเขือเทศมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น 12.2 – 13.0 cmol(+)/kg (ตาราง 16) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับการไม่ใส่กากตะกอนหมัก ในขณะที่ดินผสมกากตะกอนหมักของแปลงผักคะน้ามีปริมาณแคลเซียม ระหว่าง 6.50 – 8.84 cmol(+)/kg และการใส่กากตะกอนหมักในอัตราเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณแคลเซียมในดินของแปลงทดลองมีปริมาณเพิ่มขึ้นและแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) กับการไม่ใส่กากตะกอนหมัก ในขณะที่ดินผสมกากตะกอนหมักของแปลงดาวเรืองมีแคลเซียมในปริมาณ 10.6 – 12.0 cmol(+)/kg และการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ และ 4 ตันต่อไร่ ไม่ทำให้ปริมาณแคลเซียมที่สะสมมีความแตกต่างกันทางสถิติจากการไม่ใส่กากตะกอนหมัก และดินผสมกากตะกอนหมักของแปลงดาวเรืองมีแคลเซียมในปริมาณที่ใกล้เคียงกับดินหลังการทดลองปลูกมะเขือเทศ

8. แมกนีเซียม

สำหรับปริมาณแมกนีเซียม พบว่าการใส่กากตะกอนหมักในดินของแปลงทดลองในอัตราที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนี้ การใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ และ 4 ตันต่อไร่ ทำให้ดินผสมกากตะกอนหมักหลังปลูกผักคะน้ามีแมกนีเซียมอยู่ระหว่าง 3.59 – 4.68 cmol(+)/kg หลังปลูกมะเขือเทศ 3.25 – 4.40 cmol(+)/kg (ตาราง 16) และการใส่กากตะกอนหมักอัตรา 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่ มีผลทำให้ดินผสมกากตะกอนหมักของแปลงดาวเรือง มีแมกนีเซียม ระหว่าง 3.55 – 6.01 cmol(+)/kg อย่างไรก็ตามการใส่กากตะกอนหมักในแปลงทดลองปลูกพืชทั้งสามชนิดในอัตราที่เพิ่มขึ้น ทำให้ดินของแปลงทดลองหลังการเพาะปลูกมีปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมัก แต่ปริมาณที่เพิ่มขึ้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตาราง 16 สมบัติทางเคมีของดินผสมกากตะกอนหมักภายหลังการปลูกผักคะน้า มะเขือเทศ และดาวเรือง

อัตรากากตะกอนหมัก (ตันต่อไร่)	สมบัติทางเคมีของดิน								
	pH (1 :5)	CEC (cmol (+) /kg)	OC (%)	OM (%)	Total N (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable Cations K^+ (cmol (+) /kg)	Ca^{2+} (cmol (+) /kg)	Mg^{2+} (cmol (+) /kg)
				ดินก่อนการทดลอง					
	6.96	12.2	0.67	0.99	300	23.7	0.47	12.6	2.32
				ดินแปลงผักคะน้า					
0	7.09a	12.2a	0.73c	1.26c	112c	60.2c	0.21b	6.50b	3.59b
2	7.22a	12.9a	0.92b	1.59b	320b	99.5b	0.25b	8.42a	4.59a
4	7.09a	13.9a	1.14a	1.97a	557a	132a	0.48a	8.84a	4.68a
CV(%)	4.86	8	13.9	13.6	18.2	22.3	33.4	17.3	20.2
				ดินแปลงผักมะเขือเทศ					
0	7.47a	12.5a	0.72c	1.21c	205c	66.3c	0.17c	12.2a	3.25a
2	7.39a	12.8a	0.89b	1.48b	318b	85.8b	0.22b	12.9a	3.65a
4	7.06a	13.9a	0.98a	1.88a	442a	112a	0.29a	13.0a	4.40a
CV(%)	4.86	5.79	31.7	31.6	14.4	29.2	12.0	11.8	11.0

ตาราง 16 (ต่อ)

อัตรา กากตะกอนหมัก (ตันต่อไร่)	สมบัติทางเคมีของดิน								
	pH	CEC	OC	OM	Total N	Available P	Exchangeable Cations		
	(1 :5)						K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
		(cmol (+) /kg)	(%)	(%)	(%)	(mg/kg)	←(cmol (+) /kg)→		
				ดินก่อนการทดลอง					
	6.96	12.2	0.67	0.99	300	23.7	0..47	12.6	2.32
				ดินแปลงดาวเรือง					
0	7.08a	12.8b	0.58c	0.10c	146d	23.8d	0.18c	10.6b	3.55c
2	7.14a	14.6ab	0.676b	1.161b	328c	69.1c	0.27bc	10.9b	5.08b
4	6.89b	14.8ab	0.749b	1.288b	393b	95.1b	0.35ab	11.0b	5.39ab
6	6.83b	15.1a	0.901a	1.542a	465a	130a	0.37a	12.0a	6.01a
CV(%)	6.71	8.02	11	10.8	14.1	29.3	33.8	7.55	17.9

* ค่าเฉลี่ยในคอลัมม์เดียวกันที่พิมพ์ด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($P<0.05$) โดยวิธี DMRT

9. ทองแดง

ผลการทดลอง (ตาราง 17) พบว่า ดินผสมกากตะกอนหมักหลังการปลูกพืชทดลองทั้งสามชนิด มีทองแดงตกค้างในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากดินก่อนเติมกากตะกอนหมัก เนื่องจากอัตราการใส่กากตะกอนหมัก และปริมาณทองแดงที่ตกค้างในดินหลังการทดลองปลูกพืชทดลองทั้งสามชนิด ก็มีปริมาณการตกค้างที่ไม่เท่ากัน ดังนี้ ดินผสมกากตะกอนหมักหลังการปลูกผักคะน้ามีทองแดงตกค้าง 4.21 – 15.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่การใส่กากตะกอนหมักในปริมาณที่เท่ากัน (อัตรา 2 และ 4 ตันต่อไร่) กลับพบว่า ดินผสมกากตะกอนหมักของแปลงมะเขือเทศมีทองแดงตกค้างในปริมาณ 4.38 – 6.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และการใส่กากตะกอนหมักในอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่ ในแปลงดาวเรืองทำให้ปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นจาก 5.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 6.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และการใส่กากตะกอนหมักในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้การสะสมทองแดงมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และปริมาณทองแดงที่ตกค้างในดินผสมกากตะกอนหมักหลังการปลูกพืชทดลองทั้งสามชนิด เป็นปริมาณที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร (Webber *et al.*, 1984) ดังตาราง 19 ภาคผนวก ข

10. เหล็ก

ปริมาณเหล็กที่ตกค้างในดินผสมกากตะกอนหมัก (ตาราง 17) ปรากฏว่าอัตราการใส่กากตะกอนหมักในพืชทดลองทั้งสามชนิด มีการตกค้างของเหล็กในดินผสมกากตะกอนหมักอยู่ระหว่าง 29.7 – 83.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีปริมาณการตกค้างในดินผสมกากตะกอนหมักที่แตกต่างกันตามปริมาณการใส่กากตะกอนหมักและชนิดของพืชทดลอง ดังนี้ แปลงดาวเรือง มีปริมาณเหล็กตกค้างมากที่สุด ระหว่าง 40.4 – 83.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาแปลงมะเขือเทศ ระหว่าง 42.6 – 65.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแปลงผักคะน้าระหว่าง 29.7 – 50.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สรุปได้ว่าเหล็กมีแนวโน้มที่จะตกค้างในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณเหล็กที่ตกค้างในดินจากการใส่กากตะกอนหมัก เป็นปริมาณที่พบได้ดินทั่ว ๆ ไป (ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2536)

11. สังกาสี

ปริมาณสังกาสีที่ตกค้างในดินผสมกากตะกอนหมักหลังการปลูกพืชทดลองทั้ง สามชนิด อยู่ระหว่าง 1.21 – 15.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 17) พบว่า ปริมาณสังกาสีที่ตกค้างใน

ดินทดลองมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในขณะที่ปริมาณสังกาสีที่ตกค้างในดินผสมกากตะกอนหมักของแปลงมะเขือเทศ และแปลงดาวเรือง กับมีปริมาณสังกาสีที่ตกค้างมีแนวโน้มลดปริมาณลงจากปริมาณที่มีอยู่ในดินก่อนเติมกากตะกอนหมัก ในทำนองเดียวกันปริมาณสังกาสีที่ตกค้างในแปลงที่ไม่ใส่กากตะกอนหมักหลังการปลูกพืชทดลองทั้งสามชนิดก็มีปริมาณลดลงจากปริมาณเดิมที่มีอยู่เช่นกัน ยกเว้นการใส่กากตะกอนหมักที่อัตรา 4 ตันต่อไร่ ของแปลงผักคะน้าที่มีปริมาณสังกาสีเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสังกาสีที่ตกค้างจากการทดลองใส่กากตะกอนหมักเพื่อเป็นวัสดุบำรุงดินครั้งนี้ยังคงเป็นปริมาณที่พบได้ในดินทั่ว ๆ ไป ระหว่าง 10 – 620 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Brady. 1990)

12. แมงกานีส

จากผลการวิเคราะห์ (ตาราง 17) พบว่า การใส่กากตะกอนหมักในอัตราที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณแมงกานีสที่ตกค้างในดินผสมกากตะกอนหมักหลังปลูกพืชทดลองทั้งสามชนิดมีปริมาณสูงกว่าในดินก่อนใส่กากตะกอนหมัก และการใส่กากตะกอนหมักในอัตรา 4 ตันต่อไร่ และ 6 ตันต่อไร่ ทำให้ปริมาณแมงกานีสตกค้างในแปลงทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) เมื่อเทียบกับดินหลังปลูกแปลงที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก และการใส่กากตะกอนหมักเพิ่มขึ้นจาก 2 ตันต่อไร่ เป็น 4 ตันต่อไร่ ทำให้ปริมาณแมงกานีสในดินผสมกากตะกอนหมักหลังปลูกผักคะน้าและมะเขือเทศ มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนี้ 38.2 – 40.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 46.6 – 51.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสที่ตกค้างในดินหลังมีการใส่กากตะกอนหมัก จะเห็นได้ว่ายังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยมาก เพราะอยู่ในระดับที่พบได้ในดินทั่ว ๆ ไป และเป็นปริมาณที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร (Brady. 1990)

ปริมาณตะกั่ว และแคดเมียมในดินผสมกากตะกอนหมักหลังสิ้นสุดการทดลอง

1. ตะกั่ว

ปริมาณตะกั่วในดินผสมกากตะกอนหมักหลังการปลูกพืชทดลองทั้งสามชนิด (ตาราง 17) พบว่าการใส่กากตะกอนหมักมีอิทธิพลต่อการเพิ่มปริมาณการตกค้างตะกั่วในดินแปลงทดลอง ซึ่งปริมาณตะกั่วที่พบในดินก่อนการใส่กากตะกอนหมัก เท่ากับ 2.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าดินผสมกากตะกอนหมักของแปลงผักคะน้า มีตะกั่วตกค้าง

เพิ่มขึ้นตามอัตรากากตะกอนหมัก ดังนี้ กากตะกอนหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ มีตะกั่วตกค้าง 10.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และกากตะกอนหมักอัตรา 4 ตันต่อไร่ มีตะกั่วตกค้าง 13.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ดินในแปลงทดลองที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก มีตะกั่วตกค้าง 6.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ตะกั่วที่ตกค้างมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในขณะที่ดินผสมกากตะกอนหมักหลังการปลูกมะเขือเทศ พบว่าการใส่กากตะกอนหมักในอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 0, 2 และ 4 ตันต่อไร่ มีตะกั่วตกค้างระหว่าง 6.53 – 8.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในทำนองเดียวกันการใส่กากตะกอนหมักในอัตราที่เพิ่มขึ้นจาก 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่ ไม่ทำให้ตะกั่วที่ตกค้างเพิ่มขึ้นจาก 10.2 – 11.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อเทียบกับดินแปลงทดสอบที่ไม่ใส่กากตะกอนหมัก พบว่าปริมาณตะกั่วที่ตกค้างมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) สรุปได้ว่าการนำกากตะกอนหมักอัตรา 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่ ใส่ลงดินเพื่อเป็นวัสดุบำรุงดินและแหล่งธาตุอาหารพืชนั้น สามารถเพิ่มผลผลิตพืชทดลองทั้งสามชนิดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังผลการทดลองที่ 2 (หน้า 59) ในขณะเดียวกันก็เป็นการเพิ่มตะกั่วในดินแต่เป็นปริมาณที่สามารถพบได้ในดินทั่ว ๆ ไป และเป็นปริมาณที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร (ภาคผนวก ข) เช่นเดียวกับโลหะหนักอื่น ๆ ที่เสนอไว้ข้างต้น

2. แคดเมียม

ปริมาณแคดเมียมในดินผสมกากตะกอนหมักหลังการปลูกผักคะน้า มะเขือเทศ และดาวเรือง มีแคดเมียมตกค้างอยู่ระหว่าง 1.42 – 2.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นผลจากการนำกากตะกอนหมักอัตรา 2, 4 และ 6 ตันต่อไร่ ใส่ลงดินโดยดินผสมกากตะกอนหมักของแปลงผักคะน้า มีการตกค้างมากที่สุด ระหว่าง 1.76 – 2.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาแปลงมะเขือเทศ ระหว่าง 1.54 – 2.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแปลงดาวเรือง ระหว่าง 1.42 – 1.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตาราง 17) แคดเมียมที่ตกค้างในดินผสมกากตะกอนหมักหลังปลูกพืชทั้งสามชนิดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ กับแคดเมียมที่ตกค้างในดินของแปลงทดลองที่ไม่มีการใส่กากตะกอนหมัก และปริมาณแคดเมียมที่ตกค้างยังอยู่ในปริมาณที่พบได้ในดิน คือ 0.10 – 7.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่ Brady (1990) เสนอไว้

ตาราง 17 ปริมาณโลหะหนัก เฉลี่ย (9 ซ้ำ) ในดินผสมกากตะกอนหมักภายหลังการปลูกผักคะน้า มะเขือเทศ และดาวเรือง ในพื้นที่แปลงทดลอง

อัตรากากตะกอนหมัก (ตันต่อไร่)	ปริมาณโลหะหนัก					
	Cu^{2+}	Fe^{2+}	Zn^{2+}	Mn^{2+}	Pb^{2+}	Cd^{2+}
	← (mg/kg) →					
	ดินก่อนการทดลอง					
	4.00	32.5	14.1	28.8	2.97	0.33
	ดินแปลงผักคะน้า					
0	4.21c*	29.7b	1.21c	33.6b	6.14c	1.76a
2	11.1b	34.6ab	9.44b	38.2ab	10.8b	2.19a
4	15.5a	41.9a	15.2a	40.7a	13.1a	2.31a
% C.V.	28.0	23.2	35.3	14.9	22.9	27.8
	ดินแปลงผักมะเขือเทศ					
0	4.38b	42.6b	2.16c	44.1b	6.53a	1.54a
2	4.80b	42.7b	6.63b	46.6b	6.88a	1.98a
4	6.49a	65.0a	11.2a	51.6a	8.23a	2.08a
% C.V.	11.5	21.2	12.3	6.56	24.4	30.6

ตาราง 17 (ต่อ)

อัตรากากตะกอนหมัก (ตันต่อไร่)	ปริมาณโลหะหนัก					
	Cu^{2+}	Fe^{2+}	Zn^{2+}	Mn^{2+}	Pb^{2+}	Cd^{2+}
	← (mg/kg) →					
	ดินก่อนการทดลอง					
	4.00	32.5	14.1	28.8	2.97	0.33
	ดินแปลงดาวเรือง					
0	4.88c*	40.4c	1.71d	72.1b	8.38b	1.42a
2	5.87b	58.0b	6.27c	79.6a	10.2a	1.50a
4	6.60a	72.3a	11.2b	84.8a	10.3a	1.62a
6	6.79a	83.5a	14.1a	85.8a	11.0a	1.70a
% C.V.	11.2	22.7	16.8	8.83	13.2	57.4

* ค่าเฉลี่ยในคอลัมม์เดียวกันที่พิมพ์ด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($P<0.05$) โดยวิธี DMRT