ผลของวัสดุรองพื้นต่อการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของไส้เดือนดิน *Eisenia fetida*

Effect of bedding on growth and reproduction of earthworm *Eisenia fetida*

พงษ์สุดา ชาญวิชัยพจน์[1], เบ็ญจวรรณ ชุติชูเดช[2], ประสิทธิ์ ชุติชูเดช[2]

Pongsuda Chanvichaypote[1], Benjawan Chutichudet[2], Prasit Chutichudet[2]

Received: 19 May 2017 ; Accepted: 15 September 2017

บทคัดย่อ

ไส้เดือนดิน เป็นสัตว์ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อระบบนิเวศในการย่อยสลาย ซากพืช ซากสัตว์ และอินทรียวัตถุในดิน ปัจจุบันปริมาณขยะและของเสียจากชุมชนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งขยะอินทรีย์เหล่านี้จะส่งกลิ่นเหม็นและเป็นแหล่งสะสมของโรคต่างๆ ดังนั้นการเลี้ยงไส้เดือนดินเพื่อนำมาใช้กำจัดเศษขยะอินทรีย์เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว บทความนี้ได้รวบรวมข้อมูลงานทดลองโดยใช้วัสดุรองพื้นไส้เดือนดิน *Eisenia fetida* จากมูลสัตว์ เศษอาหารเศษผัก ปุ๋ยหมักจากเศษผัก และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ที่มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ทดลองในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ความชื้น 60 - 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราการเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ของไส้เดือนดินมีระดับสูงสุดเมื่อได้รับวัสดุรองพื้นจากมูลควาย และมูลวัว รองลงมาคือ มูลสุกร มูลกระต่าย มูลสัตว์ปีก และมูลแกะ ในขณะที่ปุ๋ยหมักจากผักพบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนดินลดลง ขณะที่วัสดุรองพื้นไส้เดือนดินจากชานอ้อยผสมกับมูลวัวอัตราส่วน 50:50 พบว่าจำนวนไส้เดือนดินเพิ่มขึ้นภายในระยะเวลา 60 วัน และจำนวนถุงไข่เริ่มผลิตภายหลังการเพาะเลี้ยงนาน 30 วัน และเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเวลา 105 วัน และวัสดุรองพื้นไส้เดือนดินจาก press mud ผสมกับมูลวัวอัตราส่วน 25:75 พบว่าจำนวนของไส้เดือนดินและจำนวนถุงไข่มีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเวลา 105 วัน แสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุรองพื้นที่แตกต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของไส้เดือนดิน

คำสำคัญ: วัสดุรองพื้น การเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ ถุงไข่ ไส้เดือนดิน

Abstract

Earthworm is an animal which is very important on ecosystem in terms of acceleration of decomposing humus, carcass and organic matter in soil. At the present, increases in garbage and waste from the communities lead to be point sources of bad smell and different diseases. Thus, the culture of earthworm in order to get rid of organic waste is an another way to solve these problems by using dung, vegetable waste, compost from vegetable waste and agricultural waste. This article present important review information regarding on effect of bedding on growth and reproduction of earthworm. The experiment was designed as Completely Randomized Design, under laboratory 25 °C, 60-80 % humidity. The results showed that the maximum growth rates and reproduction of earthworms were found in the bedding with buffalo dung and cow dung, followed by the pig dung, rabbit, poultry and sheep, whereas the compost from vegetables led to decease the growth rate of earthworm. For bedding from bagasse mixed with cow dung at ratio of 50:50, the result showed an increase in number of earthworm within 60 days, and the number of

[1] นิสิตระดับปริญญาโท, [2]อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

[1] Master Degree Student, 2 Lecturer of Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham, Thailand 44150

** Corresponding author: Pongsuda Chanvichaypote, Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham, Thailand 44150 E-mail : p.chanwichaypote@gmail.com*

cocoon started to produce after culture for 30 days. The maximum increase in cocoon number appeared 105 days after culture. In addition, bedding from press mud mixed with cow dung at ratio of 25:75, the result showed that the maximum numbers of earthworm and cocoon were observed after 105 day culture. These results revealed that the application of the different aforementioned bedding affected growth and reproduction of earthworm.

Keywords: Bedding, Growth, Reproduction, Cocoon, Earthworm

บทนำ

ในปัจจุบันการกำจัดขยะอินทรีย์ที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรกรรม รวมทั้งอุปโภคบริโภคในครัวเรือนมักมีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดขยะอินทรีย์จำนวนมาก ซึ่งขยะอินทรีย์เหล่านี้ส่วนใหญ่ถูกกำจัดโดยวิธีการฝังกลบและการเผาซึ่งส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตในบริเวณนั้น เนื่องจากบางส่วนจะเกิดการปนเปื้อนในน้ำ ดิน ตลอดจนห่วงโซอาหาร ทำให้การดำรงชีวิตของมนุษย์เกิดภาวะเสี่ยงต่อโรคต่างๆ มากขึ้น[1] ต่อมาได้มีการศึกษาและพัฒนาการใช้ประโยชน์จากไส้เดือนดินเพื่อนำมาใช้กำจัดเศษขยะอินทรีย์ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กำจัดเศษขยะอินทรีย์โดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมและอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างไส้เดือนดินและจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายเพื่อให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์ และช่วยเพิ่มความร่วนซุย ความอุดมสมบูรณ์ของดิน แล้วยังนับว่าเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีส่วนประกอบของธาตุอาหารในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง เช่น ธาตุไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และไนเตรทไอออน (NO_3^-) ฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟตไอออน ($H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-}) และโพแทสเซียมในรูปของโพแทสเซียมไอออน (K^+) เป็นต้น ซึ่งในประเทศที่พัฒนาแล้วมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากไส้เดือนดินเพื่อกำจัดขยะ และใช้ประโยชน์จากปุ๋ยมูลไส้เดือนดินในภาคการเกษตรมานาน ตลอดจนมีการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในรูปแบบธุรกิจทางการค้า และใช้ในฟาร์มกันอย่างแพร่หลายเพื่อส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากไส้เดือนดิน[2] ไส้เดือนดิน (earthworm) เป็นสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง ลำตัวเป็นปล้อง จัดอยู่ในอาณาจักรสัตว์ Kingdom: Animalida Phylum: Anelida ซึ่งไส้เดือนดินเป็นสัตว์ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อระบบนิเวศในการย่อยสลายอินทรีย์สารในดินการเคลื่อนที่ของไส้เดือนดิน จะช่วยพลิกกลับดินนำดินด้านล่างขึ้นมาด้านบนโดยการกินดินที่มีแร่ธาตุบริเวณด้านล่างแล้วถ่ายมูลบริเวณผิวดินด้านบน และเป็นการพรวนดินทำให้ดินมีช่องว่างที่จะเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แก่ดิน ไส้เดือนดินจะมีบทบาททำให้โครงสร้างของดินดีขึ้น ดินร่วนซุย การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศดีขึ้น[3] ทั้งนี้การเลี้ยงไส้เดือนดินสามารถทำได้ง่ายและใช้ต้นทุนต่ำ เช่น อ่างพลาสติก ลิ้นชักพลาสติก บ่อซีเมนต์หรือกระถางต้นไม้[4] เพียงแค่มีมูลสัตว์สำหรับเป็นแหล่งอาศัยของไส้เดือนดิน และให้เศษผัก เปลือกผลไม้ เศษอาหาร และขยะอินทรีย์ต่างๆ ขณะไส้เดือนดินเจริญเติบโต

ไส้เดือนดินเป็นสัตว์ที่มีสองเพศในตัวเดียวกัน แต่โดยธรรมชาติไส้เดือนจะไม่ผสมตัวเอง การผสมพันธุ์จึงเกิดขึ้นโดยการสัมผัสกับตัวอื่น และแลกเปลี่ยนน้ำเชื้อเพศผู้ หลังจากนั้นไส้เดือนดินจะออกไข่และไข่จะฟักออกเป็นตัวภายในเวลา 3 สัปดาห์ ประกอบด้วยตัวอ่อน 2 - 20 ตัว ไส้เดือนดินระยะตัวเต็มวัยมีอายุ 2 - 3 เดือน จะถูกนำมาปล่อยในบ่อขยายพันธุ์ ซึ่งไส้เดือนดินจะวางไข่ทุก 7 - 10 วัน อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงจะอยู่ระหว่าง 29.4 - 32.2 องศาเซลเซียส ความชื้น 60 - 80 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเจริญเติบโตได้ในวัสดุรองพื้นที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วงระหว่าง 4.2 - 8.0 แต่จะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 7.0[5] ไส้เดือนดินที่นำมาเลี้ยงแม้ส่วนใหญ่จะเป็นสายพันธุ์จากต่างประเทศ แต่พบว่าสามารถขยายพันธุ์ และเจริญเติบโตดีในสภาพอากาศของประเทศไทย โดยทั่วไปไส้เดือนดินที่นำมาใช้ในการกำจัดขยะอินทรีย์เพื่อผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน ได้แก่ *Eisenia fetida* เป็นไส้เดือนดินสายพันธุ์ต่างประเทศ ลำตัวกลมขนาดเล็กมีสีแดงสด อาศัยอยู่บริเวณผิวดินกินเศษซากอินทรียวัตถุที่เน่าเสียจากสารอินทรีย์ กองขยะ และปุ๋ยคอก[6] ขยะอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยสลายโดยไส้เดือนดิน พบว่ามีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งขยะอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยสลายด้วยไส้เดือนดินแล้วจะเรียกว่า Vermicompost หรือปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ซึ่งเกิดจากการที่ไส้เดือนดินกินขยะอินทรีย์เข้าไปแล้วผ่านกระบวนการย่อยสลายภายในลำไส้ของไส้เดือนดิน แล้วจึงขับถ่ายเป็นมูลออกมาทางรูทวาร โดยมูลที่ได้มีลักษณะเป็นเม็ดร่วนสีน้ำตาล โปร่งเบา มีความพรุนระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดีมาก ปริมาณความชื้นสูง ปริมาณอินทรียวัตถุสูง (9.3 เปอร์เซ็นต์) และมีธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจน (8.3 เปอร์เซ็นต์) ฟอสฟอรัส (4.5 เปอร์เซ็นต์) โพแทสเซียม (1.0 เปอร์เซ็นต์) แคลเซียม (0.4 เปอร์เซ็นต์) และแมกนีเซียม (0.1 เปอร์เซ็นต์)[5,7]

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าไส้เดือนดินมีประโยชน์ในการย่อยสลายขยะอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาด้านมลภาวะสิ่งแวดล้อม ทั้งยัง

เป็นการนำสารอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ในรูปของปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน เพื่อนำไปใช้ผสมดินหรือปรับสภาพดินในการปลูกพืชให้ดีขึ้น และเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นรายงานฉบับนี้จึงรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับผลของวัสดุรองพื้นแบบต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ของไส้เดือนดิน *E. fetida* รวมถึงการนำปุ๋ยมูลไส้เดือนดินไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่เกษตรกรและประชาชนทั่วไปในการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

ไส้เดือนดิน *Eisenia fetida*

ไส้เดือนดิน *Eisenia fetida* หรือไส้เดือนดินลายเสือ ชื่อสามัญคือ Tiger worms เป็นไส้เดือนดินสายพันธุ์ต่างประเทศ ลำตัวกลม ขนาดเล็กมีสีแดงสด เห็นปล้องแต่ละปล้องอย่างชัดเจน การแพร่ขยายพันธุ์สามารถกระทำได้รวดเร็ว และมีกลิ่นตัวที่รุนแรง ปกติไส้เดือนดินจะอาศัยอยู่บริเวณผิวดิน โดยกินเศษซากอินทรียวัตถุที่เน่าเสียจากสารอินทรีย์ กองขยะ และปุ๋ยคอก[6]

ไส้เดือนดิน (earthworm) เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ลำตัวเป็นปล้องจัดอยู่ใน kingdom: Animalida, Class: Oligochaeta, Order: Opisthopora และ Family: Lambricidae[8] โดยไส้เดือนดิน *E. fetida* มีลักษณะทั่วไปคือ มีจำนวนปล้อง 75 - 150 ปล้อง ความยาวของลำตัว 5 - 10 เซนติเมตร มีช่วงชีวิตนานประมาณ 28 เดือน และเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25 - 40 องศาเซลเซียส ระดับความชื้นประมาณ 40 - 45 เปอร์เซ็นต์[9] ปัจจุบันมีการจำแนกไส้เดือนดินทั่วโลกประมาณ 4,000 กว่าชนิด ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่นำมาใช้กำจัดขยะอินทรีย์

ในประเทศแถบยุโรป อเมริกา และออสเตรเลีย นิยมนำไส้เดือนดินสายพันธุ์ *E. fetida* เพื่อใช้ในธุรกิจตกปลา และเพื่อใช้ในการกำจัดขยะในครัวเรือน[10] เนื่องจากไส้เดือนดินสายพันธุ์นี้พบทั่วไปในบริเวณที่มีขยะอินทรีย์ โดยส่วนใหญ่จะขยายพันธุ์และเจริญเติบโตอยู่ในกองขยะอินทรีย์ ไส้เดือนดินสายพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่มีความทนทานต่อช่วงอุณหภูมิสูงถึง 40 องศาเซลเซียส และสามารถดำรงชีวิตอยู่ในขยะอินทรีย์ที่มีความชื้นได้หลายระดับ จึงเป็นไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดีมาก นอกจากนี้ Chauhan *et al*.[11] ได้ศึกษาการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากเศษผักและมูลวัว โดยใช้ไส้เดือนดิน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Eisenia fetida, Eudrilus eugeniae* และ *Perionyx excavatus* พบว่าปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eisenia fetida* ให้ปริมาณไนโตรเจน (N) สูงสุดที่ 2.50 กรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัส (P) สูงสุดที่ 1.12 กรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียม (K) สูงสุดที่ 0.63 กรัมต่อกิโลกรัม

วงจรชีวิตของไส้เดือนดิน

ไส้เดือนดิน (earthworm) เป็นสัตว์ในดินที่มีวงจรชีวิตทุกระยะเกิดขึ้นในดิน ประกอบด้วยระยะตัวเต็มวัย ระยะสืบพันธุ์ ระยะวางถุงไข่ ระยะฟักออกจากไข่เป็นตัวอ่อน ระยะเจริญเติบโตจนโตเต็มวัยที่สืบพันธุ์ได้ โดยปกติไส้เดือนดินจะผสมพันธุ์กันในช่วงเวลากลางคืน ถึงแม้ตามธรรมชาติไส้เดือนดินจะมีสองเพศในตัวเดียวกัน แต่ไส้เดือนดินจะไม่ผสมตัวเอง การผสมพันธุ์ในไส้เดือนดินจึงเกิดจากไส้เดือนดินสองตัวมาจับคู่กันและแลกเปลี่ยนน้ำเชื้อเพศผู้[5] โดยใช้ด้านท้องแนบกันและสลับหัวสลับหางกัน การจับคู่จะใช้เวลานานประมาณ 1 ชั่วโมง จึงแยกออกจากกัน เมื่อไส้เดือนดินแยกออกจากกันประมาณ 2 - 3 วัน จะมีการเปลี่ยนแปลงบริเวณไคลเทลลัม (clitellum) เพื่อสร้างถุงหุ้มไข่ (cocoon) ให้เคลื่อนผ่านไปบริเวณส่วนหัวเพื่อรับไข่และสเปิร์มเข้าไปภายใน และเคลื่อนออกมานอกลำตัวในบริเวณช่องสืบพันธุ์เพศเมีย โดยตัวอ่อนจะพัฒนาอยู่ภายในถุงและฟักเป็นตัวในเวลาต่อมา[10]

Venter and Reinecke.[8] ศึกษาวงจรชีวิตของไส้เดือนดิน *E. fetida* พบว่าไส้เดือนดินสายพันธุ์ *E. fetida* มีอายุยืนยาวมากกว่า 500 วัน ใช้เวลาในการฟักตัวประมาณ 23 วัน โดยเฉลี่ยมีจำนวนการฟักไข่ 2 - 7 ตัวต่อถุงไข่ โดยใช้เวลาในการเจริญเติบโตนาน 40 - 60 วัน ซึ่งจะผลิตถุงไข่ภายในเวลา 4 วัน หลังจากเกิดการผสมพันธุ์ (Figure 1)[8] ซึ่งไส้เดือนดินในประเทศต่างๆ จะมีระยะเวลาของวงจรชีวิตที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากสภาพแวดล้อมมีผลต่อการสร้างถุงไข่ของไส้เดือนดิน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และสภาพของแหล่งที่ไส้เดือนดินอาศัยอยู่[10]

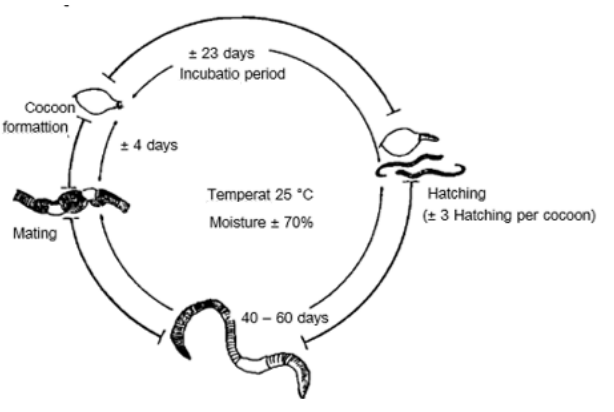

Figure 1 A diagram of the life cycle of *E. fetida* reared in cow manure at a temperature of 25°C and a moisture content of 75%.[8]

บทบาทที่เป็นประโยชน์ของไส้เดือนดิน

ไส้เดือนดิน (earthworm) เป็นสัตว์ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อระบบนิเวศ ช่วยพลิกกลับดินนำดินด้านล่างขึ้นมาด้านบน โดยการกินดินที่มีแร่ธาตุบริเวณด้านล่างแล้วถ่ายมูลบริเวณด้านบน ทำให้เกิดการผสมคลุกเคล้าแร่ธาตุในดินและนำแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในชั้นใต้ดินขึ้นมาด้านบน ทำให้ต้นพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น ไส้เดือนดินจึงเป็นผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน ซากพืช ซากสัตว์ และอินทรียวัตถุต่างๆ ซึ่งอินทรียวัตถุเหล่านี้มีคุณสมบัติช่วยปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยการปลดปล่อยแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์สำหรับการดูดซึมของต้นพืช[12] ขณะที่น้ำย่อยของไส้เดือนดินมีคุณสมบัติช่วยกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ไรโซเบียม ไมคอร์ไรซาในบริเวณรากพืช[5] ซึ่งการเคลื่อนที่ในดินของไส้เดือนดินทำให้ช่วยพรวนดิน ทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้น ดินโปร่งร่วนซุย ไม่แน่นทึบ การถ่ายเทน้ำและอากาศดี จึงมีลักษณะที่เหมาะสมแก่การเจริญของรากพืช[13] ทั้งนี้การดำรงชีวิตของไส้เดือนดินแต่ละชนิดจะอาศัยในดินที่ระดับความลึกและความชื้นดินที่แตกต่างกัน โดยไส้เดือนดินจะขุดโพรงอาศัยหากินในดินทำให้ดินโปร่ง สะดวกต่อการไหลลงของน้ำลงในดิน[14] ทั้งนี้นอกจากไส้เดือนดินบางชนิดจะอาศัยในมูลสัตว์ หรือเศษซากอินทรียวัตถุ ซึ่งสามารถนำมาเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์เพื่อใช้ในการกำจัดขยะอินทรีย์ต่างๆ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้ เช่น สายพันธุ์ *Lumbricus rubellus, Eudrilus eugeniae* และสายพันธุ์ *Pheretima peguana* เป็นต้น

ปัจจุบันมีหลายหน่วยงานที่ให้ความสนใจการใช้ไส้เดือนดินในการกำจัดขยะอินทรีย์ โดยมีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในการนำไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่เหมาะสมมาใช้ในการกำจัดขยะอินทรีย์จากบ้านเรือน เทศบาล โรงงานอุตสาหกรรม วัสดุเหลือใช้ในไร่นา หรือกำจัดของเสียภายในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน นอกจากนี้ไส้เดือนดินยังสามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ เช่น ปลา นก เป็ด และไก่ ได้อีกด้วย

วัสดุรองพื้นที่ใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน

การเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินด้วยวัสดุรองพื้นชนิดต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดินจะมีคุณสมบัติในการย่อยสลายแตกต่างกัน เช่น มูลวัว มูลควาย มูลหมู มูลไก่ หรือมูลสัตว์ปีกชนิดอื่นๆ เศษผักเหลือทิ้งจากโรงงานคัดบรรจุเศษอาหารจากโรงอาหารเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ง่ายและรวดเร็ว ซึ่งวัสดุรองพื้นที่ใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดินที่ดี ต้องสามารถรักษาความชื้น มีความร่วนซุย โดยในวัสดุรองพื้นไม่ควรมีส่วนผสมที่มีโปรตีนหรือวัสดุอินทรีย์ที่ให้ไนโตรเจนสูง เนื่องจากเมื่อย่อยสลายวัสดุเหล่านั้นจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนีย (NH_4^+) ทำให้วัสดุรองพื้นเปลี่ยนสภาพเป็นด่างจัด ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน นอกจากนี้ในสภาพด่างจัดแอมโมเนียจะอยู่ในรูปของแก๊ส (NH_3) ซึ่งเป็นอันตรายต่อไส้เดือนดิน[5] โดยภายหลังจากการย่อยสลายของไส้เดือนดินจะได้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินซึ่งมีธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม[3] รวมทั้งยังช่วยลดอัตราส่วนของคาร์บอน:ไนโตรเจน นอกจากนี้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินยังพบว่ามีกรดฮิวมิก ซึ่งช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวแน่น แข็ง ให้ร่วนซุย ระบายน้ำและอากาศได้ดีขึ้น ช่วยส่งเสริมการดูดซับธาตุอาหารไม่ให้สูญเสียจากดินและยังช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นแก่พืชอย่างช้าๆ ทำให้ระบบรากพืชแข็งแรงสามารถเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตสูง[15]

วัสดุรองพื้นที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของไส้เดือนดิน

ปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร มีผลทำให้ปริมาณขยะและของเสียจากชุมชนเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณ โดยขยะที่พบส่วนมากเป็นขยะอินทรีย์ที่ไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งส่งกลิ่นเหม็นและเป็นแหล่งสะสมของโรคต่างๆ ซึ่งในประเทศที่พัฒนาแล้วได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากไส้เดือนดินเพื่อนำมาใช้ย่อยสลายขยะอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาด้านมลภาวะสิ่งแวดล้อม และเป็นการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับขยะอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยพบว่าไส้เดือนดินสามารถลดระยะเวลาในการย่อยสลายขยะอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์[3] ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถทำได้โดยง่าย ใช้ต้นทุนต่ำ โดยใช้มูลสัตว์สำหรับเป็นวัสดุรองพื้น เช่น มูลวัว มูลควาย มูลม้า ของเสียจากสุกร (มูล ปัสสาวะ เศษอาหารที่อยู่ในคอก) ของเสียจากสัตว์ปีก (มูลไก่) และเศษขยะหรือของเสียจากชุมชน (เศษผัก เศษอาหาร) ซึ่งวัสดุอินทรีย์เหล่านี้สามารถนำมาเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินและผลิตเป็นปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินได้[2] ขณะที่การจัดการขยะอินทรีย์ด้วยวิธีการทิ้งหรือการฝังกลบถือเป็นการจัดการที่ไม่เหมาะสมสำหรับของเสียเหล่านี้ ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ และก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ

มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุรองพื้นที่ใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดินเพื่อการจัดการของเสียจากขยะอินทรีย์ Sharma and Garg[1] ศึกษาการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากเศษอาหารและเศษผัก (food and vegetable processing waste, VW) ผสมกับมูลควาย (buffalo dung, BW) โดยใช้ไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eisenia fetida* วางแผนการทดลองแบบ

สุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) จำนวน 3 ซ้ำ ซึ่งมีวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน 4 อัตราส่วน ได้แก่ VB1 (BW 100 เปอร์เซ็นต์ :Control), VB2 (BW 75 เปอร์เซ็นต์ + VW 25 เปอร์เซ็นต์), VB3 (BW 50 เปอร์เซ็นต์ + VW 50 เปอร์เซ็นต์) และ VB4 (BW 25 เปอร์เซ็นต์ + VW 75 เปอร์เซ็นต์) คลุกเคล้าให้เข้ากันและหมักทิ้งไว้เป็นเวลานาน 3 สัปดาห์ เพื่อเตรียมเป็นวัสดุรองพื้นที่ใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน หลังจากนั้นนำวัสดุรองพื้นแต่ละประเภทที่ได้เตรียมไว้แล้วใส่ในกล่องพลาสติก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร) แล้วนำไส้เดือนดิน *E. fetida* ขนาดตัวเต็มวัย จำนวน 20 ตัว ปล่อยลงเลี้ยงในแต่ละวัสดุรองพื้น โดยทำการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25 ± 3 องศาเซลเซียส เก็บรักษาไว้ที่ระดับความชื้น 60 - 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลานาน 90 วัน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของไส้เดือนดินมีระดับสูงสุด ซึ่งจะเห็นได้จากน้ำหนักสุดท้ายของไส้เดือนดิน จำนวนตัวอ่อนทั้งหมด และการอยู่รอดของตัวอ่อนไส้เดือนดินมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 78.30 ± 0.75 กรัม 811 ± 11.02 และ 40.58 ± 0.55 ตัว ตามลำดับ เมื่อได้รับวัสดุรองพื้นจาก VB1 (มูลควาย 100 เปอร์เซ็นต์) ตามด้วย VB2 (มูลควาย 75 เปอร์เซ็นต์ + เศษอาหารและเศษผัก 25 เปอร์เซ็นต์) มากกว่า VB3 (มูลควาย 50 เปอร์เซ็นต์ + เศษอาหารและเศษผัก 50 เปอร์เซ็นต์) และ VB4 (มูลควาย 25 เปอร์เซ็นต์ + เศษอาหารและเศษผัก 75 เปอร์เซ็นต์) (Table 1) การใช้วัสดุรองพื้นจาก VB1 (มูลควาย 100 เปอร์เซ็นต์) ทำให้อัตราเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของไส้เดือนดินมีระดับสูงที่สุด เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุรองพื้นที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันที่ปริมาณไนโตรเจน (มูลควาย 7.82 ± 0.28 กรัมต่อกิโลกรัม และเศษอาหารและเศษผัก 12.00 ± 0.23 กรัมต่อกิดลกรัม)

นิพนธ์[5] กล่าวว่าในวัสดุรองพื้นที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงเมื่อย่อยสลายจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียทำให้วัสดุรองพื้นเปลี่ยนสภาพเป็นด่างจัด ซึ่งแอมโมเนียจะอยู่ในรูปของแก๊สจึงไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน โดยทั่วไปแล้วลักษณะทางเคมีของวัสดุรองพื้นมีอิทธิพลต่อความอยู่รอดของไส้เดือนดินโดยตรงหรือทางอ้อม ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการย่อยสลายของเสียโดยไส้เดือนดิน นอกจากนี้ Suthar[16] กล่าวว่าในวัสดุรองพื้นที่มีการผลิตแอมโมเนียในกระบวนการย่อยสลายของเสียจะเป็นอันตรายและทำให้ไส้เดือนดินตาย ซึ่งจากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chauhan and Singh[17] รายงานว่าในวัสดุรองพื้นที่ใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดินจากมูลควายให้อัตราการเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ของไส้เดือนดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ต่อมาหลังจากเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินเป็นเวลานาน 90 วัน พบว่าในวัสดุรองพื้นที่ใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดินจาก VB1 (มูลควาย 100 เปอร์เซ็นต์) มีระดับไนโตรเจนเพิ่มขึ้น (7.83 - 20.43 กรัมต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุรองพื้นไส้เดือนดินเริ่มต้น (7.82 กรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมาคือ VB2 (มูลควาย 75 เปอร์เซ็นต์ + เศษอาหารและเศษผัก 25 เปอร์เซ็นต์) มีระดับไนโตรเจนเพิ่มขึ้น (18.70 กรัมต่อกิโลกรัม) เมื่อเทียบกับวัสดุรองพื้นเริ่มต้น (8.54 กรัมต่อกิโลกรัม) ต่อมาคือ VB3 (มูลควาย 50 เปอร์เซ็นต์ + เศษอาหารและเศษผัก 50 เปอร์เซ็นต์) และ VB4 (มูลควาย 25 เปอร์เซ็นต์ + เศษอาหารและเศษผัก 75 เปอร์เซ็นต์) (Figure 2)[1] ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของระดับไนโตรเจนเนื่องจากไส้เดือนดินมีการขับเมือก ของเหลว เอนไซม์ และเนื้อเยื่อที่ตายแล้วออกมา จึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน เพิ่มขึ้น[16,18]

Hartenstein and Hartenstein[19] รายงานว่าการลดลงของค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและการตรึงไนโตรเจนในบรรยากาศด้วยจุลินทรีย์อาจทำให้เกิดปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ต่อมาพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุรองพื้นไส้เดือนดินเริ่มต้นอยู่ในช่วง 4.80 - 11.74 กรัมต่อกิโลกรัม (Figure 3)[1]

Table 1 Growth and reproduction (mean ± SD) of *E. fetida* in different vermibins[1]

Biological parameter	Treatment			
	VB1	VB2	VB3	VB4
Initial wt. of worm (g)	9.69 ± 0.53[a]	13.29 ± 0.78[d]	12.44 ± 0.41[c]	11.15 ± 0.23[b]
Final wt. of worm (g)	78.30 ± 0.75[a]	67.90 ± 2.40[b]	37.53 ± 0.88[c]	15.67 ± 0.44[d]
Total no. of hatchling (count)	811 ± 11.02[a]	492 ± 6.43[b]	314 ± 6.34[c]	117 ± 4.93[d]
No of hatchling worm	40.58 ± 0.55[a]	24.63 ± 0.32[b]	15.73 ± 0.32[c]	5.88 ± 0.25[d]

Mean values followed by different letters are statistically different (ANOVA; Tukey's t test, $P < 0.05$)

Note: Initial wt. of worm (g) = น้ำหนักเริ่มต้นของไส้เดือนดิน (กรัม), Final wt. of worm (g) = น้ำหนักสุดท้ายของไส้เดือนดิน (กรัม), Total no. of hatchling (count) = จำนวนตัวอ่อนทั้งหมด (ตัว), No. of hatchling/worm = การอยู่รอดของตัวอ่อนไส้เดือนดิน (ตัว), BW = Buffalo dung, VW = Food and vegetable processing waste, VB1 = BW 100% (Control), VB2 = BW 75% + VW 25%, VB3 = BW 50% + VW 50%, VB4 = BW 25% + VW 75%

Suthar[20] กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัส เกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ฟอสฟาเตส (phosphatase) ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ภายในลำไส้ของไส้เดือนดิน ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ช่วยละลายฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ในดินให้กลายเป็นฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และยังพบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุรองพื้นไส้เดือนดินเริ่มต้นอยู่ในช่วง 7.77 - 12.75 กรัมต่อกิโลกรัม (Figure 4)[1] โดยการเพิ่มขึ้นของระดับไนโตรเจน (total kjeldahl nitrogen, TKN) ฟอสฟอรัส (total available phosphorus, TAP) และโพแทสเซียม (total potassium, TK) ในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินหลังกระบวนการย่อยอาหารของไส้เดือนดิน อาจเกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของไส้เดือนดินที่ย่อยสลายของเสีย ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนย้ายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์และแบคทีเรีย เช่น อุจจาระ เมือก เป็นต้น[20,21]

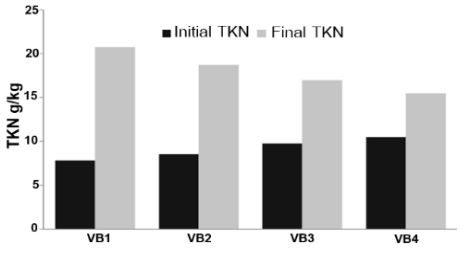

Figure 2 Changes in the TKN in the initial waste mixture and vermicompost.[1]

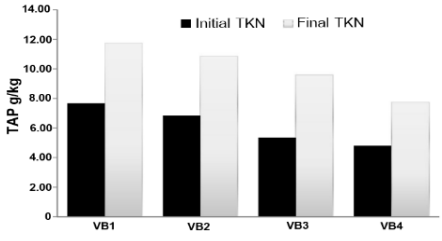

Figure 3 TAP in the initial waste mixtures and vermicompost.[1]

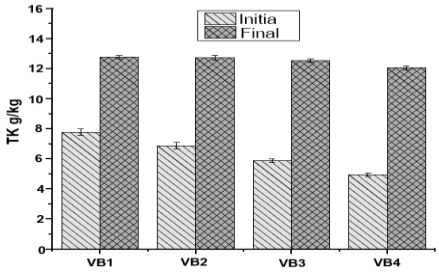

Figure 4 Total potassium content in the initial waste mixtures and vermicompost.[1]

ต่อมา Vodounnou *et al.*[22] ศึกษาผลของวัสดุรองพื้นที่ใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดินจากมูลสัตว์ ได้แก่ มูลสัตว์ปีก มูลกระต่าย มูลแกะ มูลวัว มูลสุกร และปุ๋ยหมักจากผักต่อการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน *Eisenia fetida* ซึ่งหลังจากการเก็บรวบรวมมูลสัตว์จากฟาร์มสัตว์ต่างๆ เก็บมูลสัตว์ไว้เป็นระยะเวลานาน 14 วัน ก่อนนำมาใช้เป็นวัสดุรองพื้นในการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) จำนวน 3 ซ้ำ ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้อง 25 ± 1 องศาเซลเซียส เก็บรักษาไว้ที่ระดับความชื้น 60 - 80 เปอร์เซ็นต์ เพาะเลี้ยงไส้เดือนดินในถังพลาสติกขนาด 12 ลิตร ปิดฝาและเจาะรูสำหรับถ่ายเทอากาศ ซึ่งประกอบด้วยวัสดุรองพื้นไส้เดือนดิน 2 กิโลกรัม ต่อไส้เดือนดิน 30 กรัม พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนดินสูงที่สุดเมื่อเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินด้วยวัสดุรองพื้นจากมูลวัว (1.34 ± 0.11 กรัมต่อตัวต่อวัน) มากกว่ามูลสุกร (1.17 ± 0.09 กรัมต่อตัวต่อวัน) มูลกระต่าย (0.67 ± 0.16 กรัมต่อตัวต่อวัน) มูลจากสัตว์ปีก (0.38 ± 0.07 กรัมต่อตัวต่อวัน) มูลแกะ (0.05 ± 0.05 กรัมต่อตัวต่อวัน) ในขณะที่ปุ๋ยหมักจากผักพบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนดินลดลง (-1.89 ± 0.77 กรัมต่อตัวต่อวัน) (Figure 5)[22] ในระหว่างการศึกษาวัสดุรองพื้นที่ใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดินจากมูลสุกร และมูลวัว ทำให้ไส้เดือนดินมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด ขณะที่วัสดุรองพื้นจากมูลสัตว์ปีก มูลแกะ และปุ๋ยหมักจากผักทำให้อัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนดินลดลง เนื่องจากในช่วงเดือนแรกของการศึกษาพบว่ามีปริมาณไนโตรเจนสูงขึ้น ทำให้เกิดแก๊สแอมโมเนียในวัสดุเพาะเลี้ยงจึงเป็นอันตรายต่อไส้เดือนดิน[5] และวัสดุรองพื้นที่ใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดินจากมูลกระต่าย มูลแกะ มูลวัว และมูลสุกร พบว่าวัสดุรองพื้นเหล่านี้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 7.94 ถึง 8.52 ในขณะที่มูลสัตว์ปีก (มูลไก่) และปุ๋ยหมักจากผักมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ที่ 5.88 และ 6.84 ตามลำดับ ณัฐกิตติ์ และคณะ[23] กล่าวว่าในวัสดุรองพื้นที่นำมาเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินอาจมีสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่สลายตัวง่าย ซึ่งพบว่าสารประกอบเหล่านี้เมื่อสลายตัวแล้วจะปลดปล่อยแอมโมเนีย ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งไส้เดือนดินเกือบทุกชนิดจะชอบวัสดุรองพื้นที่มีความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง (pH = 7) นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน *E. fetida* ในสัปดาห์แรกมีอัตราการเจริญเติบโตช้า หลังจากนั้นก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสูงสุดในช่วงระยะเวลา 90 วัน ได้แก่ มูลวัว มูลสุกร มูลกระต่าย มูลสัตว์ปีก และมูลแกะ (151.00 ± 9.71, 135.33 ± 8.11, 90.33 ± 14.49, 64.66 ± 6.74 และ 35.00 ± 5.13 กรัมต่อวัน ตามลำดับ) ยกเว้นปุ๋ยหมักจากผัก

ที่มีอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนดินลดลง (24.33 ± 2.33 กรัมต่อวัน) (Figure 6)[22]

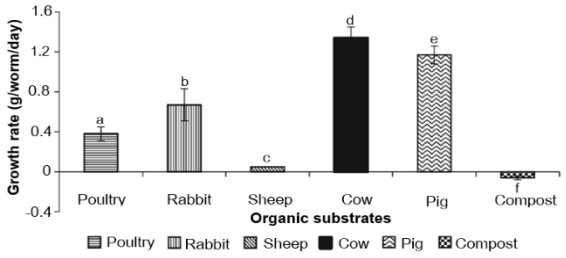

Figure 5 Growth rate of *E. fetida* on different organic substrates.[22]

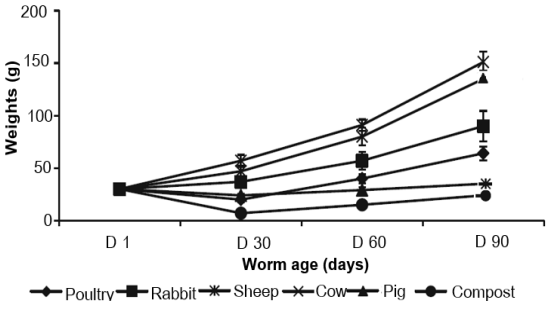

Figure 6 Growth curves for earthworms (*E. fetida*) in various organic substrates over a period of study 90 days.[22]

อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินด้วยวัสดุรองพื้นจากมูลวัวทำให้อัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนดินสูงที่สุด ขณะที่ปุ๋ยหมักจากผักทำให้อัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนดินลดลง เนื่องจากวัสดุรองพื้นที่ได้จากปุ๋ยหมักจากผักมีปริมาณทรายสูง (84.4 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสูงกว่าในวัสดุรองพื้นจากมูลวัว (60.24 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นถึงคุณภาพของวัสดุรองพื้นแต่ละชนิด ในการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะขึ้นอยู่กับคุณภาพทางชีวเคมีของวัสดุรองพื้นที่ใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน[24] สอดคล้องกับงานวิจัยของ พีระยุทธและคณะ[2] กล่าวว่าในวัสดุรองพื้นสำหรับเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินจากมูลวัวจะให้จำนวนถุงไข่ น้ำหนักตัวของไส้เดือนดิน ผลผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและอัตราการเจริญเติบของไส้เดือนดินให้ค่าเฉลี่ยมากที่สุดในขณะที่ Gunadi and Edwards[25] กล่าวว่าไส้เดือนดิน *E. fetida* ไม่สามารถอยู่รอดได้ในวัสดุรองพื้นจากมูลวัวสด มูลสุกรสด ของเสียจากผลไม้และผัก เนื่องจากมูลสัตว์ที่สดใหม่จะมีส่วนประกอบของเกลือ อนินทรีย์ และแอมโมเนียอยู่สูงอาจทำอันตรายต่อไส้เดือนดินได้ และในระยะเริ่มแรกของการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ที่มีเส้นใยสูงทำให้เกิดความร้อนในกองวัสดุที่อุณหภูมิสูงถึง 67 องศาเซลเซียส อาจทำให้ไส้เดือนดินตาย และในกรณีที่มีความเข้มข้นของเกลือสูง จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตและจำนวนถุงไข่ของไส้เดือนดินลดลง จึงไม่ควรใช้พืชหรือมูลสัตว์สดในการใช้เป็นวัสดุรองพื้นสำหรับเพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน[5]

นอกจากนี้ อานัฐ[10] รายงานว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมของวัสดุรองพื้นที่มีอิทธิพลต่อไส้เดือนดิน ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) การระบายน้ำและอากาศ ปริมาณอินทรียวัตถุ และแหล่งอาหาร ซึ่งไส้เดือนดินมีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณ 70 – 80 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว และกิจกรรมต่างๆ ของไส้เดือนดินจะขึ้นกับความชื้นของวัสดุรองพื้นที่ใช้เพาะเลี้ยง และปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมของวัสดุรองพื้นเหล่านี้มีอิทธิพลต่อจำนวนและน้ำหนักของไส้เดือนดินซึ่งไส้เดือนดินแต่ละสายพันธุ์จะเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับความชื้นและอุณหภูมิที่แตกต่างกันไป ปัจจัยสิ่งแวดล้อมของวัสดุรองพื้นมีอิทธิพลต่อไส้เดือนดิน ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ของไส้เดือนดิน ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิ ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ล้วนแล้วแต่มีผลต่อความอยู่รอดของไส้เดือนดินในวัสดุรองพื้นที่ใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน นอกจากนี้ยังพบว่าไส้เดือนดินสามารถย่อยสลายวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมและมีผลต่อการหมุนเวียนธาตุอาหารในวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้[3] Bhat *et al.*[26] ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและจำนวนของไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eisenia fetida* เพื่อผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน โดยใช้วัสดุรองพื้นไส้เดือนดินจากชานอ้อย (bagasse, B) ร่วมกับมูลวัว (cattle dung, CD) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ 0:100 (B_0) 25:75 (B_{25}) 50:50 (B_{50}) 75:25 (B_{75}) และ 100:0 (B_{100}) (B:CD หรือ ชานอ้อย:มูลวัว) หลังจากผสมวัสดุรองพื้นสำหรับเพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน ให้รดน้ำอย่างสม่ำเสมอและกลับกองวัสดุรองพื้นไส้เดือนดินทุก 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 14 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) จำนวน 3 ซ้ำ ทำการทดลองในถาดพลาสติกขนาด 28 x 3 x 6 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ซึ่งน้ำหนักรวมของแต่ละถาดหนักประมาณ 2 กิโลกรัม ใส่ไส้เดือนดินขนาดโตเต็มวัยจำนวน 50 ตัว รักษาระดับความชื้น 60 - 70 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่าจำนวนของไส้เดือนดินเริ่มเพิ่มขึ้นภายในระยะเวลา 60 วัน และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและสูงสุดในช่วงเวลา 105 วัน จากวัสดุรองพื้นที่อัตราส่วน B_{50} คือ ชานอ้อย 50 เปอร์เซ็นต์ + มูลวัว 50 เปอร์เซ็นต์ (82 ± 3.21) รองลงมาคือ B_{25} คือชานอ้อย 25 เปอร์เซ็นต์ + มูลวัว 75 เปอร์เซ็นต์ (78.33 ± 2.96) และ B_0 คือ มูลวัว 100 เปอร์เซ็นต์ (76.67 ± 2.33) (Figure 7)[26] จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าจำนวนไส้เดือนดินในวัสดุ

รองพื้นจากชานอ้อยร่วมกับมูลวัวเริ่มลดลงหลังจาก 105 วัน จนสิ้นสุดการทดลอง 135 วัน ซึ่งในช่วงเวลานี้บนวัสดุรองพื้นจะเริ่มกลายเป็นเม็ดแสดงให้เห็นถึงการเสร็จสิ้นกระบวนการย่อยสลายของไส้เดือนดินโดยการขับมูลออกมาหรือที่เรียกว่าปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน และในขณะที่การผลิตถุงไข่ (cocoon) ของไส้เดือนดินจะเริ่มภายหลังการเพาะเลี้ยงนาน 30 วัน ในวัสดุรองพื้นไส้เดือนดินอัตราส่วน B_0 (มูลวัว 100 เปอร์เซ็นต์) B_{25} (ชานอ้อย 25 เปอร์เซ็นต์ + มูลวัว 75 เปอร์เซ็นต์) B_{50} (ชานอ้อย 50 เปอร์เซ็นต์ + มูลวัว 50เปอร์เซ็นต์) และ B_{75} (ชานอ้อย 75 เปอร์เซ็นต์ + มูลวัว 25 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่วัสดุรองพื้นไส้เดือนดินที่อัตราส่วน B_{100} (ชานอ้อย 100 เปอร์เซ็นต์) จะเริ่มผลิตถุงไข่ภายหลังการเพาะเลี้ยง 75 วัน ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าในวัสดุรองพื้นไส้เดือนดินที่อัตราส่วน B_{50} (ชานอ้อย 50 เปอร์เซ็นต์ + มูลวัว 50 เปอร์เซ็นต์) มีจำนวนถุงไข่ (cocoon) มากที่สุด (214.7 ± 4.91) ภายหลังเพาะเลี้ยง 105 วัน ขณะที่พบว่ามีจำนวนถุงไข่ (cocoon) ของไส้เดือนดินน้อยที่สุดในวัสดุรองพื้นไส้เดือนดินที่อัตราส่วน B_{100} คือ ชานอ้อย 100 เปอร์เซ็นต์ (22.33 ± 4.05) ภายหลังเพาะเลี้ยงนาน 135 วัน (Figure 8)[26] คุณภาพของส่วนผสมของวัสดุรองพื้นจะเป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโตและการเริ่มผลิตถุงไข่ Fayolle *et al*.[27] กล่าวว่าวัสดุรองพื้นที่นำมาใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดินมีบทบาทสำคัญในการสร้างถุงไข่ แสดงให้เห็นว่าคุณภาพของส่วนผสมของวัสดุรองพื้นที่ใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดินจะเป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน และอัตราการสร้างถุงไข่ เนื่องจาก B_{75} (ชานอ้อย 75 เปอร์เซ็นต์ + มูลวัว 25 เปอร์เซ็นต์) และ B_{100} (ชานอ้อย 100 เปอร์เซ็นต์) มีปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่าวัสดุรองพื้นในอัตราส่วนต่าง ๆ Suthar[16] กล่าวว่าปริมาณไนโตรเจนของวัสดุรองพื้นสำหรับเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการผลิตถุงไข่ และการสืบพันธุ์ของไส้เดือนดิน

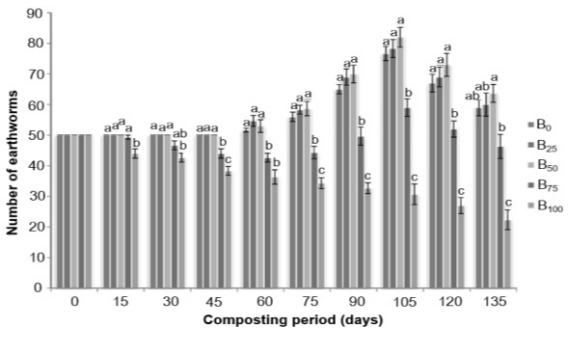

Figure 7 Mean values of number of earthworm followed by different letters in a same day are significantly different (one-way ANOVA; Tukey's test, $P \leq 0.05$) in different feed mixtures of bagasse and cattle dung.[26]

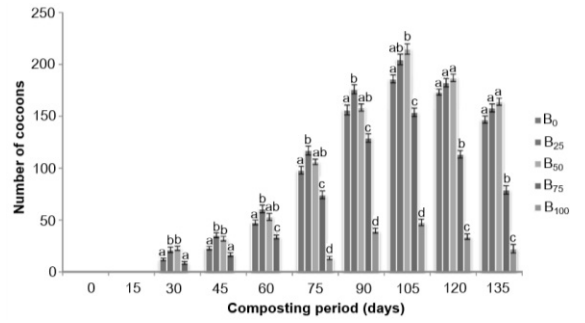

Figure 8 Mean values of number of cocoon followed by different letters in a same day are significantly different (one-way ANOVA; Tukey's test, $P \leq 0.05$) in different feed mixtures of bagasse and cattle dung.[26]

ต่อมา Bhat *et al*.[28] ศึกษาการเจริญเติบโตของไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eisenia fetida* ในการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยใช้วัสดุรองพื้นไส้เดือนดินจากของเสียโรงงานน้ำตาลหรือ press mud (PM) ผสมกับมูลวัว (cattle dung, CD) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 5 ระดับ จาก press mud : มูลวัว ได้แก่ 0:100 (PM_0) 25:75 (PM_{25}) 50:50 (PM_{50}) 75:25 (PM_{75}) และ 100:0 (PM_{100}) (PM:CD) หลังจากผสมวัสดุรองพื้นสำหรับเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินเสร็จ รดน้ำสม่ำเสมอและกลับกองวัสดุรองพื้นไส้เดือนดินทุก 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 15 วัน ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินในถาดพลาสติกขนาด 28 x 3 x 6 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ซึ่งแต่ละถาดจะมีน้ำหนักรวมอยู่ประมาณ 2 กิโลกรัม ใช้ไส้เดือนดินขนาดโตเต็มวัยจำนวน 50 ตัว โดยมีน้ำหนักของไส้เดือนดินเริ่มต้นเฉลี่ย PM_0 (8.76) PM_{25} (7.63) PM_{50} (9.93) PM_{75} (9.90) และ PM_{100} (10.23) และรักษาระดับความชื้นที่ 60 - 70 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่าจำนวนของไส้เดือนดินเริ่มเพิ่มขึ้นภายหลังเพาะเลี้ยงนาน 60 วัน ในวัสดุรองพื้นที่อัตราส่วน PM_0 รองลงมาคือ PM_{25} ขณะที่จำนวนของไส้เดือนดินพบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงสุดภายหลังเพาะเลี้ยง 105 วัน ในวัสดุรองพื้นที่อัตราส่วน PM_{25} (79 ± 2.08) รองลงมาคือ PM_0 (76.67 ± 2.33) และ PM_{50} (71.33 ± 1.76) (Table 2) และยังพบว่าในวัสดุรองพื้นที่อัตราส่วน PM_{25} มีระดับไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

เพิ่มขึ้นจากวัสดุรองพื้นเริ่มต้น สำหรับการผลิตถุงไข่ (cocoon) ของไส้เดือนดินจะเริ่มผลิตภายหลังจากเพาะเลี้ยงนาน 30 วัน ในวัสดุรองพื้นสำหรับเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินที่มีอัตราส่วน PM_0 PM_{25} และ PM_{50} ขณะที่การผลิตถุงไข่ (cocoon) ของไส้เดือนดินจะเริ่มผลิตภายหลังจากเพาะเลี้ยงนาน

45 วัน และ 60 วัน ในวัสดุรองพื้นไส้เดือนดินที่มีอัตราส่วน PM_{75} และ PM_{100} ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าจำนวนถุงไข่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องภายหลังการเพาะเลี้ยงนาน 105 วัน ในวัสดุรองพื้นที่ใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดินที่มีอัตราส่วน PM_0 PM_{25} PM_{50} และ PM_{75} ขณะที่วัสดุรองพื้นไส้เดือนดินที่มีอัตราส่วน PM_{100} พบว่ามีจำนวนถุงไข่เพิ่มขึ้นภายหลังการเพาะเลี้ยงนาน 90 วัน อย่างไรก็ตามจะสังเกตเห็นว่าจำนวนถุงไข่มีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงสุดภายหลังการเพาะเลี้ยงนาน 105 วัน ในวัสดุรองพื้นที่ใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดินที่มีอัตราส่วน PM_{25} (196.7 ± 3.48) รองลงมาคือ PM_0 (186 ± 3.78) และ PM_{50} (178 ± 3.21) ตามลำดับ (Table 3) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bhat *et al.*[29] กล่าวว่าในวัสดุรองพื้นจาก press mud ผสมกับมูลวัวที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินทำให้จำนวนไส้เดือนดินและจำนวนถุงไข่เพิ่มขึ้นสูงสุดในวัสดุเพาะเลี้ยงอัตราส่วน 25:75 (press mud:มูลวัว) ในขณะที่ Sangwan *et al*.[30] รายงานว่าการใช้ press mud ผสมกับ 50 เปอร์เซ็นต์ของมูลวัว (press mud:มูลวัว อัตราส่วน 1:1) เป็นปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มีคุณภาพดี

Table 2 Number of earthworm (Mean ± S.E.) in different production of press mud with cattle dung[28]

Feed mixture	Non-clitellated worms						Clitellated worms					
	0 day	15 days	30 days	45 days	60 days	75 days	90 days	105 days	120 days	135 days		
PM_0	50 ± 0	50 ± 0[a]	50 ± 0[a]	50 ± 0[a]	51.6 ± 0.66[a]	56.0 ± 1.52[a]	65.0 ± 1.52[a]	76.6 ± 2.33[a]	67.0 ± 2.88[a]	59.0 ± 2.64[a]		
PM_{25}	50 ± 0	50 ± 0[a]	50 ± 0[a]	50 ± 0[a]	51.3 ± 0.88[a]	54.6 ± 1.45[a]	64.3 ± 2.02[a]	79.0 ± 2.08[a]	70.0 ± 2.64[a]	63.6 ± 2.60[a]		
PM_{50}	50 ± 0	49 ± 0.5[ab]	48 ± 0.3[ab]	47 ± 0.3[b]	47.0 ± 0.57[b]	51.3 ± 1.76[ab]	60.6 ± 1.45[a]	71.3 ± 1.76[a]	63.6 ± 2.40[ab]	55.6 ± 2.60[ab]		
PM_{75}	50 ± 0	49 ± 0.7[ab]	47 ± 0.8[b]	47 ± 0.5[b]	46.3 ± 1.20[bc]	47.6 ± 0.88[b]	51.6 ± 2.02[b]	60.3 ± 2.33[b]	54.0 ± 2.88[b]	45.0 ± 3.21[b]		
PM_{100}	50 ± 0	47 ± 0.8[b]	45 ± 0.6[c]	44 ± 0.8[c]	43.0 ± 0.57[c]	40.6 ± 0.88[c]	36.3 ± 1.76[c]	32.3 ± 2.60[c]	28.0 ± 2.88[c]	21.6 ± 2.33[c]		

Mean values of number of earthworms followed by different letters in a same column are significantly different (one-way ANOVA;Tukey's test, $P \leq 0.0$)

Note: Non-clitellated worms = ไส้เดือนดินที่ไม่มีไคลเทลลัม, Clitellated worms = ไส้เดือนดินมีไคลเทลลัม, PM = Press mud, CD = Cattle Dung, PM_0 =PM 0 : CD 100, PM_{25} = PM 25 : CD 75, PM_{50} = PM 50 : CD 50, PM_{75} = PM 75 : CD 25, PM_{100} = PM 100 : CD 0

Table 3 Number of cocoons (Mean ± S.E.) in different proportions of press mud with cattle dung[28]

Feed mixture	0 days	15 days	30 days	45 days	60 days	75 days	90 days	105 days	120 days	135 days
PM_0	0	0	12 ± 1.1[a]	23 ± 1.73[a]	47.6 ± 2.33[a]	98.0 ± 3.78[ab]	156 ± 4.72[ab]	186.0 ± 3.78[ab]	173.3 ± 2.96[a]	146.7 ± 3.48[ab]
PM_{25}	0	0	13 ± 0.8[a]	22 ± 1.45[a]	50.3 ± 3.28[a]	105.7 ± 3.84[a]	170 ± 3.84[a]	196.7 ± 3.48[a]	178.3 ± 3.18[a]	158.3 ± 3.84[a]
PM_{50}	0	0	10 ± 1.2[a]	15 ± 1.73[a]	40.3 ± 2.02[a]	87.6 ± 3.52[b]	150 ± 3.21[b]	178.0 ± 3.21[b]	157.7 ± 2.40[b]	135.7 ± 3.48[b]
PM_{75}	0	0	0	9 ± 0.88[b]	20.0 ± 2.64[b]	47.0 ± 3.46[c]	101 ± 3.78[c]	121.0 ± 3.21[c]	108.0 ± 2.08[c]	87.0 ± 3.78[c]
PM_{100}	0	0	0	0	13.3 ± 2.33[b]	19.6 ± 1.76[d]	35.3 ± 3.18[d]	33.6 ± 23.3[d]	25.6 ± 2.60[d]	20.0 ± 3.21[d]

Mean values of number of cocoons followed by different letters in a same column are significantly different (one-way ANOVA; Tukey's test, $P \leq 0.05$)

Note: Non-clitellated worms = ไส้เดือนดินที่ไม่มีไคลเทลลัม, Clitellated worms = ไส้เดือนดินมีไคลเทลลัม, PM = Press mud, CD = Cattle Dung, PM_0 =PM 0 : CD 100, PM_{25} = PM 25 : CD 75, PM_{50} = PM 50 : CD 50, PM_{75} = PM 75: CD 25, PM_{100} = PM 100 : CD 0

สรุป

การใช้วัสดุรองพื้นที่แตกต่างกันส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของไส้เดือนดินดังนี้ 1) การใช้มูลควาย 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีน้ำหนักของไส้เดือนดิน จำนวนตัวอ่อน และการอยู่รอดของตัวอ่อนไส้เดือนดินมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 78.30 ± 0.75 กรัม 811 ± 11.02 และ 40.58 ± 0.55 ตัว ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่ามีระดับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุรองพื้นไส้เดือนดินเริ่มต้น (7.82 - 20.43, 4.80 - 11.74 และ 7.77 - 12.75 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) และการใช้มูลวัวเป็นวัสดุรองพื้นในการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน ทำให้ไส้เดือนดินมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (1.34 ± 0.11 กรัมต่อตัวต่อวัน) และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสูงสุดในช่วงเวลา 90 วัน (151.00 ± 9.71 กรัมต่อวัน) รองลงมาคือ มูลสุกร มูลกระต่าย มูลจากสัตว์ปีก และมูลแกะ ขณะที่ปุ๋ยหมักจากผักพบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนดินลดลง (-1.89 ± 0.77 กรัมต่อตัวต่อวัน และ 24.33 ± 2.33 กรัมต่อวัน) 2) การใช้วัสดุรองพื้นไส้เดือนดินจากชานอ้อยผสมกับมูลวัว อัตราส่วน 50:50 ทำให้

จำนวนไส้เดือนดินเพิ่มขึ้นภายในระยะเวลา 60 วัน และจำนวนถุงไข่เริ่มผลิตภายหลังการเพาะเลี้ยงนาน 30 วัน และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและสูงสุดในช่วงเวลา 105 วัน และวัสดุรองพื้นไส้เดือนดินจาก press mud ผสมกับมูลวัว ทำให้จำนวนของไส้เดือนดินเพิ่มขึ้นภายหลังการเพาะเลี้ยงนาน 60 วัน ในวัสดุรองพื้นอัตราส่วน 0:100 รองลงมาคือ อัตราส่วน 25:75 (press mud:มูลวัว) ทั้งนี้จากวัสดุรองพื้นอัตราส่วน 25:75 ทำให้จำนวนของไส้เดือนดินและจำนวนถุงไข่มีปริมาณเพิ่มขึ้นสูงสุดภายหลังการเพาะเลี้ยงนาน 105 วัน

นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุรองพื้นที่ได้จากการเลี้ยงไส้เดือนดินที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายมีการเพิ่มขึ้นของระดับไนโตรเจน เนื่องจากไส้เดือนดินมีการขับเมือก ของเหลวเอนไซม์ และเนื้อเยื่อที่ตายแล้วออกมา จึ่งทำให้ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีปริมาณเพิ่มขึ้น และยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในทางการเกษตรได้อีกด้วย ทั้งการนำวัสดุอินทรีย์ที่เหลือใช้จากครัวเรือนและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน ซึ่งเป็นการกำจัดขยะอินทรีย์ที่เหมาะสมโดยไม่ก่อให้เกิดมลพิษและอันตรายต่อสุขภาพ อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการเปรียบเทียบผลตอบแทนทางเศรษฐกิจระหว่างการผลิตปุ๋ยหมักโดยวิธีธรรมดาทั่วไปกับการผลิตปุ๋ยหมักจากการใช้ไส้เดือนดินเข้ามาร่วมย่อยสลายเพื่อเป็นประโยชน์ในการนำมาใช้เป็นเกณฑ์พิจารณาการตัดสินใจเลือกใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดดังกล่าว

เอกสารอ้างอิง

1. Sharma K, Garg V. K. Management of food and vegetable processing waste spiked with buffalo waste using earthworms (*Eisenia fetida*). Environmental Science and Pollution Research 2017.
2. พีรยุทธ สิริฐนกร, ไกรวิทย์ พะรัมย์, สุชาดา สานุ สันต์. วัสดุรองพื้นต่างชนิดกันที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตปุ๋ยหมักจากไส้เดือนดิน. วารสารแก่นเกษตร 2557; 42(1):714-721.
3. กิตติ วิรุณพันธุ์, พัชรีสาร ฐิติธนานนท์, สุรีรัตน์ บุตรพรหม. ชนิดไส้เดือนและวัสดุรองพื้นแบบต่างๆ ต่อการให้ผลผลิตของไส้เดือนดิน. วารสารการเกษตรราชภัฏ 2553; 9(2):12-20.
4. ภฤศญา ปิยนุสรณ์, วรรณี สุทธใจดี. การศึกษาการเลี้ยงไส้เดือนเชิงพาณิชย์ในการจัดการขยะอินทรีย์. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา; 2555.
5. นิพนธ์ ไชยมงคล. การเลี้ยงไส้เดือน. เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยแม่โจ้; 2548.
6. บัญชา เรืองศิลป์ประเสริฐ. การใช้ไส้เดือนดินในการจัดการขยะอินทรีย์เพื่อผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน. ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2554.
7. วิศรุต วิชัยวิทย์, เบญจมาศ รสโสภา, กรรณิการ์ สัจจาพันธ์. คุณภาพปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่ได้จากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ประเภทต่างๆ โดยไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Perionyx excavatus*. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 2555; 30(2):86-96.
8. Venter J. M, Reinecke A. J. The life-cycle of the compost worm *Elsinia fetida* (Oligo chaeta). Department of Zoology Republic of South Africa 1988;23(3):161-165.
9. Musaida M. M, Phiri A, Chirinda N, Muredzi P, Govhaand J, SengudzwaT. Vermicomposting of waste corn pulp blended with cow dung manure using *Eisenia Fetida*. International Journal of Chemical 2012;6(8):753-756.
10. อานัฐ ตันโช. การผลิตปุ๋ยหมักจากมูลไส้เดือนดิน. สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 2549; 1:49-83.
11. Chauhan A, Kumar S, Singh A. P, Gupta M. Vermicomposting of vegetable wastes with cow dung using three earthworm species *Eisenia fetida*, *Eudrilus eugeniae* and *Peri onyx excavates*. Nature and Science 2010; 8(1):33-43.
12. Theunissen J, Ndakidemi P.A, Laubscher C.P. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. International Journal of the Physical Sciences 2010;5 (13):1964-1973.
13. ขวัญชัย นิ่มอนันต์. ผลของสารสกัดจากไส้เดือนดินต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในพืช. วิทยาศาสตร์ คณะศิลปะศาสตร์และวิทยาศาสตร์นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2550.
14. สุลีลัก อารักษณ์ธรรม, สุชาดา สานุสันต์. อิทธิพลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากไส้เดือนดินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์ดินและการปรับปรุงโครงสร้างของดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้; 2557.
15. Nagavallemma K. P, Wani S. P, Lacroix S, Padmaja V. V, Vineela C, Rao B, Sahrawat K. L. Vermicomposting recycling wastes into valuable oranic ferti-

lizer. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. India; 2004.

16. Suthar S. Vermicomposting potential of *Perionyx sansibaricus* (Perrier) in different waste materials. Bioresource Technology 2007; 98:1231-1237.
17. Chauhan HK, Singh K. Effect of binary combinations of buffalo, cow and goat dung with different agro wastes on reproduction and development of earthworm *Eisenia fetida* (Hapolotoxida: Lumbricidae). World Journal of Zoology 2012; 7:23-29.
18. Sahariah B, Goswami L, Kim KH, Bhattachatyya P, Bhattacharya S. S. Metal remediation and biodegradation potential of earthworm species on municipal solid waste a parallel analysis between *Metaphire posthuma* and *Eisenia fetida***.** Bioresour Technol 2015; 180:230-236.
19. Hartenstein R, Hartenstein F. Physico-chemical changesaffected inactivated sludge by the earthworm *Eisenia fetida***.** Journal Environmental Quality 1981; 10:377-382.
20. Suthar S. Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia fetida***.** Ecological Engineering 2009; 35:914-920.
21. Garg V. K, Yadav Y. K, Sheoran A, Chand S, Kausik P. Livestock excreta management through vermicomposting using epigeic earthworm *Eisenia fetida***.** Environmentalist 2006; 26:269-276.
22. Vodounnou D. S. J. V, Kpogue D. N. S, Tossavi E, Mennsah G. A. Effect of animal waste and vegetable compost on production and growth of earthworm **(***Eisenia fetida***)** during vermiculture. International Journal Recycl Organic Waste Agricult 2016; 5:87-92.
23. ณัฐกิตติ์ เพชรหมื่นไว, ชุลีมาศ บุญไทย อิวาย, มงคล ต๊ะอุ่น. ผลของการผสมมูลไก่ร่วมกับกากอุตสาหกรรมเกษตรต่อการเจริญเติบโตของไส้เดือนดินในการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน. วารสารแก่นเกษตร 2559;44(1): 1033-1038.
24. Garg V. K, Chand S, Chhillar A, Yadav A. Growth and reproduction of Eisenia fetida in animal wastes. Applied Ecology and Environ mental Research 2005; 3(2):51–59.
25. Gunadi B, Edwards C. A. The effect of multiple application of different organic waste on the growth, fecundity and survival of *E. fetida***.** Pedobiologia 2003; 47(4):321-330.
26. Bhat S. A, Singh J, Vig A. P. Potential utilization of bagasse as feed material for earthworm *Eisenia fetida* and production of vermicompost. SpringerPlus 2015; 4(11):1-9.
27. Fayolle L, Michaud H, Cluzeau D, Stawiecki J. Influence of temperature and food source on the liff cycle of the earthworm *Dendrobaena veneta* (Oligochaeta). Soil Biology and Biochemistry 1997; 29 (3):747-750.
28. Bhat S. A, Singh J, Vig A. P. Effect on growth of earthworm and chemical parameters during vermicomposting of press mud sludge mixed with cattle dung mixture. International Conference on Solid Waste Management 2016; 35:425-434.
29. Bhat S. A, Singh J, Vig A. P. Genotoxic assessment and optimization of press mud with the help of exotic earthworm *Eisenia fetida***.** Environmental Science and Pollution Research 2014;21:8112-8123.
30. Sangwan P, Kaushik C. P, Garg V. K. Vermicomposting of sugar industry waste (press mud) mixed with cow dung employing an epigeic earthworm *Eisenia fetida***.** Waste Management & Research Department of Environmental Science and Engineering 2010; 28:71-75.