



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดิน
เพื่อระยะเวลาการปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์โดยใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน
ดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน

**Study of Techniques for Increased Degradation Rate of Synthetic Chemical
Residues in Soil for Shorten Conversion Period to Organic Farming
Production**

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ: การจัดการดินและธาตุอาหารพืชเพื่อลดระยะเวลาปรับเปลี่ยน
สู่ระบบการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์อย่างยั่งยืน

(Soil and Plant Nutrition Management on the reduction of Conversion Period for Sustainable
Organic Farming Production)

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย

ประจำปี 2558

จำนวน 225,000 บาท

หัวหน้าโครงการ

นายอานัฐ ตันโช

ผู้ร่วมโครงการ

นางสาวสุติรัถ อารักษ์ฉัตรธรรม

นางสาวสุนิษา นนทธิ

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

กรกฎาคม 2558

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
บทคัดย่อ	1
Abstract	3
คำนำ	5
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	7
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
การตรวจเอกสาร	8
วิธีการดำเนินการวิจัย	19
ผลการวิจัย	21
วิจารณ์ผลการทดลอง	28
สรุปผลการวิจัย	30
เอกสารอ้างอิง	31

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	11
แสดงเกณฑ์ค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ปนเปื้อนสารเคมีกำจัดศัตรูพืช เพื่อใช้ประโยชน์ด้านเกษตรกรรม	
ตารางที่ 2	14
แสดงค่าเฉลี่ยการ สลายตัวของ cypermethrin, chlorpyrifos, และ deltamethrin ที่ตกค้างใน ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมัก ชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 60 วัน	
ตารางที่ 3	21
แสดงค่าสารพิษตกค้างของกลุ่ม Organophosphates และ Pyrethroids ในดินก่อนทำการทดลอง	
ตารางที่ 4	23
ผลของการการใช้ผลิตผลจากไส้เดือนดินบ่มดินที่ไม่มีน้ำขัง และมีน้ำ ขังในระยะเวลาที่ต่างกันต่อปริมาณสาร Chlorpyrifos (mg/kg.soil) ใน ดิน	
ตารางที่ 5	25
ผลของการการใช้ผลิตผลจากไส้เดือนดินบ่มดินที่ไม่มีน้ำขัง และมีน้ำ ขังในระยะเวลาที่ต่างกัน ต่อปริมาณสาร Profenofos (mg/kg.soil)	
ตารางที่ 6	27
ผลของการการใช้ผลิตผลจากไส้เดือนดินบ่มดินที่ไม่มีน้ำขัง และมีน้ำ ขังในระยะเวลาที่ต่างกัน ต่อปริมาณสาร Cypermethrin (mg/kg.soil)	

การศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดิน
เพื่อลดระยะเวลาการปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์โดยการใช้ปุ๋ยหมักมูล
ไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน

Study of Techniques for Increased Degradation Rate of Synthetic Chemical
Residues in Soil for Shorten Conversion Period to Organic Farming
Production

อานัฐ ตันโช¹ สุลีรัก อารักษ์ธรรม² และสุนิษา นนททิ³

Arnat Tancho, Suleerak Arlaktham and Sunisa Nontati

คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

การศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดินเพื่อลดระยะเวลาการปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์โดยการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลการใช้มูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดินในการลดปริมาณสารพิษตกค้างในดินของสารกลุ่ม Organophosphates และ Pyrethroids ภายใต้สภาวะปกติและขังน้ำ

ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยเก็บตัวอย่างดินจากแปลงของเกษตรกรในระบบเกษตรเคมี มาศึกษาถึงผลการใช้มูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน ช่วยเร่งการย่อยสลายสารพิษ 3 ชนิด คือ Cypermethrin, Chlorpyrifos และ Profenofos โดยทำการตรวจวัดปริมาณสารพิษตกค้างในดินตัวอย่าง 5 ช่วงเวลาหลังทดลองที่ 0 วัน 7 วัน 15 วัน, 30 วัน และ 60 วัน ในสภาวะการบ่ม 2 รูปแบบคือสภาพปกติและน้ำขัง พบว่า ค่าการสลายตัวของ Chlorpyrifos ที่ตกค้างในดินทดสอบนั้นจะสลายตัวหมดภายในระยะเวลา 60 วัน โดยการใส่น้ำหมักมูลไส้เดือนดินและบ่มดินในสภาพขังน้ำมีค่าการสลายตัวเกิดขึ้นสูงสุด สูงกว่าการใส่มูลไส้เดือนดินและคาร์บอนคลุม ในส่วนของค่าการสลายตัวของ Profenofos ในดินทดสอบพบว่าสลายตัวหมดภายในระยะเวลาการบ่มนาน 15 วัน และไม่มีมีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในส่วนของ Cypermethrin สลายตัวหมดภายในระยะเวลามากกว่า 60 วัน โดยการใส่มูล

ไ้เดือนดินและน้ำหมักมูลไ้เดือนดินและบ่มดินในสภาพปกติมีการสลายตัวของ Cypermethrin เกิดขึ้นมากกว่าในตำรับควบคุม ($P < 0.01$)

การศึกษาครั้งนี้ สรุปได้ว่า ในสภาพดินน้ำขังการไ้่น้ำหมักมูลไ้เดือนดินจะช่วยเพิ่มอัตราการสลายตัวของ Chlorpyrifos ได้ดีกว่าการไม่ไ้ ส่วนในสภาพดินปกติทั่วไปการไ้ทั้งมูลไ้เดือนดินและน้ำหมักมูลไ้เดือนดินจะช่วยเพิ่มอัตราการสลายตัวของ Cypermethrin ได้ดีกว่าดินที่ไม่ไ้ ดังนั้นการใช้ปุ๋ยหมักมูลไ้เดือนดิน และน้ำหมักมูลไ้เดือนดิน สามารถเป็นตัวเลือกหนึ่งในการใช้เพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษที่ตกค้างในดินได้ นอกจากการใช้ปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินแล้ว

คำสำคัญ: สารพิษตกค้าง, การย่อยสลายทางชีวภาพ, เกษตรอินทรีย์, ปุ๋ยหมักไ้เดือนดิน, น้ำหมักมูลไ้เดือนดิน



Abstract

Study of technique for increased degradation rate of synthetic chemical residues in soil for shorten conversion period to organic farming by vermicompost and vermicompost liquid found that the using of vermicompost and vermicompost liquid in soil treated with organophosphates, pyrethroids (Chlorpyrifos and Profenofos) showed that the degradation rate of Chlorpyrifos synthetic chemical residues in soil would within 60 days and treated vermicompost liquid in submerged soil would have degradation rate higher than put vermicompost and control. The degradation rate of Profenofos in soil samples found the degradation out within 15 days of incubate periods and found no statistically significant difference. However, Cypermethrin degradation out within more 60 days by put vermicompost and vermicompost liquid faster than normal soil degradation rate of Cypermethrin and control ($P < 0.01$)

This study conclusion that added vermicompost liquid in submerged soil would increased the degradation rate of Chlorpyrifos better than not added. Vermicompost and vermicompost liquid in normal soil may increased degradation rate of Cypermethrin better not added. so that added vermicompost and vermicompost liquid were one option in use for increasing degradation rate of synthetic chemical residues in soil not only used for improving soil fertility.

Key word:, Chemical residues, Biodegradation, Organic Farming, Vermicompost, Vermicompost liquid

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร ประจำปี 2558 รวมทั้งได้รับความร่วมมือจากบุคลากรและหน่วยงานหลายแห่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง อาทิสำนักงานกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และสำนักงานกองทุนปุ๋ยอินทรีย์และไฮโดรโพนิคส์ มูลนิธิโครงการหลวง พร้อมทั้งเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องในหน่วยงานอื่นที่มีส่วนร่วมในการวิจัยครั้งนี้ ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการศึกษาวิจัย และท้ายสุดขอขอบพระคุณสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตรที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

กรกฎาคม 2558



คำนำ

พฤติกรรมปลูกพืชเชิงการค้าต่อปีหลายรอบนั้นได้ส่งผลให้มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างเข้มข้น โดยเฉพาะการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชที่มีฤทธิ์ทำลายในวงกว้าง (broad-based spectrum) อย่างไกลโฟเซตและคาร์โบฟูรานซึ่งมีการนำเข้าและใช้มากที่สุดในประเทศไทย โดยในปี 2555 กรมวิชาการเกษตรรายงานว่าไทยนำเข้าสารเคมีที่เป็นวัตถุอันตรายทางการเกษตรสูงถึง 134 ล้านกิโลกรัม มูลค่า 19,357 ล้านบาท สารกำจัดวัชพืชมีการนำเข้าสูงที่สุด รองลงมาคือสารกำจัดแมลง ซึ่งมีปริมาณการนำเข้าสูงเป็นอันดับ 1 ในภูมิภาคตะวันออกเฉียงใต้ และอันดับ 4 ของโลก และผลการสำรวจของสำนักควบคุมโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อมปี 2554 จากการตรวจเลือดเกษตรกร 533,524 คน ใน 74 จังหวัด พบว่าอยู่ในระดับเสี่ยงและไม่ปลอดภัยร้อยละ 32 และสรุปรายงานการเฝ้าระวังโรค จากสำนักระบาดวิทยาปี 2554 มีผู้ป่วยได้รับพิษจากสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชจากการทำงานและสิ่งแวดล้อม จำนวน 2,046 ราย มีผู้เสียชีวิต 2 ราย โดยผู้ป่วยส่วนใหญ่มีอาชีพทำเกษตรกรรมร้อยละ 41.06

ความเสียหายดังกล่าวข้างต้นนั้นยังไม่รวมถึงผลกระทบทางอ้อมต่อผู้บริโภค สิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในระบบนิเวศ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งจากการตรวจสอบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักและผลไม้ ของสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3, 4 และ 5 กรมวิชาการเกษตร พบว่า ตัวอย่างผักและผลไม้ ที่ส่งตรวจเพื่อขอรับรองระบบเกษตรที่ดีที่เหมาะสม (GAP) ในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันตกและภาคกลางของไทย นั้นมีจำนวนตัวอย่างที่พบสารพิษตกค้างเกินค่า MRL ร้อยละ 2 จำนวน 28 ชนิด โดยสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่พบส่วนใหญ่คือ cypermethrin, chlorpyrifos, ethoprophos, deltamethrin, diazinon, profenofos, lambda-cyhalothrin, cyfluthrin, fenvalerate และ dimethoate (นาตยา และคณะ(2553); มณฑาทิพย์ และคณะ(2553); วัชรพร และคณะ(2551) และ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 (2553)

โดยธรรมชาติแล้วกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biological Degradation) ในการเปลี่ยนสารพิษที่ตกค้างในดินให้กลับมาเป็นชีวมวลและผลพลอยได้ที่ไม่มีอันตรายของพวกสิ่งมีชีวิตในดิน โดยเฉพาะจุลินทรีย์ในรูปของ CO_2 , CH_4 และกรดอินทรีย์ เกิดขึ้นอยู่แล้วแต่อาจเกิดขึ้นในอัตราที่ต่ำและใช้เวลานานในการย่อยสลายนาน เนื่องจากจุลินทรีย์ในแปลงปลูกลดลง ประกอบกับสารพิษที่ตกค้างในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้นซึ่งสวนทางกัน จึงมักตรวจพบสารพิษตกค้างในดิน แหล่งน้ำหรือในผลผลิตได้บ่อยครั้ง นับเป็นปัญหาใหญ่ในการผลิตพืชเพื่อการส่งออกโดยเฉพาะในระบบเกษตรอินทรีย์ ดังนั้นงานหลักที่เกษตรกรจำเป็นต้องทำเป็นอันดับต้นๆ คือการบำบัด พื้นฟูและการปรับปรุงดิน โดยการจัดสภาพดินให้เอื้อต่อการเกิดกระบวนการย่อยสลายสารพิษทางชีวภาพได้ดีและเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งวิธีการหนึ่งที่น่าจะได้ผลและเป็น

มิตรคือ การใช้ปุ๋ยหมัก และน้ำหมักชีวภาพ ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาของจารุพงศ์ และ ชูลีมาศ (2556) พบว่า ค่าการสลายตัวของcypermethrin, chlorpyrifos, และdeltamethrin ที่ตกค้างในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินนั้นจะสลายตัวหมดภายในระยะเวลาการหมักที่ 30 วัน ในขณะที่ปุ๋ยหมัก และน้ำหมักชีวภาพที่ไม่มีไส้เดือนดินในกระบวนการผลิตปุ๋ยนั้นจะสลายตัวหมดในระยะเวลา นานกว่า 60 วัน ซึ่งคณะวิจัยคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ไส้เดือนดินที่ปนออกมากับมูลไส้เดือนดิน ทั้งนี้เคยมีการคัดแยกจุลินทรีย์ในลำไส้ไส้เดือนดินได้กว่า 343 ชนิด (Winding *et al.* (1997) ซึ่งพบว่าแบคทีเรียกลุ่มต่างๆ ดังกล่าวที่แยกได้นั้นเป็นกลุ่มที่สร้างสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ตรึงไนโตรเจนจากอากาศ และละลายธาตุฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในดินได้ (Loreno-Ostiet *al.*, 2004; Martínez-Romero, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของManuel and Jorge (2009) พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ acid phosphatases และ alkaline phosphatases ที่วัดได้จากมูลไส้เดือนดินนั้นสูงกว่าที่วัดได้จากจากมูลวัวและมูลหมูที่ไม่ผ่านการกินโดยไส้เดือนดิน แต่ทั้งนี้กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์บางกลุ่มในดินโดยธรรมชาติจะไม่เคลื่อนที่และสร้างโคโลนีอยู่เป็นแห่งๆ ด้วยเหตุดังกล่าวจุลินทรีย์ธรรมชาติที่มีอยู่ในดินนั้นจะเป็นประโยชน์น้อยมากหากปราศจากการแพร่กระจายตัวลงไปในดิน

ดังนั้นการศึกษาการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน ในการช่วยกระตุ้นกระบวนการการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษที่ตกค้างในดินให้เกิดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงขึ้นนั้นมีความเป็นไปได้สูง ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดินนั้นเป็นปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงที่เกษตรกรสามารถผลิตจากขยะอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและใช้กันอย่างแพร่หลายแล้วทั่วประเทศในแง่ของปุ๋ยอินทรีย์บำรุงดิน เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ต้นทุนต่ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนสารพิษทั้งในระบบเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมี รวมถึงประยุกต์ใช้ในแง่ของปุ๋ยชีวภาพในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้พร้อมๆกันต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาถึงผลการใช้มูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดินในการลดปริมาณสารพิษตกค้างในดินของสารกลุ่มOrganophosphates และ Pyrethroids ภายใต้สภาวะปกติและขังน้ำ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเพิ่มแนวทางและวิธีการในการลดปริมาณสารพิษตกค้างในดินของสารกลุ่มOrganophosphates และ Pyrethroids ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ
2. สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้รับจากงานวิจัยมาใช้เป็นทางเลือกสำหรับเกษตรกร หรือผู้ที่สนใจที่ต้องการปรับเปลี่ยนระบบทำการเกษตรเคมีไปสู่ระบบเกษตรอินทรีย์

การตรวจเอกสาร

เกษตรอินทรีย์ คือการทำการเกษตรด้วยหลักธรรมชาติ บนพื้นที่การเกษตรที่ไม่มีสารพิษตกค้าง และหลีกเลี่ยงจากการปนเปื้อนของสารเคมีทางดิน ทางน้ำ และทางอากาศเพื่อส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความหลากหลายทางชีวภาพ ในระบบนิเวศน์และฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมให้กลับคืนสู่สมดุลธรรมชาติ โดยไม่ใช้สารเคมีสังเคราะห์หรือสิ่งที่ได้มาจากการตัดต่อพันธุกรรม ใช้ปัจจัยการผลิตที่มีแผนการจัดการอย่างเป็นระบบในการผลิตภายใต้มาตรฐานการผลิตเกษตรอินทรีย์ให้ได้ผลผลิตสูงอุดมด้วยคุณค่าทางอาหารและปลอดภัยโดยมีต้นทุนการผลิตต่ำเพื่อคุณภาพชีวิต และเศรษฐกิจพอเพียง แก่มวลมนุษยชาติ และสรรพชีวิตโดยการผลิตในระบบเกษตรอินทรีย์จะมีการหลีกเลี่ยงการใช้สารสังเคราะห์ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยเคมี สารกำจัดศัตรูพืช ฮอร์โมนต่างๆตลอดจนไม่ใช้พืชหรือสัตว์ที่เกิดจากการตัดต่อพันธุกรรมที่อาจก่อให้เกิดมลพิษในสภาพแวดล้อม แต่จะเน้นการใช้อินทรีย์วัตถุ เช่นปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยชีวภาพ ในการปรับปรุงบำรุงให้มีความอุดมสมบูรณ์ เพื่อให้ต้นพืชมีความอุดมสมบูรณ์มีความต้านทานโรคและแมลงด้วยตนเอง รวมถึงการนำเอาภูมิปัญญาชาวบ้านมาใช้ประโยชน์ ผลผลิตที่ได้จะปลอดภัยจากสารพิษตกค้างทำให้ปลอดภัยทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค และไม่ทำให้สภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมอีกด้วย

การปรับเปลี่ยนระบบเกษตรเคมีไปสู่เกษตรอินทรีย์

ในการปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตเป็นแบบเกษตรอินทรีย์นั้นเกษตรกรต้องเสนอแผนการจัดการฟาร์มที่ชัดเจนเกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต ต่อหน่วยรับรองระบบการผลิตพืชอินทรีย์เพื่อพิจารณาอนุมัติ

ในด้านประวัติฟาร์ม แผนการปรับเปลี่ยนและช่วงเวลา ประวัติการใช้สารเคมี รวมถึงผลการวิเคราะห์ผลตกค้างของสารเคมีในดิน พื้นที่ทำการเกษตรอยู่ก่อนแล้วใช้เวลาปรับเปลี่ยน 1 ปี สำหรับพืชล้มลุก และ 3 ปี สำหรับพืชยืนต้น ในส่วนของพื้นที่เปิดใหม่ อาจได้รับการยกเว้นไม่ต้องมีระยะเวลาปรับเปลี่ยน แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับผลการวิเคราะห์ผลตกค้างของสารเคมีในดินและในผลผลิต และให้อยู่ในดุลยพินิจของหน่วยงานรับรอง(กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2543) ดังนั้นการบำบัดฟื้นฟูดินให้มีการปนเปื้อนของสารตกค้างของสารเคมีในดินจึงมีความสำคัญมากต่อการใช้พื้นที่นั้นในการผลิตพืชในระบบเกษตรอินทรีย์โดยเฉพาะจุลินทรีย์ ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และกรดอินทรีย์ โดยปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ ได้แก่ สมบัติและความเข้มข้นของมวลสารอินทรีย์ ชนิดของจุลินทรีย์ในดิน ลักษณะและสมบัติของของเสีย (Waste characteristic) (จงรักษ์และคณะ, 2553)

เป้าหมายการทำเกษตรอินทรีย์

1. ฟื้นฟูและรักษาความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติโดยใช้วัตถุดิบในฟาร์มมาหมุนเวียนใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
2. ป้องกันและหลีกเลี่ยงการปฏิบัติที่ทำให้เกิดมลพิษที่มีผล กระทบต่อสิ่งแวดล้อม
3. พัฒนาระบบการผลิตสู่การพึ่งตนเอง สร้างระบบนิเวศ ความหลากหลายทั้งพืชและสัตว์ และรักษาให้คงไว้ซึ่งทรัพยากร ธรรมชาติอย่างยั่งยืนของระบบนิเวศโดยรวม
4. สนับสนุนการผลิตและกระบวนการจัดการทุกขั้นตอนที่คำนึงถึงหลักมนุษยธรรม
5. ยึดหลักการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปที่เป็นวิธี การธรรมชาติ ประหยัดพลังงาน และส่งผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

สารเคมีกำจัดศัตรูพืช

สารเคมีกำจัดศัตรูพืช หมายถึง สาร หรือส่วนประกอบของ สารที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้น หรืออาจสกัดจากธรรมชาติออกมา ในรูปของสารเคมี มีประสิทธิภาพในการป้องกัน ควบคุม และทำลาย ศัตรูพืช (แมลงและวัชพืช) ศัตรูสัตว์ (เชื้อโรค แมลง และสัตว์ที่เป็น พาหะนำโรค เช่นหนูแมลงสาบ เป็นต้น)

สารเคมีกำจัดศัตรูพืชสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ดังนี้

1. สารกำจัดแมลง ได้แก่ สารที่ใช้ป้องกัน กำจัด หรือขับไล่ศัตรูพืช และสัตว์ เช่น สารในกลุ่ม ออร์กาโนคลอรีน ออร์กาโนฟอสเฟต คาร์บาเมต ไพรีทรอยด์ ฯลฯ
2. สารกำจัดวัชพืช ได้แก่ สารที่ใช้ทำลายวัชพืช ที่แย่งน้ำแย่งอาหาร และ แสงสว่างจากพืช เพาะปลูก สารกลุ่มนี้ที่ใช้กันแพร่หลายได้แก่ พาราควอต ฯลฯ
3. สารกำจัดเชื้อรา ได้แก่ สารที่ใช้ป้องกันและฆ่าเชื้อรา เช่น แคปแทน ฯลฯ
4. สารกำจัดหนูหรือสัตว์กัดแทะอื่น ๆ เช่น ซิงค์ฟอสไฟด์วอร์ฟาริน ฯลฯ (กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข,2553)

สารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้าง แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มที่สำคัญ ได้แก่

1. ออร์แกโนฟอสเฟต เช่น มาลาไธออน ไดโครฟอสเฟต อีพีเอ็น ฯลฯ สารเคมีในกลุ่มนี้ David Pimentel จะมีพิษรุนแรงมากกว่ากลุ่มอื่น โดยเป็นพิษกับทั้งแมลงและสัตว์อื่นๆ ทุกชนิด แต่สารในกลุ่มนี้จะย่อยสลายได้เร็วกว่ากลุ่ม ออร์แกโนคลอรีน สภาพแวดล้อมเหมาะสม สลายตัวที่ระยะเวลาประมาณ 24 ชั่วโมงถึง 1 อาทิตย์

2. คาร์บาเมต เช่น คาร์โบฟูเร็น เมโทมิล ฯลฯ สารเคมีในกลุ่มคาร์บาเมตจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมน้อยกว่าพวกออร์กาโนฟอสเฟต สภาพแวดล้อมเหมาะสม สลายตัวที่ระยะเวลาประมาณ 1 เดือน

3. ไพรีทรอยด์ เช่น เพอร์เมทริน เดลต้าเมทริน ฯลฯ สารเคมีกลุ่มที่สังเคราะห์ขึ้นโดยมีความสัมพันธ์ตามโครงสร้างของไพรีทริน ซึ่งเป็นสารธรรมชาติที่สกัดได้จากไพรีทรัม สารเคมีในกลุ่มนี้มีความเป็นพิษต่อแมลงสูง แต่ความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดอุ่นต่ำ อย่างไรก็ตาม สารเคมีกลุ่มนี้มีราคาแพงจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้ สลายตัวที่ระยะเวลาโดยประมาณ 1 อาทิตย์ถึง 1 เดือน

4. ออร์แกโนคลอรีน เช่น ไดโคฟอล แคลดรีล ฯลฯ สารเคมีในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นสารเคมีที่มีพิษไม่เลือก (คือเป็นพิษต่อแมลงทุกชนิด) และค่อนข้างจะสลายตัวช้า ทำให้พบตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้นาน ปัจจุบันประเทศไทยส่วนใหญ่ไม่อนุญาตให้ใช้สารเคมีกลุ่มนี้ หรือไม่ก็มีการควบคุมการใช้ ไม่อนุญาตให้ใช้อย่างเสรี เพราะจะทำให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

ยาฆ่าแมลงสังเคราะห์ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการเกษตรระดับอุตสาหกรรมทั่วโลกตั้งแต่ศตวรรษที่ 50 เป็นต้นมา นับแต่ช่วงเวลานั้นสารเคมีหลายชนิดแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมสูงมาก เป็นผลมาจากการใช้สารเคมีซ้ำ ๆ และในบางกรณีมีการตกค้างของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม ซึ่งสารเคมีบางชนิดใช้เวลายาวนานมากในการย่อยสลาย (Robbins, 1991)

การปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

น้อยกว่า 0.1% ของสารเคมีที่ใช้จะไปถึงศัตรูพืชเป้าหมาย (Targeted pests) และอีก 99% จะปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมจนกว่าสารเคมีจะมีการสลายตัวไปโดยธรรมชาติ ภายหลังจากการฉีด พ่น หยอด หรือหว่าน สารเคมีกำจัดศัตรูพืชจะถูกดูดซึมเข้าไปในพืชและอยู่บนต้นพืชบางส่วนและที่เหลือจะปลิวไปในอากาศ หรือรอเวลาที่น้ำจากแปลงเกษตรจะชะสารเคมีลงสู่ดินหรือแหล่งน้ำใกล้เคียง ปัญหาอาจลดลง หากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชสามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว แต่อัตราการสลายตัวหรือค่าครึ่งชีวิต (half-life) มีความแตกต่างกันตามชนิดและสภาพแวดล้อม เมื่อสารเคมีกำจัดศัตรูพืชซึมลงสู่ดิน ใต้ดินหรือสัตว์ในดินที่มีประโยชน์อื่นๆ จะได้รับพิษโดยตรง ความสูญเสียของประชากร สัตว์เหล่านี้ทำให้ดินเสื่อมสภาพลง น้ำซึมผ่านลงดินได้ยากขึ้น สารอินทรีย์ในดินลดลง และส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชที่เพาะปลูก (Pimentel, 1995)

ตารางที่ 1 แสดงเกณฑ์ค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ปนเปื้อนสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเพื่อใช้ประโยชน์ด้านเกษตรกรรม

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดิน
1) อะทราซีน (Atrazine)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 22
2) คลอเดน (Chlordane)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 16
3) 2,4-ดี (2,4-D)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 690
4) ดีดีที (DDT)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 17
5) ดิลดริน (Dieldrin)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 0.3
6) เฮปตาคลอร์ (Heptachlor)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 1.1
7) เฮปตาคลอร์อีพอกไซด์ (HeptachlorEpoxide)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 0.5
8) ลินเดน (Lindane)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 4.4
9) เพนตะคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 30

ที่มา : คู่มือมาตรฐานสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (พ.ศ.2556)

การบำบัดดินปนเปื้อนสารเคมี

สำหรับแนวทางการบำบัดดินปนเปื้อน อาจทำได้โดยวิธี ดังต่อไปนี้

1. Soil Flushing เป็นวิธีการบำบัดฟื้นฟูดินที่มีการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่สำคัญ โดยใช้หลักการการชะล้างด้วยสารละลายที่เหมาะสม เช่น น้ำ หรือ Surfactants โดยอาศัยคุณสมบัติในการละลาย (solubility) ของมลสารที่ต้องการกำจัด โดยสารปนเปื้อนที่ถูกชะล้างออกมานี้จะถูกเก็บรวบรวมเพื่อนำไปบำบัดอีกครั้ง ลักษณะการเลือกตัวชะล้าง อาทิเช่น

– สารละลายกรด ใช้สำหรับการฟื้นฟูสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะ และสารอินทรีย์บางชนิด แต่ไม่นิยมใช้เนื่องจากจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน สารละลายเบส ใช้สำหรับการฟื้นฟูสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะ สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก

– น้ำ ใช้สำหรับการฟื้นฟูสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของสารที่ละลายน้ำได้ (water-soluble) และพื้นที่สามารถพาไปได้ (water-mobile constituents) โดยพิจารณาจากค่าการละลายของสารปนเปื้อนนั่น

– Surfactants ใช้สำหรับการฟื้นฟูสภาพดินที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์เช่น ยาฆ่า

แมลง

2. Solidification / Stabilization Solidification คือ การกำจัดของเสียที่เป็นของเหลว ด้วยวิธีการลดพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface area) ของมลสาร โดยเปลี่ยนรูปเป็นของแข็งที่มีโครงสร้างมั่นคงและไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างของเสียและสารที่ใช้ในการทำให้แข็ง Stabilization คือ การทำให้เสถียรของสารปนเปื้อน โดยเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่ไม่มีพิษหรือพำน้อยกว่า ทั้งนี้โดยไม่เปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพของเสียส่วนใหญ่ วิธีการนี้ใช้มากกับของเสียที่มีสารกัมมันตรังสีในระดับต่ำ รวมทั้งพวกโลหะหนักบางชนิดซึ่งการทำให้ของแข็งหรือทำให้เสถียรนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดพื้นที่ดินที่ถูกปนเปื้อนได้โดยการผสมสารที่ทำให้แข็งหรือทำให้เสถียรเข้าไปในดินหรือมในตะกอนที่ถูกปนเปื้อนอยู่ชั้นล่าง

อาทิเช่น

- วิธีฉีด โดยการฉีดสารที่ทำให้เสถียรในรูปของเหลวไปในบริเวณที่มีของเสียอยู่
- การใช้ที่พื้นผิว เหมาะกับของเสียที่มีอันตรายน้อย ในพื้นที่จำกัด และมีความพรุนของดินพอสมควรโดยใส่สารที่ทำให้เสถียร ในรูปของแข็งหรือของเหลวลงไปบนผิวและสามารถซึมลงไปได้ วิธีการนี้ไม่ค่อยได้รับความนิยมแพร่หลายนัก เนื่องจากค่าใช้จ่ายสูง และการนำของแข็งออกจากดินทำได้ยาก รวมทั้งมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของดิน

3. Biological Degradation คือ การย่อยสลายทางชีวภาพ เป็นกระบวนการทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญสามารถเกิดขึ้นเองได้ในสภาพธรรมชาติ (Natural Attenuation) โดยการเปลี่ยนของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ให้กลับมาเป็นชีวมวลและผลพลอยได้ที่ ไม่มีอันตรายของพวกสิ่งมีชีวิตในดิน โดยเฉพาะจุลินทรีย์ ในรูปของ CO_2 , CH_4 และกรดอินทรีย์

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ ได้แก่

- (1) สมบัติและความเข้มข้นของมลสารอินทรีย์
- (2) ชนิดของจุลินทรีย์ในดิน
- (3) ลักษณะและสมบัติของของเสีย (Waste characteristic) ได้แก่ ค่าครึ่งชีวิตและอัตราการคงตัวของมลสาร
- (4) คุณสมบัติของดิน เช่น เนื้อดิน โครงสร้างของดิน
- (5) สมบัติของดินในกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน ได้แก่ pH อุณหภูมิ ความชื้นของดิน ออกซิเจนที่มีอยู่ในดิน อินทรีย์วัตถุ และปริมาณธาตุอาหารในดิน
- (6) ความสามารถในการอุ้มน้ำ ระดับโครงสร้างของดิน และความเป็นไปได้ในการชะล้างพังทลายดิน

4. Photolysis or Photodegradation คือ การสลายตัวด้วยแสงเป็นหนึ่งในกระบวนการ Natural Attenuation โดย solar radiation จะทำให้เกิด Photoreaction process จากความยาวคลื่นต่าง ๆ ของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีพลังงานเพียงพอจะทำให้ Chemical bond แตกออก โดยรังสี UV สามารถลดมลสารในสิ่งแวดล้อมได้ เช่น การกำจัดคลอรีน ใน PCBs กำจัด TCDD และ kepone เป็นต้น สำหรับการนำวิธีการนี้ต้องคำนึงถึงปฏิกิริยาของ แสงและการเปลี่ยนรูปของสารเคมีนั้น ๆ ด้วยวิธีการนี้รวมถึงการใช้แสงอาทิตย์ในกระบวนการ Photoreaction ทั้งกระบวนการ photolysis และ sensitized photooxidation สามารถเกิดขึ้นได้ในสภาพแวดล้อมทั่วไป ซึ่งอัตราการเกิดการสลายตัวด้วยแสงขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของมลสารที่เป็นสารอินทรีย์ที่สำคัญ

5. Soil Vapor extraction คือ การลดความเข้มข้นของมลสารในดินโดยการอาศัยหลักการการระเหยของสารปนเปื้อนในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม

- Vacuum extraction and air stripping วิธีการนี้เป็นที่ยอมรับว่ามีประสิทธิภาพ และเป็นวิธีการทั่วไปที่ใช้ในการควบคุมการแพร่กระจายของสารระเหยที่ปนเปื้อนจากแหล่งของเสียอันตราย โดยเติมอากาศลงไปในการปนเปื้อนและใช้เครื่องสูญอากาศสกัดอากาศที่มี การปนเปื้อนนั่นออก การไหลของอากาศจะขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ และคุณสมบัติของดิน โดยเฉพาะความพรุนของอากาศ

- Steam stripping ใช้หลักการเดียวกับ Vacuum extraction and air stripping โดยการฉีดไอน้ำลงไปใต้บริเวณที่มีการปนเปื้อน และใช้เครื่องสูญอากาศช่วยบริเวณผิวดิน วิธีการนี้จะได้ผลดีกับสารมลสารในกลุ่ม allanes และ alkane-based alcohols เช่น actanal และ butanal

6. Radio Frequency Heating เป็นวิธีการกำจัดสารปนเปื้อนของมลสารพวกน้ำมันและสารอินทรีย์ที่มีสมบัติระเหยได้ที่อุณหภูมิ 8-3000C โดยการเพิ่มอุณหภูมิ ของดิน และแรงความถี่เพื่อเพิ่มอัตราการระเหย

จากตารางที่ 2 ผลการทดลองของ จารุงศ์ และ ชูลีมาศ (2556) พบว่า ค่าการสลายตัวของ Cypermethrin, Chlorpyrifos, และ Deltamethrin ที่ตกค้างในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินนั้นจะสลายตัวหมดภายในระยะเวลาการหมักที่ประมาณ 30 วัน ในขณะที่ปุ๋ยหมัก และน้ำหมักชีวภาพที่ไม่มีไส้เดือนดินในกระบวนการผลิตปุ๋ยนั้นจะสลายตัวหมดในระยะเวลามากกว่า 60 วัน

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยการสลายตัวของcypermethrin, chlorpyrifos, และdeltamethrin ที่ตกค้างใน ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักชีวภาพในระยะเวลาการหมัก 60 วัน

Organic waste Management	(%) degradation *								
	15 days			30 days			60 days		
	cyper	chlorpy	delta	cyper	chlorpy	delta	cyper	chlorpy	delta
bio-fermentation ¹	95.3	89.9	72.5	92.8	55.1	100	90.5	72.5	-
bio-fermentation ²	83.9	88.5	-	81.3	94.3	-	81.6	91.5	-
compost ¹	83.0	2.3	35.0	56.2	0.8	100	93.6	72.4	-
compost ²	77.1	27.4	-	31.8	18.3	-	89.7	57.6	-
vermicompost ¹	99.3	82.5	91.5	100.0	97.8	100	100.0	100.0	-

ที่มา: คัดแปลงจาก จารุงพงศ์ และ ชูติมาศ (2556)

การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (Vermicompost) คือ กระบวนการเลี้ยงไส้เดือนดินโดยให้ไส้เดือนดินกินขยะอินทรีย์รวมทั้งมูลสัตว์ และผลผลิตมูลไส้เดือนดินที่ได้เรียกว่า ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ปัจจุบันมีการส่งเสริมกันอย่างกว้างขวางในการใช้ไส้เดือนดินกำจัดขยะอินทรีย์เพื่อผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน โดยนำมาใช้ในทางการเกษตร โดยเฉพาะการบำรุงต้นพืช และบำรุงดิน โดยใช้ในรูปของปุ๋ยหมัก ปุ๋ยอินทรีย์ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินหรือ มูลไส้เดือนดินที่ถูกขับถ่ายออกจากไส้เดือนดินนั้นจะมีมวลชีวภาพของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะประชากรของแบคทีเรีย ทั้งนี้เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างไส้เดือนดินกับจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ภายในลำไส้ของไส้เดือนดินนั้นมีการพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน โดยไส้เดือนดินทำหน้าที่ในการกินและบดย่อยอาหารให้มีขนาดเล็กและสร้างสภาวะที่เหมาะสมต่อการอาศัยอยู่และการเกิดกิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ (Edwards and Bohlen, 1996 ;Lavelle and Spain, 2001) มูลไส้เดือนดินจะมีปริมาณธาตุอาหารพืชสูงกว่าดินในบริเวณที่อาศัยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(Aira and Dominguez, 2003) ทั้งนี้ก็ด้วยกิจกรรมของเอนไซม์ที่ถูกผลิตขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในมูลไส้เดือนดินนั้น (Aira et al., 2005)

โดยมีรายงานว่าสามารถแยกจุลินทรีย์ได้ 343 ชนิด จากลำไส้ของไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Pheretima* sp. ซึ่งประกอบด้วย แอคติโนมัยซีท แบคทีเรีย และเชื้อรา(Winding et al., 1997)โดยพบแบคทีเรียในสกุล *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Azotobacter*, *Serratia*, *Aeromonas* และ *Enterobacter* (Valle-Molinias et al., 2007; Byzov et al., 2007; Singleton et al., 2003) ซึ่งจุลินทรีย์ต่างๆ ดังกล่าวเป็นกลุ่มที่สร้างสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant growth promoters) ตรึงไนโตรเจนจากอากาศ(Free-living nitrogen fixers)

และละลายธาตุฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในดิน(Phosphate solubilizers) (Loreno-Osti *et al.*, 2004; Martínez-Romero, 2001) โดย Manuel and Jorge (2009) ได้ทดสอบการกินมูลวัวและมูลหมูของไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eisenia foetida* มูลไส้เดือนดินที่ได้จากการกินมูลสัตว์ทั้ง 2 ชนิด มีกิจกรรมของเอนไซม์ acid phosphatases และ alkaline phosphatases ที่วัดได้สูงมากกว่าที่วัดได้จากมูลวัวและมูลหมูที่ไม่ผ่านการกินโดยไส้เดือนดินสายพันธุ์นี้

กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์บางกลุ่มในดินโดยธรรมชาติจะไม่เคลื่อนที่และสร้างโคโลนีอยู่เป็นแห่งๆ ดังนั้นจุลินทรีย์จะมีผลน้อยมากต่อการช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชหากปราศจากการแพร่กระจายตัวลงไปในดิน ไส้เดือนดินเป็นสิ่งมีชีวิตในดินชนิดหนึ่งที่พบว่าสามารถช่วยแพร่กระจายเชื้อจุลินทรีย์ในดินได้ โดยไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eisenia foetida* และ *Lumbricus terrestris* จะกินดินและวัสดุอินทรีย์บริเวณผิวดินที่ปนเปื้อนเชื้อ *Rhizobium japonicum* เข้าไปเชือนั้นผ่านลำไส้ของไส้เดือนดินออกมาโดยไม่ได้รับอันตราย และเมื่อไส้เดือนดินถ่ายมูลพร้อมเชือดังกล่าวออกมาในบริเวณต่างๆ ของแปลงปลูก ก็จะทำให้เชื้อแพร่กระจายสร้างกลุ่มโคโลนีอยู่บริเวณกองมูลเหล่านั้น เชื้อ *Rhizobium japonicum* นั้นเป็นเชื้อแบคทีเรียชนิดที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศและมีการสร้างปุ่มปมในรากถั่วลิสง บริเวณที่พบไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Lumbricus terrestris* อาศัยอยู่จะพบว่ามี่ปุ่มปมบนรากถั่วลิสงจำนวนมาก (Rouelle, 1983)

ปุ๋ยหมักและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน (อานัฐ, 2550)

ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (Vermicompost) หมายถึง เศษซากพืชอินทรีย์วัตถุต่างๆ รวมทั้งดินและจุลินทรีย์ที่ไส้เดือนดินกินเข้าไปแล้วผ่านกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเหล่านั้นภายในลำไส้ของไส้เดือนดิน แล้วจึงขับถ่ายเป็นมูลออกมาทางรูทวาร ซึ่งมูลที่ได้จะมีลักษณะเป็นเม็ดสีดำ มีธาตุอาหารพืชอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ในปริมาณที่สูง และมีจุลินทรีย์จำนวนมาก ซึ่งในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้ไส้เดือนดินขยะอินทรีย์ ที่ไส้เดือนดินกินเข้าไป และผ่านการย่อยสลายในลำไส้แล้วขับถ่ายออกมา มูลไส้เดือนดินที่ได้เรียกว่า “ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน”

น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน (Liquid Vermicompost) หมายถึง น้ำที่ได้จากกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินซึ่งเป็นน้ำที่ได้จากการเน่าสลายของเศษขยะอินทรีย์ที่ใช้เป็นอาหารของไส้เดือนดินซึ่งเป็นน้ำในเซลล์ของพืชผัก ผลไม้ และเศษอาหารต่างๆ หรือน้ำที่ได้จากวัสดุที่นำมาใช้ให้ไส้เดือนดินกำจัด โดยน้ำหมักที่ได้จะมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลดำ คล้ายน้ำโคลา ไม่มีกลิ่นเหม็น มีส่วนประกอบของธาตุอาหารพืชและจุลินทรีย์หลายชนิด

ประโยชน์และความสำคัญของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน(อานัฐ, 2550)

1. ส่งเสริมการเกิดเมื่อดิน
2. เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุแก่ดิน
3. เพิ่มช่องว่างในดินให้การระบายน้ำและอากาศดียิ่งขึ้น
4. ส่งเสริมความชุ่มชื้นของผิวน้ำดิน ลดการจับตัวเป็นแผ่นแข็งของหน้าดิน
5. ช่วยให้ระบบรากพืชสามารถแพร่กระจายตัวในดินได้กว้าง
6. เพิ่มขีดความสามารถในการดูดซับน้ำในดิน ทำให้ดินชุ่มชื้น
7. เพิ่มธาตุอาหารพืชให้แก่ดินโดยตรง และเป็นแหล่งอาหารของสัตว์และจุลินทรีย์ดิน
8. เพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน
9. ช่วยลดความเป็นพิษของธาตุอาหารพืชบางชนิดที่มีปริมาณมากเกินไป เช่น อะลูมิเนียม และแมงกานีส เนื่องจาก ปุ๋ยหมักจะช่วยดูดซับธาตุทั้ง 2 ไว้บางส่วน
10. ช่วยเพิ่มความจุความต้านทานในการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-เบส(Buffer capacity) ทำให้การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไม่เร็วเกินไปจนเป็นอันตรายต่อพืช
11. ช่วยควบคุมปริมาณไส้เดือนฝอยในดินเนื่องจากการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์ที่สามารถขับสารพวกอัลคาลอยด์และกรดไขมันที่เป็นพิษต่อไส้เดือนฝอยได้เพิ่มขึ้น

สายพันธุ์ไส้เดือนดินที่ใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

มีไส้เดือนดินหลายสายพันธุ์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้ย่อยสลายขยะอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินแต่ปัจจุบันมีเพียงไม่กี่สายพันธุ์ที่นิยมนำมาใช้กันแพร่หลายโดยส่วนใหญ่ไส้เดือนดินที่นำมาใช้ในกระบวนการจะเป็นไส้เดือนดินที่อาศัยอยู่ในมูลสัตว์ หรือใต้กองอินทรีย์วัตถุ ซึ่งจะเป็นไส้เดือนดินที่กินอินทรีย์วัตถุมากกว่ากินดินและแร่ธาตุ โดยสามารถแพร่พันธุ์ได้รวดเร็วและมีจำนวนมาก ที่สำคัญคือมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้สูง ปัจจุบันไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่มีการนำมาใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้รับความนิยมในต่างประเทศ ประกอบด้วย ไส้เดือนสายพันธุ์ *Eisenia foetida* (brandling หรือ tiger worm) *Eisenia andrei* (red tiger worm) *Eudrilus eugeniae* (African night-crawler) *Dendrobaena veneta*, *Perionyx excavatus* และ *Lumbricus rubellus* (red worm) สำหรับประเทศไทยนิยมใช้ไส้เดือนดินสีแดงซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่อาศัยอยู่ในมูลวัว ชาวบ้านเรียกว่า ขี้ตาแร่ ซึ่งสามารถย่อยสลายขยะและแพร่พันธุ์ได้ดีเช่นกันกับพันธุ์การค้าในต่างประเทศ และทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในประเทศไทยได้ดีกว่าสายพันธุ์ทางการค้าจากต่างประเทศ โดยเฉพาะในช่วงที่มีอุณหภูมิสูงในฤดูร้อน

จิ้งจอก (Perionyx sp.)

ไส้เดือนดินสายพันธุ์นี้เป็นไส้เดือนดินสีแดงที่พบได้ทั่วไปในแถบเอเชีย รวมทั้งในประเทศไทย ด้วย โดยพบในมูลวัวและได้เศษหญ้าที่ตัดทิ้งในนาข้าว ชาวบ้านแถบภาคเหนือเรียกว่า จิ้งจอก ซึ่งชาวบ้านมักจะนำไปใช้เป็นเหยื่อตกปลา ลักษณะพิเศษของไส้เดือนสายพันธุ์นี้คือ เมื่อสัมผัสถูกตัวมันจะดิ้นอย่างรุนแรงและเคลื่อนที่หนีเร็วมาก นอกจากนี้ในการนำมาใช้กำจัดขยะอินทรีย์พบว่า ไส้เดือนสายพันธุ์นี้จะสามารถกินขยะอินทรีย์จำพวกเศษผัก ผลไม้ได้หมดอย่างรวดเร็ว หากนำมาเลี้ยงและฝึกให้กินขยะอินทรีย์เหล่านี้ นอกจากกินขยะเก่งแล้วไส้เดือนดินสายพันธุ์นี้ยังมีอัตราการแพร่พันธุ์ได้สูงมากด้วย ดังนั้นในการนำไส้เดือนดินมาใช้กำจัดขยะในประเทศไทย ไส้เดือนดินสายพันธุ์ จิ้งจอก เป็นไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่นับว่าเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย และหามาเลี้ยงได้ง่าย

การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (อานันท์, 2550)

ในการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่างๆ มีขั้นตอนการเตรียมการดังต่อไปนี้

1. คัดเลือกสายพันธุ์ไส้เดือนดินที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยพิจารณาในด้านอัตราการแพร่พันธุ์ การเจริญเติบโต การอยู่รอด และความต้านทานต่อสภาพแวดล้อม
2. จัดหาพื้นที่ที่เหมาะสมกับไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่เลือกใช้โดยพิจารณาจากสภาพแหล่งที่อยู่อาศัยเดิมในธรรมชาติของไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่จะนำมาเลี้ยง ซึ่งหากเลือกใช้พื้นที่ที่เหมาะสมกับสายพันธุ์ไส้เดือนดินที่ใช้ ก็จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดการควบคุมสภาพแวดล้อมในระบบการผลิตลดลงได้
3. ศึกษาถึงแหล่งอาหารของไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่จะนำมาเลี้ยงว่าประกอบด้วยอะไรบ้าง และสายพันธุ์ดังกล่าวชอบอะไรเป็นพิเศษ เช่น ไส้เดือนดินที่อาศัยอยู่ในมูลสัตว์จะมีแหล่งอาหารมาจากมูลสัตว์ ไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่อาศัยอยู่ใต้เศษซากพืชก็จะมีแหล่งอาหารมาจากเศษพืชเหล่านั้นเป็นต้น
4. เลือกรูปแบบหรือระบบการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน โดยพิจารณาถึงความคุ้มค่าและประสิทธิภาพในการกำจัดขยะเพื่อผลิตปุ๋ยหมัก โดยง่ายต่อการจัดการ สามารถปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตหรือขยายขนาดของระบบการผลิตต่อไปได้ในอนาคต
5. จัดหาแหล่งขยะอินทรีย์ที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่เหมาะสมต่อไส้เดือนดินสายพันธุ์ที่คัดเลือก เช่น เศษขยะสดในตลาดหรือชุมชน มูลสัตว์ต่างๆ หรือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และจากภาคอุตสาหกรรม

6. ศึกษาถึงวิธีการนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้จากการผลิตมาผลิตเป็นวัสดุสำหรับปลูกพืชชนิดต่างๆ โดยนำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารต่างๆ แล้วนำไปทดสอบกับพืชหาข้อจำกัดแล้วนำมาปรับปรุงคุณภาพจนได้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่มีคุณภาพดีจึงผ่านขบวนการบรรจุเพื่อจำหน่ายต่อไป

7. ศึกษาวิธีการเก็บผลผลิตจากตัวไส้เดือนดินที่ขยายเพิ่มขึ้น แล้วนำไปผ่านขบวนการผลิตเป็นอาหารโปรตีนสูงใช้เป็นอาหารเสริมเลี้ยงสัตว์ชนิดต่างๆ โดยวิเคราะห์หาปริมาณคุณค่าทางด้านโภชนาการ และทดสอบความเป็นพิษต่อสัตว์ด้วย



วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดินเพื่อลดระยะเวลาการปรับเปลี่ยนสู่ระบบเกษตรอินทรีย์โดยการใช้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน

ดำเนินการวิจัยในห้องปฏิบัติการ ระหว่างเดือน สิงหาคม – พฤศจิกายน 2558 โดยการเก็บตัวอย่างดินจากแปลงของเกษตรกรที่ปลูกพืชในระบบเกษตรเคมีมา 1 แปลง นำดินที่เก็บได้มาศึกษาการใช้มูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดินต่อการย่อยสลายทางชีวภาพของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในดิน 2 กลุ่ม คือ Organophosphates และ Pyrethroids โดยศึกษาในสภาพดิน 2 แบบ คือแบบปกติและแบบขังน้ำ โดยทำการตรวจวัดข้อมูล 5 ช่วงเวลา หลังการบ่มดิน 0 วัน 7 วัน 15 วัน 30 วัน และ 60 วัน วางแผนการทดลองแบบ 2x3 Factorial in Completely Randomized Design: Factorial in CRD ดำรับทดลองละ 3 ซ้ำ วิเคราะห์สถิติโดยใช้โปรแกรม Sirichai Statistics ดำรับทดลองประกอบด้วย

ปัจจัย A คือ 2 สภาพการบ่ม ได้แก่

- A1 ปกติ
- A2 น้ำขัง

ปัจจัย B คือ 3 รูปแบบการใส่สาร

- B1 ดินตัวอย่าง+สารพิษ Chlorpyrifos, Profenofos, Cypermethrin
- B2 ดินตัวอย่าง+มูลไส้เดือนดิน+สารพิษ Chlorpyrifos, Profenofos, Cypermethrin
- B3 ดินตัวอย่าง+น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน+สารพิษ Chlorpyrifos, Profenofos, Cypermethrin

วิธีการทดลอง

1. เก็บตัวอย่างดินจากแปลงเกษตรกรจำนวน 200 กิโลกรัม โดยชุดดินที่ระดับความลึกที่ 0-15 เซนติเมตร จากนั้นนำดินมาผึ่งในร่มจนความชื้นลดลงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ (ทดสอบโดยสุ่มตัวอย่างดิน 50 กรัม ทำ 2 ซ้ำ อบด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง)
2. นำดินจากข้อ 1 มาร่อนด้วยตะแกรงร่อนดินขนาด 0.02 มิลลิเมตร จากนั้นแบ่งดินที่ร่อนออกเป็น 6 ส่วน สำหรับใช้ทดสอบ 6 ดำรับทดลอง ตามแผนการทดลองที่วางไว้
3. โดยดำรับทดลองที่ใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินใส่ในอัตรา 200 กิโลกรัม/ไร่ น้ำหมักมูลไส้เดือนดินอัตรา 10 ลิตร/ไร่ ใส่สารพิษ Chlorpyrifos, Profenofos, Cypermethrin ชนิดน้ำ ลงไปในดินตัวอย่างแต่ละดำรับทดลอง ในอัตราชนิดละ 10 mg/kg.soil

4. ผสมดินกับปุ๋ยและสารพิษเข้ากันดีแล้ว ชั่งดิน 600 กรัม บรรจุในขวดโหลแก้ว ขนาด 1.5 ลิตร ซ้ำละ 1 โหล รวมทั้งสิ้นจำนวน 72 โหล โดยในตำรับทดลองที่บ่มแบบขังน้ำจะใส่น้ำให้ท่วมหน้าดินประมาณ 1 เซนติเมตร ส่วนตำรับทดลองที่บ่มแบบปกติจะปรับดินให้มีความชื้นที่ระดับ 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

5. บ่มดินไว้ในห้องที่มีมืดและมีอุณหภูมิห้องเฉลี่ยประมาณ 30-31 องศาเซลเซียส

6. ส่งตัวอย่างดินที่ระยะเวลา 0 วัน และตัวอย่างดินที่บ่มเป็นระยะเวลานาน 7 วัน 15 วัน 30 วัน และ 60 วัน ตรวจวิเคราะห์สารพิษทดสอบ Chlorpyrifos, Profenofos, Cypermethrin ที่คงเหลือในตัวอย่างดิน ที่สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 (สวพ.1) จังหวัดเชียงใหม่

7. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ สรุปผลการทดลอง และกำหนดแนวทางวิธีการสำหรับทดลองใช้มูลไส้เดือนดิน และนำหมักมูลไส้เดือนดินกับแปลงเกษตรกรในปีที่ 2

สถานที่ทำการทดลอง

1. ทดลองใช้มูลไส้เดือนดินและนำหมักมูลไส้เดือนดินย่อยสลายสารพิษในดินตัวอย่าง ที่ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางดิน ณ อาคารปฏิบัติการทางดินและปุ๋ยชั้นสูง คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

2. ส่งตัวอย่างตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารพิษกลุ่ม Organophosphates และ Pyrethroids ที่สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 (สวพ.1) จังหวัดเชียงใหม่

3. ผลิตมูลไส้เดือนดิน และนำหมักมูลไส้เดือนดิน สำหรับใช้ในการทดลอง จากขยะอินทรีย์(เศษผัก เศษผลไม้ เศษอาหาร) โดยใช้ไส้เดือนดินสายพันธุ์ซีตาแร่ (*Perionyx* sp.) ย่อยสลาย ที่โรงงานผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ศูนย์วิจัยและพัฒนาไส้เดือนดิน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

4. เก็บดินตัวอย่างจากแปลงเกษตรกรของเกษตรกรในพื้นที่ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

ผลการวิจัย

จากการทดลองศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดิน ในกลุ่ม Organophosphates และ Pyrethroids ได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการตรวจวัดปริมาณสารพิษในดินตัวอย่างที่เก็บจากแปลงเกษตรกร ก่อนนำมาทำการทดลองพบว่า ในดินตัวอย่างตรวจไม่พบสารพิษตกค้าง ในกลุ่ม Organophosphates และ Pyrethroids (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 แสดงค่าสารพิษตกค้างของกลุ่ม Organophosphates และ Pyrethroids ในดินก่อนทำการทดลอง

ตัวอย่างดิน	สารพิษตกค้าง		
	Chlorpyrifos	Profenofos	Cypermethrin
ดินก่อนทำการทดลอง	ND	ND	ND

หมายเหตุ : ND หมายถึงตรวจไม่พบสารพิษตกค้าง

1. การย่อยสลายสารพิษ Chlorpyrifos ในดินตัวอย่างที่ 0 วัน 7 วัน 15 วัน 30 วัน และ 60 วัน

ผลการทดลอง พบว่าดินที่ผสมด้วยมูลไส้เดือนดิน น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน และสาร Chlorpyrifos เป็นเวลา 0 วัน พบ ระดับของสาร Chlorpyrifos ที่วัดได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในปัจจัย B แต่ในส่วน of ปัจจัย A มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ โดยการบ่มดินแบบปกติวัดปริมาณสาร Chlorpyrifos ได้เท่ากับ 4.68 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบน้ำขังวัดได้ 3.85 mg/kg.soil

ผลการทดลองที่ 7 วันหลังบ่มดิน ระดับของสาร Chlorpyrifos ที่วัดได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ โดยปัจจัย A การบ่มดินแบบปกติวัดปริมาณสาร Chlorpyrifos ได้เท่ากับ 2.02 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบน้ำขังวัดได้ 0.83 mg/kg.soil และในปัจจัย B พบว่าดินที่มีการผสมมูลไส้เดือน จะพบระดับของสาร Chlorpyrifos เท่ากับ 1.71 mg/kg.soil สูงกว่าดำรับที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนและดำรับควบคุม ที่วัดได้ 1.35 และ 1.20 mg/kg.soil ตามลำดับ

ผลการทดลองที่ 15 วันหลังบ่มดิน ระดับของสาร Chlorpyrifos ที่วัดได้ ทั้งในปัจจัย A และ ปัจจัย B ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ผลการทดลอง ที่ 30 วันหลังบ่มดิน พบว่า ระดับของสาร Chlorpyrifos ที่วัดได้ในปัจจัย A และ ปัจจัย B มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ โดยปัจจัย A การบ่มดินแบบปกติวัดปริมาณสาร Chlorpyrifos ได้เท่ากับ 1.12 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบน้ำขังวัดได้ 0.29 mg/kg.soil และในปัจจัย B พบว่า ดินที่ผสมมูลไส้เดือน ตรวจพบระดับของสาร Chlorpyrifos เท่ากับ 0.97 mg/kg.soil สูงกว่าดำรับควบคุม และดำรับที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือน ซึ่งตรวจพบ 0.66 และ 0.49 mg/kg.soil ตามลำดับ

ผลการทดลองที่ 60 วันหลังบ่มดินพบว่า ระดับของสาร Chlorpyrifos ที่วัดได้ในปัจจัย A และปัจจัย B มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ โดยปัจจัย A การบ่มดินแบบปกติวัดปริมาณสาร Chlorpyrifos ได้เท่ากับ 0.31mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบน้ำขังวัดได้ 0.07 mg/kg.soil และในปัจจัย B พบว่าดินที่ผสมมูลไส้เดือนดินจะตรวจวัดระดับของสารChlorpyrifos เท่ากับ 0.23 mg/kg.soil สูงกว่าดำรับควบคุม และดำรับที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนดินไส้เดือน ที่วัดได้ 0.19 และ 0.14 mg/kg.soil ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลของการการใช้ผลิตผลจากไส้เดือนดินบ่มดินที่ไม่มีน้ำขัง และมีน้ำขังในระยะเวลาที่ต่างกันต่อ ปริมาณสาร Chlorpyrifos (mg/kg.soil) ในดิน

สภาพดิน	ตำรับทดลอง			เฉลี่ย
	ควบคุม	ผสมมูลไส้เดือนดิน	ผสมน้ำหมักมูล ไส้เดือนดิน	
ระยะเวลาบ่มดิน 0 วัน				
ปกติ	4.45	4.79	4.80	4.68 ^A
น้ำขัง	3.89	3.89	3.78	3.85 ^B
เฉลี่ย	4.17	4.34	4.29	Interaction ^{ns}
ระยะเวลาบ่มดิน 7 วัน				
ปกติ	1.68	2.44	1.94	2.02 ^A
น้ำขัง	0.72	0.99	0.77	0.83 ^B
เฉลี่ย	1.20 ^B	1.71 ^A	1.35 ^{AB}	Interaction ^{ns}
ระยะเวลาบ่มดิน 15 วัน				
ปกติ	2.31	1.61	0.65	1.53
น้ำขัง	0.90	1.01	1.08	1.00
เฉลี่ย	1.60	1.31	0.87	Interaction ^{ns}
ระยะเวลาบ่มดิน 30 วัน				
ปกติ	1.17 ^B	1.46 ^A	0.74 ^C	1.12 ^A
น้ำขัง	0.15 ^E	0.48 ^{CD}	0.25 ^{DE}	0.29 ^B
เฉลี่ย	0.66 ^B	0.97 ^A	0.49 ^C	Interaction ^{ns}
ระยะเวลาบ่มดิน 60 วัน				
ปกติ	0.31 ^{AB}	0.39 ^A	0.22 ^B	0.31 ^A
น้ำขัง	0.07 ^C	0.08 ^C	0.07 ^C	0.07 ^B
เฉลี่ย	0.19 ^{AB}	0.23 ^A	0.14 ^B	Interaction ^{ns}

*** หมายเหตุ สภาพปกติ คือ สภาพที่ไม่มีน้ำขัง

ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ควบคุม หมายถึง ตำรับทดลองที่ดิน ไม่ผสมปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนและน้ำหมักมูลไส้เดือน

2. การย่อยสลายสารพิษ Profenofos ในดินตัวอย่างที่ 0 วัน 7 วัน 15 วัน 30 วันและ 60 วัน

ผลการทดลอง พบว่าดินที่ผสมด้วยมูลไส้เดือนดิน น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน และสาร Chlorpyrifos เป็นเวลา 0 วัน พบระดับของสาร Profenofos ที่วัดได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ โดยปัจจัย A การบ่มดินแบบปกติวัดปริมาณสาร Profenofos ได้เท่ากับ 2.64 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบน้ำขังวัดได้ 1.08 mg/kg.soil และในปัจจัย B พบว่า ดินที่ผสมมูลไส้เดือน ตรวจพบระดับของสาร Profenofos เท่ากับ 2.17 mg/kg.soil สูงกว่าตำรับที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนและตำรับควบคุม ซึ่งตรวจพบ 1.78 และ 1.63 mg/kg.soil ตามลำดับ

ผลการทดลอง ที่ 7 วันหลังบ่มดิน พบว่า ระดับของสาร Profenofos ที่วัดได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ โดยปัจจัย A การบ่มดินแบบปกติวัดปริมาณสาร Profenofos ได้เท่ากับ 0.14 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบน้ำขังวัดได้ 0.10 mg/kg.soil และในปัจจัย B พบว่า ดินที่ผสมมูลไส้เดือน จะตรวจวัดระดับของสาร Profenofos เท่ากับ 0.17 mg/kg.soil สูงกว่าตำรับที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนและตำรับควบคุม ที่วัดได้ 0.10 mg/kg.soil

ผลการทดลอง ที่ 15 วันหลังบ่มดิน พบว่า ระดับของสาร Profenofos ที่วัดได้ทั้งในปัจจัย A และ ปัจจัย B ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ผลการทดลอง ที่ 30 วันหลังบ่มดิน พบว่า ระดับของสาร Profenofos ที่วัดได้ในส่วนของปัจจัย A มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ โดย การบ่มดินแบบปกติวัดปริมาณสาร Profenofos ได้เท่ากับ 0.04 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบน้ำขังวัดได้ 0.01mg/kg.soil ตามลำดับ ในปัจจัย B พบว่า ดินที่ผสมมูลไส้เดือน จะตรวจวัดระดับของสาร Profenofos เท่ากับ 0.03 mg/kg.soil สูงกว่าตำรับที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนและตำรับควบคุม ที่วัดได้ 0.02 mg/kg.soil

ผลการทดลอง ที่ 60 วันหลังบ่มดิน พบว่า ระดับของสาร Profenofos ในดินตำรับควบคุม ตำรับที่ผสมมูลไส้เดือนดินและตำรับที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนดินทั้งในสภาพปกติและน้ำขัง ตรวจไม่พบปริมาณสารพิษตกค้าง Profenofos (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ผลของการการใช้ผลิตผลจากไส้เดือนดินบ่มดินที่ไม่มีน้ำขัง และมีน้ำขังในระยะเวลาที่ต่างกัน ต่อ ปริมาณสาร Profenofos (mg/kg.soil)

สภาพดิน	ตำรับทดลอง			เฉลี่ย
	ควบคุม	ผสมมูลไส้เดือนดิน	ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน	
ระยะเวลาบ่มดิน 0 วัน				
ปกติ	2.50	2.92	2.48	2.64 ^A
น้ำขัง	0.75	1.41	1.08	1.08 ^B
เฉลี่ย	1.63 ^B	2.17 ^A	1.78 ^B	Interaction ^{ns}
ระยะเวลาบ่มดิน 7 วัน				
ปกติ	0.12	0.19	0.12	0.14 ^A
น้ำขัง	0.08	0.15	0.09	0.10 ^B
เฉลี่ย	0.10 ^B	0.17A	0.10 ^B	Interaction ^{ns}
ระยะเวลาบ่มดิน 15 วัน				
ปกติ	0.09	0.07	0.05	0.07
น้ำขัง	0.04	0.05	0.04	0.05
เฉลี่ย	0.07	0.06	0.05	Interaction ^{ns}
ระยะเวลาบ่มดิน 30 วัน				
ปกติ	0.04	0.04	0.03	0.04 ^A
น้ำขัง	0.01	0.02	0.02	0.01 ^B
เฉลี่ย	0.02	0.03	0.02	Interaction ^{ns}
ระยะเวลาบ่มดิน 60 วัน				
ปกติ	ND	ND	ND	ND
น้ำขัง	ND	ND	ND	ND
เฉลี่ย	ND	ND	ND	Interaction ^{ns}

*** หมายถึง สภาพปกติ คือ สภาพที่ไม่มีน้ำขัง

ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ควบคุม หมายถึง ตำรับทดลองที่ดินไม่ผสมปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนและน้ำหมักมูลไส้เดือน

ND หมายถึง ตรวจไม่พบสารตกค้าง

การย่อยสลายสารพิษ Cypermethrin ในดินตัวอย่างที่ 0 วัน 7 วัน 15 วัน 30 วัน และ 60 วัน

ผลการทดลอง พบว่าดินที่ผสมด้วยมูลไส้เดือนดิน น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน และสาร Chlorpyrifos เป็นเวลา 0 วัน พบระดับของสาร Cypermethrin ที่วัดได้ทั้งในปัจจัย A และปัจจัย B ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยปัจจัย A การบ่มดินแบบขังน้ำวัดปริมาณสาร Cypermethrin ได้เท่ากับ 7.66 mg/kg.soil สูงกว่าการบ่มแบบปกติวัดได้ 6.39 mg/kg.soil และในปัจจัย B พบว่าดินที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน จะตรวจวัดระดับของสาร Cypermethrin เท่ากับ 7.58 mg/kg.soil สูงกว่าค่ารับควบคุมและค่ารับที่ผสมมูลไส้เดือนดิน ซึ่งตรวจพบ 7.56 และ 5.94 mg/kg.soil ตามลำดับ

ผลการทดลอง ที่ 7 วันหลังบ่มดิน พบว่า ระดับของสาร Cypermethrin ที่วัดได้ในส่วนของปัจจัย A มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดย การบ่มดินแบบน้ำขัง วัดปริมาณสาร Cypermethrin ได้เท่ากับ 4.67 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบปกติ วัดได้ 2.93 mg/kg.soil ตามลำดับ และปัจจัย B ระดับของสาร Cypermethrin ที่ตรวจพบไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการทดลอง ที่ 15 วัน พบว่า ระดับของสาร Cypermethrin ที่วัดได้ทั้งในปัจจัย A และปัจจัย B ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ผลการทดลอง ที่ 30 วัน พบว่า ระดับของสาร Cypermethrin ที่วัดได้ในส่วนของปัจจัย A มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดย การบ่มดินแบบน้ำขัง วัดปริมาณสาร Cypermethrin ได้เท่ากับ 4.69 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบปกติวัดได้ 2.83 mg/kg.soil ตามลำดับ และปัจจัย B ระดับของสาร Cypermethrin ที่ตรวจพบไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการทดลอง ที่ 60 วัน พบว่า ระดับของสาร Cypermethrin ที่วัดได้ในส่วนของปัจจัย A มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยการบ่มดินแบบขังน้ำ วัดปริมาณสาร Cypermethrin ได้เท่ากับ 1.42 mg/kg.soil สูงกว่า บ่มแบบปกติวัดได้ 0.72 mg/kg.soil ตามลำดับ และปัจจัย B ของระดับของสาร Cypermethrin ที่ตรวจพบไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ผลของการการใช้ผลิตผลจากไส้เดือนดินบ่มดินที่ไม่มีน้ำขัง และมีน้ำขังในระยะเวลาที่ต่างกัน ต่อ ปริมาณสาร Cypermethrin (mg/kg.soil)

สภาพดิน	ตำรับทดลอง			เฉลี่ย
	ควบคุม	ผสมมูลไส้เดือนดิน	ผสมน้ำหมักมูล ไส้เดือนดิน	
ระยะเวลาบ่มดิน 0 วัน				
ปกติ	7.18	4.34	7.65	6.39
น้ำขัง	7.93	7.55	7.51	7.66
เฉลี่ย	7.56	5.94	7.58	Interaction ^{ns}
ระยะเวลาบ่มดิน 7 วัน				
ปกติ	1.60 ^B	4.53 ^A	2.66 ^{AB}	2.93 ^A
น้ำขัง	4.84 ^A	4.50 ^A	4.67 ^A	4.67 ^B
เฉลี่ย	3.22	4.52	3.66	Interaction ^{ns}
ระยะเวลาบ่มดิน 15 วัน				
ปกติ	4.57	4.10	4.55	4.40
น้ำขัง	5.35	6.11	2.85	4.77
เฉลี่ย	4.96	5.11	3.70	Interaction ^{ns}
ระยะเวลาบ่มดิน 30 วัน				
ปกติ	3.35	2.81	2.33	2.83 ^A
น้ำขัง	4.12	4.78	5.18	4.69 ^B
เฉลี่ย	3.73	3.80	3.75	Interaction ^{ns}
ระยะเวลาบ่มดิน 60 วัน				
ปกติ	1.03A	0.51 ^B	0.63 ^B	0.72 ^A
น้ำขัง	1.38A	1.43 ^A	1.44 ^A	1.42
เฉลี่ย	1.21	0.97	1.03	Interaction ^{ns}

*** หมายถึง สภาพปกติ คือ สภาพที่ไม่มีน้ำขัง

ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ควบคุม หมายถึง ตำรับทดลองที่ดินไม่ผสมปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนและน้ำหมักมูลไส้เดือน

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการทดลองการศึกษาเทคนิคการเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างในดินในกลุ่ม Organophosphates (Chlorpyrifos และ Profenofos) และ Pyrethroids (Cypermethrin) ด้วยมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน ใน 2 สถานะการบ่มคือแบบปกติและน้ำขัง ตรวจวัดปริมาณสารพิษตกค้าง 5 ช่วงเวลา ที่ 0 วัน 7 วัน 15 วัน 30 วัน และ 60 วัน พบว่า

ที่ 0 วัน พบว่าปริมาณสาร Chlorpyrifos และ Profenofos ของดินที่อยู่ในสถานะปกติจะพบสูงกว่าดินที่อยู่ภายใต้สถานะน้ำขัง แต่จะไม่เกิดขึ้นกับสาร Cypermethrin

ที่ 7 วัน พบว่าปริมาณสาร Chlorpyrifos และ Profenofos ของดิน อยู่ในสถานะปกติจะพบสูงกว่าดินที่อยู่ภายใต้สถานะน้ำขัง แต่สาร Cypermethrin จะพบว่าดินที่ผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนดินลงไปซึ่งอยู่ภายใต้สถานะน้ำขังจะพบปริมาณต่ำกว่าดินที่อยู่ในสถานะปกติ

ที่ 15 วัน พบว่าปริมาณสาร Chlorpyrifos ของดินที่อยู่ในสถานะปกติจะสูงกว่าดินที่อยู่ภายใต้สถานะน้ำขัง แต่สำหรับที่ผสมมูลไส้เดือนดินที่อยู่ภายใต้สถานะน้ำขังจะพบปริมาณสารพิษได้สูงกว่าดินที่อยู่ในสถานะปกติ ในส่วนของสาร Profenofos ของดินที่อยู่ในสถานะปกติจะสูงกว่าดินภายใต้สถานะน้ำขังในทุกคำรับทดลอง และพบว่าปริมาณสาร Cypermethrin ของดินที่มีการผสมน้ำหมักมูลไส้เดือนดินลงไป ในสถานะปกติจะสูงกว่าดินที่อยู่ภายใต้สถานะน้ำขัง แต่ดินในคำรับที่ไม่เติมและดินในคำรับที่มีการผสมมูลไส้เดือนดินลงไป พบว่าปริมาณสารที่อยู่ภายใต้สถานะน้ำขังจะสูงกว่าดินที่อยู่ในสถานะปกติ

ที่ 30 วัน พบว่า ปริมาณสาร Chlorpyrifos และ Profenofos ของดินที่อยู่ในสถานะปกติจะพบสูงกว่าดินที่อยู่ภายใต้สถานะน้ำขัง แต่จะไม่เกิดขึ้นกับสาร Cypermethrin

ที่ 60 วัน พบว่า ปริมาณสาร Chlorpyrifos ของดินที่อยู่ในสถานะปกติจะพบสูงกว่าดินที่อยู่ภายใต้สถานะน้ำขัง และไม่พบสาร Profenofos ในดินทุกคำรับ ส่วนปริมาณสาร Cypermethrin ในดินที่อยู่ภายใต้สถานะน้ำขังจะสูงกว่าดินที่อยู่ในสถานะปกติ

สาร Chlorpyrifos ในคำรับที่ใช้น้ำหมักมูลไส้เดือนดินมาช่วยในเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพในดิน พบว่าจะมีประสิทธิภาพดีกว่าดินที่มีการใช้มูลไส้เดือนดินและดินที่ไม่ใช้ทั้ง 2 ชนิด และจะเกิดการย่อยสลายได้เร็วยิ่งเมื่อดินอยู่ภายใต้สถานะปกติ

สาร Profenofos ในคำรับทดลองที่มีการใช้น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน พบว่าจะมีประสิทธิภาพดีกว่าดินที่มีการใช้มูลไส้เดือนดินและดินที่ไม่ใช้ทั้ง 2 ชนิด และการย่อยสลายของสารพิษจะเกิดขึ้นได้เร็วเมื่ออยู่ภายใต้สถานะปกติ และทั้งนี้เมื่อผ่านไป 60 วันกลับพบว่าไม่สามารถตรวจพบสารดังกล่าวได้ในทุกคำรับ

ทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่สาร Profenofos นี้ สามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วและพบการตกค้างได้น้อย

สาร Cypermethrin ในตำรับทดลองที่มีการใช้มูลไส้เดือนดิน จะพบว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าดินที่มีการใช้น้ำหมักมูลไส้เดือนดินและดินที่ไม่ใช้ทั้ง 2 ชนิด และเมื่อดินอยู่ในสภาวะปกติจะเกิดการย่อยสลายได้ดีกว่าภายใต้สภาวะน้ำขัง

ทั้งนี้จากผลการทดลองดังกล่าว การใช้ น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน จะช่วยลดความเป็นพิษของสาร Chlorpyrifos และ Profenofos ได้ดี จนอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม โดยจุลินทรีย์ในน้ำหมักมูลไส้เดือนดินจะทำงานได้ดีภายใต้สภาวะปกติ และทั้งนี้ในส่วนของการใช้มูลไส้เดือนดิน ภายใต้สภาวะปกติ จะมีประสิทธิภาพในการช่วยลดความเป็นพิษของสาร Cypermethrin ได้ดีกว่าการใช้ น้ำหมักมูลไส้เดือนดิน จนระดับสารพิษดังกล่าวอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับงานวิจัยของ จารุพงศ์ และ ชุติมาศ (2556) พบว่า ค่าการสลายตัวของ Cypermethrin, Chlorpyrifos, และ Deltamethrin ที่ตกค้างในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินนั้นจะสลายตัวหมดภายในระยะเวลาการหมักที่ประมาณ 30 วัน ในขณะที่ปุ๋ยหมัก และน้ำหมักชีวภาพที่ไม่มีไส้เดือนดินในกระบวนการผลิตปุ๋ยนั้นจะสลายตัวหมดในระยะเวลามากกว่า 60 วัน

ซึ่งคณะวิจัยคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ไส้เดือนดินที่ปนออกมากับมูลไส้เดือนดิน ทั้งนี้เคยมีการคัดแยกจุลินทรีย์ในลำไส้ไส้เดือนดินได้กว่า 343 ชนิด (Winding *et al.* (1997) ซึ่งพบว่าแบคทีเรียกลุ่มต่างๆ ดังกล่าวที่แยกได้นั้นเป็นกลุ่มที่สร้างสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ตรึงไนโตรเจนจากอากาศ และละลายธาตุฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในดินได้ (Loreno-Osti *et al.*, 2004; Martínez-Romero, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Manuel and Jorge (2009) พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ acid phosphatases และ alkaline phosphatases ที่วัดได้จากมูลไส้เดือนดินนั้นสูงกว่าที่วัดได้จากจากมูลวัวและมูลหมูที่ไม่ผ่านการกินโดยไส้เดือนดิน นอกจากนี้ในงานวิจัยของ อานัฐ (2557) พบว่าแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากลำไส้ไส้เดือนดิน มูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน นั้นอยู่ในกลุ่ม facultative และ aerobic bacteria เป็นส่วนใหญ่จึงอาจส่งผลให้เกิดการย่อยสลายสารพิษในชุมชนทดลองที่บ่มดินในสภาวะปกติดีกว่าในสภาวะบ่มแบบน้ำขัง

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อใช้ผลิตผลจากมูลไส้เดือนดินมาช่วยในการลดความเป็นพิษของสาร Chlorpyrifos, Profenofos และ Cypermethrin ที่ตกค้างในดินทั้งแบบปกติและแบบน้ำท่วมขัง พบว่า มีความเป็นไปได้สูงที่มีส่วนในการช่วยกระตุ้นการย่อยสลายทางชีวภาพของสารพิษตกค้างดังกล่าวในดินให้เกิดเร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ใช้ระยะเวลาในการสลายตัวที่สั้นลง จนสามารถตรวจพบได้ในระดับที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน ถือเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงทั้งในด้านของธาตุอาหารและจุลินทรีย์ ที่เกษตรกรทั่วไปสามารถที่จะผลิตเองได้ โดยนำขยะอินทรีย์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้กันอย่างแพร่หลายแล้วทั่วประเทศในแง่ของปุ๋ยอินทรีย์บำรุงดิน เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ต้นทุนต่ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัย จะเกิดประโยชน์ต่อเกษตรกรและผู้สนใจ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนสารพิษหรือผู้สนใจจะปรับเปลี่ยนระบบการทำเกษตรจากเกษตรเคมีไปสู่ระบบเกษตรอินทรีย์ หรือประยุกต์ใช้ในแง่ของปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้พร้อมๆกันต่อไป

และในการทดลองนี้พบว่า สารพิษตกค้างบางชนิดย่อยสลายได้เร็วเกินไป จึงไม่สามารถตรวจวัดค่าได้จนครบระยะที่ทำการทดลอง ซึ่งจะได้นำมาเป็นข้อเสนอแนะสำหรับการวางแผนงานวิจัยต่อยอดในอนาคตต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2543. มาตรฐานการผลิตพืชอินทรีย์ของประเทศไทย.

กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 24 น.

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2556. คู่มือมาตรฐานอนามัยสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 225 น.

จรงักษ์ แก้วประสิทธิ์, เครือมาศ สมักรกา, จินตนาถ วงศ์ขวลิต. 2553. มลพิษทางดิน. เอกสารประกอบการเรียนการสอนสายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

จารุพงศ์ ประสพสุข และ ชุติมาศ บุญไทย อิวาย. 2556. การติดตามสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในปุยหมัก ปุยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักชีวภาพจากขยะอินทรีย์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 32 ฉบับที่ 2.

นาคยา จันทรส่อง, อธิพิณ บังพรม, สุภาพร บังพรม, จำลอง กกรัมย์ และ สุนทรี มีเพ็ชร. ชนิด และปริมาณสารพิษตกค้างในพืชผักและผลไม้ในพื้นที่ สวพ.4 หลังการรับรองระบบ GAP. สวพ.4. ใน: การประชุมวิชาการประจำปี 2553, สวพ. 3-4-5. กรมวิชาการเกษตร. อุบลราชธานี; 2553. หน้า 11 - 15.

มณฑาทิพย์ อรุณวารกรณ์, กัญญารัตน์ เต็มปิยพล และจิราภา เมืองคล้าย. ชนิดและปริมาณสารพิษตกค้างในพืชผักและผลไม้ในพื้นที่ สวพ.5 หลังการรับรองระบบ GAP. สวพ.5. ใน: การประชุมวิชาการประจำปี 2553, สวพ. 3 - 4 - 5. กรมวิชาการเกษตร. ชัยนาท; 2553. หน้า 2.

วัชรพร พากัดดี, ปริญญ์ สายสุพรรณ และ ชัยศักดิ์ แฝ่วพลสง. สถานการณ์สารพิษตกค้างในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. ใน: รายงานผลการดำเนินงานประจำปี 2550 - 2551, สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 กรมวิชาการเกษตร. ขอนแก่น; 2551. หน้า 42 - 46.

สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3. รายงานการตรวจสอบสารพิษตกค้างในผักและผลไม้แปลง GAP ใน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. สวพ.3. ใน: การประชุมวิชาการประจำปี 2553 สวพ.1 - 8. กรมวิชาการเกษตร. ขอนแก่น; 2553. หน้า 105.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2557. สารพิษตกค้าง. ใน: มาตรฐานสินค้าเกษตร. 50 หน้า. ค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2558, จาก

http://www.acfs.go.th/standard/download/MAXIMUM_RESIDUE_LIMITS_new.pdf

สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขต 6. สารพิษตกค้าง. ค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2558, จาก

http://www.doa.go.th/oard6/index.php?option=com_content&view=article&id=97&Itemid=25

- อานัฐ ตันโช. 2550. ไล่เดือนดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่ : ตรีโอแอดเวอร์ไทด์ซิงค์แอนดัมดีเดีย. 259 หน้า
- อานัฐ ตันโช. 2557. ศักยภาพของแบคทีเรียในลำไส้ไล่เดือนดินท้องถิ่นไทยต่อการเกษตร. ใน: รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). 75 หน้า
- C.A. Edwards, P.J. Bohlen. 1996. Biology and Ecology of Earthworms, 3rd ed., Chapman and Hill, London, New York.
- Loreno-Osti C., L. Lopez-Reyes and D. Espinosa-Victoria. (2004). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramineas: Una revision. Terra Latinoamericana, 22: 225-239.
- M. Aira, F. Monroy, J. Domínguez. (2003). Effects of two species of earthworms (*Allolobophora* sp.) on soil systems: a microfaunal and biochemical analysis, *Pedobiologia* 47: 877-881.
- M. Aira, F. Monroy, J. Domínguez. (2005). Ageing effects on nitrogen dynamics and enzyme activities in casts of *Aporrectodea caliginosa* (Lumbricidae), *Pedobiologia* 49: 467-473.
- Martínez-Romero, E. (2001). Poblaciones de *Rhizobia* nativas de Mexico. *Acta Zool. Mex. (n.s) Numero Especial*, 1: 29-38.
- Robbins. 1991. พิษภัยสารเคมีเกษตร. ค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2558, จาก <http://www.greenet.or.th/article/263>
- Rouelle, J. (1983) Introduction of an amoeba and *Rhizobium japonicum* into the gut of *Eisenia fetida* (Sav.) and *Lumbricus terrestris* L., in *Earthworm Ecology, From Darwin to Vermiculture*, (ed. J. E. Satchell), Chapman & Hall, New York, 375-81.
- Valle-Molinás R., S. Borges and C. Rios-Velazquez. (2007). Characterization of possible symbionts in *Onychochaeta borincana* (Annelida: Glossoscolecidae). *Eur. J. Soil Biol.*, 43: 4-18.
- Winding, A., R. Rohn and N.B. Hendriksen. (1997). Bacteria and protozoa in soil microhabitats as affected by earthworms. *Biol. Fertil. Soils*, 24: 133-140.