

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. ดินจากพื้นที่เกษตรกรรม ตำบลบ้านฉาง อำเภอเมือง จังหวัดบึงกาฬ ที่นำมาใช้ทดลองมีปริมาณเหล็กแมงกานีส สังกะสี และทองแดง ซึ่งเป็นจุลธาตุอาหารอยู่ในระดับปกติและเพียงพอสำหรับการเพาะปลูก ส่วนนิกเกิล ตะกั่ว และแคดเมียม มีปริมาณต่ำไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อความเป็นพิษแต่อย่างใด
2. กากตะกอนจาก anaerobic digester ของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง ที่นำมาใช้ทดลองมีปริมาณ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว และแคดเมียม ในรูปที่พืชอาจใช้ประโยชน์ได้ (available form) อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ไม่ว่าจะใช้เกณฑ์ของประเทศใด ส่วนปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (total form) แม้จะอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ หากใช้เกณฑ์ของบางประเทศที่กำหนดปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนไว้สูง แต่อย่างไรก็ตามโลหะหนักบางชนิดคือ แมงกานีส และสังกะสี มีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์ของบางประเทศที่กำหนดค่าตัวเลขไว้ต่ำ
3. กากตะกอนมีปริมาณสังกะสี นิกเกิล และแคดเมียม ในรูปที่พืชอาจใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าดินอย่างเห็นได้ชัด ส่วนปริมาณเหล็กและแมงกานีสใกล้เคียงกับดิน สำหรับปริมาณทองแดงและตะกั่วต่ำกว่าดิน
4. จากการลองคำนวณปริมาณโลหะหนักในดินจากกากตะกอนที่ถูกปลดปล่อย ณ ระดับต่าง ๆ (ซึ่งจำลองสถานการณ์โดยเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนัก 4 ระดับ) พบว่าปริมาณโลหะหนักจากกากตะกอนทำให้ปริมาณโลหะหนักในดินเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะสังกะสีมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงกว่าโลหะหนักอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด
5. ปริมาณโลหะหนักทั้ง 7 ธาตุ ในดินหลังปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมฤดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่งยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และพบว่าเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ซึ่งเป็นจุลธาตุ

อาหารมีปริมาณตกค้างในดินหลังปลูกพืชสูงกว่า นิกเกิล ตะกั่ว และแคดเมียม ทั้งยังอยู่ในระดับที่พอเพียงสำหรับฤดูเพาะปลูกถัดไปด้วย

6. หากเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินจากการเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักหลังปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด ในฤดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่งกับปริมาณโลหะหนักจากการคำนวณก่อนปลูกพืช พบว่าปริมาณนิกเกิลในดินหลังปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด สูงกว่าค่าจากการคำนวณ โดยเฉพาะในดินหลังปลูกผักคะน้าจะเห็นได้อย่างชัดเจน ส่วนปริมาณโลหะหนักอื่น ๆ โดยทั่วไปมักต่ำกว่าค่าจากการคำนวณ แต่ถ้าพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณโลหะหนักแล้วพบว่า สังกะสีแสดงพฤติกรรมการเพิ่มขึ้นตามปริมาณเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักที่เติมลงดินตั้งแต่ระดับที่ 1-4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและเด่นชัดกว่าโลหะหนักอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินจากการคำนวณปริมาณโลหะหนักก่อนปลูกพืช สำหรับทองแดงและแคดเมียมในดินหลังปลูกทั้ง 2 ชนิด รวมทั้งตะกั่วในดินหลังปลูกผักคะน้าก็มีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน แม้ว่าบางตัวทดลองจะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนเหล็ก แมงกานีส และนิกเกิล ในดินหลังปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด รวมทั้งตะกั่วในดินหลังปลูกผักกาดหอมไม่แสดงแนวโน้มที่ชัดเจน

7. ถ้าพิจารณาโดยภาพรวมจากปริมาณโลหะหนักในดินหลังปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด ในฤดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่ง อาจสรุปได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไปหนึ่งฤดูเพาะปลูกจากตะกอนจะเกิดการย่อยสลายและปลดปล่อยโลหะหนักออกสู่สารละลายดินในรูปที่พืชอาจใช้ประโยชน์ได้ช้าเร็วแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของโลหะหนัก โดยทองแดงสามารถถูกปลดปล่อยออกจากตะกอนได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ สังกะสี และแคดเมียม ตามลำดับ

8. สำหรับปริมาณโลหะหนักในพืช ตรวจพบเฉพาะ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ทั้งในราก (root) และส่วนที่บริโภคได้ (edible part) ของผักคะน้าและผักกาดหอม ส่วนนิกเกิล ตะกั่ว และแคดเมียม มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบ

9. ผักกาดหอมสามารถดูดดึงโลหะหนัก (เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง) ไปสะสมทั้งในรากและส่วนบริโภคได้สูงกว่าผักคะน้า

10. ทั้งผักคะน้าและผักกาดหอมมีการสะสมเหล็กและแมงกานีสในส่วนบริโภคได้สูงกว่าในราก และสำหรับผักกาดหอมยังสามารถสะสมสังกะสีในส่วนบริโภคได้สูงกว่าในรากอีกด้วย

11. ปริมาณโลหะหนัก (เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง) ทั้งในรากและส่วนบริโภคได้ของผักคะน้าจากทุกตัวทดลองจัดว่าอยู่ในระดับปกติที่พบในพืชโดยทั่วไป ส่วนปริมาณเหล็กทั้งในรากและส่วนบริโภคได้ของผักกาดหอมจากทุกตัวทดลองสูงกว่าระดับปกติ สำหรับ

ปริมาณ แอมโมเนีย สังกะสี และทองแดง ในรากและส่วนบริเวณใต้ของผักกาดหอมก็จัดอยู่ในระดับปกติเช่นกัน แม้จะพบว่าปริมาณสังกะสีและทองแดงจากบางตัวรับทดลองสูงกว่าระดับปกติ แต่ก็ยังคงต่ำกว่าระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช

12. ปริมาณสังกะสีในส่วนบริเวณใต้ของผักคะน้าและผักกาดหอมมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณเกลืออนินทรีย์ของ โลหะหนักที่เติมลงดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึง เสนอว่าน่าจะเลือกสังกะสีเป็นดัชนีเพื่อบ่งชี้แนวโน้มของความเสี่ยงต่อความเป็นพิษของ โลหะหนักจากกากตะกอน ทั้งนี้เนื่องจากสังกะสีแสดงพฤติกรรมการเพิ่มขึ้นตามปริมาณสังกะสีที่ถูกปลดปล่อยจากกากตะกอน ณ ระดับต่าง ๆ อย่างชัดเจน ทั้งปริมาณที่ตกค้างในดินหลังปลูกพืช และสีบเนื่องมาถึงปริมาณที่สะสมในส่วนบริเวณใต้ของทั้งผักคะน้าและผักกาดหอม ประกอบกับพบว่าปริมาณสังกะสีในส่วนบริเวณใต้ของผักกาดหอมจากตัวรับทดลองที่เติมเกลืออนินทรีย์ของ โลหะหนักระดับที่ 4 (ร่วมกับปุ๋ยเคมีและธาตุอาหาร) สูงกว่าระดับสังกะสีที่พบในพืชโดยทั่วไป แม้จะยังไม่ถึงระดับที่เป็นพิษต่อพืชก็ตาม

13. หากทราบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอัตราการสลายตัว (decomposition rate) ของกากตะกอนก็จะสามารถประเมินระยะเวลาที่โลหะหนักจากกากตะกอน (โดยเฉพาะสังกะสี) จะถูกปลดปล่อยออกสู่สารละลายดิน และส่งผลให้ตกค้างในดินหลังปลูกพืชและดูดดึงเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อพืช ณ ระดับต่าง ๆ ได้

14. ข้อมูลของผลผลิตผักคะน้าและผักกาดหอมจากแต่ละตัวรับทดลองในฤดูเก็บเกี่ยวที่หนึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับผลผลิตพืชทั้ง 2 ชนิด ในฤดูเก็บเกี่ยวที่สองโดยทั่วไปมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ ผลผลิตพืชจากตัวรับทดลองที่เติมกากตะกอนร่วมกับธาตุอาหาร และ/หรือเติมเฉพาะกากตะกอนมีค่าสูงกว่าผลผลิตพืชจากตัวรับทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับธาตุอาหาร และตัวรับทดลองอื่น ๆ ยกเว้นผลผลิตผักกาดหอมจากตัวรับทดลองที่เติมเกลืออนินทรีย์ของ โลหะหนักทั้ง 4 ระดับร่วมกับปุ๋ยเคมีและธาตุอาหาร ไม่แตกต่างกับจากตัวรับทดลองที่เติมกากตะกอนร่วมกับธาตุอาหาร และเติมเฉพาะกากตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

15. หากพิจารณาเฉพาะผลผลิตพืชที่ได้ อาจกล่าวได้ว่าการเติมเกลืออนินทรีย์ของ โลหะหนักมีผลช่วยส่งเสริมให้พืชมีลักษณะสมบูรณ์และผลผลิตพืชเพิ่มสูงขึ้น แต่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเกลืออนินทรีย์ของ โลหะหนักที่เติม หรืออาจกล่าวได้ว่าเมื่อกากตะกอนสลายตัวปลดปล่อยโลหะหนักออกสู่สารละลายดิน ณ ระดับต่าง ๆ จนถึงระดับที่มีทั้งหมดในกากตะกอน น่าจะเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้าและผักกาดหอม

16. สมบัติทางเคมีของดินที่เข้าทดลองอยู่ในระดับที่เพียงพอจะนำมาทดสอบปลูกผักคะน้า และผักกาดหอมได้ และไม่น่าจะเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดความเป็นพิษจากโลหะหนัก

17. ถ้าพิจารณาเฉพาะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนอาจกล่าวได้ว่ากากตะกอนมีประสิทธิภาพที่เพียงพอจะนำมาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับพืช โดยเฉพาะไนโตรเจนซึ่งมีปริมาณสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่เข้าทดลอง

18. การเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักลงในดินมีผลทำให้ค่า pH ของดินลดต่ำลง ทั้งในดินระหว่างปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมในฤดูเพาะปลูกที่หนึ่งและที่สอง แต่เห็นเด่นชัดในฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง ส่วนการเติมกากตะกอนมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดินเล็กน้อย

19. ค่า pH ของดินเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เพาะปลูกพืช ทั้งในดินปลูกระหว่างปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมในฤดูเพาะปลูกที่หนึ่งและที่สอง โดยจะลดลงต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 4 แล้วเพิ่มสูงขึ้นในสัปดาห์ที่ 6 และ 8 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเห็นได้เด่นชัดในฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง

20. ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนมีค่าสูงกว่าปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งในดินระหว่างปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมในฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง และยังพบว่าปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนโดยทั่วไปมีแนวโน้มลดลงตามเวลาที่เพาะปลูก

21. การเติมเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนักมีผลทำให้ปริมาณไนเตรตไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้น

22. ทั้งปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนที่ตกค้างในดินจากฤดูเพาะปลูกที่หนึ่ง เพียงพอต่อการเพาะปลูกในฤดูเพาะปลูกที่สอง

23. อาจกล่าวได้ว่าการเติมกากตะกอน ณ ระดับ 20 เมตริกตัน/เฮกตาร์ ไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อความเป็นพิษของโลหะหนักแต่อย่างใด และช่วงเวลาการเติมกากตะกอนลงสู่พื้นที่การเกษตรที่เหมาะสมนั้น น่าจะห่างกันอย่างน้อย 2 ฤดูเพาะปลูกของผักคะน้าและผักกาดหอม

#### ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองปลูกผักคะน้าและผักกาดหอมในกระถางควรเพิ่มหน่วยทดลองต่อตัวรับทดลองให้มากกว่า 3 ซ้ำ หรือเพิ่มจำนวนต้นต่อหน่วยทดลอง เพื่อให้ได้ปริมาณรากพืชเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์โลหะหนัก

2. หากสามารถเลือกสถานที่ทดลองปลูกพืชที่มีสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยให้พืชได้รับแสงแดดอย่างเต็มที่ ก็อาจทำให้ได้ผลการทดลองที่ชัดเจนขึ้น เป็นผลผลิตพืชตลอดจนปริมาณโลหะหนักที่พืชสามารถดูดซับไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืช

3. หากจะมีการศึกษาในรายละเอียดของโลหะหนักโดยมุ่งศึกษาเฉพาะโลหะหนักธาตุใดธาตุหนึ่ง ก็จะทำให้สามารถทราบถึงพฤติกรรมของแต่ละธาตุที่กว้างขวางขึ้น คือสามารถจะเลือกวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับโลหะหนักชนิดนั้น ๆ ได้ดีขึ้น และสำหรับการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินหากสามารถวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (total form) ได้ด้วย ก็ยิ่งจะทำให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของโลหะหนักในดินได้ชัดเจนขึ้น

4. น่าจะได้มีการศึกษาถึงองค์ประกอบของกากตะกอนอื่น ๆ นอกเหนือจากโลหะหนักในองค์ประกอบทางพยาธิวิทยา และจุลมลสารประเภทสารอินทรีย์ (organic micropollutants) เพื่อจะได้ทราบถึงความเสี่ยงต่อความเป็นพิษจากการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรกว้างขวางยิ่งขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย