บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ปริมาณโลหะหนักในดินและกากตะกอนที่ใช้ทดลอง

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าปริมาณโลหะหนักทั้ง 7 ธาตุ คือ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว และแคดเมียม ในดิน ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการสกัดดินด้วย 0.005 M DTPA เพื่อหาปริมาณของโลหะหนักในรูปที่อาจเป็นประโยชน์ได้ต่อพืช (Plant Available From) นั้น อยู่ในเกณฑ์ปกติ สำหรับจุลธาตุอาหารคือเหล็ก (134.80 ppm.) แมงกานีส (44.12 ppm.) สังกะสี (13.20 ppm.) และทองแดง (6.80 ppm.) มีค่าสูงกว่าระดับวิกฤตในดินที่สกัดด้วย 0.005 M DTPA คือ เหล็ก 4.5 ppm. แมงกานีส 1.0 ppm. สังกะสี 0.8 ppm. และทองแดง 0.2 ppm. (Lindsay, 1979) ส่วนนิกเกิล ตะกั่ว และแคดเมียม ในดินพบในปริมาณต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรตามเกณฑ์ของกลุ่มประชาคมยุโรป (Commission of the European Communities) ซึ่งกำหนดไว้ว่า สำหรับ นิกเกิล ตะกั่ว และแคดเมียม ไม่ควรเกิน 30 ppm. , 30 ppm. และ 1 ppm. ตามลำดับ (Webber et al., 1984) ปริมาณโลหะหนักในดินอาจเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรของประเทศ อังกฤษ เยอรมัน และฝรั่งเศล ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าปริมาณ สังกะสี ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว และแคดเมียม ยังนับว่ามีปริมาณน้อยมาก สำหรับเหล็กและแมงกานีสนั้น แม้จะยังไม่มีการกำหนดปริมาณที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่พบในดินโดยทั่วไป ประกอบกับรายงานของอรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2522) ซึ่งเสนอว่าปริมาณแมงกานีสในดิน 60 ppm. เป็นระดับที่จัดว่าเป็นพิษต่อพืช จึงพอจะประเมินได้ว่าปริมาณเหล็กและแมงกานีสในดินอยู่ในเกณฑ์ปกติโดยทั่วไป ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าดินจากพื้นที่เกษตรกรรม ตำบลบ้านฉาง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี ที่นำมาใช้ทดลองมีปริมาณ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ซึ่งเป็น

จุลธาตุอาหารพอเพียงต่อการใช้เป็นดินเพื่อการเพาะปลูก และในขณะเดียวกัน ปริมาณโลหะหนักทั้ง 7 ธาตุ ก็จัดว่าอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อความเป็นพิษแต่อย่างใด

สำหรับปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 เช่นกัน เมื่อพิจารณาปริมาณโลหะหนักที่ได้จากการสกัดด้วย 0.005 M DTPA เปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใช้เพื่อกรเกษตรของประเทศต่าง ๆ (Webber et al., 1984) ดังตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าโลหะหนักทั้ง 7 ธาตุ มีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์ของทุกประเทศ โดยเฉพาะ แมงกานีส ทองแดง ตะกั่ว และแคดเมียม นับว่ามีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับเกณฑ์ของทุกประเทศ ส่วนสังกะสี (910.00 ppm.) มีปริมาณใกล้เคียงกับเกณฑ์ของประเทศ

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินที่ใช้ทดลองกับปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรของประเทศต่าง ๆ (Webber et al., 1984)

ประเทศ	ปริมาณโลหะหนัก (ppm.)						
	เหล็ก	แมงกานีส	สังกะสี	ทองแดง	นิกเกิล	ตะกั่ว	แคดเมียม
อังกฤษ	–	–	280	140	35	550	3.5
เยอรมัน	–	–	300	100	50	100	3.0
ฝรั่งเศส	–	–	300	100	50	100	2.0
ช่วงของทั้ง 3 ประเทศ	–	–	280-300	100-140	35-50	100-550	2.0-3.5
ดินที่ใช้ทดลอง	134.80^{E}	44.12^{E}	13.20^{E}	6.80^{E}	0.8^{E}	1.11^{E}	0.06^{E}

หมายเหตุ – หมายถึงไม่มีการเสนอตัวเลข

E หมายถึงปริมาณโลหะหนักได้จากการสกัดด้วย 0.005 M DTPA

สวิสเซอร์แลนด์ (1,000 ppm.) ซึ่งกำหนดค่าที่ยอมรับได้ไว้ต่ำสุด และนิกเกิล (12.82 ppm.) ก็เช่นกัน มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ของประเทศเดนมาร์ก (30 ppm.) ไม่มากนัก สำหรับเหล็ก (133.00 ppm.) แม้จะยังไม่มีการกำหนดปริมาณสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนเพื่อการเกษตร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเหล็กในรูปที่อาจใช้ประโยชน์ได้ในดินโดยทั่วไปก็จัดว่าอยู่ในระดับปกติ

ถ้าเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินและกากตะกอนที่ได้จากการสกัดด้วย 0.005 M DTPA จะเห็นได้ว่า สังกะสี นิกเกิล และแคดเมียม ในกากตะกอน มีปริมาณสูงกว่าในดินอย่างเห็นได้ชัด ส่วนเหล็กและแมงกานีสในดินและกากตะกอนมีปริมาณใกล้เคียงกัน สำหรับทองแดงและตะกั่วในกากตะกอนมีปริมาณต่ำกว่าในดิน

สำหรับกากตะกอนนั้น หากพิจารณาเฉพาะปริมาณโลหะหนักในรูปที่สกัดได้ (Extratable Form) ซึ่งเป็นรูปที่พืชอาจนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Plant Available Form) ก็อาจไม่ปลอดภัยนักถ้าคำนึงถึงผลในระยะยาว เพราะเมื่อกากตะกอนเกิดการสลายตัว โลหะหนักที่อยู่ในรูปอินทรียสาร (Organic Form) จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอนินทรียสาร (Inorganic Form) ซึ่งอาจทำให้โลหะหนักในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในดินมีปริมาณสูงขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณโลหะหนักทั้งหมดที่มีในกากตะกอนเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใช้เพื่อการเกษตรของประเทศต่าง ๆ (Webber et al., 1984) ดังตารางที่ 5.2 พบว่าทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว และแคดเมียม มีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์ของทุกประเทศ สำหรับแมงกานีส (601.25 ppm.) สูงกว่าเกณฑ์ของประเทศเบลเยี่ยม (500 ppm.) และประเทศนอร์เวย์ (500 ppm.) แต่ต่ำกว่าเกณฑ์ของประเทศฟินแลนด์ (3,000 ppm.) ส่วนสังกะสี (3,570.83 ppm.) นับว่าสูงกว่าเกณฑ์ของทุกประเทศ ยกเว้นเกณฑ์ของประเทศฟินแลนด์ (5,000 ppm.) และสวีเดน (10,000 ppm.) ซึ่งกำหนดปริมาณสังกะสีสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนไว้สูงกว่าประเทศอื่น ๆ สำหรับปริมาณเหล็กทั้งหมดในกากตะกอน (14,179.17 ppm.) นั้น แม้จะไม่มีการเสนอค่าตัวเลขไว้เป็นเกณฑ์ก็ตาม แต่ถ้าเปรียบเทียบกับปริมาณเหล็กทั้งหมดในดินโดยทั่วไปซึ่งอาจมีได้ถึง 2% หรือ 20,000 ppm. (Mengel และ Kirkby, 1982) ก็นับว่าปริมาณเหล็กทั้งหมดในกากตะกอนมีค่าไม่สูงมากนัก ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอนทั้ง 7 ธาตุ ยังมีปริมาณอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ถ้าถือเกณฑ์ของบางประเทศที่กำหนดปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนไว้สูง แต่อย่างไรก็ตาม โลหะหนักบางชนิดคือแมงกานีสและสังกะสีมีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์ของบางประเทศที่กำหนดค่าตัวเลขไว้ต่ำ

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนที่ใช้ทดลองกับปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนที่จะใช้เพื่อการเกษตรของประเทศต่าง ๆ (Webber et al., 1984)

ประเทศ	ปริมาณโลหะหนัก (ppm.)						
	เหล็ก	แมงกานีส	สังกะสี	ทองแดง	นิกเกิล	ตะกั่ว	แคดเมียม
เบลเยียม	–	500	2,000	500	100	300	10
แคนาดา	–	-	1,850	-	180	500	20
เดนมาร์ก	–	-	-	-	30	400	8
ฟินแลนด์	–	3,000	5,000	3,000	500	1,200	30
ฝรั่งเศส	–	-	3,000	1,000	200	800	20
เยอรมัน	–	-	3,000	1,200	200	1,200	20
เนเธอร์แลนด์	–	-	2,000	600	100	500	10
นอร์เวย์	–	500	3,000	1,500	100	300	10
สวีเดน	–	-	10,000	3,000	500	300	15
สวิสเซอร์แลนด์	–	-	1,000	1,000	200	1,000	30
กลุ่มประชาคมยุโรป	–	-	3,000	1,500	400	1,000	40
ช่วงของทุกประเทศ	–	500-3,000	1,000-10,000	500-3,000	30-500	300-1,200	8-40
กากตะกอนที่ใช้ทดลอง	133.00^{E} (14,179.17)	43.00^{E} (601.25)	910.00^{E} (3,570.83)	1.22^{E} (404.17)	12.82^{E} (19.83)	0.56^{E} (143.25)	0.20^{E} (3.50)

หมายเหตุ E หมายถึงปริมาณโลหะหนักได้จากการสกัดด้วย 0.005 M DTPA

( ) หมายถึงปริมาณโลหะหนักทั้งหมด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 ปริมาณโลหะหนักในดินจากการคำนวณเมื่อเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนัก 4 ระดับเทียบเท่ากับถูกปลดปล่อยออกจากตะกอน

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก (ppm.)						
	เหล็ก	แมงกานีส	สังกะสี	ทองแดง	นิกเกิล	ตะกั่ว	แคดเมียม
ควบคุม (ดินเดิม)	134.80^{E}	44.12^{E}	13.20^{E}	6.80^{E}	1.8100^{E}	1.1100^{E}	0.060^{E}
โลหะหนักระดับที่ 1	136.13	44.55	22.3	6.81	0.9362	1.1156	0.062
โลหะหนักระดับที่ 2	182.95	46.41	31.17	8.16	0.9617	1.5912	0.073
โลหะหนักระดับที่ 3	229.77	48.27	40.03	9.50	0.9850	2.0668	0.084
โลหะหนักระดับที่ 4	276.59	50.13	48.91	10.84	1.0083	2.5425	0.095
ช่วงที่ยอมรับให้มีได้ในดิน	–	–	280-300	100-140	35-50	100-550	2.0-3.5

หมายเหตุ – หมายถึง ไม่มีการเสนอตัวเลข

E หมายถึง ปริมาณโลหะหนักได้จากการสกัดด้วย 0.005 M DTPA

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ้าจะลองคำนวณอย่างคร่าว ๆ ถึงปริมาณโลหะหนักในดินโดยรวมปริมาณโลหะหนักในรูปที่พืชอาจใช้ประโยชน์ได้ในดินกับปริมาณโลหะหนักที่ถูกปลดปล่อยออกจากกากตะกอนเนื่องจากการย่อยสลาย (Decomposition) ของกากตะกอนออกสู่ดินในระดับต่าง ๆ (4 ระดับ) ตั้งแต่ระดับที่กากตะกอนสามารถปลดปล่อยได้ทันทีจนถึงระดับที่กากตะกอนปลดปล่อยโลหะหนักออกสู่ดินทั้งหมด (ซึ่งจำลองสถานการณ์ดังกล่าวโดยเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนัก 4 ระดับ ให้มีปริมาณเทียบเท่ากับปริมาณโลหะหนักที่ปลดปล่อยออกจากกากตะกอน) จะได้ผลดังตารางที่ 5.3 จากปริมาณโลหะหนักที่คำนวณจะเห็นได้ว่าปริมาณโลหะหนักจากกากตะกอนทำให้ปริมาณโลหะหนักในดินเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะสังกะสี พบว่าปริมาณสังกะสีโดยการคำนวณจากการเติมสังกะสีระดับที่ 4 ทำให้ปริมาณสังกะสีในดินเพิ่มขึ้นเกือบเป็น 5 เท่าของปริมาณสังกะสีในดินเดิมคือเพิ่มขึ้นจาก 13.2 ppm. เป็น 48.91 ppm. ส่วนเหล็กแม้จะมีปริมาณในกากตะกอนสูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่นก็ตาม แต่เนื่องจากปริมาณเหล็กในดินเดิมมีค่อนข้างสูงอยู่แล้ว เมื่อเทียบกับปริมาณเหล็กที่เติมลงไป จึงทำให้อัตราการเพิ่มของเหล็กในดินน้อยกว่าสังกะสี คือ ปริมาณเหล็กในดินจากการเติมเหล็กระดับที่ 4 เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของปริมาณเหล็กในดินเดิม ตะกั่วก็เช่นกัน การเติมตะกั่วระดับที่ 4 ทำให้ปริมาณตะกั่วในดินเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (โดยประมาณ) ของปริมาณตะกั่วในดินเดิม ส่วนปริมาณแมงกานีส ทองแดง นิกเกิล และแคดเมียม ในดินจากการเติมโลหะหนักมีอัตราการเพิ่มขึ้นไม่มากนักเมื่อเทียบกับ สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว หากพิจารณาปริมาณโลหะหนักในดินของทั้ง 7 ธาตุ ที่คำนวณจากปริมาณโลหะหนักจากกากตะกอนรวมกับปริมาณโลหะหนักในดินเดิมเทียบกับปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร (Webber et al., 1984) ก็ยังนับว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่อย่างไรก็ตาม การประเมินจากการลองคำนวณนี้ไม่อาจใช้เป็นข้อสรุปที่แท้จริงได้ เพียงแต่เป็นการคาดคะเนโดยอาศัยปริมาณโลหะหนักในดินเดิมและกากตะกอนเป็นพื้นฐานเท่านั้น จำเป็นต้องติดตามผลตกค้างของโลหะหนักในดินและพืชดังรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

5.2 <u>ปริมาณโลหะหนักในดินหลังปลูกพืช</u>

เนื่องจาก เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ซึ่งจัดเป็นจุลธาตุอาหารสำหรับพืช มักมีปริมาณในดินโดยทั่วไปสูงกว่า นิกเกิล ตะกั่ว และแคดเมียม ซึ่งเป็นโลหะหนักที่จัดว่าเป็นพิษโดยตรง และสำหรับดินเกษตรกรรมโดยทั่วไปมักพบในปริมาณต่ำหากไม่ได้ถูกปนเปื้อนจากแหล่งอื่น ๆ แม้กระทั่งปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอนที่วิเคราะห์ได้ (ตารางที่ 4.1) ก็ยังพบโลหะหนัก

ที่เป็นจุลธาตุอาหารเหล่านี้ในปริมาณที่สูงกว่าโลหะหนักที่เป็นพิษโดยตรง ดังนั้นเมื่อเติมกากตะกอนหรือเติมเกลืออินทรีย์ของโลหะหนักให้มีปริมาณเทียบเท่ากับโลหะหนักที่ถูกปลดปล่อยออกจากกากตะกอนลงในดินจึงทำให้ปริมาณโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหารในดินหลังปลูกพืชสูงกว่าโลหะหนักที่เป็นพิษโดยตรง แม้จะมีโลหะหนักบางส่วนถูกพืชดูดดึงไปใช้ ดังผลการวิเคราะห์โลหะหนักในดินหลังปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด (หัวข้อที่ 4.2) และถ้าเปรียบเทียบปริมาณจุลธาตุอาหารคือ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง กับระดับวิกฤตของจุลธาตุอาหารในดินที่สกัดได้ด้วยน้ำยา DTPA ตามที่ Lindsay (1979) เสนอไว้คือ เหล็ก 4.5 ppm. แมงกานีส 1.00 ppm. สังกะสี 0.8 ppm. และทองแดง 0.2 ppm. จะเห็นได้ว่าโดยทั่วไปแล้วจุลธาตุอาหารเหล่านี้อยู่ในระดับที่พอเพียงกับการที่พืชจะใช้ประโยชน์ได้ในฤดูเพาะปลูกถัดไป

ถ้าเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินจากการเติมเกลืออินทรีย์ของโลหะหนักหลังปลูกพืชกับปริมาณโลหะหนักจากการคำนวณก่อนปลูกพืช โดยรวมปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในดินเดิมและปริมาณโลหะหนักจากการเติมเกลืออินทรีย์ของโลหะหนักแต่ละระดับ ดังตารางที่ 5.4 จะเห็นได้ว่ายกเว้นนิกเกิลแล้ว ปริมาณโลหะหนักทั้งในดินเดิมและดินที่เติมเกลืออินทรีย์ของโลหะหนักทั้ง 4 ระดับ โดยทั่วไปมักจะต่ำกว่าค่าจากการคำนวณ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ผักคะน้าและผักกาดหอมดูดดึงโลหะหนักบางธาตุจากดินไปสะสมในเนื้อเยื่อประการหนึ่ง และอย่างไรก็ตาม การเติมเกลืออินทรีย์ของโลหะหนักลงสู่ดินซึ่งแม้ว่าโดยทั่วไปโลหะหนักจะอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ดีกว่าโลหะหนักในรูปสารอินทรีย์ แต่โลหะหนักในรูปไอออนจากเกลืออินทรีย์ของโลหะหนักที่เติมลงดินอาจเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงจากรูปที่เป็นสารอินทรีย์กลับไปอยู่ในรูปสารอินทรีย์ (Immobrilization) ก็ได้ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุอีกประการหนึ่งที่ทำให้ปริมาณโลหะหนักในดินหลังปลูกพืชมีปริมาณต่ำกว่าปริมาณที่ได้จากการคำนวณ นอกเหนือไปจากการดูดดึงโลหะหนักของพืช ส่วนปริมาณนิกเกิลในดินหลังปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด สูงกว่าค่าจากการคำนวณทั้งในดินเดิมและดินที่เติมเกลืออินทรีย์ของโลหะหนักทุกระดับ โดยเฉพาะในดินหลังปลูกผักคะน้าจะเห็นได้อย่างชัดเจน ซึ่งอาจสันนิษฐานได้ว่านิกเกิลที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ในดินเดิมนั้นอาจเปลี่ยนเป็นนิกเกิลในรูปสารอินทรีย์ซึ่งเป็นรูปที่พืชอาจใช้ประโยชน์ได้ และสามารถสกัดได้ด้วยน้ำยา DTPA โดยกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในดิน หรือปัจจัยอื่น ๆ ที่ช่วยส่งเสริมให้ปริมาณนิกเกิลในรูปที่ใช้ประโยชน์ได้เพิ่มสูงขึ้น สำหรับปัจจัยที่เห็นได้เด่นชัดประการหนึ่งคือ pH ของดิน จากผลการวัดค่า pH ของดินระหว่างปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด ในฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง ซึ่งแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.6.1 (ตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.15) พบว่าค่า pH ของดินจากทุกตำรับทดลองโดยเฉพาะดินจากตำรับทดลองที่

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินจากการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนัก 4 ระดับหลังปลูกพืชกับปริมาณโลหะหนักจากการคำนวณก่อนปลูกพืช

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก (ppm.)[E]						
	เหล็ก	แมงกานีส	สังกะสี	ทองแดง	นิกเกิล	ตะกั่ว	แคดเมียม
ควบคุม (ดินเดิมก่อนปลูกพืช)	134.80	44.12	13.20	6.80	1.8100	1.1100	0.0600
หลังปลูกพืชคะน้า	119.33	21.64	10.99	6.45	0.9560	0.7410	0.0253
หลังปลูกผักกาดหอม	159.73	38.47	13.26	7.23	1.0667	1.1110	0.0333
โลหะหนักระดับที่ 1	136.13[X]	44.55[X]	22.30[X]	6.81[X]	0.9362[X]	1.1156[X]	0.0620[X]
หลังปลูกพืชคะน้า	137.87	20.02	18.33	7.09	1.4393	0.7410	0.0360
หลังปลูกผักกาดหอม	132.67	22.40	17.13	7.03	1.2133	0.7410	0.0400
โลหะหนักระดับที่ 2	182.95[X]	46.41[X]	31.17[X]	8.16[X]	0.9617[X]	1.5912[X]	0.0730[X]
หลังปลูกพืชคะน้า	147.33	25.48	23.53	7.97	1.5907	0.8643	0.0407
หลังปลูกผักกาดหอม	122.67	21.33	21.39	7.48	1.2267	1.2343	0.0467
โลหะหนักระดับที่ 3	229.77[X]	48.27[X]	40.04[X]	9.50[X]	0.9850[X]	2.0668[X]	0.0840[X]
หลังปลูกพืชคะน้า	148.13	26.29	27.79	8.40	1.6693	0.9877	0.0527
หลังปลูกผักกาดหอม	117.60	19.87	25.93	7.75	1.2067	1.1110	0.0600
โลหะหนักระดับที่ 4	276.59[X]	50.13[X]	48.91[X]	10.04	1.0083[X]	2.5425[X]	0.0950[X]
หลังปลูกพืชคะน้า	148.00	22.08	32.19	8.53	1.5233	1.1110	0.0520
หลังปลูกผักกาดหอม	131.60	21.87	30.86	8.31	1.0667	1.4810	0.0600

หมายเหตุ E หมายถึงปริมาณโลหะหนักได้จากการสกัดด้วย 0.005 M DTPA

X หมายถึงปริมาณโลหะหนักจากการคำนวณก่อนปลูกพืช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักลดต่ำลงจากค่า pH ของดินเดิมก่อนปลูกพืช และต่ำกว่า 6.5 จึงน่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณนิกเกิลทั้งในดินเดิมและดินที่เติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักหลังปลูกพืชสูงกว่าปริมาณโลหะหนักจากการคำนวณก่อนปลูกพืช ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ UNEP/WHO (1991) ที่สรุปไว้ว่า คุณสมบัติการละลายและการใช้ประโยชน์ได้ของนิกเกิลสำหรับพืชขึ้นกับ pH ของดิน ถ้า pH ลดลง โดยทั่วไปนิกเกิลจะละลายออกสู่สารละลายดินได้มากขึ้น สารประกอบของนิกเกิลส่วนใหญ่มักจะละลาย ณ ค่า pH ที่ต่ำกว่า 6.5

แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณโลหะหนักทั้ง 7 ธาตุ ในดินหลังปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมยังมีปริมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร ซึ่ง Webber et al. (1984) ได้รวบรวมไว้ดังตารางที่ 5.1

แม้ว่าปริมาณโลหะหนักทั้ง 7 ธาตุ ในดินหลังปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด จะอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ก็ตาม แต่โลหะหนักแต่ละธาตุก็แสดงพฤติกรรมแตกต่างกันไป จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.2 พบว่าปริมาณสังกะสีในดินหลังปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด มีอัตราเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักตั้งแต่ระดับที่ 1-4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเด่นชัดกว่าโลหะหนักอื่น ๆ (รูปที่ 4.1) ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินจากการคำนวณปริมาณโลหะหนักในดิน เมื่อเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักทั้ง 4 ระดับ (ตารางที่ 5.3) แม้ปริมาณสังกะสีในดินหลังปลูกพืชจะมีค่าต่ำกว่าปริมาณจากการคำนวณก็ตาม และยังเห็นได้ชัดว่าปริมาณสังกะสีทั้งในดินหลังปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมจากตำรับทดลองที่เติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักร่วมกับปุ๋ยและธาตุอาหารสูงกว่าตำรับควบคุม เติมธาตุอาหาร เติมปุ๋ยเคมี และโดยเฉพาะตำรับทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับธาตุอาหาร (ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบบนพื้นฐานที่เติมสิ่งอื่น ๆ เหมือน ๆ กัน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับปริมาณทองแดงและแคดเมียมในดินหลังปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด รวมทั้งปริมาณตะกั่วหลังปลูกผักคะน้าก็มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักเช่นกัน แม้ว่าบางตำรับทดลองจะมีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่โดยทั่วไปปริมาณจากตำรับทดลองที่เติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักทั้ง 4 ระดับร่วมกับปุ๋ยเคมีและธาตุอาหารสูงกว่าตำรับทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับธาตุอาหาร ส่วนปริมาณเหล็ก แมงกานีส และนิกเกิล ในดินหลังปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด รวมทั้งปริมาณตะกั่วในดินหลังปลูกผักกาดหอมไม่แสดงแนวโน้มที่ชัดเจน และพบว่าปริมาณจากตำรับทดลองที่เติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักร่วมกับปุ๋ยเคมีและธาตุอาหารก็ยังไม่แสดงความแตกต่างกับตำรับควบคุม เติมธาตุอาหาร เติมปุ๋ยเคมี และเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับธาตุอาหารอย่างชัดเจน เหตุผลก็ทำนองเดียวกับที่อธิบายถึงการประเมินแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณโลหะหนักจากการ

คำนวณในหัวข้อ 5.1 นอกเหนือไปจากปัจจัยที่เกี่ยวกับการดูดดึงโลหะหนักของพืช รวมทั้งปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ของดิน ซึ่งล้วนแต่ส่งผลให้โลหะหนักแต่ละธาตุแสดงพฤติกรรมการสะสมในดินหลังปลูกพืชแตกต่างกันไป แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับการประเมินแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณโลหะหนักในดินจากปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนที่ถูกปลดปล่อยออกสู่สารละลายดิน ณ ระดับต่าง ๆ หลังปลูกพืช อาจสรุปได้ว่าสังกะสีน่าจะใช้เป็นดัชนีบ่งถึงแนวโน้มของปริมาณโลหะหนักตกค้างในดินหลังปลูกพืชได้อย่างชัดเจนกว่าโลหะหนักอื่น ๆ และหากทราบข้อมูลที่เกี่ยวกับอัตราการสลายตัว (Decomposition Rate) ของกากตะกอน ก็จะทำให้สามารถทราบว่าเมื่อเวลาผ่านไปนานเท่าใดโลหะหนักในกากตะกอนจึงจะถูกปลดปล่อยออกสู่สารละลายดิน และส่งผลให้ตกค้างในดินหลังปลูกพืช ณ ระดับต่าง ๆ ตามที่ได้จำลองสถานการณ์ขึ้น

นอกจากนี้ยังเป็นที่น่าสังเกตว่า ปริมาณสังกะสี ทองแดง และแคดเมียม ในดินหลังปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด จากตำรับทดลองที่เติมกากตะกอนและเติมกากตะกอนร่วมกับธาตุอาหาร ใกล้เคียงกับปริมาณของโลหะหนักเหล่านั้น จากตำรับทดลองที่เติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักบางระดับร่วมกับปุ๋ยเคมีและธาตุอาหาร ซึ่งถ้าหากจะเลือกเฉพาะปริมาณโลหะหนักดังกล่าวจากตำรับทดลองที่เติมกากตะกอนร่วมกับธาตุอาหารมาเปรียบเทียบกับโลหะหนักจากตำรับทดลองที่เติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักทั้ง 4 ระดับร่วมกับปุ๋ยเคมีและธาตุอาหาร (เป็นการเปรียบเทียบบนพื้นฐานที่เติมสิ่งอื่น ๆ เหมือน ๆ กัน) พบว่า สำหรับดินหลังปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด จากตำรับทดลองที่เติมกากตะกอน (ร่วมกับธาตุอาหาร) มีปริมาณสังกะสีอยู่ในช่วงปริมาณสังกะสีจากตำรับทดลองที่เติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักระดับที่ 3-4 (ร่วมกับปุ๋ยเคมีและธาตุอาหาร) และมีปริมาณทองแดงไม่แตกต่างกับปริมาณทองแดงจากตำรับทดลองที่เติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักระดับที่ 4 (ร่วมกับปุ๋ยเคมีและธาตุอาหาร) ส่วนปริมาณแคดเมียมในดินหลังปลูกผักคะน้าจากตำรับทดลองที่เติมกากตะกอน (ร่วมกับธาตุอาหาร) อยู่ในช่วงปริมาณแคดเมียมจากตำรับทดลองที่เติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักระดับที่ 2-3 (ร่วมกับปุ๋ยเคมีและธาตุอาหาร) แต่สำหรับในดินหลังปลูกผักกาดหอมมีปริมาณเท่ากับปริมาณแคดเมียมจากตำรับทดลองที่เติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักระดับที่ 1 (ร่วมกับปุ๋ยเคมีและธาตุอาหาร) ซึ่งแสดงรายละเอียดไว้ตังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวอาจสรุปได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไปหนึ่งฤดูเพาะปลูก กากตะกอนจะเกิดการย่อยสลาย และปลดปล่อยโลหะหนักออกสู่สารละลายดินในรูปที่พืชอาจนำไปใช้ประโยชน์ได้ช้าเร็วแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของโลหะหนัก โดยพบว่าทองแดงสามารถถูกปลดปล่อยออกจากกากตะกอนได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่สังกะสี แคดเมียม ตามลำดับ เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมจากดินหลังปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด

5.3 <u>ปริมาณโลหะหนักในพืช</u>

ปริมาณโลหะหนักในพืชนับเป็นดัชนีที่ชี้ให้เห็นถึงโอกาสที่จะเกิดความเป็นพิษของโลหะหนักจากกากตะกอนที่สำคัญประการหนึ่ง นอกเหนือไปจากปริมาณโลหะหนักในดินและกากตะกอนตลอดจนปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในดินหลังปลูกพืชดังกล่าวแล้ว จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้ง 7 ธาตุ ในพืช ดังแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.3 ซึ่งตรวจพบเฉพาะเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ทั้งในราก (Root) และส่วนบริโภคได้ (Edible Port) ของผักคะน้าและผักกาดหอม ทั้งนี้เพราะโลหะหนักทั้ง 4 ธาตุ นั้น จัดเป็นจุลธาตุอาหารสำหรับพืชซึ่งโดยปกติพืชก็จะดูดดึงจากดินไปสะสมในเนื้อเยื่อพืช แม้ว่าพืชจะมีความต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม ส่วนนิกเกิล ตะกั่ว และแคดเมียม ซึ่งจัดเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษโดยตรงนั้น พบว่าทั้งผักคะน้าและผักกาดหอม มีปริมาณโลหะหนักดังกล่าวน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบแม้ว่านิกเกิลและแคดเมียมจะจัดเป็นโลหะหนักที่พืชสามารถดูดดึงเข้าไปในส่วนของพืชได้ดี (Davis et al., 1984) และปริมาณในพืชมีสัมพันธ์กับปริมาณในดิน (Davis, 1984; Grossman, 1988) ก็ตาม แต่เนื่องจากปริมาณนิกเกิลและแคดเมียมที่มีอยู่ในดินทั้งจากในดินเดิมและจากการเติมกากตะกอน หรือเกลืออินทรีย์ของโลหะหนักทั้ง 4 ระดับ นับว่ามีปริมาณน้อย ดังนั้นโอกาสที่พืชทั้ง 2 ชนิด จะดูดดึงนิกเกิลและแคดเมียมไปสะสมในเนื้อเยื่อพืชจึงมีน้อยเช่นกัน สำหรับตะกั่วนั้นนอกจากจะมีปริมาณในดินน้อยแล้วยังจัดเป็นโลหะหนักที่พืชดูดดึงไปใช้ได้น้อยมากด้วย (Chumbley และ T..win, 1982) และปริมาณในพืชก็ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณที่มีอยู่ในดิน (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2525) อีกด้วย ดังนั้นโอกาสที่จะพบตะกั่วในเนื้อเยื่อพืชทั้ง 2 ชนิด จึงมีได้น้อยมาก

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนัก (เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง) ในรากและส่วนบริโภคได้ของผักคะน้าและผักกาดหอมจากทุกตำรับทดลองกับปริมาณโลหะหนักในพืช ณ ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ซึ่ง Chaney (1982) ได้เสนอไว้ (ตารางที่ 5.5) จะเห็นได้ว่าผักคะน้ามีปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ธาตุ คือ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ทั้งในรากและส่วนบริโภคได้จากทุกตำรับทดลองจัดว่าอยู่ในระดับปกติที่พบในพืชโดยทั่วไป ส่วนผักกาดหอมมีปริมาณเหล็กทั้งในรากและส่วนบริโภคได้จากทุกตำรับทดลองสูงกว่าระดับปกติที่พบในพืชโดยทั่วไป แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากยังมิได้มีการกำหนดระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษของเหล็กต่อพืชจึงไม่อาจสรุปว่าปริมาณเหล็กที่สะสมในผักกาดหอมจะก่อให้เกิดความเป็นพิษ ปริมาณแมงกานีสทั้งในรากและส่วนบริโภคได้ของผักกาดหอมจัดอยู่ในระดับปกติ สำหรับปริมาณสังกะสีและ

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในผักคะน้าและผักกาดหอมกับปริมาณโลหะหนักในพืช ณ ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Chaney, 1982)

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (ppm.)		ช่วงของปริมาณโลหะหนักในพืชจากทุกตัวรับทดลอง (ppm.)			
	ระดับปกติ	ระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช	ผักคะน้า		ผักกาดหอม	
			ราก	ส่วนบริโภคได้	ราก	ส่วนบริโภคได้
เหล็ก	30-300	-	112.18-215.87	113.90-247.53	317.32-497.68	564.53-575.90
แมงกานีส	15-150	400-2.000	7.74-14.87	11.03-24.54	13.41-16.82	14.67-17.71
สังกะสี	15-150	500-1,500	30.31-58.28	51.00-110.30	102.97-167.09	107.88-159.84
ทองแดง	3-20	25-40	10.72-15.91	6.62-11.70	16.02-22.86	12.63-19.63
นิกเกิล	0.1-5	50-100	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.
ตะกั่ว	2-5	-	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.
แคดเมียม	0.1-1	5-700	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.

หมายเหตุ – หมายถึงไม่มีการเสนอค่าตัวเลข

Tr. หมายถึงมีปริมาณน้อยมากจะไม่สามารถตรวจพบ

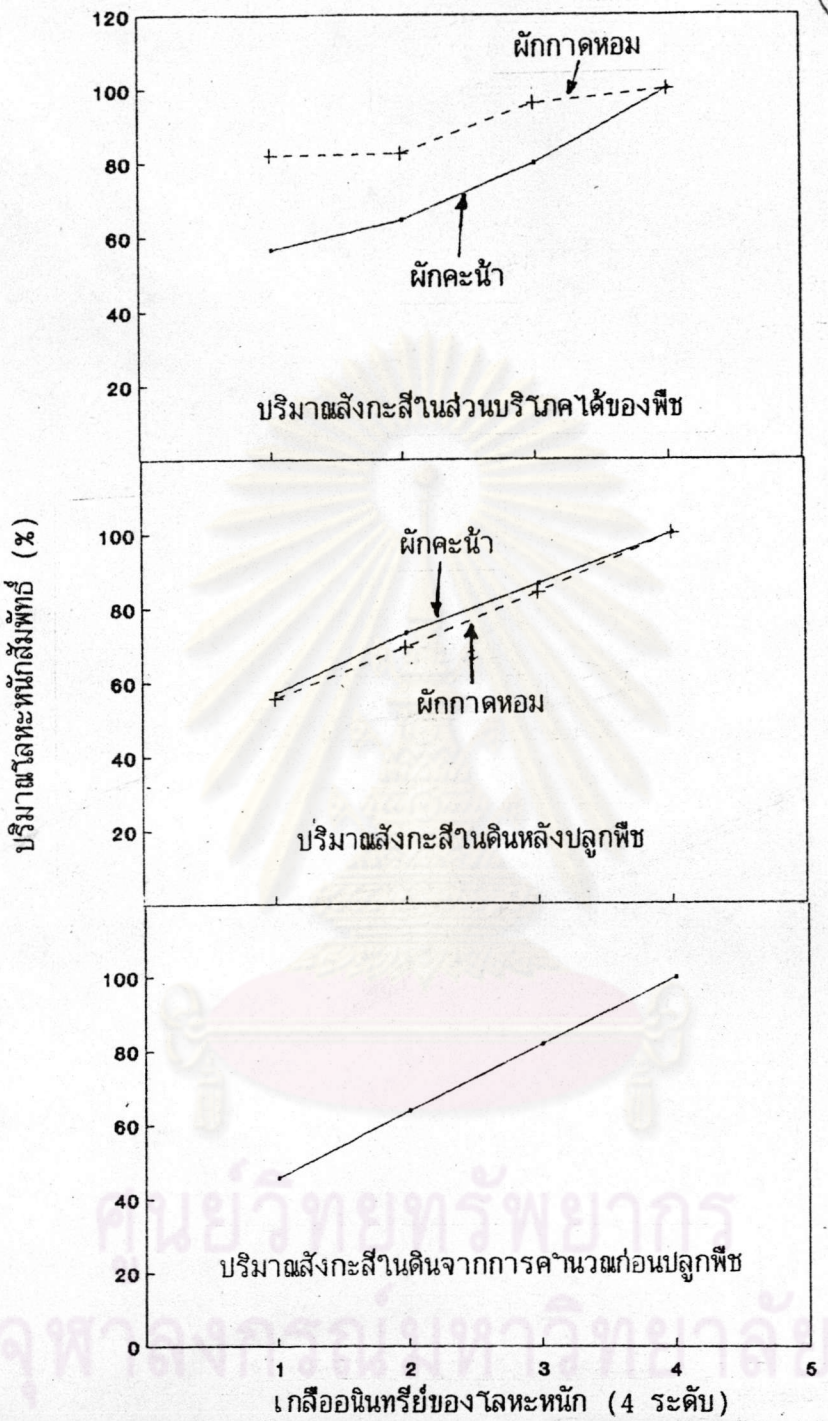
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทองแดงในรากและส่วนบริโภคได้ของผักกาดหอมโดยทั่วไปอยู่ในระดับปกติเช่นกัน แม้จะพบว่าปริมาณสังกะสีและทองแดงจากบางตำรับทดลองสูงกว่าระดับปกติ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชก็นับว่ายังไม่เป็นอันตรายต่อพืช

โดยทั่วไปพบว่าผักกาดหอมสามารถดูดดึงโลหะหนัก (เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง) ไปสะสมทั้งในรากและส่วนบริโภคได้สูงกว่าผักคะน้า (รูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5) ซึ่งสำหรับกรณีสังกะสีและทองแดงสอดคล้องกับที่ Dowdy และ Lason (1975) ได้รายงานไว้ว่าผักกาดหอมจะสะสมสังกะสีและทองแดง (รวมทั้งแคดเมียม) สูงกว่าพืชชนิดอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด และสำหรับการสะสมโลหะหนักในแต่ละส่วนของพืชพบว่าทั้งผักคะน้าและผักกาดหอมมีการสะสมเหล็กและแมงกานีสในส่วนบริโภคได้สูงกว่าในราก ซึ่งสำหรับกรณีแมงกานีสสอดคล้องกับรายงานของอรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529) นอกจากนี้ยังพบว่าผักกาดหอมมีการสะสมสังกะสีในส่วนบริโภคได้สูงกว่าในราก

แม้ว่าปริมาณโลหะหนักในพืชจะยังไม่จัดว่าอยู่ในระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชก็ตาม แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณสังกะสีในส่วนบริโภคได้ของทั้งผักคะน้าและผักกาดหอมจากตำรับทดลองที่เติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักทั้ง 4 ระดับร่วมกับปุ๋ยเคมีและธาตุอาหารสูงกว่าตำรับทดลองที่เติมเฉพาะปุ๋ยเคมีและธาตุอาหาร และมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักที่เติมลงในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงน่าจะเลือกสังกะสีเป็นดัชนีเพื่อบ่งชี้ถึงแนวโน้มของความเสี่ยงต่อความเป็นพิษของโลหะหนักจากกากตะกอน ทั้งนี้เนื่องจากสังกะสีแสดงพฤติกรรมการเพิ่มขึ้นตามปริมาณสังกะสีที่ถูกปลดปล่อยจากกากตะกอน ณ ระดับต่าง ๆ (ตามที่ได้จำลองสถานการณ์ขึ้นโดยการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักทั้ง 4 ระดับ) อย่างชัดเจน ทั้งปริมาณที่ตกค้างในดินหลังปลูกพืช และสืบเนื่องมาถึงปริมาณที่สะสมในส่วนบริโภคได้ของพืชทั้ง 2 ชนิด โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณสังกะสีในดินจากการคำนวณก่อนปลูกพืช (ดังรูปที่ 5.1) แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในสภาพการณ์จริง กากตะกอนมีอินทรีย์วัตถุอยู่มากสามารถดูดยึดโลหะหนักซึ่งมีประจุบวกได้ดี จึงทำให้แนวโน้มความเสี่ยงต่อความเป็นพิษของโลหะหนักลดลง

นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสังกะสีในส่วนบริโภคได้ของผักกาดหอมจากตำรับทดลองที่เติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักระดับที่ 4 (ร่วมกับปุ๋ยเคมีและธาตุอาหาร) มีค่า (167.09 ppm.) สูงกว่าระดับสังกะสีที่พบในพืชโดยทั่วไป (15-150 ppm.) แม้จะยังไม่ถึงระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (500-1,500 ppm.) ก็ตาม แต่ก็แสดงถึงแนวโน้มการสะสมของปริมาณสังกะสีในพืชเกินกว่าระดับปกติ หากทราบข้อมูลที่เกี่ยวกับการสลายตัวของกากตะกอนและยอมรับข้อสมมติที่



รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีในดินจากการคำนวณก่อนปลูกพืช ปริมาณสังกะสีในดินหลังปลูกพืชและในส่วนบริโภคได้ (edible part) ของพืชจากผลของการเติมเกลืออินทรีย์ของโลหะหนัก (4 ระดับ)

ว่าการเติมเกลืออินทรีย์ของโลหะหนักทั้ง 4 ระดับ สามารถจำลองสถานการณ์ที่กากตะกอนจะสลายตัวและปลดปล่อยโลหะหนักออกสู่สารละลายดินในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที ณ ระดับต่าง ๆ (1-4 ระดับ) จนถึงระดับที่มีทั้งหมดในกากตะกอน ก็จะสามารถทราบถึงระยะเวลาที่โลหะหนัก (โดยเฉพาะสังกะสี) จากการเติมกากตะกอนลงดินจะถูกปลดปล่อยออกสู่สารละลายดินแล้วถูกพืชดูดดึงเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อพืช ณ ระดับต่าง ๆ จนอาจถึงระดับที่สูงกว่าระดับปกติที่ควรจะพบเช่นกรณีของปริมาณสังกะสีในส่วนบริโภคได้ของผักกาดหอมดังกล่าวแล้ว

5.4 ผลผลิตพืช

จากผลผลิตผักคะน้าและผักกาดหอมในฤดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่งและที่สอง (ดังแสดงไว้ในหัวข้อ 4.4) ซึ่งพบว่าผลผลิตของพืชทั้ง 2 ชนิด ในฤดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่งค่อนข้างต่ำและข้อมูลมีความแปรปรวน ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยจำกัด (Limiting Factor) หลายประการ ปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งคือความจำกัดเกี่ยวกับสถานที่ทั้งภายในเรือนทดลอง และบริเวณใกล้เคียง คือ มีสิ่งบดบังทำให้พืชได้รับแสงแดดไม่เต็มที่ เช่น ต้นไม้ใหญ่บริเวณใกล้เคียงที่แผ่กิ่งก้านบกคลุมหลังคาของเรือนทดลองตลอดจนห้องเก็บอุปกรณ์ในเรือนทดลอง และแม้กระทั่งโครงไม้และลวดตาข่ายที่สร้างขึ้นเพื่อป้องกันการรบกวนจากสัตว์กัดแทะก็ตาม นอกจากนี้ในการให้น้ำแก่ต้นพืชจำเป็นต้องใช้น้ำที่ปราศจากอิออน (Deionized Water) เนื่องจากต้องการความชัดเจนในการศึกษาถึงผลของปริมาณโลหะหนักและสิ่งต่าง ๆ ที่เติมลงในดิน จึงไม่ต้องการให้แร่ธาตุจากน้ำที่ให้แก่ต้นพืชเป็นตัวแปร ดังนั้นพืชจึงไม่มีโอกาสได้รับแร่ธาตุเพิ่มเติมจากน้ำที่ใช้รดเหมือนในสภาพการเพาะปลูกจริง ๆ และในระหว่างทำการทดลองเพาะปลูกพืชก็ไม่ได้ให้ธาตุอาหารเสริมแก่พืชแต่อย่างใด เนื่องจากต้องการให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนจากผลของตำรับทดลองที่มีต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สนใจศึกษา ข้อจำกัดทั้งหมดที่กล่าวมาจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตพืชที่ได้ค่อนข้างต่ำโดยเฉพาะในฤดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง แต่อย่างไรก็ตาม ในฤดูเก็บเกี่ยวที่สองได้พยายามลดข้อจำกัดที่เกี่ยวกับสิ่งบดบังแสง โดยย้ายหน่วยทดลองทั้งหมดให้ห่างจากสิ่งบดบังต่าง ๆ เท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาผลผลิตของผักคะน้าและผักกาดหอมในฤดูเก็บเกี่ยวที่สองก็จะเห็นได้ว่าสูงกว่าในฤดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง และข้อมูลที่ได้ก็มีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลผลิตในรูปน้ำหนักแห้งของทั้งผักคะน้าและผักกาดหอมจากแต่ละตำรับทดลองในฤดูเก็บเกี่ยวที่สอง พบว่าโดยทั่วไปมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ผลผลิตพืชจากตำรับทดลองที่

เติมกากตะกอนร่วมกับธาตุอาหาร และ/หรือ เติมเฉพาะกากตะกอนมีค่าสูงกว่าผลผลิตจากตำรับทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับธาตุอาหารและตำรับทดลองอื่น ยกเว้นผลผลิตของผักกาดหอมจากตำรับทดลองที่เติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักทั้ง 4 ระดับร่วมกับปุ๋ยเคมีและธาตุอาหารไม่แตกต่างกับตำรับทดลองที่เติมกากตะกอนร่วมกับธาตุอาหาร และเติมเฉพาะกากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อธิบายได้ว่า กากตะกอนมีองค์ประกอบทั้งที่เป็นธาตุอาหารหลักและจุลธาตุอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีปริมาณไนโตรเจนสูงมาก จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในรูปของปุ๋ยโดยเฉพาะกับพืชไร่ (รายละเอียดเกี่ยวกับสมบัติของกากตะกอนอธิบายไว้ในหัวข้อ 5.52) และด้วยเหตุผลที่ว่าเมื่อเวลาผ่านไปถึงฤดูเพาะปลูกที่สองกากตะกอนน่าจะสลายตัวปลดปล่อยธาตุอาหารได้ดีขึ้น (ซึ่งเป็นข้อดีของผลในระยะยาวของการใช้กากตะกอนในรูปของปุ๋ย) ดังนั้นการเติมกากตะกอนลงในดินจึงส่งผลให้ผลผลิตพืชทั้ง 2 ชนิด สูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างชัดเจนในฤดูเก็บเกี่ยวที่สอง และพบว่ามีข้อสรุปจากหลาย ๆ งานวิจัยที่สนับสนุนถึงประสิทธิภาพของกากตะกอนในการเพิ่มผลผลิต เช่น ผลงานวิจัยของ Magdoff และ Amadon (1980), Guidi และ Hall (1984) และอรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529) ส่วนเหตุที่พบว่าผลผลิตพืชทั้ง 2 ชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งผักกาดหอมจากตำรับทดลองที่เติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักทั้ง 4 ระดับร่วมกับปุ๋ยเคมีและธาตุอาหารสูงกว่าผลผลิตพืชจากตำรับทดลองที่เติมเฉพาะปุ๋ยเคมีร่วมกับธาตุอาหารเช่นเดียวกับตำรับทดลองที่เติมกากตะกอนร่วมกับธาตุอาหาร ก็อาจเนื่องมาจากเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักสามารถถูดพืชดูดดึงไปใช้ประโยชน์ในลักษณะเป็นจุลธาตุอาหารได้จึงเท่ากับเป็นการให้จุลธาตุอาหารเสริมจากการเติมปุ๋ยเคมีและธาตุอาหารพืชจึงเจริญเติบโตได้ดีขึ้น และไม่พบลักษณะที่ผิดปกติใด ๆ ในพืชทั้ง 2 ชนิด อันเนื่องมาจากความเป็นพิษของโลหะหนักจากการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักทั้ง 4 ระดับ แม้ว่าโลหะหนักบางธาตุจะมีปริมาณการสะสมในเนื้อเยื่อพืชสูงเกินระดับปกติก็ตาม ดังนั้นผลผลิตพืชและลักษณะพืชที่ได้จึงอาจเป็นข้อมูลหนึ่งซึ่งชี้ให้เห็นว่า การเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักทั้ง 4 ระดับ ลงในดิน หรืออาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า เมื่อกากตะกอนปลดปล่อยโลหะหนักสู่สารละลายดิน ณ ระดับต่าง ๆ จนถึงระดับที่มีทั้งหมดในกากตะกอน จะไม่มีผลทำให้ผลผลิตลดลงหรือปรากฏอาการผิดปกติใด ๆ อันเนื่องมาจากความเป็นพิษของโลหะหนักแต่อย่างใด แต่กลับทำให้ผลผลิตพืชทั้ง 2 ชนิดเพิ่มขึ้น และมีลักษณะสมบูรณ์ดีคือ มีใบใหญ่สีเขียวเข้ม ลำต้นและก้านใบอวบ คล้ายกับผลผลิตพืชจากการเติมกากตะกอน (ภาพผลผลิตของผักคะน้าและผักกาดหอม แสดงไว้ในภาคผนวก-ค.)

5.5 สมบัติทางเคมีของดินตะกอนที่ใช้ทดลอง

5.5.1 สมบัติทางเคมีของดินที่ใช้ทดลอง

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินจากพื้นที่เกษตรกรรม ตำบลบ้านฉาง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี ซึ่งนำมาใช้ทดลอง (แสดงไว้ในหัวข้อที่ 5.5) พบว่า มีระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เท่ากับ 6.79 ซึ่งนับว่าใกล้เคียงกับ pH ของดินที่พืชส่วนใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้ดีคือประมาณ 6.5 (Davis, 1984) และเป็นข้อเสนอที่ได้รับการยอมรับกันแล้วว่าเหมาะสมและจำเป็นสำหรับพื้นที่ที่ต้องการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร และถ้าพิจารณาถึงช่วง pH ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของผักคะน้าคืออยู่ในช่วง 5.5-6.8 และสำหรับผักกาดหอมอยู่ในช่วง 6.0-6.8 (สมภพ ฐิตะวสันต์, 2527) ก็จะเห็นได้ว่า pH ของดินที่ใช้ทดลองอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับเพาะปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด โดยไม่น่าจะทำให้เกิดปัญหาทั้งในลักษณะที่ก่อให้เกิดการขาดแคลนธาตุอาหาร หรือทำให้เกิดความเป็นพิษจากโลหะหนักบางชนิดแต่อย่างใด

ความอุดมสมบูรณ์ของดินอาจจำแนกได้ตามปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter) ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (Available Phosphorus) และโปตัสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangable Potassium) โดยใช้เกณฑ์สำหรับจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดิน (เล็ก มอญเจริญ, 2522) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.6 เมื่อพิจารณาสมบัติดังกล่าวของดินที่ใช้ทดลองพบว่ามีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (1.51%) ซึ่งจัดอยู่ในระดับปานกลาง (1.5-2.5%) แต่ถ้าพิจารณาต่อเนื่องไปถึงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (1,115.00 ppm.) เปรียบเทียบกับปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (33.26 ppm.) และปริมาณไนเตรตไนโตรเจน (28.01 ppm.) ก็จะเห็นได้ว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีมากกว่า แสดงว่าไนโตรเจนในดินอยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen) มากกว่าในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจน (Inorganic Nitrogen) คือไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของฮิวมัส (ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, 2528) ถ้าอนุมานว่าปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจนส่วนใหญ่อยู่ในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจน ก็อาจคำนวณปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนได้จากการหักปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนออกจากไนโตรเจนทั้งหมดก็จะพบว่าปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจน (1,053.73 ppm.) ยังมีอยู่มาก ซึ่งพืชไม่สามารถดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้ทันที แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอัตราส่วน C : N ของ

ตารางที่ 5.6 จำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดินและกากตะกอนใช้ทดลองตามเกณฑ์ของกองจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน (เล็ก มอญเจริญ, 2522)

ระดับที่บ่งบอก	อินทรีย์วัตถุ (%)	บริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (ppm.)	โปตัสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ppm.)
ต่ำมาก	>0.5	>3	>30
ต่ำ	0.5-1.0	3-6	30-60
ต่ำปานกลาง	1.0-1.5	6-10	
ปานกลาง	1.5-2.5	10-15	60-90
สูงปานกลาง	2.5-3.5	15-25	
สูง	3.5-4.5	25-45	90-120
สูงมาก	>4.5	>45	>120
ดินที่ใช้ทดลอง	1.51	220.00	306.00
กากตะกอนที่ใช้ทดลอง	27.64	295.50	310.00

ดินที่ใช้ทดลองซึ่งมีค่าประมาณ 8 : 1 ก็อาจกล่าวได้ว่าอินทรีย์วัตถุในดินจะยังสามารถสลายตัวต่อไปได้ดี เพราะการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดินจะเป็นไปได้คือ เมื่ออินทรีย์วัตถุมีอัตราส่วนของ C : N ประมาณ 10 : 1 หรือต่ำกว่านี้ (คณาจารย์ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530) ส่วนธาตุอาหารหลักอีก 2 ธาตุคือ ฟอสฟอรัสและโปตัสเซียมนั้น เมื่อเทียบกับเกณฑ์ของกองจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน จะพบว่าดินที่ใช้ทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (220.00 ppm.) และโปตัสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (306.00 ppm.) อยู่ในระดับที่สูงมาก ซึ่งอาจเนื่องมาจากดินที่ใช้ทดลองเป็นดินเกษตรกรรมที่มีคุณลักษณะเหมาะสมต่อการเพาะปลูกในระดับหนึ่งอยู่ ประกอบกับเกษตรกรผู้เป็นเจ้าของมีความรู้ในการเพาะปลูก โดยใช้สิ่ง

ปรับปรุงบำรุงดิน เช่น ใส่ปุ๋ย และปูน เป็นต้น ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสและโปตัสเซียมในดินให้สูงขึ้น

เมื่อพิจารณาความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity ; CEC) ของดินที่ใช้ทดลอง (23.0 มิลลิสมมูลย์/100 กรัมของดิน) พบว่ามีค่าค่อนข้างสูงคืออยู่ในช่วงของดินเหนียว จึงอาจประเมินจากค่า CEC ได้ว่าดินที่ใช้ทดลองมีความสามารถในการดูดยึดธาตุอาหารในดินซึ่งส่วนใหญ่มีประจุบวกไว้กับผิวอนุภาคดิน (Clay Micelle) โดยไม่ถูกชะล้างให้สูญหายไปจากดินได้ง่าย จึงเป็นการรักษาธาตุอาหารไว้ให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ในระยะยาว และยังมีส่วนช่วยลดการดูดดึงโลหะหนักบางชนิดเช่นแคดเมียม โดยสามารถดูดยึดโลหะหนักซึ่งมีประจุบวกได้ดี (Diaz และ Polo, 1988)

ดังนั้นถ้าพิจารณาเฉพาะสมบัติทางเคมีดังที่ได้กล่าวมาอาจสรุปได้ว่าดินที่ใช้ทดลองมีศักยภาพเพียงพอจะนำมาใช้ทดลองปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด คือ ผักคะน้า และผักกาดหอมได้ และไม่น่าจะก่อให้เกิดปัญหาทั้งการขาดแคลนธาตุอาหารและความเป็นพิษจากโลหะหนัก

5.5.2 สมบัติทางเคมีของกากตะกอน

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวางที่ใช้ทดลอง (แสดงไว้ในหัวข้อที่ 5.5) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ดิน (ยกเว้นค่า CEC) พบว่ามีค่า pH เท่ากับ 6.62 ซึ่งไม่แตกต่างกับ pH ของดินที่ใช้ทดลอง (6.79) นัก ดังนั้นการเติมกากตะกอนลงในดินเพื่อปลูกพืชจึงไม่น่าจะทำให้ pH ของดินเปลี่ยนแปลงจนถึงระดับที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้าและผักกาดหอม

กากตะกอนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงมาก (27.64%) เมื่อเทียบกับเกณฑ์ของกองจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน (ดังตารางที่ 5.6) และมีอัตราส่วน C : N เท่ากับ 8 : 1 แสดงว่ากากตะกอนซึ่งมีอินทรีย์วัตถุอยู่มากนั้นสามารถสลายตัวได้ดี อินทรีย์ไนโตรเจนสามารถย่อยสลายเปลี่ยนไปเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน คือ แอมโมเนียมไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจน หรืออาจกล่าวได้ว่ากากตะกอนมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับพืชได้ดี โดยไม่มีปัญหาในเรื่องการสลายตัวของกากตะกอน และโอกาสที่จุลินทรีย์ดินจะดูดดึงเอาไนโตรเจนจากดินมาใช้ (Immobilization) ก็มีน้อย ดังนั้นก็ไม่น่าเกิดการขาดแคลนไนโตรเจนซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืช และเมื่อพิจารณาทั้งปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (19,803.00 ppm.) แอมโมเนียมไนโตรเจน

(889.13 ppm.) และไนเตรตไนโตรเจน (47.51 ppm.) จะเห็นได้ว่ามีค่าสูงกว่าปริมาณไนโตรเจนในดินที่ใช้ทดลอง ดังนั้นการเติมกากตะกอนลงในดินจึงเท่ากับเป็นการเพิ่มแหล่งไนโตรเจนสำหรับพืช ซึ่งยังสามารถให้ผลได้ในระยะยาวอีกด้วย เนื่องจากไนโตรเจนที่อยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนก็ยังมีอยู่มาก (18,866.36 ppm.) และการสลายตัวก็เป็นไปได้ดี และถ้าพิจารณาปริมาณธาตุอาหารหลักอีก 2 ธาตุ ในกากตะกอนคือ ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (295.50 ppm.) และโปตัสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (310.00 ppm.) เทียบกับเกณฑ์ของกองจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน (ดังตารางที่ 5.6) จะเห็นได้ว่ากากตะกอนมีปริมาณฟอสฟอรัสและโปตัสเซียมอยู่ในระดับที่สูงมากเช่นเดียวกับดิน หากแต่มีปริมาณของธาตุดังกล่าวสูงกว่าในดิน

ส่วนความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity ; CEC) ในกากตะกอนนั้นไม่ได้วิเคราะห์เนื่องจากกากตะกอนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่มากดังกล่าวแล้ว ซึ่งอินทรีย์วัตถุมีค่า CEC สูงมาก โดยเฉลี่ยสูงถึง 200 มิลลิสมมูลย์/100 กรัมของดิน (Brady, 1974) แต่ก็น่าจะทำให้เกิดผลดีทั้งช่วยเพิ่มศักยภาพในการดูดยึดธาตุอาหารไม่ให้สูญหายและช่วยลดการดูดดึงโลหะหนักที่เป็นพิษของพืช

ถ้าพิจารณาเฉพาะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนดังกล่าวแล้ว อาจสรุปได้ว่า <u>กากตะกอนมีประสิทธิภาพที่พอเพียงจะนำมาใช้ในลักษณะเป็นแหล่งของธาตุอาหารสำหรับพืช โดยเฉพาะไนโตรเจนซึ่งมีปริมาณสูงมาก</u> สำหรับฟอสฟอรัส และโปตัสเซียมในกากตะกอนอาจมีประโยชน์ในลักษณะเป็นแหล่งของธาตุอาหารสำรองสำหรับพืชในระยะยาว เนื่องจากดินที่นำมาใช้ทดลองมีปริมาณธาตุทั้งสองสูงอยู่แล้ว

5.6 <u>ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าแอมโมเนียมไนโตรเจน และค่าไนเตรตไนโตรเจนของดินระหว่างปลูกพืช</u>

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.6 ซึ่งพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า pH จากผลของตำรับทดลองทั้งในดินระหว่างปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมมีทิศทางเดียวกันทั้งในฤดูเพาะปลูกที่หนึ่งและที่สอง โดยการเติมเกลืออินทรีย์ของโลหะหนักมีผลทำให้ค่า pH ของดินลดต่ำลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าอิออนบวกของเกลืออินทรีย์ของโลหะหนักจะแทนที่ H^+ ที่ผิวของอนุภาคดินจึงทำให้ H^+ ในสายละลายดินสูงขึ้น (Kuntze et al., 1984) และอาจส่งผลให้โลหะหนักหลายชนิดในดินทั้งที่เป็นธาตุอาหารและที่เป็นพิษต่อพืชมีโอกาสถูกนำมาใช้มากขึ้น ซึ่งอาจเป็นเหตุผลหนึ่งที่ส่งเสริมให้

พืชทดลองที่ปลูกบนดินเติมเกลืออินทรีย์ทั้ง 4 ระดับ มีผลผลิตสูง และขณะเดียวกันก็มีแนวโน้มการสะสมโลหะหนักบางชนิด เช่น สังกะสี และแคดเมียม สูงกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ เช่นกัน ส่วนการเติมกากตะกอนไม่มีผลทำให้ pH ของดินเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับตำราทดลองอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจาก pH ของกากตะกอนและดินมีค่าใกล้เคียงกัน และอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง ตลอดจนกากตะกอนที่เติมลงดินทำให้ดินมีค่า CEC สูงขึ้นอีกจึงมีผลทำให้ pH เปลี่ยนแปลงน้อยมาก (ดังกล่าวแล้วในหัวข้อสมบัติทางเคมีของดินและกากตะกอน)

ส่วนผลของเวลาที่เพาะปลูกพืชต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดิน ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มลดลงต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 4 แล้วเพิ่มสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 6 และ 8 นั้น อาจเป็นได้ว่าเมื่อเริ่มนำดินมาปลูกพืชปฏิกิริยาตลอดจนกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินยังเกิดไม่เต็มที่ แต่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งปฏิกิริยาและกิจกรรมต่าง ๆ ในดินจะเกิดได้ดีขึ้น เช่น อิออนบวกของเกลืออินทรีย์ของโลหะหนักที่เติมลงไปสามารถแทนที่ H^+ ออกสู่สารละลายดินได้มากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ pH ของดินลดลง และเมื่อเวลาผ่านไปการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินก็อาจเกิดได้ดีขึ้น ตลอดจนการที่รากพืชเจริญเติบโตงอกงามแทรกไปในดินเพื่อดูดดึงธาตุอาหารจากดินก็เท่ากับเป็นการช่วยส่งเสริมการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินให้เป็นไปได้ดีขึ้น จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง pH ของดินได้มากขึ้น หลังจากนั้นปฏิกิริยาเคมี และกิจกรรมต่าง ๆ ในดิน อาจจะค่อนข้างคงที่หรือรากพืชอาจดูดดึงแร่ธาตุจากดินไปได้บ้าง pH ของดินในช่วงหลัง ๆ จึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และยิ่งเมื่อผ่านไปถึงถดูเพาะปลูกที่สอง ปริมาณธาตุอาหารและสิ่งต่าง ๆ ที่เติมลงดินเช่นเกลืออินทรีย์ของโลหะหนักก็ลดลงเนื่องจากบางส่วนถูกพืชดูดดึงไปใช้ จึงเห็นได้ว่าผลจากทั้งตำรับทดลองและเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดินในระหว่างปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด น้อยกว่าในถดูเพาะปลูกที่หนึ่งอย่างเห็นได้ชัด

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียมไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจนของดินระหว่างปลูกพืชในถดูเพาะปลูกที่หนึ่ง ซึ่งพบว่าปริมาณไนเตรตไนโตรเจนมีค่าสูงกว่าแอมโมเนียมไนโตรเจนอย่างเห็นได้ชัดทั้งในดินระหว่างปลูกผักคะน้าและผักกาดหอม ทั้งยังพบอีกว่าปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงตามเวลาที่เพาะปลูก แสดงว่าน่าจะเกิดการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินเปลี่ยนอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน คือ แอมโมเนียมไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจนได้ดีตามลำดับ ดังที่คาดคะเนไว้โดยพิจารณาจากอัตราส่วน C : N ดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 5.5 ส่วนการที่พบว่าการเติมเกลืออินทรีย์ของโลหะหนักมีผลทำให้ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้นนั้น อาจเป็นไปได้ว่าอิออนบวกของโลหะหนักในสาร

ละลายดินมีศักยภาพที่จะช่วยดึงดูดไนเตรตไนโตรเจน ซึ่งเป็นอิออนลบให้สามารถละลายออกสู่สารละลายดินได้มากขึ้น นอกจากนี้จากการที่พบว่าการเติมกากตะกอนส่งผลให้ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนในดินค่อนข้างสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีนั้น ชี้ให้เห็นว่าถ้าพิจารณาเฉพาะไนโตรเจนแล้ว กากตะกอนน่าจะสามารถใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารได้ดีกว่าปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 สำหรับในฤดูเพาะปลูกที่สองนั้นเนื่องจากทราบแล้วว่าโดยทั่วไปมีปฏิกิริยาและกิจกรรมต่าง ๆ ในดินคล้ายคลึงกับฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง เพียงแต่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า จึงไม่จำเป็นต้องติดตามค่าแอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนในฤดูเพาะปลูกที่สองอีก และแนวโน้มความเป็นพิษหรือการสะสมโลหะหนักทั้งในดินและในพืชซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่มุ่งศึกษาก็ให้ผลชัดเจนแล้วจากการทดลองในฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง แต่อย่างไรก็ตาม พอจะประเมินได้ว่าปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนที่ตกค้างในดินจากฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง มีปริมาณเพียงพอต่อการเพาะปลูกในฤดูเพาะปลูกที่สอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย