บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ลักษณะสมบัติของกากตะกอน และลักษณะสมบัติของดินในพื้นที่ทดลองก่อนการเพาะปลูก

1. ลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอน และดินก่อนการเพาะปลูก

ตารางที่ 6 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนและดินก่อนการเพาะปลูก

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	กากตะกอน	ดิน
พีเอช	7.00	7.10
อินทรียวัตถุ (เปอร์เซนต์)	21.16	1.88
อินทรียคาร์บอน (เปอร์เซนต์)	12.27	1.09
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (meg/100 กรัมดิน)	-	20.64
แอมโมเนียมไนโตรเจน (มก./กก.)	1,158.00	59.50
ไนเตรตไนโตรเจน (มก./กก.)	308.00	115.50
ไนโตรเจนทั้งหมด (มก./กก.)	19,237.60 (1.92 %)	269.88 (0.026 %)

ตารางที่ 6 (ต่อ) ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนและดินก่อนการเพาะปลูก

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	กากตะกอน	ดิน
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก./กก.)	245.83	197.50
โปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)	440.00	209.00
ปริมาณโลหะหนัก (มก./กก.)		
สังกะสี	4.00	2.40
แคดเมียม	0.50	trace
ทองแดง	28.60	3.52
นิเกิล	7.54	0.56
แมงกานีส	246.00	11.00
สังกะสี	850.00	9.40
เหล็ก	576.00	95.20

หมายเหตุ meg/100 กรัมดิน หมายถึง มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม

ค่าพีเอชของกากตะกอนมีค่าประมาณ 7.0 และพีเอชของดินมีค่าประมาณ 7.1 (ตารางที่ 6) พีเอชทั้งของดินและกากตะกอนอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง โดยเฉพาะค่าพีเอชของดินจัดว่าเป็นด่าง ซึ่งอยู่ในช่วงที่พืชส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้ดี ดังที่ สมภพ รัตนาสันต์ (2527) กล่าวว่า ค่าพีเอชประมาณ 6.5 - 7.5 เป็นช่วงที่ธาตุอาหารต่าง ๆ จะเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชผักได้ดีที่สุด ผักคะน้าและผักกาดหอมที่ใช้เป็นพืชทดลองครั้งนี้ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงของพีเอชที่ต่างกันดังนี้ ผักกาดหอมจะเจริญเติบโต

ได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 6.8-6.0 ส่วนผักคะน้าจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 6.8-5.5 ดังนั้นการนำพืชทั้ง 2 ชนิดมาเพาะปลูกในพื้นที่ทดลอง จึงไม่น่าจะก่อให้เกิดความผิดปกติใด ๆ อันมีสาเหตุเนื่องมาจากค่าพีเอชของดินที่ใช้ทำการทดลองครั้งนี้ เพราะอยู่ในช่วงที่จัดว่าเหมาะสม

อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนของอินทรียวัตถุ (C/N ratio) มีผลต่อการสร้างส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์จุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการไนโตรเจนในปริมาณที่ค่อนข้างสูงเนื่องสร้างสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (nitrogenous compound) เป็นต้นว่า กรดอะมิโน โปรตีน กรดนิวคลีอิค ฯลฯ ปริมาณของไนโตรเจนที่พอเหมาะต่อการสร้างเซลล์ใหม่หรือการเจริญของจุลินทรีย์ เมื่อคิดเทียบกับปริมาณของคาร์บอนที่เรียกว่า "C/N ratio" นั้นจะมีค่าประมาณ 10 : 1 ดังนั้นหากอินทรียวัตถุที่จุลินทรีย์ทำการย่อยสลาย เป็นชนิดที่มีไนโตรเจนต่ำ หรือ C/N ratio สูงกว่า 10 : 1 การสลายตัวจะเป็นไปได้ช้า หรือต้องมีการดึงไนโตรเจนจากดินมาใช้ (nitrogen immobilization) เป็นผลให้ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง การสลายตัวของอินทรียวัตถุจะเป็นไปได้ดี ก็ต่อเมื่ออินทรียวัตถุมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C/N ratio) ประมาณ 10 : 1 หรือต่ำกว่านั้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530 ก) เมื่อพิจารณาค่าอินทรียคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดจากตารางที่ 6 สามารถคำนวนค่า อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C/N ratio) ของดินก่อนการเพาะปลูกได้เท่ากับ 40 : 1 นั่นหมายถึงว่าดินก่อนการเพาะปลูกมีไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในปริมาณที่ต่ำ และอาจไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชได้

ปริมาณอินทรียวัตถุของดินก่อนการเพาะปลูก มีค่าเท่ากับ 1.88 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 6) เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยการพิจารณาจาก

ปริมาณอินทรียวัตถุของกรมพัฒนาที่ดิน (2524) ที่เสนอว่า ดินที่มีอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 1.0-2.5 เปอร์เซนต์ จัดเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ในเกณฑ์ต่ำ-ปานกลาง จึงอาจเป็นอุปสรรคในการเพาะปลูกพืชได้

การเติมกากตะกอน ซึ่งมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C/N ratio) ประมาณ 6.4 : 1 (ตารางที่ 6) จึงน่าจะมีส่วนในการเพิ่มไนโตรเจนให้แก่ดิน และช่วยเพิ่มไนโตรเจนที่มีความจำเป็นต่อพืชทดลองไม่ให้ขาดแคลน ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในกากตะกอน (ตารางที่ 6) มีค่าเท่ากับ 21.16 เปอร์เซนต์ ดังนั้น การเติมกากตะกอนลงดิน ย่อมมีส่วนช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุในดิน

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้ในดิน มีค่าเท่ากับ 197.50 มก./กก. และในกากตะกอนมีค่าเท่ากับ 245.83 มก./กก. (ตารางที่ 6) ค่าดังกล่าวโดยเฉพาะในดินนั้น เมื่อเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2530 ก) กล่าวว่า หากดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากกว่า 17 มก./กก. ถือว่ามีฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณสูง ในทางปฏิบัติจึงไม่ควรใส่ปุ๋ยจากเกณฑ์ดังกล่าว เมื่อพิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสจากดินและกากตะกอนก็มีมากเพียงพอ และไม่น่าจะก่อให้เกิดความผิดปกติดันใดเนื่องมาจากการขาดแคลนธาตุดังกล่าว

โปแตสเซียมที่พืชสามารถดูดถึงไปใช้ประโยชน์ได้นั้น ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) จากการวิเคราะห์ค่าของโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในดินและจากตะกอน พบว่ามีค่าเท่ากับ 209.00 มก./กก. และ 440.00 มก./กก. ตามลำดับ (ตารางที่ 6) ค่าดังกล่าวจัดว่าสูงเมื่อเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้โดยคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2530 ก) ว่า หากมีปริมาณโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มากกว่า 125 มก./กก. ไม่ควรใส่ปุ๋ยที่มีโปแตสเซียมในการเพาะปลูก ดังนั้น ในการเพาะปลูกครั้งนี้ โอกาสของการเกิดภาวะขาดแคลน

โปแตสเซียมที่เป็นประโยชน์ของพืชทดลองจึงน่าจะไม่เกิดขึ้น เนื่องจากในดินและกากตะกอนมีโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณที่สูง

โดยปกติความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินทรายจะอยู่ในช่วง 5 ถึง 10 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม ดินร่วนจะมีค่าอยู่ในช่วง 10 ถึง 20 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม และดินเหนียวจะมีค่าสูงกว่า 20 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัมขึ้นไป (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530 ง) จากตัวอย่างดินที่นำมาวิเคราะห์ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) พบว่ามีค่าเท่ากับ 20.64 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม ค่าดังกล่าวจัดจำแนกดินอยู่ในจำพวกดินเหนียว เนื่องจากดินเหนียวจะมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกประมาณมากกว่า 20 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกนี้ หากดินใดมีค่ามากก็แสดงถึงแนวโน้มที่จะมีความอุดมสมบูรณ์สูงกว่าดินที่มีค่าดังกล่าวนี้น้อย

โลหะหนักแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่เป็นจุลธาตุอาหารที่มีความสำคัญของพืช เช่น เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี แต่ก็มีโลหะหนักอีกประเภทที่ไม่เป็นจุลธาตุอาหาร ตลอดทั้งเป็นพิษต่อสิ่งที่มีชีวิต เช่น แคดเมียม นิเกิล ตะกั่ว เป็นต้น กรณีการปนเปื้อนของโลหะหนักนั้น Chaney (1973) ได้เสนอไว้ว่า กากตะกอนใดมีปริมาณความเข้มข้นของสังกะสี > 2,000 มก./กก. ทองแดง > 800 มก./กก. นิเกิล > 100 มก./กก. และแคดเมียม > 0.5 เปอร์เซนต์ ของปริมาณความเข้มข้นของสังกะสี กากตะกอนนั้นไม่สมควรนำมาใช้ในทางการเกษตร กากตะกอนที่นำมาทดลองมีค่าโลหะหนักต่าง ๆ ไม่เกินค่าที่กำหนดไว้คือ มีสังกะสี 850 มก./กก. ทองแดง 28.60 มก./กก. และแคดเมียม 0.50 มก./กก. หรือมาณ 0.06 เปอร์เซนต์ของปริมาณความเข้มข้นสังกะสีเท่านั้น (ตารางที่ 6) นอกจากนี้แล้ว เมื่อคำนึงถึงความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนัก ที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใช้ในทางการเกษตรของประเทศต่าง ๆ ที่รวบรวมโดย

Webber และคณะ (1984) (ตารางที่ 7) พบว่าค่าความเข้มข้นโลหะหนักของกากตะกอน คือ สังกะสี ดังปรากฏในตารางที่ 6 นั้น ยัง มีค่าต่ำกว่ามาก (ยกเว้นเหล็กซึ่งไม่ได้เสนอตัวเลขไว้) ดังนั้นกากตะกอนจากโรงบำบัด น้ำเสีย ชุมชนจึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้

ตารางที่ 7 ค่าความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนัก (มก./กก.) ที่ยอมรับให้มีในกากตะกอน ที่ใส่ในพื้นที่การเกษตรประเทศต่าง ๆ (Webber et al., 1984)

โลหะหนัก / ประเทศ	สังกะสี	นิเกิล	ทองแดง	แมงกานีส	แคดเมียม	เหล็ก
เบลเยี่ยม	300	10	100	500	500	2,000	-
แคนาดา	500	20	180	-	-	1,850	-
เดนมาร์ค	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	-

ตารางที่ 7 (ต่อ) ค่าความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนัก (มก./กก.) ที่ยอมรับให้มีในกากตะกอนที่ใส่ในพื้นที่การเกษตรประเทศต่าง ๆ (Webber et al., 1984)

โลหะหนัก / ประเทศ	ตะกั่ว	แคดเมียม	นิเกิล	ทองแดง	แมงกานีส	สังกะสี	เหล็ก
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 ช่องที่มีเครื่องหมาย - คือ ไม่ได้เสนอตัวเลขไว้

ปริมาณวิกฤตต่ำสุดของโลหะหนักบางชนิดที่เป็นจุลธาตุอาหารในดิน ซึ่งบ่งบอกถึงความเพียงพอกับความต้องการในการเจริญเติบโตของพืชที่ Davies (1980) เสนอไว้ คือ เหล็ก 4.5 มก./กก. แมงกานีส 1 มก./กก. ทองแดง 0.2 มก./กก. และสังกะสี 2.5 มก./กก. เมื่อพิจารณาดินก่อนการเพาะปลูก พบว่ามีเหล็กเท่ากับ 95.2 มก./กก. แมงกานีส 11.0 มก./กก. ทองแดง 3.52 มก./กก. และสังกะสี 9.4 มก./กก. ซึ่งเป็นปริมาณที่มากเพียงพอต่อความต้องการของพืช สำหรับโลหะหนักที่ไม่เป็นจุลธาตุอาหาร อีกทั้งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตนั้น จากการวิเคราะห์ดินที่ใช้ในการทดลอง พบว่ามีปริมาณนิเกิล 0.56 มก./กก. ตะกั่ว 2.40 มก./กก. และ

มีปริมาณแคดเมียมน้อยมากจนตรวจไม่พบ ค่าดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับค่าของโลหะหนักที่ยอมรับให้ปนเปื้อนได้ในดินของประเทศอังกฤษ คือ มีปริมาณของนิเกิล 1.0 มก./กก. สะกั่ว 50 มก./กก. และแคดเมียมเท่ากับ 1.0 มก./กก. (Webber et al., 1984) แล้วนั้น จึงกล่าวได้ว่าดินก่อนการเพาะปลูกนี้ ยังมีการปนเปื้อนของโลหะหนักดังกล่าวอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก

2. ลักษณะสมบัติทางกายภาพของดินก่อนการเพาะปลูก

ลักษณะสมบัติทางกายภาพของดิน ดังปรากฏค่าที่วิเคราะห์ได้ในตารางที่ 8 จะเห็นว่าเนื้อดินในพื้นที่ทดลองมีอัตราส่วนของ ทราย : ซิลท์ : ดินเหนียว เท่ากับ 19 : 30 : 51 ตามลำดับ ค่าที่ได้นี้เมื่อนำมาเทียบตามไดอะแกรมสามเหลี่ยมแสดงประเภทเนื้อดิน พบว่าดินในพื้นที่ทดลองเป็นประเภทดินเหนียว (clay soil) จึงมีความสอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางเคมี โดยอาศัยค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของดินเป็นเกณฑ์ ดังที่ได้อธิบายแล้วในหัวข้อที่ 1

ความหนาแน่นของดินพอเป็นแนวทางบ่งชี้ได้ว่า ดินนั้น ๆ มีอินทรียวัตถุน้อยหรือมาก เช่น ดินที่มีความหนาแน่นอนุภาคต่ำกว่า 2.0 กรัม/มล. จะมีอินทรียวัตถุมาก อาจเป็นดินอินทรีย์ ถ้าความหนาแน่นอนุภาคมีค่าประมาณ 2.0 กรัม/มล. หรือ มากกว่า จะเป็นดินแร่ที่ใช้ในการเกษตรกรรมทั่ว ๆ ไป ซึ่งจะมีอินทรียวัตถุต่ำกว่า 5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก และถ้าความหนาแน่นอนุภาคมากกว่า 3.0 กรัม/มล. ขึ้นไป ดินนั้นจะประกอบด้วยแร่ที่มีความหนาแน่นสูง เช่น แร่เหล็กต่าง ๆ เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530 ข)

ความหนาแน่นอนุภาคของดิน (Particle density, Ds) ในพื้นที่ทดลองมีค่าเท่ากับ 2.40 กรัม/มล. (ตารางที่ 8) จึงจัดเป็นดินแร่ที่ใช้ในการเกษตรกรรมทั่ว ๆ ไป ค่าความหนาแน่นรวม (Bulk density, Db) ของดินก่อนเพาะปลูก มีค่าเท่ากับ 1.98

I1A55t856

กรัม/มล. (ตารางที่ 8) ค่าความหนาแน่นรวมนี้ ยังไม่มีเกณฑ์กำหนดไว้ เนื่องจากจะแตกต่างกันไปตามกิจกรรมในแต่ละพื้นที่ และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้เป็นผลมาจากน้ำหนักของเครื่องมือ เครื่องจักรกลการเกษตร การเหยียบย่ำของเกษตรกรหรือสัตว์ต่าง ๆ ที่ใช้ในขณะทำการเพาะปลูก อย่างไรก็ดีหากจะเปรียบเทียบกับดินชนิดต่าง ๆ ค่าที่วัดได้ก็เพียงบ่งบอกให้ทราบว่า ดินมีการอัดตัวของอนุภาคต่างกันอย่างไร โดยดินที่มีค่านี้มากก็จะมีการอัดตัวของอนุภาคดินมากกว่าดินที่มีค่าความหนาแน่นรวมน้อย การอัดตัวที่มากของอนุภาคดินจะทำให้การชอนไชของรากถูกจำกัด รวมทั้งการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างบรรยากาศและดิน ซึ่งจะมีผลจำกัดการหายใจของรากด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530 ก)

โดยทั่วไปแล้วในดินจะมีช่องว่างซึ่งเป็นที่อยู่ของน้ำและอากาศ การอัดตัวของอนุภาคดินจะบ่งบอกถึงปริมาณช่องว่าง ดินชั้นบนที่มีเนื้อหยาบจะมีช่องว่างทั้งหมด 35-50 เปอร์เซนต์ แต่ถ้าเป็นดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีช่องว่างทั้งหมดอยู่ในช่อง 40-60 เปอร์เซนต์ ส่วนดินชั้นล่างที่อัดตัวแน่นอาจมีช่องว่างทั้งหมดเพียง 25-30 เปอร์เซนต์ จากการคำนวนหาความพรุนรวม (Total porosity, E) ของดินก่อนทำการเพาะปลูก พบว่ามีค่าประมาณ 18 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ 8) จัดว่าเป็นดินที่มีการอัดตัวสูง ทั้งนี้อาจเป็นผลอันเนื่องมาจากพื้นที่ทดลองเดิม มีการใช้รถตราดซึ่งมีน้ำหนักมากในการไถพรวนดิน ประกอบกับการเก็บตัวอย่างดินก่อนการเพาะปลูกนั้น กระทำเมื่อสิ้นสุดการเพาะปลูกพืชผักของเกษตรกร ดินซึ่งผ่านกิจกรรมต่าง ๆ ของเกษตรกรมาเป็นระยะเวลานาน จึงอาจมีการอัดตัวสูงกว่าดินในภาวะทั่ว ๆ ไป ทำให้ค่าความพรุนที่วัดได้ค่อนข้างต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้

ตารางที่ 8 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของดินก่อนการเพาะปลูก

ลักษณะสมบัติทางกายภาพ	ดินทดลอง
เนื้อดิน (Soil Texture)	
ทราย (Sand) (เปอร์เซนต์)	19
ซิลท์ (Silt) (เปอร์เซนต์)	30
ดินเหนียว (Clay) (เปอร์เซนต์)	51
ความหนาแน่นดิน (Soil Density)	
ความหนาแน่นอนุภาค (Particle density, Ds) (กรัม/มล.)	2.40
ความหนาแน่นรวม (Bulk density, Db) (กรัม/มล.)	1.98
ความพรุนของดิน (Soil Porosity, E) (เปอร์เซนต์)	18

ผลผลิตของผักคะน้าและผักกาดหอม

การวัดการเจริญเติบโตของพืชผักโดยทั่วไป ดัชนีที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะบอกถึงความสามารถในการเจริญเติบโตของพืช คือ น้ำหนักของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่ง "น้ำหนักแห้ง" (dry weight) จากข้อมูลผลผลิตเฉลี่ยในการเพาะปลูกผักของฝ่ายวิเคราะห์ข้อมูลส่งเสริมการเกษตร กองแผนงานและโครงการพิเศษ กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่าผลผลิตเฉลี่ยในการเพาะปลูกผัก พื้นที่จังหวัดปทุมธานีของผักคะน้า (ปี พ.ศ. 2531/2532) และผักกาดหอม (ปี พ.ศ.2530/2531) (ปี พ.ศ.2531/2532 ไม่มีข้อมูล)

เป็น 1,442 และ 1,049 กก./ไร่ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่า ผลผลิตผักคะน้า (น้ำหนักแห้ง) จากการเติมกากตะกอนและการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ พบว่าผลผลิตต่ำสุดได้จากการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 กก./ไร่ และผลผลิตสูงสุดได้จากการเติมกากตะกอน ผลผลิตที่ได้มีค่าเท่ากับ 340 และ 412 กก./ไร่ ตามลำดับ หรือคิดเป็นน้ำหนักสดประมาณเท่ากับ 3,778 และ 4,578 กก./ไร่ ตามลำดับ (ความชื้นเฉลี่ยในผักคะน้าเท่ากับ 91 เปอร์เซนต์) ส่วนผลผลิตผักกาดหอม (น้ำหนักแห้ง) จากการเติมกากตะกอนและการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ พบว่าผลผลิตผักกาดหอมต่ำสุดได้จากการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 1,280 กก./ไร่ และผลผลิตสูงสุดได้จากการเติมกากตะกอน ผลผลิตที่ได้มีค่าเท่ากับ 141.3 และ 354.0 กก./ไร่ ตามลำดับ หรือคิดเป็นน้ำหนักสดประมาณเท่ากับ 2,826 และ 7,080 กก./ไร่ ตามลำดับ (ความชื้นเฉลี่ยในผักกาดหอมเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์) จากข้อมูลดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ผลผลิตที่ได้รับจากการเพาะปลูกผักทั้ง 2 ชนิด มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยอยู่เป็นอันมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมกากตะกอน ณ อัตราเติม 3,200 กก./ไร่ และการเติมกากตะกอนอัตราเติม 3,200 กก./ไร่ ร่วมกับแกลบ อัตรา 320 640 960 และ 1,280 กก./ไร่ นั้น ทำให้พืชทั้ง 2 ชนิด สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงกว่าค่าเฉลี่ยของกรมส่งเสริมการเกษตรอยู่เป็นอันมาก

การเพาะปลูกผักในการทดลองครั้งนี้ กระทำในช่วงปลายฤดูหนาว - ต้นฤดูร้อน (เดือนมกราคม - มีนาคม) ซึ่งเป็นช่วงที่ผักจะสามารถเจริญเติบโตได้ดี ประกอบกับเกษตรกรผู้ดูแลเพาะปลูก เป็นผู้ซึ่งมีความชำนาญในการเพาะปลูกผักอยู่ก่อนแล้ว จึงทำให้ผลผลิตที่ได้ค่อนข้างสูง ดังนั้นเมื่อนำผลผลิตที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลของกรมส่งเสริมการเกษตร จึงมีความแตกต่างกันมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผลผลิตของกรมส่งเสริมการเกษตร เป็นค่าเฉลี่ยผลผลิตผักตลอดทั้งปี ผลผลิตที่ได้จึงมีความแตกต่างกันไปอันเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ฤดูกาล อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น อย่างไรก็ดี

การพิจารณาในเรื่องผลผลิตนี้ ย่อมไม่ได้หมายถึงการพิจารณาที่น้ำหนักของผักเพียงอย่างเดียว เพราะยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีก เช่น สีสันของผัก ความสมบูรณ์ทางสรีระของพืช เป็นต้น ซึ่งจากการทดลองพบว่าผักที่ใช้ทดลองทั้ง 2 ชนิด มีสีสันและความสมบูรณ์ทางสรีระของพืช เป็นที่พึงพอใจของเกษตรกรผู้ดูแล ดังปรากฏในภาพที่ 5-18

โดยภาพรวมแล้ว หากพิจารณาเฉพาะผลผลิตของผักทั้ง 2 ชนิด จะพบว่า การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบในทุกอัตราไม่ทำให้ผลผลิตของผักคะน้าแตกต่างไปจากการเติมกากตะกอนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามตำรับทดลอง แต่การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ จะมีผลทำให้ผลผลิตของผักกาดหอมฉดลงกว่าการเติมกากตะกอนเพียงอย่างเดียว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเติมแกลบลงไปร่วมกับกากตะกอนนั้น ไม่มีผลในทางเพิ่มผลผลิตของพืชที่ใช้ทดลองทั้ง 2 ชนิด ให้สูงกว่าการเติมกากตะกอน

เพื่อให้เกิดความสะดวกในการอ่านและการสื่อความหมาย จึงขอใช้คำย่อดังต่อไปนี้ คือ

ใช้คำว่า ควบคุม แทนตำรับทดลองควบคุม (Control)

ใช้คำว่า ปุ๋ยเคมี แทนตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมี

ใช้คำว่า กากตะกอน แทนตำรับทดลองเติมกากตะกอนที่อัตรา 3,200 กก./ไร่

ใช้คำว่า กากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 640 960 และ 1,280 กก./ไร่ แทนตำรับทดลองเติมกากตะกอน 3,200 กก./ไร่ ร่วมกับแกลบที่อัตรา 320 640 960 และ 1,280 กก./ไร่

1. ผลผลิตของผักคะน้า

จากตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่าผลผลิตของผักคะน้าในแต่ละตำรับทดลองนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลผลิตที่สูงที่สุดได้จากการเติมกากตะกอน ผลผลิตที่ได้มีค่าตัวเลขของผลผลิตสูงกว่าปุ๋ยเคมี ค่าตัวเลขของผลผลิตต่ำสุด คือ ควบคุม ในส่วนของการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบอัตรา 320 640 960 และ 1,280 กก./ไร่ นั้น เนื่องจากค่าตัวเลขที่ได้ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า ความแตกต่างของปริมาณแกลบที่เติมลงไป ไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างของผลผลิตอย่างมี นัยสำคัญ และไม่แตกต่างกับการเติมกากตะกอนและปุ๋ยเคมีด้วย การเติมกากตะกอนและ กากตะกอนร่วมกับแกลบอัตราต่าง ๆ สามารถให้ผลผลิตได้ใกล้เคียงหรือดีกว่าปุ๋ยเคมี เมื่อพิจารณาค่าตัวเลขในตารางที่ 9 แสดงว่ามีปริมาณของธาตุอาหารต่าง ๆ อย่างเพียงพอ ต่อการเจริญเติบโตของพืช และเนื่องจากความแตกต่างของปริมาณแกลบที่เติมลงไปร่วมกับ กากตะกอนนั้น ไม่มีผลทำให้ผลผลิตผักคะน้าที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการ เติมตะกอน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า หากจะพิจารณาวิธีการกำจัดแกลบอีกวิธีการหนึ่ง นอกเหนือ ไปจากวิธีที่นิยมทำกันอยู่ คือ การนำมาใช้ทำเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ ก็ยังสามารถนำแกลบ มากำจัดโดยใส่ลงดินร่วมกับกากตะกอนในการเพาะปลูกผักคะน้าได้ เพราะนอกจากจะช่วย ลดปริมาณแกลบ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการเกษตรแล้ว แกลบที่เติมลงไปร่วม กับกากตะกอนก็ไม่มีผลทำให้ผลผลิตของผักคะน้าที่ได้ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการ เติมกากตะกอนแต่ละอย่างใด

2. ผลผลิตของผักกาดหอม

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมีและ กากตะกอนในการให้ธาตุอาหารพืชทำให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตนั้นใกล้เคียงกัน เนื่องจาก อยู่ในกลุ่มลักษร a เหมือนกัน ส่วนค่าตัวเลขผลผลิตที่ได้จากการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ

320 640 960 และ 1,280 กก./ไร่ นั้น จะลดลงตามการเพิ่มปริมาณของแกลบ โดยเฉพาะการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 640 960 และ 1,280 กก./ไร่ นั้น พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับควบคุม นั่นหมายถึงว่า การเติมแกลบไม่ได้ ส่งเสริมให้ผักกาดหอมมีความสามารถในการเจริญเติบโตดีขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่าผักกาดหอม เป็นพืชที่มีรากสำหรับยึดเกาะกับดินค่อนข้างสั้น และเป็นไปได้ว่าแกลบนั้นยังไม่ถูกย่อยสลาย จนอยู่ในรูปที่เหมาะสม จนไม่ก่อให้เกิดการยืดยาวต่อการชอนไชของรากผักกาดหอม ดังนั้น เมื่อเติมกากตะกอนและแกลบในอัตราต่าง ๆ กันลงสู่ดิน จึงมีแนวโน้มให้โอกาสที่รากของ ผักกาดหอมจะสัมผัสกับแหล่งของธาตุอาหารจากดินและกากตะกอน โดยลักษณะการชอนไช ของรากจึงมีน้อย โอกาสของกากตะกอนที่จะเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชอย่างเพียงพอจึงลดน้อยลง แม้ปริมาณอินทรียวัตถุที่ได้จากแกลบ ประกอบกับการที่แกลบช่วยให้ดินมีความร่วนซุยขึ้นแล้วก็ตาม แต่เมื่อคำนึงถึงลักษณะของผักกาดหอมซึ่งมีส่วนของรากที่สั้น จึงไม่สามารถใช้ประโยชน์จาก สิ่งเหล่านี้ได้ ดังนั้นการใส่แกลบลงไปในพื้นที่ จึงอาจเป็นเสมือนข้อจำกัดในการให้ผลผลิต ของผักกาดหอมได้

ตารางที่ 9 ผลผลิตผักคะน้าและผักกาดหอม (น้ำหนักแห้ง, กก./ไร่)

แปลงทดลอง	ผักคะน้า	ผักกาดหอม
ควบคุม	281.33	176.00 cd
ปุ๋ยเคมี	362.00	361.33 a
กากตะกอน	412.00	354.00 a
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 กก./ไร่	340.00	274.00 b
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 640 กก./ไร่	369.33	237.33 bc
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 กก./ไร่	403.33	201.33 cd
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 1,280 กก./ไร่	399.33	141.33 d
C.V. (%)	17.51	15.67
F - Value	1.60	14.28*

หมายเหตุ - ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ. ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีการ DMRT

- สัญลักษณ์ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 %

- เปอร์เซ็นต์ความชื้นของผักคะน้า และผักกาดหอม เท่ากับ 91 และ 95 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

- น้ำหนักผลผลิตคิดเฉพาะส่วนเหนือดินที่เกษตรกรจำหน่ายเท่านั้น

การสะสมโลหะหนักในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้าและผักกาดหอม

1. การสะสมโลหะหนักในส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินของผักคะน้า

คะกั่ว แคดเมียม และนิเกิล

จากตารางที่ 10 ปริมาณของคะกั่ว แคดเมียม และนิเกิล ที่พบในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักคะน้านั้น มีปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบในทุกตำรับทดลอง ทั้งนี้อาจมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง การเติมกากตะกอนลงดิน มิได้ทำให้ปริมาณคะกั่ว นิเกิล และแคดเมียมในผักคะน้าเพิ่มขึ้นกว่าการเติมปุ๋ยเคมี และควบคุม แสดงว่าการเติมกากตะกอนรวมทั้งแกลบลงดิน ไม่มีผลก่อให้เกิดการสะสม คะกั่ว แคดเมียม และนิเกิลในพืช ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด มีอยู่ในกากตะกอนในระดับที่ยอมรับได้ (ตารางที่ 6) สอดคล้องกับ Vigerust และคณะ (1987) ซึ่งพบว่าการใส่กากตะกอน[illegible]ให้มีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับแคดเมียมในพืชเพียงเล็กน้อย และไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงในกรณีของคะกั่ว ส่วนนิเกิลจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอน แต่ไม่อยู่ในระดับเป็นพิษต่อพืช

ปริมาณคะกั่วในผักคะน้านั้น อาจเป็นผลมาจากดินซึ่งใช้เพาะปลูกเป็นดินเหนียว ทำให้สามารถดูดซับคะกั่วไว้ได้แน่น ดังนั้นปริมาณของคะกั่วในพืชจึงไม่มีความสัมพันธ์กับ ปริมาณคะกั่วในดิน (ดรวรรณ ศิริรัตน์นิรัชะ, 2525) และกากตะกอนที่ใส่ลงในดิน (Davis, 1984) นอกจากนี้คะกั่วยังจัดเป็นโลหะหนักที่มีการเคลื่อนย้ายได้น้อย หรือไม่เคลื่อนย้ายเลยเมื่ออยู่ในดิน (Davis, 1984) จึงถูกดูดขึ้นไปสะสมในพืชที่ทดลองได้น้อยเป็นผลให้ไม่พบคะกั่วในส่วนต่าง ๆ ในผักคะน้า ส่วนนิเกิลนั้น Vigerust และคณะ (1987) กล่าวว่า การเติมกากตะกอนที่อัตรา 60-120 ตัน/เฮกแตร์ (9,600-19,200 กก./ไร่) จะทำให้ปริมาณนิเกิลในพืชเพิ่มขึ้นแต่เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้ใช้กากตะกอน ณ อัตราเดิม 3,200 กก./ไร่ จึงเป็นไปได้ว่ายังอยู่ในอัตราที่ต่ำเกินกว่าจะสะสมจนสามารถตรวจ วิเคราะห์ได้ และไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช

ตารางที่ 10 ปริมาณโลหะหนักที่สะสมในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักตะบ้า (หน่วยเป็น มก./กก.)

ตำรับทดลอง	ตะกั่ว		แคดเมียม		ทองแดง		นิเกิล		แมงกานีส		สังกะสี		เหล็ก	
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
ควบคุม	Tr	Tr	Tr	Tr	5.83	Tr	Tr	Tr	52.83	8.33	bcd 129.83	28.00	521.50	575.67
ปุ๋ยเคมี	Tr	Tr	Tr	Tr	7.43	Tr	Tr	Tr	41.33	8.00	d 96.50	32.67	349.67	219.50
กากตะกอน	Tr	Tr	Tr	Tr	7.00	Tr	Tr	Tr	53.83	8.67	abc 157.83	45.33	505.33	272.70
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 กก./ไร่	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	61.33	7.50	abc 164.83	35.83	524.83	763.00
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 640 กก./ไร่	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	64.16	8.50	a 190.83	43.17	489.33	396.33
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 กก./ไร่	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	38.83	7.67	cd 111.33	38.33	410.83	337.50
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 1,280 กก./ไร่	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	59.17	6.17	ab 181.67	33.17	614.50	307.00
C.V. (%)	-	-	-	-	26.11	-	-	-	19.22	165.05	20.97	18.01	34.88	74.63
F - Value	-	-	-	-	0.65	-	-	-	2.71	1.01	4.01*	2.57	0.70	1.64

หมายเหตุ - ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีการ DMRT

- สัญลักษณ์ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 %

- สัญลักษณ์ ↑ หมายถึงส่วนเหนือดิน และ ↓ หมายถึงส่วนใต้ดิน

- ตัวอักษร Tr หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบ (Trace)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทองแดง

ปริมาณทองแดง (ตารางที่ 10) จะเห็นว่าในส่วนใต้ดินของผักคะน้ามีการสะสมทองแดงในปริมาณน้อยมากจนตรวจวัดไม่พบ ในส่วนเหนือดินของผักคะน้า แม้ว่าจะมีการสะสมทองแดงในควบคุม ปุ๋ยเคมีและกากตะกอน แต่การสะสมในตำรับทดลองดังกล่าวก็ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับที่ King และ Morris (1972) ศึกษาพบว่า การใส่กากตะกอนไม่มีผลต่อปริมาณทองแดงสะสมในพืช ดังนั้นจึงไม่เกิดความแตกต่างทางสถิติระหว่างกากตะกอนกับปุ๋ยเคมีและควบคุม และปริมาณที่พบก็อยู่ในช่วง 3-20 มก./กก. ซึ่งไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Chaney, 1982) โดยอยู่ในระดับปกติที่พบได้ในพืชโดยทั่วไป คือ 4-15 มก./กก. (Allaway, 1968) และใกล้เคียงกับ Mengel และ Kirkby (1986) เสนอไว้คือ 2-20 มก./กก.

ในส่วนของการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 640 960 และ 1,280 กก./ไร่ นั้น การสะสมทองแดงในส่วนเหนือดินของผักคะน้ามีปริมาณน้อยมากจนตรวจวัดไม่พบ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการใส่แกลบมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ดังที่ Orawan Siriratpiriya และคณะ (1985) พบว่า การดูดดึงโลหะหนักเข้าไปสะสมในพืช ปัจจัยอย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้อง คือ ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน นั่นคือดินซึ่งมีอินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำ มีผลให้พืชดูดดึงโลหะหนักเข้าไปสะสมได้มากกว่าดินที่มีอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูง ดังนั้นจึงอาจกล่าวโดยรวมได้ว่า การเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบในอัตราต่าง ๆ ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อทองแดงในผักคะน้าแต่อย่างใด

แมงกานีส

การสะสมแมงกานีสทั้งในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกตำรับทดลอง ดังปรากฏในตารางที่ 10 การไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า การเติมปุ๋ยเคมี กากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบในอัตราต่าง ๆ ไม่มีผลต่อการสะสมของแมงกานีสในผักคะน้า จึงเป็นที่แน่ใจว่าหาก

น่ากากละกอนมาใช้ประโยชน์เสมือนเป็นธาตุอาหารพืชจะไม่ทำให้พืชได้รับปริมาณแมงกานีสที่ปนเปื้อนมากับกากตะกอน แตกต่างไปจากการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูกผักโดยทั่วไปแต่อย่างใด

จากข้อมูลในตารางที่ 10 จะเห็นแนวโน้มของการสะสมแมงกานีสในส่วนเหนือดินสูงกว่าส่วนใต้ดินในทุกตำรับทดลอง การสะสมแมงกานีสในส่วนเหนือดินนั้น หากมีปริมาณที่สูงมาก ๆ ก็อาจเป็นพิษต่อพืชและส่งผลต่อผู้บริโภคได้เนื่องจากส่วนเหนือดินเป็นส่วนที่คนนิยมบริโภคกัน

โดยทั่วไปนั้น แมงกานีสในพืชจะมีหน้าที่สำคัญเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงโดยตรง หากพืชขาดแมงกานีสจะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง (ยงยุทธ โอสถสภา และสุรเดช จินดาแนท์, 2521) ดังนั้นการที่ผักคะน้ามีการสะสมแมงกานีสอยู่ในระดับหนึ่งก็จะมีส่วนช่วยในกิจกรรมต่าง ๆ ดังกล่าวมาข้างต้น อย่างไรก็ดี หากมีปริมาณแมงกานีสมากกว่า 500 มก./กก. ก็จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชได้ (Chaney, 1982) ส่วนความทนทานต่อความเข้มข้นของแมงกานีสที่ Cunningham และคณะ (1975) เสนอไว้จะอยู่ในระดับ 300 มก./กก. ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 10 แล้ว จะเห็นได้ว่าปริมาณแมงกานีสที่สะสมในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักคะน้ายังต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้อยู่มาก

สังกะสี

ปริมาณของสังกะสีที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักคะน้า (ตารางที่ 10) นั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างตำรับทดลอง จากค่าตัวเลขของปริมาณสังกะสี จะเห็นว่า สังกะสีจะสะสมในส่วนเหนือดินสูงกว่าส่วนใต้ดินในทุก ๆ ตำรับทดลอง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเคลื่อนย้ายของสังกะสีในพืช ซึ่งโดยทั่วไปนั้นการเคลื่อนย้ายของธาตุต่าง ๆ ในพืช สามารถแบ่งออกได้เป็นการเคลื่อนย้ายจากภายนอกเข้าสู่พืช (adsorption) การเคลื่อนย้ายภายในพืช (translocation) และการเคลื่อนย้าย

ออกจากพืชไปสู่ภายนอก (negative absorption) (ยงยุทธ โอสถสภา และสุรเดช จินตกานนท์, 2521) จากค่าตัวเลขในตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่า สังกะสีมีการเคลื่อนย้ายภายในพืชได้ดี จึงปรากฏปริมาณสะสมในส่วนเหนือดินสูงกว่าส่วนใต้ดินของผักคะน้าอย่างเห็นได้ชัด หรือกล่าวได้ว่า สังกะสีนั้นเป็น translocation element สอดคล้องกับผลงานของ Davis (1984)

ปริมาณสังกะสีในส่วนใต้ดิน (ตารางที่ 10) นั้น การเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบมีปริมาณสังกะสีสูงกว่าควบคุม โดยอาจเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณสังกะสีในดิน ดังที่ Hamphill และคณะ (1982), Kelling และคณะ (1977), Dowdy และ Larson (1975) ศึกษาพบว่า การเติมกากตะกอนลงดิน ทำให้ปริมาณสังกะสีในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณสังกะสีในผักคะน้าเพิ่มขึ้นได้ การเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบในอัตราต่าง ๆ ไม่ทำให้การสะสมสังกะสีในส่วนใต้ดินของผักคะน้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด ดังนั้นการใส่แกลบหรือไม่ใส่แกลบ จึงไม่มีผลต่อการสะสมสังกะสีในส่วนใต้ดินของผักคะน้า

ในส่วนเหนือดินของผักคะน้า หากพิจารณาจากค่าตัวเลขจะเห็นว่า การเติมปุ๋ยเคมี มีการสะสมของสังกะสีต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าปุ๋ยเคมีไม่มีการปนเปื้อนของสังกะสี ดังนั้นเมื่อเติมลงดินจึงมีผลในการดูดดึงสังกะสีของพืชในปริมาณที่น้อย โดยจะมาจากดินที่ใส่เพาะปลูกเป็นส่วนใหญ่เท่านั้น และเมื่อพิจารณาเทียบกับควบคุม จะเห็นได้ว่าปริมาณสังกะสีในปุ๋ยเคมีไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับควบคุม ดังแสดงด้วยอักษร d แต่ก็แสดงถึงแนวโน้มของการสะสมเพิ่มขึ้น ซึ่งในกรณีนี้อาจอธิบายได้เพียงว่า มีปัจจัยบางอย่างที่มิได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ เป็นผลทำให้การดูดดึงสังกะสีของผักคะน้าที่เติมปุ๋ยเคมีลดลงได้

การสะสมของสังกะสีจากการเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 640 และ 1,280 กก./ไร่ นั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเพราะอยู่ในกลุ่มตัวอักษร a เดียวกัน แสดงว่าการใส่แกลบอัตราดังกล่าวไม่ทำให้การสะสมสังกะสี

ในส่วนเหนือดินของผักคะน้าแตกต่างทางสถิติกับการไม่เติมแกลบ ยกเว้นการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 กก./ไร่ จะมีการสะสมสังกะสีอยู่ในระดับต่ำกว่า การเติมแกลบอัตราต่าง ๆ โดยลักษณะดังกล่าวก็เกิดขึ้นกับแมงกานีส และเหล็ก (ดังตารางที่ 10) เช่นเดียวกัน จึงพอจะกล่าวโดยรวมในขณะนี้ได้ว่าการใส่แกลบอัตรา 960 กก./ไร่ นี้ อาจมีผลบางอย่างต่อปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ธาตุ คือ แมงกานีส สังกะสี และเหล็ก ที่สะสมในส่วนเหนือดินของผักคะน้า นอกจากนี้ยังอาจมีผลต่อธาตุอื่น ๆ ที่ศึกษาด้วย แต่เนื่องจากธาตุอื่น ๆ คือ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และนิเกิล มีปริมาณการสะสมในส่วนเหนือดินน้อยมากจนตรวจวัดไม่พบ จึงไม่มีค่าตัวเลขมาแสดงเปรียบเทียบ อย่างไรก็ดีในที่นี้คงกล่าวได้เพียงว่า อัตราการเติมแกลบที่ 960 กก./ไร่ เป็นอัตราที่น่าสนใจในการศึกษาต่อไปเป็นอย่างยิ่ง

การสะสมสังกะสีของผักคะน้าโดยสรุปแล้วพบว่าในส่วนใต้ดิน มีการสะสมอยู่ในระดับปกติ คือ อยู่ในช่วง 15-150 มก./กก. (Chaney, 1982) แต่สำหรับส่วนเหนือดินนั้น จะมีการสะสมสังกะสีอยู่ในระดับค่อนข้างสูงกว่าปกติเล็กน้อย แต่ก็ไม่น่าจะมีความเป็นพิษต่อพืช เนื่องจากระดับเป็นพิษต่อพืชจะต้องมีการสะสมสังกะสีอยู่ในระดับ 500-1,500 มก./กก. (Chaney, 1982) ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าที่วิเคราะห์ได้แล้วยังนับว่าต่ำกว่ามาก

<u>เหล็ก</u>

ปริมาณของเหล็กที่สะสมทั้งในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักคะน้านั้น พบว่า ทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 10) หากพิจารณาค่าตัวเลขจะ พบว่า ปริมาณเหล็กที่สะสมในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักคะน้าโดยภาพรวมนั้น จะมีค่าค่อนข้างสูงกว่าโลหะหนักธาตุอื่น ๆ ที่ศึกษา ดังที่ Puckett และคณะ (1973) กล่าวว่า ความสามารถในการดูดดึงโลหะหนัก 5 ธาตุ คือ เหล็ก ตะกั่ว ทองแดง นิเกิล และสังกะสี พบว่า เหล็กสามารถถูกดูดดึงโดยพืชได้ดีที่สุด

ในกากตะกอนมักจะพบโลหะหนัก 7 ธาตุ คือ แคดเมียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส นิเกิล ตะกั่ว และสังกะสี อยู่เสมอ โดยโลหะหนักเหล่านี้จะสะสมในดินเพิ่มขึ้น

ตามอัตราการใส่กากตะกอนที่เพิ่มขึ้น (Kelling et al., 1977; Sheaffer et al., 1979; Hamphill et al., 1982; Lutrick, Robertoon และ Cornell, 1982; อรวรรณ ศิริรัตน์นิรันดร์, 2532) เหล็กนับเป็นธาตุหนึ่งที่อยู่ในเงื่อนไขดังกล่าว แต่จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณของเหล็ก เมื่อเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบนั้น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้คงเป็นผลมาจากการเติมกากตะกอนที่อัตราเดียว คือ 3,200 กก./ไร่ จึงทำให้ปริมาณเหล็กในดินไม่แตกต่างกัน และส่งผลต่อการดูดดึงขึ้นไปสะสมในพืชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย

การสะสมของเหล็กระดับปกติในพืชดังที่ Chaney (1982) ได้รายงานไว้ จะอยู่ในช่วง 30-300 มก./กก. ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าของเหล็กที่สะสมในผักคะน้า พบว่าค่าส่วนใหญ่จะมีปริมาณที่ค่อนข้างสูงกว่าค่าปกติ อย่างไรก็ตามเหล็กนับเป็นจุลธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อพืช (Davies, 1980; สงวุทธ โอสถสภา และสุรเดช จินตกานนท์, 2521) เหล็กที่มีการสะสมในพืชปริมาณมาก ถึงแม้ว่าจะไม่ทำให้เกิดความผิดปกติต่อพืช แต่ก็ต้องคำนึงถึงผู้ที่บริโภคผักเหล่านี้ด้วย จากการที่เหล็กเป็นธาตุที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์ โดยที่ผู้ใหญ่ต้องการเหล็กในปริมาณวันละ 10-20 มก. (คุษณี สุทธาปรียาศรี, 2532) และเมื่อพิจารณาตารางที่ 12 ซึ่งแสดงค่าที่ยอมรับให้บริโภคได้ในแต่ละวันของมนุษย์ (ADI) ของคณะกรรมการวิชาการร่วม FAO/WHO (Codex) จะเห็นว่าเหล็กในผักคะน้านั้นยังไม่น่าจะอยู่ในระดับที่จะก่อให้เกิดอันตราย เมื่อนำมาบริโภค

2. การสะสมโลหะหนักในส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินของผักกาดหอม

<u>ตะกั่ว แคดเมียม และนิเกิล</u>

จากตารางที่ 11 ปริมาณของตะกั่ว แคดเมียม และนิเกิล ที่สะสมในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักกาดหอมนั้นมีค่าน้อยมากจนตรวจไม่พบ แม้ว่าผักกาดหอม

นั้นจัดว่า เป็นพืชซึ่งมีการดูดดึงโลหะหนักเข้าไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ได้มากเมื่อเทียบกับพืชผักชนิดอื่น ๆ (Dowdy และ Larson, 1975)

ปริมาณตะกั่วที่ตรวจวัดไม่พบ อาจเป็นผลมาจากดินเหนียวสามารถดูดยึดตะกั่วไว้ได้แน่น ดังนั้นปริมาณตะกั่วในผักกาดหอมจึงไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณของตะกั่วในดิน (อารรรณ ศิริรัตน์นิรันดร์, 2525) และกากตะกอนที่ใส่ลงไปในดิน (Davis, 1984) ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับผักคะน้าที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

การดูดดึงแคดเมียมของผักกาดหอม อาจได้รับอิทธิพลจากธาตุอาหารอื่นได้ กล่าวคือ แคลเซียมและสังกะสีที่อยู่ในดินจะลดการดูดดึงแคดเมียมของพืชได้ (Mengel และ Kirkby, 1982) นอกจากนี้ปัจจัยอื่น ๆ ที่มิได้ศึกษาในครั้งนี้ ก็อาจมีความเกี่ยวข้องต่อการสะสมของโลหะหนักได้เช่นกัน

ความเป็นพิษที่เกิดจากปริมาณนิเกิลสูงกว่า 2 มก./กก. นั้น จะทำให้ใบผักกาดหอมมีลักษณะซีดเหลือง และจะมีการแห้งจากบริเวณขอบใบเข้ามายังกลางใบ (วิไลภรณ์ ปุญญกิจจินดา, 2523) อาการดังกล่าวเป็นอาการที่เรียกว่า "chlorosis" ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อพืชได้รับโลหะหนักมากเกินไป (Brenchley, 1914) ซึ่งผักกาดหอมที่ใช้ทดลองก็ไม่พบอาการต่าง ๆ เหล่านี้

การตรวจไม่พบโลหะหนักทั้ง 3 ธาตุที่กล่าวมา อาจทำให้มองไม่เห็นแนวโน้มการสะสมของธาตุเหล่านี้ได้เด่นชัด แต่ก็นับเป็นข้อสนับสนุนที่ดีถึงความเป็นไปได้ที่จะนำกากตะกอน ซึ่งแม้จะมีการปนเปื้อนของตะกั่ว แคดเมียม และนิเกิลระดับหนึ่ง (ตารางที่ 6) มาใช้ประโยชน์เสมือนธาตุอาหารพืชได้อย่างปลอดภัย อย่างไรก็ตามหากจะมีการนำเอากากตะกอนไปใช้ในพื้นที่การเกษตรในอัตราที่สูงกว่านี้ ก็จำเป็นต้องศึกษาในรายละเอียดเพิ่มเติมด้วย

ตารางที่ 11 ปริมาณโลหะหนักที่ละลายในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักกาดหอม (หน่วยเป็น มก./กก.)

ตำรับทดลอง	สะก้าว		แคดเมียม		ทองแดง		นิเกิล		แมงกานีส		สังกะสี		เหล็ก	
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
ควบคุม	Tr	Tr	Tr	Tr	6.00	10.50	Tr	Tr	35.83	15.50	c 65.67	c 60.50	560.00	411.33
ปุ๋ยเคมี	Tr	Tr	Tr	Tr	12.33	10.33	Tr	Tr	46.50	17.83	bc 74.33	bc 86.00	627.17	503.33
กากตะกอน	Tr	Tr	Tr	Tr	6.50	12.50	Tr	Tr	43.33	19.33	bc 78.67	abc 105.33	881.00	561.33
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 กก./ไร่	Tr	Tr	Tr	Tr	9.25	13.50	Tr	Tr	37.67	15.17	abc 98.33	ab 121.50	622.00	487.67
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 640 กก./ไร่	Tr	Tr	Tr	Tr	5.00	13.17	Tr	Tr	38.17	20.67	bc 84.00	abc 112.83	966.17	768.33
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 กก./ไร่	Tr	Tr	Tr	Tr	6.00	18.17	Tr	Tr	38.33	17.67	a 118.50	a 156.83	666.50	554.33
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 1,280 กก./ไร่	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	10.25	Tr	Tr	42.00	22.00	ab 103.33	a 151.17	625.00	661.50
C.V. (%)	-	-	-	-	56.86	39.85	-	-	13.14	17.93	19.24	25.89	28.27	33.10
F - Value	-	-	-	-	1.02	0.88	-	-	1.53	1.79	3.50*	4.05*	1.77	1.21

หมายเหตุ - ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีการ DMRT

- สัญลักษณ์ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 %

- สัญลักษณ์ ↑ หมายถึงส่วนเหนือดิน และ ↓ หมายถึงส่วนใต้ดิน

- ตัวอักษร Tr หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบ (Trace)

ทองแดง

ปริมาณทองแดงทั้งในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน (ตารางที่ 11) นั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง แสดงให้เห็นว่า ปริมาณทองแดงจากการใส่กากตะกอน และกากตะกอนร่วมกับแกลบในการเพาะปลูกนั้น ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปุ๋ยเคมี และควบคุม (ซึ่งไม่เติมสิ่งทดลองใด ๆ) หากพิจารณาเฉพาะการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบอัตราต่าง ๆ พบว่า การสะสมของทองแดงไม่แตกต่างจากตำรับทดลองอื่น ๆ นั่นคือ แกลบไม่มีผลต่อการสะสมทองแดงของผักกาดหอมและอัตราการใส่แกลบที่แตกต่างกัน ก็ไม่ทำให้การสะสมของทองแดงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด

การสะสมทองแดงในส่วนเหนือดินของผักกาดหอม เมื่อพิจารณาจากค่าของตัวเลข (ตารางที่ 11) พบว่า ปุ๋ยเคมีมีการสะสมทองแดงสูงที่สุด จากตัวเลขดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเติมกากตะกอนไม่ทำให้การสะสมของทองแดงในส่วนเหนือดินของผักกาดหอมสูงกว่าการที่เกษตรกรใช้ปุ๋ยเคมีเพาะปลูก

เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว จะเห็นว่าค่าตัวเลขของทองแดง (ตารางที่ 11) มีการสะสมในส่วนใต้ดินสูงกว่าส่วนเหนือดิน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะทองแดงมีความชอบ (affinity) ในการเกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนที่เสถียร (stable organic complexes) อยู่ภายในรากพืช (Mitchell, Bingham และ Page, 1978) ดังนั้นเราจึงพบการสะสมทองแดงในส่วนใต้ดินสูงกว่าส่วนเหนือดิน อย่างไรก็ตามปริมาณของทองแดงที่ตรวจพบก็อยู่ในช่วงปกติที่มีได้ทั่วไปในพืช ดังที่ Chaney (1982) ได้เสนอไว้คือ 3-20 มก./กก. ซึ่งใกล้เคียงกับที่ Mengel และ Kirkby (1982) เสนอไว้ คือ 2-20 มก./กก.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แมงกานีส

การสะสมแมงกานีสทั้งในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักกาดหอมนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกตำรับทดลอง การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบมีผลให้ปริมาณแมงกานีสลดลงต่ำกว่าการเติมกากตะกอนเพียงอย่างเดียว ด้วยเหตุที่แมงกานีสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอินทรียวัตถุในดินได้ (Hodgeson et al., 1965) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุจากการตะกอนและแกลบที่เติมลงสู่ดินจึงอาจเป็น ผลให้แมงกานีสรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอินทรียวัตถุในดินได้มากขึ้นกว่าการเติมกากตะกอนเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับที่ Ellis และ Knezek (1972) ศึกษาพบว่า อินทรียวัตถุในกากตะกอนสามารถดูดยึดแมงกานีสไว้ได้แน่น ในทำนองเดียวกันหากมีการใส่แกลบซึ่งเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุลงดินร่วมกับกากตะกอน ก็น่าจะทำให้การดูดยึดแมงกานีสของดินมีมากขึ้นกว่าการเติมกากตะกอนเพียงอย่างเดียวด้วย

การสะสมแมงกานีสในส่วนเหนือดินของผักกาดหอม จะมีแนวโน้มสูงกว่าส่วนใต้ดิน ซึ่งอาจอธิบายได้โดยพิจารณาค่าของสังกะสี (ตารางที่ 11) ประกอบกันดังนี้คือ เนื่องจากค่าของสังกะสีมีปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับโลหะหนักอื่น ๆ ในพืช เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง นิเกิล และแมงกานีส ดังนั้นปริมาณของสังกะสีนี้ อาจมีผลทำให้การลำเลียง แมงกานีสไปสู่ส่วนยอดของพืชได้มาก (Krause และ Kaiser, 1977)

อย่างไรก็ตาม ปริมาณของแมงกานีสที่ตรวจพบในทั้ง 2 ส่วน ก็ยังมีค่าใกล้เคียงกับระดับปกติที่พบในพืชทั่วไป คือ 15-150 มก./กก. (Chaney, 1982) และใกล้เคียงกับระดับความต้องการแมงกานีสของพืช คือ 20-500 มก./กก. (Davies, 1980)

สังกะสี

จากตารางที่ 11 แสดงให้เห็นถึงปริมาณของสังกะสีที่สะสมทั้งในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักกาดหอมนั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตำรับทดลองในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักกาดหอมพบว่า การเติมกากตะกอนไม่

ทำให้ การสะสมสังกะสีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปุ๋ยเคมี ดังแสดงด้วยอักษร bc นั่นคือ การใช้กากตะกอนเป็นเสมือนธาตุอาหารพืช จะไม่ทำให้ผู้บริโภคได้รับสังกะสีแตกต่างจากการเพาะปลูกด้วยปุ๋ยเคมีแต่อย่างใด จึงแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของกากตะกอนในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้อย่างหนึ่ง แต่หากพิจารณาจากค่าของตัวเลข (ตารางที่ 11) จะเห็นว่า การเติมกากตะกอนทำให้ปริมาณสังกะสีสูงกว่าปุ๋ยเคมีและควบคุมสอดคล้องกับที่ Hemphill และคณะ (1982), Kelling และคณะ (1977), Dowdy และ Larson (1975) กล่าวไว้ว่า การเติมกากตะกอนลงดินมีผลให้ปริมาณสังกะสีในผักตะน้าเพิ่มขึ้น ซึ่งผักกาดหอมที่ทดลองก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน

จากค่าของตัวเลข (ตารางที่ 11) จะเห็นได้ว่า การใส่กากตะกอนร่วมกับแกลบในทุกอัตรา มีแนวโน้มของการสะสมสังกะสีสูงกว่าการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียว ในทั้ง 2 ส่วน ของผักกาดหอม จึงเป็นที่น่าสังเกตว่า นอกจากแกลบจะไม่มีส่วนช่วยลดปริมาณของสังกะสีที่ปนเปื้อนอยู่ในกากตะกอนและดินแล้ว ยังมีแนวโน้มทำให้การสะสมของสังกะสีสูงขึ้นอีกด้วย

อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของสังกะสี รวมไปถึงค่าของสังกะสีในเกือบทุกค่ารับทดลองของทั้ง 2 ส่วนของผักกาดหอม ก็มีค่าอยู่ในระดับปกติที่พบได้ทั่วไปในพืช คือ 15-150 มก./กก. (Chaney, 1982) ส่วนการสะสมของสังกะสีที่เกินกว่าค่าปกติ ก็ไม่อยู่ในระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช คือ อยู่ในระดับ 500-1,500 มก./กก. (Chaney, 1982)

<u>เหล็ก</u>

ปริมาณของเหล็กที่สะสมในผักกาดหอมทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของทุกค่ารับทดลองดังตารางที่ 11 นั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณเหล็กที่ตรวจวัดได้โดยภาพรวมแล้ว มีปริมาณที่สูงกว่าโลหะหนักอื่น ๆ ทั้ง 6 ธาตุที่ตรวจวัด ในเรื่องนี้ Puckett และคณะ (1973) ได้กล่าวถึงการดูดกินโลหะหนัก 5 ธาตุ คือ เหล็ก

ตะกั่ว ทองแดง นิเกิล และสังกะสี พบว่า เหล็กจะถูกดูดดึงโดยพืชได้ดีที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงอาจเป็นผลให้เราพบเหล็กสะสมอยู่ในพืชสูงกว่าธาตุอื่น ๆ

Rosen, Pike และ Golden (1977) ศึกษาพบว่า ตะกั่วมีผลต่อการดูดดึงเหล็กของพืชและรบกวนการสร้างคลอโรฟิลล์ของเหล็กในพืช แต่จากตารางที่ 11 จะเห็นว่าปริมาณของตะกั่วมีน้อยมากจนตรวจไม่พบในทุกส่วน และทุกตำรับทดลองของผักกาดหอม ดังนั้นจึงไม่พบการรบกวนของตะกั่วที่มีต่อเหล็กในการสร้างคลอโรฟิลล์ให้พืช ทำให้ผลผลิตของผักกาดหอมที่ได้ ไม่มีความผิดปกติใด ๆ อันเนื่องมาจากการขาดเหล็กของพืช

หากพิจารณาจากค่าตัวเลขในตารางที่ 11 จะเห็นว่าค่าตัวเลขเหล่านั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าจะมีการเติมสิ่งทดลองใด ๆ ลงไปตามตำรับทดลอง [illegible]เฉพาะกากตะกอน และกากตะกอนร่วมกับแกลบ ซึ่งเรื่องนี้ Dowdy และ Larson (1975) ได้กล่าวไว้ว่า เนื่องจากเหล็กเป็นจุลธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นการเพิ่มปริมาณเหล็กลงดิน ซึ่งกรณีนี้คือการเติมกากตะกอนลงดิน จึงไม่มีผลต่อปริมาณเหล็กในผักกาดหอม เช่นเดียวกับที่ Dolar, Boyle และ Keeney (1972) ได้รายงานถึงการใส่กากตะกอนว่าไม่มีผลต่อปริมาณเหล็กในเนื้อเยื่อพืชอย่างมีนัยสำคัญ

จากการทดลองจะเห็นว่า ปริมาณเหล็กที่สะสมในผักกาดหอมสูงกว่าระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ 30-300 มก./กก. (Chaney, 1982) และสูงกว่าปริมาณเหล็กที่พบในพืชทั่ว ๆ ไป ดังที่ Mengel และ Kirkby (1982) ได้เสนอไว้ คือ 100 มก./กก. ของน้ำหนักแห้ง ส่วน Winton และ Winton (1935) พบว่าเหล็กที่สะสมในส่วนที่กินได้ของกะหล่ำปลีมีค่าเท่ากับ 74-304 มก./กก. หรือเฉลี่ยเท่ากับ 132 มก./กก. อย่างไรก็ตาม ปริมาณเหล็กที่มากกว่าระดับต่าง ๆ ที่เสนอไว้นั้น ก็มิได้ก่อให้เกิดความผิดปกติของผักกาดหอม อันเนื่องมาจากปริมาณเหล็กเหล่านี้แต่อย่างใด

ด้วยเหตุที่เหล็กมีประโยชน์ในการสร้างเม็ดเลือดแดง และกระบวนการอื่น ๆ ของมนุษย์ (Reilly, 1980) และหากบริโภคผักกาดหอมที่มีปริมาณเหล็กปนเปื้อนเหล่านี้เข้าไป ก็ไม่น่าที่จะทำให้เกิดความเป็นพิษใด ๆ ต่อผู้บริโภค เพราะเมื่อพิจารณาจากปริมาณที่ยอมรับให้บริโภคได้ในแต่ละวันของมนุษย์ (ADI) ของคณะกรรมการวิชาการร่วม FAO/WHO (Codex) ดังปรากฏในตารางที่ 12 จากค่าดังกล่าวพอจะบอกได้ว่าผู้บริโภคจะไม่เกิดความผิดปกติใด ๆ อันเป็นผลมาจากปริมาณของเหล็กที่สะสมในผักกาดหอมเหล่านี้

ตารางที่ 12 ปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในอาหารและยอมให้บริโภคสูงสุดในแต่ละวัน (สำหรับทองแดง เหล็ก และสังกะสี) และในแต่ละสัปดาห์ (ตะกั่ว และแคดเมียม) (FAO และ WHO, 1984)

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณที่ยอมให้บริโภคได้ (มก./กก. น้ำหนักตัว)
ทองแดง	0.05-0.5
เหล็ก	0.8
สังกะสี	0.3-1.0
ตะกั่ว	0.05
แคดเมียม	0.0067- 0.0083

การสะสมโลหะหนักของผักคะน้าและผักกาดหอม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ อาจพอสรุปโดยสังเขปได้ดังนี้

1. การสะสมโลหะหนักของผักกาดหอมมีแนวโน้มสูงกว่าผักคะน้า ซึ่งสอดคล้องกับที่ Doudy และ Larson (1975) ได้กล่าวไว้ว่า ผักกาดหอมจะมีการดูดดึงโลหะหนักเข้ามาสะสมได้สูงกว่าผักทั่ว ๆ ไป จากการทดลองจะเห็นว่าการสะสมของทองแดงและเหล็กในส่วนเหนือดินของผักกาดหอม จะมีแนวโน้มสูงกว่าในส่วนเหนือดินของผักคะน้าอย่างเห็นได้ชัด เมื่อพิจารณาในส่วนใต้ดินจะพบว่า การสะสมโลหะหนักทุก ๆ ธาตุที่ตรวจพบนั้น ผักกาดหอมจะมีการสะสมโลหะหนักสูงกว่า ผักคะน้าในทุก ๆ ตำรับทดลอง

2. โลหะหนักส่วนใหญ่ที่ตรวจพบดังในตารางที่ 10 และ 11 จะมีแนวโน้มการสะสมในส่วนเหนือดินสูงกว่าในส่วนใต้ดิน เช่น ปริมาณของทองแดง แมงกานีส สังกะสี เหล็ก ในผักคะน้า และแมงกานีสกับเหล็ก ในผักกาดหอม เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจมีปัจจัยอย่างหนึ่งเนื่องมาจาก การเพาะปลูกในพื้นที่ภาคสนามนั้น เกษตรกรนิยมฉีดอาหารเสริมบางชนิด ซึ่งมีส่วนผสมของจุลธาตุอาหารต่าง ๆ ลงสู่พืชโดยตรง ตัวอย่างอาหารเสริม เช่น อิลีมินพี (Elemin P) มีส่วนผสมคือ แมงกานีส 2% สังกะสี 1% ทองแดง 1% โบรอน 2% แมกนีเซียมออกไซด์ 5% และโคบอล์ท 0.01% เพื่อช่วยสร้างการเจริญเติบโตของใบ ลำต้น และราก

สาหร่ายทะเลสกัด (Sea-Born) มีส่วนผสมคือ โบรอน 0.064% แคลเซียม 0.15% ทองแดง 0.09% เหล็ก 0.143% แมกนีเซียม 0.064% แมงกานีส 0.05% สังกะสี 0.062% ก้ามะถัน 0.7% โมลิดินัม 0.006% โดยมีฮอร์โมนพืชตามธรรมชาติจากสาหร่ายทะเลสกัดคือ อ๊อกซิน (Auxins) จิบเบอเรลิน (Gibberrelins) และ Gytokinins เพื่อให้พืชสงาม ต้นตรง เพิ่มภูมิแข็งแรง โดยจะทำให้ต้นแข็งแรงและเขียว

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าเหตุดังกล่าว อาจมีผลทำให้การสะสมของโลหะหนักในส่วนเหนือดินสูงกว่าส่วนใต้ดิน แต่ก็ต้องพิจารณาธาตุที่มีการเคลื่อนย้ายในพืชได้ดี หรือที่เรียกว่าเป็นพวก "translocation element" ประกอบกันด้วย

3. การใส่แกลบซึ่งเป็นอินทรียวัตถุอย่างหนึ่ง ร่วมกับกากตะกอนลงสู่ดิน ก็น่าจะมีส่วนช่วยลดโลหะหนักบางธาตุที่จะถูกดูดดึงเข้าไปสะสมในพืชได้ ดังที่ Orawan Siriratpiriya และคณะ (1985) พบว่าปัจจัยอย่างหนึ่ง ที่มีผลต่อการดูดดึงโลหะหนักของพืช คือ อินทรียวัตถุในดิน โดยดินซึ่งมีอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูง จะมีผลให้พืชดูดดึงโลหะหนักได้น้อยลง แต่ด้วยเหตุผลดังที่กล่าวไว้ในข้อ 2 จึงอาจส่งผลให้ค่าของโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้ไม่สอดคล้องเท่าที่ควร เนื่องจากอาจมีการดูดดึงและดูดซึมโลหะหนักจากแหล่งอื่น นอกเหนือไปจากดินเข้าสู่พืชด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอิทธิพลของแกลบ โดยพิจารณาจากจำนวนทดลองที่เติมกากตะกอนเปรียบเทียบกับการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ จะเห็นได้ว่าแกลบจะมีผลต่อการดูดดึงโลหะหนักบางธาตุในบางส่วนของพืชทั้งสองชนิดดังนี้คือ

ปริมาณโลหะหนักจะลดลงในกรณีของ

- ทองแดงในส่วนเหนือดินของผักคะน้า
- แมงกานีสในส่วนใต้ดินของผักคะน้า
- สังกะสีในส่วนใต้ดินของผักคะน้า
- ทองแดงในส่วนเหนือดินของผักกาดหอม (ยกเว้นการใส่กากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 กก./ไร่)
- แมงกานีสในส่วนเหนือดินของผักกาดหอม
- เหล็กในส่วนเหนือดินของผักกาดหอม (ยกเว้นการใส่กากตะกอนร่วมกับแกลบ 640 กก./ไร่)

ปริมาณโลหะหนักจะเพิ่มขึ้นในกรณีของ

- แมงกานีสในส่วนเหนือดินของผักคะน้า (ยกเว้นการใส่กากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 กก./ไร่)
- สังกะสีในส่วนเหนือดินของผักคะน้า (ยกเว้นการใส่กากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 กก./ไร่)
- เหล็กในส่วนใต้ดินของผักคะน้า
- ทองแดงในส่วนใต้ดินของผักกาดหอม (ยกเว้นการใส่กากตะกอนร่วมกับแกลบ 1,280 กก./ไร่)
- สังกะสีในทั้ง 2 ส่วน ของผักกาดหอม

4. เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วนับว่า การสะสมโลหะหนักทุกธาตุไม่อยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อพืชและผู้บริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะหนักบางตัว เช่น ตะกั่ว และแคดเมียม ซึ่งจัดว่าเป็นโลหะหนักที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ได้ แม้มีความเข้มข้นอยู่ในระดับต่ำ ก็ยังตรวจไม่พบในทุก ๆ ส่วน และทุกตำรับทดลองของพืชทั้ง 4 ชนิด จึงนับว่าการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช จะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงจากโลหะหนักทั้งในส่วนของพืช และผู้บริโภค อย่างไรก็ดี หากโลหะหนักเหล่านี้มีการปนเปื้อนอยู่ในกากตะกอนปริมาณสูงกว่าที่ตรวจพบ หรือใส่กากตะกอนในอัตราที่สูงกว่านี้ ก็อาจต้องระมัดระวังการใช้กากตะกอนเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการเติมกากตะกอนในปริมาณมากเกินไป อาจมีผลเสียเกิดขึ้นกับพืช (Webber et al., 1984) และอาจส่งผลต่อผู้บริโภคด้วย

การเปลี่ยนแปลงพีเอช (pH) ของดินที่เพาะปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมระหว่างทำการทดลอง

ระดับความเป็นกรดหรือพีเอช (pH) ของดินนั้น มีความสำคัญอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของพืช พืชต่างชนิดกันจะเจริญเติบโตได้ดีในระดับพีเอชของดินที่แตกต่างกัน เช่น พืชตระกูลถั่วจะชอบดินที่เป็นกลางหรือด่างอย่างอ่อน ส่วนพืชจำพวกมันฝรั่งและมันเทศจะชอบดินที่มีพีเอชเป็นกรด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530 ก)

ค่าพีเอชของดินนอกจากจะเกี่ยวข้องกับพืชแล้ว ยังมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในดินด้วย เช่น พวกบักเตรี จะทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้อย่างเต็มที่ เมื่อพีเอชของดินเป็นกลาง และช้าลงเมื่อดินเป็นกรด ส่วนพวกฟังไจจะทำงานได้ดีกว่าบักเตรีเมื่อดินเป็นกรด และแม้ว่าดินเป็นด่าง ฟังไจก็สามารถทำงานได้ดี แต่สู้บักเตรีไม่ได้ เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530 ก)

ธาตุอาหารพืชพวกจุลธาตุอาหาร (Micronutrient) ในดิน จะเป็นประโยชน์แก่พืชได้มากน้อยแค่ไหน ก็ขึ้นกับระดับพีเอชของดินเป็นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น เหล็ก จะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ง่าย และมีอยู่ในสารละลายดิน (Soil Solution) เป็นจำนวนมากที่ระดับพีเอชต่ำ ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพีเอชต่ำกว่า 5.0 ปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำได้ในดินจะลดลงตามลำดับเมื่อพีเอชของดินสูงขึ้น จนถึงระดับเป็นกลาง ซึ่งแมงกานีส สังกะสี ทองแดงและโลหะหนักอีกหลาย ๆ ธาตุก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับเหล็ก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530 ก) สอดคล้องกับที่ Hinesly และ Sosewitz (1969), Robertson และคณะ (1982), Orawan Siriratpiriya และคณะ (1985) พบว่า เมื่อดินเป็นกรดหรือพีเอชต่ำอยู่ในระดับต่ำ โลหะหนักจะละลายออกมาอยู่ในสารละลายดินได้ง่าย

เมื่อพิจารณาค่าพีเอชของดินตามระยะเวลา (ตารางที่ 13 และ 14) จะเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเหมือนกันในพืชทั้ง 2 ชนิด โดยอธิบายภาพรวมได้ดังนี้คือ ค่าพีเอชของพืชทั้ง 2 ชนิด จะสูงที่สุดในช่วง 2 สัปดาห์แรก โดยจะมีค่าพีเอชประมาณ 6.7 - 7.0 ซึ่งจัดว่ามีพีเอชอยู่ในช่วงเป็นกลาง หลังจาก 2 สัปดาห์ผ่านไป ค่าพีเอชของพืชทั้ง 2 ชนิด จะมีแนวโน้มลดลงจนถึงสัปดาห์ที่ 8 ซึ่งมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.4 - 6.7 ค่าพีเอชที่ลดลงนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากมีกิจกรรมต่าง ๆ กัน ดังเช่น ในค่ารักษาผลลงเติมกากตะกอน หรือกากตะกอนร่วมกับแกลบ ก็จะมีการย่อยสลายของจุลินทรีย์เกิดขึ้น เนื่องจากอินทรียวัตถุเหล่านี้เมื่อเติมลงดิน จะมีการย่อยสลายและเกิดเป็นกรดอินทรีย์ต่าง ๆ เป็นผลให้พีเอชของดินลดลงได้ (ปรัชญา กัญญาดี, 2532) เช่นเดียวกับที่ Kuntz และคณะ (1984), Orawan Siriratpiriya, Vigerust และ Selmer - Olsen (1985) กล่าวถึงการใส่กากตะกอนที่มีช่วงพีเอชเป็นกลางลงดินว่า จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดิน ค่าพีเอชของดินอาจเปลี่ยนแปลงได้ อันเป็นผลสืบเนื่องมาจากการแทนที่ไฮโดรเจนไอออน ที่ยึดเกาะในดินของเกลือคอลลินทรีย์

ตารางที่ 13 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของดินที่เพาะปลูกผักคะน้าระหว่างทำการทดลอง

แปลงทดลอง	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
ควบคุม	6.9	6.8	6.7	6.7
ปุ๋ยเคมี	6.7	6.6	6.5	6.5
กากตะกอน	6.8	6.5	6.7	6.7
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 กก./ไร่	7.0	6.7	6.7	6.7
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 640 กก./ไร่	6.9	6.8	6.7	6.7
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 กก./ไร่	6.9	6.8	6.8	6.6
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 1,280 กก./ไร่	6.7	6.6	6.8	6.6
ความแตกต่างตามระยะเวลา	a	b	b	b
C.V. (%)	2.10			
F - Value (week)	9.38*			

หมายเหตุ - ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ. ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีการ DMRT

- สัญลักษณ์ * หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 14 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของดินที่เพาะปลูกผักกาดหอมระหว่างทำการทดลอง

แปลงทดลอง	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
ควบคุม	6.8	6.8	6.8	6.6
ปุ๋ยเคมี	6.9	6.4	6.4	6.4
กากตะกอน	6.8	6.5	6.5	6.5
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 กก./ไร่	6.8	6.3	6.5	6.5
กากตะกอนรวมกับแกลบ 640 กก./ไร่	6.8	6.4	6.4	6.5
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 กก./ไร่	6.8	6.4	6.4	6.5
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 1,280 กก./ไร่	6.7	6.6	6.6	6.6
ความแตกต่างตามระยะเวลา	a	b	b	b
C.V. (%)	2.21			
F - Value (week)	21.70*			

หมายเหตุ - ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ. ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีการ DMRT

- สัญลักษณ์ * หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95%

ค่าพีเอชของดินในสัปดาห์ที่ 4, 6 และ 8 ของพืชทั้ง 2 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลา ดังปรากฏตัวอักษร b เหมือนกัน แม้ว่าค่าพีเอชของดินต่ำที่สุดจะมีค่าประมาณ 6.4 แต่ก็ใกล้เคียงกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในการลดความเป็นพิษที่อาจเกิดจากโลหะหนัก ว่าจะต้องมีพีเอชไม่ต่ำกว่า 6.5 (King และ Morris, 1972) อย่างไรก็ดี Hyde และคณะ (1979) ได้กล่าวไว้ว่า การปลูกพืชโดยใช้กากตะกอน ควรปลูกบนดินที่มีพีเอชมากกว่า 6.5 ในการทดลองครั้งนี้ จากการวิเคราะห์ดินก่อนเพาะปลูกพบว่ามีค่าพีเอชประมาณ 7.1 แล้วเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ค่าพีเอชก็ยังอยู่ในช่วง 6.5 ซึ่งไม่น่าจะก่อให้เกิดความเสียงจากโลหะหนักมากขึ้นแต่อย่างใด

<u>ลักษณะสมบัติของดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้าและผักกาดหอม</u>

1. โลหะหนักในดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้า

จากตารางที่ 15 จะเห็นว่าปริมาณโลหะหนักทุกธาตุที่ตรวจพบ มีเฉพาะปริมาณของตะกั่วเท่านั้นที่มีการสะสมในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตำรับทดลองโดยการเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบ ไม่ทำให้ปริมาณตะกั่วที่สะสมในดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังปรากฏอักษร b เหมือนกัน ทั้งนี้คงเป็นผลมาจากการเติมกากตะกอนลงดินในอัตราที่เท่ากัน คือ 3,200 กก./ไร่ จึงส่งผลให้ปริมาณตะกั่วที่ปลดปล่อยออกมาจากกากตะกอนนั้น มีค่าใกล้เคียงกัน และการเติมกากตะกอนก็ไม่ทำให้ตะกั่วมีการสะสมในดินสูงกว่าปุ๋ยเคมีและควบคุมแต่อย่างใด ดังแสดงด้วยตัวอักษร a เหมือนกัน หากพิจารณาค่าตัวเลขของปริมาณตะกั่วในดิน (ตารางที่ 15) จะเห็นว่าปริมาณตะกั่วในดินหลังการเพาะปลูก ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 6) ยกเว้นควบคุมซึ่งไม่มีการเติมสิ่งใดลงไป โดยมีค่าของปริมาณตะกั่วเท่ากับดินก่อนการเพาะปลูก การเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบ มีปริมาณของตะกั่วค่อนข้างต่ำกว่าปุ๋ยเคมีและควบคุม ซึ่งปกติแล้วตะกั่วจะถูกดูดยึดโดยดินเหนียวได้ดี (อรวรรณ ศิริรัตน์นิรันดร์, 2525)

และเคลื่อนย้ายได้น้อยหรือไม่เคลื่อนย้ายเลยเมื่ออยู่ในดิน (Davis, 1984) แต่การใส่กากตะกอนลงดินก็มีผลในการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการปรับปรุงโครงสร้างดินและน้ำในดิน (Guidi and Hall, 1984) นั่นคือกากตะกอนจะทำหน้าที่เป็นทั้งสารปรับปรุงดินและปุ๋ยสำหรับพืชด้วย (Gillies et al., 1989) ด้วยเหตุนี้อาจเป็นผลให้ดินที่ใช้เพาะปลูก คือ ดินเหนียว มีโครงสร้างที่เหมาะแก่การดูดดึงตะกั่วโดยผักตะน้าได้ง่ายกว่าการไม่เติมกากตะกอน ทำให้ปริมาณตะกั่วที่สะสมในดินลดลงต่ำกว่าปุ๋ยเคมีและควบคุม อย่างไรก็ตามปริมาณของตะกั่วในดินและกากตะกอนก็ไม่มีผลต่อการสะสมของตะกั่วในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักตะน้า จึงตรวจไม่พบตะกั่วในพืชทุกตำรับทดลอง (ตารางที่ 10)

การสะสมแคดเมียม ทองแดง นิเกิล แมงกานีส และสังกะสี ในดินหลังการเพาะปลูกผักตะน้านั้น ทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 15) แต่จากค่าตัวเลขจะเห็นได้ชัดเจนว่า การเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบมีผลต่อการเพิ่มปริมาณโลหะหนักในดิน และถูกดูดดึงขึ้นไปสะสมในพืช (Kelling et al., 1977; Sheaffer et al., 1979; Hemphill et al., 1982; Lutrick, Robertoon และ Cornell, 1982; อรวรรณ ศิริรัตน์นิรันดร์, 2532)

ปริมาณของแคดเมียมในดินหลังการเพาะปลูกนั้น ควบคุมและปุ๋ยเคมีไม่พบการสะสมของแคดเมียมเช่นเดียวกับดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 6) และปริมาณของแคดเมียมที่มีปนเปื้อนอยู่ในกากตะกอน ดังปรากฏในตารางที่ 6 ก็ไม่มีผลทำให้เกิดการสะสมของแคดเมียมในผักตะน้า ที่ปลูกโดยใช้การเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบ (ตารางที่ 10)

ปริมาณของทองแดงในดินหลังการเพาะปลูก พบว่าการเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 640 และ 960 กก./ไร่ มีการสะสมของทองแดงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 6) แต่ปริมาณที่เพิ่มขึ้นเมื่อเติม

กากละกอน ก็ไม่ทำให้ผักคะน้ามีการสะสมของทองแดงสูงกว่าระดับที่ยอมรับให้ปนเปื้อนได้ในพืช ซึ่งเสนอไว้โดย Chaney (1982)

ปริมาณนิเกิลในดินหลังการเพาะปลูก (ตารางที่ 15) ทุกตำรับทดลอง มีค่าสูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 6) ปริมาณของนิเกิลมีแนวโน้มสูงขึ้น แม้ว่าจะเป็นตำรับทดลองที่มีการเติมละกอนหรือไม่เติมกากละกอน เช่น ควบคุมและปุ๋ยเคมี ก็ตาม อย่างไรก็ดี ค่าของปริมาณนิเกิลที่ปนเปื้อนในดิน และที่ตรวจพบในกากละกอนน้ำเสีย ก็ไม่ทำให้เกิดการสะสมของนิเกิลในผักคะน้า

แมงกานีสที่สะสมในดินหลังการเพาะปลูก (ตารางที่ 15) มีค่าสูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 6) อย่างเห็นได้ชัดในทุกตำรับทดลองเช่นเดียวกับกรณีของนิเกิล แต่เนื่องจากการเติมกากละกอนหรือไม่เติมกากละกอน เช่น ปุ๋ยเคมี และควบคุม ก็ไม่ทำให้ค่าฉลี่ยของแมงกานีสในดินหลังการเพาะปลูกแตกต่างกันมากนัก จึงเป็นไปได้ว่าค่าตัวเลขของแมงกานีสที่สูงขึ้น ไม่น่าจะเป็นอิทธิพลของปริมาณแมงกานีสจากกากละกอนเพียงเท่านั้น แต่อาจมีปัจจัยอื่น ๆ เกี่ยวข้องอีกก็เป็นได้

ปริมาณสังกะสีที่ตกค้างในดินหลังการเพาะปลูก จะเห็นได้ว่าสังกะสีในดินควบคุมและปุ๋ยเคมี (ตารางที่ 15) มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณสังกะสีในดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 6) ส่วนการเติมกากละกอนและกากละกอนร่วมกับแกลบ มีผลให้การสะสมสังกะสีในดินสูงมากขึ้นกว่าดินก่อนการเพาะปลูกแม้ว่าสังกะสีในกากละกอนจะมีปริมาณสูงมาก แต่เมื่อพิจารณาจากดินหลังการเพาะปลูกที่มีการเติมกากละกอนลงไป ก็พบว่ามีสังกะสีอยู่ในปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับที่สะสมอยู่ในผักคะน้า (ตารางที่ 10) ทั้งนี้คงเนื่องมาจากสังกะสีเป็นจุลธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงทำให้พืชดูดดึงสังกะสีขึ้นไปสะสมในปริมาณที่สูง โดยเฉพาะจะสะสมในส่วนเหนือดินของผักคะน้าสูงกว่าส่วนใต้ดินอย่างเห็นได้ชัด(ตารางที่ 10) จึงเหลือตกค้างในดินในปริมาณที่น้อย

ตารางที่ 15 ปริมาณโลหะหนักในดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้า และผักกาดหอม (หน่วยเป็น มก./กก.)

ตำรับทดลอง	ผักคะน้า							ผักกาดหอม						
	ตะกั่ว	แคดเมียม	ทองแดง	นิเกิล	สังกะสี	สังกะสี	เหล็ก	ตะกั่ว	แคดเมียม	ทองแดง	นิเกิล	สังกะสี	สังกะสี	เหล็ก
ควบคุม	2.40^{a}	Tr	2.47	0.77	20.27	7.13	53.60	2.13	Tr	1.98	1.03	21.73^{c}	6.60	71.47
ปุ๋ยเคมี	1.86^{ab}	Tr	1.99	0.81	22.93	7.07	60.93	2.00	Tr	1.83	1.06	26.47^{bc}	10.13	64.93
กากตะกอน	1.60^{ab}	0.22	3.65	0.83	23.13	26.67	62.40	2.40	0.06	3.82	0.94	24.87^{bc}	20.87	59.73
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 กก./ไร่	1.20^{b}	0.31	3.97	0.83	21.47	18.93	43.20	2.00	0.07	3.85	0.99	24.13^{bc}	34.93	66.00
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 640 กก./ไร่	1.47^{b}	0.23	4.10	0.83	25.13	28.13	49.07	1.47	0.10	3.52	0.96	24.93^{bc}	28.27	54.53
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 กก./ไร่	1.60^{ab}	0.28	4.34	1.00	28.93	31.60	41.20	1.47	0.06	3.67	1.14	32.87^{a}	49.87	83.47
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 1,280 กก./ไร่	1.20^{b}	0.31	2.48	0.94	25.40	24.27	40.27	1.60	0.07	4.21	0.97	28.40^{ab}	31.20	52.93
C.V. (%)	21.56	26.89	30.42	20.86	23.95	30.16	30.16	77.91	49.66	49.03	12.28	12.12	69.21	42.58
F - Value	3.50*	0.89	2.68	0.61	0.76	1.11	1.11	1.45	0.53	1.06	0.96	3.82*	2.07	0.44

หมายเหตุ - ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีการ DMRT

- สัญลักษณ์ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 %

- สัญลักษณ์ หมายถึงสามเหมือนกัน และ หมายถึงสองเหมือนกัน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เหล็กเป็นธาตุที่มีแนวโน้มการปนเปื้อนในดินสูงที่สุด เมื่อเทียบกับโลหะหนักธาตุอื่น ๆ ที่ศึกษา (ตารางที่ 6, 15) ทั้งนี้คงเป็นผลมาจากการที่เหล็กเป็นธาตุที่มีการนำมาใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย จึงมีโอกาสปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้ง่าย การสะสมของเหล็กในดินหลังปลูกผักคะน้าในทุกตำรับทดลองนั้น ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 15) และมีค่าต่ำกว่าดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 6) อย่างเห็นได้ชัด ส่วนการเติมแกลบลงไปร่วมกับกากตะกอนในการเพาะปลูก จะมีแนวโน้มของการสะสมเหล็กในดินต่ำกว่าการเติมกากตะกอนเพียงอย่างเดียว

ในทุกตำรับทดลองโดยสรุปแล้วพบว่า ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในดินหลังปลูกผักคะน้า ส่วนใหญ่ ยังมีการปนเปื้อนของโลหะหนักต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในประเทศต่าง ๆ เป็นอันมาก ดังตารางที่ 16

2. โลหะหนักในดินหลังการเพาะปลูกผักกาดหอม

การสะสมโลหะหนักธาตุต่าง ๆ คือ ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง นิเกิล สังกะสี และเหล็ก (ตารางที่ 15) นั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง ส่วนแมงกานีสเป็นโลหะหนักธาตุเดียวที่มีการสะสมในดิน หลังการเพาะปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง การเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 และ 640 กก./ไร่ ไม่ทำให้การสะสมของแมงกานีสแตกต่างกับปุ๋ยเคมีและควบคุมแต่อย่างใด ดังแสดงด้วยตัวอักษร c การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 และ 1,280 กก./ไร่ ไม่ทำให้การสะสมของแมงกานีสมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงด้วยตัวอักษร a เหมือนกัน (ตารางที่ 15) แต่การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบอัตรา 960 และ 1,280 กก./ไร่นี้ มีแนวโน้มของการสะสมแมงกานีสสูงกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ค่าของแมงกานีสที่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับทดลองต่าง ๆ เหล่านี้ก็ไม่ทำให้ผลการสะสมแมงกานีสในทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักกาดหอม แตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง (ตารางที่ 11) แคดเมียมและทองแดงในดิน หลังการเพาะปลูกผักกาดหอม พบว่า การเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบ มีผลทำให้ปริมาณของแคดเมียมและทองแดง สูงกว่าปุ๋ยเคมีและควบคุมอย่างเห็นได้ชัด สอดคล้องกับที่ Kelling และคณะ (1977) Sheaffer และคณะ (1979), Hemphill และคณะ (1982), Lutrick, Robertoon และ Cornell (1982), อรวรรณ ศิริรัตน์นิรันดร์ (2532) กล่าวว่า การเติมกากตะกอนลงสู่ดิน เปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มโลหะหนักให้แก่ดิน

การสะสมของโลหะหนักธาตุอื่น นอกเหนือจากแมงกานีสซึ่งมีการสะสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พอจะอธิบายโดยแยกออกเป็นธาตุต่าง ๆ ดังนี้คือ

ปริมาณของตะกั่วที่ตรวจพบในดินหลังการเพาะปลูก (ตารางที่ 15) ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าและเท่ากับปริมาณตะกั่วในดินก่อนการเพาะปลูก อย่างไรก็ตามปริมาณตะกั่วในดินก่อนการเพาะปลูก รวมไปถึงปริมาณตะกั่วในกากตะกอนน้ำเสีย ก็มีผลต่อการสะสมของตะกั่วในผักกาดหอมน้อยมาก จนตรวจไม่พบตะกั่วในผักกาดหอม ทั้งในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของทุกตำรับทดลอง (ตารางที่ 11)

ปริมาณของแคดเมียมในดินหลังการเพาะปลูกผักกาดหอม (ตารางที่ 15) เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 6) แล้ว จะเห็นได้ว่าควบคุมและปุ๋ยเคมีตรวจไม่พบการปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน แต่การเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบมีผลให้แคดเมียมในดินหลังการเพาะปลูกเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ดี ปริมาณของแคดเมียมที่ตรวจพบในดินรวมทั้งที่ปนเปื้อนอยู่ในกากตะกอนน้ำเสีย ก็ไม่ทำให้แคดเมียมมีการสะสมทั้งในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของผักกาดหอม (ตารางที่ 11)

ปริมาณทองแดงในดินหลังการเพาะปลูกผักกาดหอม (ตารางที่ 15) พบว่า การเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบ จะมีค่าของทองแดงสูงกว่าควบคุมและปุ๋ยเคมีอย่างเห็นได้ชัด และมีปริมาณของทองแดงสูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 6) นั่นคือ การเติมกากตะกอน จะมีส่วนในการเพิ่มปริมาณของทองแดงลงสู่ดิน ปริมาณทองแดง

ที่ปนเปื้อนในดินก่อนการเพาะปลูก รวมทั้งปริมาณของทองแดงที่ปนเปื้อนในกากตะกอนน้ำเสีย (ตารางที่ 6) นั้น ไม่ทำให้การสะสมทองแดงในผักกาดหอมสูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับให้ปนเปื้อนในพืชซึ่งเสนอไว้โดย Chaney (1982)

ปริมาณนิเกิลในดินหลังการเพาะปลูก เมื่อพิจารณาจากค่าของตัวเลข (ตารางที่ 15) จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน ค่าของนิเกิลที่ตรวจพบจะสูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูกในทุกตำรับทดลอง อย่างไรก็ตาม ปริมาณนิเกิลในดินก่อนการเพาะปลูกและที่ปนเปื้อนในกากตะกอนน้ำเสีย ก็ไม่ทำให้ตรวจพบการสะสมของนิเกิลในผักกาดหอมแต่อย่างใด

ปริมาณสังกะสีในควบคุมและปุ๋ยเคมีของดินหลังการเพาะปลูก มีค่าต่ำกว่าการเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบอัตราต่าง ๆ (ตารางที่ 15) การเพิ่มขึ้นของสังกะสีในดิน คงเป็นผลจากการเติมกากตะกอนลงดินซึ่งเท่ากับเป็นการเติมสังกะสีลงดินด้วย ปริมาณสังกะสีในตำรับทดลองต่าง ๆ ยกเว้นควบคุม จะมีค่าของปริมาณสังกะสีสูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูกอย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 6) และถึงแม้ว่าความแตกต่างของปริมาณสังกะสีในดิน จะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างตำรับทดลอง แต่การสะสมของสังกะสีซึ่งถูกดูดดึงขึ้นไปสะสมโดยผักกาดหอมนั้น พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างตำรับทดลองทั้งในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน โดยมีการสะสมของสังกะสีอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับให้ปนเปื้อนได้ในพืช ซึ่งเสนอไว้โดย Chaney (1982)

ปริมาณเหล็กที่ตกค้างในดินหลังการเพาะปลูก (ตารางที่ 15) เมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 6) จะเห็นว่าดินก่อนการเพาะปลูกมีปริมาณของเหล็กสูงกว่าดินหลังการเพาะปลูกในทุกตำรับทดลอง อย่างไรก็ตามปริมาณเหล็กในดินก่อนและหลังการเพาะปลูก ก็ยังมีปริมาณที่ต่ำกว่าปริมาณเหล็กในผักกาดหอมเป็นอย่างมาก และแม้แต่ปริมาณเหล็กที่ปนเปื้อนในกากตะกอนน้ำเสีย ก็ยังมีค่าต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเหล็กในส่วนเหนือดินของผักกาดหอม (ยกเว้นควบคุม) และต่ำกว่าปริมาณเหล็กในส่วนใต้ดินของบางตำรับทดลองคือ กากตะกอนร่วมกับแกลบ 640 และ 1,280 กก./ไร่

ตารางที่ 16 ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มก./กก.) สูงสุด ที่ยอมรับให้มีได้ในดินเกษตรกรรมของประเทศต่าง ๆ (Webber et al., 1984)

ประเทศ	ปริมาณโลหะหนัก (มก. ต่อ กก.)						
	สะกั่ว	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 : - เท่ากับไม่ได้เสนอลัวเลข

การที่ผักกาดหอมมีการสะสมเหล็กในปริมาณที่สูงนี้ อาจเป็นเพราะพืชโดยทั่วไปจะมีความสามารถในการดูดดึงเหล็กได้มากกว่า เมื่อเทียบกับโลหะหนักธาตุอื่น ๆ (Puckett et al., 1973) จึงเหลือโลหะหนักตกค้างในดินในปริมาณต่ำกว่าที่สะสมในพืช

หากพิจารณาโลหะหนักบางธาตุเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดให้มีได้ในดินเกษตรกรรมของประเทศต่าง ๆ (ตารางที่ 16) จะเห็นได้ว่าในดินหลังการเพาะปลูกก็ยังมีการสะสมโลหะหนักอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาก

3. อินทรียวัตถุ

อินทรียวัตถุในดินหลังการเพาะปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด มีความแตกต่างระหว่างค่ารับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 17 ดินหลังการเพาะปลูกผักกะน้า จะพบว่าการเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบ มีแนวโน้มลดปริมาณอินทรียวัตถุสะสมในดินสูงกว่าปุ๋ยเคมีและควบคุม ทั้งยังมีส่วนทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มมากขึ้นกว่าดินก่อนการเพาะปลูก เช่นเดียวกับในกรณีของผักกาดหอม ซึ่งพบว่า การเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบ มีแนวโน้มของปริมาณอินทรียวัตถุที่สะสมในดินสูงกว่าปุ๋ยเคมี ควบคุมและสูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูกเช่นกัน การเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุในดินนี้ อาจกล่าวได้ว่า เป็นผลมาจากการเพิ่มของอินทรียวัตถุจากกากตะกอนที่เติมลงสู่ดิน (Gillies et al., 1986 ; อรวรรณ ศิริรัตน์นิรันดร์, 2529) เมื่อพิจารณาเฉพาะการใส่กากตะกอนร่วมกับแกลบสำหรับเพาะปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด แม้ว่าจะทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียว แต่การเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามอัตราเติมแกลบ การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 640 960 และ 1,280 กก./ไร่นั้น ไม่ทำให้ค่าอินทรียวัตถุที่สะสมในดินหลังการเพาะปลูก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงด้วยอักษร a เหมือนกันในพืชทั้ง 2 ชนิด

จากค่าของตัวเลขดังตารางที่ 17 เมื่อพิจารณาเฉพาะการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบในอัตรา 960 กก./ไร่ จะเห็นได้ว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีค่าสูงกว่าค่ารับทดลองอื่นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับการเติมแกลบอัตราต่าง ๆ ปรากฏการณ์ดังกล่าว เกิดขึ้นทั้งในดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้าและผักกาดหอม ในกรณีของผักคะน้า ปริมาณอินทรียวัตถุจากการเติมแกลบอัตรา 960 กก./ไร่นี้ อาจเป็นผลให้ค่าของแมงกานีส สังกะสีและเหล็ก ในส่วนเหนือดินของผักคะน้าลดลงจนเป็นที่น่าสังเกต ดังปรากฏในตารางที่ 10 สอดคล้องกับที่ Orawan Siriratpiriya และคณะ (1985) พบว่า การดูดดึงโลหะหนักเข้าไปสะสมในพืช ปัจจัยอย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้องคือ ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน กล่าวคือ ดินที่มีอินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำ มีผลให้พืชดูดดึงโลหะหนักเข้าไปสะสมได้มากกว่าดินที่มีอินทรียวัตถุในระดับสูง

4. ไนโตรเจน

ไนโตรเจนทั้งหมด

จากตารางที่ 17 ค่าไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้าและผักกาดหอม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างค่ารับทดลอง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด จากการเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบ มีแนวโน้มสูงกว่าปุ๋ยเคมีและควบคุม แสดงให้เห็นว่ากากตะกอนที่เติมลงไปในอัตรา 3,200 กก./ไร่ สามารถจะเป็นแหล่งไนโตรเจนของพืชได้อย่างเนียงนล ค่าตัวเลขที่ค่อนข้างสูงกว่าปุ๋ยเคมีและควบคุมนั้น บ่งบอกให้ทราบว่ากากตะกอนน้ำเสียสามารถเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชในฤดูกาลเพาะปลูกต่อไปได้ นั่นคือ การนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ในพื้นที่การเกษตรจะไม่ทำให้เกิดการสะสมไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (Follett et al., 1981) แต่การที่จะบ่งชี้ให้ทราบถึงความสามารถในการเป็นแหล่งธาตุอาหาร

ฤดูกาลเพาะปลูกต่อไปนั้น ควรจะต้องพิจารณาค่าของไนโตรเจนในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที คืออยู่ในรูปของไนเตรตและแอมโมเนียม ประกอบกันด้วย

ไนเตรต

ไนเตรตนับเป็นไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ปริมาณไนเตรตในดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้าและผักกาดหอม ดังตารางที่ 17 นั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสำรับทดลอง โดยพบว่าค่าของไนเตรตที่สูงที่สุด คือ สำรับทดลองปุ๋ยเคมีของพืชทั้ง 2 ชนิด แสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยเคมีสามารถให้ไนโตรเจนในรูปของไนเตรตได้มาก และทันต่อความต้องการของพืช ซึ่งเป็นข้อดีของปุ๋ยเคมี ส่วนกากตะกอนน้ำเสียนั้น แม้ว่าจะสามารถปลดปล่อยไนเตรต แต่ก็ขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยสลายเมื่อใส่ลงในดินด้วย ทั้งนี้เพราะการเกิดกระบวนการสลายตัว (Mineralization) ของอินทรียไนโตรเจนจะต้องใช้ระยะเวลา ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในราว 3 สัปดาห์ ในการที่จะปลดปล่อยไนเตรตเพิ่มขึ้นให้แก่ดินอย่างมีนัยสำคัญ (Kelling et al., 1977) อย่างไรก็ตาม การปลดปล่อยไนเตรตไนโตรเจนของกากตะกอนที่ใช้ทดลอง อาจใช้ระยะเวลานานกว่านี้ เนื่องจากปัจจัยอื่น ๆ อีกก็เป็นได้

ปริมาณไนเตรตในดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้าและผักกาดหอม

นอกจากการเติมปุ๋ยเคมีแล้ว ทุกสำรับทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงด้วยอักษร b การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ ทำให้ค่าไนเตรตมีแนวโน้มต่ำกว่าการเติมกากตะกอนเพียงอย่างเดียว แม้ว่าค่าไนโตรเจนทั้งหมดของการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ จะมีแนวโน้มสูงกว่าการเติมกากตะกอนก็ตาม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการดึงไนโตรเจนจากกากตะกอนและดินโดยจุลินทรีย์ เพื่อมาใช้ในการย่อยสลายแกลบ (ด้วยเหตุที่แกลบมีค่า C/N ratio ต่ำมาก คือประมาณ 158 : 1 เมื่อคำนวณจากปริมาณของคาร์บอนและไนโตรเจน ในตารางที่ 1) หรือที่เรียกว่า "Nitrogen Immobilization" เป็นผล

ให้ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530 ก) ซึ่งในที่นี้จะเห็นได้ชัดในกรณีของไนเตรต ส่วนค่าไนเตรตที่ต่ำที่สุดคือ ควบคุมของพืชทั้ง 2 ชนิด

โดยสรุปแล้วพอจะกล่าวได้ว่า แม้การเติมกากตะกอนจะไม่ทำให้ปริมาณไนเตรตสูงกว่าปุ๋ยเคมี แต่ก็มีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณไนเตรตในดิน ทำให้ค่าที่วัดได้สูงกว่าควบคุม และปริมาณไนเตรตที่วัดได้เกือบทุกตำรับทดลอง ก็มีค่าไนเตรตสูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 6) จึงแสดงให้เห็นถึงไนเตรตที่ตกค้างในดินและเป็นผลดีต่อการเพาะปลูกพืชในฤดูกาลเพาะปลูกต่อไปด้วย

<u>แอมโมเนียม</u>

แอมโมเนียมนับเป็นไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช แอมโมเนียมในดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้าและผักกาดหอม (ตารางที่ 17) พบว่า การสะสมของแอมโมเนียมนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง ในดินหลังปลูกผักคะน้า จะมีแอมโมเนียมสูงที่สุดในปุ๋ยเคมี และต่ำที่สุดคือควบคุม ส่วนการเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบ มีแนวโน้มของค่าตัวเลขที่ได้ใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับไนเตรตที่พบว่าการเติมกากตะกอนจะมีส่วนช่วยเพิ่มแอมโมเนียมในดิน แม้ว่าจะอยู่ในปริมาณต่ำกว่าปุ๋ยเคมี แต่ก็มีส่วนช่วยเพิ่มให้ดินมีแอมโมเนียมสูงขึ้น สังเกตได้โดยการพิจารณาค่าของแอมโมเนียมเทียบกับควบคุม

ดินหลังการเพาะปลูกผักกาดหอม พบว่า แอมโมเนียมที่ตกค้างในดิน มีค่าใกล้เคียงกันในทุกตำรับทดลอง โดยปริมาณแอมโมเนียมสูงสุดคือควบคุม และต่ำที่สุดคือการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 กก./ไร่ เช่นเดียวกับไนเตรตไนโตรเจน แอมโมเนียมก็ต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลาย เพื่อให้เกิดการปลดปล่อยแอมโมเนียมออกจากกากตะกอนลงสู่ดิน แต่ในกรณีนี้อาจใช้เวลามากกว่าที่ Kelling และคณะ (1977)

กล่าวไว้ว่าประมาณ 3 สัปดาห์ อย่างไรก็ตามปริมาณแอมโมเนียมเหล่านี้ รวมถึงอิทธิพลของไนโตรเจนรูปอื่น ก็คงเพียงพอต่อการเพาะปลูกผักคะน้าและผักกาดหอม เนื่องจากผลผลิตที่ได้ ไม่แสดงอาการของการขาดแคลนไนโตรเจนแต่อย่างใด

การพิจารณาเรื่องไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้น จะต้องคำนึงถึงทั้งแอมโมเนียมและไนเตรต ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนทั้ง 2 รูปนี้ มีการเปลี่ยนรูปและเปลี่ยนแปลงในดินอยู่เสมอ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2530 ข)

5. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ฟอสฟอรัสในดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้าและผักกาดหอม (ตารางที่ 17) จะเห็นว่าดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้า มีการสะสมฟอสฟอรัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง โดยมีการสะสมฟอสฟอรัสสูงที่สุดในปุ๋ยเคมี รองลงมาคือ ควบคุม ทั้ง 2 ตำรับทดลองนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พิจารณาจากอักษร a ส่วนดินหลังการเพาะปลูกผักกาดหอมจะมีการสะสมฟอสฟอรัสสูงที่สุดในควบคุม และรองลงมาคือ ปุ๋ยเคมี การที่ฟอสฟอรัสมีการสะสมปริมาณที่สูงในตำรับทดลองต่าง ๆ อาจเป็นเพราะในดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 6) มีค่าของฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูงอยู่ก่อนแล้วก็เป็นได้

ในผักคะน้านั้น การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบอัตราต่าง ๆ ไม่ทำให้ค่าของฟอสฟอรัสมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับการเติมกากตะกอนแต่อย่างใด ส่วนปริมาณของฟอสฟอรัสในดินหลังการเพาะปลูกผักกาดหอม จะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกันทั้งในกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบ (ตารางที่ 17) เมื่อพิจารณาค่าของฟอสฟอรัสในกากตะกอนน้ำเสีย (ตารางที่ 6) พบว่ามีค่าอยู่ในระดับที่สูง แต่เมื่อเติมกากตะกอนลงสู่ดิน เป็นผลให้ดินหลังการเพาะปลูกมีแนวโน้มของการสะสมของฟอสฟอรัสลดลงกว่าปุ๋ยเคมีและควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของปัจจัยอื่น ๆ ที่มิได้ศึกษาในงานวิจัย

ครั้งนี้ อย่างไรก็ตามฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินหลังการเพาะปลูก ยังนับว่ามีปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของพืช โดยไม่มีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีที่มีส่วนผสมของฟอสฟอรัส เนื่องจากมีค่าของฟอสฟอรัสที่มากเพียงพอ และมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ว่า หากมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่า 17 มก./กก. ไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัส (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530 ข) ดังนั้นจากการทดลองซึ่งมีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 25-7-7 ของเกษตรกรนั้น จึงนับเป็นความไม่จำเป็นอย่างยิ่ง เพราะเกษตรกรสามารถซื้อปุ๋ยที่มีเฉพาะส่วนผสมของธาตุไนโตรเจนและโปแตสเซียม ก็เพียงพอต่อการเป็นประโยชน์ของพืช อย่างไรก็ตามฟอสฟอรัสที่มีปริมาณมากในดิน ก็ยังไม่อาจสรุปได้ว่าจะมีปริมาณที่เพียงพอต่อพืชเสมอไป ทั้งนี้อาจมีปัจจัยอื่น ๆ สามารถควบคุมการละลายและตรึงฟอสเฟตในดินได้ (ถวิล ครุฑกุล, 2530)

6. โปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

โปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของตำรับทดลองต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในพืชทั้ง 2 ชนิด (ตารางที่ 17) โดยในดินหลังปลูกผักคะน้า การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 และ 1,280 กก./ไร่ จะมีปริมาณโปแตสเซียมอยู่ในระดับสูงและสูงกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังแสดงด้วยตัวอักษร a, b การเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบได้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่จะปลดปล่อยและสะสมของโปแตสเซียม ซึ่งสามารถจะเป็นประโยชน์ต่อพืชให้แก่ดินมากกว่าปุ๋ยเคมีและสูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 6) ในดินหลังการเพาะปลูกผักกาดหอม การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 และ 1,280 กก./ไร่ มีปริมาณของโปแตสเซียมอยู่ในระดับสูง การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบในทุกอัตรา แม้ว่าจะมีปริมาณของโปแตสเซียมใกล้เคียงกันจนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงด้วย

อักษร a. แต่หากพิจารณาจากค่าตัวเลขจะเห็นว่า ค่าของโปแตสเซียมจะสูงขึ้นตามปริมาณการเพิ่มแกลบมากขึ้น

จากค่าตัวเลขของปริมาณโปแตสเซียมในดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้าและผักกาดหอม (ตารางที่ 17) จะเห็นได้ว่าปริมาณของโปแตสเซียมส่วนใหญ่แนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีการเติมกากตะกอนลงไป การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบมีผลให้โปแตสเซียมสูงขึ้นตามอัตราเติมแกลบที่สูงขึ้น ปริมาณของโปแตสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในทุก ๆ ตำรับทดลองของพืชทั้ง 2 ชนิดนั้น มีปริมาณสูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูกและเพียงพอ โดยไม่ต้องใส่ปุ๋ยที่มีโปแตสเซียม เนื่องจากมีค่าสูงกว่า 125 มก./กก. ซึ่งเป็นค่าที่แนะนำไว้โดย คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2530 ข) ดังนั้น การใส่ปุ๋ยเคมีสูตรที่มีส่วนผสมของธาตุโปแตสเซียม เช่น สูตร 25-7-7 ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้จึงไม่มีความจำเป็น เพราะในดินมีปริมาณโปแตสเซียมอย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่แล้ว

7. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน

ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ทั้งในดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้า และผักกาดหอมนั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง (ตารางที่ 17) ในดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้าพบว่า ปุ๋ยเคมีมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกลดลงต่ำกว่าดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 6) ส่วนการเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบ มีผลให้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงขึ้นกว่าดินก่อนการเพาะปลูก แต่ค่าตัวเลขที่วิเคราะห์ได้ก็มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ในดินหลังการเพาะปลูกผักกาดหอม ทุกตำรับทดลองมีแนวโน้มของค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 6) การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ จะมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงกว่าควบคุม ปุ๋ย

ตารางที่ 17 ลักษณะสมบัติของดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้า และผักกาดหอม (หน่วยเป็น มก./กก.)

ตำรับทดลอง	ผักคะน้า							ผักกาดหอม						
	OM (%)	Total N	NO_3^-	NH_4^+	P	K	CEC (meq/100g)	OM (%)	Total N	NO_3^-	NH_4^+	P	K	CEC (meq/100g)
ควบคุม	1.86^{bc}	301.00	91.00^{b}	61.83	187.50	248.67^{b}	22.67	1.60^{c}	285.60	103.83^{b}	73.50	210.00	232.67^{c}	21.84
ปุ๋ยเคมี	1.59^{c}	293.81	225.17^{a}	81.67	190.42	243.33^{b}	20.40	1.87^{c}	327.75	283.50^{a}	66.50	200.00	256.67^{bc}	21.93
กากตะกอน	1.93^{bc}	304.64	149.33^{b}	71.17	156.25	264.67^{b}	23.20	1.90^{bc}	316.67	192.50^{b}	63.00	173.33	252.00^{bc}	21.51
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 กก./ไร่	1.98^{bc}	318.89	124.83^{b}	73.50	133.75	236.00^{b}	24.80	2.00^{bc}	339.47	134.17^{b}	52.50	193.75	274.67^{abc}	22.94
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 640 กก./ไร่	2.25^{ab}	325.36	123.67^{b}	65.33	126.25	268.67^{b}	22.00	2.15^{abc}	362.51	176.17^{b}	71.17	166.25	295.33^{ab}	22.15
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 กก./ไร่	2.59^{a}	402.92	135.33^{b}	71.17	168.76	352.00^{a}	21.92	2.72^{a}	386.72	186.67^{b}	60.67	177.92	319.33^{a}	24.34
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 1,280 กก./ไร่	2.30^{ab}	359.80	134.17^{b}	67.67	152.50	382.00^{a}	22.24	2.49^{ab}	342.49	109.67^{b}	65.33	162.92	322.67^{a}	23.84
C.V. (%)	14.09	12.33	27.04	26.13	5.18	12.64	17.48	15.10	12.29	27.91	18.52	11.03	10.93	14.92
F - Value	3.84*	2.77	3.56*	0.36	11.79*	7.46*	1.16	4.46*	1.83	5.14*	1.01	2.37	3.87*	0.36

หมายเหตุ - ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีการ DMRT

- สัญลักษณ์ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95 %

- meq/100g หมายถึง มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม

เคมีและกากตะกอนอย่างเห็นได้ชัด การเพิ่มขึ้นของค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกนั้น จะเป็นผลให้ดินสามารถดูดยึดธาตุอาหารต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น (Hasit et al., 1986)

8. สมบัติทางกายภาพของดิน

ความหนาแน่นอนุภาค (Particle Density, Ds)

จากตารางที่ 18 จะเห็นว่าค่าความหนาแน่นอนุภาคของดินในทุกตำรับทดลองของผักคะน้า มีค่าต่ำกว่าดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 8) นั่นอาจหมายถึงการเพาะปลูกผักคะน้า มีแนวโน้มให้ค่าความหนาแน่นอนุภาคของดินลดลง แต่ก็ลดลงเพียง 0.01-0.04 กรัม/มล.เท่านั้น เพราะเมื่อพิจารณาค่าตัวเลขจากตารางที่ 18 จะเห็นว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกันมากนักการเติมกากตะกอนและกากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 และ 640 กก./ไร่ ไม่ทำให้ค่าความหนาแน่นอนุภาคแตกต่างจากควบคุม ส่วนการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 และ 1,280 กก./ไร่มีแนวโน้มทำให้ค่าความหนาแน่นอนุภาคลดลง กว่าการเติมกากตะกอนเพียงอย่างเดียวโดยเมื่อพิจารณาจากทุกตำรับทดลอง จะเห็นว่าความหนาแน่นอนุภาคที่ต่ำสุดได้จากการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 กก./ไร่ รองลงมาคือการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 1,280 กก./ไร่ ซึ่งค่าความหนาแน่นอนุภาคที่ได้ไม่แตกต่างกับปุ๋ยเคมี ส่วนผักกาดหอมนั้นทุกตำรับทดลองมีค่าความหนาแน่นอนุภาคสูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 8) ผลที่เกิดขึ้นนี้อาจเนื่องมาจากการเพาะปลูกผักกาดหอม มีการใช้ระยะเวลาที่ยาวนานรวมไปถึงกิจกรรมอย่างอื่น เช่น การรดน้ำที่ต้องกระทำบ่อยครั้งเพราะผักกาดหอมเป็นพืชที่ค่อนข้างชอบน้ำ ทำให้ดินทดลองซึ่งเป็นดินเหนียวเมื่อมีความชุ่มน้ำมากอาจมีการอัดตัวสูงขึ้น เป็นผลให้ค่าความหนาแน่นอนุภาคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับดินก่อนการเพาะปลูก การเติมปุ๋ยเคมีทำให้ค่าความหนาแน่นอนุภาคสูงที่สุด ส่วนการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบอัตราต่าง ๆ มีแนวโน้มให้ค่าความหนาแน่นอนุภาคต่ำกว่าการเติมกากตะกอนเพียงอย่างเดียว ยกเว้น

การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 640 กก./ไร่ ซึ่งจะมีค่าความหนาแน่นอนุภาคเท่ากับกากตะกอนและเท่ากับปุ๋ยเคมีด้วย

ความหนาแน่นรวม (Bulk Density, Db)

ความหนาแน่นรวมของดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้า และผักกาดหอม (ตารางที่ 18) จะเห็นว่าควบคุมและปุ๋ยเคมีของพืชทั้ง 2 ชนิด มีค่าต่ำกว่าดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 8) การเติมกากตะกอนลงสู่ดิน มีผลให้ดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้า มีค่าความหนาแน่นรวมลดลงกว่าดินก่อนการเพาะปลูก ส่วนผักกาดหอมนั้นการเติมกากตะกอนมีผลให้ค่าความหนาแน่นรวมของดินหลังการเพาะปลูกสูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูกความหนาแน่นรวมนี้จะมีผลต่อการชอนไชของรากพืช กล่าวคือดินที่มีความหนาแน่นรวมสูงการชอนไชของรากพืชเพื่อหาน้ำและธาตุอาหารต่างๆ จะเป็นไปได้ยากกว่าดินที่มีความหนาแน่นรวมต่ำ การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ มีผลให้ดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้ามีแนวโน้มของค่าความหนาแน่นรวมสูงขึ้นกว่าดินก่อนการเพาะปลูก และสูงกว่ากากตะกอนยกเว้นการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 640 กก./ไร่ พบว่ามีค่าความหนาแน่นรวมต่ำกว่าการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบอัตราต่าง ๆ และต่ำกว่าดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 8) การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบในการเพาะปลูกผักกาดหอม มีแนวโน้มของค่าความหนาแน่นรวมลดลงกว่ากากตะกอนและทุกตำรับทดลองที่มีการเติมแกลบจะมีค่าความหนาแน่นรวมที่วิเคราะห์ได้ลดลงต่ำกว่าดินก่อนการเพาะปลูก ทั้งนี้คงเป็นผลมาจากแกลบมีส่วนช่วยในการเพิ่มช่องว่างในดิน ทำให้ความหนาแน่นรวมลดลงตามไปด้วย

ความพรุนรวมของดิน (Total Porosity, E)

ค่าของความพรุนรวมของดิน เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณโดยอาศัยค่าความหนาแน่นอนุภาค (Ds) และความหนาแน่นรวม (Db) โดยใช้สูตร

ตารางที่ 18 สักษณะสมบัติทางกายภาพของดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้าและผักกาดหอม

ตำรับทดลอง	ความหนาแน่นอนุภาค (กรัม/มล.)		ความหนาแน่นรวม (กรัม/มล.)		ความพรุนของดิน (%)	
	CK	LT	CK	LT	CK	LT
ควบคุม	2.39	2.47	1.80	1.88	25	24
ปุ๋ยเคมี	2.37	2.49	1.85	1.83	22	27
กากตะกอน	2.39	2.47	1.97	2.00	18	19
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 320 กก./ไร่	2.39	2.45	2.08	1.84	13	25
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 640 กก./ไร่	2.39	2.47	1.90	1.82	21	26
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 960 กก./ไร่	2.36	2.45	2.03	1.83	14	25
กากตะกอนร่วมกับแกลบ 1,280 กก./ไร่	2.37	2.46	2.01	1.91	15	22

หมายเหตุ CK หมายถึง ผักคะน้า (Chinese Kale)

LT หมายถึง ผักกาดหอม (Lettuce)

E = (1-Db/Ds) x 100 ผลลัพท์ที่ได้จะเป็นเปอร์เซนต์ของช่องว่างในดิน จากตาราง ที่ 18 จะเห็นได้ว่า ในดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้า มีค่าความพรุนรวมสูงอยู่ในควบคุม และปุ๋ยเคมี ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าความพรุนรวมของดินก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 8) การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ มีผลให้ค่าความพรุนรวม ลดลงต่ำกว่าการเติมกากตะกอนเพียงอย่างเดียว และต่ำกว่าดินก่อนการเพาะปลูก ยกเว้นการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบ 640 กก./ไร่ ซึ่งมีค่าความพรุนรวมสูงกว่าดินก่อนการเพาะปลูก และสูงกว่าการเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบอัตราอื่น ๆ ในผักกาดหอมจะเห็นได้ชัดเจนว่า ค่าความพรุนรวมของดินหลังการเพาะปลูกผักกาดหอมมีแนวโน้มสูงกว่า ดินหลังการเพาะปลูกผักคะน้า (ตารางที่ 18) ด้วยเหตุนี้จึงอาจเป็นเหตุผลอย่างหนึ่ง ที่ส่งเสริมให้ผักกาดหอมมีแนวโน้มของการสะสมโลหะหนักสูงกว่าผักคะน้าอย่างเห็นได้ชัด ในเกือบทุกส่วนของทุกตำรับทดลอง (ตารางที่ 10 และ 11) เนื่องจากดินที่มีแนวโน้มของค่าความพรุนรวมสูงกว่าจะมีการเคลื่อนที่ของอากาศของน้ำและธาตุต่าง ๆ ได้มากกว่าดินที่มีค่าความพรุนรวมต่ำ เพราะดินที่มีค่าความพรุนรวมน้อยจะมีการดูดยึดความชื้น อากาศ ตลอดจนธาตุต่าง ๆ ที่อยู่ในดินได้ดี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530 ข) เหตุผลข้างต้นจึงอาจเป็นผลที่ช่วยส่งเสริมการดูดดึงโลหะหนักของผักกาดหอมได้ การเติมกากตะกอนร่วมกับแกลบมีผลให้ความพรุนรวมของดินหลังการเพาะปลูกผักกาดหอม สูงกว่าการเติมกากตะกอนเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่า "แกลบ" มีส่วนช่วยเพิ่มความพรุนให้แก่ดินที่เพาะปลูกผักกาดหอมเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมกากตะกอน แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณแกลบไม่ได้ทำให้ค่าความพรุนรวมเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มแกลบแต่อย่างใด