บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ลักษณะสมบัติของดินและกากตะกอนที่ทำการศึกษา

เป็นความจำเป็นเบื้องต้นที่จะต้องทราบถึงลักษณะสมบัติของดิน และกากตะกอนที่ทำการศึกษา เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับเปรียบเทียบและพิจารณาความเป็นประโยชน์ของดินและกากตะกอนในการเป็นแหล่งธาตุอาหารพืช ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช และการปนเปื้อนของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ทั้งนี้จะช่วยให้เกิดความรอบคอบในการกำหนดตำรับทดลองและวิธีการศึกษา เพื่อให้บรรลุเป้าหมายของการศึกษาวิจัย ผลการศึกษาเป็นดังนี้

1. ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดิน

ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดิน จะศึกษาเฉพาะพารามิเตอร์ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักของพืชทดลอง พารามิเตอร์เหล่านี้ได้แก่ pH ของดิน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) อินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แอมโมเนียมไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจน ไนโตรเจนทั้งหมด และโลหะหนักทั้ง 7 ชนิด (ตะกั่ว แคดเมียม นิเกิล ทองแดง มังกานีส สังกะสี และเหล็ก) ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4

จากตารางที่ 4 pH ของดินที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 7.10 ค่าของ pH ระดับนี้อยู่ในช่วงที่พืชทั่วไปเจริญได้ดี (pH 6.5-7.5) เพราะ pH ในช่วงนี้เอื้อให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมีปริมาณที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ช่วง pH ที่พืชแต่ละชนิดจะเจริญเติบโตได้ดีก็จะแตกต่างกันออกไป เช่น ผักกาดหอม

ตารางที่ 4 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนและดินที่ใช้ในการทดลอง

ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมี	กากตะกอน	ดิน
pH	7.00	7.10
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) (มก.สมมูลย์ ต่อดิน 100 กรัม)	-	20.64
อินทรีย์คาร์บอน (%)	12.27	1.08
อินทรีย์วัตถุ (%)	21.16	1.88
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก. ต่อ กก.)	245.83	197.50
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก. ต่อ กก.)	440.00	209.00
แอมโมเนียมไนโตรเจน (มก. ต่อ กก.)	1,158.00	59.50
ไนเตรตไนโตรเจน (มก. ต่อ กก.)	308.00	115.50
ไนโตรเจนทั้งหมด (มก. ต่อ กก.)	19,237.60	269.88
ตะกั่ว (มก. ต่อ กก.)	4.00	2.40
แคดเมียม (มก. ต่อ กก.)	0.50	Trace
นิเกิล (มก. ต่อ กก.)	7.54	0.56
ทองแดง (มก. ต่อ กก.)	28.60	3.52
แมงกานีส (มก. ต่อ กก.)	246.00	11.00
สังกะสี (มก. ต่อ กก.)	850.00	9.40
เหล็ก (มก. ต่อ กก.)	576.00	95.20

หมายเหตุ : - เท่ากับไม่ได้วิเคราะห์

จะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อดินมี pH 6.0-6.8 ผักคะน้าจะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อดินมี pH 5.5-6.8 (สมภพ ฐิตะาสันต์, 2527) กล่าวได้ว่า pH ของดินที่ใช้ในการทดลองไม่น่าที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อการเจริญเติบโตของพืชทดลอง นอกจากนี้แล้วหากพิจารณาข้อเสนอของ King และ Morris (1972) ที่ได้เสนอไว้ว่า ดินควรมี pH อย่างน้อยเท่ากับ 6.5 เพื่อลดโอกาสของการเกิดความเป็นพิษของโลหะหนักต่าง ๆ และข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์กากตะกอนทางการเกษตรตามเกณฑ์ของประเทศต่าง ๆ (ตารางที่ 5) ที่ระบุให้ pH ต่ำสุดของดินที่ยอมรับให้ใส่กากตะกอนได้ คือ ช่วง pH 6.0-6.5 ดังนั้น pH ของดินที่ใช้ในการทดลองโดยมีการใส่กากตะกอน ก็อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC) ของดินที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 20.64 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม (ตารางที่ 4) ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับค่า CEC ของดินเหนียวโดยทั่วไป และเป็นค่าที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่า CEC ของดินชนิดอื่น ๆ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530 ข.) การที่ดินที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่า CEC สูง แสดงถึงแนวโน้มที่จะมีความอุดมสมบูรณ์สูง เพราะมีความสามารถที่จะเก็บรักษาธาตุอาหารพืชที่เป็นประจุบวกไว้ให้พืชใช้ประโยชน์ได้เป็นระยะเวลายาวนาน และป้องกันการสูญเสียธาตุอาหารพืชโดยการชะล้างเมื่อมีน้ำซึมผ่านชั้นดิน

อินทรีย์วัตถุในดินมีบทบาทเกี่ยวกับการปรับปรุงลักษณะสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน รวมทั้งเกี่ยวข้องกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความเป็นประโยชน์ของอินทรีย์วัตถุในดินต่อการเจริญเติบโตของพืช จะขึ้นกับปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ คือ ชนิดของอินทรีย์วัตถุ จุลินทรีย์ดิน สภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ดิน อุณหภูมิ และความชื้นของดิน และปัจจัยอื่น ๆ ดินที่ใช้ในการทดลองมีอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 1.88 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4) จัดได้ว่าเป็นดินประเภทที่ทำการเกษตรกรรมมาเป็นเวลานาน เพราะมีอินทรีย์วัตถุน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ (ถวิล ครุฑกุล,

ตารางที่ 5 ข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์กากตะกอนทางการเกษตรตามเกณฑ์ของประเทศต่าง ๆ

(Webber et al., 1984)

ประเทศ	pH ดินต่ำสุด	อัตราการใส่กากตะกอนสูงสุด (ตันต่อเฮกตาร์)	ระยะเวลาการใช้ประโยชน์กากตะกอนต่ำสุด (ปี)	ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ใส่ในดิน (กก.ต่อเฮกตาร์)						
				Pb	Cd	Ni	Cu	Mn	Zn	Fe
แคนาดา	-	200	45	10	4	36	-	-	370	-
เดนมาร์ก	-	-	20	-	0.2	-	-	-	-	-
ฟินแลนด์	-	20	5	-	0.1	-	-	-	-	-
ฝรั่งเศส	6.0	-	-	210	5.4	60	210	-	750	-
เยอรมัน	-	167	100	210	8.4	60	210	-	750	-
เนเธอร์แลนด์	-	200	100	100	2	20	120	-	400	-
นอร์เวย์	-	20	10	6	0.2	2	30	10	60	-
สวีเดน	-	5	5	1.5	0.075	2.5	15	-	50	-
อังกฤษ	6.5	-	30	1,000	5	70	280	-	560	-
สหรัฐอเมริกา	6.5	-	-	500-2,000	5-20	50-200	125-500	-	250-1,000	-
กลุ่มประชาคมยุโรป (CEC Directive)	-	-	-	210	8.4	60	210	-	750	-

หมายเหตุ : - เท่ากับไม่เสนอตัวเลข

2530) และปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในดินที่ใช้ในการทดลองนี้ จัดอยู่ในกลุ่มดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ระดับปานกลาง (1.5-2.5 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ตามเกณฑ์จำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดิน กองจำแนกที่ดิน กรมพัฒนาที่ดินของเล็ก มอญเจริญ (2522)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Posphorus) ในดิน จะได้มาจากอินทรีย์วัตถุในดินโดยกระบวนการแปรสภาพอินทรีย์วัตถุ (Mineralization) และการสลายตัวของสารประกอบฟอสเฟตต่าง ๆ ในดิน จากตารางที่ 4 พบว่า ดินที่ใช้ในการทดลองมีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเท่ากับ 197.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดว่าเป็นดินที่มีระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินสูง (มากกว่า 17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เมื่อนิจารณาเปรียบเทียบกับการประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน จาก ตารางที่ 6 อย่างไรก็ตามปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของดินยังไม่สามารถใช้เป็นค่าบ่งชี้ความเพียงพอแก่ความต้องการฟอสฟอรัสของพืชได้ เพราะมีปัจจัยหลายอย่างควบคุมการละลายได้และการตรึงฟอสเฟต จึงอาจกล่าวได้แต่เพียงว่า ดินที่ใช้ทดลองมีศักยภาพที่จะให้ฟอสฟอรัสแก่พืชได้สูง

โพแทสเซียมในดินที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium) ปริมาณโพแทสเซียมที่พืชใช้ได้จะขึ้นอยู่กับอำนาจในการผลักดันให้เกิดโพแทสเซียมละลาย (Soluble Potassium) และปริมาณที่พร้อมจะเป็นประโยชน์ได้ของโพแทสเซียม (Exchangeable Potassium) ซึ่งควบคุมโดยค่า CEC ของดิน และปริมาณของแร่ดินเหนียวหรือประเภทเนื้อดิน (ถวิล ครุฑกุล, 2530) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินที่ใช้ในการทดลองจากตารางที่ 4 (209.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) กับการประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมของดินในตารางที่ 7 จะพบว่าดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินที่มีระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมสูง

ตารางที่ 6 การประเมินระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) ในดิน (ถวิล ครุฑกุล, 2530)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก. ต่อ กก.)	ระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน
ต่ำกว่า 3	ต่ำมาก
3 - 7	ต่ำ
7 - 17	ปานกลาง
มากกว่า 17	สูง

ตารางที่ 7 การประเมินระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium) ในดิน (ถวิล ครุฑกุล, 2530)

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก. ต่อ กก.)	ระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดิน
ต่ำกว่า 50	ต่ำมาก
50 - 75	ต่ำ
75 - 125	ปานกลาง
มากกว่า 125	สูง

ไนโตรเจนในดินมีหลายรูป ส่วนใหญ่จะอยู่รวมกับธาตุอื่น ๆ เป็นสารประกอบอินทรีย์ ส่วนน้อยจะอยู่ในรูปสารอนินทรีย์ที่พืชดูดดึงไปใช้ได้ คือ อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจน อินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายให้เป็นแอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนอย่างช้า ๆ ความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนต่อพืชจึงขึ้นอยู่กับปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน ไนเตรตไนโตรเจน และอินทรีย์ไนโตรเจนที่ถูกย่อยสลายได้ง่าย จากตารางที่ 4 ดินที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนเท่ากับ 59.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และไนเตรตไนโตรเจนเท่ากับ 115.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คิดเป็นปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจนได้เท่ากับ 175.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินที่ใช้ในการทดลองซึ่งเท่ากับ 269.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่ในดินที่ใช้ในการทดลองอยู่ในรูปสารอนินทรีย์ที่พืชดูดดึงไปใช้ได้ง่าย และมีอินทรีย์ไนโตรเจนปริมาณน้อย หากประเมินการสลายตัวของอินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งจะปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจากอัตราส่วนของอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C : N Ratio) ดินที่ใช้ในการทดลองมีค่า C : N Ratio เท่ากับ 40 : 1 โดยประมาณ กล่าวได้ว่า อินทรีย์ไนโตรเจนในดินที่ใช้ในการทดลอง มีแนวโน้มที่จะปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้น้อย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทาลัยเกษตรศาสตร์, 2530 ก.)

โลหะหนักในดินที่ใช้ในการทดลองทั้ง 7 ชนิด แบ่งเป็น โลหะหนักที่พืชดูดดึงได้อีกทั้งเป็นจุลธาตุอาหารพืช ได้แก่ ทองแดง มังกานีส สังกะสี และเหล็ก และโลหะหนักที่พืชดูดดึงได้ แต่ไม่เป็นจุลธาตุอาหารพืช ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และนิเกิล หากเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในดินที่ใช้ในการทดลอง (ตะกั่ว แคดเมียม นิเกิล ทองแดง และสังกะสี) จากตารางที่ 4 กับปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับว่ามีอยู่ในดินเกษตรกรรมทั่ว ๆ ไปที่ไม่ได้มีการปนเปื้อนโลหะหนักจากสิ่งแวดล้อมของประเทศเยอรมันและอังกฤษในตารางที่ 8 จะพบว่าดินที่ใช้ในการทดลองมีโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ปริมาณน้อยมาก ยกเว้นสังกะสีในดินที่ใช้ในการ

ตารางที่ 8 ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.) โดยทั่ว ๆ ไปที่ยอมให้มีในดินเกษตรกรรมของประเทศเยอรมันและอังกฤษ (Webber et al., 1984)

ประเทศ	ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.)				
	ตะกั่ว	แคดเมียม	นิเกิล	ทองแดง	สังกะสี
เยอรมัน	30	0.2	30	30	50
อังกฤษ	50	1	1	5	2.5

ทดลอง จะมีปริมาณสูงกว่าปริมาณที่มีอยู่ในดินเกษตรกรรมของประเทศอังกฤษ แต่ยังไม่มากกว่าปริมาณที่มีอยู่ในดินเกษตรกรรมของประเทศเยอรมัน กล่าวได้ว่า ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินที่ยังไม่มีการปนเปื้อนโลหะหนักทั้งห้าชนิดจากสิ่งแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของประเทศเยอรมัน ส่วนมังกานีสและเหล็กยังไม่พบการกำหนดปริมาณทั่ว ๆ ไปที่ยอมให้มีได้ในดินเกษตรกรรม อาจพิจารณาจากข้อมูลที่ลรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2522) ได้เสนอไว้ว่า ระดับเป็นพิษ (Toxic Level) ต่อพืชของมังกานีสที่มีอยู่ในดินเท่ากับ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และการตรวจเอกสารต่าง ๆ ที่พบว่า ปริมาณเหล็กในดินโดยทั่ว ๆ ไป มักตรวจพบเป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับปริมาณมังกานีสและเหล็กที่มีอยู่ในดินที่ใช้ในการทดลอง (ตารางที่ 4) จึงคาดได้ว่า ปริมาณมังกานีสและเหล็กที่มีอยู่ในดินที่ใช้ในการทดลองไม่น่าที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อการเจริญเติบโตของพืชทดลองได้

2. ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอน

กากตะกอนมีลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีมากมาย ในที่นี้จะวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง (ยกเว้นค่า CEC) เนื่องด้วยว่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะบ่งบอกถึงศักยภาพในการเพิ่มธาตุอาหารพืชในดินและปริมาณโลหะหนักที่ใส่ลงดินจากการเติมกากตะกอนลงดิน ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอน ดังแสดงในตารางที่ 4

pH ของกากตะกอนอยู่ในระดับเป็นกลาง (เท่ากับ 7.00) เช่นเดียวกับ pH ของดินที่ใช้ในการทดลอง

อินทรีย์วัตถุในกากตะกอนมีปริมาณสูงมาก คือ เท่ากับ 21.16 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4) และมีอัตราส่วนอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C : N Ratio) เท่ากับ 6.4 : 1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่อินทรีย์วัตถุในกากตะกอนสามารถสลายตัวได้ดี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530 ก.)

อนินทรีย์ไนโตรเจน คือ แอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจน เมื่อรวมกันจะเป็นรูปส่วนใหญ่ของไนโตรเจนทั้งหมดในกากตะกอน เช่นเดียวกันกับอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินที่ใช้ในการทดลอง แต่กากตะกอนมีไนโตรเจนทุกรูปในปริมาณที่สูงกว่าปริมาณที่มีอยู่ในดินที่ใช้ในการทดลองมาก และหากประมาณว่า อินทรีย์วัตถุมีไนโตรเจนประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และในฤดูกาลเพาะปลูกหนึ่งอินทรีย์ไนโตรเจนจากอินทรีย์วัตถุสามารถเปลี่ยนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนได้ 1-5 เปอร์เซ็นต์ (เฉลี่ย 2.5 เปอร์เซ็นต์) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530 ข.) จะได้อนินนทรีย์ไนโตรเจนจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในกากตะกอนที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นปริมาณถึง 10,580 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยประมาณ เมื่อคิดรวมกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในกากตะกอน (ตารางที่ 4) จะได้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ใส่ลงไปในดินแปลงทดลองที่เติมกากตะกอน 1,600 และ 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ เท่ากับ 2.98 และ 5.96 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 25-7-7 และใส่ลงดินอัตรา 96 กิโลกรัมต่อไร่ จะได้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ใส่ลงดินแปลงทดลองเติมปุ๋ยเคมีเท่ากับ 0.15 กิโลกรัม

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในกากตะกอน (ตารางที่ 4) ก็มีปริมาณสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในดินที่ใช้ในการทดลอง อาจกล่าวได้ว่า เมื่อใส่กากตะกอนนี้ลงดิน กากตะกอนมีศักยภาพในการให้ธาตุอาหารพืชทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมแก่ดินสูง

โลหะหนักในกากตะกอนที่เป็นจุลธาตุอาหารพืช (ทองแดง มังกานีส สังกะสี และเหล็ก) และโลหะหนักที่ไม่เป็นจุลธาตุอาหารพืช (ตะกั่ว แคดเมียม และนิเกิล) จากตารางที่ 4 มีปริมาณสูงกว่าปริมาณที่มีอยู่ในดินที่ใช้ในการทดลองอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตามปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียกรุงเทพมหานคร (ชุมชนห้วยขวาง) ในการศึกษาครั้งนี้ ยังมีปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ น้อยมากและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับสำหรับ

การนำไปใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมได้ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใส่ในพื้นที่การเกษตรตามเกณฑ์ของประเทศต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 9

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ใส่กากตะกอนลงดินอัตรา 1,600 และ 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ (10 และ 20 เมตริกตันต่อเฮกตาร์) คำนวณปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนที่ใส่ลงดินอัตราสูงสุด (3,200 กิโลกรัมต่อไร่) รวมกับปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในดินที่ใช้ในการทดลองจะได้ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่มีอยู่ในดินหลังเติมกากตะกอนแล้ว ดังนี้ ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม นิเกิล ทองแดง มังกานีส สังกะสี และเหล็ก เท่ากับ 0.13 0.01 0.16 0.64 5.14 7.19 และ 13.42 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมให้ใส่ในดิน ตามข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์กากตะกอนทางการเกษตรตามเกณฑ์ของประเทศต่าง ๆ ในตารางที่ 5 จะพบว่า ปริมาณโลหะหนักสูงสุดในดินหลังจากใส่กากตะกอนอัตราสูงสุดในการทดลองนี้แล้ว ยังมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ดังกล่าวมาก

<u>การเจริญเติบโตของพืชทดลอง</u>

การพิจารณาและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชทดลองชนิดต่าง ๆ สามารถดูได้จากผลผลิตรวมของพืชทดลอง ผลผลิตพืชทดลองแต่ละชนิดจะบ่งบอกภาพรวมของความเป็นประโยชน์ของกากตะกอน และความคุ้มค่าในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ ในทางปฏิบัติ เมื่อเพาะปลูกผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้งและผักบุ้งจีน จนได้กำหนดเก็บเกี่ยว 49 40 39 และ 27 วัน ตามลำดับ จึงเก็บเกี่ยวผักมาชั่งและคำนวณเป็นผลผลิตสดหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน โดยเฉลี่ยได้ประมาณ 91 95 95 และ 94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ คำนวณเป็นผลผลิตแห้งแสดง ดังตารางที่ 10 รายละเอียดของผลผลิตผักชนิดต่าง ๆ มีดังนี้

1. ผลผลิตผักคะน้า

จากตารางที่ 10 จะเห็นว่า เมื่อเติมกากตะกอนลงดินอัตรา 3,200 กิโลกรัม

ตารางที่ 9 ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.) สูงสุด ที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใส่ในพื้นที่การเกษตรประเทศต่าง ๆ (Webber et al., 1984)

ประเทศ	ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.)						
	ตะกั่ว	แคดเมียม	นิเกิล	ทองแดง	มังกานีส	สังกะสี	เหล็ก
เบลเยี่ยม	300	10	100	500	500	2,000	-
แคนาดา	500	20	180	-	-	1,850	-
เดนมาร์ก	400	8	30	-	-	-	-
ฟินแลนด์	1,200	30	500	3,000	3,000	5,000	-
ฝรั่งเศส	800	20	200	1,000	-	3,000	-
เยอรมัน	1,200	20	200	1,200	-	3,000	-
เนเธอร์แลนด์	500	10	100	600	-	2,000	-
นอร์เวย์	300	10	100	1,500	500	3,000	-
สวีเดน	300	15	500	3,000	-	10,000	-
สวิสเซอร์แลนด์	1,000	30	200	1,000	-	1,000	-
กลุ่มประชาคมยุโรป (CEC Directive)	1,000	40	400	1,500	-	3,000	-

หมายเหตุ : - เท่ากับไม่ได้เสนอตัวเลข

ตารางที่ 10 ผลผลิตผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน (กก. ต่อไร่, น้ำหนักแห้ง)

ตำรับทดลอง	ผลผลิตผัก (กก. ต่อไร่)			
	ผักคะน้า	ผักกาดหอม	ผักกวางตุ้ง	ผักบุ้งจีน
ควบคุม	280.67^{b}	176.00^{c}	306.00^{b}	257.33
ปุ๋ยเคมี	362.00^{ab}	361.33^{a}	334.00^{b}	292.00
กากตะกอน 1,600 กก. ต่อไร่	343.33^{ab}	284.67^{b}	347.33^{b}	262.67
กากตะกอน 3,200 กก. ต่อไร่	512.67^{a}	340.00^{ab}	436.67^{a}	270.67
F - value	4.45*	20.19*	14.37*	0.21
% C.V.	21.54	10.99	7.25	20.26

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งแต่ละแถว แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ตามวิธีการของ DMRT

: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

: เปอร์เซ็นต์ความชื้นของผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน เท่ากับ 91 95 95 และ 94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

: น้ำหนักผลผลิตคิดเฉพาะส่วนเหนือดินที่เกษตรกรจำหน่ายเท่านั้น ยกเว้นน้ำหนักผลผลิตผักบุ้งจีนคิดรวมทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน

ต่อไร่ ผักคะน้าจะมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงกว่าควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่การเติมกากตะกอนลงดินอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ และการเติมปุ๋ยเคมี ไม่มีผลทำให้ผลผลิตผักคะน้าแตกต่างจากควบคุม (อยู่กลุ่มอักษร b เดียวกัน) ผลผลิตผักคะน้าจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนจาก 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ การเติมปุ๋ยเคมีไม่มีผลให้ผลผลิตผักคะน้าแตกต่างจากการเติมกากตะกอนทั้งสองอัตรา แสดงว่า กากตะกอนที่เติมลงดินทั้งสองอัตรา มีศักยภาพที่จะทำให้ผักคะน้ามีการเจริญเติบโตได้ดีทัดเทียมกับปุ๋ยเคมี

2. ผลผลิตผักกาดหอม

ผลผลิตผักกาดหอม (ตารางที่ 10) เมื่อเติมปุ๋ยเคมีและกากตะกอนทั้งสองอัตราจะสูงกว่าควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (อักษร a b และ ab ต่างจากอักษร c) การเติมปุ๋ยเคมีมีผลให้ผลผลิตผักกาดหอมสูงกว่าการเติมกากตะกอนลงดินอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่แต่ไม่มีผลให้ผลผลิตผักกาดหอมแตกต่างจากการเติมกากตะกอน 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนจาก 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตผักกาดหอมจะเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับอักษร ab) กล่าวได้ว่า การเติมกากตะกอน และปุ๋ยเคมีมีผลให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตได้ดีกว่าควบคุม และเฉพาะอัตราเติมกากตะกอน 3,200 กิโลกรัมต่อไร่เท่านั้นที่มีศักยภาพทำให้ผักกาดหอมมีการเจริญเติบโตได้ดีทัดเทียมกับปุ๋ยเคมี

3. ผลผลิตผักกวางตุ้ง

พิจารณาจากตารางที่ 10 พบว่า การเติมกากตะกอน 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้ผักกวางตุ้งมีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตสูงกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ (อักษร a ต่างจากอักษร b) ทุกตำรับทดลอง ผลผลิตผักกวางตุ้งเมื่อเติมปุ๋ยเคมี เติมกากตะกอน 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ และควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การเติมกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ผักกวางตุ้งมีผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือ การเติมกากตะกอน

3,200 กิโลกรัมต่อไร่ มีศักยภาพที่จะทำให้ผักกวางตุ้งมีการเจริญเติบโตดีกว่าการเติมกากตะกอน 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ และการเติมปุ๋ยเคมี

4. ผลผลิตผักบุ้งจีน

เมื่อทดสอบความแตกต่างของผลผลิตผักบุ้งจีนตำรับทดลองต่าง ๆ (ตารางที่ 10) ด้วยวิธี ANOVA พบว่า ผลผลิตผักบุ้งจีนตำรับทดลองต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าการเติมปุ๋ยเคมี และกากตะกอนทั้งสองอัตราไม่มีผลทำให้ผักบุ้งจีนมีการเจริญเติบโตแตกต่างกัน และต่างกับควบคุมแต่อย่างใด

การเจริญเติบโตของพืชขึ้นอยู่กับ ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินเป็นสำคัญ เมื่อเพาะปลูกพืชทดลองโดยไม่เติมสิ่งปรับปรุงบำรุงดินใด ๆ (ตำรับทดลองควบคุม) พืชไม่สามารถจะเจริญเติบโตได้ดีนัก ผลผลิตพืชทดลองทุกชนิดจึงมีปริมาณต่ำกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ พืชในตำรับทดลองควบคุมส่วนใหญ่จะมีการเติบโตไม่สมบูรณ์นัก สังเกตุได้จากลักษณะต่าง ๆ ของพืช เช่น พืชทั้งสี่ชนิดจะมีลำต้นเล็กและแคระแกรน ความสูงของลำต้นน้อย ใบเล็กและมีจำนวนใบน้อย ขอบใบของผักกวางตุ้งบางใบมีลักษณะแห้งและหงิกงอ เป็นต้น สำหรับพืชผักที่มีอายุสั้น เช่น ผักบุ้งจีน จะเห็นความแตกต่างของผลผลิตและอาการต่าง ๆ ดังกล่าว น้อยกว่าพืชชนิดอื่นในการเพาะปลูกครั้งที่หนึ่ง แต่เมื่อทำการเพาะปลูกครั้งที่สอง ผักบุ้งจีนตำรับทดลองควบคุม จะแสดงอาการขาดธาตุอาหารให้เห็นอย่างชัดเจน และเก็บเกี่ยว ผลผลิตได้น้อยมาก

เมื่อเติมสิ่งปรับปรุงบำรุงดิน คือ ปุ๋ยเคมี และกากตะกอนลงดิน ผลผลิตพืชทั้งสี่ชนิดจะเพิ่มขึ้น ตัวเลขผลผลิตสูงสุดของผักคะน้าและผักกวางตุ้ง คือ ตำรับทดลองที่เติมกากตะกอน 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ ตัวเลขผลผลิตสูงสุดของผักกาดหอมและผักบุ้งจีน คือ ตำรับทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี การใส่กากตะกอนลงดินอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้ผลผลิตของผักคะน้า ผักกาดหอมและผักกวางตุ้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีศักยภาพในการส่งเสริมให้ผักคะน้าและผักกาดหอมเจริญเติบโตได้ดีทัดเทียมกับการเติมปุ๋ยเคมี และมี

ศักยภาพในการส่งเสริมให้ผักกวางตุ้งเจริญเติบโตได้ดีกว่าการเติมปุ๋ยเคมี ส่วนการเติมกากตะกอนลงดินอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ จะมีผลให้เฉพาะผักกาดหอมเท่านั้นที่มีผลผลิตเพิ่มขึ้น และมีศักยภาพในการส่งเสริมให้เฉพาะผักคะน้าและผักกวางตุ้งมีการเจริญเติบโตได้ดีทัดเทียมกับปุ๋ยเคมี แต่การใส่กากตะกอนลงดินทั้งสองอัตราไม่มีผลให้ผักบุ้งจีนมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นแตกต่างทางสถิติจากตำรับทดลองอื่น ๆ เช่นเดียวกันกับการเติมปุ๋ยเคมี การเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนลงดินมีผลให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้นทุกชนิด แต่มีเพียงผลผลิตผักคะน้าและผักกวางตุ้งเท่านั้นที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามอัตราเติมกากตะกอนที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของผลผลิตอาจเห็นได้ไม่ชัดเจนนัก อาจเป็นเพราะการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนยังไม่สูงมากนัก ผลของการสลายตัวและปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากกากตะกอนที่เติมลงดินแต่ละอัตราจึงไม่แตกต่างกันมาก และส่งผลถึงผลผลิตพืชได้ ซึ่ง Sheaffer และคณะ (1979 a) และอรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529) ได้ศึกษาพบว่า การเติบโตและดูดดึงธาตุอาหารขึ้นไปใช้ของพืชจะได้รับอิทธิพลจากอัตราเติมกากตะกอนเป็นสำคัญ

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กากตะกอนสามารถเป็นประโยชน์ต่อพืชได้เช่นเดียวกับปุ๋ยเคมีเมื่อปลูกผักคะน้า ผักกาดหอม และผักบุ้งจีน และให้ผลผลิตพืชสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีลงดินเมื่อปลูกผักกวางตุ้ง ผลงานวิจัยของ Cunningham และคณะ (1975), Kelling และคณะ (1977), Stucky และ Newman (1977), Hyde (1979) Sheaffer และคณะ (1979 a), Magdoff และ Amadon (1980), Guidi และ Hall (1984) และ อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529) ก็ได้รายงานถึงประสิทธิภาพของกากตะกอนในการเพิ่มผลผลิตพืชเช่นเดียวกัน และจากการซักถามเกษตรกรที่เพาะปลูกพืชผักเพิ่มเติมพบว่า นอกจากปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการใส่กากตะกอนลงดินแล้ว ยังสังเกตุเห็นความแตกต่างของสีใบผัก และความกรอบของผักระหว่างตำรับทดลองที่เติมกากตะกอนกับตำรับทดลองอื่น กล่าวคือ ผักบุ้งจีนที่ปลูกในดินที่เติมกากตะกอนจะมีใบสีเขียวเข้มและคล้ำ

ลำต้นกรอบ แต่ผักบุ้งจีนที่ปลูกในตำรับทดลองอื่น ๆ จะมีใบสีเขียวสดใส และลำต้นเหนียวกว่าเล็กน้อย

หากเปรียบเทียบผลผลิตของพืชผักในการศึกษาครั้งนี้ กับผลผลิตพืชผักเฉลี่ยโดยทั่วไปของจังหวัดปทุมธานี ปีการเพาะปลูก 2531/2532 สำหรับผักคะน้า ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน ปีการเพาะปลูก 2530/2531 สำหรับผักกาดหอม จากสถิติการปลูกพืชรายปีของกรมส่งเสริมการเกษตร ซึ่งเท่ากับ 1,442 1,209 785 และ 1,049 กิโลกรัมต่อไร่ (ในรูปน้ำหนักสด) ตามลำดับ จะพบว่าผลผลิตเฉลี่ยของผักทั้งสี่ชนิดในการศึกษาครั้งนี้สูงกว่าสถิติดังกล่าวมาก (ผลผลิตผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน เท่ากับ 3,118 - 4,585 3,520 - 7,227 6,120 - 8,733 และ 4,289 - 4,867 กิโลกรัมต่อไร่ ในรูปน้ำหนักสด ตามลำดับ) อธิบายได้ว่า ถึงแม้จะเป็นการเพาะปลูกผักที่จังหวัดเดียวกันก็ตาม แต่เป็นเพราะสถานที่ทดลองดินมีความอุดมสมบูรณ์มาก เกษตรกรมีความชำนาญในการเพาะปลูกและให้การดูแลอย่างใกล้ชิด ทั้งการรดน้ำและปราบศัตรูพืช อีกทั้งทำการเพาะปลูกในช่วงปลายฤดูหนาวถึงต้นฤดูร้อน (เดือนมกราคม ถึง เดือนมีนาคม) อุณหภูมิของอากาศมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชผักมาก จึงเป็นผลให้ผลผลิตของพืชผักในการศึกษาครั้งนี้ค่อนข้างสูงมาก

<u>การสะสมโลหะหนักในพืชทดลอง</u>

การศึกษาการสะสมโลหะหนักในส่วนต่าง ๆ ของพืชทดลองทั้งสี่ชนิด เมื่อปลูกบนดินที่เติมกากตะกอน จะบ่งบอกถึงความเสี่ยงในการสะสมโลหะหนักของพืช และความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน แสดงในตารางที่ 11 12 13 และ 14 ตามลำดับ และมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

1. การสะสมโลหะหนักในผักคะน้า

ส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักคะน้ามีการสะสมโลหะหนักทั้ง 7 ชนิด ในตำรับทดลองต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 11) นอกจากนี้ทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักคะน้ามีการสะสมตะกั่ว แคดเมียม และนิเกิลน้อยมากจนไม่สามารถระบุปริมาณได้ทุกตำรับทดลอง อาจกล่าวได้ว่า การเติมกากตะกอนลงดินทั้งสองอัตราไม่มีผลทำให้ผักคะน้าทั้งส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินมีการสะสมโลหะหนักทั้ง 7 ชนิด แตกต่างจากตำรับทดลองอื่น ๆ หากพิจารณาเฉพาะตัวเลขปริมาณโลหะหนัก จะพบว่า ผักคะน้ามีการสะสมแมงกานีส สังกะสี และเหล็กในส่วนเหนือดินสูงกว่าส่วนใต้ดิน การเติมกากตะกอนลงดินมีผลให้ผักคะน้าทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน มีแนวโน้มที่จะสะสมสังกะสีและเหล็กเพิ่มขึ้น และตัวเลขของปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่สะสมในผักคะน้าเมื่อปลูกบนดินที่เติมกากตะกอนทั้งสองอัตราก็ไม่แตกต่างกัน

2. การสะสมโลหะหนักในผักกาดหอม

จากตารางที่ 12 จะเห็นได้ว่า ผักกาดหอมมีการสะสมตะกั่ว แคดเมียม และนิเกิลในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินน้อยมากจนไม่สามารถระบุปริมาณได้ การสะสมทองแดงและเหล็กในส่วนเหนือดิน การสะสมสังกะสีในส่วนใต้ดิน และการสะสมแมงกานีสทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักกาดหอมในตำรับทดลองต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่า การเติมกากตะกอนลงดินไม่มีผลต่อการสะสมโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินของผักกาดหอมดังกล่าว การเติมกากตะกอนลงดินอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ จะมีผลให้เฉพาะส่วนใต้ดินของผักกาดหอม มีการสะสมทองแดงและเหล็กเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การเติมกากตะกอนลงดินอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้การสะสมทองแดงในส่วนใต้ดิน และการสะสมสังกะสีในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมสูงกว่าควบคุมและปุ๋ยเคมีและมีผลให้การสะสมเหล็กในส่วนใต้ดินของผักกาดหอมสูงกว่าควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีปริมาณไม่แตกต่างจากการสะสมเหล็กในตำรับทดลองปุ๋ยเคมี นั่นคือ การ

ตารางที่ 11 ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.) ในส่วนเหนือดิน (U) และส่วนใต้ดิน (L) ของผักคะน้า

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในแต่ละส่วนของผักคะน้า (มก. ต่อ กก.)													
	ตะกั่ว		แคดเมียม		นิเกิล		ทองแดง		สังกะสี		เหล็ก			
	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L
ควบคุม	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	5.83	Trace	52.83	8.33	129.83	28.00	521.50	175.67
ปุ๋ยเคมี	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	7.43	Trace	41.33	8.00	96.50	32.67	349.67	219.50
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	14.50	53.17	12.00	159.83	43.17	489.17	229.75
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	7.00	51.67	8.83	152.67	40.67	411.33	229.33
F - Value	-	-	-	-	-	-	1.26	155.23	0.50	0.77	1.85	1.69	2.18	1.04
% C.V.	-	-	-	-	-	-	26.32	15.85	27.67	37.43	26.94	25.93	20.50	176.12

ตารางที่ 12 ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.) ในส่วนเหนือดิน (U) และส่วนใต้ดิน (L) ของผักกาดหอม

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในแต่ละส่วนของผักกาดหอม (มก. ต่อ กก.)													
	ตะกั่ว		แคดเมียม		นิเกิล		ทองแดง		มังกานีส		สังกะสี		เหล็ก	
	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L
ควบคุม	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	6.00	10.50^{b}	35.83	15.50	65.67^{b}	60.50	560.00	411.33^{c}
ปุ๋ยเคมี	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	12.33	10.33^{b}	46.50	17.83	74.33^{b}	86.00	627.17	503.33^{bc}
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	11.50	15.83^{a}	31.83	19.33	74.67^{b}	114.67	618.33	789.17^{a}
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	9.63	17.00^{a}	35.33	19.33	90.00^{a}	123.33	662.50	600.00^{b}
F - Value	-	-	-	-	-	-	1.32	6.01*	0.88	1.64	5.12*	3.75	0.26	18.30*
% C.V.	-	-	-	-	-	-	43.00	18.41	123.96	13.61	10.17	26.63	23.47	11.37

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งแต่ละแถว แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ตามวิธีการของ DMRT

: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เติมกากตะกอนลงดินทั้งสองอัตราผลให้ผักกาดหอมมีการสะสมทองแดงและเหล็กในส่วนใต้ดินเพิ่มขึ้น และเฉพาะอัตราเติมกากตะกอน 3,200 กิโลกรัมต่อไร่เท่านั้น ที่มีผลให้การสะสมสังกะสีในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมเพิ่มขึ้น ส่วนการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนจาก 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 3,200 กิโลกรัมต่อไร่นั้น มีผลให้ส่วนเหนือดินของผักกาดหอมเท่านั้นที่มีการสะสมสังกะสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ หากเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักกาดหอม จะพบว่า ส่วนเหนือดินของผักกาดหอมมีแนวโน้มที่จะสะสมมังกานีสสูงกว่าส่วนใต้ดิน ส่วนการสะสมโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักกาดหอมจะไม่แตกต่างกันอย่างเด่นชัดนัก

3. การสะสมโลหะหนักในผักกวางตุ้ง

ปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่สะสมในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักกวางตุ้งที่แสดงในตารางที่ 13 ให้ผลการทดสอบความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติเช่นเดียวกับการการสะสมโลหะหนักในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้า คือ ส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักกวางตุ้งทุกตำรับทดลอง มีการสะสมโลหะหนักทั้ง 7 ชนิด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และพบการสะสมตะกั่ว แคดเมียม และนิเกิล น้อยมากจนไม่สามารถระบุปริมาณได้เช่นเดียวกัน แสดงว่า การเติมกากตะกอนลงดินทั้งสองอัตราไม่มีผลทำให้ผักกวางตุ้งมีการสะสมโลหะหนักทั้ง 7 ชนิดเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด ถ้าพิจารณาเฉพาะตัวเลขปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่สะสมในผักกวางตุ้ง จะพบว่า การเติมกากตะกอนลงดินมีแนวโน้มที่จะทำให้การสะสมสังกะสีในส่วนใต้ดินของผักกวางตุ้งเพิ่มขึ้นต่างจากควบคุมและปุ๋ยเคมี การสะสมทองแดง มังกานีส สังกะสี ในส่วนเหนือดิน และการสะสมสังกะสีและเหล็กในส่วนใต้ดินของผักกวางตุ้ง มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเติมกากตะกอนลงดินในอัตราที่เพิ่มขึ้น ส่วนเหนือดินของผักกวางตุ้งมีการสะสมมังกานีสและสังกะสีสูงกว่าส่วนใต้ดิน แต่ส่วนใต้ดินของผักกวางตุ้งจะมีการสะสมเหล็กสูงกว่าส่วนเหนือดิน

ตารางที่ 13 ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.) ในส่วนเหนือดิน (U) และส่วนใต้ดิน (L) ของผักกวางตุ้ง

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในแต่ละส่วนของผักกวางตุ้ง (มก. ต่อ กก.)													
	ตะกั่ว		แคดเมียม		นิเกิล		ทองแดง		มังกานีส		สังกะสี		เหล็ก	
	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L
ควบคุม	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	10.17	8.17	38.17	15.00	122.33	50.17	242.50	865.67
ปุ๋ยเคมี	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	11.17	10.00	34.50	17.17	100.67	50.17	186.67	1,608.33
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	8.25	9.25	34.67	15.67	102.33	55.33	212.00	1,458.33
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	10.33	9.25	35.50	15.00	123.50	65.50	204.67	1,563.67
F - Value	-	-	-	-	-	-	0.88	0.43	0.97	0.12	0.83	1.11	0.98	0.61
% C.V.	-	-	-	-	-	-	19.60	156.37	8.33	32.60	20.97	21.51	19.28	55.59

4. การสะสมโลหะหนักในผักบุ้งจีน

จากข้อมูลในตารางที่ 14 แสดงให้เห็นว่า ส่วนใต้ดินของผักบุ้งจีนมีการสะสมสังกะสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเติมกากตะกอนลงดินอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ และการเติมกากตะกอนลงดินอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้ส่วนใต้ดินของผักบุ้งจีนมีการสะสมสังกะสีเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างจากปุ๋ยเคมีและควบคุม อาจกล่าวได้ว่า การเติมกากตะกอนลงดินเฉพาะอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่เท่านั้น ที่มีผลให้ผักบุ้งจีนมีการสะสมสังกะสีเพิ่มขึ้นในส่วนใต้ดิน ส่วนการสะสมโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ในส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินของผักบุ้งจีนต่ำรับทดลองต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และการสะสมตะกั่ว แคดเมียม และนิเกิล ของผักบุ้งจีนทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน มีน้อยมากจนไม่สามารถระบุปริมาณได้ เช่นเดียวกับการสะสมในผักคะน้า ผักกวางตุ้ง และผักกวางตุ้ง นั่นคือ การเติมกากตะกอนลงดินทั้งสองอัตราไม่มีผลให้ผักบุ้งจีนสะสมโลหะหนักชนิดอื่น ๆ เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด หากพิจารณาเฉพาะตัวเลขปริมาณโลหะหนักจะพบว่า ส่วนเหนือดินของผักบุ้งจีนมีการสะสมนิกเกิลสูงกว่าส่วนใต้ดิน แต่ส่วนใต้ดินของผักบุ้งจีนจะสะสมทองแดง สังกะสีและเหล็กสูงกว่าส่วนเหนือดิน

จากผลการศึกษาที่พบว่า พืชทดลองทั้งสี่ชนิดมีการสะสมตะกั่ว แคดเมียมและนิเกิลในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถระบุปริมาณได้ทุกต่ำรับทดลอง ทั้งที่วิเคราะห์พบ ตะกั่ว แคดเมียม และนิเกิลในดินและกากตะกอนที่ใช้ในการทดลอง อธิบายได้ว่าอาจเป็นเพราะโลหะหนักทั้งสามชนิดนี้มีปริมาณน้อย (เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหาร) และดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินเหนียว ซึ่งมีความสามารถที่จะดูดยึดโลหะหนักเหล่านี้ได้ดี (Diaz และ Polo, 1988) โดยเฉพาะตะกั่ว ปริมาณตะกั่วในพืชจะไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณที่มีอยู่ในดิน (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2525) และกากตะกอนที่ใส่ในดิน (Davis, 1984) และถึงแม้ว่าแคดเมียมจะเป็นธาตุที่ดูดรับอย่างกว้างขวาง ว่าพืชหลายชนิดสามารถดูดสิ่งขึ้นไปสะสมได้ง่ายที่สุดธาตุหนึ่ง (Davis และ

ตารางที่ 14 ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.) ในส่วนเหนือดิน (U) และส่วนใต้ดิน (L) ของผักบุ้งจีน

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในแต่ละส่วนของผักบุ้งจีน (มก. ต่อ กก.)													
	ตะกั่ว		แคดเมียม		นิเกิล		ทองแดง		สังกะสี				เหล็ก	
	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L
ควบคุม	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	11.33	18.00	33.83	13.00	37.83	42.50^{b}	116.67	443.33
ปุ๋ยเคมี	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	10.80	18.33	33.33	15.50	39.50	47.33^{b}	130.00	924.00
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	9.33	15.33	34.00	15.50	38.33	50.00^{b}	108.33	396.67
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	11.50	23.33	35.83	14.53	48.50	67.17^{a}	228.00	478.67
F - Value	-	-	-	-	-	-	0.80	0.88	0.08	0.48	3.40	5.55*	2.15	0.91
% C.V.	-	-	-	-	-	-	17.78	32.93	19.46	20.24	11.49	15.25	44.99	79.22

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งแต่ละแถว แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ตามวิธีการของ DMRT

: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Carlton-Smith, 1980) แต่ผลการศึกษาของ Mengel และ Kirkby (1982) ก็ช่วยอธิบายให้ทราบว่า สังกะสีที่มีอยู่ในดินสามารถที่จะลดการดูดดึงแคดเมียมของพืชได้ พืชผักจึงดูดดึงแคดเมียมไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ได้น้อย นอกจากนี้ลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของดิน เช่น pH ที่เป็นกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นจากการเติมกากตะกอนก็มีผลให้การดูดดึงโลหะหนักของพืชลดลงด้วย (Davies, 1980 ; Orawan Siriratpiriya et al., 1985) อาจกล่าวได้ว่า ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และนิเกิลที่สะสมในพืชทดลองทุกชนิดไม่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช และไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช และมนุษย์ที่บริโภคพืชนี้

การเติมกากตะกอนลงดิน ไม่มีผลทำให้ผักคะน้าและผักกวางตุ้งมีการสะสมโลหะหนักทั้ง 7 ชนิดเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด อาจกล่าวได้ว่า ไม่มีความเสี่ยงในการสะสมโลหะหนักของผักคะน้าและผักกวางตุ้ง เมื่อปลูกบนดินที่เติมกากตะกอนและถึงแม้ว่าการเติมกากตะกอนลงดินทั้งสองอัตรา มีผลให้ผักกาดหอมสะสมทองแดงและเหล็กในส่วนใต้ดินเพิ่มขึ้น และการเติมกากตะกอน 3,200 กิโลกรัมต่อไร่มีผลให้การสะสมสังกะสีในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมและส่วนใต้ดินของผักบุ้งจีนเพิ่มขึ้น ปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่สะสมในพืชทดลองก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับว่า อยู่ในช่วงที่มีในเนื้อเยื่อพืชทั่วไป และเพียงพอต่อความต้องการของพืช เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อพืชทั่วไปทั้งระดับปกติ และระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชของ Chaney (1982) ในตารางที่ 15

ส่วนต่าง ๆ ของพืชจะสะสมโลหะหนักแต่ละชนิดแตกต่างกัน เช่น ส่วนเหนือดินของผักทั้งสี่ชนิดมีการสะสมนิกเกิลสูงกว่าส่วนใต้ดินทุกตำรับทดลอง เช่นเดียวกับที่ อรารรณ สิริรัตน์นิรัย (2529) พบว่า พืชจะสะสมนิกเกิลในส่วนเหนือดินสูงกว่าส่วนใต้ดิน ส่วนใต้ดินของผักบุ้งจีนมีการสะสมทองแดงสูงกว่าส่วนเหนือดิน และมีปริมาณสะสมสูงกว่าผักชนิดอื่น ๆ อาจอธิบายได้ว่า เป็นเพราะทองแดงมีความชอบในการเกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนที่เสถียรในรากพืช (Mitchell, Bingham และ Page, 1978) และทองแดงอาจมี

ตารางที่ 15 ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.) ชนิดต่าง ๆ ในพืช ณ ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Chaney, 1982)

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในพืช (มก. ต่อ กก.)	
	ระดับปกติ	ระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ
ตะกั่ว	2 - 5	-
แคดเมียม	0.1 - 1	5 - 700
นิเกิล	0.1 - 5	50 - 100
ทองแดง	3 - 20	25 - 40
มังกานีส	15 - 150	400 - 2,000
สังกะสี	15 - 150	500 - 1,500
เหล็ก	30 - 300	-

หมายเหตุ : - เท่ากับไม่เสนอดัวเลข

ความชอบในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียรในส่วนใต้ดินของผักบุ้งจีนมากกว่าส่วนใต้ดินของผักอื่น ๆ ก็เป็นได้ นอกจากนี้พืชทดลองทั้งสี่ชนิดยังมีแนวโน้มที่จะเหล็ก > สังกะสี > แมงกานีส > ทองแดง แต่อย่างไรก็ตามการสะสมเหล็กในปริมาณที่สูงของพืชทดลองทั้งสี่ชนิดนี้ยังอยู่ในช่วงที่ไม่มากเกินไปสำหรับความต้องการเหล็กของมนุษย์ เนื่องจากเหล็กเป็นธาตุที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์ และมนุษย์มีความต้องการเหล็กถึงวันละ 10-20 มิลลิกรัม (ดุษฎี สุทธปรียาศรี, 2532) อีกทั้งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่สะสมในผักทั้งสี่ชนิดกับค่าความเข้มข้นของโลหะหนักต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในอาหาร และยอมให้บริโภคได้สูงสุดในแต่ละวันและในแต่ละสัปดาห์ ของคณะกรรมการวิชาการร่วม FAO/WHO (Codex) และค่ามาตราฐานอาหารที่มีโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ปนเปื้อนตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขในตารางที่ 16 และ 17 ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่า โลหะหนักต่าง ๆ ที่สะสมในพืชผักมีปริมาณน้อยมาก และไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ที่บริโภคผักนี้

<u>ลักษณะสมบัติของดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง</u>

วิเคราะห์ลักษณะสมบัติของดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ดินก่อนทำการทดลอง เพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของดินที่ใช้ในการทดลองเมื่อใส่กากตะกอนลงดิน และผลตกค้างของโลหะหนักทั้ง 7 ชนิดในดิน ผลการศึกษาเป็นดังนี้

1. pH ของดิน

ศึกษา pH ของดินตลอดฤดูกาลการปลูกพืชทดลองและภายหลังการเก็บเกี่ยวพืชทดลอง โดยทำการตรวจวัด pH ของดินทุก ๆ 2 สัปดาห์ สำหรับดินแปลงทดลองที่ปลูกผักคะน้า ผักกาดหอม และผักกวางตุ้ง และทุก ๆ สัปดาห์สำหรับดินแปลงทดลองที่ปลูกผักบุ้งจีน เพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลง pH ของดินภายหลังการใส่กากตะกอนลงดิน pH ของดินจะช่วยบ่งบอกลักษณะสมบัติทางเคมี และชีวเคมีบางประการของดินได้ เช่น จุลธาตุอาหาร

ตารางที่ 16 ปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในอาหารและยอมให้บริโภคได้สูงสุดในแต่ละวัน (สำหรับทองแดง เหล็ก และสังกะสี) และในแต่ละสัปดาห์ (สำหรับตะกั่ว และแคดเมียม) (FAO และ WHO, 1984)

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณที่ยอมให้บริโภคได้ (มก.ต่อ กก. น้ำหนักตัว)
ทองแดง	0.05 - 0.5
เหล็ก	0.8
สังกะสี	0.30 - 1.0
ตะกั่ว	0.05
แคดเมียม	0.0067 - 0.0083

ตารางที่ 17 ค่ามาตราฐานอาหารที่มีโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ปนเปื้อน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 71 พ.ศ.2525 (ดุษณี สุทธปรียาศรี, 2532)

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณที่ยอมให้บริโภคได้ (มก.ต่อ กก. น้ำหนักตัว)
ตะกั่ว	1
แคดเมียม	0.8
ทองแดง	20
สังกะสี	100

พืชต่าง ๆ ที่ละลายในดิน (เช่น ทองแดง มังกานีส สังกะสี และเหล็ก) จะมีปริมาณมาก จนอาจเป็นพิษต่อพืชได้เมื่อดินมี pH ต่ำ และในทางตรงข้ามหาก pH ของดินเพิ่มสูงขึ้น พืชก็อาจขาดแคลนจุลธาตุอาหารบางชนิดได้เช่นกัน นอกจากนี้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและไนโตรเจน รวมทั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ก็ยังขึ้นอยู่กับ pH ของดินด้วย ผลการศึกษา pH ของดินตามระยะเวลาการเพาะปลูกผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน แสดงในตารางที่ 18 19 20 และ 21 ตามลำดับ รายละเอียดต่าง ๆ มีดังนี้

4.1 pH ของดินตามระยะเวลาการเพาะปลูกผักคะน้า

pH ของดินตามระยะเวลาการเพาะปลูกผักคะน้าที่แสดงในตารางที่ 18 พบว่า pH ของดินอยู่ในช่วงตั้งแต่ 6.5-6.9 pH ของดินที่ปลูกผักคะน้าทุกตำรับทดลองจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามระยะเวลาการเพาะปลูกตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 จนถึงสัปดาห์ที่ 8 และ pH เฉลี่ยของดินตำรับทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีจะต่ำกว่าค่า pH เฉลี่ยของตำรับทดลองอื่น ๆ แสดงว่าการปลูกผักคะน้าจะทำให้ pH ของดินลดลงตามระยะเวลาการเพาะปลูก และการเติมปุ๋ยเคมีจะมีผลให้ pH ของดินต่ำกว่าการเติมกากตะกอนลงดินทั้งสองอัตรา

4.2 pH ของดินตามระยะเวลาการเพาะปลูกผักกาดหอม

จากตารางที่ 19 แสดงให้เห็นว่า pH ของดินที่ปลูกผักกาดหอมมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง pH ตั้งแต่ 6.4-7.0 ค่า pH เฉลี่ยของดินตามระยะเวลาการเพาะปลูกเริ่มลดลงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 และค่า pH ของดินจะลดมากขึ้นในสัปดาห์ที่ 8 ค่า pH เฉลี่ยของตำรับทดลองปุ๋ยเคมีจะต่ำสุด pH ของตำรับทดลองควบคุมและเติมกากตะกอน 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ไม่แตกต่างกัน และค่า pH เฉลี่ยของตำรับทดลองเติมกากตะกอน 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ จะมีค่าสูงสุด กล่าวได้ว่า การปลูกผักกาดหอมจะทำให้ pH ของดินลดลงตามระยะเวลาการเพาะปลูกและปุ๋ยเคมีที่เติมลงดินมีผลทำให้ pH ของดินลดต่ำมากกว่าการเติมกากตะกอนลงดินทั้งสองอัตรา เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลง pH ของดินที่ปลูกผักคะน้า

ตารางที่ 18 pH ของดินตามระยะเวลาการเพาะปลูกผักคะน้า

ตำรับทดลอง	pH ของดินระหว่างการเพาะปลูกสัปดาห์ที่				ค่าเฉลี่ยของ pH ตามตำรับทดลอง
	2	4	6	8	
ควบคุม	6.9	6.8	6.7	6.7	6.78[a]
ปุ๋ยเคมี	6.7	6.6	6.5	6.5	6.58[b]
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	6.9	6.8	6.8	6.7	6.80[a]
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	6.8	6.7	6.7	6.6	6.73[a]
ค่าเฉลี่ยของ pH ตามเวลาเพาะปลูก	6.85[a]	6.73[b]	6.68[b]	6.63[b]	
F - value รวม	2.9*				
F - value ของค่าเฉลี่ยของ pH ตามตำรับทดลอง	7.28*				
F - value ของค่าเฉลี่ยของ pH ตามเวลาเพาะปลูก	6.02*				
% C.V.	1.92				

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งและแถวนอน แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ตามวิธีการของ DMRT

: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 19 pH ของดินตามระยะเวลาการเพาะปลูกผักกาดหอม

ตำรับทดลอง	pH ของดินระหว่างการเพาะปลูกสัปดาห์ที่				ค่าเฉลี่ยของ pH ตามตำรับทดลอง
	2	4	6	8	
ควบคุม	6.8	6.8	6.8	6.6	6.75^{b}
ปุ๋ยเคมี	6.9	6.4	6.4	6.4	6.53^{c}
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	7.0	6.9	6.9	6.8	6.90^{a}
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	7.0	6.8	6.8	6.7	6.83^{ab}
ค่าเฉลี่ยของ pH ตามเวลาเพาะปลูก	6.93^{a}	6.73^{b}	6.73^{b}	6.63^{c}	
F - value รวม	10.66*				
F - value ของค่าเฉลี่ยของ pH ตามตำรับทดลอง	27.72*				
F - value ของค่าเฉลี่ยของ pH ตามเวลาเพาะปลูก	18.08*				
% C.V.	1.54				

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งและแถวนอน แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ตามวิธีการของ DMRT

: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.3 pH ของดินตามระยะเวลาการเพาะปลูกผักกวางตุ้ง

pH ของดินตามระยะเวลาการเพาะปลูกผักกวางตุ้ง (ตารางที่ 20) อยู่ในช่วง pH 7.1-6.6 มีการลดลงของค่า pH ตามระยะเวลาการเพาะปลูกตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 ถึงสัปดาห์ที่ 6 pH เฉลี่ยของตำรับทดลองที่เติมกากตะกอนทั้งสองอัตราที่มีค่าต่ำกว่า pH เฉลี่ยของตำรับทดลองควบคุมและปุ๋ยเคมี แสดงว่าการเพาะปลูกผักกวางตุ้งมีผลให้ pH ของดินลดลงตามระยะเวลาการเพาะปลูก และการเติมกากตะกอนลงดินทั้งสองอัตรามีผลให้ pH ของดินต่ำกว่าการเติมปุ๋ยเคมี

4.4 pH ของดินตามระยะเวลาการปลูกผักบุ้งจีน

จากตารางที่ 21 พบว่า pH ของดินตามระยะเวลาการปลูกผักบุ้งจีนอยู่ในช่วง pH 6.7-7.0 เมื่อปลูกผักบุ้งจีนถึงสัปดาห์ที่ 2 pH ของดินจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และ pH ของดินจะลดลงในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 โดยมีค่า pH ไม่แตกต่างจากค่า pH ในการเพาะปลูกสัปดาห์ที่ 1 ค่าเฉลี่ยของ pH ตำรับทดลองควบคุมมีค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ยของ pH สำหรับทดลองปุ๋ยเคมีและเติมกากตะกอน 1,600 กิโลกรัมไม่แตกต่างกัน และตำรับทดลองเติมกากตะกอน 3,200 กิโลกรัมต่อไร่จะมีค่า pH เฉลี่ยต่ำสุด กล่าวได้ว่าการปลูกผักบุ้งจีนไม่มีผลทำให้ pH ของดินก่อนและหลังปลูกผักแตกต่างกัน pH เฉลี่ยของดินจะลดลงตามอัตราเติมกากตะกอนลงดิน และเฉพาะอัตราเติมกากตะกอน 3,200 กิโลกรัมต่อไร่เท่านั้นที่มีผลให้ pH เฉลี่ยของดินต่ำกว่าการเติมปุ๋ยเคมี

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า pH ของดินที่ปลูกผักชนิดต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกัน pH ของดินจะลดลงตามระยะเวลาการเพาะปลูก ตั้งแต่ระยะเวลาการเพาะปลูกสัปดาห์ที่ 4 เป็นต้นไป เมื่อปลูกผักคะน้า ผักกาดหอม และผักกวางตุ้ง ส่วนค่า pH ของดินที่ปลูกผักบุ้งจีนก่อนปลูกและหลังปลูกไม่แตกต่างกัน ปุ๋ยเคมีที่เติมลงดินมีผลให้ pH ของดินที่ปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าต่ำกว่าดินที่เติมกากตะกอนทั้งสองอัตราและควบคุม pH ของดินที่ปลูกผักกาดหอมเมื่อเติมปุ๋ยเคมีจะมีค่าลดลงมากกว่า pH

ตารางที่ 20 pH ของดินตามระยะเวลาการเพาะปลูกผักกวางตุ้ง

ตำรับทดลอง	pH ของดินระหว่างการเพาะปลูกสัปดาห์ที่			ค่าเฉลี่ยของ pH ตามตำรับทดลอง
	2	4	6	
ควบคุม	7.0	7.0	6.8	7.93[a]
ปุ๋ยเคมี	7.1	6.8	6.8	6.90[a]
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	7.0	6.6	6.7	6.77[b]
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	6.9	6.7	6.6	6.73[b]
ค่าเฉลี่ยของ pH ตามเวลาเพาะปลูก	7.00[a]	6.78[b]	6.73[b]	
F - value รวม	8.25*			
F - value ของค่าเฉลี่ยของ pH ตามตำรับทดลอง	9.25*			
F - value ของค่าเฉลี่ยของ pH ตามเวลาเพาะปลูก	23.16*			
% C.V.	1.38			

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งและแถวนอน แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ตามวิธีการของ DMRT

: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 21 pH ของดินตามระยะเวลาการเพาะปลูกผักบุ้งจีน

ตำรับทดลอง	pH ของดินระหว่างการเพาะปลูกสัปดาห์ที่				ค่าเฉลี่ยของ pH ตามตำรับทดลอง
	1	2	3	4	
ควบคุม	7.0	7.0	6.9	6.9	6.95[a]
ปุ๋ยเคมี	6.8	7.0	6.8	6.9	6.88[b]
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	6.8	7.0	6.8	6.9	6.88[b]
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	6.8	6.8	6.7	6.7	6.75[c]
ค่าเฉลี่ยของ pH ตามเวลาเพาะปลูก	6.85[b]	6.95[a]	6.80[b]	6.85[b]	
F - value รวม	3.03*				
F - value ของค่าเฉลี่ยของ pH ตามตำรับทดลอง	7.77*				
F - value ของค่าเฉลี่ยของ pH ตามเวลาเพาะปลูก	5.48*				
% C.V.	1.36				

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งและแถวนอน แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ตามวิธีการของ DMRT

: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ของดินที่ปลูกผักอื่น ๆ (pH ต่ำสุดเท่ากับ 6.4) การที่ปุ๋ยเคมีมีผลทำให้pH ของดินลดต่ำลงมากกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากความเป็นกรดของปุ๋ยเคมีก็เป็นได้ ส่วนการเติมกากตะกอนจะมีผลให้ pH ของดินลดต่ำลงกว่าการเติมปุ๋ยเคมี เมื่อปลูกผักกวางตุ้ง และ pH ของดินที่ปลูกผักบุ้งจีนเท่านั้นที่ลดลงเมื่อเติมกากตะกอนลงดินเพิ่มขึ้นจากอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ pH ของดินต่ำสุดเมื่อเติมกากตะกอนลงดินเท่ากับ 6.6 ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่า pH ของดินต่ำสุดเมื่อเติมปุ๋ยเคมี การที่ pH ของดินที่เติมกากตะกอนลดลงไม่มากเท่ากับดินที่เติมปุ๋ยเคมี อาจเป็นเพราะกากตะกอนที่ใส่ลงดินในการทดลองครั้งนี้มี pH เป็นกลางและอินทรีย์วัตถุในกากตะกอนสามารถส่งเสริมให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง pH ได้ดี (Kuntz et al., 1984 ; Orawan Siriratpiriya et al., 1985) การใส่กากตะกอนจึงมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน

2. ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ของดิน

พิจารณาเปรียบเทียบลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ของดินก่อนทำการทดลองและเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ของดินเมื่อใส่กากตะกอนลงดิน และเพาะปลูกพืชทดลอง ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินสำหรับทดลองต่าง ๆ หลังปลูกผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน แสดงในตารางที่ 22 23 24 และ 25 ตามลำดับ รายละเอียดต่าง ๆ มีดังนี้

2.1 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินหลังปลูกผักคะน้า

จากข้อมูลตารางที่ 22 พบว่า ค่าอินทรีย์วัตถุ แอมโมเนียมไนโตรเจน และไนโตรเจนทั้งหมดของดินหลังปลูกผักคะน้า มีแนวโน้มเพิ่มปริมาณสูงกว่าปริมาณที่มีอยู่ในดินก่อนการทดลอง ส่วนฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มที่จะลดปริมาณลงการเติมกากตะกอนลงดินทั้งสองอัตรามีผลให้อินทรีย์วัตถุในดินสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 22 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินหลังปลูกผักคะน้า

ตำรับทดลอง	ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดิน						
	ซีอีซี (มก.สมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม)	อินทรียวัตถุ (%)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก. ต่อ กก.)	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก. ต่อ กก.)	แอมโมเนียมไนโตรเจน (มก. ต่อ กก.)	ไนเตรตไนโตรเจน (มก. ต่อ กก.)	ไนโตรเจนทั้งหมด (มก. ต่อ กก.)
ควบคุม	22.67	1.86^{a}	187.50	248.67^{a}	61.83	91.00^{b}	301.00^{b}
ปุ๋ยเคมี	20.40	1.59^{b}	190.42	243.33^{ab}	81.67	225.17^{a}	293.81^{b}
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	20.80	1.87^{a}	176.67	209.33^{bc}	63.00	103.83^{b}	306.23^{b}
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	22.43	2.03^{a}	172.08	204.67^{c}	64.17	147.00^{b}	361.67^{a}
F - Value	0.46	11.80*	1.94	4.53*	0.62	6.74*	17.33*
% C.V.	13.51	5.08	5.96	8.16	30.49	28.49	4.10

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งแต่ละแถว แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีการของ DMRT

: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

การเติมกากตะกอนอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่เท่านั้นที่ทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดตกค้างในดินสูงกว่าควบคุมและปุ๋ยเคมี และอัตราเติมกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ไนโตรเจนทั้งหมดตกค้างในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และถึงแม้ว่าดินที่เติมปุ๋ยเคมีจะมีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าดินที่เติมกากตะกอน 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ก็มีปริมาณไม่แตกต่างจากควบคุมและดินที่เติมกากตะกอน 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ มีเพียงไนเตรตไนโตรเจนเท่านั้นที่เมื่อเติมปุ๋ยเคมีแล้วจะมีปริมาณตกค้างสูงกว่าการเติมกากตะกอนทั้งสองอัตราอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวได้ว่า การเติมกากตะกอนลงดินที่ปลูกผักคะน้าจะมีผลให้เฉพาะอินทรีย์วัตถุตกค้างในดินสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมี อัตราเติมกากตะกอน 3,200 กิโลกรัมต่อไร่เท่านั้นที่มีผลให้ไนโตรเจนทั้งหมดตกค้างในดินเพิ่มขึ้น และเป็นการเพิ่มปริมาณการตกค้างในดินตามอัตราการเติมกากตะกอนที่เพิ่มขึ้น ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีจะมีผลให้โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ตกค้างในดินไม่ต่างจากการเติมกากตะกอน 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ส่งผลให้ไนเตรตไนโตรเจนตกค้างในดินสูงกว่าการเติมกากตะกอนทั้งสองอัตรา

2.2 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินหลังปลูกผักกาดหอม

ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินหลังปลูกผักกาดหอมที่แสดงในตารางที่ 23 เป็นดังนี้ ค่า CEC และไนโตรเจนทั้งหมดที่ตกค้างในดินหลังปลูกผักกาดหอมสำรับทดลองต่าง ๆ เท่านั้นที่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ดินหลังปลูกผักกาดหอมสำรับทดลองต่าง ๆ มีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้และไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าปริมาณที่มีอยู่ในดินก่อนทดลอง การเติมกากตะกอนลงดินมีผลให้อินทรีย์วัตถุตกค้างในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราเติมกากตะกอนลงดินเพิ่มขึ้น การเติมปุ๋ยเคมีมีผลให้ดินมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ แอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนตกค้างในดินสูงกว่าการเติมกากตะกอนทั้งสองอัตราอย่างมีนัยสำคัญ แต่ทั้งฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ตกค้างในดินที่เติมปุ๋ยเคมีนี้จะมีปริมาณไม่แตกต่างจากควบคุม และการตกค้างของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่เติมปุ๋ยเคมี กับกากตะกอนทั้งสองอัตรา

ตารางที่ 23 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินหลังปลูกผักกาดหอม

ตำรับทดลอง	ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดิน						
	ซีอีซี (มก.สมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม)	อินทรียวัตถุ (%)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก. ต่อ กก.)	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก. ต่อ กก.)	แอมโมเนียมไนโตรเจน (มก. ต่อ กก.)	ไนเตรตไนโตรเจน (มก. ต่อ กก.)	ไนโตรเจนทั้งหมด (มก. ต่อ กก.)
ควบคุม	21.84	1.60^{c}	2[illegible].00^{a}	232.67^{b}	73.50^{a}	103.83^{b}	285.60
ปุ๋ยเคมี	21.39	1.87^{b}	200.00^{a}	256.67^{ab}	66.50^{a}	283.50^{a}	327.75
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	21.76	1.85^{b}	131.67^{b}	270.00^{ab}	53.67^{b}	94.50^{b}	318.45
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	18.80	2.10^{a}	140.42^{b}	288.67^{a}	57.17^{b}	120.17^{b}	354.85
F - Value	0.38	8.83*	40.83*	4.18*	17.02*	28.65*	3.26
% C.V.	19.40	6.38	6.39	7.61	6.03	19.20	8.53

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งแต่ละแถว แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีการของ DMRT

: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจกล่าวได้ว่า มีเพียงอินทรีย์วัตถุเท่านั้นที่ตกค้างในดินเพิ่มขึ้น เมื่อเติมกากตะกอนลงดินและการเติมปุ๋ยเคมีจะมีผลให้ไนเตรตไนโตรเจนตกค้างในดินสูงกว่าการเติมกากตะกอน

2.3 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินหลังปลูกผักกวางตุ้ง

ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินหลังปลูกผักกวางตุ้ง (ตารางที่ 24) มีเพียงไนโตรเจนทั้งหมดที่ตกค้างในดินสำรับทดลองต่าง ๆ แตกต่างกันทางสถิติ กล่าวคือ ไนโตรเจนทั้งหมดจะตกค้างในดินเพิ่มขึ้นเมื่อใส่กากตะกอนลงดิน และเพิ่มปริมาณการตกค้างอย่างมีนัยสำคัญ ตามอัตราการเติมกากตะกอนที่เพิ่มขึ้น อัตราเติมกากตะกอน 3,200 กิโลกรัมต่อไร่เท่านั้นที่มีไนโตรเจนทั้งหมดตกค้างในดินสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีและควบคุม แสดงว่า การเติมกากตะกอนลงดินมีผลให้ไนโตรเจนทั้งหมดตกค้างในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราเติมกากตะกอน และมีปริมาณตกค้างในดินสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเมื่อเติมกากตะกอนอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ การเติมกากตะกอนและปุ๋ยเคมีไม่มีผลให้ดินมีค่า CEC อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แอมโมเนียมไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจนตกค้างแตกต่างกัน ถ้าพิจารณาเฉพาะค่าตัวเลขจะพบว่า มีเพียงไนโตรเจนทั้งหมดเท่านั้นที่มีแนวโน้มตกค้างในดินสูงกว่าปริมาณที่มีอยู่ในดินก่อนทำการทดลอง ส่วนค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ มีการผันแปรไม่แน่นอน

2.4 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินหลังปลูกผักบุ้งจีน

จากตารางที่ 25 พบว่า โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ตกค้างในดินหลังปลูกผักบุ้งจีนมีปริมาณสูงกว่าปริมาณที่มีอยู่ในดินก่อนทำการทดลอง แต่ฟอสฟอรัสที่ตกค้างในดินหลังปลูกผักบุ้งจีน จะมีปริมาณต่ำกว่าปริมาณที่มีอยู่ในดินก่อนทำการทดลอง จากการทดสอบความแตกต่างของข้อมูลพบว่า มีเพียงอินทรีย์วัตถุตกค้างในดินสำรับทดลองต่าง ๆ เท่านั้นที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การเติมกากตะกอนลงดินอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้อินทรีย์วัตถุตกค้างในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การ

ตารางที่ 24 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินหลังปลูกผักกวางตุ้ง

ตำรับทดลอง	ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดิน						
	ซีอีซี (มก.สมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม)	อินทรียวัตถุ (%)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก. ต่อ กก.)	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก. ต่อ กก.)	แอมโมเนียมไนโตรเจน (มก. ต่อ กก.)	ไนเตรตไนโตรเจน (มก. ต่อ กก.)	ไนโตรเจนทั้งหมด (มก. ต่อ กก.)
ควบคุม	15.68	1.66	141.67	203.33	59.50	87.50	290.64[b]
ปุ๋ยเคมี	18.88	1.78	154.58	224.00	77.00	185.40	297.56[b]
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	36.91	1.58	288.40	222.67	51.40	161.77	327.55[b]
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	19.36	2.22	161.25	208.00	80.50	214.67	362.25[a]
F - Value	1.82	1.44	0.90	0.42	1.09	2.86	7.28*
% C.V.	54.26	22.83	66.82	12.28	34.45	34.33	6.56

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งแต่ละแถว แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีการของ DMRT

: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 25 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินหลังปลูกผักบุ้งจีน

ตำรับทดลอง	ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดิน						
	ซีอีซี (มก.สมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม)	อินทรียวัตถุ (%)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก. ต่อ กก.)	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก. ต่อ กก.)	แอมโมเนียมไนโตรเจน (มก. ต่อ กก.)	ไนเตรตไนโตรเจน (มก. ต่อ กก.)	ไนโตรเจนทั้งหมด (มก. ต่อ กก.)
ควบคุม	20.16	1.67[b]	143.75	225.33	70.00	95.67	265.27
ปุ๋ยเคมี	22.72	1.54[c]	136.25	253.33	67.67	131.83	286.03
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	20.32	1.77[b]	133.75	241.33	82.83	122.50	292.95
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	21.92	2.03[a]	115.83	211.33	78.17	124.83	288.33
F - Value	0.35	27.62*	1.23	1.08	1.63	1.56	1.85
% C.V.	17.18	3.92	13.97	13.14	12.84	18.53	5.51

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งแต่ละแถว แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีการของ DMRT

: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เติมกากตะกอนลงดินอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้อินทรีย์วัตถุตกค้างในดินสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมี แต่ไม่แตกต่างจากควบคุม ดินจะมีอินทรีย์วัตถุตกค้างเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนลงดิน อาจสรุปได้ว่าการเติมกากตะกอนลงดินไม่มีผลให้ดินหลังปลูกผักบุ้งจีนมี CEC ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แอมโมเนียมไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน และไนโตรเจนทั้งหมดตกค้างแตกต่างจากตำรับทดลองอื่น ๆ แต่มีผลให้อินทรีย์วัตถุตกค้างในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราเติมกากตะกอนลงดิน

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ของดินหลังปลูกพืชทดลองแต่ละชนิดมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไป และการเติมกากตะกอนลงดินมีผลให้ลักษณะสมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีของดินบางพารามิเตอร์ แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจนนัก เช่น ดินหลังปลูกพืชทั้งสี่ชนิดมีอินทรีย์วัตถุตกค้างในดินเพิ่มขึ้นเมื่อใส่กากตะกอนลงดิน แต่เมื่อเติมกากตะกอนลงดิน ค่า CEC ของดินหลังปลูกพืชทั้งสี่ชนิดกลับไม่แตกต่างจากค่า CEC ในตำรับทดลองอื่น ๆ และไม่เพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกันกับการตกค้างของอินทรีย์วัตถุในดิน ทั้ง ๆ ที่ค่า CEC ของดินจะเป็นเท่าใดจะขึ้นกับปริมาณและชนิดของอนุภาคดินเหนียว และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า อาจเป็นเพราะอินทรีย์วัตถุในดินที่เพิ่มขึ้นจากการเติมกากตะกอนลงดินยังมีปริมาณไม่สูงพอ หรือการย่อยสลายกากตะกอนยังไม่สมบูรณ์ จึงยังไม่มีผลในการเพิ่มค่า CEC ของดิน หรือพบว่าตำรับทดลองควบคุมบางแปลงทดลอง ซึ่งไม่มีการใส่สิ่งปรับปรุงบำรุงดินใด ๆ กลับมีธาตุอาหารพืชบางอย่างสูง อธิบายได้ว่า เนื่องจากลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินที่ใช้ทดลองค่อนข้างจะมีความอุดมสมบูรณ์สูง เพราะมีการใส่ปุ๋ยและธาตุอาหารเสริมของพืชอยู่เป็นประจำ จึงมีธาตุอาหารพืชตกค้างอยู่ปริมาณสูงก็เป็นได้

อย่างไรก็ตาม หากเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารพืชที่ตกค้างในดินที่ใส่กากตะกอนกับดินที่เติมปุ๋ยเคมี ดินที่เติมกากตะกอนอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ มีแนวโน้มที่จะมีธาตุอาหารต่าง ๆ ตกค้างในดินสูงกว่าดินที่เติมปุ๋ยเคมี และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเป็น

ส่วนใหญ่ ส่วนดินที่เติมกากตะกอน 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ จะมีธาตุอาหารต่าง ๆ ตกค้างในดินไม่แตกต่างจากดินที่เติมกากตะกอน 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ (ยกเว้นเพียงค่าไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังปลูกผักคะน้า และผักกวางตุ้ง) และหากพิจารณาค่าไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียม-ไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจนที่ตกค้างในดินตำรับทดลองต่าง ๆจะพบว่าดินที่เติมกากตะกอนมีสัดส่วนของอินทรีย์ไนโตรเจนตกค้างในดินสูงกว่าอนินทรีย์ไนโตรเจน และมีอินทรีย์ไนโตรเจนสูงกว่าดินตำรับทดลองอื่น ๆ อาจกล่าวได้ว่ากากตะกอนที่ใช้ในการทดลองมีศักยภาพในการเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชได้ยาวนาน เนื่องจากอินทรีย์ไนโตรเจนที่มีปริมาณสูงในกากตะกอนจะถูกย่อยสลายและปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์แก่พืชได้อย่างช้า ๆ Kelling และคณะ (1977) และอรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529) ยังได้เสนอว่า ธาตุอาหารพืชที่ได้จากกากตะกอนที่ใส่ลงในดินสามารถส่งผลตกค้างไปเป็นประโยชน์แก่พืชที่ขึ้นในการเพาะปลูกครั้งถัดไปด้วย

3. โลหะหนักตกค้างในดิน

ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินและในกากตะกอนที่ใช้ในการทดลองจากตารางที่ 4 พบว่า ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณสูงกว่าปริมาณที่มีอยู่ในดินมาก การเติมกากตะกอนลงดินย่อมหมายถึงการเพิ่มโลหะหนักในดิน โลหะหนักที่มีอยู่ในกากตะกอนอาจมีอิทธิพลในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ในลักษณะที่เป็นจุลธาตุอาหารพืช และ/หรือยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชได้เมื่อมีปริมาณมากจนเป็นพิษต่อพืชปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในดินจึงบ่งบอกถึงข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์กากตะกอนให้เป็นไปอย่างปลอดภัยกับดินและสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ได้ ผลการศึกษาโลหะหนักตกค้างในดินหลังปลูกผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีน แสดงในตารางที่ 26 27 28 และ 29 ตามลำดับ รายละเอียดต่าง ๆ มีดังนี้

3.1 โลหะหนักตกค้างในดินหลังปลูกผักคะน้า

โลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ตกค้างในดินหลังปลูกผักคะน้า (ตารางที่ 26)

ตารางที่ 26 ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.) ในดินหลังปลูกผักคะน้า

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.)						
	ตะกั่ว	แคดเมียม	นิเกิล	ทองแดง	แมงกานีส	สังกะสี	เหล็ก
ควบคุม	2.40	Trace	0.77	2.47^{ab}	20.27	7.13^{b}	36.80
ปุ๋ยเคมี	1.87	Trace	0.81	1.99^{b}	22.93	7.07^{b}	60.93
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	2.13	0.06	0.77	3.08^{a}	23.20	12.53^{b}	51.47
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	2.20	0.07	0.83	1.08^{b}	21.60	27.73^{a}	44.80
F - Value	0.81	1.00	0.12	5.23*	0.11	11.95*	0.69
% C.V.	19.72	12.89	18.24	36.78	32.38	35.88	43.89

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งแต่ละแถว แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีการของ DMRT

: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เป็นดังนี้ นิเกิลและมังกานีสมีแนวโน้มที่จะตกค้างในดินตำรับทดลองต่าง ๆ สูงกว่าปริมาณที่มีอยู่ในดินก่อนทำการทดลอง แต่ปริมาณทองแดงและเหล็กที่ตกค้างในดินมีแนวโน้มลดปริมาณลง ทองแดงและสังกะสีที่ตกค้างในดินตำรับทดลองต่าง ๆ เท่านั้นที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การเติมกากตะกอนลงดินอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้ทองแดงตกค้างในดินสูงกว่าดินที่เติมกากตะกอนอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมี แต่ไม่สูงกว่าควบคุม และการเติมกากตะกอนอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่เท่านั้น ที่มีผลให้สังกะสีตกค้างในดินเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราเติมกากตะกอน อาจจะสรุปได้ว่าการเติมกากตะกอนลงดินอัตรา 3,200 กิโลกรัมต่อไร่เท่านั้น ที่มีผลให้สังกะสีตกค้างในดินสูงกว่าควบคุมและปุ๋ยเคมี การเติมกากตะกอนอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลให้เฉพาะทองแดงตกค้างในดินสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมี และการเติมกากตะกอนทั้งสองอัตราไม่มีผลให้ตะกั่ว แคดเมียม นิเกิล มังกานีส และเหล็กตกค้างในดินหลังปลูกผักตะบ้าแตกต่างจากตำรับทดลองอื่น ๆ แต่อย่างใด

3.2 โลหะหนักตกค้างในดินหลังปลูกผักกาดหอม

โลหะหนักตกค้างในดินหลังปลูกผักกาดหอมที่แสดงในตารางที่ 27 ปรากฏว่า แคดเมียมมีการตกค้างในดินน้อยมากจนไม่สามารถระบุปริมาณได้ ตะกั่ว ทองแดง และเหล็กที่ตกค้างในดินตำรับทดลองต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ นิเกิลและมังกานีสที่ตกค้างในดินที่เติมกากตะกอนทั้งสองอัตรามีค่าต่ำกว่าปริมาณที่ตกค้างในดินที่เติมปุ๋ยเคมีและควบคุม แต่การเติมกากตะกอนทั้งสองอัตรามีผลให้สังกะสีตกค้างในดินสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีและควบคุม และการตกค้างของสังกะสีในดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราเติมกากตะกอน กล่าวได้ว่า กากตะกอนที่เติมลงดินมีผลให้สังกะสีตกค้างในดินหลังปลูกผักกาดหอมเพิ่มขึ้นตามอัตราเติมกากตะกอน และมีผลให้นิเกิลและมังกานีสตกค้างในดินน้อยกว่าปุ๋ยเคมี แต่ไม่มีผลให้ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และเหล็ก ตกค้างในดินแตกต่างจากตำรับทดลองอื่น ๆ

3.3 โลหะหนักตกค้างในดินหลังปลูกผักกวางตุ้ง

การตกค้างของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในดินหลังปลูกผักกวางตุ้ง

ตารางที่ 27 ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.) ในดินหลังปลูกผักกาดหอม

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.)						
	ตะกั่ว	แคดเมียม	นิเกิล	ทองแดง	สังกะสี	สังกะสี	เหล็ก
ควบคุม	2.13	Trace	1.03[a]	1.98	21.73[b]	6.60[c]	71.47
ปุ๋ยเคมี	2.00	Trace	1.06[a]	1.83	26.47[a]	10.13[c]	44.93
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	1.20	Trace	0.62[b]	4.11	17.87[c]	22.80[b]	33.87
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	Trace	Trace	0.67[b]	3.99	19.80[bc]	32.67[a]	38.00
F - Value	0.56	-	17.77*	3.13	14.84*	18.24*	0.63
% C.V.	109.19	-	11.21	40.79	7.73	26.93	78.64

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งแต่ละแถว แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีการของ DMRT

: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

(ตารางที่ 28) มีรายละเอียดดังนี้ ตำรับทดลองต่าง ๆ ของดินหลังปลูกผักกวางตุ้ง มีแคดเมียม นิเกิล และมังกานีสตกค้างในดินเพิ่มขึ้น และมีตะกั่วและเหล็กตกค้างในดินลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในดินก่อนทดลอง นิเกิลและสังกะสีที่ตกค้างในดินตำรับทดลองต่าง ๆ เท่านั้นที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การเติมกากตะกอนลงดินทั้งสองอัตรา มีผลให้นิเกิลและสังกะสีตกค้างในดินเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณนิเกิลและสังกะสีตกค้างในดินที่เติมกากตะกอนอัตรา 1,600 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณไม่แตกต่างกับปริมาณที่ตกค้างในดินที่เติมปุ๋ยเคมี นั่นหมายถึงว่า ดินหลังปลูกผักกวางตุ้ง มีตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง มังกานีส และเหล็กตกค้างในตำรับทดลองต่าง ๆ ไม่แตกต่างกัน การเติมกากตะกอนลงดินเฉพาะอัตราเติม 3,200 กิโลกรัมต่อไร่เท่านั้น ที่ทำให้นิเกิลและสังกะสีตกค้างในดินสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีและควบคุมและอัตราเติมกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลให้โลหะหนักชนิดต่าง ๆ ตกค้างในดินเพิ่มขึ้น แต่เป็นที่น่าสังเกตุว่า ตัวเลขของปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ตกค้างในดินตำรับทดลองที่เติมกากตะกอน 3,200 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าสูงกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ มาก แต่ไม่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.4 โลหะหนักตกค้างในดินหลังปลูกผักบุ้งจีน

จากตารางที่ 29 จะเห็นได้ว่าโลหะหนักที่ตกค้างในดินหลังปลูกผักบุ้งจีนตำรับทดลองต่าง ๆ ส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีเพียงสังกะสีเท่านั้นที่มีการตกค้างในตำรับทดลองต่าง ๆ แตกต่างกันทางสถิติ ปริมาณตะกั่วและเหล็กที่ตกค้างในดินมีแนวโน้มลดลง ส่วนปริมาณแคดเมียมและนิเกิลที่ตกค้างในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในดินก่อนทำการทดลอง การเติมกากตะกอนลงดินทั้งสองอัตรา มีผลให้สังกะสีตกค้างในดินเพิ่มขึ้น และสังกะสีจะตกค้างในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอนที่เพิ่มขึ้น กล่าวได้ว่า การเติมกากตะกอนลงดินไม่มีผลให้ตะกั่ว แคดเมียม นิเกิล ทองแดง มังกานีสและเหล็กตกค้างในดินแตกต่างจากตำรับทดลองอื่น ๆ แต่มีผลให้สังกะสีตกค้างในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราเติมกากตะกอนที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 28 ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.) ในดินหลังปลูกผักกวางตุ้ง

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.)						
	สะกั่ว	แคดเมียม	นิเกิล	ทองแดง	แมงกานีส	สังกะสี	เหล็ก
ควบคุม	1.60	Trace	0.71^{c}	2.79	21.33	8.80^{b}	40.53
ปุ๋ยเคมี	1.60	0.10	0.86^{bc}	2.30	26.07	8.93^{b}	46.40
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	1.47	0.12	0.98^{ab}	3.30	23.67	20.33^{ab}	54.70
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	1.60	0.11	1.13^{a}	4.37	30.07	39.07^{a}	63.07
F - Value	0.07	0.06	6.17*	0.98	2.50	5.06*	2.19
% C.V.	27.03	63.92	13.54	48.54	16.14	56.91	22.50

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งแต่ละแถว แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีการของ DMRT

: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 29 ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.) ในดินหลังปลูกผักบุ้งจีน

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.)						
	สะกั่ว	แคดเมียม	นิเกิล	ทองแดง	แมงกานีส	สังกะสี	เหล็ก
ควบคุม	1.47	0.27	0.76	3.57	16.40	7.33^{c}	43.87
ปุ๋ยเคมี	1.20	0.23	0.61	3.49	10.05	4.26^{c}	51.20
กากตะกอน 1,600 กก.ต่อไร่	1.20	0.26	1.04	3.18	18.73	16.80^{b}	47.73
กากตะกอน 3,200 กก.ต่อไร่	1.47	0.25	0.83	4.41	18.00	29.20^{a}	43.60
F - Value	0.64	0.15	1.34	0.33	2.76	35.94*	0.22
% C.V.	21.92	30.58	32.80	42.93	26.06	22.51	28.46

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวตั้งแต่ละแถว แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามวิธีการของ DMRT

: * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า โลหะหนักที่ไม่เป็นจุลธาตุอาหารพืชทั้ง 3 ชนิด (ตะกั่ว แคดเมียม และนิเกิล) มีปริมาณตกค้างในดินน้อยกว่าโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหารพืช (ทองแดง มังกานีส สังกะสี และเหล็ก) โลหะหนักต่าง ๆ ทั้ง 7 ชนิด ที่ตกค้างในดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองส่วนใหญ่ คือ แคดเมียม นิเกิล มังกานีส และสังกะสี จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในดินก่อนทำการทดลอง มีเพียงเหล็กเท่านั้นที่มีแนวโน้มที่จะลดปริมาณลง ส่วนตะกั่วและทองแดงมีปริมาณผันแปรไม่แน่นอน การใส่กากตะกอนลงดินมีผลให้สังกะสีตกค้างในดินที่ปลูกผักทั้งสี่ชนิดเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดกว่าการตกค้างของโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ในดิน และมีปริมาณตกค้างในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอนลงดิน หากเปรียบเทียบโลหะหนักตกค้างในดินหลังปลูกพืชทดลองแต่ละชนิดในตำรับทดลองที่เติมกากตะกอนอัตรา 3,200 กิโลกรัม/ไร่ ดินแปลงทดลองที่มีปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ตกค้างสูงและมากชนิดเรียงตามลำดับได้ดังนี้ ดินแปลงทดลองที่ปลูกผักกวางตุ้ง ผักบุ้งจีน ผักคะน้า และผักกาดหอม

เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองนี้กับปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในดินเกษตรกรรมของประเทศต่าง ๆ ที่ Webber และคณะ (1984) ได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 30 จะพบว่า โลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ตกค้างในดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ดังกล่าว แต่หากเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักโดยทั่วไปที่ยอมให้มีได้ในดินเกษตรกรรมของประเทศเยอรมันและอังกฤษจากตารางที่ 8 จะพบว่า โลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ตกค้างในดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณน้อยมาก มีเพียงสังกะสีเท่านั้นที่มีปริมาณตกค้างในดินสูงกว่าเกณฑ์ของประเทศอังกฤษ แต่ไม่สูงกว่าเกณฑ์ของประเทศเยอรมัน

ตารางที่ 30 ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.) สูงสุด ที่ยอมรับให้มีได้ในดินเกษตรกรรมของประเทศต่าง ๆ (Webber et al., 1984)

ประเทศ	ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.)						
	สะกั๋ว	แคดเมียม	นิเกิล	ทองแดง	มังกานีส	สังกะสี	เหล็ก
ฝรั่งเศส	100	2	50	100	-	300	-
เยอรมัน	100	3	50	100	-	300	-
อังกฤษ	550	3.5	35	140	-	280	-
กลุ่มประชาคมยุโรป (CEC Directive)	100	3	50	100	-	300	-

หมายเหตุ : - เท่ากับไม่ได้เสนอตัวเลข