บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. ไส้เดือนดิน (Earthworm)

นักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ให้นิยามไส้เดือนดินต่างๆ ดังต่อไปนี้ ไส้เดือนดิน หมายถึง สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหลายชนิด บางชนิดลำตัวมีปล้อง บางชนิดไม่มี เช่น ไส้เดือนดิน ลำตัวเป็นปล้องมักมีชุกชุมตามดินชื้นร่วนซุย ตามใต้กองขยะมูลฝอย ไส้เดือนฝอยรากปม ลำตัวเป็นริ้วไม่เป็นปล้อง เป็นปรสิตตามรากผัก ถั่ว และต้นไม้ (อมรา, 2515) ไส้เดือนดิน หมายถึง สัตว์ที่มีลำตัวยาวตามตัวมีปล้องเป็นปล้องๆ ไม่มีกระดูกสันหลัง ชอบอาศัยตามดินที่ชุ่มชื้น (อำพล, 2535) ไส้เดือนดิน หมายถึง สัตว์ที่ชอบอยู่ตามพื้นที่ที่มีความชื้นๆมีปล้องตามลำตัว และสามารถทำให้ดินร่วนซุยจะทราบถึงพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ (บัญญัติ, 2526)

1.1 ลักษณะสำคัญโดยทั่วไปของไส้เดือนดิน

ชาร์ลส์ ดาร์วิน กล่าวว่าไส้เดือนดินเปรียบเสมือนลำไส้ของโลก (Edwards, 1977) เนื่องจากไส้เดือนดินสามารถย่อยสลายเศษซากพืชให้รวมเข้าด้วยกันกับดินได้ นับตั้งแต่ปี ค.ศ.1881 เป็นต้นมามีนักวิทยาศาสตร์คนอื่นๆ ศึกษาถึงบทบาทของไส้เดือนดินและได้พิสูจน์ให้เห็นว่า ไส้เดือนดินก่อให้เกิดประโยชน์กับดินหลายๆด้าน ทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินได้เป็นอย่างดี ไส้เดือนดินเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังกลุ่มหนอนแพร่กระจายอย่างกว้างขวางทั่วโลกและพบได้ตามดินบริเวณต่างๆ ไส้เดือนดินอาจมีขนาดความยาวเพียงไม่กี่มิลลิเมตรจนถึงขนาดยาวหลายฟุต แต่โดยส่วนใหญ่แล้วพบว่ามีขนาดยาวประมาณ 5-7 นิ้ว ไส้เดือนดินจัดว่ามีความสำคัญ ในระบบนิเวศดิน เนื่องจากเป็นมวลชีวภาพส่วนใหญ่ในมวลรวมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่ในดิน (สุพาภรณ์และคณะ, 2550)

1.2 การจำแนกสายพันธุ์ไส้เดือนดิน

ไส้เดือนดินจัดอยู่ในอาณาจักรสัตว์ (Animalia) ศักดิ์แอนนิลิดา (Phylum: Annelida) ชั้น โอลิโกชีตา (Class: Oligochaeta) ตระกูลโอพิสโธโพรา (Order: Opisthopora) (Kozloff, 1990) สำหรับ วงศ์ (Family) ของไส้เดือนดินนั้น มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้จัดจำแนกออกเป็นจำนวนวงศ์ที่แตกต่างกันออกไป และจากการจำแนกสายพันธุ์ไส้เดือนดินล่าสุด โดย Renolds and Cook (1993) ได้จัดจำแนกไส้เดือนดินที่อยู่ในตระกูลโอพิสโธโพราทั้งหมดออกเป็น 21 วงศ์ ในการจัดแบ่งกลุ่มของไส้เดือนดินโดยอาศัยพื้นฐานด้านความแตกต่างของที่อยู่อาศัย นิสัยการกินอาหาร และระดับความลึกของชั้นดินในแนวดิ่งที่ไส้เดือนดินเหล่านั้นอาศัยอยู่ แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ไส้เดือนดินที่อาศัยอยู่บริเวณผิวดินที่ไม่มีการขุดรู กับไส้เดือนที่อาศัยอยู่ในดินและอาศัยอยู่ภายในรู ซึ่ง ไส้เดือนดินที่อาศัยอยู่ในบริเวณผิวดินมักจะมีสีของลำตัวค่อนข้างเข้ม สามารถสร้างโคคูน ได้มากและเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัยได้เร็ว สำหรับไส้เดือนดินอีกกลุ่มหนึ่งที่อาศัยอยู่ในดินที่ลึกกว่าจะมีลำตัวสีซีดกว่า ผลิต

โคคูนได้น้อย และโตเต็มวัยได้ค่อนข้างช้า โดยทั่วไปไส้เดือนดินในกลุ่มนี้จะมีลำตัวขนาดใหญ่กว่ากลุ่มแรก ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ที่ได้จัดจำแนกไส้เดือนดินเป็นกลุ่มต่างๆ ซึ่งนอกจากกลุ่มของไส้เดือนดินที่ได้จัดจำแนกดังกล่าวยังมีไส้เดือนดินบางชนิดที่อาศัยอยู่ในที่พิเศษอื่นๆ ซึ่งพบได้น้อยในดินหรือในขยะหรือในสภาพแวดล้อมทั่วไป เช่น ไส้เดือนดิน พวกที่อาศัยอยู่ใต้เปลือกไม้ ท่อนซุงที่เน่าเปื่อย ในรากพืช หรือใต้พืชจำพวกมอส และซอกใบไม้ของต้นไม้ในป่าเขตร้อนที่ยังไม่ได้จำแนกอีกด้วย วิธีการจัดจำแนกไส้เดือนดินอย่างง่ายสามารถสังเกตได้จาก 1) ขนาดและความยาวของลำตัว 2) สีหรือแถบสีของลำตัว และ 3) แหล่งที่อยู่อาศัย และแหล่งอาหาร ในลำดับแรกจะแบ่งกลุ่มไส้เดือนเป็น 2 กลุ่มใหญ่ก่อน เป็น ไส้เดือนดินสีแดง และ ไส้เดือนดินสีเทา แล้วจึงพิจารณาถึงขนาดความยาวของลำตัว ถิ่นที่อยู่อาศัย และแหล่งอาหารของมันในลำดับถัดไป (อานัฐ, 2549, Piearce, 1972, Bouche, 1972, Lavelle, 1979)

1.3 รูปร่างและลักษณะโดยทั่วไปของไส้เดือนดิน

ไส้เดือนดินมักพบโดยทั่วไปในดิน เศษกองซากพืช มูลสัตว์ ที่ๆมีความชื้นพอสมควร ปัจจุบันไส้เดือนมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด โดยมีโครงสร้างที่มีลักษณะเหมือนกันคือ เป็นสัตว์ที่มีลำตัวยาวลำตัวเป็นปล้องทั้งภายนอกและภายในร่างกายโดยมีเยื่อกั้นระหว่างปล้อง มีช่องลำตัวที่แท้จริงแบบ Schizocoelomate ซึ่งเป็นซีลอมที่เกิดจากเนื้อเยื่อชั้นกลางแยกออกเป็นช่องและช่องนี้ขยายตัวออกจนเป็นซีลอม ผนังลำตัวชั้นนอกสุดเป็นคิวติเคิล ที่ประกอบด้วยสารจำพวกโพลีแซคคาไรด์ เจลาติน และชั้นอิพิเดอร์มิส มีเซลล์ต่อมชนิดต่างๆ ที่ทำหน้าที่สร้างน้ำเมือกทำให้ผิวลำตัวชุ่มชื้นถัดลงไปเป็นกล้ามเนื้อตามขวางและกล้ามเนื้อตามยาวและชั้นในสุดเป็นเยื่อบุช่องท้องแบ่งแยกระหว่างช่องลำตัวกับผนังร่างกาย มีขนแข็งสั้นที่เป็นสารจำพวกไคติน งอกออกมาในบริเวณรอบลำตัวของแต่ละปล้อง มีระบบทางเดินอาหารที่สมบูรณ์ คือมีปาก และ ทวารหนัก โดยมีลำไส้เป็นท่อตรงยาวตลอดลำตัว ระบบขับถ่ายประกอบด้วยอวัยวะที่เรียกว่า เนฟริเดีย ตั้งอยู่บริเวณด้านข้างของลำตัวปล้องละ 1 คู่ ระบบหมุนเวียนโลหิตเป็นแบบปิด ระบบแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นแบบการแพร่ผ่านผนังลำตัว มีระบบประสาทประกอบด้วย ปมประสาทสมองด้านหลังลำตัวในบริเวณส่วนหัว 1 คู่ เส้นประสาทรอบคอหอย 1 คู่ และเส้นประสาทด้านท้องทอดตามความยาวของลำตัวอีก 1 คู่ มีอวัยวะรับสัมผัส ประกอบด้วย ปุ่มรับรส กลุ่มเซลล์รับแสง เป็นสัตว์ที่มีสองเพศอยู่ในตัวเดียวกัน คือ ประกอบด้วย รังไข่และถุงอัณฑะ (อานัฐ, 2549)

1.3.1 ลักษณะภายนอกของไส้เดือนดิน

ลักษณะภายนอกที่เด่นชัดที่สุดคือ ลักษณะการเป็นข้อปล้องตั้งแต่หัวจนถึงส่วนท้ายของร่างกาย ไส้เดือนดินมีรูปร่างทรงกระบอกยาว หัวท้ายเรียวแหลมยาวประมาณ 10-20 เซนติเมตร เมื่อโตเต็มที่จะมี 120 ปล้อง มีช่องระหว่างปล้อง (intersegmental groove) คั่นแต่ละปล้องไว้ แต่ละปล้องมีเดือยเล็กๆเรียงอยู่โดยรอบปล้องประมาณปล้องละ 56 อัน ไม่มีส่วนหัวที่ชัดเจน ไม่มีตา ไม่มีหนวดเหมือนตัวแม่เพรียง แต่มีไคลเตลลัม(clitellum) เมื่อถึงระยะสืบพันธุ์ไคลเตลลัมจะเห็นได้ชัดเจนอยู่บริเวณปล้องที่ 14-16 บนร่างกายมีส่วนต่างๆที่สำคัญ ดังนี้ (อานัฐ, 2548)

1. พรอสโตเมียม (Prostomium) มีลักษณะเป็นพูเนื้อที่ยืดหดได้ติดอยู่กับผิวด้านบนของช่องปาก เป็นตำแหน่งหน้าสุดของไส้เดือนดิน ทำหน้าที่คล้ายริมฝีปาก ไม่ถือว่าเป็นปล้อง มีหน้าที่สำหรับกวาดอาหารเข้าปาก

2. เพอริสโตเมียม (Peristomium) ส่วนนี้นับเป็นปล้องแรกของไส้เดือนดิน มีลักษณะเป็นเนื้อบางๆ อยู่รอบช่องปากและยืดหดได้

3. ช่องปาก อยู่ในปล่องที่ 1-3 เป็นช่องทางเข้าออกของอาหารเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งจะมีต่อมน้ำลายอยู่ในเยื่อบุช่องปากด้วย

4. เดือยหรือขน (Setae) จะมีลักษณะเป็นขนแข็งสั้น ซึ่งเป็นสารพวกไคติน ที่งอกออกมาบริเวณผนังชั้นนอกสามารถยืดหดหรือขยายได้ ไส้เดือนนี้มีหน้าที่ ในการช่วยเรื่องการยึดเกาะและเคลื่อนที่ของไส้เดือนดิน

5. ช่องเปิดกลางหลัง (Dorsal pore) เป็นช่องเปิดขนาดเล็กตั้งอยู่ในร่องระหว่างปล้อง บริเวณแนวกลางหลังสามารถพบช่องเปิดชนิดนี้ได้ในไส้เดือนดินเกือบทุกชนิด ยกเว้นไส้เดือนจำพวกที่อาศัยอยู่ในน้ำหรือกึ่งน้ำ ในร่องระหว่างปล้องแรกๆ บริเวณส่วนหัวจะไม่ค่อยพบช่องเปิดด้านหลัง ช่องเปิดดังกล่าวจะเชื่อมต่อกับช่องภายในลำตัวและของเหลวในช่องลำตัว มีหน้าที่ขับของเหลวหรือเมือกภายในลำตัวออกมาช่วยลำตัวภายนอกชุ่มชื่น ป้องกันการระคายเคือง ทำให้เคลื่อนไหวง่าย

6. รูขับถ่ายของเสีย (Nephridiopore) เป็นรูที่มีขนาดเล็กมาก สังเกตเห็นได้ยาก เป็นรูสำหรับขับของเสียออกจากร่างกาย เป็นรูเปิดภายนอก ซึ่งมีอยู่เกือบทุกปล้อง ยกเว้น 3-4 ปล้องแรก

7. ช่องสืบพันธุ์เพศผู้ (Male pore) เป็นช่องสำหรับปล่อยสเปิร์ม จะมีอยู่ 1 คู่ ตั้งอยู่บริเวณลำตัวด้านท้องหรือข้างท้อง ในแต่ละสายพันธุ์ช่องสืบพันธุ์อยู่ในปล้องที่ไม่เหมือนกัน มีลักษณะเป็นแอ่งคล้ายหลอดเล็กยาวเข้าไปภายใน

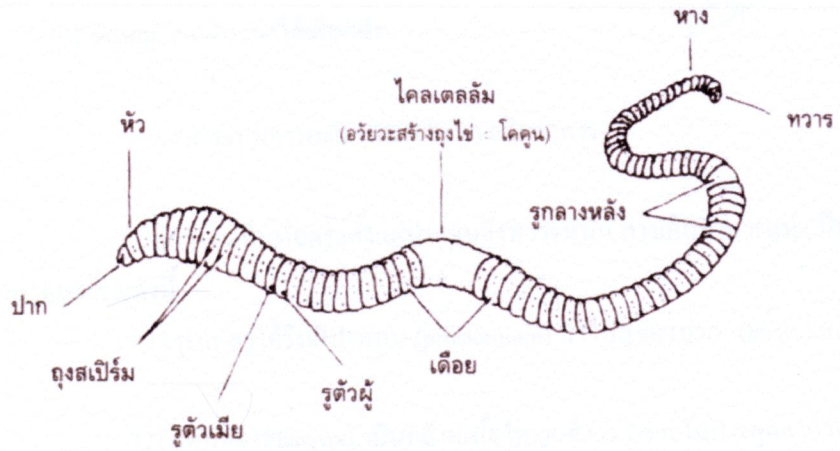
8. ช่องสืบพันธุ์เพศเมีย (Female pore) เป็นช่องสำหรับออกไข่ โดยทั่วไปมักตั้งอยู่ในปล้องถัดจากปล้องที่มีรังไข่ มักจะพบเพียง 1 คู่ ตั้งอยู่ในร่องระหว่างปล้องหรือบนปล้อง ตำแหน่งที่ตั้งมักจะแตกต่างกันในไส้เดือนแต่ละพันธุ์

9. ช่องเปิดสเปิร์มมาทีกา (Spermathecal porse) เป็นช่องรับสเปิร์มจากไส้เดือนดินคู่ผสมอีกตัวหนึ่งขณะมีการผสมพันธุ์แลกเปลี่ยนสเปิร์มซึ่งกันและกัน เมื่อรับสเปิร์มแล้วจะนำไปเก็บไว้ในถุงเก็บสเปิร์ม (Seminal receptacle)

10. ปุ่มยึดสืบพันธุ์ (Genital papilla) เป็นอวัยวะที่ช่วยในการยึดเกาะขณะที่ไส้เดือนดินจับคู่ผสมพันธุ์กัน

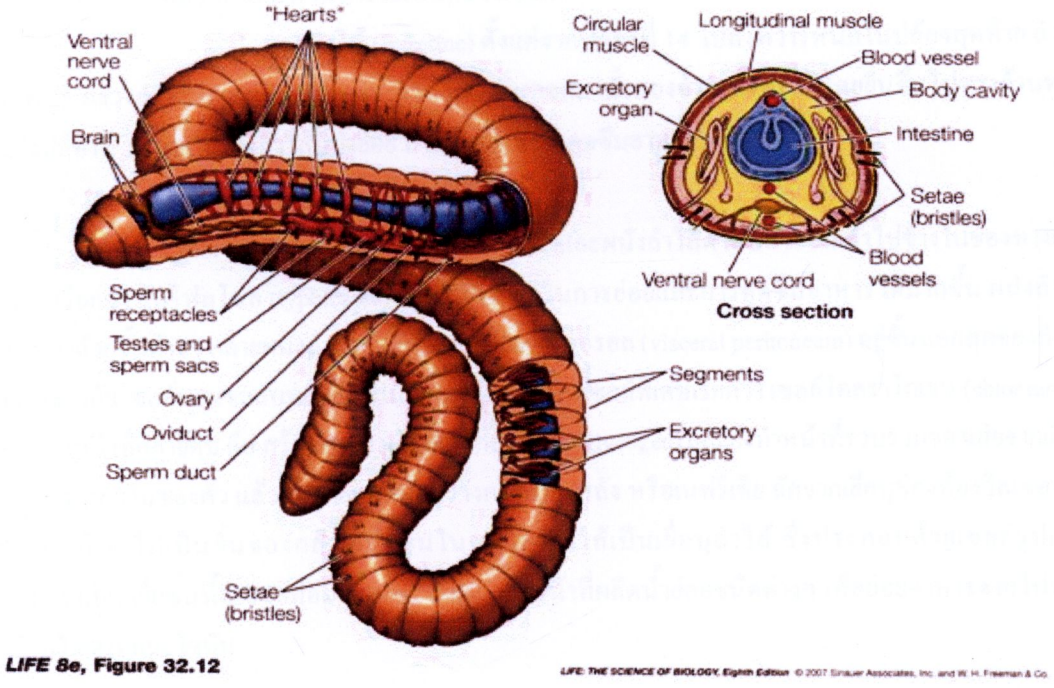
11. ไคลเทลลัม (Clitellum) เป็นอวัยวะที่ใช้ในการสร้างไข่ขาวหุ้มไข่ และสร้างเมือกโคคูน ไคลเทลลัมจะพบในไส้เดือนดินที่โตเต็มไวพร้อมที่ผสมพันธุ์แล้วเท่านั้น โดยจะตั้งอยู่บริเวณปล้องด้านหน้าใกล้กับส่วนหัว ครอบคลุมปล้องตั้งแต่ 2-5 ปล้อง

12. ทวารหนัก (Anus) เป็นรูเปิดที่ค่อนข้างแคบเปิดออกในปล้องสุดท้าย ซึ่งใช้สำหรับขับกากอาหารที่ผ่านการย่อยและดูดซึมแล้วออกนอกลำตัว



ภาพที่ 1 ลักษณะอวัยวะต่างๆ ภายนอกของไส้เดือนดิน

ที่มา: อานัฐ (2548)



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะภายในไส้เดือนดิน

ที่มา : Sinauer Associates, Inc. and Freeman & Co, W. H. (2007)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3.2 ลักษณะภายในของไส้เดือนดิน

1.3.2.1 ระบบการย่อยอาหารและทางเดินอาหาร

มีลักษณะเป็นท่อตรงตั้งแต่ปากจนถึงทวารหนัก ทางเดินอาหารแบ่งเป็นส่วนต่างๆ และแบ่งหน้าที่กันโดยเฉพาะดังนี้

(1) ปาก อยู่ใต้ริมฝีปากบน (prostomium) นำไปสู่ช่องปาก (buccalcavity) จนถึงปล้องที่ 3

(2) คอหอย (Pharynx) เป็นกล้ามเนื้อใหญ่แข็งแรง ช่วยในการดูดอาหารเข้าปาก อยู่ระหว่างปล้องที่ 3 และปล้องที่ 6 บริเวณนี้มีต่อมน้ำลาย สร้างน้ำลายเพื่อช่วยหล่อลื่นอาหารอีกด้วย

(3) หลอดอาหาร (Esophagus) อยู่ระหว่างปล้องที่ 6 ถึงปล้องที่ 14 ตอนต้นๆ ของหลอดอาหารจะพองโตออกเป็นที่พักอาหาร (crop) และกึ๋น (gizzard) กึ๋นเป็นกล้ามเนื้อแข็งแรง ทำหน้าที่บดอาหารให้ละเอียด หลอดอาหารส่วนท้ายจะเป็นท่อขนาดเล็ก

(4) ลำไส้ (Intestine) ตั้งแต่จากปล้องที่ 14 ไปถึงทวารหนักในปล้องสุดท้าย ลำไส้ตรงที่ 25 มีงวงลำไส้ (intestinal caeca) หรือไส้ติ่งยื่นออกมาทั้งสองข้างของลำไส้ โดยยื่นขึ้นไปทางด้านหน้าจนถึงปล้องที่ 22 ภายในงวงลำไส้มีน้ำย่อย สามารถย่อยและดูดซึมอาหารได้ด้วย

ผนังลำไส้ของไส้เดือนดินค่อนข้างบางและผนังลำไส้ด้านบนจะยื่นเข้าไปข้างในช่องทางเดินอาหารเรียกว่า ไทโฟลโซล (typhlosole) ทำให้มีพื้นที่ในการย่อยและการดูดซึมอาหารได้มากขึ้น ผนังลำไส้ประกอบด้วยชั้นต่างๆ คล้ายผนังลำตัวคือเยื่อบุช่องท้องวิสเซอรอล (visceral peritoneum) อยู่ชั้นนอกสุดของลำไส้ติดกับช่องตัว เซลล์บางเซลล์บนเยื่อนี้จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์พิเศษเรียกว่า เซลล์โคลราโกเจน (chloragogen cells) ทำหน้าที่คล้ายตับ คือ สร้างไขมัน และเก็บไกลโคเจน (glycogen) และยังทำหน้าที่รวบรวมของเสียจากเลือดและของเหลวในช่องตัว แล้วขับถ่ายออกนอกร่างกายทางรูหลัง หรือเนฟริเดีย ถัดจากเยื่อบุช่องท้องวิสเซอรอลของลำไส้เข้าไปเป็นชั้นของกล้ามเนื้อชั้นในสุดของลำไส้เป็นเยื่อบุลำไส้ ซึ่งประกอบด้วยเซลล์รูปแท่งทรงกระบอก เยื่อชั้นนี้มีเซลล์ต่อม (gland cells) ทำหน้าที่ผลิตน้ำย่อยชนิดต่างๆ เพื่อย่อยอาหารจากโปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมัน

อาหารของไส้เดือนดินเป็นเศษใบไม้และหญ้า เมื่อกินเข้าไปแล้วจะเก็บไว้ที่ถุงพักอาหารชั่วคราว แล้วส่งให้กึ๋นทำหน้าที่บดอาหารให้ละเอียดยิ่งขึ้น อาหารจะถูกย่อยและดูดซึมภายในบริเวณลำไส้ ส่วนกากอาหารจะถูกขับออกทางทวารหนัก ส่วนมากไส้เดือนดินกินพวกพืช เศษหญ้า เศษผักเป็นอาหาร ทั้งนี้สังเกตได้ว่าหลังจากที่ไส้เดือนดินขึ้นมาบนพื้นดินเพื่อหาอาหารกินแล้ว จะมีเศษหญ้า เศษพืชต่างๆ ปกคลุมอยู่ตามรูที่มันอาศัยอยู่ นอกจากกินเศษพืชต่างๆเป็นอาหารแล้ว ไส้เดือนดินยังกินสัตว์เล็กๆ เช่น แมลงและตัวอ่อนของแมลงเป็นอาหารอีกด้วย ดังนั้นจึงจัดไส้เดือนดินอยู่ในสัตว์จำพวกกินทั้งพืชและสัตว์ (omnivorous) ในช่วงฤดูแล้งไส้เดือนดินออกหากินลำบาก เพราะผิวดินแห้งแข็ง ไส้เดือนดินไม่สามารถจะที่โผล่ขึ้นมาหากินบนพื้นดินได้ใน

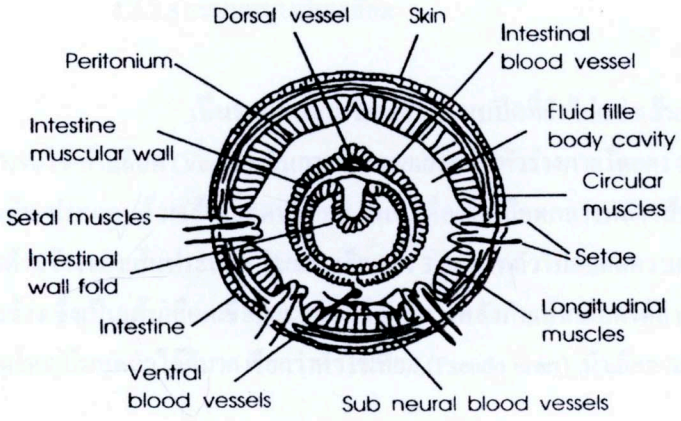
ช่วงเวลานี้ ไส้เดือนดินจะแยกอาหารที่มีปะปนอยู่ในดินภายในตัวมันเอง โดยแยกกากอาหารหรือดินที่ย่อยไม่ได้ออกทางทวารหนัก จะสังเกตได้ว่ากองดินที่อยู่เหนือรูที่ไส้เดือนดินอาศัยอยู่นั้นจะสูง ทั้งนี้เพราะมีกากอาหารถ่ายออกมามาก อีกประการหนึ่งจะสังเกตได้ว่าในเวลาอาหารอุดมสมบูรณ์ เช่น ในฤดูฝน ไส้เดือนดินมักจะขุดรูอยู่ตามผิวดินตื้นๆ เพื่อสะดวกต่อการหาอาหาร แต่เมื่อถึงฤดูหนาวหรือฤดูร้อน ไส้เดือนดินจะยิ่งอยู่ลึกลงไปทุกที ทั้งนี้เพราะว่ามันแยกอาหารจากดินลึกลงไป เมื่ออาหารที่บริเวณตื้นๆ ไม่พอ มันจำเป็นต้องขุดลงไปอีก (อาจ, 2505)

1.3.2.2 ระบบขับถ่าย

อวัยวะขับถ่ายไส้เดือนดิน คือ ไต หรือเนฟริเดีย (naphridia) มีประจำอยู่ทุกปล้อง ปล้องละ 1 คู่ ยกเว้น 3 ปล้องแรกและปล้องสุดท้ายจะไม่มีเนฟริเดียแต่ละอันประกอบด้วยส่วนต่างๆ เนโฟรสโตม (nephrostome)เป็นรูเปิดอยู่ภายในช่องตัว บริเวณนี้มีซีเลียสำหรับโบกพัดของเสียจากช่องตัวเข้าไปในรูเปิดนี้ ต่อจากเนโพรสโตม เป็นท่อยาวแคบเรียกว่า ท่อไตหรือท่อขับถ่าย (naphriduct) ขดไปมา ปลายท่อขับถ่ายเป็นกระเปาะโตขึ้น ทำหน้าที่เป็นกระเพาะปัสสาวะ(bladder) และเปิดออกภายนอกตัวที่รูขับถ่าย (nephridiopore) ตรงบริเวณด้านท้องค่อนมาทางด้านข้างทั้งสองข้าง เนฟริเดียตรงส่วนของเนโฟรสโตมจะเกาะติดกับเยื่อกั้น (septum) และทะลุไปทางด้านหน้า ส่วนท่อขับถ่ายและรูขับถ่ายจะอยู่ที่ปล้องถัดมาอวัยวะขับถ่ายของเสียหลักในไส้เดือนดินคือ เนฟริเดีย (Nephridia) ซึ่งเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่แยกของเสียต่างๆออกจากของเหลวในช่องลำตัวของไส้เดือนดินแต่ละปล้องของไส้เดือนดินจะมี nephridia ที่เป็นท่อขดไปมาอยู่ปล้องละ1คู่ทำหน้าที่รวบรวมของเหลวในช่องตัวจากปล้องที่อยู่ถัดไปทางด้านหน้าของลำตัวของเหลวในช่องตัวจะเข้าทางปลายท่อ nephrostome ที่มีซิเลียอยู่โดยรอบ แล้วไหลผ่านไปตามส่วนต่างๆของท่อน้ำส่วนใหญ่พร้อมทั้งเกลือแร่บางชนิดที่ยังเป็นประโยชน์จุถูกดูดซึมกลับเข้าสู่กระแสเลือดส่วนของเสียพวกไนโตรจินัสเบสจะถูกขับออกสู่ภายนอกทางช่องnephridiopore ที่อยู่ทางด้านท้อง (อานัฐ, 2548)

1.3.2.3 ระบบหายใจของไส้เดือนดิน

ไส้เดือนดินเป็นสัตว์ที่อาศัยอยู่ในดินไม่มีอวัยวะพิเศษที่ใช้ในการหายใจ ยังไม่มีอวัยวะสำหรับหายใจโดยเฉพาะ การหายใจเกิดขึ้นที่ผิวหนังโดยกระแสเลือดฝอยบริเวณคิวติเคิลของผนังลำตัวจะทำหน้าที่รับก๊าซออกซิเจนพร้อมปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาทางผิวของผนังร่างกายเช่นกัน ก๊าซออกซิเจนจะรวมตัวกับฮีโมโกลบินในน้ำเลือด และถูกนำไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกายแต่จะมีการแลกเปลี่ยนกาซผ่านทางผิวหนังโดยไส้เดือนดินจะขับเมือกและของเหลวที่ออกมาจากรูขับถ่ายของเสียเพื่อเป็นตัวทำละลายออกซิเจนจากอากาศแล้วซึมผ่านผิวตัวเข้าไปในหลอดเลือดแล้ว ละลายอยู่ในน้ำเลือดต่อไป (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 แสดงภาพตัดขวางระบบการหายใจของไส้เดือนดิน
ที่มา : พันธิตร์และผุสดี (2546)

1.3.2.4 ระบบประสาทของไส้เดือนดิน

ประกอบด้วยปมประสาทสมอง(surperharyngeal ganglia) 1 คู่ อยู่เหนือคอหอยปล้องที่ 3 จากสมอง มีเส้นประสาทรองคอหอย(circumpharyngeal connectives) 2 เส้น อ้อมรอบคอหอยข้างละเส้น เส้นประสาททั้งสองเส้นนี้ ลงมาเชื่อมกลายเป็นปมประสาทใต้คอหอย(subpharyngeal ganglion) ซึ่งมีสองปมอยู่ตรงปล้องที่4 ทั้งหมดนี้จึงมีลักษณะเป็นประสาทวงแหวนรอบคอหอย จากปมประสาทใต้คอหอยติดต่อกับเส้นใหญ่ด้านท้อง (ventral nervecord) ทอดไปตามความยาวของลำตัวด้านท้องจนถึงปล้องสุดท้าย เส้นประสาทใหญ่ด้านท้องนี้จึงมีปมประสาทที่ปล้อง (segmental ganglion) ประจำอยู่ทุกปล้อง ปล้องละ 1 ปม และแต่ละปมมีแขนงประสาท (lateral nerves) แยกออกไป 3 คู่ แขนงประสาทที่ประจำอยู่แต่ละปล้องจะยื่นเข้าไปในชั้นของกล้ามเนื้อของผนังลำตัวติดต่อกับใยประสาทรับความรู้สึก (sensory fiber) นำกระแสความรู้สึก (motor fiber) เพื่อนำกระแสความรู้สึกจากเส้นประสาทไปยังกล้ามเนื้อและผิวหนัง แขนงประสาทจากปมประสาทที่ปล้องยังควบคุมการทำงานของเนฟริเดียและอวัยวะภายในอื่นๆด้วย (อานัฐ, 2548) ดังแสดงในภาพที่ 5

ไส้เดือนดินยังไม่มีอวัยวะรับความรู้สึกใดๆ มีเพียงเซลล์รับความรู้สึก (sensory cells) ที่อยู่กระจายตามผิวหนัง ริมฝีปากบนและในช่องปาก เซลล์รับความรู้สึกแต่ละเซลล์มีขนเล็กๆ ยื่นออกมาเพื่อรับความรู้สึกจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เซลล์รับความรู้สึกเหล่านี้ติดต่อกับระบบประสาท นอกจากเซลล์รับความรู้สึกแล้ว ยังมีเซลล์รับแสงสว่าง (photoreceptor cells)ในชั้นของเอพิเดอร์มิส มีอยู่มากอยู่ที่ริมฝีปากบนปล้องที่อยู่ทางด้านหน้าและปล้องท้ายๆของร่างกาย เซลล์รับแสงแต่ละเซลล์ประกอบด้วยออร์กาเนลล์ที่ทำหน้าที่เป็นเลนส์รวมแสงไปยังใยประสาท (neuro fibrils) ซึ่งทำหน้าที่เป็นเรตินา (retina) และส่งความรู้สึกเกี่ยวกับแสงสว่างไปยังระบบประสาท ถ้ามีแสงสว่างมากเกินไปมันจะเคลื่อนที่หนีเข้าไปอยู่ในที่มืดหรือขุดรูหลบหนีไป

1.3.2.5 ระบบหมุนเวียนเลือด

เป็นระบบหมุนเวียนเลือดแบบปิดที่ยังไม่แบ่งเส้นเลือดแดง และ เส้นเลือดดำ โดยไส้เดือนดินจะใช้เส้นเลือด (Vessel) ในการกระจายเลือดไปทั่วร่างกายโดยตรง ซึ่งในระบบการลำเลียงเลือดของไส้เดือนดิน ประกอบด้วยเส้นเลือดหลักอยู่ 3 เส้น คือเส้นเลือดกลางหลัง เส้นเลือดใต้ลำไส้ และเส้นเลือดด้านท้องและด้านข้างของเส้นประสาท โดยเส้นเลือดทั้ง 3 จะทอดตัวไปตลอดความยาวของลำตัว นอกจากนี้จะมีเส้นเลือดด้านข้าง ซึ่งเป็นเส้นเลือดเชื่อมระหว่างเลือดกลางหลังกับเส้นเลือดใต้ลำไส้ในช่วง 13 ปล้องแรก เป็นเส้นเลือดขนาดใหญ่บีบหดตัวได้ดีมาก เรียกว่าหัวใจเทียม (Pseudo heart), น้ำเลือด จะมีฮีโมโกลบินละลายอยู่หรืออาจไม่มีก็ได้

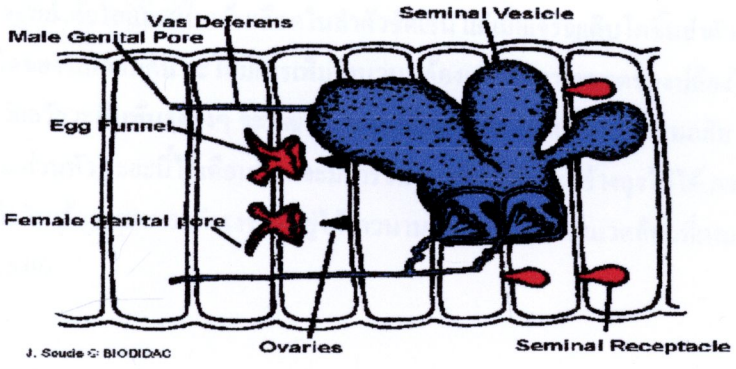
1.4 ระบบสืบพันธุ์และวงจรชีวิตของไส้เดือนดิน

1.4.1 ระบบสืบพันธุ์

ไส้เดือนดินเป็นสัตว์ที่มีทั้งรังไข่และอัณฑะอยู่ในตัวเดียวกัน โดยทั่วไปจะไม่ผสมในตัวเอง เนื่องจากตำแหน่งของอวัยวะสืบพันธุ์ทั้งสองเพศไม่สัมพันธ์กัน และมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ไม่พร้อมกัน ไส้เดือนดินจึงต้องมีการแลกเปลี่ยนสเปิร์มซึ่งกันและกัน

อวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ ประกอบด้วย

- อัณฑะ (Testes) ลักษณะเป็นก้อนสีขาวขนาดเล็กยื่นออกมาจากผนังของปล้อง
- ปากกรวยรองรับสเปิร์ม (Sperm funnel) เป็นช่องรับสเปิร์มจากอัณฑะ
- ท่อนำสเปิร์ม (Vas deferens) เป็นท่อรับสเปิร์มจากปากกรวยไปยังช่องสืบพันธุ์เพศผู้
- ต่อมพรอสเตท (Prostate gland) เป็นต่อมสีขาวขนาดใหญ่มีรูปร่างเป็นก้อนแตกแขนคล้ายกิ่งไม้ 1 คู่ ทำหน้าที่สร้างของเหลวหล่อเลี้ยงสเปิร์ม
- ช่องสืบพันธุ์เพศผู้ (male pores) มี 1 คู่ อยู่ตรงด้านท้องปล้องที่ 18
- ถุงเก็บสเปิร์ม (Seminal Vesicles) มี 2 คู่ เป็นถุงขนาดใหญ่อยู่ในปล้องที่ 11 และ 12 ทำหน้าที่เก็บและพัฒนาสเปิร์มที่สร้างจากอัณฑะ



ภาพที่ 4 แสดงระบบสืบพันธุ์ภายในของไส้เดือนดิน
ที่มา : Soucie (2010)

อวัยวะสืบพันธุ์เพศเมีย ประกอบด้วย

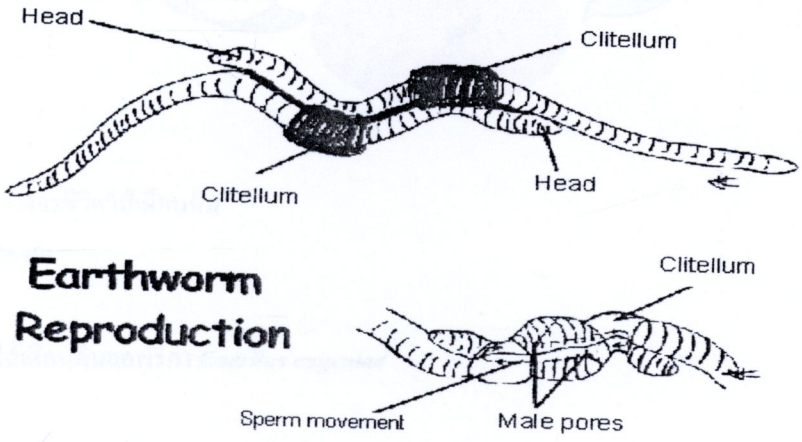
- รังไข่ (Ovaries) ทำหน้าที่สร้างไข่ 1 คู่ ติดอยู่กับเยื่อกั้น (Septum) ของปล้องที่12/13 ใน Pheretima ไข่จะเรียงตัวกันเป็นแถวอยู่ในพูรังไข่
- ปากกรวยรองรับไข่ (Ovarian funnel) ทำหน้าที่รองรับไข่ที่เจริญเต็มที่แล้วจากถุงไข่
- ท่อนำไข่ (Oviducts) ท่อนำไข่เป็นท่อที่ต่อจากปากกรวยรองรับไข่ในปล้องที่ 13 เปิดออกไปยังรูตัวเมีย ตรงกึ่งกลางด้านท้องของปล้องที่ 14
- สเปิร์มทีกา (Sperm theca หรือ Seminal receptacles) เป็นถุงเก็บสเปิร์มตัวอื่นที่ได้จากการจับคู่แลกเปลี่ยน เพื่อเก็บไว้ผสมกับไข่ มีอยู่ 3 คู่

1.4.1 วงจรชีวิตของไส้เดือนดิน

วงจรชีวิตของไส้เดือนดินจะประกอบด้วย ระยะถุงไข่ (Cocoon) ระยะตัวอ่อน ระยะก่อนเต็มวัย และระยะตัวเต็มวัย (ไคเทลลัมเจริญเต็มที่) โดยทั่วไปไส้เดือนดินจะจับคู่ผสมพันธุ์กันในบริเวณใต้ดิน แต่บางสายพันธุ์ก็จับคู่ผสมพันธุ์กันบริเวณผิวดินด้วย ลักษณะการผสมพันธุ์ของไส้เดือนดินจะมีลักษณะนำส่วนท้องที่เป็นส่วนของไคลเทลลัมมาแนบติดกันและสลับหัวสลับหางกัน ซึ่งจะพบไส้เดือนดินจับคู่ผสมพันธุ์กันมากในช่วงที่เห็นไคลเทลลัมชัดเจน ซึ่งเมื่อจับคู่ผสมพันธุ์กันแล้วไส้เดือนดินแต่ละตัวก็จะสร้างถุงหุ้มไข่ที่เรียกว่าโคคูน เคลื่อนผ่านไปบริเวณส่วนหัวรับไข่และสเปิร์มเข้าไปภายในและเคลื่อนออกมานอกลำตัวในบริเวณช่องสืบพันธุ์เพศเมีย ตัวอ่อนพัฒนาอยู่ภายในถุงและฟักเป็นตัวในเวลาต่อมา ถุงไข่ของไส้เดือนดินนั้นมีหลายขนาดและมีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไปคือ แบบหัวแหลมท้ายแหลม แบบรูปทรงกลม และรูปทรงรี ถุงไส้เดือนมีขนาดใหญ่สุดคือ มากกว่า 75-20 มิลลิเมตร และเล็กสุดมีขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร อิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีต่อการสร้างถุงไข่ คือ อุณหภูมิ และความชื้น โดยในประเทศไทยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงไส้เดือนสายพันธุ์ไทยคือ ประมาณ 15-25 องศาเซลเซียส ในฤดูฝนที่มีความชื้นสูงไส้เดือนจะสร้างถุงไข่ได้มากกว่าในช่วงฤดูร้อนหรือฤดูหนาว ในบริเวณที่มีความชื้นมากไส้เดือนดินจะสร้างถุงไข่และวางถุงไข่ไว้บริเวณใกล้กับผิวดินและในบริเวณ ที่แห้งแล้งไส้เดือนดินจะวางถุงไข่ในชั้นดินที่ลึกกว่า ไส้เดือนดินที่ฟักออก

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในพระบรมราชูปถัมภ์

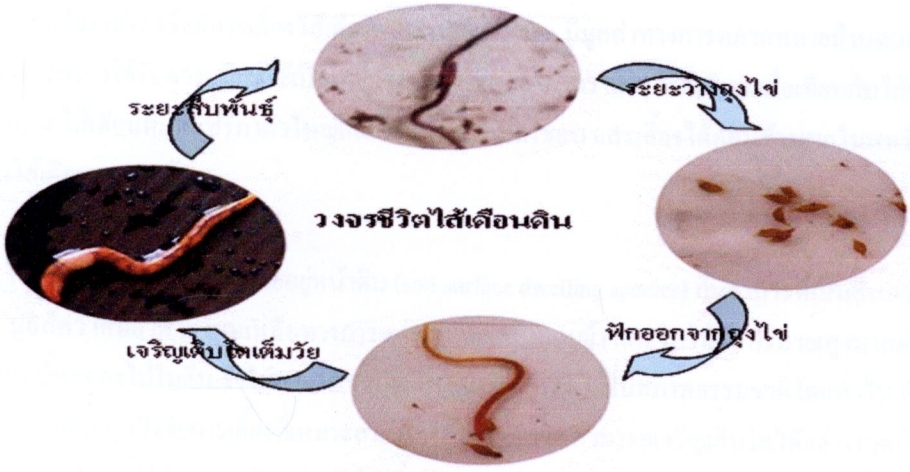
จากถุงไข่ใหม่ๆ จะมีลำตัวใสและเห็นเส้นเลือดในลำตัวชัดเจน แต่เมื่อเจริญเติบโตขึ้นลำตัวจะเริ่มเปลี่ยนสี ซึ่งในการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน จะไม่มีการเพิ่มจำนวนปล้องแต่จะขยายขนาดของปล้องให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จนกระทั่งโตเต็มวัยอวัยวะสืบพันธุ์ต่างๆ จะพัฒนาขึ้นจนเห็นเด่นชัด โดยเฉพาะไคลเทลลัม จะสามารถเห็นได้ชัดเจนขึ้นที่บริเวณส่วนหัว ระยะนี้ไส้เดือนดินก็จะมีการจับคู่ผสมพันธุ์และสร้างถุงไข่ได้ ภายหลังจากไส้เดือนดินเจริญเติบโตเต็มวัยแล้วจะสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ยาวนานหลายปีในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ดังแสดงในภาพที่ 5 (อานัฐ, 2549)



ภาพที่ 5 แสดงลักษณะการสืบพันธุ์ของไส้เดือนดิน
ที่มา : พันธิตร์และผุสดี (2546)

วงจรชีวิตของไส้เดือนดินประกอบด้วยถุงไข่ ตัวอ่อน และตัวเต็มวัย ในระยะที่เป็นตัวเต็มวัยไส้เดือนดินจะมีอวัยวะสืบพันธุ์ทั้งเพศผู้และเพศเมียอยู่ภายในตัวเดียวกัน แต่จะมีต้องมีการจับคู่ผสมพันธุ์กับตัวอื่นแบบผสมข้ามตัว หลังจากผสมแลกเปลี่ยนสเปิร์มแล้วรอให้ไข่สุกมาผสมกับสเปิร์มภายในถุงไข่ ก่อนถุงไข่จะเคลื่อนตัวออกมาจากบริเวณหัวของไส้เดือน และฟักเป็นตัวด้านนอก กินอาหารจำพวกเศษซากอินทรียวัตถุและเติบโตจนเต็มวัยพร้อมที่จะสืบพันธุ์ต่อไป ไส้เดือนดินที่เป็นตัวเต็มวัยจะผลิตถุงไข่ในอัตราที่แตกต่างกัน และถุงไข่แต่ละถุงจะมีตัวอ่อนของไส้เดือนดินอยู่ภายในเป็นจำนวนมาก วงจรชีวิตของไส้เดือนดิน (ภาพที่ 6)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 24 ธ.ค. 2555
เลขทะเบียน 203339
เลขเรียกหนังสือ



ภาพที่ 6 แสดงวงจรชีวิตไส้เดือนดิน
ที่มา : อานัฐ (2549)

1.5 ไส้เดือนดินแอฟริกา *Eudrilus eugeniae*

ไส้เดือนดินทั่วโลกพบว่ามีประมาณ 3,500 ชนิด (Pechenik, 2005, Ruppert, 2004) ส่วนมากอาศัยอยู่บนบกในดินที่ค่อนข้างชื้นและมีอินทรียวัตถุ ไส้เดือนดินในเมืองไทยที่สามารถพบได้นั้นมีหลายชนิดแต่ชนิดที่ใหญ่และหาง่ายตามดินร่วยซุยชื้นๆ มักเป็นชนิด *Pheretima peguana* และ *Pheretima posthuma* ซึ่งมีลักษณะต่างๆ คล้ายกันมาก ไส้เดือนดินในยุโรปและอเมริกาส่วนใหญ่เป็นไส้เดือนในวงศ์ Lumbricidae (Stephenson, 1930, Kozloff, 1990) และไส้เดือนดินในทวีปอาฟริกาคือไส้เดือนดินวงศ์ *Eudrilidae* (Edwards, 1977) ไส้เดือนดิน *Eudrilus eugeniae* ชื่อสามัญคือ African night crawler เป็นไส้เดือนดินพื้นเมืองในทวีปอาฟริกา แต่ได้มีการนำมาเพาะเลี้ยงและผสมพันธุ์กันอย่างกว้างขวางใน สหรัฐอเมริกา แคนาดา ยุโรปและเอเชีย (Gasser, 1985) เมื่อเลี้ยง *E. eugeniae* ในสภาวะที่เหมาะสมจะเติบโตอย่างรวดเร็วและให้ลูกดกรวมทั้งสามารถเจริญเติบโตในวัสดุที่ใช้เลี้ยงได้ดีจึงพบกระจายได้ทั่วโลก ปัจจุบันมีผู้ให้ความสนใจใช้ไส้เดือนดินในการบำบัดของเสียต่างๆ เช่น มูลสัตว์ เศษพืช เศษอาหาร ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ขยะและสิ่งปฏิกูล เนื่องจากมีการศึกษาพบว่าไส้เดือนดินหลายชนิดมีบทบาทต่อสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติและเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุให้เป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพสูง (Edwards and Burrows, 1998)

ไส้เดือนดินแอฟริกา มีชื่อสามัญ African Night crawler มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Eudrilus eugeniae* เป็นไส้เดือนดินชนิดหนึ่งจากไส้เดือนจำนวน 6 ชนิดที่นิยมเลี้ยงกันทั่วโลก เพื่อผลิตไส้เดือนเลี้ยงสัตว์ เลี้ยงเป็นเหยื่อตกปลา ใช้เพื่อกำจัดขยะอินทรีย์ และทำผลิตปุ๋ยหมัก ไส้เดือนดินแอฟริกาชนิดนี้มีกำเนิดในทวีปแอฟริกาตอนกลาง แต่ปัจจุบันมีการนำไส้เดือนดินชนิดนี้เข้าไปเลี้ยงในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา แคนาดา เม็กซิโก อังกฤษ ฝรั่งเศส สเปน ออสเตรเลีย และในทวีปเอเชีย เช่น ประเทศอินเดีย ฟิลิปปินส์ และไทย

ในประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งมีการเลี้ยงไส้เดือนเป็นการค้ามานาน มีมูลค่าทางการตลาดหลายล้านดอลลาร์ต่อปี ไส้เดือนดินแอฟริกาได้รับความนิยมใช้เป็นเหยื่อตกปลาและขายได้ในราคาสูงเป็นพิเศษเมื่อเทียบกับไส้เดือนชนิดอื่น ทั้งนี้เพราะไส้เดือนดินแอฟริกาตัวใหญ่เกี่ยวเบ็ดได้ง่าย ปลาชอบ และเลี้ยงได้ค่อนข้างยากในสหรัฐอเมริกา เพราะเป็นไส้เดือนจากเขตร้อน

ไส้เดือนดินแอฟริกามีที่อาศัยอยู่หน้าดิน (soil surface dwelling species) กินอาหารที่เป็นอินทรียวัตถุทุกชนิด เช่น มูลสัตว์ เศษอาหาร เศษเหลือทางการเกษตรและเศษผักหญ้า และใบไม้ในปริมาณสูงมากต่อวัน เมื่อไส้เดือนชนิดนี้หลุดลงไปในดิน จึงไม่สามารถเจริญเติบโตและอยู่รอดได้ในสภาพธรรมชาติโดยทั่วไป ดังนั้นการเลี้ยงดูต้องมีการควบคุมปัจจัยการเลี้ยงที่เหมาะสมและให้อาหารมาก สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วและให้ลูกมาก ไส้เดือนชนิดนี้ได้รับความนิยมนำเข้าไปเลี้ยงในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก ไส้เดือนดินชนิดนี้เป็นไส้เดือนขนาดใหญ่ที่สุดในบรรดาไส้เดือน 6 ชนิดที่นิยมเลี้ยงกันโดยทั่วไป มีขนาดเมื่อโตเต็มที่ยาว 12 นิ้ว น้ำหนัก 1.8 กรัมต่อตัว มีจำนวนปล้องโดยทั่วไป 188-297 ปล้อง ไส้เดือนแอฟริกาผลิตไข่ซึ่งเป็นโคคูน 3.6 ใบต่อสัปดาห์ เปอร์เซ็นต์ฟัก 80 เปอร์เซ็นต์ ให้ลูกเฉลี่ย 2.3 ตัวต่อโคคูน ใช้เวลาที่ไข่ฟัก 2-3 วันถึง 2 สัปดาห์ เจริญเติบโตจากตัวอ่อนถึงเป็นหนุ่มสาว (เริ่มมีไคลเทลลัม หรือปลอกเนื้อ) ในระยะเวลา 1 เดือนถึง 2-3 เดือน ขึ้นอยู่กับคุณภาพของอาหารที่ใช้เลี้ยง และระยะจากไข่ถึงเป็นหนุ่มสาวใช้เวลา 40 วันถึง 3-4 เดือน

การศึกษาทางสัณฐานวิทยาลักษณะภายนอกและภายในของไส้เดือนดินแอฟริกาของ (สุพาภรณ์, 2550) พบว่า ไส้เดือนดินแอฟริกามีลำตัวขนาดใหญ่ ลำตัวมีสีเทาอมม่วง มองเห็นเป็นประกายสีน้ำเงินสวยงาม ลำตัวด้านท้องแบนเล็กน้อยและมีสีซีดกว่าด้านหลัง ไคลเทลลัมสีขาวขุ่นอยู่ปล้องที่ 13-17 ช่องเพศเมียอยู่บริเวณปล้องที่ 13 ช่องเพศผู้วางตัวอยู่ระหว่างปล้องที่ 17 และ 18 ไม่มีช่องหลัง (dorsal pore) อัณฑะวางอยู่บริเวณผนังกั้นระหว่างปล้องที่ 10 กับ 11 และ 11 กับ 12 ถุงเก็บอสุจิอยู่ปล้องที่ 12 และ 13 รังไข่อยู่ระหว่างปล้องที่ 13 และ 14 ถุงรับอสุจิมี 2 คู่ วางตัวอยู่บริเวณปล้องที่ 10 และ 11 ไส้เดือนแห้งป่นมีส่วนประกอบของโปรตีนประมาณ 62 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนมีส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นอยู่ครบสมบูรณ์ มีส่วนประกอบของไขมันประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ และไขมันก็มีส่วนประกอบของกรดไขมันที่จำเป็นอยู่ครบ จึงเหมาะที่จะเลี้ยงเพื่อนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ทั้งในสภาพไส้เดือนดินที่มีชีวิต เช่น ใช้เลี้ยงเป็นอาหารปลาสวยงามและเป็นเหยื่อตกปลา ที่ปลาชอบและไม่มีกลิ่นคาวไส้เดือนดินและในสภาพไส้เดือนดินแห้งป่นทดแทนปลาป่นและกากถั่วเหลืองป่น ไส้เดือนดินแอฟริกาก็เป็นชนิดของไส้เดือนดินที่เหมาะสมมากที่สุด เพราะมีขนาดตัวใหญ่ เจริญเติบโตได้รวดเร็วให้ลูกมาก และกินอาหารได้มาก ทำให้เกิดประโยชน์ด้านอื่นไปพร้อม ๆ กันด้วย คือ กำจัดขยะอินทรีย์ และการผลิตปุ๋ยหมักจากไส้เดือนที่มีคุณภาพสูง (จุไร, 2549)

2. แคดเมียม

แคดเมียมเป็นธาตุโลหะหนักที่มีสีเงินแกมขาว มีคุณสมบัติเบา อ่อน ดัดโค้งได้ง่ายและทนต่อการกัดกร่อน มีความหนาแน่น 8.65 ค่า Mohs hardness 2.0 ค่า refractive index 1.13 จุดหลอมเหลว(m.p.) 302.9 ^{0}C จุดเดือด (b.p.) 767 ^{0}C มีความดันไอ(vapor pressure) 1.4 mm ที่ 400 ^{0}C และ 16 mm ที่ 500 ^{0}C ดังนั้นเมื่อมีการใช้ความร้อนสูง เช่น การอบแร่ การบัดกรี การหลอมเหล็ก และการเผาของเสีย จะทำให้มีไอของแคดเมียมออกมาได้ในระหว่างกระบวนการที่มีการให้ความร้อน และไอของแคดเมียมในอากาศจะถูกออกซิไดส์อย่างรวดเร็วไปเป็นแคดเมียมออกไซด์ (CdO) นอกจากนี้แคดเมียมยังเป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในกรดไนทริก (HNO_3) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เจือจางซึ่งจะทำให้เป็นอันตรายต่อคนแบบเฉียบพลันเมื่อกินเข้าไป โดยทั่วไปจะไม่ค่อยพบแคดเมียมในรูปของแคดเมียมบริสุทธิ์ แต่มักจะพบในรูปของสารประกอบของเกลือ เช่น cadmium sulfate ($CdSO_4$) cadmium nitrate ($Cd(NO_3)_2$) cadmium chloride ($CdCl_2$) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่มีสีและละลายได้ดีในน้ำ และแคดเมียมยังสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ โดยเฉพาะเมื่อรวมกับ cyanides และ amines (เขมชิต และคณะ, 2551)

2.1 ประโยชน์ของแคดเมียม

แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ และสินค้าอุปโภคดังนี้

1. ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสมอัลลอยด์ (alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียวและความทนทานต่อการกัดกร่อน เช่น

1.1 อัลลอยด์ของทองแดงที่มีแคดเมียม 1% (cadmium bronze) ใช้ในการผลิตเส้นลวดโทรเลขและโทรศัพท์

1.2 อัลลอยด์ของทองแดงและตะกั่ว ซึ่งมีแคดเมียมผสมอยู่ 20% ใช้ในการผลิตแบบพิมพ์ (printing plates)

1.3 อัลลอยด์ของทองแดง แคดเมียม และเซอร์โคเนียม ใช้ในอุปกรณ์การสื่อสารต่างๆที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงๆ ทั้งนี้เพราะโลหะผสมประเภทนี้จะมีความแข็งและมีแรงดึงได้สูงกว่าโลหะผสมของทองแดงกับแคดเมียม

1.4 แคดเมียมใช้ผสมกับโลหะอื่นในอุตสาหกรรมเพชรพลอยและเครื่องประดับอัญมณีต่างๆ โดยอาจผสมกับโลหะอื่นชนิดเดียว (ผสมทอง) ผสมกับโลหะอื่น 2 ชนิด (ทอง 75% เงิน 16.6%) ผสมกับโลหะอื่น 3 ชนิด(ทองแดง เงิน และทอง)

1.5 ใช้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูงๆในการผสมกับโลหะอื่น เพื่อให้มีคุณสมบัติกึ่งตัวนำ (semiconductor) เช่น cadmium arsenide, cadmium antimonide และ cadmium telluride

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ใช้ในการชุบโลหะ โดยใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็ก ทองแดง อะลูมิเนียม โดยการชุบด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วิทยุ เป็นต้น

3. ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรม สารประกอบแคดเมียมซัลไฟด์และแคดเมียมซัลโฟซีลไนต์ใช้ในการให้สีในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สีอินาเมล เซรามิก ยาง แก้ว ผ้า เส้นใย หนัง หมึกพิมพ์และพลาสติก

4. ใช้ผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิลเป็น Cd – Ni battery ซึ่งนำมาใช้เป็นแบตเตอรี่ในเครื่องคิดเลข แฟลชถ่ายรูป เครื่องโกนหนวด นาฬิกาและวิทยุเล็กๆเป็นต้น

5. ใช้ในกิจการอื่นๆ เช่น

5.1ใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อรา ที่ใช้ในกิจการเกษตร

5.2ใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู เป็นตัวควบคุมอัตราการแตกตัวของนิวเคลียร์

5.3ใช้ในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์

5.4ใช้ในการถ่ายรูป เช่น Cd – Br, Cd – I

5.5 สารประกอบแคดเมียมบางชนิดใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของพลาสติก เช่น cadmium stearate

5.6 ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องทนความร้อน เช่น ทำหม้อน้ำรถยนต์ อุปกรณ์ทำความเย็นต่างๆที่ต้องระบายความร้อนมากๆ

2.2 ความเป็นพิษของแคดเมียม

จากการที่แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภคดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงทำให้โลหะแคดเมียมเกิดการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม บรรยากาศและในอาหาร ทำให้เราได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางโดยไม่รู้ตัว คนทั่วไปจะได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจากอาหารที่บริโภคเข้าไปเป็นหลัก โดยอาจติดปะปนมากับพืชผัก ผลไม้ หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่นำมาปรุงเป็นอาหาร แคดเมียมอาจละลายอยู่ในน้ำที่เราดื่มและได้รับจากอากาศโดยการหายใจเอาอากาศที่มีฝุ่นแคดเมียมฟุ้งกระจายอยู่ โดยเฉพาะในแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้แคดเมียมเป็นวัตถุดิบ เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่ หรือบริเวณที่เป็นเหมืองทำแร่สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง ที่มักมีแคดเมียมปนอยู่ด้วย การสัมผัสกับสิ่งของที่มีแคดเมียมเป็นส่วนประกอบและการอยู่ในแหล่งที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในอากาศนานๆจะทำให้แคดเมียมซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายเราได้อีกด้วย สำหรับผู้ที่สูบบุหรี่จัดจะทำให้ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้น ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในร่างกายครึ่งหนึ่งจะไปสะสมอยู่ที่ตับและไต ทำให้เกิดพิษสะสมได้ในคน การขับแคดเมียมที่ร่างกายดูดซึมเข้าไปแล้วออกจากร่างกายเป็นไปค่อนข้างช้ามาก เพราะวงจรครึ่งชีวิตของแคดเมียมในคนค่อนข้างยาว 16 -33 ปี โดยความเป็นพิษของแคดเมียม แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

2.2.1 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน

ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมโดยการกินซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกินอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีแคดเมียมปนเปื้อนหรือบรรจุในภาชนะที่เคลือบด้วยแคดเมียม อาการที่ปรากฏเริ่มแรกคือ รู้สึกคลื่นเหียนอย่างรุนแรง อาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก ในรายที่เป็นมากอาจเกิดอาการช็อก เนื่องจากร่างกายสูญเสียน้ำมาก ระบบการทำงานของไตล้มเหลวและอาจถึงตายได้

ความเป็นพิษต่อระบบหายใจ การสูดหายใจเอาไอของแคดเมียมเข้าไปทำให้เกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลม ปอด จมูก ลำคอ และยังทำให้เกิดอาการไอ เวียนศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก

2.2.2 ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง ความเป็นพิษจากแคดเมียมที่เกิดกับคนส่วนใหญ่มักเป็นแบบชนิดเรื้อรัง ซึ่งเกิดจากการที่ร่างกายได้รับแคดเมียมเข้าไปเป็นเวลานานติดต่อกัน ได้แก่

ความเป็นพิษต่อปอดในคนที่หายใจเอาฝุ่นหรือไอ (fume) ของแคดเมียมเข้าไปติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการบวมหรือพองของเนื้อเยื่อปอด ประสิทธิภาพในการระบายลมของปอดจะลดลง ทำให้อากาศอยู่ภายในปอดนานกว่าปกติ มีอาการหายใจขัดหรือหายใจไม่ออก นอกจากนี้ยังพบว่าแคดเมียมทำให้เกิดโรคถุงลมโป่งพองและมีพังผืดในปอดจับในทางเดินหายใจส่วนล่าง เนื่องจากแคดเมียมจะเป็นตัวไปขัดขวางการสร้าง antitrypsin ซึ่งเป็นตัวควบคุม trypsin ในร่างกายคน ซึ่งสารtrypsin นี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคถุงลมโป่งพองได้

ความเป็นพิษต่อไต ผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายนานติดต่อกันจะพบความเป็นพิษที่ไตก่อนที่ปอด จะเกิดแผลที่ไต พิษต่อไตจะปรากฏโดยผู้ป่วยมีอาการของโปรตีนยูเรีย คือ ไตจะมีการขับปัสสาวะที่มีโปรตีนมากกว่าปกติ ซึ่งโปรตีนที่ขับออกมาส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น microglobin lysozyme ribonuclease retinol binding protein และ immunoglobin chains โดยชนิดของโปรตีนที่ถูกขับออกมาจะเป็นตัวบอกให้รู้ว่าไตส่วนใดถูกทำลาย เช่น ถ้าโปรตีนขนาดใหญ่ถูกขับออกมา แสดงว่า โกลเมอรูรัส(glumerulus) ถูกทำลาย แต่ถ้าเป็นโปรตีนขนาดเล็กถูกขับออกมา แสดงว่า ส่วนของทิบูลถูกทำลาย นอกจากโปรตีนแล้วยังอาจมีสารอื่นๆถูกขับออกมากผิดปกติด้วย เช่น กรดอะมิโน ทำให้เกิดอาการ aminoaciduria แคลเซียม ทำให้เกิดอาการ hypercalciumuria และ กลูโคส ทำให้เกิดอาการ glucosuria เป็นต้น

ความเป็นพิษที่กระดูก ที่ปรากฏเด่นชัดในกรณีการเกิดโรค อิไต อิไต โรคชนิดนี้เป็นโรคกระดูกผุ คือ กระดูกจะพรุน กระดูกโก่ง งอโค้งได้ จะทำให้กระดูกเสียรูปทรง แตกร้าวและหักได้ เนื่องจากร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้น้อยลง

ความเป็นพิษต่อระบบเลือดเข้าสู่หัวใจและระบบการสร้างเม็ดโลหิต จะทำให้เกิดความดันโลหิตสูง เป็นสาเหตุให้เกิดโรคหัวใจ หัวใจเต้นผิดปกติ ในกลุ่มผู้ป่วยที่เป็นโรค อิไต อิไต และกลุ่มคนงานที่ต้องสัมผัสกับแคดเมียมจะพบอาการของโรคโลหิตจางด้วย

ความเป็นพิษต่อตับ มีรายงานค่อนข้างน้อยเกี่ยวกับความเป็นพิษต่อตับในคน แต่จากการทดลองในสัตว์ทดลองพบว่า แคดเมียมในปริมาณน้อย (ในน้ำดื่ม 1 ppm) มีผลทำให้การทำงานของเอ็นไซม์ในตับเปลี่ยนไป

จากการทดลองในสัตว์ พบว่า แคดเมียมยังเป็นสารก่อมะเร็ง โดยทำให้เกิดมะเร็งของเนื้อเยื่อที่อยู่ลึก (sarcoma) เช่น กล้ามเนื้อกระดูกในหนูทดลอง จากความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียมที่กล่าวมา ยังมีโลหะหนักอื่นอีกหลายชนิดซึ่งไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น ตะกั่ว สารหนู ปรอท โครเมียม เป็นต้น เนื่องจากโลหะหนักต่างๆเหล่านี้ยังมีความจำเป็นต่อชีวิตประจำวันอยู่ การใช้โลหะหนักเหล่านี้จะทำให้โลหะหนักมีโอกาสที่จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมและปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ การศึกษาพิษวิทยาของโลหะหนักจึงมีความสำคัญเพื่อหาแนวทางป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตต่อไป

2.3 แคดเมียมในดิน

แคดเมียมในดินส่วนมากจะอยู่สะสมในหินอัคนี และหินตะกอน มีปริมาณไม่เกิน 0.3 mg/kg จะพบอยู่รวมกับสังกะสีเสมอ และอยู่ในสภาพที่เป็นกรด ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการควบคุมสภาพการเคลื่อนที่ได้ของแคดเมียมในดินคือ ค่า pH ของดิน และศักย์รีดอกซ์ แคดเมียมมีรูปประกอบเช่นเดียวกับกลุ่มไอออนบวก Zn^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}แคดเมียมจะอยู่ในรูปสารประกอบ เช่น สารประกอบแคดเมียมออกไซด์ CdO, สารประกอบแคดเมียมคาร์บอเนต $CdCo_3$, และอยู่ในรูปสารประกอบฟอสเฟต แคดเมียมจะเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่า pH 4.5 ถึง 5.5 (ศุภมาศ, 2539)

2.4 ปัญหาแคดเมียมในไทย

2.4.1 สถานการณ์การปนเปื้อนของแคดเมียม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ปัญหาแคดเมียมในไทยเกิดขึ้นประมาณปี พ.ศ. 2490 กรมทรัพยากรธรณี หรือกรมราชโลหะกิจสมัยนั้น สำรวจพบ แหล่งแร่สังกะสี ที่ดอยผาแดง ตำบลแม่ตาว อำเภอแม่สอด ปี พ.ศ. 2512-2518 บริษัท ไทยซิงค์ จำกัด ได้สำรวจและได้ประทานบัตรการทำแร่สังกะสี นำสินแร่ออกมาได้ประมาณ 150,000 ตัน ปี และปิดตัวลง ในเวลาต่อมา แหล่งแร่แห่งนี้จึงถูกปล่อยทิ้งไว้อยู่ 6 ปี ต่อมาในปี 2526 บริษัทผาแดงอินดัสทรี้ จำกัด (มหาชน) ได้ประทานบัตรการทำเหมืองแร่ต่อ และขอขยายพื้นที่สัมปทานออกไปอีกขณะเดียวกัน ในปี 2536 บริษัท ตากไมน์นิ่ง ก็ได้รับสัมปทานให้เข้ามาทำเหมืองอีกแห่งในพื้นที่ไม่ไกลกัน นักวิชาการสายธรณีวิทยายืนยันเหมือนกันว่าแคดเมียมสามารถเกิดขึ้นได้ในธรรมชาติที่มีการผุพัง การผุกร่อนของหินและดินรวมทั้งการถูกน้ำพัดพาเอามาสะสมในตะกอนดินอย่างรวดเร็ว ตะกอนดินเมื่อมีตกตะกอนกลายเป็นดินก็จะมีการสะสมของแคดเมียมในดินรอวันที่จะถูกดูดซึมเข้าสู่พืช เมื่อมีปัจจัยที่เหมาะสมเนื่องจากพื้นที่ทั้งหมดในบริเวณนี้ถือเป็นแหล่งแร่สังกะสี ซึ่งโดยธรรมชาติ แร่สังกะสีเกิดขึ้นในที่ใดก็ตามก็จะมีแคดเมียมเกิดเป็นเพื่อนแร่ด้วยเสมอแต่จะมีปริมาณที่น้อยกว่า เมื่อเทียบกับแร่สังกะสีและพื้นที่ใดที่มีแร่สังกะสีในปริมาณสูงย่อมหมายถึงมีปริมาณแคดเมียมสูงตามไปด้วย ขณะเดียวกันแคดเมียมที่มีอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้วจะไม่ออกมารบกวน หากสภาพธรรมชาติในพื้นที่ดังกล่าวมีความสมดุลย์ คือ พื้นที่ไม่ถูกรบกวนด้วยวิธีการใดๆโดยเฉพาะการทำลายหน้าดิน แต่หากเมื่อใดที่พื้นที่ถูกรบกวน

ด้วยกิจกรรมการทำลายหน้าดิน เช่น การทำเหมืองหรือการเปิดหน้าดินให้โล่งไม่มีพืชปกคลุมก็จะเกิดการกัดเซาะขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นเหตุให้เกิดการกระจายตัวของแคดเมียมมากขึ้นจนเกิดเป็นมลพิษในที่สุดนักวิชาการธรณีวิทยาหลายคนเชื่อว่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมและผลิตผลการเกษตรของชาวบ้านน่าจะมีสาเหตุมาจากการเอาสังกะสีออกมาจากพื้นดินเป็นหลักเพราะยิ่งนำออกมาเท่าไรแคดเมียมก็จะออกมาสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้นเท่านั้น

ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก มี 6 หมู่บ้าน คือ หมู่ที่ 1 บ้านค้างภิบาล หมู่ที่ 2 บ้านหัวฝาย หมู่ที่ 3 บ้านแม่ตาวใหม่ 102 หมู่ที่ 4 บ้านพะเด๊ะ หมู่ที่ 5 บ้านถ้ำเสือ และหมู่ที่ 6 บ้านขุนห้วยแม่สอด ในหมู่บ้านพะเด๊ะ ที่ชาวบ้านต้องเจอสภาพการสะสมของสารแคดเมียมในพื้นที่ทำกิน และในผลิตผลการเกษตรของตัวเองมากที่สุดนั้นมีประชากรประมาณ 135 ครัวเรือน หรือประชากรส่วนใหญ่เป็นชาวกะเหรี่ยงสะกอ หรือปกาเกอญอ ประกอบอาชีพหลักโดยการทำนา ปลูกพืชในที่ลุ่ม และปลูกพืชบนดอยหรือปลูกข้าวไร่ มีการปลูกข้าวปีละ 1 ครั้ง หลังจากเก็บข้าวแล้ว จะปลูกถั่วเหลืองกระเทียม และพืชอื่นๆ เช่นฟัก มะเขือ พริก ข้าวที่ได้จากการทำนาเป็นข้าวหอมมะลิ ที่มีชื่อเสียง เคยได้รับรางวัลระดับประเทศ ว่าเป็นข้าวหอมมะลิที่ดีที่สุดในประเทศ ส่วนข้าวที่ชาวบ้านปลูกไว้กินกันเองในครัวเรือน คือ ข้าวสุพรรณ นอกจากนี้ก็ยังปลูกพืชไร่ และพืชผักสวนครัวบางชนิดไว้กินเองอีกด้วย

กรมควบคุมมลพิษ (2549) ให้ข้อสันนิษฐานว่าการปนเปื้อนของสารแคดเมียมเกิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เนื่องจากในบริเวณที่ไม่มีกิจกรรมการรบกวนจากมนุษย์ พบสารแคดเมียมน้อย เช่น บริเวณบ้านถ้ำเสือ ซึ่งอยู่ต้นน้ำและอยู่เลยเหมืองแร่ขึ้นไป แต่หมู่บ้านตั้งแต่เหมืองแร่ลงมาคือ พะเด๊ะ แม่ตาวใหม่ จนถึงแม่น้ำเมยกลับพบว่ามีสารแคดเมียมสูงและลดหลั่นลงมาตามลำดับ

นักวิจัยจากสถาบันจัดการคุณภาพน้ำ (International Water Management Institute-IWMI) ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร (DOA) ได้ทำการตรวจวัดระดับสารแคดเมียมในดินและข้าวบริเวณอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก รวมทั้งศึกษาแหล่งกำเนิดของสารแคดเมียมซึ่งบริเวณอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เป็นบริเวณแหล่งแร่สังกะสีที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ทั้งนี้ แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยพบร่วมกับสังกะสีมากที่สุด ทีมวิจัย ได้แบ่งการศึกษาเป็น 2 ช่วง กล่าวคือ (ศรีสุวรรณ, 2551)

ช่วงแรกดำเนินการศึกษาระหว่างปี พ.ศ. 2541 – 2543 ศึกษาแปลงนาบริเวณตำบลพะเด๊ะ ซึ่งอยู่ใกล้บริเวณแหล่งแร่สังกะสี (Zinc Mineralized Area) มากที่สุด พบว่ามีปริมาณสารแคดเมียมในดิน (จำนวน 154 ตัวอย่าง) สูงกว่าค่ามาตรฐานของยุโรป (EU) ถึง 1,800 เท่า และพบว่า ร้อยละ 95 ของเมล็ดข้าวที่สุ่มตัวอย่างมีแคดเมียมปนเปื้อน (0.1 – 4.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อันเป็นปริมาณที่มากกว่าเมล็ดข้าวที่ปลูกใน ประเทศไทยบริเวณอื่น ๆ (0.043) โดยพบสูงที่สุดถึง 100 เท่า (4.4) ซึ่งปริมาณสารแคดเมียมที่พบนี้มีค่าในพิสัยเดียวกับข้าวที่ก่อโรคอิไต-อิไตในประเทศญี่ปุ่น (0.3 – 1.0) หากบริโภคติดต่อกันเป็นเวลานาน

ช่วงที่สองของการศึกษา (ปี พ.ศ.2544 – 2546) ได้ขยายพื้นที่ศึกษาจากช่วงแรกมาตาม ลำห้วยแม่ตาว ในบริเวณตำบลแม่ตาว ซึ่งเป็นบริเวณท้ายน้ำจากบริเวณแรก และพบว่าปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในดินมีค่าสูงถึง 72 เท่าของค่ามาตรฐาน EU ขณะที่กว่าร้อยละ 80 ของตัวอย่างข้าว มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของญี่ปุ่น (0.4) และองค์การอาหารและเกษตร (FAO)

สำหรับแหล่งกำเนิดของสารแคดเมียมที่ปนเปื้อนข้าวนี้ นักวิจัยสรุปว่าน่าจะเกิดจากการที่ฝนตกชะหน้าดินที่อุดมด้วยแร่สังกะสีและแคดเมียม ลงสู่ต้นน้ำของลำน้ำธรรมชาติ ซึ่งก็คือ ห้วยแม่ตาวในกรณีนี้ ทำให้เกิดการสะสมในตะกอนท้องน้ำ เมื่อปล่อยน้ำเข้าสู่แปลงนา ตะกอนจะตกในแปลงต้นน้ำและลดลงในแปลงต่อ ๆ ไป (ศรีสุวรรณ, 2549)

2.5 การจัดการการปนเปื้อนดินแคดเมียม

สุนีรัตน์ (2547) ทดลองใช้แพลงก์ตอนพืชกลุ่มสาหร่ายสีเขียวชนิด *Scenedesmus dimorphus* ดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (เป็นระบบที่มีโลหะหนักเพียงชนิดเดียว) โดยหาค่าปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักพบว่าระดับพีเอชของสารละลายตะกั่วและแคดเมียมเท่ากับ 3.5 และ 5.5 เป็นระดับที่เหมาะสมในการดูดซับมากที่สุด การศึกษาจำนวนเซลล์ของ *S. dimorphus* ที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักซึ่งใช้จำนวนเซลล์ 6 ระดับ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับจากการพิจารณาปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักแห้งของแพลงก์ตอน พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักนั้นเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนเซลล์ของ *S. dimorphus* ลดลง สำหรับระยะเวลาที่เหมาะสม (equilibrium time) ต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม คือ 10 และ 5 นาที ตามลำดับ และในการใช้สมการของ Langmuir adsorption isotherm แสดงความสามารถสูงสุดของ *S. dimorphus* ในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม พบว่ามีค่า q sub(max) เท่ากับ 123.46 mg/Pb/g และ 217.39 mgCd/g ตามลำดับ การทดลองนี้สรุปได้ว่า *S.dimorphus* สามารถนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนได้

พิมล และข้าวทิพย์ (2531) ศึกษาการนำผักตบชวามาใช้กำจัดโลหะหนักจากน้ำทิ้งของหน่วยผลิตวงจรไฟฟ้าของบริษัท ธานินทร์อุตสาหกรรม จำกัด โดยใช้เทคนิคอะตอมมิคแอบซอฟชันสเปกโตรโฟโตเมทรีวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งและในเนื้อเยื่อของผักตบชวา จากผลการทดลองพบว่า การดูดกลืนโลหะหนักโดยผักตบชวา จะมีค่าสูงในช่วง 3 วันแรกและลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจนถึง 10 วัน โดยแนวโน้มของการลดลงเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล การทดลองนี้กระทำที่สภาวะคงที่คือ ปริมาตรของน้ำทิ้ง เวลากักกัน และความเข้มข้นของโลหะหนัก พบว่าผักตบชวาขนาดกลางมีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักมากกว่าขนาดใหญ่และขนาดเล็ก โดยพบว่าโลหะหนักจะไปสะสมที่ใบเท่ากับ 11.5-11.8 mg/น้ำหนักแห้ง 1 กรัม ซึ่งมากกว่าการสะสมที่ก้านใบซึ่งอยู่ในช่วง 6.3-6.9 mg/น้ำหนักแห้ง 1 กรัม และลำดับความทนทานของผักตบชวาต่อพิษของโลหะหนักเป็นดังนี้ โครเมียม,สังกะสี<นิกเกิล,ทองแดง<ตะกั่ว,แคดเมียม ประสิทธิภาพของการกำจัดโลหะหนักของผักตบชวาขนาดกลาง พบว่ามีค่าดังนี้ 89.86 เปอร์เซ็นต์ สำหรับโครเมียม 91.05 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสังกะสี 65.88 เปอร์เซ็นต์ สำหรับนิกเกิล 60-85 เปอร์เซ็นต์ สำหรับทองแดง 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับตะกั่วและแคดเมียม ส่วนผักตบชวาขนาดเล็กและขนาดใหญ่นั้นมีประสิทธิภาพในการลดโลหะหนักน้อยกว่าขนาดกลางอยู่ 2-6 เปอร์เซ็นต์

กมลพรรณ และคณะ (2553) ศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus) ในการดูดซับโลหะหนักโดยทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในสาหร่ายไส้ไก่จากพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และจังหวัดจันทบุรี พบว่า สาหร่ายไส้ไก่มีปริมาณสารหนู และแคดเมียม มีค่าสูง จึงได้ศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายไส้ไก่ในการดูดซับแคดเมียมและสารหนู โดยทำการศึกษาที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียม 0 0.005, 0.010 และ 0.020 mg Cd/L และที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายสารหนู 0, 0.010, 0.050 และ 0.10 mg As/L ในโหลทดลองที่มีสาหร่ายไส้ไก่ปริมาณ 150 กรัม ในน้ำปริมาตร 3 ลิตร เป็นเวลา 6 วัน พบว่า ปริมาณแคดเมียมในสาหร่ายไส้ไก่เพิ่มขึ้นในวันที่ 2 และ 6 ในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมในน้ำลดลงในวันที่ 2 จนกระทั่งมีปริมาณเหลือน้อยจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ภายใน 6 วัน โดยสาหร่ายไส้ไก่สามารถดูดซับปริมาณแคดเมียมได้มากกว่าปริมาณแคดเมียมที่มีในน้ำ 446-730 เท่า ปริมาณสารหนูในสาหร่ายไส้ไก่เพิ่มขึ้นในวันที่ 2 และมีค่าลดลงในวันที่ 6 ในขณะที่ปริมาณสารหนูในน้ำมีค่าลดลงในวันที่ 2 หลังจากนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยสาหร่ายไส้ไก่สามารถดูดซับปริมาณสารหนูได้มากกว่าปริมาณสารหนูที่มีในน้ำ 6.02-86.44 เท่า

อัจฉรา (2553) ศึกษาการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกไข่ โดยใช้ระบบถังดูดติดผิวแบบคอลัมน์ ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลของชนิดเปลือกไข่ และระดับความหนาของชั้นเปลือกไข่ในถังดูดติดผิวที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม โดยใช้อัตราการไหลของน้ำเสีย 1.5 ลบ.ม./ตร.ม.ต่อชม. เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมทุกชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า เปลือกไข่สามารถลดปริมาณแคดเมียมในน้ำเสียได้มากกว่าร้อยละ 80 โดยเปลือกไข่ไก่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมสูงกว่าเปลือกไข่เป็ด กล่าวคือเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ดมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมสูงสุดร้อยละ 99.84 และ 86.41 ตามลำดับ นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการกำจัด แคดเมียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความหนาของชั้นเปลือกไข่ในถังดูดติดผิว

คลเดช (2553) ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี โดยใช้เปลือกแพชชั่นฟรุต ซึ่งทำการศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัส pH ความเข้มข้นโลหะหนัก อุณหภูมิ สารละลายที่เหมาะสมในการชะโลหะหนัก และประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ ผลการทดลอง พบว่า การดูดซับ โลหะหนักเข้าสู่สมดุลประมาณ 60 นาที pH ที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียม นิกเกิล เท่ากับ 7 และสังกะสีเท่ากับ 5 ปริมาณการดูดซับสูงสุดตามสมการแลงเมียร์เท่ากับ 16.50 มิลลิกรัมแคดเมียม 29.33 มิลลิกรัมนิกเกิล และ 13.33 มิลลิกรัมสังกะสีต่อกรัม ตามลำดับ ความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก พบว่า เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ที่สูงขึ้น สารละลายที่เหมาะสมในการชะโลหะหนัก พบว่า กรดไนตริก ความเข้มข้น 0.1 โมล สามารถชะ โลหะหนักได้ดีที่สุด และประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ 5 รอบ พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียม นิกเกิล สังกะสี ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 21.05, 39.08 และ 36.91 เปอร์เซ็นต์ ของการดูดซับรอบที่ 1 ตามลำดับ

3. กากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร

กากของเสีย (Waste) คือขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูล น้ำเสีย อากาศเสีย มลสาร หรือวัตถุอันตรายอื่นใด ซึ่งถูกปล่อยทิ้งหรือมีที่มาจากแหล่งกำเนิดมลพิษ รวมทั้งกากตะกอน หรือสิ่งตกค้าง ที่เกิดจากกระบวนการผลิต ของโรงงานอุตสาหกรรม (สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540)

กากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร คือ ส่วนของเสียที่เกิดจากระบบการการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่เป็นสิ่งเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ถ้าไม่มีการบำบัดที่ถูกต้องน้ำเสียที่ออกมาจากโรงงาน อุตสาหกรรมโดยไม่มีการบำบัดที่เหมาะสมในการกำจัดสิ่งสกปรกออกเสียก่อนจะทำให้เกิดมลพิษได้ ซึ่งแหล่งของปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดน้ำเสียนั้นมีส่วนมาจากสารอินทรีย์ต่างๆ เช่นโปรตีน ไขมัน และน้ำตาล ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถย่อยสลายได้ง่ายและยังพบว่าสามารถนำไปใช้เป็นอาหารจุลินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 1

รัตเกล้า (2532) กล่าวว่า การนำน้ำทิ้งและกากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรถือว่ามีความสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพน้ำทิ้งและกากของเสียเพื่อจัดการปรับปรุงคุณภาพดิน และเป็นการช่วยลดของเสียที่จะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถช่วยเพิ่มมูลค่าน้ำทิ้งและกากของเสียให้เกิดประโยชน์สูงสุด เป็นการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายปุ๋ยเคมี เนื่องจากองค์ประกอบทางธาตุอาหารที่เกิดจากของเหลือทิ้ง เช่น น้ำทิ้ง และกากของเสีย มีประโยชน์ต่อพืชและเพิ่มแร่ธาตุในดินได้ แต่ผลทางบวกที่ได้จากการนำกากตะกอนไปใช้ทางการเกษตรก็มีหลายประการเช่นกัน เช่น การปรับปรุงคุณภาพดินทั้งด้านกายภาพเคมี และชีวภาพ การเพิ่มผลผลิตพืช ตลอดจนการใช้ประโยชน์ทางอ้อมอื่น ๆ

Cecil and Tester (1990) และTsadilas et al. (1995) กล่าวว่าการใส่กากตะกอนของเสียที่ได้จากโรงงานบำบัดน้ำเสียที่เมือง Larissa ประเทศกรีซ (เป็นกากตะกอนของเสียที่บำบัดเป็นครั้งที่ 2) ลงในดินกรด ซึ่งมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) เป็น 4.86 พบว่าสามารถเพิ่มค่าความเป็นกรดด่างอินทรียวัตถุ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดิน

Yoneyama and Yoshida (1978) พบว่า กากตะกอนของเสียเกือบทุกชนิดประกอบด้วยสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นจำนวนมากซึ่งส่วนใหญ่เป็นโปรตีนของจุลินทรีย์และง่ายต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมและไนเทรต อีกทั้งจากงานทดลองที่ศึกษาอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของกากตะกอนของเสียจากชุมชน 5 ชนิด โดยใส่กากตะกอนของเสียในอัตรา 2 และ 5 เปอร์เซ็นต์ บ่มเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่ากากตะกอนของเสียที่มี C/N ratio ต่ำคือ 5.21 และ 5.66 เกิดกระบวนการปลดปล่อยไนโตรเจนได้อย่างรวดเร็ว ส่วนกากตะกอนของเสียที่มี C/N ratio 9.10 มีการปลดปล่อยไนโตรเจนได้น้อยมาก

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอนของเสีย

คุณสมบัติทางเคมี	กากตะกอนโรงฆ่าสัตว์บางแค[1] (ATS)	กากตะกอนน้ำเสียชุมชน[2] (ATS)
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.00	-
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	50.74	50.74
ปริมาณคาร์บอน (%)	29.50	29.50
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)	2.76	4.80
ปริมาณไนเตรท (NO_3-N (ppm)	144.00	180.00
ปริมาณแอมโมเนีย (NH_4-N (ppm)	360.00	400.00
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์(P_2O_5(ppm))	161.70	27,000.00
ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้(K_2O (ppm)	1,005.00	4,000.00
ปริมาณแคดเมียม (ppm)	0.47	16.00
ปริมาณทองแดง (ppm)	282.00	970.00
ปริมาณแมงกานีส (ppm)	210.00	420.00
ปริมาณนิกเกิล (ppm)	3.00	31.00
ปริมาณตะกั่ว (ppm)	3.12	300.00
ปริมาณสังกะสี (ppm)	600.00	1,800.00

แหล่งที่มา : ดัดแปลง [1]อรวรรณ , 2529 อ้างถึงใน ธวิโรจน์, 2542.

[2] Sommer, 1977:227-229.

หมายเหตุ : ATS = ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic Sludge).

3.1 กากซิตริก (กากมันสำปะหลัง)

กากมันสำปะหลังที่ได้จากกระบวนการผลิตแป้งมันจะมีความชื้นสูงมาก และยังมีแป้งเป็นองค์ประกอบอยู่สูง ทำให้เน่าเสียได้ง่าย โดยองค์ประกอบของกากมันสำปะหลังจะแตกต่างกันตามคุณภาพของวัตถุดิบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ พันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว แหล่งเพาะปลูก และการจัดการเพาะปลูก นอกจากนี้องค์ประกอบของกากมันสำปะหลัง ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังด้วย (ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3)

จิราภรณ์ (2525) รายงานผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง พบว่าประกอบด้วยแป้ง 65% โปรตีน 5.3 % ไขมัน 0.1 % เถ้า 2.7% และไฟเบอร์ 35.9% จากการที่องค์ประกอบส่วนใหญ่ของกากมันสำปะหลังเป็นพวกคาร์โบไฮเดรต มีโปรตีนอยู่ในปริมาณที่ต่ำมาก จึงมักขายไปในราคาถูก เพื่อนำไปผสมกับการทำอาหารสัตว์ โดยใช้เป็นแหล่งของพลังงาน และนำไปผลิตเป็นกรดซิตริก (Citric acid) โดยใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ โดย จิราภรณ์ (2525) และอัจฉริยา (2529) ได้ศึกษาการผลิตกรดซิตริก (Citric acid) ทำการหมักแบบแห้ง (Solid Substrate) โดยใช้เชื้อ *Aspergillus niger* พบว่า กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ผลิตกรดซิตริก โดยสภาวะที่เหมาะสม คือใช้กากมันสำปะหลัง 68.7 % และรำ 31.3 % บ่มเชื้อไว้ 5 วัน ที่ pH 4.8-5.5 และที่อุณหภูมิ 35 ^{0}C

ปัจจุบันมีการนำกากมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ เช่น การนำกากมันสำปะหลังไปเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์ผลิตเป็นกรดซิตริก (Citric Acid) (สินีนาถ, 2539) ใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์ (Agu et al., 1997) นำไปผลิตเป็นวัตถุดิบในโรงงานไฟฟ้าชีวมวล โดยใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ใช้ทำเป็นก๊าซหุงต้มเป็นก๊าซมีเทนเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อน ใช้ในการเพาะเห็ด ใช้เป็นส่วนผสมในการทำปุ๋ยหมัก เป็นต้น

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง

การวิเคราะห์	ปริมาณ
แป้ง %	59.77
ไนโตรเจน %	0.29
ความชื้น %	0.25
Fe^{2+} (mg/kg)	155
Mn^{2+}(mg/kg)	4
Mg^{2+}(mg/kg)	1,100
Cu^{2+}(mg/kg)	4
Zn^{2+}(mg/kg)	21

ที่มา : จิราภรณ์ (2525)

3.1.1 ลักษณะทั่วไปของกากซิตริก

กากซิตริกที่ได้จากการผลิตกรดซิตริกนั้นจะมีความชื้นสูง ซึ่งมีความชื้นประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 3.0 เมื่อนำมาตากแห้งแล้วพบว่ามีรสเปรี้ยว (สรณัฐ, 2540) เมื่อนำไปวิเคราะห์ทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจากตารางจะเห็นได้ว่า กากซิตริก มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน

ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบของกากซิตริก

โภชนะ %	กากซิตริก [1]	กากซิตริก [2]
วัตถุแห้ง	86.18	91.54
โปรตีน	7.59	8.5
ไขมัน	1.19	1.22
เยื่อใย	14.32	11.4
เถ้า	11.99	18.4
แคลเซียม	0.79	0.84
ฟอสฟอรัส	0.12	0.18

กากซิตริก [1] ศุภมาศ (2538)

กากซิตริก [2] สรณัฐ (2540)

3.1.2 การใช้ประโยชน์จากกากซิตริก

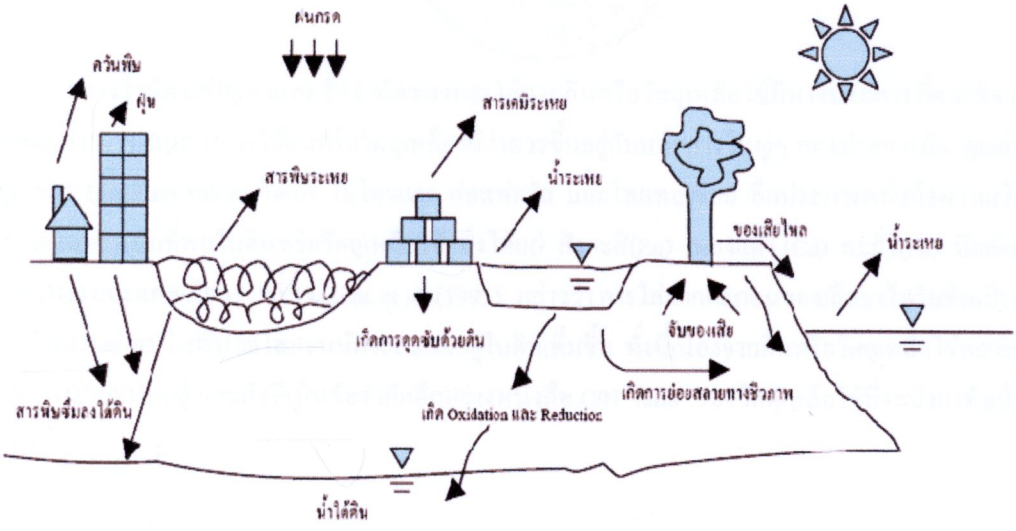
การนำผลพลอยได้ (by product) จากอุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น สุกร โคเนื้อ โคนม และใช้ในการผสมเป็นปุ๋ยหมัก

ศุภมาศ (2538) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการใช้ประโยชน์ได้ของกากซิตริกในสุกรรุ่น พบว่ากากซิตริกนั้นมีการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (digestibility of dry matter) ในสุกรรุ่นเท่ากับ 45.94 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานย่อยได้ เท่ากับ 1,717.11 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม และมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ เท่ากับ 1,648.42 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัมซึ่งจะเห็นได้ว่ากากซิตริกนั้นมีการย่อยได้และค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากกากซิตริกนั้นมีปริมาณเยื่อใย (fiber) ในระดับสูง

สรณัฐ (2540) ได้ทำการศึกษาการใช้ผลพลอยได้ของการผลิตกรดซิตริกจากมันสำปะหลัง (กากซิตริก) ในอาหารสุกร เพื่อเป็นแหล่งพลังงานทดแทนวัตถุดิบหลักคือ ข้าวโพด โดยทำการศึกษาถึงสมรรถภาพการผลิตของสุกรพันธุ์ลาร์จไวท์ระยะรุ่นและขุนจำนวน 48 ตัวพบว่า การให้อาหารที่มีกากซิตริกกึ่งปรับระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ในระยะรุ่นและ 20 เปอร์เซ็นต์ในระยะขุน มีการกินอาหาร ประสิทธิภาพการใช้อาหาร อัตราการเจริญเติบโต พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน เปอร์เซ็นต์เนื้อแดงและความหนาไขสันหลังแตกต่างกับการให้อาหารที่ไม่มีกากซิตริกตลอดการทดลองอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

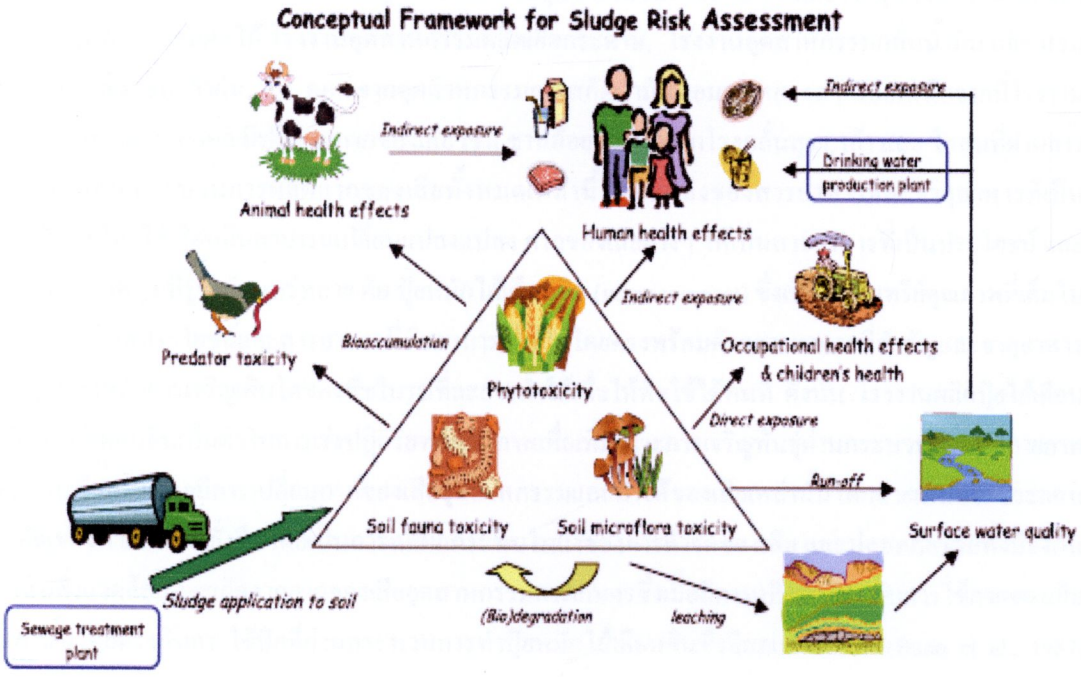
3.2 ผลกระทบจากกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร

กากของเสียจากอุตสาหกรรมการเกษตรสามารถเคลื่อนย้ายและปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมส่วนต่างๆได้ ดังแสดงในภาพที่ 8 แสดงความเชื่อมโยงของผลกระทบของเสีย การโยกย้ายมวลของสารปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดของเสีย ซึ่งจะมีอยู่ทั้งในรูปของแข็ง ของเหลวและก๊าซ ซึ่งเคลื่อนย้ายจากสถานที่หนึ่งไปสู่อีกสถานที่หนึ่งในรูปของเหลว โดยอาศัยการกระจายสู่แหล่งน้ำต่างๆ เช่น แม่น้ำ คลอง น้ำใต้ดิน เป็นต้น และในรูปก๊าซ ซึ่งไหลพัดพากระจายไปทั่วบริเวณโดยอาศัยกระแสลมพัดพาก๊าซเมื่อสารหรือของเสียอันตรายถูกปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน จะเกิดการเคลื่อนย้ายการปนเปื้อนกับน้ำใต้ดิน ทำให้น้ำใต้ดินมีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค ลักษณะระบบน้ำใต้ดินมีความสำคัญมากต่อการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนลงใต้ผิวดิน ซึ่งมีการไหลอยู่ 4 ลักษณะได้แก่ การซึม (Infiltration) การเพิ่มน้ำใต้ดิน (Groundwater Recharge) การไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow) และการไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater Flow) ดังแสดงในภาพที่ 7 (เกรียงศักดิ์, 2546)



ภาพที่ 7 แสดงการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนบนพื้นดิน ในดิน และในอากาศ และการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนในแหล่งน้ำทั่วไป

ที่มา : เกรียงศักดิ์ (2546)



ภาพที่ 8 แสดงความเชื่อมโยงของผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ที่เกิดจากกากของเสียอุตสาหกรรมสู่สิ่งแวดล้อม

ที่มา : Schowanek et al. (2007)

อย่างไรก็ตามปัญหาและข้อจำกัดของการใช้กากอินทรียวัตถุเหลือใช้มีบางประการที่ควรพิจารณา Sommers (1977) แนะนำการใช้อินทรียวัตถุเหลือใช้ว่าควรขึ้นอยู่กับหลักการใหญ่ๆ สองประการคือ คุณค่าทางธาตุอาหาร (fertilizer value) ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อีกประการหนึ่งคือความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักที่พบในอินทรียวัตถุเหลือใช้ ซึ่งได้แก่ สังกะสี(Zn) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว(Pb) นิกเกิล(Ni) ปรอท (Hg) และแคดเมียม (Cd) Tsadilas et al. (1995) กล่าวว่า การใส่กากตะกอนของเสียลงไปในดินเป็นเวลาติดต่อกันนานๆ พบว่าปริมาณโลหะหนักจะสะสมอยู่ในดินเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอินทรียวัตถุเหลือใช้หลายชนิดมีโลหะหนักปะปนอยู่ และสิ่งที่เป็นข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่งคือ C/N ratio ของวัสดุเหลือใช้ที่จะนำมาทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์

4. การจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรโดยใช้เทคโนโลยีไส้เดือนดิน (Vermitechnology)

การจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรโดยเทคโนโลยีไส้เดือนดิน (Vermitechnology) เป็นการนำไส้เดือนดินมาใช้ในการจัดการกากของเสียเป็นกระบวนการนำไส้เดือนดินมาใช้ให้เกิดประโยชน์ส่งผลให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพของกากของเสียโดยวิธีต่างๆ ดังนี้การผลิตอุตสาหกรรมเกษตรมีปริมาณกากของเสียในปริมาณสูงมาก เช่น กากอุตสาหกรรมกระดาษ ของเสียจากอุตสาหกรรมนม ของเสียจากอุตสาหกรรมผลไม้ โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ, โรงงานอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน และ ส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ลำต้น, ใบ, ดอก จากอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันหอมระเหย ฯลฯ นอกเหนือจากนี้โรงงานน้ำตาล และ แอลกอฮอล์ มีปริมาณกากของเสีย เช่น ชานอ้อย กากส่าจากโรงกลั่นสุรา, เถ้า และ โคลนที่ผ่านการหมักยีสต์จากกระบวนการผลิตกากของเสียทั้งหมดเหล่านี้ เป็นแหล่งของสารอาหารและธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ โดยไส้เดือนดินสามารถเปลี่ยนแปลงแปลง กากของเสียต่างๆ ให้เป็นสารอาหารที่เป็นประโยชน์ และปุ๋ยที่มีคุณภาพสูง ที่รู้จักกันแพร่หลาย คือ ปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (vermicompost) ซึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพที่เต็มไปด้วยจุลินทรีย์ที่ประโยชน์และสารอาหารที่พืชสามารถใช้ได้โดยตรงพร้อมด้วยสารอาหารที่สำคัญและธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชในรูปที่ละลายน้ำได้เพื่อให้พืชใช้ได้ทันที ดังนั้น โรงงานผลิตปุ๋ยไส้เดือนดินโดยไส้เดือนดินเป็นตัวในการเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพเพื่อเพิ่มภาวะการเจริญพันธุ์ผ่านกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยมีการเปลี่ยนกากของเสียอุตสาหกรรมและทำให้ของเสียเหล่านั้นได้กลายเป็นองค์ประกอบสำคัญของทำเกษตรที่ยั่งยืน โดยเป็นการลดผลกระทบในแง่ของการกำจัดของเสีย และปลอดภัยร่วมทั้งป้องกันมลพิษสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดจากกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรซึ่งเมื่อมีการเปรียบเทียบกับการใช้กากของเสียเหล่านั้นโดยตรงกับการใช้ปุ๋ยที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินซึ่งมีผลแตกต่างกัน(Bano et al., 1987, Bhawalkar, 1992)

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอนที่มีการใช้ไส้เดือนดิน ในตำรับการทดลองแบบต่างๆ

Treatment*	pH		C_{org} (g kg^{-1})		N_{tot} (g kg^{-1})	
	compost	vermi	compost	vermi	compost	vermi
T1	7.6±0.03	6.7±0.30	266.4±2.8	249.7±4.8	6.39±0.09	13.5±0.30
T2	7.4±0.03	7.5±0.43	274.7±4.5	225.4±2.6	7.14±0.10	17.6±0.47
T3	7.3±0.07	7.3±0.12	264.1±3.8	206.0±3.1	8.47±0.23	20.3±0.35
T4	7.2±0.05	7.8±0.38	274.7±3.7	247.1±1.6	9.99±0.30	20.5±0.95
Treatment	$C:N_{ratio}$ (g kg^{-1})		P_{avail} (g kg^{-1})		K_{exch} (g kg^{-1})	
	compost	vermi	compost	vermi	compost	vermi
T1	41.7±0.86	19.5±0.38	14.0±0.05	29.6±0.52	8.63±0.18	20.4±1.5
T2	38.5±0.48	14.9±0.66	21.0±0.25	37.8±0.66	8.68±0.14	24.1±1.3
T3	31.2±1.3	10.1±0.31	26.3±0.30	43.6±1.5	8.82±0.54	20.9±0.67
T4	27.5±1.1	12.1±0.46	26.5±0.31	31.2±1.5	8.89±0.05	17.1±0.68
Treatment	Ca_{exch} (g kg^{-1})		Mg_{exch} mg kg^{-1}			
	compost	vermi	compost	vermi		
T1	33.8±0.20	68.8±1.4	28.3±0.16	39.0±0.81		
T2	38.5±0.67	82.8±1.2	30.7±0.19	46.0±0.97		
T3	41.70±0.48	66.0±0.71	39.5±0.36	55.2±0.90		
T4	45.82±0.21	66.4±1.0	40.7±0.19	45.6±1.48		

ที่มา : Suthar และ Singh (2008)

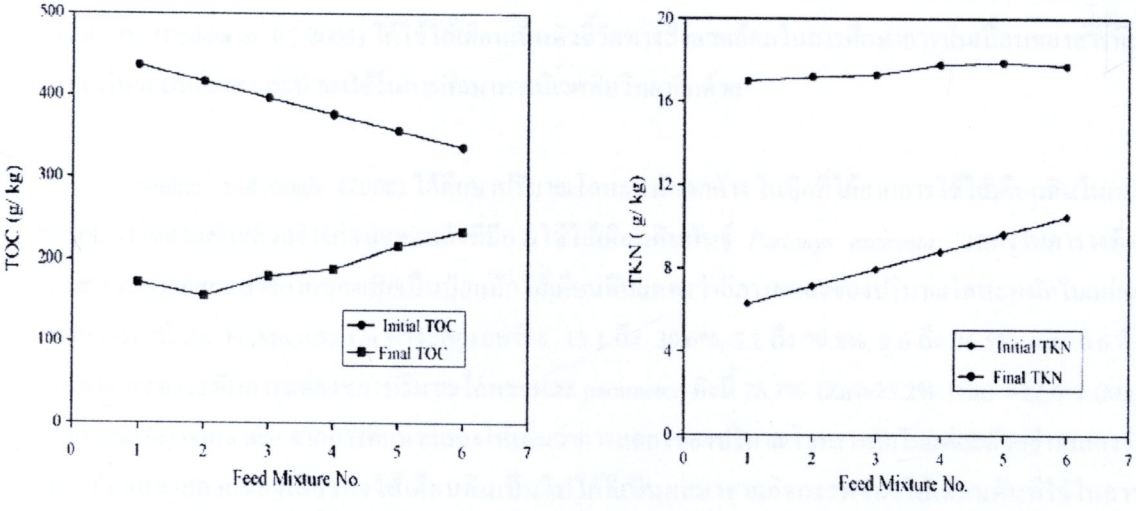
* T1 = DS (Distillery sludge) (20%) + CD (Cow dung) (80%), T2 = DS (Distillery sludge) (40%) + CD (Cow dung) (60%), T3 = DS (Distillery sludge) (60%) + CD (Cow dung) (40%), T4 = DS (Distillery sludge) (20%) + CD (Cow dung) (20%)

4.2 Vermistabilization

การใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากของเสียทำให้อินทรียวัตถุมีความเสถียรภาพ (Stabilization of organic matter) จะใช้คำว่า "Vermistabilization" (Neuhauser, 1988) การใช้ไส้เดือนดินในการจัดการสารปนเปื้อนมลพิษในดินและการผลิตปุ๋ยหมักจากไส้เดือนดิน (Vermicomposting) (Garg, 2005 ,Kaushik, 2003 และ Bansal, 2000) ไส้เดือนดินสามารถเร่งกระบวนการย่อยสลายซากอินทรียวัตถุเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยที่มีคุณภาพสูงมีผลที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการเปรียบเทียบกับการผลิตปุ๋ยประเภทอื่น (Ndegwa, 2001) ในระหว่างที่มีการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินที่มีการทำปุ๋ยหมัก ไส้เดือนดินจะกินซากอินทรีย์เข้าทางปาก แล้วมีการบด และการย่อยสลายโดยมีแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายในลำไส้ และหลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนรูปของ

ซากอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเช่นสารฮิวมัส ธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืช (Maboeta, 2003) ปุ๋ยที่ผลิตออกมาจากการใช้ไส้เดือนดินโดยทั่วไป จะมีความเสถียรภาพและเป็นเนื้อเดียวกัน (Aranda et al, 1999) จากกระบวนการนี้แสดงว่ามีความสำคัญต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารของพืช เช่น N, P, K, Ca, และอื่นๆ กากตะกอนของเสียสามารถเปลี่ยนรูปเป็น สารที่สามารถละลายน้ำได้ และเป็นประโยชน์ต่อพืช (Ndegwa, 2001)

Gupta and Garg (2008) ได้ศึกษาความมีเสถียรภาพของปุ๋ยหมักไส้เดือนดินโดยใช้กากตะกอนน้ำเสียระยะแรกโดยใช้ไส้เดือนพันธุ์ *Eisenia foetida* ในการศึกษาการประเมินค่าของ Vermistabilization ของกากตะกอนน้ำเสียระยะแรก (PSS) และมูลวัว (CD) ที่ผสมกันในระยะเวลา 15 สัปดาห์ สรุปว่า ในทุกๆ ส่วนผสมระหว่าง PSS กับ CD มีค่าลดลงในพารามิเตอร์ pH, TOC และ C:Nส่วนพารามิเตอร์ EC, TKN,TKและTP มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากมีการหมักโดยใช้ไส้เดือนดิน ขณะการเจริญเติบโตสูงสุดในส่วนผสม 30% PSS+70%CD แสดงว่าและปริมาณของค่า C:N (ดังแสดงในภาพที่ 9) ค่าที่ลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากไส้เดือนใช้คาร์บอนในกิจกรรมของมวลชีวภาพ (worm biomass) ค่า C:N ratio ที่ลดต่ำลงเรื่อยๆ หลังวันที่ 20 แสดงให้เห็นว่าอินทรียวัตถุที่ได้จากการย่อยสลายโดยวิธี Vermicomposting มีความเสถียรภาพ (Stabilization) และส่งผลให้ระดับความอุดมสมบูรณ์เป็นที่น่าพอใจของอินทรียวัตถุ (Senesi, 1989) ค่า C:N ratio ในสภาพฟาร์มปศุสัตว์ทั่วไปจะมีการลดลงภายหลังที่มีการสะสมในระยะเวลา 3 เดือน (Levi-Minzi, 1986) จากการทดลองการลดลงของ ค่า C:N ratio ในช่วงของการสังเกตทุก 21 วัน จะมีการลดลงอย่างมากของการทำปุ๋ยหมัก แสดงว่า ไส้เดือนดินมีหน้าที่ในการย่อยสลายที่รวดเร็ว และมีอัตราในการเปลี่ยนรูปธาตุอาหาร (mineralization) ของอินทรียวัตถุ (ดังแสดงในตารางที่ 5)



ภาพที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่า TOC และ TKN ในเวลาตั้งต้นและสิ้นสุดการทดลองในแต่ละตัวอย่างที่มีกากตะกอนน้ำเสียระยะแรก (PSS) และมูลวัว (CD) ที่ผสมกัน

ที่มา : Gupta and Garg (2008)

ตารางที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า C:N ratio ของการใช้ Vermicomposting ในแต่ละตำรับการทดลอง

Vermireactor number	Time (day)					
	0	21a	42	63	84	105
1	69.3f	60.1f	45.4f	33.6d	18.5c	10.2ab
2	58.4e	51.8e	36.2e	28.7c	13.3a	9.1a
3	49.7d	43.3d	32.8d	22.3b	16.8b	10.4ab
4	42.8c	36.5c	25.8b	18.5a	13.1a	12.1c
5	36.9b	33.4b	22.4a	21.5b	13.6a	12.1c
6	32.1a	29.7a	27.5c	19.2a	16.9b	13.5d

No. 1: 1000 g CD+ earthworms, **No. 2**: 900 g CD+ 100 g PSS + earthworms, **No. 3**: 800 g CD+ 200 g PSS + earthworms, **No. 4**: 700 g CD+ 300 g PSS + earthworms, **No. 5**: 600 g CD+ 400 g PSS + earthworms, **No.6**: 500 g CD+ 500 g PSS + earthworms (ANOVA; Tukey's t-test, $P<0.05$) [a] เริ่มทำการศึกษาหลังจากใส่ไส้เดือนแล้ว 21 วัน ที่มา : Gupta and Garg (2008)

4.3 Vermi-bioindicator

ชุลีมาศและคณะ (2549) ได้ศึกษา การนำไส้เดือนดินมาใช้ในการจัดการกากตะกอนของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรและการใช้ไส้เดือนดินซึ่งเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดินเป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพของมลพิษ (bio-indicator) และความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และ (Prabha et al., 2005) ได้ใช้ไส้เดือนเป็นตัวชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมในการศึกษาการปนเปื้อนของสารพิษวิทยาในระบบนิเวศ และนำมาใช้ในการศึกษาทางนิเวศพิษวิทยาอีกด้วย

Suthar and Singh (2008) ได้ศึกษาปริมาณโลหะหนักตกค้าง ในปุ๋ยที่ได้จากการใช้ไส้เดือนดินในการย่อยสลายของแต่ละตัวอย่างก่อนและหลังที่มีการใช้ไส้เดือนดินพันธุ์ *Perionyx excavatus* แสดงในตารางที่ 6 กระบวนการย่อยสลายกากของเสียเป็นปุ๋ยหมักไส้เดือนดินแสดงว่ามีการลดลงของปริมาณโลหะหนักในแต่ละตัวอย่างดังนี้ Zn, Fe,Mn และ Cu ค่าจะอยู่ระหว่าง 15.1 ถึง 39.6%, 5.2 ถึง 29.8%, 2.6 ถึง 36.5%, และ 8.6 ถึง 39.6% แสดงระดับการลดลงของปริมาณโลหะแต่ละ parameter ดังนี้ 28.7% (Zn)>25.2% (Cu) >22.6% (Mn) >20.4% (Fe) ตามลำดับ จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการลดลงของปริมาณโลหะหนักในแต่ละตัวอย่างแสดงว่าการย่อยสลายกากของเสียของไส้เดือนดินเป็นไปได้ดีเป็นผลมาจากกิจกรรมของไส้เดือนดินที่ใช้ในการเจริญเติบโตและไส้เดือนดินสามารถที่จะสะสมปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อของไส้เดือนดินแสดงในตารางที่ 7 ถ้าเพิ่มระยะเวลาในการย่อยสลายในดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก (Hartensein and Hartenstein, 1981; Gupta et al., 2005; Suthar et al.,2008) และจากข้อมูลนี้สามารถที่จะประยุกต์ใช้ในการจัดการกากของเสียที่เป็นพิษและมีการปนเปื้อนของปริมาณโลหะหนักไม่ใช่แก่จะเพิ่มธาตุอาหารแต่พืชเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังคงสามารถประเมินผลกระทบความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนสารพิษอีกด้วย

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณโลหะหนักในระยะเริ่มต้นและระยะสุดท้ายของการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicomposting) ในตำรับการทดลองที่แตกต่างกัน

Treatment*	Zn-total		Fe-total		Mn-total		Cu-total	
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
T_1	228.1±6.2	174.1±2.0	332.5±4.1	233.5±3.9	235.8±4.5	160.3±2.8	35.1±2.8	21.2±0.5
T_2	335.7±5.3	241.1±5.3	405.4±4.6	291.1±2.3	262.5±3.1	166.7±4.0	38.4±1.8	28.8±1.2
T_3	368.2±7.2	249.2±6.3	458.0±5.8	373.2±6.2	295.8±5.3	238.7±3.6	41.1±2.8	29.8±0.9
T_4	430.0±6.2	365.3±2.9	512.2±7.7	485.8±3.6	431.9±3.9	420.5±2.8	44.0±2.7	40.2±0.6
ANOVA								
F		317.6		665.7		1420.7		124.8
P		<0.001		<0.001		<0.001		<0.001

ที่มา : Suthar และ Singh (2008)

ตารางที่ 7 แสดงปริมาณโลหะหนักที่สะสมในเนื้อเยื่อของไส้เดือนดินในตำรับการทดลองที่แตกต่างกันเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

Treatment*	Zn-total	Fe-total	Mn-total	Cu-total
T_1	107.0±17.2a	83.7±4.7a	49.7±3.9a	16.3±1.5a
T_2	128.3±13.6a	113.3±6.1a	66.0±3.1ab	18.0±1.5a
T_3	122.3±1.8a	150.3±11.4b	68.0±6.0ab	16.7±1.5a
T_4	97.0±6.7a	111.7±6.7a	80.3±2.4b	20.3±1.8a

(ANOVA; Tukey's t-test, $P<0.05$) หน่วยเป็น mg kg^{-1}

ที่มา : Suthar และ Singh (2008)

* T1 = DS (Distillery sludge) (20%) + CD (Cow dung) (80%), T2 = DS (Distillery sludge) (40%) + CD (Cow dung) (60%), T3 = DS (Distillery sludge) (60%) + CD (Cow dung) (40%), T4 = DS (Distillery sludge) (20%) + CD (Cow dung) (20%)

5. ประโยชน์ของการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรโดยใช้เทคโนโลยีไส้เดือนดิน (Vermitechnology)

5.1 แนวทางการนำไส้เดือนดินมาใช้ประโยชน์

นำมาย่อยสลายขยะอินทรีย์และเศษอาหารจากบ้านเรือนเพื่อผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินนำมาใช้ในการเกษตรลด ต้นทุนการซื้อปุ๋ยเคมี นำมาใช้เลี้ยงสัตว์เนื่องจากมีปริมาณเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่สูงมากช่วย ลดค่าใช้จ่ายในค่าอาหารสัตว์ ใช้ฟื้นฟูสภาพดินที่เสื่อมโทรมเช่นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และเหมืองแร่เก่า ใช้เป็นดัชนีทางสิ่งแวดล้อมในการตรวจสอบธาตุโลหะหนักและสารเคมีที่ปนเปื้อน จากการเกษตรในดิน ใช้เป็นอาหาร ยาบำบัดโรค ยาบำรุงทางเพศ หรือใช้เป็นวัตถุดิบในวงการเภสัชกรรม และเครื่องสำอางค์ ใช้เป็นดัชนีทางสิ่งแวดล้อมในการตรวจสอบธาตุโลหะหนัก และการปนเปื้อนของสารเคมีทางการเกษตรในดิน

5.2 บทบาทด้านที่เป็นประโยชน์ของไส้เดือนดิน

ช่วยพลิกกลับดิน นำดินด้านล่างขึ้นมาด้านบนโดยการกินดินที่มีแร่ธาตุบริเวณด้านล่างและถ่ายมูลบริเวณผิวดินด้านบน ช่วยให้เกิดการผสมคลุกเคล้าแร่ธาตุในดิน นำแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในชั้นใต้ดินขึ้นมาด้านบนให้พืชดูดนำไปใช้ได้ ช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน ซากพืช ซากสัตว์ และอินทรียวัตถุต่างๆ ทำให้ธาตุต่างๆ อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ไนโตรเจน ในรูปแอมโมเนียและไนเตรท และอีกหลายชนิด รวมทั้งสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชและวิตามินจะถูกปลอดปล่อยออกมาด้วย ช่วยเพิ่มและแพร่กระจายจุลินทรีย์ในดินที่มีประโยชน์ต่อพืช เช่น ไรโซเบียม ไมคอร์ไรซา ในบริเวณรากพืช การชอนไชของไส้เดือนดินทำให้ดินร่วนซุย การถ่ายเทน้ำและอากาศดี ดินอุ้มน้ำได้ดีขึ้น เพิ่มช่องว่างในดินทำให้รากพืชชอนไชได้ดี

5.3 ข้อดีของวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินสามารถช่วยเก็บความชื้นและปลดปล่อยออกมาให้พืชอย่างช้าๆ เมื่อพืชต้องการยืดระยะเวลาการให้น้ำแก่พืชได้นานขึ้นกรณีใช้ผสมดินที่เป็นดินเหนียวจะช่วยเพิ่มอากาศในดินทำให้ดินร่วนซุยและช่วยในการถ่ายเทน้ำและอากาศได้สะดวกกรณีผสมดินที่เป็นดินทรายจะช่วยเพิ่มเนื้อดินช่วยให้ดินเก็บรักษาความชื้นและธาตุอาหารในดิน ลดการชะล้างธาตุอาหารของน้ำลดปัญหาการสลายตัวของธาตุอาหารเป็นตัวปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆทำให้ประหยัดปุ๋ย ปกป้องดินไม่ให้มีสภาพโครงสร้างแน่นเข็งและช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุในเนื้อดินช่วยให้ดินร่วนซุย รากพืชสามารถแพร่ขยายได้กว้าง ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะมีส่วนประกอบของกรดฮิวมิคซึ่งเป็นตัวกักเก็บธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชหลายชนิด เช่น ฟอสฟอรัส(P), โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca), เหล็ก (Fe) และทองแดง (Cu) ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้จะถูกเก็บอยู่ในโมเลกุลของกรดฮิวมิคอยู่ในรูปพร้อมใช้และจะถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อพืชต้องการ