เทคโนโลยีไส้เดือนดินกับการจัดการของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร

Vermitechnology In Agro-industrial Waste Management

นันทวุฒิ จำปางาม

Nuntawut Jampangam

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

Faculty of Public Health, Eastern Asia University

บทคัดย่อ

ปัจจุบันกากของเสียจากอุตสาหกรรมการเกษตรในประเทศไทย เป็นปัญหาที่ต้องการจัดการแก้ไข การหาแนวทางในการจัดการกากของเสียและการนำกลับมาใช้ประโยชน์ เพื่อเป็นการลดปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรสู่สิ่งแวดล้อม การใช้เทคโนโลยีไส้เดือนดิน เป็นแนวทางการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรม โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมและใช้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำ และการจัดการโดยการใช้สิ่งที่มีในท้องถิ่นจัดการกากของเสียกากอินทรีย์ โดยให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เพื่อลดปัญหาภาวะโลกร้อน และเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และสิ่งมีชีวิตในดิน เทคโนโลยีไส้เดือนดิน เป็นการเปลี่ยนแปลงการย่อยสลายกากตะกอนของเสีย ส่งผลทำให้เกิด (1) Vermicompost เป็นกระบวนการของกิจกรรมไส้เดือนดินที่มีความรวดเร็วเมื่อมีการเปรียบเทียบกับการทำปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ ในวิธีการจะใช้ระยะเวลาที่สั้นและเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่มีคุณภาพดีพร้อมที่จะเป็นประโยชน์แก่พืช (2) Vermistabilization การคงอยู่ของปริมาณโลหะหนักในตัวของไส้เดือนดินและการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากของเสียทำให้อินทรียวัตถุมีความเสถียรภาพมีความสำคัญต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารให้พืชและ (3) Vermi-bioindicator ไส้เดือนดินยังสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพในดินที่มีการปนเปื้อนสารพิษได้และสามารถประเมินผลกระทบความเสี่ยง ต่อสิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนสารพิษได้

คำสำคัญ: เทคโนโลยีไส้เดือนดิน, การทำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน, การสะสมโลหะหนักในไส้เดือนดิน, ตัวชี้วัดทางชีวภาพ, กากของเสียอุตสาหกรรมเกษตร

Abstract

In present time, the sludge waste agro-industrial,s management need to be improved in Thailand. The study method is managing and recycling of agro- industrial waste by vermitechnology. This method in agro-industrial waste management is more economically suitable by using vermitechnology managed waste for a healthy quality and less impact of environment for dececreasing global warming and increasing organic matter content and availability of plant nutrient and microorganism in soil. Vermitechnology, a technique of converting decomposable organic sludge waste into is process (1) Vermicomposting, by through earthworm activity is faster and better process when compare with the conventional methods of composting. Within a very short period, a good quality compost rich to available to plant. (2) Vermistabilization, a heavy metal stabilized in earthworm tissue and stabilization of organic matter.

The compost product by earthworm is stabilized its important to release nutrient to plant and (3) Ver-bioindicator , earthworm is bioindicator in soil conterminant pollution and risk assessment for environmental impact.

Keywords: vermitechnology, vermicomposting, vermistabilization, ver-bioindicator, agro-industrial wast

บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม วัตถุดิบส่วนใหญ่เป็นผลผลิตทางการเกษตร อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ในประเทศไทย คือ อุตสาหกรรมการเกษตร โดยกากของเสียอุตสาหกรรมที่เป็นของเสียรวมทั้งประเทศมีประมาณ 10,243,396.52 ตันต่อปี ประกอบไปด้วยกากของเสียที่เป็นอันตราย 1,558,743.23 ตันต่อปี และกากของเสียที่ไม่เป็นอันตราย 8,684,653.21 ตันต่อปี จากปริมาณกากของเสียที่เพิ่มขึ้นทุกๆปีส่งผลให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันมีการหาแนวทางในการจัดการกากของเสียและการนำมาใช้ประโยชน์ เพื่อเป็นการลดปริมาณกากของเสียสู่สิ่งแวดล้อม การศึกษาหาแนวทางการจัดการกากตะกอนโดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมและใช้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำ และเน้นการจัดการโดยการใช้สิ่งที่มีอยู่แล้วในท้องถิ่นจัดการกากของเสียอินทรีย์โดยให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เพื่อลดปัญหาภาวะโลกร้อน เป็นการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและสิ่งมีชีวิตในดินวิธีการดังกล่าว คือ การใช้เทคโนโลยีไส้เดือนดินในการจัดการกากตะกอนของเสีย อินทรีย์จากอุตสาหกรรมการเกษตร (อาณัฐ ตันโช, 2549)

Vermitechnology เป็นการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากเหลือทิ้งจากกิจกรรมต่าง ๆ เทคโนโลยีนี้เป็นวิธีการพัฒนา ดัดแปลง และการผลิตโดยใช้ไส้เดือนดินเป็นเครื่องในการจัดการกากสิ่งเหลือทิ้ง (Jensen, 1998) จากแนวทางการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการ เป็นวิธีการที่ใช้ความรู้พื้นฐาน โดยใช้ไส้เดือนดินเป็นตัวย่อยสลายอินทรียวัตถุ เศษเหลือทิ้งต่าง ๆ จากแนวทางของกระบวนการนี้ไส้เดือนดินสามารถย่อยสลายอินทรียวัตถุบริเวณผิวหน้าดินทั้งทางด้านลึกและบริเวณรอบ ๆ ได้ประมาณ 50 เซนติเมตร ไส้เดือนดินจะสามารถย่อยสลายอินทรียวัตถุได้ดีกว่าวิธีอื่น เนื่องจากวิธีการอื่น การย่อยสลายอินทรียวัตถุโดยทั่วไปจะอยู่บริเวณด้านบนของผิวดินและจะมีประสิทธิภาพต่ำ (Edwards, 1998) เนื่องจากบริเวณผิวหน้าดินจะมีการสูญเสียธาตุอาหาร โดยวิธีการระเหย (volatisation) และการชะล้าง (leaching) (Edwards, 1999) Vermitechnology เป็นการใช้เทคโนโลยีทางชีวภาพ โดยใช้ไส้เดือนดินจัดการกากของเสียที่เป็นกากอินทรียวัตถุ และเป็นแหล่งปลดปล่อยธาตุอาหารต่อทรัพยากรต่าง ๆ ในธรรมชาติ การใช้ไส้เดือนดินในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ เศษเหลือทิ้งต่าง ๆ ยังช่วยในกระบวนการจัดการกากของเสียเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยหมักทางชีวภาพ และสารอาหารจำพวกโปรตีน (Prabha et al., 2005) ดังนั้น การใช้ Vermitechnology เป็นผลให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสามารถเปลี่ยนกากของเสีย เศษเหลือทิ้งเป็นธาตุอาหาร หรือสารอาหารที่เป็นประโยชน์ได้ และยังมีความสำคัญต่อการทำการเกษตรอย่างยั่งยืนอีกด้วย (Lal, et al., 2003)

สัตว์ในดินมีความสำคัญในการช่วยเพิ่มธาตุอาหารในดิน ปุ๋ย และการเกิดกระบวนการเกิดฮิวมัสในดิน (humification) ซึ่งไส้เดือนดินจะมีบทบาทสำคัญในกระบวนการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศ (Tripathi & Bhardway, 2004) ไส้เดือนดินจะสามารถกินอินทรียวัตถุได้ดี และใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายอิทรียวัตถุประมาณ 2-5 วัน หลังจากนั้นไส้เดือนดินจะใช้อินทรียวัตถุในการเจริญเติบโตเพียง 5-10% ของอินทรียวัตถุที่กินไปเท่านั้น และส่วนที่เหลือออกมาจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุ คือ ธาตุอาหาร และวิตามิน ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง (Ismail, et al., 2004)

ดังนั้นสิ่งที่ไส้เดือนขับถ่ายออกมาคือ Vermicasts (ขุย) เป็นแหล่งที่ให้ปุ๋ยที่มีคุณภาพที่ดีมาก และไส้เดือนดินยังสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช การจัดการกากของเสีย เศษเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยการใช้เทคโนโลยีไส้เดือนดิน เข้ามาจัดการกากของเสีย โดยใช้วิธี Vermicomposting คือการนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน

(Suthar, 2007) การเลี้ยงไส้เดือนดินเพื่อการกำจัดกากตะกอนกำจัดขยะต่าง ๆ เหล่านี้ ได้เป็นอย่างดีเนื่องจากมีวัตถุดิบที่เกิดจากกระบวนการผลิตอยู่ทุกวันโดยไม่ต้องนำมาจากแหล่งอื่น ๆ ซึ่งเป็นการกำจัดขยะกากของเสียที่ไม่สูญเสียค่าใช้จ่ายสูงและไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนด้วย การนำกากของเสียมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรโดยการทำเป็นปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (อาณัฐ ตันโช, 2549) เนื่องจากการทำปุ๋ยโดยใช้กากของเสีย สามารถผลิตปุ๋ยหมักที่คุณภาพดี และไม่มีผลกระทบจากโลหะหนักในกากตะกอนและลดปริมาณโลหะหนักลง และค่าที่ได้จากการศึกษาโลหะหนักเป็นค่าที่ยอมรับได้ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Khwairakpam & Bharagava, 2008) การผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้ไส้เดือนดิน (vermicomposting) ไส้เดือนก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปของกากตะกอนอินทรีย์ทำให้มีความคงรูปอยู่ได้ และได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพที่ดี (Suthar, 2007) นอกจากนี้การนำไส้เดือนดินมาใช้ในการจัดการกากตะกอนของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นประโยชน์และไส้เดือนดินเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดินที่นำมาใช้เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพ (bio-indicator) ของมลพิษและความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ชุลีมาศและคณะ, 2549)

กากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร

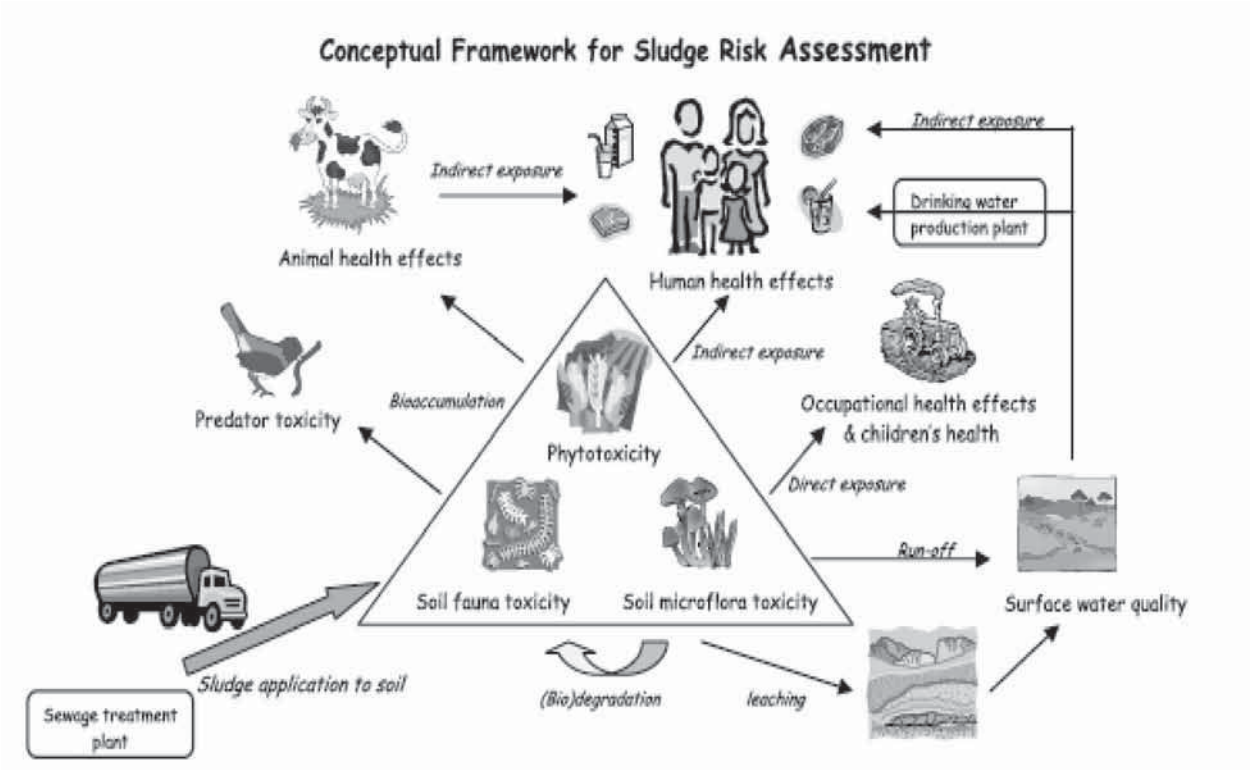
กากตะกอน (sludge) หมายถึงของแข็ง (ที่ยังมีน้ำปน) ที่แยกออกมาจากน้ำหรือน้ำเสียและจะสะสมอยู่เบื้องล่าง หรือของแข็ง (ที่ยังมีน้ำปน) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการบำบัดโดยวิธีทางเคมีและตกตะกอน หรือกลุ่มจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา (สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540) กากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร คือ ส่วนของตะกอนที่เกิดจากระบบการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ถ้าไม่มีการบำบัดที่ถูกต้อง น้ำเสียที่ออกมาจากโรงงาน อุตสาหกรรมโดยไม่มีการบำบัดที่เหมาะสมในการกำจัดสิ่งสกปรกออกเสียก่อนจะทำให้เกิดมลพิษได้ ซึ่งแหล่งของปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดน้ำเสียนั้นมีส่วนมาจากสารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่นโปรตีน ไขมัน และน้ำตาล ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถย่อยสลายได้ง่ายและยังพบว่าสามารถนำไปใช้เป็นอาหารจุลินทรีย์

Cecil & Tester (1990) และ Tsadilas, et al. (1995) รายงานว่า การใส่กากตะกอนของเสียที่ได้จากโรงงานบำบัดน้ำเสียที่เมือง Larissa ประเทศกรีซ (เป็นกากตะกอนของเสียที่บำบัดเป็นครั้งที่ 2) ลงในดินกรด ซึ่งมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) เป็น 4.86 พบว่าสามารถเพิ่มค่าความเป็นกรดด่างปริมาณอินทรียวัตถุ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดิน

Yoneyama & 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

ผลกระทบจากกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร

กากของเสียจากอุตสาหกรรมการเกษตรสามารถเคลื่อนย้ายและปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมส่วนต่าง ๆได้ ดังแสดงในภาพที่ 2 แสดงความเชื่อมโยงของผลกระทบของเสีย การโยกย้ายมวลของสารปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดของเสีย ซึ่งจะมีอยู่ทั้งในรูปของแข็งของเหลวและก๊าซ ซึ่งเคลื่อนย้ายจากสถานที่หนึ่งไปสู่อีกสถานที่หนึ่งในรูปของเหลว โดยอาศัยการกระจายสู่แหล่งน้ำต่าง ๆ เช่น แม่น้ำ คลอง น้ำใต้ดิน เป็นต้น และในรูปก๊าซ ซึ่งไหลพัดพากระจายไปทั่วบริเวณโดยอาศัยกระแสลมพัดพาก๊าซเมื่อสารหรือของเสียอันตรายถูกปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน จะเกิดการเคลื่อนย้ายการปนเปื้อนกับน้ำใต้ดิน ทำให้น้ำใต้ดินมีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค ลักษณะระบบน้ำใต้ดินมีความสำคัญมากต่อการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนลงใต้ผิวดิน ซึ่งมีการไหลอยู่ 4 ลักษณะได้แก่ การซึม (infiltration) การเพิ่มน้ำใต้ดิน (groundwater recharge) การไหลใต้ผิวดิน (subsurface flow) และการไหลของน้ำใต้ดิน (groundwater flow) (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน, 2546)



ภาพ 1 ความเชื่อมโยงของผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่าง ๆ ที่เกิดจากกากของเสียอุตสาหกรรมสู่สิ่งแวดล้อม

ที่มา. จาก Probabilistic risk assessment for linear alkylbenzene sulfonate (LAS) in sewage sludge used on agricultural soil โดย Schowanek, D., David, H., Francaviglia, R., Hall, J., Kirchmann, H., Krogh, H., Schraepen, K., Smith, S., & Wildemann, T., 2007, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, *49*(1), 245-259.

อย่างไรก็ตามปัญหาและข้อจำกัดของการใช้กากอินทรียวัตถุเหลือใช้ก็มีอยู่บ้าง Sommers (1977) แนะนำการใช้อินทรียวัตถุเหลือใช้ว่าควรขึ้นอยู่กับหลักการใหญ่ ๆ สองประการคือ คุณค่าทางธาตุอาหารหลัก (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 การใส่กากตะกอนของเสียลงไปในดินเป็นเวลาติดต่อกันนาน ๆ พบว่าปริมาณโลหะหนักจะสะสมอยู่ในดินเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอินทรียวัตถุเหลือใช้หลายชนิดมีโลหะหนักปะปนอยู่ และสิ่งที่เป็นข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่งคือ C/N ratio ของวัสดุเหลือใช้ที่จะนำมาทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์

การจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรโดย Vermitechnology

การจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรโดย Vermitechnology เป็นการนำไส้เดือนดินมาใช้ในการจัดการกากของเสียเป็นกระบวนการนำไส้เดือนดินมาใช้ให้เกิดประโยชน์ส่งผลให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพของกากของเสียโดยวิธีต่าง ๆ ดังนี้

Vermicomposting

คือ กระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพอย่างง่ายของส่วนผสมอินทรีย์โดยใช้ไส้เดือนดินในการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกากของเสียและผลิตสารที่เป็นประโยชน์ออกมาโดยกระบวนการผลิตปุ๋ยโดยไส้เดือนจะมีความแตกต่างจากการผลิตปุ๋ยชนิดอื่น (Gandhi, et al., 1997) Vermicomposting เป็นกระบวนการที่มีความสมดุลของความชื้น โดยมีกิจกรรมการใช้ประโยชน์ของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก และไส้เดือนดินจะมีกิจกรรมได้ดีที่อุณหภูมิ

ที่ 10-32 องศาเซลเซียส ที่อยู่บริเวณรอบ ๆ ซากอินทรียวัตถุ กระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วกลายเป็นปุ๋ยเพราะว่าจะมีการย่อยสลายอินทรียวัตถุภายในลำไส้ของไส้เดือนดินและสารอินทรีย์ที่ไส้เดือนดินขับถ่ายออกมาเป็นประโยชน์อย่างมากต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ และควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยมีผู้กล่าวว่าไส้เดือนดินจะเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุไปเป็นธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์เหมือนดั่งเปลี่ยนเป็นทองที่มีค่าสำหรับธาตุอาหารของพืช (Vermi Co, 2001; Crescent, 2003)

ความสำคัญของ Vermicomposting สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก และไส้เดือนดิน มีความสำคัญในกระบวนการทางชีวภาพ ช่วยให้ธรรมชาติเกิดความสมดุล และมีส่วนสำคัญในการเปลี่ยนแปลงแร่ธาตุในระบบนิเวศ และช่วยในการย่อยสลาย ลดขนาดเศษอินทรียวัตถุ ในธรรมชาติในบริเวณที่ไม่มีกิจกรรมการเพาะปลูกจะมีจำนวนประชากรของไส้เดือนจำนวนมากจึงชี้ให้เห็นว่า จำนวนประชากรของไส้เดือนดินที่ลดลง เป็นผลมาจากสภาพความเสื่อมโทรมของดิน ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้ไส้เดือนดินเป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพของมลพิษ (bio-indicator) และความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดิน (Wani, 2002) ไส้เดือนดินจะกินกากของเสีย เศษอินทรียวัตถุ ทั้งเศษซากไม้ ใบไม้ มูลสัตว์ ฯลฯ และสามารถขับถ่ายสารอินทรีย์ออกมาได้ประมาณ 40-60 % ไส้เดือนดินโดยทั่วไปจะมีน้ำหนักตัวประมาณ 0.5-0.6 กรัม ไส้เดือนดินจะกินซากอินทรีย์เท่ากับน้ำหนักตัวของมัน และจะผลิตสารอินทรีย์ที่เป็นขุย (casting worm) ออกมาประมาณ 50 % ของที่กินเข้าไปในแต่ละวัน

Suthar & Sing (2008) ทำการศึกษา ความเป็นไปได้ของการใช้เทคโนโลยี Vermicomposting ต่อความมีเสถียรภาพการย่อยสลายกากของเสียโรงงานกลั่นเหล้ากับการผสมมูลวัว ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยใช้ไส้เดือนพันธุ์ Perionyx excavatus ใช้เวลาในการศึกษา 90 วันแสดงให้เห็นว่า การย่อยสลายมีผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีมีความแตกกันของแต่ละตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังนี้ การลดลงของค่า pH (10.5-19.5%) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (12.8-27.2%), และเพิ่ม ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (128.8-151.9%), ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (19.5-78.3%) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (95.4-182.5%), ปริมาณแคลเซียม (45.9-115.6%), และ ปริมาณแมกนีเซียม (13.2-58.6%) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตาราง 1

แสดงคุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอนที่มีการใช้ไส้เดือนดิน ในตำรับการทดลองแบบต่าง ๆ

Treatment*	pH		C_{org} (mg kg^{-1})		N_{tot} (mg 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	$C:N_{ratio}$ (mg kg^{-1})		P_{avail} (mg kg^{-1})		K_{exch} (mg 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} (mg 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

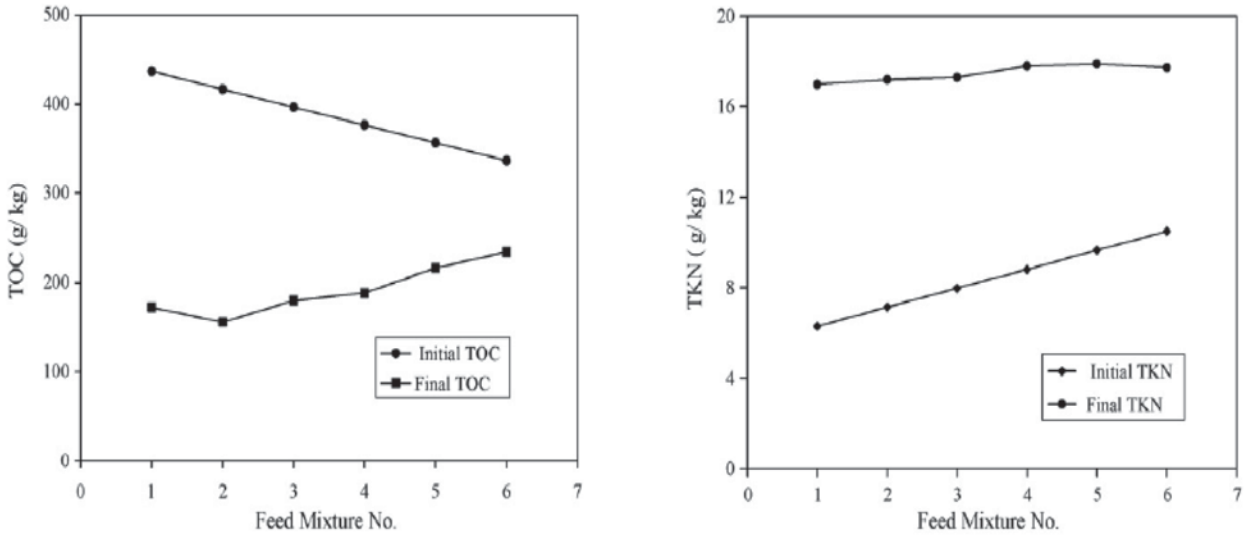
* T1 = DS (Distillery sludge) (20%) + CD (Cow dung) (80%), T2 = DS (Distillery sludge) (40%) + CD (Cow dung) (60%), T3 = DS (Distillery sludge) (60%) + CD (Cow dung) (40%), T4 = DS (Distillery sludge) (20%) + CD (Cow dung) (20%)

ที่มา. จาก Feasibility of vermicomposting in biostabilization of sludge from a distillery industry โดย Suthar, S. & Singh, S., 2008, *Science of the Total Environment, 39*(4), 237-243.

Vermistabilization

การใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากของเสียทำให้อินทรียวัตถุมีความเสถียรภาพ (stabilization of organic matter) จะใช้คำว่า “Vermistabilization” (Neuhauser, et al., 1988) การใช้ไส้เดือนดินในการจัดการสารปนเปื้อนมลพิษในดินและการผลิตปุ๋ยหมักจากไส้เดือนดิน (Vermicomposting) (Garg, 2005) ไส้เดือนดินสามารถเร่งกระบวนการย่อยสลายซากอินทรียวัตถุเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยที่มีคุณภาพสูงมีผลที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการเปรียบเทียบกับการผลิตปุ๋ยประเภทอื่น (Ndegwa & Thompson, 2001) ในระหว่างที่มีการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินที่มีการทำปุ๋ยหมัก ไส้เดือนดินจะกินซากอินทรีย์เข้าทางปากแล้วมีการบดและการย่อยสลายโดยมีแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายในลำไส้ และหลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนรูปของซากอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเช่นสารฮิวมัส ธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืช (Maboeta & Van Rensburg, 2003) ปุ๋ยที่ผลิตออกมาจากการใช้ไส้เดือนดินโดยทั่วไป จะมีความเสถียรภาพและเป็นเนื้อเดียวกัน (Aranda, et al., 1999) จากกระบวนการนี้แสดงว่ามีความสำคัญต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารของพืช เช่น N, P, K, Ca, และอื่น ๆ กากตะกอนของเสียสามารถเปลี่ยนรูปเป็น สารที่สามารถละลายน้ำได้ และเป็นประโยชน์ต่อพืช (Ndegwa &Thompson, 2001)

Gupta & Garg (2008) ได้ศึกษาความมีเสถียรภาพของปุ๋ยหมักไส้เดือนดินโดยใช้กากตะกอนน้ำเสียระยะแรกโดยใช้ไส้เดือนพันธุ์ Eisenia foetida ในการศึกษาการประเมินค่าของ Vermistabilization ของกากตะกอนน้ำเสียระยะแรก (PSS) และมูลวัว (CD) ที่ผสมกันในระยะเวลา 15 สัปดาห์ สรุปว่า ในทุก ๆ ส่วนผสมระหว่าง PSS กับ CD มีค่าลดลงในพารามิเตอร์ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH), ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) และ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) ส่วนพารามิเตอร์ ค่าการนำไฟฟ้า (EC), ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN), ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (TK) และ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากมีการหมักโดยใช้ไส้เดือนดิน ขณะการเจริญเติบโตสูงสุดในส่วนผสม 30% PSS+70% CD แสดงว่าและปริมาณของค่า C:N (ตารางที่ 2) ค่าที่ลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากไส้เดือนใช้คาร์บอนในกิจกรรมของมวลชีวภาพ (worm biomass) ค่า C:N ratio ที่ลดต่ำลงเรื่อย ๆ หลัง 20 วัน 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



ภาพ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด TKN ใน initial และ final ในแต่ละตัวอย่างที่มีกากตะกอนน้ำเสียระยะแรก (PSS) และมูลวัว (CD) ที่ผสมกัน

ที่มา.จาก Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting โดย Gupta, R., & Garg, V. K., 2008, *Journal of Hazardous Materials, 153*(1), 1023-1030.

ตาราง 2

แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า C:N ratio ของการ Vermicomposting ในแต่ละตำรับการทดลอง

Vermireactor number	Time (days)					
	0	21[a]	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	10.6b
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

ที่มา. จาก Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting โดย Gupta, R. & Garg, V. K., 2008, *Journal of Hazardous Materials, 153*(1), 1023-1030.

Vermi-bioindicator

ชุลีมาศและคณะ (2549) ได้ศึกษาการนำไส้เดือนดินมาใช้ในการจัดการกากตะกอนของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรและการใช้ไส้เดือนดินซึ่งเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในดินเป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพของมลพิษ (bio-indicator) และความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และได้ใช้ไส้เดือนเป็นตัวชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมในการศึกษาการปนเปื้อนของสารพิษวิทยาในระบบนิเวศ และนำมาใช้ในการศึกษาทางนิเวศพิษวิทยาอีกด้วย

Suthar & Singh (2008) ได้ศึกษาปริมาณธาตุโลหะในปุ๋ยที่ได้จากการใช้ไส้เดือนดินในการย่อยสลายของแต่ละตัวอย่างก่อนและหลังที่มีการใช้ไส้เดือนดินพันธุ์ *Perionyx excavatus* แสดงใน ตารางที่ 3 กระบวนการย่อยสลายกากของเสียเป็นปุ๋ยหมักไส้เดือนดินแสดงว่ามีการลดลงของปริมาณธาตุโลหะ ในแต่ละตัวอย่างดังนี้ 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% แสดงระดับการลดลงของปริมาณโลหะแต่ละพารามิเตอร์ดังนี้ 28.7% (Zn)>25.2% (Cu) >22.6% (Mn) >20.4% (Fe) ตามลำดับ จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการลดลงของปริมาณธาตุโลหะในแต่ละตัวอย่าง ซึ่งแสดงว่าการย่อยสลายกากของเสียของไส้เดือนดินได้ดีเป็นผลมาจากกิจกรรมของไส้เดือนดินที่ใช้ในการเจริญเติบโตและไส้เดือนดินสามารถที่จะสะสม

ปริมาณธาตุโลหะ ในเนื้อเยื่อของไส้เดือนดินแสดงใน ตารางที่ 4 ถ้าเพิ่มระยะเวลาในการย่อยสลายในดินที่มีการปนเปื้อนธาตุโลหะ (Hartensein & Hartenstein, 1981; Gupta, et al., 2005; Suthar, et al., 2008)

ตาราง 3

แสดงปริมาณธาตุโลหะ ในระยะเริ่มต้นและระยะสุดท้ายของการ 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; Tukey's t-test, P<0.05) หน่วยเป็น mg kg^{-1}

ที่มา. จาก Feasibility of vermicomposting in biostabilization of sludge from a distillery industry โดย Suthar, S. & Singh, S., 2008, *Science of the Total Environment, 39*(4), 237-243.

ตาราง 4

แสดงปริมาณธาตุโลหะ ที่สะสมในเนื้อเยื่อของไส้เดือนดินในตำรับการทดลองที่แตกต่างกันเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

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}

* 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%)

ที่มา. จาก Feasibility of vermicomposting in biostabilization of sludge from a distillery industry โดย Suthar, S. & Singh, S., 2008, *Science of the Total Environment, 39*(4), 237-243.

ประโยชน์ของการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรโดยใช้ Vermitechnology

แนวทางการนำไส้เดือนดินมาใช้ประโยชน์

นำมาย่อยสลายขยะอินทรีย์และเศษอาหารจากบ้านเรือนเพื่อผลิต ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน นำมาใช้ในการเกษตรลดต้นทุนการซื้อปุ๋ยเคมี, นำมาใช้เลี้ยงสัตว์เนื่องจากมีปริมาณเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่สูงมากช่วยลดค่าใช้จ่ายในค่าอาหารสัตว์, ใช้ฟื้นฟูสภาพดินที่เสื่อมโทรมเช่นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และเหมืองแร่เก่า, ใช้เป็นดัชนีทางสิ่งแวดล้อมในการตรวจสอบธาตุโลหะหนักและสารเคมีที่ปนเปื้อน จากการเกษตรในดินใช้เป็นอาหาร ยาบำบัดโรค ยาบำรุงทางเพศ หรือใช้เป็นวัตถุดิบในวงการเภสัชกรรมและเครื่องสำอาง, ใช้เป็นดัชนีทางสิ่งแวดล้อมในการตรวจสอบธาตุโลหะหนัก และการปนเปื้อนของสารเคมีทางการเกษตรในดิน

บทบาทด้านที่เป็นประโยชน์ของไส้เดือนดิน

ช่วยพลิกกลับดิน นำดินด้านล่างขึ้นมาด้านบนโดยการกินดินที่มีแร่ธาตุบริเวณด้านล่างและถ่ายมูลบริเวณ

ผิวดินด้านบน ช่วยให้เกิดการผสมคลุกเคล้าแร่ธาตุในดิน นำแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในชั้นใต้ดิน ขึ้นมาด้านบน ให้พืชดูดนำไปใช้ได้, ช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน ซากพืช ซากสัตว์ และอินทรียวัตถุต่าง ๆ ทำให้ธาตุต่าง ๆ อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ไนโตรเจน ในรูป แอมโมเนียและไนเตรท และอีกหลายชนิด รวมทั้ง สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชและวิตามินจะถูก ปลอดปล่อยออกมาด้วย, ช่วยเพิ่มและแพร่กระจายจุลินทรีย์ ในดินที่มีประโยชน์ต่อพืช เช่น ไรโซเบียม ไมคอร์ไรซา ในบริเวณรากพืช, การชอนไชของไส้เดือนดิน ทำให้ ดินร่วนซุย การถ่ายเทน้ำและอากาศดี ดินอุ้มน้ำได้ดีขึ้น เพิ่มช่องว่างในดินทำให้รากพืชชอนไชได้ดี

ข้อดีของวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินสามารถช่วยเก็บความชื้น และปลดปล่อยออกมาให้พืชอย่างช้า ๆ เมื่อพืชต้องการยืด ระยะเวลาการให้น้ำแก่พืชได้นานขึ้น กรณีใช้ผสมดินที่เป็น ดินเหนียวจะช่วยเพิ่มอากาศในดิน ทำให้ดินร่วนซุยและช่วย ในการถ่ายเทน้ำและอากาศได้สะดวกกรณีผสมดินที่เป็น ดินทรายจะช่วยเพิ่มเนื้อดิน ช่วยให้ดินเก็บรักษาความชื้น และธาตุอาหารในดิน ลดการชะล้างธาตุอาหารของน้ำ ลดปัญหาการสลายตัวของธาตุอาหาร เป็นตัวปลดปล่อย ธาตุอาหารอย่างช้า ๆ ทำให้ประหยัดปุ๋ยปกป้องดินไม่ให้ มีสภาพโครงสร้างแน่นเข็งและช่วยเติมอินทรียวัตถุใน เนื้อดิน ช่วยให้ดินร่วนซุย รากพืชสามารถแพร่ขยายได้กว้าง ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะมีสารประกอบของกรดฮิวมิค ซึ่งเป็นตัวกักเก็บธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชหลายชนิด เช่น ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) เหล็ก (Fe) และทองแดง (Cu) ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้จะถูกเก็บอยู่ ในโมเลกุลของกรดฮิวมิค อยู่ในรูปพร้อมใช้ และจะถูก ปลดปล่อยออกมาเมื่อพืชต้องการ

บทสรุป

การจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร โดยวิธี Vermitechnology เป็นการนำไส้เดือนดินเข้ามา จัดการกากของเสีย เศษเหลือทิ้งต่าง ๆ ที่เป็นกากอินทรีย์ โดยกระบวนการย่อยสลายกากอินทรียวัตถุของไส้เดือนดิน จะเกิดประโยชน์ต่อระบบนิเวศ และสิ่งแวดล้อม รวมทั้ง การทำการเกษตร โดยกระบวนกรต่างๆ ดังนี้ Vermicomposting การผลิตปุ๋ยหมักทางชีวภาพโดยใช้ไส้เดือนดินเป็นตัวกลาง ในการจัดการกากของเสีย ผลที่ได้จากกระบวนการนี้ส่งผล ต่อการพัฒนาเป็นปุ๋ยที่มีคุณภาพสูง สามารถเปลี่ยนแปลง องค์ประกอบทางด้านเคมี และกายภาพของกากของเสีย และเศษเหลือทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นแร่ธาตุที่เป็น ประโยชน์ต่อพืช และดิน และส่งผลต่อถาวรภาพของปุ๋ย (vermistabilization) และการคงอยู่ของปริมาณโลหะหนัก ในตัวของไส้เดือนดิน และผลิตของเสียออกมาในรูปขุย (cast worm) ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และกิจกรรมของ จุลินทรีย์ และลดปริมาณโลหะหนักในกากของเสียลงได้ ไส้เดือนดินยังสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพ (vermi-bioindicator) ในดินที่มีการปนเปื้อนในดินได้ ดังนั้น การใช้ ประโยชน์จากการใช้ไส้เดือนดินเป็นการใช้ความรู้ทาง เทคโนโลยีที่ต่ำ และมีการลงทุนที่ต่ำ เป็นการนำสิ่งที่มี ในท้องถิ่นมาจัดการกากของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต ส่งผลต่อการพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืน และลดต้นทุน การนำเข้าสารเคมี และช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการทิ้งกาก ของเสียต่าง ๆ สู่สิ่งแวดล้อม เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะ

การใช้เทคโนโลยี Vermitechnology นี้ยังมีข้อกำจัด ในการใช้คือ ในปริมาณของความเข้มข้นของปริมาณสารพิษ ที่มีมากเกินกว่าสิ่งมีชีวิตจะอยู่ได้ ไส้เดือนดินจะไม่สามารถ ดำรงชีวิตอยู่ได้ดังนั้นควรเลือกกากของเสียที่มีการปนเปื้อน สารพิษที่ไส้เดือนดินสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ แต่เนื่องจาก ประเทศไทยมีปริมาณกากของเสียที่ไม่เป็นอันตราย ในปริมาณที่สูง จึงต้องมีการหาแนวทางในการศึกษาและ วิจัยการนำไส้เดือนดินมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และ พัฒนาสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการจัดการกากของเสีย อย่างมีประสิทธิภาพสูง เพื่อการเกษตรของไทยให้เกิด เป็นรูปธรรม พัฒนาเป็นอุตสาหกรรมสร้างรายได้ให้กับ เกษตรกร และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศต่อไป

References

Aranda, E.,Barois, I., Arellano, P., Irisson, S., Salazar, T., Rodriguez, J., & Patron, J. C. (1999). *Vermicomposting in the tropics*. New York: CABI.

Boonthai, C. (2006). Feasibility study of using soil invertebrates as a bioindicator for terrestrial ecological risk assessment in Northeast Thailand. *Khon Kaen Agriculture Journal, 41*(2), 81-88. (in Thai)

Cecil, F. & Tester, C. F. (1990). Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. *Soil Sci.Am.J, 54*(1), 827-831.

Crescent, T. (2003). *Vermicomposting: Development alternatives (DA) sustainable livelihoods*. Retrieved from http://www.dainet.org/livelihoods/default.htm

Edwards, C. A. (1998). *The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes*. Florida: St. Lucie Press.

Edwards, C. A. (1999). Interview with Dr. Clive Edwards - part two. *Casting Call, 4*(2), 3-7.

Environmental Engineering Association of Thailand. (1997). *Terminology and definitions wastewater*. Bangkok: Ruankaew Printing. (in Thai)

Gandhi, M., Sangwan, V., Kapoor, K. K. & Dilbaghi, N. (1997). Composting of household wastes with and without earthworms. *Environment and Ecology, 15*(2), 432-434.

Garg, V. K. & Kaushik, P. (2005). Vermistabilization of textile mill sludge spiked with poultry droppings by an epigeic earthworm Eisenia foetida, Bioresur. *Technol, 96*(1), 1189-1193.

Gupta, R. & Garg, V. K. (2008). Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting. *Journal of Hazardous Materials, 153*(1), 1023-1030.

Gupta, S. K., Tewari, A., Srivastava, R., Murthy, R. C., & Chandra, S. (2005). Potential of Eisenia foetida for sustainable and efficient vermicomposting of fly ash. *Water Air Soil Pollut, 163*(1), 293-302.

Hartensein, R. & Hartenstein, F. (1981). Chemical changes affected in activated sludge by the earthworm Eisenia foetida. *J Environ Qual, 10*(1), 377-82.

Ismail, S. A., Joshi, P., & Grace, A. (2004). The waste in your dust bin is scaring the environment- the biotechnology of composing. *Advanced Biotech, 2*(1), 30-34.

Jensen, J. (1998). The KISS plan for vermicomposting on modern dairy…or horse…or hobbyfarm. *Worm Digest, 18*(1), 1-3.

Khwairakpam, M.& Bhargava, R. (2008). Vermitechnology for hazardous materials. *Journal of Hazardous Materials, 153*(1), 7.

Lal, O. P., Srivastava, Y. N. & Sinha, S. R. (2003). Vermicomposting. *Indian Farming, 52*(1), 6-8.

Levi-Minzi, R., Riffaldi, R. & Saviozzi, A. (1986). Organic matter and nutrients in fresh and mature farmyard manure. *Agriculture Wastes, 16*(1), 225-236.

Maboeta, M. S. & Van Rensburg, L. (2003). Vermicomposting of industrially produced wood chips and sewage sludge using E. foetida, Ecotoxicol. Eniron. *Safety, 56*(1), 256-270.

Ndegwa, P. M. & Thompson, S. A. (2001). Integrating composting and vermicomposting the treatment and bioconversion of biosolids, Bioresour. *Technol, 76*(1), 107-112.

Neuhauser, E. F., Loehr, R. C., & Malecki, M. R. (1988). *The potential of earthworms for managing sewage sludge.* Hague: SPB Academic Publishing.

Prabha, L. M., Jayraaj, I. A., & Jeyaraaj, R. (2005). Macro and micronutrient changes in vermicomposting of vegetable wastes using Eudrilus eugeniae. *South Asian Journal of Socio-Political Studies, 2*(1), 129-130.

Senesi, N. (1989). Composted materials as organic fertilizers. *Sci. Total Environ, 81*(1), 521-524.

Schowanek, D., David, H., Francaviglia, R., Hall, J., Kirchmann, H., Krogh, H., Schraepen, K., Smith, S., & Wildemann, T. (2007). Probabilistic risk assessment for linear alkylbenzene sulfonate (LAS) in sewage sludge used on agricultural soil. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, *49*(1), 245-259.

Sommers, L. E. (1977). Chemical composting of sewage sludge and analysis of their potential use as fertilizers. *Journal of Environmental Quality. 6*(2), 225-232.

Suthar, S., Singh, S., & Dhawan, S. (2008). Earthworm as bioindicators of metals (Zn, Fe, Mn, Cu, Pb and Cd) in soils is metal bioaccumulation affected by their ecological categories. *Ecol Eng, 32*(1), 99-107.

Suthar, S. & Singh, S. (2008). Feasibility of vermicomposting in biostabilization of sludge from a distillery industry. *Science of the Total Environment, 39*(4), 237-243.

Suthar, S. (2007). Microbial and decomposition efficiencies of monoculture and polyculture vermireactors based on epigeic and anecic earthworms. *World J Microbiol Biotechnol.* doi:10.1007/511274-007-9635-9.

Tancho, A. (2006). *Earthworms.* Pathumthani: Science and Technology Development Officer. (in Thai)

Tripathi, G. & Bhardwaj, P. (2004). Comparative studies on biomass production, life cycles and composting efficiency of Eisenia fetida (Savigny) and Lampito mauritii (Kinberg). *Bioresource Technology*, *92*(1), 275-283.

Tsadilas, C. D., Theodora, M., Barbayiannis, N., & Dimoyiannis, D. (1995). Influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metal fractions. *Commun. Soil.Sci.Plant Anal, 26*(1), 2603-2619.

Udomsin, K. (2003). *Hazardous waste.* Bangkok: Pimluk Printing.

Vermi, Co. (2001). *Vermicomposting technology for waste management and agriculture: An executive summary*. Retrieved from http://www.vermico.com/summary.htm

Wani, S. P. (2002). *Improving the livelihoods: New partnerships for win-win solutions for natural resource management.* Paper submitted in the 2nd International Agronomy Congress held at New Delhi, India during 26-30 November 2002.

Yoneyama, T. & Yoshida, T. (1978). Nitrogen mineralization of sewage sludge in soil. *Soil Sci. Plant Nutr, 24*(1), 139-155.