หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินและกากตะกอน

สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินและกากตะกอน ดังแสดงในตารางที่ 4 นั้น จะเห็นได้ว่าดินในระดับชั้นไถพรวนมีสภาพความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในระดับความเป็นกรดรุนแรง (พีเอช 4.0) ซึ่งเป็นสภาพดินที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช และเนื่องด้วยว่าพืชส่วนมากมักเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-7.0 อีกทั้ง CAST (1976) ก็ให้คำแนะนำว่าดินที่จะเติมกากตะกอนควรปรับสภาพพีเอชให้มีค่าประมาณ 6.5 หรือมากกว่า เพื่อป้องกันการเกิดความเป็นพิษของโลหะหนักที่ปนอยู่ในกากตะกอนต่อพืช ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงปรับสภาพพีเอชดินให้สูงขึ้น โดยใช้วิธีเติมปูนมาร์ลด้วยอัตราเติม 1,722 กก./ไร่ ทำให้สามารถยกระดับพีเอชดินให้สูงขึ้นมาอยู่ในระดับพีเอช 6.5 ซึ่งเป็นระดับพีเอชดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้าที่ใช้เป็นพืชทดลองในครั้งนี้ด้วย (กลุ่มหนังสือเกษตร, 2525)

จากเกณฑ์ความอุดมสมบูรณ์ของดินจากรายงานประจำปี 2524 ของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่าดินมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 1 หรือเท่ากับมีปริมาณอินทรียวัตถุร้อยละ 1.72 นั้น จัดเป็นดินที่มีอินทรียวัตถุอยู่ในเกณฑ์ต่ำ-ปานกลาง (1.0 - 2.5) ซึ่งเป็นระดับที่พืชโดยทั่วไปจะแสดงอาการขาดไนโตรเจนอยู่แล้ว จึงอาจจะเป็นอุปสรรคต่อการเพาะปลูกผักคะน้าได้ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโปตัสเซี่ยมที่แลกเปลี่ยนได้จัดอยู่ในระดับสูง (25 - 45 มก./กก.) และระดับสูงมาก (> 120 มก./กก.) ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าดินสามารถให้ฟอสฟอรัสและโปตัสเซี่ยมอย่างเพียงพอต่อความต้องการในการเจริญเติบโตของพืชได้

สำหรับโลหะหนักในดินในรูปที่พืชสามารถดูดดึงได้ พบว่า ปริมาณโลหะหนักพวกจุลธาตุอาหาร คือ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ซึ่งมีค่า 47.0 16.8 1.0 และ 2.5 มก./กก. ตามลำดับนั้น เป็นปริมาณที่สูงมากกว่าปริมาณวิกฤตต่ำสุด ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการในการเจริญเติบโตของพืช คือ เหล็ก 4.5 มก./กก. แมงกานีส

ตารางที่ 4 สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนและดิน

	กากตะกอน ADS	กากตะกอน ATS	ดิน
pH (ดิน:น้ำ = 1:1)	7.0	7.0	4.0
อินทรีย์คาร์บอน (%)	30.4	29.5	1.0
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	2.9	2.8	606.5*
แอมโมเนี่ยมไนโตรเจน*	800	360	37
ไนเตรตไนโตรเจน*	636	144	138
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์*	168	162	28
โปตัสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้*	690	1005	227
ปริมาณโลหะหนัก** (มก./กก.)			
แคดเมี่ยม	0.2 (4.2)	0.5 (2.9)	tr
ทองแดง	55.0 (179.5)	282.0 (1130.8)	1.0
เหล็ก	375.0 (16176)	305.0 (18977)	47.0
แมงกานีส	126.0 (523.1)	210.0 (1408.4)	16.8
นิเกิล	4.4 (43.3)	3.0 (29.6)	0.7
ตะกั่ว	3.5 (162.4)	3.1 (89.0)	0.3
สังกะสี	500.0 (1510.7)	600.0 (1747.2)	2.5

ค่าในวงเล็บ คือ ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอน (มก./กก.)

* มก./กก.

** ปริมาณโลหะหนักจากการสกัดด้วยการดีทีพีเอความเข้มข้น 0.005 โมลาร์

tr ปริมาณน้อยจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้

1 มก./กก. ทองแดง 0.2 มก./กก. และสังกะสี 2.5 มก./กก. (Davies, 1980 อ้างถึงผลงานของ Viets และ Lindsay, 1973) จึงกล่าวได้ว่าดินที่ใช้ในการทดลองสามารถให้จุลธาตุอาหารได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการของพืช

ส่วนโลหะหนักที่พืชสามารถดูดดึงได้แต่ไม่เป็นจุลธาตุอาหาร คือ แคดเมี่ยม นิเกิล และตะกั่วนั้น พบว่า แคดเมี่ยมมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ ส่วนนิเกิลและตะกั่วมีปริมาณ 0.7 และ 0.3 มก./กก. ก็จัดว่าเป็นปริมาณที่ต่ำกว่าปริมาณทั่ว ๆ ไปในประเทศอังกฤษที่ใช้เป็นฐานกำหนดปริมาณแคดเมี่ยม นิเกิลและตะกั่วในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนของโลหะเหล่านี้ จากสภาวะแวดล้อม คือ แคดเมี่ยม และนิเกิล 1.0 มก./กก. ตะกั่ว 50 มก./กก. (Webber et al., 1983) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าดินที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นดินที่ยังไม่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักจากสภาวะแวดล้อม

สำหรับสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอน ADS และ ATS จะเห็นว่ากากตะกอนทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณอินทรียคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดใกล้เคียงกัน เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (C/N ratio) มีค่าเท่ากับ 10.5 : 1 เท่ากัน จึงเชื่อได้ว่าเมื่อเติมกากตะกอนลงดิน การสลายตัวของกากตะกอนจะเป็นไปได้ดีโดยไม่เกิดการขาดแคลนไนโตรเจนในดิน เนื่องมาจากการดูดไนโตรเจนในดินมาใช้โดยจุลินทรีย์ (nitrogen immobilization) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2523) นอกจากนี้ยังสามารถสนับสนุนข้ออ้างนี้ได้ดีขึ้น จากผลงานของ Parker และ Sommer (1983) ซึ่งสรุปผลการทดลองว่า ขบวนการเปลี่ยนจากสารอนินทรีย์ไปเป็นสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงเมื่ออัตราส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของกากตะกอนมีค่ามากกว่า 20:1

เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก จะเห็นว่าในกากตะกอน ADS และ ATS มีปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักแตกต่างกัน คือ ในกากตะกอน ADS มีปริมาณความเข้มข้นของนิเกิล ตะกั่ว และแคดเมี่ยมมากกว่าในกากตะกอน ATS ในขณะที่กากตะกอน ATS มีปริมาณความเข้มข้นของทองแดง แมงกานีส และสังกะสีมากกว่าในกากตะกอน ADS และเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์จำกัดเกี่ยวกับปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในกากตะกอน ตามคำแนะนำของ Chaney (1973) ซึ่งกล่าวว่า กากตะกอนใดมีปริมาณความเข้มข้นของสังกะสี > 2,000 มก./กก. ทองแดง > 800 มก./กก. นิเกิล > 100 มก./กก. และแคด

ตารางที่ 5 ปริมาณสารอาหารพืชและโลหะหนักที่เกิดจากการเติมกากตะกอนลงดินด้วยอัตราเติมต่าง ๆ

ชนิดของสาร	ปริมาณที่เติมลงดิน (กรัม/แปลง หรือ กก./เฮกตาร์) จากการเติมกากตะกอน							
	ADS ในอัตราเติม (กก./แปลง)				ATS ในอัตราเติม (กก./แปลง)			
	20	40	60	80	20	40	60	80
ไนโตรเจนทั้งหมด	580	1160	1740	2320	560	1160	1740	2320
แอมโมเนียมไนโตรเจน	16	32	48	64	7.2	14.4	21.6	28.8
ไนเตรตไนโตรเจน	12.7	25.4	38.2	50.9	2.9	5.8	8.6	11.5
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	3.4	6.7	10.1	13.4	3.2	6.5	9.7	13.0
โปตัสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	13.8	27.6	41.4	55.2	20.1	40.2	60.3	80.4
แคดเมี่ยม	0.08	0.17	0.25	3.34	0.06	0.12	0.17	0.23
ทองแดง	3.6	7.2	10.7	14.3	22.6	45.2	67.8	90.4
เหล็ก	323	647	970	1294	379	759	1138	1518
แมงกานีส	10.5	20.9	31.4	41.8	28.2	56.3	84.5	120.6
นิเกิล	0.9	1.7	2.6	3.4	0.6	1.2	1.8	2.4
ตะกั่ว	3.2	6.5	9.7	12.9	1.8	3.6	5.3	7.1
สังกะสี	30.2	60.4	90.6	120.8	34.9	69.9	104.8	139.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมี่ยม > 0.5 % ของปริมาณความเข้มข้นของสังกะสี ไม่สมควรนำมาใช้ในการเกษตรนั้น จะเห็นว่ากากตะกอน ATS มีปริมาณความเข้มข้นของทองแดงสูงกว่าเกณฑ์จำกัด อีกทั้งปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีในกากตะกอนทั้งสองก็มีปริมาณความเข้มข้นสูงเกือบเท่าเกณฑ์จำกัดนี้ด้วย ดังนั้นจากลักษณะความผันแปรของปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในกากตะกอน ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของแหล่งกำเนิดของน้ำเสีย (Sommer, 1977) จึงน่าจะเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในกากตะกอนก่อนที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในการเกษตร เพื่อเป็นการป้องกันการเกิดปัญหาเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมจากความเป็นพิษของโลหะหนัก

ในการทดลองครั้งนี้ อัตราเติมกากตะกอนที่ใช้ คือ 20 40 60 และ 80 กก./แปลง (เมตริกตัน/เฮกตาร์) จึงมีผลเสมือนกับมีการเติมสารต่าง ๆ รวมทั้งโลหะหนักลงดินด้วยปริมาณต่าง ๆ ผันแปรตามอัตราเติมกากตะกอน ดังปรากฏในตารางที่ 5

2. ผลผลิตของผักคะน้า

ผลผลิตของผักคะน้าจากการเพาะปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่เติมกากตะกอน ADS และ ATS (ตารางที่ 6) จะเห็นได้ว่าผลผลิตจากแปลงควบคุมที่ไม่มีการเติมสิ่งทดลองใด ๆ มีปริมาณต่ำที่สุด และต่ำกว่าผลผลิตจากแปลงทดลองที่เติมกากตะกอน ทั้งกากตะกอน ADS และ ATS อย่างมีนัยสำคัญ พร้อมกันนี้ยังมีปริมาณต่ำกว่าผลผลิตจากแปลงทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญเช่นกันด้วย จึงแสดงว่าการเติมกากตะกอนลงดินมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณผลผลิตของผักคะน้าอย่างชัดเจน คาดว่ามีสาเหตุเนื่องมาจาก เมื่อกากตะกอนเกิดการสลายตัวโดยจุลินทรีย์ แล้วส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารอาหารพืช และเพิ่มมากกว่าปริมาณสารอาหารพืชที่มีอยู่ในดินเดิมซึ่ง มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำอยู่แล้วก็ได้ สำหรับรายละเอียดอื่นของผลผลิตแยกแสดงได้ดังต่อไปนี้

2.1 ผลผลิตของผักคะน้าจากการเติมกากตะกอน ADS

จากการเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตจากวิธีการเติมกากตะกอนแบบผสมคลุกเคล้ากับดิน กับผลผลิตจากวิธีเติมแบบโรยบนผิวดิน ด้วยอัตราเติมที่เท่ากัน อัตราต่ออัตรา ปรากฏว่าเฉพาะ วิธีเติมกากตะกอนแบบโรยบนผิวดิน ด้วยอัตราเติม 80 กก./แปลงเท่านั้น ที่มีผลผลิตมากกว่าผลผลิตจากวิธีเติมแบบผสมคลุกเคล้ากับดินทุกอัตราเติมอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาผลผลิตจากอัตราเติมทั้ง 4 อัตรา พบว่าผลผลิตจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราเติมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะวิธีเติมแบบโรยบนผิวดิน ผลผลิตจากอัตราเติม 80 กก./แปลง มีปริมาณมากกว่าผลผลิตจาก

ตารางที่ 6 ผลผลิตของผักคะน้าจากการเติมกากตะกอน ADS และ ATS ในรูปน้ำหนักแห้ง

สำรับทดลอง	ผลผลิต (กรัม/แปลง*)							
	ADS ในอัตราเติม (กก./แปลง)				ATS ในอัตราเติม (กก./แปลง)			
	20	40	60	80	20	40	60	80
วิธีผสมคลุกเคล้ากับดิน	163.5 (bcd)	214.7 (b)	232.8 (b)	234.8 (b)	167.2 (de)	222.7 (bcde)	243.6 (bcd)	330.6 (ab)
วิธีโรยบนผิวดิน	211.1 (b)	226.9 (b)	227.2 (b)	332.3 (a)	192.9 (cde)	313.8 (bc)	339.5 (ab)	442.5 (a)
สารละลายโสะหนัก	117.3 (cd)	179.7 (bc)	115.5 (cd)	162.9 (bcd)	136.4 (de)	135.7 (de)	148.1 (de)	174.3 (dc)
ปุ๋ย		178.3 (bc)				182.2 (cde)		
แปลงควบคุม		78.6 (d)				71.1 (e)		

* : พื้นที่เก็บเกี่ยว 1 X 4 ตารางเมตร

ตัวอักษรในวงเล็บ ของแต่ละกากตะกอน ถ้าเหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ตามวิธีการ DMRT.

อัตราเติม 20 40 และ 60 กก./แปลง อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามแม้ว่าผลผลิตจากวิธีเติมแบบผสมคลุกเคล้ากับดิน ด้วย อัตราเติมต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ก็จะสังเกตได้ว่ามีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของผลผลิตตามการเพิ่มอัตราเติมเช่นกัน

นอกจากนี้ปริมาณผลผลิตที่มาจากการเติมกากตะกอน ส่วนมากจะมีปริมาณมากกว่าผลผลิตจากการเติมปุ๋ยเคมี และจากการเติมสารละลายโสหะหนัก ซึ่งสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ผลผลิตจากการเติมกากตะกอนแบบโรยบนผิวดิน ด้วย อัตราเติม 80 กก./แปลง มีปริมาณมากกว่าผลผลิตจากการเติมปุ๋ยเคมี และจากการเติมสารละลายโสหะหนักอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับปริมาณผลผลิตสูงสุดนั้น มาจากการเติมกากตะกอนด้วยวิธีโรยบนผิวดิน ด้วย อัตราเติม 80 กก./แปลง ซึ่งมีค่า 332.2 กรัม/แปลง (4 ตารางเมตร) ในรูปน้ำหนักแห้ง หรือเมื่อคิดเป็นผลผลิตในรูปน้ำหนักสด ที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 91 จะมีค่าประมาณ 9.22 เมตริกตัน/เฮกตาร์ หรือประมาณ 1,475 กก./ไร่

2.2 ผลผลิตของผักคะน้าจากการเติมกากตะกอน ATS

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตจากวิธีเติมกากตะกอนแบบผสมคลุกเคล้ากับดิน กับผลผลิตจากวิธีเติมแบบโรยบนผิวดิน ด้วย อัตราเติมที่เท่ากัน อัตราต่ออัตรา ปรากฏว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ก็มีแนวโน้มว่าผลผลิตจากวิธีเติมแบบโรยบนผิวดิน จะให้ปริมาณผลผลิตมากกว่าจากวิธีเติมแบบผสมคลุกเคล้ากับดิน และเมื่อพิจารณาผลผลิตจากอัตราเติมกากตะกอนทั้ง 4 อัตรา พบว่าทั้งวิธีเติมแบบผสมคลุกเคล้ากับดินและวิธีเติมแบบโรยบนผิวดิน ผลผลิตจากอัตราเติมต่าง ๆ มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามการเพิ่มอัตราเติม โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าผลผลิตจากอัตราเติม 80 กก./แปลง มีปริมาณมากกว่าผลผลิตจากอัตราเติม 20 กก./แปลง อย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ยังพบว่า ส่วนมากของผลผลิตจากการเติมกากตะกอน จะมีปริมาณมากกว่าผลผลิตจากการเติมปุ๋ยเคมีและจากการเติมสารละลายโสหะหนัก โดยเฉพาะผลผลิตจากวิธีเติมแบบโรยบนผิวดิน ด้วยอัตราเติม 60 และ 80 กก./แปลง และผลผลิตจากวิธีเติมแบบผสมคลุกเคล้ากับดิน ด้วยอัตราเติม 80 กก./แปลง มีปริมาณมากกว่าผลผลิตจากการเติมปุ๋ยเคมี และจากการเติมสารละลายโสหะหนักอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับปริมาณผลผลิตสูงสุดจะมาจากการเติมกากตะกอนด้วยวิธีโรยบนผิวดิน ด้วยอัตราเติม 80 กก./แปลง มีค่า 442.5 กรัม/แปลง (4 ตารางเมตร) ในรูปน้ำหนักแห้ง หรือเมื่อคิดเป็นผลผลิตในรูปน้ำหนักสดที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 91 จะมีค่าประมาณ 12.3 เมตริก-ตัน/เฮกตาร์ หรือประมาณ 1,970 กก./ไร่

จากความแตกต่างระหว่างวิธีเติมกากตะกอนทั้งกากตะกอน ADS และ ATS แล้วส่งผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างผลผลิตนั้น คาดว่าน่าจะมีสาเหตุเนื่องมาจากว่า วิธีเติมกาก-ตะกอนแบบโรยบนผิวดิน กากตะกอนทั้งหมดจะอยู่บนผิวดิน การถ่ายเทอากาศและปัจจัยสภาวะแวดล้อมอื่น ๆ อีก อาจเหมาะสมและช่วยส่งเสริมให้เกิดการสลายตัวของกากตะกอนโดยจุลินทรีย์เป็นไปได้ค่อนข้างสมบูรณ์ ส่งผลให้มีปริมาณสารอาหารพืชเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย และเพียงพอต่อความต้องการของผักคะน้า ผักคะน้าจึงเจริญเติบโตได้ดี มีผลผลิตสูงมากกว่าผลผลิตจากวิธีเติมกากตะกอนแบบผสมคลุกเคล้ากับดิน ซึ่งวิธีนี้ กากตะกอนส่วนมากถูกฝังอยู่ในดิน โดยเฉพาะดินเหนียว ซึ่งมีสมบัติการระบายน้ำและอากาศเลว อาจทำให้การสลายตัวของกากตะกอนเป็นไปอย่างไม่ค่อยสมบูรณ์ และส่งผลให้มีการปลดปล่อยสารอาหารพืชออกมาในปริมาณที่น้อยกว่าจากวิธีเติมกากตะกอนแบบโรยบนผิวดิน

แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างของผลผลิตของผักคะน้าในการทดลองครั้งนี้ น่าจะมาจากสาเหตุของความแตกต่างระหว่างปริมาณของกากตะกอนที่เติมลงดินด้วยอัตราเติมต่าง ๆ มากกว่าวิธีเติมกากตะกอน ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าด้วย อัตราเติม 80 กก./แปลง จะได้รับผลผลิตมากกว่าจากอัตราเติม 20 กก./แปลง ซึ่งคาดว่า การเติมกากตะกอนลงดิน ด้วย-อัตราเติม 80 กก./แปลง น่าจะเป็นการเติมกากตะกอนที่มีปริมาณมากเพียงพอที่จะเกิดการปลดปล่อยสารอาหารพืชเนื่องจากการสลายตัวของกากตะกอนสู่ดินในปริมาณเพิ่มมากขึ้น และเพียงพอต่อความต้องการในการเจริญเติบโตของผักคะน้ามากกว่าจากการเติมกากตะกอนด้วยอัตราอื่น และจากการสังเกตในแปลงทดลองก็พบว่า ขนาดและจำนวนต้นของผักคะน้าในแปลงทดลองที่เติมกากตะกอน ADS และ ATS ด้วยวิธีเติมแบบโรยบนผิวดิน ในอัตราเติม 80 กก./แปลง ก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต 1 สัปดาห์ มีความสมบูรณ์และจำนวนของต้นผักคะน้ามากกว่าจากแปลงทดลองอื่น ๆ อย่างชัดเจน เช่น แปลงที่เติมกากตะกอน ในอัตราเติม 20 กก./แปลง จากแปลงที่เติมปุ๋ยเคมี และจากแปลงควบคุม เป็นต้น (ดูรูปที่ 2 3 4 และ 5)

รูปที่ 2 ผลผลิตผักคะน้าจากการเติมกากตะกอน ATS ด้วยวิธีโรยบนผิวดิน ในอัตราเติม 80 กก./แปลง

รูปที่ 3 ผลผลิตผักคะน้าจากการเติมกากตะกอน ADS ด้วยวิธีโรยบนผิวดิน ในอัตราเติม 80 กก./แปลง

รูปที่ 4 ผลผลิตผักคะน้าจากตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-10 ร่วมกับปุ๋ยยูเรีย ด้วยอัตราเติม 160 กก./ไร่

รูปที่ 5 ผลผลิตผักคะน้าจากแปลงควบคุม

ฉะนั้นจากเหตุผลที่ กล่าวข้างต้น จึงน่าจะเป็นสิ่งยืนยันได้ว่าอัตราเติมมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิต โดยวิธีเติมกากตะกอนแบบโรยบนผิวดินเป็นตัวช่วยสนับสนุนให้ได้รับผลผลิตเพิ่มขึ้นอีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากผลผลิตจากการเติมกากตะกอน ATS ด้วยวิธีเติมทั้ง 2 วิธี ผลผลิตมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราเติม แต่ที่อัตราเติมเดียวกันผลผลิตจากวิธีเติมแบบโรยบนผิวดินจะมีปริมาณมากกว่าจากวิธีเติมแบบผสมคลุกเคล้ากับดิน แต่ไม่มากกว่าจนเกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อนึ่งจะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของผลผลิตตามการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนนั้น การเพิ่มขึ้นของผลผลิตตามการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอน ATS จะมีลักษณะปรากฏให้เห็นได้เด่นชัดกว่าการเพิ่มขึ้นของผลผลิตตามการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอน ADS ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความแตกต่างระหว่างสมบัติและองค์ประกอบเคมีของกากตะกอนทั้งสอง ซึ่งมาจากแหล่งกำเนิดของน้ำเสียและกรรมวิธีบำบัดกากตะกอนที่แตกต่างกันก็ได้

นอกจากนี้ จากผลผลิตที่ได้จากการเติมกากตะกอนมีปริมาณมากกว่าผลผลิตจากการเติมปุ๋ยเคมี ก็เป็นสิ่งยืนยันได้ว่าการเติมกากตะกอน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นอินทรียวัตถุชนิดหนึ่งลงในดินเปรี้ยวจัด ซึ่งได้เติมปูนมาร์ลปรับสภาพความเป็นกรดให้ลดน้อยลงแล้ว เป็นวิธีที่เหมาะสมในการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ต่อดินเปรี้ยวจัด และให้ผลดีกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวด้วย

ดังนั้นจากผลผลิตที่ได้รับจากการเพาะปลูกผักคะน้าในดินเปรี้ยวจัดที่เติมกากตะกอน ADS และจากกากตะกอน ATS จึงระบุได้ว่า การเติมกากตะกอนด้วยวิธีโรยบนผิวดิน ด้วยอัตราเติม 80 กก./แปลง เป็นวิธีเติมและอัตราเติมที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกผักคะน้าเพื่อที่จะได้รับผลผลิตสูงสุด ซึ่งผลผลิตสูงสุดที่ได้รับ คือ 1,475 กก./ไร่ (ADS) และ 1,970 กก./ไร่ (ATS) นั้น ก็นับว่าเป็นผลผลิตที่ค่อนข้างสูงและสูงมากกว่าผลผลิตเฉลี่ย 1,150 กก./ไร่ จากการเพาะปลูกเพื่อจำหน่ายของเกษตรกรทั่ว ๆ ไป ซึ่งสามารถผลิตได้ประมาณ 950 - 2,000 กก./ไร่ (กลุ่มหนังสือเกษตร, 2525)

นอกจากนี้ยังสรุปทั่ว ๆ ไปได้ว่า การเติมกากตะกอนไม่ว่าจะเป็นการเติมด้วยวิธีโรยบนผิวดิน หรือวิธีผสมคลุกเคล้ากับดิน มีผลทำให้ผลผลิตของผักคะน้าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนสอดคล้องกับการทดลองของ John และ Van Larhoven (1976), Lutrick และคณะ (1982)

3. ปริมาณโลหะหนักในผักคะน้า

ปริมาณโลหะหนักในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้าจากการเพาะปลูกในดินที่เติมกากตะกอน ADS และ ATS จำนวน 7 ธาตุ คือ แคดเมี่ยม (Cd) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) นิเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) แสดงผลได้ดังนี้

3.1 แคดเมี่ยม

จากการเติมกากตะกอน ADS และ ATS ลงดิน พบว่าปริมาณแคดเมี่ยมในต้นและรากผักคะน้ามีความเข้มข้นต่ำมากกว่าที่จะตรวจพบ แต่จากส่วนของใบ แม้จะวิเคราะห์ปริมาณแคดเมี่ยมได้ ก็พบว่าความเข้มข้นของแคดเมี่ยมจากแต่ละตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ตารางที่ 23) ฉะนั้นจึงแสดงผลของปริมาณแคดเมี่ยมในใบผักคะน้า โดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณแคดเมี่ยมจากตำรับทดลองที่เติมกากตะกอน เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของปริมาณแคดเมี่ยมจากตำรับทดลองเติมสารละลายโลหะหนัก จากตำรับทดลองเติมปุ๋ย และจากแปลงควบคุมได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณแคดเมี่ยมในใบผักคะน้าจากการเติมกากตะกอน ADS และ ATS

	ค่าเฉลี่ยของปริมาณแคดเมี่ยมจากตำรับทดลอง (มก./กก.)			
	กากตะกอน	สารละลายโลหะหนัก	ปุ๋ย	แปลงควบคุม
ใบ (ADS)	1.3	1.4	1.5	1.2
ใบ (ATS)	1.2	1.2	1.2	0.9

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเติมกากตะกอน ADS และ ATS ไม่มีผลต่อปริมาณแคดเมี่ยมในผักคะน้า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในกากตะกอน ADS และ ATS มีปริมาณแคดเมี่ยมต่ำมาก และจากอัตราเติมกากตะกอนสูงสุด ก็เป็นการเพิ่มปริมาณแคดเมี่ยมลงดินด้วยอัตราเติมเพียง 0.34 และ 0.23 กก./เฮกตาร์ จากการเติมกากตะกอน ADS และ ATS ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ซึ่งจะเห็นว่ายังเป็นอัตราเติมที่ต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราเติมที่เป็นขีดจำกัดสูงสุดสำหรับแคดเมี่ยม คือ 5 กก./เฮกตาร์ (Naylor และ Loehr, 1981; Ryan et al., 1982) ซึ่งการเพิ่ม

แคดเมี่ยมลงดินด้วยอัตราเติมที่ต่ำกว่านี้จะทำให้เกิดอันตรายน้อยที่สุดต่อมนุษย์จากความเป็นพิษของแคดเมี่ยมในระบบลูกโซ่อาหาร (Webber และ Monks, 1983)

จากปริมาณแคดเมี่ยมในใบผักคะน้า จะเห็นว่ามีความเข้มข้นสูงมากกว่าปริมาณแคดเมี่ยมที่ประเทศญี่ปุ่นยอมให้มีเป็นในเมล็ดข้าว คือ ห้ามเกิน 1.0 มก./กก. (Hinners et al., 1974) แต่ยังมีค่าต่ำกว่าปริมาณแคดเมี่ยมในใบผัก ซึ่งถือว่ายังปลอดภัยต่อมนุษย์จากคำแนะนำโดย Melsted (1973) คือ ไม่ควรให้มีความเข้มข้นของแคดเมี่ยมเกินกว่า 3 มก./กก. จากปริมาณการสะสมแคดเมี่ยมในผักคะน้า และเนื่องจากแคดเมี่ยมเป็นธาตุที่พืชสามารถดูดดึงได้ โดยเฉพาะพวกพืชผัก เช่น ผักกาดหอม ผักขม (spinach) และกระหล่ำปลี เป็นต้น รวมทั้งความเข้มข้นของแคดเมี่ยมในใบพืชก็มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแคดเมี่ยมในดิน (Davis, 1983)

ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่ต้องคำนึงถึงอย่างมากเกี่ยวกับปริมาณแคดเมี่ยมที่มีอยู่ในกากตะกอน และอัตราเติมกากตะกอนที่เหมาะสมที่จะใช้เติมลงดินเพื่อการเพาะปลูกพืชที่สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์ โดยเฉพาะในกรณีที่กากตะกอนที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในการเกษตร มีปริมาณแคดเมี่ยมปนอยู่สูงมากกว่าในกากตะกอน ADS และ ATS และ/หรืออัตราเติมที่ใช้สูงมากกว่า 80 เมตริกตัน/เฮกตาร์ ควรที่จะศึกษาทดลองหาผลของกากตะกอนต่อปริมาณแคดเมี่ยมในพืชที่ปลูกในดินที่เติมกากตะกอนนั้น เสียก่อนที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในพื้นที่เกษตรกรรม ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันมิให้พืชดูดดึงแคดเมี่ยมเข้าไปสะสมในตัวมันเองเพิ่มปริมาณมากขึ้น จนอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ที่บริโภคพืชนั้น

3.2 ทองแดง

ปริมาณทองแดงในใบ ต้น และราก ของผักคะน้าจากทุกตำรับทดลองที่ปลูกบนดินที่เติมกากตะกอน ADS รวมทั้งปริมาณทองแดงในใบและต้นของผักคะน้าจากทุกตำรับทดลองที่ปลูกบนดินที่เติมกากตะกอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นปริมาณทองแดงในรากผักคะน้าที่ปลูกบนดินเติมกากตะกอน ATS ซึ่งพบว่าปริมาณทองแดงในรากจากตำรับทดลองเติมกากตะกอนแบบโรยบนผิวดิน มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอน และมีแนวโน้มว่า ปริมาณทองแดงในราก จากตำรับทดลองเติมกากตะกอน ATS จะมีค่ามากกว่า จากตำรับทดลองเติมสารละลายโลหะหนัก ปุ๋ย และแปลงควบคุม (ตารางที่ 8)

I15602175

ตารางที่ 8 ปริมาณทองแดงในผักคะน้าจากการเติมกากตะกอน ADS และ ATS

ตำรับทดลอง	ปริมาณทองแดง (มก./กก.)					
	ADS			ATS		
	ใบ	ต้น	ราก	ใบ	ต้น	ราก
1. แปลงควบคุม	5.2	2.1	13.5	4.3	2.2	10.0 b
2. ปุ๋ย	5.3	2.2	10.5	4.3	2.3	9.6 b
3. M 80	5.2	2.0	11.3	4.8	2.3	25.9 ab
4. M 60	5.1	2.2	8.1	3.8	2.3	18.8 b
5. M 40	5.4	2.2	6.9	4.6	2.3	21.2 b
6. M 20	5.1	2.3	8.6	4.4	2.2	22.9 ab
7. TD 80	5.3	2.1	14.0	4.0	2.3	39.2 a
8. TD 60	5.0	2.2	11.5	4.0	2.3	23.1 ab
9. TD 40	5.2	2.3	14.8	3.9	2.2	13.8 b
10. TD 20	5.1	2.3	11.1	3.8	2.3	13.2 b
11. HM 80	5.1	2.3	9.3	4.1	2.3	11.9 b
12. HM 60	5.1	2.2	10.0	4.1	2.2	10.5 b
13. HM 40	5.3	2.2	8.4	3.9	2.2	11.8 b
14. HM 20	5.2	2.3	10.6	4.1	2.3	10.9 b

ตัวอักษรที่เหมือนกันของแต่ละคอลัมน์แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

ปริมาณทองแดงในรากผักคะน้าที่เพิ่มมากขึ้นตามการเพิ่มอัตราเติมจากตะกอนนั้น อาจเนื่องมาจากในกากตะกอน ATS มีปริมาณทองแดงปนอยู่สูงมากกว่าปริมาณที่ใช้เป็นเกณฑ์กำหนดเกี่ยวกับปริมาณทองแดงในกากตะกอนที่จะนำมาใช้ในการเกษตร ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณทองแดงปนได้ไม่เกิน 800 มก./กก. (Chaney, 1973) จึงทำให้ผักคะน้าดูดดึงทองแดงเข้าไปสะสมในรากเป็นจำนวนมาก และมีการลำเลียงปริมาณทองแดงเพียงเล็กน้อยไปสู่ต้นและใบ ซึ่งปรากฏการณ์เกี่ยวกับการสะสมทองแดงในรากมากกว่าส่วนต้นและใบนี้มีหลายการทดลองที่พบ และได้เสนอไว้ เช่น ในต้นใบยาสูบ (Struckmeyer et al., 1969) และในข้าวสาลี โดย Mitchell และคณะ (1978) ได้สันนิษฐานว่า การที่ปริมาณทองแดงยังคงอยู่ในรากพืชโดยไม่มีการลำเลียงไปสู่ส่วนอื่น ๆ ของพืชนั้น ก็เพราะว่าทองแดงมีความชอบ (affinity) ในการเกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนที่เสถียร (stable organic complexes) อยู่ภายในรากพืช

แม้ว่าปริมาณทองแดงในรากผักคะน้าจากการเติมจากตะกอน ATS จะเพิ่มขึ้นตามอัตราเติม แต่ในขณะเดียวกันก็พบว่า ปริมาณทองแดงในใบและต้นของผักคะน้า จากทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งปริมาณทองแดงในผักคะน้า จากการเติมจากตะกอน ADS ด้วยเช่นกัน

นอกจากนี้ปริมาณทองแดงที่พบในใบและต้นผักคะน้า จากการเติมจากตะกอน ADS และ ATS ก็ยังอยู่ในช่วงความเข้มข้น 4 - 15 มก./กก. ซึ่ง Allaway (1968) เสนอว่าเป็นระดับความเข้มข้นปกติของทองแดงที่พบในพืชทั่ว ๆ ไป

ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าการเติมจากตะกอน ADS และ ATS ลงดิน ไม่มีผลต่อปริมาณทองแดงในผักคะน้า สอดคล้องกับการทดลองของ Schauer และคณะ (1980) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในกากตะกอน ADS มีปริมาณทองแดงปนอยู่น้อย ส่วนกากตะกอน ATS นั้น แม้ว่าจะมีปริมาณทองแดงสูงกว่าในกากตะกอน ADS แต่อัตราเติมในช่วง 20 - 80 กก./แปลง (เมตริกตัน/เฮกตาร์) อาจเป็นอัตราเติมที่ยังไม่สูงมากพอที่จะทำให้เกิดการสะสมทองแดงเพิ่มขึ้นในต้นและใบของผักคะน้า

3.3 เหล็ก

จากการเติมกากตะกอน ADS และ ATS ลงดิน พบว่า ปริมาณเหล็กในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้า จากทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกัน (ภาคผนวก ตารางที่ 24) สำหรับความเข้มข้นเฉลี่ยของเหล็กในใบ ต้น และรากผักคะน้า แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ปริมาณเหล็กในผักคะน้าจากการเติมกากตะกอน ADS และ ATS

	ค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็กในผักคะน้าจากตำรับทดลอง (มก./กก.)			
	กากตะกอน	สารละลายโสหะหนัก	ปุ๋ย	แปลงควบคุม
ใบ (ADS)	234	223	203	208
ต้น (ADS)	77	84	88	98
ราก (ADS)	1181	1176	1398	1440
ใบ (ATS)	115	233	162	281
ต้น (ATS)	74	87	85	118
ราก (ATS)	1196	1215	965	2029

เนื่องจากเหล็กเป็นจุลธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นการเพิ่มปริมาณเหล็กลงดินจากการเติมกากตะกอนจึงไม่มีผลต่อปริมาณเหล็กในผักคะน้าสอดคล้องกับการทดลองของ Dowdy และ Larson (1975)

3.4 แมงกานีส

ปริมาณแมงกานีสในใบ ต้น และรากของผักคะน้า จากการเติมกากตะกอน ADS และ ATS ด้วยวิธีเติมแบบผสมคลุกเคล้ากับดินและแบบโรยบนผิวดิน ในอัตราเติมต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีแนวโน้มว่าเมื่ออัตราเติมเพิ่มขึ้น ปริมาณแมงกานีสในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้าจะลดน้อยลง นอกจากนี้ ปริมาณแมงกานีสในใบ ต้น และราก จากการเติมกากตะกอน ADS และ ATS ยังมีค่าต่ำกว่าปริมาณแมงกานีสในผักคะน้าที่มาจากการเติม

ปุ๋ย และจากการเติมสารละลายโลหะหนัก โดยทั้งนี้ปริมาณแมงกานีสในใบ จากการเติมกากตะ-กอน ADS ด้วยอัตราเติม 60 และ 80 กก./แปลง และจากการเติมกากตะกอน ATS ด้วยอัตราเติม 40 60 และ 80 กก./แปลง จะมีค่าต่ำกว่าปริมาณแมงกานีสในใบจากการเติมปุ๋ยและจากการเติมสารละลายโลหะหนักอย่างมีนัยสำคัญ ดังปรากฏในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณแมงกานีสในผักคะน้าจากการเติมกากตะกอน ADS และ ATS

ตำรับทดลอง	ปริมาณแมงกานีส (มก./กก.)					
	ADS			ATS		
	ใบ	ต้น	ราก	ใบ	ต้น	ราก
1. แปลงควบคุม	196.2 abc	32.5 c	148.6 a	178.3 bcde	50.1 ab	82.7
2. ปุ๋ย	270.7 ab	56.4 abc	119.0 ab	194.2 abcd	50.7 ab	100.9
3. M 80	123.8 c	39.8 bc	67.2 cde	85.2 f	23.2 d	43.1
4. M 60	143.9 c	45.2 abc	67.6 cde	119.5 ef	33.7 cd	62.9
5. M 40	142.5 c	45.2 abc	60.1 de	123.5 ef	29.2 cd	61.3
6. M 20	223.1 abc	52.4 abc	120.7 ab	142.5 cdef	33.1 cd	135.0
7. TD 80	152.4 c	43.4 abc	67.5 cde	96.9 f	27.6 d	56.5
8. TD 60	125.5 c	34.8 c	53.6 e	94.4 f	31.1 cd	53.8
9. TD 40	172.3 bc	42.7 abc	98.4 bcd	122.2 ef	33.5 cd	71.5
10. TD 20	177.4 bc	39.3 bc	81.0 bcde	135.2 def	37.1 bcd	66.8
11. HM 80	254.2 ab	66.0 a	90.7 bcde	225.3 ab	50.6 ab	76.8
12. HM 60	253.2 ab	60.9 ab	78.0 bcde	244.4 a	58.9 a	89.6
13. HM 40	254.4 ab	64.3 a	88.5 bcde	263.7 ab	45.4 abc	65.4
14. HM 20	280.5 a	59.4 ab	105.7 abc	198.9 abc	56.5 a	84.0

ตัวอักษร ที่เหมือนกันของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าทั้งกากตะกอน ADS และ ATS มีผลทำให้ปริมาณแมงกานีสในผักคะน้าลดลง เมื่ออัตราเติมกากตะกอนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Soon et al., (1980) และ Dowdy และ Larson (1975) การลดลงของปริมาณแมงกานีส จากการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนนี้ อาจเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุในดิน จากการเติมกากตะกอน เป็นตัวดูดซับแมงกานีสไว้อย่างแน่น (Ellis และ Knezek, 1972) จนทำให้ปริมาณแมงกานีสในรูปที่พืชดูดดึงได้ลดลง ส่งผลให้ผักคะน้าดูดดึงแมงกานีสเข้าไปสะสมในตัวมันเองมีปริมาณลดน้อยลงตามไปด้วย

3.5 นิเกิล

ปริมาณนิเกิลในต้นและรากของผักคะน้าที่มาจากการเติมกากตะกอน ADS และ ATS มีปริมาณต่ำมากจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ ยกเว้นในใบ ซึ่งก็ปรากฏว่าความเข้มข้นของนิเกิลในใบจากแต่ละตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญด้วย (ภาคผนวก ตารางที่ 25) จึงแสดงปริมาณนิเกิลในใบผักคะน้าโดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณนิเกิลในใบจากตำรับทดลองเติมกากตะกอน และจากตำรับทดลองเติมสารละลายโลหะหนักเปรียบเทียบกับตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมีและแปลงควบคุม ดังปรากฏในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณนิเกิลในผักคะน้าจากการเติมกากตะกอน ADS และ ATS

	ค่าเฉลี่ยปริมาณนิเกิลจากตำรับทดลอง (มก./กก.)			
	กากตะกอน	สารละลายโลหะหนัก	ปุ๋ย	แปลงควบคุม
ใบ (ADS)	11.5	13.3	15.2	8.8
ใบ (ATS)	10.3	10.9	11.7	11.3

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเติมกากตะกอน ADS และ ATS ไม่มีผลต่อปริมาณนิเกิลในผักคะน้า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในกากตะกอนมีนิเกิลปนอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก แต่ถึงแม้ว่าในกากตะกอนจะมีนิเกิลปนอยู่ในปริมาณที่มากกว่านี้ Shauer และคณะ (1980) ก็รายงานผลการทดลองว่า ในช่วงปีแรกปริมาณนิเกิลในใบผักกาดหอม (lettuce) ไม่มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามการเพิ่มอัตราเติมจาก 0 - 60 เมตริกตัน/เฮกตาร์ โดยที่กากตะกอน

ที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นมีนิเกิลปนอยู่ 560 มก./กก. และในทำนองเดียวกัน Soon และคณะ (1980) กล่าวว่าการเติมกากตะกอนไม่มีผลต่อปริมาณนิเกิลในหญ้าบรอมกราส (bromegrass) ที่ปลูกบนดินที่เติมกากตะกอนทุกปีติดต่อกันเป็นเวลา 5 ปี

แต่จะสังเกตได้ว่า ความเข้มข้นของนิเกิลในใบผักคะน้าจากการทดลองครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ถือเป็นค่าวิกฤตสูงสุดของความเข้มข้นของนิเกิลในใบต้นอ่อนของข้าวบาร์เลย์ คือ 11 มก./กก. ที่จะทำให้ผลผลิตพืชเริ่มลดลง (Beckett และ Davis, 1977) นอกจากนี้นิเกิลยังเป็นโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายได้ (mobile) และการดูดดึงนิเกิลโดยพืชจะไวต่อค่าพีเอชดิน และยังพบว่า ความเข้มข้นของนิเกิลในใบพืชหลายชนิดมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความเข้มข้นของนิเกิลในดิน (Davis, 1983)

ดังนั้นถ้าหากเกิดกรณีที่มีนิเกิลปนในกากตะกอน ADS และ ATS ด้วยความเข้มข้นที่สูงมากกว่า 43.3 และ 29.6 มก./กก. และ/หรือใช้อัตราเติมที่สูงมากกว่า 80 เมตริก-ตัน/เฮกตาร์ ก็อาจจะชักนำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความเป็นพิษของนิเกิลต่อผักคะน้าได้

3.6 ตะกั่ว

เนื่องจากการเติมกากตะกอน ADS และ ATS ลงดิน พบว่า ปริมาณตะกั่วในต้นของผักคะน้ามีปริมาณต่ำมากจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ ฉะนั้นจึงแสดงผลเฉพาะปริมาณตะกั่วในใบและรากของผักคะน้า โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากตำรับทดลองเติมกากตะกอนและจากตำรับการทดลองเติมสารละลายโลหะหนัก (ตารางที่ 12) ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าปริมาณตะกั่วในใบและรากของผักคะน้าจากทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ตารางที่ 26)

ตารางที่ 12 ปริมาณตะกั่วในใบและรากผักคะน้าจากการเติมกากตะกอน ADS และ ATS

	ค่าเฉลี่ยปริมาณตะกั่วจากตำรับทดลอง (มก./กก.)			
	กากตะกอน	สารละลายโลหะหนัก	ปุ๋ย	แปลงควบคุม
ใบ (ADS)	11.4	10.0	9.6	10.2
ราก (ADS)	10.2	9.8	10.4	10.8
ใบ (ATS)	11.0	10.7	10.1	10.6
ราก (ATS)	10.2	10.2	10.2	10.7

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่ากากตะกอน ADS และ ATS ไม่มีผลกระทบต่อปริมาณตะกั่วในผักคะน้า ซึ่งอาจเนื่องมาจากปริมาณตะกั่วในกากตะกอนยังมีความเข้มข้นต่ำ และ/หรืออาจเนื่องมาจากดินสามารถดูดยึดตะกั่วไว้ได้แน่น (Davis, 1983) จึงทำให้ผักคะน้าไม่สามารถดูดดึงตะกั่วเข้าไปสะสมในตัวเองจนมีปริมาณแตกต่างกันตามการเพิ่มอัตราเติม จากการทดลองของ Dowdy และ Larson (1975) ก็รายงานผลว่าปริมาณตะกั่วในใบผักกาดหอม (lettuce) ใบข้าวโพด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญจากการเติมกากตะกอนที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 515 มก./กก. โดยใช้อัตราเติมตั้งแต่ 0-450 เมตริกตัน/เฮกตาร์

3.7 สังกะสี

จากการเติมกากตะกอน ADS และ ATS พบว่าปริมาณสังกะสีในใบ ต้น และรากของผักคะน้าจากแต่ละตำรับทดลองเติมกากตะกอนด้วยวิธีเติม 2 วิธี อัตราเติมทั้ง 4 อัตรา ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และรวมทั้งปริมาณสังกะสีในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้าจากแต่ละอัตราเติมสารละลายโสหะหนักก็ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญด้วยเช่นกัน แต่จะเห็นว่าปริมาณสังกะสีในใบ ต้น และรากของผักคะน้าจากการเติมกากตะกอนและจากการเติมสารละลายโสหะหนัก มีปริมาณสูงมากกว่าปริมาณสังกะสีในผักคะน้า จากตำรับทดลองเติมปุ๋ยเคมี และแปลงควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยทั้งนี้ยังพบว่าปริมาณสังกะสีในใบ ต้นและรากของผักคะน้าจากการเติมกากตะกอน ADS และปริมาณสังกะสีต้นและรากจากการเติมกากตะกอน ATS ไม่มีความแตกต่างจากปริมาณสังกะสีจากตำรับทดลองเติมสารละลายโสหะหนักอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นปริมาณสังกะสีในใบจากการเติมกากตะกอน ATS ซึ่งพบว่ามีปริมาณต่ำกว่าปริมาณสังกะสีในใบจากตำรับทดลองเติมสารละลายโสหะหนักอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 13)

จากปริมาณสังกะสีในส่วนต่าง ๆ ของผักคะน้า ในการทดลองครั้งนี้ จึงทำให้กล่าวได้ว่า การเติมกากตะกอนทั้ง ADS และ ATS ลงดิน มีผลทำให้ปริมาณสังกะสีในผักคะน้าเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับผลงานของ Hemphill et al., (1982); Kelling et al., (1977) Dowdy และ Larson (1975) แต่อัตราเติม 20-80 กก./แปลง (เมตริกตัน/เฮกตาร์) ยังไม่มีผลทำให้ปริมาณสังกะสีในผักคะน้าเพิ่มมากขึ้นจนเกิดความแตกต่างกันตามการเพิ่มอัตราเติม ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากมีปัจจัยบางอย่างคอยควบคุมสมดุลย์ของปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้ให้อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการในการเจริญเติบโตของผักคะน้าอยู่เสมอ ตัวอย่างเช่น การ

ตารางที่ 13 ปริมาณสังกะสีในผักคะน้าจากการเติมจากตะกอน ADS และ ATS

ตำรับทดลอง	ปริมาณสังกะสี (มก./กก.)					
	ADS			ATS		
	ใบ	ต้น	ราก	ใบ	ต้น	ราก
1. แปลงควบคุม	46.0 b	32.5 b	46.6 b	43.3 c	26.6 b	46.0 b
2. ปุ๋ย	49.6 b	30.2 b	46.8 b	42.7 c	25.8 b	45.5 b
3. M 80	84.6 a	61.2 a	86.2 a	55.6 bc	34.7 a	71.5 a
4. M 60	86.3 a	60.1 a	86.8 a	54.3 bc	32.7 a	72.7 a
5. M 40	84.1 a	60.7 a	88.4 a	56.6 bc	35.1 a	71.2 a
6. M 20	85.4 a	62.5 a	86.8 a	56.9 bc	33.7 a	74.6 a
7. TD 80	85.2 a	60.1 a	87.6 a	55.9 bc	33.5 a	72.9 a
8. TD 60	84.3 a	59.4 a	87.0 a	55.9 bc	33.0 a	73.1 a
9. TD 40	84.4 a	58.8 a	86.6 a	57.6 bc	33.4 a	73.8 a
10. TD 20	85.5 a	60.1 a	86.5 a	58.6 b	41.1 a	73.8 a
11. HM 80	83.6 a	59.7 a	85.1 a	83.6 a	40.6 a	74.8 a
12. HM 60	82.1 a	60.9 a	86.7 a	81.3 a	41.4 a	73.2 a
13. HM 40	84.3 a	59.5 a	85.9 a	79.9 a	40.9 a	72.7 a
14. HM 20	84.3 a	59.5 a	85.9 a	78.9 a	40.9 a	72.7 a

ตัวอักษรที่เหมือนกัน ของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

เติมปูนมาร์ล อาจเป็นต้นเหตุให้ปริมาณสังกะสีในรูปที่พืชดูดดึงได้จำนวนมากเกินพอมีปริมาณลดน้อยลง (Wear, 1956) หรือคาดว่าอาจเนื่องมาจากเกิดปฏิกริยาทางเคมีระหว่างสังกะสีกับสารอินทรีย์ในสารละลายดินกลายเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน ซึ่งแม้ว่าจะละลายอยู่ในน้ำในสารละลายดิน แต่ก็อาจมีโมเลกุลใหญ่เกินกว่าที่จะสามารถซึมผ่านผนังเซลล์ของรากผักคะน้า จึงส่งผลให้ผักคะน้าไม่สามารถดูดดึงสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนของสังกะสีเข้าสู่ภายในต้นได้

จากสาเหตุนี้ยังน่าจะเป็นข้อสนับสนุนให้เป็นไปได้เกี่ยวกับการพบสังกะสีในผักคะน้าจากตำรับทดลองเติมกากตะกอน ADS รวมทั้งสังกะสีในต้นและรากจากตำรับทดลองเติมกากตะกอน ATS มีปริมาณไม่แตกต่างจากตำรับทดลองเติมสารละลายโลหะหนักด้วย ทั้ง ๆ ที่พบว่า ปริมาณสังกะสีในดินในรูปที่พืชดูดดึงได้จากการเติมกากตะกอนทั้งสองชนิดมีการเพิ่มขึ้นตามอัตราเติม และมีปริมาณมากกว่าจากการเติมสารละลายโลหะหนัก (ตารางที่ 14 และ 15)

4. <u>ปริมาณโลหะหนักในดิน</u>

ปริมาณโลหะหนักในดินในรูปที่พืชสามารถดูดดึงได้ ภายหลังการเติมกากตะกอน จำนวน 7 ธาตุ คือ แคดเมี่ยม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส นิเกิล ตะกั่ว และสังกะสี แสดงผลได้ดังนี้

4.1 <u>ปริมาณโลหะหนักในดินภายหลังการเติมกากตะกอน ADS</u>

จากตารางที่ 14 จะเห็นว่า ความเข้มข้นของแมงกานีส จากทุกตำรับทดลอง อีกทั้งความเข้มข้นของเหล็กและนิเกิล จากตำรับที่เติมสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความเข้มข้นของแคดเมี่ยม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี จากตำรับทดลองเติมกากตะกอนนั้น ปรากฏว่ามีค่าเพิ่มมากขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอน โดยที่วิธีเติมไม่มีผลทำให้ความเข้มข้นของโลหะหนักที่สกัดได้แตกต่างกัน ยกเว้นสังกะสี และพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักเหล่านี้ จากการเติมกากตะกอน ก็ยังมีค่ามากกว่าความเข้มข้นของโลหะหนักจากการเติมสารละลายโลหะหนัก จากการเติมปุ๋ย และจากแปลงควบคุมอย่างมีนัยสำคัญด้วย

ตารางที่ 14 ปริมาณโลหะหนักในดิน ภายหลังการเติมกากตะกอน ADS

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก (มก./กก.)						
	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
1. แปลงควบคุม	tr	1.5 cd	79.5 c	13.4	0.9 c	1.4 de	0.6 e
2. ปุ๋ย	tr	1.4 d	87.6 bc	20.7	1.3 bc	0.9 e	0.9 e
3. M 80	0.09 be	3.0 ab	137.0 a	24.1	1.6 ab	2.3 bc	39.1 b
4. M 60	0.09 bc	1.7 bcd	118.0 ab	22.7	1.5 ab	2.2 bcd	35.6 bc
5. M 40	0.05 cde	1.5 cd	101.3 abc	20.5	1.4 bc	1.6 cde	15.9 de
6. M 20	0.04 de	1.9 abcd	108.5 abc	21.1	1.6 ab	1.7 cde	8.9 de
7. TD 80	0.15 a	3.1 a	124.6 ab	25.6	1.9 a	3.1 ab	58.3 a
8. TD 60	0.12 ab	3.0 ab	117.0 ab	20.9	1.4 ab	3.3 a	53.1 ab
9. TD 40	0.08 bcd	2.8 abc	122.1 ab	20.4	1.4 ab	2.2 bcd	37.4 b
10. TD 20	0.05 cde	1.5 cd	121.1 ab	24.2	1.3 bc	1.5 cde	17.3 de
11. HM 80	tr	1.5 cd	120.3 abc	30.7	1.5 ab	1.7 cde	18.9 cd
12. HM 60	tr	2.2 abcd	120.5 abc	21.7	1.3 bc	1.4 de	13.7 de
13. HM 40	tr	1.9 abcd	94.1 bc	20.3	1.2 bc	1.0 e	6.1 de
14. HM 20	tr	2.0 abcd	89.3 bc	22.6	1.4 ab	1.4 cde	4.1 de

ตัวอักษร ที่เหมือนกันของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

ตารางที่ 15 ปริมาณโลหะหนักในดิน ภายหลังการเติมกากตะกอน ATS

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก (มก./กก.)						
	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
1. แปลงควบคุม	tr	1.9 f	64.1 c	19.0	0.9	1.3	0.7 f
2. ปุ๋ย	tr	2.4 f	105.8 ab	19.3	1.4	1.2	0.8 f
3. M 80	0.10 a	11.2 a	122.3 a	24.7	1.2	1.6	63.5 a
4. M 60	0.07 ab	8.5 b	99.3 abc	18.9	1.0	1.5	42.1 b
5. M 40	0.06 ab	5.5 cd	100.7 abc	20.8	0.4	1.3	27.3 bcd
6. M 20	tr	3.5 ef	106.0 ab	19.9	1.1	1.3	11.5 def
7. TD 80	0.09 ab	11.7 a	118.1 a	25.7	1.2	1.5	65.1 a
8. TD 60	0.07 ab	8.5 b	108.8 ab	21.9	1.0	1.5	40.2 b
9. TD 40	0.05 b	6.9 bc	101.5 abc	20.7	1.0	1.3	28.1 bc
10. TD 20	tr	4.8 de	121.2 a	22.7	1.2	1.0	16.1 cdef
11. HM 80	0.05 b	4.6 de	73.1 bc	23.7	1.2	1.1	20.3 cde
12. HM 60	0.05 b	3.5 ef	87.6 abc	24.2	1.2	1.0	10.3 def
13. HM 40	tr	3.4 ef	94.9 abc	24.3	1.3	1.2	9.9 ef
14. HM 20	tr	2.2 f	86.3 abc	20.8	1.1	1.0	3.8 ef

ตัวอักษร ที่เหมือนกันของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

4.2 ปริมาณโลหะหนักในดิน ภายหลังการเติมกากตะกอน ATS

จากตารางที่ 15 พบว่าความเข้มข้นของแมงกานีส นิเกิล และตะกั่ว จากทุกตำรับทดลอง อีกทั้ง ความเข้มข้นของเหล็กจากตำรับที่เติมสิ่งทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนโลหะหนักแคดเมี่ยม ทองแดง และสังกะสี นั้น พบว่ามีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ตามการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอน โดยที่วิธีเติมกากตะกอนไม่มีผลทำให้ความเข้มข้นแตกต่างกัน นอกจากนี้ความเข้มข้นของโลหะหนักเหล่านี้ จากการเติมกากตะกอนยังมีค่ามากกว่าความเข้มข้นของโลหะหนักจากตำรับทดลองเติมสารละลายโลหะหนัก จากปุ๋ย และแปลงควบคุมอย่างมีนัยสำคัญด้วย

ดังนั้นจากปริมาณโลหะหนักต่าง ๆ ที่สกัดได้จากดินภายหลังการเติมกากตะกอน ADS และ ATS จึงกล่าวได้ว่าการเติมกากตะกอนลงดิน มีผลทำให้ความเข้มข้นของแคดเมี่ยม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี จากการเติมกากตะกอน ADS รวมทั้งความเข้มข้นของแคดเมี่ยม ทองแดง และสังกะสี จากการเติมกากตะกอน ATS เพิ่มมากขึ้นตามการเพิ่มอัตราเติมกากตะกอนสอดคล้องกับการทดลองของ Kelling และคณะ (1977), Schauer และคณะ (1980)

จากรายงานของนักวิจัยอื่น ๆ ซึ่งอ้างว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณโลหะหนัก ในรูปที่พืชดูดดึงได้นั้น เนื่องมาจากการลดลงของพีเอชดิน (Chaney, 1973; King และ Morris, 1972b; Boswell, 1975) แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้ได้มีการเติมปูนมาร์ลเพื่อยกระดับพีเอชดินให้สูงขึ้นเป็นพีเอชประมาณ 6.5 และพีเอชดินในช่วงระยะเวลาทดลอง ก็มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 16) ดังนั้นการที่สามารถสกัดโลหะหนักในดินได้มากขึ้นในการทดลองครั้งนี้ น่าจะมาจากการสลายตัวของกากตะกอน แล้วทำให้โลหะหนักที่ปนอยู่ในกากตะกอนถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในสารละลายดินเพิ่มมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากการที่กากตะกอน ADS มีปริมาณแคดเมี่ยม นิเกิล และตะกั่วมากกว่าในกากตะกอน ATS จึงทำให้สามารถสกัดปริมาณแคดเมี่ยม นิเกิล และตะกั่วในดินจากการเติมกากตะกอน ADS ได้มากกว่า จากการเติมกากตะกอน ATS และในทำนองเดียวกันในกากตะกอน ATS มีปริมาณสังกะสีมากกว่าในกากตะกอน ADS จึงทำให้สามารถสกัดปริมาณสังกะสีในดินจากการเติมกากตะกอน ATS ได้มากกว่าจากการเติมกากตะกอน ADS เช่นกันด้วย

5. พีเอชดิน

ค่าพีเอชดิน ในสัปดาห์ที่ 2 4 6 และ 8 นับตั้งแต่วันปลูกจนถึงวันเก็บเกี่ยวผลผลิต จำนวนทั้งหมด 4 ครั้ง จากตำรับทดลองเติมกากตะกอน ADS และ ATS ดังแสดงในตารางที่ 16 ซึ่งจะเห็นว่าโดยทั่ว ๆ ไปพีเอชดินในช่วงเวลาการเพาะปลูกมีค่ากระจายอยู่ในช่วง 5.7 - 6.6 ซึ่งอาจเนื่องมาจากปูนมาร์ลและดินยังไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันจริงตลอดทั่วทั้งเนื้อดินในระดับชั้นไถพรวน เมื่อทดสอบทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่าพีเอชดินแต่ละครั้ง ทั้งจากดินที่เติมกากตะกอน ADS และ ATS ไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องมาจากตำรับทดลองเลย แต่จะสังเกตว่าพีเอชดินจากตำรับทดลองเติมสารละลายโสหะหนัก และจากการเติมปุ๋ยเคมีมีค่าต่ำกว่าพีเอชดินจากการเติมกากตะกอนเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากฤทธิของความเป็นกรดของปุ๋ยและสารละลายโสหะหนักเป็นเหตุให้พีเอชดินจากตำรับทดลองเติมสารละลายโสหะหนักและจากการเติมปุ๋ยเคมี มีค่าลดต่ำลงเล็กน้อยกว่าพีเอชดินที่มาจากการเติมกากตะกอน ซึ่งเป็นอินทรียวัตถุชนิดหนึ่ง และมีฤทธิเป็นกลาง จึงสามารถช่วยส่งเสริมให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงของพีเอชได้อย่างดี

นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชดินตามระยะเวลา โดยใช้วิธีวิเคราะห์ทางสถิติแบบ "Factorial 2 Factors in RCB" โดยให้แฟคเตอร์หนึ่งแทนระยะเวลาที่สัปดาห์ที่ 2 4 6 และ 8 ตามลำดับ และอีกแฟคเตอร์หนึ่งแทนตำรับทดลอง พบว่าค่าพีเอชดินจากแต่ละตำรับทดลองในกลุ่มกากตะกอน ADS และ ATS ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนเกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามระยะเวลาในช่วงระหว่างการทดลองครั้งนี้ แต่จะพบว่าค่าพีเอชดินจากทุกตำรับทดลองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามระยะเวลาในระหว่างการทดลอง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเติมกากตะกอน ADS ATS และสารละลายโสหะหนักด้วยอัตราเติมต่าง ๆ ทั้ง 4 อัตรา ยังไม่มีผลทำให้ค่าพีเอชดินเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างช่วงระยะเวลาของการเพาะปลูก

ตารางที่ 16 ค่าพีเอชดินที่ระยะเวลาทุก 2 สัปดาห์ระหว่างการเพาะปลูกผักคะน้าในดินที่เติมกากตะกอน ADS และ ATS

ตำรับทดลอง	ค่าพีเอชดินจากตำรับทดลองเติมกากตะกอน							
	ADS ในสัปดาห์ที่				ATS ในสัปดาห์ที่			
	2	4	6	8	2	4	6	8
1. แปลงควบคุม	6.2	6.3	6.0	6.0	6.0	6.3	6.2	5.9
2. ปุ๋ย	6.1	6.0	6.0	5.7	6.1	6.0	6.0	5.9
3. M 80	6.1	6.0	6.2	5.9	6.6	6.1	6.4	6.2
4. M 60	6.2	6.1	6.2	5.9	6.5	6.2	6.5	6.2
5. M 40	6.2	6.1	6.2	6.0	6.3	6.1	6.4	6.3
6. M 20	6.0	6.0	6.0	5.9	6.4	6.2	6.2	6.0
7. TD 80	6.3	6.0	6.1	6.0	6.3	6.2	6.4	6.3
8. TD 60	6.4	6.1	6.3	6.0	6.5	6.2	6.2	6.3
9. TD 40	6.2	6.0	6.0	6.0	6.6	6.3	6.5	6.3
10. TD 20	6.2	6.1	6.0	5.9	6.3	6.1	6.2	6.0
11. HM 80	6.0	5.9	5.8	5.8	6.0	6.1	6.0	5.9
12. HM 60	6.1	6.0	5.8	5.9	6.0	6.1	6.1	5.8
13. HM 40	6.1	6.0	5.8	5.9	6.1	6.2	5.7	5.9
14. HM 20	6.0	6.0	5.8	5.8	6.1	6.2	5.9	5.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. <u>แอมโมเนียมไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจน</u> ($NH_4^+ - N$ และ $NO_3^- - N$)

เนื่องจากคาดว่าขณะเกิดการสลายตัวของกากตะกอน อาจส่งผลกระทบทำให้ค่าพีเอชดินลดลง จึงได้ทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน และไนโตรตไนโตรเจนในดิน พร้อมกับตรวจวิเคราะห์ค่าพีเอชดินในเวลาเดียวกัน เพื่อศึกษาว่าจะมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ แต่เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชดิน ในระหว่างช่วงระยะเวลาของการทดลอง ดังนั้นสำหรับปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนในดิน จึงขอนำเสนอเฉพาะปริมาณที่ตรวจวิเคราะห์ได้เท่านั้น

6.1 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน จากตำรับทดลองเติมกากตะกอน ADS และ ATS ในสัปดาห์ที่ 2 4 6 และ 8 นับตั้งแต่วันปลูกจนถึงวันเก็บเกี่ยวผลผลิต จำนวนทั้งหมด 4 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 17 และ 18 จะเห็นได้ว่าปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนจากตำรับทดลองเติมกากตะกอน ADS และ ATS ด้วยวิธีเติมแบบผสมคลุกเคล้ากับดินและแบบโรยบนผิวดิน ที่ในอัตราเติมต่าง ๆ ในแต่ละระยะเวลาทุก 2 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงปริมาณตามระยะเวลา คือ ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน จะเริ่มเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 จนมีปริมาณสูงสุดในสัปดาห์ที่ 4 แล้วจากนั้นปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนเริ่มลดลงในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

6.2 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน จากตำรับทดลองเติมกากตะกอน ADS และ ATS ในสัปดาห์ที่ 2 4 6 และ 8 นับตั้งแต่วันปลูกจนถึงวันเก็บเกี่ยวผลผลิตจำนวนทั้งหมด 4 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 19 และ 20 จะเห็นได้ว่าปริมาณไนเตรตไนโตรเจนจากตำรับทดลองเติมกากตะกอน ADS และ ATS ด้วยวิธีเติมแบบผสมคลุกเคล้ากับดินแบบโรยบนผิวดิน ที่อัตราเติมต่าง ๆ ในแต่ละระยะเวลาทุก 2 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีแนวโน้มของการเพิ่มปริมาณมากขึ้นตามระยะเวลา

ตารางที่ 17 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินที่ระยะเวลาทุก 2 สัปดาห์ระหว่างการเพาะ-ปลูกผักคะน้าในดินที่เติมกากตะกอน ADS

ตำรับทดลอง	ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (มก./กก.)			
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
1. แปลงควบคุม	25.3 bc	115.5	78.2 cd	71.2 cde
2. ปุ๋ย	59.5 abc	208.8	134.2 ab	114.3 abc
3. M 80	28.7 bc	183.2	85.2 bcd	60.7 de
4. M 60	14.2 c	155.2	106.3 abcd	42.0 e
5. M 40	33.1 bc	161.0	109.7 abcd	85.2 bcde
6. M 20	28.7 bc	161.0	77.0 cd	58.8 de
7. TD 80	32.6 bc	128.3	84.0 bcd	57.2 de
8. TD 60	19.9 c	127.2	59.5 d	39.7 e
9. TD 40	18.5 c	130.7	61.8 d	40.8 e
10. TD 20	19.6 c	144.7	89.8 bcd	54.8 de
11. HM 80	109.1 a	187.8	143.5 a	144.7 a
12. HM 60	73.7 abc	158.7	101.5 abcd	102.7 abcd
13. HM 40	88.7 ab	207.7	114.3 abc	135.3 ab
14. HM 20	72.7 abc	183.2	116.7 abc	87.5 bcde

ตัวอักษรที่เหมือนกันของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

ตารางที่ 18 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินที่ระยะเวลาทุก 2 สัปดาห์ระหว่างการเพาะปลูกผักคะน้าในดินที่เติมกากตะกอน ATS

ตำรับทดลอง	ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (มก./กก.)			
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
1. แปลงควบคุม	32.8	126.0 bcd	113.2 abcd	80.5 abc
2. ปุ๋ย	78.4	198.3 a	112.0 abcde	94.0 ab
3. M 80	7.1	135.3 bcd	51.3 g	24.5 d
4. M 60	10.6	81.7 d	64.2 fg	24.0 d
5. M 40	11.9	123.8 bcd	66.5 defg	19.8 d
6. M 20	10.0	194.8 a	66.3 efg	44.3 cd
7. TD 80	20.0	87.5 cd	73.5 cd	31.5 d
8. TD 60	9.0	110.8 bcd	57.2 g	45.5 bcd
9. TD 40	18.7	94.5 cd	56.0 g	26.9 d
10. TD 20	18.3	121.3 bcd	95.7 bcdefg	42.0 cd
11. HM 80	33.9	192.5 a	147.0 a	53.7 abcd
12. HM 60	38.8	161.0 ab	107.3 abcdef	97.7 a
13. HM 40	41.1	160.0 ab	126.0 ab	81.7 abc
14. HM 20	63.9	142.3 abc	115.5 abc	96.8 a

ตัวอักษรที่เหมือนกัน ของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

ตารางที่ 19 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในดินที่ระยะเวลาทุก 2 สัปดาห์ระหว่างการเพาะปลูกผักคะน้าในดินที่เติมกากตะกอน ADS

ตำรับทดลอง	ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (มก./กก.)			
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
1. แปลงควบคุม	54.6	124.8 f	175.0 abcd	207.0
2. ปุ๋ย	64.0	159.8 bcdef	207.7 ab	268.5
3. M 80	86.0	218.2 abc	149.3 bcd	171.5
4. M 60	66.1	192.5 abcde	124.8 d	317.3
5. M 40	94.2	136.5 ef	126.0 d	196.0
6. M 20	67.6	166.8 bcdef	207.7 ab	205.3
7. TD 80	46.2	206.5 abcd	158.7 abcd	162.5
8. TD 60	71.0	225.2 ab	113.2 d	190.2
9. TD 40	61.5	196.0 abcde	141.2 cd	234.5
10. TD 20	34.8	158.7 bcdef	120.2 d	191.3
11. HM 80	68.8	145.8 def	154.0 abcd	211.8
12. HM 60	109.9	236.8 a	193.7 abc	302.2
13. HM 40	99.2	161.0 bcdef	148.2 bcd	176.2
14. HM 20	72.7	152.8 cdef	217.0 a	249.7

ตัวอักษรที่เหมือนกันของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

ตารางที่ 20 ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในดินที่ระยะเวลาทุก 2 สัปดาห์ระหว่างการเพาะปลูกผักคะน้าในดินที่เติมกากตะกอน ATS

ตำรับทดลอง	ปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (มก./กก.)			
	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
1. แปลงควบคุม	47.2	168.0 bc	128.3	154.0 cde
2. ปุ๋ย	71.7	149.3 bc	163.3	203.0 abc
3. M 80	38.9	227.5 a	130.7	142.3 cde
4. M 60	26.5	186.7 abc	130.7	169.2 cde
5. M 40	42.1	186.7 abc	170.3	179.7 abcde
6. M 20	20.0	183.2 abc	144.7	185.5 abcd
7. TD 80	41.6	168.0 bc	110.8	121.2 e
8. TD 60	37.1	158.7 bc	127.8	149.2 cde
9. TD 40	50.7	205.3 ab	170.3	129.5 de
10. TD 20	48.7	226.3 a	157.5	184.3 abcd
11. HM 80	79.5	164.5 bc	147.8	171.5 cde
12. HM 60	47.0	148.2 c	215.8	176.2 bcde
13. HM 40	103.5	145.8 c	177.3	234.0 ab
14. HM 20	94.2	186.7 abc	184.3	238.0 a

ตัวอักษรที่เหมือนกันของแต่ละคอลัมน์ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย