บทที่ 2
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินด้วยพืชบริเวณพื้นที่กำจัดมูลฝอยชุมชน : กรณีศึกษาเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ มีเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแบ่งเป็น 8 หัวข้อ ประกอบด้วย

2.1 โลหะหนัก (Heavy Metals)

2.2 การปนเปื้อนโลหะหนักสู่ดิน

2.3 จุลินทรีย์ในดิน

2.4 การบำบัดทางชีวภาพ (Bioremediation)

2.5 การบำบัดสารมลพิษโดยใช้พืช (Phytoremediation)

2.6 สภาพปัจจุบันของพื้นที่กำจัดมูลฝอยของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์

2.7 พืชที่ใช้ในการศึกษา

2.8 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โลหะหนัก

โดยทั่วไปจะหมายถึงธาตุโลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.0 ขึ้นไป และอยู่ในกลุ่มทรานสิชัน (Transition) ซึ่งมีทั้งธาตุโลหะที่เป็นจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและธาตุพิษที่เป็นสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม โดยในที่นี้จะกล่าวถึงแต่ธาตุพิษอันเนื่องมาจากมีการนำมาใช้ประโยชน์ในรูปสารประกอบต่างๆ แล้วมีการปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งแหล่งที่มาของสารมลพิษมีได้หลายแหล่ง เช่น สารเคมีจากการเกษตร โรงถลุงแร่ การเผาไหม้น้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรม สิ่งของเหลือใช้จากชุมชน ทำให้มีการสะสมของสารพิษต่างๆ เช่น แคดเมียม สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง เหล็ก ทั้งในสิ่งแวดล้อมและในสิ่งมีชีวิตโดยมีการถ่ายทอดกันต่อๆ ไปในห่วงโซ่อาหารและเป็นพิษกับสิ่งมีชีวิตต่างๆ เหล่านั้น ทั้งมนุษย์ สัตว์ พืชและจุลินทรีย์ สำหรับผลกระทบที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตนั้นพบว่า โลหะหนักสามารถทำปฏิกิริยากับกำมะถันได้ดี จึงสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ด้วยการสร้างพันธะกับกลุ่มของกำมะถันที่อยู่ในเอนไซม์ นอกจากนี้กลุ่มคาร์บอกซิลิก (-COOH) และกลุ่มอะมิโน ($-NH_2$) ในโปรตีนก็สามารถสร้างพันธะทางเคมีกับโลหะหนักได้ ตลอดจนการเข้าไปสร้างพันธะทางเคมีกับสารอินทรีย์ที่เยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้กระบวนการเคลื่อนย้ายมวลสารต่างๆ ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์มีประสิทธิภาพลดลง

นอกจากนี้ยังสามารถรวมตัวกับสารประกอบฟอสเฟตจนเกิดการตกตะกอนหรือช่วยเร่งการสลายตัวของเซลล์อีกด้วย (ศิริพรรณ สารินทร์, 2550)

2.1.1 แคดเมียม (Cadmium)

แคดเมียมเป็นโลหะหนักแต่เนื้ออ่อน สีขาวอมน้ำเงิน มีน้ำหนักอะตอม 112.4 เลขอะตอม 48 จุดเดือด 765 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 320.9 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 8.65 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีวาเลนซี่ 2 โลหะไม่จำเป็นและไม่มีประโยชน์ต่อร่างกาย แคดเมียมมีต้นกำเนิดมาจากโรงงาน นิคมอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานถลุงสังกะสี ตะกั่ว ทองแดง การนำแคดเมียมมาใช้ประโยชน์ในทางนิคมอุตสาหกรรมเป็นสาเหตุให้แคดเมียมเข้ามาเจือปนในสิ่งแวดล้อม (สุภาพร พงษ์ธรพฤกษ์, 2550) แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจและจากทางเดินอาหาร โดยการดูดซึมในทางเดินหายใจในรูปไอหรือฝุ่นของแคดเมียมและมีการดูดซึมที่ปอดได้ประมาณร้อยละ 25 การดูดซึมนี้จะมากขึ้นถ้ามีการสัมผัสร่วมกับการสูบบุหรี่ ในทางเดินอาหารแคดเมียมจะถูกดูดซึมประมาณร้อยละ 5 และจะถูกดูดซึมเพิ่มขึ้นในผู้ที่มีภาวะขาดแคลเซียมและเหล็กในร่างกาย แคดเมียมในกระแสเลือดจับอยู่กับเม็ดเลือดแดงและการกระจายเข้าสู่ตับและจับกับโปรตีนอัลบูมิน และ Metallothionein ในร่างกาย แคดเมียมจะถูกกำจัดออกจากร่างกายทางปัสสาวะและถูกดูดกลับไปสะสมที่ไตทำให้เกิดภาวะพิษต่อไต การหายใจเอาแคดเมียมในบรรยากาศเข้าไปในปริมาณเกิน 1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ใน 8 ชั่วโมงของการทำงาน จะก่อให้เกิดโรคปอดอักเสบจากสารเคมี และกรณีที่รุนแรงจะเกิดภาวะปอดบวมน้ำ โดยทั่วไปจะเกิดภายใน 1-8 ชั่วโมงหลังจากได้รับไอควัน การหายใจเอาควันแคดเมียมออกไซด์ที่มีระดับสูงเกินกว่า 5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง อาจทำให้เสียชีวิตได้ภายใน 4-7 วัน ทางการกิน การได้รับแคดเมียมทางการกินอาหารที่เป็นกรดหรือเครื่องดื่ม ซึ่งมีแคดเมียมเกินกว่า 15 มิลลิกรัม/ลิตร ก่อให้เกิดอาการแบบอาหารเป็นพิษ เช่น คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องท้องเสีย และอาจเสียชีวิตได้จากการช็อคจากการเสียน้ำและเกลือแร่ในร่างกายหรือไดวาย การกินแคดเมียมเข้าไปเกินกว่า 300 มิลลิกรัมจะทำให้เสียชีวิดได้ อาการเรื้อรัง ฝุ่นแคดเมียมออกไซด์ทำให้เกิดพังผืดในเนื้อปอด เกิดโรคถุงลมโป่งพอง และอาจเปลี่ยนแปลงเป็นพิษแคดเมียมเรื้อรังเฉพาะที่ได้ เช่น ในทางเดินหายใจ และการทำลายไต พบมีโปรตีนในปัสสาวะ ซีด เป็นต้น นอกจากนี้ผู้ที่ได้รับแคดเมียมเป็นระยะเวลานานจะพบลักษณะผิดปกติของกระดูก ได้แก่ ภาวะกระดูกอ่อน กระดูกพรุน ทำให้กระดูกหักง่าย ผู้ป่วยจะมีอาการปวดกระดูกขา เดินลำบาก และเกิดกระดูกโค้งและหักชนิด Pseudofracture เวลาเดินจะปวดและร้องเจ็บ (อิได อิได) ทั้งหมดนี้เป็นผลโดยตรงของแคดเมียมต่อเมตาบอลิซึมของกระดูก (พิษจากแคดเมียม, ม.ป.ป.)

2.1.2 ตะกั่ว (Lead)

ตะกั่วเป็นโลหะที่มีในธรรมชาติเป็นโลหะที่มีสีเงินแกมฟ้า อยู่ในหมู่ที่ IV ของตารางธาตุ ตะกั่วได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นสารที่นำมาทำให้บริสุทธิ์ได้ง่าย และมีคุณสมบัติที่อ่อน ทนต่อการผุกร่อนได้ดี ตะกั่วมีการกระจายอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ ที่เปลือกโลกมีตะกั่วโดยเฉลี่ยประมาณ 10-15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตะกั่วที่ปรากฏเป็นธาตุอิสระในธรรมชาติมีน้อยมาก ตะกั่วที่พบในเปลือกโลกทั้งหมดจะอยู่ในรูปของแร่ แหล่งแร่ตะกั่วมักพบบริเวณเดียวกันกับแหล่งแร่ทองแดง เงิน สังกะสี พลวง และบีสมัส (สุภาพร พงษ์ธรพฤกษ์, 2550) ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง ได้แก่ ทางปาก โดยการรับประทานอาหาร เครื่องดื่ม หรือยาที่มีตะกั่วปนเปื้อนอยู่ การใช้เครื่องใช้หรือภาชนะต่างๆ ที่ปนเปื้อนตะกั่ว และการอมเครื่องใช้ต่างๆ ที่มีตะกั่วปนเปื้อน รวมถึงการสัมผัสเครื่องใช้ที่มีตะกั่วปนเปื้อนและไม่ล้างมือก่อนรับประทานอาหาร ทางจมูก โดยการหายใจเอาควัน ไอระเหย ฝุ่นละอองตะกั่วที่มีอยู่ในอากาศเข้าสู่ปอด และทางผิวหนัง โดยการสัมผัสกับสินค้าอุปโภคบริโภคที่มีสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่วเจือปนเท่านั้น เช่น การล้างมือด้วยน้ำมันเบนซินหรือเมื่อน้ำมันเบนซินหกใส่ผิวหนังจะทำให้ตะกั่วซึมผ่านผิวหนังและเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดของร่างกาย ตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ ก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ 2 ลักษณะ ความเป็นพิษเฉียบพลัน ผู้ได้รับตะกั่วจะรู้สึกฝืดคอ มีกลิ่นโลหะในปาก กระหายน้ำ คอแห้ง ปวดแสบหน้าท้อง คลื่นไส้ อาเจียน อาเจียนอาจมีลักษณะขาวขุ่นจากเลดคลอไรด์ ผู้ได้รับตะกั่วส่วนมากจะมีอาการท้องร่วง และส่วนน้อยท้องผูก อุจจาระมีเลือดหรือมีสีดำ อันเนื่องมาจากเลดซัลไฟด์ ผู้ได้รับตะกั่วบางรายอาจเกิดอาการชักกล้ามเนื้อกระตุก อ่อนเพลีย เป็นตะคริว โดยเฉพาะที่ขาทั้งสองข้าง หรือมีอาการของระบบประสาทส่วนกลาง เช่น ปวดศีรษะ นอนไม่หลับ หรืออาจมีอาการผิดปกติที่ไร้สาเหตุ เช่น รู้สึกชา ซึมเศร้า ถึงขั้นโคม่าและเสียชีวิตในที่สุด อาการที่รองลงไป ได้แก่ภาวะไตเสื่อมทำให้ปัสสาวะน้อยลงกว่าปกติ มีอัลบูมินและมีเมือกในปัสสาวะ เจ็บไต นอกจากนี้จะมีการสลายตัวของเม็ดเลือดแดง อาจทำให้เสียชีวิตได้ภายใน 2-3 วัน ความเป็นพิษเรื้อรังผู้ได้รับตะกั่วอาจมีอาการทางระบบทางเดินอาหารและทางระบบประสาทอาการทางระบบทางเดินอาหาร เช่น เบื่ออาหาร เหม็นเฝื่อนในลำคอ ท้องผูกเป็นตะคริวที่หน้าท้อง อาการทางระบบประสาท เช่น ข้อมือตก เป็นอัมพาต ไม่มีแรง แต่ยังคงมีความรู้สึกอาการทางสมองหรือเยื่อหุ้มสมองอักเสบ อาการนี้พบน้อยในผู้ใหญ่ส่วนมากมักจะเกิดขึ้นกับเด็ก (ปราโมทย์ ศรีสุวรรณ และ รินทวัฒน์ สมบัติศิริ, ม.ป.ป.)

2.1.3 ทองแดง (Copper)

ทองแดงเป็นโลหะสีแดงส้มอยู่ในหมู่ IB ของตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 63.54 ความถ่วงจำเพาะ 8.9 จุดหลอมเหลว 1,083 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,730 องศาเซลเซียส มีความเหนียว เป็นมันวาว มีความสามารถในการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี

ทองแดงในธรรมชาติ ทองแดงเป็นสินแร่ที่มีมากในธรรมชาติเช่นเดียวกับสังกะสีและพบว่ามักจะอยู่ปะปนอยู่กับแร่สังกะสี (แสนสุรีย์ เชื้อวังคำ, 2552) ปัจจุบันจึงมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น ใช้ผลิดลวด สายไฟ ท่อน้ำ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเคมีทางการเกษตร สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์รบกวนต่างๆ การทำสีย้อม เป็นต้น ส่งผลให้มีการแพร่กระจายของทองแดงสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งเราอาจได้รับทองแดงจากการหายใจ การดื่มน้ำ การบริโภคอาหารในชีวิตประจำวัน ทองแดงมีความจำเป็นต่อร่างกายสิ่งมีชีวิตถ้าได้รับในปริมาณที่เหมาะสมกับร่างกาย โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในกระดูกและกล้ามเนื้อ การเกิดพิษขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับเข้าไป ช่องทางที่ได้รับและสภาพร่างกายของแต่ละบุคคล ทองแดงถูกดูดซึมได้ดีในกระเพาะอาหารและลำไส้ส่วนบน โดยซึมผ่านเข้าผนังลำไส้ไปที่ตับ จากนั้นจะรวมตัวกับน้ำดี แล้วถูกหลั่งออกมาบริเวณลำไส้ ขับออกไปกับอุจจาระ หรืออาจถูกดูดกลับเข้าสู่ร่างกายได้ 30% โดยไปสะสมที่กระดูก กล้ามเนื้อ ตับ สมอง การสะสมจะมากที่ตับและสมอง เมื่อได้รับทองแดงในปริมาณมากจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย คือ คลื่นเหียนอาเจียน เกิดการอักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ ท้องเสีย การทำงานของหัวใจผิดปกติ กดระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายและอาจส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางจิต ส่วนอาการเรื้อรังจากการได้รับติดต่อกันเป็นเวลานาน และตับทำหน้าที่บกพร่อง ไม่สามารถขับทองแดงออกจากร่างกายได้ตามปกติ จึงทำให้มีการสะสมอยู่ในร่างกายเป็นปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย คือ ร่างกายสั่นเทาอยู่ตลอดเวลา กล้ามเนื้อแข็งเกร็ง มีน้ำมูกน้ำลายไหล ควบคุมการพูดลำบาก (ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, ม.ป.ป.)

2.1.4 เหล็ก (Iron)

เหล็กเป็นธาตุอยู่ในหมู่ VIIIB ของตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 55.85 จุดหลอมเหลว 1,536 องศาเซลเซียส จุดเดือด 3,000 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 7.86 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เหล็กที่พบในสภาวะแวดล้อมมีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติ และทางอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานชุบโลหะ สี หมึก และทำโลหะผสม เป็นต้น เหล็กเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อร่างกาย เพราะเป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบิน ซึ่งอยู่ภายในเม็ดเลือดแดง ร่างกายต้องการปริมาณวันละ 10.0-30.0 มิลลิกรัม ถ้าร่างกายขาดเหล็กทำให้เป็นโรคโลหิตจาง เหล็กภายในร่างกายมาจากการสลายตัวของฮีโมโกลบินและสารประกอบอื่นๆ ที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบรวมทั้งร่างกายสะสมไว้ แหล่งภายนอกร่างกายมาจากอาหารที่รับประทานประมาณร้อยละ10 ของเหล็ก ในอาหารจะถูกดูดซึมที่ดูโอดินัม เหล็กที่มีอยู่ในอาหารมี 2 รูป คือ ฮีมของเหล็ก (Heme Iron) และไม่ใช่ฮีมของเหล็ก (Nonheme) เหล็กในรูปของเหล็ก (Ferrous State, Fe^{2+}) จะถูกดูดซึมได้ประมาณร้อยละ 20-23 เหล็กในรูปที่ไม่ใช่ฮีมของเหล็ก (Ferric, Fe^{3+}) ร่างกายดูดซึมได้น้อยประมาณร้อยละ 3 และถูกรีดิวซ์ให้เป็น Fe^{2+} ก่อน โดยกระเพาะอาหารเมื่อเข้าสู่เซลล์เยื่อบุผนังลำไส้เล็กจะถูกรีดิวซ์กลับเป็น Fe^{3+} อีกโดยซีรูโลพลาสมิน (Cerulolasmin)

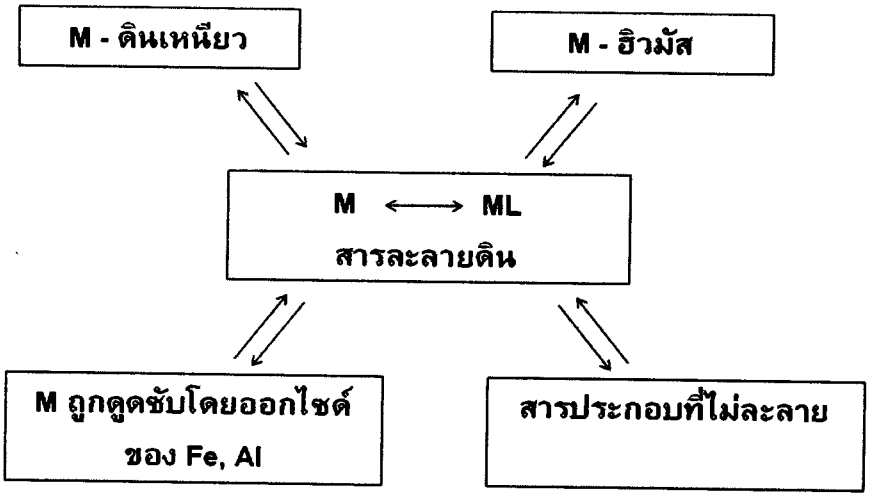
หรือเอนไซม์เพอร์อกซิเดส (Peroxides) อันตรายที่เกิดจากเหล็ก อาการเฉียบพลัน มีอาการอาเจียน อาเจียนเป็นเลือด เป็นลม ปวดท้อง ท้องเสีย ฉุนเฉียวง่าย อาจมีอาการหัวใจเต้นเร็วและหายใจก่อนที่จะช็อคตามมา ไม่รู้สึกตัวและอาจตายได้ การอุดตันเมื่อฝุ่นของเหล็กสะสมมากๆ เข้าจะทำให้ปอดเกิดเป็นผังผืด คนที่สัมผัสและหายใจเข้าไปจะมีอาการเรื้อรัง ทำให้เกิดเป็นนิวโมโคนิโอซิส (Pneumoconiosis) ซึ่งทำให้บริเวณถุงลมเกิดมีฝุ่นเหล็กเข้าปอดเป็นระยะเวลานาน 6-10 ปี จะมีการเปลี่ยนแปลงทางปอดให้เห็นได้ชัดเจนถ้าถ่ายภาพเอกซเรย์ โรคปอดอุดตันที่เกิดจากฝุ่นเหล็กนี้มักจะเรียกว่า ซิเดโรซิส (Sidarosis) และจะเกิดหลังทำงานเกี่ยวกับเหล็กมาเป็นระยะเวลาเฉลี่ย 18.7 ปี ซึ่งส่วนใหญ่จะมีไข้ ตัวเขียวคล้ำไอบ่อยๆ ตับถูกทำลาย ระบบประสาทส่วนกลางถูกดูดและอาจตายได้ (แสนสุรีย์ เชื้อวังคำ, 2552)

2.1.5 สังกะสี (Zinc)

สังกะสี มีสีเทาอ่อนแกมน้ำเงิน เป็นธาตุแรกของหมู่ IIB จัดเป็นธาตุโลหะ มีเลขอะตอม 30 น้ำหนักอะตอม 65.37 จุดหลอมเหลว 419.5 องศาเซลเซียส จุดเดือด 907 องศาเซลเซียส เลขออกซิเดชันสามัญ +2 สังกะสีเป็นโลหะที่มีความสำคัญเป็นลำดับ 4 รองจากเหล็กกล้า อะลูมิเนียม และทองแดง เนื่องจากสังกะสีมีเลขออกซิเดชันเพียงค่าเดียวคือ +2 และขาดคุณสมบัติทั่วไปของธาตุทรานสิชัน จึงไม่จัดโลหะสังกะสีอยู่ในกลุ่มโลหะทรานสิชัน แต่เรียกว่าเป็นธาตุหลังทรานสิชัน (Post Transition Element) สังกะสีเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดเจือจางจะปล่อยก๊าซไฮโดรเจนออกมา สังกะสีในธรรมชาติจะมีกำเนิดในสภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยาเดียวกัน แร่ตะกั่วอาจปะปนอยู่กับโลหะอื่นๆ เช่น เงิน ทอง สังกะสีที่พบได้แก่ แร่สฟาเลอไรต์ (Sphalerite, ZnS) เฮมิมอร์ไฟต์ Hermimorphite, $[Zn_4(Si_2O_7)(OH)_2.H_2O]$ ซิงค์ไคต์ (Zincite, ZnO) และแร่สมิทซอไนต์ (Smithsonite, $ZnCO_3$) ส่วนแหล่งกำเนิดจากการกระทำของมนุษย์ส่วนใหญ่เกิดจากการใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กชุบ โดยการใช้โลหะสังกะสีเป็นตัวเคลือบชุบเหล็กกล้า เช่น อุตสาหกรรมแผ่นเหล็กชุบสังกะสี ข้อต่อท่อเหล็กชุบสังกะสี ลวดเหล็กชุบสังกะสี เป็นต้น อันตรายจากสังกะสีก่อความระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ การสัมผัสกับผิวหนังเป็นเวลานานสามารถทำให้เกิดผิวหนังอักเสบอย่างรุนแรงซึ่งเรียกว่า โรคออกไซด์พ็อกซ์(Oxide Pox) ทำให้เกิดการรับรสโลหะ กระหายน้ำอย่างชัดเจน ไอ อ่อนแอ ปวดกล้ามเนื้อและมีการคลื่นไส้ ตามด้วยไข้และอาการหนาวสะท้าน การได้รับสารนี้อย่างมากอาจทำให้เกิดอาการหลอดลมอักเสบ หรือปอดบวม โดยผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน การได้รับสารนี้เป็นเวลานานสามารถก่อให้เกิดความผิดปกติของเอนไซม์ในตับแบบชั่วคราว อาจเกิดอาการท้องร่วง แผลในกระเพาะอาหารและเลือดออกในทางเดินอาหารด้วย (วิภาพร ไชยสนาม และศศิธร สร้องทองหลาง, 2552)

2.2 การปนเปื้อนโลหะหนักสู่ดิน

การเคลื่อนย้ายและการคงอยู่ของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพแวดล้อมในดินนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น การถูกนำไปใช้โดยพืช โดยจุลินทรีย์ และการเคลื่อนย้ายในสภาพละลายและสารแขวนลอย ฯลฯ โดยมีปัจจัยที่ควบคุมการคงสภาพของโลหะหนักให้คงอยู่ในสภาพสารละลายหรือสารแขวนลอย ได้แก่ ความเข้มข้นของธาตุนั้นและธาตุอื่นในสารละลาย ความเข้มข้นของสารลิแกนด์ (Lligand) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นสารก่อคีเลต (Chelating Agent) สภาวะของดินและอุณหภูมิดิน เป็นต้น ส่วนปัจจัยที่ควบคุมการดึงโลหะหนักออกจากสารละลายดิน ได้แก่ การคลุกเคล้าเข้าสู่ระบบชีวภาพ เช่น การถูกนำไปใช้โดยพืชและจุลินทรีย์ การจับเป็นก้อน (Coagulation) กับสารแขวนลอยอื่น การถูกดูดซับโดยอนุภาคดิน เป็นต้น ซึ่งปัจจัยสำคัญต่างๆ เหล่านี้จะมีผลต่อระดับความเป็นพิษของโลหะหนักที่อยู่ในดินเป็นอย่างยิ่ง กระบวนการคงอยู่หรือการหยุดการเคลื่อนที่ (Immobilization) ของโลหะหนักที่ละลายหรือแขวนลอยในระยะแรกคือ การดูดซับในรูปเชิงซ้อน (Ionic Complex) บนพื้นผิวของแข็งที่มีประจุและการจับกับสารแขวนลอย การย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ดินจะช่วยให้มีการปลดปล่อยธาตุโลหะหนักออกมา แล้วอาจถูกดูดซับด้วยอนุภาคอนินทรีย์ในดิน และต่อมาธาตุโลหะหนักเหล่านี้อาจถูกดูดซับและตรึงในออกไซด์ของเหล็ก แมงกานีสหรือสารอื่นๆ ในระยะยาวอาจรวมเข้ากับแร่ที่มีความเสถียรหรือตกตะกอนในรูปค่อนข้างเสถียร เช่น เกิดเป็นรูปซิลิเกต



ภาพ 2.1 สมดุลและการคงอยู่ของโลหะหนักในดิน (M = Metal)
ที่มา : ศิริพรรณ สารินทร์, 2550

การปนเปื้อนของสารมลพิษพวกโลหะหนักสู่สภาพแวดล้อมจนเกิดสภาวะมลพิษนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

2.2.1 สารมลพิษที่เป็นปัญหาในระยะยาว ได้แก่ สารมลพิษที่อยู่ในดินเป็นเวลานาน และพืชจำกัดนำไปใช้ เช่น ทองแดง ตะกั่ว และปรอท ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้ ถึงแม้จะอยู่ในดินเป็นปริมาณมาก พืชก็ไม่อาจนำไปใช้ได้หรือสะสมไว้ได้ แต่อาจจะทำให้เกิดปัญหาความเป็นพิษต่อพืชเกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งทองแดง ซึ่งเป็นโลหะหนักที่พืชไวต่อพิษมาก ดังนั้นในระยะแรกๆ ดินที่ได้รับสารมลพิษเหล่านี้จึงอาจมองไม่เห็นปัญหาได้ชัดเจน เพราะโลหะหนักเหล่านี้แพร่กระจายสู่ห่วงโซ่อาหารได้ในปริมาณน้อยๆ

2.2.2 สารมลพิษที่เกิดขึ้นในระยะสั้น ได้แก่ สารมลพิษที่ละลายน้ำได้ง่าย พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันทีและปริมาณมาก จึงเกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อมได้รวดเร็ว เช่น โบรอน แคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี

นอกจากนี้ ระดับความเป็นพิษของธาตุโลหะหนักต่างๆ ที่มีต่อพืช สัตว์ และจุลินทรีย์จะมีมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับลักษณะต่างๆ ของโลหะหนักด้วย เช่น ความเป็นธาตุอาหารหรือหน้าที่ทางชีวภาพและปริมาณในธรรมชาติ ซึ่งสารมลพิษโลหะหนักที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมและต่อมนุษย์ดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 หน้าที่ทางชีวภาพและความเป็นพิษของโลหะหนัก

โลหะหนัก	หน้าที่ทางชีวภาพ	ผลของความเป็นพิษเมื่อมีอยู่มากเกินไป
แมงกานีส	Pyruvate Oxidase	I,D
เหล็ก	Xanthine Oxidase, Cytockrome c, Ferridoxin	C,I
โคบอลต์	Vitamin B12, Coenzyme	C,D,I
ทองแดง	Phenoloxidase,Cytochrome Oxidase	D,I,M
สังกะสี	Alkaline Phosphatase, Carboxypeptidase, Carbonic Anhydrase, Aldolase, Alcohol Dehydrogenase	C,I
โมลิบดินัม	Xanthine Oxidase	I,B

ที่มา : ศิริพรรณ สารินทร์, 2550

หมายเหตุ C = สารก่อมะเร็ง, B = ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์, I = รบกวนระบบควบคุมหรือกระบวนการเมแทบอลิซึม, D = ทำปฏิกิริยากับ DNA, RNA Polymerase และอื่นๆ, M = รบกวนการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane)

ตาราง 2.2 ผลของโลหะหนักต่อมนุษย์และสภาพแวดล้อม

โลหะหนัก	ผลต่อมนุษย์	ผลต่อสภาพแวดล้อม
สารหนู	อาเจียน พิษต่อตับและไต มะเร็งปอด ตับ น้ำเหลืองและผิวหนัง	คงรูปในดิน, เป็นพิษต่อพืชตระกูลถั่ว
แคดเมียม	ปวดหัว อาเจียน โรคหัวใจ เจ็บอก ความดันเลือดสูง กระดูกผุ โรคหัวใจ สารก่อมะเร็งและกลายพันธุ์	ที่ความเข้มข้นต่ำเป็นพิษต่อปลา
ตะกั่ว	โลหิตจาง ไตและระบบประสาท ส่วนกลางถูกทำลาย(CNS) ระบบย่อย อาหารผิดปกติ	เป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยง นกและปลา
ปรอท	เดืองดา โรคประสาท อ่อนเพลีย ประสาทหลอน ไต ตับ และ CNS ถูก ทำลาย ทารกพิการ	การขยายพันธุ์ลัมเหลวและตายในปลา
ทองแดง	-	เป็นพิษอย่างแรงต่อพืช แกะและปลา

ที่มา : ศิริพรรณ สารินทร์, 2550

2.3 จุลินทรีย์ในดิน

ชนิดของจุลินทรีย์ที่พบในดิน ได้แก่ แบคทีเรีย แอกทิโนไมซีต (Actinomycetes) รา สาหร่าย และไวรัส โดยมีจำนวนและปริมาณของจุลินทรีย์ในดินแตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดและปริมาณของสารอาหาร ชนิดและสภาพแวดล้อมของดิน

2.3.1 แบคทีเรีย

แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์กลุ่มใหญ่ที่พบมากที่สุดทั้งชนิดและปริมาณ โดยทั่วไปพบในช่วง 10^8-10^9 เซลล์ต่อดินน้ำหนักแห้ง 1 กรัม มีทั้งพวกที่ไม่เคลื่อนที่และพวกที่เคลื่อนที่ได้โดยอาศัยแฟลกเจลลา(Flagella) มีความหลากหลายในรูปแบบของการดำรงชีวิต เช่น พวกที่ดำรงชีวิตแบบ Photoautotroph ซึ่งสามารถสังเคราะห์แสงได้ พวกChemoautotroph ที่สามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน แบคทีเรียบางพวกก็สามารถดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมที่ปราศจากออกซิเจนได้ (Anaerobic) บางพวกมีความสามารถในการดรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศได้ (Nitrogen-Fixing Bacteria) แต่โดยภาพรวมแล้วแบคทีเรียในดินส่วนใหญ่จะเป็นพวก Heterotroph ที่ดำรงชีวิตแบบ Saprophyte โดยย่อยสลายเศษซากพืชซากสัตว์หรือสารอินทรีย์วัตถุในดินเป็นอาหาร หรือเรียกแบคทีเรียพวกนี้ว่า Autochthonous หรือ Indigenous Species คือพวกที่อาศัยอาหารที่มีอยู่แล้วในดิน ไม่ต้องการอาหารจากที่อื่นอีก ซึ่งปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มนี้จะไม่มีการ

เปลี่ยนแปลงมากนัก จะมีปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดเวลา ในขณะที่แบคทีเรียบางพวกซึ่งปกติจะมีอยู่ในดินในปริมาณน้อย แต่เมื่อมีอาหารโดยเฉพาะอินทรียวัตถุที่เพิ่มเติมลงไปในดิน ก็จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่ออาหารที่เพิ่มเติมลงไปในดินลดลง ปริมาณของแบคทีเรียพวกนี้ก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว เรียกแบคทีเรียพวกนี้ว่า Zymogenous หรือ Fermentation-Producing Bacteria

2.3.2 แอกทิโนไมซีต

เป็นแบคทีเรียอีกพวกหนึ่งที่พบมากในดิน อยู่ในช่วงประมาณ 10^7-10^8 CFU (Colony Forming Unit) ต่อดินน้ำหนักแห้ง 1 กรัม มีรูปร่างลักษณะยืดยาวเป็นเส้นใยคล้ายรา เพียงแต่มีขนาดเล็กและสั้นกว่ามาก และมีเซลล์เดียว ซึ่งมีความกว้างประมาณ 0.05-2 ไมโครเมตร ขยายพันธุ์โดยการสร้างสปอร์ต้องการออกซิเจนในการหายใจ ส่วนใหญ่เจริญอยู่ในดินอย่างอิสระแบบ Saprophyte แต่บางชนิดสามารถทำให้เกิดโรคในคน สัตว์หรือพืชได้ และบางชนิดสามารถดึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศได้ เช่น Frankia แบคทีเรียแอกทิโนไมซีตที่พบในดิน ได้แก่ Nocardia, Streptomyces, Micromonospora เป็นต้น

2.3.3 รา

ราจะพบมากที่บริเวณผิวหน้าดินซึ่งมีอากาศ มีรูปร่างเป็นเส้นใย สามารถสร้างสปอร์ได้ ปริมาณราที่พบในดินโดยทั่วไปที่นับโดยการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่ามีจำนวนรองลงมาจากแบคทีเรียและแอกทิโนไมซีต แต่ปริมาณชีวมวล (Biomass) ของราจะมากที่สุด ราจัดเป็นจุลินทรีย์พวก Aerobic Heterotrophy ที่ใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารและต้องการออกซิเจนในการหายใจ ส่วนใหญ่ย่อยเศษซากอินทรียวัตถุในดินเป็นอาหาร จึงมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรียวัตถุร่วมกับแบคทีเรีย โดยเฉพาะย่อยสลายสารที่ย่อยยาก เช่น ลิกนิน และสารฮิวมิก นอกจากนี้รายังช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน โดยการที่เส้นใยมีการสานกันเป็นตาข่ายยึดอนุภาคของดินไว้เป็นกลุ่มก้อน ราที่อาศัยอยู่ในดินมีมากมายหลายชนิด บางชนิดสามารถก่อโรคกับคนและสัตว์ได้ บางชนิดก็อาศัยอยู่ในรากพืชแบบ Symbiosis เช่น Mycorrhiza เป็นต้น ราที่พบทั่วไปในดินได้แก่ Aspergillus, Rhizopus, Pythium, Penicillium, Mucor, Fusarium เป็นต้น ยีสต์ (Yeast) ก็เป็นราอีกชนิดหนึ่งที่เป็นพวกเซลล์เดียว และสามารถพบได้ในดิน ได้แก่ Candida, Cryptococus, Saccharomyces เป็นต้น

2.4.4 สาหร่าย

สาหร่ายที่พบในดินมีทั้งพวกที่เป็นเซลล์เดียวและมีหลายเซลล์รวมกันเป็นเส้นสายยาวๆ ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียว เช่น Chlamydomonas, Chlorococcum และ

ไดอะดอม เป็นต้น ดำรงชีวิตโดยการสังเคราะห์แสง จึงเจริญเติบโตได้เฉพาะที่บริเวณผิวดินที่มีแสงพอเพียง และในดินที่มีความชื้นสูง บทบาทของสาหร่ายโดยทั่วๆ ไป ได้แก่ การเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน ช่วยเสริมสร้างการเกิดเม็ดดินโดยการสร้างสารพวก Polysaccharides ออกมานอกเซลล์ บางชนิดสามารถดึงไนโตรเจนจากอากาศได้ เช่น Anabeana, Gloeothece เป็นต้น ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน

2.4.5 ไวรัส

ไวรัสที่พบในดินมีหลายชนิด แต่ดำรงชีวิตอยู่ได้โดยอาศัยสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น เช่น ไวรัสของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น Bacteriophages บทบาทโดยรวมของไวรัสในดินยังไม่ชัดเจนมาก เนื่องจากไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการต่างๆ ในดินโดยตรง เพียงแต่ไม่มีผลต่อระบบนิเวศของสิ่งมีชีวิตที่ไวรัสเข้าไปอาศัยอยู่ โดยเฉพาะอย่างบทบาทในการถ่ายทอดสารพันธุกรรมระหว่างจุลินทรีย์ต่างๆ ในดิน เช่น กระบวนการ Transduction ซึ่งอาจทำให้เกิดการกลายพันธุ์ได้ (ศิริพรรณ สารินทร์, 2550)

2.4 การบำบัดทางชีวภาพ (Bioremediation)

การบำบัดทางชีวภาพ เป็นการบำบัดสภาพแวดล้อมที่ปนเปื้อนสารมลพิษโดยการใช้จุลินทรีย์ ซึ่งวิธีนี้จะได้ผลดีก็ต่อเมื่อสารเคมีนั้นเป็นสารที่สามารถย่อยสลายได้ (Biodegradable Pollution) โดยวิธีนี้มีความจำเพาะกับชนิดและกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการทำ Bioremediation ต้องเป็นสารที่ปลอดภัยและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ปัจจัยสภาวะแวดล้อมต่างๆ ต้องเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบำบัด ณ แหล่งที่มีการปนเปื้อนโดยตรงหรือการสกัดแยกเอาสารมลพิษออกจากสิ่งแวดล้อม แล้วนำมาบำบัดในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ในปัจจุบันเทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ใช้กระบวนการย่อยสลายทางธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต ได้แก่ จุลินทรีย์ พืช หรือวัสดุชีวภาพในการบำบัดสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และด้วยความที่เป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ใช้งบประมาณในการดำเนินการน้อย ทำให้เป็นที่ยอมรับของสาธารณชน ในกรณีที่จะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวในพื้นที่จริงเทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพแบ่ง ออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.4.1 Ex Situ Technology เป็นเทคโนโลยีการฟื้นฟูโดยการเคลื่อนย้ายดัวกลางที่ปนเปื้อนไปบำบัดหรือกำจัดต่อในสถานที่อื่น

2.4.2 In Situ Technology เป็นเทคโนโลยีการฟื้นฟูโดยการบำบัดสารเคมีที่ปนเปื้อนในพื้นที่โดยไม่มีการเคลื่อนย้ายตัวกลางไปที่อื่น นอกจากนี้เทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะของเทคโนโลยีที่ใช้ดังนี้

2.4.2.1 Bioaugmentation เป็นเทคโนโลยีการฟื้นฟูที่มีการเติมจุลินทรีย์ลงไปในตัวกลางที่มีการปนเปื้อนสารเคมี เช่น ดิน น้ำ หรือดินตะกอน จุลินทรีย์ที่เติมลงไปอาจเป็นจุลินทรีย์สายพันธุ์ที่มีในพื้นที่นั้น (Indigenous) หรืออาจเป็นจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างถิ่น (Exogenous) ก็ได้ โดยจุลินทรีย์ที่เติมลงไปนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายสารปนเปื้อนในพื้นที่นั้น

2.4.2.2 Bioventing เป็นเทคโนโลยีที่ดำเนินการในพื้นที่ (In Situ) โดยการเติมอากาศ และ/หรือสารอาหารลงไปในระบบ ซึ่งการเติมอากาศของ Bioventing จะเป็นการเติมในอัตราที่ช้าไม่มีการเพิ่มแรงดัน เพื่อเป็นการกระตุ้นการเจริญเติบโตและกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในพื้นที่ (Indigenous Microorganisms) และป้องกันการระเหย (Volatilization) ของสารปนเปื้อนที่ต้องการกำจัดออกสู่บรรยากาศ

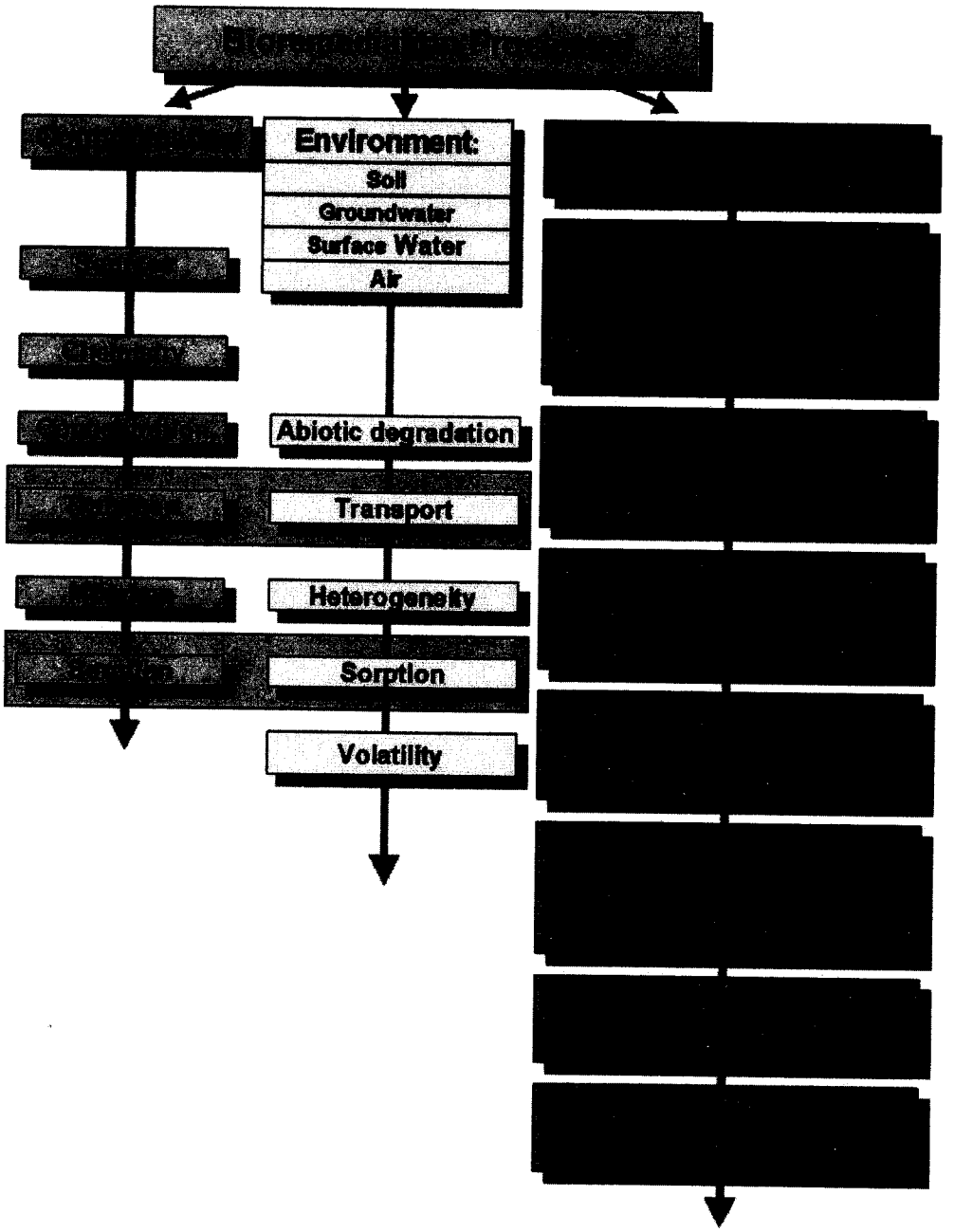
2.4.2.3 Biosparging เป็นการเติมอากาศเข้าสู่ระบบภายใต้สภาวะที่มีแรงดันเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในชั้นน้ำใต้ดิน (Saturated Zone) ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มขึ้น

2.4.2.4 Landfarming ดินที่ปนเปื้อนที่ถูกขุดขึ้นมาจะถูกนำมาแผ่ลงบนพื้นที่ที่เตรียมไว้และมีการกลับกองดินเป็นระยะๆ เพื่อเพิ่มออกซิเจนให้กับระบบส่งผลให้อัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้น

2.4.2.5 Composting เป็นเทคโนโลยีที่ใช้บำบัดสารปนเปื้อนในดิน โดยนำดินที่ปนเปื้อนผสมกับอินทรีย์วัตถุในอัตราส่วนที่เหมาะสม เช่น มูลสัตว์ ของเหลือทิ้งจากกระบวนการทางการเกษตร เป็นต้น วัตถุอินทรีย์ที่เติมลงไปจะช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของประชากรจุลินทรีย์ทำให้อุณหภูมิของระบบสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นปัจจัยกระตุ้นให้อัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้นด้วย

2.4.2.6 Bioreactor เป็นถังปฏิกรณ์ที่ใช้สำหรับบำบัดดิน น้ำ ดินตะกอน กากตะกอนจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมหรือจากระบบบำบัดต่างๆ ตัวกลางที่ปนเปื้อนจะถูกนำมาใส่ในถังปฏิกรณ์ ซึ่งอาจมีการเติมออกซิเจน สารอาหารต่างๆ จุลินทรีย์ หรืออาจมีการปรับสภาวะต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง ให้เหมาะสมเพื่อให้กระบวนการย่อยสลายในถังปฏิกรณ์เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพเทคโนโลยีการฟื้นฟูดังกล่าวข้างต้น เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ซึ่งอาจเกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจน หรือไม่มีออกซิเจนก็ได้ ดังนั้น ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต หรือมีผลต่อ

เมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ ย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการฟื้นฟูนั้นด้วย (อัจฉราพร ขำโสภา, 2552)



ภาพ 2.2 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

ที่มา : http://www.colinmayfield.com /biol447/ modoles/ module5 /bioremediationoverview.html, ม.ป.ป.

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพ ได้แก่

1. จุลินทรีย์ คุณสมบัติของจุลินทรีย์ เช่น อัตราการเจริญเติบโต การกลายพันธุ์ การผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลาย ปริมาณจุลินทรีย์ในพื้นที่จะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการย่อยสลาย

2. สภาพแวดล้อม ได้แก่ สารอาหาร อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเข้มของแสง ปริมาณออกซิเจนที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายด้วย

3. ลักษณะของสารที่ปนเปื้อน ได้แก่ ประเภท ปริมาณ หรือระดับความเข้มข้นของสาร คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารนั้น ซึ่งสารใดที่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ดี แสดงว่าสารนั้นมี Bioavailability สูง จุลินทรีย์สามารถนำสารนั้นเข้าสู่เซลล์และเกิดกระบวนการย่อยสลายได้ง่าย

ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม แต่ก็มีข้อจำกัดหลายประการ ซึ่งสามารถสรุปเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของเทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพได้ ดังตาราง 2.3

ตาราง 2.3 เปรียบเทียบข้อดี - ข้อจำกัดของเทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพ

ข้อดี	ข้อจำกัด
1. เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ	1. กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพไม่สามารถเกิดขึ้นได้ กับสารทุกชนิด
2. สามารถประยุกต์ใช้ได้กับทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์	2. สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการย่อยสลายอาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้
3. กระบวนการย่อยสลายสามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ไม่เกิดผลกระทบตกค้างในสิ่งแวดล้อม	3. ต้องการสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการย่อยสลายซึ่งเป็นลักษณะที่ค่อนข้างมีความจำเพาะเจาะจงสูง
4. สามารถทำการฟื้นฟูในพื้นที่จริงได้	4. ใช้เวลานาน
5. ใช้ค่าใช่จ่ายน้อย	
6. เป็นที่ยอมรับของสาธารณชน	

ที่มา : อัจฉราพร ขำโสภา, 2552

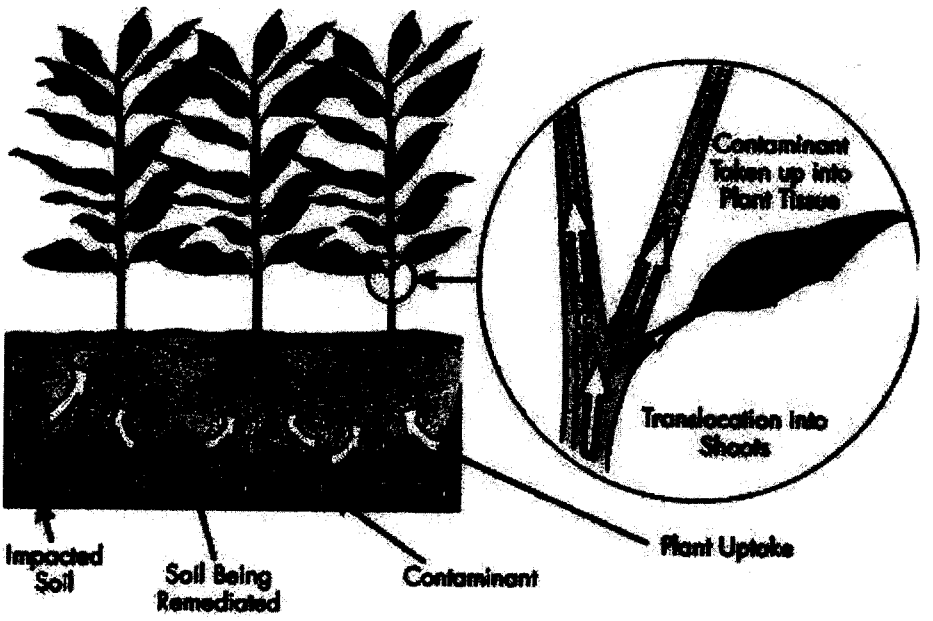
2.5 การบำบัดสารมลพิษโดยใช้พืช (Phytoremediation)

Phytoremediation เป็นการใช้พืชในการบำบัดสารมลพิษ ในบริเวณที่ปนเปื้อน เพื่อลดอันตรายของสารมลพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการบำบัดสารมลพิษทั้งที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่อยู่ในตัวกลาง ดิน น้ำ หรือ อากาศ เช่น ไทรไนโทรโทลูอีน (2,4,6-Trinitrotoluene) ไทรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) เบนซีน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) ไซลีน (Xylene) โลหะหนัก (Heavy Metals) นิวไคลด์กัมมันตรังสี (Radionuclides)

การบำบัดสารมลพิษโดยใช้เทคโนโลยี Phytoremediation สิ่งที่สำคัญ คือ การเลือกใช้พืชในการบำบัดสารมลพิษในบริเวณที่มีการปนเปื้อน นอกจากนี้ยังต้องมีความเข้าใจพฤติกรรมของสารมลพิษที่จะทำการบำบัดในดัวกลางนั้น ๆ และปัจจัยร่วมอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติเพื่อช่วยให้การบำบัดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้แก่ กระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และ ชีววิทยา ดังนั้น Phytoremediation จึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับใช้บำบัดสารมลพิษโดยการพึ่งพาสิ่งที่มีอยู่แล้วในระบบธรรมชาติ และเป็นวิธีที่ประหยัดต้นทุนในการบำบัดสารมลพิษ โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีที่มีราคาแพงและเป็นสาเหตุของการทำลายธรรมชาติ เช่น วิธีชะล้างดิน (Soil Washing) วิธีการขุดลอกหน้าดินซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรและต้นทุนในการบำบัดสูง

การบำบัดสารมลพิษโลหะหนัก โดยใช้เทคโนโลยี Phytoremediation สามารถจำแนกได้เป็น 4 ชนิด

1. Phytoextraction เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษที่อยู่ใน ดิน ตะกอนดิน โดยใช้พืชไปดูดซึมสารมลพิษโดยผ่านราก แล้วไปเก็บสะสมในเนื้อเยื่อพืชส่วนที่เป็น ลำต้น และ ใบ (ภาพ 2.3) มีปัจจัยหลายประการที่จำกัดการบำบัดสารโลหะหนัก (Metal Phytoextraction) เช่น อัตราการดูดซึมสารโลหะหนักโดยราก การนำไปใช้ประโยชน์ของโลหะหนักโดยพืช (Metal Bioavailability) สัดส่วนของสารโลหะหนักที่ถูกดูดซึมโดยราก ความทนได้ของเซลล์พืชต่อสารโลหะหนักที่เป็นพิษ ดังนั้นพืชที่ใช้ในการบำบัดจึงควรมีความสามารถในการสะสมสารโลหะหนักโดยผ่านรากได้มาก และสามารถเคลื่อนย้ายสารโลหะหนักไปสู่ส่วนของต้นพืชได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้พืชควรมีกลไกในการลดความเป็นพิษของสารโลหะหนัก (Detoxify) และมีความทนต่อปริมาณสารโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูง สารโลหะหนักที่สามารถบำบัดได้โดยวิธีนี้ เช่น เงิน แคดเมียม โคบอลต์ โครเมียม ทองแดง ปรอท แมงกานีส โมลิบดีนัม นิกเกิล ตะกั่ว สังกะสี สารกัมมันตรังสีที่สามารถบำบัดโดยวิธีนี้ เช่น สตรอนเชียม-90 (^{90}Sr) ซีเซียม-137 (^{137}Cs) พลูโทเนียม-239 (^{239}Pu) ยูเรเนียม-238 (^{238}U)



ภาพ 2.3 การสะสมของอนินทรีย์ในพืช
ที่มา : จันทนี แจ่มแสงทอง, ม.ป.ป.

Phytoextraction ยังแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ Natural Phytoextraction และ Induced Phytoextraction ดังภาพ 2.4

Natural Phytoextraction เป็นการบำบัดสารมลพิษโดยวิธีการปลูกพืชในดินที่ปนเปื้อนด้วยสารมลพิษ แล้วทำการรดน้ำใส่ปุ๋ยเท่าที่จำเป็น พืชบางชนิดสามารถเจริญเติบโตโดยไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยหรือรดน้ำ แต่อาศัยน้ำฝนที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ส่วนใบและลำต้นพืชที่มีการสะสมสารมลพิษจะถูกเก็บเกี่ยวและทำการบำบัดโดยวิธีที่เหมาะสมต่อไป พืชที่เลือกใช้ส่วนใหญ่จะเป็นพืชที่ชอบขึ้นตามธรรมชาติอยู่แล้ว และมีความทนทานต่อความเข้มข้นของโลหะหรือสารมลพิษอื่น ๆ โดยทั่วไปแล้ว พืชเหล่านี้จะเป็นพืชที่เจริญเติบโตไม่รวดเร็วนัก และเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะมีขนาดที่ไม่ใหญ่นักและมีรากดื้น

Induced Phytoextraction เป็นการบำบัดสารมลพิษโดยการเลือกใช้พืชที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วตลอดอายุการเจริญเติบโต ร่วมกับการเติมสารปรับปรุงดินหรือสารชักนำ (Inducingagent) เพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารมลพิษสู่พืชมากขึ้น ยังผลให้เพิ่มขีดความสามารถในการบำบัดสารมลพิษ

ภาพ 2.4 Natural And Induced Phytoextraction
ที่มา : จันทนี แจ่มแสงทอง, ม.ป.ป.

2. Phytostabilization เป็นการใช้พืชเพื่อยับยั้งหรือลดการเคลื่อนที่ของสารมลพิษในดิน ตะกอนดิน หรือ ดม โดยการใช้รากพืชเพื่อจำกัดการเคลื่อนที่และการดูดจับของสารมลพิษในดิน ตะกอนดิน หรือดม พืชที่ใช้ควรมีความสามารถในการลดปริมาณการซึมผ่านของน้ำในโครงสร้างของดิน เพื่อเป็นการลดปริมาณสารมลพิษปนเปื้อนไปสู่น้ำใต้ดิน ป้องกันการสึกกร่อนของหน้าดินและการกระจายของสารมลพิษไปยังบริเวณอื่นๆ การบำบัดโดยวิธีนี้สามารถเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการดูดซับ (Sorption) การตกตะกอน (Precipition) การเกิดสารเชิงซ้อน (Complexation) การรีดิวซ์เวเลนซ์โลหะ (Metal Valence Reduction) สารโลหะหนักที่สามารถบำบัดได้โดยวิธีนี้ เช่น ตะกั่ว สารหนู แคดเมียม โครเมียม ทองแดง และสังกะสี

3. Phytovolatilization เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษโดยการใช้พืชไปดูดจับสารมลพิษแล้วด้วยกลไกที่เกิดขึ้นในต้นพืชเองได้ทำการแปลง (Tranformation) สารมลพิษให้อยู่ในรูปที่ระเหยได้และมีความเป็นพิษลดลงจากเดิม หลังจากนั้นสารมลพิษที่อยู่ในรูปที่ระเหยได้สามารถกำจัดออกโดยผ่านทางใบพืช ซึ่งเป็นสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ได้ให้ความสนใจและศึกษาค้นคว้าวิจัยเพื่อการปรับปรุงพันธุ์พืชที่สามารถทำหน้าที่พิเศษนี้ได้อย่างยอดเยี่ยม สารโลหะหนักที่สามารถบำบัดด้วยวิธีนี้ เช่น ปรอท

4. Rizofiltration เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษ โดยการใช้รากพืชในการดักกรองสารมลพิษ หรือดูดซึมสารมลพิษในน้ำ เช่น น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และน้ำเสียที่มีความเข้มข้น

ของสารมลพิษต่ำ ซึ่งวิธีนี้สามารถช่วยในการลดปริมาณกากมลพิษได้มาก ทั้งนี้เนื่องจากเฉพาะส่วนของรากที่สะสมสารมลพิษเท่านั้นที่จำเป็นต้องบำบัดในขั้นตอนต่อไป ส่วนของใบและลำต้นที่ไม่ปนเปื้อนหลังจากการเก็บเกี่ยวก็ทิ้งไปหรือนำไปทำประโยชน์อย่างอื่นได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาใช้ในการบำบัด เช่น พืชบางชนิดมีดอกที่สวยงาม จึงสามารถเก็บไปขายในช่วงเวลาระหว่างการบำบัดได้อีกด้วย สารโลหะหนักที่สามารถบำบัดได้โดยวิธีนี้ เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล สังกะสี โครเมียม สำหรับสารกัมมันตรังสีที่สามารถบำบัดโดยวิธีนี้ เช่น ^{137}Cs และ ^{238}U (จันทนี แจ่มแสงทอง, ม.ป.ป.)

2.6 สภาพปัจจุบันของพื้นที่กำจัดมูลฝอยของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์

การจัดการขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลตำบลในเมือง ใช้วิธีการกำจัดแบบเทกองกลางแจ้งในพื้นที่กำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลฯ ขนาดประมาณ 5 ไร่ มีอายุการใช้งานกว่า 20 ปี โดยนอกเหนือจากการกำจัดขยะในเขตรับผิดชอบของตนเองแล้ว เทศบาลตำบลในเมืองยังรับกำจัดขยะให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นใกล้เคียงอีก 1 แห่ง คือ องค์การบริหารส่วนตำบลบ้านหม้อ ทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยที่เข้าไปกำจัดในพื้นที่กว่าวันละ 3,000 กิโลกรัม การกำจัดที่ไม่ถูกสุขลักษณะมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารมลพิษลงสู่สิ่งแวดล้อมและห่วงโซ่อาหาร

สำหรับขยะของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ ที่นำมากำจัดในสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยในแต่ละวันนั้น พบว่า มีปริมาณขยะอินทรีย์ เฉลี่ยวันละ 1,277.98 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 54.03 ประเภทขยะทั่วไปมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 104.87 กิโลกรัม/วัน คิดเป็นร้อยละ 4.42 ประเภทขยะติดเชื้อมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 141.84 กิโลกรัม/วัน คิดเป็นร้อยละ 6 ประเภทของขยะรีไซเคิลมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 832.12 กิโลกรัม/วัน คิดเป็นร้อยละ 35.27 และประเภทขยะอันตรายมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 8.68 กิโลกรัม/วัน คิดเป็นร้อยละ 0.36 ตามลำดับ ปริมาณขยะมูลฝอยแต่ละประเภทแยกตามชนิดของขยะ แสดงรายละเอียดในตาราง 2.4

ตาราง 2.4 ปริมาณขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลในเมือง อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ แยกตามประเภทที่นำมากำจัดในพื้นที่กำจัดมูลฝอย

ประเภทขยะ	ปริมาณเฉลี่ยต่อวัน	
	กิโลกรัม	ร้อยละ
1.ขยะรีไซเคิล	**832.13**	**35.27**
- กล่องนม	11.44	0.48
- กระดาษรวม	7.63	0.32
- เศษกระดาษ	0.00	0.00
- ขวดแก้ว	35.94	1.52
- เศษแก้วประเภทอื่นๆ	47.88	2.02
- ขวดน้ำขุ่น	21.19	1.00
- กระป๋อง	7.63	0.32
- โลหะและอโลหะ	0.00	0.00
- ชิ้นส่วนพลาสติก	0.00	0.00
- ถุงพลาสติก	700.42	29.61
2.ขยะทั่วไป	**104.87**	**4.42**
- ซองบะหมี่ ซองขนม	11.44	0.48
- ซองบุหรี่	1.27	0.05
- ภาชนะจากโฟม	19.92	0.84
- เศษผ้า	47.88	2.02
- หมอนเก่า	0.00	0.00
- เซรามิค	0.00	0.00
- อื่นๆ เช่น เศษรองเท้าฟองน้ำ	24.36	1.03
3. ขยะอินทรีย์	1,277.98	54.03
- เศษอาหาร ซากพืช ซากสัตว์	1,277.98	54.03
4.ขยะติดเชื้อ	**141.84**	**6.00**
- เข็มฉีดยา	0.00	0.00
- ผ้าอ้อมและผ้าอนามัย	141.84	6.00
- อื่นๆ เช่น พลาสเตอร์ติดแผล	0.00	0.00

ตาราง 2.4 (ต่อ)

ประเภทขยะ	ปริมาณเฉลี่ยต่อวัน	
	กิโลกรัม	ร้อยละ
5.ขยะอันตราย	**8.68**	**0.36**
- หลอดฟลูออเรสเซนต์	1.27	0.05
- ถ่านไฟฉาย	3.17	0.13
- กระป๋องยาฆ่าแมลง	0.00	0.00
- กระป๋องสี	0.00	0.00
- ประป๋องสเปรย์	0.00	0.00
- ขวดยา	4.24	0.18
- ขวดน้ำยาล้างห้องน้ำ	0.00	0.00
รวมทั้งหมด	**2,365.50**	**100**

ที่มา : สุขสมาน สังโยคะ และคณะ, 2552

2.7 พืชที่ใช้ในการศึกษา

พืชที่ใช้ในการทำ Phytoextraction ควรเป็นพืชที่โตเร็ว มีมวลชีวภาพสูง มีระบบรากที่กว้าง เก็บเกี่ยวง่าย มีความทนและสะสมโลหะหนักได้สูงในส่วนที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ (Yang et al., 2005) ซึ่งพืชที่สามารถสะสมโลหะหนักได้ในปริมาณที่มากเป็นพิเศษนี้เรียกว่า Hyperaccumulator ซึ่งในปัจจุบันพบพืชที่เป็น Hyperaccumulator มากกว่า 400 ชนิด การที่จะระบุว่าพืชชนิดใดเป็น Hyperaccumulator นั้นสามารถวัดได้จากความสามารถในการสะสมโลหะหนักในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินต่อน้ำหนักแห้งของพืช เช่น พืชที่เป็น Hyperaccumulator ของนิเกิล (Ni) และทองแดง (Cu) จะต้องสะสมโลหะหนักทั้งสองชนิดได้มากกว่า 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สำหรับแมงกานีส (Mn) และสังกะสี (Zn) ต้องสะสมได้มากกว่า 10,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และสำหรับแคดเมียม (Cd) ต้องสะสมมากกว่า 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ชิดชนก อัศวโภคี, 2550)

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ดาวเรืองมีลักษณะเป็น Hyperaccumulator ของแคดเมียม (Sun et al., 2011) เช่นเดียวกับมะเขือ (Ji et al., 2010) ในขณะที่มีรายงานว่าหญ้าแฝกเป็นพืชที่ทนทานต่อตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินได้ดีที่สุด (Alberto et al., 2007)

2.7.1 ดาวเรือง

ดาวเรืองมีชื่อสามัญว่า Marigold ชื่อวิทยาศาสตร์ Tagetes spp. อยู่ในวงศ์ Asteraceae (Compositae) เป็นไม้ดอกพื้นเมืองของประเทศสหรัฐอเมริกาและเม็กซิโก ต่อมาได้แพร่กระจายไปยังแหล่งปลูกทั่วโลก เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศอียิปต์ อเมริกาใต้ ฮังการี ฝรั่งเศส สเปน และเยอรมัน สายพันธุ์ดาวเรืองที่พบในปัจจุบันมีหลากหลายสายพันธุ์ มีทั้งดอกสีขาว สีเหลือง สีทอง และสีส้ม ทั้งนี้เป็นผลมาจากการคัดเลือกและพัฒนาปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้พันธุ์ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ (ศุภนารี ณ มา, 2551)

2.7.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

2.7.1.1.1 ลำต้น เป็นไม้เนื้ออ่อน ลำต้นตั้งตรง แตกกิ่งก้านสาขาเป็นพุ่มแน่นมีใบสวยงาม ทรงต้นมีหลายขนาด ได้แก่ ลำต้นสูง ลำต้นเตี้ย มีความสูงตั้งแต่ 30-100 เซนติเมตร แล้วแต่ชนิด

2.7.1.1.2 ใบ เป็นใบประกอบแบบขนนกปลายคี่ (Odd-Pinnate) เรียงตัวแบบตรงข้าม (Opposite) มีใบย่อย 11-17 ใบ ใบช่วงบนเรียงแบบสลับ (Alternate) ใบย่อยรูปรี (Elliptic) หรือรูปหอก(Lanceolate) ปลายแหลม (Acute) โคนสอบแคบ (Attenuate) ไม่มีหูใบ

2.7.1.1.3 ดอก เป็นดอกแบบช่อกระจุกแน่น (Head) ช่อดอกทรงกลม หรือปลายช่อแบนประกอบด้วยดอกย่อย (Floret) ขนาดเล็กที่ไม่มีก้านดอกจำนวนมากรวมกันอยู่บนแกนกลางที่อัดสั้นจนแผ่กว้าง ตรงกลางนูนเล็กน้อยคล้ายฐานรองดอก ทำให้ช่อดอกมีลักษณะคล้ายดอกเดี่ยว ริ้วประดับเชื่อมกันเป็นรูประฆัง ปลายจักฟันเลื่อย ดอกย่อยแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ดอกย่อยชั้นใน (Disc Floret) เป็นดอกสมบูรณ์เพศ (Hermaphrodite) ลักษณะคล้ายกระดิ่ง (Bell-Like Collora) หรือท่อ (Tubular) เรียงตัวภายในของช่อดอก มีกลีบดอก 5 กลีบเชื่อมติดกัน เกสรเพศผู้มีอับเรณูติดกัน (Synantherous) 5 อัน เป็นวงล้อมรอบก้านเกสรเพศเมีย และติดอยู่กับกลีบดอก โดยอยู่สลับกับกลีบดอก อับเรณูมี 2 ช่องตามยาว ก้านเกสรเพศเมียมีปลายแยกเป็น 2 แฉก รังไข่แบบใต้วงกลีบ(Inferior Ovary) ไข่ (Ovule) ติดที่ฐานของรังไข่(Basal) ส่วนดอกย่อยชั้นนอก (Ray Floret) กลีบดอกเป็นรูปรางน้ำ โคนเป็นหลอดเล็กปลายแผ่รูปไข่กลับ เป็นดอกที่มีเฉพาะเกสรเพศเมีย กาบรองดอกเชื่อมติดกับกลีบดอกชั้นนอกซึ่งเปลี่ยนรูปร่าง หรือลดรูปลงเป็นเส้น (Thread-like) หรือเกร็ดเล็กๆ (Scale-Like) เรียกว่า Pappus มีประมาณ 5-6 อัน ดอกมีหลายสี เช่น สีส้ม เหลือง เหลืองทอง ครีม หรือมีสองสีในดอกเดียวกัน เช่น สีแดงกับเหลือง แดงกับส้ม มีทั้งแบบดอกชั้นเดียว และดอกซ้อน ดอกมีหลายขนาด คือ มีขนาดเล็กประมาณ 2.5 เซนติเมตร ถึงขนาดใหญ่ประมาณ 10 เซนติเมตร

2.7.1.1.4 เมล็ด มีขนาดค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับเมล็ดไม้ดอกชนิดอื่น รูปร่างยาวเรียว (ประทุมพร ขอดแก้ว, 2551)

2.7.2 มะเขือเปราะ

มะเขือเปราะมีชื่อสามัญว่า Yellow Berried Nightshade ชื่อวิทยาศาสตร์ Solanum Melongena Linn. วงศ์ Solanaceae เป็นไม้พุ่มสูง 0.2-0.6 เมตร ลำต้นและกิ่งก้านพบขนรูปดาวประปราย พบหนามละเอียด สั้น ตรง หรือไม่พบ ใบเดี่ยว เรียงสลับ ก้านใบยาว 1- 4 เซนติเมตร พบขนรูปดาวประปราย แผ่นใบกว้าง 4-10 เซนติเมตร ยาว 9-15 เซนติเมตร รูปไข่หรือรูปหอก โคนใบเฉียง ขอบใบหยัก ข้างละ 2-3 หยัก แต่ละหยักลึก 0.5-1.5 เซนติเมตร ปลายใบแหลม ที่ผิวใบด้านบนและด้านล่างพบขนรูปดาวประปราย ดอกเดี่ยว ก้านดอกยาว 1.5-3 เซนติเมตร พบขนรูปดาวประปราย ดอกสีม่วงหรือสีขาว วงกลีบเลี้ยงปลายแยก 5 แฉก แต่ละแฉกลึกประมาณ 1-2 เซนติเมตร รูปหอกเรียวแหลม พบขนรูปดาวประปราย วงกลีบดอกเชื่อมกัน ปลายแยก 5 แฉก แต่ละแฉกลึกประมาณ 0.2-0.5 เซนติเมตร เกสรเพศผู้ 5 อัน เกสรเพศเมีย 1 อัน อยู่เหนือวงกลีบ ผลมีรูปร่างกลม ผลอ่อนสีเขียวหรือสีขาวผิวเป็นมัน ผลแก่สีเหลือง เส้นผ่านศูนย์กลาง 1-15 เซนติเมตร กว้าง 2-3 เซนติเมตร ยาว 10-30 เซนติเมตร ก้านผลยาว 0.5-1.8 เซนติเมตร เม็ดค่อนข้างกลม มีขนาดประมาณ 0.3 เซนติเมตร การใช้ประโยชน์ ใช้ผลอ่อนปรุงอาหาร ผัด ต้ม แกง หรือใช้ผลสดรับประทาน (วินัย สมประสงค์, 2550)

2.7.3 หญ้าแฝก

หญ้าแฝกจัดเป็นหญ้าเขตร้อนที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติกระจัดกระจายทั่วไปในสภาพแวดล้อมต่างๆ ซึ่งในประเทศไทยจะพบหญ้าแฝกขึ้นตามธรรมชาติในพื้นที่ทั่วไปจากที่ลุ่มจนถึงที่ดอน และสามารถขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิด มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Vetiveria Zizanioides. เป็นพืชตระกูลหญ้าขึ้นเป็นกอหนาแน่น เจริญเติบโตโดยการแตกกออย่างรวดเร็ว เส้นผ่านศูนย์กลางกอประมาณ 30 เซนติเมตร ความสูงจากยอดประมาณ 0.5 ถึง 1.5 เมตร ลักษณะใบแคบยาวประมาณ 75 เซนติเมตร ความสูงจากยอดประมาณ 75 เซนติเมตร ความกว้างประมาณ 8 มิลลิเมตร ค่อนข้างแข็ง

2.7.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

2.7.3.1.1 ลำต้น (Culm) หญ้าแฝกเป็นหญ้าที่ขึ้นเป็นกอมีลักษณะเป็นพุ่ม ใบบาง ต้นตรงขึ้นสูง มีการขึ้นอยู่เป็นพุ่ม ใบบางต้นตั้งตรงขึ้นสูงมีการขึ้นอยู่เป็นกลุ่มใหญ่หรือกระจายกันอยู่ไม่ไกลมากนัก กอแฝกมีขนาดค่อนข้างใหญ่ โคนกอเบียดกันแน่นเป็นลักษณะเฉพาะอันหนึ่งที่แตกต่างจากหญ้าอื่นๆ ค่อนข้างชัดเจน ส่วนโคนของลำต้นจะแบนเกิดจากส่วนของโคนใบที่จัดเรียงพับซ้อนกัน ลำต้นแท้จะมีขนาดเล็กซ่อนอยู่ในกาบใบบริเวณคอดิน การเจริญเติบโตและแตกกอของหญ้าแฝกจะมีการแตกหน่อใหม่ทดแทนต้นเก่าอยู่เสมอ โดยจะแตกหน่อออกทางด้านข้างรอบกอดิน ทำให้กอมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ โดยปกติแล้วหญ้าแฝกมีลำต้นสั้น ข้อ และปล้องไม่ชัดเจน การแตกตะเกียงและการยกลำต้นขึ้นเดี่ยๆเหนือพื้นดิน

ไม่พบมากในสภาพธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์ แต่เป็นลักษณะที่พบได้ทั่วไปในหญ้าแฝกที่ได้จัดปลูกในถุง ในแปลงดันแก่มากหรือปลูกในพื้นที่วิกฤติ

2.7.3.1.2 ใบ (Leaf) ใบของหญ้าแฝกจะแตกออกจากโคนกอ มีลักษณะแคบยาวขอบใบขนานปลายสอบแหลม แผ่นใบกร้านคาย โดยเฉพาะใบแก่ขอบใบและเส้นกลางใบมีหนามละเอียด (Spinulose) หนามบนใบที่ส่วนโคนและกลางแผ่นจะมีน้อย แต่จะมีมากที่บริเวณปลายใบ มีลักษณะตั้งทแยงปลายหนามชี้ขึ้นไปทางปลายใบ กระจังหรือเยื่อกันน้ำฝนที่โคนใบ (Ligule) จะลดรูปมีลักษณะเป็นเพียงส่วนโค้งของขนสั้นละเอียด บางครั้งสังเกตได้ไม่ชัดเจน

2.7.3.1.3 ราก (Roots) รากเป็นส่วนสำคัญและเป็นลักษณะพิเศษของหญ้าแฝกที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นหลัก หญ้าส่วนใหญ่โดยทั่วไปจะมีรากที่เป็นลักษณะระบบรากฝอย(Fibrous Roots) แตกจากส่วนลำต้นใต้ดินกระจายออกแผ่กว้างเพื่อยึดพื้นดินตามแนวนอน (Horizontal) มีระบบรากในแนวดิ่ง (Vertical) ไม่ลึกมาก แต่ระบบรากหญ้าแฝกจะแตกต่างจากรากหญ้าส่วนใหญ่ทั่วไป คือมีรากที่สานกันแน่นหยั่งลึกแนวดิ่งลงในดิน ไม่แผ่ขนานมีรากแกน รากแขนง โดยเฉพาะมีรากฝอยแนวดิ่งจำนวนมาก

2.7.3.1.4 ช่อดอก (Inflorescence) และดอก (Spikelets) หญ้าแฝกมีช่อดอกตั้ง ลักษณะเป็นรวง ก้านช่อดอกยาวกลม ก้านช่อดอกและรวงสูงประมาณ 100 - 150 เซนติเมตร เฉพาะส่วนช่อดอกและรวงสูงประมาณ 20 - 40 เซนติเมตร แผ่กว้างเต็มที่ 10 - 15 เซนติเมตร ดอกหญ้าแฝกจะเรียงตัวอยู่ด้วยกันเป็นคู่ๆ มีลักษณะคล้ายคลึงและขนาดใกล้เคียงแต่ละคู่ประกอบด้วยดอกชนิดที่ไม่มีก้าน และดอกชนิดมีก้าน ยกเว้นส่วนปลายของก้าน ช่อย่อยมักจะจัดเรียงเป็น 3 ดอกอยู่ด้วยกัน ดอกไม่มีก้านจะอยู่ด้านกลาง ส่วนดอกที่มีก้านจะชูอยู่ด้านบน ดอกหญ้าแฝกมีลักษณะคล้ายกระสวย ขอบขนานรูปไข่ ปลายสอบ ขนาดของดอกกว้าง 1.5 – 2.5 มิลลิเมตร ยาว 2.5 – 3.5 มิลลิเมตร ผิวบนด้านหลังขรุขระมีหนามแหลมขนาดเล็ก โดยเฉพาะที่บริเวณขอบเห็นได้ชัดเจนเมื่อส่องดูด้วยแว่นขยายด้านล่างผิวเรียบ

2.7.3.1.5 เมล็ดและต้นกล้า (Seed and Seeding) ดอกหญ้าแฝกเมื่อได้รับการผสมแล้ว ดอกที่ไม่มีก้านดอกซึ่งเป็นดอกสมบูรณ์ก็จะติดเมล็ด เมล็ดมีสีน้ำตาลอ่อน เป็นรูปกระสวยผิวเรียบหัวท้ายมน มีเนื้อในลักษณะคล้ายแป้งเหนียวจึงสูญเสียสภาพความงอกได้ง่าย เมื่อถูกลมแรง แดดจัด หรือสภาพอากาศวิกฤติเนื้อแป้งเปลี่ยนเป็นแข็งรัดตัวทำให้ขยายตัวไม่ได้ เนื่องจากเมล็ดหญ้าแฝกมีความสามารถในการงอกอยู่ในช่วงระยะเวลาจำกัดเพียงช่วงสั้นๆ และจะแห้งฝ่อไปเอง แต่อย่างไรก็ตามการตัดใบทุกๆ 3 - 4 เดือน จะช่วยกำจัดดอกและไม่ให้เกิดเมล็ดได้ (พนิตนาฏ จันทรานุภาพ และ ประวิตร จันทรานุภาพ, 2550)

2.8 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Iqbal et al., (2012) ได้ทำการศึกษาผลของโลหะหนัก ในการประยุกต์ใช้ EDTA ต่อการดูดซึมโลหะหนักและการแสดงออกของยีนที่แตกต่างกันในผักตระกูลกะหล่ำ ผลของการศึกษาพบว่าความเข้มข้นที่แตกต่างกันของโลหะหนักแคดเมียม (Cd) โครเมียม(Cr) ตะกั่ว (Pb) และ EDTA ที่ใช้ในผักตระกูลกะหล่ำสองสายพันธุ์ (Brassica Carinata และBrassica Juncea) ซึ่ง EDTA มีผลต่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวราก น้ำหนักรากสด น้ำหนักรากแห้งและการสะสมของโลหะหนักในพืชทั้งสองสายพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นความยาวของยอดพืช ผลของโลหะหนักต่อน้ำหนักสด น้ำหนักรากสด และการสะสมของโลหะหนัก อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การทำงานร่วมกันระหว่างโลหะหนัก x สายพันธุ์ มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวรากและการสะสมของโลหะหนักทั้งในสายพันธุ์ Brassica แสดงให้เห็นว่าระยะเวลามีผลต่อน้ำหนักสด น้ำหนักรากแห้ง ซึ่งประสบความสำเร็จในพืชควบคุม ที่มีโลหะหนักสูงสุด (142.88 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) พบว่า B.juncea ที่ปลูกในดินที่มีตะกั่ว 150 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ 0 มิลลิโมล EDTA สายพันธุ์ Brassica ที่ได้รับโลหะหนักและ EDTA ผลในการแสดงออกของการสังเคราะห์ Polypeptides และแสดงความอุดมสมบูรณ์ซึ่งอาจมีผลต่อการใช้พืชบำบัด

Rizo et al., (2011) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของโคบอลต์ นิกเกิล ทองแดง สังกะสี และตะกั่ว ในดินชั้นบน (0-10 ซม.) จากบ่อฝังกลบขยะในเมืองฮาวานา และทำการวิเคราะห์โดยวิธี X-Ray Fluorescence ซึ่งปริมาณโลหะในตัวอย่างดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม : โคบอลต์ 8.4±2.7 นิเกิล 50±27 ทองแดง 252±80 สังกะสี 489±230 และตะกั่ว 276±140) เมื่อนำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย ความเข้มข้นของโลหะจากดินในเมืองฮาวานาเทียบกับดินจากบ่อ ฝังกลบขยะในประเทศอื่นทั่วโลก พบว่าคุณภาพดินในฮอลแลนด์ ทองแดงมีการปนเปื้อนเล็กน้อย (ค่าเฉลี่ย = 3.5) ดินจากบ่อฝังกลบมีการปนเปื้อนของโลหะในปริมาณสูงซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ได้รับอนุญาตเพื่อการเกษตรกรรม

Sun et al., (2011) ได้ทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดจาก Benzo[a]pyrene (B[a]P) ต่อการเจริญเติบโตของดาวเรือง การดูดซึม สะสม Benzo[a]pyrene (B[a]P) และโลหะหนัก ผลการศึกษาพบว่า B[a]P ($\leq$10mgkg^{-1}) ความเข้มข้นต่ำ ช่วยในการเจริญเติบโตของดาวเรืองและยังส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของมวลชีวมวลในอัตรา 10.0- 49.7% เปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเข้มข้น พบว่า B[a]P สะสมในเนื้อเยื่อของพืชและดิน B[a]P ($p<0.001$) ซึ่งแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตและ

B[a]P มีผลต่อการดูดซึมและการสะสมในดาวเรือง แต่ดาวเรืองยังคงมีคุณลักษณะเป็น Hyperaccumulator ของแคดเมียมจากดินที่ปนเปื้อน โดยประสิทธิภาพการดูดซึมแตกต่างจากทองแดง และตะกั่ว ซึ่งดูดซึมในปริมาณต่ำ พืชสามารถย่อย B[a]P และโลหะหนัก 79.2–92.4% และ 78.2–92.9% ในดินที่ปนเปื้อนตามลำดับ ดังนั้นดาวเรืองอาจเป็นประโยชน์สำหรับการบำบัด B[a]P และแคดเมียมในพื้นที่ปนเปื้อน

Ji et al., (2010) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มการบำบัดแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินทางการเกษตรโดยมะเขือ ซึ่งเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อพัฒนาการบำบัดที่จะนำไปใช้ทดลองในภาคสนาม การทดลองในภาคสนามใช้มะเขือซึ่งเป็น Hyperaccumulator ของแคดเมียม จากดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม 1.91 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามะเขือมีมวลชีวภาพค่อนข้างสูง การปลูกอย่างหนาแน่นมีผลกระทบต่อมวลชีวภาพของพืชและการสะสมของแคดเมียม การเก็บเกี่ยวมีผลต่อปริมาณแคดเมียมที่ดูดซึมจากดิน การปลูกพืชสองรอบช่วยเพิ่มปริมาณการดูดซึมแคดเมียมจากดินของมะเขือ และการใส่ปุ๋ยไม่มีผลต่อการดูดซึมแคดเมียมในระยะเวลาสั้น การศึกษาแสดงให้เห็นว่ามะเขือสามารถสะสมแคดเมียมจากดินที่ระดับความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ จึงมีการประยุกต์ใช้มะเขือบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมในปริมาณน้อยถึงระดับปานกลาง

Wei et al., (2009) ได้ทำการศึกษาผลของปุ๋ยต่อการบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมของมะเขือ ซึ่งการบำบัดด้วยพืชเป็นเทคนิคที่ง่าย มีประสิทธิภาพ เป็นประโยชน์ในการบำบัดสภาพแวดล้อมที่เสื่อมคุณภาพและเป็นวิธีที่ยั่งยืน โดยมะเขือเป็น Hyperaccumulator ของแคดเมียม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม เปรียบเทียบการศึกษาผลกระทบของการดูดซึมแคดเมียมของมะเขือ โดยใช้มูลไก่ และยูเรีย เป็นปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมในใบของมะเขือลดลง 28.2–34.6% อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่เทียบกับมะเขือที่ใส่มูลไก่ แต่การสกัดแคดเมียมจากมวลชีวภาพจากมะเขือพบว่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมวลชีวภาพที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินลดลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของมูลไก่ ดังนั้นยูเรียอาจจะดีกว่าสำหรับการเสริมอัตรา Phytoextraction ของมะเขือ แคดเมียมและมูลไก่อาจจะดีกว่าสำหรับปุ๋ยสำหรับ Phytostabilization

Alberto et al., (2007) ได้ทำการศึกษาการบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่วด้วยการใช้หญ้าแฝก หญ้าคา และหญ้าสองหาง พบว่าการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมจัดว่าเป็นปัญหาระดับโลกซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้น โดยสิ่งปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมนี้ ส่วนใหญ่มาจากผลิตภัณฑ์จากสารเคมีและโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว ซึ่งตะกั่วถูกปลดปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อม

ได้หลายทาง ไม่ว่าจะเป็นอากาศ ดิน และน้ำ ตะกั่วก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพหลายด้าน และทางเลือกหนึ่งที่ได้นำมาใช้ลดความเข้มข้นของตะกั่วที่ปนเปื้อนอยู่ในดินคือ ไฟโตเรเมดิเอชั่น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้พืชมาทำความสะอาดต่อการปนเปื้อนในพื้นที่ การศึกษานี้เพื่อตรวจสอบอัตราการอยู่รอดและลักษณะการเจริญเติบโตของหญ้า 3 ชนิด ได้แก่ หญ้าแฝก หญ้าคาและหญ้าสองหาง ที่เจริญเติบโตในดินที่มีความเข้มข้นของตะกั่วในระดับที่แตกต่างกัน และตรวจสอบและเปรียบเทียบความสามารถของพืชทั้ง 3 ชนิด ในด้านศักยภาพของการเป็นพืชที่ใช้บำบัดการสะสมของตะกั่ว

จากลักษณะการเจริญเติบโตของพืชที่นำมาใช้ทดลอง พบว่าหญ้าแฝกเป็นพืชที่มีน้ำหนักแห้งสูงที่สุด (33.85-39.39 มิลลิกรัม/เฮกแตร์) หญ้าสองหางมีน้ำหนักแห้งต่ำที่สุด คือ 4.12 มิลลิกรัม/เฮกแตร์ และ 5.72 มิลลิกรัม/เฮกแตร์ ในดินที่มีการปนเปื้อนตะกั่ว 75 และ 150 มิลลิกรัม/เฮกแตร์ ตามลำดับ หญ้าแฝกเป็นพืชที่มีเปอร์เซนต์การอยู่รอดสูงที่สุด ซึ่งหมายความว่าหญ้าแฝกเป็นพืชที่ดีที่สุดที่ทนทานต่อตะกั่วที่ปนเปื้อนในดิน หญ้าแฝกมีอัตราการดูดซึมตะกั่วสูงที่สุด (10.16±2.81มิลลิกรัม/กิโลกรัม) รองลงมาคือหญ้าคา (2.34±0.52มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และหญ้าสองหางที่มีกับระดับของตะกั่วเฉลี่ย 0.49±0.56 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ระดับของตะกั่วที่อยู่ในหญ้า 3 ชนิด (ยอด+ราก) ไม่ได้แปรผันอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของตะกั่วที่เพิ่มขึ้นในดิน (75 และ 150 มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

Wei et al., (2006) ได้ทำการศึกษาลักษณะการสะสมแคดเมียมและมวลชีวภาพของมะเขือที่เป็น Hyperaccumulator ของแคดเมียม ในระยะออกดอกและระยะติดผล ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมในลำต้นและใบของมะเขือ ในระยะออกดอกเท่ากับ 83.1% และ 85.5% ในระยะติดผล ผลรวมน้ำหนักแห้งของลำต้นและใบของมะเขือในระยะเก็บเกี่ยวและในระยะออกดอกเป็น 93.4% จากเมล็ดของมะเขือ อัตราส่วนของแคดเมียมจากต้นมะเขือ และในระยะออกดอกเป็น 87.5% จากระยะติดผล นอกจากนี้ยังพบระยะการเจริญเติบโตของมะเขือว่าระยะเวลาที่ปลูกในแปลงทดลองนานเป็นสองเท่าในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตจากระยะต้นกล้า ระยะออกดอก ดังนั้นมะเขืออาจจะปลูกในดินที่ปนเปื้อนสองครั้งในหนึ่งปี โดยการเกี่ยวที่ระยะออกดอก บนพื้นฐานของสภาพแวดล้อมของแปลงทดลองและลักษณะการเจริญเติบโต โดยเฉพาะอย่างยิ่งประสิทธิภาพการสกัดแคดเมียม โดยเก็บเกี่ยวมะเขือระยะออกดอกสองครั้งในหนึ่งปีจะสามารถเพิ่ม 75.0% เทียบกับเมื่อครบกำหนด ดังนั้นการเก็บเกี่ยวหลายครั้งเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

Chen et al., (2004) ได้ทำการศึกษาการใช้หญ้าแฝก (Vetiveria Zizanioides) ในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก การวิจัยแสดงให้เห็นว่าวิธีการ Phytoextraction มักจะต้องเติมสารอื่นในดิน เช่น การประยุกต์ใช้ EDTA เพื่อเพิ่มการดูดซึมของโลหะหนักในดิน อย่างไรก็

ตาม EDTA และ EDTA-โลหะหนักเชิงซ้อนสามารถเป็นพิษต่อพืชและจุลินทรีย์ในดินและอาจปนเปื้อนเข้าสู่น้ำใต้ดินทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ในปัจจุบันการศึกษาหญ้าแฝก (หญ้าแฝกลุ่ม) เนื่องจากการใช้ศักยภาพในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก ในการทดลองการดูดซึมตะกั่วของหญ้าแฝกจากดินที่มีการปนเปื้อนตะกั่วภายใต้สภาวะที่มีการเติม EDTA ผลการศึกษาพบว่าหญ้าแฝกมีความทนทานต่อความเข้มข้นของตะกั่วในดินปริมาณสูง การประยุกต์ใช้ EDTA อัตราส่วนการสะสมของตะกั่วจากรากหญ้าแฝกจะเพิ่มสูงขึ้น หลังจากวันที่ 14 ของการเติม EDTA ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมล พบว่าตะกั่วมีความเข้มข้น 42 160 243 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และความเข้มข้นของตะกั่วในรากหญ้าแฝกเป็น 266 951 และ 2,280 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จากดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว 500 2,500 และ 5,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ จากการทดลองในดินชั้นชะล้าง (เส้นผ่านศูนย์กลาง 9.0 เซนติเมตร ความสูง 20 เซนติเมตร) ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม ถูกชะล้างจากชั้นดินประมาณ 3.7% 15.6% 14.3% และ 22% ดินที่ปนเปื้อนหลังจากเติม EDTA 5.0 มิลลิโมล/กิโลกรัม จากดิน 126 มิลลิเมตร ใกล้การชลประทานจากน้ำฝน และในการทดลองการชะล้างดิน (เส้นผ่าศูนย์กลาง 9.0 เซนติเมตร ความสูง 60 เซนติเมตร) ถูกอัดแน่นไปด้วยดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากน้ำชะขยะ (จำลองดินดานภายใต้ที่ดินชั้นบนปนเปื้อน) และปลูกหญ้าแฝก จากการทดลองที่ถูกนำไปใช้กับพื้นผิวของดิน น้ำฝนเทียมไหลและน้ำชะผ่านน้ำชะขยะและเก็บดินด้านล่าง ผลการศึกษาพบว่าหญ้าแฝกสามารถดูดซึมตะกั่ว ทองแดง สังกะสีและแคดเมียม 98% 54% 41% และ 88% ตามลำดับ ของโลหะหนักที่ปนเปื้อนลงสู่น้ำใต้ดิน

ดวงกมล คำสอน และ ชมพูนุท ไชยรักษ์ (2556) ได้ทำการศึกษาการสะสมโลหะของทานตะวันสายพันธุ์แปซิฟิก 77 ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว 550 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สังกะสี 140 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และทองแดง 350 มิลลิกรัม/กิโลกรัม นอกจากนี้ยังศึกษาอิทธิพลของ $(NH4)_2SO_4$, NH_4NO_3 และ EDTA ที่มีต่อการสะสมโลหะหนักของพืช ซึ่งศึกษาปริมาณโลหะหนักในราก ล้าต้น ใบ และเมล็ด ของทานตะวันสายพันธุ์แปซิฟิก 77 ผลการวิจัยพบว่าเมื่อไม่เติมเกลือ ($(NH_4)_2SO_4$, NH_4NO_3 และ EDTA) ทานตะวันจะสะสมตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีได้ 29.91 45.50 และ 100.70 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ของพืช ตามลำดับ เมื่อเติม NH_4NO_3 และ $(NH_4)_2SO_4$ ส่งผลให้พืชสะสมโลหะหนักทุกชนิดได้มากขึ้นโดย NH_4NO_3 จะส่งผลต่อการสะสมโลหะหนักมากที่สุด เมื่อพิจารณาเฉพาะในเมล็ด พบว่าปริมาณตะกั่วในทุกชุดการทดลองสูงเกินค่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนแต่ปริมาณทองแดง และสังกะสีไม่เกินค่ามาตรฐาน

อภิชิต วิจักขณ์รัตนะ และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาการบำบัดดินปนเปื้อนโลหะหนักจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนโดยใช้พืช โดยศึกษาความสามารถในการสะสม ตะกั่ว โครเมียม และสังกะสี ของทานตะวัน ที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก และได้ทำการ

เปรียบเทียบผลของอีดีทีเอ และไคโตซาน ต่อการสะสมโลหะหนักในทานตะวัน ในการศึกษานี้ดำเนินการโดยการปลูกพืชในชุดกระถางทดลองด้วยดินจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนของเทศบาลนครขอนแก่น หลังจากปลูกพืชได้ 2 สัปดาห์จึงเติมอีดีทีเอ และไคโตซานในสัดส่วนที่แตกต่างกัน จากนั้นทำการเก็บตัวอย่าง ณ เวลา 8 สัปดาห์หลังจากปลูกพืชเพื่อวิเคราะห์โลหะหนักในดอก ใบ ต้น และราก ของทานตะวัน ผลการศึกษาพบว่าดินจากหลุมฝังกลบขยะมีการปนเปื้อนตะกั่ว โครเมียม และสังกะสี เท่ากับ 209.00 228.00 และ 963.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อเก็บเกี่ยวพืชมาวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในพืช พบว่าทานตะวันมีการดูดซึมสังกะสีได้สูงที่สุด รองลงมาคือตะกั่ว และโครเมียม ตามลำดับ สำหรับการสะสมโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของพืช การสะสมของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันคือ มีการสะสมของโลหะหนักสูงที่สุดในราก รองลงมาคือใบ ลำต้น และดอก ตามลำดับ เมื่อทดลองเติมสารคีเลทติ้ง เอเจนท์ที่มีคุณสมบัติในการจับโลหะหนัก พบว่าอีดีทีเอมีผลต่อการดูดซึมโลหะหนักของทานตะวัน เนื่องจากอีดีทีเอ สามารถละลายโลหะหนักบางชนิดที่จับตัวกันในรูปแบบเชิงซ้อน ทำให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดซึมได้ และแต่ไคโตซานซึ่งเป็นสารที่จับตัวได้ดีกับโลหะหนักไม่มีผลต่อการสะสมตะกั่ว โครเมียม และสังกะสี ในทานตะวัน

สุทธิวัฒน์ บุญเลิศ (2551) ได้ทำการศึกษาการบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม สังกะสีด้วยต้นสาบเสือ จากการทดลองปลูกพืชในระบบไฮโดรโพนิกที่ผสมแคดเมียมและสังกะสี เป็นเวลา 15 วัน พบว่าต้นสาบเสือมีการเจริญเติบโตได้ดี มีการสะสมแคดเมียมและสังกะสีมากบริเวณราก (แคดเมียม 2,999.30 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และสังกะสี 3,015.70 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์การสะสมโลหะหนัก พบว่าต้นสาบเสือเป็น Hyperaccumulator ของแคดเมียม

จากการศึกษาโดยปลูกต้นสาบเสือในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมและสังกะสี โดยบริเวณที่ทำการทดลอง คือ นาข้าวในหมู่บ้านพะเด๊ะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ทำการแบ่งปลูกเป็น 3 กลุ่มตามระดับการปนเปื้อนแคดเมียมในดิน (สูง ปานกลางและต่ำ) และเก็บตัวอย่างพืชทุก 1 เดือน เป็นเวลา 3 เดือน ผลการศึกษาพบว่าต้นสาบเสือมีการเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมในปริมาณสูงและไม่แสดงอาการเป็นพิษจากโลหะหนัก พืชสะสมแคดเมียมและสังกะสีมากในบริเวณลำต้น (แคดเมียม 14.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และสังกะสี 278.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โดยมีค่า Translocation Factor มากกว่า 1 ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าต้นสาบเสือมีความสามารถในการดูดซึมและขนส่งแคดเมียมและสังกะสีจากดินไปสู่บริเวณลำต้นได้ดี