

เทคโนโลยีปุ๋ยหมักไส้เดือนดินเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน

Vermicompost Technology for Sustainable Agriculture

นันทวุฒิ จำปางาม

Nuntawut Champar-ngam

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสต์เทิร์นเอเชีย

Faculty of Public Health, Eastern Asia University

บทคัดย่อ

การใช้เทคโนโลยีปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน เพื่อผลิตปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพโดยใช้ไส้เดือนดิน ส่งผลต่อ (1) ความเป็นประโยชน์ทางการเกษตรซึ่งประกอบไปด้วย บทบาททางการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ของทรัพยากรดิน, บทบาทความเป็นประโยชน์ทางการผลิตพืชจากการเป็นปุ๋ยหมักอินทรีย์คุณภาพสูง และบทบาททางการผลิตสัตว์ในระบบเกษตร (2) ความเป็นประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อม ใช้ในการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมทางการเกษตร ความเป็นประโยชน์ของการใช้เทคโนโลยีไส้เดือนดินส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบคุณสมบัติของดินในทางที่ดีขึ้นเป็น การเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน กระบวนการเกิดกรดฮิวมิก สารฮอร์โมนพืช และในลำตัวและมูลของไส้เดือนดินประกอบไปด้วยกิจกรรมเชื้อจุลินทรีย์ เชื้อรา แบคทีเรีย ซึ่งเป็นตัวช่วยเร่งการย่อยสลายในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ซึ่งมูลไส้เดือนดินช่วยดูดซับธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ และการอนุรักษ์ดิน ประโยชน์อีกประการคือการรักษาสมดุลทางด้านสิ่งแวดล้อม ช่วยลดปริมาณกากของเสีย และสารพิษโลหะหนักในดิน ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีปุ๋ยหมักไส้เดือนดินจึงเหมาะสมต่อการผลิตการเกษตรที่ยั่งยืนและเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรดิน

คำสำคัญ: การใช้ประโยชน์, เทคโนโลยีปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน, การเกษตรที่ยั่งยืน

Abstract

Utilization of vermicompost technology to produce quality compost for several reasons: (1) for agriculture by improving physical, chemical, and biological of soil, and role for plant production by produce high quality of compost and livestock production (2) for environment by using in agro-industrial waste management. Vermicompost improve soil quality by soil stability, increasing availability of nutrient in soil, and increase total humic acid contents which are high organic matter and plant hormones. Earthworm and cast have more microbial activity (bacteria, fungi) which help organic matter decomposition and fixing nitrogen and phosphorus which is beneficial for plant growth and reduce soil contamination. Therefore, vermicompost technology is useful for sustainable agricultural production and soil resources conservation.

Keywords: utilization, vermicompost, agriculture sustainable



บทนำ

การใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยหมักอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงต่อการทำเกษตรในประเทศไทย โดยการใช้ประโยชน์ จากเทคโนโลยีปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน เป็นการ ใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากเหลือทิ้งจากกิจกรรมทางอุตสาหกรรมและการเกษตรโดยเทคโนโลยีนี้เป็นวิธีการพัฒนา คัดแปลง และการผลิตโดยใช้ไส้เดือนดิน เป็นตัวจัดการกากของเสียเหลือทิ้ง การผลิตปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (vermicomposting) เป็นกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพอย่างง่ายของส่วนผสมกากของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น กากมันสำปะหลัง มูลวัว เศษพืชผัก โดยใช้ไส้เดือนดินในการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกากของเสียและผลิตสารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมา โดยกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักโดยไส้เดือนดิน ซึ่งจะมีความแตกต่างจากการผลิตปุ๋ยหมักแบบธรรมดา (Gandhi, et al, 1997) โดยมูลไส้เดือนดิน เป็นผลผลิตที่ได้จากการย่อยอาหารของไส้เดือนดิน โดยไส้เดือนดินย่อยสลายสารอินทรีย์และอนินทรีย์ โดยการทำให้แตกและบดให้ละเอียดจากกระบวนการย่อยสลายภายในลำตัวของไส้เดือนดินเกิดเป็นวัสดุคล้ายของแข็งที่มีความชื้นคล้ายดินเลน มีความร่วนพูน อากาศแทรกซึมและอุ้มน้ำได้ดี กระบวนการนี้ช่วยให้การทำงานของจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้นและเป็นการเพิ่มกระบวนการเร่งให้เกิดอัตราการย่อยสลายให้เร็วยิ่งขึ้น เรียกว่ากระบวนการ ฮิวมิฟิเคชัน (humification) คือ การทำให้สารอินทรีย์ที่ย่อยสลาย เช่น พืชหรือสัตว์ที่เน่าเปื่อย ถูกกระบวนการใช้ออกซิเจนทางชีวภาพทำให้กลายเป็นสารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ สารฮิวมัส โดยสารฮิวมัสมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลแก่หรือดำอยู่ในชั้นบนสุดของดิน มีความสำคัญในการกักเก็บและปลดปล่อยธาตุอาหารพืชออกมา (Tripathi & Bhardway, 2004) โดยกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินคล้ายกับกระบวนการทำปุ๋ยหมักโดยทั่วไปต่างกันตรงที่ว่าไม่มีความร้อนเกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายเข้ามาเกี่ยวข้อง ตรงกันข้ามเป็นกระบวนการย่อยสลายในอุณหภูมิปกติด้วยระบบการย่อยของไส้เดือนดินและจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ

ในดิน โดยมูลของไส้เดือนดินนั้น มีพื้นที่ผิวมากและมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสูงจึงทำให้มีความสามารถในการดูดซึม และดูดซับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ดีขึ้นและสะสมธาตุอาหารได้มากขึ้น โดยคุณสมบัติของการเป็นปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินก็มีธาตุอาหารในรูปที่พืชสามารถดูดซึมได้โดยตรง เช่น ไนเตรต (nitrate) ฟอสฟอรัส (phosphorus) โพแทสเซียม (potassium) แคลเซียม (calcium) แมกนีเซียม (magnesium) ในระดับชีวจุลภาคของมูลไส้เดือนดินมีจำนวนจุลินทรีย์หลากหลายชนิดมากกว่าที่พบในปุ๋ยหมักโดยทั่วไป โดยจุลินทรีย์เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการให้คามสมบูรณ์แก่ดินกล่าวคือไม่เพียงแต่เปลี่ยนแปลงสารประกอบเชิงซ้อนไปเป็นอาหารพร้อมใช้สำหรับพืชเท่านั้น แต่จุลินทรีย์ในระบบย่อยของไส้เดือนดินยังสังเคราะห์สารชีวภาพออกฤทธิ์เช่นตัวควบคุมการเจริญเติบโตของพืชด้วย (Atiyeh, et al., 2001)

ไส้เดือนดินจึงช่วยให้เกิดฮอร์โมนพืชหลายชนิด เช่น ออกซิน (auxins), กิบเบอเรลลิน (gibberellins) และไซโตไคนิน (cytokinins) จากขยะอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้การใช้เทคโนโลยีปุ๋ยหมักไส้เดือนดินช่วยทำให้เกิดกระบวนการการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพในดินและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อดินและสารออกฤทธิ์ในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืชและยังสามารถเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน

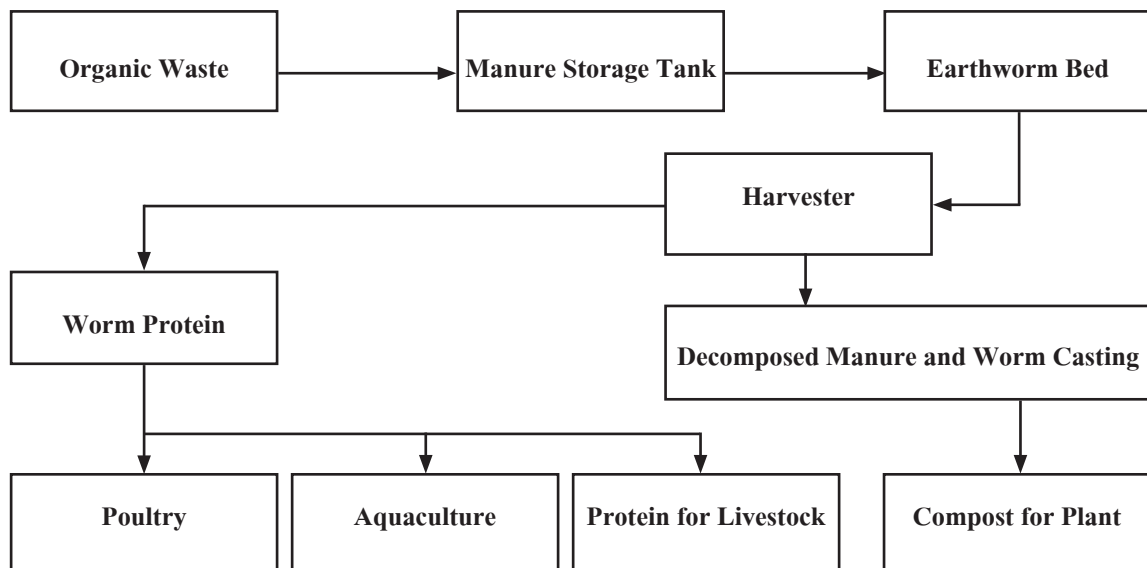
ดังนั้น กระบวนการย่อยสลายกากอินทรีย์วัตถุของไส้เดือนดิน จะเกิดประโยชน์ต่อระบบนิเวศ และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการทำการเกษตรที่ยั่งยืน ส่งผลต่อการอนุรักษ์ดิน น้ำ ตลอดจนสิ่งแวดล้อม โดยกระบวนการต่าง ๆ การผลิตปุ๋ยหมักทางชีวภาพโดยใช้ไส้เดือนดินเป็นตัวกลางในการจัดการกากของเสียผลที่ได้จากกระบวนการนี้ ส่งผลต่อการพัฒนาเป็นปุ๋ยที่มีคุณภาพสูง สามารถเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางด้านเคมี กายภาพ และชีวภาพของกากของเสีย และเศษเหลือทิ้งอุตสาหกรรม การเกษตรเป็นแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และดิน และส่งผลต่อถาวรภาพของปุ๋ย (vermistabilization) และ

การคงอยู่ของปริมาณโลหะหนักในตัวของไส้เดือนดินในรูปที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และขับถ่ายออกมาในรูปของขุย (cast worm) ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและกิจกรรมของจุลินทรีย์ และลดปริมาณโลหะหนักในกากของเสียลงได้ ไส้เดือนดินยังสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพ (vermi-bioindicator) ในดินที่มีการปนเปื้อนในดินได้โดยได้สรุปความเป็นประโยชน์ของเทคโนโลยีไส้เดือนดินต่อการเกษตรที่ยั่งยืน ดังนี้

เทคโนโลยีปุ๋ยหมัก ไส้เดือนดิน

เทคโนโลยีปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (vermiculture) เป็นการนำเทคโนโลยีทางชีวภาพ โดยใช้ไส้เดือนดินจัดการกากของเสียที่เป็นกากอินทรีย์วัตถุ โดยการใช้ไส้เดือนดินในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเศษเหลือทิ้งต่างๆ เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยหมักทางชีวภาพ และสารอาหารจำพวกโปรตีน (Prabha, et al., 2005) โดยการผลิตเป็นปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (vermicomposting) ซึ่งเป็นกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพอย่างง่าย ของส่วนผสมสารอินทรีย์ โดยใช้ไส้เดือนดินในการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกากของเสียและผลิตสารที่เป็นประโยชน์ออกมาโดยกระบวนการผลิตปุ๋ย โดยการใช้ไส้เดือนในการผลิตปุ๋ยหมักจะมีความแตกต่างจากการผลิตปุ๋ยชนิดอื่น (Edwards, 1995; Gandhi, et al., 1997) คือผลผลิตที่ได้จากการกินอาหารของไส้เดือนดินออกมาเป็นมูลไส้เดือนดิน (vermicast) ไส้เดือนดินย่อยกากสารอินทรีย์โดยทำให้แตกและบดให้ละเอียด เกิดเป็นวัสดุคล้ายเลนมีความร่วนพรุน อากาศแทรกได้และอุ้มน้ำ กระบวนการนี้ช่วยให้การทำงานของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นและเร่งให้เกิดอัตราการย่อยสลายที่เร็วมากยิ่งขึ้น (Edward & Burrows, 1998)

โดยกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ใช้ขยะที่มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์จะสามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วเป็นผลให้เกิดเป็นธาตุอาหารที่มีประโยชน์และมีคุณภาพสูง มีผลดีทางด้านการผลิตปุ๋ยหมักเชิงพาณิชย์ โดยเป็นตัวบำรุงดินเพื่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้เกิดความสมดุลในระบบนิเวศเป็นสารอาหารแก่พืชเป็นปุ๋ยเชิงซ้อนที่ละเอียด และปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะช่วยลดความหนาแน่นของกากของเสียได้อย่างดี และยังช่วยลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในกากของเสียและขยะลงได้ด้วย จากการศึกษาการทำปุ๋ยหมักแบบธรรมชาติ ส่งผลเกิดอุณหภูมิสูงระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยหมักทำให้ลดจุลินทรีย์ก่อโรคได้ก็ตาม แต่ถ้ามีการเพิ่มกระบวนการโดยใช้ไส้เดือนดินร่วมด้วย จะเพิ่มศักยภาพของการผลิตปุ๋ย โดยสามารถลดจุลินทรีย์ก่อโรคได้ระหว่างทำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินได้ด้วยเช่นกัน (Ranganathan & Vinotha., 1998) โดยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพโดยอาศัยออกซิเจนในการทำปุ๋ยหมักนำไปสู่การสะสมธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ เช่น ธาตุไนโตรเจน และเป็นตัวเร่งให้อัตราการสะสมธาตุไนโตรเจนดีมากขึ้น ด้วยกระบวนการเกิดสารชีวมีสระหว่างที่ผลิตปุ๋ยหมักไส้เดือนดินจะเกิดขึ้นในปริมาณมากและเร็วกว่าการทำปุ๋ยหมักแบบธรรมชาติ ไส้เดือนดินเข้าช่วยย่อยสลายและอาจช่วยลดปริมาณธาตุโลหะหนักที่สามารถดูดซึมเข้าสู่รากพืชได้มากกว่าการทำปุ๋ยหมักแบบธรรมดาและมีสารคลัสเตอร์โมนที่ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืชด้วย ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีไส้เดือนดินในการจัดการขยะเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณค่าและเป็นประโยชน์ทางพาณิชย์ที่ผลิตอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน ดังแสดงในภาพ 1 แสดงประโยชน์ของการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (vermicompost)



ภาพ 1 แสดงประโยชน์ของการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน

ที่มา จาก *Earthworms in agriculture*, โดย Talashilkar, S. C. and Dosani, A. A. K., 2005, New Delhi: Agrobios.

การใช้เทคโนโลยีปุ๋ยหมักไส้เดือนดินต่อความเป็นประโยชน์ทางการเกษตร

ความเป็นประโยชน์ทางการเกษตรจากภาพ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการที่มีกิจกรรมของไส้เดือนดินเกิดขึ้น โดยกิจกรรมของไส้เดือนดินสามารถส่งผลต่อกิจกรรมต่างๆ ภายในระบบนิเวศสิ่งแวดล้อม คือ ความสัมพันธ์ต่อการสร้างความเป็นประโยชน์เพื่อการผลิตเกษตรแบบยั่งยืน โดยการจัดการและควบคุมความสมดุลในระบบนิเวศธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ เคมี ชีวภาพ ของระบบนิเวศเกษตร ต่อการเพิ่มคุณค่าทางการเกษตรและความสมดุลในระบบนิเวศเกษตรและจากความสัมพันธ์นี้จึงมีการศึกษาการทำงานของมูลไส้เดือนดิน

โดยการศึกษาในห้องปฏิบัติการทางนิเวศวิทยาในเรื่องดินของมหาวิทยาลัยแห่งรัฐโอไฮโอ ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ทำการศึกษาค้นคว้าเรื่องมูลไส้เดือนดินแห่ง พบว่าการเพิ่มมูลไส้เดือนดินประมาณ 10-20% โดยปริมาตรของดินผสมในดินผสมสำหรับไม้ดอกไม้ประดับในกระถางในห้องทดลอง สามารถช่วยให้พืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นได้นำไปทดลองในพื้นที่ศึกษาของสถาบัน แสดงผลเช่นเดียวกันคือการใช้มูลไส้เดือนดินแห้ง 20-40 กรัมต่อตารางเมตร ทำให้

สนามหญ้าเจริญเติบโตดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และยังสามารถประยุกต์ใช้ในพื้นที่ดิน 3 ไร่ ต่อโดยการนำมูลไส้เดือนดิน 100 กิโลกรัมโดยประมาณ ในการปลูกพืชตระกูลถั่วพบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตได้ถึง 15% สามารถให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วด้วย (Subler & Edwards, 1998)

เป็นที่ทราบกันดีว่ามูลไส้เดือนดินสามารถเพิ่มจุลินทรีย์และเพิ่มกิจกรรมการเกิดเมตาโบลิซึม โดยวิธีทางชีวภาพได้แก่ ฮอร์โมนพืชหลายชนิด (ออกซิน, ไซโตไคนิน และ กิบเบอเรลลิน) (Tomati, Grappelli, & Galli 1985) นอกจากนั้นมูลไส้เดือนดินยังช่วยปรับการงอกของเมล็ดพันธุ์ให้ดีขึ้น ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืชที่เกิดจากการเพาะหว่าน ช่วยเพิ่มพัฒนาการ รวมทั้งการเพิ่มผลผลิตของพืชได้มากกว่า ถ้าให้แต่เพียงธาตุอาหารในรูปพร้อมใช้มากขึ้นเพียงอย่างเดียว มูลไส้เดือนดินแสดงให้เห็นว่าสามารถช่วยลดโอกาสเกิดโรคพืชได้หลายชนิดได้ (Atiyeh, Arancon, et al., 2002) การทำงานของจุลินทรีย์และการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในมูลไส้เดือนดินมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช เหตุผลก็คือจุลินทรีย์มีผลต่อการผลิตสารต่างๆ ตั้งแต่ น้ำตาล โครงสร้างธรรมชาติไปจนถึงสารที่มีโครงสร้างซับซ้อนเพราะถ้าขาดอย่างใดอย่างหนึ่งย่อมยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชได้ ความหลากหลายทางชีวภาพในมูลไส้เดือนดินโดยกิจกรรมที่มีในกระบวนการผลิต

ปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน คือ ส่งผลต่อบทบาทของการเกิดกรดฮิวมิกที่เกิดจากไส้เดือนดินซึ่งเป็นสิ่งนักวิจัยให้ความสนใจ ในปัจจุบันมูลไส้เดือนดินมีฮิวมัสในปริมาณมากจากการสลายตัวของสารอินทรีย์โดยไส้เดือนดินจะช่วยเร่งการเกิดฮิวมัส กรดฮิวมิกและกรดฟุลวิก สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้มากกว่าแร่ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ที่มีอยู่ในมูลไส้เดือนดินเอง โดยกรดฮิวมิกเป็นโมเลกุลซับซ้อนขนาดใหญ่ ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเพียงบางส่วนต่อกรดฮิวมิกจะทำให้เกิดพื้นที่ยึดเกาะ และดูดซับของธาตุอาหารพืชหลายชนิด ทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ที่มีอยู่ในมูลไส้เดือนดิน ทำให้เกิดสารที่ออกฤทธิ์คล้ายออกซิน ไซโตไคนิน และจิบเบอเรลลินได้

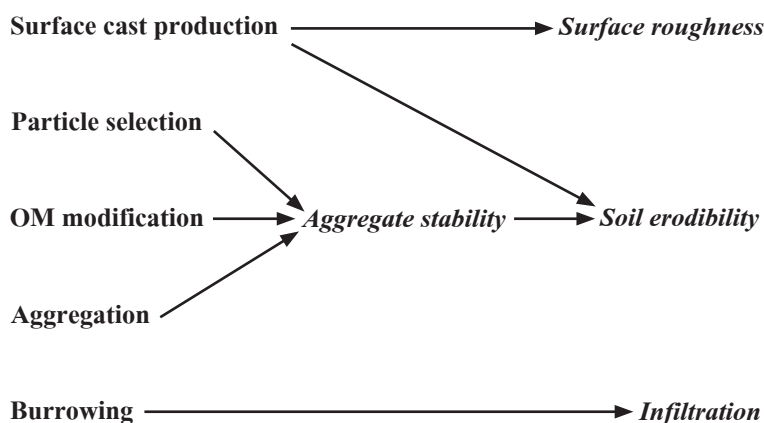
การศึกษาผลเชิงบวกของสารฮิวมัสต่อการเจริญเติบโตของพืชเมื่อให้ธาตุอาหารรอง แก่พืชครบตามต้องการผลจากการศึกษาตรงกันว่าจะเกิดผลเชิงบวกในด้านการเจริญเติบโตของพืชที่เป็นอิสระโดยไม่ต้องพึ่งธาตุอาหารหลัก มีผู้รายงานว่าการเกิดฮิวมิกช่วยเพิ่มการดูดซึมสารอาหารบริเวณของผนังหุ้มราก (Atiyeh, Lee, et al., 2002) กรดฮิวมิกจากมูลไส้เดือนดินให้ผลต่อการเจริญของรากพืชมากกว่าส่วนต่างๆ ของพืชที่อยู่เหนือพื้นดินเช่น การกระตุ้นการเจริญของราก การเพิ่มการขยายตัวของรากฝอย (root hair) และการช่วยให้มีการเกิดราก ไส้เดือนดินยังช่วยให้เกิดฮอร์โมนพืชหลายชนิดเช่น ออกซิน (auxins) ควบคุมการเจริญของเซลล์พืชตามยาว กิบเบอเรลลิน (gibberellins) ช่วยให้มีการขยายตัวตามยาวของลำต้น และไซโตไคนิน (cytokinins) ช่วยเร่งการแบ่งตัวของเซลล์พืช ฮอร์โมนพืช

เหล่านี้มีความสำคัญต่อการเมตาโบลิซึม (metabolism) ของพืช นอกจากนั้นยังมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชและพัฒนาการรวมทั้งคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตรอย่างมีนัยสำคัญแม้มีปรากฏอยู่ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในปริมาณเล็กน้อยก็ตาม (Atiyeh, et al., 2001)

บทบาทความเป็นประโยชน์ทางการปรับปรุงทรัพยากรดินในระบบเกษตร

1. บทบาททางด้านกายภาพของดิน

ไส้เดือนดินเป็นองค์ประกอบหลักของกระบวนการเกิดเม็ดดิน สามารถคงสภาพของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ และการอนุรักษ์ดิน (Lee & Foster, 1991; Lavelle, et al., 1992) โดยบทบาททางด้านกายภาพดินส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเม็ดดิน สร้างเม็ดดิน ทำให้ดินมีช่องว่าง มีความพรุน และสามารถเก็บกักความชื้นให้แก่ดิน และยังช่วยในการลดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน โดยจากภาพ 2 แสดงความสำคัญของไส้เดือนดินต่อการลดการชะล้างการพังทลายของหน้าดิน โดยเมื่อมีการสร้างหรือผลิตของไส้เดือนดินบริเวณชั้นหน้าดินจะเกิดการเชื่อมระหว่างอนุภาคของเม็ดดินด้วยสารเชื่อมอนุภาคเม็ดดินจากกระบวนการย่อยสลายของไส้เดือนดินเกิดเป็นเม็ดดินที่มีความเสถียร คงทน และขนาดที่แตกต่างกัน ลดการชะล้างพังทลายของดินบริเวณหน้าดินได้ (Blanchart, et al., 2004)



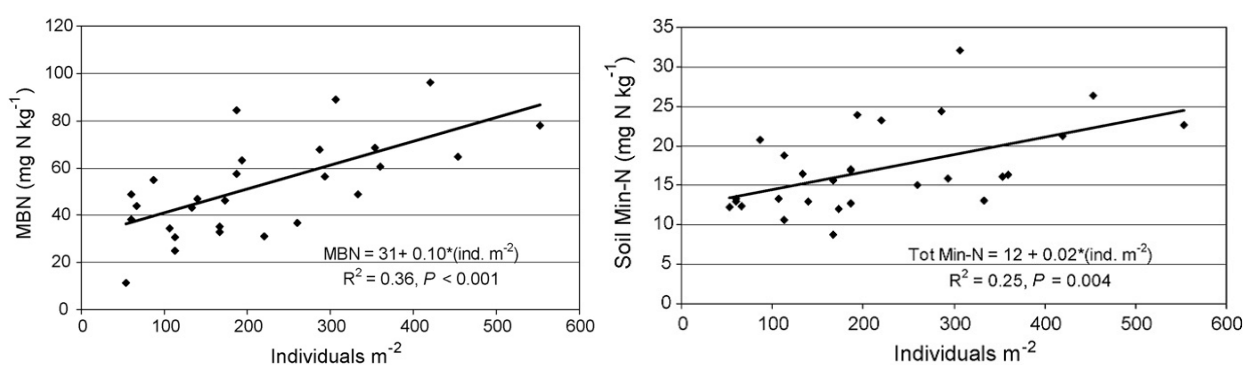
ภาพ 2 แสดงความสำคัญของไส้เดือนดินต่อการลดการชะล้างการพังทลายของหน้าดิน (soil erosion)

2. บทบาททางชีวภาพของดิน

สารชีวภาพที่ได้จากตัวอย่างมูลไส้เดือนดิน (ที่ได้ผ่านการผลิตอย่างถูกขั้นตอน) ใน 1 กรัมมีดังนี้ มวลโดยรวมของแบคทีเรีย (bacterial mass) 249 มิลลิกรัม/กรัม, มวลโดยรวมของเชื้อรา (fungi mass) 238 มิลลิกรัม/กรัม, โปรโตซัวชนิดเคลื่อนที่โดยใช้หนวด (Flagellates) 11,772 จำนวนตัว/กรัม, โปรโตซัวชนิดแอมมีบ่า (Amoeba) 94,235 จำนวนตัว/กรัม, โปรโตซัวชนิดเคลื่อนที่โดยใช้ขน (Ciliates) 2,836 จำนวนตัว/กรัม นิมาโตด (Nematodes) 185 จำนวนตัว/กรัม (Subler, et al., 1998) โดยสารสารฮอร์โมนที่มีความสำคัญโดยขนาดและมีบทบาทสำคัญขึ้นพื้นฐานของการเมตาโบลิซึม (Metabolism) ของพืช นอกจากนั้นยังมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชและพัฒนาการรวมทั้งคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตรอย่างมีนัยสำคัญแม้มีปรากฏอยู่ในปริมาณเล็กน้อยก็ตาม บทบาทของกรดฮิวมิก กรดฮิวมิกเกิดจากการแตกตัวของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์กรดนี้มีประจุลบจึงดึงดูดประจุบวกเช่น แคลเซียม (Ca^{2+}) ได้สารฮิวมิกช่วยส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารหลายชนิดให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืชตัวสำคัญที่สุดคือฟอสเฟต โดยฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นๆในดิน (โดยเฉพาะ ธาตุเหล็กและอลูมิเนียม) แล้วกักเก็บไว้หรืออยู่ในรูปไม่พร้อมใช้สำหรับพืช ซึ่งกรดฮิวมิกจะเข้าไปแทนที่ธาตุเหล็กและอลูมิเนียม

ทำให้เกิดฟอสเฟตในรูป PO_4 พร้อมใช้สำหรับพืช อีกด้านคือเชื้อราไมคอร์ไรซา (Mycorrhizal fungi) มูลไส้เดือนดินมีสปอร์ (Spores) ของเชื้อราปริมาณที่มาก (Gange, 1993) โดยน้ำย่อยหรือเอนไซม์ที่เกิดจากราชนิดนี้สามารถปลดปล่อยฟอสเฟตในดินให้อยู่ในรูปพร้อมใช้สำหรับพืช ซึ่งเชื้อรานี้ทำงานร่วมกับรากพืชโดยช่วยขยายขนาดรากพืชและให้ธาตุฟอสฟอรัสที่สำคัญแก่ราก เช่นเดียวกันกับพืชก็ให้ธาตุคาร์บอนแก่รากการอยู่ร่วมกันแบบนี้เป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับพืช

การเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินโดยเมื่อมีกระบวนการของไส้เดือนดินส่งผลต่อกระบวนการทางชีวภาพของจุลินทรีย์ โดยจากภาพ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมมวลชีวภาพในโตรเจนของจุลินทรีย์ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตรต่อจำนวนไส้เดือนดินในพื้นที่การผลิตถั่วลิสง จากการศึกษาพบว่าเมื่อมีจำนวนของไส้เดือนดินเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลต่อการเพิ่มกิจกรรมมวลชีวภาพในโตรเจนของจุลินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นประโยชน์ของธาตุไนโตรเจนโดยมีการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อผลผลิตของถั่วลิสงเพิ่มสูงขึ้น และยังส่งเสริมต่อความสามารถในการเพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อดินได้อีกด้วย (Eriksen-Hamel & Whalen, 2007)



ภาพ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมของ MBN และ mineral-N (mg N/kg) ที่สะสมในระดับความลึก 0-15 เซนติเมตรต่อจำนวนของไส้เดือนดินในแปลงผลิตถั่วลิสง (n=28)

ที่มา จาก Impacts of earthworms on soil nutrients and plant growth in soybean and maize agroecosystems, โดย Eriksen-Hamel, N. S. and Whalen, J. K., 2007, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120(2-4), 442-448.

3. บทบาททางด้านเคมีของดิน

ฮิวมัสองค์ประกอบสำคัญของดิน (Humus an essential soil component) ฮิวมัสคือสิ่งที่ปราศจากชีวิต และเป็นอินทรีย์วัตถุที่ถูกคัดแยกไว้เป็นอย่างดีในดินตามธรรมชาติ เกิดจากการย่อยสลายของซากพืช, หรือสัตว์โดยจุลินทรีย์ฮิวมัสจะมีสีแตกต่างกันตั้งแต่ น้ำตาล, น้ำตาลแก่ ไปจนถึงดำ ประกอบด้วยคาร์บอนตั้งแต่ 60% ขึ้นไปในโตรเจนตั้งแต่ 6% ขึ้นไปนอกจากนั้นยังมี

ฟอสฟอรัสและซัลเฟอร์ อีกจำนวนเล็กน้อย มันจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยฮิวมัสแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ (1) มอร์ฮิวมัส (Mor humus) หรือฮิวมัสดิบ (2) โมเดอร์ ฮิวมัส (Moder humus) (3) มัลล์ ฮิวมัส (Mull humus) จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซึมและสะสมธาตุอาหารได้มาก (Atiyeh, et al., 2001) ดังแสดงในตาราง 1 โดยคุณสมบัติของการเป็นปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน (vermicast) มีธาตุอาหารในรูปแบบ

ที่พร้อมดูดซึมได้สำหรับพืช มูลไส้เดือนดินมีจำนวนจุลินทรีย์หลากหลายชนิดมากกว่าที่พบในปุ๋ยหมัก (Subler, et al., 1998)

เมื่อศึกษาคุณสมบัติองค์ประกอบทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ จึงทำให้เกิด การรวมตัวของอนุภาคของดินเกิดเป็นหน่วยโครงสร้างที่เรียกว่า aggregate คือการรวมตัวของเนื้อดินเป็นกลุ่มเล็กๆมากมาย การรวมตัวของดินแบบนี้จึงเกิดช่องว่าง และ การจับกันหลวมๆนี้ทำให้เกิดภาวะเม็ดละเอียดของดินขึ้นอันเป็นเหตุให้ดินร่วนและโปร่ง อากาศและน้ำสามารถผ่านได้สะดวก ดินจึงสามารถอุ้มน้ำได้ดีตามคุณสมบัติของคาร์โบไฮเดรตหรือแป้งซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำคัญสำหรับจุลินทรีย์ด้วยและสามารถจับน้ำที่เกินพอโดยคุณสมบัติของไขมันดังกล่าว ส่วนกรดอะมิโนคือแหล่งโปรตีนหรือไนโตรเจนเพื่อการขยายพันธุ์และดำรงอยู่ของจุลินทรีย์ต่อไป ดังนั้นองค์ประกอบของฮิวมัสที่ไม่ใช่สารฮิวมิก ก็มีความสำคัญเท่ากับส่วนที่เป็นสารฮิวมิกด้วยเช่นกัน

ตาราง 1

แสดงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านเคมีในกระบวนการ Humification ของการเปลี่ยนแปลงระหว่างการใส่ไส้เดือนดิน และ ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (*Eisenia foetida*)

วัสดุการเกษตร	Copper (ppm)		Zinc (ppm)		Humic acid (%)		Fulvic acid (%)	
	I	F	I	F	I	F	I	F
1. Cow dung	0.89	1.47	2.01	2.40	5.23	6.58	3.60	4.10
2. Cow dung + Earthworm	0.22	0.61	2.09	2.70	5.23	6.94	3.56	4.58
3. Farm waste	1.69	1.89	3.09	3.48	3.30	4.28	2.38	3.58
4. Farm waste + Earthworm	1.68	2.03	3.06	3.90	3.31	4.60	2.35	3.95
5. Forest leaves	1.52	1.66	2.10	2.28	4.81	7.03	3.75	4.61
6. Forest leaves + Earthworm	1.52	1.74	2.04	2.82	4.77	4.78	3.70	5.19

I : Initial (เริ่มต้น), F : Final (สิ้นสุด) (After 150 days)

ที่มา จาก Changes in chemical properties during compositing of organic residues as influenced by earthworm activity, โดย Talashilkar, S. C., Bhargarath, P. P. and Mehta, V. B., 1999, *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 47(1), 50-53.

4. บทบาทความเป็นประโยชน์ทางการผลิตพืชในระบบเกษตร

ความเป็นประโยชน์ทางการผลิตพืชในระบบเกษตรการทดสอบการเจริญเติบโตของพืชโดยใช้กิจกรรมการเจริญเติบโตของพืชโดยใช้ปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน โดยศึกษาอัตราการงอกของเมล็ดพืช โดยวัดความยาวของรากเมล็ดพืชโดยทำการวัดที่ 48 ชั่วโมง หลังจากการใส่

สารละลายที่เป็นน้ำหมักไส้เดือนดินและน้ำเปล่าปกติ ดังแสดงในตารางที่ 2 จากตารางแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของความยาวรากพืช และอัตราการงอกของเมล็ด ในเมล็ดพืชที่มีการใช้น้ำหมักไส้เดือนดินมีปริมาณรากขนที่งอก และอัตราการงอกดีกว่าในน้ำธรรมดา แสดงว่าในน้ำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินมีสารฮอโมนบางชนิดช่วยให้เมล็ดพืชเจริญเติบโตได้

ตาราง 2

แสดงการเจริญของรากฝอยของเมล็ดพืช

Treatment	Initial length (cm)	Final length (cm)
Tank water	16.5	16.6
Vermicompost water	17.6	18.6

ที่มา จาก *Vermicomposting: Recycling wastes into valuable organic fertilizer*, โดย Nagavallemma, K. P. and International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics, 2004, New York: ICRISAT

5. บทบาททางการผลิตสัตว์และอาหารสัตว์ในระบบการเกษตร

ไส้เดือนดินเป็นแหล่งเพิ่มคุณภาพของสารโปรตีนในการผลิตสัตว์ เมื่อนำไส้เดือนดินไปใช้ในการผลิตสัตว์ อาทิเช่น การเลี้ยงสัตว์น้ำ การเลี้ยงสัตว์ปีก ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต และเพิ่มปริมาณน้ำหนักรวมในการผลิตสัตว์ ดังแสดงในตาราง 3 โดยกรดอะมิโนหรือโปรตีนในดิน กรดอะมิโน (โมเลกุลเล็กสุดของโปรตีนหลังจากโปรตีนถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์) จะถูกย่อยสลายต่อไปอีกด้วยจุลินทรีย์ที่มีอายุสั้นๆในดินได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นปริมาณกรดอะมิโนที่ปรากฏในดิน ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง จะแสดงให้เห็นถึงสมดุลระหว่างการสังเคราะห์และการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ณ ที่นั้นๆ

กรดอะมิโนในดินจะได้รับอิทธิพลจากสภาวะอากาศ ความชื้นของดิน ชนิดของพืชและขั้นตอนของการเจริญเติบโตของพืช รวมทั้งเศษซากอินทรีย์สารที่เพิ่มขึ้นและสภาวะการเพาะปลูก กรดอะมิโนจึงปรากฏอยู่ในดินในรูปแบบที่แตกต่างกันหลายรูปแบบ ดังนี้ (1) ในรูปของกรดอะมิโนอิสระ (2) ในรูปของโปรตีนที่เกาะติดกับแร่ธาตุในดินเหนียว (3) ในรูปของโปรตีนที่เกาะติดกับกรดฮิวมิกที่เป็นคอลลอยด์ (humic colloids) (4) ในรูปของมิวโคโปรตีน (mucoproteins) (5) ในรูปของกรดมิวรามิก (muramic acid) และเมื่อมีการศึกษาปริมาณ Amino acid ในลำตัวของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* พบว่ามีหลากหลายของชนิดดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3

แสดงปริมาณ Amino acid ในลำตัวของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae*

Amino acid	In g/100 g protein
1. Aspartic acid	10.3
2. Threonine	4.3
3. Serine	4.8
4. Glutamic acid	13.8
5. Alanine	5.2
6. Cystine	1.6
7. Valine	5.0
8. Methionine	2.0
9. Isoleucine	4.5
10. Leucine	7.9
11. Tyrosin	3.4
12. Phenylalanine	4.1
13. Lysine	7.1
14. Hystidein	2.6
15. Agrinine	6.1

ที่มา จาก *Earthworms in agriculture*, โดย Talashilkar, S. C. and Dosani, A. A. K., 2005, New Delhi: Agrobios.

การใช้เทคโนโลยีปุ๋ยหมักไส้เดือนดินต่อความเป็นประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อม

1. การใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมเกษตร

จากผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมเกษตรและอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนโลหะหนักแคดเมียมในดิน เมื่อมีการใช้ประโยชน์ของไส้เดือนดินร่วมกับการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมเกษตร

และดินปนเปื้อนแคดเมียมสามารถช่วยเพิ่มธาตุอาหารในดิน โดยเก็บในรูปของขุยมะพร้าวไส้เดือนดินเป็นปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่เป็นประโยชน์และสามารถนำมาใช้ในการลดโลหะหนักในปุ๋ยหมักต่างๆ โดยนำไส้เดือนดินมาเป็นตัวช่วยในการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน โดยนำมาใช้เป็นปุ๋ยหมักชีวภาพทางการเกษตรโดยช่วยลดสารโลหะหนักในดินและไม่ทำให้ระบบนิเวศดินเสื่อมโทรมแต่กลับเพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์และอินทรีย์วัตถุในดิน ดังแสดงในตาราง 4 (Champar-ngam, 2010)

ตาราง 4

แสดงอัตราส่วนระหว่างดินและกากมันสำปะหลังที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์หลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost)

ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์	อัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์			
	ชุดดิน น้ำพอง (Ng) g/kg กากของเสีย*	% การเปลี่ยนแปลง หลังการทำปุ๋ยหมัก ไส้เดือนดิน	ชุดดิน พิมาย (Pm) g/kg กากของเสีย*	% การเปลี่ยนแปลง หลังการทำปุ๋ยหมัก ไส้เดือนดิน
Total N	Ng200	62.54	Pm200	36.26
Avail. P	Ng600	79.33	Pm600	61.42
Exch. Ca	Ng600	64.61	Pm600	75.70
Exch. Mg	Ng600	79.33	Pm600	61.42
Exch. K	Ng600	84.37	Pm600	56.8
Organic carbon (OC)	Ng200	83.8	Pm200	49.95
C:N ratio (ลดลง)	Ng200	84.43	Pm200	44.29

* ปริมาณ ดิน: กากมันสำปะหลัง

2. การใช้ไส้เดือนดินในการจัดการดินปนเปื้อนและลดปริมาณโลหะหนักในดิน

การศึกษาการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรม การเกษตรและอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินด้วยวิธีปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) เพื่อใช้ไส้เดือนดินมาใช้เป็นตัวดูดซับทางชีวภาพสารมลพิษแคดเมียมในดิน และความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินเพื่อลดสารมลพิษแคดเมียม โดยศึกษาอิทธิพลและกิจกรรมของไส้เดือนดิน (*Eudrillus eugeniae*) ที่มีผลต่อแคดเมียมในดินในระยะเวลา 15 วันในการหมักแบบมีไส้เดือนดิน (Vermicompost) และ ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (compost) ที่ระดับต่างๆการปนเปื้อนของ $CdCl_2$ (12.5, 37.5, 50, 125, 187.5 mg/kg of Cd) จากการศึกษาการหลีกเลี่ยงของไส้เดือนดินต่อสารมลพิษแคดเมียมในดินที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันพบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นอัตราการหลีกเลี่ยงของไส้เดือนดินต่อสารมลพิษของไส้เดือนดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และระดับการสะสมของแคดเมียมในลำตัวไส้เดือนดินจะเพิ่มสูงขึ้นตามระดับของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมี

นัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยเปอร์เซ็นต์ในการลดลงของปริมาณแคดเมียมในดิน (57.76%, 50.02%, 47.86%, 53.91% และ 58.05%) ตามลำดับ และไส้เดือนดินยังช่วยลดแคดเมียม (Cd-Extractable Cd^{2+}) ในปุ๋ยหมักไส้เดือนดินได้นอกเหนือจะได้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์กับพืชแล้ว ยังสามารถช่วยลดผลกระทบของการปนเปื้อนของโลหะหนักแคดเมียมในดินได้ (Champar-ngam, 2010)

บทสรุป

ประโยชน์จากการใช้เทคโนโลยีปุ๋ยหมักไส้เดือนดินเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืนส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ต่อระบบนิเวศ และสิ่งแวดล้อมเกษตร โดยกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินมีประโยชน์ต่อกิจกรรมการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารและสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อระบบนิเวศเกษตรทั้งคุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน โดยองค์ประกอบเหล่านี้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดกิจกรรมต่างๆ ของไส้เดือนดิน โดยมีการย่อยสลายกากของเสียทั้งที่เป็นกากของเสียประเภท

อินทรีย์ เช่น กากมันสำปะหลัง มูลสัตว์ เป็นต้น และ สารอนินทรีย์ เช่น ธาตุอาหารต่างๆ โดยมีไส้เดือนดินเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ในดินโดยผลิตเป็นสารที่ประกอบด้วยของแข็งในรูปของขุยและในรูปของเหลวของน้ำมูลของไส้เดือนดินโดยทั้งสองชนิดมีองค์ประกอบของสารอาหาร ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในรูปพร้อมใช้สำหรับพืชและสารฮอโมนออกฤทธิ์ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เป็นอินทรีย์วัตถุที่ประโยชน์ต่อ

การเก็บกักและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น การใช้ประโยชน์จากการใช้ไส้เดือนดินเป็นการใช้ความรู้ทางเทคโนโลยีที่ดีและ เป็นการนำสิ่งที่มีในท้องถิ่นมาจัดการกากของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต ส่งผลต่อการพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืน และลดต้นทุนการนำเข้าสารเคมี และช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการทิ้งกากของเสียต่างๆ สู่สิ่งแวดล้อมเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม



References

- Atiyeh, R. M., Edwards, C. A., Subler, S., & Metzger, J. D. (2001). Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: Effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology*, 78(1), 11-20.
- Atiyeh, R. M., Arancon, N. Q., Edwards, C. A., & Metzger, J. D. (2002). The influence of earthworm-processed pig manure on the growth and productivity of marigolds. *Bioresource Technology*, 81(2), 103-108.
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q., & Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*, 84(1), 7-14.
- Blanchart, E., Albrecht A., Brownc, G., Decaens T., Duboisset A., Lavelle e, P., Mariani L., & Roose E. (2004). Effects of tropical endogeic earthworms on soil erosion. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104(2), 303-315.
- Champar-ngam, N. (2010). *The feasibility of using earthworm in agro-industrial waste treatment and influence on reduction of cadmium contaminations in soil*. Master of Agriculture Thesis, Khon Kaen University. (in thai)
- Edwards, C. A., & Burrow, I. (1998). Breakdown of animal, vegetable and industrial wastes by earthworms, In Edwards, C. A. & Neuhauser, E. F. (Eds.), *Earthworms in waste and environmental management*. The Hague: SPB Academic.
- Edwards, C. A. (1995). Commercial and environmental potential of vermicomposting: A historical overview. *Bio Cycle*, 36(6), 62-63.
- Eriksen-Hamel, N. S., & Whalen, J. K. (2007). Impacts of earthworms on soil nutrients and plant growth in soybean and maize agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120(2-4), 442-448.
- 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.
- Gange, A. C. (1993). Translocation of mycorrhizal fungi by earthworms during early succession. *Soil Biology and Biochemistry*, 25(8), 1021-1026.

- Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, E., Spain, A.V., & Martin, S. (1992). *Impact of soil fauna on the properties of soils in the humids tropics*. Retrieved from <http://dlc.dlib.indiana.edu/dlc/bitstream/handle/10535/6096/impact%20of%20soils.pdf>
- Lee, K. E., & Foster, R. C. (1991). Soil fauna and soil structure. *Australian Journal of Soil Research*, 29(6), 745-775.
- Nagavallemma, K. P., & International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics. (2004). *Vermicomposting: Recycling wastes into valuable organic fertilizer*. New York: ICRISAT.
- 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.
- Ranganathan, L. S., & Vinotha, S. P. (1998). Influence of pressmud on the enzymatic variations in the different reproductive stages of *Eudrilus eugeniae*. *Current Science*, 74(7), 634-635.
- Subler, S., Edwards, C. A., & Metzger, J. D. (1998). Comparing vermicomposts and composts. *Bio Cycle*, 39(1998), 63-66.
- Talashilkar, S. C., Bhangerath, P. P., & Mehta, V. B., (1999). Changes in chemical properties during compositing of organic residues as influenced by earthworm activity. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 47(1), 50-53.
- Talashilkar, S. C., & Dosani, A. A. K. (2005). *Earthworms in Agriculture*. New Delhi: Agrobios.
- Tomati, V., Grappelli, A., & Galli, E. (1985). Fertility Factors in Earthworm Humus. *Agriculture and Environment: Prospects in Earthworm Farming*, Rome.
- Tripathi, G., & Bhardway, P. (2004). Earthworm diversity and habitat preference in arid regions of Rajathan. *Zoos'Print Journal*, 19(7), 1515-1519.

