บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารหนู

สารหนูเป็นธาตุกึ่งโลหะมีลักษณะเป็นผงโลหะสีเทาโดยมีเลขอะตอมเป็น 33 น้ำหนักอะตอม 74.9216 มีจุดเดือดที่ 613 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 817 องศาเซลเซียส ซึ่งพบมากเป็นอันดับที่ 20 ของธาตุที่พบมากบนโลก โดยจะพบในสิ่งมีชีวิต พืช และสัตว์ ตลอดจนพบในธรรมชาติ ได้แก่ ในพื้นดินทะเล มหาสมุทรและแหล่งน้ำต่างๆ สารหนูในธรรมชาติ มาจากการระเบิดของ ภูเขาไฟ การเผาถ่านหิน การถลุงแร่ การใช้สารกำจัดศัตรูพืช นอกจากนี้สารหนูยังออกมาสู่บรรยากาศจากอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีการใช้สารชนิดนี้ เช่น การรักษาเนื้อไม้ การผลิตสีและการผลิตสารกำจัดศัตรูพืช ใช้เป็นสารป้องกันและกำจัดแมลงเป็นต้น

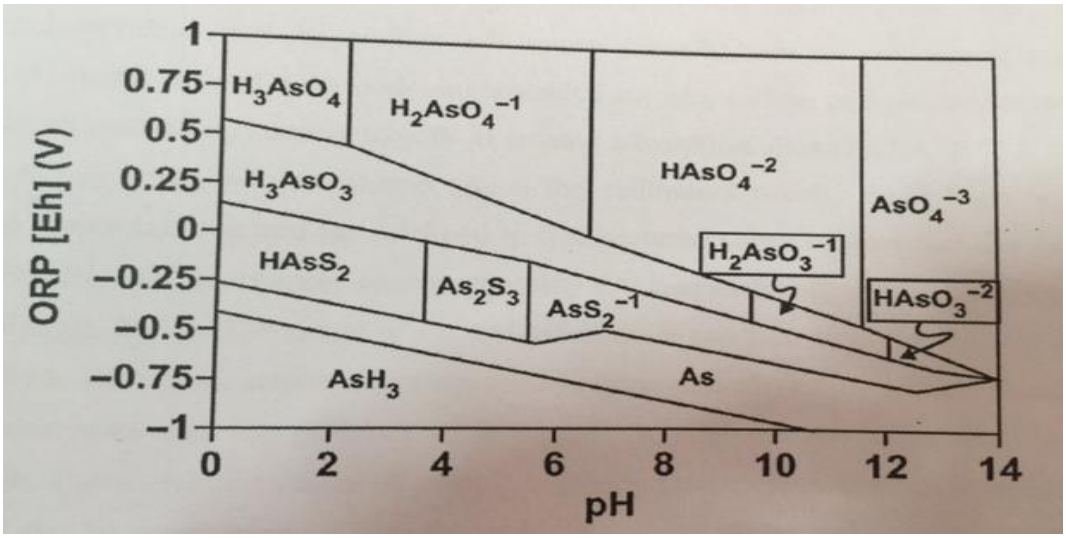
สารหนูสามารถพบได้ 2 รูปแบบ คือ สารหนูอินทรีย์และอนินทรีย์ โดยเลขออกซิเดชันหรือเลขวาเลนซีหลายค่า คือ +5 (As^{+5}, AsO_4^{-3}), +3 (As^{+3}, AsO_3^{-3}, AsH_3) และ -3 (H_3AsO_4) โดยรูปของสารหนูที่อยู่ในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารอนินทรีย์ที่มีวาเลนซี +5 เรียกว่าอาร์เซเนต (As^{+5}) พบได้หลายรูปเช่น AsO_4^{-3},$HAsO_4^{-2}$ และ $HAsO_4^{-2}$และวาเลนซี +3 เรียกว่าอาร์เซไนต์ (As^{+3}) พบได้หลายรูปเช่นเดียวกัน ได้แก่ $As(OH)_3$, $As(OH)_4^-$, $AsO_2(OH)^{-2}$ และ AsO_3^{-3} (Singh, Singh, Parihar, & Singh, 2015) สารหนูอาร์เซเนตและอาร์เซไนต์สามารถเกิดการเปลี่ยนรูปได้ขึ้นอยู่กับรีด็อกโพเทนเชียล (redox potential, Eh) และพีเอช (pH) เช่น สารหนูจะเสถียรอยู่ในดินเมื่อค่ารีด็อกโพเทนเชียลอยู่ในช่วง -100 ถึง 300 MV ในขณะที่สารหนูอาร์เซไนต์จะเสถียรเมื่อค่ารีด๊อกไพเทนเชียลต่ำกว่า -100 mV

สำหรับสารหนูในรูปอินทรีย์ คือ สารหนูที่อยู่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ในสิ่งมีชีวิตโดยสารหนูสามารถสามารถรวมตัวกับคาร์บอนและไฮโดรเจนในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตกลายเป็นสารหนูอินทรีย์ ซึ่งไม่สามารถแตกตัวเป็นเกลืออนินทรีย์ได้เหมือนกับสารอนินทรีย์จึงมีพิษน้อยกว่า สารหนูพบได้หลายชนิดทั้งในพืชและสัตว์โดยเฉพาะในสัตว์น้ำ เช่น กุ้ง ปู ปลาและสาหร่าย โดยสารหนูที่มีองค์ประกอบของเซลล์สิ่งมีชีวิตจะมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่ชนิดของสิ่งมีชีวิตในดินหรือสิ่งแวดล้อม เช่น arsenobetaine, aresenochlorine, monomethylasonic acid , methylarsonate และ dimethylarsinic acid เป็นต้น

นอกจากนี้สารประกอบสารหนูอาร์เซเนต (AsO_4^{-3}) สามารถเกิดการรีดักชันเป็นสารหนูอาร์-เซไนต์และเปลี่ยนเป็นแก๊สในชั้นบรรยากาศได้ โดยเรียกแก๊สชนิดนี้ว่า แก๊สอาร์ซีน (AsH_3) โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะเกิดในสภาวะที่ไม่มีอากาศและมีค่ารีด็อกโพเทนเชียลที่ต่ำมาก โดยปกติแก๊สอาร์ซีนเป็นแก๊สที่ไม่มีสี แต่มีกลิ่นฉุนคล้ายกระเทียม และมีระดับความเป็นพิษสูง สามารถถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายและสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 225 องศาเซลเซียส ความเป็นพิษของแก๊สมักเกิด การสัมผัสหรือสูดดม โดยหากร่างกายได้รับแก๊สนี้มากเกินไป จะทำให้การทำงานของไตล้มเหลว เกิดภาวะโลหิตจางเนื่องจากแก๊สนี้เข้าไปทำลายเซลล์เม็ดเลือดแดง โดยการเข้าไปจับกับเซลล์เม็ดเลือดแดง จึงทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงบวมและไม่ทำงาน อย่างไรก็ตามเนื่องจากแก๊สอาร์ซีนมีความเสถียรน้อย

สามารถถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายจึงพบในธรรมชาติได้น้อย ตัวอย่างการเปลี่ยนรูปเป็นแก๊สอาร์ซีน เช่น monomethylarsonic acid (MMAA) เปลี่ยนเป็น monoethylarsine (CH_3AsH)

ปฏิกิริยาเคมีซึ่งเป็นปัจจัยต่อสารหนู รูปของสารหนู การแพร่กะจายและการเคลื่อนที่ของสารหนู ได้แก่ รีด๊อกโพเทนเชียลและพีเอช ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของรีด็อกโพเทนเชียลและพีเอช ดังภาพที่ 2.1 สภาวะที่มีออกซิเจนและพีเอชต่ำจะพบสารหนูในรูป $H_2AsO_4^-$ แต่หากพีเอชสูงขึ้นจะพบสารหนูในรูป $HAsO_4^{-2}$ เมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-12 และพบทั้งสองรูปได้เท่าๆกัน เมื่อพีเอชอยู่ช่วง 7-8 สำหรับสารหนูอาร์เซไนต์มักพบในรูป H_3AsO_3 ซึ่งมีประจุรวมเป็นศูนย์ เมื่อพีเอชมีค่าน้อยกว่า 9 (Mohan, & Pittman, 2011)



ภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของค่ารีด็อกโพเทนเชียลและพีเอชต่อรูปของสารหนูในดินที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ (Mohan, & Pittman, 2011)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณารูปของสารหนูที่พบในดินที่มีพีเอชเป็นกลาง (พีเอช=7) สามารถพบสารอาร์เซเนตและอาร์เซไนต์ในรูปที่แตกต่างกันดังนี้

อาร์เซเนต: $HAsO_4^{-2} > H_2AsO_4^- > AsO_4^{-3} > H_3AsO_4$

อาร์เซไนต์: $H_3AsO_3 > H_2AsO_3^- > HAsO_3^{-3} > AsO_3^{-3}$

แหล่งที่พบสารหนู

1.สารหนูที่พบในธรรมชาติ (มิ่งขวัญ รังสรรค์สมบัติ, 2555)

1.1 ในหิน พบสารหนูรวมอยู่กับแร่ต่างๆ หลายชนิด ปริมาณสารหนูที่พบมากที่สุดจะอยู่ในรูปสารประกอบอาร์เซไนด์ (arsenide) และสารประกอบซัลไฟด์ (sulfide) ของทองแดง ตะกั่ว เงิน และทอง โดยแร่ที่พบสารหนูมาก ได้แก่ อาร์เซโนไพไรต์ (arsenopyrit, FeAsS) รีอัลการ์ (realgar,

As_2S_2, As_4S_4) และ ออร์พิเมนต์ (orpiment, As_2S_3) ในตะกอนดินพบสารหนูในรูปออกซิไดซ์ สารหนูที่เป็นธาตุจะพบในปริมาณที่น้อย

1.2 ในอากาศพบอนุภาคสารหนูที่เป็นสารประกอบทั้งในรูปอนินทรีย์ เช่น ในรูปอาร์เซไนต์ และพบในรูปอินทรีย์เช่น สารเมทิลอาร์ซีน โดยในอากาศปกติจะมีปริมาณสารหนูน้อยกว่า 1 นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร

1.3 ในน้ำพบสารหนูในน้ำทั้งในรูปอนินทรีย์และอินทรีย์ ซึ่งสารหนูในน้ำที่อยู่ในรูปอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นประเภท เมทิลอาร์โซนิกแอซิด (methylarsonic acid) และไดเมทิลอาร์ซินิกแอซิด (dimethylarsinic acid) ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าสารหนูในรูปอนินทรีย์

1.4 ในดินพบสารหนูได้หลายชนิดทั้งในรูปอินทรีย์และอนินทรีย์ พบว่า สารหนูแต่ละชนิดสามารถระเหยเป็นก๊าซ (gaseous arsines) ได้โดยจุลินทรีย์ ซึ่งสารประกอบที่มีพิษมากต่อสิ่งมีชีวิตคือสารหนูที่อยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ (As (V), As (III) และ gas ซึ่งจะมีความเป็นพิษที่แตกต่างกัน สารหนูที่ตรวจพบบ่อยในดินส่วนมากอยู่ในรูป As (V)

2. กิจกรรมของมนุษย์

ถือเป็นแหล่งที่ทำให้สารหนูในสิ่งแวดล้อมเพิ่มปริมาณได้มาก เช่น การทำเหมืองแร่ การถลุงโลหะ ในการผลิตสารหนูตัวเริ่มต้นที่จะผลิต คือ อาร์เซนิกไตรออกไซด์(arsenictrioxide, As_2O_3) ซึ่งทำโดยนำแร่ที่มีสารหนูมาถลุงซึ่งสารหนูทั้งหมดที่ปนในแร่จะลอยเข้าสู่อากาศในลักษณะฝุ่นละอองเล็กๆ หลังจากนั้นจะเก็บรวบรวมฝุ่นละอองเหล่านี้นำมาเตรียมเป็นอาร์เซนิกไตรออกไซด์และนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

นอกจากนี้จะเห็นว่าสารหนูถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ได้แก่ ด้านการเกษตรและด้านอุตสาหกรรม รายละเอียดดังต่อไปนี้ (มิ่งขวัญ รังสรรค์สมบัติ, 2555)

<u>ด้านการเกษตร</u>

- ใช้เป็นสารป้องกันและกำจัดแมลง
- ใช้เป็นสารกำจัดวัชพืช
- ใช้เป็นน้ำยารักษาเนื้อไม้
- ใช้ผสมในสารเคมีอื่นๆเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝ้าย

<u>ด้านอุตสาหกรรม</u>

- ใช้ผสมกับโลหะอื่น เช่น ตะกั่ว ทองแดง เป็นโลหะอัลลอยด์หรือโลหะผสม เพื่อทนต่อการกัดกร่อน
- ใช้เป็นวัตถุกึ่งตัวนำ
- ใช้เป็น silver reducer ในอุตสาหกรรมกระจกเงา
- สารประกอบอินทรีย์อาร์ซินิกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตพลาสติก

อันตรายของสารหนูต่อสุขภาพ

1. การเข้าสู่ร่างกาย

การเข้าสู่ร่างกายแบ่งออกได้เป็น 3 ทาง คือ (มิ่งขวัญ รังสรรค์สมบัติ, 2555)

1.1 ทางการหายใจ ร่างกายมนุษย์จะหายใจสารหนูอนินทรีย์ เนื่องจากการทำงานหรือระหว่างการสูบบุหรี่และสารหนูที่หายใจเข้าไปส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแอโรซอลซึ่งเป็นอนุมูลประจุ +3 โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมอนุภาคของสารหนูจะมีขนาดใหญ่เมื่อหายใจเข้าไปในระยะแรกสารหนูจะตกค้างอยู่บริเวณทางเดินหายใจส่วนบน และต่อมาจะถูกดูดซับเข้าไปในระบบทางเดินหายใจหรือทางเดินอาหาร

1.2 ทางเดินอาหารซึ่งการดูดซึมสารหนูอนินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารเกิดจากการรับประทานอาหาร น้ำ เครื่องดื่ม หรือ ยาที่มีสารหนู โดยเฉพาะการบริโภคอาหารทะเลที่มีสารปนเปื้อนสารหนูในปริมาณสูง ซึ่งโดยปกติร่างกายไม่ควรรับเอาสารหนูอนินทรีย์เข้าไปเกิน 0.05 มก. ต่อวัน

1.3 ทางผิวหนัง สารหนูอนินทรีย์สามารถดูดซึมผ่านทางผิวหนังได้ โดยสารหนูที่เข้าทางผิวหนังจะขับออกมาโดยการหลุดลอกของผิวหนัง (Desquamation of Skin) ทางเหงื่อและอาจมีการสะสมในเล็บและผม

2. ความเป็นพิษ

2.1 ความเป็นพิษต่อสัตว์ สารหนูอนินทรีย์อนุมูลประจุ +3 มีความเป็นพิษมากกว่า +5 เนื่องจากมีคุณสมบัติละลายน้ำซึ่งจะเกิดการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดีโดยปริมาณต่ำสุดที่สารหนูเมื่อฉีดเข้ากล้ามเนื้อหนู (rat) คือ 25 มก./กก. และปริมาณต่ำสุดที่สารหนูทำให้กระต่ายตายเมื่อฉีดเข้าใต้ผิวหนังคือ 300 มก./กก.

2.2 ความเป็นพิษต่อมนุษย์ลักษณะการเกิดพิษจากสารหนูส่วนใหญ่เป็นการเกิดพิษแบบเรื้อรังจากการสัมผัสสารหนูเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลานาน ซึ่งอาการที่แสดงต่อระบบต่างๆ แบ่งออกเป็น

2.2.1 ที่ผิวหนังจะเกิดการระคายเคือง เกิดเป็นโรคผิวหนัง โดยเฉพาะผิวที่อยู่ตามซอกมุมต่างๆ เช่น รักแร้ ซอกคอ หู หนังตา มุมปาก ซึ่งจะเห็นตุ่มแข็งใสพองหรือเกิดผิวหนังแข็งด้าน และที่ฝ่าเท้า ฝ่ามือ ผิวหนังบริเวณนั้นจะหลุดออกมา หรือบริเวณที่สัมผัสจะเป็นจุดสีดำ คล้ายกับหูด และพัฒนาเป็นมะเร็งผิวหนังได้

2.2.2 ที่เยื่อเมือกเมื่อสัมผัสกับฝุ่นผงหรือก๊าซจะทำให้เกิดการระคายเคืองบริเวณนั้น และฝุ่นผงบางส่วนจะลงไปในปอดทำให้มีอาการคล้ายกับเป็นหวัดคัดจมูก

2.2.3 ตา เกิดอาการตาแดง ตาอักเสบ

2.2.4 ระบบหายใจ สารหนูจะสะสมที่ปอด ทำให้หลอดลมเกิดการอักเสบอาจมีผลทำให้เกิดมะเร็งปอด

2.2.5 ระบบประสาท เมื่อสารหนูเข้าสู่ระบบการไหลเวียนของเลือด ซึ่งจะส่งผลต่อน้ำย่อยที่ช่วยในการเมตาบอลิซึมทำให้เกิดการเบื่ออาหาร ปลายประสาทอักเสบ แขนขาชาและอาจเป็นอัมพาตได้

2.2.6 สมอง ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อสมอง กระสับกระส่าย ความจำเสื่อม

2.2.7 อื่นๆ เช่น เกิดภาวะโลหิตจาง อาการทางตับ ไต

การปนเปื้อนของสารหนูในประเทศไทย

ประเทศไทยพบการปนเปื้อนของสารหนูครั้งแรกทั้งในดิน ในแหล่งน้ำและในน้ำใต้ดิน ในพื้นที่ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งในพื้นที่บริเวณการทำเหมืองแร่ดีบุก โดยพบสารหนูปนเปื้อนในดินตั้งแต่ปริมาณ 21-16,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่บ่อบาดาลมีปริมาณสารหนูปนเปื้อนสูงถึง 50 มิลลิกรัม/ลิตร สารหนูที่ปนเปื้อนในอำเภอร่อนพิบูลย์จะเป็นแร่ aeropyrite (FeAsS) ที่มากับสายแร่ดีบุกหรือเป็นแร่อื่นที่มีซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบ (เพชรดา เจริญมิตร, 2554) การแพร่กระจายของสารหนูใน arsenopyrite ที่ปนเปื้อนกับสายแร่ถูกขุดออกมาเมื่อเข้าสู่กระบวนการแยกแร่ arsenopyrite จะถูกแยกออกมากับหางแร่และทิ้งไว้ ทำให้เกิดการออกซิเดชันกับอากาศและน้ำเกิดการแพร่กระจายลงสู่ดินและแหล่งน้ำใกล้เคียง โดยส่วนใหญ่บริเวณที่เสี่ยวต่อการปนเปื้อนสารหนูได้แก่ เหมืองแร่ถ่านหิน ดีบุก ทองคำ ตะกั่ว และเงิน ที่มีการปิดการทำเหมืองและไม่มีการเก็บกากแร่ หรือปล่อยทิ้งให้สัมผัสกับน้ำหรืออากาศ ซึ่งเป็นการเร่งให้เกิดการสลายตัวและการแพร่กระจายไปยังแหล่งน้ำต่างๆ ต่อไปการปนเปื้อนของสารหนูที่เกิดขึ้นใน อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ทำให้ที่เกิดโรคไข้ดำระบาดแก่ประชาชนในพื้นที่ดังกล่าว เป็นผลมาจากพิษของสารหนูที่สะสมในร่างกายมากกว่าปกติเนื่องจากพบว่าประชาชนเหล่านั้นดื่มน้ำ และใช้น้ำจากบ่อน้ำผิวดินที่มีสารหนูปนเปื้อนสูงเป็นประจำ ซึ่งปัญหาการแพร่กระจายของสารหนูในแหล่งน้ำและดินที่อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นปัญหาที่สะสมมากกว่า 30 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ 2530 ถึงปัจจุบัน เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเคยเป็นเหมืองแร่ดีบุกมาก่อนและพื้นที่ผ่านการทำเหมืองแล้วจะถูกให้ปล่อยให้รกร้างทั่วไป ประชาชนก็เข้าไปอยู่อาศัย บางแห่งก็ปล่อยให้เป็นบ่อ แอ่งรับน้ำ เพื่อใช้สอยของชาวบ้านต่อไป สารหนูก็จะปนอยู่ในน้ำทำให้ประชาชนมีโอกาสรับสารหนูได้โดยตรงจากการบริโภค และทางอ้อม คือการบริโภคพืชผัก ผลไม้ ที่ปลูกกินเองในพื้นที่ดังกล่าวที่มีปริมาณการสะสมของสารหนูในปริมาณที่สูงซึ่งทำให้สารหนูที่ปนเปื้อนอยู่ในดินถูกพืชผักดูดดึง (uptake) สารหนูเข้าไปส่วนต่างๆ ของพืช เมื่อมนุษย์กินพืชผักเหล่านี้เข้าไปจะทำให้สารหนูเข้าไปสะสมในร่างกายเพิ่มขึ้น

นอกจากพื้นที่การทำเหมืองแร่ดีบุกที่พบปัญหาการปนเปื้อนสารหนูในแหล่งน้ำและดินแล้ว ปัจจุบันบริเวณเหมืองแร่ทองคำที่ อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย จากรายงานของศูนย์วิจัย น้ำบาดาล ทำการตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมทั้งในและนอกบริเวณโครงการเหมืองแร่ทองคำ อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย พบการปนเปื้อนของโลหะหนักหลายชนิด โดยเฉพาะดินบริเวณโดยรอบโครงการเหมืองแร่ทองคำซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ทำการเกษตรพบว่า บางแห่งมีปริมาณสารหนูสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนด คือ 3.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งมาตรฐานคุณภาพดินที่อยู่ในเขตที่อยู่อาศัยและเกษตรกรรม (เพชรดา เจริญมิตร, 2554) จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการพบสารหนูในสิ่งแวดล้อมปริมาณสูงนี้อาจส่งผลกระทบต่อต่อสิ่งแวดล้อมและชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชนที่อยู่บริเวณโดยรอบ เนื่องจากสารหนูนั้นมีพิษที่รุนแรงหากได้รับสารหนูติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้ผิวหนังหนาขึ้นมีรอยด่างดำที่ผิวหนังและก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้

การลดการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินโดยใช้ phytotechniques

การลดการปนเปื้อนของโลหะหนักหรือการลดการเคลื่อนที่ (mobility) ของโลหะหนักในดินจะช่วยลดการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากดินสู่ต้นพืช ซึ่งเทคนิค phytotechniques ได้แก่

1. การใช้สารปรับปรุงดิน (soil amendment) การใช้สารปรับปรุงดินเพื่อปรับปรุงดินให้มีคุณสมบัติของดินให้ดีขึ้น เช่น การระบายอากาศ การซึมน้ำ การอุ้มน้ำ ดูดยึดธาตุอาหาร และลดความเป็นกรดของดิน ตลอดจนลดการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน โดยสารปรับปรุงดินที่ใช้มีหลากหลาย เช่น ตะกอนน้ำเสีย ปุ๋ยคอก มูลไก่ มูลสุกร ซังข้าว ซังข้าวโพด แร่ดินเหนียว K_2HOP_4 Zeolite ปูนขาว ยิปซั่ม ฟอสเฟต ออกไซด์ของเหล็ก ออกไซด์ของอลูมิเนียม ออกไซด์ของแมงกานิส และไบโอชาร์ (biochar) ส่วนใหญ่แล้วการใช้สารปรับปรุงดินจะช่วยลดปริมาณของโลหะหนักที่จะถูกดูดดึง (uptake) เข้าไปในพืชจะอาศัยกลไกหลากหลาย ได้แก่ การดูดซับ (adsorption) การตกตะกอน (precipitation) การตรึง (immobilization) และการทำให้เสถียร (stabilization) ของโลหะหนักในดิน (Mahar, Ping, Ronghua, & Zengqiiang, 2015) ซึ่งเมื่อพืชมีการสะสมแคดเมียมลดลงจนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมนุษย์สามารถนำพืชเหล่านั้นมาบริโภคได้

2. การใช้พืชในการบำบัด (Phytoremediation) เป็นการใช้พืชในการบำบัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนทั้งอยู่ในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในดิน ในน้ำ และอากาศ เพื่อลดอันตรายของสารมลพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม การบำบัดสิ่งแวดล้อมโดยพืชจัดเป็นระบบบำบัดที่สามารถสร้างขึ้นได้ในราคาที่ไม่สูงมากนัก เป็นการทำงานโดยอาศัยพลังงานทางธรรมชาติ ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี ในขณะที่กิจกรรมทางชีววิทยาของพืชสามารถเปลี่ยนสถานภาพของสารมลพิษไปเป็นสารที่มีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่เป็นพิษได้

การบำบัดสิ่งแวดล้อมโดยพืช (Phytoremediation) สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2.2 ได้แก่ (อลิสา วังใน, 2554)

2.1 Phytoaccumulation (Phytoextraction) คือการกำจัด (Removal) สารมลพิษรวมถึงโลหะหนักจากดินและน้ำโดยการดูดซึม การเคลื่อนย้ายสารมลพิษนั้นเข้าสู่พืชและการสะสมอยู่ในพืช สำหรับในกรณีนี้พืชจะสะสมมลพิษเหล่านี้โดยไม่มีการย่อยสลายต่อไป ซึ่งอาจจะเกิดจากพืชนั้นๆ ขาดกลไกหรือวิถีการย่อยสลาย ที่เหมาะสมต่อสารมลพิษเหล่านี้ จากนั้นพืชที่มีการสะสมสารมลพิษในส่วนต่างๆ เหล่านี้ จะต้องนำไปบำบัดด้วยวิธีการต่างๆ ต่อไปได้แก่ การนำไปเผา ฝังกลบ หรือย่อยสลายโดยใช้จุลินทรีย์ เป็นต้น นอกเหนือจากนำไปบำบัดแล้ว ในกรณีของโลหะหนักที่สะสมอยู่ในพืชอาจนำไปผ่านกระบวนการเพื่อสกัดโลหะหนักเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (recover/extract) โดยพืชที่จะนำมาใช้ในการบำบัดสารมลพิษและโลหะหนักด้วยวิธีนี้ต้องเป็นพืชที่มีความทนทานต่อความเป็นพิษของสารมลพิษนั้นๆ ควรเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และเป็นพืชที่มีรากแขนงที่แผ่ออกไป

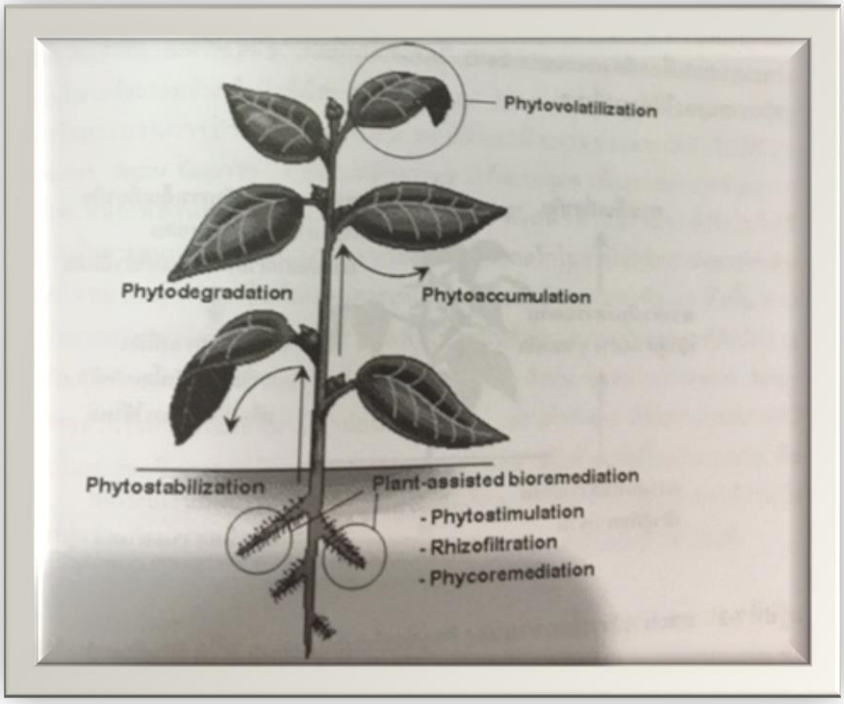
ได้กว้างเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการดูดซึมสารมลพิษ นอกจากนั้นควรมีการสะสมสารพิษในส่วนของพืชที่มีการตัดเก็บแยกออกไปได้ง่ายโดยไม่ต้องตัดทิ้งทั้งต้น เช่น การสะสมที่ใบหัว บางส่วนของราก เป็นต้น

2.2 Phytodegradation (Phytotransformation) คือ การดูดซึมสารพิษเข้าสู่พืชและการเปลี่ยนรูปสารพิษและหรือการย่อสลายสารนั้นโดยพืช ซึ่งกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายหลังที่สารมลพิษได้ถูกดูดซึมจากสิ่งแวดล้อมผ่านรากพืชและถูกลำเลียงเข้ามาในพืชแล้ว หลังจากนั้นสารมลพิษเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนรูปหรือสลายด้วยกระบวนการหรือวิถีเมทาบอลิซึมต่างๆ ในเซลล์พืชจนได้สารผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่มีเลย

2.3 Phytovolatilzation คือ การใช้พืชในการทำให้สารมลพิษบางชนิดเปลี่ยนสภาวะเป็นก๊าซและระเหยออกไปได้ซึ่งเป็นรูปที่มีความเป็นพิษน้อยลงและถูกกำจัดออกจากต้นพืชได้ง่าย

2.4 Phytostabilization คือ การเปลี่ยนรูปสารมลพิษให้อยู่ในรูปที่มีการละลายน้ำได้น้อยลงหรือเปลี่ยนสภาวะประจุเพื่อให้โลหะหนักตกตะกอนออกมา ซึ่งจัดเป็นการสร้างสภาวะเสถียรให้กับสารเหล่านั้น

2.5 Plant-assisted bioremediation คือ การย่อยสลายสารมลพิษด้วยจุลินทรีย์โดยพืชมีส่วนสำคัญในการกระตุ้นหรือช่วยกระบวนการย่อยสลายดังกล่าว



ภาพที่ 2.2 กระบวนการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับ phytoremediation ซึ่งเป็นการใช้พืชเพื่อกำจัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนและตกค้างในสิ่งแวดล้อม (อลิสา วังใน, 2554)

พริกขี้หนู (อภิชาติ ศรีสะอาด และณัฏฐ์ญามนต์ ดิรมรัมย์, 2558)

พริกขี้หนู หรือชื่อวิทยาศาสตร์ *Capsicum flutescens Linn*. เป็นไม้เตี้ยและต้นมีความสูงประมาณ 60 เซนติเมตร ใบแบนเรียบเป็นมัน ปลายใบแหลม มีดอกสีขาว ผลมีลักษณะกลมยาวปลายแหลมชี้ฟ้า ซึ่งต่างจากพริกชี้ฟ้าตรงที่ผลชี้ลงพื้นดิน ส่วนขนาดผลยาวประมาณ 2-3 เซนติเมตร ผลดิบมีสีเขียว ผลแก่มีสีเหลือง สีส้ม สีแดง หรือแดงแก่ และในแต่ละผลมีเมล็ดเรียงรายอยู่จำนวนมาก ซึ่งผลของพริกขี้หนูใช้ประกอบอาหารให้รสชาติเผ็ดร้อน ส่วนยอดอ่อนนำมาลวกเป็นผักแกล้มน้ำพริกได้ หรือนำมาปรุงอาหารประเภทแกงจืด แกงเลียง มีสรรพคุณทางยา ช่วยขับลม ขับปัสสาวะ

การปลูก

1. การเตรียมดิน เริ่มจากการเตรียมดิน เริ่มจากการเตรียมแปลงเพาะ ขุดหน้าลึก 15-20 เมตรผสมกับปุ๋ยหรือปุ๋ยหมักคลุกเคล้าให้เข้ากับดิน 1 เซนติเมตร เตรียมทำเป็นแปลงกว้าง 1 เมตร จากนั้นพรวนดินหรือตีดินให้ละเอียดและปรับหน้าดินให้เรียบเสมอกัน ก่อนหว่านให้ทั่วแปลงหรือหากเลือกปลูกในกระบะเพาะอาจใช้ดินร่วนผสมปุ๋ยหมัก อัตรา 1:1 จากนั้นให้แกลบหรือฟางข้าวบางๆ ทับก่อนรดน้ำให้ชุ่ม เมื่อต้นกล้าอายุประมาณ 25-30 วัน จึงย้ายปลูก การเตรียมแปลงปลูกและการย้ายกล้าใช้จอบขุดหน้าดินลึก 15-20 เซนติเมตร ทำแปลงกว้าง 1 เมตรxความยาวตามความ

เหมาะสมของพื้นที่ จากนั้นนำปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักหว่านให้ทั่วคลุกเคล้ากับดิน ก่อนขุดหลุมปลูกโดยเว้นระยะห่างระหว่างต้น 30 เซนติเมตร ระหว่างแถว 70-80 เซนติเมตร

2. วิธีปลูก รองก้นหลุมด้วยปุ๋ยสูตร หลุมละ 15-15-5½ ช้อนชา ทับหน้าปุ๋ยเคมีด้วยปุ๋ยคอก หลุมละ กะลามะพร้าว จากนั้นถอนแยกต้นกล้าอย่างระวัง 1 โดยการย้ายต้นกล้าลงปลูกควรทำทันทีและเป็นช่วงเย็น จากนั้นนำต้นกล้าลงหลุมปลูก หลุมละ ต้น จากนั้นรดน้ำตามให้ชุ่ม 1

วิธีการดูแลรักษา

1. การให้น้ำ ควรให้น้ำเพียงพอและสม่ำเสมอ แต่อย่ารดให้แฉะเกินไปโดยการให้น้ำควรให้ทุกวัน หลังการปลูกจนต้นกล้าตั้งตัวได้ประมาณ 5-6 สัปดาห์ จากนั้นค่อนลดปริมาณน้ำลง ซึ่งอาจรด 1 วันหรือหยุด 2 วันก็ได้ ทั้งนี้ต้องดูสภาพความชื้นของดินด้วย อย่าให้แฉะหรือแห้งเกิน เพราะจะทำให้พริกชะงักการเจริญเติบโต

2. การใช่ปุ๋ย ให้บำรุงพริกด้วยการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร ช้อน 1 อัตรา 21-13-13 หรือ 15-15-15 ชา/ต้น ทุกๆ เซนติเมตร และรดน้ำตามทันที หรือจะเลือกใช้ปุ๋ยคอก 5 วันโดยโรยห่างโคนต้น 20-15 กำมือ 2-1 ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยหมักชีวภาพประมาณ/ต้น โรยรอบโคนต้นทุกๆ วันก็ได้ 20

3. การป้องกันและการกำจัดศัตรูพืช ฉีดพ่นน้ำหมักชีวภาพทุก วัน 15-10/ครั้ง จะช่วยบำรุงและป้องกันโรคพืชหรือศัตรูพืชได้อีกทาง

วิธีการเก็บเกี่ยว

พริกเป็นพืชที่มีอายุยืนและปลูกได้ผลดีตลอดปี มีอายุการเก็บเกี่ยวได้หลังจากย้ายกล้าลงปลูก 60-90 วันการเก็บเกี่ยวควรเก็บทุก 5-7 วัน โดยใช้วิธีเด็ดทีละผล อย่าเก็บทั้งช่อ เพราะผลแต่ละช่อแก่ไม่พร้อมกัน โดยพริกขี้หนูสามารถเก็บได้ยาวนานถึง 6 เดือน

มะเขือเปราะ (อภิชาติ ศรีสะอาด และณัฏฐ์ญามนต์ ดิรมรัมย์, 2558)

มะเขือเปราะ ชื่อวิทยาศาสตร์ *Solanum xanthocarpum Schrad & Wendl* เป็นพืชประเภทไม้ล้มลุกที่มีอายุยืนหลายปี ปลูกง่ายเจริญเติบโตเร็วในแทบทุกชนิด สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีและสมารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานต่อเนื่องถ้ามีการดูแลรักษาที่ดี

การปลูก

1. การเตรียมดิน ไถดินให้ลึก 30-40 เซนติเมตร ตากดินไว้ 7-10 วันย่อยดินให้ละเอียดหว่านปูนขาวอัตรา 100-200 กิโลกรัม/ไร่ ใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมัก อัตรา 2000 กิโลกรัม/ไร่และใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ คลุกเคล้าให้ทั่ว จากนั้นยกแปลงสูง 30 เซนติเมตร กว้าง 120 เซนติเมตร

2. วิธีปลูก เริ่มจากเตรียมถาดเพาะ ร่อนดิน 3 ส่วน ปุ๋ยคอก 1 ส่วนทรายหรือแกลบ 1 ส่วน รดน้ำให้ชุ่มแล้วหยอดเมล็ดลงในถาดหลุมๆ ละ 1 เมล็ด โดยรดน้ำเช้า-เย็น หลังจากนั้นขุดหลุมปลูก

ลึกประมาณ10-20 เซนติเมตร นำกล้ามะเขือเปราะที่มีอายุ 15 วัน หรือมีใบจริง 3-4 ใบ มาปลูกตามหลุมที่กำหนดกลบดินหรือรดน้ำ

วิธีการดูแลรักษา

1. การให้น้ำ หลังย้ายกล้าต้องรดน้ำเช้า-เย็นอย่างสม่ำเสมอแล้วและเมื่อกล้าตั้งต้นดีแล้วให้ลดลงเหลือวันละ 1 ครั้ง

2. การใส่ปุ๋ย หลังย้ายปลูกได้ 7-10 วัน ให้ใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21หรือ 8-24-24 อัตราประมาณ 50-100 กิโลกรัม/ไร่ โดยทยอยแบ่งใส่ทุก 20 วัน ในช่วงออกดอกติดผล

3. การป้องกันและการกำจัดศัตรูพืช สำหรับศัตรูพืชส่วนใหญ่จะเป็นหนอนเจาะผล เพลี้ยไฟ ด้วงเต่ามะเขือ การป้องกัน สามารถทำได้โดยการฉีดพ่นด้วยสารสะเดา การใช้เชื้อ BT (ฟลอร์แบค) ใช้น้ำแบบสปริงเกอร์ฉีดพ่นช่วงบ่าย

วิธีเก็บเกี่ยว

อายุการเก็บเกี่ยว 65-70 วัน หรือหลังดอกบาน 7-10 วัน โดยการเก็บเกี่ยวจะต้องให้มีขั้วของมะเขือติดมากับผลด้วย

กระบวนการดูดซับ (Adsorption)

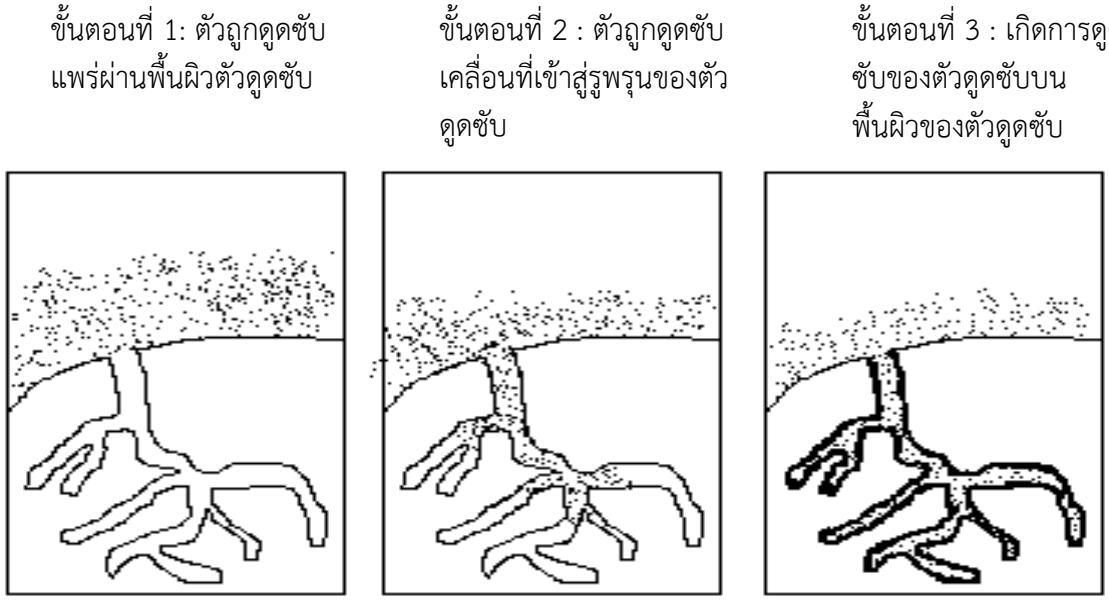
การดูดซับ (Adsorption) เป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับหรือดูดติดอยู่บนผิวของของแข็ง การดูดซับหรือการดูดติดผิวนี้จะเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (Mass Transfer) ระหว่างสถานะต่างๆ ทั้ง 3 สถานะ คือ ของเหลว ก๊าซ และของแข็ง ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็งและของเหลว-ของแข็ง

กลไกการดูดซับที่เกิดขึ้นในระหว่างการดูดซับ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้ :

ขั้นตอนที่ 1 การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ เข้าหาตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ จะเกิดการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มของน้ำ (Film diffusion) ซึ่งตามปกติตัวดูดซับจะมีฟิล์มของน้ำบางๆ ห่อหุ้มอยู่โดยรอบคล้ายเยื่อบางๆ และเกิดการแพร่เข้าสู่โพรงหรือช่องว่างภายในของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 เกิดการดูดซับระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวภายในโพรงหรือช่องว่างภายในของตัวดูดซับ



ภาพที่ 2.3 กลไกการดูดซับ (Mckey, 1996)

ประเภทของการดูดซับ

แบ่งประเภทการดูดซับเป็น 3 ประเภท ได้แก่ (Noll, Gounaris, & Hou, 1992)

1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) โดยเกิดจากแรงดึงดูดอย่างอ่อนระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับโดยตัวที่ถูกดูดซับและตัวดูดซับจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีใดๆ การดูดซับแบบนี้สามารถผันกลับได้ (reversible) การดูดซับทางกายภาพซึ่งบางทีเรียกว่า การดูดซับด้วยแรงวัลเดอร์วาล (van der waal's adsorption)

2. การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) การดูดซับทางเคมีจะเกี่ยวข้องกับพันธะทางเคมีระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตำแหน่งดูดซับ (adsorption site) ที่ผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมีบางครั้งจะต้องการพลังงานเข้าร่วมด้วยเรียกว่าการดูดซับด้วยการกระตุ้น (activated adsorption) พันธะที่เกิดขึ้นแข็งแรงกว่าการดูดซับทางกายภาพ ตำแหน่งที่เกิดการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของตัวดูดซับในลักษณะชั้นเดียว (monolayer) ซึ่งต่างจากการดูดซับทางกายภาพที่การดูดซับเกิดในลักษณะหลายชั้น (multilayer) และพบว่า ค่า H ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 40 to 1,000 $kJmol^{-1}$

3. การดูดซับด้วยประจุ (Ionic adsorption) เป็นการดูดซับระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่พื้นผิวด้วยแรงของประจุที่ตรงข้ามกัน (electrical attraction) ทำให้ไอออนของตัวถูกดูดซับติดอยู่ที่พื้นผิวตัวดูดซับในตำแหน่งที่มีประจุตรงข้ามกัน ไอออนที่มีประจุสูงจะถูกดูดติดได้ดีกว่าพวกที่มีประจุต่ำๆ และไอออนที่มีขนาดเล็ก

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับขึ้นอยู่หลายปัจจัยได้แก่ ได้แก่ (Solmaz, Abdulkerim, Adril, & Yada, 2000)

1. ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของตัวดูดซับ คือ ขนาด และพื้นที่ผิว ขนาดของตัวดูดซับมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดซับในทางลบ กล่าวคือ อัตราเร็วการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับดังนั้นตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กจึงมีอัตราเร็วในการดูดติดผิวสูงกว่าขนาดใหญ่ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) นั่นคือตัวดูดซับที่มีพื้นผิวมากย่อมดูดโมเลกุลตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย

2. ค่าความเป็นกรด- ด่าง (พีเอช)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) เนื่องจากที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำๆ จะมีปริมาณไฮโดรเนียมไอออนมากกว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงๆ ซึ่งจะมีผลต่อค่าการดูดซับหรือไม่นั้น ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ กล่าวคือในกรณีที่ตัวถูกดูดซับมีประจุเป็นบวกและตัวดูดซับมีตำแหน่งดูดซับที่มีประจุเป็นลบ ถ้าสารละลายมีค่าพีเอชต่ำจะทำให้ความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากการแย่งกันที่จะถูกดูดซับของตัวถูกดูดซับที่มีประจุบวกกับไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+)ในสารละลาย แต่จะได้ผลในทางตรงกันข้ามกัน เมื่อการดูดซับอยู่ในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงๆ เนื่องจากไฮโดรเนียมไอออนมีปริมาณน้อยลงและปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เพิ่มขึ้น จึงลดผลในการเข้าแย่งจับหรือดูดซับกับตัวถูกดูดซับและในกรณีที่ตัวถูกดูดซับมีประจุเป็นลบก็จะให้ผลตรงกันข้ามในทำนองเดียวกัน

3) อุณหภูมิ

ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับขึ้นอยู่กับว่าการดูดซับในระบบเป็นประเภทใด คือ ถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพ อุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเปลี่ยนแปลงไปในทางน้อยลงหรือคงที่ ถ้าเป็นการดูดซับทางเคมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นไปด้วย เนื่องจากอิทธิพลของความร้อนจะช่วยเร่งการสร้างพันธะเคมีให้เร็วขึ้นและเพิ่มโอกาสที่ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกับตำแหน่งดูดซับของตัวดูดซับได้มากขึ้น

4) ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับต่อการดูดซับ

เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลตัวถูกดูดซับจะถูกดึงดูดออกจากน้ำก่อน แล้วจึงไปเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่มีความสามารถละลายน้ำได้ดีย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่นมากกว่าสารที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยกว่า จึงทำให้ยากต่อการดูดซับมากกว่าสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยกว่า อย่างไรก็ตามเกณฑ์ข้างบนไม่ได้เป็นจริงเสมอไปทั้งนี้เพราะมีสารที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิดเกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้อย่างเต็มที่ว่า ความสามารถในการดูดซับและความสามารถในการละลายน้ำมีความสัมพันธ์กันอย่างแน่นอนในเชิงปริมาณ

5. ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ

ขนาดของสารหรือโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะมีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการดูดซับเมื่อน้ำหนักโมเลกุล และขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น เช่น การดูดซับกรดอินทรีย์โดยถ่านกัมมันต์ จะพบว่าถ่านกัมมันต์ดูดซับกรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก และกรดบิวเทอริกได้มากขึ้นตามลำดับของขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อการละลายด้วย โดยสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างที่ยาวมักจะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ลดลง จึงส่งผลทำให้เกิดการดูดซับโดยตัวดูดซับมากขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น แต่ในกรณีที่ตัวดูดซับมีรูพรุนมาก สารที่มีโมเลกุลเล็กกว่ารูพรุนมักจะถูกดูดซับได้ดีมากกว่าสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เนื่องจากสารโมเลกุลขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้ารูพรุนได้ และพื้นที่ผิวภายนอกที่จะดูดซับมีอยู่น้อย เนื่องจากพื้นผิวภายนอกเป็นรูพรุน

ไบโอชาร์

ไบโอชาร์ (Biochar) หรือถ่านชีวภาพคือวัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอน ผลิตจากชีวมวล (Biomass, วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ได้แก่ เหง้ามันสำปะหลัง ฟางข้าว ซังข้าวโพด กิ่งไม้ เป็นต้น โดยผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนโดยไม่ใช้ออกซิเจน หรือใช้น้อยมาก (ไพโรไรซิส, Pyrolysis) ซึ่งมีสองวิธีหลักๆ คือ การแยกสลายอย่างเร็วและอย่างช้า การผลิตถ่านชีวภาพด้วยวิธีการแยกสลายอย่างช้าที่อุณหภูมิเฉลี่ย 500 องศาเซลเซียส จะได้ผลผลิตของถ่านชีวภาพมากกว่า 50% แต่จะใช้เวลาเป็นชั่วโมง ซึ่งต่างจากวิธีการแยกสลายอย่างเร็วที่อุณหภูมิเฉลี่ย 700 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาเป็นวินาที ผลผลิตที่ได้จะเป็นน้ำมันชีวภาพ (bio-oil) 60% แก๊สสังเคราะห์ (syngas) 20% และถ่านชีวภาพ 20% (อรสา สุกสว่าง, 2552)

ถ่านชีวภาพ มีความหมายต่างจากถ่านทั่วไป (charcoal) ตรงจุดมุ่งหมายการใช้ประโยชน์ คือถ่านทั่วไปจะหมายถึงถ่านที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงขณะที่ไบโอชาร์คือถ่านที่ใช้ประโยชน์เพื่อกักเก็บคาร์บอนลงในดินและปรับปรุงสภาพทางกายภาพของดิน เนื่องจากคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ คือ มีรูพรุนตามธรรมชาติเมื่อใส่ลงในดินจะช่วยการระบายอากาศ การซึมน้ำ การอุ้มน้ำ ดูดยึดธาตุอาหารเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ ลดความเป็นกรดของดิน นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยให้สูงขึ้น ทำให้ประหยัดการใช้ปุ๋ย ลดต้นทุน เพิ่มรายได้ เพิ่มผลผลิต เป็นเทคโนโลยีที่สามารถพัฒนาได้ตั้งแต่ระดับเกษตรกร ครัวเรือน ชุมชนและองค์ส่วนท้องถิ่น ในการผสมถ่านที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้ลงไปในดิน ท่านยังได้มีบทบาทในการช่วยลดภาวะโลกร้อน เนื่องจากถ่านชีวภาพเป็นคาร์บอน มีความทนทานต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และสูญหายไปจากดินได้ยากดังนั้นจึงสะสมอยู่ในดินเป็นการเพิ่มคาร์บอนให้แก่ดินแทนที่จะเผากลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศอันเป็นตัวการหนึ่งของภาวะโลกร้อน (อรสา สุกสว่าง, 2552)

ถ่านชีวภาพไม่ใช่ปุ๋ย แต่ลักษณะถ่านที่เป็นรูโพรงเมื่อนาถ่านมาผสมกับปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก รูโพรงนี้เมื่ออยู่ในดินจะช่วยเก็บธาตุอาหารจากปุ๋ยและเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชได้นาน ซึ่งจะช่วยให้ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยลงได้

ภาพที่ 2.4 ลักษณะถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกิ่งไม้ (อรสา สุกสว่าง, 2552)

ประโยชน์ของการใช้ถ่านชีวภาพมีหลายด้านได้แก่

1. ช่วยปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรเนื่องจากเมื่อนาถ่านชีวภาพลงดิน ลักษณะความเป็นรูพรุนของถ่านชีวภาพจะช่วยกักเก็บน้ำและอาหารในดิน และเป็นที่อยู่ให้กับจุลินทรีย์สำหรับทำกิจกรรมเพื่อสร้างอาหารให้ดิน เมื่อดินอุดมสมบูรณ์จะส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มขึ้น

2. ช่วยผลิตพลังงานทดแทนซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกเนื่องจากกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพจากมวลชีวภาพเป็นการแยกสลายด้วยความร้อนจะให้พลังงานชีวภาพที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อการขนส่งและในระบบอุตสาหกรรมได้ อาทิ เชื้อเพลิงชีวภาพ และยังสามารถได้รับการพัฒนาเพื่อการพาณิชย์ในด้านต่างๆ เช่น กระแสไฟฟ้า การสกัดสารชีวภาพ และองค์ประกอบของยาเป็นต้น

3. ช่วยลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นการบรรเทาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเนื่องจากถ่านชีวภาพสามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศในระยะยาวได้ด้วยการกักเก็บคาร์บอนในดิน

4. ช่วยในกระบวนการจัดการของเสียประเภทอินทรียวัตถุ ได้เนื่องจากเทคโนโลยีถ่านชีวภาพมีศักยภาพในการกำจัดของเสียโดยเฉพาะการกาจัดกลิ่นทาให้เกิดสิ่งแวดล้อมเป็นมิตรได้

5. ช่วยในการดูดซับโลหะหนักในดินและในน้ำทั้งนี้เนื่องจากผิวของไบโอชาร์ (surfaces of biochas) ส่วนใหญ่มีสภาพเป็นประจุลบ (negative charges)จึงสามารถจับกับโลหะหนักที่เป็นประจุบวกได้ดี นอกจากนี้แล้วผิวของไบโอชาร์ยังมีหมู่ฟังก์ชันหลายอย่าง เช่น คาร์บอกซิลิก (carboxylic groups) แลคโตน (lactone groups) และหมู่ฟังชั่นที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสามารถดูดซับโลหะหนักได้เพิ่มขึ้น (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2555)

เถ้าลอยชานอ้อย เถ้าแกลบ และเถ้าขี้เลื่อย

เถ้าลอยชานอ้อย (bagasse fly ash) ที่ใช้ในการทดลองจัดเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งของโรงงานผลิตน้ำตาลอันเนื่องมาจากโรงงานอุสาหกรรมผลิตน้ำตาลใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ (boiling) เถ้าขี้เลื่อยก็ เป็นวัสดุที่เหลือจากการเผาเศษไม้ ปีกไม้ที่เหลือทิ้งจากโรงเลื่อย โรงงานเฟอร์นิเจอร์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนเถ้าแกลบเป็นวัสดุที่ได้จากการเผาไหม้แกลบจากโรงสีข้าว

ก. เถ้าขี้เลื่อย

ข. เถ้าลอยชานอ้อย

ค. เถ้าขี้เลื่อย

ภาพที่ 2.5 เถ้าขี้เลื่อย เถ้าลอยชานอ้อย และเถ้าแกลบ

ดินขาว

ดินขาว (Kaolin) จัดเป็นแร่อโลหะอยู่ในกลุ่มพวกแร่ดิน เป็นกลุ่มแร่ที่มีโครงสร้างเป็นอะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicates) ชนิดที่เป็นแผ่นและเป็นชั้นๆ โดยโครงสร้างย่อยใน 1 หน่วยจะประกอบด้วยชั้นของ tetrahedral silica sheet และ octahedral alumina sheet ส่วนดินขาว (Kaolin) ใน 1 หน่วย ประกอบด้วยชั้นของ tetrahedral silica sheet 1 ชั้น และ octahedral alumina sheet 1 ชั้นหรือ layer type 1:1 ดินขาวในแต่ละแหล่งจะมีสารประกอบของธาตุต่างกัน เช่น ดินขาวระนอง มีผลวิเคราะห์ทางเคมีคือ SiO_2 61.5 %, Al_2O_3 26.0 %, Fe_2O_3 0.7 %, CaO 0.1 %, MgO 0.8 % (Aung, Tertre,Suksabye, Worasith, & Thiravetyan, 2015)

สำหรับประเทศไทยมีปริมาณดินขาวในปริมาณสูง โดยมีแหล่งผลิตหลายจังหวัดในประเทศไทย ได้แก่ เชียงราย ลำปาง อุตรดิตถ์ ปราจีนบุรี ระนอง ชุมพร และนราธิวาส ซึ่งปริมาณที่ผลิตได้ในปี 2555 ปริมาณ 131,131 ตัน (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2555) โดยปริมาณดินขาวที่ผลิตได้ดังกล่าวจะถูกนำมาเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในเชิงพาณิชย์ เช่นในอุตสาหกรรมเซรามิก เครื่องปั้นดินเผา กระดาษ ยาง สี พลาสติก เครื่องสำอาง ฉนวนไฟฟ้า วัตถุทนไฟ และผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wang, Gao, Zimmerman, Li, Ma, & Harris (2015) ศึกษาการกำจัดสารหนูด้วยไบโอชาร์ที่ทำจากเศษไม้เนื้ออ่อนที่ผ่านการปรับสภาพคล้ายแม่เหล็ก (magnetic biochar) ด้วยแร่ hematite ผลการศึกษาพบว่า การดูดซับสารหนูในน้ำด้วยไบโอชาร์ที่ปรับสภาพคล้ายแม่เหล็ก (magnetic biochar) ด้วยแร่ hematite (HPB) จะมีประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู (As(V)) ได้สูงกว่าไบโอชาร์ที่ไม่ถูกปรับสภาพ โดยความจุของการดูดซับสารหนูตามสมการแลงเมอร์ (Langmuire equation) ของด้วยไบโอชาร์ที่ปรับสภาพคล้ายแม่เหล็ก (magnetic biochar) ด้วยแร่ hematite มีค่าสูงถึง 428 mg As/kg ของตัวดูดซับ ขณะที่ไบโอชาร์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีความจุตามสมการแลงเมอร์เพียง 265.2 mg As/kgของตัวดูดซับ ทั้งอาจเนื่องจากด้วยไบโอชาร์ที่ปรับสภาพคล้ายแม่เหล็ก (magnetic biochar) ด้วยแร่ hematite จะมี Fe_2O_3 อยู่บนผิวคาร์บอนของไบโอชาร์ทำให้ไบโอชาร์มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กมากขึ้น และมีสภาพเป็นประจุบวกจึงสามารถดูดซับกับสารหนูที่อยู่ในรูป $HAsO_4^{2-}$ ได้เพิ่มขึ้นโดยดึงดูดกันด้วยแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic interaction)

Zhang, & Gao (2013) ศึกษาการกำจัดสารหนู เมทิลีนบลูและฟอสเฟตในน้ำด้วยไบโอชาร์ที่มีองค์ประกอบของ AlOOH อยู่บนผิวของไบโอชาร์ ทั้งนี้ทำโดยการนำชีวมวล (biomass) ไปแช่ในอลูมิเนียมคลอไรด์ ($AlCl_3$) แล้วผ่านการเผา (pyrolysis) ขณะปล่อยแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาลักษณะคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของไบโอชาร์ด้วยกล้องจุลกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) พบว่าจะเห็นอนุภาคของ AlOOH อยู่บนพื้นผิวคาร์บอนที่อยู่ในรูของไบโอชาร์ และผลการศึกษายังมีว่าไบโอชาร์ที่มี AlOOHเป็นองค์ประกอบบนพื้นผิวคาร์บอนมีศักยภาพใน

การดูดซับสารหนู (V) เมทิลีนบลูและฟอสเฟตได้ดีแสดงให้เห็นว่าไบโอชาร์ที่ปรับสภาพที่มีองค์ประกอบของ AlOOH อยู่บนผิวจะมีศักยภาพการกำจัดทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในน้ำได้ดี

Xiu-Zhen, Dong-Mei, Dan-Dan, & Ping (2012) ได้ทำการศึกษาการสะสมของแคดเมียมและสังกะสีในต้นทานตะวันที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมและสังกะสี โดยใช้สารปรับปรุงดินที่แตกต่างกัน ได้แก่ มูลสุกร กรดซาลิไซลิก (salicylic acid) และโปรแตสเซียมคลอไรด์ (KCl) ซึ่งผลการทดลองพบว่า การใช้สารปรับปรุงดินทั้งสามชนิด ทำให้ความสูงของต้นทานตะวันเพิ่มขึ้น เส้นผ่านศูนย์กลางของดอกไม้เพิ่มขึ้น และน้ำหนักเพิ่มขึ้นและผลการทดลองยังพบว่า การใช้มูลสุกรช่วยให้การสะสมของแคดเมียมและสังกะสีในต้นทานตะวันลดลงและค่าของปริมาณ BCF (bioaccumulation coefficient, ค่าความสามารถของพืชในการดึงดูดโลหะหนักจากดินสู่พืช) ลดลงด้วย แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ โปรแตสเซียมคลอไรด์เป็นสารปรับปรุงดินจะทำให้ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในต้นทานตะวันเพิ่มขึ้น และค่า BCF ของแคดเมียมเพิ่มขึ้นด้วยและพบว่า การใช้มูลสุกรและโปรแตสเซียมคลอไรด์เป็นสารปรับปรุงดินจะเพิ่มการเคลื่อนย้ายสังกะสีจากรากไปสู่ส่วนต่างๆของต้นทานตะวันให้สูงขึ้น การใช้มูลสุกรและกรดกรดซาลิไซลิกเป็นสารปรับปรุงดินจะลดปริมาณแคดเมียมต่อสังกะสี (Cd/Zn ratio) ในดอกทานตะวัน ในขณะที่ในการใช้โปรแตสเซียมคลอไรด์ (KCl) จะเพิ่มอัตราส่วนของปริมาณแคดเมียมต่อสังกะสีในดอกทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญและการทดลองยังพบว่า อัตราส่วนของแคดเมียมต่อสังกะสีในรากของต้นทานตะวัน จะมีผลต่อปริมาณ K/Na ในรากและปริมาณของโปรแสเซียม (K) ในดิน ดังนั้นจะเห็นว่าการปลูกต้นทานตะวันในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมและสังกะสีโดยใช้โปรแตสเซียมคลอไรด์เป็นสารปรับปรุงดินเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ

Beesley et al. (2013) ได้ทำการศึกษาผลของไบโอชาร์ต่อความเข้มข้นของสารหนูในดินในน้ำในดินและในต้นมะเขือเทศ ที่ปลูกในดินจากเหมืองแร่ที่มีปริมาณสารหนูประมาณ 6000 mg/kg โดยการทดลองจะมีเงื่อนไขที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ย NPK เป็นปุ๋ยระหว่างปลูก และผลการการทดลองพบว่าใส่ไบโอชาร์จะทำให้สารหนูในน้ำในดิน (soil pore water) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ ความเข้มข้นของสารหนูในรากและลำต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ไบโอชาร์เป็นสารปรับปรุงดิน และปริมาณความเข้มข้นของสารหนูในผลมะเขือเทศต่ำมากเพียง<3 µg/kg ชี้ให้เห็นว่าความเป็นพิษน้อยมากๆ ส่วนการทดลองที่เติมปุ๋ย NPK ในดินด้วยพบว่า การวัดการเจริญเติบโตของมะเขือเทศในรูปน้ำหนักของต้นมะเขือเทศจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีไม่ใส่ปุ๋ย NPK ต้นมะเขือเทศจะแคะและซีด

Agrafioti, Kalderis, & Diamadopoulos (2014a) ศึกษาการกำจัดสารหนูและโครเมียมด้วยไบโอชาร์จากแกลบ จากกากตะกอนของน้ำเสีย (sewage sludge) และของแข็งอินทรีย์ (organic solid waste) พบว่าประสิทธิภาพของไบโอชาร์ทั้งสามมีประสิทธิภาพการบำบัด Cr (III) สูงกว่า 95% และพบว่า ไบโอชาร์จากกากตะกอนน้ำเสียมีประสิทธิภาพการบำบัด Cr (VI) ได้ร้อยละ 89% และมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารหนู (V) ได้ร้อยละ 53% ซึ่งสูงกว่าไบโอชาร์จากแกลบและของแข็งอินทรีย์ อาจเนื่องจากในเถ้าของกากตะกอนน้ำเสียมีปริมาณของเหล็ก (Fe_2O_3)เป็นองค์ประกอบอยู่สูงจึงสามารถดูดซับสารหนู (V) โดยการตกตะกอน (precipitation) ได้เพิ่มขึ้น

Agrafioti, Kalderis, & Diamadopoulos (2014b) ศึกษาการกำจัดสารหนูและโครเมียมในน้ำด้วยไบโอชาร์ (จากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและแกลบ) ที่ปรับสภาพด้วยแคลเซียม (Ca) และเหล็ก (Fe) ผลการทดลองพบว่าการปรับสภาพด้วย Ca^{2+} และ Fe^{3+} ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารหนู (V) เพิ่มขึ้น โดยมีประสิทธิภาพมากกว่า 95% ยกเว้นแกลบที่ปรับสภาพด้วย Fe^{0} มีประสิทธิภาพการบำบัดสารหนูเพียงร้อยละ 58% ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม (VI) สูงกว่า 95% เมื่อใช้แกลบปรับสภาพด้วย Fe^{3+} โดยกลไกการดูดซับระหว่างสารหนู (V) และโครเมียม Cr (VI) จะดูดซับด้วย การตกตะกอนและด้วยแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic interacton)

Sneath, Hutching, & Frans de Leij (2013) ศึกษาการใช้ไบโอชาร์ (จาก stinging nettles) และเหล็กเป็นสารปรับปรุงดินเพื่อลดการปนเปื้อนของโละหนัก สารหนู และ phenanthrene ในดิน ผลการทดลองจะใช้ 1% w/w ของไบโอชาร์ปริมาณ 5% ของเหล็กและผสมกันระหว่างไบโอชาร์และเหล็ก โดยผลการทดลอง พบว่าการใช้ ไบโอชาร์ เหล็ก และไบโอชาร์ร่วมกับเหล็ก จะทำให้การย่อยสลาย phenanthrene เพิ่มสูงขึ้น โดยมีการย่อยสลายอยู่ในช่วง 44-65 % การใช้ไบโอชาร์เป็นสารปรับปรุงดินจะช่วยลดการละลายของทองแดง (Cu) ออกมาและทำให้ต้นทานตะวันสามารถเจริญเติบโตได้ แต่ไม่มีผลต่อปริมาณสารหนู ส่วนการใช้เหล็กเป็นสารปรับปรุงดินจะลดการละลายของทองแดงและสารหนูออกมาแต่มีผลเสียต่อโครงสร้างของดินและปริมาณเหล็กที่สูงมากเกินไปจะทำให้ต้นทานตะวันตายส่วนการใช้ไบโอชาร์ร่วมกับเหล็กจะช่วยไห้ปริมาณ ทองแดงและสารหนูละลายออกมาลดลงและต้นทานตะวันก็สามารถเจริญเติบโตได้ดี ดังนั้นการใช้ไบโอชาร์ร่วมกับเหล็กเป็นสารปรับปรุงดินจึงเหมาะกับการปรับสภาพดินที่ปนเปื้อนโละหะหนัก และสารอินทรีย์ได้ดี

Ren et al. (2014) ศึกษาการดูดซับสารหนูด้วยดิน montmorillonite ที่ผ่านการปรับสภาพด้วย Fe polycation และ cetylammonium bromide (CTMAB) ผลการทดลองพบว่า เมื่อปรับสภาพของดิน montmorillonite จะทำให้สาร CTMAB เข้าไปอยู่ชั้นด้านในของดินขณะที่ Fe polycation อยู่บริเวณด้านนอกของผิวดิน montmorillonite การทดลองพบว่า ความจุของการดูดซับเมื่อปรับสภาพเฉพาะ Fe polycation (สารอนินทรีย์) จะมีความจุของสารหนู (V) 15.15 mg/g ส่วนดิน montmorillonite ที่ปรับสภาพทั้งสาร Fe polycation และสารCTMAB (สารอนินทรีย์และสารอินทรีย์) จะมีความจุของสารหนู (V) 8.85 mg/g และค่าความจุการดูดซับสารหนู (III) มีค่าเท่ากับ 16.13 และ 13.89 mg/g เมื่อดิน montmorillonite ปรับสภาพด้วย Fe polycation และปรับสภาพทั้ง Fe polycation และ cetylammonium bromide อัตราการกำจัดสารหนู (V) สูงมากกว่าร้อยละ 99 เมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 2-10 และผลการทดลองยังพบว่า กลไกการดูดซับหลักเป็นการดูดซับด้วยแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic interaction)

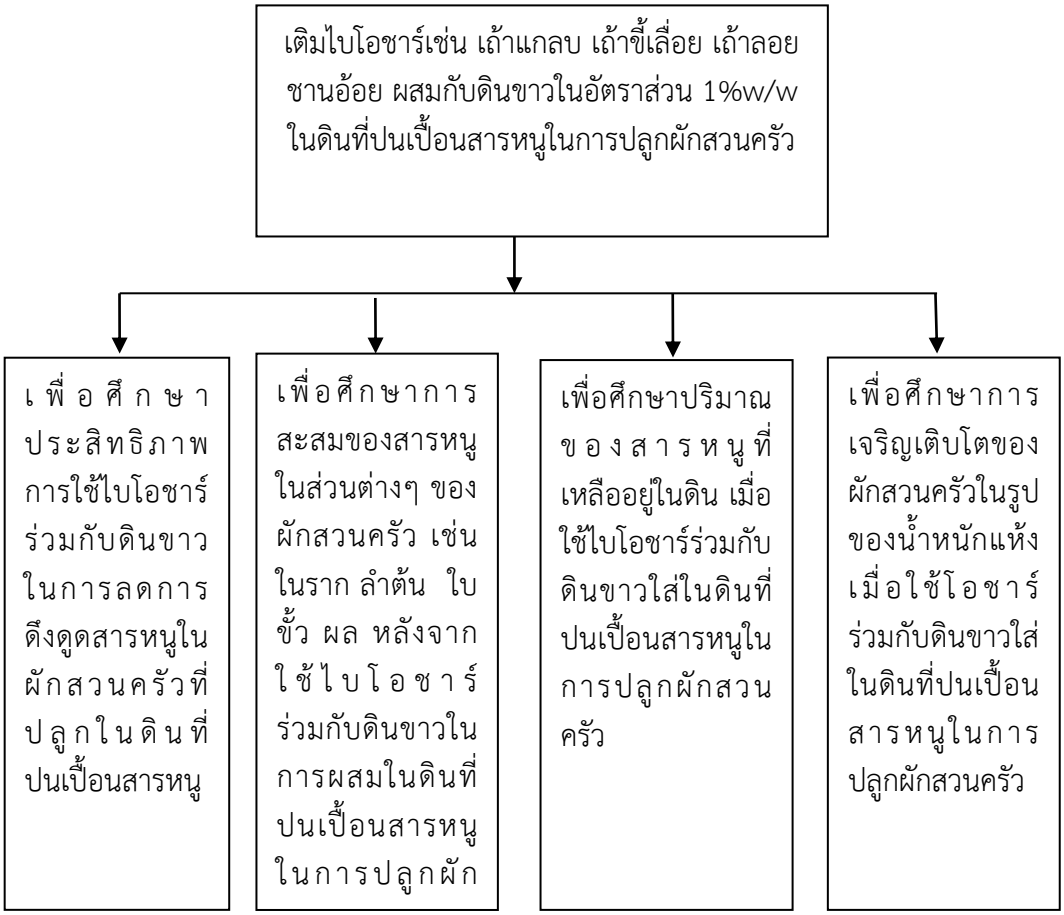
Gregory, Anderson, Arbestain, & McManus (2014) ศึกษาผลของการใช้ไบโอชาร์ต่อพืช (หญ้า Ryegrass) และจุลินทรีย์ในดินเมื่อปลูกพืชในพื้นที่ปนเปื้อนสารหนู โดยไบโอชาร์ได้จากต้น willow การทดลองจะใช้หญ้า Ryegrass ในการดึงดูดสารหนูในดินการเตรียมไบโอชาร์จะนำต้น willow มาเผาที่อุณภูมิ 350 และ 550 องศาเซลเซียส โดยอัตราการใส่ไบโอชาร์ในดิน 30-60 ตันต่อเฮกเตอร์ ความลึก 30 เซนติเมตร การทดลองพบว่า กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินเมื่อวัดค่าโดย dehydrogenase activity (DHA) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และค่า DHA เพิ่มขึ้น 100 % หลังจาก

30 วันของการใส่ไบโอชาร์ในดินและมีค่าสูงกว่าแบบมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ใส่ไบโอชาร์ เมื่อใช้ไบโอชาร์ที่เผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ส่วนเมื่อใช้ไบโอชาร์ที่เผา 550 องศาเซลเซียส ปริมาณ DHA จะเพิ่มขึ้น 70% และการใส่ไบโอชาร์ไม่มีผลต่อการงอกของหญ้า Ryegrass การใส่ไบโอชาร์เป็นสารปรับปรุงดินจะเพิ่มน้ำหนักของลำต้นของหญ้า Ryegrass ถึง 2 เท่า และเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่า ของน้ำหนักรากหลังจากปลูกหญ้า 180 วัน และการทดลองยังพบว่าการเพิ่มปริมาณการใส่ไบโอชาร์ในดินที่ปนเปื้อนสารหนูจาก 30 เป็น 60 ตันต่อเฮกเตอร์ จะทำให้ปริมาณของสารหนูในลำต้นของ Ryegrass เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะทำให้มีปริมาณสารหนู สูงถึง 14,000 มิลลิกรัม/เฮกเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับไม่มีการใส่ไบโอชาร์เป็นสารปรับปรุงดิน ซึ่งจะเป็นการช่วยลดการปนเปื้อนของสารหนูในดินได้อย่างรวดเร็วโดยให้หญ้าช่วยดูดซับสารหนู

Jin, Capareda, Chang, Gao, Xu, &Zhang (2014) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสารหนูในน้ำด้วยไบโอชาร์ที่ปรับสภาพด้วยโปรแตสเซียมไฮ ดรอกไซด์ (KOH) ที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชน โดยปรับสภาพด้วย 0.2 M KOH ผลบการทดลองพบว่าเมื่อใช้ไบโอชาร์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ค่าความจุการดูดซับสารหนู (V) ตามสมการแลงเมอร์มีค่าเพียง 24.49 mg/g ขณะที่เมื่อใช้ไบโอชาร์ผ่านการปรับสภาพด้วยโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้ค่าความจุของการดูดซับเพิ่มขึ้น เป็น 30.98 mg/g ซึ่งมากกว่า 1.3 เท่าของการใช้ไบโอชาร์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ผักสวนครัวจำเป็นอย่างยิ่งในการนำมาประกอบอาหารของมนุษย์ โดยเฉพาะคนไทยรับประทานผักสวนครัวเป็นอาหารประจำทุกมื้อ ดังนั้นมนุษย์สามารถรับสารหนูเข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทานผักสวนครัวที่ปลูกในพื้นที่มีการปนเปื้อนของสารหนูเนื่องจากผักสวนครัวจะสามารถดูดดึง (uptake) สารหนูเข้าไปสะสมส่วนต่างๆของพืช ดังนั้นเมื่อมนุษย์บริโภคผักสวนครัวเข้าไปจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์ ผู้วิจัยเห็นว่าวิธีการที่จะทำให้ปริมาณสารหนูที่สะสมในผักสวนครัวลดลง ทำได้โดยการใช้ไบโอชาร์ร่วมกับดินขาวผสมในดินที่ปนเปื้อนสารหนูในการปลูกข้าวเพื่อลดปริมาณสารหนูที่จะดึงดูดเข้าไปในพืช โดยมีสมมุติฐานที่ว่าไบโอชาร์และดินขาวดูดซับสารหนูในดินโดยเป็นการดูดซับที่ค่อนข้างเสถียร (stabilization) ทำให้สารหนูเคลื่อนที่จากดินไปสู่รากและพืชผักลดลงซึ่งทำให้ปริมาณของสารหนูที่สะสมในพืชผักลดลงและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานประชาชนสามารถรับประทานพืชผักได้ ทำให้เกิดไม่อันตรายต่อสุขภาพ นอกจากนี้จะเห็นว่าดินขาว จะมี Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เป็นองค์ประกอบด้วย ซึ่งอลูมิเนียมและเหล็กสามารถช่วยเพิ่มศักยภาพการดูดซับสารหนูที่ปนเปื้อนในดินได้สูงขึ้น จึงลดการดึงดูดสารหนูจากรากเข้าไปในต้นพืชผักส่งผลให้ผักสวนครัวมีการสะสมสารหนูลดลง โดยกรอบแนวคิดแสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 กรอบแนวคิดในการวิจัย