วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj



อัตราส่วนและรูปแบบที่เหมาะสมของแหนแดง *(Azolla microphylla)* ร่วมกับมูลโคสำหรับการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* และคุณสมบัติปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน

Optimum ratio and type of *Azolla microphllya* with cattle manure for *Eudrillus eugeniae* growth and vermicompost properties

ธนวรรธน์ อัครกิตติ์วินิช[1], จำเนียร ชมภู[2], ชัยสิทธิ์ ทองจู[1,3] และ วนิดา สืบสายพรหม[1,4]*

Thanawat Akkarakitvinich[1], Jamnian Chompoo[2], Chaisit Thongjoo[1,3] and Wanida Suebsaiprom[1,4]*

[1] *สาขาวิจัยและพัฒนาการเกษตร คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ. นครปฐม 73140*
[1] *Division of Agricultural Research and Development, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140*
[2] *ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ. นครปฐม 73140*
[2] *Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140*
[3] *ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ. นครปฐม 73140*
[3] *Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140*
[4] *ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ. นครปฐม 73140*
[4] *Department of Animal Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140*

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบของ bedding ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงไส้เดือนดิน วางแผนการทดลองแบบ 2 x 2 x 5 Factorial in completely randomized design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 คือ รูปแบบการเตรียม bedding ได้แก่ การนำ bedding ใช้ทันทีหลังผสมมูลโคกับแหนแดงตามอัตราส่วนต่าง ๆ (normal bedding) และการนำ normal bedding ไปผ่านกระบวนการหมัก 15 วัน (pre-compost) ปัจจัยที่ 2 คือ รูปแบบของแหนแดง ได้แก่ แหนแดงสด และแหนแดงแห้ง และปัจจัยที่ 3 คือ อัตราส่วนของมูลโคกับแหนแดง ได้แก่ 90:10, 70:30, 50:50, 30:70 และ 10:90 (โดยปริมาตรต่อปริมาตร) ทำการเลี้ยงไส้เดือนดินใน bedding ต่าง ๆ เป็นเวลา 45 วัน จึงทำการแยกตัวไส้เดือนดินออกจากมูลนำไปชั่งน้ำหนักสุดท้าย พบว่า การเลี้ยงไส้เดือนดินใน bedding ที่ไม่มีการหมักด้วยอัตราส่วนของมูลโคกับแหนแดงสด 90:10 และ 70:30 ทำให้ไส้เดือนดินมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นมากที่สุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยมูลไส้เดือนดินจาก bedding ต่าง ๆ หลังเลี้ยงไส้เดือนดิน 45 วัน พบว่า bedding ที่ผ่านการหมักอัตราส่วนของมูลโคกับแหนแดงแห้ง 10:90 สามารถเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดมากที่สุด ดังนั้นการเลือกใช้รูปแบบของ bedding ที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับเป้าหมายการผลิตของผู้เลี้ยงไส้เดือนดิน ต้องการผลิตภัณฑ์เป็นตัวไส้เดือนดินที่มีน้ำหนักมากหรือต้องการปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช
คำสำคัญ: แหนแดง; ไส้เดือนดิน; ปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน; ปุ๋ยอินทรีย์; ธาตุอาหารพืช

ABSTRACT: The purpose of this research was to study the bedding patterns that were suitable for raising earthworms. The experimental design was 2 x 2 x 5 factorial in a completely randomized with 3 replications. Factor 1 was the preparation of bedding (including non-compost (normal) and pre-compost bedding for 15 days), factor 2 was *Azolla* forms (viz. fresh and dried samples), and factor 3 was the ratio of cow manure and *Azolla*

* Corresponding author: agrwdj@ku.ac.th

Received: date; April 26, 2024 Revised: date; August 28, 2024

Accepted: date; September 2, 2024 Published: date; February 13, 2025

10:90, 30:70, 50:50, 70:30 and 90:10 (%v/v). After raising earthworms in bedding for 45 days, the earthworms were separated from the bedding and measured body weight. It was found that earthworms in normal bedding at the ratio of cow manure and fresh *Azolla* 90:10 and 70:30 had the highest body weight, not being statistically different. In addition, the properties of vermicompost from various bedding were analyzed after raising earthworms for 45 days. The results showed that bedding that had been pre-composted and contained a ratio of cow manure and *Azolla* at 10:90 presented high amounts of total nitrogen and phosphorus. Therefore, choosing the appropriate form of bedding depends on the production goal of the farmers, whether they want a product of earthworm or vermicompost.
Keywords: *Azolla microphylla*; earthworm; vermicompost; organic fertilizer; plant nutrient

บทนำ

ปัจจุบันการเลี้ยงไส้เดือนดินมีความนิยมมากขึ้น เพื่อนำไปใช้ประโยชน์หลากหลายแตกต่างกัน เช่น กำจัดขยะอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในครัวเรือน ชุมชน ไปจนถึงอุตสาหกรรมด้านการเกษตร อาหาร และฟาร์มปศุสัตว์ต่าง ๆ (Edwards, 2004) การเลี้ยงเพื่อผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดินจำหน่ายให้กับเกษตรกรผู้ที่มีความสนใจด้านเกษตรอินทรีย์ รวมถึงการจำหน่ายตัวไส้เดือนดินเพื่อเป็นอาหารสัตว์ในรูปแบบต่าง ๆ เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพ (ภฤศญา และ วรรณี, 2555) โดยที่สายพันธุ์ไส้เดือนดินที่ผู้ประกอบการนิยมเลี้ยงในไทย ได้แก่ African nightcrawler (*Eudrilus eugeniae*), Tiger worm (*Eisenia foetida*), Indian blue worm (*Perionyx excavatus*) และ ขี้ตาแร่ (*Perionyx* sp.) ซึ่งวิธีการเลี้ยงไส้เดือนดินอาจเลี้ยงในมูลโคเพียงอย่างเดียว หรือผสมมูลโคกับวัสดุอินทรีย์อื่น ๆ จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของไส้เดือนดินที่แตกต่างกัน (จิรายุ และคณะ, 2560) ส่วนภาชนะที่เลี้ยงนั้นขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้เลี้ยง ไม่ว่าจะเป็นกะละมังพลาสติกหรือบ่อปูน แต่ต้องรักษาความชื้นให้เหมาะสม จากศึกษาของ Ismail (1997) รายงานว่า การเลี้ยงไส้เดือนดินในวัสดุที่มีมูลโคชนิดเดียวก็เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน และยังเปลี่ยนมูลโคให้เป็นปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่มีคุณภาพเหมาะสมต่อการนำไปปลูกพืชหรือเสริมธาตุอาหารให้กับพืชได้ การเลี้ยงไส้เดือนดินใช้เวลาประมาณ 30 วัน และสามารถเลี้ยงต่อไปจนถึง 45 วัน จึงสามารถเก็บเกี่ยวปุ๋ยมูลไส้เดือนดินได้ หากต้องการที่จะเสริมอาหาร อาทิเช่น เศษผัก เศษผลไม้ หรือวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ต่าง ๆ ควรศึกษาความเหมาะสมของปัจจัยด้านอาหาร ไม่ว่าจะเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม ปริมาณ หรือลักษณะของอาหารล้วนส่งผลต่อจำนวนไส้เดือนดิน และปริมาณปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน โดย Gajalakshmi and Abbasi (2004) รายงานว่า ปัจจัยที่สำคัญในการเพิ่มปริมาณของไส้เดือนดิน คือ ชนิดของอาหารและปริมาณของอาหารที่ไส้เดือนดินได้รับ ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่สูงในอาหารจะส่งผลให้การเจริญเติบโตและการผลิตไข่ (cocoon) ของไส้เดือนดินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาหารที่ไส้เดือนดินสามารถกินได้ไม่ใช่อาหารที่คงความสด แต่เป็นอาหารที่ย่อยสลายตัวด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์เกิดการเน่าเปื่อยจนเป็นอินทรียวัตถุขนาดเล็ก Lazcano et al. (2008) กล่าวว่าภายในกระเพาะอาหารของไส้เดือนดินมีจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์หลายชนิดช่วยย่อยขยะอินทรีย์ต่าง ๆ ได้แก่ มูลสัตว์ที่ได้จากการทำการเกษตร เช่น มูลวัว มูลไก่ และมูลสุกร หรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่าง ๆ เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ซังข้าวโพด กากผลไม้ เปลือกผลไม้หลากหลายชนิด ตลอดจน วัสดุเพาะเห็ดที่ทิ้งแล้ว ขี้เลื่อย เปลือกไข่ วัชพืช เศษผักและผลไม้ รวมถึงเศษกระดาษที่ทิ้งแล้วก็สามารถนำมาผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดินได้ (Tangsombatvichit et al., 2016)

แหนแดง (*Azolla* spp.) เป็นพืชน้ำขนาดเล็ก ชนิดที่สามารถลอยน้ำได้ จัดอยู่ในตระกูลเฟิร์น พบได้ทั่วไปตามคู คลอง และแหล่งน้ำขังตามธรรมชาติ ภายในโพรงใบมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (cyanobacteria) คือ *Anabaena azollae* อาศัยอยู่ร่วมกับแหนแดงแบบพึ่งพาอาศัย จึงเป็นแหล่งผลิตปุ๋ยไนโตรเจนทางชีวภาพ (นพพร, 2563) ทำให้แหนแดงมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบมากถึง 2.0-4.5% ของน้ำหนักแห้ง (Watanabe and Ramirez, 1990; Bocchi and Malgioglio, 2010) ในปัจจุบันกรมวิชาการเกษตรได้ทำการปรับปรุงพันธุ์แหนแดงสายพันธุ์ *Azolla microphylla* ซึ่งเริ่มทำการวิจัยตั้งแต่ พ.ศ. 2520 จนได้แหนแดงที่มีขนาดใหญ่ เจริญเติบโตเร็ว และสามารถตรึงไนโตรเจนได้มากกว่าสายพันธุ์ท้องถิ่น จากข้อดีของแหนแดงที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์แล้ว สามารถใช้ประโยชน์ในภาคการเกษตรอย่างแพร่หลาย เช่น ทดแทนหรือลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มอินทรียวัตถุทำให้ดินมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และเป็นแหล่งโปรตีนสำหรับเลี้ยงสัตว์ได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2563; Buckingham et al., 1978)

คณะผู้วิจัยจึงได้เห็นความสำคัญและสนใจที่จะนำแหนแดงมาใช้เลี้ยงไส้เดือนดิน *Eudrilus eugeniae* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่นิยมใช้ในการย่อยขยะอินทรีย์ มีลำตัวขนาดใหญ่ อาศัยอยู่บริเวณผิวดิน สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิสูงและย่อยสลายสารอินทรีย์ได้หลากหลายชนิดในระยะเวลาสั้น (Gajalakshmi and Abbasi, 2004) โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของมูลโคกับแหนแดงที่เหมาะสมสำหรับวัสดุรองพื้นที่ใช้เลี้ยงไส้เดือนดิน (bedding) ในการเลี้ยงไส้เดือนดินให้มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อความสามารถในการสร้างผลผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน

วิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบ 2 x 2 x 5 Factorial in completely randomized design (CRD) กลุ่มทดลองละ 3 ซ้ำ โดยแบ่งออกเป็น 3 ปัจจัย ประกอบด้วย ปัจจัยที่ 1 คือ รูปแบบการเตรียมวัสดุรองพื้นที่ใช้เลี้ยงไส้เดือนดิน (bedding) ได้แก่ การนำ bedding ใช้ทันทีหลังผสมมูลโคกับแหนแดงตามอัตราส่วนต่าง ๆ (normal bedding) และการใช้ normal bedding ที่นำไปผ่านกระบวนการหมัก 15 วัน (pre-compost) ปัจจัยที่ 2 คือ รูปแบบของแหนแดง ได้แก่ แหนแดงสด และแหนแดงแห้ง และปัจจัยที่ 3 คือ อัตราส่วนของมูลโคกับแหนแดง ได้แก่ 90:10, 70:30, 50:50, 30:70 และ 10:90 (โดยปริมาตรต่อปริมาตร) ดังแสดงใน **Table 1**

Table 1 The set of experimental units for a research study

Treatments	Ratio of Cattle Manure		Type of *Azolla*		Treatments	Ratio of Cattle Manure		Type of *Azolla*	
	N (%)	PC (%)	FA (%)	DA (%)		N (%)	PC (%)	FA (%)	DA (%)
T1	90	-	10	-	T11	-	90	10	-
T2	70	-	30	-	T12	-	70	30	-
T3	50	-	50	-	T13	-	50	50	-
T4	30	-	70	-	T14	-	30	70	-
T5	10	-	90		T15	-	10	90	-
T6	90	-	-	10	T16	-	90	-	10
T7	70	-	-	30	T17	-	70	-	30
T8	50	-	-	50	T18	-	50	-	50
T9	30	-	-	70	T19	-	30	-	70
T10	10	-	-	90	T20	-	10	-	90

Where are N = Normal bedding, PC = Pre-compost bedding, FA = Fresh *Azolla*, DA = Dried *Azolla*

การเตรียมไส้เดือนดิน

การทดลองนี้ใช้ไส้เดือนดินสายพันธุ์ African night crawler, AF (*Eudrilus eugeniae*) จากฟาร์มเลี้ยงไส้เดือนดินของเกษตรกร อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ทำการศึกษาภายในโรงเรือนเลี้ยงไส้เดือนดิน ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยการวิจัยเกี่ยวข้องกับสัตว์ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ ACKU66-AGK-001

การเตรียมวัตถุดิบในการเลี้ยงไส้เดือนดิน

โดยนำมูลโค (จากฟาร์มโคนมของเกษตรกร อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม) แช่น้ำสลับกับการผึ่งในที่ร่ม เป็นเวลา 5 วัน นำมูลโคใส่ลงในบ่อผ้าใบที่มีรูระบายน้ำ เติมน้ำให้พอดีกับความสูงของมูลโค แช่ด้วยน้ำสะอาด 1 วัน และระบายน้ำออกจากบ่อพร้อมทำ

การผึ่งในที่ร่ม 1 วัน สลับกัน 2 ครั้ง และผึ่งในที่ร่มในวันที่ 5 วัสดุจะมีความชื้น ประมาณ 70-80% ซึ่งเป็นระดับความชื้นที่เหมาะสมของวัสดุเพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน ซึ่งเป็นการระบายความร้อนและลดปริมาณแอมโมเนียที่เป็นพิษต่อตัวไส้เดือนดิน (Matney, 2018) สำหรับตัวอย่างแหนแดง 2 แบบ ได้แก่ ตัวอย่างสด ทำการตักแหนแดงจากบ่อเลี้ยง และนำมาผึ่งในที่ร่ม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนตัวอย่างแหนแดงแห้ง ทำได้โดยนำแหนแดงสดที่ตักจากบ่อเลี้ยงไปผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เป็นเวลา 3 วัน เพื่อลดความชื้นให้ได้ต่ำกว่า 10% (Reiling, 2022) (คุณสมบัติตาม **Table 2**)

Table 2 Selected chemical properties of cattle manure and *Azolla*

Chemical properties	Cattle manure	*Azolla microphylla*	
		Fresh	Dried
Organic matter; OM (%)	28.45	29.76	27.35
Electrical conductivity; EC (1:10; dS/m)	1.21	3.13	6.30
pH value; pH	6.76	6.78	6.33
Total nitrogen; TN (%)	1.40	1.87	2.71
Total phosphorus; TP (%)	1.18	0.41	1.66
Total potassium; TK (%)	0.06	0.12	0.16
Carbon: Nitrogen ratio; C/N	11.83	9.25	5.86

การบันทึกข้อมูลผลการทดลองด้านการเจริญเติบโต

โดยบันทึกน้ำหนักสดของไส้เดือนดินที่ 45 วันหลังเลี้ยงใน bedding โดยทำการแยกตัวไส้เดือนดินออกจาก bedding ด้วยตะแกรงร่อน แยกได้เป็นมูลและตัวไส้เดือนดิน จากนั้นแยกตัวไส้เดือนดินในภาชนะและนำไปชั่งน้ำหนักตัวด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง พร้อมบันทึกน้ำหนักสดของตัวไส้เดือนดินต่อ 1 ภาชนะพลาสติก

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของมูลโค แหนแดง และปุ๋ยมูลไส้เดือน

ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของมูลโค แหนแดงสดและแห้ง รวมทั้งปุ๋ยมูลไส้เดือนที่ได้หลังจากเลี้ยงไส้เดือนดิน 45 วัน ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ตามวิธีของวรรณรัตน์ และ สงกรานต์ (2551) วิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ตามวิธีของ พงศ์พิศ (2551) วิเคราะห์ความเป็นกรดด่าง (pH) ตามวิธีของณินลดา (2551) วิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ทั้งหมด (total P_2O_5) และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ทั้งหมด (total K_2O) ตามวิธีของศิริกุล และ ทองจันทร์ (2551), จริยา (2551) และ วรรณรัตน์ และ ชฎาพร (2551) ตามลำดับ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลตามแผนการทดลองแบบ 2 x 2 x 5 Factorial in completely randomized design (CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey multiple comparison test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) โดยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป SAS (SAS® OnDemand for Academics, 2021)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของข้อมูล **(Table 3)** พบว่า การใช้ bedding ที่ผ่านการหมักและไม่หมักไม่มีผลต่อน้ำหนักสดของไส้เดือนดินแต่มีผลต่อคุณสมบัติของปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน ส่วนการใช้แหนแดงสดและแห้งรวมถึงการใช้อัตราส่วนของมูลโค

ต่อแหนแดงที่แตกต่างกันมีผลต่อน้ำหนักสดของไส้เดือนดินและคุณสมบัติของปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน โดยที่ค่าสหสัมพันธ์ของ bedding กับแหนแดงไม่มีผลต่อปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างแหนแดงกับอัตราส่วนระหว่างมูลโคกับแหนแดง และความสัมพันธ์ระหว่าง bedding กับอัตราส่วนระหว่างมูลโคกับแหนแดงมีผลต่อน้ำหนักสดของไส้เดือนดินและคุณสมบัติของปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสหสัมพันธ์ของ bedding กับแหนแดงกับอัตราส่วนระหว่างมูลโคกับแหนแดงไม่มีผลต่อค่า C/N ratio ของปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน

Table 3 Summary of analysis of variances the effect of bedding preparation, types of *Azolla* and ratio of manure: *Azolla* on body weight of earthworm and vermicompost properties

Parameters	Probability value < 0.05						
	B	A	R	B x A	A x R	B x R	B x A x R
Body weight	0.7101	<0.0001	<0.0001	0.0008	<0.0001	0.0337	0.0009
pH	0.0727	<0.0001	<0.0001	<0.001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
EC	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
OM	0.0004	0.0007	<0.0001	0.4821	0.0148	<0.0001	0.0031
C/N ratio	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0004	<0.0001	<0.0001	0.1723
Total N	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.8136	<0.0001	<0.0001	0.0004
Total P_2O_5	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Total K_2O	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Where are B = bedding, A = *Azolla*, R = ratio of manure and *Azolla*

จากการบันทึกข้อมูลน้ำหนักของไส้เดือนดินทั้งหมดในภาชนะที่ 45 วันหลังจากเลี้ยงใน bedding ที่แตกต่างกัน **(Table 4)** พบว่า การเลี้ยงไส้เดือนดินใน bedding ที่มีส่วนผสมของมูลโค กับแหนแดงสด 90:10 และ 70:30 โดยไม่มีการหมัก ทำให้ไส้เดือนดินมีน้ำหนักสดทั้งหมดต่อภาชนะพลาสติกเพิ่มขึ้นจากน้ำหนักเริ่มต้น 100 กรัม มากที่สุด เท่ากับ 179.33±11.55 และ 180.66±7.51 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ส่วนผสมของมูลโคกับแหนแดงแห้ง 90:10 ทำให้ไส้เดือนดินมีน้ำหนักต่อภาชนะพลาสติกเพิ่มขึ้นมากกว่าอัตราส่วนอื่นเช่นเดียวกัน ส่วนไส้เดือนดินที่เลี้ยงใน bedding ที่มีการหมักมูลโคกับแหนแดงสดอัตราส่วนต่าง ๆ มีน้ำหนักสดทั้งหมดต่อภาชนะพลาสติกเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นที่อัตราส่วน 10:90 ที่มีผลทำให้ไส้เดือนดินตาย สำหรับไส้เดือนดินที่เลี้ยงใน bedding ที่มีการหมักมูลโคกับแหนแดงแห้งอัตราส่วน 90:10 และ 73:30 ทำให้ไส้เดือนดินมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นมากที่สุด เท่ากับ 163.00±19.05 และ 162.00±7.00 กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสดของไส้เดือนดินที่เลี้ยงในส่วนผสมของมูลโคกับแหนแดงอัตราส่วนเดียวกัน พบว่า การเลี้ยงไส้เดือนดินใน bedding ที่มีส่วนผสมของมูลโคกับแหนแดงสดและแห้ง 90:10 ที่ผ่านการหมักและไม่หมักมีน้ำหนักไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่ bedding อัตราส่วน 70:30 ของมูลโคกับแหนแดงสดไม่ผ่านการหมัก ทำให้ไส้เดือนดินมีน้ำหนักตัวมากกว่า bedding ที่มีส่วนผสมของมูลโคกับแหนแดงแห้งอัตราส่วนเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่า bedding ที่มีส่วนผสมของแหนแดงสดไม่ผ่านการหมักจะทำให้ไส้เดือนดินมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่า bedding ที่มีการหมัก ในทางกลับกัน bedding ที่มีส่วนผสมของแหนแดงแห้งไม่ผ่านการหมักจะทำให้ไส้เดือนดินมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นน้อยกว่า bedding ที่ผ่านการหมักไส้เดือนดินสามารถกินอาหารที่เป็นวัสดุอินทรีย์ได้ทุกชนิด แต่มีความชอบที่แตกต่างกันทำให้การเจริญเติบโตแตกต่างกัน (รพีพร, 2565) ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตของไส้เดือนดินได้รับผลกระทบจากลักษณะและคุณภาพของวัสดุ (Jayakumar et al., 2018) ส่วน Manaf et al. (2009) รายงานว่า วัสดุที่เหมาะสมสำหรับใช้ทำ bedding ในการเลี้ยงไส้เดือนดิน ควรมีลักษณะที่ดูดซับได้สูง มีศักยภาพในการจับตัวได้ดี และปริมาณโปรตีนหรือไนโตรเจนที่ต่ำ (C/N ratio สูง) นอกจากนี้ Manaig (2016) พบว่า โดยทั่วไปอัตราส่วน C/N สูงจะทำให้ค่าของผลผลิตมูลไส้เดือนดินสูง

เนื่องจากมูลไส้เดือนดินมีการดูดซับและการพองตัวมากขึ้น ดังนั้นอาหารที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงจะส่งผลให้การเจริญเติบโตของไส้เดือนดินลดลง เนื่องจากเกิดความร้อนจากการสลายตัว จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การเลี้ยงไส้เดือนดินใน bedding ที่ไม่มีการหมักอัตราส่วนของมูลโคกับแหนแดงสด 90:10 และ 70:30 จะทำให้ไส้เดือนดินมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นมากที่สุด

Table 4 The total fresh weight (g) of earthworm at 45 days after feed in different bedding

Ratio of manure: *Azolla*	Normal bedding		Pre-compost bedding	
(%)	Fresh *Azolla*	Dried *Azolla*	Fresh *Azolla*	Dried *Azolla*
90 : 10	179.33±11.55 ab	187.33±24.95 a	149.33±28.36 a-e	163.00±19.05 abc
70 : 30	180.66±7.51 ab	101.33±23.97 c-h	132.00±22.11 a-f	162.00±7.00 abc
50 : 50	131.00±12.77 a-b	79.00±28.00 f-i	123.33±6.11 b-h	118.00±31.19 b-h
30 : 70	101.66±26.01 c-d	19.66±7.02 ij	119.00±6.56 b-h	18.66±5.51 ij
10 : 90	90.66±10.69 d-h	nd	68.33±14.98 hi	nd

The data shown are mean±SD of independent values of triplicated measurement, nd; not detected
The values of main effects bedding and *Azolla* and ratio of manure: *Azolla* having the same letter are not significantly different from each other at P< 0.05

เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์มูลไส้เดือนดินที่ได้จากปริมาณอินทรียวัตถุในผลิตภัณฑ์มูลไส้เดือนดินที่ได้จากการเลี้ยงไส้เดือนดินใน bedding ต่างกัน เป็นเวลา 45 วัน **(Figure 1)** พบว่า มูลไส้เดือนดินใน bedding ที่ไม่หมักมีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่า bedding ที่ผ่านการหมัก โดยที่ส่วนผสมของมูลโคกับแหนแดงสดและแหนแดงแห้งไม่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราส่วนของมูลโคกับแหนแดง 50:50, 30:70 และ 10:90 มีปริมาณอินทรียวัตถุในผลิตภัณฑ์มูลไส้เดือนดินไม่แตกต่างกัน **(Figure 1A)** เช่นเดียวกันกับอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนหรือ C/N ratio ที่มูลไส้เดือนดินใน bedding ที่ไม่หมักมีค่า C/N ratio มากกว่า bedding ที่ผ่านการหมัก โดยที่อัตราส่วนของแหนแดงที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์มูลไส้เดือนดินมีค่า C/N ratio ลดลง **(Figure 1B)** ส่วนค่าการนำไฟฟ้า (EC) พบว่า การใช้แหนแดงแห้งเป็นส่วนผสมของ bedding ให้ได้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าการใช้แหนแดงสด โดยที่การใช้แหนแดงในอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งการไม่หมัก bedding ทำให้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าการหมัก **(Figure 1C)** ในทางกลับกันค่า pH ที่พบผลิตภัณฑ์มูลไส้เดือนดินที่ได้จากการเลี้ยงไส้เดือนดินใน bedding ที่ไม่หมักมีค่า pH สูงกว่า bedding ที่ผ่านการหมัก ซึ่งการใช้แหนแดงสดและแหนแดงแห้งเป็นส่วนผสมของ bedding ที่ทำให้ bedding มี pH อยู่ในช่วง 6.79-5.72 และ 6.68-5.66 ตามลำดับ **(Figure 1D)**

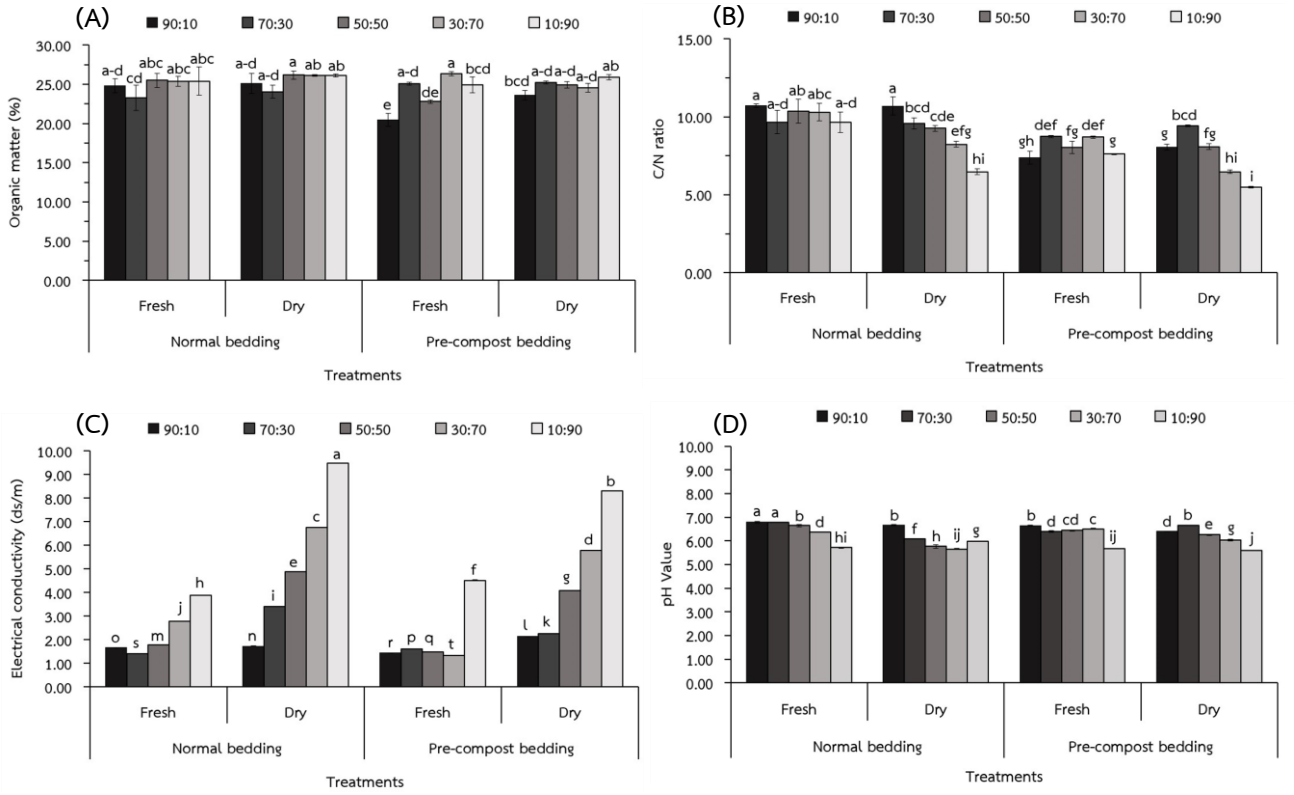


Figure 1 The amount of organic matter: (A) C/N ratio; (B) electrical conductivity; (C) and pH value; (D) from bedding at 45 days after feeding earthworm. The letters indicate statistically significant differences between treatments of bedding, *Azolla* sample and ratio of manure: *Azolla*. Bar represent standard deviation of means (±SD)

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่มีการเตรียม bedding แตกต่างกัน **(Table 5)** พบว่าการใช้แหนแดงแห้งเป็นส่วนผสมของ bedding ทำให้ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินมีปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าแหนแดงสด โดยที่การหมัก bedding ก่อนเลี้ยงไส้เดือนดินส่งผลให้ธาตุอาหารทั้งสองชนิดมีปริมาณมากกว่าการไม่หมัก นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราส่วนของแหนแดงสดและแห้งที่มีปริมาณมากขึ้น 10:90 (มูลโค:แหนแดง) หลังจากเลี้ยงไส้เดือนดิน 45 วัน มีปริมาณของธาตุไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด ในขณะที่ bedding ที่มีอัตราส่วนแหนแดงแห้ง 10:90 (มูลโค:แหนแดง) ทั้งผ่านการหมักและไม่หมักมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากที่สุด สำหรับปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้จากปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน พบว่า bedding ที่มีส่วนประกอบของมูลโค:แหนแดงอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ผ่านและไม่ผ่านการหมัก หลังจากเลี้ยงไส้เดือนดิน 45 วัน มีปริมาณของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของ bedding นั้น มูลโคมีค่า C/N ratio สูงกว่าแหนแดงสดและแหนแดงแห้ง ตามลำดับ ดังนั้น bedding ที่มีส่วนประกอบของมูลโคปริมาณมาก จึงส่งผลให้ไส้เดือนดินมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ในขณะที่แหนแดงสดมีค่า C/N ratio สูงกว่าแหนแดงแห้ง

ตามข้อกำหนดลักษณะเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์กรณีไม่เป็นปุ๋ยอินทรีย์เหลวจะต้องมีอัตราส่วน C/N ratio ไม่เกิน 20:1 และต้องมีปริมาณอินทรียวัตถุไม่ต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่า pH อยู่ในช่วง 5.5-8.5 ส่วน ค่าการนำไฟฟ้าไม่ควรเกิน 10 dS/m (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2557) ซึ่งปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่ได้จากการ bedding หลังปล่อยไส้เดือนดินลงเลี้ยง 45 วัน มีอัตราส่วน C/N ratio อยู่ในช่วง 5.48-10.73 ค่า pH อยู่ในช่วง 5.66-6.79 และค่าการนำไฟฟ้า อยู่ในช่วง 1.34-9.49 dS/m ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่

กำหนด ในขณะที่ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 20.45-26.16 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยที่ bedding ที่ไม่มีการหมักมีส่วนประกอบของแหนแดง 50, 70 และ 90 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด 26.16, 26.12 และ 26.11 ตามลำดับ จากการศึกษาของณัฏฐ์ชยธร และชุลีมาศ (2561) รายงานว่า ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่มีประสิทธิภาพดี มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.52 ค่าการนำไฟฟ้า 4.88 dS/m อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ นอกจากนี้ตามข้อกำหนดลักษณะเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร , 2557) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ไม่น้อยกว่า 1.0 โดยน้ำหนัก ฟอสฟอรัสทั้งหมด ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก และโพแทสเซียมทั้งหมด ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก หรือมีปริมาณธาตุอาหารหลักรวมกันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนัก โดยปุ๋ยมูลไส้เดือนที่ได้จากการทดลองนี้ **(Table 5)** มีปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด มากเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด สอดคล้องกับการศึกษาของพีรยุทธ และคณะ (2557) รายงานว่า อัตราส่วนของมูลโคต่อเศษหญ้าที่แตกต่างกันมีผลต่อการเปลี่ยน bedding เป็นปุ๋ยหมักของไส้เดือนดิน *E. eugeniae* โดยที่อัตราส่วน 10:90, 20:80 และ 40:60 สามารถเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักได้ร้อยละ 89.73, 85.67 และ 85.29 ตามลำดับ ได้มากกว่าอัตราส่วน 30:70 อย่างมีนัยสำคัญ ($P< 0.05$)

Table 5 The chemical properties of vermicompost at 45 days after vermicasting in different bedding

Ratio of manure: *Azolla*	Normal bedding		Pre-compost bedding	
(%)	Fresh *Azolla*	Dried *Azolla*	Fresh *Azolla*	Dried *Azolla*
	---------- Total N (%) ----------			
90 : 10	1.34±0.03 n	1.36±0.01 mn	1.61±0.03 lij	1.70±0.01 f-i
70 : 30	1.40±0.01 mn	1.46±0.01 klm	1.67±0.00 ghj	1.55±0.01 ijk
50 : 50	1.43±0.00 lmn	1.64±0.00 hi	1.65±0.06 hi	1.79±0.01 ef
30 : 70	1.43±0.04 lmn	1.84±0.04 de	1.76±0.00 efg	2.20±0.01 c
10 : 90	1.52±0.01 jkl	2.34±0.05 b	1.90±0.09 d	2.74±0.06 a
	---------- Total P_2O_5 (%) ----------			
90 : 10	1.39±0.01 g	1.33±0.02 h	1.27±0.04 j	1.52±0.00 d
70 : 30	1.34±0.03 h	1.25±0.01 j	1.40±0.02 fg	1.50±0.00 d
50 : 50	1.28±0.00 ij	1.43±0.01 ef	1.49±0.01 d	1.58±0.02 c
30 : 70	1.27±0.01 j	1.44±0.01 e	1.41±0.01 fg	1.67±0.02 b
10 : 90	1.06±0.02 k	1.75±0.01 a	1.27±0.00 j	1.74±0.01 a
	---------- Total K_2O (%) ----------			
90 : 10	0.83±0.001	0.80±0.001	0.81±0.001	0.79±0.001
70 : 30	0.80±0.001	0.80±0.001	0.80±0.001	0.80±0.001
50 : 50	0.80±0.001	0.84±0.001	0.81±0.001	0.81±0.001
30 : 70	0.80±0.001	0.83±0.001	0.79±0.001	0.82±0.001
10 : 90	0.80±0.001	0.88±0.001	0.80±0.001	0.81±0.001

The data shown are mean±SD of independent values of triplicated measurement.

The values of main effects bedding and *Azolla* and ratio of manure: *Azolla* having the same letter do not differ significantly at $P \leq 0.05$

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การเลี้ยงไส้เดือนดินใน bedding ที่ไม่มีการหมักอัตราส่วนของมูลโคกับแหนแดงสด 90:10 และ 70:30 จะทำให้ไส้เดือนดินมีน้ำหนักตัวมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ro et al. (2022) ที่พบว่า การเลี้ยงไส้เดือนดินด้วย bedding ที่มีมูลโคเพียงอย่างเดียวทำให้ไส้เดือนดินมีน้ำหนักสูงที่สุดมากกว่าการเลี้ยงไส้เดือนด้วยมูลโค 75% ผสมกับแหนแดง 25% นอกจากนี้ Vodounnou et al. (2016) ยังรายงานว่า ไส้เดือนดิน *E. fetida* สามารถเจริญเติบโต มีน้ำหนักมากที่สุดเมื่อเลี้ยงในมูลโคเพียงอย่างเดียว รองลงมาคือ มูลสุกร มูลกระต่าย มูลสัตว์ปีก มูลแกะ และเศษซากผัก ตามลำดับ ในทางกลับกันจะเห็นได้ว่า bedding ที่มีอัตราส่วนของมูลโคกับแหนแดงแห้ง 10:90 สามารถเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดสูง โดยที่ Nam and Yoon (2008) รายงานว่า แหนแดงมีแบคทีเรียพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Anabaena azollae* ที่สามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศได้ดี ทำให้แหนแดงมีธาตุไนโตรเจนปริมาณสูง และยังมีธาตุอื่น ๆ เช่น ฟอสฟอรัส โพแทศเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น ซึ่งจากการทดลองนี้ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในแหนแดงที่นำมาทดลองมีปริมาณของไนโตรเจนสูงกว่ามูลโค นอกจากนี้แหนแดงแห้งยังมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่ามูลโค จึงทำให้ปุ๋ยมูลไส้เดือนที่เลี้ยง bedding ที่แหนแดงปริมาณมากอัตราส่วนของมูลโคกับแหนแดงแห้ง 10:90 มีปริมาณของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงกว่า อัตราส่วนของมูลโคกับแหนแดงแห้ง 90:10

สรุป

การเลี้ยงไส้เดือนดินใน bedding ที่ไม่ผ่านการะบวนการหมักที่อัตราส่วนของมูลโคกับแหนแดงสด 90:10 และ 70:30 ส่งผลให้ไส้เดือนดินมีน้ำหนักตัวมากที่สุด ในทางกลับกัน bedding ที่มีอัตราส่วนของมูลโคกับแหนแดงแห้ง 10:90 สามารถเปลี่ยนเป็นปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดได้มาก

การอนุญาตวิจัยในสัตว์

การทดลองนี้เป็นการวิจัยเกี่ยวข้องกับสัตว์ ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ ACKU66-AGK-001

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์ ศุภผล อาจารย์ประจำวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนงบประมาณส่วนหนึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครปฐม จังหวัดนครปฐม และเรืออากาศเอกประวิทย์ เชื้อชาญ ที่สนับสนุนตัวอย่างแหนแดงพร้อมให้คำแนะนำด้านการเลี้ยงเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2563. การจัดการความรู้: เทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชในเขตภาคกลางและภาคตะวันตก. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

จริยา วงศ์ตรี. 2551. วิธีวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด. น. 24-28. คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร.

จิรายุ นุชนนท์, กนก เลิศพานิช และอภิศักดิ์ โพธิ์ปั้น. 2560. ผลของวัสดุเพาะเลี้ยงที่มีผลต่อจำนวนถุงไข่ น้ำหนักตัว ปริมาณมูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ แอฟริกัน ไนท์ ครอเลอร์ (*Eudrilus eugeniae*). วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 35: 41-48.

ณัฏฐ์ชยธร ขัตติยะพุฒิเมธ และชุลีมาศ บุญไทย อิวาย. 2561. ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน. วารสารดินและปุ๋ย. 40: 31-38.

ณินลดา ปานอินทร์. 2551. วิธีวิเคราะห์ความเป็นกรดด่าง. น. 5-6. คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร.

นพพร ศิริพานิช. 2563. แหนแดง. น. 7-14. การจัดการความรู้: เทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชในเขตภาคกลางและภาคตะวันตก. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 กระทรวงเกษตรและสหกรณี กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร.

พีรยุทธ สิริฐนกร, ไกรวิทย์ พะรัมย์ และสุชาดา สานุสันต์. 2557. วัสดุรองพื้นต่างชนิดกันที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตปุ๋ยหมักจากไส้เดือนดิน. แก่นเกษตร. 42: 714-721.

พงศ์พิศ แก้วสุข. 2551. วิธีวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า น.33-34. คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร.

ภฤศญา ปิยนุสรณ์ และวรรณี สุทธใจดี. 2555. การศึกษาการเลี้ยงไส้เดือนเชิงพานิชย์ในการจัดการขยะอินทรีย์. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, กรุงเทพมหานคร.

รพีพร ชัยชนะ. 2565. ประสิทธิภาพของไส้เดือนดิน *Eudrilus eugeniae* ในการย่อยสลายเศษอินทรีย์. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 14: 142-153.

วรรณรัตน์ ชุติบุตร และชฎาพร คงนาม 2551. วิธีวิเคราะห์โพแทชทั้งหมด. น.29-32. คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร.

วรรณรัตน์ ชุติบุตร และสงกรานต์ พระอังคาร. 2551. วิธีวิเคราะห์อินทรียวัตุ อินทรียคาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน. น.15-18. คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร.

ศิริกุล อ่องกมล และทองจันทร์ พิมพ์เพ็ชร. 2551. วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจน. น.19-23. คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร.

สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2557. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร.

Buckingham, K. W., S. W. Ela, J. G. Moris, and C. R. Goldman. 1978. Nutritive value of the Nitrogen-fixing aquatic fern *Azolla filiculoides*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 26: 1230-1234.

Bocchi, S., and A. Malgioglio. 2010. Azolla-anabaena as a Biofertilizer for Rice Paddy Fields in the Po Valley, a Temperate Rice Area in Northern Italy. International Journal of Agronomy. 1: 1-5.

Edwards, C. A. 2004. Earthworm ecology. 2nd Edition. CRS Press, Florida.

Gajalakshmi, S., and S. A. Abbasi. 2004. Neem leaves as a source of fertilizer-cum-pesticide vermicompost. Bioresource Technology. 92: 29-296.

Lazcano, C., M. Gomez-Brandon, and J. Dominguez. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. Chemosphere. 72: 1013–1019.

Ismail, S. A. 1997. Vermicology: The biology of earthworms. Orient Longman Limited, Chennai.

Jayakumar, V., S. S. Murugan, and S. Manivannan. 2018. Biodyanamics of epigeic earthworm *Eudrilus eugeniae* and *Eisenia fetida* during recycling of poultry waste amended with different organic food sources. International Archive of Applied Sciences and Technology. 9: 46-51.

Manaf, L. A., M. L. C. Jusoh, M. K. Yusoff, T. H. T. Ismail, R. Harun, and H. Juahir. 2009. Influences of beeding material in vermicomposting process. International Journal of Biology. 1: 81-91.

Manaig, E. M. 2016. Vermicomposting efficiency and quality of vermicompost with different bedding materials and worm food sources as substrate. Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences. 4: 1-13.

Matney, C. 2018. Composting with worms. Available: https://yakutattlingittribe.org/wp-content/uploads/ 2019/12/ Composting-with-Worms.pdf. Accessed Jan.14, 2024.

Nam, K. W., and D. H. Yoon. 2008. Usage of *Azolla* spp. as a biofertilizer on the environmental-friendly agriculture. Korean Journal of Plant Research. 21: 230-235.

Ro, S., V. Long, R. Sor, S. Pheap, R. Nget, and J. William. 2022. Alternative feed sources for vermicompost production. Environment and Natural Resources Journal. 20: 393-399.

Reiling, B. 2022. Feed dry matter conversions. Available: https://extensionpubs.unl.edu/publication/g2093/na/html/view. Accessed Aug.17, 2024.

Tangsombatvichit, P., S. Chupong, D. Ketrot, and K. Boonlerthirun. 2016. The management of organic wastes produced vermicompost using earthworm *Eudrilus eugeniae* and effects of vermicompost on growth of *Helianthus annuus*. 5th International conference on food, Agricultural and Biological Sciences (ICFABS-2016), Dec 25-26, 2016, Thailand.

Vodounnou, D. S. J. V., D. N. S. Kpoque, C. E. Tossavi, G. A. Mennsah, and E. D. Flogbe. 2016. Effect of animal waste and vegetable compost on production and growth of earthworm (*Eisenia fetida*) during vermiculture. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. 5: 87-92.

Watanabe, I., and C. Ramirez. 1990. Phosphorus and nitrogen contents of *Azolla* grown in the Philippines. Soil Science and Plant Nutrition. 36: 319-331.