

การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กากตะกอน

1. แหล่งกำเนิด

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยาเป็นกระบวนการที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายประเภท กลไกของการบำบัดเป็นการเปลี่ยนรูปลักษณ์ของสิ่งสกปรกในน้ำเสียและแยกสิ่งสกปรกเหล่านี้ออกมาเป็นกากตะกอนน้ำเสีย (Sludge) กากตะกอนที่ได้มี 2 ประเภท คือ กากตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์และกากตะกอนที่ไม่เป็นสารอินทรีย์ กากตะกอนเหล่านี้ยังมีสภาพไม่คงตัว (Unstable) ถ้าทิ้งลงในแหล่งน้ำหรือพื้นดินจะยังคงย่อยสลายได้อีก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการบำบัดกากตะกอน จนได้กากตะกอนที่มีสภาพที่ไม่ย่อยสลายจึงนำไปกำจัดด้วยวิธีการต่าง ๆ ต่อไป (เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2518)

2. อัตราการเกิด กากตะกอน

อัตราการเกิดกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณน้ำเสียที่นำมาบำบัด Chongrak Polprasert (1989) ประมาณอัตราการเกิดกากตะกอนในประเทศกำลังพัฒนาหมู่บ้านหนึ่งแห่งได้เท่ากับ 25-40 กิโลกรัมต่อคนต่อปีหรือประมาณ 800 กิโลกรัมต่อคนต่อปีในหมู่บ้านแยก (มีน้ำ 95 เปอร์เซ็นต์) อรวรรณ ศิริรัตน์นิริยะ (2532) ได้ประเมินไว้ว่า โดยเฉลี่ยคนหนึ่งคนจะก่อให้เกิดกากตะกอนประมาณ 60 กรัม กากตะกอนแห่งต่อวัน ส่วนอัตราเกิดกากตะกอนในประเทศพัฒนาแล้ว เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาและอังกฤษจะมีกากตะกอนในหมู่บ้านหนึ่งแห่งประมาณ 7.7 และ 1.2 ล้านตันต่อปี ตามลำดับ แนวโน้มการเกิดกากตะกอนจะเพิ่มมากขึ้นในเกือบทุกประเทศ (Manson, ed., 1989)

3. องค์ประกอบของกากตะกอน

ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนอยู่ในรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Semi-Solid) สีนํ้าตาลเข้มจนถึงดำ หากยังอยู่ในรูปที่ไม่คงตัวจะมีกลิ่นเหม็น มีแก๊สและความร้อนจากการย่อยสลายกากตะกอนของจุลินทรีย์ องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจะขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำเสีย กระบวนการบำบัดน้ำเสีย และกระบวนการบำบัดกากตะกอน ส่วนประกอบของกากตะกอนแยกออกได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

3.1 ธาตุอาหารพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) และจุลธาตุอาหารพืช (เหล็ก มังกานีส ทองแดง และสังกะสี) และธาตุอื่น ๆ

3.2 สารโลหะหนัก สารอินทรีย์เคมี จุลินทรีย์และหนอนพลาซีต่าง ๆ

การกำจัดกากตะกอน

1. วิธีการกำจัดกากตะกอน

การกำจัดกากตะกอนที่ผ่านการบำบัดแล้วมีหลายวิธี เช่น การถมที่ (Landfill) การเคลื่อนผสมกับหน้าดินเพื่อเป็นสารปรับปรุงดิน (Spreading on Soil) การทิ้งในแอ่งดิน (Lagoon) การนำไปทิ้งทะเล (Ocean Disposal) และการเผาทิ้ง (Incineration) การเลือกวิธีการกำจัดกากตะกอนในแต่ละประเทศจะแตกต่างกันไป เช่น ประเทศอังกฤษใช้วิธีการกำจัดกากตะกอนโดยใช้ประโยชน์ทางการเกษตร 40 เปอร์เซ็นต์ ทิ้งทะเล 30 เปอร์เซ็นต์ และเผาทิ้ง 4 เปอร์เซ็นต์ (Manson, ed., 1986) สำหรับประเทศไทยจากการสอบถามเจ้าหน้าที่ของโรงบำบัดน้ำเสียกรุงเทพมหานคร (ชุมชนหัวขบวน) พบว่าทำการกำจัดกากตะกอนบางส่วนโดยการนำไปผสมกับวัสดุต่าง ๆ เช่น ขุยมะพร้าว แกลบ เป็นต้น เพื่อใช้เป็นปุ๋ยใส่ต้นไม้ของกรุงเทพมหานครและกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีอื่น เช่น การกองทิ้งไว้ แต่ในปัจจุบันกากตะกอนส่วนใหญ่ยังไม่ได้นำไปกำจัด

2. แนวโน้มการเลือกวิธีการกำจัดกากตะกอน

วิธีการกำจัดกากตะกอนโดยการเผาทิ้ง เป็นวิธีที่มีความสะดวกในการจัดการ สามารถทำได้ ณ จุดกำเนิดกากตะกอน แต่มีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการจัดการสูงกว่าวิธีอื่น ๆ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากโดยเฉพาะมลภาวะอากาศ ดังการศึกษาวิจัยของ Luetzke และ Klee (1990) ที่ทำการเผากากตะกอนด้วยเตาเผาแบบฟลูอิดไคซ์-เบด (Fluidized-bed) พบว่ามีโลหะหนักและสารพิษต่าง ๆ เจือปนในแก๊สที่ได้จากการเผาในปริมาณที่สูง

การนำกากตะกอนไปทิ้งทะเล เดิมเป็นวิธีที่นิยมปฏิบัติมากในกลุ่มประเทศยุโรป โดยเฉพาะประเทศอังกฤษได้นำกากตะกอนไปทิ้งที่ทะเลเหนือในรูปน้ำหนักรวมถึง 5 ล้านตันต่อปี ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ทางทะเลและสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ มาก จากข้อมูลของนักวิชาการ ความตระหนักของประชาชน และแรงกดดันทางการเมืองทำให้เกิดการต่อต้านการกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีนี้ (Manson, ed., 1987, 1988b) นอกจากนี้กลุ่มประเทศยุโรปได้ทำข้อตกลงร่วมกันที่จะเลิกนำกากตะกอนไปทิ้งทะเลให้ได้ก่อนวันที่ 31 ธันวาคม 2541 (Manson, ed., 1990a, 1990b)

การใช้ประโยชน์กากตะกอนทางการเกษตรเป็นวิธีกำจัดกากตะกอนที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมน้อยและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าการกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีอื่น ๆ (Webber et al., 1984; Manson, ed., 1988a) และที่ประชุมนานาชาติของ Water Research Centre (WRC) ในปี 1989 ยังได้สรุปว่า การนำกากตะกอนไปใช้ในทางการเกษตรเป็นวิธีที่น่าจะเป็นไปได้และมีความยืดหยุ่นสูงในทางปฏิบัติของนานาประเทศในอนาคต USEPA และกลุ่มประเทศยุโรปก็ยอมรับและสนับสนุนการกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีนี้ด้วย (Manson, ed., 1989) อรวรรณ ศิริรัตน์วิริยะ (2529) ได้ดำเนินการศึกษาวิจัยโดยนำเอากากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ทาง

การเกษตร เพื่อเสนอเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการแก้ไขและจัดการกับปัญหาภาคเกษตร
ที่เพิ่มขึ้นในอนาคตของประเทศไทย

เหตุผลสนับสนุนในการนำเอาภาคเกษตรไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

1. การปรับปรุงลักษณะสมบัติของดิน

1.1 บทบาทของภาคเกษตรในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทาง

กายภาพ ภาคเกษตรสามารถปรับปรุงโครงสร้างดินโดยลดความหนาแน่นรวมของดิน เพิ่ม
ความพรุนและเพิ่มความเสถียรของการเกิดเม็ดดิน เพิ่มความอุ้มน้ำของดิน (ปรีชญา ธัญชาติ,
2532; Guidi และ Hall, 1984; Hasit, ed., 1986)

1.2 บทบาทของภาคเกษตรในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางเคมี

เมื่อใส่ภาคเกษตรลงดินอินทรีย์วัตถุของดินจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (อรวรรณ ศิริรัตนนิวิระ,
2529; Gillies et al., 1989) ภาคเกษตรจะเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยน
ประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC) ของดิน ซึ่งสามารถที่จะดูดซับประจุ
บวกต่าง ๆ ที่เป็นธาตุอาหารพืชไว้ได้ดี ทำให้การสูญเสียธาตุอาหารพืชของดิน จากการ
ชะล้าง (Leaching) ของน้ำลดลง (Hasit, ed., 1986)

ธาตุอาหารสำคัญและจุลธาตุอาหารในดิน จะเพิ่มขึ้นจากการสลายตัวของ
ภาคเกษตรโดยเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการใช้ภาคเกษตร (Sheaffer et al., 1979b;
Ajmal และ Khan, 1984) และการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อนี้ยังขึ้นอยู่กับ
ปัจจัยต่าง ๆ เช่น สมบัติของดิน ความชื้น อุณหภูมิ วิธีการใช้ภาคเกษตร และองค์ประกอบ
ของภาคเกษตร เป็นต้น (Miller, 1974; Guidi และ Hall, 1984) โดยที่อัตราการใช้
ภาคเกษตรจะมีผลต่อการเพิ่มธาตุอาหารพืชในดินมากกว่าชนิดของภาคเกษตรที่ใส่ลงดิน
(Stark และ Clapp, 1980) Kelling และคณะ (1977) ได้ทดลองใส่ภาคเกษตรลง
ดินด้วยอัตรา 3.75-60 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ (600-9,600 กิโลกรัมต่อไร่) พบว่ามีการ

เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของอินทรีย์ไนโตรเจน อินทรีย์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์
ในดินภายใน 3 สัปดาห์หลังการทดลอง อินทรีย์ไนโตรเจนมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จะ
เปลี่ยนแปลงเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนอย่างรวดเร็ว และธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการ
ใส่กากตะกอนลงดิน โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะมีปริมาณมากในส่วนชั้นผิวดิน
(Furrer, Guata และ Stauffer, 1984)

การใส่กากตะกอนที่มี pH เป็นกลางลงดิน จะทำให้ pH ของดินเปลี่ยนแปลง
น้อยมาก แต่ค่า pH ของดินอาจเปลี่ยนแปลงได้ โดย pH ของดินอาจลดลงอันเป็นผลสืบเนื่อง
มาจากการแทนที่ไฮโดรเจนอิสระที่ติดเกาะในดินของเกลืออินทรีย์ (Kuntz et al.,
1984; Orawan Siriratpiriya, Vigerust, Selmer-Olsen, 1985) การย่อยสลาย
ของอินทรีย์วัตถุจนได้กรดอินทรีย์ การเกิดไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ของแอมโมเนียม
ไนโตรเจนและอินทรีย์ไนโตรเจน และการออกซิเดชัน (Oxidation) ของซัลไฟด์ (King
และ Morris, 1972; Ajmal และ Khan; 1984) การใส่กากตะกอนลงดินเพิ่มขึ้นอาจ
ทำให้ pH ของดินลดลงมากขึ้นได้ แต่ก็ลดลงเฉพาะในช่วงแรก ๆ ของการใส่เป็นระยะ
เวลาหนึ่งเท่านั้น สำหรับกรณีที่ pH ของดินมีค่าต่ำอยู่แล้ว หากใส่กากตะกอนที่มีปริมาณ
แคลเซียมมากพอลงไป pH ของดินก็อาจเพิ่มขึ้นได้ (Guidi et al., 1983; Korcak,
1980 อ้างถึงใน Guidi และ Hall, 1984)

1.3 บทบาทของกากตะกอนในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางชีวภาพ
เมื่อใส่กากตะกอนลงดินอินทรีย์วัตถุในกากตะกอนจะเป็นอาหารของจุลินทรีย์ดิน ทำให้มีการ
เพิ่มของจำนวนจุลินทรีย์ดินและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินต่าง ๆ เช่น การแปรสภาพธาตุ
อาหารพืชในดิน การตรึงไนโตรเจน เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530ก)

2. การเพิ่มผลผลิตพืช

บทบาทของกากตะกอนในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางกายภาพ

เคมีและชีวภาพ จะส่งผลต่อเนื่องถึงการปรับปรุงทั้งโครงสร้างดินและน้ำในดิน ซึ่งมีอิทธิพลกับผลผลิตของพืชได้ (Guidi และ Hall, 1984) นั่นคือ ภาคตะกอนที่ใช้ในการเกษตรทำหน้าที่ทั้งเป็นสารปรับปรุงบำรุงดินและเป็นปุ๋ยสำหรับพืช (Gillies et al., 1989) ที่ลดความสามารถของภาคตะกอนที่จะเป็นปุ๋ยมีเท่าเทียมกับปุ๋ยเคมี อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพที่จะเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชได้ต่อเนื่องและยาวนานกว่าปุ๋ยเคมี (อรารวม ศิริรัตน์นิริยะ, 2532)

ภาคตะกอนที่ใส่ลงดินจะช่วยเพิ่มผลผลิตพืชโดยเพิ่มไนโตรเจนในดิน ซึ่งเป็นปัจจัยจำกัดสำหรับการเจริญเติบโตของพืช อัตราการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน (Mineralization) จะขึ้นกับปริมาณอินทรีย์วัตถุและอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C : N Ratio) ในภาคตะกอน (Hall, 1984) กล่าวคือ อินทรีย์วัตถุที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับหรือต่ำกว่า 10 : 1 จุลินทรีย์ดินจะสามารถเปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นอนินทรีย์สารได้ดี ค่าขีดจำกัดสูงสุดสำหรับอินทรีย์วัตถุที่จะสามารถเกิดขบวนการเปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นอนินทรีย์สารโดยจุลินทรีย์ คือ อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30 : 1 ถ้าอัตราส่วนสูงกว่านี้อัตราการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุจะเป็นไปได้ช้าหรือเกิดการตรึงไนโตรเจนจากดินมาใช้ (Immobilization) (ศาสตราจารย์ ภาควิชาปฐนิวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530 ก) Chaussod (1981) ได้ยืนยันว่า เมื่อใส่ภาคตะกอนที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 10 : 1 ลงดินอินทรีย์วัตถุในภาคตะกอนจะย่อยสลายเปลี่ยนเป็นอนินทรีย์สารได้ช้า และจะเกิดการตรึงไนโตรเจนจากดินมาใช้ชั่วคราวเป็นเวลานานถึง 2 เดือน แต่สำหรับภาคตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยทั่วไปจะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 10-12 : 1 การนำภาคตะกอนมาใช้ในพื้นที่การเกษตร จึงไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (Follett et al., 1981)

การเติบโตและคุณค่าอาหารขึ้นไปใช้ของพืช จะได้รับอิทธิพลจากอัตราการใช้
 กากตะกอนลงดิน (Sheaffer et al., 1979 a; อรวรรณ ศิริรัตน์นิริยะ, 2529)
 ดังที่ อรวรรณ ศิริรัตน์นิริยะ (2529) พบว่า การใช้กากตะกอนลงดินอัตราต่าง ๆ เพื่อปลูก
 ผักคะน้า ผลผลิตผักคะน้าจะเพิ่มขึ้นตามอัตราเติมกากตะกอน Mays, Terman และ Duggan
 (1973) เสนอว่า ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตของพืชกับอัตราการใช้กากตะกอนเป็นแบบ
 เส้นโค้ง โดยผลผลิตของพืชจะเพิ่มสูงมากเมื่อเพิ่มอัตราการใช้กากตะกอนในระดับหนึ่ง และ
 การเพิ่มผลผลิตจะลดลงเมื่ออัตราการใช้กากตะกอนสูงเกินไป เนื่องจากองค์ประกอบทาง
 เคมีบางอย่างในกากตะกอนมีปริมาณสูงจนเป็นพิษต่อพืชได้ และเป็นผลจากปัจจัยอื่น ๆ ด้วย
 (Dolar, Boyle และ Keeney, 1972) ดังเช่น ผลการทดลองของ Cunningham,
 Keen และ Ruan (1975) ที่พบว่า ผลผลิตของข้าวโพดและข้าวไรย์จะเพิ่มขึ้นตามอัตรา
 เติมกากตะกอนและให้ผลผลิตสูงสุดเมื่อใช้อัตราเติมกากตะกอน 125 เมตริกตันต่อเฮกตาร์
 (20,000 กิโลกรัมต่อไร่) แต่ผลผลิตจะลดลงเมื่ออัตราเติมกากตะกอนเป็น 502 เมตริกตัน
 ต่อเฮกตาร์ (80,320 กิโลกรัมต่อไร่)

Kelling และคณะ (1977) ได้ศึกษาผลตกค้างของกากตะกอนที่ใส่ลงดินต่อ
 ผลผลิตพืช โดยทดลองปลูกข้าวไรย์ (Rye) และข้าวฟ่างซูดาน (Sorghum-Sudan) ในดิน
 ที่เติมกากตะกอน และปลูกข้าวโพดตามในฤดูที่สองหลังการเก็บเกี่ยวพืชสองชนิดแรกพบว่า
 ข้าวโพดมีผลผลิตสูงขึ้นและพืชทั้งสองชนิดมีการสะสมไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม
 เพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้กากตะกอน อรวรรณ ศิริรัตน์นิริยะ (2529) ก็ได้ยืนยันในทิศทาง
 เดียวกันเมื่อทำการศึกษพบว่า กากตะกอนที่ใส่ลงดินสามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารพืช และ
 ให้ผลผลิตผักคะน้าต่อเนื่องในการปลูกครั้งที่สองด้วย

ความเสี่ยงในการนำเอากากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

ถึงแม้ว่าการกำจัดกากตะกอนด้วยการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เป็นวิธีการที่มีแนวโน้มจะได้รับเลือกปฏิบัติสูง การกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีนี้ก็ยังคงจะต้องศึกษาในรายละเอียด เพราะอาจมีความเสี่ยงเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับการกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีอื่น ๆ ความเสี่ยงของการนำกากตะกอนมาใช้ในพื้นที่การเกษตรแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นชั่วคราว และความเสี่ยงที่เกิดขึ้นถาวรหรือระยะยาว (Webber et al., 1984)

ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นชั่วคราวจะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาไม่นานนัก เช่น กลิ่นรบกวนของกากตะกอน ทำให้เกิดเหตุรำคาญ การปนเปื้อนของจุลินทรีย์และหนอนพยาธิที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของโรคต่าง ๆ การปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจากไนเตรตในโตรเจน ความเป็นพิษต่อพืชจากสารละลายเกลือเนื่องจากความไม่คงตัวของกากตะกอน เป็นต้น Wollan, Davis และ Jenner (1978) ศึกษาพบว่า แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในช่วงที่มีการย่อยสลายกากตะกอน สามารถยับยั้งการงอกของเมล็ดพืชและเป็นปัจจัยจำกัดในการเจริญเติบโตของพืชได้ โดยทั่วไปความตระหนักของประชาชนถึงความเสี่ยงในการใช้ประโยชน์กากตะกอนอยู่ในลักษณะของความเสี่ยงที่เกิดขึ้นชั่วคราวมากกว่าความเสี่ยงที่เกิดขึ้นถาวร ดังเช่นในเรื่องเหตุรำคาญจากกลิ่นของกากตะกอนและผลกระทบต่อทางสาธารณสุขจากเชื้อจุลินทรีย์และหนอนพยาธิที่ทำให้เกิดโรค (Matthews, 1987)

ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นถาวรจะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลานานนับ 10 ปี เช่น การเพิ่มการสะสมโลหะหนักในดิน ในพืช และห่วงโซ่อาหาร รวมทั้งการสะสมของสารอินทรีย์เคมีต่าง ๆ เป็นต้น Frick และคณะ (1985) ได้สำรวจและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับมลสารจากโรงบำบัดน้ำเสียหลายแห่งพบว่า ในกากตะกอนจะมีโอกาสพบโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ โดยที่สารอินทรีย์เคมีต่าง ๆ เช่น สารฆ่าแมลงกับ PCBs นั้นจะมีโอกาสพบน้อยกว่า โลหะหนักเป็นธาตุที่มีความหนาแน่นสูง (มากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ไม่สามารถย่อยสลาย

ได้ด้วยวิธีทางชีววิทยาและเคมี สารประกอบที่มีโลหะเป็นส่วนประกอบสามารถเปลี่ยนรูปได้ ในขณะที่โลหะนั้นยังคงปรากฏอยู่ ความคงตัวของโลหะทำให้สามารถเคลื่อนย้ายและปนเปื้อนไปทั้งทางอากาศ น้ำ ดิน และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ (Stoker และ Seagers, 1976) การนำกากตะกอนที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่มาใช้อย่างไม่เหมาะสม จะทำให้เกิดความเสี่ยงที่ถาวรได้

จากการทบทวนเรื่องลักษณะสมบัติของกากตะกอนและความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อใช้ประโยชน์กากตะกอนทางการเกษตรของ Swedish Environmental Protection ในปี 1989 ยังได้ระบุว่าในระยะสั้นยังไม่มีความเสี่ยงใด ๆ จากการใช้ประโยชน์กากตะกอนทางการเกษตร แต่ก็ควรที่จะปรับปรุงลักษณะสมบัติของกากตะกอน และกำหนดข้อปฏิบัติต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในพื้นที่การเกษตร เมื่อมีการนำเอากากตะกอนมาใช้ในพื้นที่การเกษตรนั้น (Balmer และ Frost, 1990)

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการตกค้างของโลหะหนัก 7 ชนิด (ตะกั่ว แคดเมียม นิเกิล ทองแดง มังกานีส สังกะสี และเหล็ก) ที่มีอยู่ในกากตะกอนและในดิน รวมทั้งการสะสมโลหะหนักในพืชผักชนิดต่าง ๆ โดยจะเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชผักเหล่านี้เมื่อนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

การสะสมโลหะหนักในดิน

โลหะหนักส่วนใหญ่มักจะสะสมอยู่ในดิน มีเพียงบางส่วนที่ถูกพืชดูดดึงไป (Hardwick, 1987) ดินทั่ว ๆ ไปจะมีโลหะหนักอยู่ปริมาณหนึ่ง ในประเทศอังกฤษได้กำหนดปริมาณแคดเมียม นิเกิลและตะกั่วในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักเหล่านี้จากสภาวะแวดล้อมไว้เท่ากับ 1.0 1.0 และ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ (Webber et al., 1984)

ในภาคตะกอนมักจะพบโลหะหนัก 7 ชนิดคือ ตะกั่ว แคดเมียม นิเกิล ทองแดง มังกานีส สังกะสี และเหล็กอยู่เสมอ โลหะหนักเหล่านี้จะสะสมในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ภาคตะกอนที่เพิ่มขึ้น (Kelling et al., 1977; Sheaffer et al., 1979 a; Hemphill et al., 1982; Lutrick, Robertson และ Cornell, 1982; อรรถพรศิริวิรัตน์วิริยะ, 2532) และสามารถสะสมอยู่ในดินได้เป็นเวลานาน Berrow และ Burridge (1984) ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโลหะหนักคือ สังกะสี นิเกิล ทองแดง และโครเมียมในภาคตะกอนที่ใส่ในพื้นที่การเกษตรพบว่า ในเวลา 10 ปี หลังจากการใส่ภาคตะกอน สังเกตพบโลหะหนักทั้งสี่ชนิดนี้ในดิน โดยมีปริมาณที่สูงกว่าปริมาณที่มีอยู่ในดินพื้นที่ที่ไม่ได้ใส่ภาคตะกอน

โลหะหนักส่วนใหญ่มีการเคลื่อนย้ายได้น้อย น้ำที่ชะล้างผ่าน (Leaching) ดิน และน้ำใต้ดิน จึงไม่ค่อยมีการปนเปื้อนจากโลหะหนัก (Genevini et al., 1984) หากเปรียบเทียบความสามารถในการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจะพบว่า โลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายคือ นิเกิล แคดเมียม และสังกะสี โลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ปานกลางคือ ทองแดง ส่วนโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายได้น้อยหรือไม่เคลื่อนย้ายเลยคือ ตะกั่วปรอทและโครเมียม (Davis, 1984) ความเข้มข้นของโลหะหนักอาจจะผันแปรตามความลึกของดินได้ เช่น น้ำที่ชะผ่านดินอาจทำให้โลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย เช่น สังกะสีและแคดเมียมเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณอื่น ทำให้ความเข้มข้นของสังกะสีและแคดเมียมลดลงตามความลึกของดิน แต่ น้ำที่ชะผ่านดินจะไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตะกั่วและโครเมียมตามความลึกของดิน เพราะเป็นโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายได้น้อยมาก (Gillies et al., 1989)

โลหะหนักมีความสามารถยึดเกาะ (Fixation Capacity) อยู่ในส่วนที่เป็น Clay Fraction ได้ดี ดินที่เป็นดินเหนียว (Clay Soil) จึงมีโลหะหนักอยู่ในรูปที่ตรึงได้ง่าย (Available Form) ในสารละลายดิน (Soil Solution) น้อยกว่าดินที่เป็น

ดินทราย (Sandy Soil) ซึ่งมีส่วนที่เป็น Clay Fraction น้อย โดเทหนักส่วนใหญ่จึง อยู่ในสารละลายดินมากกว่าดินเหนียว (Diaz และ Polo, 1988)

การสะสมโลหะหนักในพืช

พืชมีโอกาสสะสมโลหะหนักทั้งจากดิน น้ำ และอากาศ เพราะโลหะหนักสามารถ เข้าสู่พืชได้ทั้งทางราก ลำต้น และใบ (Lee et al., 1976) กระบวนการดูดซับและ สะสมโลหะหนักของรากพืชอาจเป็นแบบ Active Ion Absorbtion หรือ Passive Ion Absorbtion กลไกการดูดซับแบบ Passive Ion Absorbtion อาจดึงดูดโดยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) หรือวิธีการคายน้ำ (Convection) กลไกเกิดในขณะที่ พืชดูดน้ำเพื่อทดแทนการคายน้ำ เมื่ออัตราการดูดไอออนเร็วเกินกว่าอัตราการคายน้ำ ทำให้ เกิดภาวะ Concentration Gradient อย่างกระทันหันที่บริเวณรากพืช โดเทหนักจึง เคลื่อนเข้าสู่พืชได้โดยวิธีการแพร่จากดินเข้าสู่ราก ส่วนวิธีการเคลื่อนที่ของโลหะหนักจากรากไปสู่ยอด (Translocation) ยังสรุปแน่นอนไม่ได้ (Cutler & Rains, 1974)

โลหะหนักบางธาตุคือ ทองแดง มังกานีส สังกะสี และเหล็ก เป็นจุลธาตุอาหาร ของพืช ทองแดงเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ในไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์ มังกานีส มีส่วนช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสง การสร้างคาร์โบไฮเดรต เมตาบอลิซึมและกระตุ้น เอนไซม์ให้ทำงาน สังกะสีมีบทบาทในการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์ แสง เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์และโคแฟกเตอร์ในเอนไซม์หลายชนิด (Clarkson และ Hanson, 1980) และเหล็กก็เป็นธาตุที่จำเป็นต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมเป็นส่วนประกอบ สำคัญในเอนไซม์และโปรตีน เป็นตัวรับ-ส่งอิเล็กตรอน ทำให้คลอโรฟิลล์เสถียรและรักษา ความเขียวของพืช (Moore, 1974) พืชขาดโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหารเหล่านี้ไม่ได้ แต่ มีความต้องการในปริมาณน้อย ปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพืชทั่ว ๆ ไปสำหรับ ทองแดง มังกานีส สังกะสี และเหล็กเท่ากับ 4.5 1.0 0.2 และ 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตามลำดับ ปริมาณจุลธาตุอาหารในเนื้อเยื่อใบแก่ของพืชจะบ่งบอกความขาดแคลนเพียงพอและความ เป็นพิษจากโลหะหนักเหล่านั้นแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

นอกจากโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหารพืช Polacco (1977) พบว่า นิเกิลที่มีความเข้มข้นต่ำ (5×10^{-5} โมล) สามารถส่งเสริมการเจริญของเนื้อเยื่อพืช โดยช่วยเปลี่ยนยูเรเชียเป็นแอมโมเนียมไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช และ Hewitt (1953) ก็พบว่า ตะกั่วสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้หากมีปริมาณน้อย

โลหะหนักชนิดต่าง ๆ หากมีปริมาณที่เหมาะสมก็จะเป็นประโยชน์ต่อพืช หรือไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ปริมาณโลหะหนักที่สูงเกินไปจะส่งผลกระทบต่อพืชได้ การศึกษาวิจัยโดยปลูกพืชในสารละลายอาหารที่มีโลหะหนักเจือปนอยู่ในความเข้มข้นต่าง ๆ กัน จะแสดงถึงศักยภาพสูงสุดของโลหะหนักที่จะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Maximum Potential Toxicity) ได้ ดังเช่น วิไลภรณ์ บุญฤทธิจินดา (2523) ได้ศึกษาพบว่า เมื่อปลูกผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบงกชในสารละลายอาหารที่มีแคดเมียมและนิเกิลเจือปนอยู่ในความเข้มข้นต่าง ๆ ผักทั้งสี่ชนิดจะมีการเจริญเติบโตปกติในสารละลายอาหารที่มีโลหะหนักความเข้มข้นต่ำ แต่เมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมและนิเกิลในสารละลายอาหารสูงกว่า 5 และ 2 มิลลิกรัมตามลำดับ พืชผักทั้งสี่ชนิดจะมีลักษณะผิดปกติ กล่าวคือ แคดเมียมจะทำให้เนื้อเยื่อใบซีดเหลือง (Chlorosis) จากใบอ่อนและรุนแรงจนใบซีดจาง ทำให้เกิดเนื้อเยื่อตาย (Necrosis) ของใบผักบงกช นิเกิลจะทำให้เนื้อเยื่อใบซีดเหลือง จากใบอ่อนซีดเหลืองในระหว่างเส้นใบอย่างไม่สม่ำเสมอและรุนแรงจนเนื้อเยื่อใบของพืชผักทุกชนิดแห้งตายจนเหลือแต่ก้านใบที่ยังเขียวอยู่ และทั้งแคดเมียมและนิเกิลทำให้รากผักทุกชนิดเน่าเปื่อย สิ้นฤดูและมีปริมาณน้อย กิตติ เอกอำพน (2522) ทำการศึกษาโดยปลูกผักกวางตุ้งในสารละลายอาหารที่มีตะกั่วและสังกะสีความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ผักกวางตุ้งสะสมตะกั่วและสังกะสีมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วและสังกะสีในสารละลายอาหาร ตะกั่วและสังกะสีที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 10 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ จะทำให้

น้ำหนักของผักกวางตุ้งลดลงและเกิดอาการช็อคจากที่ใบอ่อน ในทางตรงกันข้ามหากพืชได้รับ โលหะหนักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตน้อยจนเกินไปก็จะเกิดผลกระทบได้ ดังเช่น Baumeister (1958) พบว่าพืชที่ได้รับเหล็กปริมาณน้อย ปริมาณโปรตีนจะลดต่ำลง คลอโรฟิลล์ ไม่เสถียร และแสดงอาการช็อคจากที่เนื้อเยื่อใบ เป็นต้น

ความรุนแรงของโលหะหนักแต่ละธาตุ และตำแหน่งที่จะก่อให้เกิดพิษต่อพืชจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความสามารถจำเพาะในการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโលหะหนักกับสารอินทรีย์ ชนิดของธาตุที่ให้อิเล็กตรอน (Electron Donor) ชนิดและการตอบสนองของพืช รวมทั้งสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกพืช (Meller และ Melley, 1948)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสะสมโលหะหนักในดินและพืช

1. ลักษณะสมบัติของดิน

ลักษณะสมบัติของดินมีผลต่อการดูดซับโលหะหนักของพืช Davies (1980) อ้างถึงผลงานของ Haghiri (1974) ที่พบว่า การดูดซับแคดเมียมของข้าวโอ๊ต (Oats) จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของดินสูงขึ้น และการดูดซับแคดเมียมจะลดลงเมื่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) ของดินเพิ่ม โดยการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุลงในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สูงในดินจะช่วยลด Availability ของโលหะหนักในดินได้ (Orawan Siriratpiriya et al., 1985) และพืชที่ปลูกบนดินทรายจะสะสมโលหะหนักได้มากกว่า พืชที่ปลูกบนดินเหนียว (Chaney, 1982 อ้างถึงใน Kuntz et al., 1989; Cottenies, Kiekans และ Van Landschoot, 1984)

pH ของดินจะมีส่วนสัมพันธ์กับความเข้มข้นของโលหะหนักในดิน ผลจากการเติมกากตะกอนลงในดินกรด (pH 4.2) พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียม นิเกิล และสังกะสี ในสารละลายดินกรดมีค่ามากกว่าความเข้มข้นในสารละลายดินด่าง และความเข้มข้นของ

ตารางที่ 1 จุลธาตุอาหารในเนื้อเยื่อใบแก่ของพืช (Davies, 1980)

จุลธาตุอาหาร	ปริมาณจุลธาตุอาหารในใบแก่ (มก. ต่อ กก.)		
	ขาดแคลน	เพียงพอ	เป็นพิษ
ทองแดง	< 4	5.20	> 20
เหล็ก	< 50	50 - 250	ไม่ทราบ
มังกานีส	< 20	20 - 500	> 500
สังกะสี	< 20	25 - 150	> 400

โลหะหนักทั้งสามชนิดจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณภาคตะกอนที่เติมลงดิน (Hyde et al., 1979) การเพิ่ม pH ของดินจะมีผลทำให้การดูดซับโลหะหนักของน้ำลดลงได้ เพราะว่าไอออนของโลหะหนักต่าง ๆ ในรูปที่เปลี่ยนประจุได้และละลายน้ำได้จะมีปริมาณลดลงเมื่อ pH ของดินเพิ่มขึ้น (Davies, 1980; Orawan Siriratpiriya et al., 1985) การปลูกพืชบนดินที่เติมภาคตะกอน จึงควรปรับ pH ของดินให้สูงกว่า 6.5 (Hyde et al., 1979; Kuntz et. al., 1984) การใส่ปูนเพื่อเพิ่ม pH ของดินจะลดการดูดซับโลหะหนักของพืชได้เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ มังกานีส > สังกะสี > นิเกิล, แคดเมียม > ทองแดง > โครเมียม, ตะกั่ว, เหล็ก (Orawan Siriratpiriya et al., 1985) นอกจากนี้ปูนขาวยังมีผลในการเป็นสารฆ่าเชื้อ (Disinfectant) สามารถทำลายเชื้อแบคทีเรีย ไวรัสและไซโทพลาสมาบางชนิด และลดกลิ่นรบกวนจากภาคตะกอนด้วย (Stranch, 1984)

2. ชนิดและรูปของโลหะหนัก

พืชมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ได้ต่างกัน แคดเมียม นิเกิล สังกะสี และทองแดงเป็นธาตุที่พืชสามารถดูดซับได้ดีกว่า ตะกั่ว ปรอท และโครเมียม ดินสามารถดูดซับตะกั่วได้แน่น ปริมาณของตะกั่วในพืชจึงไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกั่วในดิน (อรารวม ศิริรัตน์นิริษะ, 2525) และภาคตะกอนที่ใส่ในดิน (Davis, 1984) ความเข้มข้นของโลหะหนักบางชนิดในพืช เช่น แคดเมียม นิเกิล และมังกานีส จะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความเข้มข้นที่มีอยู่ในดิน และไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่มีอยู่ในภาคตะกอน (Davis, 1984) เห็นได้ชัดจากที่ Orawan Siriratpiriya (1988) ก็พบว่า มังกานีสมีความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกันนี้

การเพิ่มความเข้มข้นของโลหะหนักในพืชตามเวลา โดยส่วนใหญ่มักจะสอดคล้องกับการเพิ่มของโลหะหนักในดิน การใส่ภาคตะกอนเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อความเข้มข้นของโลหะหนักต่าง ๆ เรียงตามลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ สังกะสี > มังกานีส > นิเกิล

> แคนเมียม > ทองแดง > ตะกั่ว, โครเมียม (Vigerust et al., 1987; Orwan Siriratpiriya, 1988)

Pilegaard (1978) พบว่า แคนเมียมมีความสามารถที่จะเคลื่อนย้าย (Translocation) ในพืชได้มากกว่าทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิล สอดคล้องกับที่ Jarvis และคณะ (1976) พบว่า รากของผักกาดหอมสามารถที่จะปลดปล่อยแคนเมียมที่รากดูดได้ และลำเลียงไปสู่ส่วนยอดได้มาก ส่วนเหล็กและมังกานีสจะเคลื่อนย้ายในพืชได้ยากกว่า โลหะอื่น ๆ

นอกจากนี้รูปทางเคมีของโลหะหนัก จะมีผลต่อการดูดซับโลหะหนักของพืช ด้วย โดยพบว่าพืชจะสามารถดูดซับและสะสมโลหะหนักในรูปเกลืออนินทรีย์ได้ดีกว่าโลหะหนัก ที่เป็นสารประกอบของภาคตะกอน (Chaney, 1982) อรวรรณ ศิริวัตต์ไพริยะ (2529) ทดลองเปรียบเทียบผลการสะสมโลหะหนักของผักคะน้าที่ปลูกในดินที่ใส่ภาคตะกอนอัตรา 20 40 60 และ 80 เมตริกตันต่อเฮกตาร์ (3, 200 6, 400 9, 600 และ 12, 800 กิโลกรัม ต่อไร่) กับดินที่ใส่โลหะหนักในรูปสารละลายโลหะหนักคลอไรด์ที่มีปริมาณโลหะหนักเทียบเท่ากับปริมาณที่มีอยู่ในภาคตะกอนทั้ง 4 อัตรา พบว่าในโลหะหนักทั้ง 7 ธาตุ (ตะกั่ว แคนเมียม นิกเกิล ทองแดง มังกานีส สังกะสี และเหล็ก) ที่มีมังกานีสและสังกะสีเท่านั้นที่มีการสะสมในผักคะน้าที่ปลูกในดินที่ใส่สารละลายโลหะหนักคลอไรด์สูงกว่าการสะสมในผักคะน้าที่ปลูกในดินที่เติมภาคตะกอน

3. ปฏิกริยาเสริม (Synergism) หรือปฏิกริยาหักล้าง (Antagonism) ของโลหะหนักและธาตุอื่น ๆ

ปฏิกริยาเสริมหรือหักล้างกันของโลหะหนักและธาตุอาหารอื่น ๆ มีอิทธิพลต่อการดูดซับและเคลื่อนย้าย (Translocation) โลหะหนักของพืช เช่น แคนเมียมและสังกะสีที่มีอยู่ในดินจะลดการดูดซับแคนเมียมของพืช (Mengel และ Kirkby, 1982) ส่วนเหล็กจะส่งเสริมให้เกิดการดูดซับแคนเมียมของพืชเพิ่มขึ้น (อรวรรณ ศิริวัตต์ไพริยะ, 2522)

Amblor และคณะ (1970) พบว่า ดินที่มีสังกะสีสูงจะทำให้พืชไม่สามารถลำเลียงธาตุเหล็ก จากรากไปสู่ลำต้นได้ แต่สังกะสีที่มีอยู่ในดินมีผลให้พืชสามารถลำเลียงมังกานีสไปสู่ส่วนยอด ได้มาก (Krause และ Kaiser, 1977) Davies (1980) ศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณ แคลเซียมในใบและรากของข้าวโพด (Maize) เพิ่มขึ้นปริมาณสังกะสีจะลดลง และหาก ปริมาณเหล็กในใบและรากของข้าวโพดสูงขึ้น ปริมาณแคลเซียมจะเพิ่มขึ้นด้วย

4. ชนิดและส่วนต่าง ๆ ของพืช

พืชแต่ละชนิดจะสะสมโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ได้ต่างกัน เนื่องจากความต้องการโลหะหนัก ความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก รวมทั้งความทนทานต่อการขาด แคลนโลหะหนักและความทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนักแตกต่างกัน เมื่อทดลองปลูก พืช 4 ชนิด คือ หญ้าอูฟาฟา (Alfafa) ; ข้าวสาลี (Wheat) ถั่วฟาบ่า (Fababean) และถั่วเหลือง (Soy-bean) ในดินต่างเพื่อศึกษาผลของการดูดซับโลหะหนักจากภาคตะกอน ที่ใส่ในดินด้วยอัตราต่าง ๆ พบว่าการดูดซับโลหะหนักของพืชเรียงลำดับจากมากไปน้อย เป็นดังนี้ หญ้าอูฟาฟา > ข้าวสาลี > ถั่วเหลือง > ถั่วฟาบ่า และพืชแต่ละชนิดก็จะสะสม โลหะหนักต่างชนิดกันคือ หญ้าอูฟาฟาจะสะสมนิกเกิลมาก ข้าวสาลีสะสมแคลเซียมมาก ส่วน ถั่วฟาบ่าและถั่วเหลืองจะสะสมโคบอลต์มาก (Elsokkary และ Elkeiy, 1988)

โลหะหนักจะถูกดูดซับโดยพืชจำพวกผักมากกว่าพืชเมล็ด (Vigerust et al., 1987) เมื่อปลูกผักหลาย ๆ ชนิดบนดินที่เดิมภาคตะกอน ผักกาดหอมจะเป็นผัก ที่มีการดูดซับโลหะหนักไปสะสมไว้ได้มาก เมื่อเติมภาคตะกอนอัตรา 450 เมตริกตันต่อ เฮกตาร์ (72,000 กิโลกรัมต่อไร่) ปริมาณโลหะหนักที่เพิ่มขึ้นในผักกาดหอมที่ปลูกในดินที่ เดิมภาคตะกอนเปรียบเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในผักกาดหอมที่ปลูกในดินไม่เติมภาคตะกอนเป็น ดั้งนี้ สังกะสีมีปริมาณเพิ่มขึ้น 10 เท่า ทองแดงเพิ่มขึ้น 7 เท่า และแคลเซียมเพิ่มขึ้น 4 เท่า (Dowdy และ Larson, 1975) Schauer, Wright และ Pelchat (1980) พบว่า ผักทั่ว ๆ ไปที่ปลูกในดินที่เดิมภาคตะกอนไม่มีการสะสมแคลเซียมและทองแดงเพิ่มขึ้น

ชก วัณผักกาดหอมจะมีปริมาณแคดเมียมสะสมเพิ่มขึ้นและมะเขือเทศมีปริมาณทองแดงสะสมเพิ่มขึ้น และการดูดซับสังกะสีและนิกเกิลของพืชผักจะเพิ่มตามการเพิ่มของภาคตะกอนที่ใส่ลงดิน

ในพืชชนิดเดียวกันการสะสมโลหะหนักในส่วนต่าง ๆ ของพืชก็ยังไม่เท่ากัน เช่น ผักคะน้าจะสะสมตะกั่วที่ราก > ใบ > ลำต้น (อราวรณ ศิริรัตน์ไพริยะ, 2525) ข้าวไรย์ (Rye) ข้าวบาเลย์ (Barley) และข้าวโอ๊ต (Oats) จะสะสมโลหะหนักในส่วนรากมากที่สุด (Gebhardt et al., 1990) ส่วนฟางแห้ง (Fodder) หัวผักกาด (Beet) ผักกาดหอม (Lettuce) หัวผักกาดแดง (Red Beet) และต้นถั่วแดง (Red Clover) จะมีสังกะสีสูงในใบ (Vigerust et al., 1987)

5. ความลึกของการใส่ภาคตะกอนลงดินและระยะเวลาการย่อยสลายภาคตะกอน

การใส่ภาคตะกอนลงดินในระดับความลึกต่าง ๆ มีผลให้พืชสะสมโลหะหนักต่างกัน กล่าวคือ ที่ระดับความลึกต่ำกว่าผิวน้ำดินจะมีผลให้พืชดูดซับโลหะหนักจากรากไปสู่ลำต้นและใบต่ำสุด (Kirkham, 1980)

ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินขณะที่ภาคตะกอนถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จะแตกต่างกัน กล่าวคือ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และสังกะสีจะมีความเข้มข้นสูงที่ขณะที่ภาคตะกอนกำลังถูกย่อยสลาย ส่วนทองแดงและนิกเกิลจะมีความเข้มข้นลดลงขณะที่ภาคตะกอนกำลังถูกย่อยสลาย (Wagner et al., 1990)

6. สภาพแวดล้อมต่าง ๆ

สภาพแวดล้อม เช่น ลักษณะภูมิอากาศและฤดูกาล ก็มีอิทธิพลในการส่งผ่านโลหะหนักจากรากไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืชด้วย (Davis, 1984) กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมเพิ่มขึ้น พืชจะสามารถดูดซับแคดเมียม เหล็ก มังกานีส และสังกะสีเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Orawan Siriratpiriya et al., 1985)

ข้อกำหนดต่าง ๆ เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากตะกอนทางการเกษตร

จากข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นว่า การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรให้ได้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าและปลอดภัยจากความเสี่ยงต่าง ๆ จะต้องจัดการตามข้อกำหนดและคำแนะนำ โดยอาศัยหลักวิชาการอย่างเคร่งครัด

ในกลุ่มประเทศแถบยุโรปและสหรัฐอเมริกา ได้ออกข้อกำหนดของแต่ละประเทศ และข้อกำหนดร่วมของหลาย ๆ ประเทศ เช่น ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในกากตะกอนที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและในดิน ปริมาณโลหะหนักต่าง ๆ ที่ยอมให้มีได้ในดิน ในกากตะกอนและในพืช เป็นต้น (Webber et al., 1984) ข้อกำหนดเหล่านี้ได้มีการปรับปรุงเพิ่มขึ้นตลอดเวลา ตามหลักฐานและข้อมูลทางวิชาการต่าง ๆ เพื่อสนองตอบการใช้กากตะกอนอย่างมีประสิทธิภาพ (Horobin, ed., 1990) นอกจากนี้ข้อกำหนดและข้อบังคับแล้ว ยังมีคำแนะนำสำหรับการปฏิบัติและจัดการกับกากตะกอน เช่น วิธีการใส่กากตะกอนลงดิน การเก็บตัวอย่างดิน การตรวจสอบคุณภาพดินก่อนและหลังการใส่กากตะกอน เป็นต้น (Manson, ed., 1989)

Matthews (1987) ให้ความเห็นว่า ข้อกำหนดต่าง ๆ เกี่ยวกับการกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีต่าง ๆ ของแต่ละประเทศยังมีอยู่น้อย และข้อบังคับที่มีอยู่มักจะมาจากกฎที่ใช้กันทั่ว ๆ ไป โดยใช้อัตราใหม่ ๆ มาปรับปรุงข้อบังคับที่มีอยู่เดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศกำลังพัฒนา ข้อมูลต่าง ๆ ที่มีการศึกษาวิจัยยังไม่เพียงพอที่จะใช้กำหนดข้อกำหนดต่าง ๆ ได้เอง ต้องอาศัยข้อมูลอ้างอิงจากกลุ่มประเทศแถบยุโรปและสหรัฐอเมริกา

สำหรับประเทศไทย จากการสอบถามเจ้าหน้าที่หน่วยงานต่าง ๆ เช่น กองวัตถุมีพิษ กรมวิชาการเกษตร สำนักงานมาตรฐานอาหารอุตสาหกรรม สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา พบว่า ในขณะนี้ยังไม่มีกฎหมายหรือข้อกำหนดต่าง ๆ เกี่ยวกับการจัดการกากตะกอน ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในดินและพืช ฯลฯ

674.97 36 ค
674.9755 352

ข้อมูลจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และข้อมูลจากงานวิจัยของบุคคลอื่น ๆ อาจมีส่วนช่วยเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกกฎหมายและระเบียบต่าง ๆ ของประเทศไทยได้บ้าง