

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ลักษณะดินชุดโพนพิสัย (Phon Phisai series)

กรมพัฒนาที่ดิน (2541) รายงานว่าดินชุดโพนพิสัย เป็นดินต้นถึงต้นมาก พบบริเวณพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบถึงคลื่นลอนของตะพักลำน้ำระดับกลาง ลักษณะเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนสีน้ำตาล หรือ น้ำตาลปนเทา ปฏิกริยาดินเป็นกรดแก่ถึงกรดเล็กน้อยค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 5.0 – 6.5 ส่วนดินชั้นล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายปนกรวดลูกรังหรือดินร่วนเหนียวปนกรวดลูกรัง ชั้นที่เป็นกรวดลูกรังจะพบภายในความลึก 50 ซม. จากผิวดินบน ดินชั้นล่างมีสีน้ำตาลแก่ หรือแดงปนเหลือง สำหรับดินที่อยู่ใต้ชั้นลูกรังจะเป็นดินเหนียว สีเทาอ่อนหรือน้ำตาลอ่อนปนเทา พบจุดประสีแดงและเหลืองเกิดขึ้นมาก ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 4.5 – 5.5 ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชไร่ได้ ถ้ามีหน้าดินหนากว่า 15 ซม. และยังคงสภาพเป็นป่าเต็งรังโปร่ง

การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยในการประเมินได้ใช้คุณสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (C.E.C.) ค่าการอิ่มตัวด้วยเบส (B.S.) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (O.M.) ปริมาณฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K.) ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งได้จากผลการวิเคราะห์ดินที่เป็นตัวแทนของชุดดินในกลุ่มพิจารณาเฉพาะดินบน หนาประมาณ 30 ซม. วิธีการประเมินใช้วิธีของกองสำรวจและจำแนกดินกรมพัฒนาที่ดิน ผลของการประเมินสรุปว่า ชุดดินโพนพิสัยมีค่า C.E.C., B.S, O.M, P, K, เท่ากับ 11.15 me/100g soil, 32.00 % , 1.90 % , 7.83 ppm , 124.33 ppm. ตามลำดับ และมีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

2. ปุ๋ยหมัก

2.1 ความหมายของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก (compost) คือ เป็นปุ๋ยที่ได้จากการหมักเศษเหลือของพืช เช่น หญ้า ฟาง ผักตบชวา มูลสัตว์ วัชพืช หรือเศษวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ อาจใช้วัตถุเคมีอื่นๆ มากองสลับกันเป็นชั้นๆ จนมีการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเกิดขึ้น (สมภาพ จูฑะวงษ์. 2537 หน้า 120) ซึ่งเกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดในการย่อยสลายสาร จนกระทั่งได้สารอินทรีย์วัตถุที่มีความคงทน ไม่มีกลิ่น สีน้ำตาลปนดำ มีอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ เมื่อกระบวนการย่อยสลาย

เศษพืชและวัสดุเศรษฐกิจสมบูรณ์ก็ได้ปุ๋ยอินทรีย์สำหรับใช้เป็นวัสดุในการปรับปรุงและบำรุงดิน (วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และคณะ. 2534 หน้า 13)

ปุ๋ยเทศบาล (municipal compost) เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเดียวกับปุ๋ยหมัก ได้มาจากการนำเศษขยะมูลฝอยที่ทางเทศบาลเก็บได้มาจากบ้านเรือนต่างๆ มาบดและหมัก อาจผสมจุลจากรและปุ๋ยเคมีลงไปเพื่อเพิ่มธาตุอาหาร ถึงแม้ว่าปุ๋ยเทศบาลจะให้ธาตุอาหารน้อยแต่ก็มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ช่วยให้ดินอุ้มน้ำได้ดีขึ้น ทำให้ดินเหนียวร่วนขึ้น ทำให้ดินทรายทนต่อการพังทลาย (สมภพ สุตะวสันต์. 2537 หน้า 120)

2.2 วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

กรมพัฒนาที่ดิน (2540) และ นลินี ว่องมงคลฤทธิ (2536) รายงานว่าวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุเหลือใช้จากกิจกรรมต่างๆ โดยจำแนกได้ดังนี้

2.2.1 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรจึงมีอยู่ทั่วไปและหลายรูปแบบ โดยพื้นที่ที่ใช้ในการปลูกข้าวมีสูงถึง 73 ล้านไร่ ขณะที่อีกประมาณ 47 ล้านไร่ใช้ในการเพาะปลูกพืชอื่นๆ พางข้างจึงเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีปริมาณมากและเหมาะแก่การนำมาหมักทำปุ๋ย และยักรวมถึงส่วนของลำต้น ใบ และเปลือกของพืชบางชนิดที่สามารถนำมาหมักได้ เช่น ต้น และซังของข้าวโพด ต้นและเปลือกของถั่วชนิดต่างๆ เศษต้นอ้อย เป็นต้น

2.2.2 วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม

ประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนา มีการเพิ่มผลผลิตทางอุตสาหกรรม โดยแปรรูปผลผลิตจากการเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป จึงก่อให้เกิดวัสดุเหลือใช้จากโรงงานแปรรูปหลายชนิด เช่น กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล แกลบจากโรงงานสีข้าว ขี้เลื่อยจากโรงงานแปรรูปไม้ ชุยมะพร้าว ไล่ปอ และขุยมะพร้าวจากโรงงานผลิตกระดาษ และเศษวัสดุเหลือใช้อื่นๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและผลไม้กระป๋อง เป็นต้น วัสดุเหลือใช้บางชนิดสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น เช่น กากถั่วลิสง กากถั่วเหลือง นำไปเลี้ยงสัตว์ วัสดุบางชนิดสามารถนำไปใช้ทำเป็นปุ๋ยได้โดยตรง เช่น กากมะพร้าว กากเมล็ดฝ้าย และกากผงชูรส เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนอยู่สูง แต่แกลบและกากอ้อยปน ต้องเติมธาตุอาหารที่พืชขาดแล้วหมักให้เปื่อยเสียก่อนจึงนำไปเป็นปุ๋ยได้ วัสดุที่นิยมใช้ผลิตปุ๋ยหมักระดับอุตสาหกรรมคือ กากอ้อย เนื่องจากมีปริมาณมากกว่าวัสดุอื่น และมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการผลิต กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมหลายประเภทจะมีน้ำเสียที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก โดยใช้แทนน้ำในการรักษาระดับความชื้นในกอง

ปุ๋ยหมัก เช่น น้ำกากส่า จากโรงงานผลิตเหล้าหรือแอลกอฮอล์ น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตผงชูรส น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง น้ำทิ้งจากโรงงานประกอบอาหารและผลไม้กระป๋อง เป็นต้น ส่วนน้ำทิ้งบางประเภทจะมีสารอินทรีย์ปะปนเป็นจำนวนมาก สามารถแยกออกโดยการตกตะกอน ตะกอนอินทรีย์นี้อุดมด้วยแร่ธาตุชนิดต่างๆ เหมาะแก่การนำไปทำเป็นปุ๋ยได้ดี เช่น ตะกอนจากโรงงานกลั่นสุรา โรงงานน้ำอัดลม เป็นต้น แต่ตะกอนจากโรงงานบางประเภทที่ปนเปื้อนโลหะหนัก เช่น ตะกอนจากโรงงานถลุงโลหะ โรงงานแบตเตอรี่ อาจนำไปใช้ทำปุ๋ยสำหรับไม้ดอกไม้ประดับ แต่ไม่ควรใช้กับพืชรับประทาน

2.2.3 วัสดุเหลือใช้จากบ้านเรือน

ในเขตชุมชนที่มีประชากรอยู่ร่วมกันอย่างหนาแน่นมักจะมีปัญหาในด้านวัสดุเหลือใช้ ซึ่งได้แก่ ขยะ โดยมีแนวโน้มว่าปริมาณจะเพิ่มสูงขึ้นทุกปี แนวทางที่สามารถนำขยะเหล่านี้มาทำประโยชน์ คือ การทำปุ๋ยหมัก ทางกรุงเทพมหานครได้นำไปใช้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ แต่ต้องทำการแยกวัสดุที่ไม่ย่อยสลายออกก่อน เช่น เศษแก้ว โลหะ พลาสติก ปุ๋ยที่กรุงเทพมหานคร ผลิตขึ้นในปัจจุบันมี 3 ชนิด คือ ปุ๋ยอินทรีย์ กทม.1 ผลิตโดยนำขยะสดมาหมักแบบให้อากาศ พลิกกลับกองปุ๋ยทุกวัน รวม 7 วัน แล้วนำไปกองไว้ให้หมักต่ออีก 60 วัน ชนิดที่สองปุ๋ยอินทรีย์ กทม. 2 เกิดจากการนำเอาปุ๋ยอินทรีย์ กทม.1 มาผสมกับอุจจาระแห้ง (night soil) ในอัตราส่วน 1:1 ชนิดที่สามปุ๋ยเคมีอินทรีย์ กทม. เกิดจากการนำเอาปุ๋ยอินทรีย์ กทม.1 ผสมกับปุ๋ยเคมีสูตรต่างๆ โดยขึ้นกับชนิดของพืชที่จะนำไปใช้

2.2.4 วัชพืช

วัชพืชต่างๆ ทั้งวัชพืชบกและวัชพืชน้ำ เช่น หญ้าอย่าง หญ้าดอกขาว ต้นกกชนิดต่างๆ สะเดาดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผักตบชวา สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้เป็นอย่างดี

2.3 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

บัณฑิต นฤภรณ์วรรณ์ และคณะ (2526) รายงานว่าประโยชน์ของปุ๋ยหมัก มีมากมายหลายด้าน ได้แก่

2.3.1 ประโยชน์ด้านการปรับปรุงบำรุงหน้าดิน

- 1) เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดินทราย ดินที่หน้าดินถูกชะล้าง และดินชั้นล่างที่นำมาใช้ในการเพาะปลูก
- 2) เพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญ ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริม

3) รักษาความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน โดยธาตุอาหารชนิดต่างๆ ค่อยๆ ละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช ช่วยให้ดินมีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิต

4) รักษาปฏิกิริยาของดินไม่ให้เปลี่ยนแปลงได้ง่าย

5) ปรับโครงสร้างให้ดินเหนียวที่แน่นที่มีความร่วนซุย และดินทรายมีการจับตัวดีขึ้น

6) ทำให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำและดูดซับธาตุอาหารดีขึ้น เพราะปุ๋ยหมักมีคุณสมบัติคล้ายกระดาษซับที่คอยซับน้ำและธาตุอาหารไว้ให้พืชใช้

7) ทำให้โครงสร้างของดินมีการเกาะตัวของเม็ดดินดีขึ้น ป้องกันไม่ให้น้ำซึมลงหรือถูกชะล้างไปได้ง่าย

8) ช่วยให้การไถพรวนดินสะดวกขึ้น และรากพืชสามารถหยั่งลึกลงไปดูดแร่ธาตุได้บริเวณไกลกว่า

9) เพิ่มกิจกรรมและปริมาณจุลินทรีย์ในดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

10) ปุ๋ยมีคุณสมบัติดูดซับธาตุอาหารที่มีประจุบวกไว้ได้ดี โดยเฉพาะในดินทราย ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยเคมี

2.4 ลักษณะและองค์ประกอบของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ จะมีคุณสมบัติบางประการแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีที่ใช้ในการหมัก ชนิดของวัสดุที่นำมาหมัก สารเร่งหมัก เช่น เชื้อจุลินทรีย์และปุ๋ยเคมีที่ใช้ในกระบวนการนั้นด้วย นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ฤดูกาล และระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก (Gallardo – Lara and Negates, 1987) อย่างไรก็ตาม Toth (1973) ได้กำหนดลักษณะของ Ideal compost ไว้ว่าควรมีลักษณะเนื้อละเอียด มีสีน้ำตาลค่อนข้างดำถึงดำ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอย่างน้อยที่สุด 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 10-20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) อยู่ระหว่าง 2.5 - 3.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัส (total P_2O_5) 1.0 - 1.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโพแทสเซียม (total K_2O) 1.0 - 1.5 เปอร์เซ็นต์ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity : CEC) อยู่ในช่วง 75 - 100 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.5 - 6.5 ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ $[(NH_4)_2SO_4]$ อยู่ในช่วง 50 - 70 เปอร์เซ็นต์ และมีกลิ่นเล็กน้อย ซึ่งปุ๋ยหมักเกือบทุกชนิดควรมีลักษณะไม่ครบตามแบบ Ideal compost แต่ข้อกำหนดที่สำคัญในเรื่องคุณภาพของปุ๋ยหมักคือ ปุ๋ยหมักควรเหมาะสมสำหรับการใช้เป็นวัสดุอินทรีย์เพื่อปรับปรุงโครงสร้างดิน นอกจากนั้นต้องคงตัวทั้งทางเคมีและชีวภาพไม่เป็นพิษ และมีธาตุอาหารที่สมดุล คุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ทั้งจาก

กระบวนการย่อยสลายแบบมีอากาศและแบบไม่มีอากาศไม่ค่อยจะแตกต่างกันนัก และคุณภาพปุ๋ยหมักจากทั้งสองกระบวนการก็ขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัสดุอินทรีย์เหลือใช้เริ่มต้น ดังนั้นมาตรฐานสำหรับบอกคุณภาพของปุ๋ยหมัก โดยยึดหลักเกณฑ์ที่ว่าปุ๋ยหมักที่ได้ควรมีธาตุอาหารพืชพอสมควร และเมื่อใส่ลงในดินแล้วไม่ทำให้พืชเป็นอันตราย ซึ่งทางโครงการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้ระบุไว้ดังนี้คือ

- 1) อัตราส่วนสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ไม่มากกว่า 20 : 1
- 2) ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) โพแทสเซียม (K_2O) ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0-0.5-0.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ
- 3) ความชื้นของปุ๋ยหมักไม่ควรมากกว่าร้อยละ 35-40 (โดยน้ำหนัก)
- 4) ปริมาณอินทรีย์วัตถุต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 25-50 (โดยน้ำหนัก)
- 5) ระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต้องอยู่ในช่วง 5.5-8.5
- 6) ระดับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) ต้องไม่เกิน 3.5 เดซิซีเมน/เมตร
- 7) ต้องมีขนาดผ่านตะแกรงร่อนช่องสี่เหลี่ยมขนาด 10x10 มิลลิเมตร ได้หมด
- 8) ปุ๋ยหมักที่ใช้ได้แล้วจะต้องไม่มีความร้อนหลงเหลืออยู่
- 9) ปุ๋ยหมักที่ดีจะต้องไม่มีกลิ่น
- 10) เศษวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ต้องการ ได้แก่ หิน กรวด ทราย เศษพลาสติก ฯลฯ ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
- 11) ต้องไม่มีวัสดุอันตราย เช่น เศษแก้ว วัสดุแหลมคม และโลหะอื่นที่เป็นอันตรายต่อผู้
ใช้เฉียบ
- 12) ต้องปลอดภัยจากธาตุโลหะหนักและสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม
- 13) ต้องปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

ตาราง 1 ตาราง 2 และตาราง 3 แสดงลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีในด้านธาตุอาหารของปุ๋ยหมักที่ทำจากวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งประเภทต่างๆ และจากมูลฝอยชุมชนทั้งที่ผลิตในประเทศไทยและในต่างประเทศ ซึ่งรวบรวมรายงานการศึกษาต่างๆ โดยสุภาพร พงศ์ธรพุกษ์ (2545)

ตาราง 1 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของปุ๋ยหมักที่ทำจากวัสดุต่าง ๆ

ชนิดของปุ๋ยหมัก	ปริมาณธาตุอาหารพืช			pH
	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	
1. วัสดุทางการเกษตร				
- ฟางข้าว	1.02	0.43	3.85	8.5
- ช้างข้าวโพด	1.07	0.51	1.19	-
2. วัสดุทางอุตสาหกรรม				
- กากอ้อย	0.87	0.25	0.98	8.2
- ขี้เลื่อย	0.51	0.16	0.43	7.6
- แกลบ	1.23	4.03	1.29	8.3
3. วัสดุจากบ้านเรือน				
- ขยะเทศบาล	0.98	1.04	1.06	-
4. วัสดุอื่นๆ และวัชพืช				
- ผักตบชวา	1.19	0.87	3.06	7.9

ที่มา : วรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และคณะ (2534)

ตาราง 2 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนที่ผลิตในประเทศต่างๆ

ประเทศ	ความชื้น กรด-ด่าง	องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)				
		ความชื้น	อินทรีย์วัตถุ	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ฝรั่งเศส	7.6	47.3	-	0.96	0.39	0.20
เยอรมัน	-	35.0	24.0	0.45	0.17	0.27
เนเธอร์แลนด์	-	-	22.0	1.00	0.18	0.50
อังกฤษ (เมือง Leicester)	7.4	38.8	36.8	1.06	-	-
ออสเตรเลีย	7-8.5	25.35	20-35	0.5-1.5	0.2-0.4	0.25-0.85
สเปน (เมืองกรานาดา)	7.1	41.0	58.4	1.40	0.38	0.65
ฮ่องกง	8	-	48.9	1.67	0.55	0.40
Guadeloupe	8.9	-	13.6	0.52	0.20	0.20
แคนาดา (เมืองออนตาริโอ)	-	-	64.0	0.57	0.08	0.31
สหรัฐอเมริกา (เมืองเทนเนสซี)	-	-	-	0.93	0.26	0.30
ช่วงของทุกประเทศ	7-8.9	25-47	13.6-64.0	0.45-1.67	0.08-0.55	0.20-0.85

ที่มา : ดาวรุ่ง สังข์ทอง (2539)

ตาราง 3 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนจากแหล่งต่างๆ

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าขององค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักจากแหล่ง	
	กรุงเทพมหานคร	เทศบาลเพชรบุรี
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7.39	-
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	25.28	-
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	37.65	-
ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	1.82	1.01-1.41
ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	0.22	1.00-1.37
โพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)	0.25	1.16-1.67
อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน	13.57	6.1-8.1

ที่มา : สุภาพร พงศ์ธรพฤษ (2545)

3. มูลฝอยชุมชน (Municipal solid waste)

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2532) ได้ทำการศึกษาลักษณะของมูลฝอย ณ สถานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช กรุงเทพมหานคร ในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2529 โดยพบว่ามูลฝอยในฤดูฝน และฤดูแล้งมีค่าความชื้น สารที่เผาไหม้ได้ และปริมาณแฉะใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความชื้น เท่ากับ 56 เปอร์เซ็นต์ สารที่เผาไหม้ได้ 31 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณแฉะ 13 เปอร์เซ็นต์ และในการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของมูลฝอยทางเคมีพบว่า ปริมาณไนโตรเจน คาร์บอน และไฮโดรเจน ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 10 17 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสพบว่า ในเดือนสิงหาคม-ธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีฝนตกชุกต่อกับฤดูหนาวมีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เดือนมกราคม-พฤษภาคม ซึ่งอากาศส่วนใหญ่จะร้อนอบอ้าว มีปริมาณฟอสฟอรัสประมาณ 10-13 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าในช่วงที่มีอากาศร้อนอบอ้าวชุมชนมีการใช้แชมพู น้ำยาอาบน้ำ และผงซักฟอกมาก ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นมูลฝอยในช่วงเวลาดังกล่าวจึงมีการเจือปนด้วยฟอสฟอรัสค่อนข้างมาก ส่วนการวิเคราะห์ลักษณะมูลฝอยทางกายภาพ พบว่า มูลฝอยชุมชนประกอบด้วยมูลฝอยสด กระดาษ พลาสติก เป็นส่วนใหญ่ โดยมีปริมาณรวมถึง 56 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ไม้ ผ้า สารที่เผาไหม้ได้ ซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ โลหะ มีปริมาณรวมกัน 26 เปอร์เซ็นต์ และองค์ประกอบอื่นๆ อีก 18 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ JICA (1982) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของมูลฝอยในกรุงเทพมหานคร โดยจำแนกแหล่งกำเนิดมูลฝอยออกเป็นประเภทต่างๆ ได้แก่ อาคารบ้านเรือน ตลาด

ห้างสรรพสินค้า โรงแรม สำนักงาน โรงงานทอผ้า โรงงานประกอบรถยนต์ โรงเลื่อยไม้ และศึกษาจากสถานกำจัดมูลฝอย โดยพบว่า องค์ประกอบของมูลฝอยทางกายภาพที่มีปริมาณสูงสุด 5 อันดับแรกคือ ใบไม้และกิ่งไม้ กระดาษ เศษอาหาร กระดูก หินและพลาสติก ทั้งนี้มีค่าเท่ากับ 19.0, 18.3, 15.4, 11.9 และ 10.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกนั้นประกอบด้วย แก้ว เหล็ก เศษผ้าและสิ่งทอ แบตเตอรี่ แท่ง ยาง และหนังสือตัว โลหะอื่น ยกเว้นเหล็ก โดยมีค่าเท่ากับ 6.1, 5.4, 4.0, 3.4, 2.0 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ และองค์ประกอบอื่นๆ อีก 6.7 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยของมูลฝอยจากทุกแหล่งกำเนิด ได้แก่ ความหนาแน่นรวม 0.19 กิโลกรัมต่อลิตร ความชื้น 44.9 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) ค่าความร้อน 1,887 กิโลแคลอรีต่อกรัม และค่าพีเอช 5.53 สำหรับค่าขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของมูลฝอย เฉลี่ยจากทุกแหล่งกำเนิด ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โบตัสเซียม ซัลเฟอร์ และคลอไรด์ มีค่าเท่ากับ 45.3, 7.13, 32.5, 0.69, 0.38, 5.45, 0.14 และ 0.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีปริมาณเถ้า 13.5 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ปุ๋ยหมักยังช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินทำให้อนุภาคดินสามารถดูดยึดประจุบวกต่างๆ ที่เป็นธาตุอาหารพืชได้ดี จึงลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชจากการชะล้างของน้ำ (Hasit ed., 1986) รวมทั้งทำให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่าง ความเค็ม สารกำจัดศัตรูพืช และพิษจากโลหะหนักที่ไหลลงไปในดิน ให้มีการเปลี่ยนแปลงในดินอย่างค่อยเป็นค่อยไป (ยงยุทธ โสสถสภา, 2528 และ ปรีดี รักษา, 2535)

ดาวรุ่ง สังข์ทอง (2539) ได้ศึกษาพบว่าปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนวิเคราะห์พบปริมาณโลหะหนักทั้งหมดได้ 8 ธาตุคือ มังกานีส สังกะสี ทองแดง โครเมียม นิเกิล ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท มีปริมาณเท่ากับ 543.38, 1080.90, 621.72, 448.87, 61.18, 275.75, 3.56 และ 2.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ เมื่อวัดปริมาณโลหะหนักในหน่วยมิลลิกรัม/กิโลกรัม พบว่าปุ๋ยหมักจากขยะชุมชนมีโลหะหนักเหล่านี้อยู่ในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับปุ๋ยหมักชนิดอื่นๆ แต่มีปริมาณโลหะหนักยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับให้มีได้ตามข้อกำหนดของปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนที่กำหนดโดยประเทศต่างๆ ในทวีปอเมริกาและทวีปยุโรป

สุภาพร พงศ์รพฤกษ์ (2545) ได้ศึกษาพบว่าปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนทั้ง 3 แหล่งได้แก่แหล่งชุมชนบรมไตรโลกนาถ ชุมชนประชาอุทิศ และเทศบาลเมืองลำพูน มีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 1.20-1.39 % ฟอสฟอรัส 0.06-0.08 % โพแทสเซียม 0.74-1.09 % ปริมาณตะกั่ว 23.65-29.80 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และปริมาณแคดเมียม 2.49-2.60 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่พบมีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) และเป็นปริมาณที่ไม่เกินค่ามาตรฐาน (ค่ามาตรฐานตะกั่วและแคดเมียมในปุ๋ยหมักเท่ากับ 500 และ 5 มิลลิกรัม/

กิโลกรัม ตามลำดับ) สำหรับการสะสมตะกั่วและแคดเมียมในพืชผักที่ปลูกโดย ปุ๋ยหมักจาก มูลฝอยชุมชนทั้ง 3 แหล่ง พบว่า พืชผักประเภทบร็อคไบมีการสะสมตะกั่วในรากอยู่ในช่วง 0.665-2.585 ลำต้น 0.742-2.756 และใบ 0.120-2.582 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และสะสมแคดเมียม ในรากอยู่ในช่วง 0.079-1.350 ลำต้น 0.002-2.384 และใบ 0.005-0.668 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สำหรับพืชบร็อคไบส่วนหัวหรือรากมีการสะสมตะกั่วในหัวอยู่ในช่วง 0.178-1.223 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และแคดเมียมในหัวอยู่ในช่วง 0.008-0.263 และใบ 0.302-0.480 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สำหรับพืช ประเภทบร็อคไบผลมีการสะสมตะกั่วในราก 0.849-1.850 ลำต้น 0.140-0.826 และใบ 0.470-3.866 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และแคดเมียมในรากอยู่ในช่วง 0.007-0.877 ลำต้น 0.035-0.705 ใบ 0.004-0.764 และผล 0.007-0.275 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

4. ความสำคัญของปุ๋ยหมักต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ความสำคัญของปุ๋ยหมักที่มีต่อดินที่ทำการเพาะปลูก พอสรุปเป็นประเด็นสำคัญได้ 3 ประการ คือ

4.1 บทบาทของปุ๋ยหมักในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางกายภาพ

1) ส่งเสริมให้อนุภาคดินจับตัวกันเป็นเม็ดดิน

การใช้ปุ๋ยหมักในปริมาณมาก และติดต่อกันเป็นระยะเวลานานจะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินมีการเปลี่ยนแปลง เช่น ทำให้อนุภาคดินจับตัวกันเป็นก้อนหรือเป็นเม็ดดิน และดินมีการอุ้มน้ำดีขึ้น (ประภัสสร จินดาพล, 2520) การส่งเสริมให้ดินจับตัวกันเป็นก้อนหรือเกิดเป็นเม็ดดินมีอิทธิพลเนื่องมาจากอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยหมัก ซึ่งเมื่อสลายตัวจะทำให้เกิดสารเชื่อม เช่น Levans Dextrans นอกจากนี้ยังมีสารเหนียวจากจุลินทรีย์บางชนิด ออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม รวมทั้งสารประกอบพวกซิลิแคตแคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมซัลเฟต โดยสารเชื่อมดังกล่าวจะยึดอนุภาคดินที่อยู่ใกล้กันให้เกิดเป็นเม็ดดิน ประการหนึ่งจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ เช่น เชื้อราซึ่งมีรูปร่างเป็นเส้นใย จะเจริญเติบโตไวกว่ากันคล้ายร่างแหรัดอนุภาคดินและส่งผลให้เกิดเม็ดดินขึ้น อันเป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มช่องว่างในดิน (ปรีดี รักษา, 2535) ทำให้ดินเหนียวเกิดช่องว่างขนาดโค และเพิ่มช่องว่างขนาดเล็กในดินทราย ซึ่งจะส่งผลให้การระบายอากาศในดินน้อยลงเสียดื้อขึ้น และดินทรายหรือดินเหนียวมีการอุ้มน้ำดีขึ้น ทำให้ดินสามารถเก็บความชื้นไว้ได้เป็นระยะเวลานานกว่าดินที่ขาดอินทรีย์วัตถุ (Grin, 1972 และ คณะกรรมาธิการปฏิวัติวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535)

2) ลดความหนาแน่นรวม (Bulk density) ของดิน

ดินที่มีความแน่นตัวสูง เช่น ดินเหนียวหรือดินที่ผ่านการเซตกรรมในระดับเดิมอย่างต่อเนื่องติดต่อกันเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดชั้นดานแข็งจากการไถพรวนขึ้น ทำให้รากพืชเจริญเติบโตช้า จำกัดบริเวณหาอาหารของพืช การระบายน้ำและอากาศไม่ดี ซึ่งบางครั้งพบว่า ดินดังกล่าวมีความหนาแน่นสูงถึง 2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่เมื่อไถชั้นดานแข็งร่วมกับปุ๋ยหมัก จะทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลงเป็น 1.4 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งถือว่าเป็นความหนาแน่นรวมปกติของดินที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (ปรีดี รักษา, 2535)

3) ลดการเกิดกษัยการของดิน

กษัยการของดินมีสาเหตุจากแรงปะทะของเม็ดฝนหรือลมที่มีต่อดิน ทำให้หน้าดินสูญเสียไป รวมทั้งความอุดมสมบูรณ์ของดินสูญเสียไปด้วย เนื่องจากการเกิดเม็ดดินโดยอินทรีย์วัตถุจากปุ๋ยหมักจะช่วยเพิ่มความคงทนของเม็ดดินต่อแรงปะทะของเม็ดฝน และลมได้มากยิ่งขึ้น และไม่เกิดสภาพเปลือกดินแข็งบนผิวดิน ซึ่งเป็นปัจจัยเพิ่มปริมาณและอัตราการไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน ดังนั้นเมื่อเม็ดดินมีความคงทนต่อแรงปะทะของเม็ดฝน และลม ย่อมทำให้อัตราการซึบซึมลงของน้ำดีขึ้น จึงลดการเกิดกษัยการโดยอิทธิพลของน้ำไหลบ่าได้ (ปรีดี รักษา, 2535)

4.2 บทบาทของปุ๋ยหมักในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางเคมี

ปุ๋ยหมักจะช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหารให้แก่พืช โดยเป็นแหล่งของธาตุไนโตรเจน กำมะถัน และฟอสฟอรัสที่สำคัญ ธาตุอาหารเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างช้าๆ ให้พืชนำไปใช้ได้ตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโต (ศุภมาส พณิชศักดิ์พัฒนา, 2527ก; Chen and Avnimelech, 1986) และเป็นแหล่งสำคัญแหล่งใหญ่ที่ให้ธาตุอาหารในรูปประจุลบ เช่น ไนเตรต ฟอสเฟต ซัลเฟต โมลิบเดต และคลอไรด์ (ศุภมาส พณิชศักดิ์พัฒนา, 2527ข) นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตในดินกรดและดินแคลคาเรียส อันเนื่องมาจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ ซึ่งกระทำโดยจุลินทรีย์ดินนั้นจะมีกรดอินทรีย์เกิดขึ้น กรดอินทรีย์เหล่านี้จะช่วยละลายสารประกอบฟอสเฟต ซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ให้มาอยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้บ้าง (El-Baruni and Olsen, 1979) กรดอินทรีย์อันเกิดจากการสลายตัวของปุ๋ยหมัก นอกจากจะละลายสารประกอบฟอสเฟตบางส่วนที่ละลายค่อนข้างยากแล้ว อนุมูลกรดอินทรีย์ยังช่วยป้องกันการตกตะกอนของอนุมูลฟอสเฟตที่ละลายได้ โดยจะทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมที่เป็นตัวการในการตรึงฟอสเฟตในดินไว้บางส่วน ซึ่งไอออนของเหล็กและอลูมิเนียมมีอยู่เป็นจำนวนมากในสารละลายดินในหน่วยพีเอช 3-9 (Knott, 1950 Struthers and Sieling, 1950) นอกจากนั้นอนุมูลฟอสเฟตที่ถูกตรึงกับแร่ดินเหนียวจะถูกอนุมูลของกรดอินทรีย์เข้าแทนที่ได้บางส่วน ทำให้ฟอสเฟตถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้

มากยิ่งขึ้น (Dalton, Russell and Sieling, 1952) นอกจากนี้ปุ๋ยหมักยังช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ทำให้อนุภาคดินสามารถดูดยึดประจุบวกต่างๆ ที่เป็นธาตุอาหารพืชได้ดี จึงลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชจากการชะล้างของน้ำ (Hasit ed., 1986) รวมทั้งทำให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่าง ความเค็ม สารกำจัดศัตรูพืช และพืชจากไลเซนส์ที่ไถลงไปในดิน ให้มีการเปลี่ยนแปลงในดินอย่างค่อยเป็นค่อยไป (ยังยุทธ ใสถสสา, 2528 และ ปรีดี รักษา, 2535)

4.3 บทบาทของปุ๋ยหมักในการปรับปรุงลักษณะสมบัติของดินทางชีวภาพ

เมื่อใส่ปุ๋ยหมักลงในดิน อินทรีย์วัตถุในปุ๋ยหมักจะเป็นอาหารของจุลินทรีย์ดิน ทำให้มีการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ดิน เป็นผลให้กิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ เช่น การแปรสภาพของธาตุอาหารพืชในดินเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ กิจกรรมการตรึงไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น และลดความรุนแรงของโรคพืชที่เกิดจากไส้เดือนฝอย เป็นต้น (สมศักดิ์ วงษ์, 2528; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535; ปรีดี รักษา, 2535)

5. เหตุผลสนับสนุนในการนำปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนไปใช้ประโยชน์ในการเกษตร

Gallardo-Lara และ Nogales (1987) ได้ทำการรวบรวมรายงานการศึกษาต่างๆ เกี่ยวกับ บทบาทของปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนเพื่อการบำรุงดินและพืช โดยสามารถสรุปเป็นประเด็นต่างๆ ได้ดังนี้

1. ผลต่อสมบัติทางกายภาพของดิน

จากรายงานการศึกษาของ Biwas และ Khosla (1971) May, Terman และ Duggan (1973) รวมทั้งการศึกษาของ Duggan และ Wiles (1976) แสดงให้เห็นว่า ความหนาแน่นของดิน (Soil density) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากที่ได้มีการใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน ทั้งนี้เนื่องมาจากปุ๋ยหมักมีความหนาแน่นต่ำ และมีแนวโน้มว่าไปทำให้ช่องว่างในดินเพิ่มขึ้น ซึ่ง Schrader (1967) ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อใส่ปุ๋ยหมักเป็นปริมาณมากลงในดิน (400 เมตริกตันต่อเฮกตาร์) จะทำให้ปริมาตรของช่องว่างทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ากากตะกอนและปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนทำให้ความพรุนทั้งหมดของดินเพิ่มขึ้นและช่องว่างในดินกระจายตัวดีขึ้น ทำให้การซึมผ่านของน้ำและการแทรกซึมของอากาศดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีใส่ปุ๋ยคอก (Pagliai et al., 1981) รวมทั้ง Facek (1974) ก็ได้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกัน จากการใส่ปุ๋ยคอก และชี้ให้เห็นว่าช่องว่างขนาดเล็กกว่า 0.2 ไมครอนเท่านั้นที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

อย่างไรก็ตาม ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนที่ใส่ลงไปในดินไม่มีผลต่ออุณหภูมิดิน แต่การใส่กากตะกอนลงในดินที่มีลักษณะเป็นดินทรายและกรวด ทำให้อุณหภูมิของดินลดลงอย่างมาก (Homick, 1982)

การใส่ปุ๋ยหมักลงในดินเป็นการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ซึ่งมีผลมาจากลักษณะของปุ๋ยซึ่งเป็น colloidal (Biswas and Khosla, 1971; Bell, 1973; Bengtson and Comette, 1973; Hortenstine and Rothwell, 1973; May et al. 1973) นอกจากนี้ยังทำให้ดินเกาะตัวกันได้ดีขึ้น (Allison, 1968; Biwas and Khosla, 1971; Webber, 1978)

จากรายงานการศึกษาต่างๆ ชำต้น แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยหมักลงในดินทำให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้นในดินเหนียว และยังลดผลกระทบจากการเกิดกษัยการโดยลมและน้ำได้ (Duggan and Scanlon, 1974)

2. ผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เป็นกลางถึงเป็นด่างเล็กน้อย และมีความสามารถในการต้านทานความเป็นกรด-ด่างของดิน (Buffer capacity) สมบัติเหล่านี้มีประโยชน์อย่างมากในการใช้ปรับปรุงดินกรด เนื่องจากปุ๋ยหมักจะแสดงตัวเป็นตัวปรับพีเอช (pH corrector) เพื่อหลีกเลี่ยงความเป็นพิษที่จะเกิดจากอลูมิเนียมหรือมังกานีส ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อพีเอชของดินต่ำกว่า 5 (Thompson and Troeh, 1978) นอกจากนี้ Scanlon, Duggan และ Bean (1973) พบว่า การใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนลงในดินกรดทำให้ค่าพีเอชของดินเพิ่มขึ้นจาก 2.8 เป็น 5.8 ซึ่งให้ผลอย่างเดียวกันในดินที่เป็นกรดอ่อนด้วย (Hortenstine and Rothwell, 1972; Bengtson and Comette, 1973; Duggan and Wiles, 1976) แต่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนไม่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดลงของพีเอชในดินที่มีค่าพีเอชเป็นกลางหรือดินแคลคาร์เรียด (King, Leyshon and Webber, 1977) และจากผลการทดลองของ Rowaan (1949) พบว่าประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนในด้านการเป็นตัวปรับพีเอชของดินนั้น มีประสิทธิภาพด้อยกว่าการใช้ปูนขาว แต่เมื่อพิจารณาในด้านของการเพิ่มผลผลิตแล้ว ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนมีประสิทธิภาพดีกว่า

3. ผลต่อเกลือที่ละลายได้ในดิน

การใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนลงในดิน จะทำให้ปริมาณเกลือที่ละลายได้ในดินเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใส่ในปริมาณมาก ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนมีความเค็มสูง (Hortenstine and Rothwell, 1972, 1973) นอกจากนี้ Guidi, :lagliai และ Giachetti (1982) แสดงให้เห็นว่า เมื่อใส่กากตะกอนและปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนลงในดินร่วนปนทราย จะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของดินเพิ่มสูงขึ้นในทุกตำรับ

การทดลอง แต่ในหน้าหนาวที่มีฝนตก ปริมาณเกลือที่ละลายได้มีค่าลดลงเกือบใกล้เคียงกับค่ารับควบคุม Chanyasak, Hirai และ Kubota (1982) สันนิษฐานว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดินที่สูงขึ้นหลังจากใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอย เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ยับยั้งการเจริญของหัวผักกาด ซึ่งมีสาเหตุมาจากการใส่ปุ๋ยลงไปปริมาณมาก อย่างไรก็ตาม ผลเสียที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงน้อยกว่าเมื่อใส่กากตะกอน ที่ส่งเสริมให้ค่าความเค็มเท่ากับหรือสูงกว่า 4 มิลลิโมลต่อเซนติเมตร (Epstein et al., 1976) ซึ่งยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด (Allison, 1973)

4. ผลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน

การใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนลงในดินเป็นปริมาณมาก จะทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงขึ้น Hortenstine และ Rothwell (1968) ได้ทำการปลูกต้นไม้ในกระถางโดยใช้ดินทรายที่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน เท่ากับ 3.67 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม และพบว่าเมื่อใส่ปุ๋ยหมักลงไปปริมาณมาก (128 และ 512 เมตริกตันต่อเฮกตาร์) ทำให้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินเพิ่มขึ้นเป็น 4.18 และ 7.14 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อดิน 100 กรัม ตามลำดับ ขณะที่เมื่อใส่ในปริมาณน้อย (8 และ 32 เมตริกตันต่อเฮกตาร์) พบว่า ไม่มีผลต่อการเพิ่มค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Bengtson และ Comette (1973) ที่ทำการทดลองในภาคสนาม

5. การเพิ่มผลผลิตของพืช

Hortenstine and Rothwell (1973) แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนทำให้ผลผลิตของข้างฟางสูงขึ้น ผลอย่างเดียวกันนี้ยังพบในพืชอีกหลายชนิด เช่น ในข้าวโพด (Zobac and Vana, 1974) มันฝรั่ง (Purves and McKenzie, 1974) ยาสูบ (Duggan, 1973) มะเขือเทศ (Vlamis and Williams, 1971) หัวบีทและหญ้าอาหารสัตว์ (Muller, 1973) ซึ่งสอดคล้องกับ Chanyasak and Kubota (1983) ซึ่งใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนที่มีคุณภาพสูงคือ ทำการแยกวัสดุที่ไม่สามารถนำมาหมักได้ออกก่อน ทำให้ปุ๋ยที่ได้มีความเหมาะสมในการใช้กับไม้ผลมากกว่าพืชผัก แม้ว่าปุ๋ยหมักที่ยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ แต่ในบางกรณีการใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนก็ไม่ได้ส่งผลให้เกิดการตอบสนองด้านผลผลิตแต่อย่างใด ดังเช่นการทดลองของ Van Assche and Uyttebroeck (1982) พบว่า ผลผลิตของผักกาดหอมลดลง โดยทั่วไปการใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่กากตะกอนน้ำเสีย (Mortvedt and Giordano, 1975; King et al. 1977) แต่อย่างไรก็ตาม Wong, Mok และ Chu (1983) ได้ทำการทดลองในเรือน

เพาะชำกับพืช 2 ชนิดคือ *Brassica parachinensis* และ *Brassica juncea* พบว่า ตำรับทดลองที่ใช้ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนให้ผลผลิตน้อยกว่าตำรับทดลองที่ใช้กากตะกอนและตำรับทดลองที่ใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์

6. บทบาทของปุ๋ยหมักในการปรับปรุงคุณสมบัติทางชีวภาพของดิน

1. ปุ๋ยหมักเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ดิน ดินที่มีอินทรีย์วัตถุในปริมาณที่สูงจะทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์สูงขึ้นด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์พวก heterotrophic microorganism ซึ่งเป็นผลให้กิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ เช่น การแปรสภาพของธาตุอาหารพืชในดินเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุเมื่อละลายน้ำ จะได้กรดคาร์บอนิกซึ่งเป็นกรดอ่อนจึงสามารถเพิ่มการละลายของธาตุอาหารพืชได้ อีกประการหนึ่ง ปุ๋ยหมักมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ในดิน โดยมีผลทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ในดินเพิ่มจำนวนมากขึ้นเนื่องจากมีสารจุลินทรีย์ หรือธาตุอาหารบางชนิดกระตุ้นให้จุลินทรีย์ดังกล่าวเจริญได้ และกิจกรรมต่างๆ อันเกิดจากขบวนการย่อยสลายจุลินทรีย์ในดินมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยทำให้ปริมาณธาตุอาหารในดินถูกพืชนำมาใช้ประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนั้นแหล่งอาหารธาตุคาร์บอนในปุ๋ยหมัก มีความสำคัญต่อการเพิ่มปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศ ได้แก่เชื้อ *Azotobacter* sp. ซึ่งมีผลทำให้กิจกรรมตรึงไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น

2. ปุ๋ยหมักกับความอยู่รอดของเชื้อโรคและไข่แมลง เนื่องจากขบวนการผลิตปุ๋ยหมักจะเกิดความร้อนสูง 60-70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาติดต่อกัน 3 วัน กิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักซึ่งมีผลทำให้ไข่แมลงต่างๆ ที่ดินอาจจะติดมากับเศษพืช หรือมูลสัตว์ที่ใช้เป็นตัวเร่งในขบวนการหมักถูกความร้อนทำลายไปได้ นอกจากนั้นจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจะขับสารปฏิชีวนะ (antibiotic substance) ออกมายับยั้งเชื้อโรคที่ติดมากับเศษพืช ยิ่งยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคพืชได้ นอกจากนี้สารปฏิชีวนะที่เชื้อจุลินทรีย์พวกแอคติโนมัยซีตสร้างขึ้น มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคพืชได้ สำหรับโรคที่เกิดจากไส้เดือนฝอยหลายชนิดลดความรุนแรงได้เมื่อใช้ปุ๋ยหมักเช่นกัน ทั้งนี้เพราะเมื่อปุ๋ยหมักสลายตัวจะเกิดสารอัลคาลอยด์หรือกรดไขมันซึ่งเป็นพืชต่อไส้เดือนฝอย นอกจากนั้นขณะที่ปุ๋ยหมักสลายตัวศัตรูไส้เดือนฝอย เช่น เชื้อรา เบียฟ ไส้เดือนฝอยจะเจริญได้ดี

7. ความเสี่ยงในการนำปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

แม้ว่าปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนจะมีลักษณะสมบัติต่างๆ ในการปรับปรุงโครงสร้างของดิน และมีปริมาณธาตุอาหารหลักซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ในระดับหนึ่ง แต่ลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งของปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนคือ มีปริมาณจุลธาตุอาหารซึ่งพืชต้องการในปริมาณน้อยค่อนข้างมาก ดังเช่น Purves และ McKenzie (1973) พบว่า ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนมีปริมาณของ ทองแดงและสังกะสี มากกว่า 100 เท่า และ 300 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณที่มีในดินที่ผ่านการเขตกรรม นอกจากนี้ Purves (1977) Purves และ McKenzie (1973, 1974) พบว่า ปริมาณของทองแดงและสังกะสีที่สกัดได้จากดินหลังจากการใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนมี ปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Mohr (1979) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักจาก มูลฝอยชุมชนในปริมาณมากหรือใส่ติดต่อกันหลายครั้ง จะทำให้เกิดผลกระทบแก่พืช อันเนื่องมา จากการเพิ่มปริมาณของจุลธาตุอาหารจนถึงระดับที่เป็นพิษได้ หรือเป็นการเพิ่มการนำไปใช้ของ โลหะหนักตัวอื่น (Purves and McKenzie, 1974)

นอกจากปริมาณจุลธาตุอาหารที่พบได้เป็นปริมาณมากในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนแล้ว ปริมาณโลหะหนักชนิดอื่นที่จัดว่าเป็นพิษโดยตรงก็พบเป็นส่วนประกอบอยู่ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอย ชุมชนเช่นเดียวกัน ซึ่งจากการรวบรวมรายงานการศึกษาต่างๆ โดย Gallardo-Lara และ Nogales (1987) ถึงปริมาณของโลหะหนักที่พบได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน

การใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนเป็นสาเหตุให้พืชหลายชนิด ได้แก่ มะเขือเทศ อ้อย ข้าว สาลี่ ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต เกิดการดูดดึงแคดเมียมเข้าไปมากขึ้น แต่ไม่มีผลในการดึงดูดปรอท นิเกิลและตะกั่ว อย่างไรก็ตาม พืชบางชนิดสามารถดูดดึงโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินจากการใส่ปุ๋ย หมักจากมูลฝอยชุมชนเข้าไปในปริมาณมากได้ ดังเช่น King, Rudgers และ Webber (1974) ทำ การศึกษากับข้าวโพดพบว่า ข้าวโพดดูดดึงแคดเมียมได้ในปริมาณมาก แต่ไม่ดูดดึงโครเมียม นิเกิล และตะกั่ว ในอีกด้านหนึ่งพบว่าการดูดดึงแคดเมียมของพืชหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ แคดเมียมในดิน ซึ่งทางหนึ่งที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมในดินเพิ่มมากขึ้นก็คือปริมาณปุ๋ยที่ใส่ลง ไป และจากการศึกษาของ Watanabe และ Kurihara (1982) พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุม ชนทำให้ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีและทองแดงในเนื้อเยื่อของข้าวโพดลดลง แต่ความเข้มข้น ของแคดเมียมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับโลหะหนักในข้าวโพดที่ปลูกในดินซึ่งเติมเกลือของโลหะ หนักที่ละลายได้ Anderson (1977) พบว่าโลหะหนักบางตัวที่ใส่ลงไปในดินในรูปเกลือที่ละลายได้ พืชจะสามารถนำไปใช้ได้ดีกว่าเมื่ออยู่ในรูปของกากของเสีย ซึ่งโลหะหนักจะถูกดูดยึดไว้โดย

อินทรียัตถุ นอกจากนี้ Gray และ Biddlestone (1980) ทำการวิเคราะห์หาธาตุตะกั่ว สังกะสี และ ทองแดง ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนและในดิน พบว่าปริมาณทั้งหมดและปริมาณที่สามารถสกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใส่ปุ๋ยหมัก อย่างไรก็ตามพบว่า มีปริมาณต่ำในพืชที่ปลูกจาก เหตุผลดังกล่าวความเป็นไปได้ในการปนเปื้อนของโลหะหนักจากปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนจึงมี น้อยมากเว้นแต่เมื่อมีการใส่ในปริมาณมาก หรือดินมีพีเอชเป็นกรดจัด และพบว่าปริมาณของตะกั่ว และปรอทในพืชไม่ได้มีผลสะท้อนมาจากระดับที่มีในดินเนื่องจากธาตุดังกล่าวถูกยึดไว้ในดินอย่าง แข็งแรง จะเห็นได้ว่าความเสี่ยงจากการใช้ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ใน ปริมาณ มากหรือใส่ติดต่อกันเป็นระยะเวลาานาน โดยปริมาณโลหะหนักอาจเกิดการสะสมในดิน และถูกชะล้างลงสู่ลำน้ำใต้ดิน หรือถูกดูดดึงไปสะสมในพืช เกิดการถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารซึ่ง จะส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสัตว์ได้ในที่สุด ตารางที่ 4 แสดงถึงปริมาณโลหะหนักบางชนิดที่พบใน ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนในประเทศไทย ซึ่งรวบรวมรายงานการศึกษาโดยสุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์ (2545) และปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนตามเกณฑ์ของนานา ประเทศ และกลุ่มประชาคมยุโรป ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5

ตาราง 4 ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดบางชนิดที่พบในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนจากแหล่งต่างๆ

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	
	กรุงเทพมหานคร	เทศบาลเพชรบุรี
ทองแดง	621.72	0.011-0.032
สังกะสี	1081.90	0.045-0.094
แมงกานีส	543.38	-
นิกเกิล	61.18	-
แคดเมียม	3.56	0.899
ตะกั่ว	275.75	51.817
โครเมียม	448.87	-
ปรอท	2.18	0.362

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่มีรายงาน

ที่มา : สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์(2545)

ตาราง 5 ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน

ประเทศที่กำหนด	ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)							
	แมงกานีส	สังกะสี	ทองแดง	โครเมียม	นิกเกิล	ตะกั่ว	แคดเมียม	ปรอท
ออสเตรเลีย	1200	1500	1000	300	200	900	6	4
อังกฤษ	-	1000	400	-	100	250	10	2
สหรัฐอเมริกา								
- มินเนโซตา	-	1000	500	1000	100	500	10	5
- นิวยอร์ก	-	2500	1000	1000	200	250	10	-
แคนาดา								
- ออนตาริโอ	-	500	60	50	60	150	3	-
เนเธอร์แลนด์	-	240	40	30	10	160	1	0.5
สวีเดน	-	300	100	-	-	100	3	1
อิตาลี	-	-	600	500	200	500	10	-
กลุ่มประชาคมยุโรป (CEC)								
- สำหรับผลไม้	-	1000	300	150	50	750	5	5
- สำหรับไม้ประดับ	-	1500	500	200	1000	5	5	-
ช่วงของทุกประเทศ	1200	240- 2500	60- 1000	30- 1000	10- 200	160- 1000	1-10	1-5

ที่มา : ดาวรุ่ง สังข์ทอง (2539)

8. โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Stoker and Seagers, 1976) หรือเป็นธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 5 (Jones and Jarvis, 1981)

โดยทั่วไปโลหะหนักต่างๆ มักพบกระจายอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ในดิน ในพืช และในสัตว์ โดยจะพบอยู่ในเนื้อเยื่อเป็นส่วนใหญ่ โลหะหนักบางชนิดถ้ามีในปริมาณน้อยจะก่อให้เกิดประโยชน์ เช่น แมงกานีส และสังกะสี เป็นประโยชน์ต่อพืช โครเมียม และนิกเกิลเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ ส่วนแคดเมียม ตะกั่ว และปรอท ไม่แสดงความเป็นประโยชน์ทั้งในพืชและสัตว์ (Jones and Jarvis, 1981) และในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงการสะสมของโลหะหนักในดิน ในพืช รวมถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสะสมของโลหะหนัก และระดับที่ปลอดภัยตลอดจนระดับที่เป็นพิษของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

8.1 การสะสมโลหะหนักในดิน

โดยปกติพื้นผิวโลกจะมีโลหะหนักสะสมอยู่ปริมาณหนึ่ง ซึ่งเป็นผลมาจากการรุกรานและสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดดินเอง ความเข้มข้นของโลหะหนักในเปลือกโลกและในดิน แสดงดังตาราง 6

สำหรับในประเทศอังกฤษ ได้กำหนดปริมาณแคดเมียม นิเกิล และตะกั่วในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักเหล่านี้จากสภาวะแวดล้อมไว้เท่ากับ 1.0, 1.0 และ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Webber, Klokke and Jjell, 1984)

โลหะหนักส่วนใหญ่มีการเคลื่อนย้ายได้น้อย น้ำที่ชะล้างผ่านดินและน้ำใต้ดิน จึงไม่ค่อยมีการปนเปื้อนจากโลหะหนัก (Genevini, et al., 1984) หากเปรียบเทียบความสามารถในการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจะพบว่า โลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายคือ นิเกิล แคดเมียม และสังกะสี โลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ปานกลางคือ ทองแดง ส่วนโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายได้น้อยหรือไม่เคลื่อนย้ายเลยคือ ตะกั่ว ปรอท และโครเมียม (Davis, 1984) ความเข้มข้นของโลหะหนักอาจจะแปรผันตามความลึกของดินได้ เช่น น้ำที่ชะผ่านดินอาจทำให้โลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย เช่น สังกะสี และแคดเมียม เคลื่อนย้ายไปยังบริเวณอื่น ทำให้ความเข้มข้นของสังกะสีและแคดเมียมลดลงตามความลึกของดิน แต่น้ำที่ชะผ่านดินจะไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตะกั่วและโครเมียมตามความลึกของดิน เพราะตะกั่วและโครเมียมเป็นโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายได้น้อยมาก (Gillies et al., 1989)

โลหะหนักมีความสามารถยึดเกาะ (Fixation capacity) อยู่ในส่วนที่เป็น Clay fraction ได้ดี ดินที่เป็นดินเหนียวจึงมีโลหะหนักอยู่ในรูปที่ดูดซับได้ง่าย (Available form) ในสารละลายดินน้อยกว่าดินที่เป็นดินทราย ซึ่งมีส่วนที่เป็น Clay fraction น้อย โลหะหนักส่วนใหญ่จึงอยู่ในสารละลายดินของดินทรายมากกว่าดินเหนียว (Diaz and Polo, 1988)

ตาราง 6 ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในเปลือกโลก และในดิน

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณที่พบในเปลือกโลก (Lithosphere)	ปริมาณที่พบในดิน (Soil)	
		เฉลี่ย	ช่วงที่พบ
แคดเมียม	0.2	0.06	0.01-0.7
โครเมียม	200	100	5-3,000
ทองแดง	70	20	2-100
ปรอท	0.5	0.03	0.01-0.3
มังกานีส	1,000	850	100-4,000
นิกเกิล	100	40	10-1,000
ตะกั่ว	16	10	2-200
สังกะสี	80	50	10-300

ที่มา : ดาวรุ่ง สังทอง (2539) อ้างอิงจาก Goldschmidt (1958) และ Bowen (1966)

8.2 การสะสมโลหะหนักในพืช

ดาวรุ่ง สังทอง (2539) อ้างว่า Allaway (1968) ได้แสดงให้เห็นถึงปริมาณของโลหะหนักบางชนิดในพืช มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 7

ตาราง 7 ปริมาณของโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) บางชนิดในพืช

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณที่พบในพืช
แคดเมียม	0.2-0.8
โครเมียม	0.2-1.0
ทองแดง	4-15
ปรอท	0.015
มังกานีส	15-100
นิกเกิล	1
ตะกั่ว	0.1-10
สังกะสี	8-100

ที่มา : ดาวรุ่ง สังทอง (2539) อ้างอิงจาก Allaway (1968)

พืชมีโอกาสดสะสมโลหะหนักทั้งจากดิน น้ำ และอากาศ เพราะโลหะหนักสามารถเข้าสู่พืชได้ทั้งทางราก ลำต้น และใบ (Lee et al., 1976) กระบวนการดูดซับและสะสมโลหะหนักของรากพืช

อาจเป็นแบบ Active ion absorbtion หรือ Passive ion absorbtion กลไกการดูดซับแบบ Passive ion absorbtion อาจดึงดูดโดยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) หรือวิธีการคายน้ำ (Convection) กลไกเกิดในขณะที่พืชดูดน้ำเพื่อทดแทนการคายน้ำ เมื่ออัตราการดูดน้ำเร็วกว่าอัตราการคายน้ำ ทำให้เกิดภาวะ Concentration gradient อย่างกะทันหันที่บริเวณรากพืช โโลหะหนักจึงเคลื่อนเข้าสู่พืชได้โดยวิธีการแพร่จากดินเข้าสู่ราก ส่วนวิธีการเคลื่อนที่ของโลหะหนักจากรากไปสู่ยอด (Translocation) ยังสรุปแน่นอนไม่ได้ (Cutler and Rain, 1974)

โลหะหนักบางธาตุคือ ทองแดง มังกานีส สังกะสี เป็นจุลธาตุอาหารของพืช ทองแดงเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ในไมโทคอนเดรีย และคลอโรพลาสต์ มังกานีสมีส่วนช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสง การสร้างคาร์โบไฮเดรต เมตาบอลิซึม และกระตุ้นเอนไซม์ให้ทำงาน สังกะสีมีบทบาทในการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์และโคแฟกเตอร์ในเอนไซม์หลายชนิด (Clarkson and Hanson, 1980) พืชขาดโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหารเหล่านี้ไม่ได้ แต่มีความต้องการในปริมาณน้อย ปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพืชทั่วไป สำหรับทองแดง มังกานีส สังกะสี เท่ากับ 4.5, 1.0 และ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณจุลธาตุอาหารในเนื้อเยื่อใบแก่ของพืชจะบ่งบอกถึงความขาดแคลนเพียงพอ และความเป็นพิษจากโลหะหนักดังกล่าว ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 8

ตาราง 8 จุลธาตุอาหารในเนื้อเยื่อใบแก่ของพืช

จุลธาตุอาหาร	ปริมาณจุลธาตุอาหารในใบแก่ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	ขาดแคลน	เพียงพอ	เป็นพิษ
ทองแดง	< 4	5-20	> 20
มังกานีส	< 20	25-500	> 500
สังกะสี	< 20	25-150	> 400

ที่มา : ดาวรุ่ง สันทอง (2539) อ้างอิงจาก Davies (1980)

นอกจากโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหารของพืชแล้ว Polacco (1977) พบว่า นิเกิลที่มีความเข้มข้นต่ำ (5×10^{-5} โมล) สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อพืช โดยช่วยเปลี่ยนยูเรียเป็นแอมโมเนียมไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช และ Hewitt (1953) ก็พบว่าตะกั่วสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้หากมีปริมาณน้อย

โลหะหนักชนิดต่างๆ หากมีปริมาณที่เหมาะสมก็จะเป็นประโยชน์ต่อพืช หรือไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ปริมาณโลหะหนักที่สูงเกินไปจะส่งผลกระทบต่อพืชได้ การศึกษาวิจัยโดยปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารที่มีโลหะหนักเจือปนอยู่ในความเข้มข้นต่างๆ กัน จะแสดงถึง

ศักยภาพสูงสุดของโลหะหนักที่จะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช (Maximum potential toxicity) ได้ ดังเช่น วิไลภรณ์ บุญญกิจจินดา (2523) ได้ศึกษาพบว่า เมื่อปลูกผักคะน้า ผักกาดหอม ผักกวางตุ้ง และผักบุ้งจีนในสารละลายธาตุอาหารที่มีแคดเมียมและนิเกิลเจือปนอยู่ในความเข้มข้นต่างๆ ผักทั้งสี่ชนิดจะมีการเจริญเติบโตปกติในสารละลายธาตุอาหารที่มีโลหะหนักความเข้มข้นต่ำ แต่เมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมและนิเกิลในสารละลายธาตุอาหารสูงกว่า 5 และ 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ พืชทั้งสี่ชนิดจะมีลักษณะผิดปกติ กล่าวคือ แคดเมียมจะทำให้เนื้อเยื่อ ใบซีดเหลือง (Chlorosis) จากใบอ่อนและรุนแรงจนใบซีดจาง ทำให้เนื้อเยื่อตาย (Necrosis) ของใบ ผักบุ้งจีน นิเกิลจะทำให้เนื้อเยื่อใบซีดเหลือง จากใบอ่อนซีดเหลืองในระหว่างเส้นใบอย่างไม่สม่ำเสมอ และรุนแรงจนเนื้อเยื่อใบของพืชผักทุกชนิดแห้งตายจนเหลือแต่ก้านใบที่ยังเขียวอยู่ และทั้งแคดเมียมและนิเกิลทำให้รากผักทุกชนิดเน่าเปื่อย สั้นกุดและมีปริมาณน้อย กิตติ เอกอำพน (2522) ทำการศึกษาโดยปลูกผักกวางตุ้งในสารละลายธาตุอาหารที่มีตะกั่วและสังกะสีความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ผักกวางตุ้งสะสมตะกั่วและสังกะสีมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วและสังกะสีในสารละลายธาตุอาหาร ตะกั่วและสังกะสีที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 10 และ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จะทำให้น้ำหนักผักกวางตุ้งลดลง และเกิดอาการซีดจางที่ใบอ่อน ในทางตรงกันข้ามหากพืชได้รับโลหะหนักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตน้อยจนเกินไป จะเกิดผลกระทบได้ เช่น Farley และ Draycott (1973) พบว่าพืชที่ขาดมังกานีส จะปรากฏอาการคลอโรซิส (Chlorosis) ที่ใบอ่อน และเซลล์ขนาดเล็กลงในพืชใบเลี้ยงคู่ อาการขาดมังกานีสจะปรากฏเป็นจุดสีเหลืองเล็กๆ ที่ใบ สำหรับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะปรากฏจุดหรือแนวสีเทาที่ใบ ส่วนพืชที่ขาดสังกะสีจะมีอาการขาดคลอโรฟิล (Chlorosis) ในบริเวณระหว่างเส้นใบ โดยจะมีสีซีดจางลงเป็นสีเหลืองซีขาว สำหรับผักหลายชนิด การขาดสังกะสีจะทำให้ระยะระหว่างข้อหรือปล้องสั้นลงและในใบแก่จะเกิดอาการขาดคลอโรฟิล บางครั้งพบว่าการขาดคลอโรฟิลเกิดในใบอ่อนร่วมด้วย (Maynard, 1979) นอกจากนี้การขาดสังกะสีจะยับยั้งการสร้างเม็ดคลอโรพลาสต์ และทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในเซลล์พืช (Jyung et al., 1975) และพืชที่ขาดทองแดงจะปรากฏอาการที่ปลายใบ โดยปลายใบจะมีลักษณะเป็นสีแดง ใบจะแคบและบิดเป็นเกลียว การเจริญของข้อและปล้องจะลดลง (Mengel and Kirkby, 1982)

ความรุนแรงของโลหะหนักแต่ละธาตุ และตำแหน่งที่จะก่อให้เกิดพิษต่อพืชจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความสามารถจำเพาะในการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะหนักกับสารอินทรีย์ชนิดของธาตุที่ให้อิเล็กตรอน (Electron donor) ชนิดและการตอบสนองของพืช รวมทั้งสภาวะแวดล้อมต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกพืช (Mellor and Maley, 1984)



8.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสะสมโลหะหนักในดินและพืช

8.3.1 ลักษณะสมบัติของดิน

ลักษณะสมบัติของดินมีผลต่อการดูดซับโลหะหนักของพืช Davies (1980) อ้างถึงผลงานของ Haghir (1974) ที่พบว่า การดูดซับแคดเมียมของข้าวโอ๊ต จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของดินสูงขึ้นและการดูดซับแคดเมียมจะลดลงเมื่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินเพิ่ม โดยการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุลงในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สูงในดินจะช่วยลดความเป็นประโยชน์ของโลหะหนักในดินได้ (Orawan Siriratpiriya, Vigerust and Selmer-Olsen, 1985) เนื่องจากอินทรีย์วัตถุสามารถจับยึดโลหะหนักไว้ได้ จึงทำให้โลหะหนักสะสมอยู่ในอินทรีย์วัตถุและถูกพืชดูดซับเข้าไปได้น้อย ดังเช่น รายงานของ Hutchinson, Freedom and Whitby (1981) ในดินที่เกิดมลภาวะจากนิเกิลจะพบนิเกิลเป็นปริมาณมากในดินอินทรีย์ชั้นบน อาจเนื่องจากผิวดินมีสารอินทรีย์และมีสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง Gynac และ Beckett (1986) พบว่า มีความสัมพันธ์ทางลบระหว่างปริมาณนิเกิลในดินกับปริมาณสารอินทรีย์ในดิน และพืชที่ปลูกบนดินทรายจะสะสมโลหะหนักได้มากกว่าพืชที่ปลูกบนดินเหนียว (Chaney, 1982 อ้างถึงใน Kuntz et al., 1989; Cottenies, Kiekans and Van Landschoot, 1984)

ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของโลหะหนักในดิน โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้การดูดซับโลหะหนักของพืชลดลงได้ เพราะค่าไอออนของโลหะหนักต่างๆ ในรูปที่เปลี่ยนประจุได้ และละลายน้ำได้จะมีปริมาณลดลงเมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น (Davies, 1980) การใส่ปูนเพื่อเพิ่มความเป็นกรดเป็นด่างของดิน จะลดการดูดซับโลหะหนักของพืชได้เรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ มังกานีส > สังกะสี > นิเกิล = แคดเมียม > ทองแดง > โครเมียม = ตะกั่ว (Orawan Siriratpiriya et al., 1985)

8.3.2 ชนิดและรูปของโลหะหนัก

พืชมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักชนิดต่างๆ ได้ต่างกัน แคดเมียม นิเกิล สังกะสี และทองแดงเป็นธาตุที่พืชสามารถดูดซับได้ดีกว่าตะกั่ว ปรอท และโครเมียม ดินสามารถดูดซับตะกั่วได้แน่น ปริมาณของตะกั่วในพืชจึงไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกั่วในดิน (อรรณศิริรัตน์พิริยะ, 2525) และความเข้มข้นของโลหะหนักบางชนิดในพืช เช่น แคดเมียม นิเกิล และ มังกานีส จะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความเข้มข้นที่มีอยู่ในดิน (Davis, 1984)

Pilegaard (1978) พบว่า แคดเมียมมีความสามารถที่จะเคลื่อนย้าย (Translocation) ในพืชได้มากกว่าทองแดง ตะกั่ว และนิเกิล สอดคล้องกับที่ Jarvis, Jones และ Hopper (1976) พบว่ารากของผักกาดหอมสามารถที่จะปลดปล่อยแคดเมียมที่รากดูดได้ และลำเลียงไปสู่ส่วนยอดได้มาก ส่วนมังกานีสจะเคลื่อนย้ายในพืชได้ยากกว่าโลหะอื่นๆ

8.3.3 ปฏิกริยาเสริม (Synnergism) หรือปฏิกริยาหักล้าง (Antagonism) ของโลหะหนักและธาตุอื่นๆ

ปฏิกริยาเสริมหรือหักล้างกันของโลหะหนักและธาตุอาหารอื่นๆ มีอิทธิพลต่อการดูดซับและเคลื่อนย้าย (Translocation) โลหะหนักของพืช เช่น แคลเซียม และสังกะสีที่มีอยู่ในดิน จะลดการดูดซับแคดเมียมของพืช (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2522) นอกจากนี้ Ambler, Brown และ Gaugh (1970) พบว่า ดินที่มีสังกะสีสูงจะทำให้พืชไม่สามารถลำเลียงธาตุเหล็กจากรากไปสู่ลำต้นได้ แต่สังกะสีที่มีอยู่ในดินมีผลให้พืชสามารถลำเลียงมังกานีสไปสู่ส่วนยอดได้มาก (Krause and Kaiser, 1977) และ Davies (1980) ศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณแคดเมียมในใบและรากของข้าวโพด (Maize) เพิ่มขึ้น ปริมาณสังกะสีจะลดลง และหากปริมาณเหล็กในใบ และรากของข้าวโพดสูงขึ้น ปริมาณแคดเมียมจะเพิ่มขึ้นด้วย

8.3.4 ชนิดและส่วนต่างๆ ของพืช

พืชแต่ละชนิดจะสะสมโลหะหนักชนิดต่างๆ ได้ต่างกัน เนื่องจากความต้องการโลหะหนัก ความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก รวมทั้งความทนทานต่อการขาดแคลนโลหะหนัก และความทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนักแตกต่างกัน Elsokkary และ Elkeiy (1989) รายงานว่า โลหะหนักจะถูกดูดซับโดยพืชจำพวกผักมากกว่าพืชเมล็ด ในพืชชนิดเดียวกันการสะสมโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของพืชก็ยังไม่เท่ากัน เช่น ผักคะน้าจะสะสมตะกั่วที่ราก > ใบ > ลำต้น (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2525) ข้าวไรย์ ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต จะสะสมโลหะหนักในส่วนรากมากที่สุด (Gebhardt, Gruen and Pusch, 1990) ส่วนฟางแห้ง หัวผักกาด ผักกาดหอม หัวผักกาดแดง และต้นถั่วแดง จะมีสังกะสีสูงในใบ (Vigerust, Selmer-Olsen and Orawan Siriratpiriya, 1987)

8.3.5 สภาพแวดล้อมต่างๆ

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

8.4 ระดับที่ปลอดภัยและระดับที่เป็นพิษของโลหะหนัก

8.4.1 ระดับโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชน

ปริมาณโลหะหนักทั้ง 8 ธาตุ ที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนตามเกณฑ์ของนานาชาติ และของกลุ่มประชาคมยุโรป (Commission of the European Communities) ได้แสดงไว้ในตาราง 5

8.4.2 ระดับโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร

ปริมาณของโลหะหนักทั้ง 8 ธาตุคือ โลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหารโดยตรง (มังกานีส สังกะสี และทองแดง) และโลหะหนักที่เป็นพิษ (โครเมียม นิเกิล ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท) ซึ่งสามารถยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรตามเกณฑ์ของประเทศต่างๆ ได้แสดงไว้ในตาราง 9

ตาราง 9 ปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร

ประเทศที่กำหนด	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
	มังกานีส	สังกะสี	ทองแดง	โครเมียม	นิเกิล	ตะกั่ว	แคดเมียม	ปรอท
ออสเตรเลีย	500	280	140	500	35	550	3.5	0.3
เยอรมัน	-	300	100	-	50	100	3.0	-
ฝรั่งเศส	-	300	100	-	50	100	2.0	-
เนเธอร์แลนด์	-	100	50	-	20	100	1.0	-
ช่วงของทั้ง 4 ประเทศ	500	100- 280	50- 140	500	20- 50	100- 550	1.0-3.5	0.3

ที่มา : ดาวรุ่ง สังกะสี (2539) อ้างอิงจาก Webber *et al.* (1984) ; Oosthoek and Vam, (1987) ; Bardos, Hardley and Kendle, (1992)

8.4.3 ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษของโลหะหนักต่อพืช

ปริมาณโลหะหนักทั้ง 8 ธาตุในพืช ณ ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชได้แสดงไว้ในตาราง 10

ตาราง 10 ปริมาณโลหะหนักในพืช ณ ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	ระดับปกติ	ระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช
มังกานีส	15-150	400-2,000
สังกะสี	15-150	500-1,500
ทองแดง	3-20	25-40
โครเมียม	-	-
นิเกิล	0.1-5	50-100
ตะกั่ว	2-5	-
แคดเมียม	0.1-1	5-700
ปรอท	-	-

ที่มา : ดาวรุ่ง ล้างทอง (2539) อ้างอิงจาก Chaney (1982)

9. ความรู้เกี่ยวกับการใช้พืชบำบัดสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม(Phytoremediation)

Phytoremediation มาจากคำสองคำ คือ มาจากภาษา Greek: Phyton = Plant และจากภาษา Latin: Remedial = Remedy) ดังนั้น Phytoremediation จึงเป็นกระบวนการที่ใช้พืชในการบำบัดสิ่งปนเปื้อนในดิน กากตะกอนของเสีย น้ำหรือน้ำใต้ดิน โดยกระบวนการเคลื่อนย้ายสิ่งปนเปื้อน การสลายตัว และในบางกรณี วิธีการเก็บเกี่ยวพืชในพื้นที่ปนเปื้อนก็เป็นวิธีการบำบัดวิธีหนึ่ง กระบวนการ Phytoremediation สามารถใช้ในการกำจัดโลหะ สารกำจัดศัตรูพืช สารละลาย สารระเบิด น้ำมันดิบ สาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) และน้ำชะขยะได้

กระบวนการนี้ยังแบ่งออกเป็นวิธีต่างๆ ดังนี้ (ประยงค์ ศรีไพโรสนท์., 2548 อ้างอิงจาก EPA., 1999)

1. Phytoextraction หรือเรียกว่า Phytoaccumulation หมายถึงกระบวนการดึงดูดและเคลื่อนย้ายโลหะที่ปนเปื้อนในดินโดยรากพืชไปยังส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของพืช
2. Rhizofiltration เป็นวิธีการดูดซับ(Adsorption) หรือการทำให้ตกตะกอนในรากพืช (Precipitation) หรือดูดซับภายในรากพืชหากสารปนเปื้อนเป็นสารละลายที่อยู่รอบๆรากพืช
3. Phytostabilization เป็นกระบวนการใช้พืชในการตรึง (Immobilize) สารปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดินโดยการดูดซับหรือสะสมโดยราก

4. Phytodegradation หรือเรียกว่า Phytotransformation เป็นวิธีการสลายสารปนเปื้อนโดยใช้พืชผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในพืชหรือการสลายตัวของสารปนเปื้อนภายนอกพืชโดยผลของสารประกอบต่างๆ(เช่น เอนไซม์) ที่ถูกสร้างในพืชขึ้น

5. Rhizodegradation หรือเรียกอีกอย่างว่า Enhanced Rhizosphere Biodegradation, Phytostimulation หรือ Plant-Assisted Bioremediation/Degradation เป็นการสลายตัวของสารปนเปื้อนในดินผ่านทางการทำงานของจุลินทรีย์ต่างๆที่มีอยู่ในระบบรากพืช ซึ่งจะทำหน้าที่ใช้หรือย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อเป็นสารอาหารและพลังงาน

6. Phytovolatilization เป็นกระบวนการดึงดูดและการคายน้ำ(Transpiration) ของสารปนเปื้อนโดยพืช ซึ่งจะปลดปล่อยสารปนเปื้อนหรือเปลี่ยนแปลงรูปของสารปนเปื้อนออกไปในอากาศ

10. สารปรอท

10.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารปรอท(Physical and chemical properties mercury)

ในสถานะอุณหภูมิปกติปรอทที่มีความบริสุทธิ์จะมีสถานะเป็นของเหลว มีสีขาวคล้ายเงิน จึงมีชื่อเรียกว่า “Liquid Silver” หรือ “Quick Silver” นับเป็นโลหะชนิดเดียวที่มีสภาพเป็นของเหลว ณ อุณหภูมิปกติ แต่ก็สามารถแปรสภาพเป็นของแข็งได้แต่จะมีความเปราะและจะระเหยเป็นไอได้ ปรอทมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้และเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่นๆ ดังต่อไปนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

น้ำหนักโมเลกุล(molecular weight)	200.59
ความหนาแน่น(density) ที่ 20 °C	13.546 g/ml
จุดเดือด(boiling point)	356.9 °C
จุดเยือกแข็ง(freezing point)	-38.87 °C
ความถ่วงจำเพาะ(specific gravity)	13.545
มีความดันไอ	1.85×10^{-3} torr ที่ 40 °C, 270×10^{-3} torr
ความสามารถละลายในน้ำ	ต่ำ

10.2 ประเภทของสารปรอท

สามารถแบ่งประเภทของสารปรอทได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. สารประกอบอนินทรีย์ของปรอท (inorganic mercury compound) ได้แก่ สารประกอบเมอร์คิวรียคลอไรด์และสารประกอบเมอร์คิวริกคลอไรด์ ซึ่งสารประกอบเมอร์คิวริกคลอไรด์มีอำนาจในการขัดขวางปฏิกิริยาในร่างกายมากกว่าสารประกอบพวงเมอร์คิวรียคลอไรด์

2. สารประกอบอินทรีย์ของปรอท (organic mercury compound) จัดเป็นสารประกอบปรอทที่เป็นพิษมากที่สุด เช่น สารประกอบจำพวกอัลคิลเมอร์คิวรี (alkyl mercury) เมทิลเมอร์คิวรี ซึ่งสารนี้จะละลายได้ดีในไขมัน ดังนั้นจึงสะสมได้ดีในเนื้อเยื่อต่างๆ รวมทั้งเนื้อเยื่อสมอง สารประกอบปรอทอินทรีย์สามารถผ่านเนื้อเยื่อ (BBB) ที่ช่วยป้องกันไม่ให้สารพิษผ่านจากกระแสโลหิตเข้าสู่เนื้อเยื่อสมอง ดังนั้นสารปรอทอินทรีย์จึงสามารถทำอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลางได้อย่างถาวร สารประกอบปรอทอินทรีย์ยังสามารถซึมผ่านรก (placenta) เข้าสู่ทารกในครรภ์แม่ทำให้ทารกที่เกิดมามีอาการผิดปกติทางระบบประสาทและภูมิปัญญา นอกจากนี้ยังพบว่าสารประกอบปรอทอินทรีย์สามารถทำให้เกิดการผิดปกติทางโครโมโซมของมนุษย์ซึ่งส่งผลกระทบต่อกรรมพันธุ์ (พวงกมล นวลสุทธิ, 2541)

ตาราง 11 รูปแบบทางเคมีและความเป็นพิษของสารปรอท

รูปแบบ	ความเป็นพิษ
Hg^0	โลหะปรอท: ค่อนข้างเฉื่อย(inert) และไม่เป็นพิษ แต่ไอปรอทเป็นพิษอย่างร้ายแรงเมื่อสูดเข้าไป
Hg_2^{2+}	ประจุเมอร์คิวรัส: ไม่ละลายน้ำในรูปสารประกอบเชิงซ้อนคลอไรด์ ความเป็นพิษไม่มาก เช่น เมอร์คิวรัสคลอไรด์ (Hg_2Cl_2)
Hg^{2+}	ประจุเมอร์คิวริก: เป็นพิษแต่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายข้ามเนื้อเยื่อ เช่น blood-brain-barrier (BBB) ซึ่งกั้นระหว่างกระแสโลหิตกับเนื้อเยื่อสมอง(ช่วยป้องกันไม่ให้สารพิษผ่านจากกระแสโลหิตเข้าสู่เนื้อเยื่อประสาทส่วนกลาง สามารถสะสมและทำอันตรายต่อไต เช่นเมอร์คิวริกคลอไรด์ (Hg Cl_2)
RHg^+	สารปรอทอินทรีย์เชิงเดี่ยว: มีความเป็นพิษสูงโดยเฉพาะเมทิลเมอร์คิวรี(CH_3Hg)ทำลายระบบประสาทส่วนกลางและสมองอย่างถาวร เนื่องจากสามารถเคลื่อนย้ายผ่านเนื้อเยื่อกีดกัน เช่น (BBB) ได้ สะสมได้ดีในเนื้อเยื่อไขมัน
R_2Hg	สารปรอทอินทรีย์เชิงคู่: มีความเป็นพิษต่ำแต่สามารถเปลี่ยนรูปเป็น RHg^+ ได้ในตัวกลางที่เป็นกรด เช่น ไดเมทิลเมอร์คิวรี ($(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$)
HgS	สารประกอบปรอทซัลไฟด์: ไม่ละลายน้ำและไม่เป็นพิษ พบตามธรรมชาติในดินในรูปของแร่ซินนาบาร์

ที่มา : พวงกมล นวลสุทธิ (2541) อ้างอิงจาก De.1994

10.3 แหล่งและที่มาของสารปรอทเข้าสู่สิ่งแวดล้อม

มนุษย์รู้จักใช้สินแร่ปรอทมานานแล้ว เช่นในสมัย 700 ปีก่อนคริสตกาลการผลิตปรอททำได้ง่ายมากเพียงแต่เผาสินแร่ซินนาบาร์(Cinnabar HgS)ก็จะได้ปรอท และแหล่งที่มาของปรอทเกิดจากการพังทลาย การสลายตัวของหินและแร่เนื่องมาจากการระเบิดของภูเขาไฟ การชะล้างของน้ำฝน การไหลบ่าของน้ำหน้าดินต่อเทวดัตถุที่มีปรอทเป็นองค์ประกอบ ในที่สุดจะลงสู่แหล่งน้ำรวมทั้งปรอทที่เกิดจากแหล่งอุตสาหกรรม ของเสียที่เหลือจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมในที่สุดก็ลงสู่แหล่งน้ำเหมือนกัน (ศุภมาศ พาณิศักดิ์พัฒนา, 2545) และสารประกอบปรอทที่แพร่สู่สิ่งแวดล้อมมาจากแหล่งใหญ่ๆ 2 แหล่ง คือ

10.3.1 แหล่งธรรมชาติ (natural sources) ปรอทสามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ แต่พบในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ของโลก ปรอทที่พบมากในธรรมชาติ คือ โลหะปรอทและ

ปรอทซิลไฟด์ ปรอทแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมโดยการแตกแยกกลายเป็นส่วนเล็กๆ อย่างไรก็ตามการแพร่กระจายโดยธรรมชาตินั้นมีปริมาณน้อยมาก เมื่อเทียบกับปรอทที่มาจากการกระทำของมนุษย์ ในแม่น้ำลำคลองรวมทั้งน้ำในดินจะไหลผ่านสิ่งต่างๆที่มีปรอทสะสมอยู่ แต่ปริมาณปรอทในแหล่งน้ำธรรมชาติสามารถลดลงได้โดยที่น้ำจะสามารถดูดซับปรอทเอาไว้ (พวงกมล นวลสุทธิ, 2541)

10.3.2 แหล่งที่มาจากการกระทำของมนุษย์ (anthropogenic sources) ปรอทเป็นสารที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางทั้งทางด้านการแพทย์ วิทยาศาสตร์ การเกษตร การทหาร และอุตสาหกรรมสาขาต่างๆ กรมควบคุมมลพิษ(2541) และ พวงกมล นวลสุทธิ (2541) รายงานว่าเนื่องจากการใช้สารปรอทกันอย่างกว้างขวางทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์มากกว่าการเกิดโดยการกระทำทางธรรมชาติ ทำให้เกิดการแพร่กระจายและตกค้างของสารปรอทในธรรมชาติในปริมาณที่สูง ปรอทที่แพร่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมโดยมนุษย์อาจมาจากหลายวิธีด้วยกันดังนี้

- 1) ใช้ประโยชน์ในการทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์ต่างๆ เช่น เทอร์โมมิเตอร์ บารอมิเตอร์และ mercury arc lamp เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวเร่ง (catalyst) ในกระบวนการทางเคมีต่างๆเช่น กระบวนการร่อนทองคำ
- 2) ใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ คือ เป็นส่วนผสมของยารักษาโรคหลายชนิด Amalgam ใช้ในการอุดฟันเนื่องจากเมื่อผสมเสร็จใหม่ๆจะมีลักษณะอ่อนสามารถจัดแต่งเป็นรูปทรงต่างๆได้ง่าย เมื่อทิ้งไว้ให้ถูกอากาศระยะหนึ่งจะเกิดการแข็งตัว และเป็นองค์ประกอบในเครื่องมือแพทย์ เช่น เครื่องมือที่ใช้วัดความดันโลหิต ยาถ่ายคาโลเมล เป็นต้น
- 3) ใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร คือ ใช้ $(Hg Cl_2)$ เป็นองค์ประกอบของสารเคมีกำจัดแมลงและสารเคมีกำจัดเชื้อราในพืชทำให้สามารถป้องกันกำจัดแมลงและเชื้อราที่เป็นศัตรูพืชได้ บางครั้งอาจใช้ปรอทขบเมลิ็ดพืชเพื่อป้องกันแมลง และโรคพืช
- 4) ใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ไฟฟ้า อุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมชุบโลหะ อุตสาหกรรมผลิตสีทาบ้าน อุตสาหกรรมผลิตน้ำยาซักแห้ง อุตสาหกรรมผลิตคลอรีน และโซดาไฟ อุตสาหกรรมผลิตพลาสติก อุตสาหกรรมผลิตสารเคมี อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ อุตสาหกรรมทำขนเฟอร์ เป็นต้น
- 5) ใช้ประโยชน์ทางด้านการทหาร คือ เป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งในการทำระเบิด
- 6) จากการทำกระจกเงาและแว่นตาเพราะปรอทมีการสะท้อนแสงได้ดี
- 7) น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และครัวเรือนและขยะมูลฝอยชุมชน

8) จากการเผา fossil fuels

จากการที่ปรอทสามารถใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นซึ่งปรากฏว่าในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยมีการนำเข้าปรอททั้งหมดที่มีอยู่ในรูปของปรอทอินทรีย์ และปรอทอนินทรีย์เป็นจำนวนมาก เพื่อใช้ในกิจกรรมหลายๆประเภท ซึ่งจากสถิติของกรมศุลกากรระหว่างปี พ.ศ.2531-2534 พบว่าปริมาณนำเข้าปรอทมีมากกว่า 10,000 ตันในแต่ละปี นอกจากนี้ยังมีปรอทซึ่งถูกนำมาเข้ามาในรูปแบบที่เป็นองค์ประกอบของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชอีกเป็นจำนวนมากด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากมีการนำปรอทที่ผลิตเป็นเครื่องมือเครื่องใช้หรือสารเคมีกำจัดศัตรูพืชไปใช้ประโยชน์อย่างไม่ถูกต้องแล้วโอกาสที่สารดังกล่าวจะสะสมและแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมก็ย่อมจะเป็นได้สูง และก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ในที่สุด

10.4 การวิเคราะห์ปรอทในดินและพืช

ศุภมาศ พาณิชศักดิ์พัฒนา (2545) รายงานว่า ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีวิเคราะห์ (Available mercury) ในดินที่เชื่อถือได้ ในการศึกษาผลของปรอทต่อสภาพแวดล้อม จึงจำเป็นต้อง ใช้ค่าวิเคราะห์ในรูปปรอททั้งหมด (Total mercury) และ(ดาวรุ่ง สังข์ทอง,2539) ได้วิเคราะห์ปรอททั้งหมดในพืชผักชุมชนแหล่งอ่อนนุชได้ เท่ากับ 2.18 mg.kg^{-1} แต่วิเคราะห์ปริมาณปรอทในรูปที่พืชสามารถดูดได้จากการสกัด 4 วิธี ด้วยสารสกัด H_2O , 1M KNO_3 , 0.005M DTPA และ 0.05M EDTA ปรากฏว่ามีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้

10.5 ปฏิกิริยาเคมีในดิน

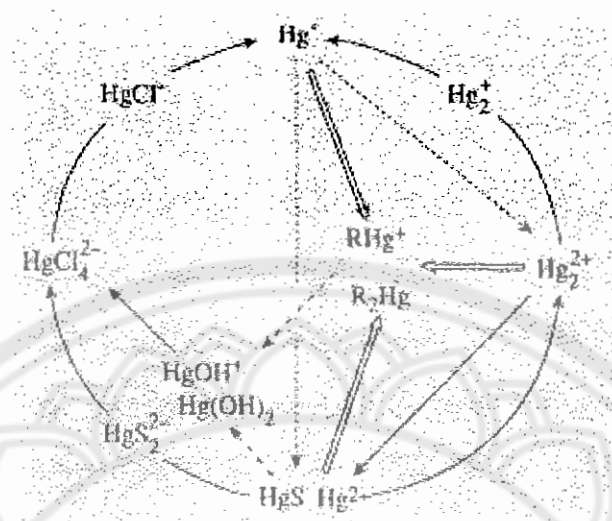
ศุภมาศ พาณิชศักดิ์พัฒนา (2545) รายงานว่าในสภาพธรรมชาติปรอทมีเคมีดังนี้คือ

1. ชอบเกิดพันธะอย่างแน่น (strong bond) กับ S เช่นแร่อินนาบาร์ (HgS) อันเป็นแร่ที่มีมากที่สุดของปรอท

2. เกิดสารประกอบปรอทอินทรีย์ซึ่งค่อนข้างเสถียรในน้ำขัง

3. ธาตุปรอทสามารถระเหยกลายเป็นไอได้

เมื่อใส่ปรอทลงไปในดินไม่ว่าจะใส่ในรูปธาตุปรอท สารประกอบเชิงซ้อนที่อยู่ในรูปแคตไอออน หรือแอนไอออนก็ตามดินจะยึดปรอทไว้อย่างแรงทั้งสิ้น ปรอทในดินสามารถเปลี่ยนรูปได้ทั้งโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชัน ไฮโดรไลซิสหรือเกิดสารอินทรีย์ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 1



ภาพ 1 รูป และการเปลี่ยนรูปของปรอทในดินโดยปฏิกิริยารีดักชัน ออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และการเกิดสารอินทรีย์ ค่า $R = CH_3, CH_3CH_2, C_6H_5$ (ศุภมาศ พณิชศักดิ์พัฒนา, 2545)

ปรอทในดินถูกตรึงไว้ในรูปต่างๆ ด้วยปัจจัยที่ต่างกัน แร่ดินเหนียวดูดซับปรอทไว้ได้ไม่มาก แต่ในดินน้ำขังสภาพกรดปรอทอาจเกิดเป็น HgS หรือแม้กระทั่งเกิดโลหะปรอทได้ โดยที่การตรึงปรอทในสภาพกรดจะมีค่าสูงสุดในสภาพดิน pH 4-5 นอกจากนั้นการตรึงปรอทในดินยังขึ้นกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (หรือปริมาณอินทรีย์วัตถุ) และ CEC ของดิน ดินที่มีอินทรีย์วัตถุมากทำให้เกิดสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนของปรอท ดังนั้นสภาพการเคลื่อนที่ได้ของปรอทจึงขึ้นอยู่กับสภาพการสลายตัวทางเคมีหรือชีวภาพของสารประกอบอินทรีย์ดังกล่าว ด้วยเหตุนี้จึงกล่าวโดยทั่วไปได้ว่าดินอินทรีย์จะมีปริมาณปรอทในดินสูง

10.6 การแพร่กระจาย และการเป็นไปในสิ่งแวดล้อม (Pathways into the environment and environmental fate)

ปรอทที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจะมีการสลายตัวของสินแร่ที่มีปรอทเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจากการศึกษาเกี่ยวกับการสลายตัวของปรอท โดย National Academy of Sciences (NAS, อ้างถึงใน UNEP, 1984) ในปี ค.ศ. 1978 พบว่าปริมาณของสารปรอทที่ระเหยออกมาตามผิวโลกมีจำนวนประมาณ 18,500-27,000 ตัน/ปี นอกจากนี้ยังมีปะปนออกมากับก๊าซภูเขาไฟและระเหยจากมหาสมุทรอีกด้วย แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติดังกล่าวนี้ ทำให้เกิดการแพร่กระจายของปรอทเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ทางหนึ่ง นอกจากนี้การที่มนุษย์นำปรอทมาใช้เป็นวัตถุเติมในกระบวนการผลิตต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกิจการทางด้านอุตสาหกรรม และเกษตรกรรมทำให้เกิดการแพร่

กระจายของปรอทเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งด้วย ซึ่งจากการศึกษาของ NAS (1978, อ้างถึงใน UNEP, 1984) พบว่าปริมาณของสารปรอทที่แพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมของมนุษย์ มีจำนวนถึง 5,000-10,000 ตัน/ปี

สำหรับกิจกรรมที่มนุษย์ใช้ปรอทเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตต่างๆ ทำให้เกิดการแพร่กระจายของปรอทเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทั้งในอากาศ แหล่งน้ำและพื้นดิน กิจกรรมที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของปรอทเข้าสู่บรรยากาศที่สำคัญ ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตคลอรีนและโซดาไฟ ส่วนกิจกรรมที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของปรอทลงสู่แหล่งน้ำ คือ อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ ยารักษาโรค การผลิตคลอรีน และโซดาไฟ การผลิตเหล็กและเหล็กกล้า ฯลฯ

การแพร่กระจายและการเป็นไปของปรอทในสิ่งแวดล้อม อาจจำแนกออกได้ดังต่อไปนี้

10.6.1 การแพร่กระจายและการเป็นไปในอากาศ

ปริมาณความเข้มข้นของปรอทที่มีอยู่ในอากาศตามแหล่งต่างๆ แตกต่างกันจากการศึกษาของ NAS (1978 อ้างถึงใน UNEP, 1984) และ Matheson (1979 อ้างถึงใน UNEP, 1984) พบว่าในพื้นที่ตามชนบท มีปรอทเจือปนอยู่ในบรรยากาศประมาณ $1-5 \text{ ng/m}^3$ ส่วนในเขตชุมชนหรือเมืองต่างๆ พบว่ามีค่าสูงขึ้นอยู่ระหว่าง $7-10 \text{ ng/m}^3$ ในบริเวณมหาสมุทรและแถบขั้วโลกพบว่ามีค่าความเข้มข้นของปรอทอยู่ในระดับต่ำ โดยทั่วไปมีค่าไม่เกิน 1 ng/m^3 ส่วนในจุดที่เป็นแหล่งแพร่กระจายของปรอทโดยตรง เช่น บริเวณภูเขาไฟและบริเวณที่มีการทำเหมืองแร่มีความเข้มข้นของปรอทในปริมาณสูงและลดจำนวนลงในบริเวณที่ห่างไกลออกไปโดย IRPTC (1982) ได้รายงานว่าความเข้มข้นของปรอทในบริเวณที่มีการทำเหมืองแร่ มีค่าสูงถึง 240 ng/m^3 จากการรวบรวมรายงานการศึกษาต่างๆ ของ Ericksen and Gustin (2003) ว่าต้นไม้เป็นทางให้ปรอทเคลื่อนย้ายจากดินสู่บรรยากาศหรือดูดซับไอบปรอทในบรรยากาศเพื่อรักษาสมดุล โดยที่ต้นไม้จะมีการเคลื่อนที่ของปรอท 2 ทิศทางซึ่งขึ้นกับความเข้มข้นของปรอทในบรรยากาศ มีการทดลองกับพืชที่ปลูกในดินที่เติมปริมาณปรอทลงไปจะทำให้การปล่อยปรอทจากใบสู่อากาศเพิ่มขึ้น (ตามความเข้มข้นปรอทในดิน) โดยมีปัจจัยที่ควบคุมการเคลื่อนไหของปรอทจากพืชได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณแสง และดัชนีพื้นที่ใบ (พื้นที่ใบ/พื้นที่ดิน)

สำหรับรายงานการศึกษาเกี่ยวกับปรอทในประเทศไทยนั้น สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดชลบุรี ตรวจสอบพบว่าในปี พ.ศ. 2533 คุณภาพอากาศในจังหวัดชลบุรีมีสารปรอทปนเปื้อนอยู่ในระดับเฉลี่ย $2.19 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ โดยพบว่าต้นกำเนิดของการแพร่กระจายสารปรอทดังกล่าวอยู่ในบริเวณพื้นที่อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งเป็นแหล่งที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก

10.6.2 การแพร่กระจายและการเป็นไปในน้ำ

ปรอทในแหล่งน้ำต่างๆ มีการแพร่กระจายแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ Fitzgerald (1979 อ้างถึงใน UNEP, 1984) ได้รายงานผลการศึกษาในต่างประเทศไว้ว่าบริเวณปากแม่น้ำ โดยทั่วไปมีปรอทสะสมอยู่ถึงประมาณปีละ 5.3×10^9 กรัม ส่วนความเข้มข้นของปรอทในน้ำทะเลที่เก็บจากบริเวณมหาสมุทรมีค่าน้อยกว่า 10 ng/l ในขณะที่น้ำทะเลซึ่งเก็บจากบริเวณชายฝั่งทะเลที่ไม่มีการปนเปื้อน (unpolluted coast) ของปรอทมีค่าประมาณ 20 ng/l สำหรับในบริเวณชายฝั่งทะเลที่มีการปนเปื้อนก็มีค่าปรอทสูงขึ้น เช่น บริเวณอ่าวมินามาตะในประเทศญี่ปุ่น จะพบค่าปรอทอยู่ในระหว่าง 1.6-3.6 $\mu\text{g/l}$ (Hosohara *et al*, 1961 อ้างถึงใน UNEP, 1984) นอกจากนี้ในบริเวณทะเลเมดิเตอร์เรเนียนพบว่ามีค่าปรอทสูงด้วย ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณดังกล่าวอยู่ในเขตภูเขาไฟ

สำหรับในแหล่งน้ำจืดทั่วไปมีสารปรอทเจือปนอยู่ตามธรรมชาติประมาณ 10-50 ng/l ในขณะที่แหล่งน้ำที่มีการถ่ายเทของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมีค่าปรอทมากกว่า 1 $\mu\text{g/l}$

ส่วนการศึกษากการปนเปื้อนของปรอทในแหล่งน้ำของประเทศไทยพบว่า มีการแพร่กระจายอยู่ในแม่น้ำสายต่างๆ หลายสาย ซึ่งจากการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำ 17 สาย อ่างเก็บน้ำ 4 แห่ง และเขื่อนอีก 3 แห่ง รวมทั้งสิ้น 1,039 ตัวอย่างปรากฏว่าปริมาณปรอทในแหล่งน้ำดังกล่าวมีค่าอยู่ระหว่าง nil-37.7 ppb โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.47 ppb และในจำนวนแหล่งน้ำที่สำรวจทั้งหมดนั้น พบว่าแม่น้ำเจ้าพระยาท่าจีน แมกกลอง และประจวบบุรีมีตัวอย่างน้ำที่ตรวจพบค่าปรอทสูงกว่า 5.0 ppb ซึ่งสูงกว่าที่พบในแหล่งน้ำตามธรรมชาติอื่นๆ

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาถึงการแพร่กระจายของโลหะหนักบริเวณปากแม่น้ำของอ่าวไทยในระหว่างปี พ.ศ.2522-2523 โดยสุธรรม สิริชัยเกษมและคณะ (อ้างถึงใน ศิริ จันทโรติ, 2531) พบว่าปากแม่น้ำบางปะกง ปากแม่น้ำท่าจีน ปากแม่น้ำแมกกลอง ปากแม่น้ำเพชรบุรี และปากแม่น้ำประจวบบุรีมีสารปรอทปนเปื้อนอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1-1.22, 0.1-0.5, 0.08-1.25, 0.08-0.82 และ 0.08-0.82 ppb ตามลำดับ

10.6.3 การแพร่กระจายและการเป็นไปในดิน

โดยทั่วไปการแพร่กระจายของปรอทในดินจะมีไม่มากนัก กล่าวคือ พบว่ามีความเข้มข้นในระดับค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 70 ng/g ในดินที่ไม่มีการปนเปื้อน (NAS, 1978 อ้างถึงใน UNEP, 1984) และมีการสำรวจพบว่าดินในบริเวณที่มีการทำเหมืองแร่หรือดินที่มีการปนเปื้อน (polluted soils) มีค่าความเข้มข้นของปรอทสูงเกินกว่า 500 $\mu\text{g/g}$ และมีระยะเวลาการคงตัว (residence time) อยู่ภายในดินนานถึง 1,000 ปี

สำหรับในประเทศไทยได้มีรายงานการสำรวจเกี่ยวกับการปนเปื้อนของสารปรอทในดิน ตะกอนบริเวณอ่าวไทยตอนบน พบว่ามีความเข้มข้นอยู่ในช่วงระหว่าง 17.9-49.3 ppm และบริเวณ อ่าวไทยตอนล่างพบอยู่ในช่วงระหว่าง nil-43.9 ppm (Piyakamchana, 1974)

10.6.4 การแพร่กระจายและการเป็นไปในสัตว์

ปรอทที่แพร่กระจายหรือปนเปื้อนอยู่ในดินและแหล่งน้ำมีการถ่ายทอดสู่สัตว์หรือสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยอยู่ในดินหรือแหล่งน้ำนั้นๆ ได้ และมีปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้ความเข้มข้นของปรอทที่ ถ่ายทอดเข้าสู่สัตว์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น ชนิดและขนาดของสัตว์รวมทั้ง สภาพพื้นที่ที่สัตว์อาศัยอยู่ด้วย ในการศึกษาถึงการปนเปื้อนของปรอทในปลาที่มีความสำคัญในเชิง เศรษฐกิจบางชนิดมักไม่ค่อยพบว่ามีค่าความเข้มข้นของปรอทในกล้ามเนื้อเกินกว่า 0.2-0.3 $\mu\text{g/g}$ แต่ ในปลาน้ำเค็มขนาดใหญ่บางชนิด เช่น swordfish และ tuna มีค่าความเข้มข้นของปรอทอยู่ใน ระดับ 0.5-1.0 $\mu\text{g/g}$ ส่วนการสำรวจระดับปรอทในนกกินปลาทั้งที่อาศัยอยู่ในทะเลและแหล่ง น้ำจืดทั่วไป พบว่ามีการสะสมของปรอทสูงโดยเฉพาะในแหล่งที่มีการปนเปื้อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ชนิดของปลาที่เป็นอาหารของนกด้วย (Piotrowski and Inskip, 1981 อ้างถึงใน UNEP, 1984)

ในประเทศไทยได้มีการสำรวจการแพร่กระจายของปรอทในสัตว์หลายชนิด ดังเช่น รายงานการสำรวจโดย สุธรรม สิทธิชัยเกษมและคณะ (2527 อ้างถึงใน ศิริ จันทระโชติ, 2531) ซึ่ง พบว่ามีสารปรอทเจือปนอยู่ในปลาที่เก็บจากบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ในปริมาณตั้งแต่ 0.002-0.162 $\mu\text{g/g}$ และจากปากแม่น้ำท่าจีนและแม่กลองในปริมาณตั้งแต่ 0.015-0.112 $\mu\text{g/g}$ และ 0.016-0.145 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ นอกจากนี้กุ้งที่เก็บมาจากบริเวณปากแม่น้ำดังกล่าว ก็ตรวจพบว่า มีปรอทเจือปนอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันอีกด้วย

10.6.5 การแพร่กระจายและการเป็นไปในมนุษย์

ปรอทที่แพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมทั้งในอากาศ ดิน น้ำ ตลอดจนสัตว์ต่างๆ สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ทุกทางทั้งทางปาก ทางผิวหนัง และโดยการหายใจ เมื่อเข้าสู่ ร่างกายแล้วก็จะผ่านเข้าไปในกระแสเลือดและกระจายไปตามเนื้อเยื่อต่างๆ ซึ่งอวัยวะที่มีการสะสม ปรอทมากที่สุด คือ ไต รองลงมา ได้แก่ ตับ ม้าม สมอง ผนังลำไส้เล็ก หัวใจ และปอด ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปรอทบางส่วนถูกขับออกจากร่างกายโดยผ่านทางไต และลำไส้ใหญ่ และมีจำนวน เล็กน้อยที่ถูกขับออกทางน้ำดี เหงื่อและน้ำลาย จากการศึกษาปรากฏว่าปรอทส่วนมากถูกขับออก ไปในระยะเวลาประมาณ 6 วัน ภายหลังจากเข้าสู่ร่างกาย และค่าครึ่งชีวิตของปรอทในร่างกาย มนุษย์นานถึง 70 วัน

Sumino *et al.* (1975) สํารวจพบว่าภายในร่างกายของคนญี่ปุ่นทั่วๆ ไปมีสารปรอทอยู่ในระดับประมาณ 3-4 mg/kg โดยจะพบมากในส่วนองไต ดับ และสมองตามลำดับ และจากการศึกษาระดับปรอทในร่างกายผู้ป่วยด้วยโรคมีนามาตะในประเทศญี่ปุ่น พบว่ามีปรอทตกค้างอยู่ในปริมาณสูงมาก กล่าวคือตรวจพบในเนื้อเยื่อไต เส้นผม และเลือดของผู้ป่วยดังกล่าวในระดับ 144, 705 และ 1,300 ppm ตามลำดับ

10.7 ความเป็นพิษต่อสัตว์และมนุษย์ (Animal and human toxicity)

10.7.1 ความเป็นพิษต่อสัตว์

IRPTC (1982) ได้กล่าวถึงความเป็นพิษของปรอทที่มีต่อสัตว์ทดลองไว้ ดังต่อไปนี้

1) ความเป็นพิษเฉียบพลัน (acute toxicity)

- ปรอทที่ระดับความเข้มข้น $0.04-3.0 \text{ mg/m}^3$ ทำให้หนูทดลอง (albino mice) ที่ได้รับสารดังกล่าวเป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน ตายได้ในระยะเวลา 2-3 เดือน แต่ถ้าระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น $3-5 \text{ mg/m}^3$ ปรากฏว่าหนูทดลองตายภายในระยะเวลาเพียง 115 ชั่วโมง

- ปรอทที่ระดับความเข้มข้น $10-16 \text{ mg/m}^3$ ทำให้หนูทดลอง (guinea pigs) ที่ได้รับสารดังกล่าวเป็นเวลา 2-4 ชั่วโมงต่อวัน ตายได้ภายใน 3 วัน

- ปรอทที่ระดับความเข้มข้น $15-20 \text{ mg/m}^3$ ทำให้สุนัขที่ได้รับสารดังกล่าวเป็นเวลานาน 8 ชั่วโมงต่อวัน ตายได้ภายในเวลา 1-3 วัน

2) ความเป็นพิษเรื้อรัง (chronic toxicity)

- ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว
- ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของต่อมไทรอยด์ลดลง
- ทำให้พบการเมตาโบลิซึมของโปรตีนภายในร่างกายถูกรบกวน
- มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบต่อมต่างๆ ภายในร่างกาย (endocrinal system)

- มีผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์

อนึ่ง สำหรับผลกระทบของสารปรอทที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ พบว่าปรอทที่ระดับความเข้มข้น $0.008-0.2 \text{ mg/l}$ ทำให้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหลายชนิดในน้ำตายได้ และที่ระดับความเข้มข้นประมาณ 0.05 mg/l ปรากฏว่ามีผลให้พบการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำหยุดชะงักลง นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการสืบพันธุ์ของไรน้ำด้อยลงถ้ามีปรอทปนเปื้อนลงในแหล่งน้ำ $1,000 \text{ mg/l}$

10.7.2 ความเป็นพิษต่อมนุษย์

ปรอทเมื่อเข้าสู่ร่างกายมนุษย์แล้วก่อให้เกิดอันตรายโดยการแตกตัวเป็นไอออนซึ่งมีประจุไฟฟ้า ไอออนดังกล่าวจะไปขัดขวางกระบวนการทางชีวเคมีที่ทำให้เกิดพลังงานแก่ร่างกาย ดังนั้นร่างกายจึงจำเป็นต้องหาวิธีอื่น เพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งพลังงาน ซึ่งวิธีเหล่านี้ทำให้เกิดกรดแลคติก (lactic acid) เป็นผลพลอยได้และกรดชนิดนี้เป็นผลร้ายต่อเซลล์ภายในร่างกาย โดยทำให้เซลล์ส่วนที่มีกรดเกิดขึ้นตายได้และจะปรากฏผลออกมาในรูปของการแสดงอาการผิดปกติต่างๆ ของร่างกาย

ปรอทในสถานที่ที่เป็นของเหลวมีความเป็นพิษไม่มากนัก แต่เมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นไอจะมีพิษอย่างรุนแรง พิษของปรอททำให้เกิดอันตรายต่อระบบต่างๆ ภายในร่างกาย ทั้งในลักษณะที่เป็นพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรัง ในกรณีของพิษเฉียบพลันนั้นอาจเกิดจากการได้รับปรอทด้วยสาเหตุต่างๆ เช่น การพยายามฆ่าตัวตาย หรือการเกิดอุบัติเหตุในการทำงาน เป็นต้น โดยอาการที่เกิดภายหลังจากปรอทเข้าสู่ร่างกายทางปาก ได้แก่ ปากเป็นแผลพุพอง อักเสบ และมีเลือดออก นอกจากนี้ระบบทางเดินอาหารจะถูกทำลาย มีอุจจาระเป็นเลือดรวมทั้งเกิดการอาเจียนเป็นลมหมดสติและอาจทำให้ถึงตายได้ ส่วนกรณีของพิษเรื้อรังก็จะแสดงอาการออกมาได้หลายลักษณะ คือ

- 1) ทำลายระบบทางเดินหายใจและเนื้อเยื่อในปอด
- 2) เกิดผลกระทบต่อระบบขับถ่ายโดยการทำลายไต ทำให้ปัสสาวะได้น้อยหรือปัสสาวะไม่ออก
- 3) เกิดผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง โดยทำให้ระบบประสาทเกี่ยวกับการได้ยิน และการมองเห็นสูญเสียไป นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางจิตใจ ความจำเสื่อม ในบางรายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านพฤติกรรมและบุคลิกลักษณะ รวมทั้งมีอาการตกใจง่าย มีความรู้สึกเศร้าสลด และชอบทะเลาะวิวาท เป็นต้น

สำหรับอันตรายเนื่องจากพิษของปรอทที่มีต่อมนุษย์นั้นมีรายงานว่ามีในปี ค.ศ. 1956 ญี่ปุ่นมีการเกิดโรคที่เรียกว่า “มินามาตะ” (Minamata Diseases) โดยเรียกชื่อตามอำเภอมินามาตะ ซึ่งเป็นแหล่งที่เกิดโรคนี้ โรคดังกล่าวเกิดขึ้นกับคนที่รับประทานอาหารจำพวกปลาและหอยในอำเภอมินามาตะซึ่งมีสารประกอบปรอทเจือปนอยู่ สาเหตุการสะสมของสารปรอทในสัตว์น้ำเหล่านี้ก็เนื่องมาจากการปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานผลิตพลาสติกที่มี methylmercury ลงสู่อ่าวเป็นเวลาหลายปี ผลจากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้มีผู้ได้รับอันตรายถึงประมาณ 1,000-3,500 คน ซึ่งผู้ป่วยจากโรคดังกล่าวมีอาการชามือ และเท้าตลอดจน แขน ขา และริมฝีปาก ต่อจากนั้นก็มีอาการอื่นๆ ตามมา คือ ม่านตาหรี่เล็ก อารมณ์หงุดหงิด กระวนกระวาย พุดซำและไม่เป็นภาษา ฟังไม่ได้ยิน การใช้มือ

และเท้า หรือกลัมน้ำเนื้อแขนขาไม่สัมพันธ์กันในรายที่มีอาการหนักมากจะควบคุมตนเองไม่ได้ และทำให้เกิดเป็นอัมพาตได้ในที่สุด

นอกจากนี้ยังมีเหตุการณ์เนื่องจากพิษของปรอทเกิดขึ้นในประเทศอิรักอีกเมื่อปี ค.ศ. 1971- 1972 โดยมีผู้รับประทานขนมปังซึ่งทำจากเมล็ดข้าวสาลี ซึ่งมีสารกำจัดเชื้อราที่มี alkylmercury เป็นองค์ประกอบตกค้างอยู่ ทำให้มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 500 คน

ส่วนค่าของปรอทที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์นั้น WHO (1976 อ้างถึงใน UNEP, 1984) ได้รายงานไว้ว่า ค่าดังกล่าวในเลือดอยู่ระหว่าง 200-500 ng/ml ในเส้นผมอยู่ระหว่าง 50-125 µg/g สำหรับในเด็กทารกและหญิงมีครรภ์ค่าของปรอทในเลือดและเส้นผมจะลดลงเหลือ 100 ng/ml และ 30-40 µg/g ตามลำดับ ทั้งนี้หมายถึงปรอทที่อยู่ในรูปของ methylmercury ซึ่งถ้าหากร่างกายมีสารปรอทเจือปนอยู่เกินกว่าระดับที่กล่าวถึงข้างต้นจะทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้

10.8 กลไกทางกฎหมาย (Legal mechanisms) เกี่ยวกับสารปรอท

มาตรการควบคุมทางกฎหมายเกี่ยวกับสารปรอทมีดังต่อไปนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

10.8.1 มาตรการควบคุมทางกฎหมายภายในประเทศ

ประเทศไทยได้กำหนดให้มี พ.ร.บ. วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ขึ้นมา โดย พ.ร.บ. ดังกล่าวกำหนดวัตถุอันตรายออกเป็น 4 ประเภท คือ

(1) วัตถุอันตรายชนิดที่ 1 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องแจ้งให้พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบก่อนและต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดด้วย

(2) วัตถุอันตรายชนิดที่ 2 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องแจ้งให้พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบก่อน และต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดด้วย

(3) วัตถุอันตรายชนิดที่ 3 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องได้รับใบอนุญาต

(4) วัตถุอันตรายชนิดที่ 4 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่ห้ามมิให้มีการผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครอง

Mercury จัดอยู่ในประเภทที่ 3 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิตการนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องได้รับใบอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม และ mercury ยังจัดอยู่ในประเภทที่ 4 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่ห้ามมิให้มีการผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองโดยกรมวิชาการเกษตร

1) มาตรการควบคุมสำหรับอากาศบริเวณที่ทำงาน

ประกาศกระทรวงมหาดไทย ที่ออกภายใต้ประกาศคณะปฏิวัติ ฉบับที่ 103 เมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2520 เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม (สารเคมี) หมวด 1 ข้อ 4 กำหนดไว้ว่า ห้ามมิให้ลูกจ้างทำงานในที่ที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทเกินกว่า 0.05 mg/m^3

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ที่ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงานฉบับที่ 2 เมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2536 เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน กำหนดไว้ว่า อากาศที่สามารถระบายออกจากโรงงานต้องมีค่าปริมาณของสารปรอทเจือปนไม่เกินค่าที่กำหนดไว้สำหรับการผลิตทั่วไปเท่ากับ 3 mg/m^3

2) มาตรการควบคุมสำหรับอาหาร

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ได้กำหนดให้อาหารมีสารปรอทปนเปื้อนได้ไม่เกิน 0.5 mg/kg สำหรับอาหารทะเล และไม่เกิน 0.02 mg/kg สำหรับอาหารอื่นๆ

3) มาตรการควบคุมสำหรับน้ำดื่ม

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ได้กำหนดให้น้ำดื่มดังกล่าวมีค่าปรอทปนเปื้อนได้ไม่เกิน 0.002 mg/l

ส่วนประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2521) ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ข้อ 2(2) ได้กำหนดให้น้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคมีสารปรอทปนเปื้อนได้ไม่เกิน 0.001 mg/l

4) มาตรการควบคุมสำหรับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2525) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 เรื่อง หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน ได้กำหนดให้น้ำทิ้งที่จะระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำมีสารปรอทเจือปนได้ไม่เกิน 0.005 mg/l ยกเว้นเฉพาะโรงงานถลุงโลหะสังกะสี ซึ่งกำหนดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2521) ให้มีสารปรอทในน้ำทิ้งได้ไม่เกิน 0.002 mg/l

5) มาตรการควบคุมสำหรับแหล่งน้ำทั่วไป

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน พ.ศ. 2528 เรื่อง กำหนดมาตรฐาน และวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งมีใช้ทะเล ได้กำหนดให้น้ำในแหล่งน้ำจืดมีปริมาณสารปรอทที่อยู่ในรูปของ total mercury ได้ไม่เกิน 0.002 mg/l

6) มาตรการควบคุมสำหรับวิธีการทำลายกากตะกอนที่มีสารปรอทปนเปื้อน

ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531) เรื่อง กำหนดวิธีการเก็บทำลายฤทธิ์ กำจัด ผัง ทิ้ง เคลื่อนย้าย และการขนส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ได้กำหนดวิธีการทำลาย กากตะกอนที่มีสารปรอทปนเปื้อนไว้ดังนี้ คือ ให้นำกากตะกอนมาผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นปรอทซัลไฟด์ (HgS) แล้วจึงทำให้เป็นก้อน (solidification) ด้วยการผสมกับปูนซีเมนต์ ในกรณีที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพหรือลดอัตราการซึมของสารพิษให้ใช้สารตัวเติม (additives) ผสมลงไปด้วย

นอกจากนี้ในประกาศฉบับดังกล่าวยังได้กำหนดให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน ซึ่งตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ ปทุมธานี นนทบุรี นครปฐม ราชบุรี และสมุทรสาคร ต้องทิ้งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วด้วยการฝังตามวิธีการ และ ณ สถานที่ซึ่งกำหนดไว้ โดยจะต้องมีการตรวจสอบคุณลักษณะของน้ำใต้ดินบริเวณที่ทำการฝังด้วย ซึ่งจะมีการปรอทปนเปื้อนอยู่ในน้ำใต้ดินบริเวณนั้นได้ไม่เกิน 0.001 mg/l

7) มาตรการควบคุมสำหรับดิน

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน สัมพันธ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 119 ง ลงวันที่ 20 ตุลาคม 2547 กำหนดมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัย และเกษตรกรรม ให้มีปรอทและสารประกอบปรอท (Mercury and compounds) ไม่เกิน 23 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และกำหนดมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอื่นนอกเหนือจากการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ให้มีปรอทและสารประกอบปรอท (Mercury and compounds) ไม่เกิน 610 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

10.8.2 มาตรการควบคุมทางกฎหมายในต่างประเทศ

มาตรการควบคุมทางกฎหมายหรือมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสารปรอทในต่างประเทศเท่าที่รวบรวมได้ มีดังต่อไปนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

1) มาตรการควบคุมในบรรยากาศ

ประเทศสหภาพแห่งสาธารณรัฐสังคมนิยมโซเวียต ได้กำหนดให้ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทในบรรยากาศมีได้สูงสุดไม่เกิน 0.0003 mg/m^3 ต่อวัน

2) มาตรการควบคุมในอากาศสำหรับการทำงาน

ประเทศสหภาพแห่งสาธารณรัฐสังคมนิยมโซเวียต ได้กำหนดให้ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทในอากาศบริเวณที่ทำงานมีได้สูงสุดไม่เกิน 0.01 mg/m^3

3) มาตรการควบคุมในแหล่งน้ำ

ประเทศสหภาพแห่งสาธารณรัฐสังคมนิยมโซเวียต ได้กำหนดให้ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทในอากาศแหล่งน้ำมีได้สูงสุดไม่เกิน 0.005 mg/l

ประเทศฟิลิปปินส์ได้กำหนดให้ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทในแหล่งน้ำจืดมีได้สูงสุดไม่เกิน 0.002 mg/l

ประเทศเชโกสโลวาเกียได้กำหนดให้ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทในแหล่งน้ำมีได้สูงสุดไม่เกิน 0.005 mg/l

4) มาตรการควบคุมในน้ำดื่ม

ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ได้กำหนดให้ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทในน้ำที่จะใช้สำหรับบริโภคมีได้สูงสุดไม่เกิน 0.001 mg/l

ประเทศญี่ปุ่นได้กำหนดให้ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทที่อยู่ในรูปของ total mercury ในน้ำที่จะใช้สำหรับบริโภคมีได้สูงสุดไม่เกิน 0.0005 mg/l

5) มาตรการควบคุมในน้ำทิ้ง

ประเทศสิงคโปร์ได้กำหนดให้ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทซึ่งเจือปนอยู่ในน้ำทิ้ง ที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำมีค่าสูงสุดได้ไม่เกิน 0.1 mg/l

ประเทศญี่ปุ่นได้กำหนดให้ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทที่อยู่ในรูปของ total mercury ซึ่งเจือปนอยู่ในน้ำทิ้งที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำมีค่าสูงสุดได้ไม่เกิน 0.005 mg/l

ประเทศสวีเดนและแลนด์ได้กำหนดให้ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทที่จะระบายลงสู่แม่น้ำมีค่าสูงสุดได้ไม่เกิน 0.01 mg/l

6) มาตรการควบคุมในดิน

ประเทศสหภาพแห่งสาธารณรัฐสังคมนิยมโซเวียตได้กำหนดให้ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทในดินมีค่าสูงสุดได้ไม่เกิน 2.1 mg/kg