ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กากตะกอนเป็นของเสียที่ประกอบด้วยของแข็ง และของเหลว เป็นสิ่งซึ่งเกิดมาจากขั้นตอน การแยกของแข็งออกจากของเหลวในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้ง เช่น การตกตะกอน โดยที่กากตะกอนที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีปริมาณมากกว่า กากตะกอนจากชุมชน และองค์ประกอบของกากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมจะแตกต่างกันอย่างมาก ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดของโรงงาน ความซับซ้อนของกระบวนการผลิต ระบบดักจับวัสดุเพื่อหมุนเวียนไปใช้ใหม่ ตลอดจนถึงชนิด และระดับของกระบวนการบำบัดของเสียที่ใช้(3) ไม่มีรายงานเกี่ยวกับการใช้ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ปรากฏอยู่ในเอกสารใด ๆ จนกระทั่งปี 1940 และตั้งแต่ปี 1970 เป็นต้นมาการใช้กากตะกอนน้ำทิ้ง เพื่อเป็นแหล่งแร่ธาตุสำหรับพืช ได้รับความสนใจมากขึ้นทุกที ยกตัวอย่างเช่น ในสหรัฐอเมริกา ได้มีกฎหมายของสหพันธรัฐเพื่อควบคุมมลพิษของน้ำออกมาในปี 1972 สนับสนุนการใช้กากตะกอนเพื่อประโยชน์ในทางการเกษตร (4) จากการสำรวจในปี 1965 ชี้ว่ามากกว่า 1/3 ของพื้นที่ที่มีการใช้กากตะกอนในการเกษตรรับกากตะกอนมาจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ในปัจจุบันที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง นอกจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารแล้วก็มี โรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ และโรงงานอุตสาหกรรมนม

การใส่กากตะกอนที่ย่อยสลายแล้วลงในที่นา เป็นวิธีการจัดการกับกากตะกอนที่ดีที่สุด เพราะองค์ประกอบแร่ธาตุของกากตะกอนเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ดังจะเห็นได้จากการศึกษาของ Day และ Thompson (5) ซึ่งได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้กากตะกอนแห้งกับปุ๋ยอนินทรีย์ในการปลูกข้าวสาลีทางตะวันตกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกา โดยพิจารณาจากการเจริญเติบโตและผลผลิต ผลการทดลองของเขาชี้ว่าสามารถใช้กากตะกอนแห้งเป็นแหล่งไนโตรเจนให้แก่พืชได้เป็นอย่างดี แม้ว่าจะต้องใช้เวลานานกว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน เมื่อนับจากเวลาปลูกจนถึงออกรวง แต่ผลผลิตก็สูงกว่า และเมื่อมีการศึกษากับข้าวบาเลย์ 16 สายพันธุ์ พบว่าผลของกากตะกอนที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยอนินทรีย์ทางการค้า เมื่อให้ข้าวได้รับ N, P และ K จากทั้งสองอย่างในปริมาณที่เท่ากัน (6) แต่ปัญหาบางอย่างที่จะต้องถูกนำขึ้นมาพิจารณาไปพร้อม ๆ กันด้วยคือการยอมรับของสังคมในเรื่องกลิ่นและทัศนียภาพ เชื้อโรค บริเวณที่ดินที่เหมาะสมสำหรับการใส่ และคุณภาพของกากตะกอนที่เกี่ยวข้องกับอินทรียสารที่เป็นพิษ เกลือและโลหะหนัก (4)

กากตะกอนประกอบไปด้วยแร่ธาตุและอินทรียสารซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชปลูก สามารถให้ธาตุ N และ P ในปริมาณที่น่าพอใจแม้ว่าจะให้ K ในปริมาณที่ค่อนข้าง

น้อย นอกจากนี้การเติมกากตะกอนลงดินยังเป็นการทำให้อินทรียสารกลับลงสู่ดินอีกครั้ง [7] [8]

ปริมาณการเติมกากตะกอนลงดินเพื่อการเกษตร

นอกจากการวิเคราะห์กากตะกอนเพื่อให้ทราบถึงแร่ธาตุและองค์ประกอบในกากตะกอนแล้ว การจะเติมกากตะกอนลงดินใด ๆ ยังต้องการข้อมูลอื่น ๆ อีกคือ pH ของดิน CEC ของดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ชนิดของพืชที่จะปลูก N - P - K ที่แนะนำสำหรับพืชปลูก

การวัด pH ของดินซึ่งปกติแล้วเป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบทางเคมีของดิน เพื่อให้มี pH ถึง 6.5 ซึ่งถ้าหากว่าดินมี pH น้อยกว่า 6.5 อาจมีการเติมปูนลงไปเพื่อยกระดับ pH ขึ้น

อัตราการใส่จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ N และ P ในกากตะกอนและอัตราปุ๋ยที่แนะนำสำหรับพืชที่จะปลูก หรือในกรณีที่มี Cd ในกากตะกอนอยู่มากพอที่จะต้องคำนึงถึง อาจจะใช้ค่าขีดจำกัดปริมาณ Cd ในแต่ละปี สำหรับกากตะกอนส่วนใหญ่ ปริมาณการเติมกากตะกอนในแต่ละปี มักจะกำหนดโดยปริมาณ N และ P ในกากตะกอนมากกว่าใช้ขีดจำกัด Cd ในแต่ละปี เพราะกากตะกอนที่จะทำให้ปริมาณ Cd มีเกิน 1.8 ปอนด์ ต่อ 1 เอเคอร์ ต่อปี ได้นั้น แสดงว่ากากตะกอนนั้นจะต้องมี Cd ความเข้มข้นมากกว่า 180 ppm ถ้าหากเป็นเช่นนั้นถือว่าเป็นกากตะกอนคุณภาพต่ำ ซึ่งไม่แนะนำให้ใช้ในที่ดินเพื่อการเกษตร (4)

อัตราการใส่ประจำปีที่ถือว่าถูกหลักเศรษฐศาสตร์การเกษตรหรือเรียกว่า agronomic rate มีความหมายว่าเป็นอัตราการใส่ในแต่ละปี ซึ่งจะทำให้ได้ N และ/ หรือ P จากกากตะกอนในอันที่จะเป็นประโยชน์แก่พืช โดยไม่เกินความต้องการ N และ / หรือ P ในแต่ละปีสำหรับพืชแต่ละชนิด การจะใส่ให้ได้ปริมาณ N หรือ P ที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชนั้น ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชปลูกเอง ในกรณีของ N มีคำแนะนำให้ใส่ในปริมาณที่จะให้ N ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเท่ากับปุ๋ยทางเคมี โดยการใช้ปริมาณ N เท่าที่อยู่ภายในขอบเขตเท่าที่พืชจะได้รับปุ๋ยตามที่กำหนดเท่านั้น ซึ่งเมื่อทำเช่นนี้ จะไม่เกิดผลกระทบต่อน้ำใต้ดิน หรือ ผลกระทบไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ย ตามปกติธรรมดา [9]

ผลของการเติมกากตะกอนที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของดิน

การเติมกากตะกอนลงดินจะมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของดิน ขึ้นอยู่กับชนิด ลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และอัตราการใส่กากตะกอนนั้น ผลที่เกิดขึ้นสามารถมีทั้งระยะสั้นและระยะยาว ผลทางบวกและทางลบต่อดิน ดังจะเห็นได้จากงานทดลองของ Epstein และคณะ(10) ซึ่งพบว่าการใส่กากตะกอนช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้แก่ดิน โดยความชื้นในดินที่เติมกากตะกอนสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้เติมมากกว่า 20% ความจุของอิออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงขึ้นถึง 3 เท่า ในทำนองเดียวกับที่ Mays และคณะ (11) ซึ่งใช้กากตะกอนน้ำทิ้งผสมกับของเสียจากชุมชน พบว่านอกจากความชื้นในดินจะเพิ่มขึ้นแล้ว ดินยังร่วนซุยขึ้น เพราะปุ๋ยผสมกากตะกอน ช่วยให้ความแน่น และการเกาะยึดตัว ของดินลดลง

ส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ และความชุ่มชื้นของดินมีสาเหตุมาจากองค์ประกอบอินทรียสารในกากตะกอน จากการวิจัยพบว่าองค์ประกอบอินทรียสารของกากตะกอนที่ใส่ลงดิน จะถูกดูดซึมเข้าสู่ดินทีละน้อยโดยปฏิกิริยาทางเคมี และทางชีววิทยา ซึ่งการดูดซึมและการย่อยสลายของอินทรียสารเหล่านี้ ได้รับอิทธิพลจาก C :N ratio อุณหภูมิของดิน อัตรา และวิธีการใส่กากตะกอน

การใส่กากตะกอนลงดินอาจมีผลในทางลบ คือ ทำให้เกิดการอุดตันรูพรุนของดิน การอุดตันนี้เป็นผลมาจากการสะสมอนุภาคของแข็งเล็ก ๆ ภายในช่วงว่างของดิน ซึ่งการอุดตันนี้จะมีผลให้การไหลของน้ำในดินลดลง และเป็นไปได้เช่นกันในกรณีที่กากตะกอนมีน้ำมันปนเปื้อนอยู่ (1)

ผลของการใส่กากตะกอนในเรื่องแร่ธาตุ

แร่ธาตุหลักในกากตะกอน (N, P, K)

โดยทั่ว ๆ ไป ปริมาณการใส่กากตะกอนลงดิน จะขึ้นอยู่กับแร่ธาตุคือ N และ P ที่มีในกากตะกอน มีการคำนวณปริมาณของแร่ธาตุในกากตะกอนที่พืชจะนำไปใช้ได้ เพื่อให้สัมพันธ์กับ อัตราปุ๋ยที่แนะนำสำหรับพืชแต่ละชนิด (3) (12) เพราะมิใช่ว่า แร่ธาตุทั้งหมดในกากตะกอนจะถูกพืชนำไปใช้ได้ทันที(13) จากงานทดลองของ John และ Cornelis (14) ชี้ให้เห็นว่าในบางครั้ง การทดลองใส่กากตะกอนในอัตราต่าง ๆ กัน ก็ไม่ใช่เรื่องจำเป็น เพราะผลผลิตของพืชที่ได้จากอัตราต่าง ๆ นั้นไม่แตกต่างกันนัก

ไนโตรเจน (N) ในน้ำทิ้งประกอบด้วยอินทรีย์ไนโตรเจน และอนินทรีย์ไนโตรเจน โดยในระยะแรกจะอยู่ในรูปของ แอมโมเนีย และไนเตรท ซึ่งเป็นรูปที่สามารถละลายน้ำ และถูกพืชดูดซึมไปใช้ได้ ส่วนอินทรีย์สารไนโตรเจนในกากตะกอน อยู่ในรูปที่พืชยังใช้ประโยชน์ไม่ได้ ปริมาณของอินทรีย์ และอนินทรีย์ไนโตรเจนที่มีอยู่ในกากตะกอน จะขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของมัน และกระบวนการบำบัดน้ำทิ้ง และการบำบัดกากตะกอน

เมื่อใส่กากตะกอนลงดิน อินทรีย์สาร ไนโตรเจน จะถูกเปลี่ยนไปเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนได้โดยกระบวนการที่เรียกว่า Mineralization ซึ่งมีขั้นตอนแรก 2 ขั้นตอนคือ ammonification และ nitrification ซึ่งเกิดได้โดยแบคทีเรียในสกุล Nitrosomonas และ Nitrobacter ตามลำดับ(1) และ N จากกากตะกอนจะถูกปลดปล่อยอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งมีผลดีต่อคุณภาพของผลผลิตพืชที่ปลูก อาทิเช่น มีผลทำให้องค์ประกอบโปรตีนในเมล็ดข้าวสาลีเพิ่มสูงขึ้น (8) เพื่อที่กระบวนการ Nitrification จะสามารถดำเนินไปได้ ภายในดินจะต้องมีการถ่ายเทอากาศดี มีรายงานว่าภายใต้สภาพแวดล้อมที่ดี ค่าของ แอมโมเนียม ที่เปลี่ยนไปเป็นไนเตรท อยู่ในช่วง 5-50 ppm N/วัน ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 24-35 องศาเซลเซียส pH ที่เหมาะอยู่ในช่วงกลางถึงด่างเล็กน้อย(1)

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลังจากการใส่กากตะกอนลงในดิน อาจมีการสูญเสียไนโตรเจน จากขบวนการที่เรียกว่า denitrification ซึ่งเปลี่ยน ไนเตรท ไปเป็นก๊าซไนโตเจนและ ไนตรัสออกไซด์ โดยแบคทีเรียในสกุล Pseudomonas และอื่น ๆ หรือจากกระบวนการ ammonia volatilization คือการระเหยของแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งammonia volatilization สามารถเกิดขึ้นในระหว่างการทำให้กากตะกอนแห้งโดยอากาศ หรือโดยอบในตู้ซึ่งเป็นผลทำให้องค์ประกอบของแอมโมเนียไนโตรเจนในกากตะกอนลดลง(15)

เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน และ น้ำผิวดิน ทำให้ต้องมีการพิจารณาถึงองค์ประกอบไนโตรเจน ในกากตะกอนที่ใช้เติมลงดิน และปริมาณไนโตรเจนที่พืชปลูกต้องการจริง ๆ เนื่องจากพืชปลูกไม่สามารถใช้ไนโตรเจนให้เกิดประโยชน์ได้ทั้งหมด (1) จากงานทดลองของ Warman (7) และงานของ Magdoff และ Chromec (16) ยืนยันค่าความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในกากตะกอนน้ำทิ้งตามที่ OMAF (Ontario Ministry of Agriculture and Food) 1985 ชี้ว่า มี 60% ของไนโตรเจน ในกากตะกอนที่พืชนำไปใช้ได้

สัดส่วนการดูดไนเตรท จากดินของพืช มีความแปรผันอย่างมากขึ้นกับชนิดของพืช ความลึก และการกระจายของราก nitrogen loading rate และ ปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งการดูดซึมไนโตรเจนของพืชจะเปลี่ยนแปลงตลอดฤดูปลูก(1)

ปัจจัยสำคัญที่ควบคุม การเกิด mineralization คือ อัตราส่วน C : N เมื่อ C/N ratio ในดินอยู่ระหว่าง 20-30 mineralitization จะเกิดได้มาก (17) ซึ่ง mineralization จะลดลงเมื่อ C/N ratioเพิ่มขึ้น(15) ทั้งนี้ลักษณะของดินมีอิทธิพลต่ออัตราการเกิด N mineralization (18) จากงานวิจัยบางชิ้นพบว่าประมาณ 50% ของ N ที่ใส่ลงดินจะสลายตัวกลายเป็นแร่ธาตุภายใน 3 อาทิตย์ หลังจากการใส่กากตะกอนและ 25% จะสลายภายในปีที่ 2 และ 15% ของ N จะสลายภายในปีที่ 3 (19) (20)

ฟอสฟอรัส (P) ในกากตะกอนน้ำทิ้งมีปริมาณฟอสฟอรัสค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับปริมาณ P ในดินตามธรรมชาติ หลังจากการเติม P ลงดินมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อปริมาณของ P ในดิน เช่น ถูกนัดพาไปกับการพังทลาย ของดิน หรือถูกทำให้ตกตะกอนในรูปองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ ซึ่งโดยปกติ ปริมาณของ P ในดินจะมีอยู่ระหว่าง 0.01-0.2 % เชื่อกันว่า P ในดิน อยู่ในรูปของ ออโธฟอสเฟต (orthophosphate) ซึ่งเป็นรูปที่เสถียรที่สุดของ P (1)

การเติม P ลงในดินมักจะช่วยส่งเสริมการเติบโตของพืชเสมอ แต่ถ้ามีการสะสมของ P มากเกินไป อาจจะทำให้ผลผลิตของพืชปลูกลดลงได้โดยที่ available P ที่มากเกินไปจะไปลดความเป็นประโยชน์ของ Cu, Fe และ Zn ในดิน (1) เช่นเดียวกับ N พืชสามารถนำ P บางส่วนไปใช้ให้เป็นประโยชน์ภายในปีแรกที่มีการเติมกากตะกอน (21)

ในบางครั้งในกากตะกอนมีปริมาณ P เป็นองค์ประกอบอยู่มากถ้าหากว่าใส่กากตะกอนโดยอาศัยปริมาณ N เป็นหลัก อาจทำให้ได้ P มากเกินไป ในกรณีเช่นนี้ สามารถลดอัต

ราการใส่ลงเพื่อให้มี P_2O_5 พอเหมาะ และเพิ่มเติม N ที่ต้องการโดยการใส่ปุ๋ย N เพิ่ม (4)

<u>โปตัสเซียม</u> (K) ภายในปีแรกที่มีการคลุกกากตะกอนลงดิน พืชจะสามารถนำเอาโปตัสเซียมส่วนใหญ่ ที่มีในกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ได้ (21) ส่วนมากกากตะกอนมักจะขาดโปตัสเซียม คือมีน้อยกว่าที่พืชปลูกต้องการ (9) โดยทั่วไป K ที่พบในกากตะกอนจะอยู่ในสัดส่วน N : P : K = 11:7.6 : 1 หรือมีน้อยกว่า 0.5% (3) ในบางครั้งถ้าอัตราการเติมกากตะกอนยึดเอาความต้องการ N และ / หรือ P ทั้งหมดที่พืชต้องการเป็นหลัก อาจมีการแนะนำให้เติมปุ๋ย K_2O นอกเหนือจากที่ได้จากกากตะกอน ถ้าหากว่าปริมาณ K_2O ที่พืชจะได้จากกากตะกอนนั้นน้อยกว่าค่าปุ๋ยที่แนะนำมาก ซึ่งส่วนใหญ่มักจะแนะนำว่าควรมากกว่า 50 ปอนด์ต่อเอเคอร์ ของ K_2O (4) แต่อย่างไรก็ตามจากงานทดลองของ Mays และคณะ (11) ซึ่งใช้กากตะกอนน้ำทิ้งผสมหมักกับของเสียจากชุมชนเพื่อการปลูกข้าวฟ่าง ข้าวโพด และหญ้าเบอร์มิวดา เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยตามปกติ ซึ่งได้รับ N, P, และ K ตามปกติ เขาพบว่าในแปลงที่ได้รับกากตะกอนไม่ปรากฏอาการขาด K แต่อย่างใดในพืช และผลผลิตที่ได้เท่าเทียมและสูงกว่าการใช้ปุ๋ยปกติ

<u>จุลธาตุในกากตะกอน</u>

จุลธาตุคือ แร่ธาตุซึ่งเกิดขึ้นในธรรมชาติ ในปริมาณน้อย ๆ และถ้าปรากฏในความเข้มข้นที่มากเกินไป จะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต จุลธาตุจำนวนหนึ่งเป็นโลหะหนัก คือเป็นโลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5.0 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร(1)

จุลธาตุที่เป็นโลหะหนักในกากตะกอนมีศักยภาพในการทำให้เกิดอันตราย ต่อสุขภาพของคนและสัตว์เลี้ยง ด้วยเหตุนี้ USEPA จึงได้ตั้ง reccommended cumulative limits ไว้สำหรับโลหะในกากตะกอนที่จะใช้ใส่ลงในพื้นที่เกษตรกรรม ดังนี้

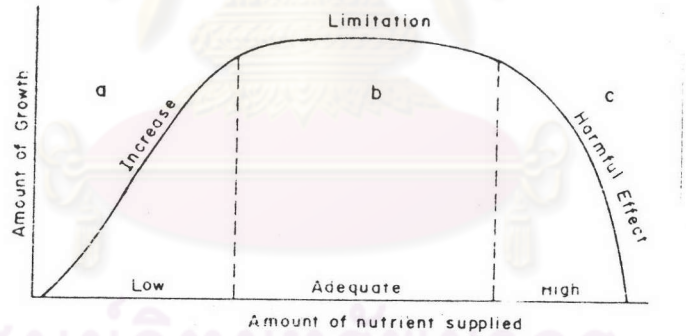
	Soil Cation Exchange Capacity (meg/100g)		
	< 5	5 - 15	> 15
	Kg / ha		
Pb (ตะกั่ว)	560	1120	2240
Zn (สังกะสี)	280	560	1120
Cu (ทองแดง)	140	280	560
Ni (นิเกิล)	140	280	560
Cd (แคดเมี่ยม)	5	10	20

โลหะทั้ง 5 ตัวนี้เป็นอันตรายต่อ คน พืช และสัตว์อย่างมากที่สุด (1) Brooks และ McGrath

(23) พบว่ากากตะกอนที่มาจากโรงบำบัดน้ำทิ้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม มักจะมีปริมาณโลหะที่มีความเป็นพิษ เช่น Cu, Zn, Ni, Cd, Pb และ Cr ซึ่งมีผลต่อจุลินทรีย์ในดิน โดยดินที่ได้รับกากตะกอนหรือปุ๋ยผสมกากตะกอนจะมีปริมาณจุลินทรีย์ในดินน้อยกว่าดินที่ได้รับปุ๋ยคอก การที่ปริมาณจุลินทรีย์ในดินลดน้อยลงนี้เป็นเพราะผลจากพิษของโลหะในกากตะกอนนั่นเอง ดังนั้นส่วนประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำทิ้งเป็นสิ่งสำคัญมาก เมื่อต้องการพัฒนาแนวทางสำหรับอัตราการเติมกากตะกอนลงในพื้นที่เกษตรกรรมเพราะกากตะกอนที่มาจากแหล่งต่างกัน จะมีลักษณะและแร่ธาตุพวกโลหะอยู่ต่างกัน (3)

จากงานวิจัยของ Sung (24) ซึ่งได้เก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง และกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำทิ้งของเทศบาลเมือง 25 แห่ง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ระบบเลี้ยงตะกอน (Activated Sludge) มาวิเคราะห์แร่ธาตุทางเคมี พบว่าชนิดของโรงงานอุตสาหกรรมมีอิทธิพลต่อความผันแปรของระดับโลหะหนักในน้ำทิ้ง ซึ่งปริมาณของมันอาจจะเหมาะสมหรือลดผลผลิตของพืช เช่น ทำให้ปริมาณ และคุณภาพของอาหารลดลงหรือเส้นใยที่ผลิตเสียไปได้

การใส่ซ้ำจะทำให้เกิดการสะสมของโลหะในดิน การสะสมของโลหะนี้ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (plant toxicity) หรือทำให้พืชมีการสะสมเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งต่อไปยังสัตว์และมนุษย์ที่บริโภคพืชนั้นได้ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง plant toxicity และการสะสมของโลหะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง plant toxicity และการสะสมของโลหะ

ในช่วงแรกเมื่อปริมาณของแร่ธาตุในดินมีไม่มากนัก การเพิ่มของแร่ธาตุจะทำให้ผลผลิตของพืชเพิ่มขึ้น แต่เมื่อผลผลิตเพิ่มขึ้นถึงขีดสุดแล้ว การเพิ่มแร่ธาตุต่อไป ในช่วงนี้จึงไม่มีผลต่อผลผลิต และถ้ายังมีการเพิ่มแร่ธาตุต่อไปผลผลิตพืชจะลดลงจนกระทั่งในที่สุด จะไม่มีการเจริญเติบโตเกิดขึ้นกราฟนี้ใช้อธิบายสำหรับ Cu, Zn และแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืช แต่สำหรับ Ni และแร่ธาตุอื่น ๆ ที่ไม่จำเป็นต่อพืชจะใช้ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เพราะสำหรับแร่ธาตุที่ไม่จำเป็นต่อพืช การเพิ่มปริมาณของแร่ธาตุนั้น ๆ จะไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช จนกระทั่งเมื่อมีสูงถึงระดับหนึ่งจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช จากงานวิจัยหลายชิ้นพบว่า ปริมาณมากที่สุดที่ถือว่ายังอยู่ในช่วงปลอดภัย (maximum safe loadings) ของโลหะจะแตกต่างกันในระหว่างดินต่าง ๆ ซึ่งเป็นผลจากความแตกต่างในคุณสมบัติของดิน และความเป็นพิษของโลหะแต่ละตัว (4)

อย่างไรก็ตาม มีกลไกตามธรรมชาติบางอย่างซึ่งช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ โดยการจำกัดปริมาณของจุลธาตุที่มีความเป็นพิษไม่ให้สะสมในส่วนเหนือดินของพืชมากเกินไป ซึ่ง Chaney ได้พูดถึงกลไกนี้ว่าเป็น "Soil - Plant Barrier" อันได้แก่

1. แร่ธาตุนั้นไม่สามารถจะละลายน้ำในดินได้ และจึงไม่ถูกสะสมในพืช ได้แก่ โครเมียม พลูออรีน ทองคำ ตะกั่ว ปรอท ซิลิโคน เงิน ดีบุก ติลาเนียม เซอโคเนียม

2. แร่ธาตุนั้นถูกดูดซึมเข้าไปในรากได้ แต่ไม่สามารถละลายน้ำในราก และมีขีดจำกัดในการขนย้ายไปสู่ส่วนยอด คือ อลูมิเนียม เหล็ก และบางครั้งรวมถึงตะกั่ว และปรอท

3. แร่ธาตุนั้นเมื่อมีมากเกินไป จะเป็นสาเหตุให้พืชเกิดอาการผิดปกติ (phyto-toxicity) ดังนั้น คนและสัตว์จึงไม่กินพืชนั้น คือ อาร์เซนิค โบรอน โคบอล คอปเปอร์ มังกานีส นิเกิล และสังกะสี แต่ไม่ใช่ว่าจุลธาตุทั้งหมดที่พบในกากตะกอนจะต้องเข้าข่ายอยู่ในข้อใดข้อหนึ่งทั้งสามนี้ จุลธาตุที่สำคัญซึ่งไม่เข้าข่ายนี้ แต่อาจมีอยู่ในกากตะกอนคือ แคดเมียม โมลิบดีนัม และ ซิลิเนียม (25)

<u>ปัจจัยที่มีผลต่อการรับจุลธาตุของพืช</u>

จากการศึกษาพบว่า เมื่อมีการเติมเกลือโลหะที่ละลายน้ำได้ (soluble metal salts) เปรียบเทียบกับการใส่กากตะกอนน้ำทิ้งที่มีปริมาณโลหะหนักเท่ากัน ปรากฏว่า ความเข้มข้นของ Cd, Cr, Cu, Zn ในพืชที่ได้รับเกลือโลหะที่ละลายน้ำได้ จะสูงกว่าจากการรับกากตะกอนที่มีปริมาณโลหะหนักเท่ากัน ซึ่งคาดว่าเป็นเพราะเกลือโลหะที่ละลายน้ำได้ จะเพิ่มปริมาณของโลหะหนักเหล่านี้ในสารละลายดินได้เร็วกว่า รูปแบบที่ค่อนข้างจะไม่ละลายน้ำของโลหะเหล่านี้ในกากตะกอน และพืชสามารถดูดซับโลหะหนักเหล่านี้จากสารละลายดินได้เท่าเทียมกับปริมาณที่ใส่ให้ (26) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่า ภายในโรงเรือนจะมีการดูแลรักษา และสภาพแวดล้อมที่สม่ำเสมอ และความหนาแน่นของรากในกระถาง มีมากกว่าพืชในพื้นที่ปลูกในสภาพภายนอก (27) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าไม่ควรจะนำผลการทดลองจากการใช้สารประกอบเคมีนิทรีย์ที่ละลายน้ำได้ของจุลธาตุเหล่านี้ มาใช้ทำนายหรืออธิบายผลของจุลธาตุโลหะในกากตะกอนที่จะเป็นประโยชน์หรือเป็นพิษต่อพืชปลูก

คุณสมบัติของดิน เช่น pH ปริมาณอินทรียสาร ฯ มีผลต่อการรับโลหะหนักของพืช โดยที่ pH ของดิน มีบทบาทเด่นมากต่อความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุ การเพิ่ม pH ของดิน จะทำให้ความเข้มข้นของ Cd, Cu, Pb, Mn, Ni และ Zn ในสารละลายดินลดลง และจึงมีผลให้พืชรับจุลธาตุเหล่านี้จากกากตะกอนได้ลดลง (28,29,30) ในทางตรงกันข้าม การที่ pH ของดินลดลง จะทำให้ความเข้มข้นของโมลิบดีนัมในดินลดลง และดังนั้นจึงลดความเป็นประโยชน์ของโมลิบดีนัมในดินผสมกากตะกอน (31)

แม้ว่าความเข้มข้นของจุลธาตุในสารละลายดินจะมีผลต่อปริมาณการรับจุลธาตุของพืช

อย่างมากก็ตาม แต่ปัจจัยที่เกี่ยวกับพืชก็ยังคงมีบทบาทมากเช่นกัน (14) ในระหว่างชนิดของพืชมีความผันแปรอย่างมาก เรื่องความสามารถในการดูดซึมจุลธาตุจากดินที่ผสมกากตะกอน อย่างเช่น พืชตระกูลข้าว และถั่วสะสม Cd ในส่วนยอดน้อยกว่าการสะสมของผักกินใบอย่างผักกาดหอม (32) มะเขือเทศสะสม Cd จากดินผสมกากตะกอนได้มากกว่าเมล็ดข้าวบาเลย์ (33) ภายในพืชชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์ก็มีความแตกต่างกัน (34) (35) และแม้แต่ในต้นเดียวกันก็สะสมไม่เท่ากัน (26) นอกจากนี้การปฏิบัติดูแลรักษา ชนิดของกากตะกอน วิธีการใส่ก็มีผลต่อความเข้มข้นของแร่ธาตุที่สะสมในพืชเช่นกัน (34) (14)

เกลือละลาย (Soluble Salts)

เกลือหลายชนิดสามารถเกิดในกากตะกอนได้ และมีความเข้มข้นค่อนข้างมาก ถ้าหากว่าในชั้นไถพรวนมีความเข้มข้นของเกลืออยู่สูง จะสามารถหน่วง หรือมีผลในทางลบต่อการงอกของเมล็ดพืช จากการศึกษาของ Valdares และ คณะ (36) พบว่าพืชที่ไม่ทนเค็มจะได้รับผลกระทบจากเกลือที่ละลายน้ำได้ในดิน อันเป็นผลมาจากการเติมกากตะกอนลงในดินมากกว่าผลกระทบ จากโลหะหนักในกากตะกอนเสียอีก อย่างไรก็ตาม ถ้าหากว่ามีการเติมกากตะกอนไม่เกิน 10 ตัน (น้ำหนักแห้ง) ต่อเอเคอร์ จะไม่มีปัญหาในเรื่องนี้ ซึ่งโดยส่วนมากแล้ว Agronomic rate ของกากตะกอนจะน้อยกว่านี้เสมอ (4)

ผลต่อสุขภาพของมนุษย์อันเนื่องมาจากการใช้กากตะกอนในพื้นที่เกษตรกรรม

แบคทีเรีย : ในระหว่างการบำบัดน้ำทิ้ง แบคทีเรียจะถูกดึงจากน้ำทิ้งเข้าสู่กากตะกอน แบคทีเรียที่พบในกากตะกอนมีทั้งชนิดที่เป็นเชื้อโรคต่อคน และไม่เป็นเชื้อโรค เมื่อใส่กากตะกอนลงดิน มีปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อการอยู่รอดของแบคทีเรีย ซึ่งได้แก่อุณหภูมิ พีเอชของดินรังสีอุลตร้าไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ ความชื้นในดิน ชนิดของดิน อินทรีย์สารและสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในดิน (1)

ไวรัส : เป็นเชื้อโรคที่เล็กที่สุดที่พบในกากตะกอน ความเข้มข้นของไวรัสในกากตะกอน จะอยู่ในช่วง 1 - 10 virusparticle/ml โอกาสที่จะพบไวรัสในกากตะกอนน้ำทิ้งมีมากกว่าแบคทีเรีย เนื่องจากไวรัสมีความทนทานมากกว่าแบคทีเรีย ปัจจัยที่มีผลต่อการอยู่รอดของไวรัสหลังเติมกากตะกอนลงดิน ก็เช่นเดียวกับแบคทีเรีย

เชื้อรา : ในกากตะกอนน้ำทิ้งมีเชื้อราอยู่ 2 ชนิดที่สามารถก่อให้เกิดโรคในคน คือ Candida และ Aspergillus spp. เชื้อราจะไม่ก่อให้เกิดโรคตามลำพัง แต่จะเป็นเชื้อโรคลำดับสองที่จะเข้าทำให้ผู้ที่อ่อนแออยู่แล้วด้วยโรคเรื้อรัง เกิดโรคซ้อนขึ้นอีก

โปรโตซัว : เป็นเชื้อโรคที่มีระยะฟักตัวเรียกว่า Cyst ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญในการใช้กากตะกอนเพื่อการเกษตร เนื่องจาก Cyst ค่อนข้างทนต่อระบบบำบัดน้ำทิ้ง

หนอน : มีหนอนที่เป็นพาราสิตหลายชนิดในกากตะกอนน้ำทิ้งตัวที่เป็นอันตรายต่อคนมากที่สุดคือ พยาธิตืดหมู (Taenia solium) เพราะ Cyst ของมัน สามารถเติบโตในสมอง ดวงตา และหัวใจของคนและอาจทำให้ถึงตายได้

ทั้งนี้วิธีการใส่กากตะกอนลงดินมีผลต่อความสามารถของเชื้อโรคที่จะก่อให้เกิดโรคต่อคน ถ้าหากว่ามีการใส่แบบพ่นให้กระจายไปในอากาศจะทำให้เชื้อโรคสามารถกลายเป็นเชื้อโรคที่ล่องลอยอยู่ในอากาศซึ่งจะแพร่กระจายไปได้ไกล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผักกาดหอม (Lettuce)

ชื่อพฤกษศาสตร์ : Lactuca sativa linn. จัดอยู่ในตระกูล Compositae

ถิ่นกำเนิด : ยุโรป และเอเชีย (พันธุ์จีน) (38)

ประโยชน์ : ผักกาดหอมเป็นผักจำพวกสลัดที่นิยมรับประทานเป็นผักสดกันอย่างกว้างขวาง ใช้จัดแต่งอาหารให้มีสีสันสวยงาม ความต้องการใช้ผักกาดหอมของผู้บริโภคมีอยู่ตลอดทั้งปี นับได้ว่าผักกาดหอมเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากชนิดหนึ่ง

พันธุ์ : ผักกาดหอมสามารถแบ่งเป็น 4 พวกใหญ่ ๆ ตามรูปร่าง ลักษณะ แต่ในเมืองไทยนิยมปลูกเพียง 2 ประเภทคือ

1. คริพเฮด (Crisp head) หรือไอซ์เบิร์ก (Iceburg) คือผักกาดหอมห่อหัวหรือผักกาดแก้ว มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Lactuca sativa var. capitaca มีลักษณะใบบางกรอบ และขอบใบหยักไม่เรียบ ปลูกได้ในระหว่างเดือน ตุลาคม - มกราคม ซึ่งปลูกได้ดีที่สุดช่วงเดือนพฤศจิกายน - ธันวาคม ช่วงเดือนมิถุนายน - กันยายน พอปลูกได้บ้างในบริเวณที่สูงทางภาคเหนือบางเขต ช่วงที่ไม่ได้เลยคือ ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ - พฤษภาคม ต้องการอุณหภูมิในการเจริญเติบโตระหว่าง 15.5 - 21°C

พวกคริพเฮด ได้แก่ พันธุ์

1.1 พันธุ์เกรท เลค 659 (Greate Lake 659 TAR11) เป็นพันธุ์หนักปานกลาง ใบสีเขียวเข้ม หยัก ไม่ค่อยมีปัญหาใบไหม้ (Sun burn)

1.2 พันธุ์เกรท เลค 366 (Greate Lake 366 TAR11) เป็นพันธุ์ค่อนข้างเบา ห่อหัวกลมมีใบสีเขียวรอบนอก ใบหยัก มีความต้านทานโรคใบแห้งทิบเบิร์น (Tip Burn)

1.3 พันธุ์ซัมเมอร์ เลค (Summer Lake) เป็นพันธุ์เบา หัวห่อกลมสีเขียวอ่อน ใบหยัก

2. ลีฟ (Leaf) หรือ ลูสลีฟ (Loose Leaf) หรือพันธุ์ใบบางที่เรียกว่า ผักกาดหอมใบหยิก มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Lactuca sativa var Crispa ในเมืองไทยนิยมปลูกและรับประทานกันมาก ใบลักษณะหยิกเป็นคลื่น สีของใบมีตั้งแต่สีเขียวอ่อน จนถึงสีแดง สามารถปลูกได้ตลอดปี แต่จะปลูกได้ดีที่สุด ในช่วงเดือนตุลาคม - เมษายน ชอบอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 21.2 - 26.6°C

พันธุ์ผักกาดหอมใบหยิกที่นิยมปลูกในเมืองไทยได้แก่

2.1 พันธุ์แกรนด์ แรปปิค (Grand Rapid) มีใบสีเขียวอ่อนใบม้วน และหยักอัดกันแน่น ต้นใหญ่ เกษตรกรนิยมปลูกกันมากที่สุด

2.2 พันธุ์เมล็ด ซีดเดด ซิบสัน (Back Seeded Simpson) เมล็ดมีสีดำ มีต้น

ใหญ่ ใบหยักฝอยยู่ยี่ อัดกันแน่นมาก (39)

การปลูกและดูแลรักษา ปลูกได้ 2 วิธี

1. แบบหว่าน หว่านเมล็ดกระจายทั่วแปลง (พันธุ์ใบ) แบบแถวเดี่ยว (ทุกพันธุ์) แบบแถวคู่ (พันธุ์ห่อหัว) เมื่อมีใบจริง 2 - 3 ใบ จึงถอนแยกต้นอ่อนแอ และไม่สมบูรณ์ทิ้ง

2. แบบเพาะกล้า และย้ายกล้า โดยหว่านเมล็ดโรยเป็นแถว ห่างกันแถวละ 10 ซม. เมื่อต้นกล้างอกแล้ว ถอนแยกต้นที่ไม่สมบูรณ์ให้ต้นกล้าห่าง 5 - 10 ซม. เมื่อมีใบจริง 3 - 4 ใบ (25 - 30 วัน) จึงย้ายกล้าโดยอาจย้ายใส่ถุง กระถาง เตรียมไว้สักระยะ เพื่อคัดเลือกกล้าสมบูรณ์สม่ำเสมอ ควรย้ายกล้าในเวลาบ่าย เย็น อากาศมืดครึ้ม หลังย้ายรดน้ำ พรางแสงด้วยกรวยกระดาษ 2 - 3 วันแรกเพื่อช่วยในการตั้งตัว (38)

การใส่ปุ๋ย ปริมาณการใส่ปุ๋ย ในแต่ละท้องที่จะไม่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะความอุดมสมบูรณ์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจะเลือกใส่ปุ๋ยในอัตราเท่าใดจึงพิจารณาเอาจากสภาพดินที่จะปลูกเป็นสำคัญ (39)

- พันธุ์ใบ ใส่ปุ๋ย 15 - 15 - 15 อัตรา 50 กก./ไร่ ครั้งเดียว ตอนเตรียมต้นปลูก
- พันธุ์ห่อหัว ใส่ปุ๋ย 13 - 13 - 21 อัตรา 50 กก./ไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ทั้งสองพันธุ์ เสริมด้วยปุ๋ยไนโตรเจนเมื่อต้นมีอายุ 10 - 15 วัน หลังย้ายปลูก

การให้น้ำ ควรให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ และเพียงพอ สำหรับการเจริญเติบโตของพืช ควรใช้น้ำรด เพราะผักกาดหอมใบบางกรอบ หักง่าย (38)

โรคและแมลง โรคราน้ำค้าง เน่าเละ โรคใบจุด ผักกาดหอมเป็นผักที่ไม่ค่อยมีแมลงรบกวนนัก แมลงศัตรูที่พบบ้างมีเพลี้ยกับหนอนกระทู้หอม

อายุการเก็บเกี่ยว - ผักกาดหอมใบหยิกประมาณ 40 - 50 วัน
- ผักกาดหอมห่อหัว มีอายุ 60 - 75 วัน (38,39)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย