บทที่ 6
สรุปและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรและอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดิน โดยวิธีการทำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากกิจกรรมของไส้เดือนดินที่ผ่านกระบวนการนี้ส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมในดินลดลง จากระดับแคดเมียมที่แตกต่างกัน ผลของการใช้ไส้เดือนดินสามารถเปลี่ยนรูปของสารอนินทรีย์ในดินที่มีส่วนผสมของกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในรูปที่ที่พืชสามารถใช้ประโยชน์และแลกเปลี่ยนได้ โดยดูจากธาตุอาหารที่เพิ่มสูงขึ้นหลังจากกระบวนการปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน และผลกระทบของแคดเมียมที่มีต่อไส้เดือนดิน ไส้เดือนดินสามารถดูดยึดแคดเมียมไว้ในตัวไส้เดือนได้ส่งผลต่อการลดลงของแคดเมียมในดิน โดยจากการศึกษาพบว่า ปุ๋ยหมักไส้เดือนดินสามารถช่วยลดการปนเปื้อนแคดเมียม โดยการศึกษาปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในดินในกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) จะลดลงมากในช่วงของการหมักที่ 15 วันโดยช่วงของเปอร์เซ็นต์การลดลงประมาณ 70-95 เปอร์เซ็นต์ โดยในดินน้ำพองการลดลงของแคดเมียมในดินที่ระดับความเข้มข้น 50 mg/kg พบว่าช่วงการลดลงจาก 34.833 ลดลง 14.833 mg/kg ประมาณ 70% แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดดินพิมายการลดลงของแคดเมียมในดินพบว่าช่วงการลดลงจาก 32.775 ลดลง 8.172 mg/kg ประมาณ 84% จะลดลงได้ดีกว่าในชุดดินน้ำพองซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และจากการศึกษากิจกรรมของไส้เดือนดินพบว่าเมื่อสิ้นสุดการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน(Vermicompost) ในชุดดินน้ำพองและชุดดินพิมาย พบว่ามีการสะสมแคดเมียมทั้งหมดในลำตัวของไส้เดือนดินโดยในดินทั้งสองชนิดมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคดเมียมเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งปริมาณการสะสมในไส้เดือนดินที่เพิ่มขึ้นของดินทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินเท่านั้น ประโยชน์ของการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินยังช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยเมื่อเปรียบเทียบกับการทำปุ๋ยหมักที่ไม่มีไส้เดือนดิน(Compost) พบว่า ในชุดดินน้ำพองและชุดดินพิมายที่ไม่ใส่สารแคดเมียม และใส่สารแคดเมียมที่ความเข้มข้น 0, 5, 50 mg/kg ส่งผลต่อค่า pH เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปหลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินโดยในชุดดินน้ำพองค่า pH เพิ่มขึ้นประมาณ 10-14 % และในชุดดินพิมายเพิ่มขึ้นประมาณ 20-26 % เนื่องจากกิจกรรมของไส้เดือนดินและจุลินทรีย์ดินปลดปล่อยสารอาหารจำพวก Ca^{2+},Mg^{2+}, K^{2+} เป็นต้น ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจึงส่งผลให้ค่า pH เพิ่มสูงขึ้น

ในดินน้ำพองการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน(Vermicompost) และที่ไม่มีไส้เดือนดิน(Compost) พบว่าหลังผ่านการหมักและบ่มที่ 30 วัน โดยที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) ที่การทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost :VCP) ลดลงแต่เมื่อเปรียบเทียบกับการที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost : CP) ไม่มีความแตกต่างกันทั้งที่ไม่มีสารแคดเมียมและที่ใส่แคดเมียมที่ความเข้มข้น 0, 5, 50 mg/kg โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon)ประมาณ 60-65% และลดค่า C:N ratio

ประมาณ 66-87% เป็นผลให้การย่อยสลายกากของเสียอุตสาหกรรมได้ดีเนื่องจากไส้เดือนดินใช้กากของเสียเป็นอาหารและปลดปล่อยปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ของพืชเพิ่มสูงขึ้น ดังนี้ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total N), ปริมาณโพแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, Ca, Mg)และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) เมื่อเปรียบเทียบกับการที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) โดยเปอร์เซ็นต์การทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดินที่ไม่ใส่สารแคดเมียม (CP0) เท่ากับ 11.1, -26.2, 12.6, 23.1, 27% และ การทำปุ๋ยการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดินที่ใส่สารแคดเมียม 50 mg/kg ท่ากับ 4.6, 27.9, 53.3, 6.3,-2.7% ตามลำดับโดยเปอร์เซ็นต์การการเปลี่ยนแปลงหลังผ่านการหมักและบ่มที่ 30 วันในการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ไม่ใส่สารแคดเมียม (VCP0) เท่ากับ 68.5, 58.7, 66.9, 55.9, 93.4 % และการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ใส่สารแคดเมียม 50 mg/kg (VCP50) เท่ากับ 39.4, 78.3, 62.5, 69.0, 45.1, 93.2 % ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์หลังผ่านการหมักและบ่มที่ 30 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ระหว่างการปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost)และที่ไม่มีไส้เดือนดิน(Compost)

ในดินพิมาย การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน(Vermicompost : VCP) และที่ไม่มีไส้เดือนดิน(Compost : CP) พบว่าหลังผ่านการหมักและบ่มที่ 30 วัน โดยที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) ที่การทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) มีการเพิ่มขึ้นได้ดีกว่าการที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$) โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นหลังผ่านการหมักและบ่มที่ 30 วัน โดยการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดินที่ไม่ใส่สารแคดเมียม (CP0) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) เพิ่มขึ้น 15.2% และค่า C:N ratio ลดลง 19.6% และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดินที่ใส่สารแคดเมียม 50 mg/kg (CP50)ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) เพิ่มขึ้น 21.7% และค่า C:N ratio ลดลง 34.4% และเมื่อเปรียบเทียบกับการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ในการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ไม่ใส่สารแคดเมียม (VCP0) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) เพิ่มขึ้น เท่ากับ 38.8% และค่า C:N ratio ลดลง 75.4% การทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ใส่สารแคดเมียม (VCP50) เท่ากับ 40.8% และ 61.0% ผลของการปลดปล่อยปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ของพืช ดังนี้ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน(Total N), ปริมาณโพแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, Ca, Mg)และ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) เมื่อเปรียบเทียบกับการที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) โดยเปอร์เซ็นต์การทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดินที่ไม่ใส่สารแคดเมียม (CP0) เท่ากับ 5.4, 2.3, 12.1, 29.1, -135.8% และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดินที่ใส่สารแคดเมียม 50 mg/kg เท่ากับ 16.7, 40.8, 51.6, 43.3, 15.9 % ตามลำดับโดยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงหลังผ่านการหมักและบ่มที่ 30 วันใน การทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ไม่ใส่สารแคดเมียม (VCP0) เท่ากับ 60.1, 54.7, 68.9, 14.0, 86.3% และการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ใส่สารแคดเมียม (VCP50) เท่ากับ 34.6, 24.6, 43.1, 9.6, 82.8 % ตามลำดับ โดยพบว่าประสิทธิภาพการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ระหว่างการปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน(Vermicompost) และที่ไม่มีไส้เดือนดิน(Compost) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อมีกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินเกิดขึ้น

จากการศึกษาใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) หลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ 60 วัน พบว่า ค่า pH การเพิ่มสูงขึ้นทุกอัตราส่วนของปริมาณกากของเสียที่เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลมาจากกิจกรรมของไส้เดือนดินและจุลินทรีย์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ของการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดดินน้ำพองและชุดดินพิมาย อัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ได้ดีนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรเพิ่มสูงขึ้น และ เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 ชุดดิน ชุดดินน้ำพองมีการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารได้ดีกว่าในชุดดินพิมาย แสดงในตารางที่ 28 ซึ่งคุณสมบัติทางเคมีของดินน้ำพองซึ่งเป็นดินทรายจะมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่ำ เมื่อมีการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินจะทำให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ของชุดดินน้ำพองเพิ่มสูงขึ้นได้เทียบเท่ากับชุดดินพิมาย และยังสามารช่วยปรับปรุงดินทรายที่ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่ำ และจากการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินยังส่งผลให้ฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้นมากอีกด้วย ซึ่งธาตุฟอสฟอรัสในดินทั่วไปมีปริมาณประมาณ 25-30 mg/kg แต่เมื่อมีกิจกรรมของไส้เดือนดินจะทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงขึ้น และเป็นการฟื้นฟูปรับปรุงดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ต่ำดีขึ้นโดยมีการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน และการขยายพันธุ์ของไส้เดือนดินมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรเพิ่มขึ้น และการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินสามารถช่วยลดระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมัก คือ ประมาณ 15-30 วัน สามารถผลิตเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพสูงได้ ซึ่งช่วยลดระยะเวลาได้ดีกว่าการทำปุ๋ยหมักที่ไม่มีการใส่ไส้เดือนดิน ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ระยะเวลาสั้นลงเนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายกากของเสียอินทรีย์ของไส้เดือนดินและจุลินทรีย์ดินช่วยเร่งกระบวนการทำปุ๋ยหมัก และช่วยเปลี่ยนแปลงเพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ให้กลายเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพสูง

ตารางที่ 28 แสดงอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์หลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost)

ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์	อัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์			
	ชุดดินน้ำพอง	% การเปลี่ยนแปลงหลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน	ชุดดินพิมาย	% การเปลี่ยนแปลงหลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน
Total N	Ng200	62.54	Pm200	36.26
Avail. P	Ng600	79.33	Pm600	61.42
Exch. Ca	Ng600	64.61	Pm600	75.70
Exch. Mg	Ng600	79.33	Pm600	61.42
Exch. K	Ng600	84.37	Pm600	56.8
Organic carbon (OC)	Ng200	83.8	Pm200	49.95
C:N ratio (ลดลง)	Ng200	84.43	Pm200	44.29

จากผลการศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่า เมื่อมีการใช้ประโยชน์ของไส้เดือนดินร่วมกับการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรและดินปนเปื้อนแคดเมียมสามารถช่วยเพิ่มธาตุอาหารในดินโดยเก็บในรูปของขุยไส้เดือนดิน เป็นปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่เป็นประโยชน์ และสามารถนำมาใช้ในการลดโลหะหนักในปุ๋ยหมักต่างๆ โดยนำไส้เดือนดินมาเป็นตัวช่วยในการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน โดยนำมาใช้เป็นปุ๋ยหมักชีวภาพทางการเกษตรโดยช่วยลดสารโลหะหนักในดิน และไม่ทำให้ระบบนิเวศดินเสื่อมโทรมแต่กลับเพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์และอินทรียวัตถุในดิน

การจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรโดยวิธี Vermitechnology เป็นการนำไส้เดือนดินเข้ามาจัดการกากของเสีย เศษเหลือทิ้งต่างๆ ที่เป็นกากอินทรีย์ โดยกระบวนการย่อยสลายกากอินทรียวัตถุของไส้เดือนดิน จะเกิดประโยชน์ต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการทำการเกษตร โดยกระบวนการต่างๆ ดังนี้ Vermicomposting การผลิตปุ๋ยหมักทางชีวภาพโดยใช้ไส้เดือนดินเป็นตัวกลางในการจัดการกากของเสีย ผลที่ได้จากกระบวนการนี้ส่งผลต่อการพัฒนาเป็นปุ๋ยที่มีคุณภาพสูง สามารถเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางด้านเคมี และกายภาพของกากของเสีย และเศษเหลือทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและดิน และส่งผลต่อถาวรภาพของปุ๋ย (Vermistabilization) และการคงอยู่ของปริมาณโลหะหนักในตัวของไส้เดือนดิน โดยโลหะหนักอยู่ในรูปฟอร์มที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และผลิตของเสียออกมาในรูปขุย (Cast worm) ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และกิจกรรมของจุลินทรีย์ และลดปริมาณโลหะหนักในกากของเสียลงได้ ไส้เดือนดินยังสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพ (Vermi-bioindicator) ในดินที่มีการปนเปื้อนในดินได้ ดังนั้น การใช้ประโยชน์จากการใช้ไส้เดือนดินเป็นการใช้ความรู้ทางเทคโนโลยีที่ต่ำและมีการลงทุนที่ต่ำเป็นการนำสิ่งที่มีในท้องถิ่นมาจัดการกากของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต ส่งผลต่อการพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืน และลดต้นทุนการนำเข้าสารเคมี และช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการทิ้งกากของเสียต่างๆ สู่สิ่งแวดล้อมเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2. ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงความเป็นไปได้ของการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร ดังนั้น ในการศึกษาที่เกี่ยวกับการใช้สิ่งมีชีวิตย่อมมีปัจจัย เช่น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และแสงแดด ความชื้น ที่ต้องเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่ใช้ในการทดลองและต้องเลือกให้เหมาะสมกับสภาพของแต่ละพื้นที่

2. ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ไส้เดือนดินพันธุ์อื่นที่แตกต่างกัน เพื่อจะได้คัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในแต่ละท้องถิ่น และช่วยลดปริมาณกากของเสีย และสามารถเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยหมักให้ดียิ่งขึ้นได้

3. ควรมีการเปรียบเทียบกับการใช้กากของเสียชนิดอื่นควบคู่กับการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินเนื่องจากประเทศไทยมีปริมาณกากของเสียที่เป็นกากของเสียอินทรีย์จำนวนมาก จึงเหมาะสมต่อการพัฒนาเทคโนโลยีนี้ในการเป็นตัวช่วยในการปรับปรุงดินให้ดีขึ้นได้

การใช้เทคโนโลยีไส้เดือนดิน (Vermitechnology) ยังมีข้อกำจัดในการนำมาใช้ คือ เรื่องของปริมาณสารพิษที่มีมากเกินกว่าสิ่งมีชีวิตจะอยู่ได้ ไส้เดือนดินจะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ดังนั้นควรเลือกกากของเสียที่มีการปนเปื้อนสารพิษที่ไส้เดือนดินสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ แต่เนื่องจากประเทศไทยมีปริมาณกากของเสียที่ไม่เป็นอันตรายในปริมาณที่สูง จึงต้องมีการหาแนวทางในการศึกษาและวิจัยการนำไส้เดือนดินมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และพัฒนาสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการจัดการกากของเสียอย่างมีประสิทธิภาพสูง เพื่อการเกษตรของไทยให้เกิดเป็นรูปธรรม พัฒนาเป็นอุตสาหกรรมสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศต่อไป